第11回（平成14年度）
研究助成成果報告書

2005年3月

財団法人トステム建材産業振興財団

はじめに

我が国の住宅を質の高い豊かなものにして、世界に誇れる住宅大国を実現したいと願ってまいりました。

今、長寿の時代を迎えて、快適で健康的な生活を長く楽しむことができる住環境を整えることが、以前にも増して、強く求められます。

また、このための住宅投資の活性化は、雇用の拡大や、経済の持続的成長の主柱として期待されています。

このような社会的ニーズにいささかなりとも寄与したいと考え、弊財団では、平成4年設立以来、『住宅および建材産業の分野におけるすぐれた調査・研究・開発』について、研究助成を続けてまいりました。平成16年度までの助成実績は、延べ354件、3億9,218万円に達しております。

今回の助成成果報告書は、このうち、第11回（平成14年度）に助成を行なったものの研究成果をまとめたものであります。これからの住宅・建材産業の発展に貢献できれば幸いに存じます。

弊財団としては、今後とも研究助成を充実させてまいりますので、よろしくご支援のほど、お願い申し上げます。

財団法人トステム建材産業振興財団
理事長　潮田　健次郎

目　次

はじめに

第１部　調査研究

１－１　国産材のセメント硬化阻害成分とその対応に関する研究
(01-02)
名古屋大学 大学院 生命農学研究科　教授　安田　征市 …… 1

１－２　プロテイン加工による建材の高機能化に関する研究
(01-03)
京都工芸繊維大学 大学院 工芸科学研究科　助教授　河原　豊 …… 13

１－３　伝統的建材のにおい評価に基づく住宅内におい環境(スメルスケープ)設計法
(01-06)
大阪大学 大学院 工学研究科　助教授　山中　俊夫 …… 31

１－４　住宅から発生するＶＯＣとオゾンの反応が室内空気質に及ぼす影響に関する研究
(01-11)
鹿児島大学 工学部 建築学科　助教授　岩下　剛 …… 51

１－５　乾燥割れを有する木材を用いた木造住宅の性能に関する研究
(01-15)
秋田県立大学 木材高度加工研究所　講師　岡崎　泰男 …… 69

１－６　日本壁の空隙・細孔構造の解明と諸性能発現のメカニズム
(01-17)
東京工業大学 応用セラミックス研究所 建築物理研究センター　教授　田中　享二 …… 79

１－７　いわゆるシックハウス対策を実施した住戸におけるカビ・結露のメカニズムと住まい方について調査研究
(01-19)
国立公衆衛生院 建築衛生工学部　部長　池田　耕一 …… 89

１－８　内装・床下地材の解体性能向上による加齢対応型バリアフリー化に関する研究
(02-01)
近畿大学 理工学部　教授　森本　信明 …… 109

１－９　我が国に適した外断熱工法の開発研究
(02-03)
お茶の水女子大学 生活科学部　教授　田中　辰明 …… 161

１－10　木造住宅のマニフェストを用いた廃棄過程のインベントリとその建築ＬＣＡソフトへの移入
(02-05)
東京農工大学　教授　服部　順昭 …… 281

１－11　小風力適応型家庭用風力発電システムの開発研究
(02-06)
佐賀大学 理工学部　教授　瀬戸口俊明 …… 303

1－12　光学顕微鏡による既存住宅木材部材の腐朽診断法確立
(02-07)
東京農工大学 農学部　教授　福田　清春 …… 313

1－13　現場での施工性を向上させた土塗り壁工法の開発
(02-08)
横浜国立大学 大学院 工学研究院　教授　山崎　裕 …… 347

1－14　長寿命住宅のための高性能・高信頼ソーラーシステムの調査・研究
(02-09)
早稲田大学 理工学総合研究センター　客員教授　中島　康孝 …… 361

1－15　歴史的町家の再生・大規模改修のための防火構造仕様の開発
(02-10)
早稲田大学 理工学部 建築学科　教授　長谷見雄二 …… 409

1－16　品確法の住宅性能表示制度(共同住宅)の供給者・需要者への浸透と評価に関する研究
(02-13)
三重大学 工学部 建築学科　助教授　高井　宏之 …… 425

1－17　濃度画像情報に基づく換気効率指標の測定技術の構築に関する研究
(02-15)
東京工芸大学 工学部 建築学科　教授　大場　正昭 …… 445

1－18　暗騒音の存在する居住環境における人間の低周波音知覚特性に関する実験的研究
(02-16)
埼玉大学 工学部 建設工学科　助手　松本　泰尚 …… 459

1－19　都市ゴミ溶融スラグ微粉末を用いたセメントレスコンクリート製品の開発
(02-17)
茨城大学 工学部 都市システム工学科　教授　福澤　公夫 …… 469

1－20　在来軸組構法の継手・仕口のエネルギー吸収性能に関する基礎的研究
(02-19)
岐阜県立森林文化アカデミー　助手　小原　勝彦 …… 493

1－21　家屋解体材の炭化物を原料とした建築内装用ボードの開発
(02-21)
明星大学 理工学部 化学科　助教授　吉澤　秀二 …… 509

第3部　国際会議・国際協力

3－1　景観材料普及促進シンポジウム「世界に誇れる作品・製品の提案について」
(02-24)
景観材料推進協議会　主査　篠原　修 …… 519

第4部　研究発表会・シンポジウム

4－1　公開シンポジウム：シックハウス問題の現在 ～室内環境の実態と防除対策～
(02-25)
シックハウス防止対策研究会　委員長　吉野　博 …… 577

1-1 国産材のセメント硬化阻害成分とその対応に関する研究

名古屋大学大学院生命農学研究科
教授　安田　征市

1　本研究の背景と目的

戸建て住宅の外壁材は、①塗り壁仕上げやタイル系仕上げの左官系、②天然木張りや外壁用合板張りの木質板系、③アルミやその他の金属によるサイディングの金属系および④ケイ酸カルシウム板や硬質木質セメント板などの窯業系で作られているが、現在、窯業系サイディングが約７割のシエアを占めている。この窯業系サイディングは主原料のセメント質原料（セメント、ケイ酸質原料、石膏など）、繊維質原料（ガラス繊維、パルプ、ポリエチレンなど）および混和剤（パーライト、ゼオライトなど）に水を加えて板状に成型し、養生・硬化させることにより製造される。さらに、原料に用いる材料の組合せにより木繊維補強セメント板系、繊維補強セメント板系および繊維補強セメント・ケイ酸カルシウム板系に分類される。木繊維補強セメント板系のサイディングでは補強剤として木材からの木片、パルプ、木繊維などが用いられるが、木片のように木材全体を用いる場合には樹種によりセメントの硬化が阻害され、木質セメント板の製品として要求される強度が得られない場合がある。いわゆる、セメント硬化阻害である。

木材の主成分は細胞壁成分のセルロース、ヘミセルロースおよびリグニンであり、これらの成分はすべての樹種に共通しているので、樹種によるセメントの硬化阻害の差違には関わらないものと思われる。従って、阻害成分はそれ以外の副成分である抽出成分に由来することになる。報告されている主要な樹種の適性[1)]を表１に示した。

著者らにより明らかにされ木材セメント硬化阻害成分の化学構造を図１にまとめた。多糖のアラビノガラクタンを除けば世界で最初に単離された低分子の硬化阻害物質がテラカシジン(I, teracacidin)[2, 3)]であり、熱帯産早生樹アカシアマンギウム(*Acacia mangium*)の主要な抽出成分である。変色材でもあり、また全くの不適性樹種であるベイスギ(*Thuja plicata*)心材からは、プリカチン酸(II, plicatic acid)、ジヒドロキシツヤプリカチン(dihydroxythujaplicatin)とプリカチン(III, plicatin)が単離[4,5)]された。これらの中の主要な阻害成分はプリカチン酸であり、カテコール構造をもつこの化合物は容易に空気酸化されて褐色に変わる。スギ(*Cryptomeria japonica*)は人工造林木として多量に生産され内装材、構造剤、家具や樽に至るまで広範囲で利用されている。また、その端材や解体材も木質セメント板原料としても使われる。スギ心材は不適性材で、その硬化阻害成分[6)]はセキリンC(IV, sequirin C)とピニトール(V, pinitol)であり、全く性質の異なる二種の化合物からなっている。研究論文や関連単行本によりブナ(*Fagus crenata*)は不適性樹種あるいは適性樹種とし分類されることがあるが、その阻害成分[7)]は蔗糖（シュクロース）(VI, sucrose)とグ

ルコース(glucose)である。これらの糖類は辺材に分布し、樹木の伐採後から減少し、また乾燥(weathering)中に速やかに消失[8, 9]することが知られているので、充分な乾燥期間を経たものであればセメント硬化阻害を起こさないものと思われる。木材のセメント硬化阻害についての総説[10]も参照されたい。

木材とセメントとの関わりはコンクリート型枠合板として使用する際にもみられる。不適樹種を合板として用いたり、適合樹種から製造した合板でもその表面を日光にさらして置くと、型枠に接触した面のセメントの硬化が不十分で、型枠をはずした後のコンクリート表面がざらざらした状態になる。なお、コンクリート型枠合板によるセメントの硬化不良は、合板への日光の照射でセルロース等の多糖成分が分解して水可溶単糖やオリゴ糖を生成することによる。単糖やオリゴ糖は勿論のこと、カラマツ心材に多く含まれる水溶性多糖のアラビノガラクタン[11, 12]もよく知られたセメント硬化阻害物質である。詳細には著書[13]を参照願いたい。

木質資源の有効利用の観点から、建築解体材や木材工場から出る端材を木質セメント板製造用原料として使用する際の基礎データを得るために、これまでに報告されていない樹種のセメント硬化阻害成分を検討した。

2　研究の方法

木質セメント板の強度を評価するには、その物理的強度を測定する方法が望ましいが、実験室規模の少量の試料で評価する方法に水和反応を利用したやり方[14]がある。この方法はセメントが水と反応（水和反応）してコンクリートになる際に熱を発生することを利用する。セメントー木粉ー水系からなる混合原料を容器に詰め熱電対を用いて時間経過と発生熱を測定し、得られるデータから阻害指数や適合係数を算出する。これらの指数や係数は強度と深く関連するので大凡の評価が可能である。なお、阻害成分の含有量が 1%以下になると阻害指数が極めて小さくなるので、最終的な木質セメント板の強度評価は実際にセメント板を調製しその物理的な強度を測定する必要がある。

木材中の阻害成分がアルカリ性液層（セメントー木粉ー水系の）に溶出し硬化阻害を起こすので、少なくともアルカリで抽出される筈である。これまでに明らかにされている硬化阻害成分はメタノールや熱水で溶出されている。抽出液には多数の化合物を含有しているので、水和熱実験により抽出成分の硬化阻害程度を評価しながら阻害成分の分離・精製操作が必要である。まず、試料木粉のメタノール（水抽出を追加することもある）抽出物を極性の異なる溶媒により逐次抽出を行い、次いで水和熱実験の結果を基に阻害成分を含有する可溶画分のカラムクロマトグラフィーによる分離・精製を行って最終的に純粋な化合物を単離する。化合物の構造決定は各種誘導体の調製や機器分析（プロトンおよび炭素-13 核磁気共鳴スペクトル、赤外線吸収スペクトル、紫外線吸収スペクトル、マススペクトル、GC-MS 分析など）により行う。

次ぎに、セメント硬化阻害を起こす樹種への対応策を検討した。最も経済的な方法として、不適樹種材木粉を適性樹種材（本研究では温水抽出済みヒノキ）のそれに割合を変えて攪拌混合し、混合木粉試料の水和熱実験を行って阻害指数を算出し、阻害作用発現の有

無とセメント板製造の際の最低混合割合を求める。

3　ハンノキおよびケヤキのセメント硬化阻害成分

3.1　ハンノキ[15)]

ハンノキ(*Alnus japonica* Steud.)は日本、中国北部、韓国に自生し、家具、パーティクルボード、内装材や製紙用原料として広範囲に使われている。また、ハンノキは木質セメント板製造の不適材の一種であることが知られている。材色は白っぽくて、阻害成分は糖類の可能性が推測される。

伐採直後のハンノキを風乾し、その木粉の水和熱実験を行った。硬化促進剤として塩化カルシウムと塩化アルミニウムを用いた場合、50 時間を経過してもセメントは全く硬化しなかったが、塩化マグネシウムを用いると小さな阻害指数を示すに過ぎなかった。

硬化阻害成分を分離するために、木粉をメタノールで抽出した。抽出前後の木粉およびメタノール抽出物（適性材のヒノキ木粉に含浸させ水和熱実験を行う）の阻害指数から、ハンノキのセメント硬化阻害成分はメタノールで溶出されることが確認された。次いで、メタノール抽出物を n-ヘキサン、ベンゼン、酢酸エチル、メタノールおよび 75%含水メタノールのより極性の高い溶剤で逐次抽出操作を行い、それぞれの可溶部を得た。なお、一般的に考えると、メタノール抽出で得たメタノール抽出物であるから、少なくともメタノールには 100%可溶なはずと思われるが、最初の木粉は水を含んでいるので実質的には含水メタノール抽出の条件になっておりメタノールのみに溶解しない化合物も含まれていることがある。それぞれの木粉当たりの収率は $0.3x10^{-2}$, 0.02, 0.25, 2.0 および 0.4(%)であった。水和熱実験から、阻害成分はメタノール可溶画分に含まれていることが明らかになった。メタノール可溶画分の収率は木粉重量当たり 2.0%であった。一般に、阻害成分のセメント硬化作用の程度は含有率によって大きく左右[5)]され、木粉重量当たり 1%を切ると阻害はほとんど見られなくなる。メタノール可溶画分にはまだ多数の化合物が含まれていたので、さらに展開溶媒として酢酸エチル、酢酸エチルーエタノール、エタノールを用いてシリカゲルカラムクロマトグラフィーを行って５画分を得た。これらの画分の水和熱実験を行ったところ、いずれの画分も硬化阻害（阻害指数はゼロ）を示さなかった。これら５画分に含まれる化合物の薄層クロマトグラフィーの挙動および赤外線吸収スペクトルから、極性の高い物質と推定されたので単糖類と比較検討したところグルコースと二糖類の蔗糖が含まれていることがわかった。特に、５画分のうちの３画分はこれら２種類の糖で構成されていることが明らかになった。３画分を合わせた抽出物重量は木粉重量の 1%以上に達した。従って、グルコースと蔗糖が阻害成分であるが、カラムクロマト後の個々の５画分の収率が 1%以下であったために硬化阻害が見られなかったものと推測される。以上のことから、ハンノキのセメント硬化阻害成分は蔗糖(VI)およびグルコース(VII)（図２）の糖成分であることが明らかになった。

グルコースや蔗糖は広く植物[8)]や辺材[16)]に含まれていることが知られている。また、これらの糖は伐採後、３ヶ月以内の乾燥で消失することも知られている。本研究で用いたハンノキ材は伐採直後の新鮮な材料を用いたのでセメント硬化阻害が現れたのであろう。

従って、ハンノキ材をバージンの状態で木質セメント板製造に使用する際には木片にしてから３ヶ月近くの放置が望まれる。端材の場合にはすでに工場等で歳月を経過していると思われるので、乾燥の手続きは不要であろう。

３.２ ケヤキ[17)]

ケヤキ(*Zelkova serrate*)は日本、韓国、中国南部に自生し、家具、建築材や船舶用材として利用されている。木質セメント板原料として使われる可能性は低いが、強烈な不適材であり、硬化阻害成分検索の学問的な興味から本樹種を選択した。材色は褐色～暗褐色でフェノール性物質に富んでいることが推測された。

約１年前に採取した 70 年生ケヤキ木粉をメタノール抽出し、抽出前後の木粉の水和熱実験から阻害成分はメタノールで溶出されることがわかった。メタノール抽出液およびその濃縮物は暗褐色～黒色であった。次いで常法に従って、メタノール抽出物を n-ヘキサン、ベンゼン、酢酸エチルおよびメタノールで逐次抽出し、得られた画分の水和熱実験の結果から阻害成分はメタノール可溶画分に含まれていることが知られた。依って、阻害成分は極めて極性の大きい物質であることがわかる。さらに、メタノール可溶画分のシリカゲルカラムクラマトグラフィーを行って４画分に分画した。主要な阻害成分はアセトンで溶出した画分３(F-3 fr.)に含まれていた。さらに、F-3 画分のシリカゲルカラムクロマトグラフィーを行って化合物 VIII を単離した。VIII は F-4 画分からも単離された。正確な収率は求められなかったが、1.0 ～ 2.9%（対全乾木粉）の範囲（阻害成分を含む F-3 および F-4 画分の合計収率が 3%に達し、その IR スペクトルが化合物 VIII のそれに殆ど一致していた）であった。実験の操作手順を図３にまとめた。

化合物 VIII の赤外線吸収スペクトル(IR スペクトル）でアセチル基由来の吸収が見られなかったので、分子中の水酸基の数を求めるために無水酢酸とピリジンを用いアセチル化した。アセチル化化合物のプロトン核磁気共鳴スペクトル(^{1}H-NMR スペクトル）は、脂肪属領域に７個のアセチル基、１個のメトキシル基および炭素ー炭素結合をもつグルコース残基の存在を示し、さらに芳香族領域にはパラーヒドロキシフェニル核と５置換芳香核の存在を示唆した。この ^{1}H-NMR スペクトルは報告されているケヤキニンのスペクトル[18)]に一致することから、化合物 VIII をケヤキニンと推定した。最終的には化合物 VIII のメチル化反応およびマススペクトルの測定により同定した。構造を図４に示した。構造からわかるように、ケヤキニンはフラボノノールとグルコースとの C-配糖体であり、新たな範疇の木材セメント硬化阻害物質物質である。硬化阻害を起さないヒノキ木粉にケヤキニンを 1%含浸させた試料の阻害指数は 51.7（硬化剤：塩化カルシウム)、72.8（塩化マグネシウム）および 68.3（塩化アルミニウム）で、大きな阻害作用を示した。

次いで、ケヤキ材を木質セメント板の原料として使用する際の対応策を検討した。最も経済的な方法は硬化阻害を起こさない適性樹種に物理的に混合する方法である。適性樹種としてヒノキ木粉を選び、これにケヤキ木粉の混合割合を変えて加え充分に攪拌して試料とした。水和熱実験の結果、ケヤキ材を 30%まで混合してもセメントの硬化阻害はみられなかった。

4　硬化阻害作用と化学構造

セメントの硬化阻害は硬化の遅延作用とほぼ同義語である。化学構造との関連で以下に考察した。

4.1　硬化阻害作用

セメントの硬化阻害は水和反応が何らかの原因で遅延することであり、さらには製品の強度不足に繋がることが多い。セメントの水和反応の遅延について以下の原因が提案[19]されている。

(1)　吸着説

遅延分子がセメント粒子の表面に吸着し、セメントの水和反応を阻害する。リグノスルホン酸や水酸基を有するカルボン酸類が該当し、セメント粒子表面上のカルシウムイオン(Ca^{2+})やそれに隣接する酸素イオン(O^{2-})に遅延分子が結合することによる吸着である。

(2)　錯塩説

水に溶出したセメント成分のカルシウムイオンと遅延分子が錯塩を形成するために、水和反応生成物の一つである水酸化カルシウム($Ca(OH)_2$)が結晶として析出することが抑制され、その結果水和反応が遅れる。酒石酸などのカルボン酸類がその例である。

(3)　沈殿説

遅延分子がカルシウムイオンと結合して不溶性物質に変わり、セメントの粒子表面に沈殿して皮膜を形成し、それ故にセメント粒子と水の接触が妨害され水和反応が遅延するという仮説である。糖類や高分子酸が例として挙げられている。

(4)　核生成説

(2)の結晶核水酸化カルシウムの生成が抑制されるために起きるとする考え方である。

一般に、セメントの硬化遅延は複数の原因により起きるものと考えられている。また、遅延機構を探るにはセメントの初期水和（1 時間程度）における液相中の遅延物質溶存量およびカルシウム溶存量、遅延物質カルシウム塩の溶解度およびカルシウムイオンキレート力などを調べるのが有効な手段[20]である。遅延性の大きいグルコン酸、グルコヘプトン酸、クエン酸やソルビトール等は注水後１時間経過の液層から大部分消失するが、遅延性の小さいグリセリン酸やグリコール酸などはあまり消出しないことが知られている。グルコン酸、グルコヘプトン酸の主要な原因[20]はセメントの主成分である C_3S 表面のカルシウムイオンが遅延分子のカルボキシル基(-COOH)と単独あるいは隣接する水酸基(-OH)とペアでイオン結合し、さらに分子内の水酸基が他のカルシウムイオンと結合することにより遅延分子を強固に吸着しているものと考えられている。

4.2　硬化阻害に関与する構造

セメントに対して強い遅延作用を示す構造としてキレート構造をつくりえる官能基(-CHOHCOOH, -CHOHCHO, -COCOOH)、５個以上の水酸基を持つ化合物類やスルホン酸基を官能基とするリグノスルホン酸等が知られている。オキシカルボン酸、糖類、糖アルコールが代表的な例であり、木材成分としてはカラマツ心材に含まれている可溶性多糖であるアラビノガラクタンとサルファイトパルプ製造の際に生じるリグノスルホン酸が以前から知られている。

5　木材のセメント硬化阻害物質の分類

これまでに知られている木材のセメント硬化阻害物質は以下の３類に分類することができる。

(1)　糖および糖アルコール

多数の水酸基を有する化合物の一群。グルコース、ショ糖（シュクロース)、アラビノガラクタンおよびピニトール

(2)　カテコール骨格およびそれに類する骨格を　有する化合物

カルシウムイオンとキレート構造を作り得る化合物の一群。プリカチン酸、ジヒドロキシツヤプリカチン、プリカチン、セキリンC

(3)　その他の化合物

上記の両方の（あるいはそれに類した）構造をもつ化合物の一群。ケヤキニン

6　不適樹種への対応策

セメント硬化阻害成分は（セメント一木粉一水系の）アルカリ性液層に溶出し硬化阻害を引き起こすので、不適樹種への対応としては①阻害成分の前除去、②阻害成分の不溶化、③超速硬セメントの使用および④阻害成分の希釈などが考えられる。

第１の方法は木材（木片）原料の希アルカリ抽出または阻害成分の性質によってはメタノールや温水により前もって除去するやり方であり、抽出液の有効な利用の途の開発が重要であろう。第２の方法としては、例えば反応性単量体を注入し樹脂化する手法が考えられている。第３の方法は阻害成分が溶出し始める初期の段階でセメントのゲル化を起こさせることにより、阻害成分の拡散を抑制し封じ込める方法である。普通のポルトランドセメントに代えて、ゲル化時間の短い超速硬セメント（商品名、ジェットセメント）を使用することで解決できる。第４に方法は硬化阻害が現れる 1%の阻害成分濃度（木質原料当たり）を適性材原料で混合することにより阻害成分の濃度を下げる方法である。言い換えると、適性材原料に硬化阻害を起こす材を少しずつ混ぜて使用するやり方である。最も経済的な方法と思われる。

ベイスギはその阻害指数と高い含有量を考慮すると、木質セメント板の木質原料としては不適である。ブナやハンノキのようにグルコースやショ糖が阻害物質である材は、木片などに小片化後乾燥させることで解決できると思われる。また、スギ（心材)、ケヤキ、アカシアマンギウムなどは２倍量以上の適性材で希釈混合すると、阻害指数は極めて小さくなる。

7　おわりに

木質セメント板は難燃性であり外壁材として広く利用されている。今後さらに発展することが期待される。使用する木質材料は建築廃材や未利用樹種など多岐にわたるので、製造した木質セメント板の強度が充分でない場合もあり得る。例えば、スギの建築解体材で製造したセメント板の強度が不十分な例を耳にした。恐らく、スギの柱では心材部の比率

が高いことが原因のように思われる。

本研究報告書が木質セメント板製造の際の有用な資料になれば幸いである。また、上述した樹種以外の木質セメント板用木材の適性を判断する一方法は使用しようとする樹種の抽出成分を成書[21, 22]や文献で調べることであろう。キレート構造を作る官能基をもつ化合物や温水抽出物を多く含有する樹種は要注意である。

謝辞

本研究の後半部は財団法人トステム建材産業振興財団の平成13年度助成金で行われた。本研究への助成に感謝いたしますと共に、厚くお礼申し上げます。

文献

1) 継田視明：木材工業、**28**, 224-226（1973）
2) M. Tachi, W. Nagadomi, J. Tange, S. Yasuda, N. Terashima: Mokuzai Gakkaishi, **34**, 761-764 (1988)
3) M. Tachi, J. Tange, W. Nagadomi, Y. Suzuki, N. Terashima, S. Yasuda: Mokuzai Gakkaishi, **35**, 731-735 (1989)
4) M. Tachi, W. Nagadomi, J. Tange, S. Yasuda, N. Terashima: Mokuzai Gakkaishi, **33**, 879-883 (1987)
5) S. Yasuda, J. Hirano, J. Tange, W. Nagadomi, M. Tachi: J. Wood Chem. Technol., **9**, 123-133 (1989)
6) S. Yasuda, Y. Iwase, Y. Seguchi, T. Takemura, Y. Matsushita: Mokuzai Gakkaishi, **38**, 52-58 (1992).
7) T. Imai, M. Suzuki, K. Aoyama, Y. Kawasaki, S. Yasuda: Mokuzai Gakkaishi, **41**, 44-50 (1995).
8) H. Ohashi, T. Goto, T. Imai, M. Yasue: Res. Bull. Fac. Agric. Gifu Univ., No 53, 301-314 (1988).
9) H. Ohashi, N. Kato, T. Imai, S. Kawai: Holzforschung, **45**, 245-252 (1991).
10) 安田征市、松下泰幸：木材工業、**58**, 252-257 (2003).
11) 農林省農林水産技術会議：カラマツ利用開発に関する研究、215-217 (1978).
12) 屋代　真、川村恵洋、佐々木毅三男、継田視明：木材工業、**23**, 428-431 (1968).
13) 善本知孝：木材利用の化学、共立出版、175-188 (1983).
14) M. Hachmi, A. A. Moslemi, A. G. Campbell: Wood Sci.Technol., **24**, 345-354 (1990).
15) S. Yasuda, K. Ima,Y. Matsushita, : J. Wood Sci., **48**, 242-224 (2002).
16) H. Schert and G. Bonn: Analytical chemistry of carbohydrates. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, pp. 1-12, 1998.
17) Y. Matsushita, S. Miyawaki, S. Yasuda: J. Wood Sci., **49**, 281-284 (2003).
18) Y. Hayashi, S. Ohara, T. Takahashi: Mokuzai Gakkaishi, **33**, 511-520 (1987).

19) J. F. Young: Cement Concrete Research, **2**, 415-433 (1972).
20) 伊藤真純、竹内　徹：セメント・コンクリート、No 472, 31-37 (1986).
21) 例えば、今村博之等編：木材利用の化学、共立出版、323-399 (1983).
22) 林業試験場監修：木材工業ハンドブック（改訂第３版)、丸善、146-169 (1982).

表１　セメントの硬化に対する樹種適性（辺：辺材、心：心材）

適	不適
針葉樹	
ヒノキ	スギ〔心〕
トドマツ（辺心）	カラマツ（心）
スギ（辺）	
広葉樹	
ハルニレ（辺心）	ハリギリ（辺）
ハリギリ（心）	ハンノキ（心）
ハンノキ（辺）	シラカバ（心）
イタヤカエデ（辺心）	キハダ（辺心）
シラカバ（辺）	ネズコ（心）
ミズナラ（辺心）	ヤチダモ（辺心）
ネズコ（辺）	アサダ（辺心）
マカンバ（辺）	ケヤキ（辺）
	キリ（辺心）
	オニグルミ（辺心）
	ミズメ（辺心）
	ブナ
外材	
レッドラワン（辺心）	ベイスギ（心）
	マンガシノロ
	セプタパヤ

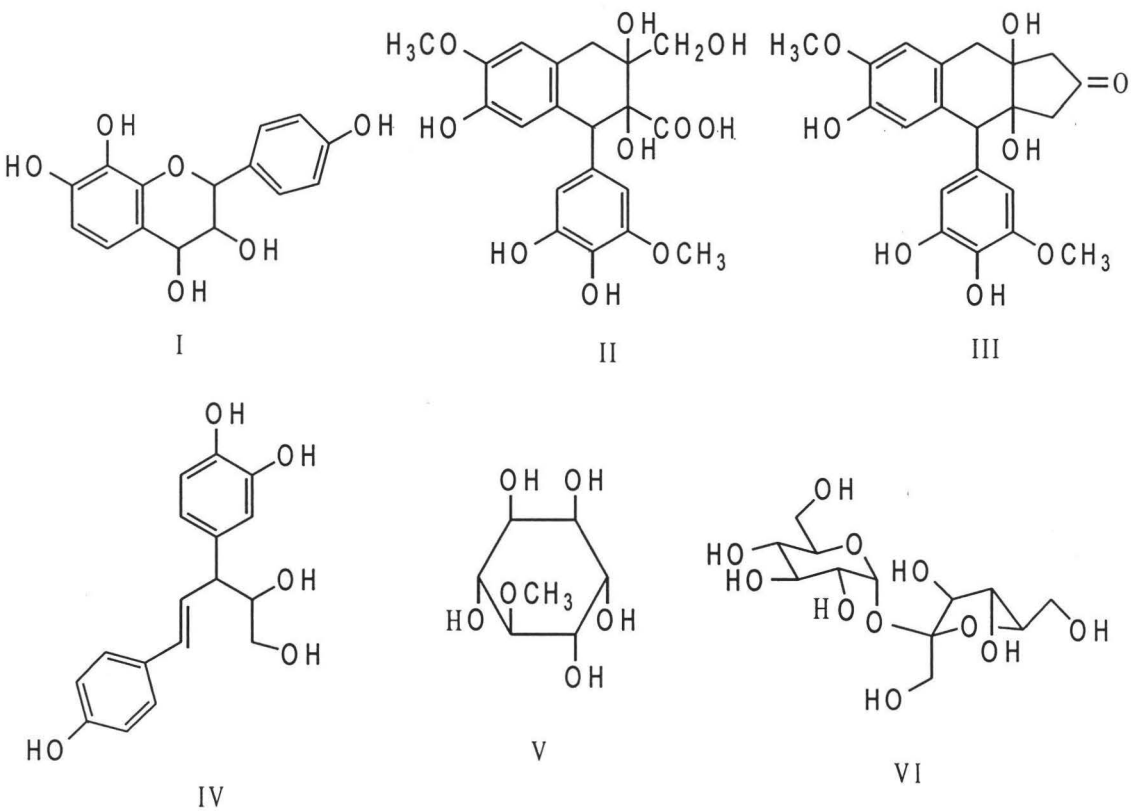
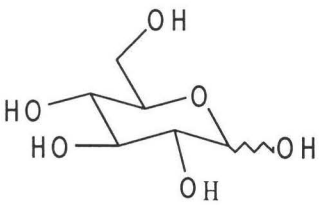


図１　木材中のセメント硬化阻害成分の化学構造



VII

図２　グルコースの化学構造

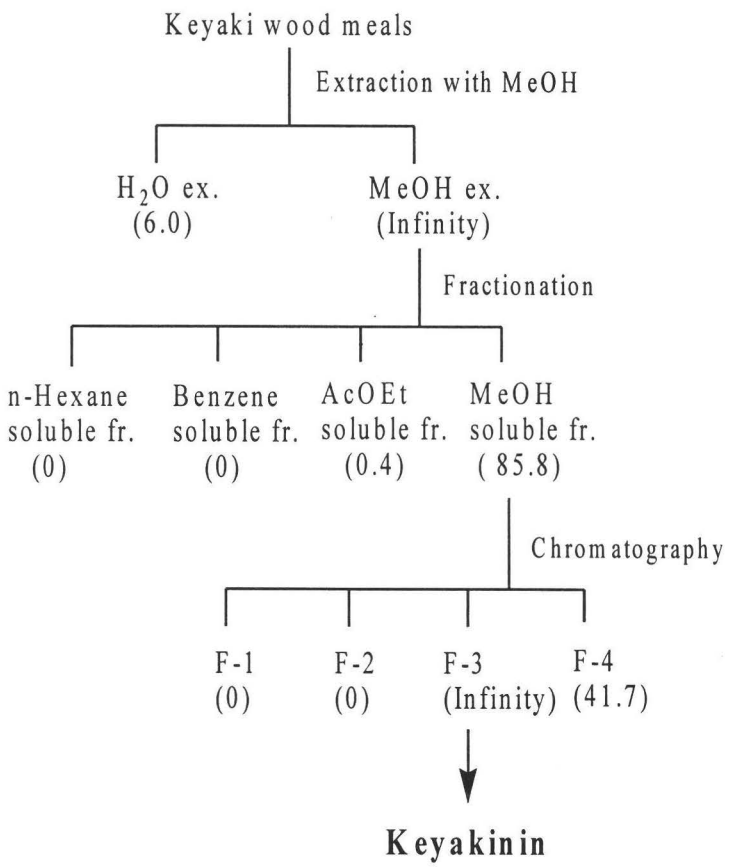
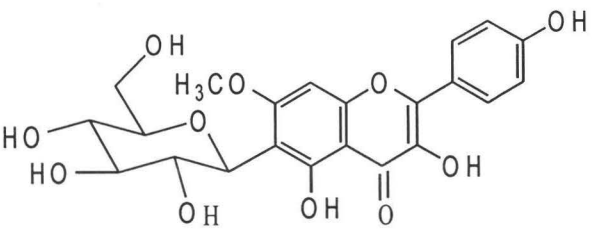


図３　阻害成分の分離手順（括弧内は阻害指数）



VIII (Keyakinin)

図４　ケヤキニンの化学構造

1-2 プロテイン加工による建材の高機能化に関する研究

京都工芸繊維大学

助教授　河原　豊

１．本研究の背景と目的

化石資源に依存する産業構造から太陽エネルギーと生物の生命活動を通じて循環するバイオマス資源に立脚する環境調和型産業へのシフトは，地球の環境保全の観点から極めて重要である．本研究では，バイオマス資源のうち，木材と羽毛に着目して，これらを複合化させることで高機能建材の製造の可能性を調査した．

２．研究の方法

本研究では，次の研究課題について調査を行った．

①タンパク質の加水分解方法と分解物の物性評価

②プロテイン加工した木材の寸法安定性の評価

③タンパク加水分解物の繊維細胞への親和性の評価

④タンパク加水分解物のホルムアルデヒド吸着能の評価

以下に，各項目に関する調査結果を示す．

３．タンパク質の加水分解方法と分解物の物性評価

３．１　緒　言

安価なタンパク原料として廃棄羽毛に着目した．羽毛はケラチンからなる．ケラチンの加水分解方法について，酸加水分解や酵素分解なども考えられるが，容易に高濃度で安定な水溶液（最高 40%程度）が得られることと，工程が簡単であるため，アルカリ法を用いた．原料羽毛ケラチンとしては，ニワトリ，アヒル，ガチョウ由来のものを使用した．１N 水酸化ナトリウム水溶液で加水分解を行うが，そのとき，若干の硫化水素が発生するため注意が必要である．アルカリ加水分解を行うと，ケラチンのジスルフィド結合部位に水酸イオンが攻撃してα-炭素からプロトンを引き抜き，システイン残基をデヒドロアラニン残基とS-チオシステイン残基に分解し，後者はさらにシステインアニオン残基と硫黄原子に分解されることが報告されている．硫化水素の発生は，この硫黄に由来する．一方，デヒドロアラニン残基にはその二重結合部分に求核性基を付加することが出来る．すなわち，システインアニオンの付加によって分子鎖内あるいは分子鎖間にランチオニン架橋が形成され，リシン残基とはリシノアラニン架橋を形成する．また，アルカリ環境下ではランチオニンは最終的に親水性のセリンになる．以上のことから，ケラチンをアルカリ加水分解したとき，分子鎖間に架橋結合が導入されることと，加水分解物は親水性になることが予測される．架橋の形

成は，加水分解したケラチンを木材加工に使用したとき，その寸法安定性に寄与すると期待される．また，親水化は，繊維細胞への親和性を増加させると期待される．

３．２　実　験

３．２．１　羽毛加水分解物の調製

羽毛は，アヒル羽毛(東洋羽毛工業製)を用いた．羽毛に１規定もしくは２規定の水酸化ナトリウム水溶液を加えて溶解し(浴比１：９，70 ℃，３時間)，室温まで放冷したのち，酢酸で pH 7 に調整して 10 %水溶液を得た．高濃度の溶液は，10 %水溶液を塩化カルシウムを入れた真空デシケータ内で減圧濃縮して調製した.1 規定もしくは２規定の水酸化ナトリウム水溶液を用いて調製した羽毛加水分解物を 1NDFH および 2NDFH と記す．

３．２．２　分子量測定

羽毛加水分解物の分子量を測定するため，ゲル濾過を行った．カラムは，Sephadex G-25 fine (Amerscham Pharmacia 製 9×1000 mm)を用い，0.3 M NaCl を含む 50 mM リン酸緩衝液(pH 7.0)で溶出した．分子量既知の標準タンパクとして，インシュリン(5.7 kDa, SIGMA CHEMICAL 製)，グラミシジン(1.2 kDa, Fluka Chemie 製)を用いた．10 %羽毛加水分解物溶液を遠心分離機にかけて不溶成分を除去したのち，上清をフィルター(0.45 μ m)で濾過してカラムに投入した．カラムからの溶出速度は 0.03 ml /min とし，0.48 ml ずつ分画した．各画分から 230 nm の紫外吸収によりタンパクを検出した．

３．２．３　赤外吸収スペクトル測定

pH 7 に調整した 10%羽毛加水分解物溶液に１～100 %の酢酸を加えて処理(浴比１：10, 60 ℃，４時間)したのち，塩化カルシウムを入れた真空デシケータ内で減圧濃縮・乾燥して粉末試料とした．羽毛，酢酸処理した羽毛加水分解物，および処理後の出土木材について，フーリエ変換型赤外分光分析装置(FTIR, System 2000, Perkin-Elmer)にダイヤモンド ATR ユニット(Golden gate diamond ATR, Specac)を搭載して，赤外吸収スペクトルの測定を行った．積算回数は８回とした．

３．３　結　果

３．３．１　羽毛加水分解物の分子量

細胞壁への浸透性を考える上で，処理剤の分子量は大きく影響すると考えられる．そこで，羽毛加水分解物に含まれるタンパクの分子量をゲル濾過により測定した(図１)．アヒル羽毛ケラチンの分子量はおよそ 10 kDa である[1]．この羽毛をアルカリで加水分解すると，標準タンパクの溶出位置である 5.7 kDa と 1.1 kDa の間に溶出ピークが認められ，加水分解物の主要な分子量は，この間にあることがわかる．しかし，加水分解物の溶出が 1.1 kDa 以下の低分子領域においても連続して認められたことか

ら，加水分解物には 1.1 kDa 以下の低分子成分も多く含まれていることがわかる．

３．３．２　羽毛加水分解物の構造変化

研究を進めるにあたり，アルカリ加水分解時に生成するデヒドロアラニン残基による分子鎖間への架橋結合の導入が期待されたが，調査の結果，架橋結合の生成を示す根拠は得られなかった．しかしながら，後述の調査結果に示すように，リグニンリッチの状態の劣化木材に羽毛加水分解物を用いた処理を行うと，羽毛加水分解物が細胞壁に侵入してバルキング効果を発現し，寸法安定性（抗収縮性）や力学特性の著しい向上が確認された．こうした特徴は，細胞壁に浸透した低分子量の羽毛ケラチンの変性によってもたらされたのではないかと考え，羽毛加水分解物の高次構造について，赤外吸収スペクトルの測定から検討を行った．加水分解処理前後の羽毛のスペクトルを図２に示す．加水分解処理前の羽毛スペクトル(図 2a)では，C=O 結合の伸縮振動によるアミドⅠ帯の吸収ピークが 1627 cm^{-1}に，N-H 変角と C-N 伸縮とが混在した振動によるアミドⅡ帯の吸収ピークが 1515 cm^{-1}に，同じく N-H 変角と C-N 伸縮振動によるアミドⅢ帯の吸収ピークが 1234 cm^{-1}に認められ，羽毛がβシート構造を示すことが確認された[2]．羽毛加水分解物の pH 調整には酢酸を用いているため，過剰に加えられた酢酸がケラチン分解物とともに木材に侵入して仕上げ後，乾燥工程で局所的に濃縮され，ケラチン分解物を変性させる可能性がある．酸のβシート化作用については，絹フィブロインについて報告されている[3]．図 2b に 10 %1NDFH 溶液の赤外吸収スペクトルを示す．1634 cm^{-1}と 1551 cm^{-1}にピークを観測した．この溶液には中和で生成した酢酸ナトリウムも含まれており，その赤外吸収スペクトルを測定したところ，1635 cm^{-1}と 1538 cm^{-1}にピークを観測したことから(図 2d)，この溶液のスペクトルは，酢酸ナトリウムでマスキングされている可能性がある．10 %1NDFH を減圧乾燥して粉末状にして赤外吸収スペクトルを測定したところ，1634 cm^{-1}と 1558 cm^{-1}に酢酸ナトリウムの影響による強いピークを観測したが，1515 cm^{-1}にβシート構造に対応する吸収がショルダーとして観測された(図 2c)．酢酸によりケラチン分解物がβ変性された可能性がある．

そこで 1～100 %の酢酸で 10 %1NDFH を処理して減圧乾燥した粉末の赤外吸収スペクトルを測定し，図 3 に示す．1515 cm^{-1}に明確な吸収ピークが処理したすべての粉末において観測され(図 3b～d)，ケラチン分解物が酢酸の影響によってβシート化することがわかった．

次に，木材中の羽毛加水分解物の構造変化の可能性について検討を行った．1NDFH で仕上げ処理した出土木材（京都府内の平安時代に比定される遺跡から出土したムクノキ（*Aphananthe aspera* Planch.））の赤外吸収スペクトルを，図 4 に示す．1504 cm^{-1}に観測されるリグニン由来の芳香環の骨格振動による吸収ピーク[4]とは別に，羽毛加水分解物処理材すべてに 1515 cm^{-1}にβシート構造に対応する吸収がショルダーとして認められた(図 4b～e)．以上の結果は，出土木材の細胞壁に侵入したケラチン分解物が，酢酸の影響によりβシート化して，細胞壁を補強する可能性を示唆している．

また，出土木材には生分解の遅いリグニン質が多く含まれており，リグニンと羽毛ケラチンの溶解度パラメータを計算すると，それぞれ 14.2 と 14.4 となり[1,5,6]，両者の親和性は良いと推測されるため，β シート化して固着するケラチン分解物は細胞壁の補強に有効ではないかと考えられる．

３．４　まとめ

羽毛加水分解物の物性として，特に分解物を調製するときに用いる酢酸による高次構造の変化に着目して，赤外吸収スペクトル測定により検討したところ，低分子化したケラチンがβ化することが示唆された．後述する劣化木材への羽毛加水分解物処理による抗収縮性の付与と補強作用は，木材の細胞壁及び細胞間隙に浸透したケラチン分解物がβシート化して欠陥を塞いだことが少なからず影響したと考えられる．

４．プロテイン加工した木材の寸法安定性の評価

４．１　緒　言

アルカリ加水分解した羽毛由来のケラチンを用いてプロテイン加工を行う試料として，ここでは遺跡から出土した微生物劣化の進んだ木材を用いた．このような特殊な木材を利用した理由は，空隙が多くスポンジ状であるために薬剤の浸透が速く寸法変化も顕著に現れることと，微生物劣化が進みセルロース成分が殆ど除去されてリグニン質となっているために，リグニンとケラチンとの相互作用を選択的に測定することが出来ると期待されるからである．出土木材は，微生物劣化で生じた空隙が発掘時においては水で満たされているために，見かけ寸法が維持されているが，乾燥すると水分の蒸発により体積が５分の１程度にまで減少する．このために通常，保存のための化学処理が必要となる．

４．２　実　験

４．２．１　出土木材

京都府内の平安時代に比定される遺跡から出土したムクノキ(*Aphananthe aspera* Planch.)を，出土後，水に浸漬した状態で保管しておき実験に供した．寸法変化測定用及び力学特性測定用の試験体は，それぞれ同一材の心材部から接線方向(T)30×放射方向(R)30×繊維方向(L)15 mm，及び接線方向(T)20×放射方向(R)20×繊維方向(L)50 mm のブロックを切り出して作製した．出土木材の最大含水率(Umax)は，試験体を，真空デシケータで 30 分間減圧して飽水重量(Wu)を測定し，105 ℃で 48 時間乾燥させて絶乾重量(Wo)を求め，Wo に対する重量変化の割合から算出した．

$$Umax(\%) = 100 \times (Wu - Wo) / Wo$$

４．２．２　羽毛加水分解水溶液の調製

羽毛加水分解物水溶液は，アヒル羽毛(東洋羽毛工業製)に 1 規定の水酸化ナトリウム水溶液を加えて溶解し(浴比 1 : 9, 70 ℃, 3 時間)，室温まで放冷したのち，酢酸で中

和して得た．高濃度の溶液は，10 %水溶液を真空デシケータ内で減圧濃縮して調製した．

４．２．３　プロテイン処理

高含水状態の出土木材に保存処理を行う場合，木材からの急激な脱水による破損を避けるために，置換溶液の濃度を徐々に上昇させて処理を行う．ここでは，まず試験体を 60 ℃の 10 %羽毛加水分解溶液に浸漬して，3 ～ 4 日ごとに 10 %ずつ液の濃度を高めながら，最高 40 %溶液で処理した後，冷暗所にて風乾した．試験体の乾燥は，重量が恒量に達した 2 ヶ月後をもって終了とした．

４．２．４　水分置換率と寸法安定性能評価方法

試験体の風乾過程での重量(W)と，乾燥前の重量(W_1)から，見かけの水分置換率に相当する重量残存率 RW(%)を求めた．

$$RW(\%) = 100 - \{[(W_1 - W) / W_1] \times 100\}$$

寸法変化の評価は，試験体の木口面の接線方向(T)と放射方向(R)とにそれぞれ 2 本ずつピン(標点)をうち，処理前後および風乾過程におけるピン間隔の変化を測定することにより行った．処理前の間隔(lu)と処理後の間隔(lt)から収縮率 β (%)を求め，接線方向の収縮率(β t)と放射方向の収縮率(β r)から木口面の面積収縮率 β cs(%)を求めた．3 個体の平均を測定値とした．

$$\beta(\%) = 100 \times (lu - lt) / lu$$

$$\beta cs(\%) = \{1 - [1 - (\beta t / 100)][1 - (\beta r / 100)]\} \times 100$$

４．３　結　果

４．３．１　寸法安定効果

最大含水率は出土木材の劣化の指標とされており，最大含水率が高いほど収縮率は増加する．劣化の進行した広葉樹では，最大含水率が 1000 %を越すものも珍しくない．一方，細胞壁の組織から見たとき，最大含水率が 500 %前後の広葉樹には健全な組織と劣化の進行した組織が混在するため，不均一な収縮によって破損しやすく，特に処理が難しいとされている．本実験に供試した出土木材も広葉樹であり，最大含水率が約 480 %であるため，収縮による破損が生じやすく，羽毛加水分解物処理の有効性が敏感に反映されると考えられる．

羽毛加水分解物で処理した出土木材の形状を図 5 に，その収縮率を表 1 に示す．処理剤を使わずに出土木材をそのまま乾燥させると(以下，無処理材と称する)，木口面において 77 %もの収縮が認められた．一方，羽毛加水分解物で処理すると，高濃度ほど収縮が抑制されることがわかる．ただし，40 %処理では，収縮率が負の値を示し，膨張によって木口面に部分的な亀裂が認められた(図 6)．

図 7 に乾燥過程の木材の重量残存率と接線方向の収縮率との関係を示す．無処理材では，水分の蒸発による重量減少に伴って収縮が進行したが，羽毛加水分解物処理を

行うと，高濃度まで含浸した場合，重量残存率が高くなり収縮率が低下することがわかる．重量残存率の増加は，出土木材中の水が，羽毛加水分解物と充分に置換したことを示唆する．また，収縮が抑制されていることから，木材の細胞壁中の水とも置換が進んだと推測される．すなわちバルキング現象をともなっていると考えられる．バルキングとは，細胞壁内に充填した樹脂によって細胞壁の膨張(収縮)が抑制され，寸法安定性が付与される現象である[7]．ただし，今回の処理に用いた羽毛加水分解物溶液には，ケラチン以外に，中和処理で生じる酢酸ナトリウムも含まれている．そこで，16 %酢酸ナトリウム水溶液を用いて出土木材を処理し，バルキング効果を調べたところ，接線方向の収縮率は約 20 %となり，若干のバルキング効果が認められたが，木材は大きく変形してしまった．羽毛加水分解物処理でのバルキング効果は，主として羽毛ケラチンによって発現していると考えられる．

図 8 に，40 %処理材(図 6)の，乾燥過程における膨張・収縮挙動を示す．図より明らかなように，処理材は水分の蒸発とともに膨張したことがわかる．ケラチン分子のバルキング作用に加え，細胞壁内に侵入したケラチン分子がβ構造化したことと関連していると考えられる．

４．３．２羽毛加水分解物で処理した出土木材の物性

羽毛加水分解物処理による出土木材の補強効果を確認するために，飽水状態の無処理材と羽毛加水分解物処理材の縦圧縮強度の比較を行った．図 9 に飽水状態の無処理材および羽毛加水分解物処理材(表 1e)の縦圧縮応力―ひずみ曲線を示す．飽水状態の無処理材は延性的な挙動を示し，除荷により変形は大部分回復した．これは出土木材のスポンジライクな構造に起因すると思われる．一方，処理材では，荷重の増加に伴って直線的な立ち上がりを示した．飽水状態の無処理材に比べて，縦圧縮強さは約 5.5 倍，縦圧縮弾性率は約 16.8 倍向上し，羽毛加水分解物処理による出土木材の著しい補強効果が認められた．

４．４　まとめ

羽毛加水分解物処理による出土木材への抗収縮・補強効果について検討した．羽毛加水分解物は，バルキング効果を示し，細胞壁および細胞間隙に浸透して細胞壁を補強することを確認した．また，この補強作用はケラチン分解物のβシート化と関連していると推測された．

５．タンパク加水分解物の繊維細胞への親和性の評価

５．１　緒　言

リグニンと羽毛ケラチンの溶解度パラメータの計算値がほぼ同じ値を示し，リグニンリッチな組成の出土木材に対して羽毛加水分解物を用いたプロテイン加工を行ったところ高い補強効果が得られた．このことはリグノセルロース構造から成る靭皮繊維においてもプロテイン加工を行えば補強効果が得られるのではないかと期待される．

そこで，リグノセルロース構造を有する数種の靭皮繊維にプロテイン加工を行い力学特性の変化を調べた．

５．２　実　験

５．２．１　靭皮繊維

3 種類の靭皮繊維，すなわち Kassel 大学（ドイツ）から提供されたジュート繊維(*corchorus capsularis*)，本学附属農場で栽培したケナフ（*hibiscus cannabinus*)，および京都府内の山林で採取したフジ（*wisteria floribunda*)から分離した繊維を用いた．

５．２．２　プロテイン処理

アヒルまたはニワトリの羽毛を 1 規定の水酸化ナトリウム水溶液で溶解（70℃，3 時間）した後，酢酸で中和して 10 %のケラチン加水分解物を含む水溶液を準備した．この溶液に靭皮繊維を 45℃で 20 分間 浸漬した後，水洗・風乾した．

５．２．３　引張試験

繊維の力学特性を，20℃，65% RH において，Tensilon Tester (A&D, type STA-1150)を用いて，ゲージ間隔 20 mm，引張速度 2 mm/min の条件で測定した．各測定値は 60 回の試験の平均値である．

５．２．４　赤外吸収スペクトル測定

靭皮繊維の表層について，フーリエ変換型赤外分光分析装置(FTIR, System 2000, Perkin-Elmer)にダイヤモンド ATR ユニット(Golden gate diamond ATR, Specac)を搭載して，赤外吸収スペクトルの測定を行った．積算回数は 8 回とした．

５．３　結　果

靭皮繊維を靭皮部から分離するとき，しばしばアルカリを用いる retting 処理が行われるが，このとき非晶質のヘミセルロースの溶出により繊維細胞間マトリックスに欠陥が生じて，分離回収した繊維の力学特性が低下しやすいことがわかっている．このようなアルカリで retting 処理した繊維のうち，リグノセルロース構造を有する物については，リグニン質に対するケラチンの補強効果によって力学特性の改善が期待される．表 2 にプロテイン加工した靭皮繊維の力学特性をまとめて示す．水酸化ナトリウムで retting 処理したケナフ繊維とフジ繊維について力学特性の改善されたことがわかる．特にフジ繊維では引張強度および弾性率について 100%以上の顕著な向上が認められた．

図 10 に引張試験後のフジ繊維の破断端を示す．プロテイン加工によって破断様式が脆性的になっていることがわかる．図 11 に，フジ繊維とジュート繊維の赤外吸収スペクトルを対比して示す．フジ繊維では 1730 cm^{-1} の吸収ピークが消失していることがわかる．このようなフジ繊維の表面特性の違いがケラチンとの相互作用に好影響し，力学特性の向上につながったと考えられる．

5．4　まとめ

リグノセルロース構造を有する靭皮繊維に対してケラチン加水分解物の親和性を力学特性の測定から評価したところ，まだ補強メカニズムについては不明な点もあるが，優れた特性改善が可能であることがわかった．靭皮繊維の品質管理において本研究成果の応用が期待される．

6．開発したタンパク加水分解物のホルムアルデヒド吸着能の評価

6．1　緒　言

タンパクとホルムアルデヒドとの反応については，アミノ酸と室温で反応し，末端 NH_2 基，塩基性アミノ酸（リジン，ヒスチジン）残基と反応する（$RNH_2 + HCHO \rightarrow RNHCH_2OH$, $R_1R_2NH + HCHO \rightarrow R_1R_2NCH_2OH$）ことが示されている[8-11]．また，システイン残基との反応($RSH + HCHO \rightarrow RSCH_2OH$)[12]，チロシン残基との反応（$ROH + HCHO \rightarrow ROCH_2OH$）[10]，等が報告されている．さらに，上記のいずれの反応においても，ホルムアルデヒドが付加した後，末端には OH 基が生成するので，そこに新たなホルムアルデヒドが付加重合すると考えられる（$ROH + n\ HCHO \rightarrow RO(CH_2O)_nH$）．

一方，これまで報告されているニワトリ羽毛のアミノ酸組成（表 3）[13-15]を用いてホルムアルデヒドの付加量を予測してみる．アミノ酸分析ではたいてい Cystine となっているが，測定で得られる値はハーフシスチンなので計算のためにシステインとした．

ホルムアルデヒドと反応するアミノ酸をアルギニン，システイン，ヒスチジン，リジン，セリン，チロシンとし，表 3 よりこれらアミノ酸のモル数を合算すると，L1 で 0.002835，L2 で 0.002619，L3 で 0.002767 となる．ホルムアルデヒドとタンパクの反応は 1：1 (等モル)で進行するから，1g の羽毛につき約 0.003mol のアミノ酸がホルムアルデヒドと反応することになる．モルを g になおすと 1g の羽毛は約 0.09g のホルムアルデヒドと反応することになる．

本研究では，JAS フローリングに対してプロテイン加工を行い，ケラチン加水分解物のホルムアルデヒド低減性能を調べた．

6．2　実　験

6．2．1　フロアー材におけるホルムアルデヒド低減性能試験

ニワトリの羽毛を１規定の水酸化ナトリウム水溶液で溶解（70℃，３時間）した後，酢酸で中和して 10 %のケラチン加水分解物を含む水溶液を準備した． JAS フローリングの小片を切り出し，ビニール袋内で１日間養生させた後，刷毛を用いてケラチン水溶液を塗布し，室温で３日間乾燥させた．その後，ガラスデシケーター法に準拠してホルムアルデヒド放散量の変化を測定した．

６．２．２　押入の棚板を用いたホルムアルデヒド低減性能試験

６．２．１で調製したケラチン加水分解物水溶液を用いて，実際の押入の棚板に塗布し，住宅環境でのホルムアルデヒド放散量の変化を測定した．

６．３　結　果

JAS フローリングに対するプロテイン加工によるホルムアルデヒド放散量の低減効果を調べたところ，処理直後においては 90%以上の除去効果が確認された．しかしながら時間の経過とともに低減効果が低くなり，１ヶ月経過後においては 60%程度，３ヶ月経過後においては 40%強となってしまった．つぎに，実際の押入の棚板についてケラチン加水分解物を塗布し，ホルムアルデヒド放散量の低減効果を調べたところ，１ヶ月後において約 60%の低減効果があった．低減効果を持続させるためには，含浸法によってケラチン加水分解物を定着させることが望ましいが，利便性を考えると，塗布するときに既存のホルムアルデヒドキャッチャー剤を併用することも検討する必要がある．

６．４　まとめ

今後，ケラチンの種類や処理条件の他，塗布による木材の色への影響，タンパク特有の臭い，等についても検討を進めていく予定である．

７．本研究のまとめ

プロテイン加工に用いるケラチン加水分解物は構造や分子量の異なる様々のオリゴペプチドの混合物であるために，その物性の解明がきわめて困難であるが，少なくとも本研究を通じてリグニンとの親和性がきわめて良好であることが明らかとなり，この性質を利用して，例えば，木材の細胞間マトリックスに非晶として存在するリグニンの周囲の欠陥を侵入したケラチン加水分解物が埋めて安定化できれば，処理材の力学性能の向上や寸法安定化に寄与できるのではないかと期待している．

なお，このような研究の機会をお与え下さいました（財）トステム建材産業振興財団に感謝申し上げます．

文　献

1. K.M.Arai, R.Takahashi, Y.Yokote, and K.Akahane, *Biochemica et Biophysica Acta*, **873**, 6 (1986).
2. R.D.B.Fraser, T.P.MacRae, D.A.D.Parry, and E.Suzuki, *Polymer*, **12**, 35 (1971).
3. M.Nagura, K.Saionji, and M.Tsukada, *J.Seric.Sci.Jpn.*, **61**, 42 (1992).
4. J.Marton and H.E.Sparks, *Tappi*, **50**, 7 (1967).
5. 井本　稔, "接着の基礎理論", 高分子刊行会, 京都, 1993, p.91.
6. T.Fujii, A.Tamai, and T.Hiroi, *Mokuzai Gakkaishi*, **34**, 261 (1988).
7. 則元　京, "木材の基礎科学"(日本木材加工技術協会関西支部編), 海青社, 1992, p.49.
8. P. Mason and J.C. Griffith, *Nature*, **203**, 484(1964).
9. R.G. Kallen and W.P. Jencks, *J. Biol. Chem.*, **241**, 5864(1966).
10. W.F. Happich, M.M. Taylor, and S.H. Feairheller, *Text. Res. J.*, 40, 768(1970).
11. G. Modica and M. Marzona, *Text. Res. J.*, **41**, 701(1971).
12. I.C. Watt and R. Morris, *Text. Res. J.*, **40**, 952(1970).
13. W.J.Ward, C.H.Binkley and N.S. Snell, *Text. Res. J.*, **25**, 314 (1955).
14. G. Pencho, *Bioresource Tech.*, **48**, 265 (1994).
15. 吉川正義, 豊田春和, 皮革化学, **15**, 180 (1970).

Table1 Shrikages of archaeological waterlogged wood specimens treated with duck feather hydrolysate of various concentrations.

Specimen	Solution, %	Shrinkage, %		
		Tangential	Radial	Cross Section
a	0	65.4	34.0	77.2
b	10	37.9	11.6	45.1
c	20	27.4	4.4	30.7
d	30	7.2	0.2	7.4
e	40	-3.1	-0.9	-4.0

Table 2 Tensile properties of bast fibres treated with feather keratin hydrolysate at 45 ℃ for 20min.

	Retting	Keratin	Strength	Breaking load, N	Elongation, %
Kenaf	Mechanical	–	0.19 N/tex	2.53	2.0
	4% NaOH	–	0.16	1.99	3.1
	4% NaOH	Duck	0.28	3.58	2.7
	4% NaOH	Chicken	0.21	2.61	2.6
Jute	Commercial	–	0.37 N/tex	0.87	2.5
		Duck	0.32	0.78	2.3
		Chicken	0.29	0.71	2.3
Wisteria	7% NaOH	–	156 MPa	0.41	2.2
	7% NaOH	Duck	380	1.04	2.9
	7% NaOH	Chicken	405	0.84	3.0

Table 3 Amino acid composition of chicken feather (g/100g)

	Mw	L1	L2	L3
Alanine	71.1	5.4	5.66	3.57
Arginine	156.2	6.88	6.74	6.45
Aspartic acid	115.1	5.82	6.8	5.44
Cysteine*	103.1	5.8	4.61	7.77
Glutamic acid	129.1	9.02	10.25	9.15
Glycine	57.1	7.2	7.66	5.81
Histidine	137.1	0.33	1.44	0.2
Isoleucine	113.2	5.3	4.92	5.01
leucine	113.2	7.44	8.43	7.18
Lysine	128.2	1	2.23	0.95
Methionine	131.2	0.38	0.64	0.59
Phenylalanine	147.2	4.65	5.22	4.69
Proline	97.1	10	9.08	10.03
Serine	87.1	14	11.44	12.1
Threonine	101.1	4.8	4.89	4.88
Tryptophan	186.2			0.25
Tyrsine	163.2	2	2.41	1.92
Valine	99.1	8.8	7.61	7.84

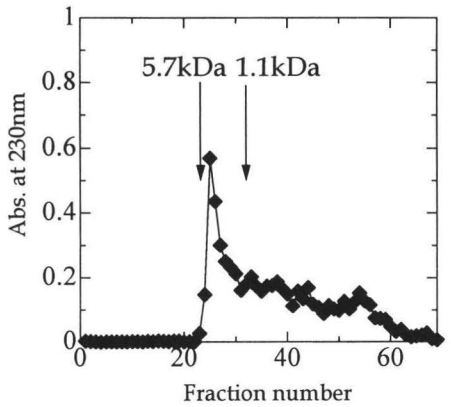


Fig.1 Gel filtration diagram of a duck feather hydrolysate using Sephadex G-25 fine, eluting with 0.05M phosphate buffer containing 0.3M NaCl at pH 7.0.

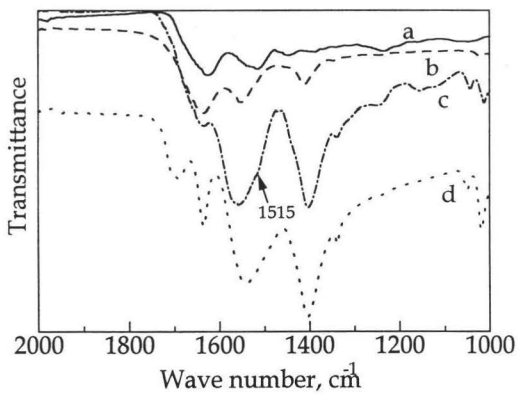


Fig. 2 Diamond-ATR-FTIR spectra for a, duck feather; b, duck feather hydrolyzed solution of 10 % prepared using 1N NaOH; c, duck feather hydrolysate powder obtained from b; d, sodium acetate.

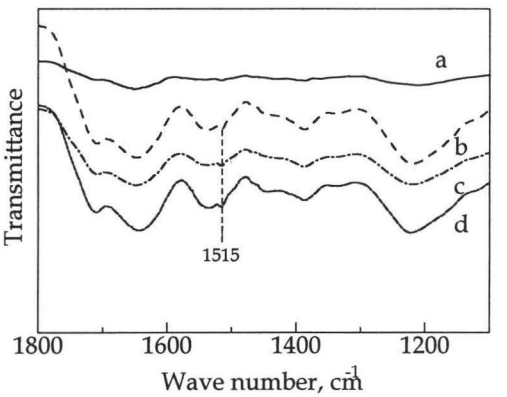


Fig. 3 Diamond-ATR-FTIR spectra for a, duck feather hydrolysate powder in Fig. 2; and the powder treated with acetic acid of b, 1 % ; c, 40 % ; d, 100 %.

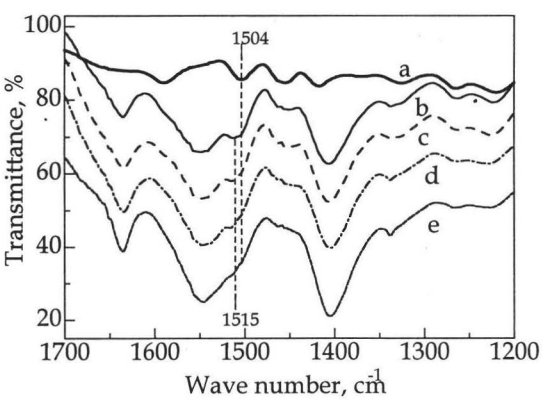


Fig. 4 Diamond-ATR-FTIR spectra for archaeological waterlogged wood specimens; a, dried without finishing treatment and treated with duck feather hydrolysate up to b, 10 %; c, 20 %; d, 30 %; e, 40 %.

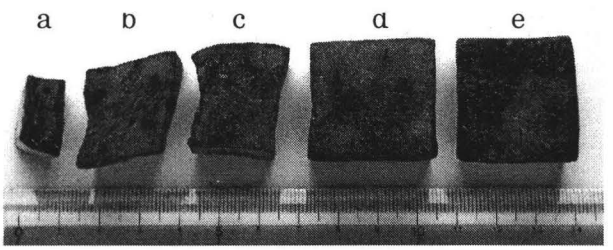


Fig.5 Appearance of archaeological waterlogged wood specimens dried: a, dried without finishing treatment and the specimens treated with duck feather hydrolysate of b, 10%, c, 20%, d, 30% and e, 40%.

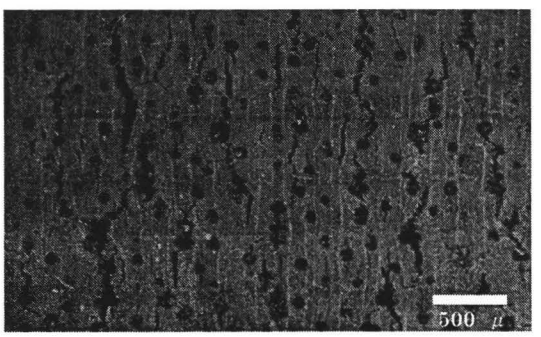


Fig.6 Optical micrograph for the surface in cross section of a wood specimen treated with a duck feather hydrolysate of 40%.

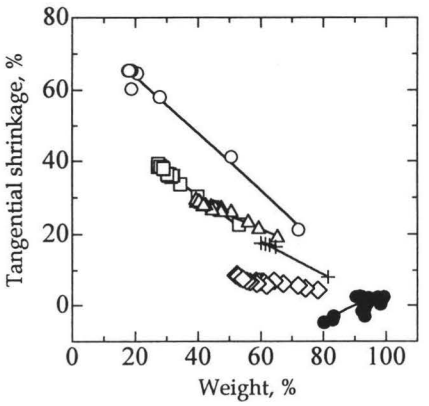


Fig.7 Relationships between tangential shrinkages and weights of wood specimens :○, dried without finishing treatment ; treated with duck feather hydrolysate of □, 10% ; △, 20% ; ◇, 30% ; ●, 40% ; and ＋, salt blank.

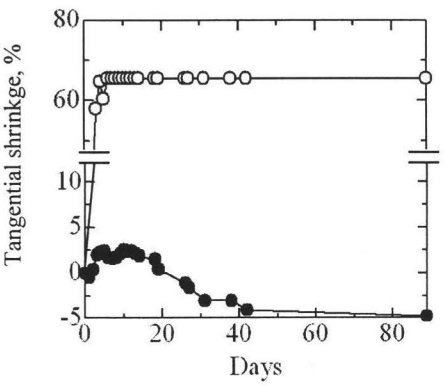


Fig.8 Shrinking behaviors in tangential direction through drying process for archaeological waterlogged wood specimens: ○, dried without finishing treatment ; ●, treated with a duck feather hydrolysate of 40%.

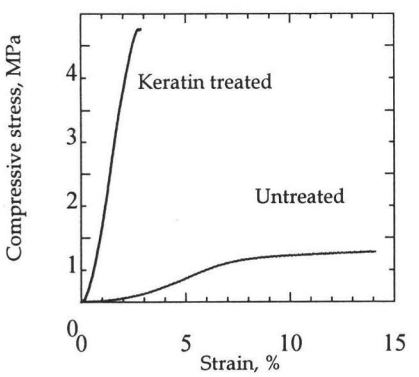


Fig.9 Compressive stress-strain curves of arhcaeological waterlogged wood specimens.

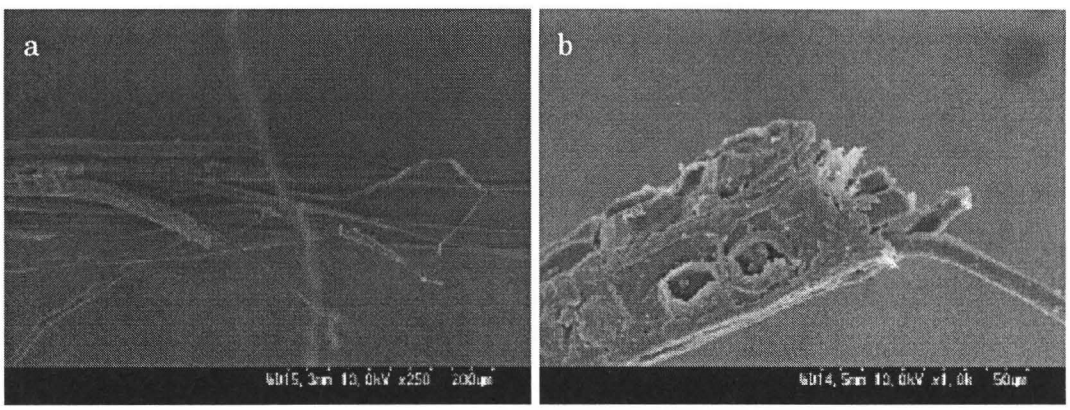


Fig. 10 Scanning electron micrographs for the broken end of wisteria fibres after tensile tests: a, control; and b, treated with chicken feather hydrolysate at 45 ℃ for 20min.

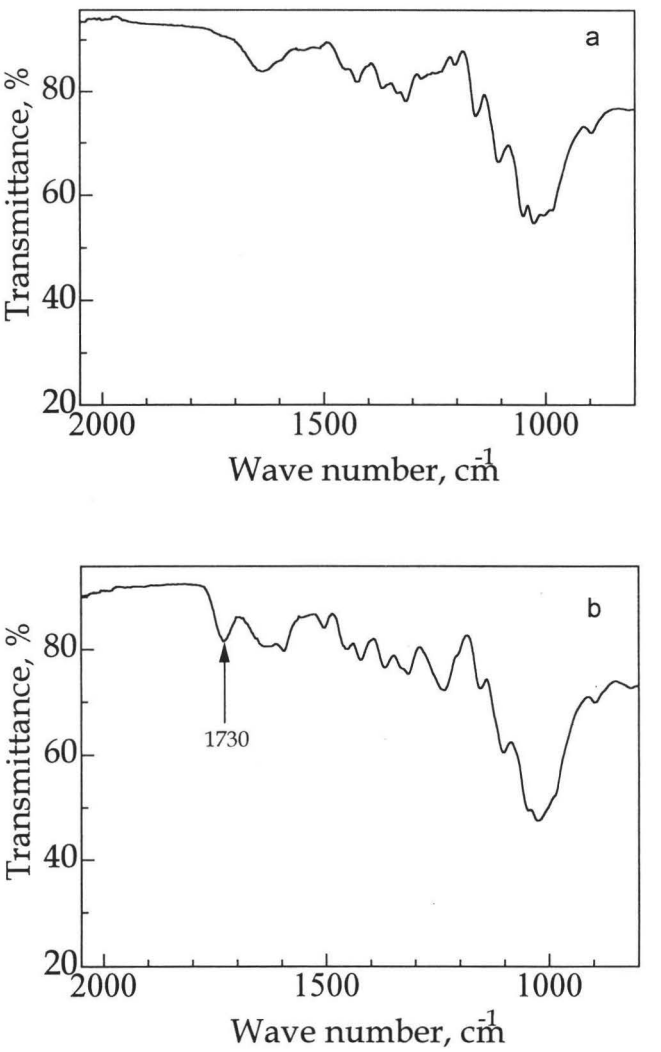


Fig. 11 Diamond-ATR-FTIR spectra for a, wisteria fibres; and b, jute fibres.

1-3 伝統的建材のにおい評価に基づく住宅内におい環境(スメルスケープ)設計法

大阪大学大学院工学研究科
助教授　山中俊夫

１．本研究の背景と目的

においはそもそも人間の生活にとって非常に多くの情報源として有用であり、特に住宅に用いられる畳や木材といった伝統的建築材料（以下、建材）のにおいは在室者の心理的な快適性に大きな影響を及ぼすと考えられるにも関わらず、現在話題のいわゆるシックハウスの問題においても、建材は室内化学物質汚染の原因としてその制御に関する議論に終始しており、心理的快適性の評価は全く行われていない現状である。化学物質として頻繁に取り上げられるのが揮発性有機化合物（VOC：Volatile Organic Compound）であるが、これには木材から発生するα-ピネンなどのフィトンチッド（森林浴の効果物質）等、必ずしも有害とは言えない物質も含まれており、全ての物質を排除する方向にある現在の研究動向は、これら善良なにおい物質までも駆逐し、住宅内から材料のにおいがなくなってしまう危険性がある。

建築はしばしば視覚的情報から判断される意匠性から評価されることが多いが、良い建築にとって建築内のにおいが重要な役割を担っている可能性は否定できない。本研究は、「建築、特に住宅にとってにおいは必要である」との基本的な考えに立脚し、においの心理的意味を明らかにし、住宅内におい環境（スメルスケープ）設計を目指すものである。

２．研究の方法

（１）伝統的建材を含む建築材料のにおいの持つ心理的影響

木材、合板、畳表、コンクリートから発生するにおいに関して、被験者を用いた主観評価実験によりそのにおいの評価構造のモデルを作成する。

（２）建築材料のにおい評価における材料名の告知の有無が心理評価に与える影響

建築材料のにおい評価においては、臭気試料の内容を被験者に告知する場合と一切の情報を告知しない場合で、その材料に対するイメージや好き嫌いなどが評価に影響を与えることが考えられる。その影響が大きく見られる可能性が高い建築材料として、木材、畳表、コンクリートを選定し、被験者を用いた主観評価実験において、告知条件によってどのような評価の差異が生じるかを把握する。

（３）スメルスケープの概念の確立に向けた「生活空間のにおい評価手法」の検討

既往研究を発展させて、一般的な住宅内におい環境（スメルスケープ）設計に用いるためには、まず「スメルスケープ」ないし「におい評価手法」を確立する必要があるとの考えの元で、この研究を一般化するための検討を行う。

具体的には、においに対する意識のアンケート調査により、におい環境を知覚する際の重要な要素を明らかにし、その知覚構造に関して検討した上で、「におい環境評価手法」を提案する。

３．研究の計画と進捗状況

本研究は既往研究の継続研究であり、今後も同様の継続研究を行う予定であるが、助成研究の計画内容は助成年度中に終了した。

４．今までに得られた成果

４．１　伝統的建材を含む建築材料のにおいの持つ心理的影響

既往研究に続き、建築材料のにおいの持つ心理的影響に関する実験室での官能試験結果を整理した。対象材料は、木材、合板、畳表、コンクリートであり、木材としては建物に多く使用されるものとして、針葉樹からベイヒ、広葉樹からナラを選定し、合板はホルムアルデヒド放散量の規格(JAS)がFc0相当のものを用いている。チャンバーで採取した試料からの臭気を原臭として、成人男子学生10名をパネルとして、３点比較式臭袋法による閾値測定及び、においの主観評価を行った。においの主観評価項目は、においの強さ、においの快適性、においの嗜好性、建物内での生活活動を想定させたうえでのにおいの容認性、およびにおいの印象である。

（１）建築材料の選定

木材は代表的な針葉樹および広葉樹としてベイヒ、ナラを選んだ。合板は JAS 規格で Fc0 相当のもの、畳は畳表を用い、コンクリートは雨天時を想定して 150cc の水を含ませた（図 1.1)。

（２）実験概要

気密なチャンバーに試料を入れ、チャンバー内が十分臭気で満たされた 1 時間後に、ポンプを用いて試料臭気をサンプリングバッグに捕集した（図 1.2)。前述の 5 建材についてそれぞれ 1、3、10、30、100 倍の 5 段階（ベイヒは 300 倍も含めた 6 段階）の濃度に希釈した計 26 条件のにおい袋を、Ｔ＆Ｔオルファクトメータに合格した 22･26 歳の男子学生 10 名のパネルに順不同に提示し、表 1.1 の評価項目について評価させた。これを採取日の異なる試料臭気を用いて 3 回行った。ここで強さ、快適性の評価に際しては、大迫の研究[1]で等間隔性が高いとされている 6 段階尺度、9 段階尺度とし、嗜好性は快適性の尺度を置き換えた 9 段階尺度、印象は既往の研究[2]より抽出された 4 因子（親しみ、新鮮さ、複雑さ、温かさ）を代表する形容詞対を選択し、各 7 段階尺度とした。容認性については、そのにおいのする室での長時間の在室を想定させた上で容認の可否を回答させた。また主観評価実験に続き、嗅覚疲労が十分回復できると思われる 15 分経過後に、試料臭気の臭気濃度を求めるために三点比較式臭袋法試験を 3 回の試料臭気について行った。

（３）実験結果と考察

（３）･１　臭気濃度と各評価項目の関係

考察に用いた臭気濃度は 3 回の実験で得られた臭気濃度の幾何平均とし、各心理評価値は、1 回の実験で得られた 10 名による評価値の上下 2 個ずつをカットし、それらを 3 回分合わせた計 18 個とした。図 1.3 に臭気濃度と臭気強度及び非容認者率との関係を示す。図は度数を円の面積、中央値を折れ線で表している。強さにおける直線は評価値の平均値を最小二乗法により回帰したものであり、容認性における曲線は両軸の関係をロジットモデルで回帰したもの（実線)、及び光田[3]による生ごみ臭における回帰線（点線）を表している。

１）臭気濃度と強さとの関係

臭気濃度が高いほど臭気強度が高くなる関係にある。回帰線はいずれの建築材料でも比較的合っており、建築材料ごとに傾きが異なる。

２）臭気濃度と容認性の関係

全ての建築材料で、臭気濃度が高いほど非容認者率が高くなる関係にある。また合板では非容認者率は低く、畳では高い傾向にある。ロジットモデルは、ベイヒ、ナラ、コンクリートで適用が可能と考えられるが、畳では適用できる可能性は示唆されるものの更なるデータの蓄積が必要と思われる。生ごみ臭との比較では、コンクリートが最も近い傾向を示す。

３）臭気濃度とその他の評価との関係

図は省略したが、印象の 4 因子では「親しみ」で負、「新鮮さ」「複雑さ」では正の相関があり、「温かさ」では相関は見られなかった。快・不快度、嗜好度では臭気濃度と負の相関が見られた。

（3）・2　各評価項目間の関係

図 1.4 は全ての評価値を用いた考察であり、各尺度を軸とし、円の面積で度数、r_s値でスピアマンの順位相関係数の値を示す。図 1.5 は 18 個の評価値による考察であり、平均値をプロットで示す。また臭気強度が臭気濃度の対数に比例し、非容認者率と臭気濃度の対数の関係がロジットモデルに従うとして、臭気強度と非容認者率の関係を示す式を誘導して回帰したものも示す。

1）強さ、快適性、嗜好性間の関係

臭気強度と快・不快度の関係では、畳で強い負の相関、コンクリートでやや強い負の相関がある（図 1.4）。図は省略したが、臭気強度と嗜好度の関係は、臭気強度と快・不快度の関係に近く、快・不快度と嗜好度の関係では強い正の相関があった。

2）印象と強さ、快適性、嗜好性との関係

図は省略したが、臭気強度と「親しみ」では、一部でやや強い負の相関、「新鮮さ」ではやや強い正の相関、「複雑さ」「温かさ」では相関は見られなかった。快・不快度と「親しみ」「新鮮さ」ではかなり強い正の相関、「温かさ」では一部でやや強い正の相関があり、「複雑さ」では関係は見られなかった。嗜好度との関係は、快・不快度との関係と近い結果であった。

3）強さと容認性の関係

平均値と回帰線は比較的よく合っており、ロジットモデルは十分適用できると考えられる（図 1.5）。これより、臭気濃度を算定せずとも臭気強度から非容認者率の予測が可能であると言える。

4）その他の項目と容認性の関係

図は省略したが、印象の各因子と非容認者率の関係は「親しみ」で負の相関、「複雑さ」で正の相関があり、「新鮮さ」「温かさ」で相関は見られなかった。快・不快度、嗜好度と非容認者率の関係は、快・不快度で負の相関、嗜好度でも同様の関係であった。

（3）・3　評価構造の把握

以上の考察より心理評価構造の把握を試みた。臭気濃度と建築材料の種類を評価構造の外的要因と位置づけ、そのにおいに長時間晒された上での許容の可否を最終的な評価とし、その間で強さ、印象、快適性、嗜好性がどの位置にあるかを重回帰分析を用いて考察した。ここで、重回帰分析で用いる各変数は間隔尺度である必要があるため、本研究で用いた尺度の等間隔性を検討するため、前項で用いたスピアマンの順位相関係数に加え、各尺度間の積率相関係数を求めた。順位相関係数と積率相関係数間の積率相関係数は表 1.2 となり、各評価尺度は間隔尺度として取り扱っても問題はないと考えた。嗜好性は、快適性と並列な関係であると考え、重回帰分析を容認性を目的変数、強さ、快適性を説明変数として行った結果(1)と、快適性を目的変数、印象の 4 因子を説明変数として行った結果(2)から、図 1.6 のような評価構造を作成した。

【参考文献（4．1）】

1）大迫政浩：嗅覚のモデル化にもとづく環境臭気の評価に関する基礎的研究、京都大学博士論文、1991年

2）冨田武志、山中俊夫、甲谷寿史、松尾真臣：建築材料から発生するにおいの主観評価（その4）においの印象及び評価項目間の関係、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）D-2、pp. 959-960、2001年9月

3）光田恵：住環境における生ごみ臭の評価と制御方法に関する研究、奈良女子大学博士論文、1996

４．２　建築材料のにおい評価における材料名の告知の有無が心理評価に与える影響

４．１において建築材料のにおいの心理評価構造の検討を行った中で、畳のにおいがかなり悪臭側に評価される傾向が見られた。一般的にはよいにおいとされるにおいが悪臭側に評価された結果より、におい袋内の試料に関する情報の有無が、においの評価に影響を及ぼす可能性が考えられた。

そこで、建築材料のにおいに関して臭気試料の内容について被験者に告知する条件（以下告知とする）と一切の情報を告知しない条件（以下非告知とする）での主観評価実験を行い、告知条件によってどのような評価の差異が生じるかを把握する。

（１）建築材料の選定

影響が大きく見られる可能性が高い建築材料として、木材、畳、コンクリートを選定した（図2.1）。木材は建築に多く使用されるベイヒ（無垢材）を選定した。コンクリートはにおいの強い雨天時を想定して180ccの水を均一にかけた。

（２）実験概要

（２）・１　試料臭気の採取

気密なアクリル製チャンバーの中に試料を入れ、ファンを用いて臭気が一様になるようチャンバー内の空気を撹拌した。チャンバー内が十分臭気で満たされた1時間後にサンプリングバッグを取り付けて、ポンプを用いて試料臭気を捕集した。臭気が流出するためチャンバー内が負圧となるが、外気を取り入れる袋を設置して外気流入分で負圧を解消し、隙間から外気が流入するのを防いだ（図2.2）。

（２）・２　主観評価実験

実験は2003年11月に温度25℃、湿度50%に設定した人工環境実験室で行い、前述の3建材についてそれぞれ1、3、10、30、100倍の5段階の濃度に希釈した計15条件のにおい袋を、T&Tオルファクトメータに合格した20･23歳の男子学生4名、女子学生4名の計8名の被験者に順不同に提示し、表2.1の項目について評価させた。これを採取日の異なる試料臭気を用いて各告知条件について各3回ずつ行った。

非告知ではインストラクションで「あるにおいです」と口述して実験を行い、告知では各試料提示時に建材の名称を口頭で伝えて実験を行った。また、実験は非告知終了後に告知を行った。評価項目は、においの強さ、快適性については大迫ら[1)]の研究より等間隔性が高いと考えられる尺度を選択し、印象は、既往の研究[2)]を踏まえて4つの因子（「親しみ」、「新鮮さ」、「複雑さ」、「温かさ」）より、最もその因子を代表していると思われる形容詞対を選択した。容認性では、長時間そのにおいのする室にいることを想起させた上での許容の可否を回答させた。また、被験者には適切な報酬を支払った。

（２）・３　三点比較式臭袋法

主観評価実験に続き、嗅覚疲労が十分回復できると思われる15分の間隔をあけて、原臭の臭気濃度を求めるため、三点比較式臭袋法を行った。この実験を各条件3回ずつそれぞれの試料臭気について行った。

（３）結果と考察

（３）・１　原臭の臭気濃度

三点比較式臭袋法より得られた結果を基に臭気濃度を算出した結果を表2.2と表2.3に示す。各告知条件は10日程度で行っており、両条件合わせると約1ヶ月の日数に渡っているため、原臭採取用建築材料の臭気発生量が近い状態であろう告知条件ごとに原臭濃度は異なるものと考えた。次に、実験回数ごとの臭気濃度のばらつきは、パネルの閾値のばらつきと原臭のばらつきが要因として考えられるが、今回の結果は両条件とも原臭の臭気濃度の対数の平均値からの偏差がほぼ10%以内に収まっており、パネルのばらつきに関する岩崎ら[3)]の調査結果より、臭気濃度のばらつきはパネルの閾値のばらつきとすることが可能である。よって3回の臭気濃度の幾何平均を臭気濃度として用いる。

（３）・２　臭気濃度とにおいの強さとの関係

図2.3に非告知の臭気濃度と臭気強度の関係を示す。横軸に臭気濃度、縦軸に臭気強度をとり、円の面積が評価値の個数を示している。プロットは評価値の50パーセンタイルである。

パネルの評価値にはばらつきが見られるが、個人内、個人間のばらつきは同程度であり、各告知条件3回の実験で得られた計24個の評価値の50パーセンタイルで表した。以下、実験によって得られた臭気濃度と各評価項目との関係を告知条件ごとに比較して以下に示す。横軸は臭気濃度、縦軸は各評価尺度、プロットは50パーセンタイルとした。

図2.4に臭気濃度と臭気強度との関係を示す。全ての建築材料で臭気濃度が高くなるほどにおいを強く感じる傾向が見られる。告知条件ごとの比較では、告知のほうが非告知よりも強く感じる傾向が見られる。これは、空気質評価への注意喚起により臭気強度評価に差異が見られた岩下ら[4]の知見に近い傾向が得られた可能性が示唆される。

（3）・3　臭気濃度とにおいの印象との関係

臭気濃度と各印象との関係（図2.5-2.8）では、わずかに傾向に差異は見られるが、概ねベイヒでは臭気濃度が高くなるほど「親しみにくい」評価となり、畳では「親しみやすい」、「生き生きした」、「複雑な」評価となり、コンクリートでは「親しみにくい」、「生気のない」、「冷たい」評価となる傾向が見られる。告知条件間では、ベイヒでは告知の方が若干「親しみにくい」、「複雑な」側の評価になり、畳では告知の方が「親しみやすい」、「生き生きした」、「複雑な」側の評価になり、コンクリートでは告知の方が「親しみにくい」、「生気のない」、「単純な」、「冷たい」側の評価になる傾向が見られた。特に畳とコンクリートでは告知条件の評価傾向が異なっており、パネルが各建築材料に対して抱いている意識の違いが評価に影響している可能性が考えられる。

（3）・4　臭気濃度とにおいの快適性との関係

図2.9に臭気濃度と快・不快度との関係を示す。ベイヒでは臭気濃度が高くなるほどにおいを不快に感じる傾向が見られ、畳とコンクリートでは臭気濃度によらず、ほぼ横ばいの傾向が見られる。告知条件ごとの比較では、畳では告知のほうが高い評価になっているが、コンクリートでは告知の方が若干低い評価になっている。ベイヒではほとんど差異は見られない。

（3）・5　臭気濃度とにおいの容認性との関係

図2.10に臭気濃度と非容認率との関係を示す。縦軸は非容認率で表しており、プロットは全評価値のうち受け入れられないと評価された割合で示す。全建築材料で、臭気濃度が高くなるほど非容認率が高くなる傾向が見られる。告知条件ごとの比較では、ベイヒでは告知条件のほうが非容認率が高くなっており、コンクリートでも告知条件のほうが非容認率が多少高くなっている傾向が見られる。畳では告知のほうが非容認率が低くなっている傾向が見られる。畳では、告知で快・不快度が高く、非容認率が低くなり、コンクリートでも快・不快度が低く、非容認率が高くなる傾向にあり、快・不快度と非容認率が負の相関にあることがわかる。しかしベイヒでは、告知で快・不快度にほとんど差異は見られないが、非容認率は高くなっている。

（4）まとめ

パネルににおい袋内試料の情報を与えるか否かで、においの主観評価に差異が見られることがわかった。今後は、試料名の告知を受けなくてもにおいで認知できたパネルとそうでないパネルの評価の差異の検討を行い、パネルがなぜ告知を受けて今回の結果に見られるように評価を変えるのか、被験者へのインタビューをもとに明らかにしていく予定である。

【参考文献（4．2）】

1）大迫政浩：嗅感覚のモデル化にもとづく環境臭気の評価に関する基礎的研究，京都大学博士論文，1991

2）冨田武志，山中俊夫，甲谷寿史，松尾真臣：建材から発生するにおいの印象評価，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，第30回，pp.145-148，2001.3

3）岩崎好陽：臭気の嗅覚測定法-三点比較式臭袋法測定マニュアル-，(社)臭気対策研究協会，1997

4）合原妙美，岩下剛：空気質評価への注意喚起が臭気強度及び許容度の申告値に及ぼす影響，日本建築学会環境系論文集，No.567，pp.87-91，2003.5

4．3　スメルスケープの概念の確立に向けた「生活空間のにおい評価手法」に関する検討

これまで、スメルスケープの概念の確立に向けて、研究を継続して行ってきた。これらを発展させて、一般的な住宅内におい環境（スメルスケープ）設計に用いるためには、まず「スメルスケープ」ないし「におい評価手法」を確立する必要があるとの考えの元で、この研究を一般化するために以下の検討を行った。

まず、においに対する意識のアンケート調査により、におい環境を知覚する際の重要な要素を明らかにし、その知覚構造に関して検討した。

次に、外部環境を例にして、兵庫県内の地域特性の異なる４地域において、生活圏内のにおい環境を、居住者に対するアンケート調査及び外来者パネルによる調査により明らかにした。居住者には記憶しているにおい、外来者パネルには知覚したにおいの種類、説明、印象を自由記述させたうえで、そのにおいの強さ、快適性、嗜好性、頻度、容認性を評価させ、またにおいの分布範囲を地図中に記入させた。

最後にこれらの比較を行った上で、例えば居住者の評価を外来者で代替できるものは、外来者が行うこととし、におい環境を、においの種類、時間帯、季節、嗜好性、容認性、空間分布から把握する「におい環境評価手法」を提案した。

（１）調査手法

調査対象地域は兵庫県尼崎市、西宮市、芦屋市、神戸市東灘区の 4 地域とした。住民への調査については 2001 年 12 月 10･16 日にアンケートを配布した。パネル調査については 2002 年 9 月 24, 25 日に T&T オルファクトメーター試験に合格した本学学生 12･14 名にアンケート配布範囲とほぼ同じ範囲を 2 時間程度歩かせ、知覚したにおいについて評価させた。

住民には記憶しているにおい、外来者パネルには調査対象地域で実際に知覚したにおいの種類, 説明, 印象を自由記述で記述させた上で、そのにおいの強さ, 快適性, 嗜好性, 頻度, 容認性を言語評定尺度による選択回答方式で評価させ、またにおいの分布範囲を地図中に記入させた。なお頻度については住民にのみ回答させた。アンケート配布範囲及び外来者パネル調査範囲と配布した地図の範囲を図 3.1 に、使用した言語評定尺度を表 3.1 に示す。

（２）調査結果

（２）･１　においの種類

住民と外来者パネルの調査で得られたにおいを発生源物質ごとに分類した。各分類に含まれるにおいの比率について両調査の結果を比較したものを図 3.2 に示す。西宮以外では両調査間に大きな差は見られず、住民と外来者が知覚するにおいの種類はほぼ同様と言える。

（２）･２　においの説明

においの説明に対する回答から、時間、記憶、心理・生理影響が得られた。それぞれの記述語例を表 3.2 に示す。これらの分類に含まれる記述語数の比率を両調査間で比較したものを図 3.3 に示す。外来者パネルの調査結果はほとんどが心理・生理影響に関するもので、当然のことながら時間に関する記述は見られなかった。

次に心理・生理影響について両調査を比較したものを図 3.4 に示す。全地域で両調査間に大きな差が見られ、心理・生理影響については住民と外来者で異なっていると言える。

（２）･３　においの印象

発生源物質による分類ごとのにおいの印象の比率について両調査を比較したものを示す(図 3.5)。動物、その他、不特定以外の分類については住民と外来者である程度同様な印象が得られている。

（２）･４　においの分布範囲

においの分布範囲を表す領域を、発生源物質ごとにデータを重ねたものについて考察する。図 3.6 以降で示す住民の調査結果に基づく地図中での網掛け部の濃さは、その場所に同じ種類のにおいが多く回答されたことを意味する。外来者パネルの調査結果に基づく地図では網掛け部に濃淡の差はなく、単に外来者の知覚したにおいの分布範囲のみを示している。また記述数の多いものについて地図中ににおいの種類を示した。本報では記述数の多かった自然物、たべもの、廃棄物について考察を行う。

自然を発生源物質とするにおいについて(図 3.6)、尼崎では他の地域に比べにおいの知覚数が少ない。西宮では住民、外来者共に畑のある地域で「畑」「草木」「土」などのにおいを

多く知覚している。芦屋では住民、外来者共に川沿いと住宅地近辺で「川」「草木」「土」のにおいを多く知覚している。住民は他の地域に比べ自然を発生源物質とするにおいを広範囲で多く知覚していることが特徴的である。神戸でも川沿いににおいが集中している。また住民は住宅地のやや南側に「海」のにおいを広範囲で多く知覚していることが特徴的である。

たべものを発生源物質とするにおいについて(図 3.7)、尼崎と芦屋では住民、外来者共に駅前、商店街といった比較的狭い範囲ににおいが集中している。西宮では住民が住宅地より南側の工業地域で「ビール」のにおいを広範囲で知覚している。神戸では住民、外来者共に地域の伝統産業である「酒」のにおいを多く知覚している。

廃棄物を発生源物質とするにおいについて(図 3.8)、すべての地域で住民、外来者共に主要幹線道路沿いで「排気ガス」のにおいを強く感じている。神戸では住民が住宅地の南側にある工業地域付近で「ゴミ」「工場」「煙」といったにおいを広範囲で多く知覚しているが、外来者にはあまり知覚されていないことから、時間的な影響を受けやすいにおいであることが推察される。

最後に、発生源物質による分類ごとのにおいの強さ、快適性、嗜好性の評価は住民と外来者で大きく異なっており、容認性は住民と外来者の評価が約半数の分類で一致していたことを付記する。

（3）におい環境評価手法

におい環境を住民が捉えるものと定義した上で、これまでの比較・検討より得られた結果からにおい環境評価手法を提案する。

表 3.3 に、におい環境評価手法の評価項目および使用する言語評定尺度を示す。においの種類、分布範囲については住民の記憶の中で曖昧になっている現状のにおいについての情報を補うために外来者パネルによる調査も必要である。においの印象については住民と外来者の評価がある程度一致したため外来者パネルによる調査が可能であると思われる。においの説明については住民のみ把握可能である時間に関して新たに評価項目を設けた。その他の項目については住民と外来者で評価が異なっており、住民に対する調査が不可欠であると言え、特に重要であると判断した嗜好性、容認性についてのみ評価項目として採用することとする。

（4）まとめ

住民、外来者の両側面からにおい環境を把握し、比較検討を行った結果より、におい環境評価手法を提案した。この評価手法で得られた情報をデータベースとし、適宜必要な情報を取り出すことで、地域のにおい環境を把握することが可能であると思われる。

5．まとめと今後の展望

4．1・3であげた通り、伝統的建材を含む建築材料の基本的なにおい評価によるにおいの心理的影響に関する検討を行った上で、特に畳に代表される伝統的建材のにおい評価において問題であった、材料名の告知の有無が心理評価に与える影響を把握し、最後にスメルスケープの概念の確立に向けた「生活空間のにおい評価手法」の検討を行い、それぞれの内容に関して、十分な成果が得られた。

本研究は、筆者らの一連のにおいに関する研究の中で行われたものであり、今後も継続した研究を行う所存である。特に、その分かりやすさから、スメルスケープの概念をまず地域の住環境において確立することを目的としたが、今後は、建築材料の基本的なにおい評価の結果を基にして、最終目的である「住宅内環境におけるスメルスケープ」の概念を確立するための検討を行う予定である。

6．研究発表の実績及び予定

本研究成果は、以下で公表した

4．1に関して

・竹村明久、山中俊夫、甲谷寿史：建築材料から発生するにおいの主観評価（その1)においの評価構造に関する考察、日本建築学会近畿支部研究報告集第42号・環境系、pp. 189-192、2002. 6

・竹村明久、山中俊夫、甲谷寿史：建築材料から発生するにおいの主観評価(その2)木材、畳、コンクリートのにおいに関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2、pp. 951-952、2002. 8

4．2に関して

・竹村明久，相良和伸，山中俊夫，甲谷寿史，光田　恵，藤原美紗子：におい袋法における試料名告知の有無が主観評価結果に及ぼす影響、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp. 97-100、2004. 3

・藤原美紗子，相良和伸，山中俊夫，甲谷寿史，光田　恵：試料名告知の有無及び性差が建築材料から発生するにおいの心理評価に及ぼす影響、日本建築学会近畿支部研究報告集 第44号 環境系，pp. 197-200、2004. 6

4．3に関して

・福本健一、山中俊夫、甲谷寿史、松尾真臣：生活環境におけるにおいの心象風景に関する研究（その3）調査概要およびにおいの評価に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1，pp. 719-720、2002. 8

・松尾真臣、山中俊夫、甲谷寿史、福本健一：生活環境におけるにおいの心象風景に関する研究（その4）においの分布性状に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1、pp. 721-722、2002. 8

・松尾真臣、山中俊夫、甲谷寿史：生活環境を構成するにおいに関する調査研究　住民の記憶するにおいと外来者の知覚するにおいとの比較、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究会発表論文集、第 32 回、pp. 31-34、2003. 3

謝辞

本研究は第10回財団法人トステム建材産業振興財団の研究助成によるものであり、関係各位に深く感謝いたします。

共同研究者

大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻	助教授	山中俊夫
大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻	助手	甲谷寿史
大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻	博士前期課程（研究当時）	松尾真臣
大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻	博士前期課程（研究当時）	竹村明久
大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻	博士前期課程（研究当時）	福本健一
大阪大学工学部地球総合工学科	学部生（研究当時）	前　潤
大阪大学工学部地球総合工学科	学部生	藤原美沙子

以上

図表　4．1　伝統的建材を含む建築材料のにおいの持つ心理的影響

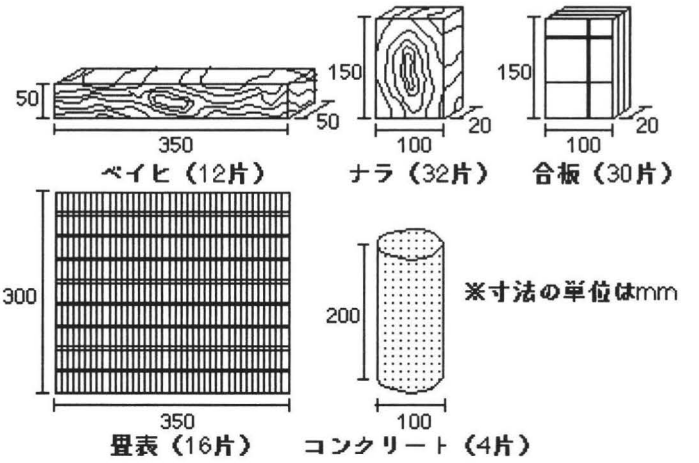


図 1.1　建築材料の大きさと個数

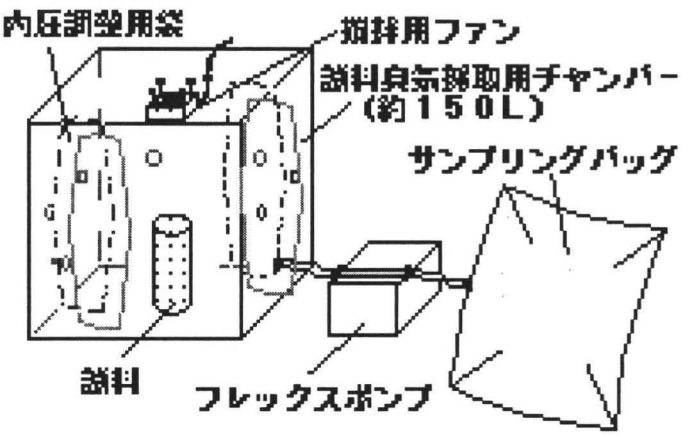


図 1.2　試料臭気採取装置

表 1.1　評価項目

強さ	快適性	嗜好性
無臭	極端に不快	極端に嫌い
弱いにおい	かなり不快	かなり嫌い
らくに感知できるにおい	不快	嫌い
若干強いにおい	やや不快	やや嫌い
強いにおい	快でも不快でもない	好きでも嫌いでもない
強烈なにおい	やや快	やや好き
容認性	快	好き
受け入れられない	かなり快	かなり好き
受け入れられる	極端に快	極端に好き

印象

	非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	
親しみにくい								親しみやすい
生気のない								生き生きした
単純な								複雑な
冷たい								温かい

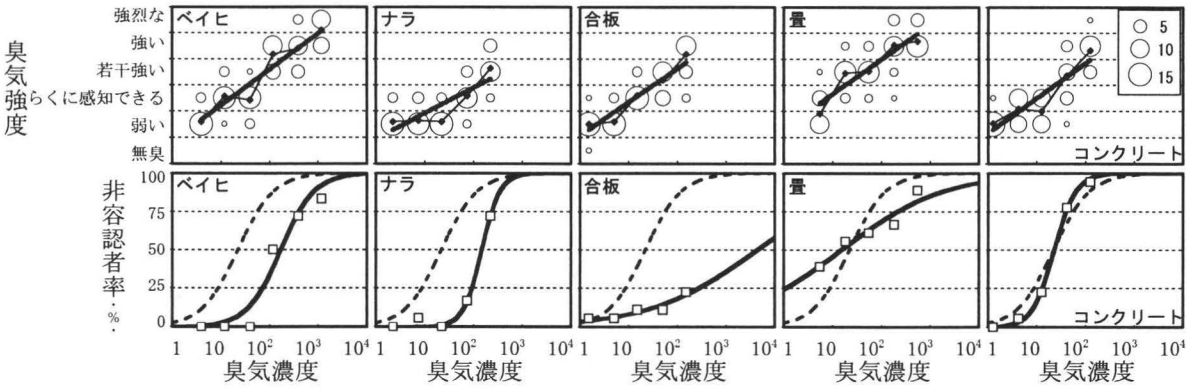


図 1.3　建築材料の大きさと個数

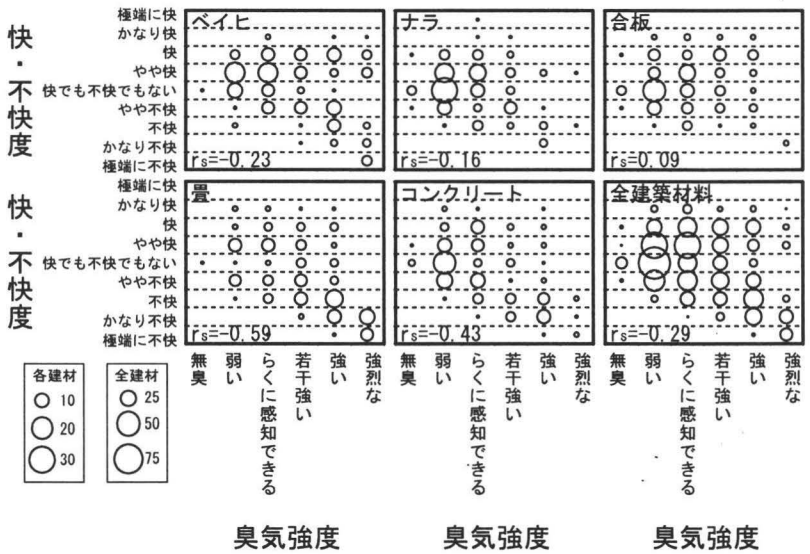


図 1.4　臭気強度と快・不快度との関係

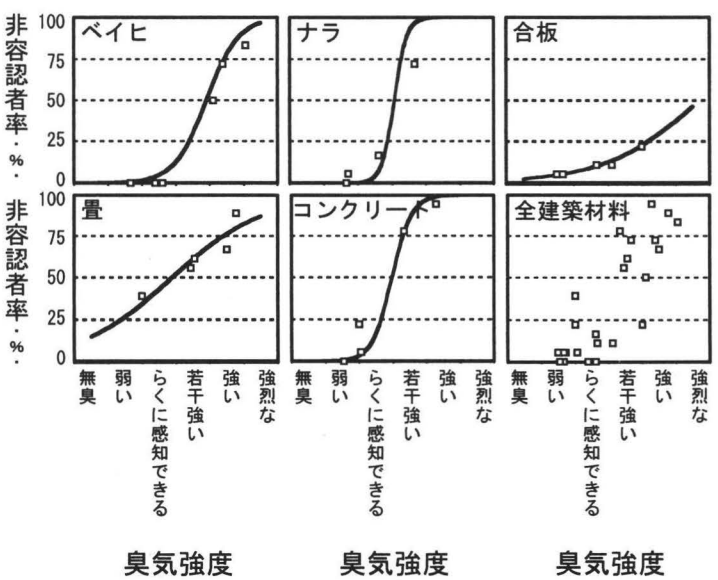


図 1.5　臭気強度と快・不快度との関係

表1.2　順位相関係数と積率相関係数間の積率相関係数

強さ－親しみ	0.990
強さ－新鮮さ	0.949
強さ－複雑さ	0.961
強さ－温かさ	0.992
快適性－親しみ	0.980
快適性－新鮮さ	0.979
快適性－複雑さ	0.989
快適性－温かさ	0.996
嗜好性－親しみ	0.982
嗜好性－新鮮さ	0.977
嗜好性－複雑さ	0.995
嗜好性－温かさ	0.998
強さ－快適性	0.984
強さ－嗜好性	0.982
快適性－嗜好性	0.977

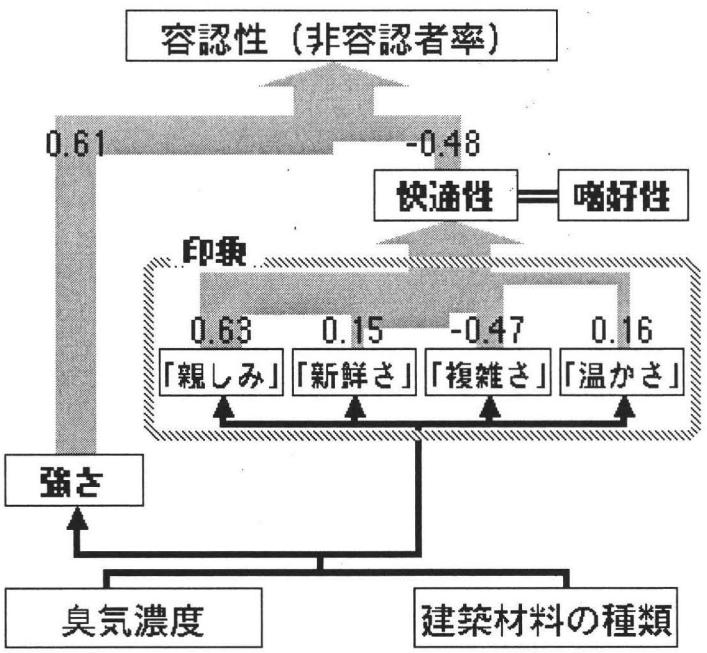


図 1.6　建築材料のにおいの評価構造
（※図中の数値は各重回帰分析における標準偏回帰係数を表している）

図表　4．1　建築材料のにおい評価における材料名の告知の有無が心理評価に与える影響

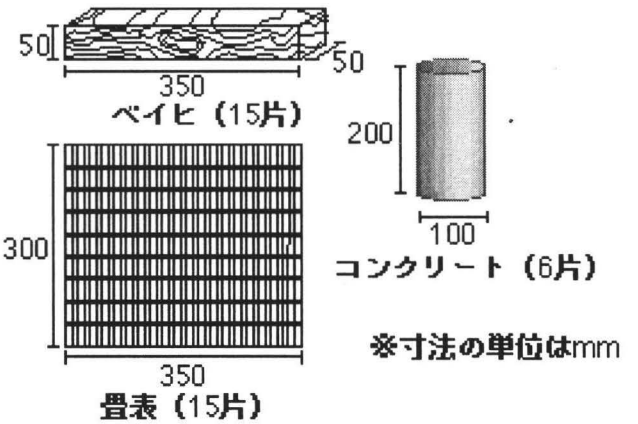


図 2.1　用いた建築材料

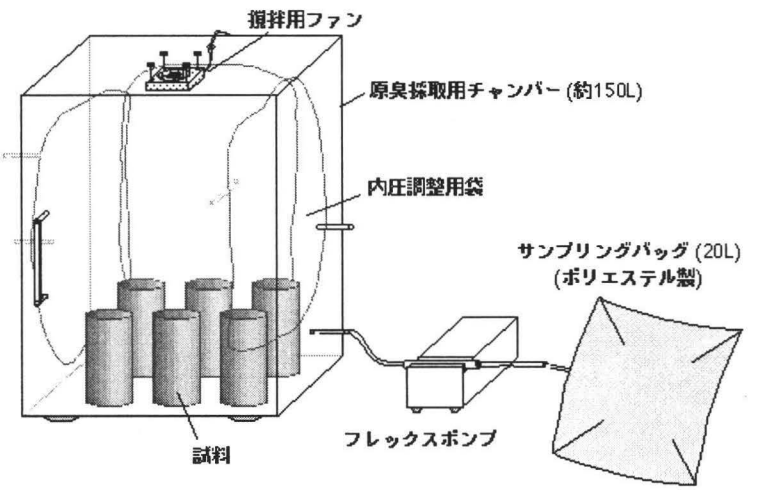


図 2.2　原臭採取装置

表 2.1　評価項目

においの強さ	においの快適性
無臭	極端に不快
弱いにおい	かなり不快
らくに感知できるにおい	不快
若干強いにおい	やや不快
強いにおい	快でも不快でもない
強烈なにおい	やや快
においの容認性	快
受け入れられない	かなり快
受け入れられる	極端に快

においの印象

	非常に	かなり	やや	どちらでもない	やや	かなり	非常に	
親しみにくい								親しみやすい
生気のない								生き生きした
単純な								複雑な
冷たい								温かい

表 2.2　臭気濃度の算出結果（非告知条件）

試料	回数	臭気濃度	幾何平均した臭気濃度	平均値との偏差(%)
ベイヒ	1	174		0%
	2	174	174	0%
	3	174		0%
畳	1	454		2%
	2	309	399	−4%
	3	454		2%
コンクリート	1	174		4%
	2	118	143	−4%
	3	143		0%

＊偏差は臭気濃度の対数に対してのもの

表 2.3　臭気濃度の算出結果（告知条件）

試料	回数	臭気濃度	対数平均した臭気濃度	平均値との偏差(%)
ベイヒ	1	309		−7%
	2	454	484	−1%
	3	807		8%
畳	1	550		−4%
	2	1434	710	11%
	3	454		−7%
コンクリート	1	118		0%
	2	98	118	−4%
	3	143		4%

＊偏差は臭気濃度の対数に対してのもの

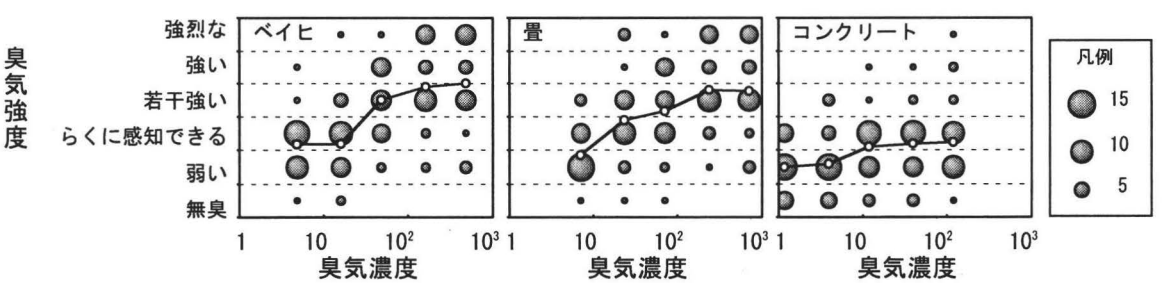


図 2.3　評価値の分布（臭気濃度と臭気強度との関係・非告知）

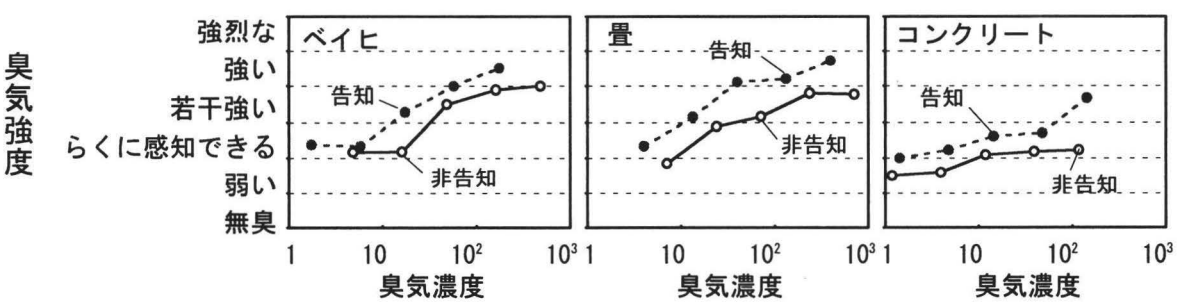


図 2.4　臭気濃度と臭気強度との関係（告知条件比較）

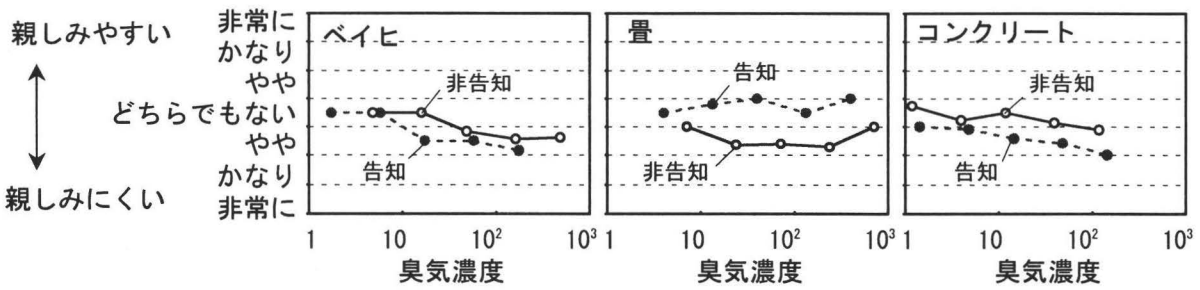


図 2.5　臭気濃度と「親しみ」との関係（告知条件比較）

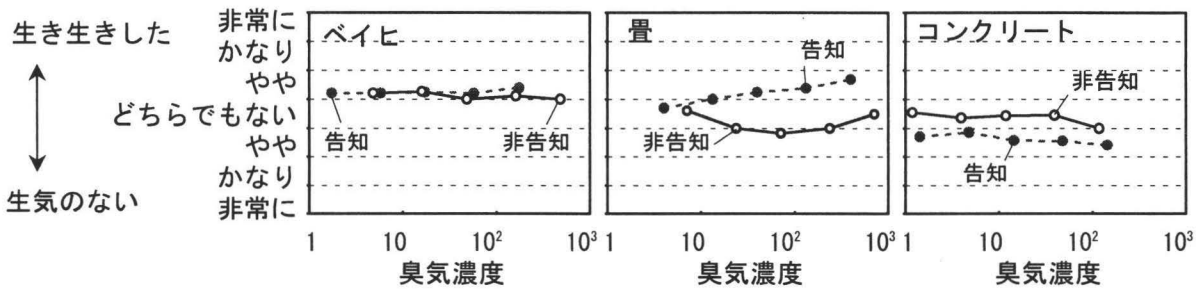


図 2.6　臭気濃度と「新鮮さ」との関係（告知条件比較）

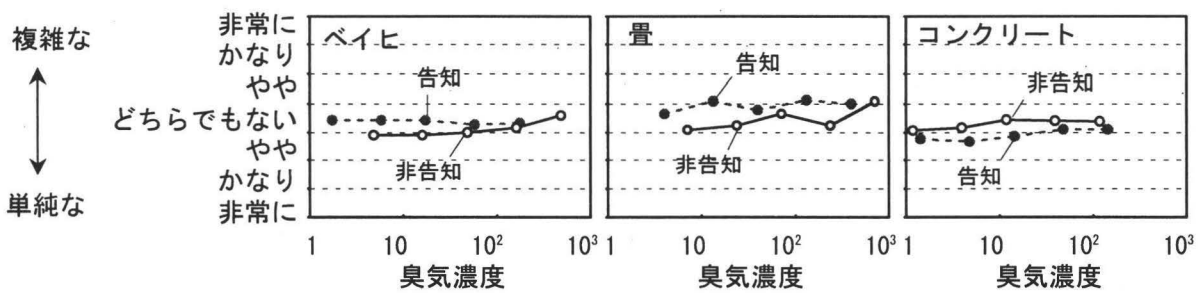


図 2.7　臭気濃度と「複雑さ」との関係（告知条件比較）

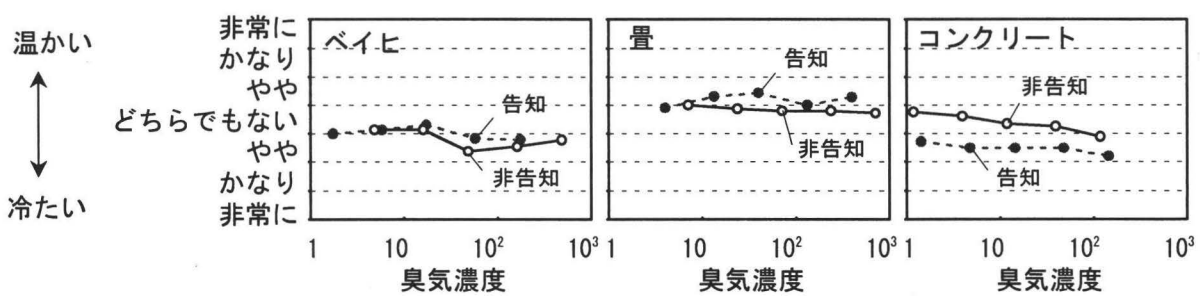


図 2.8　臭気濃度と「温かさ」との関係（告知条件比較）

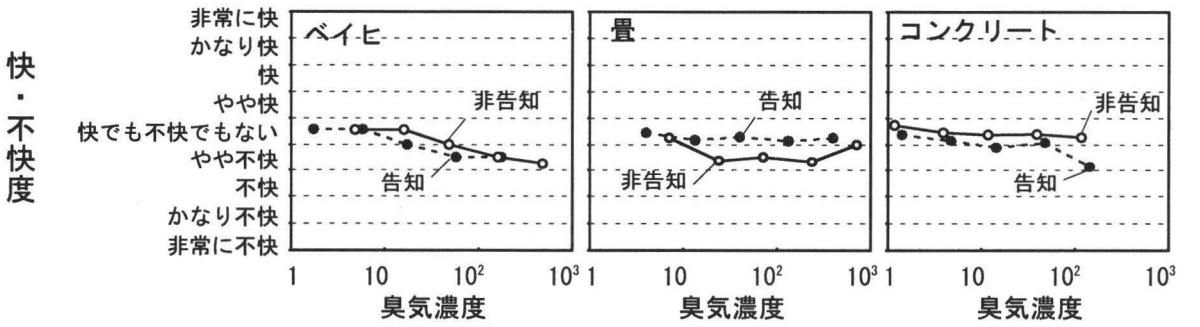


図 2.9　臭気濃度と快・不快度との関係（告知条件比較）

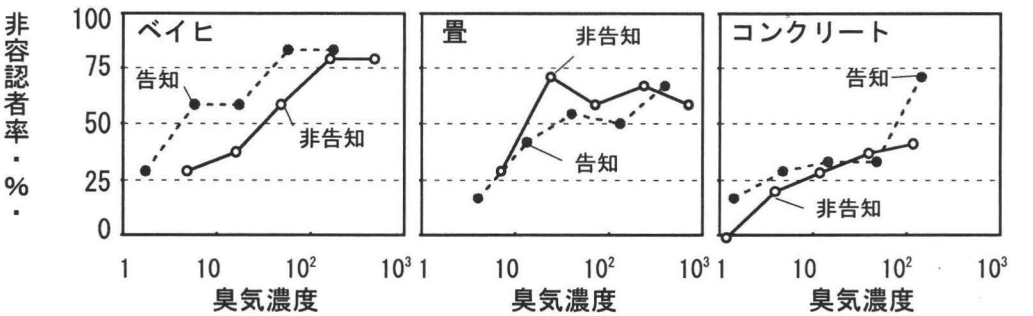


図 2.10　臭気濃度と非容認率との関係（告知条件比較）

図表　4．3　スメルスケープの概念の確立に向けた「生活空間のにおい評価手法」の検討

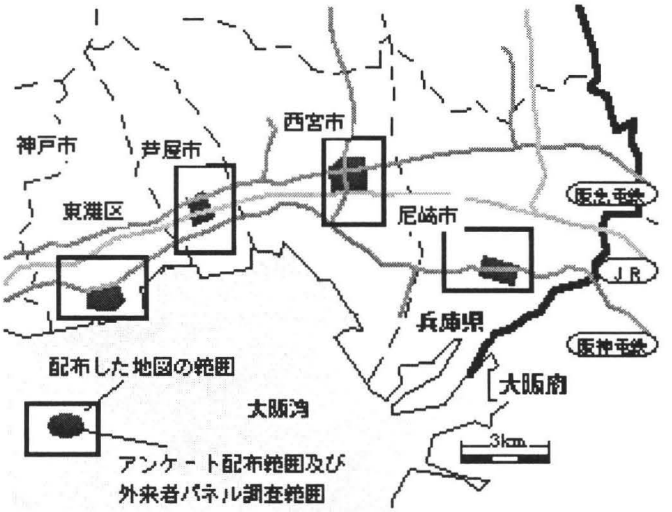


図 3.1　調査対象地域

表 3.1　評価項目

においの印象			
[形容詞を用いて自由に回答：以下は記入例]			
むっとした － さわやかな		落ち着きのある － 落ち着きのない	
温かい － 冷たい		健康な － 不健康な	
生き生きとした － 生気のない		開放的な － 閉鎖的な	
単純な － 複雑な		親しみやすい － 親しみにくい	
強さ	快適性	嗜好性	頻度
強くにおう はっきりにおう 弱くにおう	快 やや快 どちらでもない やや不快 不快	好き やや好き どちらでもない やや嫌い 嫌い	たまににおう よくにおう いつもにおう
容認性			
受け入れられる － 受け入れられない			

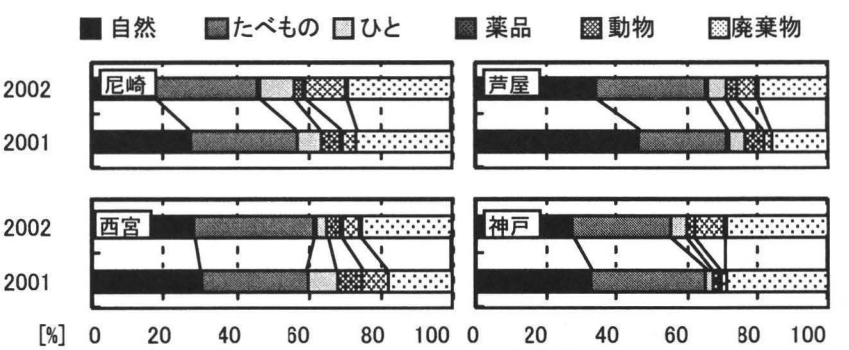


図 3.2　においの種類

表 3.2　においの説明の記述語例

時間的要素

大分類	小分類	説明語の記入例		
時間帯	－	朝に	夕飯時に	昼間
季節	－	夏になると	この時期は	冬は
時代	－	小さい頃	昔	昭和30年頃
時代推移	良い	ましになった	よくなった	
	悪い	ひどくなった	よかった	
	その他	昔とは違う	年とともに	
頻度	－	いつも	～するたびに	よく
条件	－	雨が降ると	空腹時に	風向きによって

人的要素（記憶）

大分類	小分類	説明語の記入例		
思い出	－	思い出す	なつかしい	よく行った
想起	－	呼び起こす	～を思わせる	
習慣	－	子供の頃から	日常	慣れている

人的要素（心理・生理影響）

大分類	小分類	説明語の記入例		
イメージ	良い	いいにおい	おいしそう	活気
	悪い	くさい	煙たい	生臭い
	その他	強く	やわらかい	きつく
気分	良い	落ち着く	楽しい	気持ちよい
	悪い	嫌な	落ち着かない	気分が悪い
	その他	気分を変える	緊張する	無くしたい
体調	良い	元気になる		
	悪い	頭が痛く	体が悪く	のどがいたく
	その他			

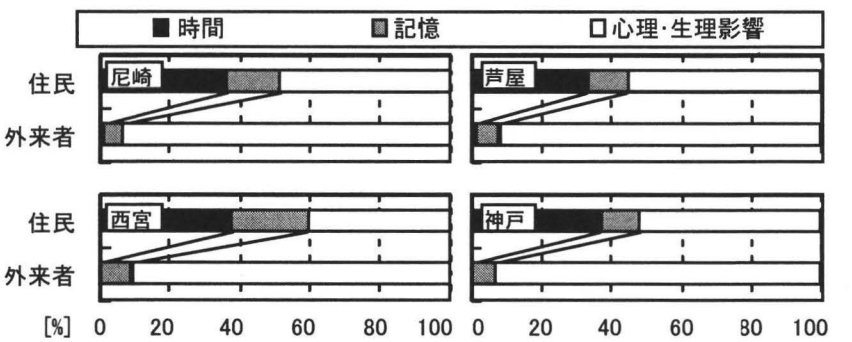


図 3.3　においの説明

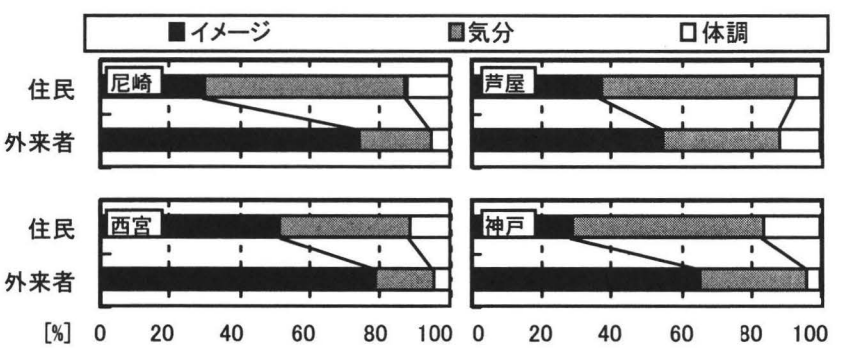


図 3.4　心理・生理影響

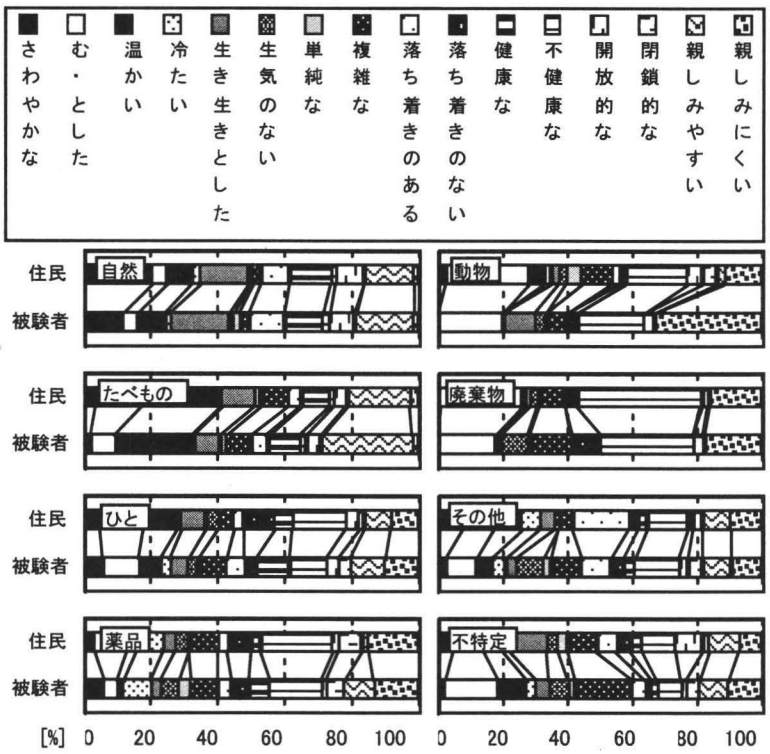


図 3.5　発生源物質毎のにおいの印象

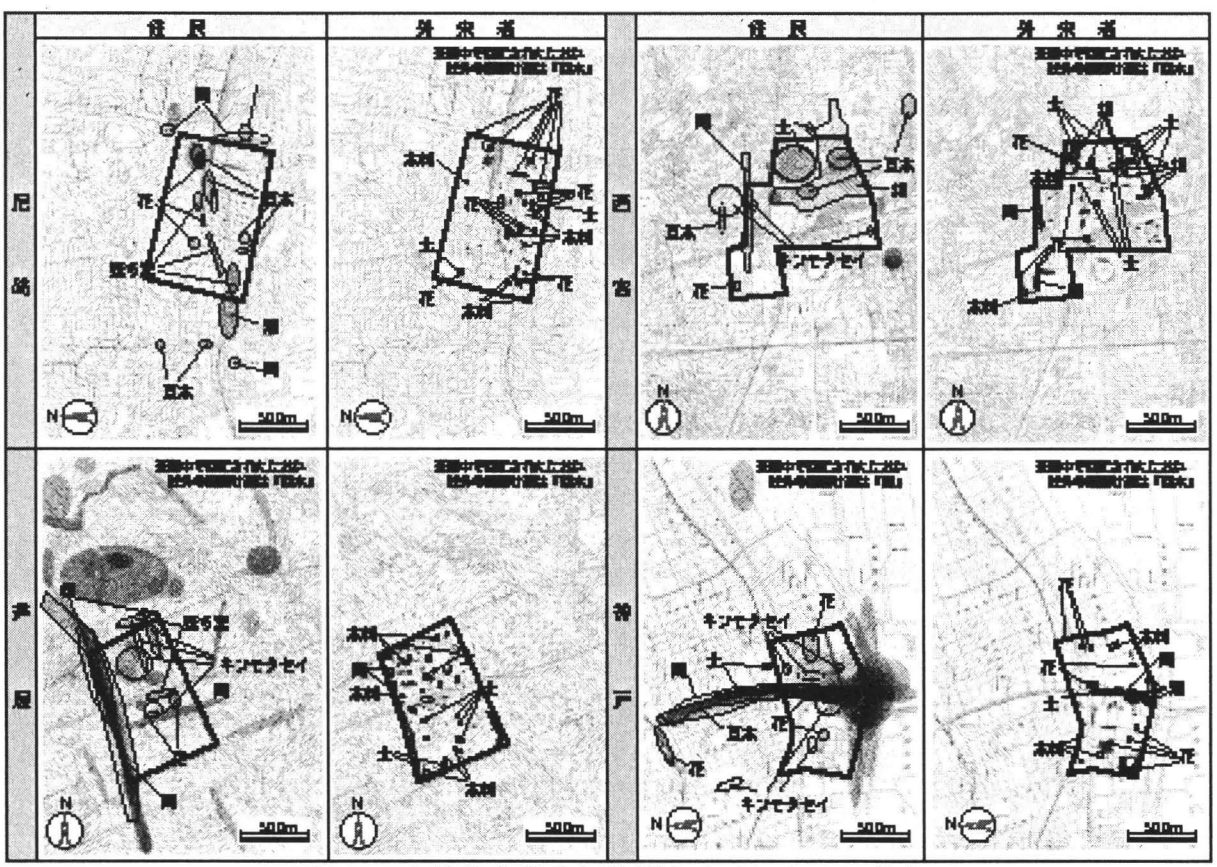


図 3.6　自然物を発生源物質とするにおいの分布
（※図中太枠内はアンケート配布及び被験者パネル調査範囲を表す）

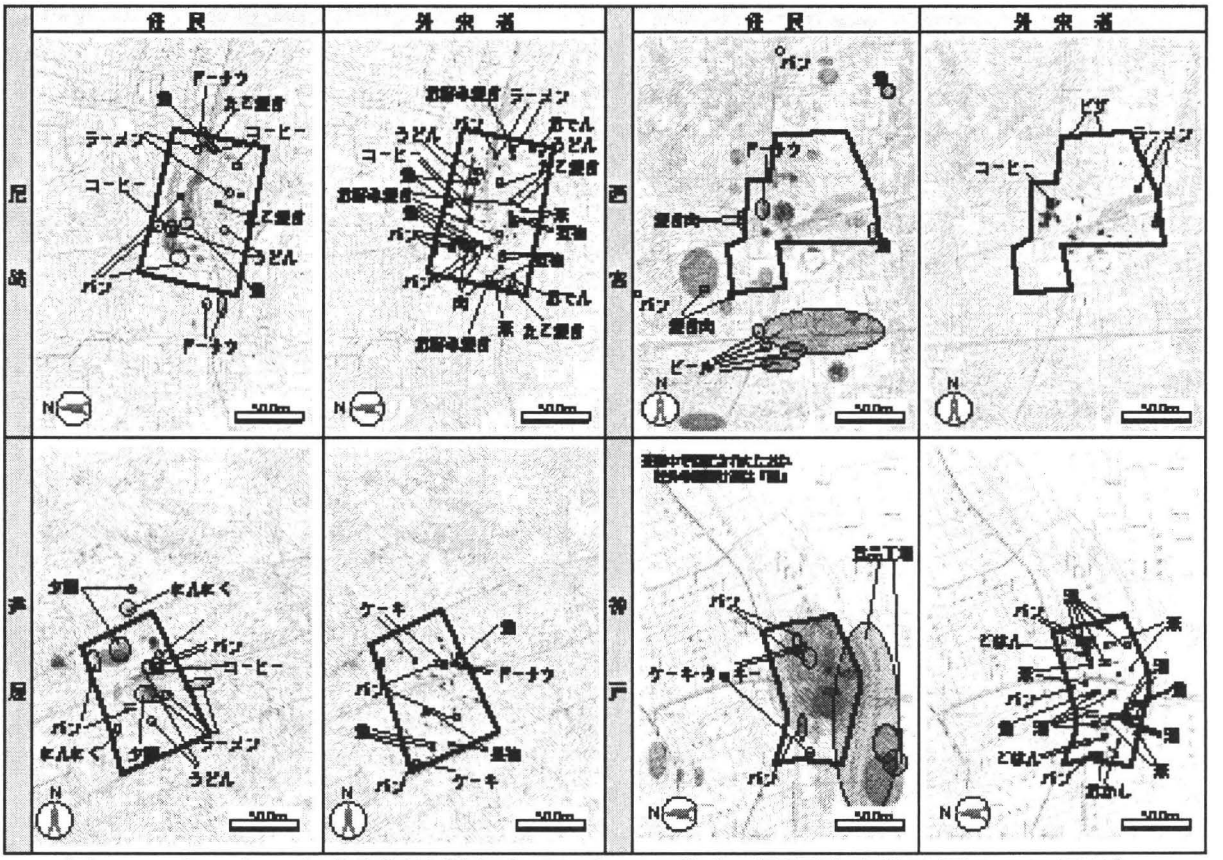


図 3.7　たべものを発生源物質とするにおいの分布（※図中太枠は図 3.6 に同じ）

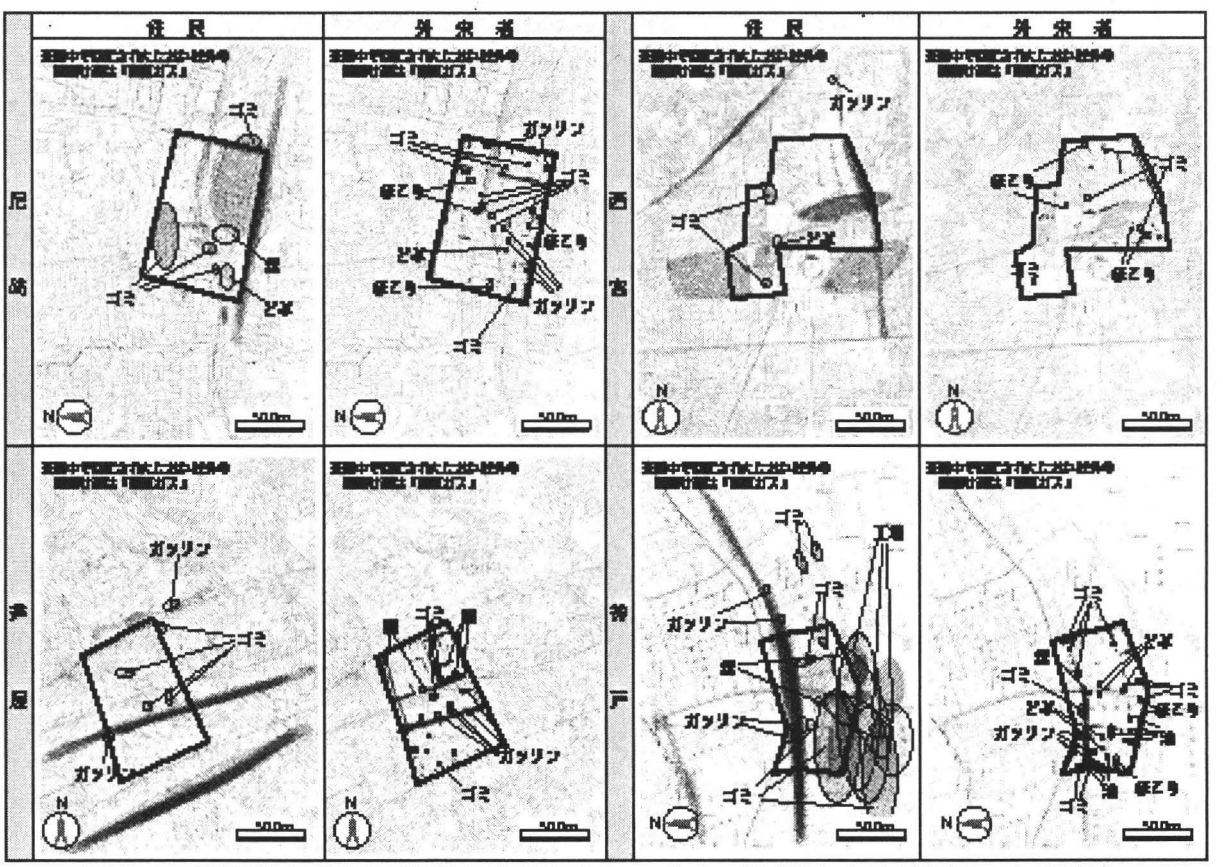


図 3.8　廃棄物を発生源物質とするにおいの分布（※図中太枠は図 3.6 に同じ）

表 3.3　におい環境評価手法：評価項目および使用する言語評定尺度

評価項目：住民

- においの種類（自由記述）
- においの分布範囲（地図中に記入）
- においを感じる季節、時間帯（選択回答）
- においの嗜好性、容認性（選択回答）

評価項目：外来者

- においの種類（自由記述）
- においの分布範囲（地図中に記入）
- においの印象（自由記述）

言語評定尺度

時間帯	季節	嗜好性	容認性
朝 昼 夜 時間帯を問わない	春 夏 秋 冬 季節を問わない	好き やや好き どちらでもない やや嫌い 嫌い	受け入れられる 受け入れられない

1-4 住宅から発生するVOCとオゾンの反応が室内空気質に及ぼす影響に関する研究

鹿児島大学工学部

助教授　　岩下　剛

1.本研究の目的と背景

近年、居住者が、「頭痛」、「めまい」、「吐き気」等を訴えるシックビルディングシンドロームが問題となっており、その原因の一つとして、建材から放たれる揮発性有機化合物(Volatile Organic Compounds、以下VOCと称す)が挙げられている。その対策の一つとして、無垢の木材を内装材として用いる住宅が注目されている。たとえば、無垢の木材が床材、壁材、天井材として用いられた住宅では、トルエン、キシレンのような芳香族炭化水素 VOC の発生は少ない一方で、Pinene<alpha->、Limoneneのようなテルペンの発生が多くなることが予想される。厚生労働省のシックハウス問題に関する検討会 [1] により、TVOC（全揮発性有機化合物）濃度は 400 μ g/m^3 以下という暫定目標値が策定されているが、筆者らの実測では、内装材に杉板が使用されている住宅において、新築時にテルペンの濃度がTVOC暫定目標値を大きく超えている結果が得られた [2]。このようなテルペンの人体への健康影響について考察した研究は少なく、明らかでない部分が多い。一方、室内で発生するVOCと、換気によってもたらされる外気の中に含まれるオゾンとの反応という視点で考えると、テルペンとオゾンとの反応で、別の化学物質が生成されることが考えられ、それが有害な物質である場合、問題が生じる。室内VOCとオゾンとの反応については、近年、様々な報告がされており、Wolkoffらはテルペンとオゾンとの反応により、刺激性の高い物質が生成されることを報告している [3]。Wolkoffらはマウスを用いた生物実験において、4-6 ppmのオゾンに、60-80 ppmおよび500 ppmのテルペン（Isoprere, Pinene <alpha->, Limonene）を混合させ、刺激物質の生成を確認している。このような高濃度は、マウスと人間の感度の違いを考慮して設定されたとのことであるが、実際の室内で生じる現象を調査するには、より現実的なテルペン濃度およびオゾン濃度を設定することが重要と考えられる。Weschler & Shields はテルペンとオゾンとの反応により微粒子濃度が上昇することを報告している [4]。実際のオフィスを想定して実験

を行なった彼らは、オゾン発生器により 230-330 ppb の室内オゾン濃度を放出し、また、容器から Limonene, Terpinene<alpha->を発生させた。このオゾン濃度も、通常の屋外で観察されるオゾン濃度に比べ高く、100 ppb を下回るオゾン濃度での条件を設定することが、より現実的と思われる。Grosjean らは pinene<beta->、Limonene の２つのテルペン及びセスキテルペン[注 1)]である Caryophyllen<trans->とオゾンとの反応で、ホルムアルデヒドが生成されたことを実験によって確認している[5)]。彼らは 0.07-0.10 ppm のオゾンに対して、1.0 ppm の pinene<beta->、1.2 ppm の Limonene、0.2-0.5 ppm の Caryophyllen <trans->をそれぞれ容積 3.5m^3 のチャンバーにおいて反応させ、その結果、pinene <beta->の場合は 19-26 ppb のホルムアルデヒドが生成され、Limonene は 6-9 ppb の、Caryophyllen <trans->は 2-8 ppb のホルムアルデヒドが生成されたとしている。Grosjean らが述べているように[5)]、セスキテルペンとオゾンとの反応を調査した例は、ほとんどなく、彼らも Caryophyllen <trans->を扱っているのみである。日本の住宅において用いられることが多い杉板からは多種のセスキテルペンが発生すると考えられ、これらとオゾンとの反応を考察することは重要である。そこで、現実に室内で起こりうるオゾン濃度と、木造住宅室内で検出されるセスキテルペンの濃度レベルを実験条件として設定した場合、オゾン/セスキテルペン反応はどのような量で生じるのか、そして、仮に両者の反応によりホルムアルデヒドが生成されるのであれば、どの程度の濃度レベルになるのかを調査することを計画した。本研究では、無垢の木材を内装材として用いた木造住宅室内における環境を想定しているため、セスキテルペンとしては、杉板から実際に発生されるものを用い、また、オゾン濃度は、消臭目的で室内で用いるレベルの濃度を設定した。また、セスキテルペンとオゾンとの反応により、仮にホルムアルデヒドが生成されるとした場合、その濃度が居住環境レベルでどの程度の重要性を持つのかを確認するために、実際の居住空間で調査することを試みた。

2. 研究の方法

本研究では、無垢の杉材を内装材に用いた住宅から、どの程度、天然由来の VOC が検出されるかを確認するために、実測をまず行い、その結果を検討した上で、天然由来の VOC とオゾンとの化学反応を調査する実験を行なうことにした。

2-1.　実測

実際の住宅において検出される天然由来のVOCを測定する実測は、鹿児島市内の3軒で行なった。在来軸組構法の二階建住宅であるA邸、一階はRC造のピロティであり二階・三階は在来軸組構法であるB邸、内装材に壁紙を用いず、無垢の杉材を用いた二階建住宅であるC邸を実測住宅として用いた。A邸及びB邸は、内装工事が終了して5日後の新築時に、C邸は竣工後一ヶ月に測定を行った。測定住宅はすべて鹿児島市に建てられている。空気質実測時の各住宅の換気回数は、トレーサーガス濃度減衰法にて測定し、A邸は0.15回/時、B邸は0.19回/時、C邸は0.2回/時であった。揮発性有機化合物(VOC)は、固体捕集管（テナックス TA）に測定箇所の空気を約1リットル、ポンプで20分吸引して、サンプリングした。また、各サンプリングを終えた固体捕集管は、研究室に持ち帰り、加熱脱着装置で加熱、コールドトラップし、GC/MS 分析装置にて分析を行った。測定住宅における実測時の温湿度を**表1**に示す。また、VOC 濃度の経時変化を考察するために、A邸では7月に行なわれた一回目の実測から4ヵ月後の11月に、B邸では3月に行なわれた一回目の実測から3ヵ月後の6月に、C邸では5月に行なわれた一回目の実測から14ヵ月後の7月に再度VOC濃度測定を行った。二回目の測定時は入居後の測定である。

表2に各測定住宅におけるVOC濃度測定結果を示す。C邸は壁紙を用いず、塗料も自然塗料を使用するようにし、また月桃紙や珪藻土を用いる等、自然住宅を志向した住宅であるため、エチルベンゼン、メチルイソブチルケトンなどの塗料由来のVOC濃度が低いことがわかる。なお、C邸の二回目の濃度測定では、セスキテルペン類以外は、濃度が15$\mu g/m^3$以下であったため、**表2**には表示していない。

A邸、B邸ではα－ピネンの濃度が高いが、これは構造体である木材からの発生であると考えられる。A 邸、B 邸では天然由来の VOC であるα－ピネンだけで、厚生労働省の暫定目標値であるTVOC濃度400$\mu g/m^3$を上回ってしまうことになる。C邸は一回目の測定では、A邸・B邸に比べ総じてVOC濃度が低くなっているがTVOC濃度は6000$\mu g/m^3$を超えている。これは、標準物質が入手できないため、単体では定量できなかったセスキテルペン類の濃度が高いためであって、C 邸の一階和室では、TVOC濃度の6850$\mu g/m^3$のうち、2640$\mu g/m^3$をトルエン等価のセスキテルペン類濃度が占めている。C 邸和室にて採取した空気のクロマトグラフを**図1**に示すが、この図からセスキテルペン類のピークが非常に大きいことがわかる。14ヵ月後である二回目のC邸での測定では、トルエン等価のセスキテルペン濃度は3476$\mu g/m^3$であり、1年を経過した後でも多量のセス

キテルペン類が発生していることがわかる。木材由来のテルペン類は住宅のライフサイクルの中でかなり長期間に渡って発生し続けるのではないかと推察される。

セスキテルペン類は、杉材から発生される VOC の主成分であるため、杉材の使用面積が小さい A 邸、B 邸ではセスキテルペン類はあまり検出されなかった。A 邸、B 邸では TVOC 濃度のうち、α－ピネンが占める割合が、A 邸では 28%、B 邸では 69%である。A 邸と B 邸は、同じ工務店によって建てられているため、内装は似ているが、測定時期が大きく異なっている。A 邸は７月下旬の高温・多湿の時期に測定したため、総じて全ての VOC の濃度が高い傾向があるが、B 邸は３月下旬に測定したため、α-ピネン以外は A 邸に比べ低濃度であるが、一方では、それがα－ピネンの占める割合が高い原因の一つにもなっている。

内装材として無垢の杉材を用いた C 邸において、多量のセスキテルペン VOC が検出されたが、セスキテルペン VOC とオゾンとの化学反応については、研究例がほとんど無い。そこで、本研究の実験では、杉材から発生するセスキテルペンとオゾンとの反応について調査することとする。

2-2. 実験

実験は鹿児島大学構内の実験住宅[6]にて行った。**図 2** に実験住宅の平面図を示すが、本実験では室 1 及び室 2 を実験室とした。実験住宅の各室は 15 m^3/h の換気量の機械換気がされており、室温は 25℃になるようエアコンで調節を行った。室 1、室 2 の各室は、床面積が 9.9 m^2、天井高が 2.5 mであり、窓の外側のロールブラインド及び室内側の遮光カーテンを降ろすことで、室内への日射の影響が少なくなるようにした。実験住宅の室 1 のみに、市販の杉板（厚さ 15mm）を床に敷設した。杉板の曝露面積は 5.7 m^2 であり、ローディングファクターは 0.23 m^2/m^3 である。ローディングファクターは、床面の大部分が無垢の杉板で構成されていることを想定して決めた。

実験手順の図を**図 3** に示す。本実験では、室 1 のみに供試材である杉板を設置し、室 2 は、供試材を設置しない対照室である。室 1 に杉板を設置した時間を t=0 とした。この杉板は、実験開始の５日前に購入し、テフロンバッグに入れて、倉庫に保管してあったものを t ＝0 の直前に実験住宅に搬入し、開封、設置した。オゾンについては消臭目的で室内で用いられるオゾン発生器（オゾンドーム、株式会社 田窪工業所）によって、杉板設置から 360 時間後（ t ＝360）に、Low モードで発生させ、480 時間後に High モードで発生させた。測定項目及び測定機器を**表 3** に示す。測定項目は、室内空気温度、相対湿度、オゾン濃度、VOC 濃度、ホルムアルデヒド濃度、

アセトアルデヒド濃度、アセトン濃度である。空気温度・相対湿度、オゾン濃度は連続的に測定を行った。上記の測定項目は、室 1、室 2 の室内及び外気で測定を行った。また、オゾン濃度については、室内中央の測定点だけでなく、機械換気の吹出口においても測定を行った。VOC 濃度は測定箇所の空気を固体捕集管（テナックス TA）に 50 mL/min の流量で 20 分、計 1 リットルをアクティブ吸引してサンプリングしたのち、加熱脱着装置で加熱、コールドトラップし、ガスクロマトグラフ/質量分析（GC/MS）装置にて分析、定量を行った。 ガスクロマトグラフ（GC）の分析条件を**表 4** に示す。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン濃度はオゾンスクラバーを取り付けた DNPH カートリッジに約 15 リットルの空気をアクティブ吸引してサンプリングした後、アセトニトリルを溶媒として抽出し、高速液体クロマトグラフにて分析を行った。

3.　実験結果

実験期間における平均値及び標準偏差を**表 5** に示す。オゾン濃度は室 1 、室 2、外気の濃度を実験期間中連続的に観測した。**表 6** に室 1 内、室 1 吹出口及び外気における、オゾン発生条件別の各状態下におけるオゾン濃度の平均値を示す。オゾン発生の無い、通常の状態(-24≦t＜360）では、室内のオゾン濃度は外気の約 1/10 となっている。また、オゾン発生器を Low モードで稼動すると、室内オゾン濃度は約 6ppb に、High モードで稼動すると、約 30ppb になっている。

図 4 に、杉板設置から 3 日目（t≒72 h）の日のオゾン濃度の経時変化を示す。外気オゾン濃度は昼間に上昇する傾向があり、機械換気の吹出し口における濃度は、それにつれ昼間に上昇している。一方、室内オゾン濃度は一日を通して大きな変動が無い。なお、外気取り入れ口から室内吹出し口までのダクト長さは直線距離で、10～14mである。

HPLC（高速液体クロマトグラフ）法による、室 1 及び室 2 のホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトン濃度の経時変化を**図 5** に示す。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンは室 1 と室 2 を比較すると、オゾンの Low モード発生（t≒360h）及び High モード発生（t≒480h）にかかわらず、ほぼ同濃度であり、オゾンと杉板から発生する VOC との反応により、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンが生成（もしくは減少）する現象はみられなかった。

表 7 に、同定・定量を行なった VOC について、杉板設置よりも 24 時間前(t=-24h)の時の濃度及び、杉板設置 24 時間後(t=24h)の時の濃度を示す。同定及び定量を行なったテルペンである、Pinene

<alpha->、 Pinene <beta->、 Limonene は、杉板設置後に濃度が大きく上昇していないため、設置した杉板から発生したものではなく、実験住宅躯体からの発生と考えられる。**図 6** に、杉板を室 1 に設置してから 24 時間後の室 1 内空気のクロマトグラムを示す。Pinene <alpha->、Pinene <beta->、Limonene が保持時間 10～12 分近辺の小さなピーク（添字：a、 b、 c）であるのに対し、保持時間 20 分付近にみられる VOC のピークが非常に大きいことがわかる。これらのピークは、杉板設置前にはみられなかったため、杉板から発生する物質であると考えられる。NIST ライブラリーの検索によって、保持時間 20 分付近のピーク物質の候補として、セスキテルペンが挙がったが、同定はできなかった。そこで、Adams の同定手法[7] に従い、**表 8** に示す GC 分析条件で、これらセスキテルペンの同定を行なった。同定は保持時間、文献[7] に掲載されている Mass スペクトルとの比較、及び Kovats Index[注2)] を用いて行なった。**図 6** 中の付表に、同定結果を示す。付表をみると、最も大きなピーク番号 7 は Cadinene <delta->、次に大きいピーク番号 6 は Muurolene <alpha-> であることがわかる。

表 9 は、**図 6** で添字番号 1～10 で示したセスキテルペンの、杉板設置 24 時間前の濃度及び、杉板設置 24 時間後の濃度である。これら、セスキテルペンの濃度は全て、トルエン換算の濃度である。セスキテルペンと考えられる VOC（ピーク番号 1～10）の濃度の合計（以降、総セスキテルペン濃度と呼ぶ）のうち、ピーク番号 6、7 のセスキテルペンの占める割合は、杉板設置以降（t >0）は 80～95%である。ピーク番号 6、7 のセスキテルペンは、著者らが以前、杉板を内装材として用いた住宅における空気質実測においても、最も高いトルエン等価濃度を示していたセスキテルペンである[2)、8)]。

総セスキテルペン濃度の八割以上を占めていた、ピーク番号 6 と 7 のセスキテルペンの室 1 におけるトルエン等価濃度の合計値（以下、代表セスキテルペン濃度と呼ぶ）の経時変化を、オゾン濃度とともに**図 7** に示す。杉板設置後、代表セスキテルペン濃度は急上昇し、96 時間後までは、代表セスキテルペン濃度だけで、TVOC 暫定目標値の 400 μ g/m^3 を超えている。しかし、その後、減衰し、120 時間後には 330 μ g/m^3 程度になり、ほぼ定常に達する。360 時間後(t=360 h)にはオゾン発生器が Low モードで稼動されるため、オゾン濃度が 6 ppb 程度に上昇するが、それとともに代表セスキテルペン濃度が 150 μ g/m^3 程度に低下している。その後、t=480 h 以降、High モードでオゾン発生器が稼動され、室内オゾン濃度が 30 ppb を越えるようになるが、この期間、代表セスキテルペン濃度は 50 μ g/m^3 程度まで下がっていく。オ

ゾン濃度の上昇により、代表セスキテルペン濃度が急激に減少していることから、番号 6 と 7 のセスキテルペンが、オゾンとの反応により消費されたことが考えられる。一方、**図 5** に示したように、実験中のホルムアルデヒド濃度には、オゾン発生による大きな変動は無く、セスキテルペンとオゾンとの反応により、セスキテルペンは消費されたと推察できるが、それによってホルムアルデヒドが室内濃度レベルを有意に上昇させるほど多量に生成されたとは考えにくい。

4. 考察

図 7 に示されているように、オゾンの発生によりセスキテルペン濃度が減少する結果が得られたが、それによって、ホルムアルデヒドが発生している状況はみられなかった。そこで、発生したセスキテルペンの化学構造から、オゾンとの反応によるホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンの発生の可能性について検討することにする。セスキテルペンとオゾンとの反応は、セスキテルペンの二重結合を、オゾンが開裂することによって進行する。二重結合炭素原子の 1 個が 2 個の水素原子と結合しているならば、オゾン分解の生成物はホルムアルデヒド（メタナール）になるが、2 個の水素原子と結合していない場合は、ホルムアルデヒドは生成されない[9]。なお、二重結合炭素原子にアルキル基と水素原子が結合しているならば、生成物はアルデヒドになる（**図 8** 参照）。

杉板から発生したセスキテルペンのうち、大部分を占めていたピーク番号 6 と 7 のセスキテルペンの化学構造を**図 9** に示す。**図 9** をみると、どちらのセスキテルペンも二重結合炭素原子の 1 個が 2 個の水素原子と結合していない（C=C の二重結合に H_2 がついていない）ため、オゾンによる開裂があっても、ホルムアルデヒドは生成されないと考えられる。同様に二重結合炭素原子にメチル基（CH_3）と水素原子が結合している部分もみられないため、アセトアルデヒドも生成されず、また、二重結合炭素原子に二個のメチル基が結合している部分もみられないため、アセトン生成もないと考えられる。一方、**図 6** に示したピーク番号 1～10 のセスキテルペンのうち、C=C の二重結合に H_2 がついている物質は、ピーク番号 3 の Caryophyllene <(E)->のみであった。このセスキテルペンの化学構造を**図 9** の右端に示す。ピーク番号 3 のセスキテルペンはオゾン開裂により、ホルムアルデヒドを生成する可能性があるが、Caryophyllene <(E)->の杉板からの発生量が多くはないため、有意なホルムアルデヒド濃度の上昇には至らなかったのではないかと考えられる。

図 10 に、室 1 における、ピーク番号 3、6、7 のセスキテルペンのトルエン等価濃度の経時変化を示す。図中の回帰曲線は、式（1）に示す Colombo らの提案した二重指数減衰モデル [8] を、360 時間までの濃度データに非線形回帰によってあてはめた曲線である。非線形回帰によって求めた各セスキテルペンの定常濃度から、放散速度（トルエン濃度等価）を求めると、ピーク番号 3 の Caryophyllene <(E)->が 58.1 μg/m²・h、番号 6 の Muurolene <alpha->が 209.2 μg/m²・h、番号 7 の Cadinene <delta->が 664.6 μg/m²・h であった。

$$Conc. = K_1 \times [1 - \exp(-K_2 \times t)] - K_3 \times [1 - \exp(-K_4 \times t)] \qquad (1)$$

ここで、 $Conc.$：濃度［μg/m³］　　t：時間［hour］

K_1、 K_3：線形定数［μg/m³］　　K_2、 K_4：時定数　［h⁻¹］

オゾン発生を強制的に行なわず、通常のレベルの室内濃度レベルのオゾン状態であれば、上記の放散速度により、セスキテルペンの定常濃度が得られるが、本実験のようにオゾンを強制的に付加することによって、セスキテルペンはオゾン反応により消失し、濃度は低下する。そこで、本実験におけるセスキテルペンのオゾン反応による消失速度を式(2)の物質平衡式を用いて試算した。

$$\frac{dC}{dt} = N \cdot C_0 + SER \cdot \frac{A}{V} - N \cdot C - G \cdot C \qquad (2)$$

ここで、

C：室内セスキテルペン濃度［μg/m³］　　N：換気回数［h⁻¹］

C_o：外気セスキテルペン濃度［μg/m³］　　V：室容積［m³］

A：杉板表面積［m²］　　G：消失速度［h⁻¹］

SER：杉板からのセスキテルペン放散速度［μg/m²・h］

外気のセスキテルペン濃度を 0 とし、定常状態を想定すると、セスキテルペンのオゾン反応による消失速度 G は以下のように計算される。

$$G = \frac{SER \cdot A}{C \cdot V} - N \qquad (3)$$

式(3)によって計算した、ピーク番号3、6、7のセスキテルペンのオゾンLowモード発生時とオゾンHighモード発生時の消失速度Gを**表10**に示す。なお、各オゾン発生モード時の室内セスキテルペン濃度は、それぞれの期間に検出した濃度の平均値を用いた。**表10**をみると、ピーク番号3のCaryophyllene <(E)->の消失速度が、Lowモード、Highモードのどちらにおいても、他の2つのセスキテルペンに比べ大きな値を示していることがわかる。換気による減衰速度すなわち換気回数は0.6 h^{-1}であるが、Caryophyllene <(E)->はLowモードにおいても、換気回数の5倍以上の消失速度を示していた。これは、Caryophyllene <(E)->端部に二重結合炭素原子をもつため、オゾン分解がされやすいためと考えられる。本実験では、オゾンとの反応によって、どのような二次生成物が生じているかは明らかにできなかった。実験結果からも、オゾン発生器によってオゾン濃度を上昇させ、セスキテルペン濃度が低減した後に新しく生じたVOCや、濃度が上昇したVOCは明確でない。Weschler & Shieldはテルペン VOCとオゾンとの反応により、高分子量のアルデヒドやカルボン酸が生成され、それが微粒子濃度の上昇に寄与することを報告している[4)]。微粒子濃度の測定も含み、今後、二次生成物に関するさらなる考察・研究が必要である。

5. まとめ

機械換気された2つの室において、室1には、杉板を設置し、室2には設置しない状態でVOC濃度を測定した。また、途中から強制的にオゾンを発生させ、オゾン濃度を上昇させた状態で、VOC濃度、ホルムアルデヒド濃度等測定した結果、以下の知見が得られた。

1) オゾン濃度を上昇させるにつれ、セスキテルペン濃度は減少したが、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンの濃度変化はみられなかった。オゾンがセスキテルペンと反応したことにより、セスキテルペンの濃度が減少したことが推察されるが、その反応によって、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンが生成されるという結果は得られなかった。
2) 板から放たれるセスキテルペンのうち、大部分を占めていたものは、Cadinene <delta->及びMuurolene <alpha->であった。これらの二重結合炭素原子の位置及び化学構造から考察すると、オゾン分解によってホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンが生成されることは少ないと考えられる。

3) セスキテルペンの Caryophyllene <(E)->はオゾン分解により、ホルムアルデヒドを生成する可能性があるが、Caryophyllene <(E)->の杉板からの発生量が多くはないため、有意なホルムアルデヒド濃度の上昇には至らなかったのではないかと考えられる。

4) 本実験では、オゾンとの反応によって、どのような二次生成物が生じているかは明らかにできなかった。微粒子濃度の測定も含み、今後、二次生成物に関するさらなる考察・研究が必要である。

【注】

1) セスキテルペンはテルペンに属する化合物のうち炭素数 15 のものをいい、基本炭化水素およびその誘導体を総称するものである。

2) Kovats Index は Kovats によって計算された、ある VOC のピークの保持時間と、それに近接するアルカンの保持時間から求められる指標[7]であり、各 VOC は固有の値をもつ。

【参考文献】

1) 厚生労働省シックハウス問題に関する検討会中間報告書、厚生労働省ホームページ、http://www.mhlw.go.jp、2001

2) 柴原洋人、岩下剛、木造新築住宅におけるテルペン類 VOC 濃度の経時変化、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.919-920、2002 年

3) Wolkoff、P.、Clausen、P.A.、Wilkins、C.K.、and Nielsen、G.D.、Formation of Strong Airway Irritants in Terpene/Ozone Mixtures、Indoor Air、Vol.10、pp.82-91、2000

4) Weschler、C.J.、and Shields、H.C.、Indoor Ozone/Terpene Reactions as a Source of Indoor Particles、Atmospheric Environment、Vol.33、pp.2301-2312、1999

5) Grosjean、D.、Williams、E.L.、Grosjean、E.、Andino、J.M. and Seinfeld、J.H.、Atmospheric Oxidation of Biogenic Hydrocarbons: Reaction of ozone with β-Pinene、D-Limonene and trans-Caryophyllene、Environ. Sci. Technol.、Vol. 27、pp.2754-2758、1993

6) 黒木荘一郎、赤坂裕、岩下剛、小原聡司、曽我和弘、池田育郎、海江田貴光、蒸暑地における断熱・気密住宅の温熱環境と空気環境に関する研究（その１　実験住宅の概要と基本性能）、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.949-950、1996 年

7) Adams、R.P.、Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography /Quadrupole Mass Spectroscopy、Allured Publishing Corporation、2001

8) 尾山秀平、岩下剛、環境共生住宅の室内温熱空気環境に関する実測調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.913-914、2001 年

9) Ouellette、有機化学、化学同人 2002 年

10) Colombo、A.、Bortoli、M.De.、Knoppel、H.、Schauenburg、and Vissers、H.、Small Chamber Tests and Headspace Analysis of Volatile Organic Compounds Emitted from Household Products、Indoor Air、Vol.1、pp.13-21、1991

【本研究助成によって発表した論文】

1）木造新築住宅におけるテルペン類 VOC 濃度の経時変化、柴原洋人、岩下剛、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp. 919-920、2002 年

2）室内空気中のオゾン及び紫外線が杉材から発生されるＶＯＣ濃度に及ぼす影響に関する試験研究、柴原洋人、岩下剛、日本建築学会九州支部研究報告第 42 号・２, pp. 349-352、2003 年

3）杉材から放たれるセスキテルペン VOC とオゾンとの反応に関する基礎的研究　その１　実験方法およびオゾン濃度結果、山口和敏、岩下剛、柴原洋人、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.993-994、2003 年

4）杉材から放たれるセスキテルペン VOC とオゾンとの反応に関する基礎的研究　その２　VOC 濃度とアルデヒド類濃度に関する考察、柴原洋人、岩下剛、山口和敏、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp. 995-996、2003 年

5）The Emissions of Terpene-type VOC from Cedarwood in an Eco House and the Chemical Reaction between Sesqui-terpene and Ozone, G. Iwashita, 2003 年 12 月, Proc. of Healthy Buildings 2003, Vol. 1, pp. 236-241

表 1　実測時の温湿度

	A 邸	B 邸	C 邸
構法	在来軸組	在来軸組+RC 造	在来軸組
測定箇所	一階居間	二階和室	一階和室
内装材	壁紙	壁紙	杉材
温度(℃)	31.1(1 回目) 22.0(2 回目)	21.4(1 回目) 31.2(2 回目)	23.3(1 回目) 31.25(2 回目)
相対湿度(%)	72.7(1 回目) 47.9(2 回目)	36.2(1 回目) 64.7(2 回目)	63.0(1 回目) 72.1(2 回目)

表 2　VOC 濃度測定結果（$\mu g/m^3$）

VOC	A邸(1回目)	A邸(2回目)	B邸(1回目)	B邸(2回目)	C邸(1回目)
ブタノール	177.8	ND	ND	6.1	ND
MIK	73.5	ND	52.0	30.0	18.1
トルエン	2850.4	715.1	944.3	740.5	145.5
酢酸ブチル	124.2	15.9	ND	27.9	ND
ｴﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	182.6	38.5	115.0	30.1	37.9
p.m-キシレン	75.5	18.7	54.6	12.6	45.8
スチレン	378.4	35.5	ND	4.0	225.5
o-キシレン	69.3	14.1	49.6	9.0	40.0
α-ピネン	2207.7	269.5	2329.0	20172.2	101.3
1.3.5-TMB	37.2	9.0	84.8	ND	20.0
1.2.4-TMB	66.7	25.9	223.5	29.4	69.2
P-ジクロロB	ND	10103.3	ND	ND	ND
1.2.3-TMB	68.5	ND	10.3	34.9	28.3
リモネン	ND	ND	53.5	41.9	31.7
ウンデカン	ND	ND	36.2	2.2	27.1
デカナル	ND	ND	42.9	5.7	1.5
TVOC	7884.0	21852.0	3370.2	21435.0	6850.2

MIK：ﾒﾁﾙｲｿﾌﾞﾁﾙｹﾄﾝ、　P-ｼﾞｸﾛﾛB：P-ｼﾞｸﾛﾛﾍﾞﾝｾﾞﾝ

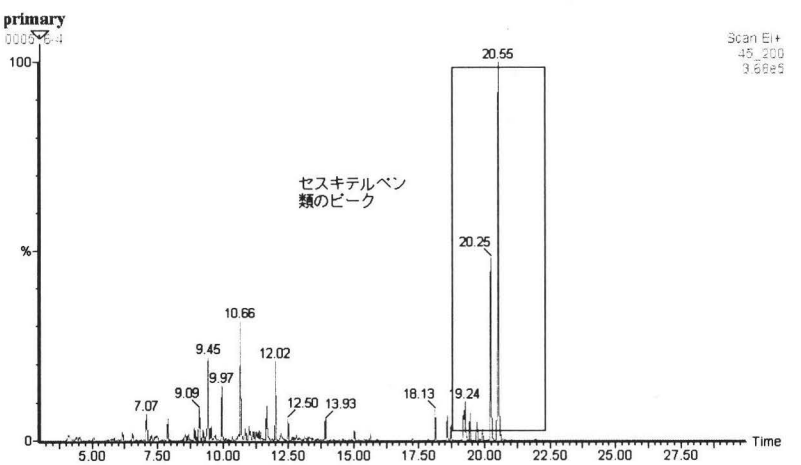


図 1　C 邸和室で採取した空気のクロマトグラム

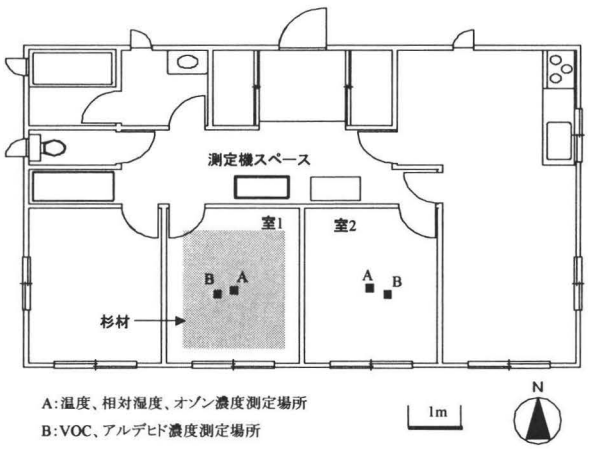


図 2　実験住宅平面図

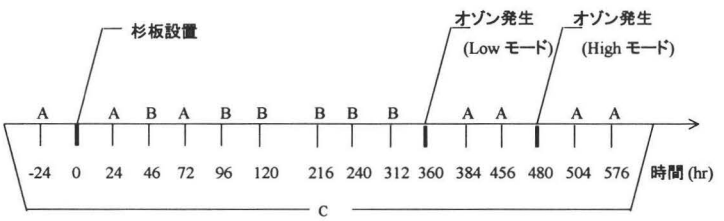


図 3　実験手順

表 3　測定項目及び測定機器

測定項目	測定機器
温度・相対湿度	おんどとり RH-TR72S (T&D 社)
オゾン濃度	紫外線吸収式オゾン濃度計 (ﾀﾞｲﾚｯｸ社)
VOC 濃度	吸着管：TENAX TA / 分析装置：GC/MS
ﾎﾙﾑｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ・ｱｾﾄｱﾙﾃﾞﾋﾄﾞ・ｱｾﾄﾝ濃度	吸着管：DNPH ｶｰﾄﾘｯｼﾞ 分析装置：HPLC

表 4　ガスクロマトグラフ分析条件

カラム	SPB1　　5.00 μm×60 m×0.32 mm
昇温条件	50℃から 10℃/分で 260℃まで昇温

表 5　実験中の温度・相対湿度

	空気温度 (℃)	相対湿度 (%)
室 1	25.0±0.7*	52.6±4.0
室 2	25.6±1.0	48.9±2.9
外気	20.9±3.9	70.0±18.7

*平均値±標準偏差

表 6　各条件下の平均オゾン濃度（ppb）

オゾン発生状態	室 1	室 1・吹出口	外気
オゾン発生無し (-24≦t＜360)	1.1±0.5*	2.1±1.9	11.8±13.1
オゾン発生 Low モード (360≦t＜480)	5.8±2.0	3.0±2.0	8.8±10.0
オゾン発生 High モード (480≦t＜580)	30.6±4.6	3.6±1.9	11.2±9.0

*:平均値±標準偏差　　t: 時間 [hour]

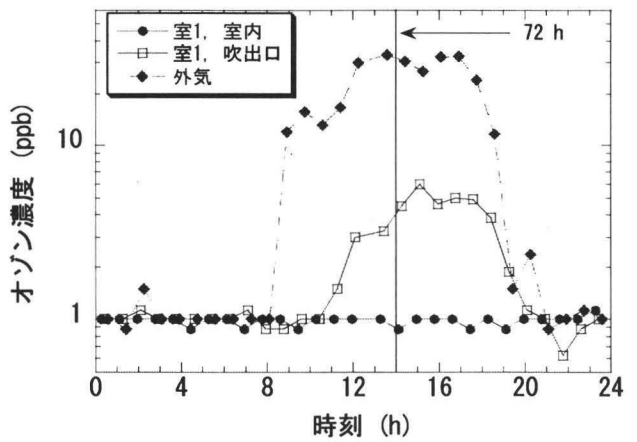


図 4　t ＝72 [hour]付近のオゾン濃度

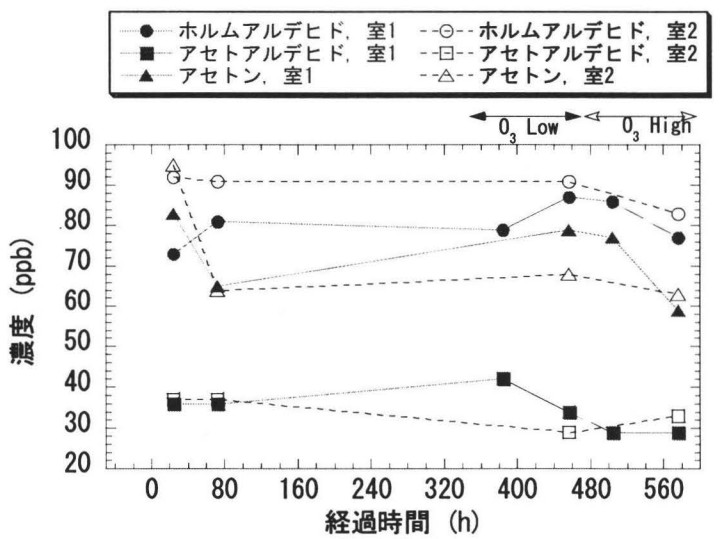


図 5　ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド濃度

表 7　t=-24h、t=24h における VOC 濃度（μg/m³）

VOC	t= -24			t= 24		
	室 1	室 2	外気	室 1	室 2	外気
butanol	18.6	23.6	<1.0	25.3	17.6	<1.0
benzene	<1.0	<1.0	3.7	<1.0	<1.0	7.5
heptane	1.9	<1.0	<1.0	0.6	<1.0	3.0
MIB	1.6	2.3	<1.0	2.2	1.1	2.4
toluene	32.6	25.6	7.3	27.9	28.0	18.7
ethylbenzene	7.3	7.8	1.4	5.1	6.0	4.0
p,m-xylene	4.2	5.8	0.9	3.5	4.1	3.2
styrene	9.6	10.2	<1.0	10.1	7.3	<1.0
o-xylene	10.2	9.5	1.0	11.9	7.6	2.6
nonane	3.4	2.2	0.6	3.0	1.8	0.5
pinene <alpha->	8.6	7.9	<1.0	8.9	9.1	<1.0
1,3,5-TMB	1.1	<1.0	<1.0	<1.0	1.1	<1.0
pinene <beta->	3.3	4.1	<1.0	1.7	2.0	<1.0
1,2,4-TMB	8.4	8.2	3.1	8.6	6.9	6.4
1,4-dichlorobenzene	1.1	1.7	<1.0	1.0	1.1	<1.0
decane	3.6	4.2	<1.0	3.1	3.0	2.2
limonene	12.8	12.3	<1.0	10.8	11.2	<1.0
nonanal	7.5	19.6	3.8	6.8	4.5	4.7
undecane	2.4	2.0	<1.0	2.2	1.7	<1.0
decanal	5.9	5.0	5.9	4.1	3.9	7.7
dodecane	1.0	1.3	<1.0	1.1	1.2	1.8
tridecane	1.1	1.0	<1.0	1.2	1.0	<1.0
tetradecane	1.6	2.3	<1.0	3.4	1.6	<1.0

TMB: Trimethylbenzene

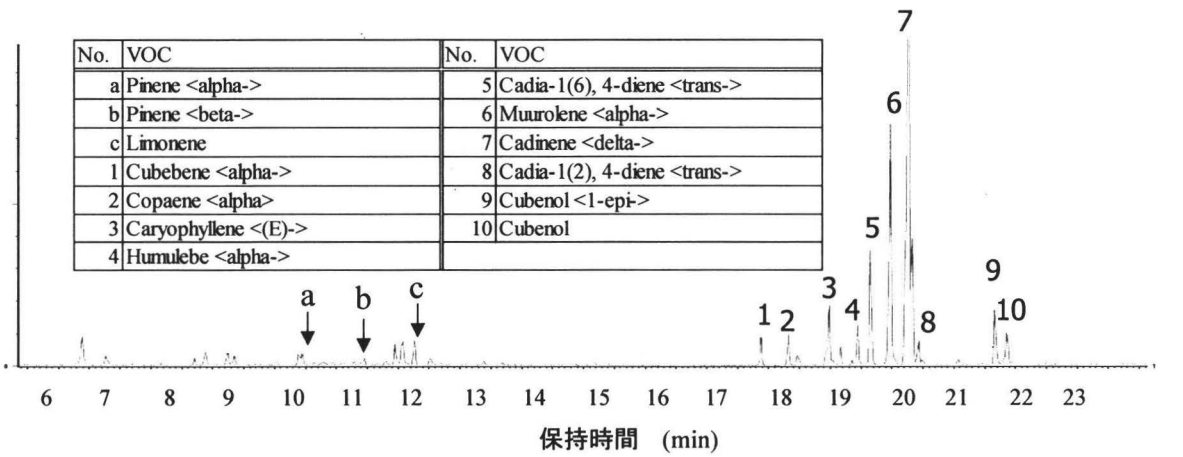


図 6　t=24h における室 1 空気のクロマトグラム（欄内に付表）

表 8　セスキテルペン同定用のガスクロマトグラフ分析条件

カラム	DB5　0.25μm×30m×0.25mm
昇温条件	60℃から 3℃/分で 246℃まで昇温

表 9　t=-24h、t=24h におけるセスキテルペン濃度（$\mu g/m^3$）

		t= -24		t= 24	
No.*	VOC	室 1	室 2	室 1	室 2
1	Cubebene <alpha->	<1.0	<1.0	16.7	<1.0
2	Copaene <alpha->	<1.0	<1.0	14.8	1.4
3	Coatyophyllene <(E)->	<1.0	<1.0	38.2	3.4
4	Humulebe <alpha->	<1.0	<1.0	17.5	<1.0
5	Cadia-1(6), 4-diene <trans->	<1.0	<1.0	56.3	1.3
6	Muurolene <alpha->	<1.0	<1.0	133.7	12.6
7	Cadinene <delta->	<1.0	<1.0	457.3	26.8
8	Cadia-1(2), 4-diene <trans->	<1.0	<1.0	16.7	1.5
9	Cubenol <1-epi->	<1.0	<1.0	27.0	<1.0
10	Cubenol	<1.0	<1.0	20.2	<1.0

*：図 5 中のピークの番号

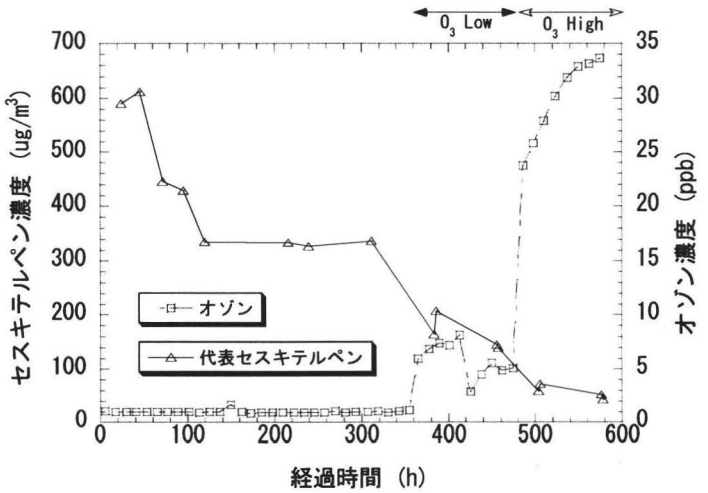


図 7　代表セスキテルペン濃度及びオゾン濃度の経時変化

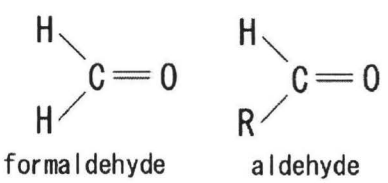


図 8　オゾン分解の生成物

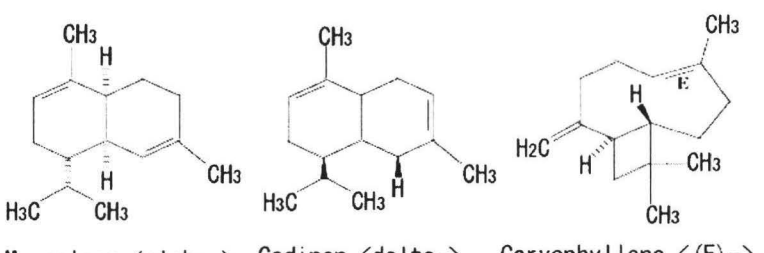


図 9　ピーク番号 6（左）と 7（中央）及びピーク番号 3（右）のセスキテルペンの化学構造

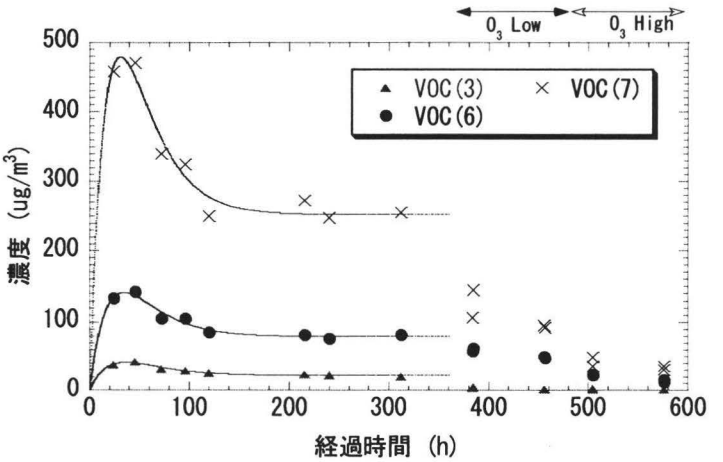


図 10　ピーク番号 3, 6, 7 のセスキテルペンの濃度経時変化

[VOC(3) : Caryophyllene <(E)->,　VOC(6): Muurolene <alpha->,
VOC(7): Cadinene <delta->]

表 10　ピーク番号 3, 6, 7 のセスキテルペンの消失速度 (h^{-1})

オゾン発生モード	VOC(3)	VOC(6)	VOC(7)
Low モード	3.4	0.3	0.8
High モード	8.2	2.1	3.5

[VOC(3) : Caryophyllene <(E)->,　VOC(6): Muurolene <alpha->,
VOC(7): Cadinene <delta->]

1-5 乾燥割れを有する木材を用いた木造住宅の性能に関する研究

秋田県立大学　木材高度加工研究所
助教授　岡崎　泰男

1.　本研究の背景と目的

木造住宅のクレームの中で木材の乾燥割れがらみのクレームは床鳴りと１、２を争う。昨今では建て方中に施主に乾燥割れの生じた柱の交換を要求された、また、家屋診断士によって土台等に乾燥割れが生じた住宅が「欠陥住宅」扱いとされた等のケースも報告されている。木材の研究者にとってはごく当たり前の現象である柱材や梁材の乾燥割れがクレームの対象となってしまうのは、一般消費者が、

「ひび割れの発生」→「強度の低下」→「部材の破壊」→「家の倒壊」

という漠然としたイメージを持っていることが大きな理由と考えられる。これに対し木材強度の研究分野では、基本的に乾燥割れは強度低下にはつながらないとされてきた。しかしながら、一般社会に対してその具体的なデータを示してこなかったこともまた事実である。また、品確法の制定に伴い今後高強度の接合金物が普及することが予想されるが、接合部に発生した割れ・未乾燥材と接合金物を併用した場合に年月を経て発生する割れ等が構造全体に与える影響については明らかにされておらず、一概に「乾燥割れは木造住宅の耐久性に影響が無い」と言い切ることはできないのも確かである。こういった現状が現在の混乱を招いているのであり、乾燥割れを有する木材、およびこれが用いられた住宅の性能を明らかにしてビルダー・一般消費者に対して示すことを目的としている。

2.　研究計画および研究の方法

2.1.　乾燥割れを有する柱材の強度性能試験

各種乾燥法で乾燥されたスギ心持ち柱用製材に対して曲げ・短柱圧縮強度試験および山形プレート接合部、ホールダウン金物接合部、ボルト一面せん断試験の三種類の接合部強度試験を実施、乾燥割れの有無・発生量と強度性能の関係について検討を行った。供試材は表 1 に示した 3 種類の乾燥法で乾燥され、その公称断面寸法は 105mm×105mm、長さは 3000mm～3650mmであった。入手時点で含水率が 20%以上のものについては屋外で 4 ヶ月～6 ヶ月間天然乾燥を行い含水率がほぼ 20%以下になるまで調整を行った後試験に供した。試験は以下に示した手順にしたがって行った。

1）表面割れ（長さ、割れ幅）をメジャーにより 1mm 単位で測定。
2）接合部用試験体として、長さ 3600mm以上の供試体の端部から 600mmを切断。
3）長さ 3000mm の柱材に対して曲げ破壊試験を実施、その MOE および MOR を計測。試験終了後、破損部分の両側から厚さ約 20mm の切片を切り出し、全乾法により含水率を測定。さらに、残存部分から損傷を受けていない部分（500～650mm）を取りだし、短柱圧縮用試験体・接合部用試験体とした。
4）接合部試験体を作成、試験を実施。

曲げ試験は容量1000kNの木材強度試験機((株)東京衡機製TKC-1000ｋN)を用いスパン2700mm・ロードスパン900mm三等分点四点載荷方式で行い、短柱圧縮試験は容量1000kNの木材強度試験機((株)東京衡機製RUEⅢ1000TK)を用い試験体長さ500mmで行い、それぞれ試験終了後、健常部分から試験片を採取し、全乾法により含水率を測定した。各接合部強度試験の試験体仕様および試験の概要はそれぞれ11,2,3に示した通りであった。接合部試験は、強度試験を実施する前に柱、横臥材とも金物取付け面における表面割れの長さと幅を測定した後、「(財)日本住宅・木材技術センターの試験方法」に準じ容量100kNの引張り圧縮試験機((株)ミネベア製AL-100ｋN)を用いて荷重速度10mm/minで単調引張り加力し、最大荷重に達した後、最大荷重の80%に低下するまで加力した。また、加力試験後、柱材・横臥材それぞれの健常部分から試験片を採取し、全乾法により含水率を測定した。ホールダウン金物試験体については、木取り等の影響の検証を行うために、スギ集成材を使って同様の試験体を作成、試験を実施し比較検討を行った。

2.2. 乾燥割れを有する梁材の強度性能試験

高周波熱気複合乾燥法で乾燥された断面寸法105mm×240mmのスギ梁用材に対して曲げ強度試験および市販の梁受け用金物を用い柱－梁接合部強度試験を行なった。試験は、まず試験体の両木口断面に生じた内部割れを含む割れの長さを全て計測しその合計を算出、続いて曲げ強度試験を実施。曲げ強度試験の試験残材から健常部を取り出し接合部試験を実施する、という手順で行った。それぞれの試験終了後、健常部分から試験片を採取し、全乾法により含水率を測定している。

曲げ強度試験は、容量1000kNの木材強度試験機((株)東京衡機製TKC-1000ｋN)を用いスパン3300mm・ロードスパン1100mmの三等分点四点載荷方式で行なった。接合部強度試験は、試験を実施する前に柱、横臥材とも金物取付け面における表面割れの長さと幅を測定した後、図4に示した通りの試験体を作成、これに対して「(財)日本住宅・木材技術センターの試験方法」に準じ、容量100kNの引張り圧縮試験機((株)ミネベア製AL-100ｋN)を用いて荷重速度10mm/minで単調引張り加力し、最大荷重に達した後、最大荷重の80%に低下するまで加力を行った。同時に乾燥割れの存在の影響評価を行なうためにベイマツ－スギ異樹種複合集成材を用いた試験体に対しても試験を実施、比較検討を行った。

2.3. 未乾燥状態で作成した接合部試験体の乾燥後の接合部強度試験

未乾燥のスギ心持ち柱用材(断面寸法105mm×105mm)を用いて、山形プレート接合部、ホールダウン金物接合部、かど金物接合部試験体を作成、この試験体を人工的に乾燥させることにより乾燥割れを発生させ、その割れが強度にどのような影響を及ぼすかについての検討を行った。試験体および試験概要はそれぞれ11,2,5に示した通り。このうちかど金物試験体は、自然状態で乾燥を行い、試験体作成直後、1ヵ月後、2.5ヵ月後、6ヵ月後の4回に分けて接合部強度試験を実施、含水率および乾燥割れの影響について検討を行った。その他の二つの試験体については、低湿度状態の部屋において強制的に乾燥を行い一定レベルまで乾燥させた後、試験を行った。試験は、強度試験を実施する前に柱、横臥材とも金物取付け面における表面割れの長さと幅を測定した後、「(財)日本住宅・木材技術センターの試験方法」に準じ容量100kNの引張り圧縮試験機((株)ミネベア製AL-100ｋN)を用いて荷重速度

10mm/min で単調引張り加力し、最大荷重に達した後、最大荷重の 80％に低下するまで加力した。試験終了後、柱材・横臥材それぞれの健常部分から試験片を採取し、全乾法により含水率を測定した。

2.4. クリープ試験

公称断面寸法 105mm×210mm のスギ心持ち梁用材 8 体についてクリープ試験を実施、乾燥割れがクリープ変形に及ぼす影響について検討を行った。各試験体の物性および載荷荷重等の試験条件は表 2 に示した通りである。加力はスパン 3000mm、ロードスパン 1000mm の三等分点四点載荷方式で行った。試験体の寸法が異なるため、初期変形に対するクリープ変形量の相対値を求め、これを評価指標として用いることとした。また、未乾燥材については当然試験開始時点では表面割れ・木口割れは視認できなかったが、試験期間中に表面割れが発生したので、その発生時点とクリープ変形量の変化について目視で観察、その関係について検討を行なうことにより評価を行なうこととした。

3. 試験結果、考察および今後の課題

3.1. 乾燥割れを有する柱材の強度性能試験

表面割れの発生状況は表 3 に示した通り。最もよく表面割れが発生したのは熱気乾燥後天然乾燥された材であり、高温乾燥法で乾燥された材は、表面割れが発生していなかった。

各強度試験の結果は以下に示した通りである。高周波熱気複合乾燥法で乾燥された材と熱気乾燥法で乾燥された材の間には特に性能の差異が見られなかったので、接合部試験に関する検討・考察においてはひとまとめにして扱うこととした。

1) 割れ長さ率と曲げ強度、短柱圧縮強度には有意な相関関係は認められなかった。(図 6、図 7)
2) 山型プレート接合部については、柱側で破壊した試験体は 42 体中 1 体のみであり、柱の割れは強度に影響は無いと言うことができる。横臥材の表面割れとの接合強度との関係についての検討も行ったが、有意な相関関係は認められなかった。(図 8)
3) ホールダウン金物引抜き強度については、割れ長さ率と強度の相関関係、ラグスクリュー打ち込み面の割れ有無と強度の間の関係は認められなかった。(図 9・表 4)
4) ボルトせん断強度についても、割れ長さ率と強度、割れ長さ率と強度の相関関係、ボルト挿入面の割れ有無と強度の間の関係は認められなかった。(図 10・表 4)
5) 高温乾燥法とその他の乾燥法で乾燥された材を比較すると、ホールダウン金物引抜き強度は低下したが、ボルトせん断強度はほぼ同じ（有意差無し）という結果が得られた。(表 4)
6) ホールダウン金物引き抜き強度・ボルト二面せん断強度は、乾燥法、割れの有無に関わらず、集成材試験体と比較すると強度が低下した。

以上の結果より、乾燥心持ち柱材の表面割れの有無・大きさは曲げ強度、圧縮強度、接合部強度には影響しないことが明らかになった。しかし乾燥心持ち柱材のホールダウン金物接合部強度は集成材試験体と比較すると明らかに低下するという結果、高温乾燥材はその他のものと比較すると低下する結果が得られており、材内部に生じた割れ（内部割れ）が強度低減に影響している可能性は否定できない。

3.2. 乾燥割れを有する梁材の強度性能試験

木口面の割れ長さ率（木口面に生じた割れ長さ測定の合計の木口断面積比）と強度の関係

は図 11 に示した通り。木口割れ長さ合計が 1%弱未満あたりまでの範囲では、割れが増大するほど強度が下がる傾向が見られるが、それ以上については、ほとんど依存関係は見られない。接合部強度試験の結果は表 6 に示した通り。スギ梁用材はほぼ全ての試験体に材全長に渡る表面割れが確認されたが、その強度と割れの無い集成材の強度との間に有意差は見られなかった。木口割れ長さ率と接合部強度の関係は図 12 に示した通り。試験体数が少ないこともありはっきりとしたことは言えないが、割れと強度の間には負の相関関係が見られた。

3. 3. 未乾燥状態で作成した接合部試験体の乾燥後の接合部強度試験

表 7 にかど金物接合部引き抜き試験の結果を、表 8 に山形プレート、ホールダウン金物接合部引き抜き試験結果を示す。また、図 13 にかど金物接合部試験体の表面割れ面積と接合部強度の関係、図 14 に同試験体の含水率と接合部強度の関係、図 15 にホールダウン金物・山形プレート接合部試験体の表面割れ面積と接合部強度の関係、図 16 に同試験体の含水率と接合部強度の関係示した。各試験の結果は以下の通りであった。

1) かど金物接合部の破壊形態は、高含水率状態では柱側の釘の引き抜けであったが、含水率が繊維飽和点以下では、含水率が下がるにつれて横臥材の割裂破壊が大部分を占めるようになり、それにしたがって強度低下が見られた。乾燥が進むにつれて表面割れの量が増大するため、これを表面割れの影響と見ることもできるが、その相関関係は横臥材の含水率との関係と比較すると不明確であった。
2) ホールダウン、山形プレート試験体についても表面割れと接合部強度の相関関係は認められなかった。しかし、全体的に乾燥が不十分で、試験体によって乾燥状態がまちまちであるため、この結果をもって表面割れと接合部強度の関係を云々することはできないと考える。

3. 4. クリープ試験

クリープ試験結果およびその間の温湿度変化は図 17、に示した通り。初期クリープ変形量、試験開始約 1 年半後の相対クリープ変形量は表に示した通り。結果をまとめると以下の通りとなる。

1) 未乾燥材と比較すると乾燥材は割れの有無に関わらず、ほとんどクリープ変形が起こらなかった。
2) 試験体 No.6 については荷重方向と逆向きに変形が進行した。これは製材時の木取りの影響で縦反りが発生したためと推測される。
3) 乾燥材、未乾燥材とも春先および梅雨から夏に掛けて変形が増大している。
4) いずれの試験体も夏期（7 月～8 月）の相対湿度が低下していく過程において大きく変形が進んだ。一方、冬期（11 月～2 月）はあまり変化が見られない。
5) 未乾燥材の表面割れについてであるが、表面割れが発生し広がるのは材の乾燥が急速に進む過程であるが、その過程では同時にクリープ変形が著しく増大するため、表面割れが発生した時期と変形量が増大した時期は一致した。ただし、割れが発生した時点で急激に変形が増大したといったような現象は確認できず、特に表面割れの影響は無いものと思われる。

以上の結果より、十分に乾燥された材のクリープ変形量は無視できるほど小さく、クリープ

変形については、表面割れ、木口割れの有無よりも初期含水率の影響の方がはるかに大きく、乾燥経過中に発生する割れの影響もほとんど無いことが明らかとなった。

4. まとめおよび今後の検討課題

1) 部材強度については、表面割れの有無、長さとは無関係であることが明らかになった。
2) 接合金物を用いた接合部強度についても、表面割れの有無、長さと強度の間には相関は見られなかった。しかしながら乾燥法によって強度が低下する事実が確認され、この点についてはさらに詳しく検討を行なう必要が有ると考えられる。
3) 表面割れの有無に関わらず、心持ち乾燥柱材は割裂強度が低下する可能性を示唆する結果がいくつか見られた。今後、天然乾燥材および心去り材の強度等について検証する必要がある。
4) 梁用材についての検討の中で、木口割れの量と強度低下の関係を示唆する結果が散見された。その割れの大部分は表面に到達しない「内部割れ」であり、3)で述べた乾燥法による割裂強度の低下の原因である可能性が高い。表面割れが敬遠される高温乾燥材が普及しつつある昨今、こうした内部割れを伴う材が増加することが予想され、今後さらに内部割れと強度の関係について検証していく必要性が認められる。
5) 心持ち梁用材のクリープ変形については、表面割れ、木口割れの有無よりも初期含水率の影響の方がはるかに大きく、また未乾燥材の乾燥経過中に発生する割れの影響もほとんど無いことが明らかとなった。また、十分に乾燥された材のクリープ変形量は無視できるほど小さく、乾燥割れの影響の有無について厳密に検証するには、心去り材・高温乾燥材等の表面割れが生じない材との比較検討を行う必要性があることは確かであるが、実用的には必要ないと考えられる。

5. 研究発表の実績及び予定

1) 「柱材の乾燥割れと接合部強度の関係」　2003 年度日本建築学会大会
2) 「秋田県産スギ材を用いた異樹種複合集成材の強度性能」　2004 年度日本木材学会大会（予定）

表１　供試材仕様

乾燥法	供試体本数	含水率(%) 入手時		試験時	
高周波熱気複合乾燥	116	Min	6.9	Min	6.9
		Max	63.2	Max	15.7
熱気乾燥(＋天然乾燥)	39	Min	22.5	Min	14.4
		Max	59.5	Max	22.2
高温乾燥	40	Min	5.5	Min	5.5
		Max	12.8	Max	12.8

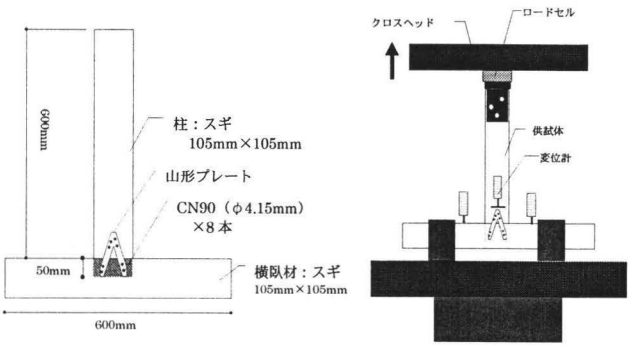


図１　山形プレート接合部試験体および試験概要

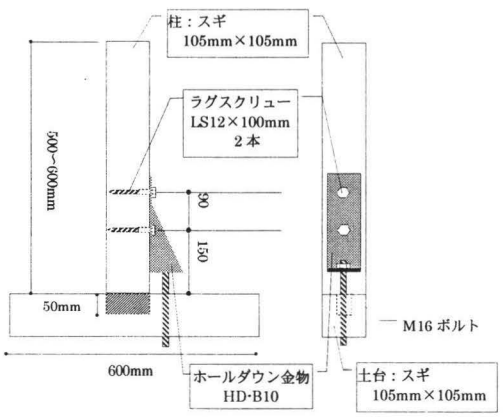


図２　ホールダウン金物接合部試験体および試験概要

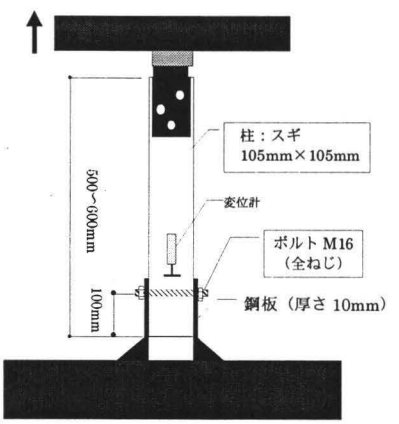


図３ ボルト一面せん断試験体および試験概要

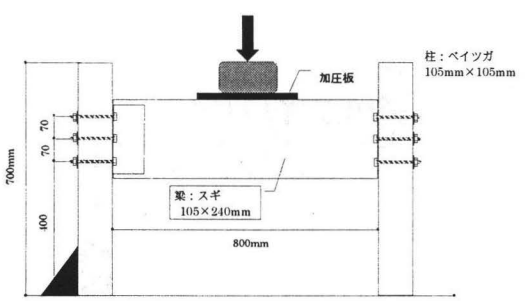


図４　柱－梁接合部せん断試験体および試験概要

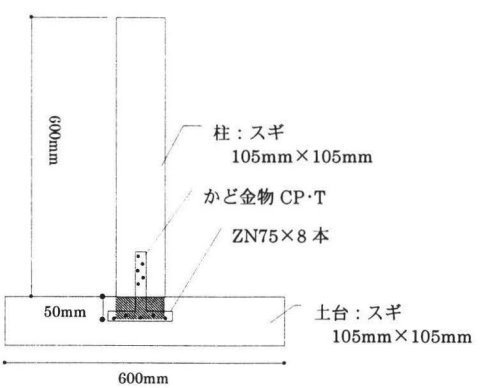


図５　T字金物試験体および試験概要

表 2 クリープ試験体と試験条件

No.	乾燥状態	試験開始時木口割れ長さ率(%)	E 等級	ヤング係数(Gpa)		荷重(応力比 *1)	試験開始時の値		
				MOE	縦振動		含水率*2(%)	幅(mm)	高さ(mm)
1	人乾	0.363	E50	6.04	6.21	2.3tf (約 45%)	8.5	107.1	210.8
2	未乾	0.0	E50	−	5.85	〃	26.5	115.25	220.95
3	人乾	0.175	E70	7.34	7.03	〃	9.5	108.85	212.20
4	未乾	0.0	E70	−	6.77	〃	23.5	114.40	220.15
5	人乾	0.440	E50	5.90	5.33	780kgf (約 15%)	11.5	105.85	211.30
6	未乾	0.0	E50	−	5.08	〃	41.5	115.95	221.10
7	人乾	0.453	E70	7.16	6.60	〃	9.5	106.25	211.55
8	未乾	0.0	E70	−	6.06	〃	36.0	116.1	222.85

＊ 1 基準強度は 105×240mm 材の強度試験（80 体）から得られた値を用いた

＊ 2 含水率計（ケット社製 MOCOII）で測定した値

表 3 乾燥割れを有する柱材の強度性能試験
表面割れの発生状況

乾燥法		割れ長さ率	割れ開き最大値(mm)
高周波熱気	Avg.	0.26	3.99
複合乾燥	S.D.	0.14	2.72
熱気(＋天	Avg.	0.37	2.8
然乾燥)	S.D.	0.23	1.3
高温乾燥	Avg.	0.00	0.0
	S.D.	0.00	0.0

※ 割れ長さ率＝四面の表面割れ長さの合計 / (材長×4)

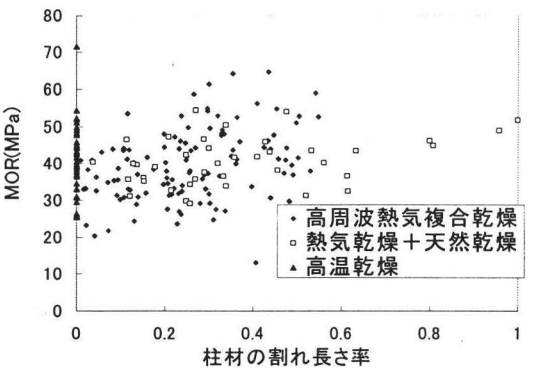


図 6 柱材の表面割れ長さ率と曲げ強度の関係

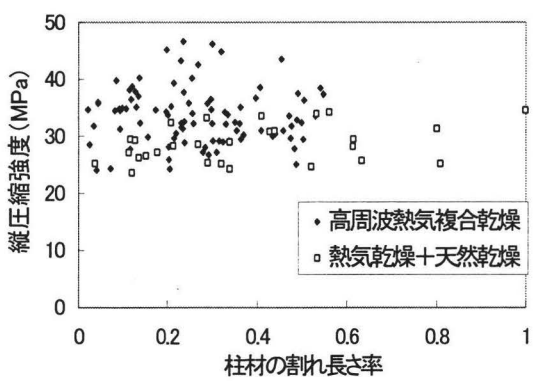


図 7 柱材の表面割れ長さ率と縦圧縮強度の関係

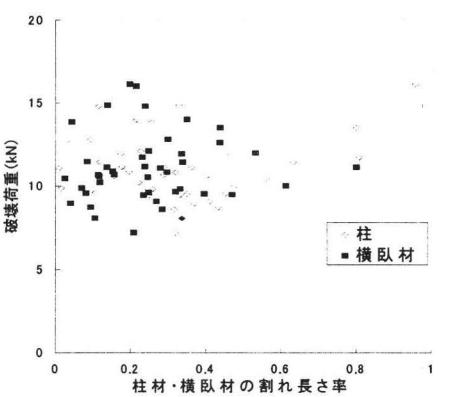


図 8 表面割れ長さ率と山形プレート接合部引き抜き強度の関係

表 4　ホールダウン金物引き抜き、ボルト二面せん断試験結果

乾燥材種類			ρ_{15} (kg/m^3)	MC(%)	Pmax (kN)
（ホールダウン金物引抜き試験）					
その他乾燥材	全体 (59)	Avg.	420.2	12.5	35.1
		S.D.	35.9	3.0	6.7
		C.V.(%)	8.5	24.1	19.2
		5%下限値			23.0
	割れ有* (39)	Avg.	430.7	13.4	34.9
		S.D.	32.9	2.7	6.8
		C.V.(%)	7.6	19.8	19.4
		5%下限値			22.5
	割れ無* (20)	Avg.	399.9	10.8	35.6
		S.D.	33.3	3.0	6.8
		C.V.(%)	8.3	27.5	19.1
		5%下限値			22.4
高温乾燥材 (37)		Avg.	386.7	8.2	27.7
		S.D.	31.0	1.9	6.5
		C.V.(%)	8.0	23.5	23.6
		5%下限値			15.7
集成材 (27)		Avg.	421.9	10.8	41.9
		S.D.	25.0	0.2	5.3
		C.V.(%)	5.9	2.3	12.6
		5%下限値			31.9
（ボルト二面せん断試験結果）					
その他乾燥材	全体 (35)	Avg.	416.9	13.5	46.6
		S.D.	29.8	3.1	8.2
		C.V.(%)	7.1	22.9	17.6
		5%下限値			31.4
	割れ有 (21)	Avg.	416.6	13.8	46.7
		S.D.	31.2	3.4	9.3
		C.V.(%)	7.5	24.4	19.8
		5%下限値			28.9
	割れ無 (14)	Avg.	417.2	13.2	46.3
		S.D.	28.6	2.7	6.7
		C.V.(%)	6.9	20.8	14.4
		5%下限値			33.0
高温乾燥材 (32)		Avg.	369.3	8.3	44.4
		S.D.	32.2	1.3	7.4
		C.V.(%)	8.7	15.7	16.7
		5%下限値			30.6
集成材 (15)		Avg.	408.9	11.0	58.2
		S.D.	21.6	0.5	5.6
		C.V.(%)	5.3	4.7	9.6
		5%下限値			47.1

ρ_{15}: 含水率 15％換算密度。次式に基づいて算出

$$r_u = r_0(100 + u)/(100 + 0.84 r_0 u)$$

*スクリュー（ボルト）挿入面の割れの有無

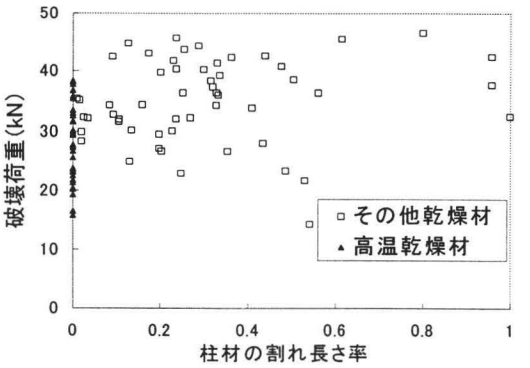


図 9 柱材の表面割れ長さ率とホールダウン金物接合部引き抜き強度の関係

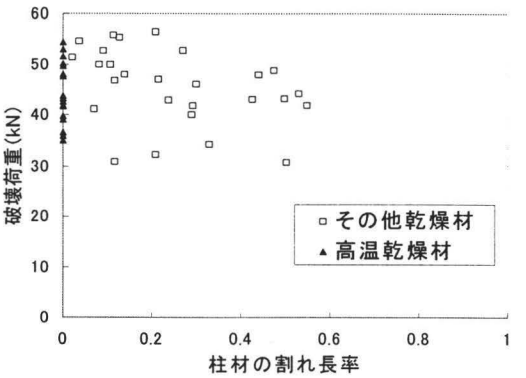


図 10 柱材の表面割れ長さ率とボルト一面せん断強度の関係

表 5　ホールダウン金物引き抜き、ボルト二面せん断試験 t 検定結果

乾燥材種類		その他乾燥材 全体	その他乾燥材 割れ有	その他乾燥材 割れ無	高温乾燥材	集成材
（ホールダウン金物引抜き試験）						
その他乾燥材	全体	–	–	–	5.388**	5.034**
	割れ有	–	–	0.3279	4.754**	4.684**
	割れ無	–	–	–	4.229**	3.477**
高温乾燥材		–	–	–	–	9.620**
集成材		–	–	–	–	–
（ボルト二面せん断試験）						
その他乾燥材	全体	–	–	–	1.123	5.827**
	割れ有	–	–	0.1482	0.956	4.629**
	割れ無	–	–	–	0.863	5.200**
高温乾燥材		–	–	–	–	7.083**
集成材		–	–	–	–	–

表 6　柱･梁接合部強度試験結果

使用部材		スギ梁用材	スギ-ベイマツ複合集成材
試験体数		6	6
割れ長さ率(%)	Avg.	80.0	0.0
破壊荷重(kN)	Avg.	102.4*	101.8*
	S.D.	7.98	3.94

* 危険率 1%で優位差無し

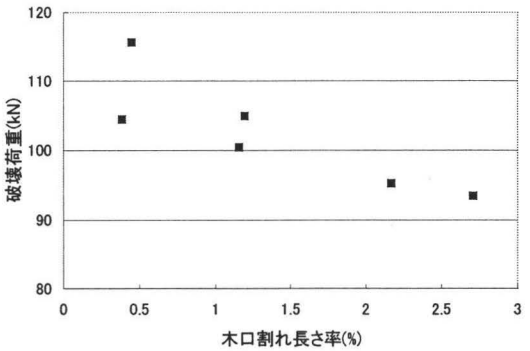


図 12 木口割れ長さと梁受け金物接合部強度の関係

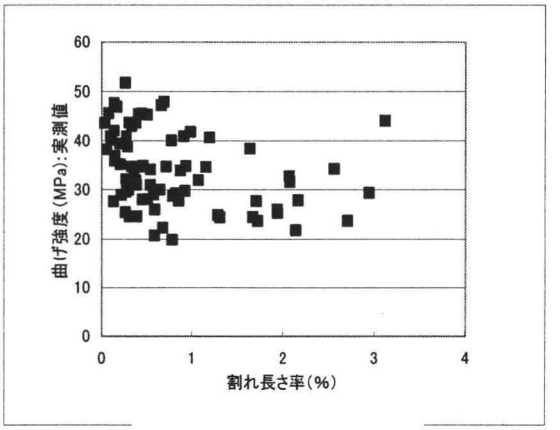


図 11 木口割れ長さと曲げ強度の関係

表 7 かど金物引き抜き試験結果

		試験体数	最大荷重	最大荷重時変位	含水率		表面割れ長さ/材長		表面割れ面積/表面積	
					柱	土台	柱	土台	柱	土台
			(kN)	(kN)	(mm)	(%)		(%)		(%)
平均値	直後	7	12.3	13.4	79.3	52.7	−	−	−	−
	1 月後	12	11.9	13.6	40.4	34.4	82.6	82.3	0.61	1.22
	2. 5 月後	20	11.7	12.0	26.0	21.2	68.5	75.2	0.64	1.23
	6 月後	20	9.9	11.5	12.3	13.3	49.9	45.9	0.59	1.00
標準偏差	直後	7	0.98	1.62	17.7	17.9	−	−	−	−
	1 月後	12	1.24	3.05	18.9	16.9	25.7	26.2	0.79	1.27
	2. 5 月後	20	1.92	2.56	10.4	7.59	35.7	29.5	0.65	1.52
	6 月後	20	1.73	3.84	0.8	1.37	24.9	41.4	0.74	1.36
変動係数 (%)	直後	7	7.92	12.1	22.3	34.0	−	−	−	−
	1 月後	12	10.4	22.4	46.9	49.0	31.0	31.8	129	105
	2. 5 月後	20	16.4	21.3	40.2	35.8	52.1	39.2	102	124
	6 月後	20	17.5	33.5	6.2	10.3	49.9	90.2	125	136

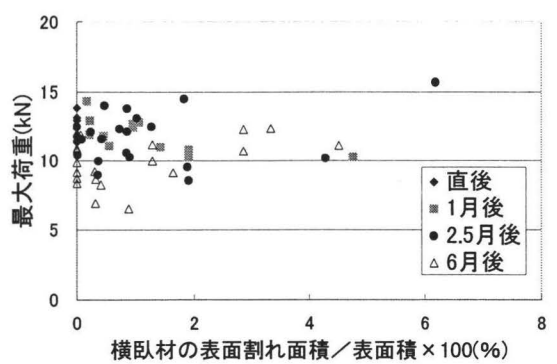


図 13 かど金物接合部－横臥材の割れ面積と破壊荷重の関係

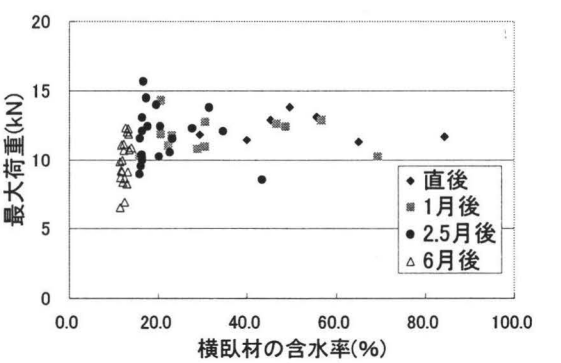


図 14 かど金物接合部－含水率と破壊荷重の関係

表 8 ホールダウン金物接合部、山形プレート接合部引き抜き試験結果

		含水率 (%)	破壊荷重 (kN)
ホールダウン金物	Avg.	23.3	32.2
	SD.	9.4	2.0
山形プレート	Avg.	25.3	12.4
	SD.	12.4	1.93

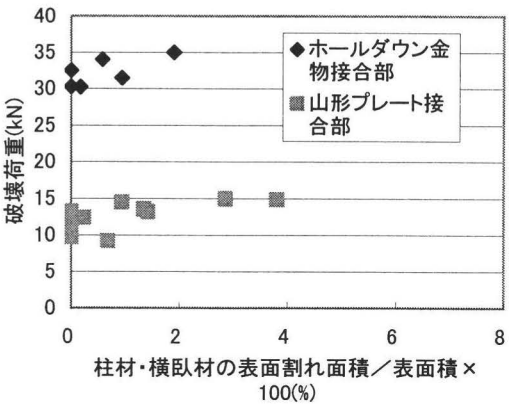


図 15 ホールダウン金物接合部－柱材の割れ面積と破壊荷重の関係、および山形プレート接合部－横臥材の割れ面積と破壊荷重の関係

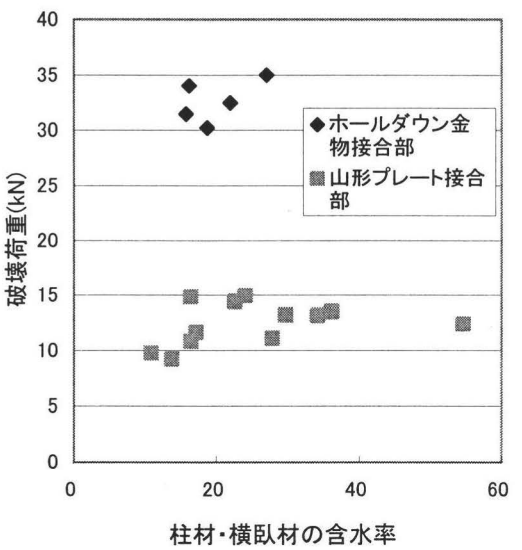


図 16 ホールダウン金物接合部－柱材の含水率と破壊荷重の関係、および山形プレート接合部－横臥材の含水率と破壊荷重の関係

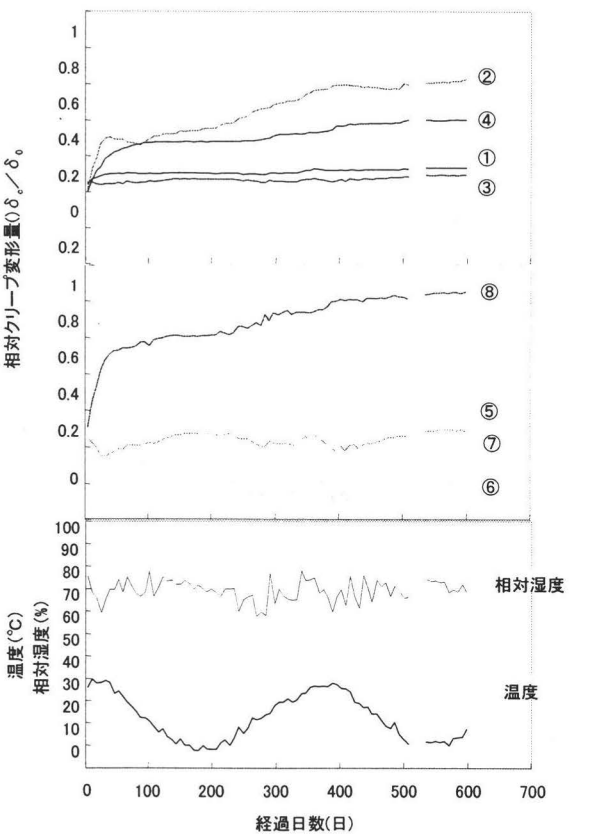


図 17 相対クリープ変形量とその間の温湿度変化

表 9 木口割れ長さ率と相対クリープ変形量の関係

No.	木口割れ長さ率 (%)	603 日経過後の相対クリープ変形量
1	0.363	0.139
2	0.0	0.627
3	0.175	0.092
4	0.0	0.397
5	0.440	0.161
6	0.0	-0.189
7	0.453	0.087
8	0.0	0.860

1-6 日本壁の空隙・細孔構造の解明と諸性能発現のメカニズム　－特に吸放湿性に着目して－

東京工業大学
教授　田中享二

1. はじめに

土壁の材料である土、木材、藁、竹といった素材は、建築材料として最も身近で入手しやすいものであるが、それらを組み合わせて作成された土壁は耐火、耐水、断熱、遮音、吸音などの壁として求められる諸性能を総合的に備えている。特に、最近ではシックハウスの原因である室内空気汚染化学物質の発生は社会問題となっており、室内空間への関心が急速に高まってきている。これら吸放湿性能は土壁の空隙構造と密接に関わっていることは知られているが、それら空隙構造がどのように分布し、諸性能に影響を及ぼしているかは明らかにされていない。

そこで本研究では、土壁の代表的な性能の一つとして吸放湿性能を取り上げ、土壁を構成する材料を変化させることで性能の変化を測定した。さらに、土壁の全空隙を調べるとともに、吸放湿性能と空隙・細孔構造との関係について明らかにすることを目的とした。

2. 既往の研究

既往の研究については、土壁の研究は社会的背景や地域性などの背景により、今まで積極的に研究がなされてこなかったが、最近になって土壁の性能を再評価する傾向が強まっている。例えば、岩崎らが、土壁の調合に関する研究[1-4]、タバコ煙吸着・拡散、吸放湿性能に関する研究[5-8]、そして土の化学分析などの土壁の諸性能に関する研究[9-12]を行っている。しかしながら、空隙構造の観点から性能を評価している研究は著者の知る範囲でほとんどないのが現状である。

3. 土壁の構成と材料

土壁の基本的な構成を図１に示す。土壁は竹や木で小舞下地を作成し、その上に荒壁層・中塗り層・仕上げ層と数層に渡って塗り重ねて、壁を構成するが、建物や地域によって、層の厚さや数、種類や材料には大きな違いがある。上記の工程を全て行うのは最高級の土壁であり、現在では荒壁だけで仕上げるものや、中塗りだけで仕上げるものも存在する。またこの中で、藁はひび割れを防止するつなぎの働きや、仕上げ層では壁の表情に味わいを出す意匠的な目的もある。砂もひび割れ防止や壁の強度調整などの働きがある。

土壁用の土は、その地域で採取できるものを使用するのが基本である。関東にはローム層が広がっているため土壁に適した土が少なく、荒木田土が荒壁用として使用されている。また、荒木田土に砂を添加することで、中塗り土としても使用され、仕上げ塗りには漆喰が使用されている。

4. 土壁の吸収放湿性能の測定

4.1 試験体

試験体として、本研究では、土壁の代表的な層構成である荒壁層、中塗り層、仕上げ層を選択した。なお、土壁の吸放湿性能及び空隙構造を調べるには、土壁の各層を幾層にも塗り重ねて、全層で評価することが望ましいが、各層毎にどの程度影響を及ぼしているかの分析が困難となる。また、地域ごとに異なる土壁の構法に適応させるためには、個々の層の影響を評価しておく方が、さまざまな土壁構法に本研究のデータを反映させることができるため、本研究では、荒壁層、中塗層、仕上げ層の個々の層について実験を行った。

(1)使用材料及び調合

各層を構成する材料について、荒壁層では土、藁、水を、中塗層では土、砂、藁、水を、そして仕上げ層では石灰に、蔦、糊、水を混ぜたものとした。

壁土の調合表を表1に、仕上げ層の調合表を表2に示す。

土壁の土には、関東地方で最も一般的な埼玉県産の荒木田土を使用した。土壁の含水率の管理については、JIS A1203 土の含水比試験方法に基づき、適正な含水率をもつ土壁としたものを用いた。なお、本研究では、図2に示す粒度分布をもつ荒木田土を使用している。また、砂は表乾状態にし、2㎜のふるいを通過したものを用いた。藁は20±2℃の部屋で養生されたものを用いた。藁土比は実際の使用範囲を考慮して、容積比で1%、2%、3%の3種類を作製した。荒壁、中塗りの水合わせについては、土壁の諸性能に影響を及ぼす要因であるため、水合わせ期間を変数とし、JISSの規定に基づき1週間以上と設定し、それ以上の水合わせ期間として、4週間、8週間の合計3水準で試験を行なった。なお、水合わせとは壁土に水と藁を加えて練り合わせることであり、保水性の向上と乾燥による亀裂防止のため藁を加え、常に水を満たした状態を保つことにより、土の熟成を促進させることができる。

(2)製造方法

荒壁、中塗り、漆喰の作製手順を図3に示す。試験体の寸法は、縦100㎜、横100㎜、厚さ10㎜とした。荒壁、中塗り試験体については、荒壁では土と藁を、また中塗りでは土と砂と藁を練混し、所定の期間水合わせをした後、混練した壁土を型枠内(100㎜×100㎜×10㎜)に施工した。そして、2週間気中で乾燥させ後、脱形し、図4に示すように一面を残してアルミテープで断湿して、土壁試験体を作製した。なお乾燥期間の設定については、経過日数における試験体の重量変化を予め測定し、定常状態となった期間から決定した。

漆喰の作成については、糊には天然の角又を使用し、煮詰めた後に蔦を加えて、上石灰をも加えてよく混ぜ、水で調整しながら、型枠に塗って漆喰試験体とした。

4.2吸放湿試験

前章で作製した試験体を用いて、土壁の吸放湿試験を行った。試験条件を図5に示す。試験状況は写真1に示す。環境条件は、規格調湿建材の吸放湿性試験方法(JIS A 1470)に基づき、温度23℃一定で、湿度を変化させて行った。まずは湿度53%の状態に保った恒温恒湿槽で24時間、重量が安定するまで保持した。その後、湿度を75%に変えて24時間まで、1時間毎に試験体重量を計測した。そして、再び湿度を53%に変化させて24時間、1時間毎に計測し、重量変化から吸放湿性能の測定を行った。

4.3吸放湿試験結果

各層の吸放湿試験結果を図6に示す。荒壁と中塗りについては調合条件の違いによる6種類の試験体のデータを示している。仕上げは荒壁と中塗りに比べて、最大吸放湿量が大きくなった。荒壁と中塗りを比べると、砂の含まれない荒壁のほうが最大吸放湿量は若干大きくなった。これは砂を混ぜることで吸放湿性能のある土の量が減ったためと思われる。また、藁量や水合わせ期間による違いによる比較を図7に示す。これより、最大吸放湿量は水合わせ期間を1週間から4週間へと伸ばすことで増加したが、さらに8週間へと伸ばすことで逆に低下した。これは、水合わせによって藁が発酵して疎水性能を持つ有機物が生成され、そのため吸放湿量が低下したためと考えられる。

5. 土壁の空隙構造の観察

5.1　空隙のサイズと測定機器

空隙を測定する方法として、数nm～数百nmまでの細孔を計測する場合にはガス吸着法が使用されている。この方法は、窒素を空隙内に吸着させて、その量とそれに対応する径を測定する方法である。数nm～数十μmまで計測する場合には、水銀の濡れにくさと常温で液体であるという性質を利用し、これを高圧で空隙内に圧入し、圧入された水銀容積と圧力との関係から各直径の空隙がどの程度存在しているかを量的に調べる水銀圧入法が広く用いられている。10μm以上の孔に対しては、顕微鏡が適している。そこで本研究では、図8に示すように0.01～0.1μmまではガス吸着法、0.1～10μmまでは水銀圧入法、10～1000μmまでは顕微鏡を用いて測定した。

(2) 観察用試験体の作製

空隙構造の観察用の試験体作成手順を図9に示す。ガス吸着法と水銀圧入法で使用する試験体は土壁試験体中央部から切り出した4mm角のサイズとし、D-dry法で24時間以上の乾燥を行い、測定を行った。

顕微鏡観察については、図9(b)に示すように30mm角程度に試験体を切り出して同じくD-dry法で24時間以上の乾燥を行い、その後蛍光染料を混ぜたポリエステル樹脂で真空含浸させ、オーブンで固化させた。さらに、カッターナイフで500μm程度に切断し、研磨して厚さ0.5mmの薄片を作製し、蛍光顕微鏡で観察した。

5.2　土壁の空隙分布

図10の各層の空隙分布の測定結果を示す。特に0.001～0.1μmの区間を拡大して図11に示す。この結果より、土壁の各層の空隙は数nm～数100μmまで幅広く分布していること、各層の空隙のピークは1μm程度であり、仕上げは中塗りや荒壁よりも空隙量が多いこと、仕上げにはnm領域を拡大した図でも、20nm付近にもピークがあることがわかった。また、荒壁と中塗りはほとんど同じ傾向を示したが、nm領域を拡大した図では荒壁のほうが若干、空隙容積が大きな値になった。

各層での空隙率の比較をした結果を図12に示す。土壁の全空隙率は全ての層で3割以上存在し、仕上げが最も高く、次いで中塗り、荒壁の順番となった。これら中塗りと荒壁の空隙率の違いは、中塗りで使用される砂によるものと考えられる。また、各空隙区間で比較する

と、0.1～10μmの範囲では仕上げ、中塗り、荒壁の順に空隙率が小さくなるのに対して、0.002～0.1μmの範囲では仕上げ、荒壁、中塗りの順に空隙率が小さくなった。

荒壁と中塗りにおいて、藁の割合と水合わせ期間を変えた場合の空隙率の変化について図13に示す。藁量で比較すると、全ての試験体で藁が多くなると空隙量が多くなった。また、水合わせ期間で比較すると、0.002～0.1μm の区間では、その期間が長くなるほど空隙率が多くなった。これは、水合わせを行うことで、藁が軟らかくなり、小さな空隙が増加したためたと考えられる。

6. 土壁の吸放湿性能と空隙構造との関係

6.1 空隙径ごとの空隙量と最大吸放湿と相関性

測定した空隙の区間空隙率と最大吸放湿量との関係を図14に示す。なお荒壁、中塗りは有機物の影響が小さい水合わせ期間1週間、4週間の合計6種類を選択している。区間毎の空隙量と最大吸湿量との関係で正の相関を示したのは、0.002～0.1μm の範囲の図である。このことより、0.002～0.1μm の範囲の空隙が、吸放湿性能に対して影響を与えているということがわかった。

6.2 強い相関の見られた空隙領域の詳細な検討

さらにどの領域の空隙が吸放湿性能に対して影響を与えているかということを詳細に調べるため、荒壁、中塗り、仕上げの試験体について、0.002～0.1μm の区間を対数値でほぼ7区間に分けたときの、区間空隙量と最大吸放湿量との関係を調べ、図15に示す。0.006～0.018μmの範囲で高い相関を示し、中でも相関性が高かったのは、0.01～0.018μmの区間である。一般に吸放湿性能に影響を及ぼす空隙領域は区間 0.002～0.05μm のメソ細孔と呼ばれる領域であると言われており、本結果はこのことも符合している。

7. 結論

壁の仕上げ、中塗り、荒壁の3層の試験体を作製して、空隙構造の測定と吸放湿試験を行い、それらの関係を考察した。その結果、以下の結論を得た。

[1] 最大吸放湿量は仕上げが一番大きく、中塗りと荒壁では砂の含まれない荒壁のほうが若干大きいが、大きな差はみられなかった。

[2] 空隙径は数nm～数100μmまで幅広く分布しており、各層とも1μmの付近でピークがあり、仕上げには0.01μm付近にもピークが見られた。また、空隙量は仕上げが一番大きく、中塗りと荒壁ではほとんど同じ値であったが、砂の含まれる中塗りの方が若干大きくなった。

[3] 荒壁、中塗り、仕上げの各試験体を用いて、区間空隙量と最大吸放湿量との相関係数は0.006～0.018μmの区間で最も大きくなり、この区間の空隙が吸放湿性能に対して大きな影響を与えているということが明らかになった。

＜参考文献＞

1) 岩崎博、篠崎真里、金子公雄：福島県産壁土調合の標準化、日本建築学会東北支部研究報告集58号、1995

2) 岩崎博、篠崎真里、半田和也：福島県産壁土の工法仕様標準化に関する研究(その１)－熟練左官技能士による壁土調合の標準化―、日本建築学会大会学術講演梗概集、1996.6

3) 岩崎博、細谷覚：土壁工法仕様標準化に関する研究(その２)－京都府産壁土の調合特性―、日本建築学会学術講演梗概集、1998.9

4) 平野陽子：荒壁構成材料の選別基準に関する実験的研究、東京大学博士論文、2004.3

5) 宇野尚雄、佐藤健、拓植浩志：２，３の砂質土の水分保持特性、不飽和度の工学的性質研究の現状シンポジウム発表論文集、ｐ.187-192、1987

6) 中野政司：土の水分量と毛管張力の関係(脱水過程)１－理論―、農業土木学会論文集、第35号、ｐ.1-10、1971

7) 岩崎博、澤登真：壁土の吸放湿履歴特性―壁土その他の伝統的建築材料との比較―、日本建築学会大会学術講演梗概集、1996.9

8) 岩崎博、澤登真：土壁内装室内の空気性状に関する基礎的研究―その１室内温湿度変化、マイナスイオン濃度及び臭い強度―、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997.9

9) 篠崎政夫：土壁調超軽量外装化粧仕上げ材料の凍結・融解抵抗性、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999.9

10) 岩崎博、細谷覚、八木美治：壁土の基礎的性質による産出地域分類―その10施工性、色彩及び吸放湿特性による総合分類―、日本建築学会大会学術講演梗概集、2000.9

11) 岩崎博、篠崎真里：壁土の産出地域分類―その２福島県産壁土の粒度試験及び元素分析による分類、日本建築学会大会学術講演梗概集、1997.9

12) 岩崎博、細谷覚、八木美治：壁土の産出地域分類―その５福島県産と京都―滋賀地方産、北関東産壁土の粒度組成及び元素周期表族別分類による総合化分類―、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999.9

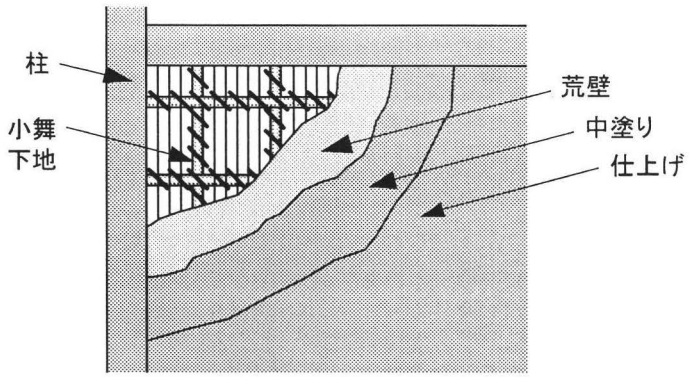


図1 土壁の構成

表1 荒壁、中塗りの調合(土壁1ℓあたり)

分類	名称	土重量 (g)	砂重量 (g)	藁重量 (g)	水重量 (g)	水合わせ期間
荒壁	荒壁-藁1%	1261.4	0	11.8	229.3	1週間 4週間 8週間
	荒壁-藁2%	1257.1		18.3	233.3	
	荒壁-藁3%	1245.0		27.2	239.8	
中塗り	中塗壁-藁1%	989.2	846.2	9.6	311.1	
	中塗壁-藁2%	948.1	819.1	14.1	360.0	
	中塗壁-藁3%	910.8	800.0	18.5	438.2	

使用材料 壁土:埼玉県荒木田土　　水:水道水
藁:埼玉産(長さ約3cm)　　砂:川砂

表2 仕上げの調合(漆喰1ℓあたり)

分類	名称	石灰重量(g)	蔦重量(g)	角又重量(g)	水重量(g)
仕上げ	漆喰	2162.1	32.4	324.1	323.1

使用材料 漆喰材料・・栃木産上石灰
漆喰糊・・角又　漆喰・・栃木産蔦

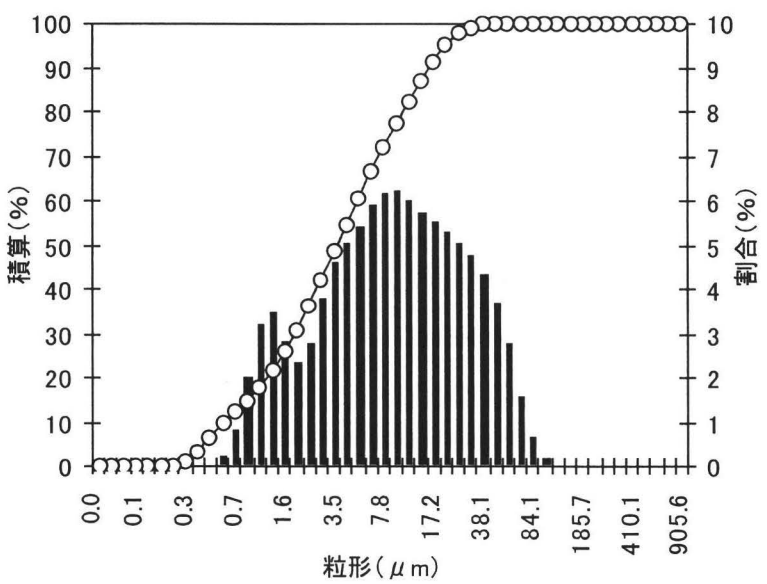
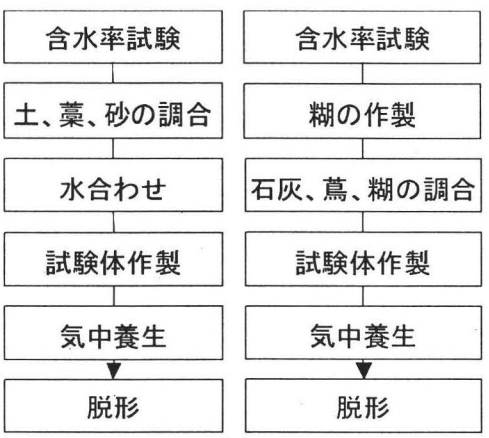


図2 荒木田土粒度分布



(a) 荒壁、中塗り　　(b) 仕上げ

図3 土壁試験体の作製

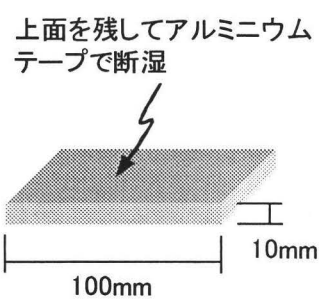


図4 土壁試験体の寸法

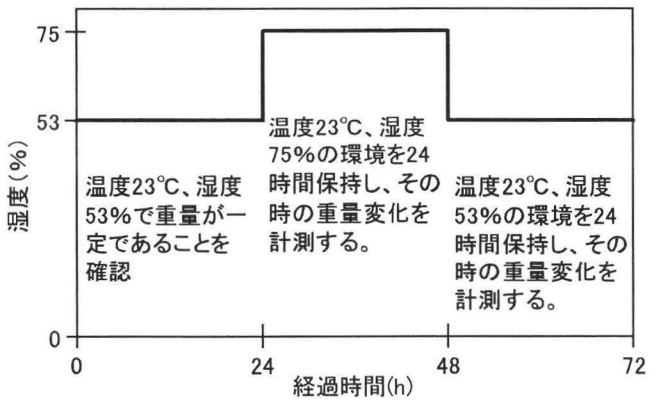


図5 吸放湿試験の環境条件（JIS A 1470に準拠）

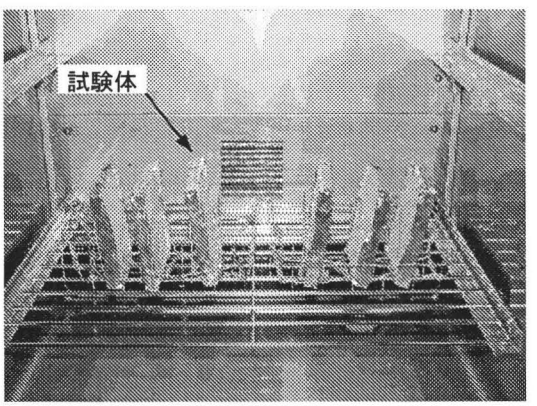


写真1 吸放湿試験状況

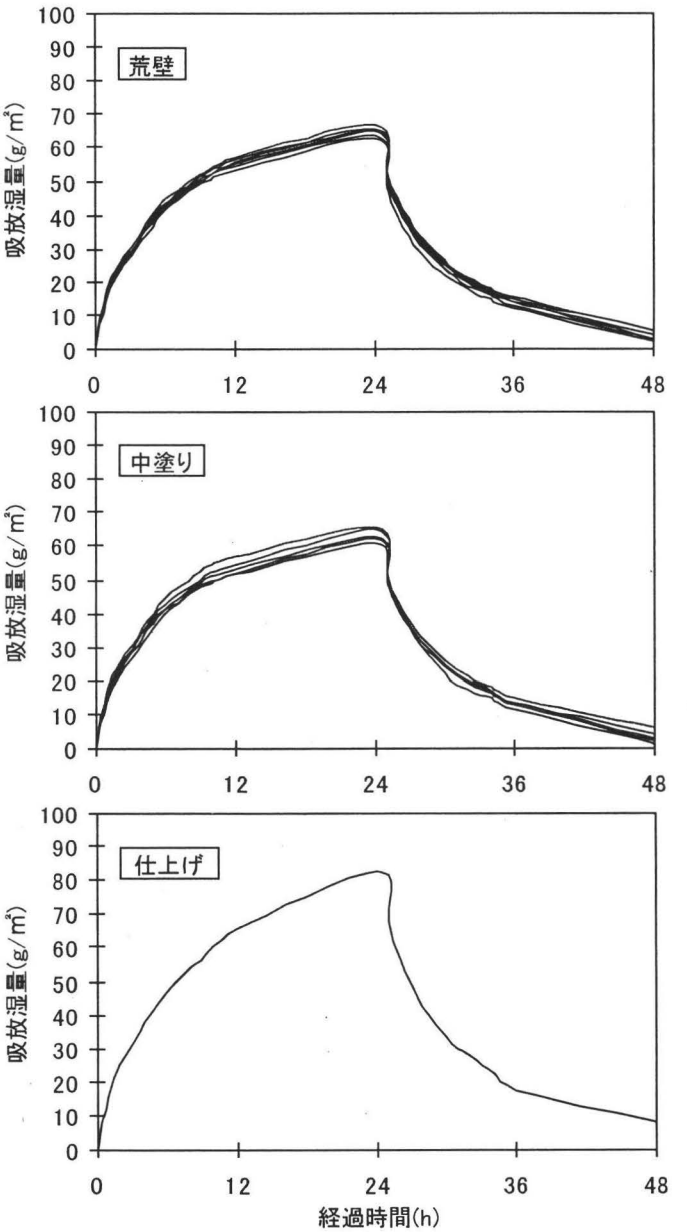


図6 吸放湿試験結果

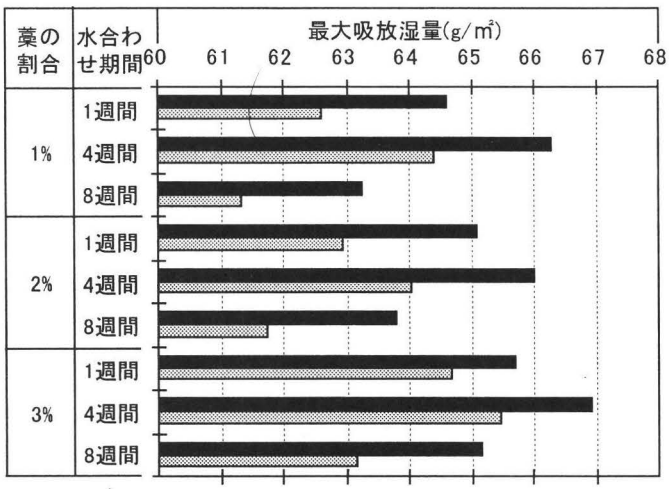


図7 土壁試験結果(最大吸放湿量による比較)

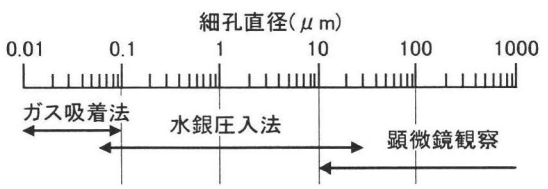
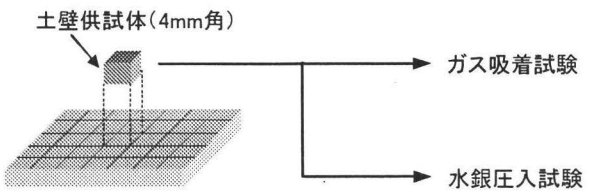
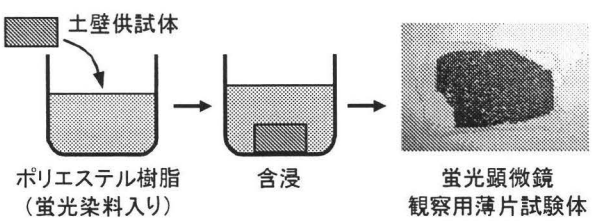


図8 細孔の測定手法



(a) ガス吸着試験、水銀圧入試験用試験体



(b)蛍光顕微鏡用試験体

図9 観察用試験体の作製

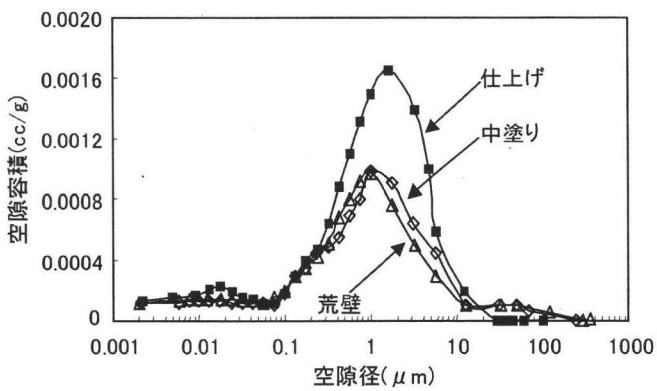


図10 空隙分布

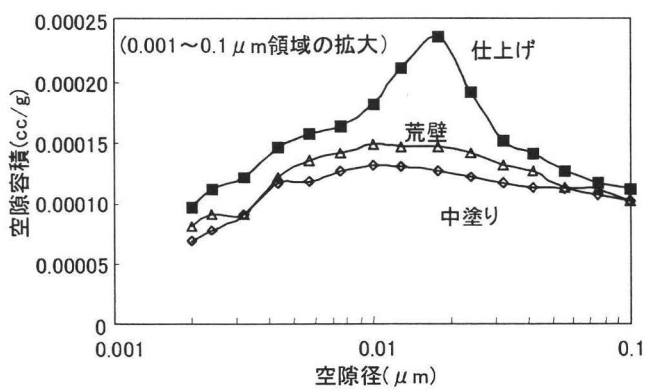


図11 細孔領域(0.001～0.1μm)での空隙分布

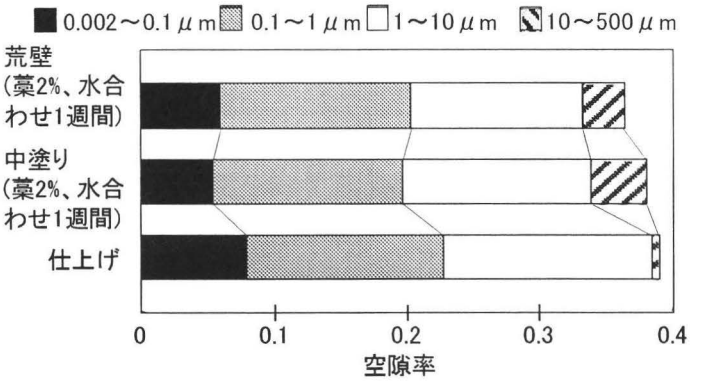
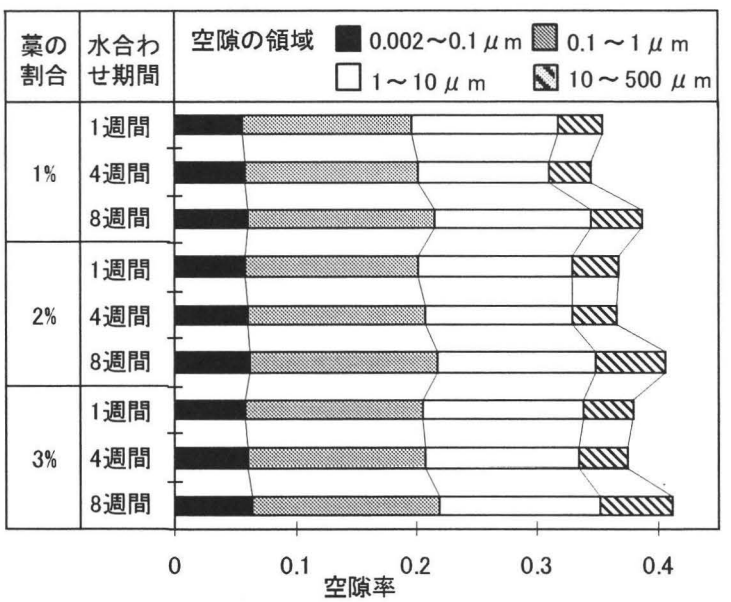
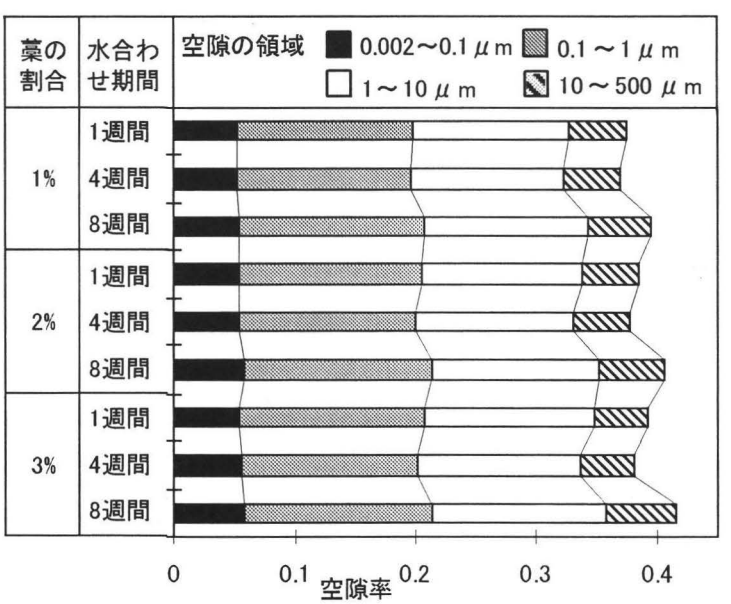


図12　空隙分布(層毎の比較)



荒壁の空隙分布



中塗りの空隙分布

図13　荒壁と中塗りの空隙分布

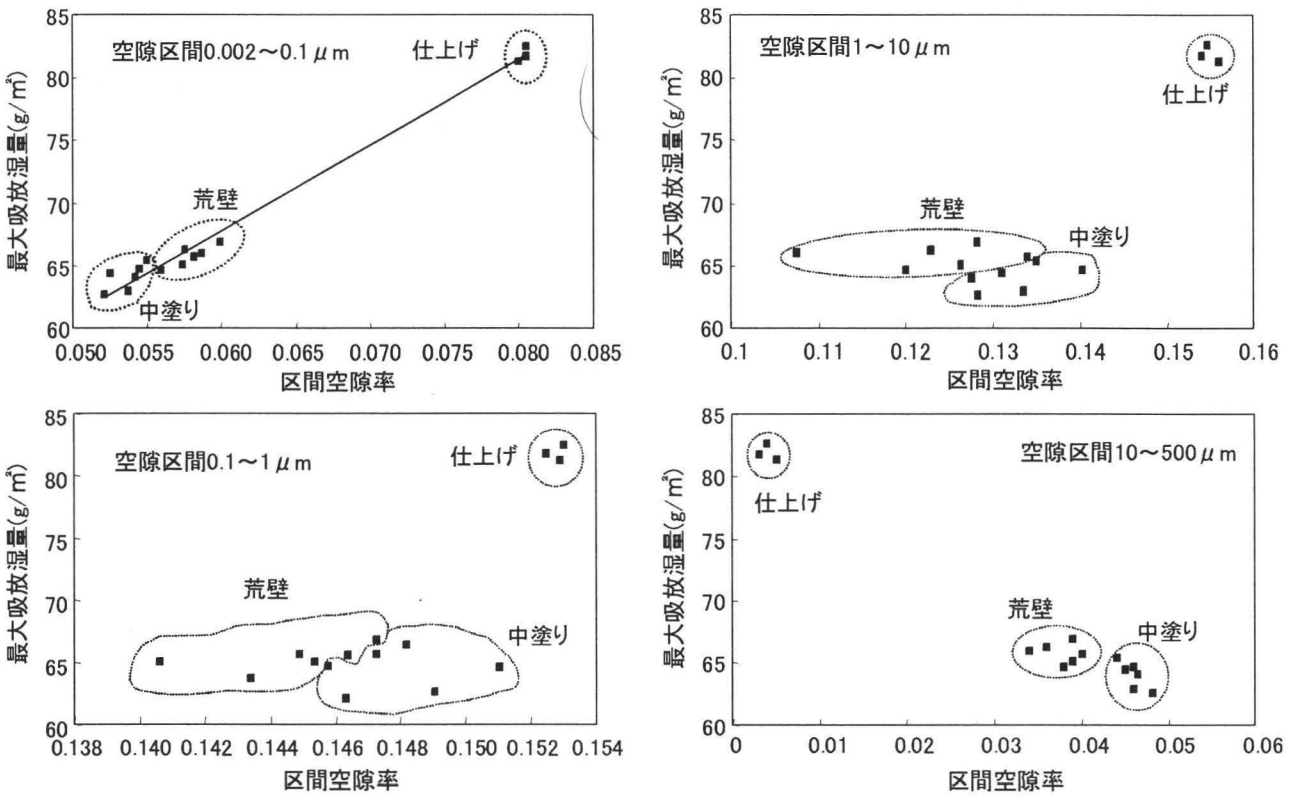


図14　区間空隙率と最大吸放湿量の関係

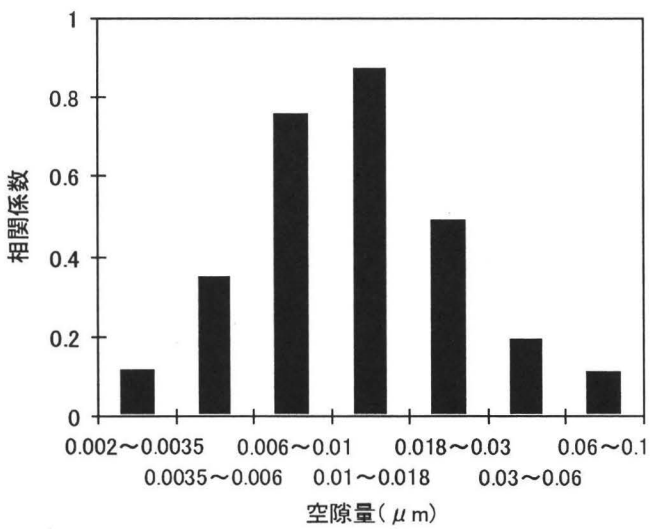


図15　区間空隙率と最大吸放湿量との相関係数の変化

1-7 いわゆるシックハウス対策を実施した住戸におけるカビ・結露のメカニズムと住まい方についての調査研究

国立保健医療科学院

建築衛生部　部長　　池田　耕一

1.本研究の背景と目的

いわゆるシックハウス問題として各種建材、家具、塗料などから発生する化学物質による室内空気汚染が注目されている。化学物質空気汚染は、まだ具体的な因果関係は明らかにされていないが、シックハウス症候群の一つの原因として注目されており、既往の研究からも症候群が報告される建築物の中には新築または増改築を行ったものが多く含まれていることが確認された[1),2),3)]。しかし、シックハウス症候群はこれらの新築・増改築の建築物のみならず、湿気問題を抱えている建築物においても多数報告されている[4),5),6),7),8)]。湿気は微生物汚染と関係が深く、湿気問題を抱えている建築物で微生物由来揮発性有機化合物(Microbial Volatile Organic Compounds、以下 MVOCs)とシックハウス症候群との関係が示されたことから、MVOCs による臭気問題や健康への影響が注目されるようになった。

不適切管理によって空調機内とダクトに付着した真菌から特有の MVOCs が発生し、さらにその MVOCs が空調機を通じて室内へ拡散することが確認された[9)]。また、中井ら[10)]は化学物質過敏症患者用の住宅においてカビ汚染が発生し、カビ臭により仮入居者中の化学物質過敏症患者が種々の過敏症状を訴えるようになったと報告している。高温多湿気象条件を持つ日本においても、MVOCs による臭気や室内空気汚染が問題になる可能性は高く、真菌汚染は湿気、建築材料、断熱特性、換気、局所的温熱環境などと密接に関係していることから、シックハウス問題の改善の際にはこれらの問題についても十分な考慮が必要であると考えられる。

室内には季節や場所によって差はあるものの、真菌や細菌などの微生物が存在し、これらの微生物は居住者の喘息やアレルギーの原因となる。しかし、微生物汚染による室内空気質への影響は喘息やアレルギーのみならず、室内に存在する微生物の中には増殖と代謝(metabolism)の副産物としてアルコール類やケトン類をはじめとする揮発性有機化合物(Microbial Volatile Organic Compounds)を放散するものがあり[11),12)]、その一部の物質は臭気問題や室内空気汚染の原因となる。

室内における微生物発生は建築物の断熱特性や換気、住まい環境、局所的温熱環境などと複雑に関係している。カビの場合、有機物であればほとんど何でも栄養源として利用し、カビが成長できる環境であれば、壁、天井、収納などで発生する。夏季の高温多湿気象条件を持つ日本では地下空間、壁、ダクト含む空気調和設備などが真菌や細菌が増殖しやすい場所でもある[13),14)]。最近ではシックハウス対策としてホルムアルデヒドの放散を抑えた低放散建材を使用することが増えている。しかし、化学物質としてのホルムアルデヒドが殺菌効果[15)]を持っていることを考えると、建材におけるホルムアルデヒドの含有量または放散量は、その表面に付着する真菌の成長に大きな影響を及ぼす可能性がある。

そこで本調査では、居住空間内におけるカビ発生と室内化学物質空気汚染の関係に着目し、シックハウス対策における結露・カビ汚染問題について調査を行った。以下にその調査結果を報告する。

2．住空間内のカビ由来の有機化合物について

2．1　カビとカビ由来有機化合物（MVOCs）

居住空間内に存在する真菌とその生殖場所を表１に示す。居住空間内から検出される真菌は食品に発生する菌類を除けば、80 属 60 種程と言われているが、室内では主にクラドスポリウム(クロカワカビ)、ペニシリウム(アオカビ)、アスペルギルス(コウジカビ)、フザリウム(アカカビ)、アルテナリア(ススカビ)などが検出されている。これらは好・中湿性菌として土中と空気中に存在するものである。カビの場合、有機物であればほとんど何でも栄養源として利用し、室内塵、畳、木材、壁紙、コンクリート、モルタルなどに生える。発生場所は梅雨期と冬季では発生場所が異なることもあるが、空気と湿気が滞留しやすい押入れ、浴室、壁、居間などでよく発生する。

カビは従属栄養型の生物で先端生長する菌糸先端の細胞壁を通じて低分子の物質を吸収し、発育する。発育の際には代謝の副産物として MVOCs を放散する。MVOCs には、ethylacetate、2-methyl-1-propanol、3-methyl-1-butanol と 2-ethyl-1-hexanol など多くの物質が含まれる。これらの MVOCs には特有の臭いを持っている物質が多く、一部の物質は高濃度の蒸気で強い臭いを感じるとともに、人体の皮膚や目、喉を刺激する物質でもある。図１に発育段階における MVOCs 放散量を示す。各菌をフラスコ底の PDA 培地に付着させた後、2 日間隔で MVOCs のサンプリングを行い、各サンプリング期間中における全 MVOCs 放散量を表している。各菌の MVOCs 放散量は一面繁殖がみられる時期に最も高くなり、全 MVOCs 放散量は約 40～1100 μ g/(2day・フラスコ)まで達する。

表２には *Rhizopus* 属の菌における MVOCs 放散量と各物質の放散量比を示す。9 種類の MVOCs が検出されるが、放散量の約 7 割以上をイソブチルアルコール(2-methyl-1-propanol)とイソアミルアルコール(3-methyl-1-butanol)が占めている。菌の付着後から 6 日目までは各物質の放散比が大きく変わることはなく、ほぼ同程度の割合で発生する。その他の菌種においても同様な傾向があり、真菌の繁殖中には各物質がほぼ一定の割合で発生しているといえる。

２．２　カビの発生場所別 MVOCs

カビが発生する場所と MVOCs 放散の関係の例を図２に示す。MVOCs 放散量は PDA 培地で最も高く、検出限界以下～約 300 μg/7days の分布を示し、室内塵と畳では検出限界以下～約 27 μg/7days までである。表３には各付着材料における真菌別 MVOCs 放散特性を示す。カビ菌からは、酢酸エチル(ethylacetate)、2-methyl-1-propanol、二硫化ジメチル(dimethyl disulfide)、3-methyl-1-butanol と 2-エチル-1-ヘキサノール(2-ethyl-1-hexanol)など 15 物質の MVOCs が検出される。これらの MVOCs は特有の臭いを持っている物質が多く含まれており、高濃度の蒸気で強い臭いを感じると共に人体の皮膚や目、喉を刺激する物質である。各菌から発生した MVOCs は菌種や栄養源となる付着材料によって大きくな異なり、それぞれの菌と付着材料では特有の MVOCs が検出される。各菌から発生する MVOCs の種類においては PDA 培地で最も多くの MVOCs が放散され、次には畳、室内塵の順である。付着材料別にみると、PDA 培地では多くの菌から ethylacetate、3-methyl-1-butanol と 2-methyl-1-propanol などが共通して検出される。一方、室内塵では主に 2-ethyl-1-hexanol が、畳では dimethyl disulfide と 2-methyl-1-propanol が検出される。

２．３　空気調和システムにおける MVOCs 放散

居住空間内でカビが発生した場合、それぞれの菌によって MVOCs が室内へ放散する。しかし、MVOCs が発生する場所は、上記の場所のみならず、エーアコンや空気調和システムなどでもカビ汚染により装置自体から MVOCs が放散することもある。空気調和設備は温湿度調節や室内空気質を維持するためのものであるが、各種フィルタやダクトを含めた空気調和設備の不適切な管理によっては真菌・細菌などの微生物汚染が進行し、2 次汚染物質であるＭＶＯＣｓを建物全体に放散させ、室内空気汚染の原因となる。

図３には、夏季の事務所ビルの空気調和設備内における MVOCs の放散状況を示す。ここで OA は外気導入部を、MA は混合室を、SA はダクト入り口を、EA 室内側のダクト吹出し口を、IA は室内を表す。μｇレベルの微量ではあるが、カビ由来と考えられる MVOCs が混合室、ダクト入り口や室内側の吹出し口などで放散している。調査ビルによる違いはあるものの、外気導入部、混合室、室内側のダクト吹出し口順に MVOC 濃度が若干高くなる傾向がある。図４はダクト吹出し口(EA)における MVOCs 濃度を示す。Y ビルではダクト吹出し口で採集されたクラドスポリウム由来であるイソブチルアルコール、メチルプロピルケトンとメチルイソブチルケトンが、F ビルではペニシリウム属とアスペルギルス属由来と考えられる MVOC が検出されるなど、空気調和機内のカビ汚染による室内へのＭＶＯＣｓ放散が確認されている。

３．散建材とカビ汚染の関係に関する実験

これまで、既往の研究成果を中心にカビ由来の有機化合物とその発生構造について調査を行ったが、菌の成長に伴って発生する MVOCs は、栄養源となる付着材料の化学的組成に大きく左右されることは明らかである。最近ではシックハウス対策としてホルムアルデヒドの発生源を抑えるために内装材に低放散建材を使用することが増えているが、化学物質として

のホルムアルデヒドが殺菌効果を持っていることを考えると、建材におけるホルムアルデヒドの含有量または放散量は、その表面に付着する真菌の成長に大きな影響を及ぼす可能性がある。そこで本調査では、居住空間内における真菌発生と室内化学物質空気汚染の関係に着目し、合板におけるホルムアルデヒド放散量と真菌成長の関係を明らかにすることを目的とし、実験を行った。以下にその実験結果を報告する。

３－１　実験概要

３－１－１　実験対象木質建材と真菌

実験では、日本農林規格[28](以下、JAS)によりホルムアルデヒド放散量の等級区分が定まっている合板を実験対象建材とした。表４に実験対象サンプルと真菌を示す。全ての合板サンプルは厚み約 5㎜ で防菌処理を行っていないものを販売店より直接に購入した。サンプル A と B は JAS により等級されたもので、Fc_0 と Fc_1 に相当するものであった。サンプル C、D と E は等級されていないものであり、その中で D と E は輸入品であった。実験対象真菌は前報[2]で用いた真菌のなかから、好・中湿性菌として室内に多く存在し、MVOCs を発生する菌を選んで実験を行った。実験対象真菌は *Aspergillus*(コウジカビ)、*Cladosporium*(クロカワカビ)、*Penicillium*(アオカビ)と *Rhzopus*(クモノスカビ)であった。なお、*Rhzopus* は属まで分類された菌を用いて実験を行った。

３－１－２　実験方法

表５に実験概要及び条件を示す。各実験は温湿度の調節が可能なラージチャンバー内で行った。まず実験Ⅰでは、JAS のデシケータ試験法に従い、各サンプルのデシケータ値を測定した。各サンプルから JAS 法に従って試験体を作り、その試験体をデシケータ内に設置した後、蒸留水に溶けたホルアルデヒド濃度を AHMT 法により測定した。

次に実験Ⅱでは、実験Ⅰ終了後に試験体を置いた状態でデシケータ内部を十分に換気させた後、デシケータを小型チャンバーとして利用し、各サンプルからのホルムアルデヒド放散量を測定した。実験Ⅱにおける試験体の数は実験Ⅰ条件と同じであった。デシケータの換気にはラージチャンバーの清浄空気を用いて 0.5l/min の流量で行った。ホルムアルデヒドのサンプリングは、DNPH カートリッジを用いてデシケータの排気口から 3 時間間隔(24 時間)で行った。DNPH カートリッジに捕集されたホルムアルデヒドは、アセトニトリルにより抽出し、高速液体クロマトグラフィ(HPLC)を用いて分析を行った。

実験Ⅲでは、各サンプルの試験体表面に実験対象真菌を付着させた後、ホルムアルデヒド放散量と真菌成長の関係について実験を行った。菌の付着では、まず液体トリプトソイブイヨン培地により実験対象真菌の胞子を個別に希釈し、次に各サンプルの試験体片表面の 12ヶ所に希釈した培地、0.1ml を個別に付着させた。菌の付着後には、各試験体をデシケータ内に設置して 4 日間培養した。実験Ⅲでは実験Ⅱと同じく 0.5l/min の流量で換気を行った。またデシケータの換気の際には加湿装置を用いてデシケータ内の相対湿度を 90±5%に維持した。4 日間の培養後には真菌を付着させた 12ヶ所においてコロニーが形成された場所の数を

目視によりカウントした。図５には液体トリプトソイブイヨン培地を用いた真菌付着直後と培養後の例を示す。実験Ⅲでは付着菌の成長における再現性を確認するため、各サンプルと真菌について２回ずつ実験を繰り返した。

３－２　実験結果

３－２－１　デシケータ値とホルムアルデヒド放散量

図６に各サンプルにおけるJAS法によるデシケータ値とチャンバー法によるホルムアルデヒド放散量を示す。ここでチャンバー法によるホルムアルデヒド放散量は、デシケータ内のホルムアルデヒド濃度が定常に達した９時間以降の濃度から下記の式により求めた。

$$ER = \frac{Q \times C}{A} \qquad \text{式（１）}$$

ここで、Cはデシケータ内のホルムアルデヒド濃度[μ g/m^3]、Qはデシケータの換気量[m^3/h]、Aはデシケータ内に設置した全試験体の６面表面積の総和[m^2]である。

各サンプルのホルムアルデヒド放散量は、11.3～561.2 μ g/(m^2・h)の分布を示し、二つのサンプルでホルムアルデヒド放散量が300 μ g/(m^2・h)を超えていた。JAS法によるデシケータ値は0.3～10.8mg/Lであった。JAS法による等級区分に従うとサンプルAはFc_0、サンプルBは表示された等級より低いFc_0、サンプルDはFc_1に相当するものであった。またサンプルCとDは等級区分外のものであった。

３－２－２　試験体における真菌成長

表６には実験Ⅲにおける真菌成長の結果を示す。低放散量のサンプルでは、４日後にほとんどの付着菌が12ヶ所でコロニーを形成していた。一方、放散量の高いサンプルC、DとEでは、１回目と２回目の実験でコロニーが形成される場所は異なっていたものの、コロニー形成場所の数はサンプルAとBに比べて大きく減っていた。

各試験体では、*Aspergillus*、*Cladosporium* と *Penicillium* ともに１回目と２回目の実験でほぼ同じ結果を示し、付着菌の成長に再現性が確認された。しかし、*Rhzopus* の場合、全てのサンプルでコロニーの形成にバラツキが大きく、１回目と２回目の実験結果からは再現性はみられなかった。クモノスカビ類は好湿性菌であり、今回の実験条件であった相対湿度、90±5%では試験対表面を十分に濡らすことが出来なかったために、付着菌の成長にバラツキがみられたと考えられる。この菌成長におけるランダムなバラツキにより、今回の調査では *Rhzopus* 菌におけるホルムアルデヒド放散量と菌成長との関係を把握することは困難であった。

３－２－３　ホルムアルデヒド放散量と真菌成長の関係

全ての実験結果をもとにホルムアルデヒド放散量と真菌成長の関係について分析を行った。図７にその結果を示す。ここでコロニー発生割合は、真菌を付着させた12ヶ所においてコロニー形成が目視により確認された場所の数を百分率で表したものである。またコロニー発生割

合は実験Ⅲの１回目と 2 回目の両実験結果の平気値を用いた。*Aspergillus*、*Cladosporium* と *Penicillium* ともにホルムアルデヒド放散量が大きくなるに従ってほぼ同程度にコロニー発生割合が低くなっている。

ホルムアルデヒド放散量が最も高かったサンプル D では、全ての付着菌が成長していなかった。放散量段階別にみると、放散量が 15μg/(m²・h)以下では放散量による真菌成長への影響が全くみられないものの、放散量がそれ以上になると、付着菌の成長に変化がみられはじめた。放散量が 330μg/(m²・h)では付着菌の約半分だけが成長し、放散量が 560μg/(m²・h)を超えると全ての付着菌の成長が抑えられていた。また 30～560μg/(m²・h)の間ではホルムアルデヒド放散量と付着菌の成長割合は指数的関係を示した。

図８に JAS 法におけるデシケータ値と真菌成長の関係を示す。JAS 法の等級区分からみれば、Fc_0 レベルではホルムアルデヒド放散量による付着菌の成長への影響はなく、全ての付着菌がコロニーを形成することが確認された。しかし、放散量が Fc_1 と Fc_2 レベルになると、付着菌の成長に変化がみられ、Fc_2 では、Fc_0 に比べてコロニーの数が約半分程度になっていた。等級区分の対象外ではあるが、デシケータ値が 10.8mg/L を超えると付着菌が生えない状態であった。

合板のホルムアルデヒド放散量と各真菌の成長割合の指数的な関係から、非線型最小二乗法(Nonlinear Least Square Method)を用いて放散量と真菌成長の関係の近似式を作成した。パラメータ推定には修正 Marquardt 法を用いた。図９に推定結果と測定値の関係を示す。推定式と測定値では、重相関係数、0.89 と有意な推定式が得られた。以下に今回の測定で得られた近似式示す。

$$FGR = \frac{1}{1 + 0.4965 \times FER^{1.5}} \qquad \text{式（２）}$$

ここで FGR(Fungal Growth Rate)は、付着真菌の成長率[%]を、FER(Formaldehyde Emission Rate)は合板のホルムアルデヒド放散量[μg/(m²・h)]を表す。菌種によって多少差はあるものの、今回の実験対象真菌では、付着菌の成長率がホルムアルデヒド放散量の 1.5 乗に反比例していることが示された。

３－２－４　考察

建築物における真菌汚染による健康への影響[29),30)]から、菌が付着する建材の物理的構造や使用期間などと真菌汚染の関係[31),32),33)]が報告されている。図７に示した本研究の実験結果によると、合板におけるホルムアルデヒド放散量がその表面に付着する真菌の成長に大きな影響を与えていることは明らかである。またこのような放散量による付着菌の成長への影響は、合板以外の木質建材においても同様な現象が起こると考えられる。

建材の使用期間の側面からみれば、木質建材では時間経過と共にホルムアルデヒド放散量が減衰することが知られており、高放散量の木質建材でも放散量減衰に従って真菌汚染が起こりやすくなると考えられる。図８に示した JAS による等級区分からは、Fc_0 レベルの建材で結露または湿気問題が発生すると他のレベルの建材よりも真菌汚染のリスクが高くなってい

ることがわかる。

ホルムアルデヒド放散量は周辺の温度や湿度など環境因子により大きく変化し、結露または湿気問題が発生した場合、局所的に放散量が高くなると考えられる。実験Ⅲではデシケータ内を相対湿度、90±5%に維持しており、付着菌は図８に示したホルムアルデヒド放散量よりも高いレベルのホルムアルデヒドに曝露されていたと推測される。従って図９と式(2)で示した近似式は、通常の状態におけるホルムアルデヒド放散量と、結露または湿気問題が発生した後の付着菌成長の関係を示しているものであると考えられる。

また今回の実験ではチャンバー法により各サンプルのホルムアルデヒド放散量を求めており、実験Ⅱで示した放散量は菌を付着させたサンプル表面の正確な放散量を示すものではない。実験ⅡではJAS法に従った試験体を設置しており、試験体の側面を含めた6面表面積の総和を考慮すると、通常のチャンバー法よりもローディングファクター[13](試験体表面積対換気量比)が大きくなっていた。今後は、FLEC(Field and Laboratory Emission Cell)[14]などを用いて材料表面近傍のホルムアルデヒド濃度を正確に測定するとともに、その他有機化合物放散による付着菌成長への影響を踏まえた上で実際の居住空間内における化学物質空気汚染と真菌汚染の関係を検討する必要があると考えられる。

４．住教育マニュアルについて

今回、ケーススタディとした住宅の間取りは、南側にリビングと和室、北側に洋室２室、台所はカウンターキッチンがある３LDKタイプである。

以上の実験結果から、ホルムアルデヒドの含有量が少ない建材は、カビが発生しやすい特性があることがわかった。

しかし、こうした対策を行った新築集合住宅に住んでいる居住者におこなったアンケート調査から、冬の結露は深刻であることがわかったが、「結露→かび」となる被害の回答がみられなかった。今回調査した住居では、常時人がいる家庭が多かった。訪問した住宅内の印象も手入れが行き届いていると感じられた。また、アンケート調査から換気行動については、在室宅時の窓開けがよく行われ、外出後および起床時の窓開けについても、よく行われていた。

以上の結果を踏まえて、住教育用のパンフレットに載せる内容としては、部屋の間取り別に空気環境に注目した内容のパンフレットとすることにした。比較的若い夫婦の世帯が多かったことから、見た目にも美しいパンフレットとなるように心がけて作成した。

５．まとめ

本研究では合板におけるホルムアルデヒド放散量と付着真菌成長の関係を明らかにすることを目的として実験を行い、以下の結果を得た。

1) 合板におけるホルムアルデヒド放散量は、その表面に付着した *Aspergillus*(コウジカビ)、

Cladosporium(クロカワカビ)と*Penicillium*(アオカビ)の成長に大きな影響を与えていることが明らかになった。放散量別にみると、15μg/(m²・h)以下では放散量による真菌成長への影響が全くみられないものの、放散量がそれ以上になると付着菌の成長に変化がみられ、560μg/(m²・h)を超えると全ての付着菌の成長が抑えられていた。

2) 日本農林規格(JAS)によりホルムアルデヒド放散量の等級区分から、Fc_0レベルではホルムアルデヒド放散量による付着菌の成長への影響はなく、全ての付着菌がコロニーを形成することが確認された。等級区分Fc_1とFc_2レベルになると、付着菌の成長に変化がみられ、Fc_2では、Fc_0に比べてコロニーの数が約半分程度になっていた。

3) ホルムアルデヒド放散量と付着菌成長の近似式により、菌種によって多少差はあるものの、今回の実験対象真菌では、付着菌の成長率がホルムアルデヒド放散量の1.5乗に反比例していることが示された。

4) 低放散建材の導入により、居住空間内でカビ汚染のリスクが高くなり、シックハウスの対策の際には、結露やカビ汚染対策について検討を行う必要があることが示唆された。

5) 住まい方について、居住者に等身大のパンフレットを作成した。

6．今後の課題

本研究計画の初期段階においては、人工環境中のカビの成長に関する実験において、第3章で記述した「材料中に含まれている化学物質がカビの成長に与える実験」と言う主要な、そして基礎的かつ直接的な実験のみならず、「空気中の化学物質濃度が、カビの成長に与える影響を調べる実験」と「浮遊真菌濃度が材料面におけるカビの発生に与える影響に関する実験」と言う2つの派生的な実験を予定していた。しかしながら、これらの実験は、以下の理由により、今後の継続検討課題とした。

① これらの実験は、あくまで派生的であり、主要かつ基本的な「材料中に含まれている化学物質がカビの成長に与える実験」により、本研究の主要部分に関する知見は相当部分得られていること

② を実施するためには、単なる曝露チャンバーを準備するだけでなく、空気中の化学物質濃度や、浮遊真菌濃度をある程度制御された条件下におく必要があるが、そのためには本院のテストチャンベーに付随している機器類だけでは、到底不十分であることが判明したこと

参考文献

(イ) WHO, Indoor Air Quality : Organic Pollutants, EURO Reports and Studies No.111, World Health Organization, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark,1989

(ウ) Fanger P.O., A Solution to the Sick Building Mystery, Proc. of 4th International Conference

on Indoor Air and Climate, Vol.4, West Berlin, 1987

(エ) Molhave L., Indoor Air Quality in relation to sensory irritation due to volatile organic compounds, ASHRAE Trans.92(1), 1986

(オ) Bengt Wessen and K. O. Schoeps, MVOC Ratios-An Aid for Remediation of Sick Buildings, Indoor Air 96, Vol.3, pp.557-561,1996

(カ) Bengt Wessen, Gunmmar Strom and Urban Palmgren, Microbial Problem Buildings-Analysis and Verification, Indoor Air 99, Vol.4, pp.875-879, 1999

(キ) K. Lehtomaki, E.Tukianen, M. Seuri., et al., Symptoms of Workers Employed in Damp Buildings, Indoor Air 99, Vol.1, pp.86-91,1999

(ク) Anderson MA, Nikulin M, Koljalg U., et al., Bacteria, molds and toxins in water-damaged Building materials, Appl. Envrion.Microbiol. 63(2), pp.387-393,1997

(ケ) R. Walinder, L. Ernstgard, E. Gullstran, et al., Acute Effects of experimental Exposure to Four Volatile Compounds associated with Water-damaged Buildings and Microbial growth, Indoor Air 99, Vol.2 , pp. 606-611, 1999

(コ) 朴俊錫、川尻第貴、池田耕一、藤井修二、真菌由来揮発性有機化合物による空気調和機汚染に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No. 552、pp. 43-48、2002. 2

(サ) 中井里史、柳沢幸雄、熊谷一清、阿部恵子、化学物質過敏症患者用住宅研究グループ、化学物質過敏症患者用住宅における室内環境測定、室内環境学会誌、Vol.4、No.1、pp.180-181、2001

(シ) Kaminski E., Stawicki S., Wasowicz E., Volatile flavor compounds produced by molds of Aspergillus, Pencicillium and Fungi imperfecti. Appl. Environ. Microbiol .24,1974

(ス) Borjesson T, Stollman U, Schnurer, Volatile metabolites and other indicators of Penicillium aurantiogrisseum growth on different substrates, Appl. Environ. Microbiol., 56,1990

(セ) Keiko Abe, Yoshiko Nagao, Tetsuzan Nakada, and Syouzou Sakuma, Assessment of Indoor Climate in an Apartment by Use of a Fungal Index, Appl. Environ. Microbiol. 62,1996

(ソ) 菅原文子、吉澤晋、建築空間における空中浮遊微生物粒子の評価方法に関する研究、第３報、真菌のコロニー形成メカニズムと温度条件、日本建築学会計画系論文報告集、第 383 号、pp. 1-7, 1988

(タ) 山崎省二、環境微生物の測定と評価、オーム社、2001

(チ) 相原真紀、田中辰明、高鳥浩介：居住環境にみる付着真菌の月別変動、防菌防黴 Vol. 28, No. 1, pp. 3～8, 2000

(ツ) 相原真紀、李　憲俊、田中辰明、庄司麻子、中西礼子：住宅にみる真菌の発生環境要因、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集 pp. 25～28, 1997

(テ) 菅原文子、住宅のカビ、空気調和・衛生工学，第 69 巻，第 7 号 pp505～547, 1995

(ト) 阿部恵子、カビによる環境測定法―カビは空気環境を認識するセンサである、空気調和・衛生工学，第 69 巻，第 7 号 pp. 519～525，1995

(ナ) 高鳥浩介、カビによる建物汚染、空気清浄, 第 37 巻 5 号, pp. 376～379、2000

(ニ) 吉澤晋、入江建久、菅原文子、空中細菌・真菌濃度と粉じん濃度の相関、日本建築

学会大会学術講演梗概集、pp. 275-276、1982
(ヌ) ヨハンナ・バン・ブロスウィック、森谷清樹　訳：ハウスダストの生物学、西村書店, 1990
(ネ) 辰野高司、カビがつくる毒、東京化学同人、1998
(ノ) 神山幸弘、山野勝次、害虫とカビから住まいを守る、彰国社、1996
(ハ) 角田　廣、辰野高司、土野芳夫、マイコトキシン図説、地人書館、1979
(ヒ) 朴俊錫、池田耕一、居住空間における真菌由来揮発性有機化合物による室内空気汚染に関する研究、付着材料別における真菌からの MVOCs 放散特性、日本建築学会計画系論文集、No. 561、pp. 61-66、2002
(フ) 朴俊錫、川尻第貴、池田耕一、藤井修二、真菌由来揮発性有機化合物による空気調和機汚染に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No. 552、pp. 43-48、2002
(ヘ) 日本農林規格：普通合板の日本農林規格とホルムアルデヒド放散量試験法
(ホ) Spengler J., Neas L., Nakai S. et al., Respiratory symptoms and housing characteristics, Indoor Air Vol.4, pp72-82, 1994
(マ) Glantz Stanton A. and Slinker Bryan K., Primer of applied regression and analysis of variance, McGraw-Hill Edition, 1990
(ミ) Wessen Bengt, Strom Gunmmar and Palmgren Urban, Microbial Problem Buildings-Analysis and Verification, Indoor Air 99, Vol.4, pp.875-879, 1999
(ム) Kildeso J, Wurtz H and Nielsen KF. et al, The release of fungal spores from water damaged building materials, Proceeding of Health buildings, Vol. 1, pp. 313-318, 2000
(メ) Murtoniemi T., Nevalainen A., Suutari M. and Hirvonen M. R., Effect of liner and core materials of plasterboard on microbial growth, Spore-induced cytotoxicity and production of TNF in macrophages, Proceeding of Indoor Air 2002, Vol. 1, pp.366-370, 2002

[関連発表論文]

（審査論文）

1．J.S. Park and K. Ikeda, Laboratory Study on the relation between Formaldehyde Emissions and Fungal Growth on Wooden Materials, Indoor Air, International Journal of Indoor Air Quality and Climate (審査中)

2．朴　俊錫*、池田耕一居住空間における真菌由来揮発性有機化合物による室内空気汚染に関する研究、その２　合板におけるホルムアルデヒド放散量による真菌成長への影響、日本建築学会環境系論文集、No. 577、2004（別刷り添付）

（口頭発表論文）

1．朴俊錫、池田耕一、微生物由来の揮発性有機化合物(MVOC)による室内空気汚染に関する研究、その４　低放散建材と真菌汚染の関係について、第 21 回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、2002. 4

2．朴俊錫、池田耕一、木質建材におけるホルムアルデヒド放散量と真菌成長の関係に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2003. 9

表１　居住空間内における真菌の発生場所及び付着材料[16)~25)]

菌名	発生場所*								付着場所							
	押入れ	浴室	洗面所	トイレ	台所	壁	居間	和室	室内塵	畳	木材	壁紙	塗料	合成樹脂	モルタル	コンクリート
Alternaria 属		◎	○	○	◎	○			○	○	○	○	○	○	○	○
Aspergillus 属						○	○	○	○	○	○	○	○	○		
Candida 属									○							
Cladosporium 属	○	◎	◎	○	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Chaetomium 属	○				○			○	○	○	○	○	○			○
Eurotium 属	◎					○	○	◎	○	○	○	○				
Fusarium 属		◎	○	○	○	◎		○	○	○	○	○	○	○	○	○
Penicillium 属	◎		○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	○	○			
Trichoderma 属	○	○				○		◎	○	○	○	○	○	○	○	○
Trichosporon 属									○							
Rhizopus 属		○							○		○		○			

＊　（◎：最も適している、○：適している）

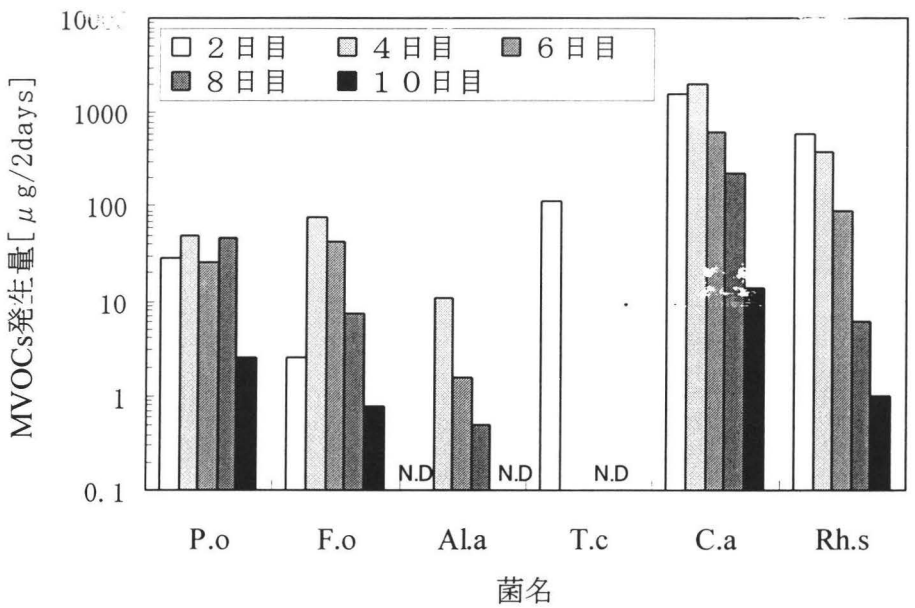


図１　カビからの MVOCs 放散量[26)]

（P.o：*Penicillium.Oxalicun*、F.o：*Fusarium.Oxysporum*、Al.a：*Alternaria.Alterneta*、T.c：*Trichospron.Cutaneum*、C.a：*Candida.Albicans*、Rh.s：*Rhzopus.Stronifer*）

表２　*Rhizopus* 属の菌における MVOCs 放散量*[26)]

MVOCs	２日目	４日目	６日目	８日目	10 日目
Ethanol	8.1	7.6	8.5	0.0	0.0
2-butanone	1.4	3.8	5.6	0.0	0.0
Ethylacetate	0.7	0.9	0.8	21.3	0.0
2-methly-1-propanol	54.9	44.2	64.1	78.7	100.0
3-methyl-butanal	1.4	1.3	0.3	0.0	0.0
1-butanol	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0
2-methyl-butanal	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0
3-methyl-1-butanol	29.3	32.1	13.7	0.0	0.0
2-methyl-1-butanol	3.5	9.7	7.1	0.0	0.0
全MVOCs 放散量 [μg/2days]	583.7	308.4	89.1	6.1	1.1

＊：全 MVOCs 放散量[μg/2days]に対する各物質の放散比

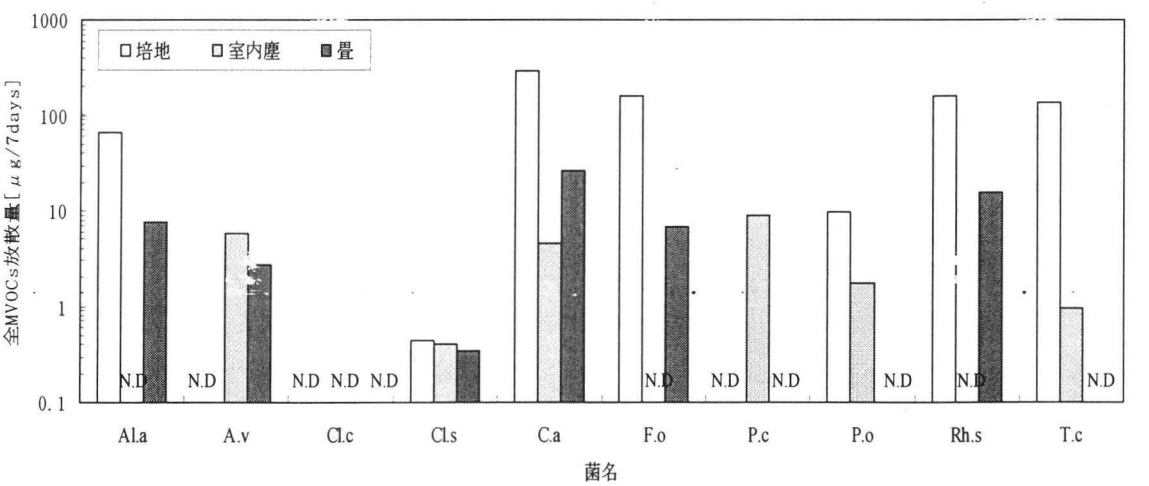


図２　カビ発生場所と全 MVOCs 放散量（N.D:検出限界以下）[26)]

(Al. a: *Alternaria.Alterneta*、A. v : *Aspergillus.Versicolor*、Cl. c : *Cladosporium.Cladosporioides*、Cl. s: *Cladosporium.*Sphaerospermum、Ca: *Candida.Albicans*、F. o: *Fusarium.Oxysporum*、P. c: *Penicillium.Cyclopium*、P. o: *Penicillium.Oxalicun*、Rh. s: *Rhzopus.Stronifer*、T. c: *Trichospron.Cutaneum*)

表３　　カビ発生場所別 MVOCs 放散特性 [26)]

付着材料	菌名	MVOCs														
		Ethanol	2-Methyl-butane	2-Butanone	Ethylacetate	2-Methyl-1-propano	1-Butanol	3-Methyl-1-butanol	2-Methyl-1-butanol	Dimethyl disulfide	2-Pentene	1-Octen-3-ol	2-Octanone	2-ethyl-1-hexanol	2-Nonaone	Thujopsene
PDA培地	*Alternaria.Alterneta* (A.a)			○		○										○
	Aspergillus.Flavus (A.f)					○										
	Aspergillus.ochraceus (A.o)		○													
	Aspergillus.restrictus (A.r)															
	Aspergillus.Terres (A.t)					○										
	Aspergillus.Versicolor (A.v)															
	Cladosporium.Cladosporioides (Cl.c)															
	Cladosporium.Sphaerospermum (Cl.s)		○													
	Candida.Albicans (C.a)	○			○	○	○	○	○							
	Eurotium.Sp (Eu.sp)															
	Fusarium.Oxysporum (F.o)	○			○	○		○	○							
	Penicillium.Cyclopium (P.c)															
	Penicillium.Oxalicun (P.o)					○						○				
	Penicillium.Sp (P.sp)			○		○										
	Rhzopus.Stronifer (Rh.s)	○		○	○	○	○	○	○							
	Trichospron.Cutaneum (T.c)	○			○	○		○	○							○
	Trichoderam.Sp (T.sp)				○	○										
室内塵	*Alternaria.Alterneta* (A.a)															
	Aspergillus.Versicolor (A.v)									○				○		
	Cladosporium.Cladosporioides (Cl.c)															
	Cladosporium.Sphaerospermum (Cl.s)															
	Candida.Albicans (C.a)				○											
	Fusarium.Oxysporum (F.o)															
	Penicillium.Cyclopium (P.c)												○	○	○	
	Penicillium.Oxalicun (P.o)													○		
	Rhzopus.Stronifer (Rh.s)															
	Trichospron.Cutaneum (T.c)													○		
畳	*Alternaria.Alterneta* (A.a)									○						○
	Aspergillus.Versicolor (A.v)									○						
	Cladosporium.Cladosporioides (Cl.c)															
	Cladosporium.Sphaerospermum (Cl.s)									○						
	Candida.Albicans (C.a)				○	○		○	○	○						
	Fusarium.Oxysporum (F.o)					○										
	Penicillium.Cyclopium (P.c)															
	Penicillium.Oxalicun (P.o)															
	Rhzopus.Stronifer (Rh.s)			○	○	○			○	○						
	Trichospron.Cutaneum (T.c)															

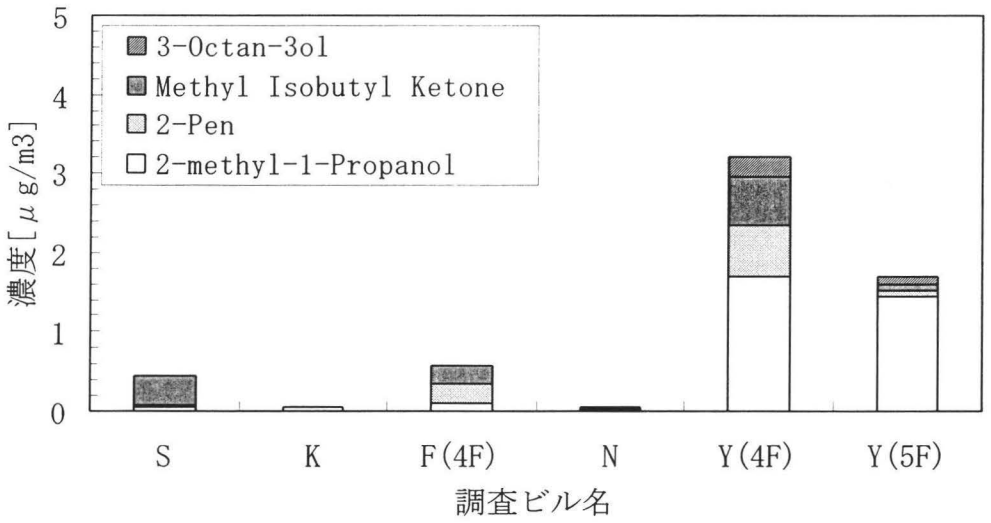


図３　空気調和設備内における MVOCs 発生状況 [27)]
(OA：外気導入部、MA：混合室、SA：ダクト入り口、
EA：室内側のダクト吹出し口、IA：室内)

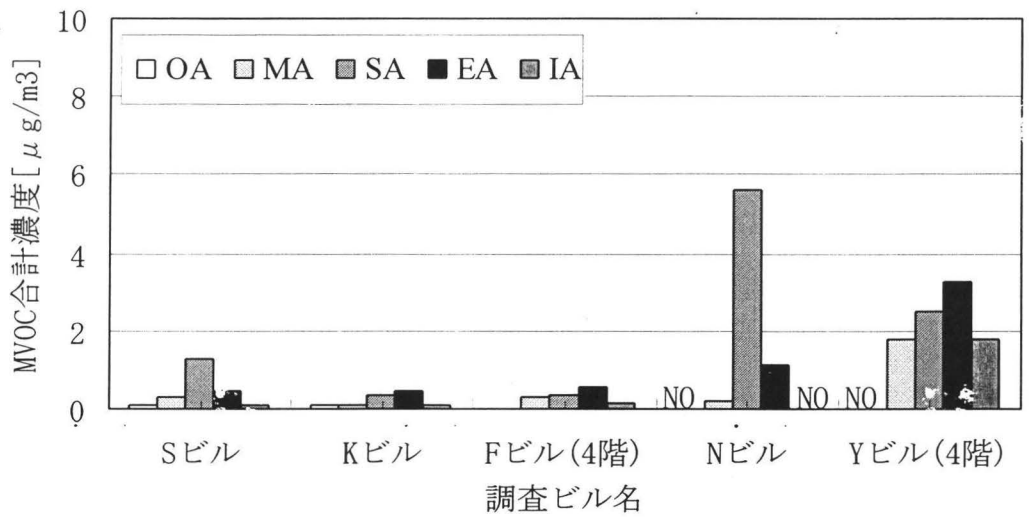


図４　室内吹出し口における MVOC 濃度 [27)]

表４　実験対象木質建材と真菌

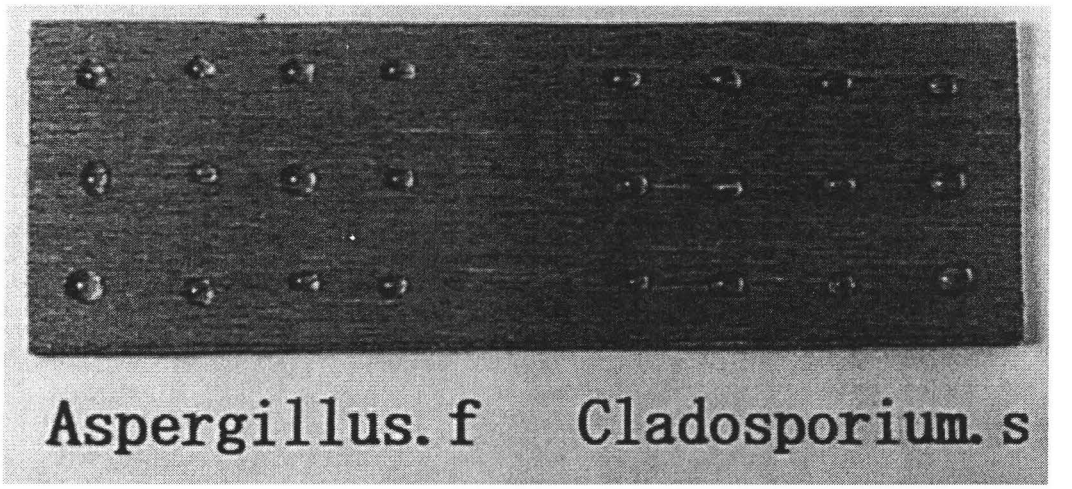
対象建材		対象真菌
種類	サンプル*	
合板	A (Fc_0)	*Aspergillus.Flavus* (A. f)
	B (Fc_1)	*Cladosporium.Sphaerospermum* (Cl. s)
	C **	*Penicillium.Oxalicun* (P. o)
	D **	*Rhzopus.sp* (Rh.sp)
	E **	

＊：() の中はサンプルに表記されJAS等級区分

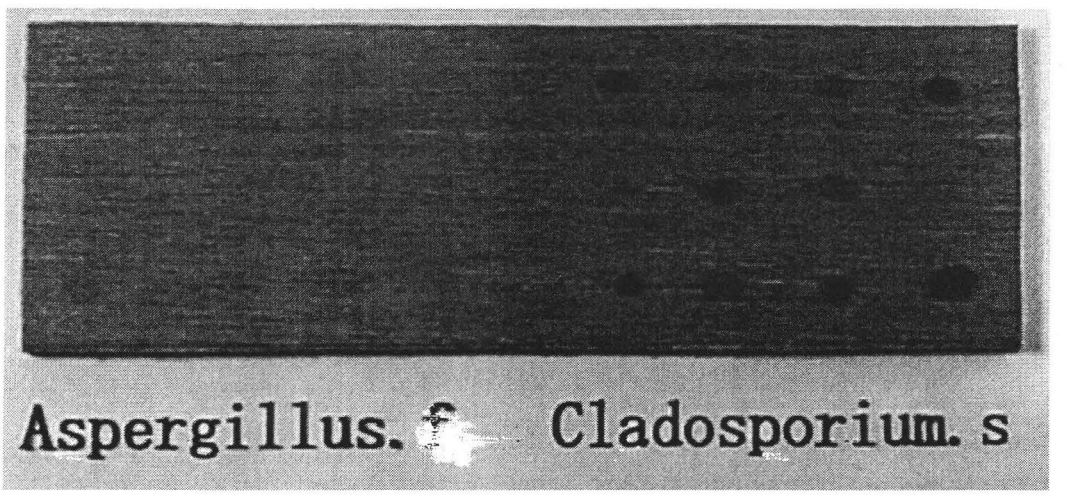
**：等級区分がない

表５　実験概要及び条件

実験区分	実験条件
実験Ⅰ （デシケータ値実験）	JAS規準 温度：21±1℃, 相対湿度：：50±10% デシケータ値：AHMT法
実験Ⅱ （放散量実験）	換気量：0.5l/min 温度：25±1℃, 相対湿度：：50±10% サンプラー：DNPH カートリッジ サンプリング間隔：3時間 分析機器：HPLC-DAD (Diode Array Detector)
実験Ⅲ （真菌成長実験）	換気量：0.5 l/min 温度：27±1℃, 相対湿度：：90±5% 培養期間：4日間（96時間）



(a) 付着直後



(b) 4 日間培養後

図５　試験体における真菌付着と培養の例

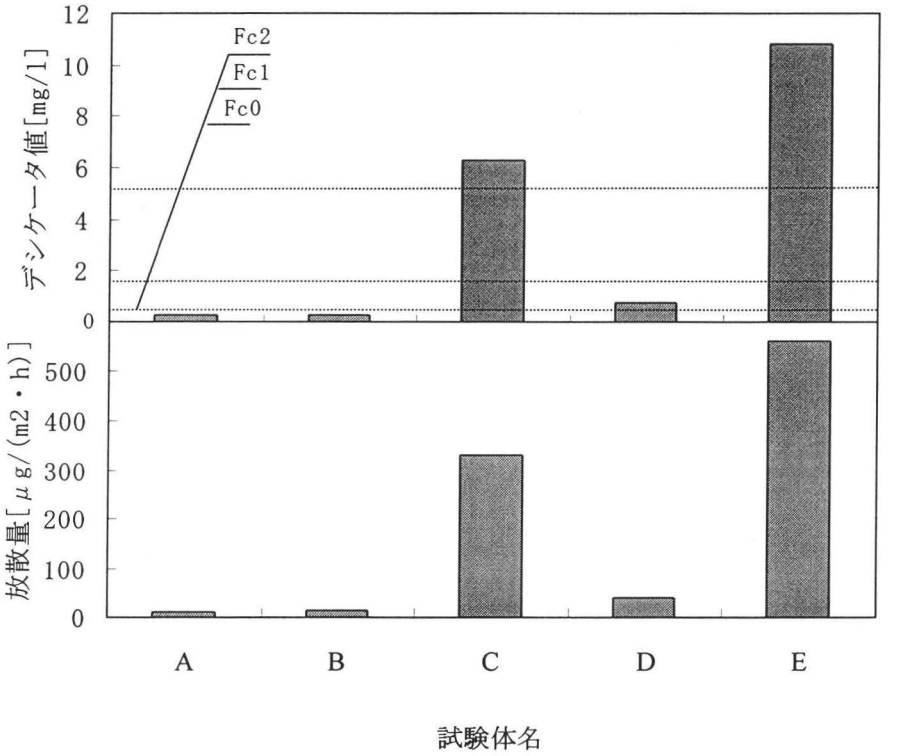


図６　各サンプルにおけるJAS法によるデシケータ値と
チャンバー法によるホルムアルデヒド放散量

表３　実験Ⅲの結果

サンプル名	付着浮遊菌コロニー形成場所の数 （一回目実験／2回目実験）［箇所］			
	Aspergillus.Flavus (A.f)	*Cladosporium.Sphaerospermum* (Cl.s)	*Penicillium.Oxalicun* (P.o)	*Rhzopus.sp* (Rh.sp)
A	12	12	12	12
	／	／	／	／
	12	11	12	1
B	12	12	12	6
	／	／	／	／
	12	12	12	10
C	7	4	3	0
	／	／	／	／
	6	5	5	12
D	9	6	8	0
	／	／	／	／
	9	6	8	0
E	0	0	0	0
	／	／	／	／
	0	0	0	0

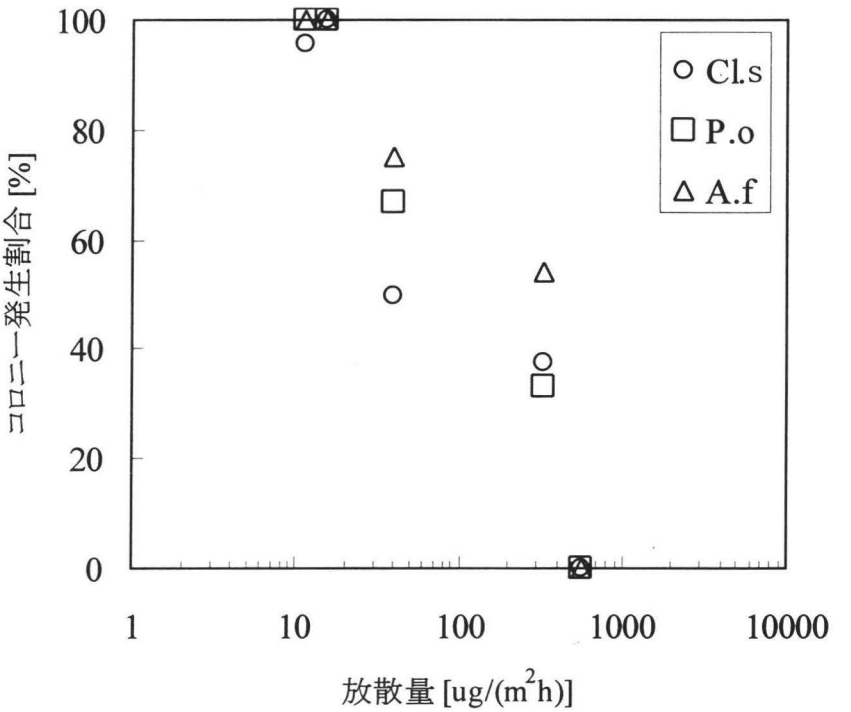


図７　ホルムアルデヒド放散量と真菌成長の関係

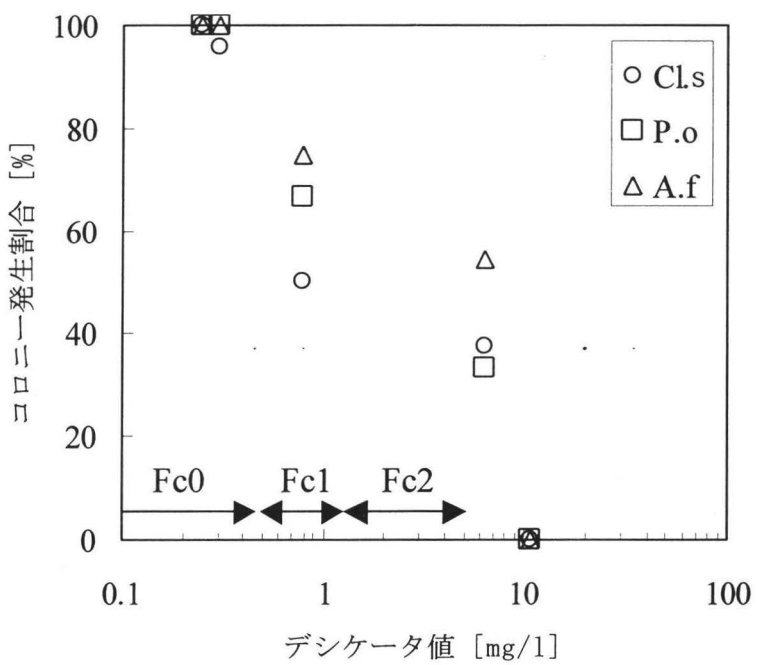


図８　JAS 法によるデシケータ値と真菌成長の関係

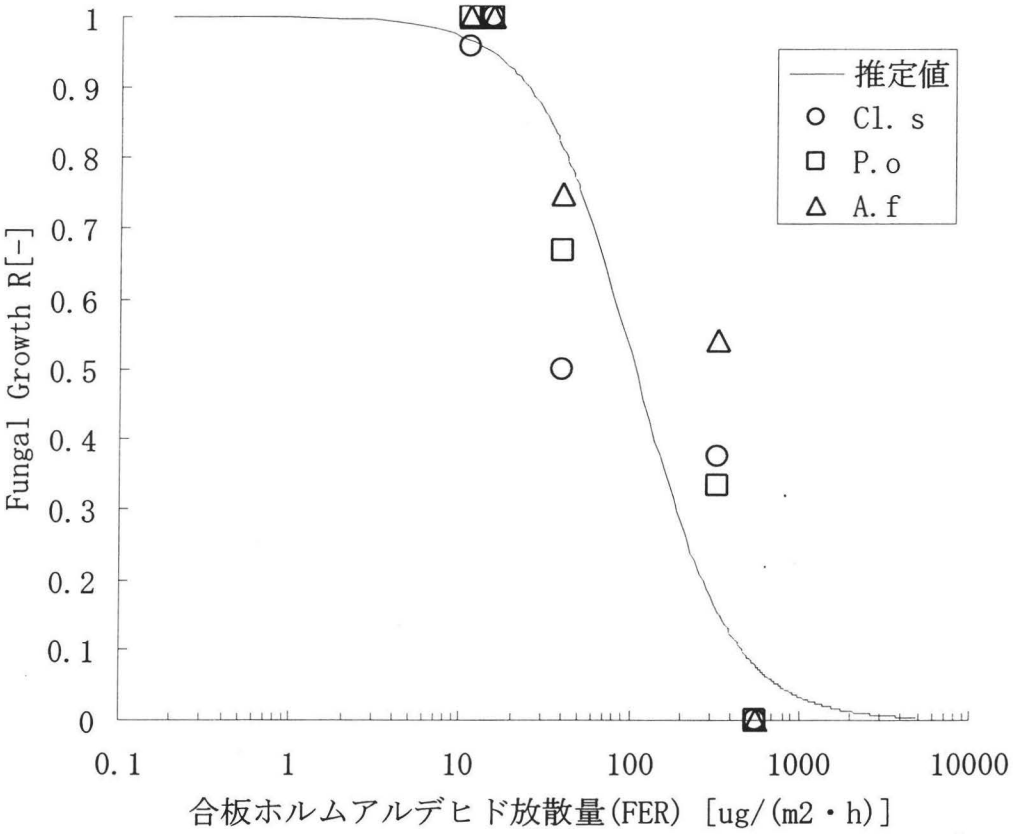


図９　合板におけるホルムアルデヒド放散量と付着菌成長の関係の推定結果

1-8 内装・床下地材の解体性能向上による加齢対応型バリアフリー化に関する研究

近畿大学 理工学部 建築学科
教 授 森本 信明

第１章 本研究の目的と実験住棟の概要

近畿大学 森本信明

１・１本研究の目的

2001年度から近畿大学オープンリサーチセンター「広域環境計測と適応技術の開発」の一環として開始された「リサイクル型まちなか一戸建実大実験」は，その年に実験住宅の基本設計を終了し，2002年12月に竣工検査を完了することができた。2003年4月には，建物の竣工とその後の若干の追加工事の完了を一区切りとし，どのような問題意識をもって本研究に取り組んでいるのか，また実験住宅の設計・建設プロセスはどのようなものであったのかを記録した第一次報告書を発行した。その全文はＣＤ－ＲＯＭ化され，また研究室のホームページ上でも公開されている。

この実験住棟の建設と平行して，それを活用した各種実験を行うため，研究助成金の申請を行った。その結果，幸いにも「解体・リサイクル性能を高めることによる『まちなか一戸建』の居住性向上」というテーマで2003－2005年度の科学研究費補助金（基盤研究（Ｂ））を受けることができ，また「内装・床下地材の解体性能向上による加齢対応型バリアフリー化に関する研究」というテーマで2002年度のトステム建材産業振興財団からの研究助成をもうけることができた。

本報告書は，このうちトステム建材産業振興財団からの補助に関わる部分の研究成果をとりまとめたものである。トステム建材産業振興財団に向けての研究申請書では，研究の背景と目的を次のように記している。

助成を申請した研究の目的：

３階建住宅の住宅計画上の難点は上下移動を中心とするバリアーにあるとされている。住宅のバリアフリー化手法には，当初から完全バリアフリー化した空間を準備してゆく方法と，症状の進行に応じて必要な改善を加えてゆく加齢対応型の考え方がある。比較的小規模な敷地に建設されることが多いｒまちなか一戸建」の場合には，後者の考え方が有力な選択肢となる。従来の加齢対応型の考え方では，手すりなどの受材を前もって下地に取り付けておく方法が中心であった。実験の主テーマがｒ躯体部分も含めた解体の容易性を高める」ことにあり，それぞれの部材を簡単に分解できる手法が模索されている。このことは受材をあらかじめ取り付けておくことなくバリアフリー対応ができることにつながる。そこで本研究においては大規模リフォーム実験の前段階として，内装・仕上の解体性能を高めておくことにより加齢対応型のバリアフリー化を容易にできることを検証しようとするものである。

具体的な研究計画：

①７月中旬にできあがるスケルトン状態の実験住宅に対して，接合・解体が容易であるという選定基準に基づき断熱材・内装下地材・内装仕上材，床下地材，床仕上材を選定し，第１回目の内装・仕上を行う。（2002年９月中）

②第１回目の内装・仕上時には都市型戸建を考えるうえで欠かせない内装下地材料である石膏ボードの接合について，メルトスタッド工法と呼ばれる新しい接合方法を導入するとともに，従来の釘・ビス・接着剤等による接合方法をも部分的に採用する。なおこの段階ではバリアフリー化については特別な配慮をしない。

③第１回目の内装・仕上後，近畿大学周辺に居住している高齢者の参加・協力を得て，現在居住している住宅内ならびに実験住宅内において各自の行動能力に対応したどのような個別的なバ

リア問題が発生するのかについての検討を行う。(2002年11月)

④個別的なバリアに対応するための改善案を作成し,実験住棟において加齢対応型のバリアフリー化の工事を行う。この段階で前もって計画された内壁や床下地材料の取り外しの容易さと再利用の可能性についての検討を行う。(2003年4月)

(注)メルトスタッド工法とは電磁誘導加熱機とメルトスタッドを用いた加熱接着・剥離システムで、内装・仕上材料の接合について、ひとつの解決方法である。

期待される成果:

プロジェクト全体の目標は,戸建住宅のリサイクル性を高めることにより,比較的短期に住宅が更新されることもある「まちなか一戸建」を都市住宅の典型のひとつとして認知し,それらを中心とする都市型住宅地像の形成に途を開くことにある。

本研究では戸建住宅のリサイクル性能を高めるという技術開発の目標をたてることが,住宅部材の取付・解体性能を向上させることにつながり,急速な高齢化社会を迎えつつあるわが国の住宅市場において,加齢対応型のバリアフリー化を進めるうえで有効であることを示すことができる。

以上のような研究申請書に基づき,主にメルトプレート工法を用いて接着した石膏ボードの解体性能の検証と,その技術を前提として,都市型戸建住宅における階段室の「加齢対応型バリアフリー」改善の効果を検証する実験結果をとりまとめたものが,本報告書である。各章の概要は以下のようになっている。

第1章では,トステム建材産業振興財団に対する研究申請書における研究助成の目的を確認するとともに(1・1),2003年度に集中的に取り組まれた実験住棟における大規模リフォーム実験の概要を紹介し,全体の実験計画の中での本研究の位置づけを示している(1・2)。なお,参考のため,第一次報告書で都市型戸建住宅問題のうち,単体に関わる論点を整理した箇所を付している。

第2章では,まず本報告書の石膏ボードの解体性能を検証するに際して採用した「メルトプレート工法」の開発経緯,その施工上の特徴を要約し,その普及可能性に言及している(2・1)。次いで住宅の解体・リサイクル問題を把握するための分析枠組みを示し,石膏ボードのリサイクルの現状を整理している(2・2)。2・3においては,実大実験の大規模リフォーム時に実施された石膏ボードの解体実験の内容と,模型型枠を使って実施した解体方法の改善に関する各種実験の結果をまとめている。

第3章では,都市型戸建の最大のネックとされている垂直方向のバリアの改善にあたって,下地補強を容易にできることを技術的な基礎とした可動式手すりの設置による,昇降動作の観察結果をとりまとめている。昇降実験の被験者は60歳代の夫婦2人,80歳代と90歳代の女性各1人の計4名である。自宅の観察・インタビュー

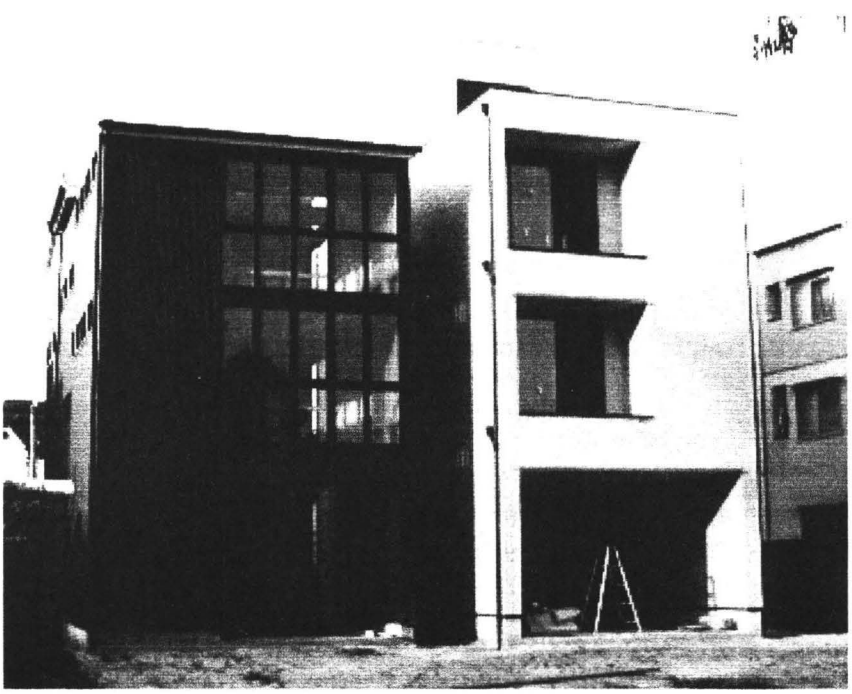


図1.1　近畿大学リサイクル型まちなか一戸建実大実験住棟
今回の研究は写真右側の住棟を用いて実施した。

調査も平行して行われた観察・インタビュー調査のうち，本報告書では実験住宅を用いた昇降実験結果をまとめている。

（注）なお参考のため，2003年４月に発表した第一次報告書より，「まちなか戸建」研究における単体レベルでの問題意識と研究課題を論じたものを参考資料として本章末に添付した。

１・２　実験住棟と大規模リフォーム実験の概要

今回の実験で使用した住棟は，近鉄長瀬駅から近畿大学にいたるまでの，通称「大学通り」に面した大学敷地を利用して建設されたもので，「在来構法棟」と「新金物構法棟」の２棟よりなる。実験のメインタイトルにある「リサイクル型」として実験の対象としたのは，図１．１右側の「新金物構法棟」である。

その設計にあたっては，基礎部分こそ在来の布基礎を用いているが，躯体を例にとれば，新金物構法を用いることにより柱と梁はピンで接合されており，ピンを抜くことにより解体・再建築が可能であるとう技術的な基礎を持っている。この躯体のほか，外壁・内装下地・内装仕上げなどに，現在の建築材料の中から解体・リフォームが容易であるとみられるものを使用している。この実験住棟は2002年12月に竣工した。

2003年度には，この「新金物構法棟」を対象として大規模リフォーム実験が実施された。図１．２と図１．３に当初平面図と大規模リフォーム後の平面を示した。

図１．４～図１．６のように大規模リフォームにおいては，１・２階の吹き抜け部分と２・３階の吹き抜け部分に床を貼り，床面積を増大させるとともに，ホームエレベータを増設し，それに伴う玄関周りの変更を行っている。大規模リフォーム工事は2003年11月に竣工した。

第２章では，この新金物構法棟の階段室ならびに大規模リフォーム工事中，１・２階部分の吹き抜け工事の際に梁を加える作業を行うことに合わせて，内装下地である壁の一部を取り外す工事が発生したことを利用して，石膏ボードの解体性能の検証を行った結果をとりまとめたものである。

なお，大規模リフォーム工事を中心とした第二次報告書は，2004年４月末に発行を予定している。

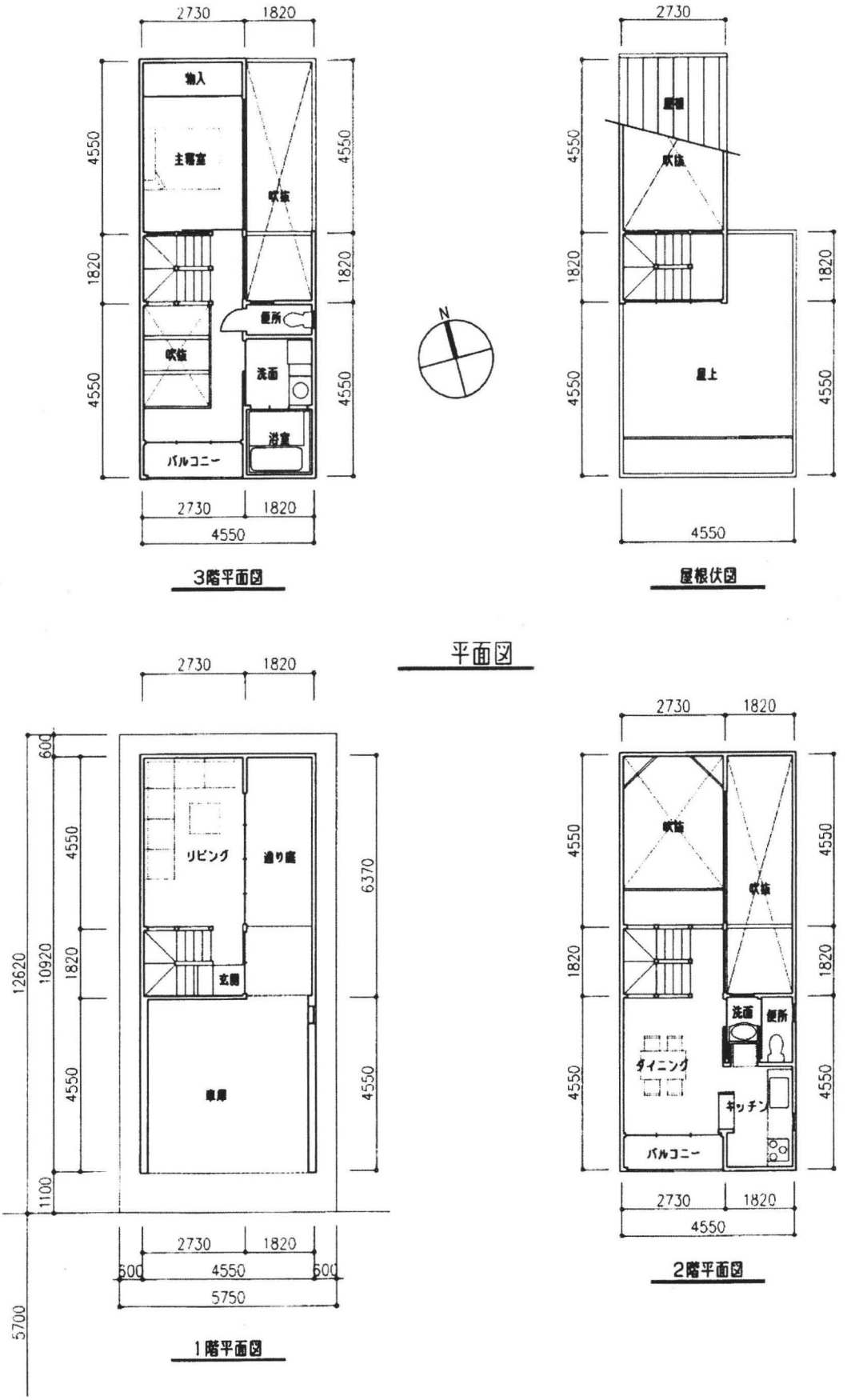


図１．２ 「新金物構法棟」の当初平面図

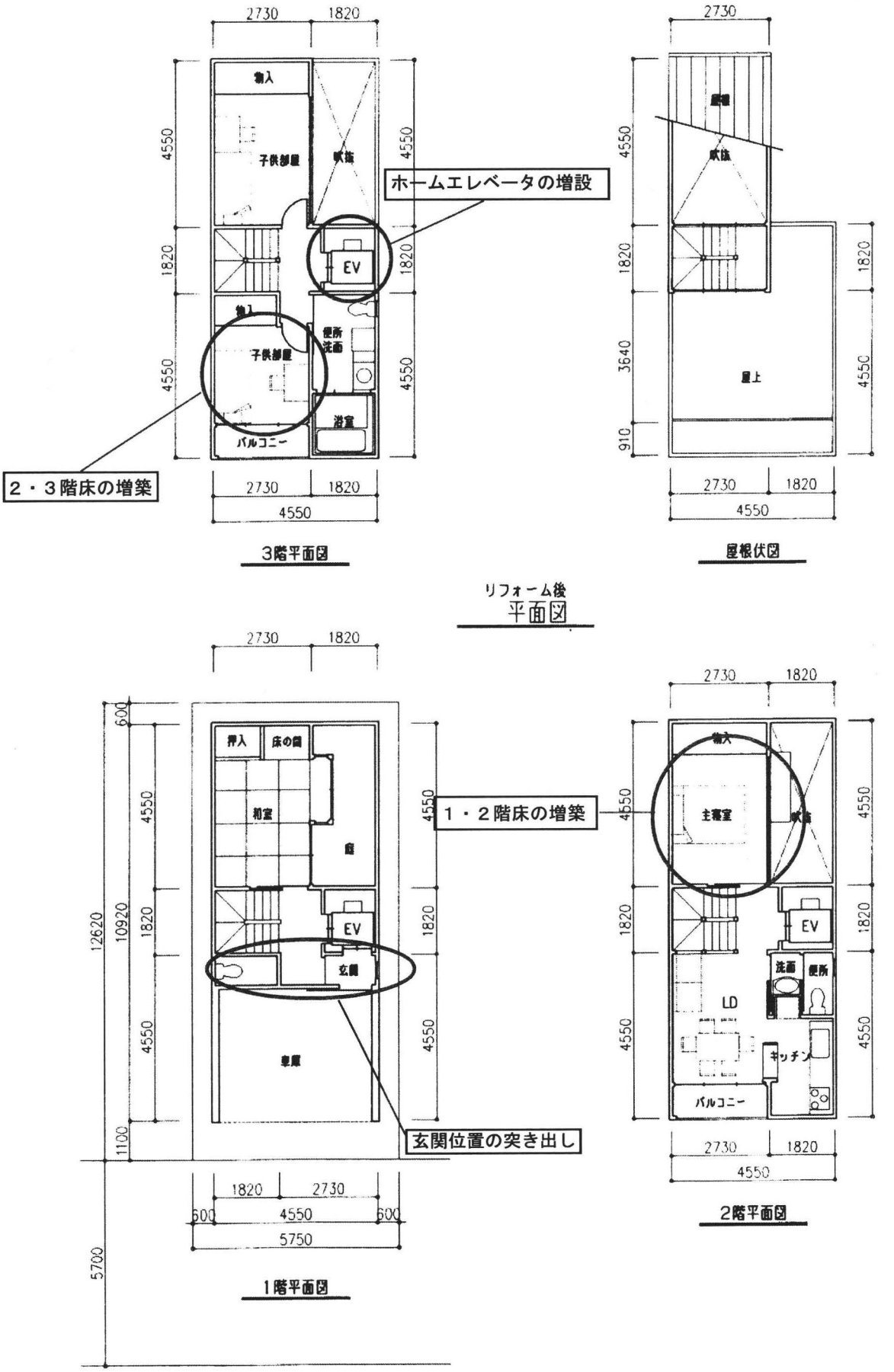


図１．３ 「新金物構法棟」の大規模リフォーム後平面と主なリフォーム箇所

図１．４　「新金物構法棟」の１階と２階との間の吹き抜け空間。火打ち梁と増築による梁を付けることを予定した金物に化粧材をかぶせたもの

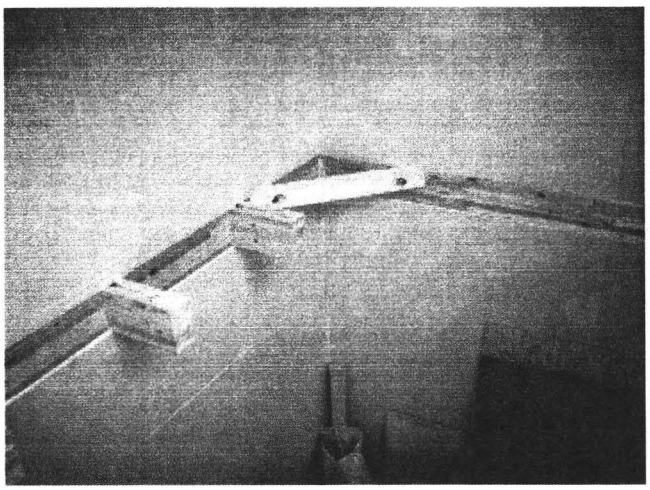


図１．５　大規模リフォームの開始とともに，化粧材のうえに仮説の床がつくられ，１階床から石膏ボードの長手方向１枚分より上の部分を解体した。本研究では，この時の石膏ボードの解体時の実験結果が第2章として取りまとめられている。

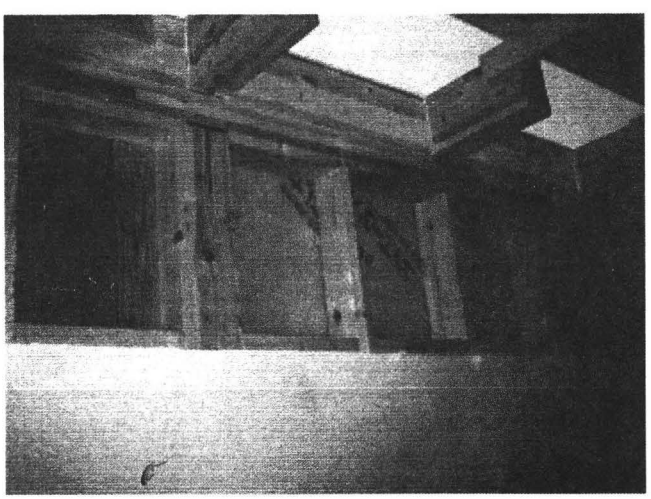


図１．６　化粧材をはずし，梁を受ける金物をむき出した状態で，工場加工された梁を持ち込み，下から差し込む作業をしている様子。



＜参考資料：第一次報告書より抜粋＞

「住宅単体の問題」

第一の「住宅単体としての問題」に関連しては、まず構造面・防火面での安全性を確保することが重要となる。阪神・淡路大震災の教訓を出発点として、たとえ在来構法をベースにした木造の三階建住宅といえども、合理的な構造計算をもとに耐震性能を確保できる段階にきている。さらに建築基準法の見直しの中で、防火関係の諸規定も整えられつつある。また工事監理に対する強化がはかられ、中間検査や完了検査を実施する自治体も多くなってきている。先に見たようにこれら都市部での戸建住宅の供給主体は地場で活動する中小建設・不動産業者が担っていることが多い。これらの業者にとっては、住宅の基本性能を確保することの重要性を認識し、新しい技術や制度等をいち早く吸収し、住宅建設現場に適用してゆけるだけの力をつけてゆくことが求められている。

住宅単体の問題として計画や設計に関わる問題も重要である。とりわけ急速な高齢化社会を目前にしての戸建中層化は、上下の移動に大きなバリアを抱えることになる。そのため加齢に伴う住宅計画のあり方や、ホームエレベータ等の技術導入による改善の可能性などが十分に検討されねばならない。また敷地が狭小なため、隣接する敷地からの日照・採光・通風などについては大きな制約を受ける。その場合、とりわけ上空方向の空間が極めて重要な意味をもつてくる。屋上緑化をはじめとする屋上の有効利用をいかに進めることができるかという点も検討課題となる。

これに加えてリサイクル性能を高める必要があると主張する根拠は何か。その理由はこれまでに供給された住宅の延床面積は小さいものが多く、将来の住宅設備拡充に対する要求や住宅材料や部品の急速な変化の中で、増改築や建て替え需要がなお高まるものと予想されるからである。現在の戸建住宅ストックの質の低さを考えた時、それを 50 年、100 年もたせるべきであるとして空間更新を抑制することは非現実的である。

とすると解決方向は「比較的短い寿命を想定した場合にも、社会的あるいは地球環境的にできるだけ無駄のない仕組みを準備する」ということになる。すなわちリフォーム・増改築・建て替えなどの空間的な更新需要に対して、使用されている材料のリユース・リサイクル性能を高めたり、あるいは敷地外への廃棄物を少なくしてゆく工夫が求められる。これまで構造・防火・室内環境面での十分な性能を確保することは、ともすれば解体のしにくさにつながることがあった。それに対して解体・リサイクルのしやすさという相反する性能の確保を目的とした研究が必要になる。

（中略）

これまでの実験住宅の建設過程を通して，解体性能・リサイクル性能からみた研究課題として次のようなテーマ浮かび上がってきている。

＜施工技術上の問題＞

基礎:

実験住棟の設計当初，基礎のリサイクルを考えるうえで技術的に応用可能性があるのは，プレキャスト（ＰＣ）基礎であると考えられた。工場において基礎の各ピースを製造し，現場では簡単な地業を行うだけで，それらのピースを敷砂利の上に並べて接合する。建替え時にはその接合部分を必要に応じて分解するのが最もよいのではないかというのが，ＰＣ基礎に目をつけた理由である。

日本建築センターにおける旧３８条認定に関わるＰＣ基礎の評定は，1984 年頃よりはじまっており，その技術開発については一定の進展がみられる。しかしながらそれが全国的に急速に普及するという状

況にはない。基礎の形状が上物である建築物の設計に強く依存しており，土台と結合するためのアンカー位置などの関係からＰＣ化が難しいことや，現場施工との間の価格競争の厳しさが普及を阻んでいるとみられる。またリサイクルとの関連でいえば，現在の法制度のもとでは，一度接合したピースを再度分離させるということは，技術的にも制度的にも難しいことも明らかになった。そのため今回の実験住宅では，２棟とも基礎は通常の現場打ちの施工を行っている。

現在，基礎に対する研究室の考え方は「コンクリート土台」の一般化を検討課題としてあげている。その概要は，①ベタ基礎（GL 面からの立ち上がりなし）は社会的インフラと考え，その長期利用を前提とする。②通常の木造住宅における基礎の立ち上がり部分を，木造住宅の土台とみなし，新金物構法で用いられている柱勝ちのシステムとのハイブリッド化を行う。③このコンクリート土台をＰＣ化し，ベタ基礎とケミカルアンカーによる結合を行う。このようにすることで，基礎の設計の自由度を向上させるとともに，コンクリート土台部分のリサイクル性を高めようというのである。このアイデアを具体化するためには，土台と基礎とをつなぐアンカーの後付による強度を確認することが必要である。この例のように，木造特有の基礎と土台の問題をどのように解決してゆくかについては，なお多くの技術的な可能性が残されているとみられる。

釘接合：

木造住宅の軸組については，継手に金物とピンを用いるＳＥ工法を採用することにより，柱・梁の間の接合・分解は容易にできる。このような新金物構法はＳＥ工法以外にもいくつか開発されており，技術面だけではなく，施工性や，仕上げ性能などの面でも合理性を持っている。そのため在来プレカットから，新金物工法への移行は，都市部を中心として現実に進んでおり，今後ともそのシェアを高めるものと思われる。

問題は木造軸組を純粋のラーメン構造とはせず（集成材の太いものを使えば技術的には可能である），多くの場合，耐力壁や床下地パネルなどを用いて水平方向の力に対する剛性を高めることが一般的であるという現状にある。これらのパネルの取付けにあたっては，現在では釘が重要な役割を果たしている。

接合手段としての釘は価格面，施工面，性能面で極めて有用な材料である。しかしながら解体性能という点から釘を用いた接合をみると，解体時に問題を生ずる素材の代表でもある。木造建築物の解体においては，接着剤による接合部分とともに，釘接合された部位の分別が難しい。解体した木材の中間処理段階において釘が混合していることの問題が指摘されている。そのため解体時に釘（あるいはビス）をいかに効率的に外せるか，あるいは切断してパネルや柱・梁を再利用できるかというアイデアを出しながら，この研究期間中にそれを実験的に検証してゆくことは，重要な研究テーマのひとつとなっている。

集成材：

実験住宅では在来棟・新工法棟とも集成材の柱・梁を用いている。構造計算にあたってプレカット材の品質のバラツキが少ないというメリットがあるからである。木造軸組構法を用いてまちなか戸建を考えてゆく場合，住宅の外側部分に柱や梁を「現す」（見せる）ことは防火性能との関連で難しい。しかしながら開口部を制限することにより，住宅内部においては柱や梁を見せることはできる。集成材の糊面を隠すように使用することはプレカット段階で可能であるため，内側を真壁で仕上げる際の意匠面での問題はないと考えられる。在来住宅棟ではそのような仕上げが可能であることを確認することができる。住宅建築に鉄骨やＲＣを用いた場合，柱の断面が大きくなることを考えると，木質系材料を用いることによる消費者への訴求力も大きい。また集成材に用いられる接着材の健康への影響についても技術的に克服すうことが可能な段階にきている。

問題は解体時におけるプレカット材の再利用や再生利用にある。とはいえ現在における解体木材の処

理方法は，そこに釘に代表される付着物が多く残存している限り，集成材と一般の製材品とで大きな違いはない。ともにチップ化され，燃料資源などの付加価値の低い材料として利用されたり，焼却処理されているのが実態である。本プロジェクトでは，金物継手を用いているため柱・梁の分離解体が可能である。もし同じモジュールの住宅を建築する場合には，分解した柱や梁をそのまま使える可能性がある。今回のＳＥ構法棟では910㎜モジュールとしている。この標準化を前提として，解体後の再建築において，どの程度もとの部材が利用できるかの検証を行う予定である。

しかしながらそのような直接的な再利用ができない場合には，分解した柱・梁の継手・仕口部分を切断し，それらの部材をつなぎ直して再利用できるかどうかの検討が必要となる。実験期間中に，集成材の再生利用技術の開発が進めば，最終年度の解体・移築実験において，その検証の機会をもちたいと考えている。

外壁材料：

今回の「新金物構法棟」においては，外壁材としてクボタのＺ－ＴＥＸと名づけられた窯業系パネルで，「四周合じゃくり通気金具工法」とよばれる解体が可能な材料を用いている。その施工方法は写真にみるように，金物に引っ掛けるようにして貼り付けてゆくものである。パネル間の防水でコーキング材料が必要になるのはコーナー部分だけである。他社の製品では，完全にコーキング材料を使わず貼り付けることができるものも開発されている。このような外壁材料を用いることにより，現在の技術水準で解体性能は十分に確保できる。

問題は，外壁材料が住宅イメージを決定づける重要な要素であり，施主の「自由な選択」にまかされる点にある。テレビや雑誌をはじめとする多くの情報媒体を通じて宣伝される新しい外壁素材がある。新しい外壁素材だけではなく，伝統的な外壁素材へのあこがれなどもある。必ずしも解体性能が高いということが外壁材料を選択する際のポイントとなるわけではない。

「新金物構法棟」に隣接して建てられている「在来構法棟」は，鉄板で外壁を仕上げている。解体性能からこの外壁仕上げを評価すると，柱の上に数層の下地材料（耐水性石膏ボードやタテ胴縁）が必要となり，釘やステープルの使用量も多い。この２棟の住宅の外壁に対する評価を見学者にたずねると，好みは概ね２分する。とはいえ技術的には乾式構法にもとづく外壁仕上げの多様化へと展開してきている。その際には取り付けの容易さだけではなく，解体性能の高さに対する社会的な要求も高まってくるものと思われる。

石膏ボード：

準防火地域においては天井下地や壁下地材料として石膏ボードは重要な材料となる。石膏ボードリサイクルの取り組みは，その最大手である吉野石膏により精力的に行われている。新築現場における石膏ボード廃材は，十分にリサイクルが可能な段階にある。問題は解体時に排出される石膏ボードである。廃材としてでてくる石膏ボードには釘やビニールクロスが付着している。施工時における他の材料との接合により分離・分別が難しいのである。

ビニールクロスが混ざる問題に対して，吉野石膏は紙製クロスの利用を推奨している。石膏への再生時に加熱焼却することで問題がないからである。また「東リ」などにおいては，ビニールクロスを剥離するときに，下地には紙だけが安定的に残るという製品を出している。これらはいずれも解決方法として有効なものである。しかしながら石膏ボードを釘もしくはビスで留めることによる問題が残る。

そこで今回の実験住棟の施工にあたっては，三洋工業が開発したメルトプレート工法を用いることにより，石膏ボードの柱への接合問題の解決を図ろうとしている。この工法の特徴は，電磁誘導の原理を用いて，２つの材料の間に挿入された溶剤を塗布した鉄片を加熱・溶融し，冷却・固化により接着させ

ようとするものである。最大のポイントは解体時に改めて加熱することにより，分離が容易であるという点にある。このメルトプレート工法を採用することにより，解体時における釘と石膏ボードとの分離作業が不要となるだけではなく，仕上げのクロスが貼られた石膏ボードを直接利用できるという，壁仕上げにあたっての別の可能性に道がひらかれた。

「技術論」的にみて，このメルトプレート工法に用いられるホットメルターという工具が普及するかどうかは，その携帯性（軽量化など）の向上とともに，使用部位がどの程度拡大できるかという点にかかっている。今回の実験住宅では，床仕上げ材料に対する接着補助や，水まわりの壁面タイル貼り付けへの応用を検討する。またその接着性能が確認されれば，天井面への石膏ボード貼り付けなどへの適用が可能となり，接着工具としての汎用性が高まるものと考えられる。

＜住戸計画上の問題＞

リフォーム：

「まちなか戸建」の設計において，そのファサードは「まちなみ」を形成するうえで重要な要素となる。居住者の「まちなみ」への関心の高まりに伴い，住宅外観については「個性」を主張するものではなく，周辺とのバランスを考えたものになってゆくと思われる。住宅メーカーがこれまで郊外戸建イメージとして外観デザインを重視してきたことに対して，むしろ「地域適合性」が外観（特にファサード）デザインの基本となると思われる。

これに対して，内部空間に対する設計の自由度を求める要求は高くなると考えられる。特に３階建て以上になると，内部の吹き抜け空間や床面構成の自由度が高まり，それは集合住宅にはない空間の多様性を演出できる基礎となる。今回の新構法棟では，当初の平面に２箇所の吹き抜け空間を設け，平成15年度の大規模リフォーム時に床を増築する計画になっている。ＳＥ構法による継手・仕口は，増築やリフォーム時に梁を新たに入れることが容易である。写真10は居間の吹き抜け部分である。

バリアフリー：

中層戸建に対する批判の中で大きなものは，垂直方向のバリアである。これに対して，「新金物構法棟」ではいくつかの改善可能性を検討することにしている。その第一が加齢対応の考え方である。先の石膏ボードのところで見たように，今回の実験住宅では内部に使われている石膏ボードが容易に取り外し可能である。この特性を利用して，階段室での手すり取付けを，加齢に伴う身体的な障害の程度に応じて柔軟に行い，階段昇降にあたっての負担をどの程度軽減できるかを検討する。

さらにこのような対応では無理な段階に至った場合には，ホームエレベーターによる改善が考えられる。ホームエレベーターは，３階建住宅に対する現在の定価は300万円を超えるが，将来的には低下してゆくものと考えられる。実験住棟では，このホームエレベータが増設できるように，あらかじめピットを設けている。平面計画上は直角方向に出入り（南側から乗り込み，西側に出る）できるエレベータの増設が予定されている（本報告書第２章１参照）。2003年度に実施する大規模リフォーム実験では，このホームエレベータの導入によるバリアの改善効果を検証する予定である。個別の住宅によるバリアの改善とともに，地域的なサポート体制のもとで，これらの小規模戸建住宅地における高齢者向けの小規模地域介護施設の準備など，地域的な対応も必要になるものと思われる。これらの課題については，別途研究を進める必要がある。

屋上利用：

屋上面は「まちなか一戸建」にとって重要な開口面である。新構法住宅棟では当初の開口部は屋上面と前面を除けばほとんどないという，きわめて厳しい状況が設定されている。屋上面からの採光については，「通り庭」や「中庭」からの採光による室内環境に与える影響を検討するとともに，屋上利用も重

要な空間利用形態と想定している。現在の都市部における屋上利用の障害は，そこにアンテナ，クーラーユニット，ソーラーパネル，倉庫，給水タンク，洗濯物干し場など消極的な利用実態が持ち込まれることも多く，積極的な屋上利用要求と対立することも多い。その解決にあたっては，居住者の屋上空間の積極的利用に対する関心の高まりが前提となるが，そのためにも屋上緑化や屋上バルコニー利用のよさを示してゆく必要がある。今回の実験住宅では，屋上緑化として吸水・保水性のある下地材料にセダムを植え付け，メンテナンスフリーの屋上緑化にどの程度期待できるかという実験を行う。2003年には庭樹園の協力をえて，緑化の施工が完了し，定期的な生育状況の観察を開始している。また６月には屋上に小さなデッキを設け，上空面の積極的な利用を提案している。

以上が「まちなか一戸建」が解決すべき＜単体としての問題＞に対する，これまで実験住宅で検討がすすめられてきた具体的内容である。リサイクル性能の向上という点からみれば，屋根やバルコニーの防水，建具のとりつけなど，他にも見当すべき問題点は多い。このような視点からの研究の蓄積は乏しいことが痛感されるのである。

第２章　メルトプレート工法を用いた石膏ボードの解体実験

細井戸利恵 新谷卓也　森本信明　前田享宏

第1章でみたように，垂直方向の移動に大きなバリアーがあると批判されている都市型３階建て住宅において，その改善に最も効果のある方法は，エレベータを設置することである。「近畿大学リサイクル型まちなか一戸建て実大実験」においては，2003年10月に大規模リフォーム実験を行い，あらかじめ計画されていた「通り庭」部分のエレベータピット位置に，玄関・１階・２階・３階と４つの乗降レベルをもつエレベータを途中導入した。写真はその工事の模様を示したものである。

とはいえ，ホームエレベータの途中導入は，事前の構造的あるいは計画的な配慮がなされていてはじめ



図２．１　ホームエレベータ２階乗降口

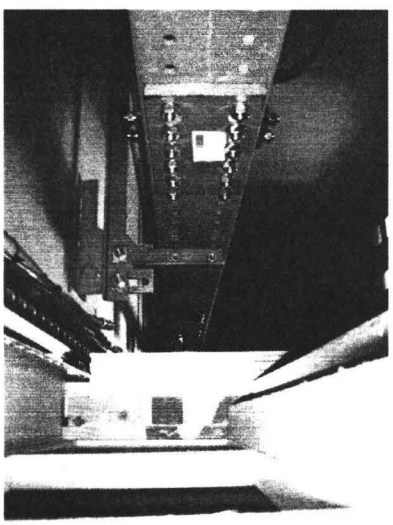


図２．２　ホームエレベータシャフトの取り付け

て可能になる改善策であり，また新築時点でホームエレベータを導入することが一般化するのも，なお少し時間がかかるものと思われる。そこで現実的な解決方法としては，既存の階段室ならびに廊下部分などにおいて，高齢化にともなう身体能力の程度に応じて手すり設置を中心とするバリアフリー改善を行う必要性が生ずる。これら事後的に行う改善策を，本研究では「加齢対応型バリアフリー改善」と呼んでいる。

本章においては，この加齢対応型バリアフリー改善のうち，階段室や廊下における手すりの設置にあたって，それを組み付ける壁面背後に必要な補強工事が発生することに着目し，リフォームを容易に行える手法を検討することを研究目的としている。とりわけ都市型住宅の内装仕上げ材で最も一般的に使われている石膏ボード下地をもつ壁が重要であると考え，それを施工実験の対象とした。実験では，解体（取り外し）⇒補強板の取り付け⇒再施工という手順の中に，メルトプレート工法という新たな施工技術を導入することにより，加齢対応型のバリアフリー工事がどの程度容易になるかを検証した。

２・１　メルトプレート工法の概要

（１）　メルトプレート工法開発の背景

平成12年10月より，断熱ボードメーカーのB社を総代理店として「オールオーバー工法」という電磁

誘導加熱接着装置を使用した接着工法が開発された。この工法は，その5年ほど前に東京電気大学理工学部の教授からの提案にもとづき，企業33社を含む産学共同研究グループとして研究会が発足し，そのもとで開発されてきたものである。研究会では特にB社・Y社・C社・E社の4社が中心となって開発が進められ，その主な用途は建築内装材における接着作業に向けられたものであった。

この新しく開発された機械は，当初，装置や施工法にいくつかの問題点をかかえており，（装置が大きい，重い，パワー不足，高価，接着テープが高価）その技術普及に大きな障害となっていた。そこでS社においては，研究会の主要メンバーであったY社からの開発要望に応え，電磁誘導加熱接着を利用した「新内装仕上げ工法」の開発に着手した。その結果，当初の問題点が克服され，施工性，安全性が飛躍的に向上した「メルトプレート／メルトスタッド工法」として平成13年9月から発売が開始された。その技術的な構成は，ホットメルターを加熱するために必要な「メルトプレート」，「メルトスタッド」，施工補助具の「マグの手」，電磁誘導加熱接着装置本体である「ホットメルター」からなっている。

（2）メルトプレート工法とは

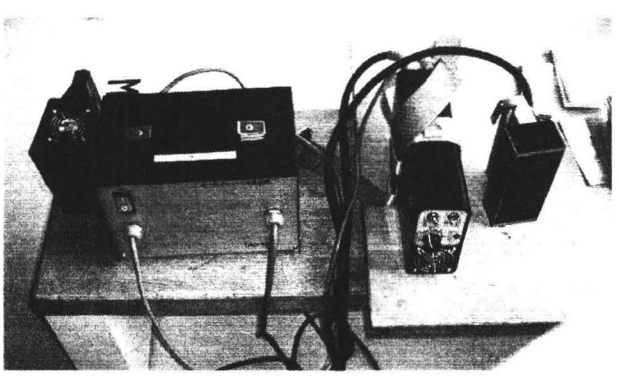
ホットメルターと呼ばれる機械を用い，電磁誘導加熱（高周波）を利用することでメルトプレート／メルトスタッドと呼ばれる鋼製下地にのみ熱を与えることができる。それらの表面に塗布したホットメルト接着剤が溶解され，建築材料として使用される素材・部材などを接着するというのがこの工法の特

項　目		仕　様
型式名		MEW
電　源		商用交流 100V　50／60Hz　約 1100W
高周波出力		約 1000W
照射面積		幅 55mm　長さ 130mm
出力周波数		35KHz
周波数変動幅		±3KHz
保護装置	温　度	停止温度　本体　約 80℃　加熱部　約 130℃
	入　力	ヒューズ　定格 25A
	出　力	電子制御（過電流保護）
	誤作動	電子制御
寸　法	電源部	約 153mm（W）×295mm（D）×174mm（H）
	照射部	約　75mm（W）×180mm（D）×112mm（H）
重　量	電源部	約 2．2 kg
	照射部	約 1．2 kg
ケーブル長さ	電　源	約 4m
	照射部	約 1．7m

表2．1　ホットメルター（工具本体）の製品使用



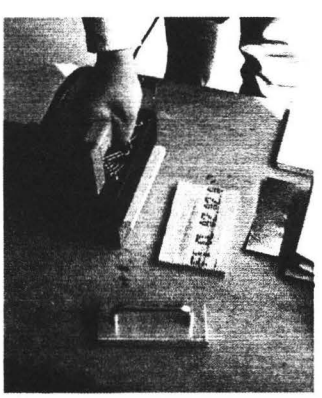
図2．3　ホットメルター



左：第一次の製品と第二次製品の比較

右上：第二次製品を腰に装着したもの

右：実験室でのメルトプレートの接着
下がマグの手



品　名	構　成	塗布方法 （状態）	用　途
メルトスタッド	角スタッド（65×45，45×40mm），及びULスタッドに220μmの接着剤を両面、又は片面塗布したもの	スパイラル （らせん状）	各種内装建築材の接着
メルトプレート	幅45mm×厚み0.25mm，亜鉛鋼板に 180μmの接着剤を両面塗布したもの	平塗	各種内装建築材の接着

表2．2　メルトプレートとメルトスタッドの仕様及び構成

品　名	主成分	色　相
メルトスタッド	EVA（エチレンサクビ系）	淡白色半透明
メルトプレート	ポリアミド系	淡黄色半透明

表2．3　ホットメルト接着剤の性状

徴である。とりわけ再照射により接着剤が再溶解でき，素材・部材などを再生可能な状態で剥すことができる点は，リサイクルを考える上で最も着目した点である。

この電磁誘導加熱の原理は1831年にファラデーの発見した電磁誘導原理を基にしている。高周波電流に接続されたコイルに金属材料を対向させると，コイルによって発生する磁力線が金属材料を通過する際に金属内に誘導電流（渦電流）が流れる。この誘導電流が金属の電気抵抗で熱に変化し，金属材料自体を加熱するというものである。この原理は身近なところでは電磁調理器に採用されている。電磁調理器自体は熱くならないが，調理器上に載せる金属製のヤカンやナベが発熱し調理可能になるのである。

この工法の特徴を，開発したS社のカタログから整理すると，以下のような点があげられる。

① 化粧ボード等の仕上材をビス・釘で傷つけずに施工可能：電磁誘導加熱接着は仕上材を磁力線が通過し，金属下地へ直接作用するため，化粧材は影響を受けない。

② 仕上材を壊さずきれいに剥せる：従来の接着工法と異なり，施工後の貼り直しや仕上材のリニューアル時に，同じ場所を再電磁照射することで接着剤を溶かし，仕上材の表面を傷つけずに剥せる。

③ 施工時の音や振動が非常に少なく，低騒音・低振動施工が可能：現場の施工制約に左右されず，近隣への騒音・振動面で影響がない

（3） メルトプレート工法採用のメリット

従来石膏ボードを内装仕上げ材料として使用する場合，そのほとんどがビスや釘により固定した後，クロスもしくは塗装仕上をするというのが通例であった。メルトプレート工法はその在来の工法に代わりうる可能性をもったもので，，騒音・振動などの施工制約がある現場や，高級仕上材などの接着施工，リニューアル・リサイクルを事前に考慮した現場への対応に性能を発揮する工法と位置づけることができる。それを採用するメリットは以下のように整理されている。

① コスト面のメリット

金属下地（電磁誘導加熱が可能なもの）に化粧仕上材の直貼りが可能となり，下地ボード・目地処理・クロス仕上などの工程を無くし，材工費削減と工期短縮が図れる可能性がある。また解体撤去時に廃材の分別回収（軽量鉄骨と石膏ボード）が可能で，廃材処理費用を大幅に削減できる。〈リサイクル〉

解体時も高周波誘導加熱によって，仕上げ材を壊さずに剥すことができ，建材の再利用が可能になる〈リユース〉

② 施工面のメリット

テナントや集合住宅のリニューアルには，施工時の騒音に起因する近隣苦情となり，時間帯を考慮した施工が求められる。メルトプレート工法は，鋼製下地材のプレカット納入とビスや釘を使用しない低騒音，低振動工法として対応できる。またリニューアルの現場に対して，ＵＬふかし壁との組合せで既存壁を解体せずそのままで，最低限のふかし幅で新規壁施工が可能である。さらに従来，化粧仕上材の施工は両面テープと接着剤を用いて，一度に位置決めをするため，施工業者の技能の差が仕上がりを左右していたが，メルトプレート工法では位置決め・貼り直し作業が容易であり，高価な仕上材料を貼る場合にも最適である。

（S社「施工講習会マニュアル冊子」を参考）

（4） 新接合技術の普及可能性

① メルトプレート工具の発展

このような特徴をもった工法がどの程度普及するかについては，「技術の普及過程」についての過去の経験からみて，以下の３つの点における技術発展にかかっている。

①本体価格の低下

②機械の軽量・小型化

③性能向上

図２．３の写真で示した第二次の機械形状にみるように，Ｓ工業の製品は小型化により，現場における施工作業の自由度が増し，同時に施工箇所の幅が広がった。また性能面では，パワーの強化や照射形状の工夫により施工時間の短縮か可能となった。

さらに第二次製品では，画期的な性能向上が図られた。それはこれまでの製品ではスイッチを入れると，常に高周波電流が照射される状態であったのに対して，鋼製下地にのみ反応するように改善されたことである。これにより仕上げ材の背面に隠れている対象に確実に照射することが可能となった。また照射時間を音を鳴らすことにより（0.5秒毎にピッ音），施工者に照射と照射時間の確認ができるように改良された点も評価される。

② メルトプレート構法普及の可能性

１）下地と仕上げの一体化の可能性

従来の釘やビスで止められた内装下地材では，その釘やビスの頭を隠すための仕上処理（パテ埋め，クロス仕上）が行われ，そのうえに仕上げの作業（クロスや塗装）が行われる。内装材の解体のしやすさを考える場合，これら仕上処理をすることによる解体性能の著しい低下がみられる。またクロスの仕上材に広く用いられている接着剤によるビニールクロスの施工は，解体時の分解・分別が困難であり，住宅のリサイクルを考える上であまり良い施工法とは言えない。

これに対し今回の新接合法では，材料を傷めずに施工できるため，あらかじめ表面仕上げされた材料を

利用することで，仕上工程を省略できる点が大きな特徴である。実験住宅においても，２階ＤＫ部分には図２．４のような仕上げ加工（紙仕上げ）をした石膏ボードが使われている。これにより，仕上げ工程が省略されるだけではなく，解体時にボードの損傷が少なくなり，リサイクルにより適した状態になるものと思われる。ただし，この仕上げ加工したボードが普及するためには，通常の仕上げ材料の多様性に対抗できるだけの豊富なデザインと質感をもったボードが販売される必要がある。



図２．４　新金物構法棟２階ＤＫで使われている仕上げ加工をした石膏ボードによる壁の状況。意匠的には目地処理の多様性についての開発が必要と考えられる。

２）リフォーム・リサイクルへの関心の高まり

接着剤による施工法ではあるが，健康への影響がほとんどなく，さらに接着剤の再溶解ができるため，内装材の解体が容易に行える可能性を，この工法はもっている。

もともとメルトプレート工法の開発の動機は，石膏ボードの解体時廃材のリサイクル率の低さが要因の一つに挙げられている。後にみるように，小規模既存建物における石膏ボードのリサイクルについては技術的な問題以上にコスト面での問題が大きい。しかしながら社会全体としてはリフォーム・リサイクルへの関心がより高まることは必然であることを考えると，これを使った工法が普及する可能性はあるといえよう。

３）工具の使用対象の拡大

工具の普及には，それを利用する材料・部品の種類が広がることが重要である。当初は石膏ボードの施工・リサイクルとリンクして開発されたとしても，その応用範囲はかなり広いと考えられる。今回の大規模リフォーム実験でも，床のフローリングや，タイルに代わって近年使用されている台所のキッチンボードなどに応用ができると考えて，その施工と取り外し実験が行われている。その結果は比較的良好であり，特に内装材で，大きな引張りやせん断に対する耐力が期待されない部位では，大いに利用できるものと考えられる。

③　解体を考慮した工法の確立

上記のように，メルトプレート工法は，将来の普及可能性を秘めたものである。もともと技術の普及過程において，価格面での条件とともに，目に見える形で生産性の向上があれば，その技術は急速に普及することが知られている。その意味で②の１）３）の可能性が広がることにより，この工法の普及は進むものと思われる。

これに対してリサイクル技術の問題は，廃棄の問題も含めた生産者責任が社会的に確立しない限り，いかにそれがリサイクルに対する可能性を秘めた技術であったとしても，独自に追求されることはない。そこにささやかながら大学という組織で取り組む必要性も生じるのである。以下の実験では，そのような問題意識をもって，石膏ボードの解体性能に着目して研究を進めたものである。

２・２　石膏ボードの解体性能

（１）　分析の基本的枠組みと研究対象

戸建住宅の解体・リサイクル問題を把握するための基本的枠組みを図２．５に示した。

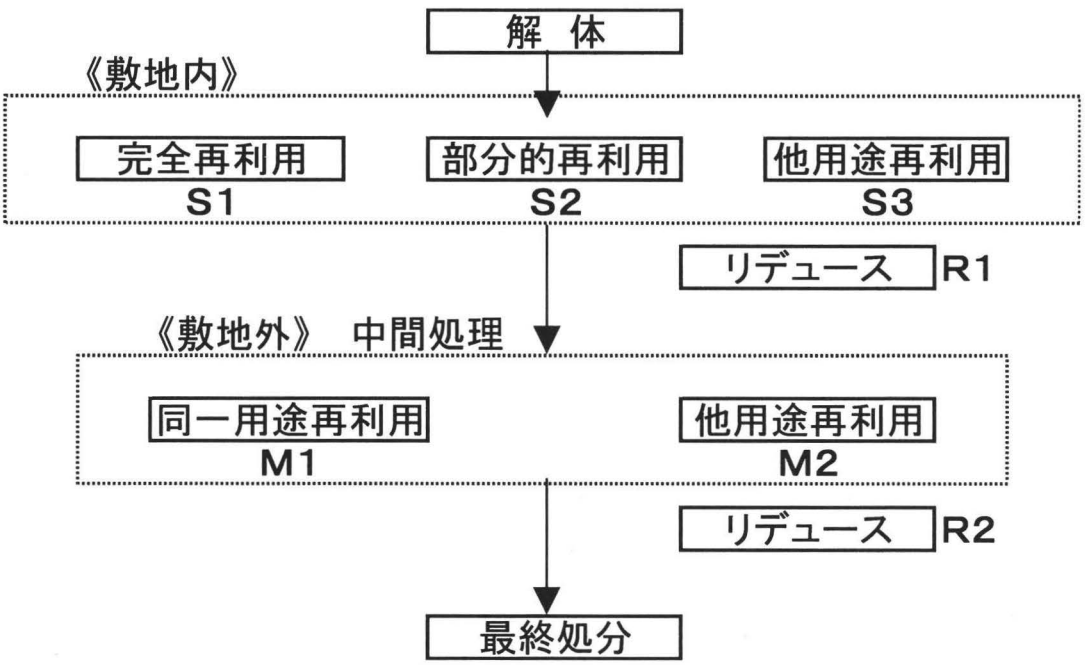


図２．５　解体・リサイクル問題を把握するための基本的枠組み

S1	完全再利用	部品の一部を補えば，ほぼ完全に再使用が可能
S2	部分的再利用	破損箇所の削除による寸法縮小によって再使用が可能
S3	他用途再利用	部材の形態を変更することで再使用が可能
M1	同一用途再利用	同一製品への原材料として再使用が可能
M2	他用途再利用	他用途製品への原材料として再使用が可能
R1	発生抑制1	敷地内から外部への廃棄物の発生抑制にかかわるもの
R2	発生抑制2	中間処理段階での最終処分発生量の抑制にかかわるもの

表２．４　各概念の定義内容

解体後の部材の利用方法としては，まず解体現場と利用現場が同一となる《敷地内》での利用が考えられる。敷地内利用としては，分別回収した部材の一部の部品を補えば，ほぼ完全に部材を再使用できる「完全利用」Ｓ１と，解体や分別回収時による破損箇所を取り除けば（切断すれば），多少の寸法縮小のみで再使用が可能となる「部分的利用」Ｓ２，再使用する際に部材の形態を変えて，従来の部材よりも下位もしくは上位の部材として使用する「他用途利用」Ｓ３が考えられる。

次に解体現場と利用現場が異なる《敷地外》での利用を考えると，解体現場で発生した廃棄物を回収し製品の原材料として再生利用するものとして，再び製品化したものが回収前の製品と同じである「同一用途利用」Ｍ１と，回収前と形態を変えて製品化された「他用途利用」Ｍ２が考えられる。

「他用途利用」Ｓ３では，瓦を舗装材に利用したり，過去に使用していた部材を象徴的な存在として，「思い出を残すデザイン」の一部に利用するといったシンボリック利用を含める。

これとは別に，リサイクルの観点からは，廃棄物を減量することが重要である。図２．５にのＲ１は，敷地内から敷地外に移る際の廃棄物の発生抑制（リデュース【reduce】）を考え，部材の解体性能と分別回収の向上と敷地内での利用促進に係わるものである。

Ｒ２は，解体現場から発生した廃棄物の最終処分量を抑制するという考えで，分別回収の向上と敷地外利用の促進に係わる。また，「最終処分」とは廃棄物の埋立処理をいう。

「近畿大学リサイクル型まちなか一戸建実大実験」の住宅施工時には，比較的解体が容易だと考えられる部材や接合方法を採用している。以下にそこで利用された部材の一覧を示す。

床材：リネア「オークK71」（A社）：置き敷き施工（特殊実），1Fリビング
　　オスモコルクフローリング「リサボン＃63572」（O社）：置き敷き施工（特殊実），2FＤＫ
　　コンビットロイヤルオーク「CB色152」（W社）：メルトスタッド工法，3F寝室
　　タイルカーペット「GA－7011」（T社）：置き敷き施工，廊下
　　籐ベストピタタイルDX「TB－DXT」（U社）：置き敷き施工，洗面，浴室
壁紙：ライフ1000「WT1155」（T社），洗面，浴室，2Fダイニング
　　環境壁紙リサイブル「WD2705」（T社），1Fリビング，2F吹抜，3F寝室，廊下
内壁下地：ハイクリーンボード（Y社）：メルトスタッド工法，ビス留め施工
　　ダイライト（D社）メルトスタッド工法
外壁：サイディング（K社）：金具工法

このうちアンダーラインを付したＹ社のハイクリンボード（ホルムアルデヒドの吸着・分解性能をもたせた石膏ボード）について，その解体検証結果を以下では紹介する。

（２） 廃石膏ボードのリサイクルの概要

① 石膏ボードの概要

石膏ボードは中高層ビルや住宅全般に用いられる建材で，平ボード，普通ボードとも呼ばれている。化粧ボードやラスボード，穴あきボードの原板としても使用されている。主な使用部位（仕上げ）は内壁及び天井下で，・防火構造・準耐火構造用（ペイント・壁紙など）内装材として用いられている。

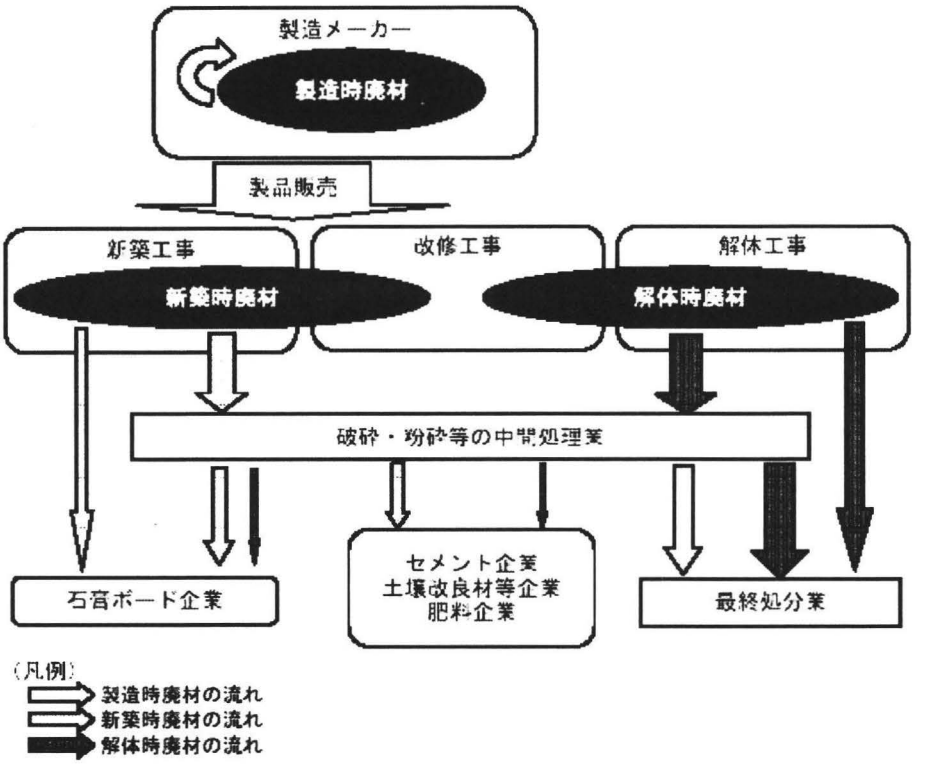
石膏ボードは他の建材と比較して，経済的であり，防耐火性にも優れており，切断の容易さ，施工の簡便さとあいまって，建築内装材として広く利用されており，以下のような特徴がある。

・石膏を心材とし両面をボード用紙で被覆した内装材料
・建築物の壁，天井として広範囲に普及
・３大性能は防火，遮音，断熱性
・施工性が良く，安価
・ボード原料の石膏には排煙脱硫石膏，紙には新聞紙などが使用されており，すぐれた再生資材

② 廃石膏ボードの概要

１） 廃石膏ボードの分類とリサイクル状況

廃石膏ボードは，排出プロセスと排出時の形状などから「製造時廃材」，「新築時廃材」，「解体時廃材」の3つに区分することができる。廃石膏ボードの排出及びリサイクルの現況を整理すると，図２．６，表



注）図中の矢印の大きさは、現状における排出及びリサイクルの状況（表5-1）を基に、処理量の大きさをイメージで表したものである。

図２．６　廃石膏ボードの排出及び処理の流れ

	排出状況	リサイクル状況
製造時廃材	・石膏ボードの生産に伴い，石膏ボード工場内で発生する。 ・（社）石膏ボード工業会によると，昭和 58 年以降の廃石膏ボードの排出量は生産量の 5%程度である。	・石膏ボード工場内で紙と石膏に分離された後，石膏は石膏ボード原料として全てリサイクルされ，微量の石膏が付着している紙は，一部たい肥等の原材料等としてリサイクルされているが，残りは焼却処理又は管理型最終処分場で処分されている。
新築時廃材	・建築物の新築に伴い，新築現場で端材（施工に伴って発生する切れ端）と余剰材が発生する。端材として発生する廃石膏ボード量は張り面積の 5～8%，余剰材の排出量は張り面積の 2～3%と言われている。	・石膏ボード製造業者は，環境大臣による広域再生利用指定制度の指定を受けて，一部の建設業者の新築現場から排出される廃石膏ボードを受入れ，製造時に発生する廃石膏ボードと同様にリサイクルしている。 ・（社）石膏ボード工業会は，リサイクルのための受入可能量を，出荷総量の 5%以内としている。 ・一部の中間処理業者は，地盤改良材等としてリサイクルしている。 ・一部の建設業者は余剰材を他の現場で使用することにより，廃石膏ボードの発生を抑制している。 ・新築時廃材の処理に係わる費用は基本的に 1 万円/ｔ（広域再生利用及び中間処分業） ・広域再生利用指定制度を活用した廃石膏ボードの平成 12 年度の回収量は 107 千トンとなっている。
解体時廃材	・建築物の解体工事やリフォーム工事に伴い発生する。通常，湿式工法で施工された場合は，石膏ボードに左官材料である石膏プラスターが付着した状態で発生する。乾式工法の場合は、石膏ボードにはビニールクロス等の仕上げ材が付着した状態で発生する。	・多くの場合，排出に当たり他の廃棄物と分別されておらず（分別解体、異物除去が困難），ほとんどリサイクルされていない。

表２．５　廃石膏ボードの排出及びリサイクルの状況

２．５のとおりである。

図を見てもわかるように，廃石膏ボードには製造時，新築時，解体時の３つの発生源がある。それぞれの処理の現状は，次のようになっている。

(a)　石膏ボード工場・加工場・流通倉庫等で発生するもの

・工場・加工場・流通倉庫等で発生する石膏ボードの端材等については，1990年以降資源の有効利用を目的に全量回収，再利用が目指されている。石膏と紙に分離した後，石膏は再利用，紙は一部再利用，一部は管理型処分場で処分されている。工場で発生する廃材については，各企業とも目標を達成し問題の解決は図られている。

(b)　新築建築現場等で発生するもの

・新築建築現場で発生する廃石膏ボードは，建築会社の大口建築現場（ビル等）では，かなり分別，回収が図られているが，小口散在建築現場（住宅等）では建設混合廃棄物として産業廃棄物最終処分場等で処分されているものが多い。1996年4月以降石膏ボード業界は，再生資源の利用の促進に関する法律の主旨に基づき，広域再生利用指定制度の再生資源活用業者の指定を受け（11社24工場）大口建築現場等で発生する廃石膏ボードの回収，再利用等を個別企業間の契約に基づいて実施されている。今後も関係需要業界等の協力と支援を得て新築現場から発生する廃石膏ボード問題の解決が目指されている。

・新築現場で発生する廃石膏ボードの絶対量を減らすためには，建築の設計段階から施工段階まで総検証し，管理を強化する必要がある。製品については，標準常備品の使用促進，発注段階での製品寸法の明確化と発注数量の検証，端材の有効利用の促進，目的外用途への使用自粛，残材の他用途への転用等が考えられてる。これらの問題については，に関係需要業界の協力と支援が望まれるところで，現状の発生量8%程度を5%以下に迄削減することが必要であり，実現は可能と考えられている。

(c)　解体現場で発生するもの

・ビル，住宅等の解体時に発生する廃石膏ボードの回収，再利用は技術的，経済的に未解決の問題が多い。建設資材リサイクル法の施行に伴い分別解体が促進されることにより，分別回収が推進されるが，分別回収される廃石膏ボードに付着している下地材，仕上材を分離する技術開発は急務である。
特に仕上材料等も関係するので関連業界の連携が必要である。

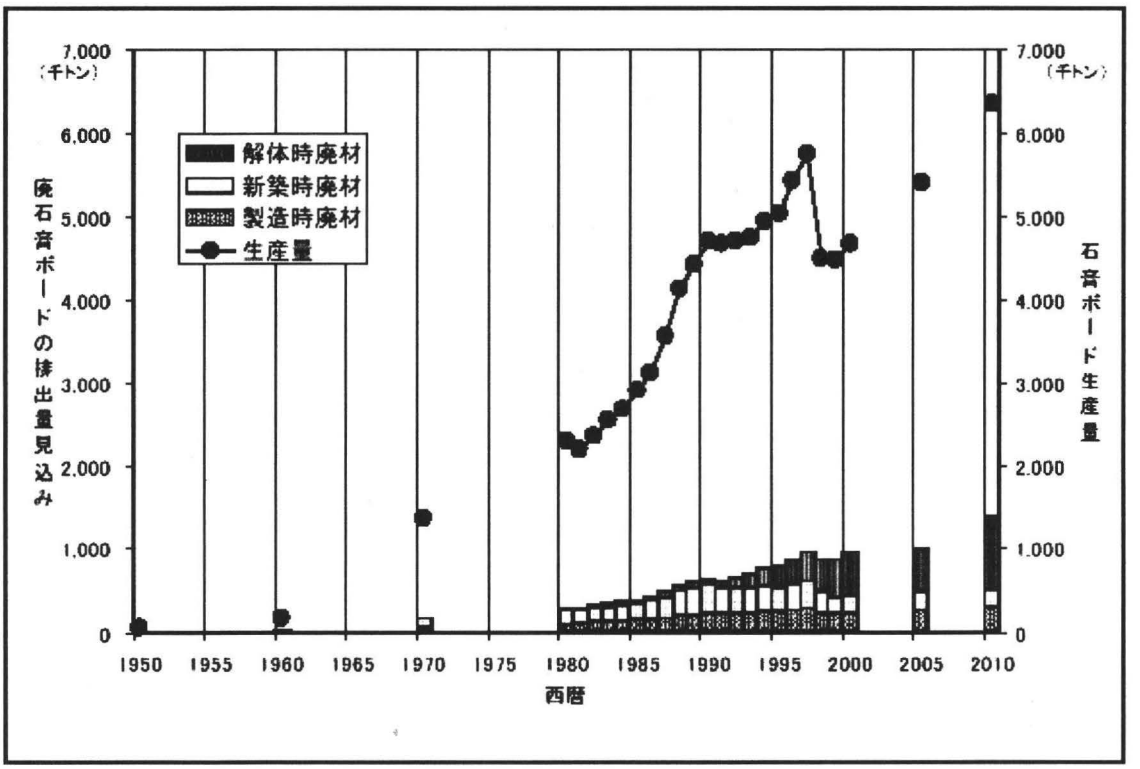
・現時点では，分別回収が図られていない事や品質の安定性等の面で解体系廃石膏ボードの受入，再利用は試行的にしか行われていないが，長期的には解体時に発生する廃石膏ボードが主流となるので，石膏ボードへの再利用へ技術面での検証や受入体制の整備について検討中である。

・石膏ボードへの再利用の面ばかりでなく，多量に用いる新たな用途，活用について関係する業界との連携の基に検討，検証の段階から実用化に向けた開発が急務である。

・石膏ボード業界は，解体廃石膏ボードの問題について経済産業省の指導と支援を得て，新エネルギー産業技術総合開発機構より，廃石膏ボードに含まれる夾雑物の除去，石膏の改質，廃石膏の用途開発等をテーマとした「解体廃石膏ボードの再資源化技術開発」の委託を受け，平成13年3月に第一段階の検討を終了している。

２）　石膏ボードの製造量と廃石膏ボードの排出量

（社）石膏ボード工業会の試算（平成10年11月1日現在）によれば，石膏ボードの生産量及び廃石膏ボードの排出量は，今後増加すると報告されている。この試算では石膏ボードの生産量を基に廃石膏ボードの排出量が算出されており，石膏ボードの生産量および廃石膏ボードの排出量の年次別の状況は，図２．７のとおりである。



注）廃石膏ボードの排出量は、実際に廃棄が見込まれる量　（引用：(社) 石膏ボード工業会資料）

図２．７　石膏ボードの生産量と廃石膏ボードの排出量

３）　廃石膏ボード回収に当っての問題点

(a)　排出プロセス別の問題点

＜新築系廃石膏ボード＞

廃石膏ボードの発生を抑制する事が必要であり，その上で発生したものについては充分に管理すれば異物が混入しない形で分別回収することは可能である。乾燥状態で保管した上で，石膏ボード工場・中間処理場等に持ち込み，再資源化することが行われている。新築系の廃石膏ボードの回収率は，現在，約50%であるが，この回収率をより一層向上させる必要がある。

＜解体廃石膏ボード＞

分別解体を行った場合でも廃石膏ボードは下地材，断熱材，金物，仕上材等が付着している場合が多く，単体として取り出す事は技術的に経済的に問題点が多い。しかしながら，今後分別解体が義務付けられる事により排出量が増加する事から，一定の条件を満たしたものについては受入れる方向で進めている。

＜回収した石膏の利用＞

回収した石膏の利用範囲は現状では限られており，石膏ボード用として再生活用する場合は，品質性能の担保及び生産性の面から混入量を10%程度と制約している。混入量を増すことについての調査研究がなされている。

(b)　廃石膏ボードの排出・処理の現状と課題等

・平成12年度における石膏ボードの年間生産量は468万トンで，このうち，実際の建築物に使用されるものが426万トン，新築時廃材42万トンとなっている。また，(社) 石膏ボード工業会の試算によると平成12年度における建築物の解体時に排出する廃石膏ボードは53万トンと推計されている。

・廃棄物中間処理業者等による廃石膏ボードの破砕・粉砕，紙の分離を経て，石膏ボード製造業者によるリサイクルが行われるルートが確立されており，平成12年度時点で16万トンがリサイクルされている。このうち，広域再生利用指定制度を活用した廃石膏ボードの平成12年度の回収量は11万トンとなっている。また，セメント製造者等へのリサイクルの動きもみられる。

・解体時は，中間処理業者等による廃石膏ボードの破砕，紙の分離を経て，一部は石膏ボード原料へのリサイクルが行われているが，解体時の分別・選別の困難性，リサイクル市場の不足等から，大部分は埋立処分されている。

(c)　石膏ボードの施工法による問題点

解体時における廃石膏ボードについては，建築時の石膏ボードの施工が湿式工法か乾式工法かにより排出形態が異なる。湿式工法で施工された場合は，石膏ボードに左官材料が付着した状態で排出されるので，リサイクルを行うためには，石膏ボードと左官材料を分離する必要がある。表２．６に排出形態とリサイクルの必要条件を整理する。

(d)　廃石膏ボードのリサイクルの推進方策

・新築時の廃石膏ボードは，現状のリサイクルシステムの拡大・普及及び新たなリサイクル用途・技術

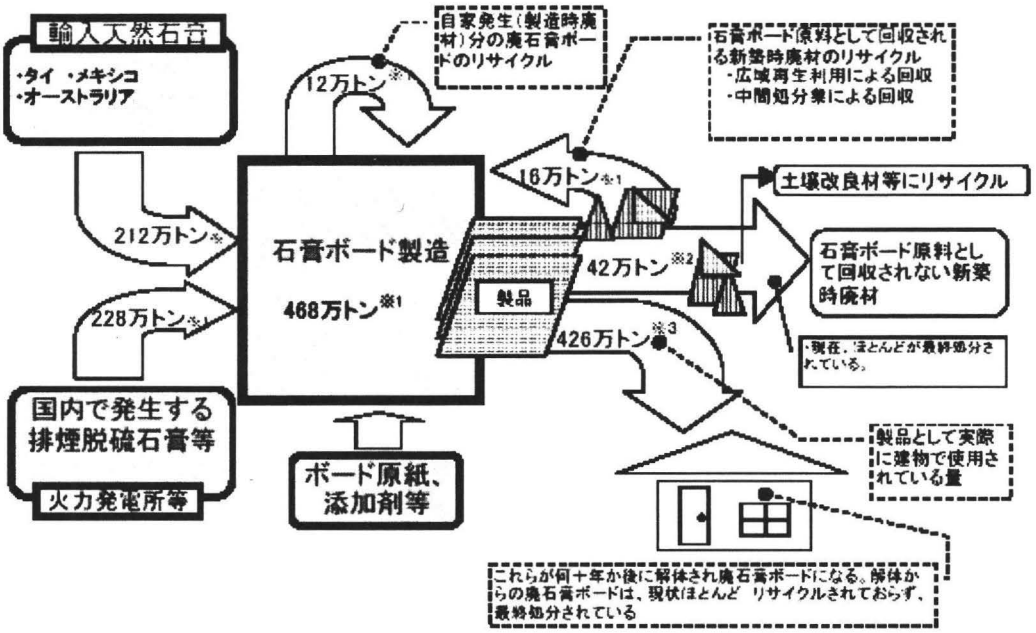
区分	排出形態	リサイクルの必要条件	解体物の動向
湿式	①石膏ボードに左官材料である石膏プラスター，土塗仕上材，砂壁仕上材が塗られているもの。	石膏ボードと左官材料の分離が必要である。	当面の解体時は，湿式が多い
乾式	②木材・鋼製の下地材，断熱材などが付着しているもの。	石膏ボードと他の材料の分離が必要である。仕上げ材として広く使用されているビニールクロスをボードから除去する必要がある。	平成 12 年頃からは，乾式が多くなる。
	③パーティション，サイディング，パネルなどの芯材・表面材となっているもの。		
	④壁紙，ペイント，繊維板，吹き付け材が付着しているもの。		

表２．６　湿式・乾式の違いによる廃節句ボードの排出形態とリサイクルの必要条件

の開拓を行い，リサイクルの拡大を行う必要がある。

・解体時の廃石膏ボードは，「建設リサイクル法」による特定建設資材廃棄物の分別解体等及び再資源化等の義務化に伴い，解体時におけるその他の建設資材廃棄物である廃石膏ボードについても，分別・選別の徹底はもちろんのこと，新築時廃材のリサイクルシステム，ルートを活用するなどし，リサイクルの拡大を行う必要がある。また，リサイクルシステムの活用を促進するためには，リサイクルのための受入基準に対応した分別解体基準の確立等が必要である。

(注) 本節の記述は，環境省 廃棄物・リサイクル対策部「廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する報告書」社団法人 石膏ボード工業会 HP 「環境問題への取組」を参考にして要約したものである。



※1：図中の輸入天然石膏（212 万トン）、国内で発生する排煙脱硫石膏等（228 万トン）、石膏ボード製造（468 万トン）、自社発生分の廃石膏ボードのリサイクル（12 万トン）、石膏ボード原料として回収される新築時廃材のリサイクル（16 万トン）は、実績量。

※2：図中の新築時廃材（42 万トン）は、平成 12 年度の新築時の廃石膏ボードの再資源化率が 38.3%、16 万トンであることから、逆算したもの。

※3：図中の製品として実際に建物で使用されている量（426 万トン）は、石膏ボード製造量（468 万トン）から新築時廃材（42 万トン）を除いた量とした。

※4：この図においては、原料の投入量（輸入天然石膏、国内で発生する排煙脱硫石膏等及び新築時廃材の回収分）の 456 万トン、石膏ボード製造量が 468 万トンで収支が一致していない。これは、石膏ボード原料には、図中で示した輸入天然石膏、国内で発生する排煙脱硫石膏等以外に、石膏を被覆するボード原紙、その他添加剤が使用され、また、製造工程において原料石膏の焼成、乾燥等が行われるためである。

図２．８　石膏ボードのマテリアルフロー（平成12年度）

（３） 実大住宅で使用した石膏ボードの解体性能の検証

加齢型バリアフリーの検討に入る前に，実験住宅の内装下地材料として使用している石膏ボードの解体性能の検証を行った。解体性能が高いということは，とりもなおさず，加齢型のバリアフリー改造の容易さにつながる。解体実験は，平成15年10月７日，９日，16日にかけて行われた。解体の対象となったのは，Ｙ社「ハイクリーンボード」でビス留め施工をしたものと，メルトプレート工法で接着したものの２タイプである。

①　ビス留め施工の解体検証

石膏ボードのビス留め施工の解体にあたっては，前出図２．５における**Ｓ２**レベルのリサイクルを想定して行われた。

1）　ビス留め施工の検証箇所

大規模リフォーム実験では１・２階吹き抜け部分に新たに梁をかけ，２階床を貼る（増床）実験を行った。この施工にあわせ，吹き抜け時に梁の接合金物を隠す処理がなされていた１階部分の壁下地（石膏ボード）の解体実験を行った。ここで用いられた壁紙はＴ社のリサイブルを使用していたので，表層の塩ビ部分を剥離することは極めて容易で，裏打紙のみがボード表面に残った状態から解体作業を行った。

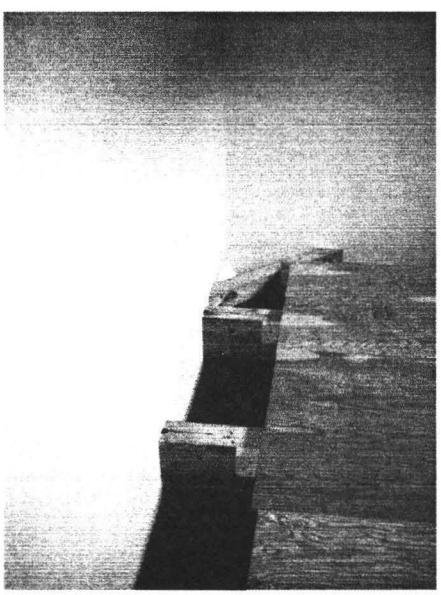


図２．９　リフォーム前の壁の状態
化粧梁の上に足場床が貼られている

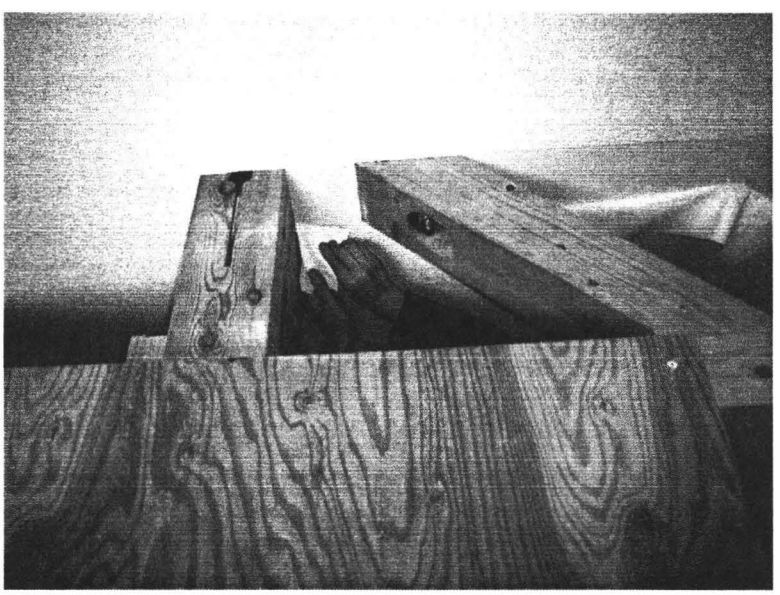


図２．１０　壁紙表層部分の剥離作業
Ｔ社のリサイブル壁紙は塩ビ部分と裏打ち紙の分離がたやすく行える。

2）　ビス留め施工の解体方法

壁紙の裏打紙が貼られた状態でビス頭を探すため，指で下地処理（石膏ボードに埋没したビス頭をパテで埋める）を行われた部分をなぞってみたが，凹凸が感じられなかった。そこで一度裏打紙を剥し，再度指でなぞってみたが，壁紙を貼る前の下地処理が必要箇所より広い範囲で行われており，ビスの位置を発見するのは困難であった。

目視では発見するのが不可能に近いため，金槌を用いて石膏ボード表面を叩き割り，ビスを探した。最初のビスの位置が分かってからは，叩き壊す面積は少なくなった。とはいえ仕上げ化粧処理を行った石膏ボードからビスを探すのは難しく，この段階で破損部分が大きすぎる。そのため再利用は不可能と考

えられる。

次に，電動ドリルを用いてビスを抜き取った後，石膏ボードにカッターで切りこみをいれ，金槌やバールで叩き割るのを試みたが，時間も労力もかかり容易に割れるものではなかった。石膏ボードの裏が梁で空洞ではなかったので，一層困難となっていた。

叩き割ることが無理であったため，バールやヘラを用いて石膏ボードを手前に引っ張り取ることを試みた。化粧梁の間や火打材に石膏ボードが隙間無く施工されており，また壁紙施工時のシーリングが残っていたので，まずバールやヘラを材に沿わして叩き込み，石膏ボードと材に隙間をつくることにした。その箇所から石膏ボードを手前に引き剥がした。火打材がある場所では，石膏ボードが途中で割れて残ったので，ヘラなどで少しずつ剥ぎ取る方法を行った。

3） 検証評価

石膏ボードに壁紙を施工した場合，下地処理としてビス頭や石膏ボードの目地はパテで埋められており，その上から探し当てるのは予想外に困難であった。今回の解体では，ビス位置を探すために金槌でボード表面を叩き割ったため，破損面積が大きく，当初Ｓ２の可能性を考えていたが，分別回収を図りＭ１（技術的には可能），もしくは最終処分と考えられる。

検証前では，ビス留め施工であれば釘による施工よりも比較的損傷が少なく解体できると考えられたが，仕上げ処理をした石膏ボードの解体の困難性が示された。また，ビスを探し出した場合，ビスの頭がパテで埋まり，電動ドリルを使用するのも通常より労力が必要となった。

4） 問題点

壁紙は石膏ボードの施工法としては乾式工法に入るが，リサイクルの必要条件としては，石膏ボードと他の材料の分離が必要となり，仕上げ材として広く使用されているビニールクロスをボードから除去する必要がある。今回壁紙に使用したＴ社のリサイブルは，下地を残して，上のビニール部分だけを容易に剥離できるため，この問題がクリアされているが，石膏ボード自体の解体には，大きな問題が残る。

ただし壁紙施工前の下地処理を行っていない場合，石膏ボードを留めるビスを2，3箇所のみ少し緩めた状態で抜き取らずに残しておけば，石膏ボードを外す際，そのビスを持って手前に引っ張ることにより解体は容易に行えることがわかった。これにより下地処理を除けばビス留めによる施工は，ビスを施工した際にできる穴のみで，欠損はみられなかった。

現在の内壁化粧材としては壁紙が多数を占めるため，今後のリサイクル促進には，どのようにしてパテで埋められたビスを探し出すかが解体技術上の課題となる。

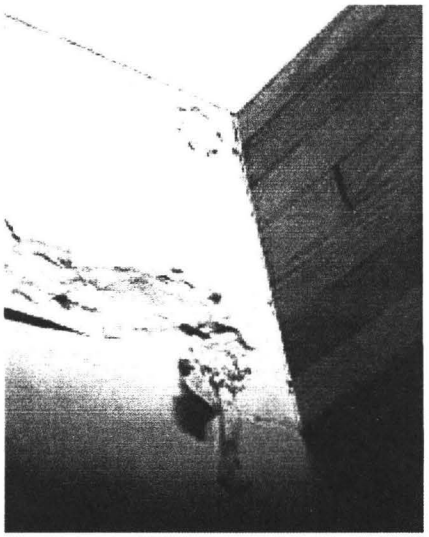


図２．１１　金槌でビスの頭を探した

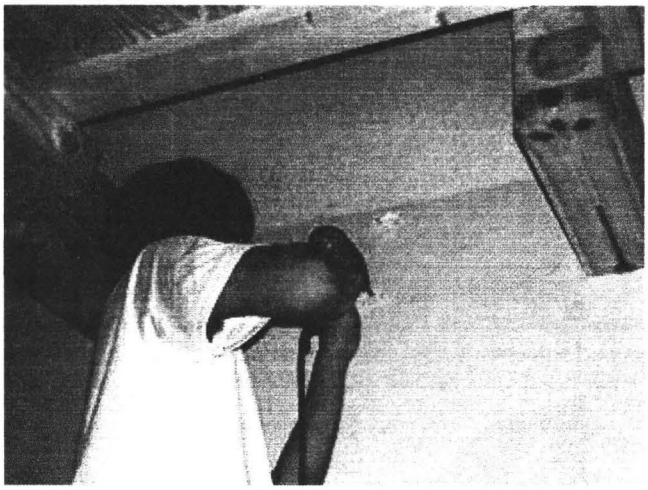


図２．１２　電動ドリルでビスを抜く

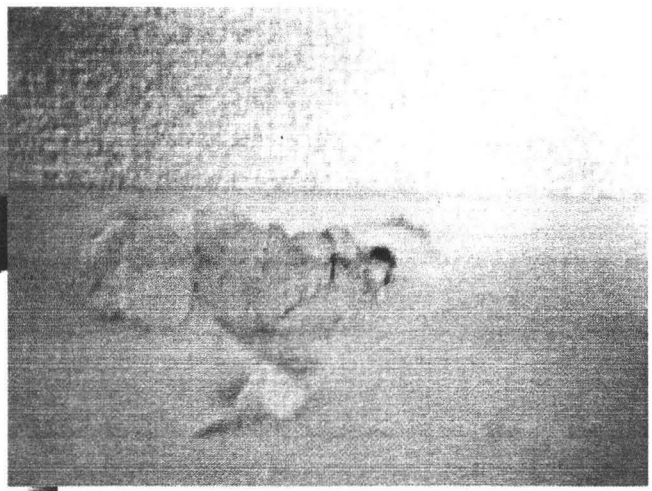


図２．１４　ビスを抜いた痕

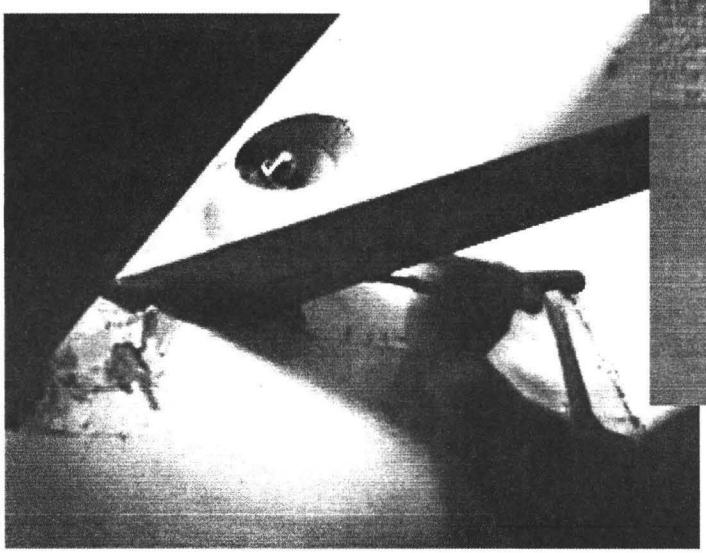


図２．１３　火打ち部分ではカッターで横に切れ目を入れたが・・ボードを割ることはできなかった

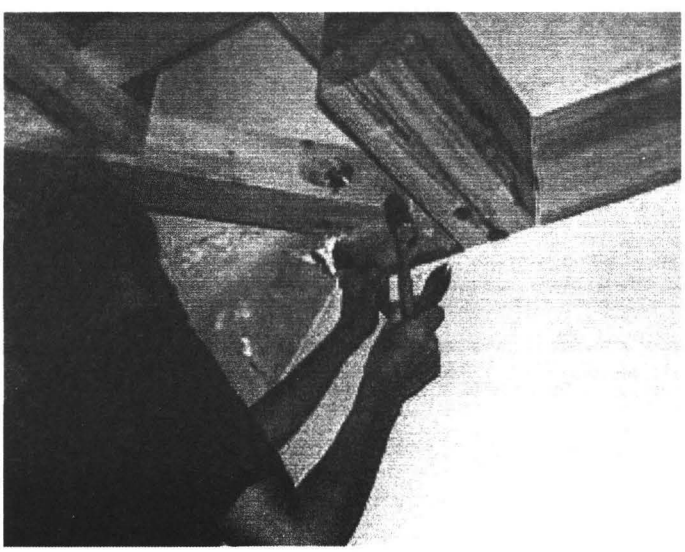


図２．１５　火打ち材があり，ボードがきっちりと施工されていたので，バールを用いて剥ぎ取った

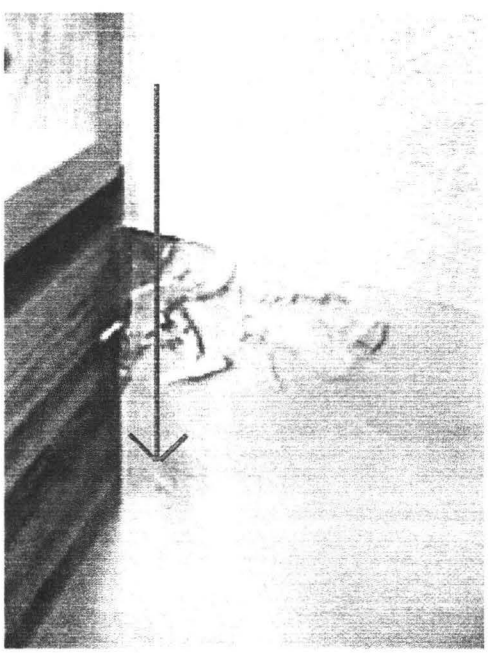


図２．１６　矢印に合わせてバールを叩き入れた

作業人数：２人

作業道具：金槌，バール，電動ドリル，カッター

② メルトプレート工法の実物による解体検証

メルトプレート工法の特徴から，石膏ボード自体の破損は少ないと考え，Ｓ１，Ｓ２レベルを想定して解体実験を行った。

1） メルトプレート工法の検証箇所

ビス留め施工の検証と同様，増床に伴い2階梁を通すため，化粧梁の下に施工されている壁下地（石膏ボード）の解体を行った。壁紙はビス留め同様，Ｔ社のリサイブルを使用したので，表層の塩ビ部分を剥離し，裏打紙のみがボード表面に残った状態で行った。

2） メルトプレート工法の解体方法

解体する石膏ボードの上1枚は，すでにビス留め施工の解体で取り外してあるので，上から順にホットメルターをあて，接着剤を溶かし，クサビをかませて剥離を行った。上部を留めている部分から剥離し，クサビが入らないところまで進むと，手を使ってボードを手前に引っ張りながら，下に向かって接着剤を溶かし剥していった。

垂直方向の目地はカッターで切断したが，目地を切断する際，接着面をほぼ剥し終えて（下まで接着を溶かして）から，剥離しようとする石膏ボードを手前に引き，隣の石膏ボードを躯体側に押さえ付けて目地を浮かせ，カッターで切り離した。水平方向の目地は，石膏ボードを上から全て剥した後，壁紙の下地だけが残るので，それをカッターで切断して外し取った。コーナー部分は，垂直に交わる石膏ボードによって抑えられているので，横に引っ張るようにして抜き取った。

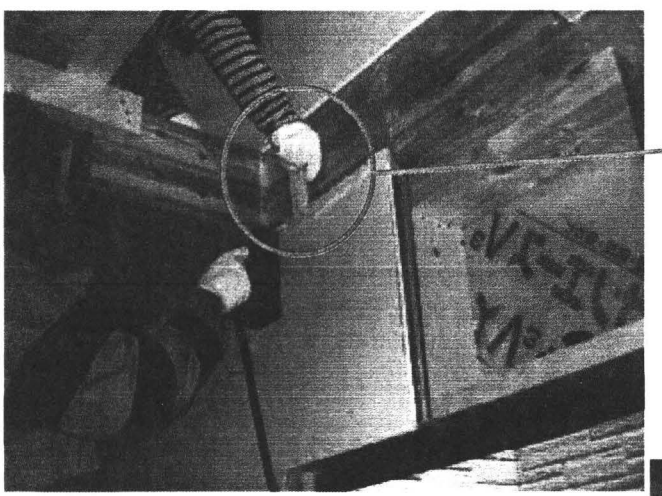


図２．１７　上から楔をかませる

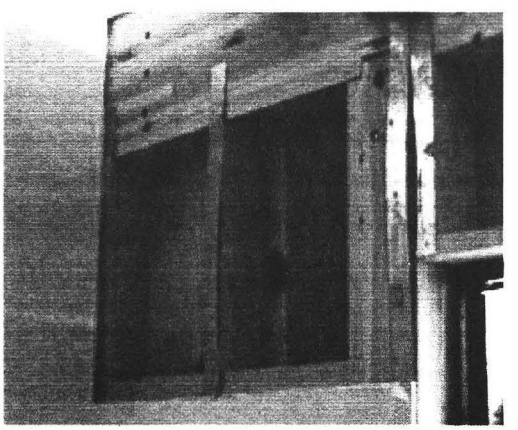


図２．１８　ボード剥離後に残るメルトプレート

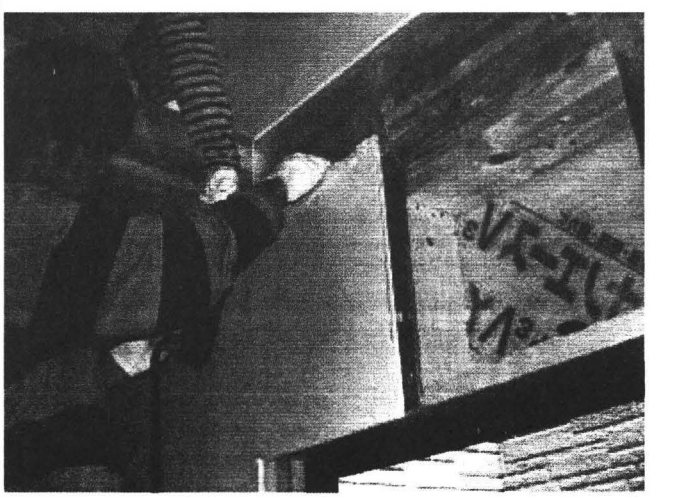


図２．１９　手前にひきながら接着剤をはがす

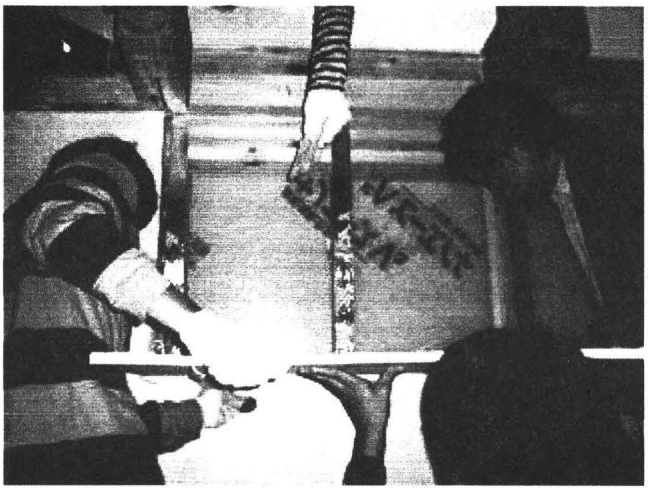


図２．２０　水平方向の目地を切断

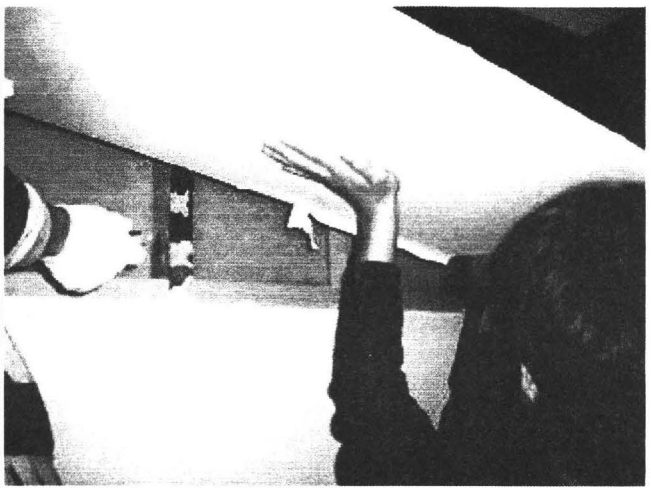


図２．２１　水平方向の目地を切断後

作業人数：4人

作業道具：ホットメルター，クサビ，カッター

3）検証評価

最初，垂直方向の目地を先に切断しようと考えカッターを入れたが，谷型に目地埋めされている（埋めている量が多い）ので，カッターで切断するのが困難であった。また，石膏ボードが梁下で継いであったため，上から目地の位置を確認できず，位置を特定するのが困難であった。

しかし，石膏ボードの表面はボール紙で被われているため，剥離したい石膏ボードにうまく力を加えれば，目地を埋めているパテだけが簡単に浮き割れを起こすことがわかり，石膏ボードをある程度剥した後に目地部分を切断する方が良いと考えられる。

水平面や石膏ボードの切断面は，つき付け施工となっているので，目地の位置が特定できれば，カッターで切りこみを入れることで，比較的容易に外すことができた。

コーナー部分では，メルトプレート全体にホットメルターを当てることができなかったので，施工時にメルトプレートを少し内側に入れるほうが良いと考えられる。

メルトプレート工法による石膏ボードの解体は，ビス留め工法に比べ，表面的な破損は無いが，パテ処理や解体時の損傷でＳ１は不可能と考えられる。とはいえ裏面の損傷が無ければＳ２は可能である。また，ビス留めより回収状態が良いのでＭ１は促進されると考えられる。

今回行った箇所は，吹き抜け部分で天井が無い状態で解体を行ったので，従来の施工方法と較べると容易に行えられたと考えられる。

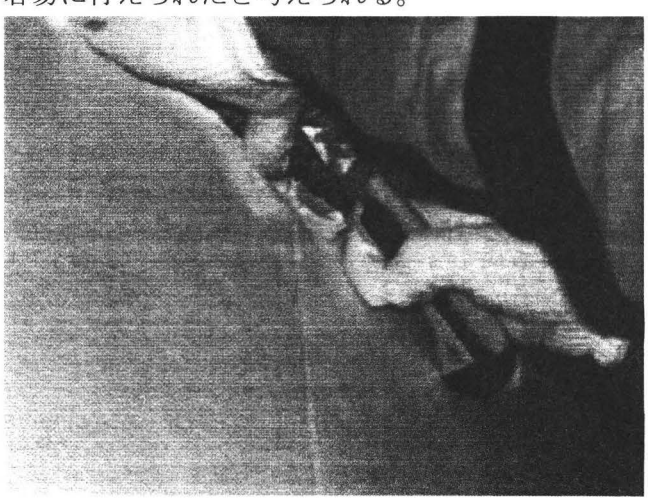


図２．２２　梁下の目地を切断

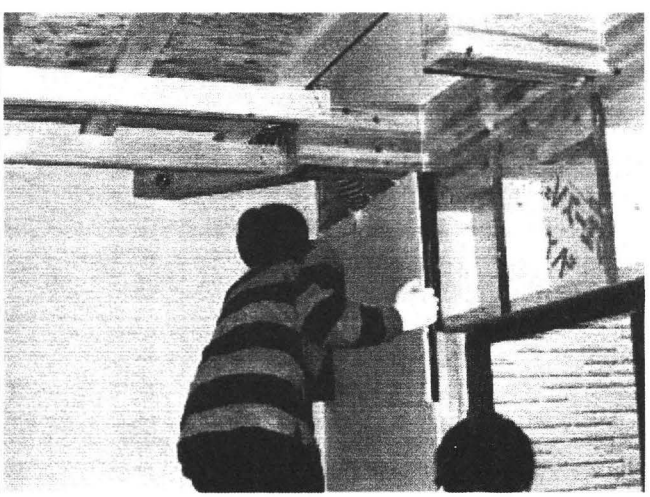


図２．２３　コーナー部分のボードを横に引く

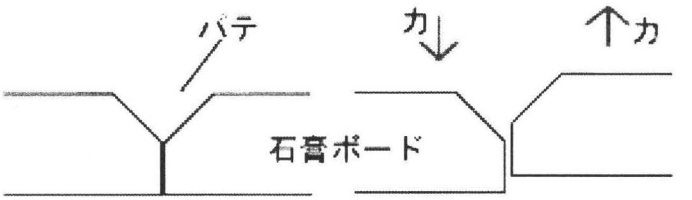


図２．２４　目地部分分離のモデル図

4）問題点

解体にあたって，メルトプレート工法では，プレートが石膏ボードの高さと同じ長さのものを使って施工されていることが問題となった。それは接着を溶かすためにホットメルターを当てることで，メルトプレートに熱が伝わり，接着をしていない部分まで新たに接着剤がとけてしまうことである。また，メルトプレートが施工してある箇所では，ホットメルターが全てに反応するので，施工時に，どの部分で接着しているかが分からないといった問題もでてきた。さらに石膏ボードを剥離する際，接着剤が完全に溶かせていない部分があると，手前に引き剥がす力が強い場合，石膏ボードの一部が割れてメルトプレート側に残るという問題もみられた（図２．２５，図２．２６）。

これらの問題のうち前２つの問題を解決するためには，メルトプレートをチップ化し，必要に応じて事前に貼付ルールを決めたうえで，そこに照射・溶融するということが有効であると考えられる。次節の解体実験では，ここで得られた教訓をもとに，実験が実施された。

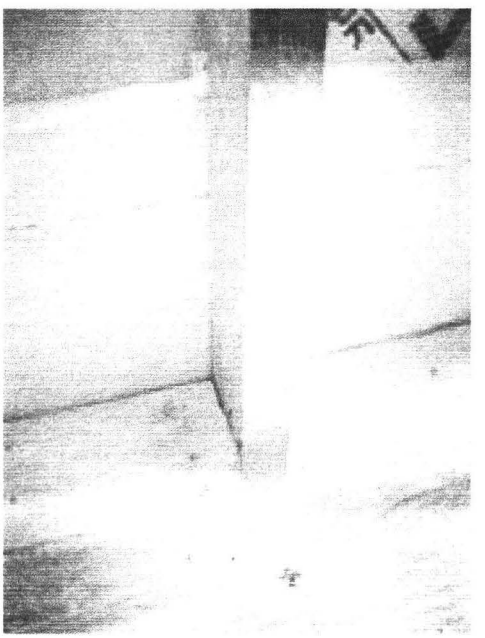


図２．２５　石膏が割れてプレート側に残存

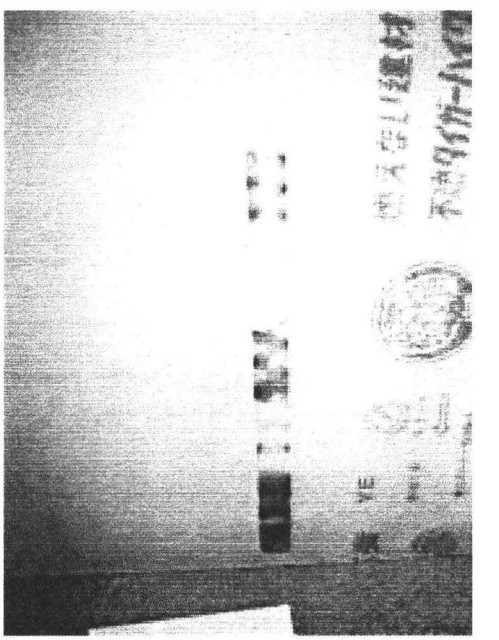


図２．２６　左写真における石膏ボード側の剥離

（４） 実験用型枠を利用した解体性能の検証

前節までに検討したメルトプレート工法を用いて接着した石膏ボードを取り外す過程で生じた問題は，解体作業の１番目の石膏ボードをいかにうまくとりはずすことができるかという点であった。そこでその問題を改善する手法を探るため，600×1800㎜程度の木枠を作って解体実験を行った。実験にあたっては，すべてメルトプレート工法で施工し，目地にパテ埋めを行い，壁紙も張ることで，実際の施工状況と近い状態になるようにした。

まず実験を行う前に，前回実験住宅で石膏ボードを外した際に，長い状態のままのメルトプレートを使っていると熱が余計なところに伝わってボードが外し難かったので，実験ではプレートを小さく（１０～１５ｃｍ程度）カットして施工するようにした。工具の改善により，下地にプレートがあるときのみ反応することが利用できるためである。

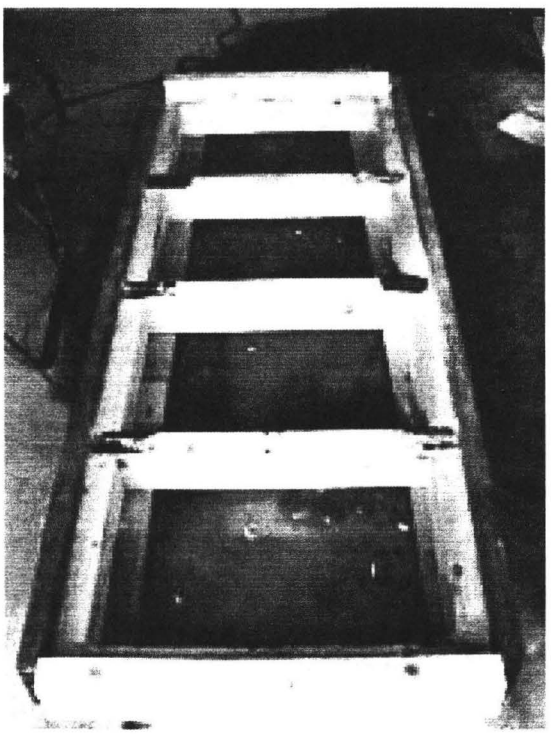


図２．２７　石膏ボードの解体実験に使用した型枠
各コーナーにカットしたプレートが見える

実験は次のような手順で進めた。

実験１：ビスを付けて引っ張る
実験２：マグの手を使って引っ張る
実験３：施工時にひもを一緒に巻き込んで，引っ張る
実験４：①施工時にバネを挟んでおく，②吸盤で引っ張る
実験５：①施工時にバネを挟んでおく，②施工時にひもを一緒に巻き込んで，引っ張る

①　実験に共通する下準備

１．石膏ボードを切断する

木枠に石膏ボードが４枚張れるように切断する。切断方法はカッターで少し切り目を入れ，上から軽く叩くことで簡単に割ることができる。切断面は，カンナを使って平らにし，目地部分もカンナで角を落としてパテ用の溝ができるようにする。

２．石膏ボードを貼る

小さく切ったメルトプレートを使ってボードを貼る。目地には，ホームセンターなどで市販されている目地テープを貼ってから，同様に市販されているパテを使って埋める。

３．壁紙を貼る

実験住宅で行った壁紙の施工実習で用いた壁紙に，のり（同様に市販されているもの）付けをして貼る。端の部分には，コーキング剤を塗っておく。

４．石膏ボードを取り外す

壁紙ののりが乾いたら，それぞれの改善手法別に壁紙をはがして，石膏ボードを外していく。

② 実験の経緯

＜実験１＞

第1回目では，ビスを途中まで付けて引っ張るようにした。接着剤を溶かしつつ，ビスを引っ張ることが難しかったが，なんとか外すことが可能であった。石膏ボードはビスを付けたことによる穴の損傷だけで済んだ。実験では，木枠を地面において施工していたので，溶かしながら引っ張っても１ヶ所溶かしているうちに別の箇所で引っ付いてしまった。しかし，実際の場合は垂直面での施工になるので，もっと容易に施工可能になる。

実験住宅で行ったビスで施工された石膏ボードでは，この方法のように，ビスを少し緩めた状態でビスを引っ張れば，もっと容易に取り外しができたかもしれない。しかし，穴が開いてしまうことは避けられない。あくまでも，最初の１枚がどうしても取り外せないときだけの方法といえる。

目地テープは実験住宅では使用されておらず，この実験ではじめて利用したものであるが，貼ることによりパテを塗ったときのパテの沈みが軽減された。また取り外しの際にも，テープを貼ったまま外せば２枚あるいは３枚同時に外すことができた。

＜実験２＞

第２回目は，「マグの手」（金物のスタッドに施工する際，石膏ボードをはさみつけるための強力な磁石）を用い，メルトプレートを再加熱して溶かし，メルトプレートごと石膏ボードを引っ張ろうとしたが，やはり磁石の力では不可能であることがわかった。。

＜実験３＞

第３回目では，石膏ボードを貼る前に，石膏ボードの裏にテープを通したまま施工した。

このときの問題点は，テープが短かったことが１つある。壁紙を張るとき，あるいは張った後の仕上りに障害がでないように表に出てくるテープを最小限にするため，できるだけ短くしたが，ある程度の長さがないと，しっかりはまった石膏ボードを引っ張り出すことは難しかった。

もう１つは，テープの素材が挙げられる。今回ナイロンテープを用いたが，いくつかの問題点があった。ナイロンであるために表に出たテープの上だけ，壁紙が浮いてしまった。また，引っ張っている際に，テープが熱に弱いため高温になっているメルトプレートに触れると，すぐに溶けてし

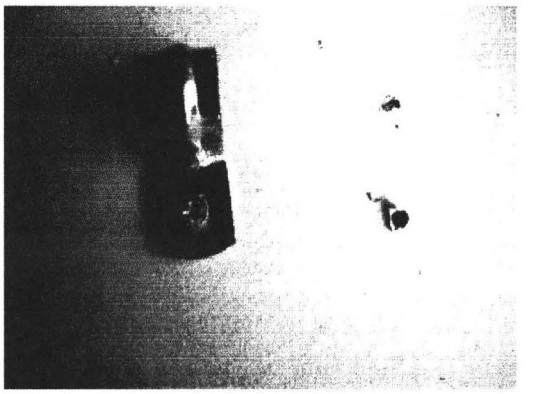


図２．２８　（実験１）石膏ボードをひっぱりやすいよう金物をビス留めし，メルトを溶かしながらひっぱることにした。剥がした跡は下のようなビス穴が残る。

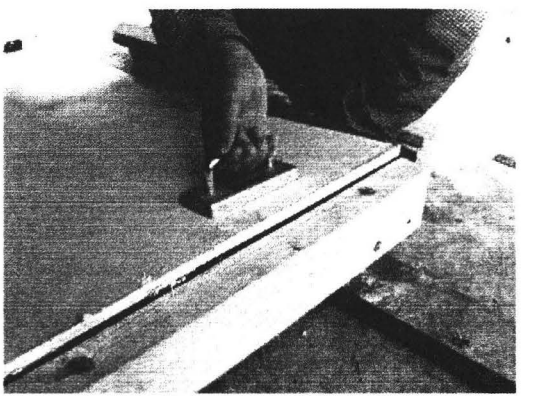


図２．２９　（実験２）「マグの手」でプレートとともに引き上げようとしたが，できなかった。図は裏にも「マグの手」をつけた場合であるが，現実にはこのような解体方法をとることはできない。



図２．３０　（実験３）施工時にあらかじめテープを埋め込んでおき，それを解体時にクロスをはがして取り出したうえで，写真のようにひっぱりあげた。

まった。また，ナイロンという滑り易い素材のため，引っ張っていると裏面でテープが滑って上手く引っ張ることができなかった。裏で何らかの方法でテープを固定する必要がある。

＜実験４＞

実験４と実験５では，石膏ボードと木枠の間にバネを挟むようにした。バネという発想は，T社で行われた「メルト施工現場見学会」に参加したときに行われていた石膏ボードの接着剤を溶かすと同時にボードを浮かすためのバネが使用されていることを参考にした。実験で用いたのは，市販されているらせん状バネである。施工実験では当初の予想以上にバネの力が強くて，石膏ボードを取り付け後１日で石膏ボードが少し浮いてしまっていた。バネとメルトプレートの位置，プレートの長さの検討が必要である。

実験４では，吸盤で引っ張ることにより剥離が可能であるかを試みたが，表面が紙だったので吸盤が引っ付かなかった。また，さらに実験４ではメルトプレートと石膏ボードの間に接着用フィルム貼った。これは，これまでの実験で石膏ボードを取り外した後，裏面に残った接着剤を取り除くときに石膏ボードの裏紙の損傷が見られていたので，それを解消する目的で行った。結果として，フィルムの接着剤による損傷は見られたが，その損傷の度合いは軽減された。接着強度を落とすことなく，石膏ボード表面の紙とプレートとの剥離をよくする工夫が求められる。

＜実験５＞

実験５では，同じくバネを用いるとともに，実験３のテープを利用した問題点を改善する施工方法を検討した。まず，実験３での問題点を解消させるために，ナイロンテープをマスキングテープへ変えた。長さも石膏ボードを１周させるように巻いた。これによって，長さも充分となり，壁紙の浮きもほとんど見られなかった。また，前回とは違い，接着力があるので裏面でテープを固定することで，引っ張り易くなるとともに，メルトプレートにテープが触れることもなくなった。この方法を用いると，ボードに損傷を与えることなく容易に外すことができた。

実験４・実験５ではバネを挟んでから施工したが，この効果によって接着剤を溶かすと同時にバネによって，石膏ボードを浮き上げることができた。この浮きの度合

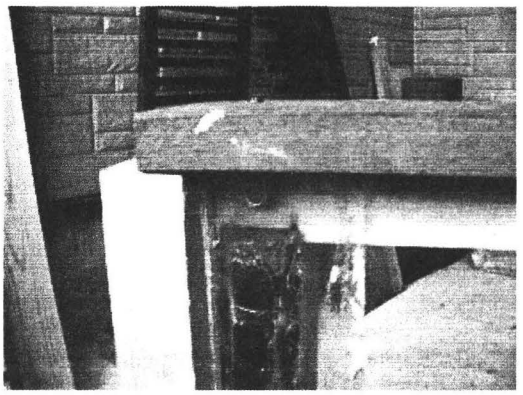


図２．３１　（実験４）（実験５）で用いたバネ。解体時にメルトを溶かせた時，バネの力でボードが跳ね上がることを期待したもの。

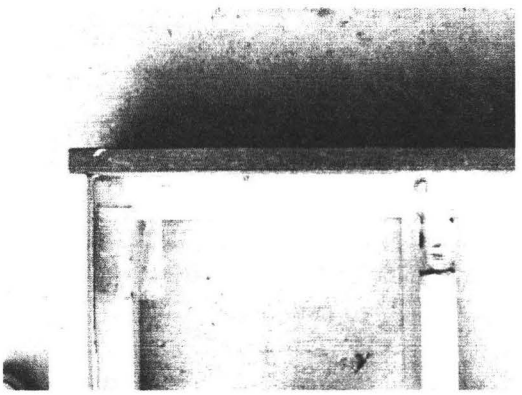


図２．３２　（実験４）で用いたバネとプレートとフィルムの構成。フイルムは施工時に溶融するが，解体時の石膏ボードの破損を軽減することを目的とした。

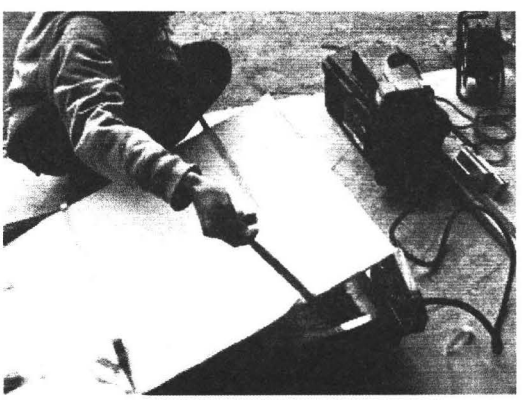


図２．３３　（実験５）で用いたバネとプレートとフィルムの構成。フイルムは施工時に溶融するが，解体時の石膏ボードの破損を軽減することを目的とした。

いによっては，テープを巻いたりする必要もなくなり，その浮いた所を手で引っ張ることも可能となる。ただし，前述したように，バネの挿入は，接着力にさからう力を与えることであり，接着力への影響と，ボードを張った後の浮きをいかに抑えることができるのかということが，問題となる。

③　取り外し方法の改善実験のまとめ

この解体実験において採用した小さくカットしたメルトプレートを用いることにより，長いままのプレートを使用したときに生じた解体時の問題は解消されることが確認された。ただし，実験ではボードの大きさが長いところでも600㎜程度だったので，四隅にいれたが，実際の場合では倍以上の長さになるので，どれくらいの間隔でいれるかは，今後検討の必要がある。

実験１～５を通して，石膏ボードを容易に，かつ再利用可能な状態で取り外すためには，取り外すときになって始めてその方法を考えるのではなく，施工時，あるいはそれ以前になんらかの工夫をして取り付ける必要がある。これは解体技術は独自に追求して，それを確立しておくことの重要性を物語っている。

今回の実験から導き出せる重要な点は，これらの工夫はすべてのボードに対して行っておく必要はないということである。最初にどのボードを取り外すのかさえ決めておき，そのボードだけに適用しておけば充分である。実験住宅の取り外し，あるいは解体実験を通して，最も大きな問題は１枚目をいかに外すかということ点にあったからである。１枚目さえ外すことができれば，それ以降のボードは，手で引っ張ることが可能となる。手で引っ張れない場合でも，ボードと柱あるいは梁との間にコテのような金属板を差し込めることができれば，取り外すことは充分可能である。

第３章　加齢対応型の階段手すりを利用した高齢者の昇降実態

池田浩起　森本信明　前田享宏

第２章においては，加齢対応型バリアフリー改善の技術的前提となる，内装壁下地材料（石膏ボード）について，その解体（取り外し）性能を向上させる可能性を検討した。そこで採用されたメルトプレート工法は，その技術が普及することにより，内装下地材料の取り付け・取り外し性能を向上しうることが確認された。本章では，階段室に手摺を症状に応じて設置することによる昇降行動の改善効果についての検討を行う。

３・１　本章の研究目的と方法

都市型戸建住宅の問題点とされる垂直方向の移動の問題を解決する方法としては，①エレベーターの導入，②手摺等の設置による階段室の改善，③住み方の工夫，④地域におけるサポート体制の確立の４つがある。本章では②③に関連して，高齢期（もしくは障害）の程度に応じて階段室に手摺を設置することにより，どの程度昇降行動の改善が図れるのかを明らかにすることを目的とした。

手摺の設置にあたっては，前章で検討したような，手摺を設置する補強材料を後付でもできる技術的工夫が考えられるが，同時にその高さ方向について自由度をもった手摺を設置することにより，体型や障害の程度に応じた対応が可能となるということが考えられる。そこで高さ可変型の手摺についても実験の中に取り入れて研究を進めた。研究は以下の手順で行った。

① 今回の実験の主な被験者として高齢者の直接参加を重視した。実験では，３例（60歳代夫婦，80歳代女性，90歳代女性）の協力を得ることができた。被験者は自宅の観察ならびにインタビューの調査対象者ともなっている。自宅調査ではどのような平面をもつ住宅に居住し，現在どのような生活行為上の困難をかかえ，またその改善のための工夫をしているかを明らかにすることを目的とした。インタビュでは，現状だけではなく，近い将来に対する不安や計画についてもたずねている。本報告書においては，この自宅調査部分のとりまとめは割愛している。

② 次に被験者に対して実験住宅（新金物構法棟）の階段を利用した昇降実験を行った。これら高齢者に対しては，その手摺りの高さが調節できる上下可動式手摺りを使用し，被験者がつかまりやすいと答えた高さに調整したうえで実験を行った。これらの結果を比較検討し，上下可動式手摺りの有効性を検討するとともに，階段室と手摺り設置との関連についても分析を加えた。

（注）なお，研究と平行して，「福祉医療建築の連携による住宅改善研究会（ＮＰＯ福医建）」が主催する研究会に参加し，手摺りについての討論，手摺りの材料や付け方についての議論，疾患別に見た・動作から見た手摺りについてなどについて，多くのことを学ぶことができた。

３・２　上下可動式手摺りの取付け

階段の手摺施工実験を開始するにあたってはインターネット上で検索した６社の手摺メーカーに対して資料請求を行った。このうち２社が上下可動式手摺を扱っていた。実験に採用したのは，そのうち１社の製品である。

表３．１　可動式手摺購入のための商品表ならびに取り付け位置写真

最終購入予定品目（1～2F）〔赤〕

アイテム	商品コード	商品名	品番	色	価格	数量	合計
手摺り棒	0137-4225	アッシュ丸棒　Mブラウン4m	EL-421	Mブラウン	9,000円	2本	18,000円
横ブラケット	0137-6012	Eブラケット横型	EL-11G	ゴールド	750円	8個	6,000円
可動式手摺	7650-0104	手すり取付レール可動式 300GB	300	ブロンズ	3,200円	12+1本	41,600円
ジョイント	0137-7622	フレキジョイント	EL-17GMB	Mブラウン	3,800円	3個	11,400円
							77,000円

階段全体（1～2F）〔赤〕

アイテム	必要数量
手摺り棒	612cm
横ブラケット	8個
可動式手摺	12+1個
ジョイント	3個

階段内側（1～2F）

アイテム	必要数量
手摺り棒	0cm
横ブラケット	0個
可動式手摺	4+1個
ジョイント	0個

階段外側（1～2F）

アイテム	必要数量
手摺り棒	612cm
横ブラケット	8個
可動式手摺	8個
ジョイント	3個

現状階段状況

現存数量（1～2F）〔青〕

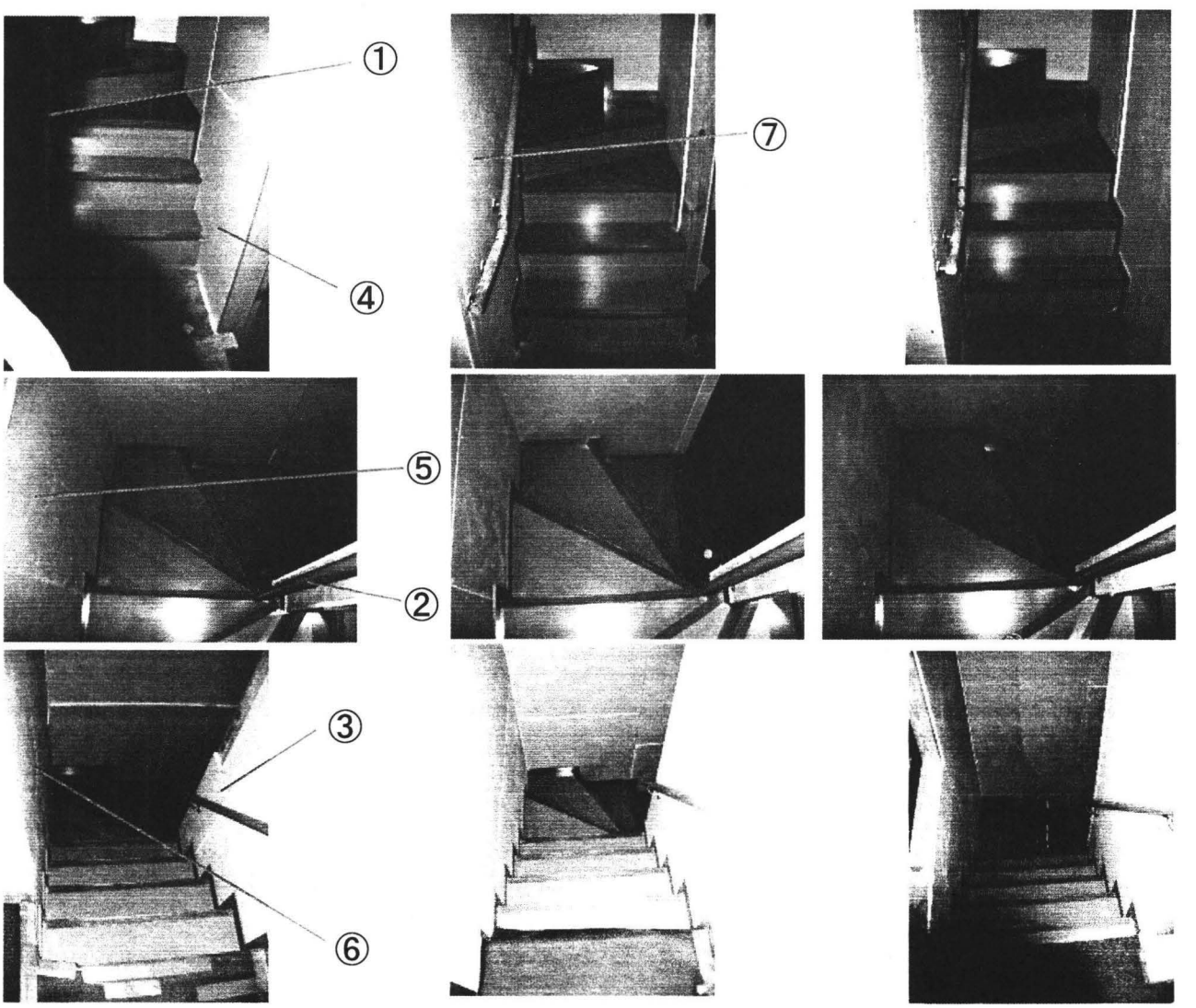
アイテム	現存数量
手摺り棒	338.5cm
横ブラケット	6個
可動式手摺	0個
ジョイント	0個

現存数量（2～3F）

アイテム	現存数量
手摺り棒	369.5cm
横ブラケット	8個
可動式手摺	0個
ジョイント	1個

現存数量（3～4F）

アイテム	現存数量
手摺り棒	369.5cm
横ブラケット	8個
可動式手摺	0個
ジョイント	1個



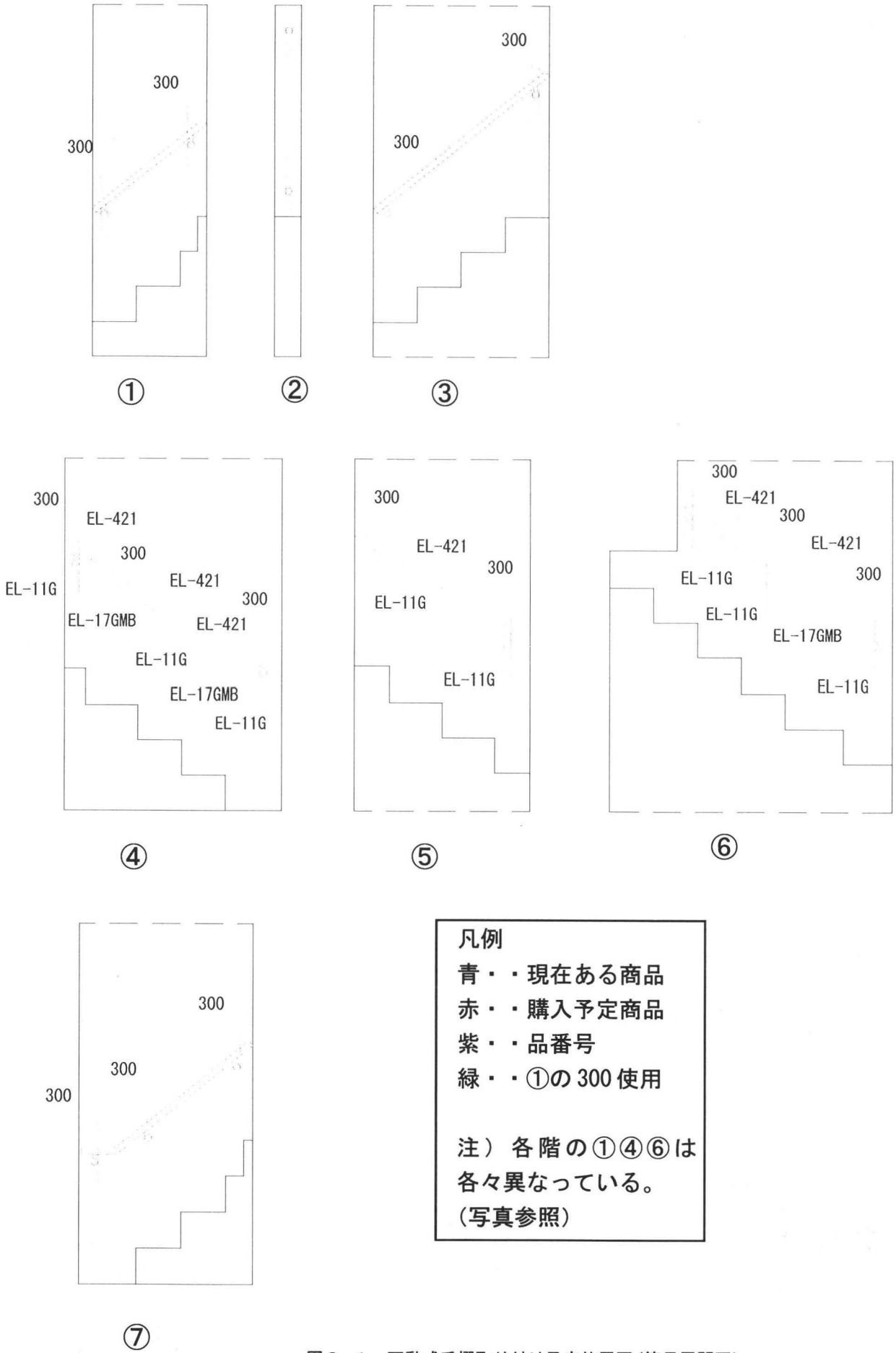


図３．１　可動式手摺取り付け予定位置図（簡易展開図）

（1） 上下可動式手摺部品の拾い出し

上下可動式手摺を購入するため，M社からカタログを取り寄せ，そのカタログに掲載されている商品から実験住宅棟の１～２階に付ける部品の数量を拾い出し発注した。参考に階段部分の写真と発注のための手摺取り付けの展開図を添付した（表３．１，図３．１）。

（2） 下地材料のチェック

手摺はその使用時にかなりの荷重がかかるため，通常，取り付ける際に壁の中に下地補強板がいる。実験住宅棟が竣工した時，手摺は階段の内側のみに付けられていた。今回の実験では，階段の両側に手摺をとりつけ観察を行うことにしたため，外側にも手摺を付ける必要があった。そのためには下地補強板の有無や位置を知る必要が生じる。

実験では上下可動式手摺りを１階から２階にかけての階段室に取り付けることにした。カタログによれば上下可動式手摺りは下地補強工事なしで取り付けることが可能という説明がなされている。それは間柱の上に，または横胴縁をまたいでレールを付けることができるという特徴をもっているからである。今回は石膏ボードを取り外すことにより下地を調べるという実験も兼ねているので，廊下両側の下地を確認することにした。下地確認の手順とその実際を以下に示した。（結果の数字は手摺購入商品表の数字と一致している）。

（注）なお，階段室の石膏ボードは当初すべてビス止め施工がされており，クロス仕上げは行われていない。そのため，石膏ボードを取り外す際のビス位置の確認は容易であった。

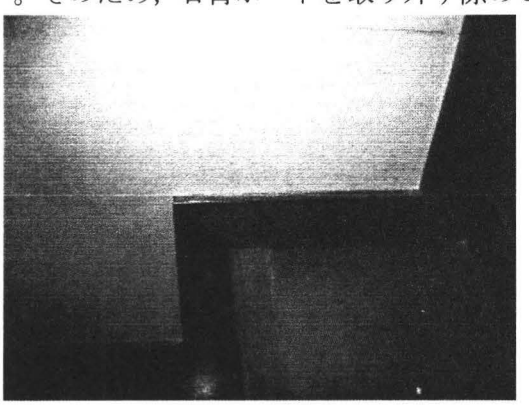


図３．２ ①住宅が建てられた時の階段

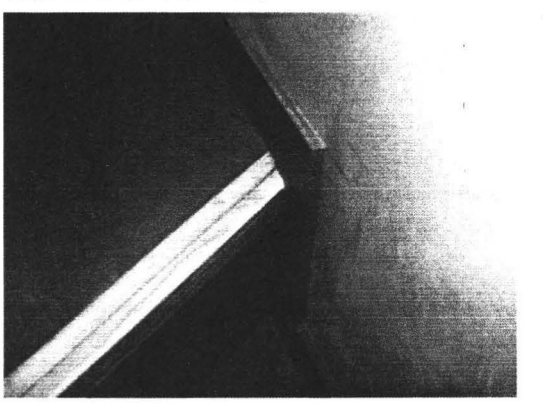


図３．３ ②まず階段踏み面の滑り止めを外す



図３．４ ③次に階段巾木を取り外す。巾木は石膏ボード上に接着剤と隠し釘で留められており，取り外し後のボードの傷みがみられる

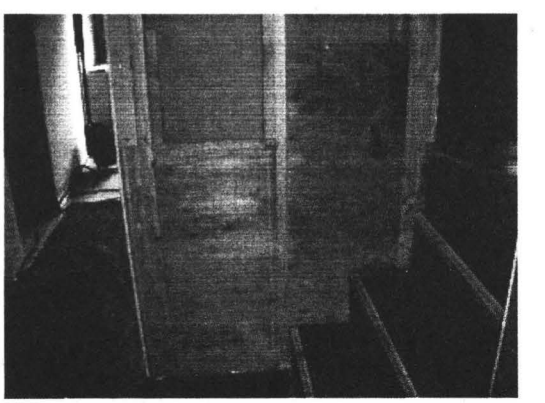


図３．５ ④最後に石膏ボードを取り付けているビスをはずした下地をむき出しにすることにより，下地補強板の位置が適切かどうかを確認する。

③　下地補強板の点検と施工の結果

表３．１に示した部位別に下地の点検をした結果は以下のとおりである。

①　適切な位置に下地補強版あり
②　調べる必要なし
③　適切な位置に下地補強版あり
④　中央から左はあり，右はなし。よって下地補強版を付ける
⑤　下地補強版はあるが適切でないため位置を適切な位置に付け直す
⑥　中央から右はあり，左は下地補強版が小さい。よって付け加える。

（３）　下地補強板の確認とボードの再貼り付け作業の手順

（２）によって下地を確認した後，階段のボードを再度とりつける施工実験を行った。取り付けにあたっては，第２章の経験をもとに，メルトプレートを小さく切断したものを使用した。また施工性の向上を目的として石膏ボードに代えてダイライト・ボードを使用した。このボードは石膏ボードに比較して切断にあたってのホコリの発生が少なく，また切断作業も比較的容易であることが確認できた。図３．６～図３．８にその様子を示した。

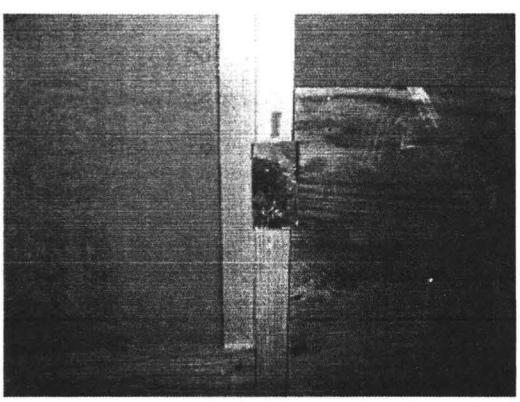


図３．６　ダイライトをホットメルターで取り付けるため、小さくカットしたメルトプレートを適宜貼りつける

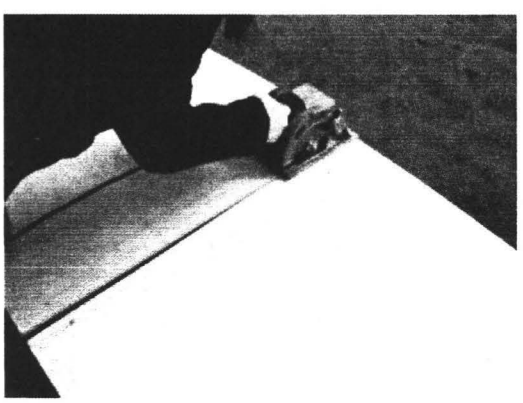


図３．７　ダイライトを石膏ボードと同じ大きさに切断する



図３．８　ダイライトをホットメルターにて貼り付ける

（4） 取り付け位置の墨だしと施工

上下可動式手摺は少しでも水平を失うとスムーズに動かなくなるため，正確な位置を確認する必要がある。また，先に丸棒（手摺）とジョイントを接続するため，丸棒の長さを正確にだしたうえで，切断する必要がある。

手摺り高さは750㎜に設定し，上下120㎜の調節ができるので，630～870㎜の間で自由に調節が可能となる。また，上下可動式手摺を購入した際に添付されていた説明書の手順では施工が困難に思えたため，別の手順で作業を進めることにした。以下の写真はその手順で設置されたものである。



図３．９　①手摺の正確な位置を書く

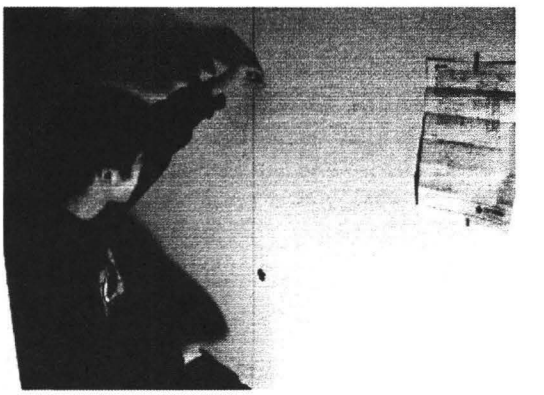


図３．１０　②上下可動式レールを垂直にするため糸を使う

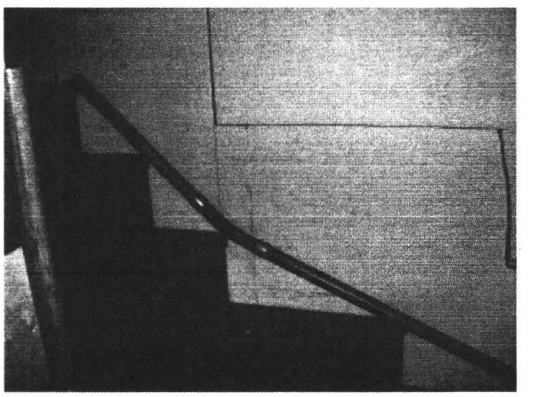


図３．１１　③丸棒とジョイントを接続し、下書きのラインと合わせる

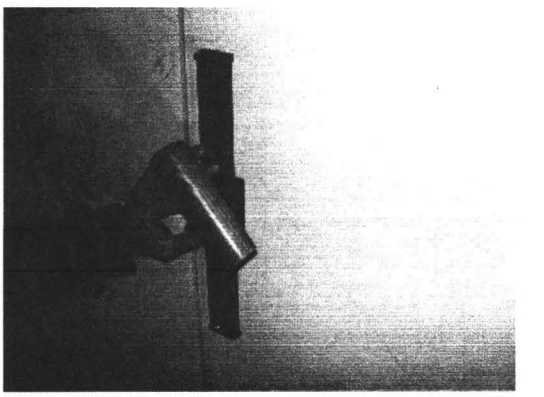


図３．１２　④初期設定が750㎜になるように上下可動式手摺の位置を確認

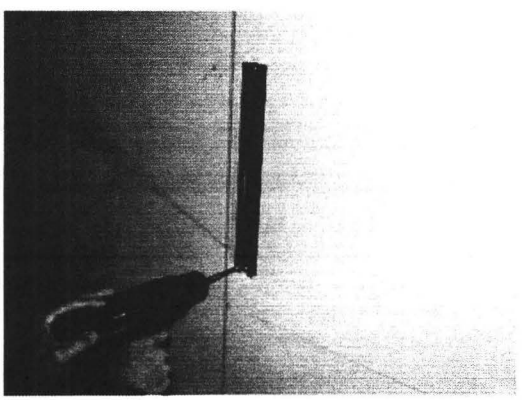


図３．１３　⑤場所を決めたらスライドレールを固定する

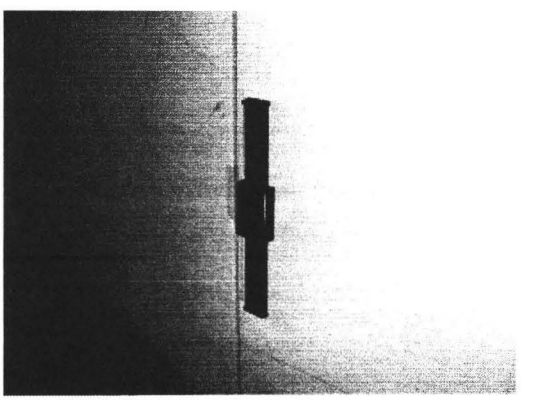


図３．１４　⑥化粧キャップ・プレートを付け、スライドプレートをレールの中心につける

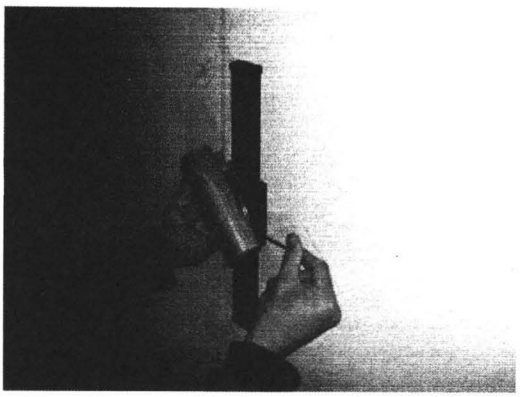


図３．１５　⑦丸棒の傾きを下書きと一致させる

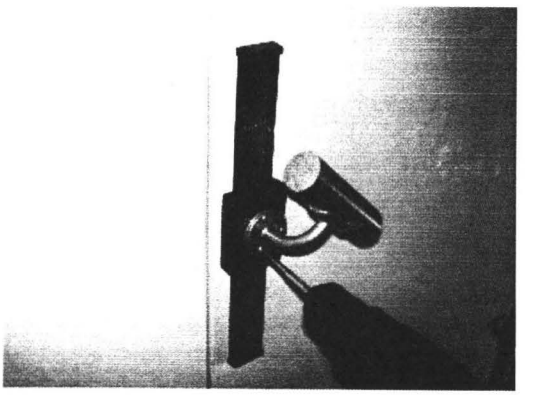


図３．１６　⑧ブラケットをスライドプレートに固定する

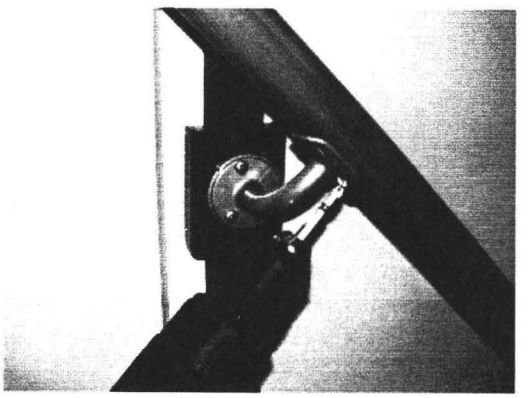


図３．１７　⑨丸棒を上下可動式手摺りに取り付ける

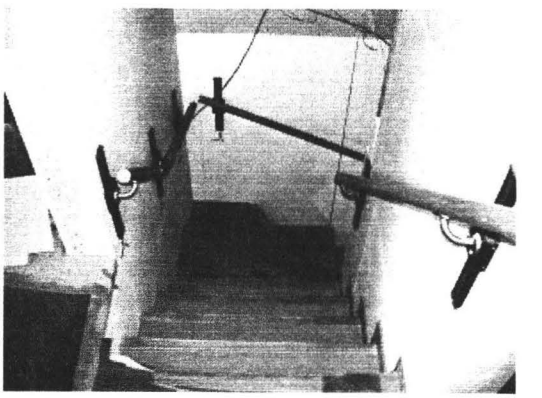


図３．１８　⑩完成！！

（５） 可動式手摺取り付け上の注意点と問題

① 上下可動式手摺り（レール）の取付け位置

ブラケットの取り付け場所には次のような説明がなされている。

ⅰ）ブラケットの取り付け間隔は900㎜以内とする。

ⅱ）直ジョイント等接続金具からは100㎜以内にブラケットを取付ける。

ⅲ）エンドキャップから100㎜以内にブラケットを取付ける。

上下可動式手摺り（レール）にブラケットを付けるので，ブラケットをつける場所＝上下可動式手摺り（レール）をつける場所ということになる。よって上下可動式手摺り（レール）を付ける際には上記のⅰ～ⅲに適していなければならない。

しかし，今回は上下可動式手摺りのデザイン性・コスト・強度・機能性など多岐にわたって実験するため，ⅰとⅱは厳守されていない。また，この上下可動式手摺りは後付けが主なため（初期でも取付け可能），内側を後付けと想定し，外側を初期取付けと想定した。

② 説明書と実際の施工との違い

説明書に書かれている取付け手順を下に示した。

①スライドレールを間柱や横胴縁に木ネジで取付ける。

②ネジ隠しのため，上から化粧プレートを差し込む。

③スライドプレートにブラケット（別途）をテックスで取付ける。

④スライドプレートをスライドレールに上から差し入れ，六角スパナで仮締めをする。

⑤スライドレールの上下端に化粧キャップを取付ける。

⑥ブラケットに手摺り（別途）を取付ける。

⑦身体状況に合わせて手摺りの高さを確定し，六角スパナで本締めする。

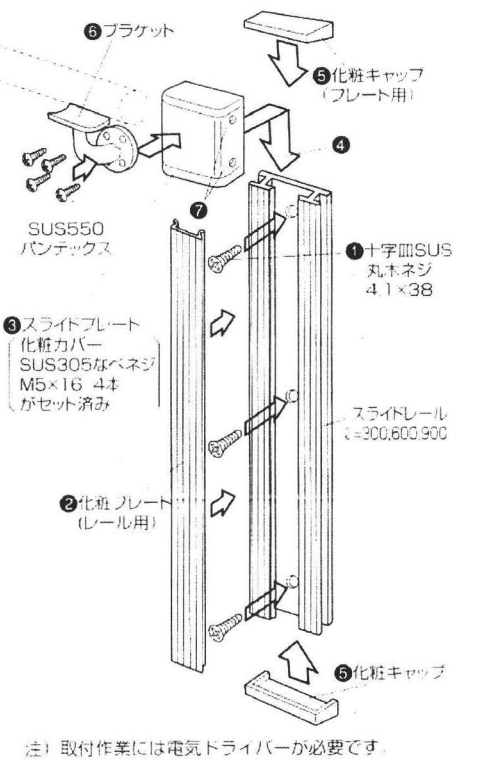


図３．１９ 取り付け説明書図解

今回実行した取付け手順を下記に，上記の説明と比較できるようにまとめてみる。

①スライドレールを間柱や横胴縁に木ネジで取付ける。

②スライドレールの下端に化粧キャップを取付ける。

③ネジ隠しのため，上から化粧プレートを差し込む。

④スライドプレートをスライドレールに上から差し入れる。

⑤スライドレールの上端に化粧キャップを取付ける。

⑥六角スパナで本締め（位置：スライドレールの中央）をする。

⑦スライドプレートにブラケット（別途）をテックスで取付ける。

⑧ブラケットに手摺り（別途）を取付ける。

※上記の①～⑧間で第２項２のような確認作業は省略し，取付け手順のみとする。

説明書の取付け手順と今回実行した取付け手順とを比べてみると，些細な違いはあるもののだいたい同じ手順となっている。ただし一つだけ作業能率に差が出そうな順番の違いがみられた。それは，スライドプレートにブラケットをつけるタイミングである。

説明書の手順では，スライドレールにスライドプレートを差し込む前にブラケットを取り付けるので，あらかじめスライドプレートに対するブラケットの角度を正確に計算していなければならない。もし角度調整に失敗したとしても，気付くのが遅れて取り返しがつかなくなる。

それに比べて今回の手順では，第２項２の⑯ように下書きのラインに手摺りの上端を合わせて，そのままパンテックスで固定するのでミスにもすぐに気が付くし，角度調整に失敗してもすぐに取り返しがつく。

（６） 上下可動式手摺りの調整

上下可動式手摺りを取り付け後，その利用にあたっては人の身長や成長に合わせて手摺りを調節することになる。調整するには上下可動式手摺りに付属している六角スパナがいる。図３．１９がそうだが，スライドプレートの左右にそれぞれ２ヶ所，合計４ヶ所ついている。それを一つ一つ調整しなければならない。一面の壁に上下可動式手摺りが２～３ヶ所あるため，８～12ヶ所六角スパナで調整する必要がある。壁は全部で内側・外側合わせて六面ある。実験住宅棟では全部で上下可動式手摺り12個×スライドプレート４ヶ所＝48ヶ所も調整しなければならない。これらをゆるめてもう一度固定するわけだから，96回六角スパンで調整する計算になる。１回最低約30秒はかかるので少なくとも48分はかかる計算になる。もちろん一度調整してしまえば，あとは比較的長期にわたって使用することになるが，簡便な調整方法を工夫することでより「可動式」の利便性が高まるであろう。

（７） 上下可動式手摺施工実験のまとめ

今回の施工実験から，上下可動式手摺り取り付けにあたっていくつかの問題が浮き上がってきた。

① 下地補強版の問題

実験住宅棟が建設された時に階段の手摺りは内側のみにつけられていた。手摺りは両側にあることが最も理想なので外側にも付けるため，施工にあたっては外側の下地も調べることにした。その結果，手摺りがすでに付いている場所の下地補強版は適切な位置に付けられているのだが，建設時，手摺りが付いていない場所においては，下地補強版が付いていたり，付いてなかったり，また付いていても不適切な位置だったりと，バラバラであった。

このような状況は一般の住宅において後から階段室に手摺をつけようとした場合にもみられる状況ではないかと考えられる。このことからも，本研究で目標とした，「壁下地材料の取り外しを容易にする」という研究目標は妥当であったといえる。さらに壁の再取り付けにあたっては，ダイライト下地材を用いたうえで，メルトプレート工法を採用することにより，素人でも容易に施工することができることが確認できた。

ところで「上下可動式手摺りは下地補強工事なしで手摺りを取付けられるという特長をもつ。それは間柱の上に，または横胴縁をまたいでレールを付けれるからである。」とカタログに記入されている。同時に「ブラケットをつける場所＝上下可動式手摺り（レール）をつける場所」とある。つまり，階段などで直ジョイント等接続金具を使っていた場合，その両側に上下可動式手摺りを付けなければいけないのである（今回は実験のため付けていない）。その場合，必ずしもそこに間柱があるとは限らない。よって上記のカタログ表現は必ずしも適切ではない。仮に横胴縁までスライドレールを伸ばすとしても実際

にスライドプレートが動く範囲は限られている。これでは上下可動式手摺りの特長というまでもいかないし，デザイン的にもコスト的にも良くない。

②　手摺り高さの変更とコスト

先に指摘したとおり，，手摺りの高さを変更するのに実験住宅棟を例にとると48分もかかる。身体状況や加齢に伴って手摺りの高さを変えるといっても変更する事はそう多くない。かといって１回で48分もかかっていては手摺りの高さを変更する気にはなかなかならないだろう。

また⑤で見たように，可動式手摺の施工では本来ｉ～ⅲのことを満たさなければならない。しかし，今回手摺購入商品表の④を見てみてもわかるように，上下可動式手摺りは３ヶ所しか設置していない。それにもかかわらず３つのスライドプレートはスムーズには動かなかった。決して取付け方を失敗しているということもないのにもかかわらずスムーズに動かないのである。これでは上下可動式手摺りを連続して設置した場合の上下調整は困難を極めるだろう。

もしｉ～ⅲの条件を満たし，上下可動式レールを５ヶ所つけるとすると，いっそうスライドプレートはスムーズには動かないだろう。仮にスムーズに動いたとしよう。実験住宅棟を例にとっても上下可動式手摺りは１～２階で17ヶ所付けなければならない。実験住宅棟は４階まであるので×３である。第３項３にあてはめると３時間24分もかかってしまう。１～２階だけ付けるとしても１時間８分もかかるのである。それに加え，適切な手摺り高さに調整する時間がいる。これだけの時間がかかると，可動式とはいえかなりつらいものがある。

さらにコスト面を考えると，建設時に施工されていた手摺りを使ったとしても，上下可動式手摺り１個で3,200円する。今回実験住宅棟の１～２階で使った上下可動式手摺りは12本なので38,400円である。もし条件をすべて満たし，すべての階段に付けると163,200円もすることになる。このように「可動式手摺」というアイデアは魅力的ではあるものの，階段手摺として採用するには，現状ではなお一般の手摺工事に比較して有利性をもっているとはいえず，急速に採用されるというものではないと考えられる。

以上のような施工実験からみて，上下可動式手摺りを付けるにあたっては，それにふさわしい住宅とふさわしくない住宅がある。まず，施工業者が住人の将来のことを考え，階段の両側の適切な位置に下地補強版を設置しておく必要がある。次に，住人が将来の部屋の間取りを考えなければならない。２階建て住宅は１～２階部分しか階段がないのに対し，今回の実験住宅棟のように３階建てで屋上がある場合，１～２，２～３，３～４階と３ヶ所ある。できれば１～２階部分だけに上下可動式手摺りを付けるような平面プランを立てたほうがコストを考えた場合にも安いし，手摺り高さを変更する時にもそれほど時間はかからない。また，手摺り高さを変更する際に使う六角スパナだが，電動ドリルに装着できるように工夫すると時間の大幅な短縮になると思われる。

上下可動式手摺りは，特に周り階段の場合，手摺りを連続させることは困難なため，手摺りを連続させたい住人にはお勧めできない。しかしながら，階段でなく廊下などに上下可動式手摺りを設置するのは有効である。住宅だと距離もそんなに長くないし，低コストですむ。また階段などの傾斜のある場合と比較して調節する時間も多くないと考えられる。

３・３　実験住棟階段における高齢者による昇降実験

「近畿大学リサイクル型まちなか一戸建実大実験棟」で建設された２棟の住宅のうち，新金物構法棟における折り返し階段を用いて高齢者の昇降実験を行った。被験者は60歳代の夫婦２人，90歳代の女性１人，80歳代の女性１名の合計４名である。

（１） 実験事例Ａ－１（2003年12月）

① 個人情報

氏名　　Ｎ．Ｕさん
年齢　　６１歳
性別　　女性
身長　　１５５　ｃｍ
体重　　４５　ｋｇ

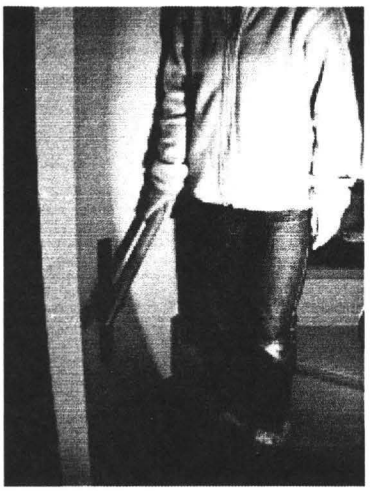


図３．２０　Ｎ．Ｕさんの実験風景

② 身体状況と実験過程

被験者Ａ－１のご主人である被験者Ａ－２は住宅に興味があり，今回奥さんと一緒に実験に参加してもらった。２人とも同じ日，同じ時間帯で実験に参加している。

Ｎ．Ｕさん（奥さん）は現在のところ生活に支障が出るような身体的な衰えはない。実験では前章で１～２階に取り付けた上下可動式手摺りがある階段の昇降体験を実施した。意識して階段を上がってもらうのではなく，できるだけ自然に階段を昇り降りしてもらう様子を観察するため実験住宅内を紹介しつつ写真や動画などに記録してゆくことにした。身体状況が比較的良いため階段については，数回昇り降りしてもらった。

③ 静止画・動画分析結果

手摺り高さ（初期設定750㎜）が階段を降りる際に適しているかどうか確認した。本人に確認したところ少し高いということだったので，上下可動式手摺りを持ったままで手摺りを上下移動したところ，72.5㎜が適切だということが判明した。

その設定で昇降してもらったところをデジカメの動画モードで撮影した。最後に書いてもらったアンケートで「手摺りが連続してなくても問題ないか」という問いかけに対しては，「問題ない」と書いている。しかし，動画を見ると内側の手摺り②（手摺購入商品表参照）から①に手を移す際に，手摺りから手が離れている時間が少し長いように思えた。その理由として，上下可動式手摺りをつける前の手摺りの勾配が適切でなく，上下可動式手摺りを取り付けた時に適切な勾配にしたため，角度が変わり短くなったためと考えられる。それ以外で特別な問題点は見当たらなかった。

④ 意見とアンケート結果

意見としては「ブラケットによって階段幅がとられ，狭くなる。両側につけるともっと狭くなる。」とのことだ。ちなみに階段の有効巾は，建設省通達（建設省住指発１２４号）により壁面から手摺りの先端までの寸法を100㎜以下とした場合は有効巾に含まない。また，手摺りと手摺りの内側で600㎜以上の有効幅員が必要（公的融資等を受ける場合に重要です）とある。実験住宅棟の階段の詳細を以下に示す。

折り返し階段 〔踊り場なし，芯芯	１，８２０mm〕
１ＦＬ～２ＦＬ （１３段）	２，７３０mm
幅	７７６mm
蹴上	２１０mm
踏面	２２７mm
壁面から手摺りの先端までの寸法	９１mm
手摺りと手摺りの内側	５９４mm
有効幅員	７７６mm

アンケートでは，上下可動式手摺りは便利で家でも付けてみたいが，手摺の高さを変える時の調整がもう少しスムーズにできたほうが楽という意見であった。実際に家に手摺りを取り付けるならあまり場所をとらない細い手摺りがいいということだ。

階段以外で手摺りを必要とする場所について，風呂とトイレに必要とある。トイレ等は車椅子からの移動がともなうため，手摺りの補助効果は大きいのである。これは住宅調査のインタビューの時に，Ｎ.Ｕさんは祖母を介護する時にプライベート空間は介護がしにくいという意見からも読み取れる。

実験住宅棟の階段について，一段一段の高さはもう少し低く，幅はもう少し広い方が良いと書いてあった。Ｎ．Ｕさんの住宅の階段は，蹴上げ（210mm）踏み面（255mm）である。蹴上げは同じ値だが，踏み面が実験住宅棟の方が28mm短い。この意見から，踏み面が短いと蹴上げまで高く感じることが分かった。また，階段の幅ついては実験住宅棟もＮ．Ｕさんの住宅も同じである。しかし，決定的に違う点が３つある。１つ目は手摺りの有無である。２つ目は横の壁の高さである。Ｎ．Ｕ．さんの家では圧迫感が実験住宅棟に比べてそれほどないのである。３つ目は照明である。Ｎ．Ｕさんの住宅の階段は照明や光が入っているのに比べ，実験住宅棟で実験した時は簡易的な照明しかなかったため足元に多少の影ができ，頭より上もライトがあたらず暗かったためである。これら３つの理由により，階段の幅が狭いと感じたものと思われる。

各部屋などへの入口が狭いとも書かれていた。玄関からの上がりかまちに手摺りが必要ということも書かれていた。これは加齢した時のことを考えての意見と言える。最後の感想では，「今まで健康で何も考えず過ごして来ました。この住宅を見てこれからの私達，老後の生活と合わせて見て随分勉強になりました。」と書いてあった。

⑤ 実験のまとめ

今回の実験では，被験者であるＮ.Ｕさんの身体状況がよかったためあまり手摺りを使ってもらえず，手摺りを利用した時のデータが数多く取れなかった。しかし，重要な２つのデータが取れた。１つは，上下可動式手摺りの手摺り高さを研究に参加した２名で調節したのだが，上下させる時間がかかり，上下可動式手摺りは便利だが調整に手間がかかると思われたこと。もう１つは今住んでいる住宅と比較して幅や広さ，照明などの関係により，寸法は同じだが狭いと感じること。

また，玄関やトイレ，風呂など手摺りが必要と思われるところの指摘はあったが，特別これといったものはなかった。年齢がまだ60歳前半で若いので，実験住宅棟の良いところ悪いところをはっきり意見してもらえた。それが今回，アンケートや実験中の会話などの中からデータを取れたことが大きい。

（２） 実験事例Ａ－２(2003年12月)



図３．２１　Ｎ．Ｕ主人さんの実験風景

① 個人情報

氏名　　Ｎ．Ｕさん（実験事例Ａ－１）のご主人
年齢　　不明（６０歳以上）
性別　　男性
身長　　１７２　ｃｍ
体重　　７７　ｋｇ

② 身体状況と実験過程

被験者は定年を迎えている。かといって不健康ではなく，いたって身体状況は良い。体格はしっかりしていて大柄である。実験過程はＡ－１の奥さんと同じであり，これがベースとなる。

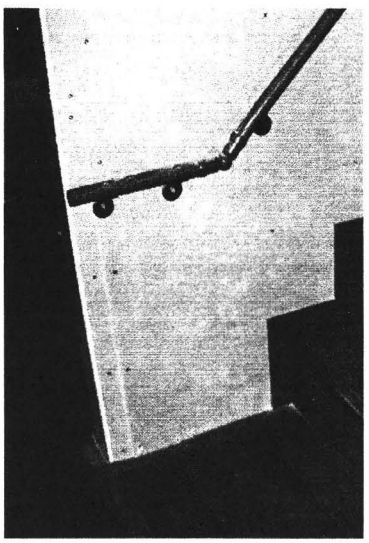


図３．２２　床面での水平手摺

③ 静止画・動画分析結果

まず初めに手摺り高さ（初期設定750ｍｍ）が階段を降りる際に適しているか確認した。身長172cmの被験者にとっては低いということだったので上下可動式手摺りを持ってもらいながら手摺りを上下したところ，850mmが適切だということが判明した。

その設定で昇降してもらったところをデジカメの動画モードで撮影した。②（手摺購入商品表参照）から①に手を移動する際の時間の問題は奥さんの場合と同じである。しかし，奥さんと比べて手摺りの握りがしっかりしていて，階段を降りる時，足を一歩踏み出すと同時に手摺りに大半の体重をかけているとみられる。そのため，できれば①の手摺りに下の写真のような床に平行な手摺りが少しあれば良い。その理由として１段目から１階床面に足を降ろす時，手摺りがないと足に負担がかかる。そのため手摺りを付け，手と足両方に力を分けた方が体に良いからだ。このような動作をしても上下可動式手摺りはぐらつかず，しっかり固定されていた。よって，①の上下可動式手摺りの強度は確保されている。また，実験住宅内が寒かったため被験者は片方の手をポケットに入れている。これでは加齢した時や体勢を崩した時には非常に危ない。

③ 意見とアンケート結果

意見としては，夫婦が一緒に住む場合には「手摺りの高さは自分が階段を昇る時の手摺りの高さと，奥さんが階段を昇る時の手摺りの高さの間をとるしかない」とのことだ。この夫婦の住宅には手摺りはまだ取り付けていないが，今後，必要に応じて手摺りを取り付ける機会があると仮定した時，「最初に妻の階段の手摺り高さに合わせた場合には，自分は低いと思いながらも使っているだろう。」とのことだ。これは非常に難しく，かつこれからの課題になるだろう。上のように夫婦が同じように加齢し，上下可動式手摺りの手摺り高さをどちらに合わすかは，体の弱り具合により夫婦間の話し合いで決める事が現在ではもっとも現実的な解決策であると考えられる。とはいえ高すぎることと低すぎることでは，どちらがよりましであるのかについては今後なお検討する余地はある。

なお技術的な解決として上下可動式手摺りが人によって自動的に調節できるようになると解決するが，コストに見合った評価がえられそうもない。

階段の幅が狭く，蹴上げが高いと言う意見は，先の奥さんの時と同じ理由からだろう。上下可動式手摺りは家でも是非付けてみたいとのことであった。その理由として病気や加齢によって自由に手摺り高さを変えられるからとある。また，家で波打ってる手摺りを付けたいとのことだが，これはトイレなどに付ける手摺りでは座る時と立ち上がる時，手摺りの持つ位置と角度が少々違うため，この手摺りは有効であるが，階段に付けるとなると移動しにくいだろう。安全面にも不安が残る。

実験住宅棟の廊下・階段室の改善については，階段室に窓がほしいとのことである。これは風や光を入れるということでもあるが，ご主人場合，煙草を吸うので換気できる場所が必要だという。また，踊り場がないと大きい荷物を運ぶ時に不便である。

また階段室以外では，玄関の上がりかまちに手摺りが必要であり，1階のトイレ前が狭いとのことだ。最後の感想としては，「各部屋の入口が狭い。構法等，勉強になりました。」と書いてあった。

⑤ 実験のまとめ

今回の実験では，奥さんと同じ位身体状況が良いにも関わらず，階段を利用する時には手摺りをほとんど使っていたのでデータが多く取れた。被験者Ａ－１（奥さん）と住んでいるところが一緒なので，実験住宅棟と自宅との相違点の指摘はほとんど同じだった。しかし，唯一奥さんと違う点は体格である。体格が大きいため，手摺りにかかる負担も相当なものである。その上で，手摺りがしっかりしていたことは貴重なデータである。また，奥さんと同じく実験住宅棟の良いところ悪いところなどはっきり指摘してもらうことができ，大いに参考になった。

（３） 実験事例Ｂ（2004年１月）

① 個人情報

氏名　　Ｓ．Ｉさん
年齢　　９３歳
性別　　女性
身長　　１４８　ｃｍ
体重　　５５　ｋｇ

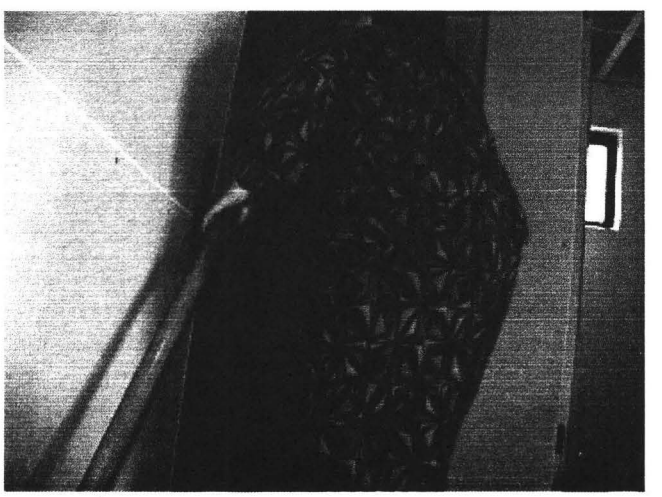


図３．２３　Ｓ．Ｉさんの実験風景

② 身体状況と実験過程

被験者は住宅内の日常生活において介護（世話）は必要なく，自立した生活ができている。外出する時には嫁が付き添っている（主に手をもってあげるなど）。痴呆もほとんどない。ただ93歳という高齢であるため，実験途中の意見は十分に聞くことができなかった。実験過程は第１項とほぼ同じだが年齢を考慮し，階段の昇降実験は２回にとどめた。

③ 静止画・動画分析結果

まず初めに手摺り高さ（初期設定750ｍｍ）が階段を降りる際に適しているかどうかを確認した。750㎜で良いということだった。しかし93歳という高齢だけに，最も適切な位置ではなく，その近い位置でも「この高さが最も良い。」と回答していることも予想された。そこで被験者が杖を持っていることに着目

し，その高さを測ったところ，783㎜だということが分かった。その差は33㎜であった。とはいえ783㎜の杖を使っての歩行では多少辛そうに見えたので，初期設定の750㎜昇降しているところをデジカメの静止画や動画で撮影した。



図３．２４　Ｓ．Ｉさんの昇降実験

分析によると常に両サイドの手摺りを持って昇っていることがわかった。１～２階の③と⑥（手摺購入商品表参照）では左右の手摺の長さが不揃いのため③の最後の方になると内側にしか手摺りが付いていない。その部分は祖母は両手で手摺りを握っている。この結果は，もし片方にしか手摺りが付いていないと全ての手摺りを両手で握り，常に体勢が傾いた状態で昇降をせざるをえないということになる。

また降りるケースでは，昇る場合と比較して，階段１段につき，その都度両足をついて，１段ずつゆっくり降りている。また，左足から足を出すため，体全体が常に右側に傾いている。最後の一段から１階床面にさしかかる時，左足が１階床面に着地しきるまで手摺りは放さず，右足が１階床面に着地する寸前まで手摺りを放さなかった。これは足への負担を軽減するために手摺りを最後まで放そうとしないからである。このことを考えると，手摺りの最後に，床に平行な手摺りがあったほうが無理な体勢をとらなくてもよいということを示唆している。これらの理由により，昇りより降りの方が時間がかかっている。





図３．２５　Ｓ．Ｉさんの玄関上がり框での実験風景

住宅に入る時，上がりかまちの部分ではドアに左手をつき，上がりかまちを昇っている。昇り切っても玄関横の窓の部分に左手をつき，手摺りがわりにしている。左手は杖を持っているが，上がりかまちでは上手く杖を利用できず，杖が上がりかまちに引っ掛かって逆に危ない。スリッパをはく時もトイレの入口部分に左手をついている。また，住宅を出る時でも玄関横の窓の部分やドアに両手をついている（この時は杖を持っていなかったため）。

以上のことから，被験者Ｂの場合，上がりかまち部分ではエレベーター側ではなく，窓側に手摺りがあった方が良いことが分かった。もちろん人によっては逆の方が良い場合もあるため，両側に手摺りを付けるのが最も良い。さらに，壁に折りたたみ椅子等が付いている方が良いと考えられる。

④　意見とアンケート結果

被験者Ｂは高齢のため，意見は全く聞けなかった。アンケートは実験の時の介護者である孫に記入してもらった。それによると，目が不自由で色の見分けが少々辛いとのことだ。階段の段差が分かりづらく，体全体を支えるのがつらい時があるという。上下可動式手摺りは強度が不安なため，利用しようとは思わなかったそうだ。

住宅内で階段以外ではトイレに手摺りが必要とある。それは夜や朝，特に寝起き，頭がボーっとしている時に倒れた事があるため。低血圧などの人は，昼と夜とでは体調が違うことに注意することと記入

してあった。

また,「廊下や階段など，水（尿）等で濡れた時にすべりが異なることに注目してください。」とあり，廊下や階段の木材の種類によって滑りやすさが異なることを改めて確認させられた。なお手摺りは連続していなくても，実験結果でみてもアンケートからみても問題はなかった。

⑤ 実験のまとめ

93歳という高年齢にもかかわらずすごく元気な被験者であった。それでも多くの問題点の発見があった。その一つは，③で記述したように，手摺りが片方しかない場合と両側にある場合では昇降の行動が明らかに違う点である。二つ目は階段の手摺りの延長として床に平行な手摺りが必要であるということである。また三点目としては，上がりかまちに手摺りが必要だということはわかっていたが，その住宅や人によって手摺りや椅子の適切な取り付け場所が異なるという点である。第四点目は杖を持っている時とない時の行動（動作）に違いがあるという点である。

（4） 実験事例C（2004年1月）

① 個人情報

氏名　　H．Mさん
年齢　　８３歳
性別　　女性
身長　　１４５　ｃｍ
体重　　４７　ｋｇ

② 身体状況と実験過程

被験者は自立して１人で生活できている。身長を見ても分かるように小柄な人物である。

実験過程は基本的に同じで（1）のケースとほぼ同じだが，昇降の回数は数回に留めた。

③ 静止画・動画分析結果

初めに手摺り高さ（初期設定750ｍｍ）が階段を降りる際に適しているか確認し，705ｍｍが最も良いということだった。その設定で昇降してもらったところをデジカメの静止画や動画で撮影した。

階段を上る実験において，いくつか違うケースが見られたので各々紹介していく。ケース１は右側の手摺りにすがって昇っていく場合である。体を手摺りにあずけて（体重を手摺りにかけて）昇っている様子が良く分かった。その時は壁の方を向き，右側の手摺りを両手で握っていた。また，階段が折り返しになっている場所の一段は両足をついて方向転

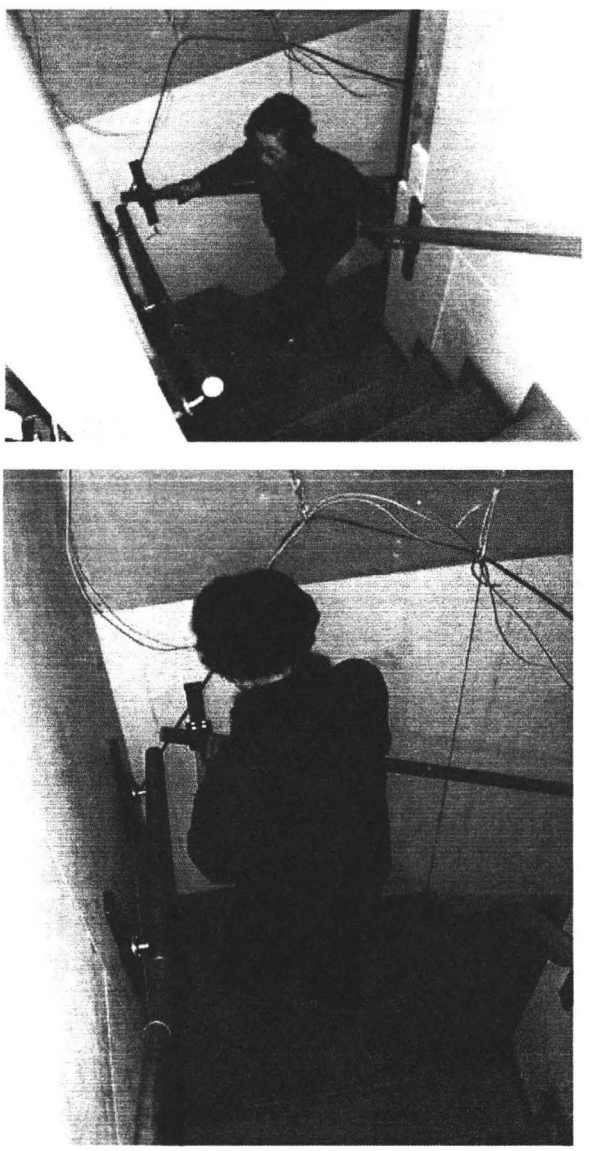


図３．２６　H．Mさんの実験風景

換している。ケース２は両側の手摺りを使って昇るケースである。その実験中に，「両側の手摺りを両手で握れるのはこの階段の幅が私に合っているからだ。もう少し広かったら両側の手摺りは使えないだろう。」と言っていた。昇る時に発見したデータだが右側の手摺りを使う場合は左足から踏み出し，左側の手摺りを使う場合は，右足から踏み出している。

次に降りる実験をした時も，いくつか違うケースが見られたので各々紹介していく。ケース１は右側の手摺りにすがって降りていく場合である。昇りと違い，体を手摺りにあずけるのではなく，手摺りをしっかり握っている印象を受けた。その時も壁の方を向き，右側の手摺りを両手で握っていた。しかし，１階まで降りるのに初めは右側の手摺りを使い，内側の②（縦に付いている手摺り）は利用せず，途中で左側に持ち替えていた。持ち替えた後も壁の方を向き，左側の手摺りを両手でしっかり握っていた。しかし，昇りと違う点は昇りは階段の折り返しの部分で一段に両足をついて方向転換していたが，降りになると階段一段一段に両足をついていたことである。いずれの場合（昇り・降り）も手摺りは連続してなくても特に問題なさそうである。

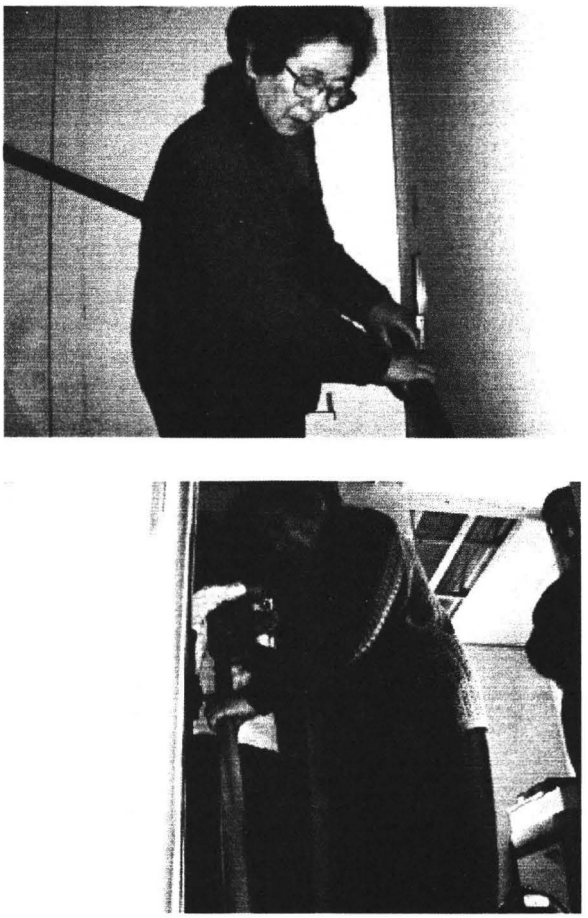


図３．２７　Ｈ．Ｍさんの階段手摺使用状況

④　意見とアンケート結果

意見としては③に記述してあるような階段の幅に関しての意見があった。「足の先が5cm程出てても危ない」とのことだ。これは昇る時も降りる時もそうだが，足が階段一段一段に全て乗ってないと不安定になるという。体勢を崩して転倒する可能性があるからだ。また，階段一段一段に両足をついたほうがゆっくりでも安定するからということだった。現に住んでいる住宅の手摺り高さと階段幅が，実験住宅のケースと大きく違い，現住宅と比較すると実験住宅の手摺りのほうが握りやすかったそうだ。蹴上げ高さは実験住宅のほうが１cm高いが，１cm違うと階段が１３段あるため，13cm違う計算になる。13cm違うと勾配も違ってくるため，自宅の階段よりも随分急に見えるとのことだ。

アンケートでは，上下可動式手摺りは家には付けようとは思わない。その理由は固定してたらそんなに手摺り高さを変更することがないからだという。また，家の玄関に椅子が置いてあるため，実験住宅棟にも手摺りではなく，椅子（靴などを脱いだり履いたりしやすい物）があった方が良いとのことだ。

また手摺りが連続してなくても全く問題ないとのことだ。現在の生活で階段を利用する際には介護者は必要としていない。しかし，将来体が弱くなるとどうなるかわからないと記入していた。

⑤　実験のまとめ

今回の実験では，体格によっては階段幅が狭い方が両側の手摺りをしっかり握れるため安全であるということ。足腰が弱ると階段の一段に足が全て乗らないと不安定で危険であるということが明らかになった。特に重要なのは階段を降りる際に折り返す時，写真の足のように足がねじれることになる点である。これは足腰の弱い人にとっては非常に危険である。

上がりかまちでは，手摺りよりも椅子の方が好まれるということ。もちろん両方付いていた方が良いことは言うまでもない。

また，家の階段と比べて蹴上げが１ｃｍ違うだけでもかなり勾配が急に見えことも分かった。これもＡ－１の被験者と同じように，今住んでいる住宅と比較して幅や広さ，照明などの関係により寸法はほぼ同じだが勾配がかなり急に感じることも指摘している。

３・４　高齢者の階段昇降実験のまとめ

①　昇降動作の分析結果

手摺りは全員，連続してなくても問題ないということであった。階段を降りる時，最後の一段から１階床面に移動する際，床に平行な手摺りがあったほうが身体に負担をかけない。内側の上下可動式手摺りの強度は問題ないが，外側の上下可動式手摺りの強度は不安である。実験中にぐらつきはしなかったものの，力を加えるとぐらぐらする。また，加齢していくにつれ，両手で両側の手摺りを利用しないと困難になる。上がりかまちには手摺りと椅子が必要である。

②　被験者の意見

階段の幅については，狭いという意見とこれくらいのほうが階段の昇降がしやすいという意見に分かれた。Ａ－１の被験者は住宅でも手摺りがないようにあまり手摺りを必要としない。実験住宅棟では手摺りを利用しない分邪魔に思えたのかもしれない。しかし，これは体格差によって大きく左右されることは言うまでもない。

また，蹴上げが同じなのに高いという意見もあったが，前に記述した２つの理由からである。１つは自宅を基準に考えている。１つは踏み面の広さや壁の有無（圧迫感），採光や照明からの違いでそう感じたのだろう。

1-9 我が国に適した外断熱工法の開発研究

お茶の水女子大学教授　田　中　辰　明

はじめに

（財）トステム建材産業振興財団から断熱の研究に対しご支援を頂き、我国で遅れていた断熱に関し多くの調査研究を行う事が出来た。この結果多くの研究発表を行う事が出来、ある程度社会に還元をすることが出来たのではないかと自負すると同時に（財）トステム建材産業振興財団に深甚なる謝意を表する次第である。

筆者は1973年１２月までベルリン工科大学で建築物理学を研究し、建物の断熱は外側に行うものであることを学んだ。当時は我国では建物に断熱をする習慣は殆どなかった。断熱を行うとするとせいぜい結露防止を目的としたものであった。それも蒸気を多く出す工場などで行われる場合が多かった。ドイツの大学で断熱の図面を見ると殆どが建物の外側に断熱を行う『外断熱工法』が一般的であった。また工事現場を見学しても外断熱が実施されており、興味を持って施工状況を見たものである。筆者が帰国した1973年は石油危機が起きた年であり、その後国内でも代替エネルギーに関する研究開発が盛んになった。太陽熱を利用し、冷暖房給湯をする国家プロジェクト「サンシャイン計画」も始まり、筆者もそれに参加した。ここで、太陽熱のように単位面積あたりでは希薄なエネルギーを利用して暖冷房を行うのであれば、建物自体を省エネルギー的に建てなければいけないと考え、ドイツ式の発泡スチレン１０ｃｍの断熱材を使用した外断熱工法を採用した。（写真-1）しかしこの試験住宅は太陽熱利用の研究が主目的であったので、その実験が終了すると建物は取り壊され、外断熱自体の耐久性などは証明されないままであった。これと並行して当時の日本住宅公団の試験場でも同様の試験が行われたが、研究終了と同時に建物は取り壊された。当時建築施工の専門家からは断熱は建物躯体の内側にするべきで、外側にすれば対候性の点でも問題である、夏に結露が起きるのではなどと厳しいご意見を頂いた。そのようなこともあり、仕方が無く、筆者は1980年に鉄筋コンクリートで住宅を建設した際に建物全体を外断熱で施工した。それ以来20年以上になるが、きわめて良い状態で保存され、当然の事ながら快適な室内気候を得ている。特に建物の外装が断熱を施していない建物に比較して汚れない、窓周りを抑えているコーキング材料も断熱材がエラスティックに動くので傷まない、建物躯体のコンクリートが傷まない、当然室内の温熱環境が良い等の特徴を持つ。写-2 に筆者設計の太陽熱利用住宅（全面的な外断熱）とその際採用した外断熱の構成を写-3 に示す。当時外断熱工法は省エネルギーにも寄与し、健康な居住環境を提供できるので、普及するかに見えたが、実情はそうでも無かった。これには様々な理由や誤解もあったようである。

外断熱工法はドイツで育ってきた工法である。ドイツ人は一般に不要なものは買わない（衝動買いはしない）。物の購入にはきわめて慎重で、考えて考えて結果において買わない

事が多い。来日するドイツ人の買い物の付き合いをすると迷惑をする事が多い。さらにお歳暮、お中元、結婚式、葬式などにおける贈答の習慣がない、人の家を訪問する際の贈答品は無くなるもの（花、ワイン、シャンペン、チョコレートなど）を選定する。勿論ごく親しい間柄で結婚式に招待された場合は必要とするものを予め聞いておいて、それを贈ることはある。安物は買わずに、長持ちするものを買う習慣がある。（親から子供へ伝える）高ければよい（銀座で買えばよい）という習慣もなく、価格に相応して価値のあるもの（preisgünstig）を求めるという考えが徹底している。（例外の無い規則は無いと言われるように最近では比較的廉価な物品を販売するスーパーも現れ、それなりに繁盛をしているようではあるが）そして何よりも住宅を大切にし、その確保や維持に力を入れる。このような事からドイツに外断熱工法を初めとして建築の省エネルギーについて学ぶべき点が多い。

1.ドイツの省エネルギー法

エネルギー危機の下、ドイツでは 1976 年 7 月に省エネルギー法（EnEG: Energieeinsparungsgesetz）が議会で可決され、これは今日でも有効である。この法律は以下の条令からなる。

- 断熱条令（Wärmeschutzverordnung:WSVO）
- 暖房装置条令（Heizanlagenverordnung）
- 暖房費用計算条令（Verordnung über Heizkostenverabrechnung）
- 小型燃焼装置に関する条令（Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen）
- 燃焼装置に関する条令（Verordnung über Feuerungsanlagen）

このうち断熱条令は既にあったドイツ工業規格 DIN 4108 の「断熱（1952 年 7 月に出版）」を基礎としていた。すなわち外壁の総面積（A）と、建物容積（V）の比に対し、平均の外皮熱貫流率を定めるという方法が中心であった。省エネルギー法は 1982 年に改正され、A/V 比に対する平均熱貫流率が強化され、建物の断熱厚さが厚くなるようになった。1994 年に更に改正強化され、年間の暖房負荷を制限するようになった。最近では地球環境問題に対する配慮、地球温暖化防止を目的に二酸化炭素排出を制限する必要から 2001 年 11 月 16 日に省エネルギーの断熱と省エネルギーの建築設備条令（Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energiesparverordnung－EnEV)が議会で可決され 2002 年 2 月に発効した。ここで 1994 年の断熱所例（WSVO）では建物外皮の熱貫流率が 0.40～0.50W/(m²・K)であったものが ２００２年２月の省エネルギー条例（EnEV）では 0.35～0.45W/(m²・K)に改正強化されている。屋根だけをとれば 1994 年の断熱所令（WSVO）では熱貫流率が 0.30W/(m²・K)以下であったものが ２００２年２月の省エネルギー条令（EnEV）では傾斜屋根で 0.30W/(m²・K)に、陸屋根で 0.25W/(m²・K)に改正強化された。このような条令によりドイツ建築の省エネルギー改修は盛んである。ドイツの省エネルギー法の変遷については筆者が文献 3 に

て解説している。

2.断熱による省エネルギー改修

従来ドイツの建築は断熱がしっかり施されていた。これが度重なる断熱条令の改正強化で断熱材の厚さが増している。断熱は一般に外断熱で行われる。プレハブ住宅の場合は外壁全体が断熱材で構成されているといって過言ではない。外断熱を筆者は通気層のある外断熱と通気層の無い外断熱に分けて評価してきた。ドイツでは通気層のある外断熱をHintenlüftung Wärmedämmsystem：背面通気断熱システム)、通気層の無い外断熱を複合断熱システム（Wärmedammverbundsystem：WDVS）と呼び法律用語にもなっている。コンクリート建築の外断熱工法には 1.断熱材が建物躯体の外側にあるので、建物が服を着たようになり外気温度や日射の変動から保護される。したがって建物躯体にひび割れが入りにくい。2.コンクリートの熱容量が室内側に入るので、暖房が切れても急激に室温が変化しない。同様に夏季は冷房が切れても急激に室温が上昇することは無い。すなわち快適性に富む。3.室内から屋外にスムーズに水蒸気が抜け、壁体の内部に結露を起こすことがない。従って壁内結露を起こすこともなくカビが生えない。カビを餌として集まってくるダニの被害からも解放される。4.既存の建物に断熱改修を行いやすい。極端な場合は室内側をコンクリート打ち放しのまま仕上げることが可能になるので壁紙の接着剤や塗料から出る揮発性化学物質（VOC）からも解放されるなどの長所がある。[6),8)]

前述のように筆者自身自ら設計した外断熱の住宅に20年以上住みその良さは十分に理解している。わが国でも外断熱工法を試みる気運も高まりつつあるが、価格的な問題や設計経験がない、施工経験がないといった問題から必ずしも普及が順調とはいかない。筆者はこの間何度か外断熱工法発祥の国ドイツに出張し、この工法について数々の工事現場や施工会社、Stuttgart 大学、Berlin 工科大学、Fraunhofer 研究所で調査を行った。この結果を報告し、わが国においても健全な外断熱工法が発展すること事に寄与できる事を期待するものである。Fraunhofer 研究所はドイツの全国各地にあるが、断熱については建築物理学研究所で研究が行われている。外断熱に関する研究も盛んで、各種建築材料の透湿に関する試験も非常に地味な研究ではあるが、熱心に行われている。当然耐候性試験も大規模に行われている。外断熱工法の研究はここの所長の Karl Gertis 教授が主導している。同教授はこの研究を行う Stuttgart の研究所と München の郊外 Holzkirchen の研究所の所長を兼務され、また Stutttgart 大学の教授も兼務するという多忙さである。耐候性試験では表面仕上げの色を変化させ、表面のひび割れ防止に入れるグラスファイバーメッシュの材料を代え、その継ぎ目の幅を変え、仕上げ材の塗り厚さを変えて試験を行っていた。同教授によるとひび割れなどの事故が起こるのはグラスファイバーの継ぎ目の幅は 10ｃｍは必要であるが、この幅が十分でなかった場合、仕上げ材の厚さが厚すぎひび割れ防止に入れたはずのグラスファイバーメッシュがモルタル層の深い部分に入り、表面にひび割れが入った例，森の近くの建物で、仕上げ材を啄木鳥がつついてしまった例、、建物コーナー部分

に自転車などで、こすられた場合などを紹介して下さった。また西側外壁に黒色塗装をした例では、日射を受け表面温度が上昇し、これが日没とともに外気温度が下がり表面が急激に収縮し、ひび割れを生じた事もあったそうである。従って表面塗装は、特に西側外壁の場合、できれば日射吸収の少ない色が望ましいとの事であった。外断熱工法は建物外皮の熱の流れと水蒸気の流れをうまく制御し、外皮内に結露が起こらないようにしたものである。従って各種建築材料の透湿に関する試験も行われている。カップ法により根気のいる計測が行われている。各種建築材料の透湿に関する試験により貴重なデーターが得られている。ドイツにおいて外断熱工事が順調に行われているのもこのような地味な研究が根気良く続けられている背景があっての事である。

3.工事の実際

外断熱工法には通気層のある外断熱と通気層のない外断熱がある。通気層のある外断熱は一般的に大型の建物に採用される。通気層のない外断熱は小型建築物に採用される場合が多かったが最近では大型建築物に採用される場合も出てきた。(後述のベルリン市 IBM など) 通気層がある場合も無い場合も室内で発生した水蒸気を建物外皮を通して屋外にスムーズに水蒸気を抜くようにできている。断熱材として最近は高密度ロックウール (わが国ではロックウール板とも呼ばれる)、もしくは発泡スチレンがよく使用されている。この工法を筆者は通気層の無い外断熱と呼んできたが、ドイツでは Wärmedämmverbundsystem (省略して WDVS : あえて日本語に訳すと“複合断熱システム”) と呼ばれる。WDVS は協会を持ち、本部は Baden Baden にあり、Fachverband Wärmedämmverbundsystem EV と呼ばれ、会長は Dr. Wolfgang Setzler 氏である。この協会が設計と工事に関する指針 (Technische Richtlinien für die Verarbeitung von Wärmedämm -Verbundsystemen) を出し、施工各社はこれを基に各社の設計・施工マニュアルを作成している。ドイツは連邦共和国で１６の州からなる。建築法規もそれぞれの州により異なり、外断熱の扱いも異なる。

筆者は度重なるドイツ出張で外断熱工事の調査を行った。特に平成 13 年 10 月から 11 月にかけて外断熱工事現場を視察し、再度平成 14 年 3 月から 4 月にかけて調査を行った。さらに平成 14 年 8 月に再度渡独し、調査を行った。また平成 14 年 11 月にも渡独し、調査を行った。この平成 14 年の調査では平成 13 年に工事中であった現場の竣工後の状態を調査した。

写－4～写－6 に Stuttgart 市内 Jurastr.の事務所建築における外断熱工事を示す。ここでは地下部分は水分を避ける為押出発泡スチレンが、地面に近い部分はビーズ発泡スチレンが、水分の影響が無い部分はロックウールが使用されている。写-6 に見るように地下部分は押出発泡スチレンが使用されているが、この上は水を流せるように合成樹脂製の有孔シートで押出発泡スチレンが保護されていた。断熱材は接着モルタルにより建物躯体に取り付けられ、断熱材の上を 5mm程度の接着モルタルで仕上げるようにしている。このモルタ

ル層が薄いのでひび割れ防止にグラスファイバーのメッシュを入れている。隅角部は損傷を受けやすいことから特に保護を行う。ここでは合成樹脂製の隅角部保護材が使用されていた。これはモルタル層のひび割れ防止に使用するグラスファイバーのメッシュと一体化されたものである。窓枠付近は特にひずみによりひび割れが入りやすいので、グラスファイバーメッシュが多めに入れられている。写－6は平成14年3月に撮影した竣工後の写真である。写－7にこの事務所建築中庭側にあるバルコニーの取り付けの様子を示す。バルコニーは建物との間に隙間が設けられ熱的に縁を切ってある。ここでは18ｃｍ厚さの断熱材が設けられているが、これだけ厚い断熱材を設けると、伝導で失われる熱の内で熱橋により失われる熱の割合が大きくなる。そこで熱橋で失われる熱を減少させようとしてこのようにバルコニーの取り付けに隙間を設けたのである。

写8～10に同じくStuttgartのVaihingerstr.にあるかなり老朽化したレストラン兼事務所建築を断熱改修した例を示す。工事中のものは平成13年10月に撮影したものである。ビーズ発泡スチレンにより断熱改修されたが、円形の窓部分は職人の手により、ビーズ発泡スチレンが切り取られた。(写-9) 土壁は一部、中に入れられたい草が飛び出すほどに老朽化していた。(写-10) しかしこの建物も竣工後（平成14年3月撮影）は写－11～12に示すように新築同様になってよみがえっていた。外断熱の工事仕様書には「改修の際は下地をモルタルで表面が平滑になるように均して断熱材を貼り付ける事」となっているが、工事の実際を見るとこのように必ずしも平滑な均しなどは行われていない。写－13～14にStuttgartのWallgrabenにある塗装業者が自社ビルを断熱改修した例を示す。ドイツもわが国同様に建設不況で総合建設業の倒産が増えている。従来総合建設業の下請け工事を行っていた塗装業者も、総合建設業から独立して仕事が行えるように外断熱工事に参入しているものが多く、この会社もその一例である。工事中のものは平成13年10月撮影、竣工後のものは平成14年3月に撮影したものである。写-15～18にベルリン市Heiligendammerstr.における老朽化した共同住宅の断熱改修の様子を紹介する。工事はJahnke社により行われ、外断熱の材料としてはロックウール板とビーズ発泡スチレンが使用されていた。工事中の写真は平成13年10月に撮影、竣工後の写真は平成14年3月に撮影したものである。写-18に見るようにStuttgartのJurastr.の事務所建築同様にベランダが建物と熱的に縁を切ってあるのが特徴である。この集合住宅は前面の道路が緩いカーブを描いており、それにあわせて建物自体もゆるい円形をしている。外断熱材料として用いられた材料はこの曲がりに追随している。ミュンヘンの市街地再開発で、事務所建築が外断熱改修された。この建物はSiegesstrasseにあり、ロックウール板による改修である。写-19は平成14年3月に撮影した改修工事中のもの、写-20は平成14年8月に撮影した竣工後のものである。ベルリン市のErnst　Reuterplatzに建つIBMの建物は1961年に建築家Rolf Gutbrod, Bernhard Binder の設計により建てられた9階建ての事務所建築であるが、建物外皮の断熱性能不足によりロックウールで断熱された。通気層のある外断熱である。写-21～22は平成13年10月に撮影した工事中のもの、写-23は平成14年3月に撮影した

竣工後のものである。平成 14 年 11 月に再度このビルを訪問してみると、今度はこの建物に隣接する付属棟の断熱改修工事を行っていた。ここで断熱材として使用されているロックウール板は黒い紙のシートが外側に貼り付けられている。(写－25) この部分が通気層に面するので、ロックウールのままであると通風によりケバケバになるので、これを防止する為に用いられる紙である。従って、この紙は外からの水は通さないが、室内から外へ向って流れる水蒸気は通すようにできている。旧東ドイツや東ベルリンは老朽化した建物、現在の法規に合致しない断熱性の建物が多かった。しかし旧東ベルリンはベルリン市の中心部でもある事から多くの改修工事が行われ、断熱改修工事も非常に多い。東西ベルリンが分かれていたときに西ベルリンから東ドイツ側に厳しい検問を受けて入る際のチェックポイントとして地下鉄駅、高架電車の駅である Friedrichstrasse があった。東西ベルリンが分断されていた時代は非常に緊張感のある場所であったが現在は新しいベルリンの中心の一つとして蘇っている。ここでも多くの事務所建築が改修されているが、外断熱改修の例を写-25～28 に示す。写-29 は竣工後の写真で平成 14 年 11 月に撮影したものである。ベルリン市は首都として再開発が盛んである。人口も増加し、住宅建設も多い。旧東ベルリン側は空地も多かった事から住宅団地の建設が盛んである。旧東ベルリンの Hellersdorf において平成 14 年 3 月に撮影したものを写-29 に示す。同じくこの団地の竣工写真を写-30 (平成 14 年 11 月撮影) に示す。ここでの外断熱材料は殆どがビーズ発泡スチレンであるが、所々に縦に帯状にロックウールが使用されている。材料としては発泡スチレンの方が安価であるので多く使用されているが、自己消火性とは言うものの強い火が迫ると溶ける恐れがあるので、溶解が拡大しないように縦に帯状のロックウールを入れたそうである。いので、ミュンヘンの住宅地 Leharstr.ではやはり Braas 社の断熱レンガを使用し改修し、その上を発泡スチレンで外断熱を施工するという工事が行われていた。住宅で低層ではあるが、ジベルを使用して発泡スチレンを建物の躯体に固着していた。写-32～33 は平成 14 年 3 月の工事中の写真、写-33 は平成 14 年 8 月撮影の竣工後のものである。München の Frankfurterring に建つ事務所建築の外断熱工事の写真を写-35 に示す。これは平成 14 年 3 月に撮影したものである。同じ建物の竣工後、平成 14 年 8 月に撮影したものを写-36 に示す。München は冬は寒いが夏は結構暑い土地柄である。日本でも話題になる事があるが、「あまり厚い外断熱を施すと夏季に冷房負荷が増すのでないか」という問題がある。確かに独身寮などで、昼間居住者が不在で、西側にガラス窓があり、日射遮蔽装置も無いとすると室内が日射負荷により室温上昇をきたす。短波長で室内に入った日射熱は長波長に変わりガラスを通して外部には出ないので、室温は上昇する。我国ではブライドはガラス窓の内側に設けられる。これでは太陽光線の眩しさを防ぐ効果はあっても、一旦室内に入りブラインドを温めた太陽熱は結局放射と対流により室内側に放熱されるので夏負荷の軽減はできない。München の Frankfurterring の事務所建築はガラス窓の外側に日射遮蔽のルーバーを設けてこの問題を解決していた。前記の省エネルギー条例 (EnEV) では夏季の断熱 (Sommerliche Wärmeschutz) として日射遮蔽を取り上げている

Stuttgart の Degerloch Albstr. に建設中の事務所建築群はビーズ発泡スチレンで外断熱が施されていた。(写-36) 工事中の写真は平成 14 年 8 月に撮影したもので、写-37 の竣工写真は平成 14 年 11 月に撮影したものである。事務所群の前にあるガラスは事務所の前を走る地下鉄（この部分では地下鉄が地上を走行している）からの騒音を防止する為に設置されたものである。我国なら騒音防止壁は不透明材料を用いるのが一般的であるが、地下鉄からも事務所建築を見てもらおうとする努力であろう。同じような例は Köln に建つ Duk Kyu Ryang 設計による Neven DuMont Haus にも見られる。

4.天井面状放射冷暖房

床吹き出し空調はドイツで開発され、世界に広まった。床吹き出し空調との組み合わせで天井の面状放射冷暖房が新しい冷暖房方式として流行している。これはポリプロピレンの細管を天井表面に埋め込むもので、ポリプロピレンはボールペンの芯程度の太さで、極めて細い。冷水温度も 18℃程度ときわめて高く、暖房時の温水温度も 25℃程度と極めて高いのが特徴で、居住者はどこで暖房されているのか、またどこで冷房されているのか分からない程度の温度である。対流成分が少なく、放射成分の多い快適な冷暖房方式として多く利用されている。省エネルギー回収の目的でこの面状冷暖房が使用される場合も多い。筆者がベルリン市 Steglitz の事務所建築で調査した施工例を写-38～40 に示す。予め工場で寸法を合わせて製造されたヘッダー付きのポリプロピレンのマットが接着モルタルの中に埋め込まれる。ここで使用される接着モルタルは前節で解説した WDVS の外断熱に使用される接着モルタルと同じものである。ドイツではこの程度の仕事であると同じ職人が左官工事から配管工事さらに塗装工事までやるといったように何から何まで行ってしまうので、待ち時間が少なくて済む。

5.我国に適した外断熱工法の開発

ここでは調査したドイツの外断熱による改修工事のほんの一部を紹介した。1997 年気候変動枠組み条約締結国会議（COP3）の京都会議では、先進国全体で、2008～2012 年までに温室効果ガスを 1990 年レベルに対して平均 5.2%削減するという具体的目標を含む『京都議定書』を採択している。しかし現状では産業部門のエネルギー消費は横ばいであるのに対し民生用、運輸用は増大の一途をたどっている。省エネルギーは我々の子孫が地球に生き残っていくために必須のものであるが、ライフスタイルの変化、より快適な生活を求めて民生用エネルギー消費は増大している。断熱は分かりやすい省エネルギーの方法であり、かつ効果も大きい。筆者自身が外断熱の住宅に 20 年以上住み、その長所がよく理解できる事から、わが国においても一般に正しい外断熱工法が普及する事を期待するものであるが、そんな事を言いつつ 20 年以上の年月が過ぎ去ってしまった。自分だけが外断熱の住宅に住み良い思いをしていれば良いというのも身勝手な考えである。その間に（財）トステム建材産業振興財団の援助により、外断熱と内断熱の住宅について温熱環境やカビの数

の大小を調査もした。しかし住宅で行っている限り、家族の数が異なったり、生活様式（よく風呂に入るか、煮炊きが多いかなど）の違いにより比較が困難であった。我国では人間が最期を迎えるのは病院が多い。従って病院は住宅の延長とも考えられる。住宅においてもカビが生えて良いはずはない。しかし花粉が飛んできたからといって全ての人が花粉症になるかというとならない人もいるように、カビも同様に日和見的な感染症である。しかし、病院は住宅と異なり、身体的な弱者が集まる場所である。カビが生えないに越した事は無い。幸いに日本では外断熱が普及していない事から、病院の半分だけ外断熱を施し、半分は施していないものもある。そこで、著者らは千葉県のT病院と長野県のO病院を選びカビの測定を行った。この結果外断熱を行った部分はそうでない部分と比べてカビ数が少ないという結果を得た。この結果は文献10,11に示すような結果となった。この別刷りを添付する。保健衛生の面からも外断熱が優れている事がはっきりしているが、我国で普及が遅れたのは前述のように防災面からのブレーキがあったのである。外国では全く問題にされない点が我国では問題にされることもある。防災面からの杞憂も考慮しつつ普及を計るにはどうすればよいか。我国では使用例があまり無い不燃材であるロックウール板に湿式工法で施工をするという工法はドイツでも行われている。当面この工法が我国で普及させていくのに有力でないだろうか。当然予算が許す場合は無機系断熱材を用いた通気層のある外断熱も有力になる。以上、コンクリート建築の外断熱工法について解説を行ってきた。しかしわが国では木造建築も多い。最近では木造建築に対しても外断熱を施したものが出てきている。一部はこれを外張り工法と呼んでいる。外断熱構造は本来建物躯体（多くの場合コンクリート）の熱容量を利用したもので、木造建築ではこれを利用することができない。本来の木造は風通しを良くし木材の腐朽を防いだものである。断熱を施すことにより、木材周りの通風が妨げられると良くない結果を生むことも懸念される。筆者は木造建築の外断熱構造には疑問を持っている。

謝　辞

この間に（財）トステム建材産業振興財団のご支援により外断熱に関し多くの研究並びに調査をさせて頂いた。この工法が普及しているドイツにおいてもしばしば実地調査を行う事が出来た。その際に一方的に教えていただきという態度では先方も警戒を示し調査は上手く進まない。筆者は研究結果をできるだけドイツの科学雑誌に投稿するという手法をとった。幸いにし、査読を経て平成14年は文献12～15に示すように4つの関係論文をパスさせることが出来た。文献15は日本の外断熱を施した部分と施さなかった部分のある病院のカビ調査に関するものである。半分外断熱を施した病院などドイツには無く、ドイツで多くの学者に興味を持って頂き、筆者の元に抜き刷りの送付請求が相次いだ。またこの研究の一部を平成14年8月16日にベルリン工科大学Hermann　Rietschel　研究所で行われた講演会で披露する事もできた。（財）トステム建材産業振興財団に深甚なる謝意を表するものである。この報告ではFraunhofer研究所の所長をGertis教授として紹介した。

同教授は2003年１０月２３日に定年退職された。後任にはKlaus　Sedlbauer教授が指名された。同教授は新任挨拶として本学の訪問と共同でのシンポジウムを希望された。本学だけで之を行うのはもったいないので、２００４年6月29日に日本建築学会、３０日に国連大学でシンポジウムを行うこととした。それ以外にも京都と札幌でも行う。ここには当研究室と共同で研究を行っている熱と湿気が同時に移動する際の非定常計算プログラムを開発したKunzel博士も同行され公演が予定されている。また外断熱協会の会長Dr.Wolfgang Setzlerも同行される。日本人に外断熱を理解していただくのに良い機会となることは間違えない。同時に国会内にも外断熱工法を推進する為の超党派の国会議員連盟も発足した。このように誤解の多かった外断熱工法もやっと普及に一歩前進を見たといえる。これも（財）トステム建材産業振興財団が当研究室の研究を温かくご支援下さった賜物である。

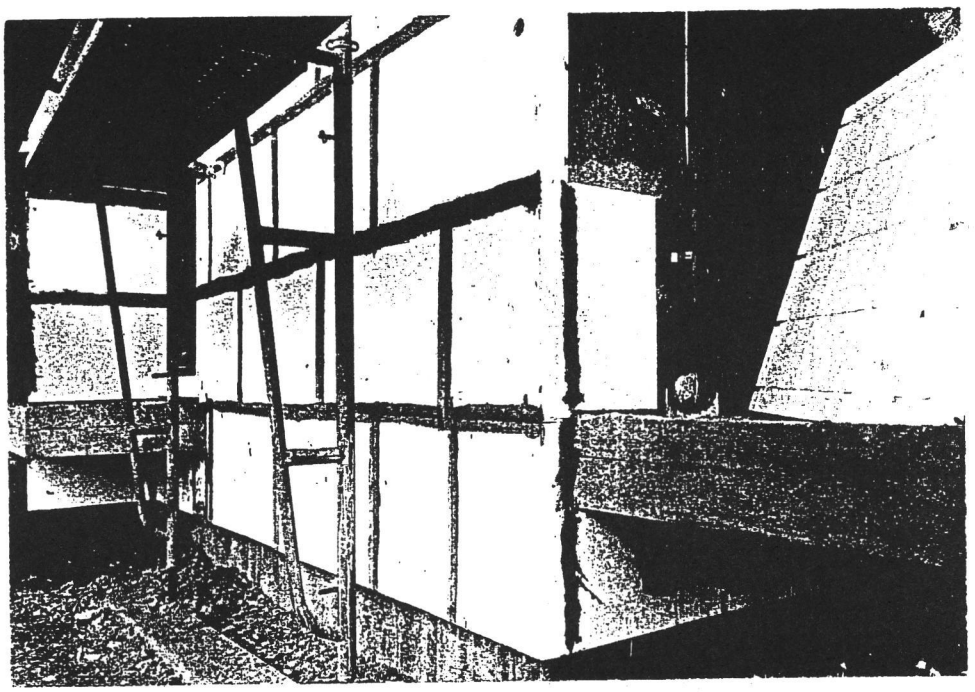
筆者は平成16年3月29日にHolzkirchenのFraunhofer研究所を訪問し今回のシンポジウムの打ち合わせを行った。その前日新しい所長Sedlbauer教授の自宅に招待された。ここには前の所長Gertis教授も来られた。共に撮影した写真を写-41として紹介する。

参考文献

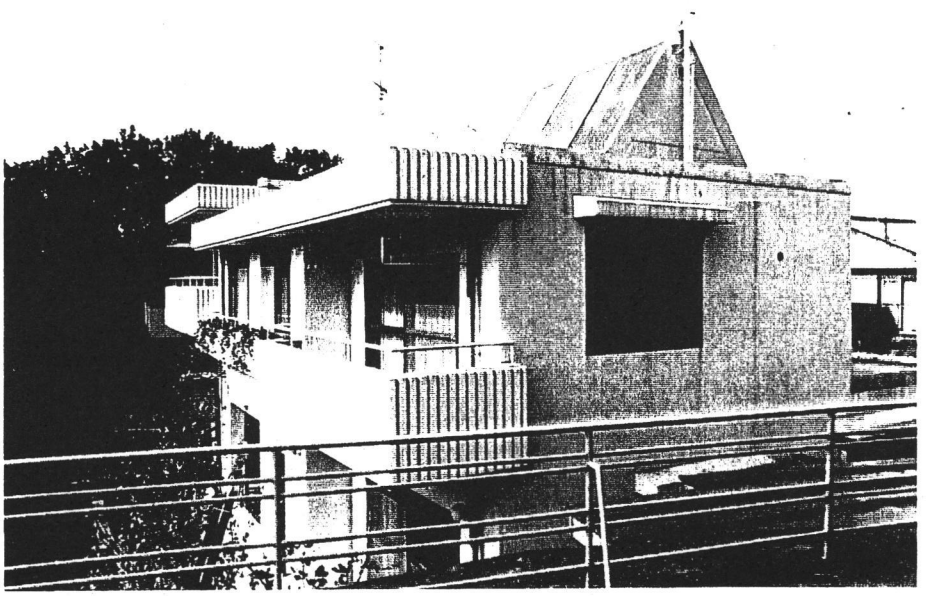
1. Rainer Dirk, “ Energieeinsparverordnung 2002 Schritt fur Schritt”, Werner Verlag
2. 田中辰明「世界の省エネルギー基準」（1）ドイツ　IBEC No.96　1996年9月号
3. 田中辰明「ドイツの省エネルギー・環境教育」IBEC　No.114　1999年9月号
4. 田中辰明　「欧州の屋上緑化」IBEC　2002年9月号　建築環境省エネルギー機構
5. 田中辰明　「ドイツに学ぶ外断熱工法のありかた」建築仕上技術　2002年7月号、工文社
6. Wolfgang Setzler “Wärmedämmung Bedarf wecken! WDV Systeme” Julius Hoffmann Verlag
7. DIN 13499 Wärmedämmstoffe für Gebäude Aussenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme(WDVS) aus expandiertem Polystyrol
8. Walter F. Cammerer “Warme-und Kälteschutz im Bauwesen und inder Industrie 5. Auflage, Springer
9. 田中辰明　「省エネルギー改修・ドイツの例」IBEC　2002年11月号建築環境省エネルギー機構
10. 田中辰明、小林文香「長野県の総合病院における断熱改修とカビの調査」日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）2002年8月
11. 田中辰明、土肥友恵「千葉県の総合病院におけるコンクリート建築の外断熱工法とカビの調査」空気調和・衛生工学学術講演会講演論文集（2002.9.11～13福岡）
12. Tatsuaki Tanaka、Fumika Kobayashi”Untersuchung über Schimmelpilze und

aussenseitige Wärmedämmung des Betonbaus bei Krankenhäusern"（病院のコンクリート建築におけるカビと外断熱に関する研究）Gesundheits Ingenieur, Haustechnik,Bauphysik, Umwelttechnik 123 Jahrgang Dezember 2002, Oldenbourg Industrieverlag München

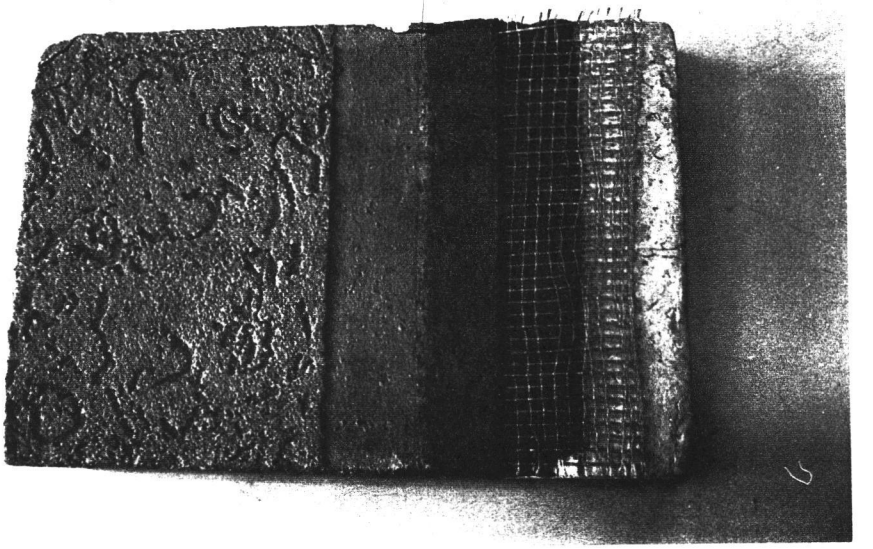
13. Tatsuaki Tanaka, Kousuke Takatori, Maki Aihara "Untersüchung über die Schimmelpilzbelastung in Wohnneubauten Japans"（日本の新築住宅におけるカビ汚染の研究）Bauphysik, 24.Jahrgang Oktober 2002, Heft 5,Ernst & Sohn
14. Tatsuaki Tanaka,Kousuke Takatori, Keiko Miura "Hauptfangi in der Luft der Japanischen Wohnumgebung － Hauptsächlich die Verbreitungsart von Penicillium und dessen biologische Eigenschaften"(日本の住環境における主なる真菌－主にペニシリウムの拡散とその生物学的特性）Gesundheits Ingenieur, Haustechnik,Bauphysik, Umwelttechnik 123 Jahrgang Juni 2002, Oldenbourg Industrieverlag München
15. Tatsuaki Tanaka,Kousuke Takatori, Chiaki Kimura"Untersuchung biologischer Eigenschaften von Pilzen in japanischen Wohnungen"(日本住宅のカビの生物学的特性に関する研究)Heizung Lüftung Klima Haustechnik, HLH 9/2002 Springer VDI Verlag (Düsseldorf)



写－１サンシャイン計画における太陽熱利用冷暖房給湯を行う実験住宅の外断熱工事（1977年:大阪枚方市）



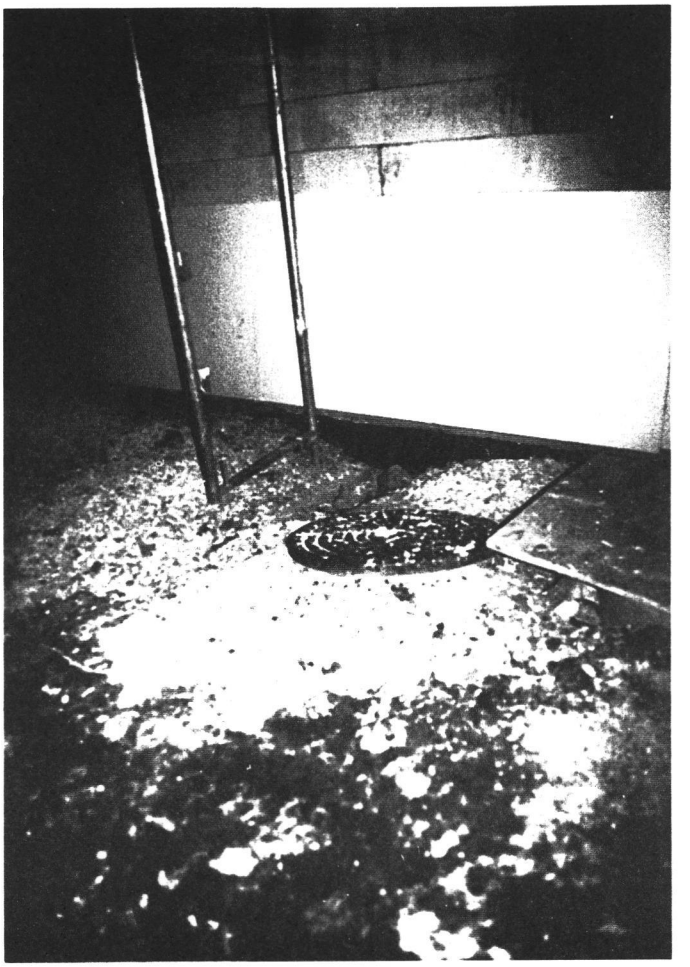
写－2　太陽熱暖房と給湯を行う住宅(全面的に外断熱採用：1980年、東京)



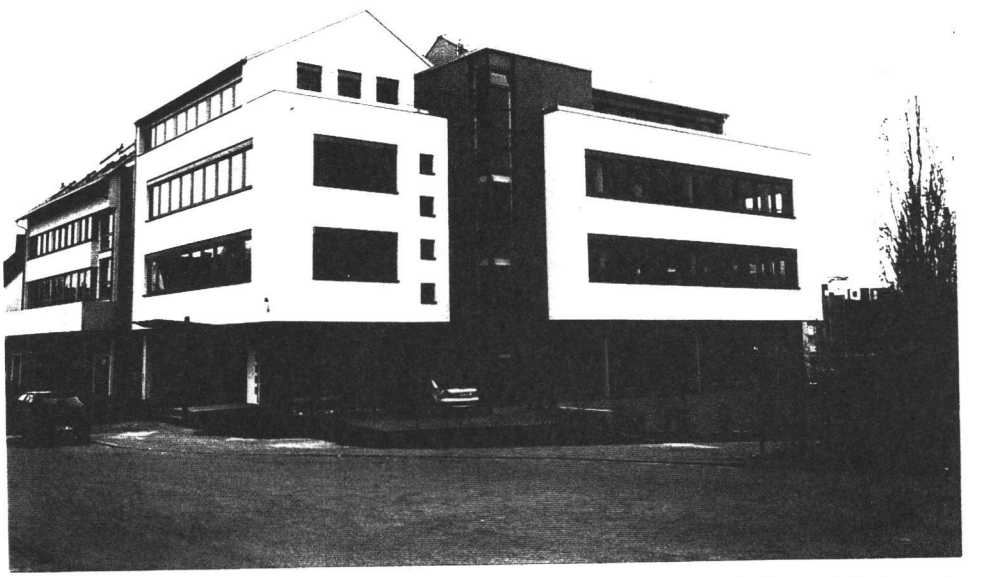
写－３東京の太陽熱利用暖房給湯を行う住宅の外断熱構成



写-4　S t uttgart の Jurastr.の事務所建築における外断熱工事（平成 13 年 10 月撮影）



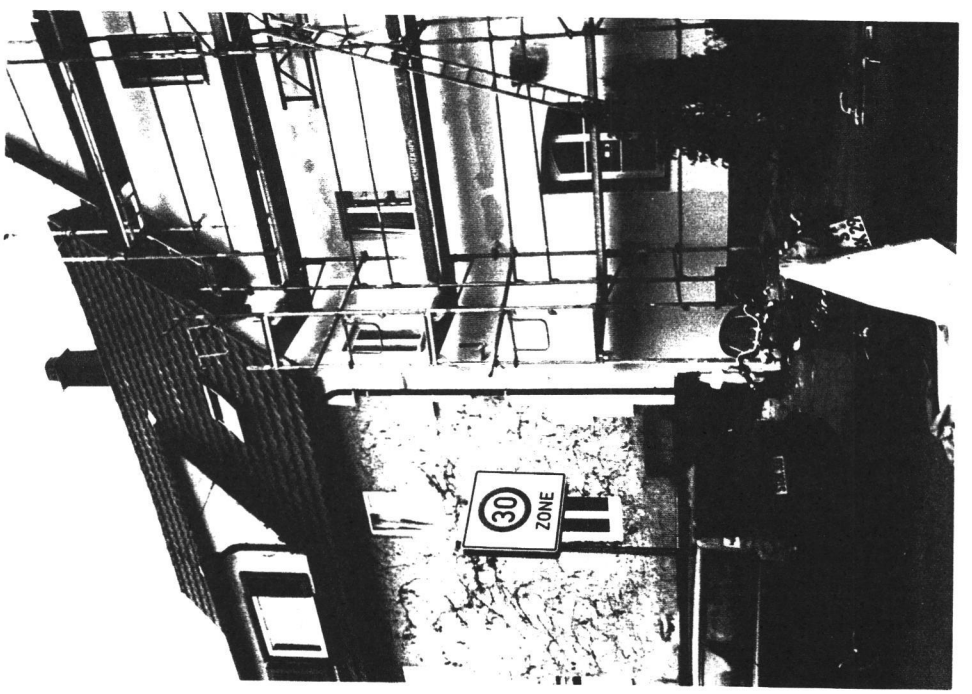
写－5　Stuttgart の Jurastr.の事務所建築における外断熱工事（平成 13 年 10 月撮影）



写－6　Stuttgart の Jurastr.の事務所建築における外断熱工事竣工（平成 14 年 3 月）



写－7　竣工後の Stuttgart 市　Jurastr.の事務所建築（ベランダは熱橋を避けるために隙間を設けて建物躯体に取り付けられている。）　（平成 14 年 3 月撮影）

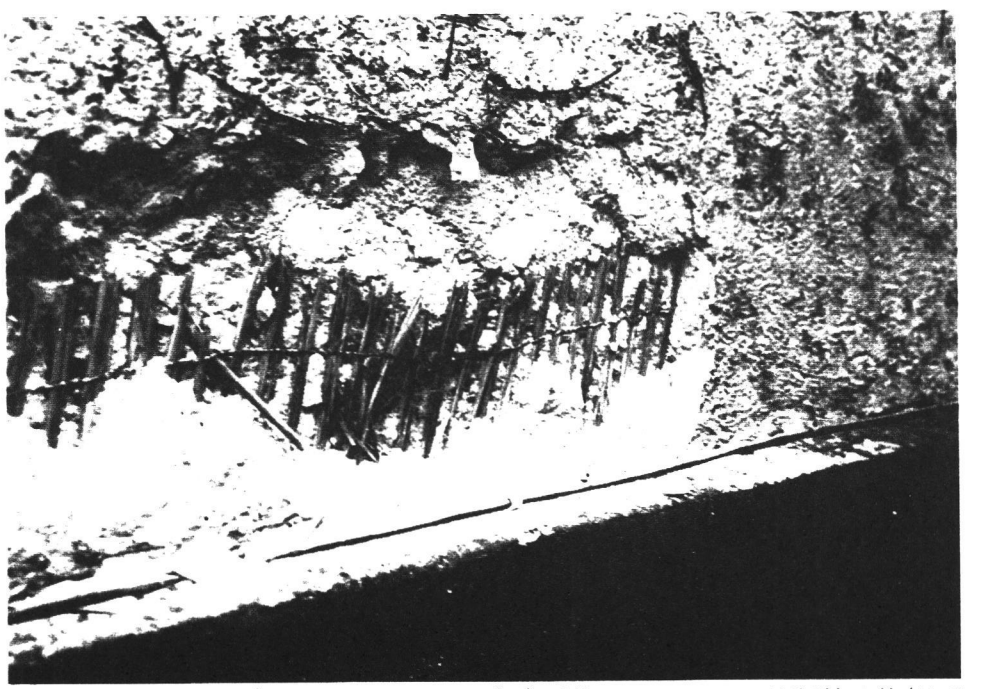


写－8　Stuttgart 市 Vaihingerstr.の事務所兼レストランの外断熱改修(平成 13 年 10 月撮影)

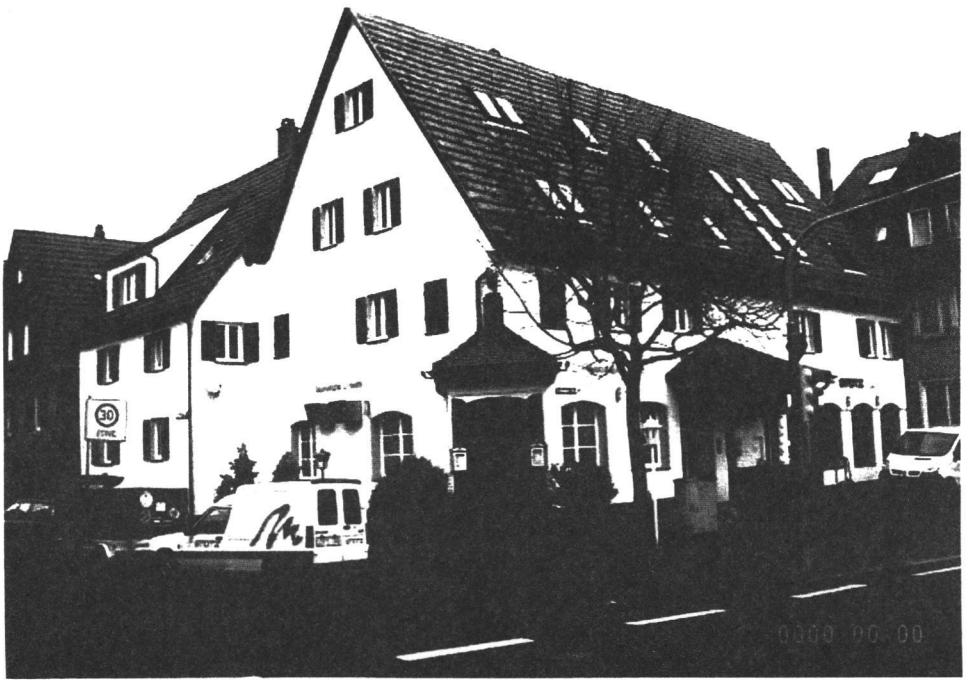


写－9　Stuttgart 市 Vaihingerstr。の事務所兼レストランの外断熱改修（平成 13 年 10 月撮影）

（円形部分のスチレンは職人の手で切り取られた）



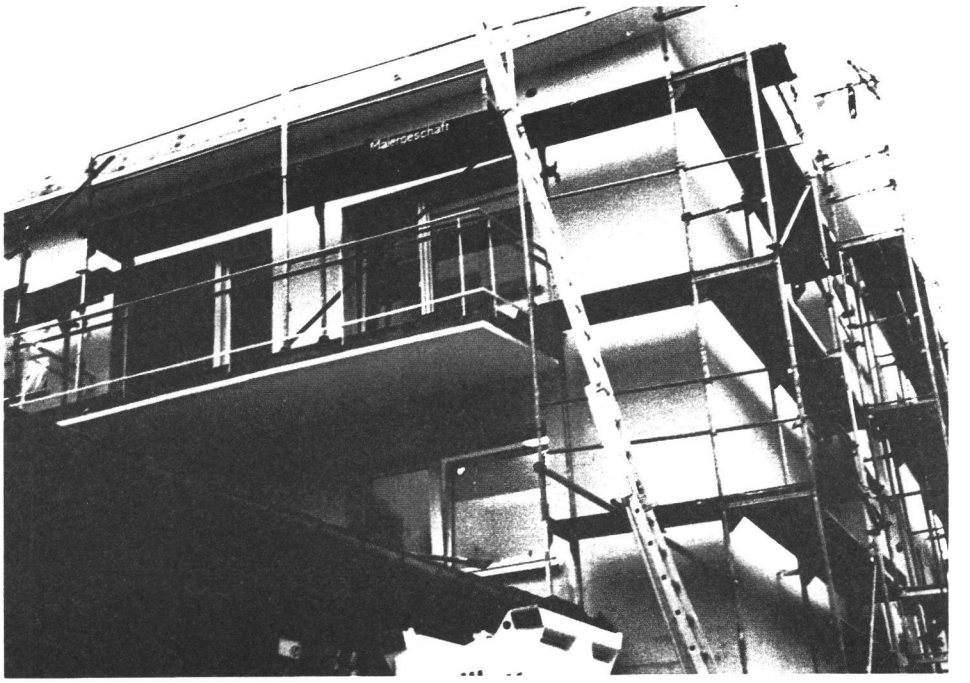
写－１０　Stuttgart 市 Vaihingerstr。の事務所兼レストランの外断熱改修(外壁はイグサが飛び出している)(平成 13 年 10 月撮影)



写－11　Stuttgart 市 Vaihingerstr。の事務所兼レストランの外断熱改修竣工写真(平成 14 年３月撮影)



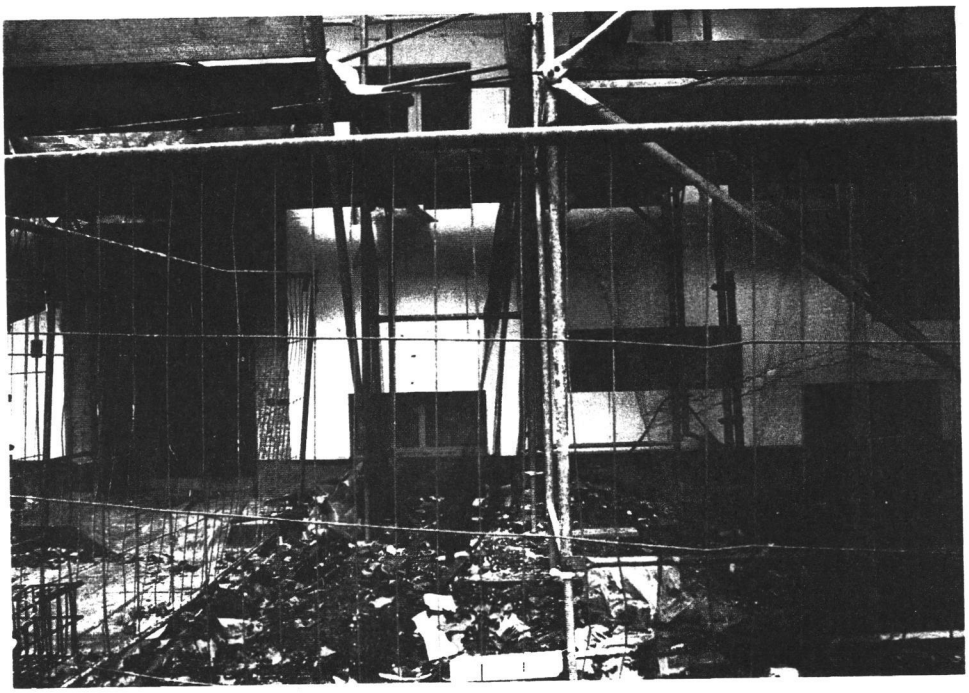
写－12　Stuttgart 市 Vaihingerstr。の事務所兼レストランの外断熱改修竣工写真(平成 14 年３月撮影)



写－１３　Stuttgat 市 Wallgraben の塗装業者ビルの外断熱改修(平成 13 年 10 月撮影)



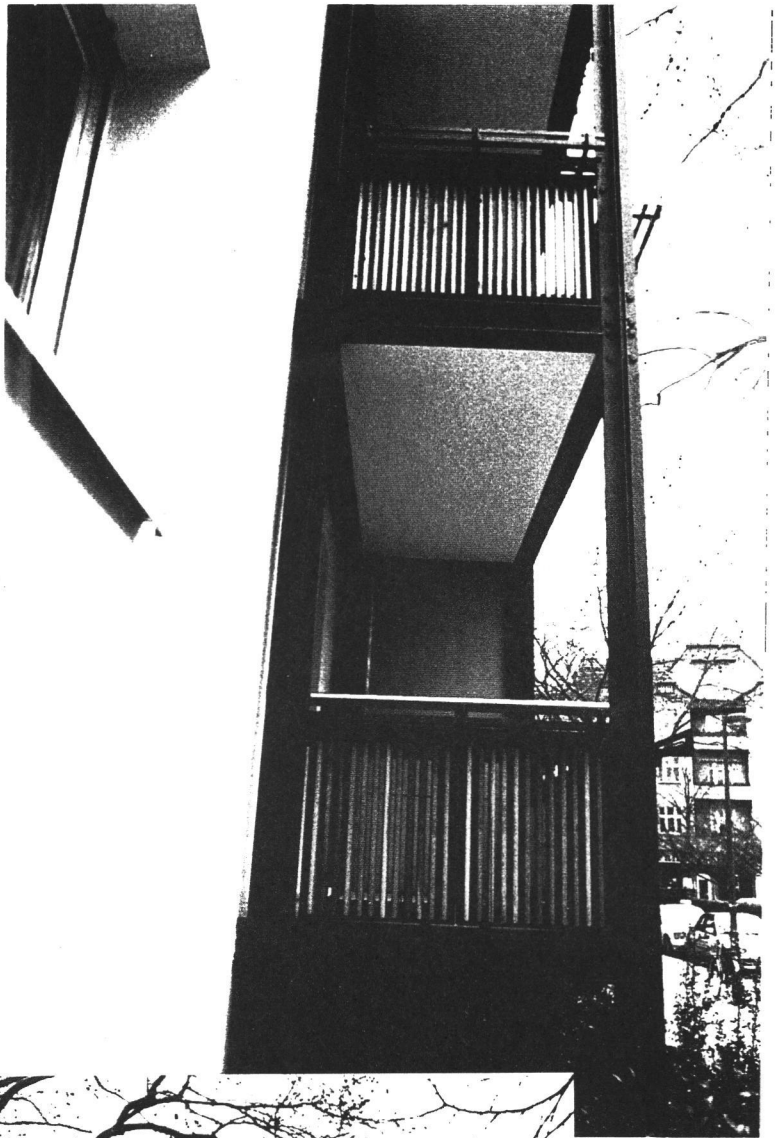
写－14　Stuttgat 市 Wallgraben の塗装業者ビルの外断熱改修竣工写真(平成 14 年 3 月撮影)



写－15Berlin 市 Heiligendammerstr.の集合住宅外断熱改修工事(平成 13 年 10 月撮影)



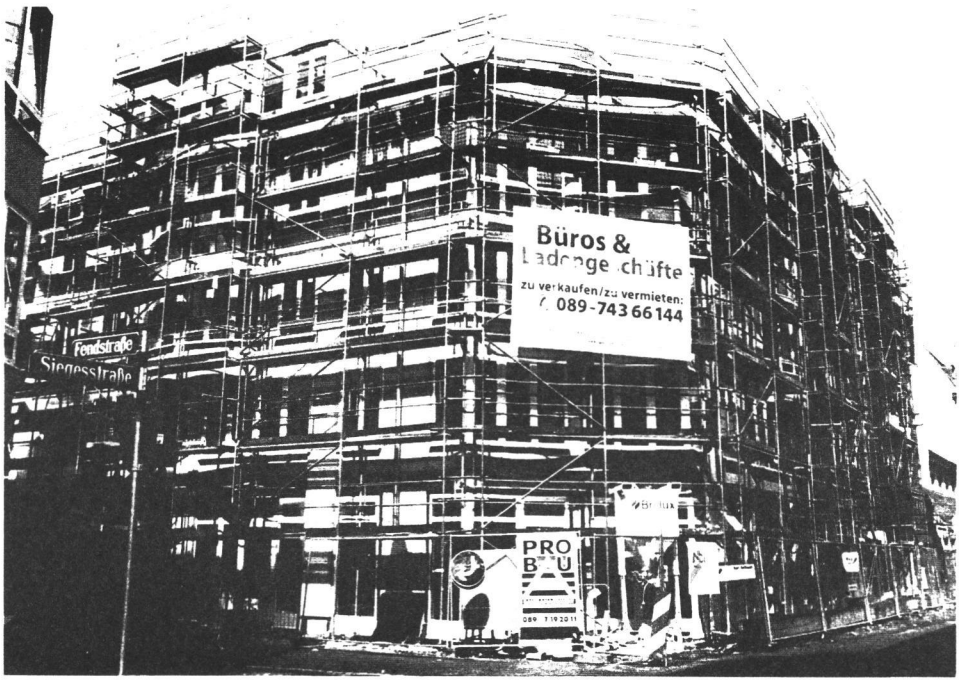
写－16　Berlin 市 Heiligendammerstr.の集合住宅外断熱改修工事(平成 13 年 10 月撮影)



写－17　Berlin 市 Heiligendammerstr. の集合住宅外断熱改修工事（ベランダは建物躯体と熱的に縁が切れている。



写－18　Berlin 市 Heiligendammerstr.の集合住宅外断熱改修工事竣工写真（平成 14 年 3 月撮影）



写－19　München 市　Siegesstrasse の事務所建築外断熱工事(平成 14 年 3 月撮影)



写－20　München 市　Siegesstrasse の事務所建築外断熱工事竣工写真(平成 14 年 8 月撮影)



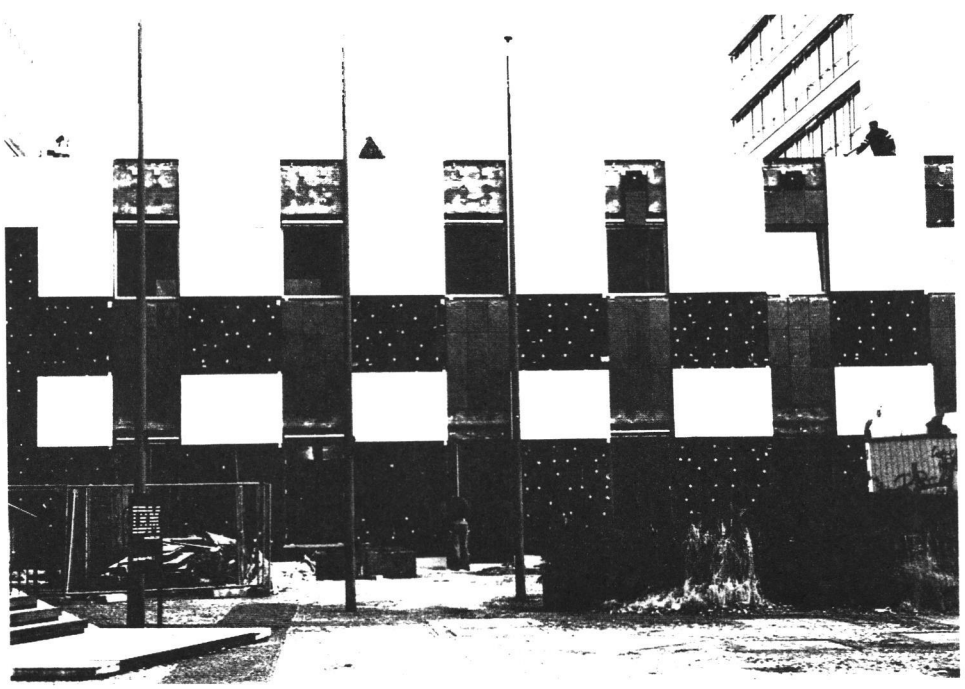
写－21　Berlin 市 Ernst　Reuterplatz の IBM ビル外断熱工事(平成 13 年 10 月撮影)



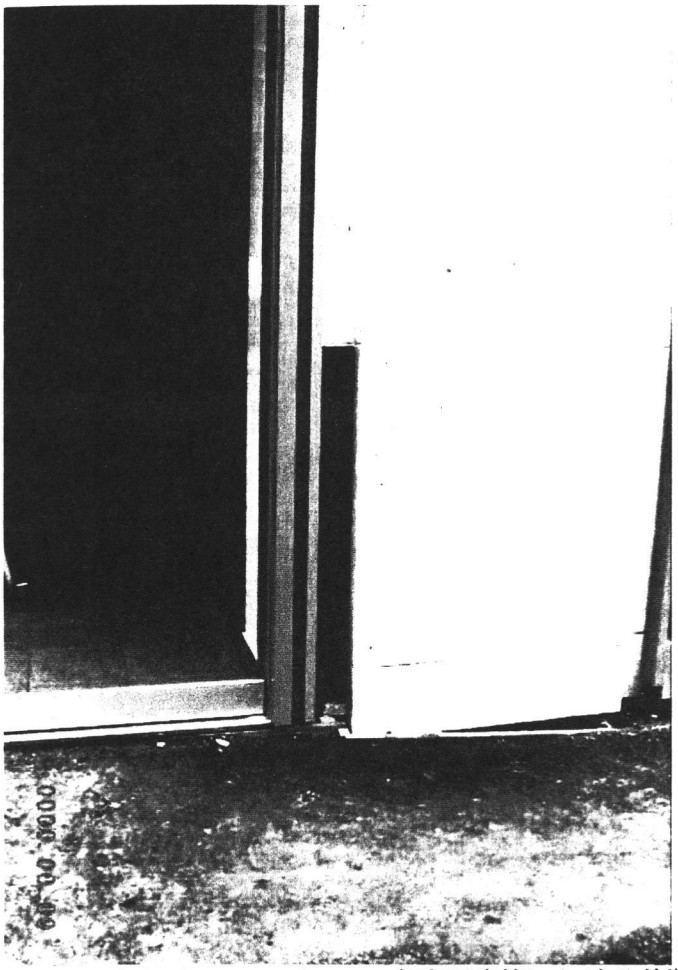
写－22 Berlin 市 Ernst　Reuterplatz の IBM ビル外断熱工事(平成 13 年 10 月撮影)



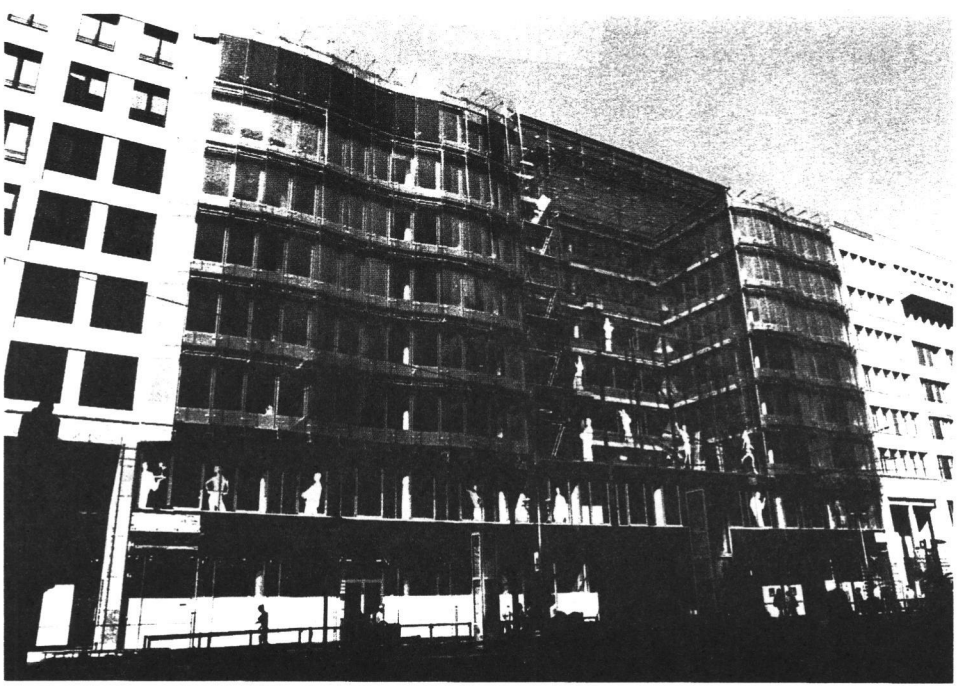
写－23 Berlin 市 Ernst　Reuterplatz の IBM ビル外断熱工事竣工写真、平成 14 年 3 月撮影)



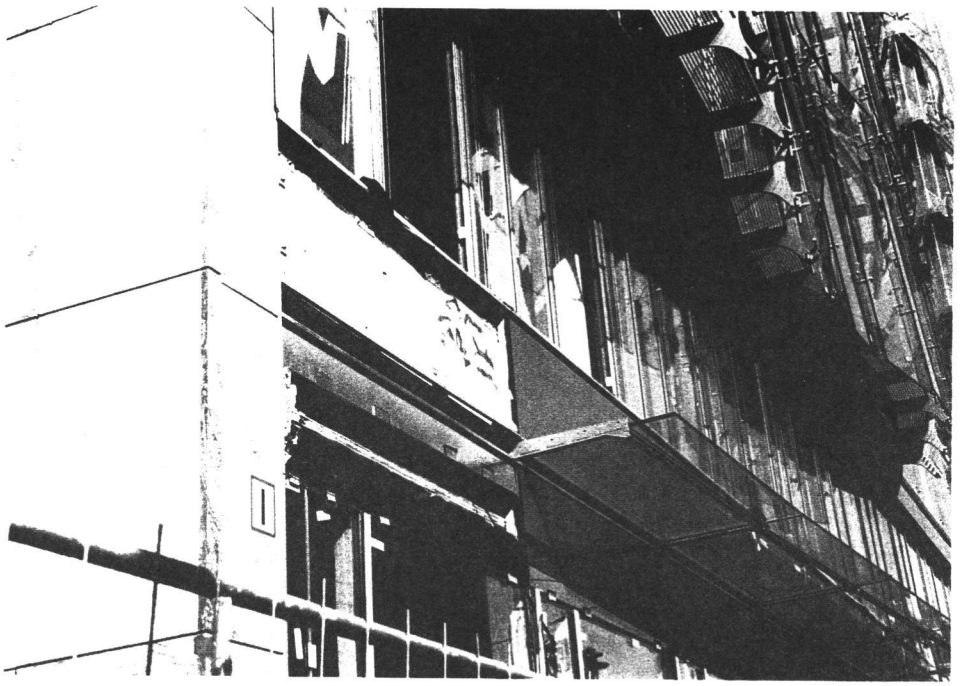
写－24 Berlin 市 Ernst　Reuterplatz の IBM ビル付属棟外断熱工事(平成 14 年 11 月撮影)



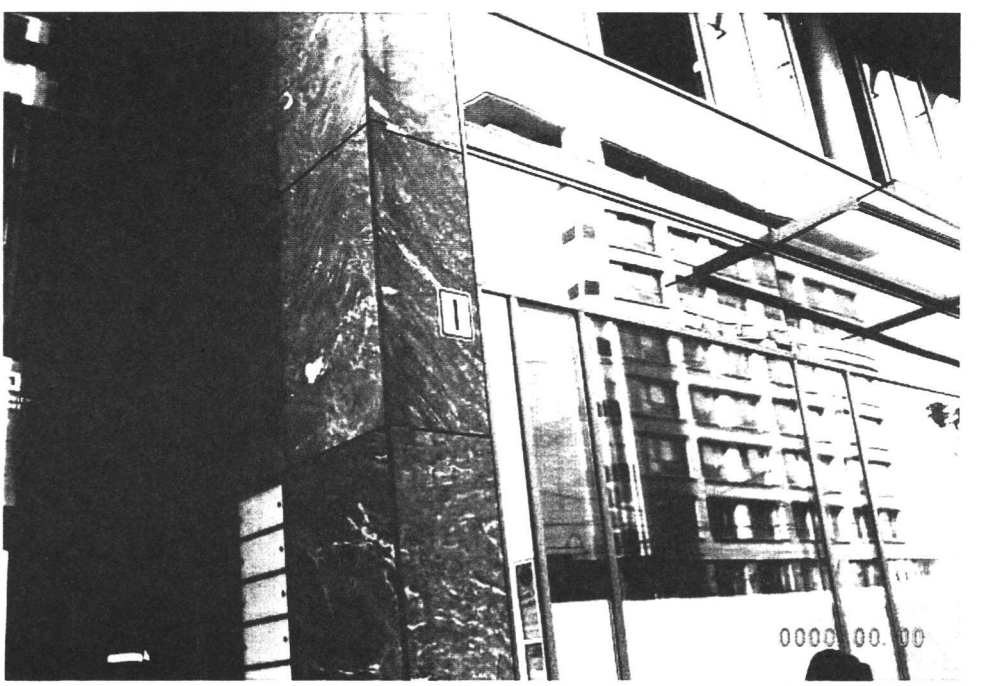
写－25　旧東ベルリンの中心地Friedrichstr.の事務所建築における外断熱改修(平成14年8月撮影)



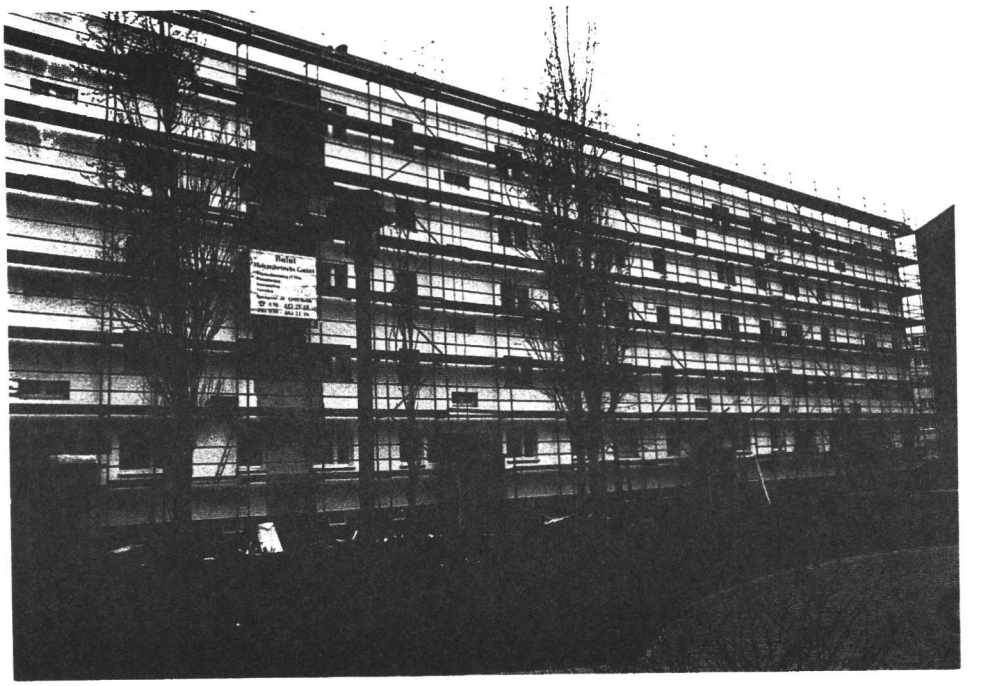
写－26　旧東ベルリンの中心地Friedrichstr.の事務所建築における外断熱改修(平成14年8月撮影)



写－27 旧東ベルリンの中心地 Friedrichstr.の事務所建築における外断熱改修(平成 14 年 8 月撮影)



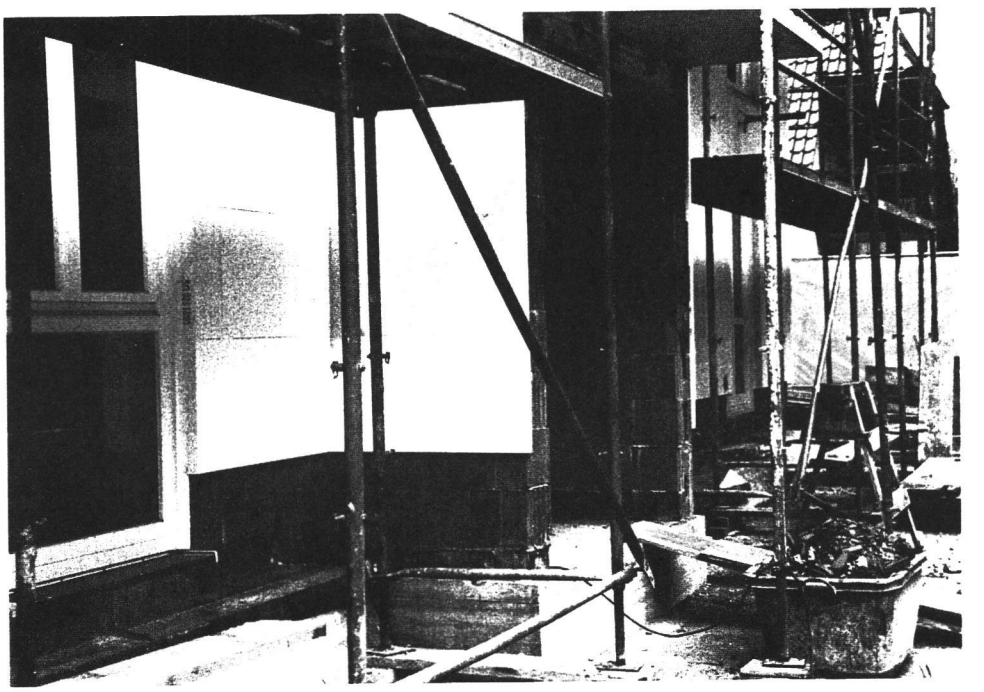
写－28 旧東ベルリンの中心地 Friedrichstr.の事務所建築における外断熱改修竣工写真（平成 14 年 11 月撮影)



写－29　旧東ベルリン地区 Hellersdorf における集合住宅の外断熱改修工事(平成 14 年 3 月撮影)



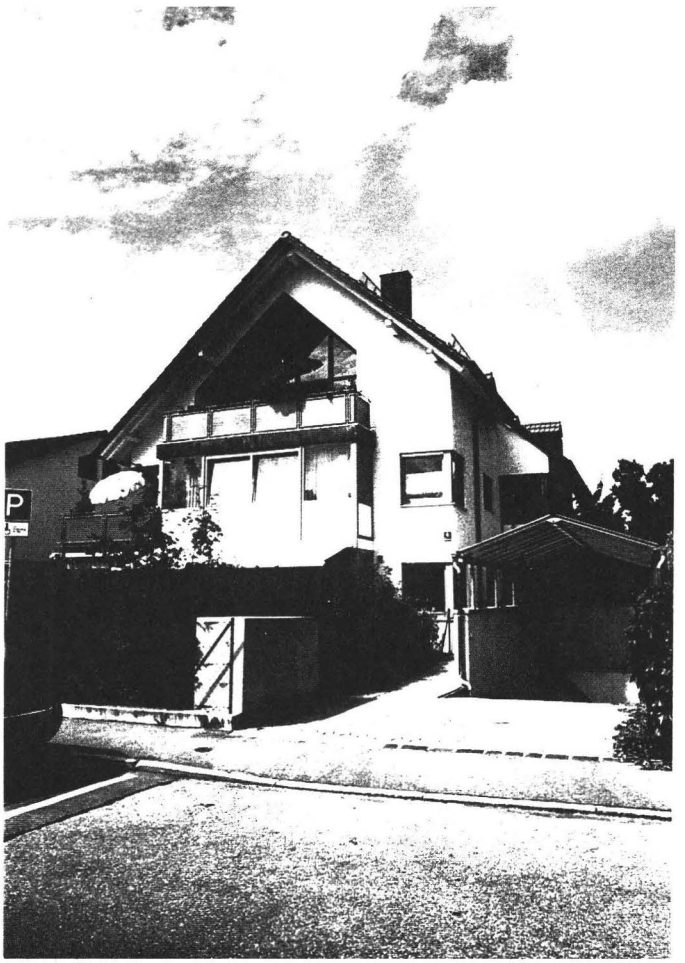
写－30 旧東ベルリン地区 Hellersdorf における集合住宅の外断熱改修工事(平成 14 年 11 月撮影)



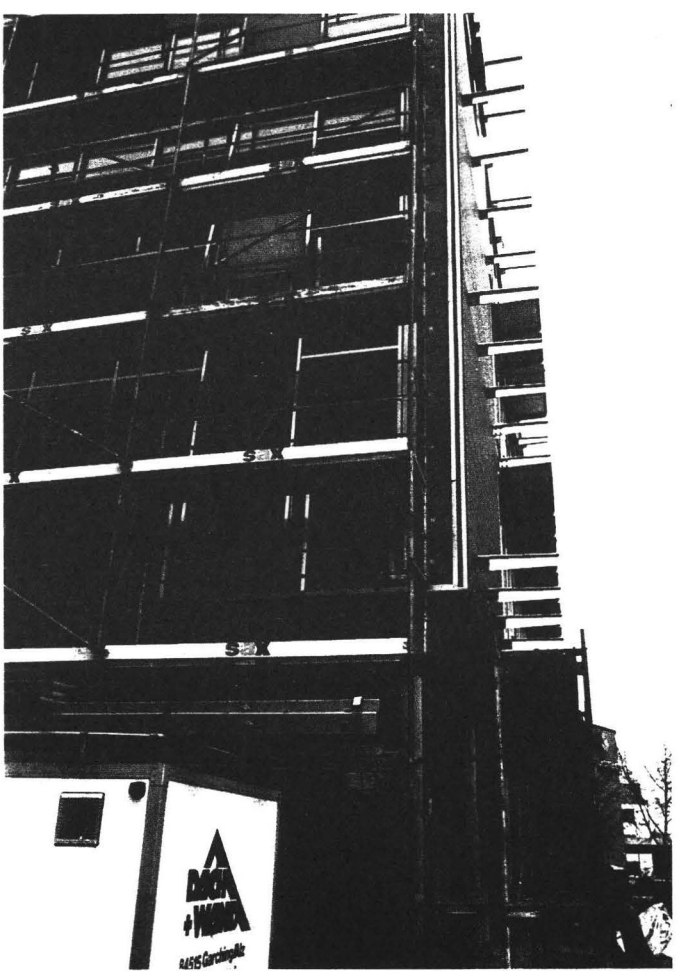
写－31München 市 Leharstr.の住宅外断熱改修工事（平成 14 年 3 月撮影）



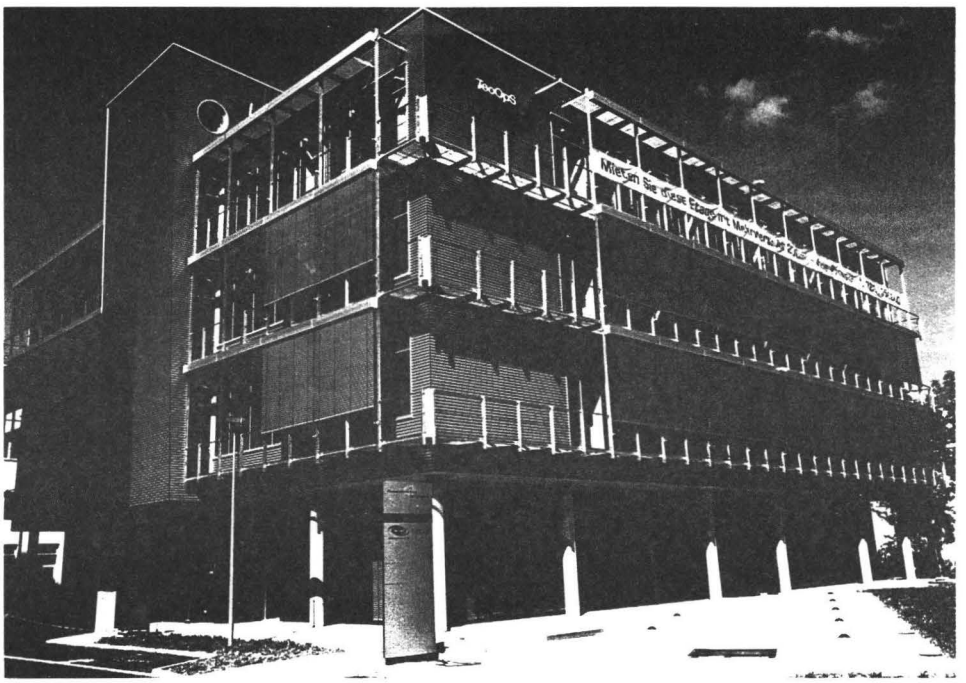
写－32　　München 市 Leharstr.の住宅外断熱改修工事（平成 14 年 3 月撮影）



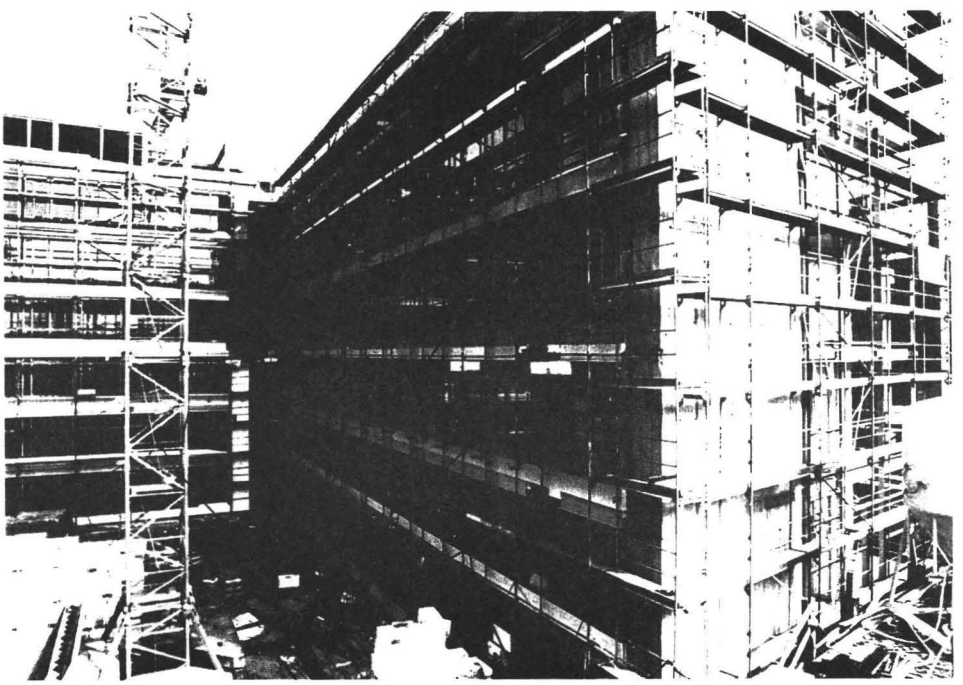
写－33　München 市 Leharstr.の住宅外断熱改修工事竣工写真（平成 14 年 8 月撮影）



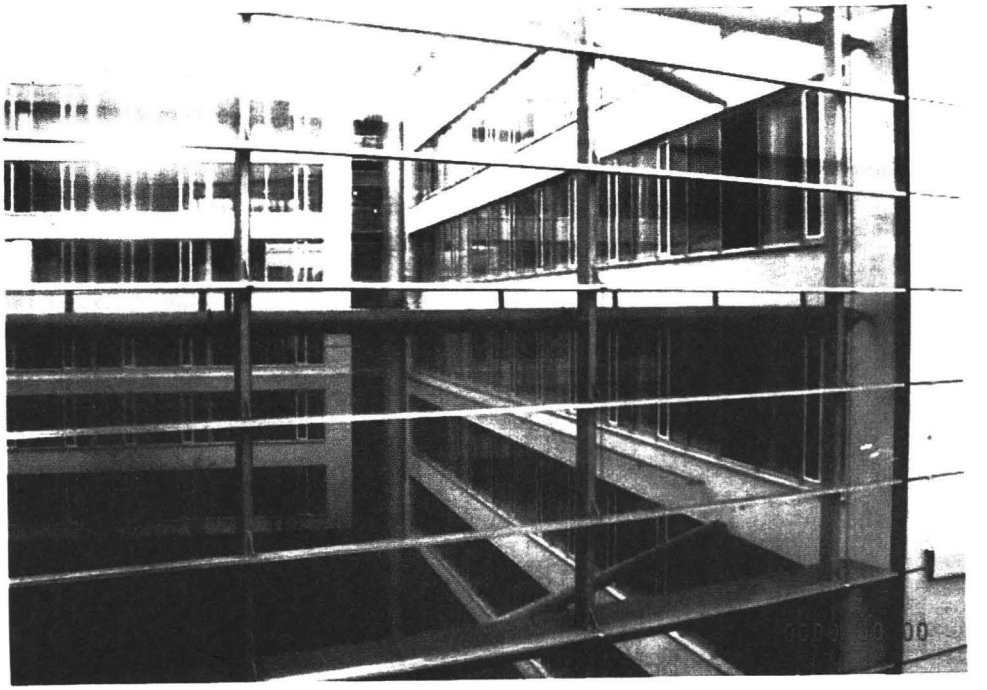
写－34　München 市 Frankfurterring の事務所建築外断熱工事(平成 14 年 3 月撮影)



写－35　München 市 Frankfurterring の事務所建築外断熱工事竣工写真(平成 14 年 8 月撮影)



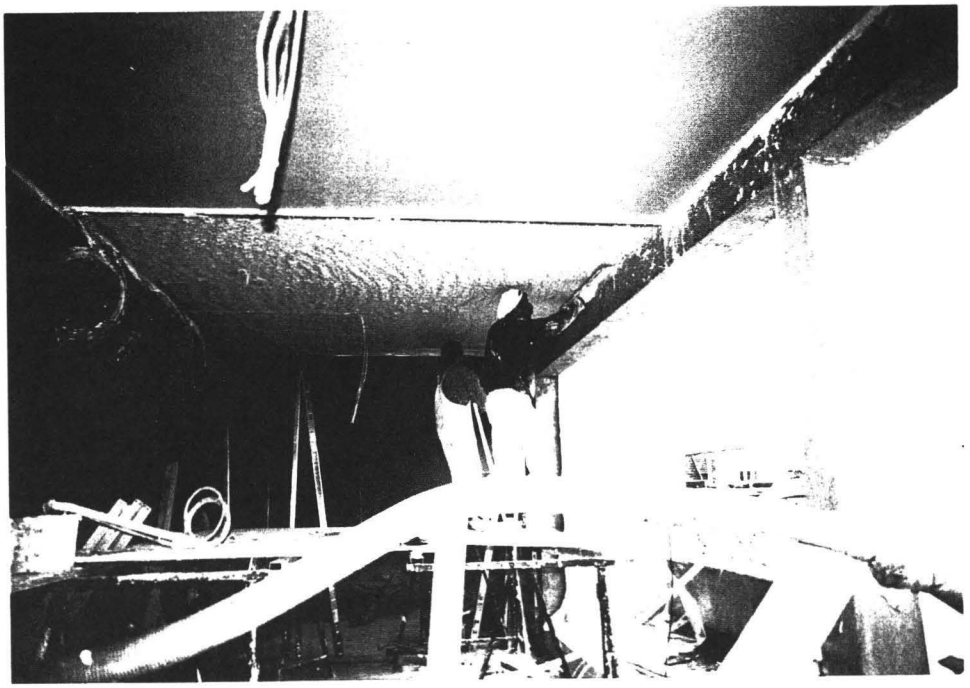
写－36　Stuttgart 市 Degerlochalbstr.の事務所建築外断熱工事(平成１４年３月撮影)



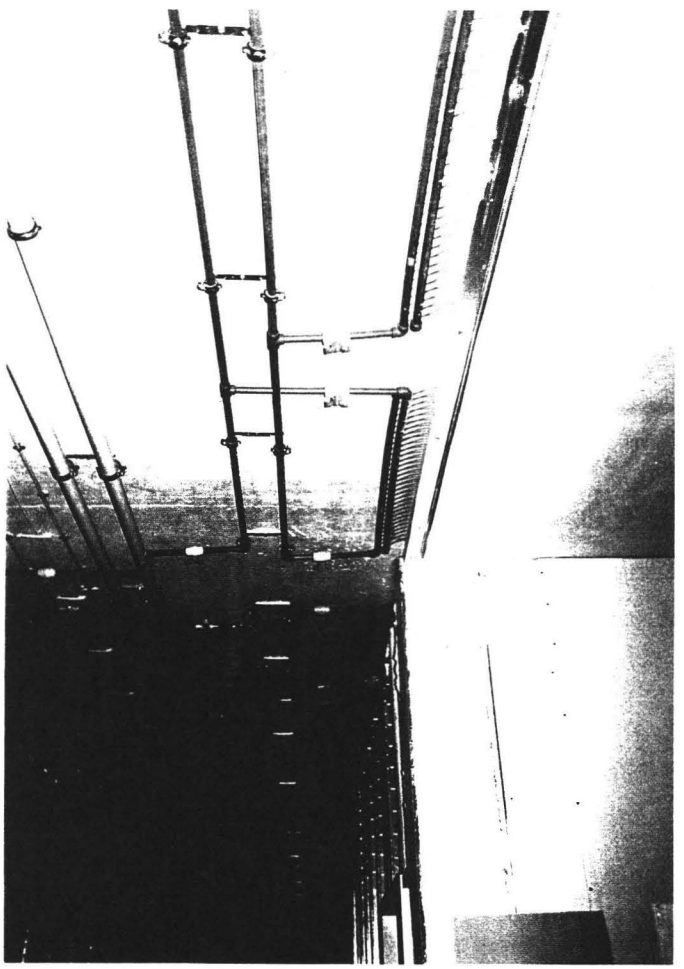
写－37　Stuttgart 市 Degerlochalbstr.の事務所建築外断熱工事(平成１４年３月撮影)



写－38　Berlin 市 Steglitz の事務所建築における天井放射冷暖房工事(接着モルタルを用いてポリプロピレン配管を天井に埋設)



写－39 Berlin 市 Steglitz の事務所建築における天井放射冷暖房工事(接着モルタルを使用してポリプロピレン配管を天井に埋設)



写－40 Berlin 市 Steglitz の事務所建築における天井放射冷暖房工事(廊下に設けられたヘッダー部分)



写－41　Fraunhofer研究所日本における外断熱シンポジウム開催に関しHolzkirchenの研究所を訪問した際のスナップ（左：Prof.　Gertis 前所長、右 Prof. Sedlbauer 新所長、中央筆者）（Sedlbauer所長自宅前にて：平成16年3月28日）

平成15年3月に当研究室大学院修士課程を修了した田中絵梨さんがドイツのフラウンホーファー研究所に留学し、そことの外断熱に関する共同研究が順調に進みだした。フラウンホーファー建築物理研究所の所長も平成 15 年 10 月に Gertis 教授から Sedlbauer 教授に交代し、Sedlbauer 教授よりお茶の水女子大学と共同で日本での外断熱に関するシンポジウム開催の提案があった。しかし事務局の問題などを考慮すると本学の能力不足を感じ、NPO 外断熱推進会議に事務局をお願いする事となった。このように、頂いた研究助成金を有効に使用した結果平成16年6月末から7月初めにかけ東京、京都、札幌で共同のシンポジウムを開催できるようになった。之にはドイツ大使館も後援をしていただける光栄を得た。経過報告として準備中の開催主旨書を添える。ここに今年度行ったフラウンホファー研究所との共同研究のあらましを紹介する。

近年、住環境中のカビがアレルギーの原因として注目されている。現在、この問題に対して住宅の建設現場で用いられている対策としては、防カビ剤の使用が最も一般的である。しかし、根本的な対策として、断熱施工という建築学的な手段を用い、カビが発生しにくい住環境を作ることができるのではないかと考えた。

日本の建築物において適した断熱方法を判断するには気候の問題がある。日本は南北に長く北部と南部では気候が全く違う上、一つの都市でも四季の変化によって年間温度や湿度が大きく変わるためだ。そこで、本研究では実際の気象条件を入力できるシミュレーションプログラムを採用する事にした。

今まで建物壁体の温湿度性状の評価は結露するか否かで判断されてきた[2]。しかし、カビは養分や酸素などの条件がそろえば温度 0℃相対湿度 70%以上で生息可能だといわれている[3]。よって、結露発生すなわち相対湿度 100%での評価では不十分である。今回、壁体内の相対湿度(RH ; Relative Humidity)を非定常計算できるシミュレーションソフトとして、ドイツ Fraunhofer 研究所製の汎用プログラム “WUFI : Wärme und Feuchtetransports in Bauteilen ”(建物における温湿度の輸送解析プログラム)を用いて一次元非定常解析を行った。

また、日本における RC 造建築の断熱工法には大きく分けて、内断熱工法と外断熱工法の二つがある。本研究室における過去の研究では結露が生じにくい、省エネルギー性が高いなどの点から、外断熱工法の優位性を確認している。しかし、一方で外断熱工法は内断熱工法よりコストがよりかかる為、施工数は少ないのが現状である。

本研究では、内断熱工法と外断熱工法のモデルにおいて、日本各地の気象データを用いた長期間の非定常解析を行い、壁内の温湿度性状を比較する。そして、カビの発生しにくい断熱工法を検討することを目的とする。

本研究目的は、「内断熱工法と外断熱工法のモデルにおいて、日本各地の気象データを用いた長期間の非定常解析を行い、壁内の温湿度性状を比較すること。そして、カビの発生しにくい断熱工法を検討すること。」であった。そのために、ＷＵＦＩによる非定常シミュレ

ーションを行った。その結果を以下にまとめる。

まず、カビの防止基準との照合では、外断熱工法は那覇以外の全ての都市において、いずれの断熱材を用いた場合も基準を満たしが、逆に内断熱工法は那覇で基準を満たしただけで、その他の都市では基準を満たさなかった。

結露防止基準との照合では、外断熱工法ではカビの防止基準と同様に、那覇以外の全ての都市においていずれの断熱材を用いた場合も基準を満たした。一方、内断熱工法は断熱材にGWを用いたものは那覇、GW+PEを用いたものとUFを用いたものは東京、名古屋、福岡において基準を満たした。

以上の結果から、壁体内のコンクリートの乾燥を保つことに関して、日本の多くの地域において外断熱工法は内断熱工法より優れている事がわかった。次世代省エネ基準を満たす断熱材の厚さを用いても、内断熱工法ではカビや結露の生じる危険性がある。

一方、外断熱工法の弱点として、夏期の逆転結露現象が挙げられる。これは夏期に外気が高温多湿になると壁体内コンクリートのRHが上昇してしまう現象であり、温暖な地方ほど影響が大きい。この逆転結露現象が顕著に現れたのが亜熱帯気候の那覇である。那覇では内断熱工法よりも外断熱工法の方が壁体内コンクリートのRHが年間通じて高くなった。対象都市を年間通じて見ると、福岡までは内断熱工法よりも外断熱工法を用いた方がコンクリートの乾燥が保てる結果となった。また、逆転結露現象が最も起こりにくいのは断熱材としてUFを用いた場合である（断熱材ごとの壁体内コンクリートRHの年間推移より）ので、夏期の気候が温暖な都市で外断熱工法を施工する際には断熱材にはUFを用いるとよい。

また、今回採用した熱・水分同時移動の非定常解析プログラムWUFIにでは、定常解析ではできなかった、コンクリートの相対湿度の年間推移を求めることができた。WUFIは建材データも豊富であるし、実際の気象データを入力できるので、実際の建物外壁の温湿度性状により近いデータが得られたと思う。田中辰明の指導のもとに当研究室の野中有夏さんがWufiを用いて日本の気象条件で外壁の解析を行い、外断熱の有効性を確証したので、ここに報告を行う。

目次

第一章　緒言

１－１　研究の目的と背景・・・

第五章　WUFIによるシミュレーション・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
５－１　設定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
５－１－１　気象条件・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41
５－１－２　壁体モデル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 42
５－１－３　算出項目・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 44
５－２　シミュレーション結果①；カビ・結露の防止基準との照合・・・ 45
５－２－１　カビの予防基準・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
５－２－２　結露の予防基準・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
５－２－３　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
５－３　シミュレーション結果②；壁体内の熱・水分移動・・・・・・・ 51
５－３－１　札幌・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 52
５－３－２　盛岡・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 54
５－３－３　新潟・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 56
５－３－４　東京・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 58
５－３－５　名古屋・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 60
５－３－６　福岡・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 62
５－３－７　那覇・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 64
５－３－８　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 66
５－４　シミュレーション結果③；壁体内 RH の年間推移・・・・・・・ 69
５－４－１　壁体内コンクリート RH の年間推移・・・・・・・・・・・・ 70
５－４－２　考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72
第六章　総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74
＊付録(気象データ等)・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 76
＊参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83
＊謝辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 84

第一章　緒言

1－1　研究の背景と目的

近年、住環境中のカビがアレルギーの原因として注目されている。現在、この問題に対して住宅の建設現場で用いられている対策としては、防カビ剤の使用が最も一般的である[1]。しかし、根本的な対策として、断熱施工という建築学的な手段を用い、カビが発生しにくい住環境を作ることができるのではないかと考えた。

日本の建築物において適した断熱方法を判断するには気候の問題がある。日本は南北に長く北部と南部では気候が全く違う上、一つの都市でも四季の変化によって年間温度や湿度が大きく変わるためだ。そこで、本研究では実際の気象条件を入力できるシミュレーションプログラムを採用する事にした。

今まで建物壁体の温湿度性状の評価は結露するか否かで判断されてきた[2]。しかし、カビは養分や酸素などの条件がそろえば温度 0℃相対湿度 70%以上で生息可能だといわれている[3]。よって、結露発生すなわち相対湿度 100%での評価では不十分である。今回、壁体内の相対湿度(RH ; Relative Humidity)を非定常計算できるシミュレーションソフトとして、ドイツ Fraunhofer 研究所製の汎用プログラム“WUFI : Wärme und Feuchtetransports in Bauteilen ”(建物における温湿度の輸送解析プログラム)を用いて一次元非定常解析を行った。

また、日本における RC 造建築の断熱工法には大きく分けて、内断熱工法と外断熱工法の二つがある。本研究室における過去の研究では結露が生じにくい、省エネルギー性が高いなどの点から、外断熱工法の優位性を確認している[4,5]。しかし、一方で外断熱工法は内断熱工法よりコストがよりかかる為、施工数は少ないのが現状である。

本研究では、内断熱工法と外断熱工法のモデルにおいて、日本各地の気象データを用いた長期間の非定常解析を行い、壁内の温湿度性状を比較する。そして、カビの発生しにくい断熱工法を検討することを目的とする。

第二章　断熱工法と結露、カビに関する基礎知識

２－１　断熱工法について

２－１－１　内断熱と外断熱(7)

内断熱工法とは、日本で従来から広く行われてきた工法で、建物躯体の内側に断熱材を入れる工法である。一方、外断熱工法とは、建物全体を断熱材ですっぽり包み込む工法で、スウェーデンやドイツをはじめとする欧米諸国では広く普及している工法である。

内断熱工法とは、RC 造などの構造躯体の内側に断熱層を設ける工法をいい、この構造においては最も一般的な断熱方法である。外断熱に比べて、断熱工法のバリエーションが豊富で、安価なことが特徴である。しかし、構造熱橋が生じやすいこと、断熱材の外側に湿気の通しにくい RC 躯体があり、戸建住宅の基本的考え方（内側から外側になるほど湿気を通しやすいこと）が踏襲できないため、断熱・防露施工上の要件が多いなどの問題点がある。

外断熱工法とは、RC 造などの構造躯体の外側に断熱材を設ける工法をいう。構造熱橋を減じることが可能で、高断熱化する際にも居住面積を圧迫ほか、内断熱と比べて熱・湿気的にも多くの利点を有している。しかし、法的耐火建築に適用する場合には、これまでは工法的制約が多く、さらに外装デザイン上の制約、高価、外装劣化など、技術的問題が顕在化していた。しかし、近年「不燃断熱材と不燃外装材による組み合わせ」が可能になったことにより、既住の技術が抱えていた多くの課題を解消できる可能性がある点で、魅力的な技術になっている。

日本のみならず欧米でも、建築物の大半は三十年ほど前までは「無断熱」であった。ところが、１９７３年のオイル・ショックとともに、日本と欧米との対応は逆の方向に向いた。

スウェーデンでは、建築物理学を核とした学術的な研究体制で取り組み、その結果外断熱が常識となった。一方、日本では、そのような研究体制をとらないまま、内断熱を常識としてしまった。とこらが、これらの研究がまったく行われていなかったわけではなく、日本においても１９７６年ころから視察団を送るなどして研究は行われた。しかし、ドイツやスウェーデンの外断熱工法を「地震と火事と台風」の国・日本にそのまま持ち込むことには無理があり、事実、建築大臣認定工法として日本には約 70 種類の外断熱工法があるが、今でも継続している工法は少なく、その少ない工法も多くの問題を抱えることになった。また、当時の日本では消防上の規制により、建物躯体の外側に可燃の断熱材を張るのは危険なものとみなされ、断熱材の上に 2cm 以上の不燃外装材を貼るように指示された。しかし、これはコストが高いことや外断熱工法の技術者が少ないことなどの問題があり、結局のところ、外断熱工法の普及にいたらなかった。

表２-1-1-1　外断熱工法と内断熱工法の違い[8]

外断熱工法	内断熱工法
建物の外側に断熱材を入れる	建物の内側に断熱材を入れる
《外断熱工法の短所》	《内断熱工法の長所》
・普及の遅れによる施工時のコスト高	・施工時のコストがかからない
《外断熱工法の長所》	《内断熱工法の短所》
・ダニ、カビの発生を防止	・内部結露を起こしやすい
・VOC の発生防止	・ダニ・カビの発生による健康被害
・建物の耐久性の向上	・建物の耐久性・寿命の低下
・地球環境にやさしい	・地球温暖化への影響
・既存の建物に断熱改修しやすい	・断熱改修しにくい
・暖冷房が切れても急激な室温変化がない	・暖房を切った後、急激に室温が低下する
	・LSC(ライフサイクルコスト)がかかる

表２-1-1-2 外断熱と内断熱の比較[8]

項目	外断熱	内断熱
外装材の取り付け	×	○
構造体の保護	○	×
可燃性断熱材の防火性（自家火災）	○	×
可燃性断熱材の防火性（隣棟火災）	×	○
熱橋（スラブ・間仕切り壁など）	○	×
熱橋（ベランダ・パラペットなど）	×	○
内部結露	○	×
構造体の熱容量の利用	○	×
暖房（開始時の室温の立ち上がり）	×	○
暖房（停止時の室温の降下）	○	×
室温の安定	○	×
工事費	×	○

２－１－２　断熱材[9]

熱伝導率の値が 0.1W/(m･K)未満のもので、壁などの熱貫流率を下げるために用いられる材料を断熱材という。

断熱材は、現代建築には不可欠の材料である。大きく分けて『繊維系断熱材』と『発泡プラスチック系』とがあり、約９割が繊維系の断熱材を使用している。

断熱材の望ましい厚さは気候や断熱材の種類によって違うので、適切な断熱材を適切に施工するのが望ましい。

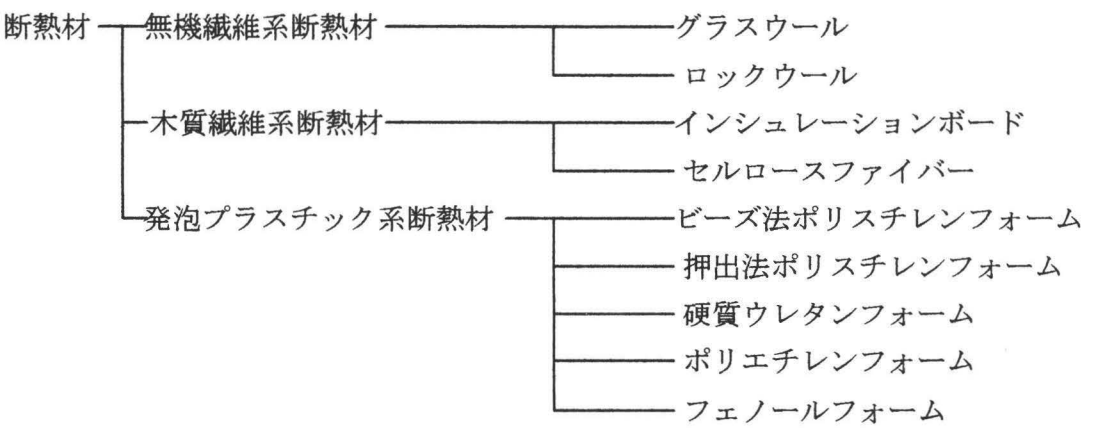


表.2-1-2-1　断熱材の種類

無機繊維系断熱材	ガラス原料や鉱石を溶かして繊維状にしたもの。原料が無機質のため不燃性が高い。施工にあたっては、透湿性があるため防湿層付きの製品を使用するか、別に防湿材を設ける必要がある。
木質繊維系断熱材	ボード状製品は、インシュレーションボード又は軟質繊維板とよばれ、木材繊維を用いた繊維板のうち軽量のものをこのように呼ぶ。他の断熱材と併用で用いられることが多く、内装下地材としてももちいられる。 吸い込み断熱材のセルロースファイバーは木質繊維を成型せず繊維状のまま現場で吸い込むものである。
発泡プラスチック系断熱材	プラスチックを発泡させたもので、板状製品と現場施工で発泡して用いるものとがある。吸水性が少なく、断熱性に優れているが、やや燃焼性があるので、内装下地材のせっこうボード等の不燃材を使用することが望ましい。

表.2-1-2-2　無機質系断熱材

	主原料	製品	厚さ	防湿層	注意点
グラスウール	ガラス ガラス原料	ロール パット 保温筒 吹込み用パラ	50～ 200㎜	必要	・保管時重い物を載せない。 ・水ぬれに注意。 ・防湿層は室内側に設ける。
ロックウール	高炉スラグ 玄武岩	マット フェルト 保温筒 吹込み用パラ	55 75 100	必要	・空気層を屋外側に設ける ・水ぬれに注意。 ・防湿層は室内側に設ける。

表.2-1-2-3　木質系断熱材

	主原料	製品	厚さ	防湿層	注意点
インシュレーションボード	木材	板状		必要	・使用時、釘打ちに注意 ・角、表面を傷つけない ・保管時の反り、水濡れに注意
セルロースファイバー	パルプ 新聞古紙	吹込み用パラ 湿式吹込み	100 ～200	必要	・指定店の責任施工

表.2-1-2-4　発泡プラスチック系断熱材

	主原料	製品	厚さ	防湿層	注意点
ビーズ法ポリスチレンフォーム	ポリスチレン樹脂	ビーズの蒸気加圧発泡成形	20　～ 100	一般的に不要	・長時間、直射日光にさらさない ・接着剤の選定 ・炎に近づけない
押出法ポリスチレンフォーム	ポリスチレン樹脂	押出連続発泡成形	20～ 100		
硬質ウレタンフォーム	ポリイソシアネート及びポリオール	直接重合同時成型	10～ 150		
ポリエチレンフォーム	ポリスチレン樹脂	押出・熱分散発泡成形	2～50		
フェノールフォーム	フェノール樹脂	発泡硬化同時成型	10～ 100		・長時間、直射日光にさらさない ・接着剤の選定 ・雨水不可

2－1－3　次世代省エネルギー基準[10,11]

1970年代のオイルショック後、日本では「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（通称「省エネ法」）が昭和54年に制定された。省エネ法の中で住宅。建築物の省エネ対策に関しても、全ての建築主に対して構造の断熱化などの措置を「努力義務」として課している。このとき、住宅の建築主の判断のために大臣の告示により定める基準を住宅の「省エネルギー基準」と呼んでいる。

平成9年12月に京都で行われた「気候変動枠組み条約第三階締結会議」において、日本でも温室効果ガスの具体的な排出削減目標を盛り込んだ議定書が採択された。ここで、建設省（現国土交通省）において住宅分野での省エネルギー対策の具体的な取り組みがいっそう重要であるとの認識のもと、住宅の「省エネルギー基準」を改正・強化し、この普及を図ることが極めて重要な課題となっている。そこで、省エネルギー基準は1980年にはじめて告示され（昭和55年基準）、1992年に改正された（平成4年基準）。そして、1999年の改正（次世代省エネルギー基準）で、基準値のレベルは一段と高いものとなった。

平成4年2月28日通商産業省・建設省告示第2号「住宅に係るエネルギー使用の合理化に関する建築主の判断の基準」による熱損失係数は、地域区分により告示されている。地域区分については、表2-1-3-1に示す。

次世代省エネルギー基準では、下表2-1-3-2に示すように、断熱材の施工法及び部位ごとに断熱材の熱抵抗の値が基準値として定められている。鉄筋コンクリート造または組積造の住宅における外断熱工法と内断熱工法では、熱貫流率に差がある。これは、断熱工法によって熱橋の量が違うことによる。

表2-1-3-1　地域区分

地域区分	都道府県名
Ⅰ	北海道
Ⅱ	青森県 秋田県 岩手県
Ⅲ	宮城県 山形県 福島県 茨城県 栃木県 群馬県 新潟県 富山県 石川県 福井県 山梨県 長野県 岐阜県 滋賀県
Ⅳ	埼玉県 千葉県 東京都 神奈川県 静岡県 愛知県 三重県 京都府 大阪府 兵庫県 奈良県 和歌山県 鳥取県 島根県 岡山県 広島県 山口県 徳島県 香川県 愛媛県 高知県 福岡県 佐賀県 長崎県 熊本県 大分県
Ⅴ	宮崎県 鹿児島県
Ⅵ	沖縄県

表 2-1-3-2　次世代省エネルギー基準による断熱材の熱抵抗値の基準

断熱工法	部位		地域の区分					
			I	II	III	IV	V	VI
内断熱工法	屋根または天井		3.61	2.71	2.51	2.51	2.51	2.51
	壁		2.30	1.80	1.10	1.10	1.10	0.30
	床	外気に接する床	3.21	2.60	2.10	2.10	2.10	0.00
		その他の床	2.21	1.80	1.50	1.50	1.50	0.00
	土間床等の外周部	外気に接する床	1.71	1.41	0.80	0.80	0.80	0.00
		その他の床	0.58	0.41	0.20	0.20	0.20	0.00
外断熱工法	屋根または天井		3.01	2.21	2.01	2.01	2.01	2.01
	壁		1.80	1.50	0.91	0.91	0.91	0.30
	床	外気に接する床	2.21	1.80	1.50	1.50	1.50	0.00
		その他の床	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	土間床等の外周部	外気に接する床	1.71	1.41	0.80	0.80	0.80	0.00
		その他の床	0.50	0.41	0.20	0.20	0.20	0.00

熱抵抗の単位；$m^2 \cdot K/W$

2－2　結露について[1,12]

結露はカビ・ダニの発生を助長してアトピーや喘息などアレルギーの原因の一つとなっている。

内断熱では、室内の水蒸気が断熱材の中を透湿する際に室温より低いコンクリート部分に接した断熱材で露点温度になった時に、水蒸気は水に変わって結露する。また結露が発生しなくても壁の表面温度が80%以上の状態が3時間以上続くとカビが発生する。従って、「冬は湿気が多いから結露を起こす」のではなく実際は「室内が乾燥しているにもかかわらず外壁内側の相対湿度が高くなっているために結露が起こる」ということもある。この場合、結露の原因は住人の住まい方ではなくむしろ建物にあり、その建物の断熱工法の間違いによるものである。

2－2－1　結露発生のメカニズム[12,13]

冬になると窓ガラスに水滴が付くことはよく経験する。さらに、壁表面が湿ってくるとか、色が変わるとか、剥がれたりすることもある。これらの現象は、室内の空気中に含まれている水蒸気が低温の部位に凝縮する結露現象である。

結露現象は、非常に簡単な物理現象である。すなわち、結露の生じる原因は空気中に含まれる水蒸気量（相対湿度100%）には制限があり、かつ温度の上昇とともにその限界量が大幅に増大することによる。湿り空気が露点温度まで冷却されると、相対湿度は100%となる。さらに冷却されると、温度に応じる飽和水蒸気量以上の水蒸気は水滴となる。建物において、壁体表面または内部が低温となって、この水蒸気凝縮現象が生じることを結露という。

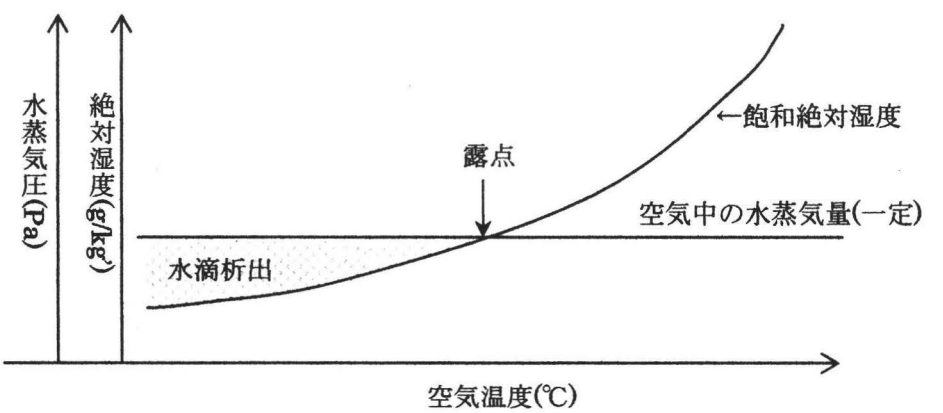


図 2-2-1-1　露点

２－２－２　湿り空気線図[12,14]

結露防止を考える際は、まず、空気中に存在する水分の量と、これが「水蒸気」という気体で存在し得る限界について知らなければならない。この限界からはみ出した分が凝縮して「結露」と称される液体になるからである。

空気中に気体として存在し得る水分(水蒸気)の限界量は主として空気の温度によって異なるが、この様子を理解するには湿り空気線図によるものが最も効果的であり、防湿防露計画にはこの図が必ずといってよいほどしばしば用いられる。

湿り空気線図は、温度と水蒸気圧の関係を詳しく表わしたもので、空気の様々な状態を表す。

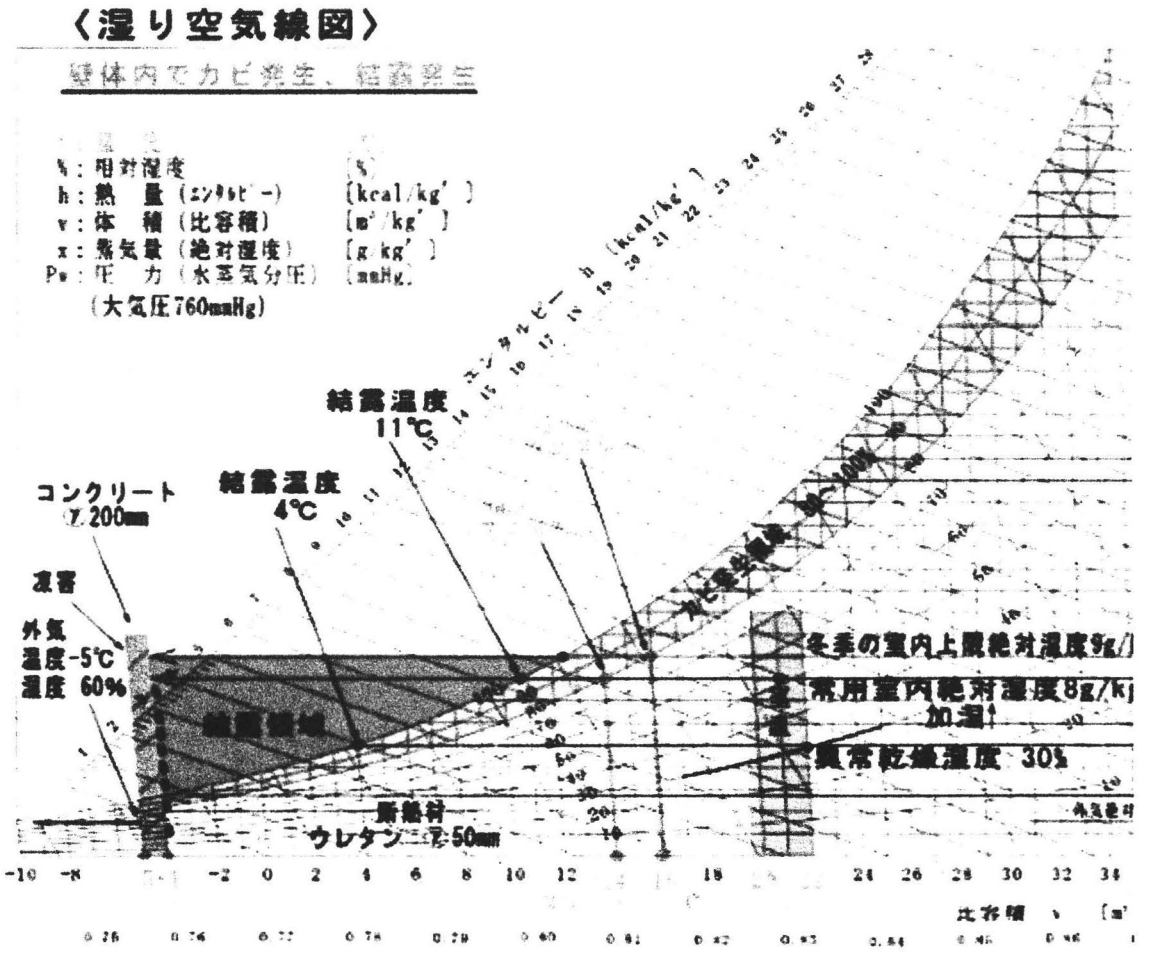


図 2-2-2-1　湿り空気線図

湿り空気線図は下記の要因から成る。

表 2-2-2-1　湿り空気線図の要因

湿り空気	水蒸気が混入した状態の空気、すなわち通常の大気である。
乾き空気	湿り空気から水蒸気を完全に除去した状態の空気。
乾球温度 (DB)	通常の温度計で測られる空気の温度。
湿球温度 (WB)	湿球温度計(球部を濡れたガーゼで一重半に巻いた温度計)で測った空気温度である。乾球温度よりも低い値を示す。
露点温度 (WB)	湿り空気中の水蒸気量(絶対湿度)xを変えずに乾球温度tdを下げていくと、相対湿度が次第に増加し、ついには飽和状態(100%)に達する。このときの乾球温度(=湿球温度)を露点温度という。
水蒸気圧	湿り空気中の水蒸気の分圧。
飽和水蒸気圧	飽和状態にある湿り空気の水蒸気分圧。乾球温度が高いほど大になる。
絶対湿度 (x)	乾燥空気(水分を含まない空気)1kg と共存している水分量を質量(kg)で表したもの。 湿り空気中の乾き空気 1kg 中に含まれる水蒸気の重量。
比体積 (v)	湿り空気 1kg あたりの体積。
エンタルピ (i)	0℃の空気と 0℃の水を基準としたときに湿り空気が保有する全熱量を、乾き空気 1kg あたりの値としたもの。Kcal(J)/kg’ の単位で表す。 $I \fallingdotseq 0.240\theta + (597.3 + 0.441\theta) * x$
相対湿度 (%RH)	湿り空気の乾球温度における飽和水蒸気圧 ps に対する、現在の水蒸気圧 p の百分比。
顕熱比 (SHF)	顕熱比＝顕熱/(顕熱+潜熱)＝顕熱/全熱 顕熱：温度差により生ずる熱量 潜熱：温度とは無関係で、空気中の水分の変化による熱量

これらを状態値といい、上記の状態値のうち、2 つの値が与えられれば、その空気の他の状態値が分かる。

しかし、湿り空気線図の比容積の単位はkg／kgであるため、実際の部屋に、どのくらいの水蒸気が含まれているのか生活者にとって分かりにくく、想像がつきにくい。そこで、比容積の単位をkg／m3に換算し、飽和状態での温度と飽和空気の比容積の関係を表したグラフを下記に示す。

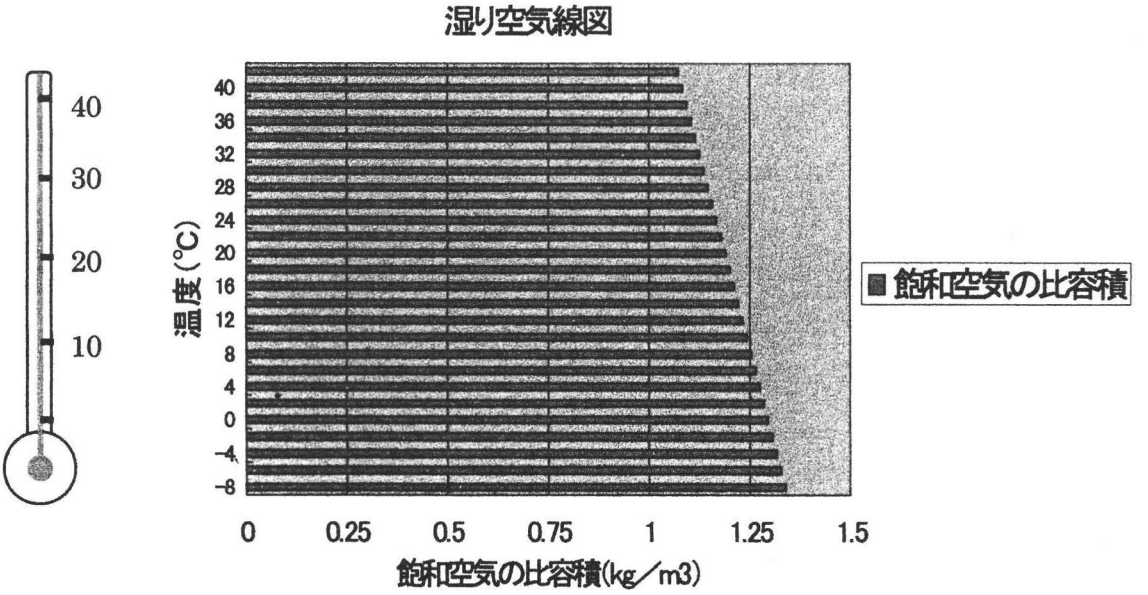


図 2-2-2-2　湿り空気線図（単位 kg/m^3　）

２－２－３　結露の種類[1,12,13]

結露現象は建物躯体にも生じる。冬になると、冬の室内側の壁面、ガラス面などに水滴がついていることがある。結露状態が続くと、内装材の壁クロスが湿ったり、壁表面にカビが発生するなど多くの問題を引き起こす。また、壁内部にも結露は起こる。これにより、壁内の断熱材、間柱、外装材の室内側が湿ったり、カビが発生する。このように、結露には、私たちの目に見える壁表面やガラス面で発生する「表面結露」と、目に見えないところで発生する「内部結露」がある。

① 表面結露

室内のしめり空気が飽和温度以下の壁や天井などに触れたとき、水蒸気が水滴に変わって付着する現象である。通常の住宅では、冬になると窓ガラスが最初に露点温度以下になるため、そこに結露が発生する。表面結露の状態が進行していくと、カビが発生し、居住者にとっては機能的にも衛生・健康的にも、すこぶる不都合な現象である。

② 内部結露

室内外の水蒸気圧さによって、壁体や屋根の中を通過する水蒸気が、低温部分でせき止められると結露する現象をいう。内部結露は、冬は室内水蒸気圧の方が外気のそれより高いので、常に室内から外に向かっての湿流が生じる。その流出過程において、低温でしかも湿流を堰き止める力、すなわち透湿抵抗の大きい層があると発生する。従って、内部結露の発生は、断熱を設け、その外気側に外装材が取り付けられている境界面で最も発生する。

断熱材は表面結露を阻止する効果が非常に大きいが、反面、内部結露を発生させる原因になるということに注意が必要である。

２－２－４　夏期結露と冬期結露[12,13]

冬期結露は外気の寒冷による室内側壁、床、屋根、天井の温度低下に対する室内空気の含む水蒸気の飽和によって発生する。あるいは構造体内部での同現象による。
夏期結露は外気の高温高湿変化に対して室内側壁、床、屋根、天井の温度追従性の遅い場合や室内側低温による構造体の外気側温度低下に対する外気の含む水蒸気の飽和、あるいは低温室内に向かって外気水蒸気が流入して飽和する場合に発生する。夏期結露は熱容量が大きく高断熱構造の建物で発生しやすい。一方、冬期結露は一般に断熱性の不足によって生じる。

２－２－５　結露による被害[1,12,13]

結露による被害には様々なものがある。
・家具や建具の膨張
・床の滑り
・カビ・ダニの発生
・腐朽菌による建物の損壊
・コンクリートの劣化
などが挙げられる。それらは建物自体に害をもたらすだけではなく、我々自身の健康にも被害をもたらす。

とくに、近年、高気密高断熱の住宅が増え、住居内に湿気がこもりやすくなっており、カビ･ダニなど住宅に要因があるアレルギーの問題が急増している。住宅はカビにとって、最適な生育環境である。カビの分泌する色素には、赤、黒、青、白などがあり、広く深く浸透し、しみとなる。飛散した胞子は喘息、アレルギー性疾患、肝硬変などの疾病の原因にもなる。

住宅は、ダニにとっても最適な生育・繁殖環境である。また、ダニの栄養分にはカビも含まれている。ダニの繁殖条件としては温度 20～30℃、湿度 60%以上(最適は 60～80%R.H.)である。ダニも、喘息、鼻炎、結膜炎などの原因となる。

カビによる家屋被害でもっとも損害の大きいのは、ナミダダケによる木造床の陥没である。ナミダダケのような腐朽菌は、木材のセルロースやリグニンを栄養分とするため、住宅の主要材料である木材を腐らせ、耐久性を著しく損なう。ナミダダケの生育の最適温度は、16～22℃で、寒冷地の木造床組を好むが、最近では東京付近でも被害が出ている。

結露の発生は、建物の場合、居住者の生活様式と、内外の温湿度環境が複雑に絡み合って生じる。その要因として下の表にあるものが考えられる。

表 2-2-5-1 結露の背景

	建物部位、居住状態	温度あるいは湿気の関係(作用因子)
	鉄筋コンクリートと木造	換気量と透湿量に差異があり、鉄筋コンクリートは絶対温度が平均化する。
	暖房室と非暖房室	暖房室が熱及び水蒸気の流出源となり、非暖房室の温湿度に影響する。
	北側暖房と南側暖房	冬の北風の影響によって結露発生に違いがある。
	暖房器具の種類	水蒸気の発生源になるものとならないものが。ある
	冷熱橋、隅角部	一般平面部より表面温度が低くなる。隅角部は空気がよどむ。
	開口部、サッシ	ガラス、金属部が非常に低い温度になる。室内の気密度に大きな影響がある。
	収納庫、天井裏	空気温度が低くなり、相対湿度が高くなる。
	台所、浴室	水蒸気の発生源になる。
	間仕切り	隣室の温度降下、湿度降下に影響する。
	内装仕上材料	吸放湿のあるなしで表面温度のあらわれ方が異なる。
	家具	置き方によって家具裏面の空気流、熱伝達が異なる。
	居住者の生活環境温湿度	高湿度生活者ほど結露しやすい。
	日射率	冬の洗濯物を室内に干すと湿度が上昇する。
	家族構成	家族の構成と住まい方は全般に影響がある。

2－3　カビについて(3)

2－3－1　カビとは

カビは顕微鏡の助けを借りなければその全貌を見ることはできない。しかし、集落を形成するほど繁殖すると肉眼でも確認でき、またその特有のにおいで存在を知る事もできる。カビは微生物の一つで、正式には真菌と呼ばれる。一口にカビといっても真菌全体を指す場合と糸状菌を指す場合がある。

真菌は糸状菌と酵母に分かれる。建物に発生して私たちを悩ますのはほとんどが糸状菌である。糸状菌は真核細胞からなる菌糸で構成され、光合成色素を持たず、優勢あるいは無性的に繁殖する。糸状菌は普通、胞子から菌糸を基質(建材、食品など)中に伸ばし、糸状でさかんに分枝して栄養体を作る。次に、生殖器に入ると、期中に菌糸をだし、その先端あるいは側面から胞子柄を直立し、その先端に胞子を実らせる。このようにして繁殖したカビはしばしば大集落を形成する。

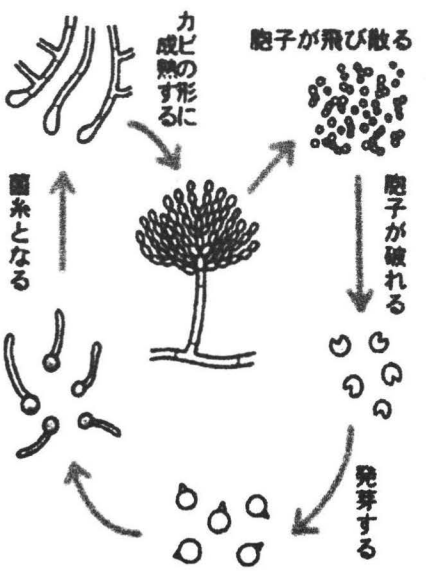


図 2-3-1-1.カビの繁殖

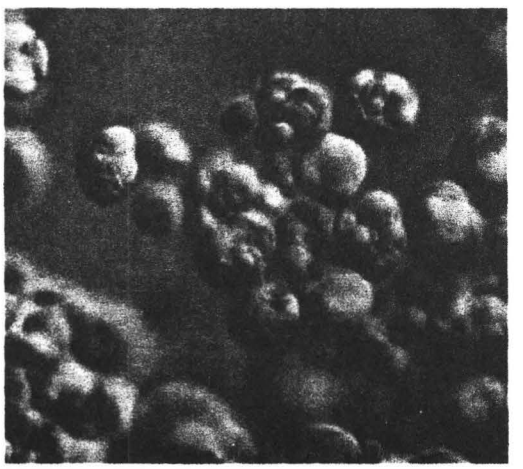


図 2-3-1-2.カビの胞子

2－3－2　カビの生育条件

① 栄養

カビは栄養源となるものに寄生して成長する。特にグルコース、ショ糖などの炭水化物やセルロースに富んだものを好む。またカビ自身からも酵素や酸を出して、水に溶けない金属や繊維を分解して吸収、発育する。よって、食品、木材、畳、布、皮革、ガラス面、タイル面、コンクリート面など住宅の内外のほとんどのものを栄養源とする。また、鉄や銅などの金属、岩石、電子部品、接着剤なども好んで生息する。

② 温度

カビは多くの酵素の相互作用によって代謝を行い生息する。そして書く酵素系は各々異なった適温を持っている。よって、真菌の発育は最低温度で始まり、適温で最も活発になり、ある最高に達すると酵素の本体(タンパク質)が変性して生育は止まってしまう。建物に繁殖する菌の大部分が中温性菌に属し、発育温度は以下に示す通りである。

表 2-3-2-1　カビ・酵母の発育温度(℃)

	最低	最適	最高
中温性菌(カビ)	5～13	25～45	30～52
中温性菌(酵母)	0～5	20～35	30～47

③ 水分

全ての生物の構成要素の中でもっとも多いものは水で、その含水率は60%とわれる。カビも生物だから、当然水分を必要とする。カビは建材中の栄養物を水に溶けた形で自分の体内に取り込んで、次に金体内でそれを再合成して自身に必要な細胞構成物質を作り出す。そして、作り出した物質を必要な場所に運んで菌体を構成する結果、菌糸が成長し続けるのだが、これらの化学反応や作業には全て水の力を借りなければならない。

カビは少しの水分があれば生育する。かなり低い湿度で生育するものもあるが、大部分のカビはジメジメした場所を好む。湿度が60%を超えるとカビ、ダニが発生しやすくなり、80%を超えるとあっという間に増殖するといわれる。

④ 酸素

最近や放線菌には生育に酸素を必要としないいわゆる嫌気性菌が存在する。しかし、カビはその種類により多少の差はあるが、大部分は生育に酸素を必要とするいわゆる好気性菌に属する微生物である。

普通、生育に必要な酸素は常圧の４分の１～８分の１でよいが、濃度が 0.1%以下になると、ごくかぎられた菌種がわずかに生息できるだけになってしまう。

カビが生えている壁面を普通塗装でオーバーコートすれば、カビは蓋をされて酸素の供給が断たれて死んでしまうと考えられがちだ。しかし、塗膜には目に見えないピンホールがたくさんあって、そこを通じで酸素が供給されるし、塗料の成分である樹脂、顔料、添加剤など、カビの栄養となる要素が充分含まれているから、カビの再発を防ぐ事はできない。

⑤ 水素イオンの濃度(ｐH)

カビ・酵母は一般的に微酸性側で発育が良好である。一般にはｐH5.0～6.0 の間だが、時には pH2.0 でも生息できる耐酸性のカビもある。

最近は一般に中性で、pH7.0 が生息に適している点、カビと相違する。しかし、微生物は全般に強アルカリ、または強酸性では発育しない。ｐH の生育上限は細菌もカビもｐH8.0～9.0 までである。

２－３－３　カビによる建物への被害

多くの空中浮遊胞子や菌糸は、新しい地上に落下するが、そこには真菌を含め細菌、藻類、原生動物などの微生物達が一種の動的平衡状態を保っているので、自分だけ繁殖する事ができず、ほんのわずかな数しか、そこで第二の生に入れない。しかし、人工の材料でできている建物の場合は、運良く気温や水分に恵まれさえすれば、別種のカビとの競争があるくらいで、地表のような多くの競合相手がいないので自然界では見られないほどの異常な繁殖を示す事になる。

このことは、しばしば建物の内外装に甚だしい汚染を呈する事になる。

北海道に多く、東京付近にも表れるナミダタケの被害のように、ある日突然、木造床の陥没という構造的被害をもたらす事をはじめ、様々な菌による下地材や仕上げ材等に損傷をもたらし、所有者は予期せぬカビ修繕の負担を負うことになる。

よって、現在では多くの建物に防カビ剤が使用されている。

２－３－４　カビによる人への被害

カビは建物の汚れや建材の劣化・腐朽をもたらすだけでなく、居住者・利用者の病気などの原因にもなる。

カビが体内に侵入するには、２つのプロセスがある。気道や皮膚の傷などから病原菌が侵入して感染症を起こすものと、カビが産出する毒物で汚染された食品の摂取による食中毒である。

感染症で一番多いのは、いわゆる水虫と呼ばれる、トリコフィトン、ミクロスポラム属菌を原因とする皮膚疾患である。原因菌は患者の家の畳、カーペット、足ふき、スリッパから検出されている。

次に患者が多いのは、アレルギー性気管支喘息と鼻炎である。これらの疾病の原因となる吸入性アレルゲンの筆頭は家庭塵とチリダニ科のダニの死骸と糞であるが、カビの胞子も花粉と共に第二位を占める。住宅等から検出されるカビのほとんどが原因菌といえる。

さらに内臓真菌症と総称されるカビの病気もある。これは抗生物質や制癌剤を使い続けてからだの抵抗力を弱めている人に、平素にはああ無害な菌が侵入して死に追い込む恐ろしい病気である。内臓真菌症の院内感染例もあることから、病院、住宅でのカビは馬鹿にできない。

また、ダニはカビと生育条件が似ており、カビを餌とするものもいるので、カビが住宅内に発生すれば、ダニも生息しやすくなる。カビを退治すればダニは激減するから、住宅からカビを退治する事は重要である。

２－３－５　防カビ設計

ａ．カビ防止の物理的手法

①　室内の全ての空間において空気調和機により相対湿度 60%未満を常時保持する事によってカビ発生を防止する。

②　建物壁面の内外の温度差により生じる結露を断熱処理等により解消する。

ｂ．カビ防止の科学的手法

①　建物の構成材・下地建材および仕上げ剤の種類を問わず抗菌性の高いカビ剤を配合した防カビ建材により、カビ発生を防止する。

第三章　防露計算の手法

3－1　定常計算と非定常計算

一般に物体間の伝熱は輻射・対流・伝導現象がそれぞれ単独に起こることはまれで、相互に相伴って生ずるものである。この伝熱において、時間に無関係の場合、すなわち物体中の温度分布は場所によって異なるが時間的に一定の場合を定常状態、時間的に変化する場合を非定常または不定常状態にあるという。

壁体の熱伝導は不定常的に行われるのが実状である。それには2つの理由がある。1つは、壁体に熱的作用を及ぼす気温や日射などが一定値でなく、時間と共に変動することである。他の理由は、壁体を構成する材料自体の熱的特性と、それらの構成による壁体としての熱的特性(原因に対する反応の仕方)に基づくものである。同様に湿気伝導も非定常である。

今まで本研究室ではこれを無視した定常熱伝導の計算が行われてきた[3,15]。なぜならば、非定常計算は計算式が複雑で物性値などの入手が困難なのに比べて、定常計算は明確で容易であり、基本的なものであるためである。

過去の論文等で、定常計算は結露発生の目安としては有効であるが、時間を追った非定常実験では測定値と計算値にずれが生じ、非定常計算による防露計算の必要性が言われている[16,17]。

3－2　非定常計算プログラム

現在のところ、防露性能を評価できる非定常計算プログラムは日本では各研究者が個人的に研究する用途でしか存在しないようである。そこで、本研究ではドイツFraunhofer 研究所製の汎用プログラム“WUFI : Wärme und Feuchetransports in Bauteilen ”(建物における温湿度の輸送解析プログラム)を用いて一次元非定常解析を行う。

3－3　WUFI の概要

3－3－1　WUFI の特徴

WUFI は現在多くのプログラムが抱えている問題点、例えば、①建材の毛細管湿気輸送や吸湿容量が考慮されず、実際よりも結露しやすい結果となりやすい、②過度に簡略化された境界条件下での定常計算であるので、短時間に生じた外部環境の変化や風雨および日射の影響が考慮されない、などを解決している。

WUFI は十歳の外気条件の下で、多層構造の建物の熱及び湿気の輸送をより実際の現象に即した計算を行えるソフトである。そのために、建物における湿気の拡散及び流体輸送に関する最新の知識を用いて作成されている。

WUFI は、建物構造の改善および開発に有用なツールであり、以下のような計算が行われる。

- 建物表面の結露
- 風雨の建物外皮への影響
- 建物内部結露の危険性
- 改築及び改修手段の効果
- 異なる気候区域における様々な屋根または壁構造を有する建物の温湿度性状

3－3－2　モデル作成の概要

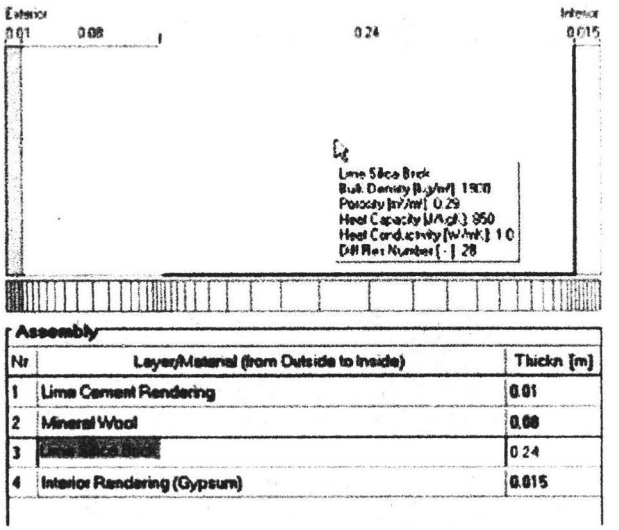


図 3-3-2-1　WUFI でのモデル作成

①壁体を構成する各層の厚さと建材の物性を入力する。各層ごとのグリットも設定する。また、温湿度変化を知りたい地点には、温湿度計の設定を行う。

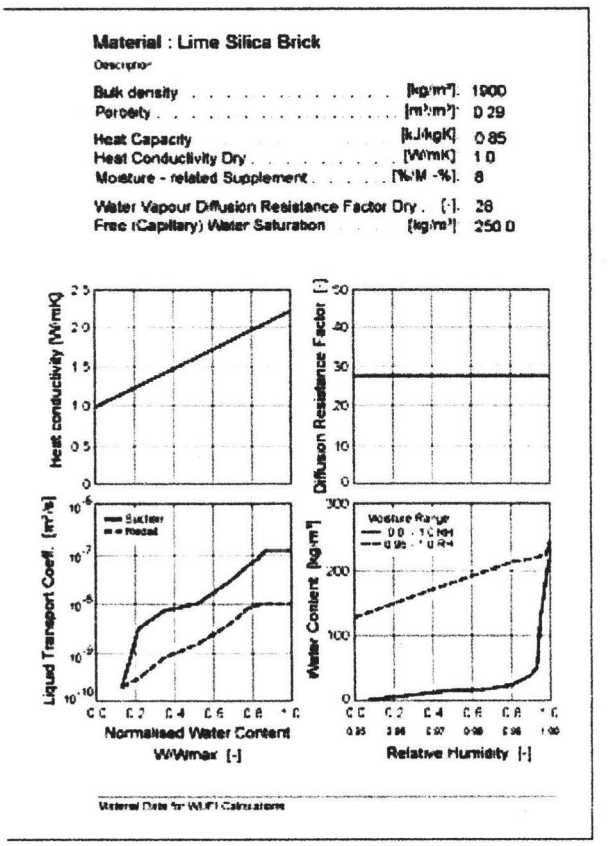
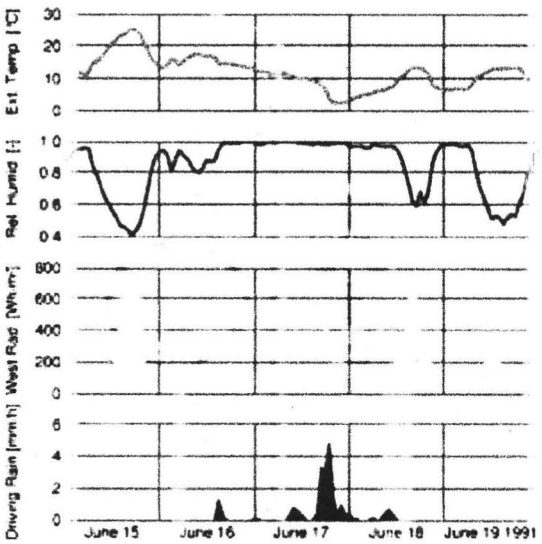


図 3-3-2-2　WUFI データベース中
建材物性値例

①'WUFIによるシミュレーションには最低でも、密度、空隙率、比熱、乾燥時の熱伝導率、乾燥時の拡散抵抗係数、と５つの物性値が必要である。各建材の物性値は WUFI のデータベースに入力されている。



②気象データを入力する。室内外の温度、相対湿度、雨量と日射量が必要である。これらは、最近の気象データをまとめたものが入力されている。ドイツ、北アメリカのものは WUFI の気象データに入力されているが、それ以外の地域を対象にしたシミュレーションを行う場合はデータの作成をする必要がある。建物の勾配や方角も設定する。

図 3-3-2-3　WUFI 気象データ例

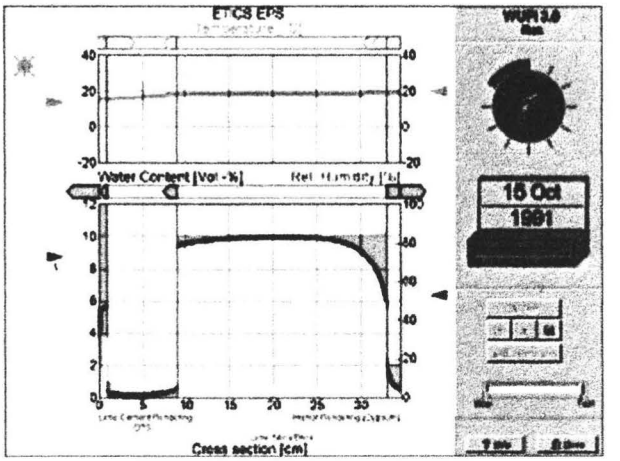
3－3－3　熱及び湿気の輸送方程式

基本となる熱及び湿気の輸送方程式を（1）（2）に示す。

$$\frac{\partial H}{\partial \vartheta}\frac{\partial \vartheta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right)+h_v\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\delta}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right) \qquad \cdots\text{熱移動(1)}$$

$$\rho_w\frac{\partial u}{\partial \varphi}\cdot\frac{\partial \varphi}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_w D_w\frac{\partial u}{\partial \varphi}\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\delta}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right) \qquad \cdots\text{湿気移動(2)}$$

D_w [m²/s]	湿気の伝達係数
H [J/m³]	水蒸気のエンタルピー
h_v [J/kg]	水の蒸発エンタルピー
p [Pa]	水蒸気分圧
u [m³/m³]	水定数
δ [kg/msPa]	水蒸気拡散定数
ϑ [℃]	温度
λ [W/mK]	湿った建材の熱伝導率
μ [-]	乾いた建材の水蒸気拡散抵抗係数
ρ_w [kg/m³]	水の密度
φ [-]	相対湿度



WUFI ではシミュレーション実行中にも随時壁体内の温湿度の変化が画面で観察できる。

図 3-3-3-3　WUFI 計算中の例

3－3－4　WUFI の妥当性に関する研究

WUFI の妥当性に関する研究はフラウンフォーファー建築物理学研究所のホルツキルフェン研究所にある実験室で行われている。この実験室では建材や建物の構造中の熱や湿気の挙動を把握するための実験が行われている。これらの実験は長期にわたって行われている。WUFI によるシミュレーション結果は、ここでの実験結果と照らし合わせて補正をした後、さらなる研究に用いられている。

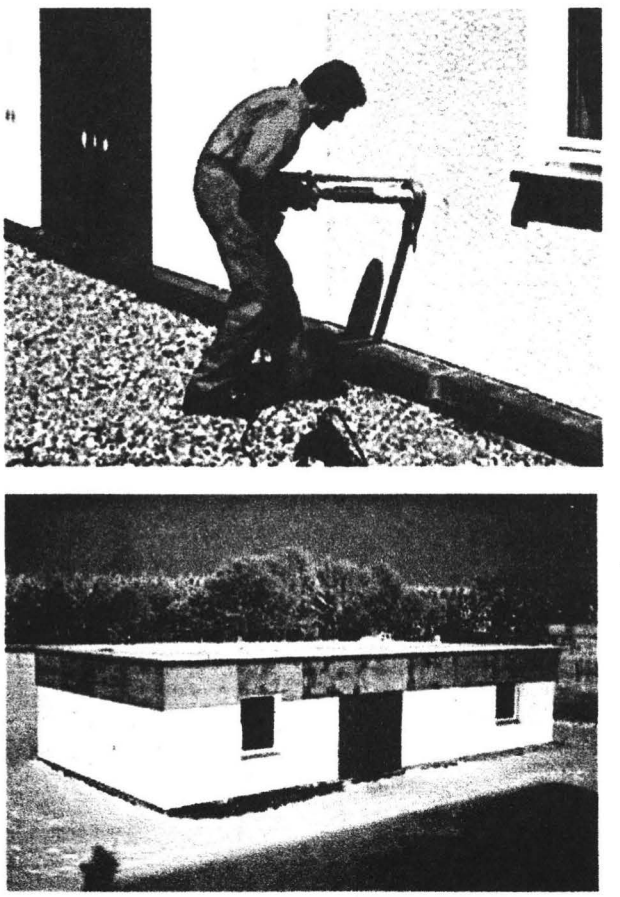


図 3-3-4-1　ホルツキルフェンの実験室

第四章　WUFIについて

ここでは、WUFIと熱湿気の同時輸送についての基本知識としてドイツFraunhofer研究所のホームページ http://www.wufi.de/index_e.html から、Overview of WUFIの項の翻訳を記載する。

1.　序論

“建材中の湿気輸送”という議題は、研究者に蒸気拡散、露点、グラザー法（ドイツ工業規格DIN4108.）というものを思い起こさせるだろう。今までは、建物の要素は“グラザーに従っていれば安全だ”と言えば間に合った。しかし、その水準は高いものではない。

湿気による害が予期せず起こったり、建築物が実際はグラザーによる評価とは違った結果になる事がわかり、新たな評価方法の必要性が生じた。グラザーによって研究がなされた冬期の湿気輸送による建材中結露は、定常状態を仮定しているので、建材中の湿気の動き方のひとつの可能性でしかない。DIN4108では、緩い評価によると凝縮していない湿気は安全であるということになっている。また、例えば室内空気の対流、降水、湿度の上昇など、起こりうる湿気の移動のプロセスはたいてい考慮されていない。建物中の湿気についても同じく考慮されていないので(ある日の一時の気圧だけで議論をしている事から)、実際の被害は多くなるばかりだ。これらのことから、クラザーによる単純な定常状態での評価は、建材中の湿度移動の現実的なシミュレーションには適さないと言える。最後に、非定常のシミュレーションは発展してきており、近年実験的にも妥当性が立証されている。そして、研究者の間でも信頼性を得つつある。また、今はDIN4108-3でも非定常シミュレーションは承認されている。

以下、湿度の上昇によって何が生じるか、また水蒸気圧の相互作用について述べる。そして、建材中の水分移動について基本的な物理現象を説明する。その後、気象データや建材の物性値の必要性について分析し、一般的な例を元に非定常シミュレーションソフトWUFIの計算の正確さを議論する。

1.　建材中の湿気の及ぼす影響

建物の構造や建材の使用適正、耐久性は、湿気と関係が深い。それは例えば以下のような点においてである。

- 断熱効果の減少
- 埃によるよごれや藻、コケの成長を促進する
- 湿度変化や塩の結晶化によって機械的な膨張・収縮の力が加わる

・ 建材中の湿度が上昇することで、建材の凍結や腐敗、腐食の被害がおこる
・ 早く乾燥しすぎる
・ コンクリートの乾燥が遅すぎて、スクリードトッピングの完成が遅れる

2．1湿気による熱損失

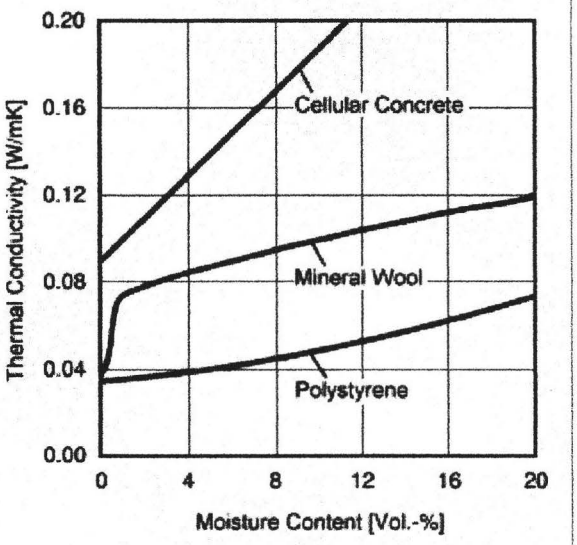


Fig. 1: The effect of moisture on the measured thermal conductivity of building materials

建物内の熱と湿気の移動プロセスは結びつきが強い。このことは建物の断熱構造への湿気の影響を見れば明らかだ。Ｆｉｇ.１は３種類の建材の熱伝導率が含水率の上昇に伴ってどう変化するかを示している(1)。

図中の細胞コンクリートのような無機材料の熱伝導率は、含水率に伴って直線的に上昇しているのに対して、ポリスチレンフォームの熱伝導率はわずかに上昇している程度である。驚くことに、ミネラルウールの熱伝導率を上昇させるのに必要な含水率はとても少ない。これは、物質中に温度勾配が生じたとき、水蒸気拡散によって、著しい湿気の再分配が行われたためだ。これらが暖かく保護された器具の中で計測しているときに、いわゆる非定常の潜熱(水分の移相による)が発生したということだ。潜熱の効果はふつう短い期間であり断熱材の本当の熱伝導率とは関係がない。潜熱の効果は断熱層と隣接した物質に強く依存しているので、断熱材自身の特性ではない(2)。それゆえ、このように決定されたミネラルウールの熱伝導率は、Ｆｉｇ.１は非定常計算のための物性値とは異なるし、定常計算の U-factor を決定するのにも適さない。もし適当な予防措置を取ることができるならば、ミネラルウールの本当の熱伝導率は、保護された暖かい器具

の中で決定できる。潜熱の効果を除外できれば、ミネラルウールの熱伝導率の湿度依存はＦｉｇ.１のポリスチレンフォームと似ていることが立証できるだろう。同じような傾向は他の透水性の断熱材にも見られる。

２．２水分の流れによる圧力

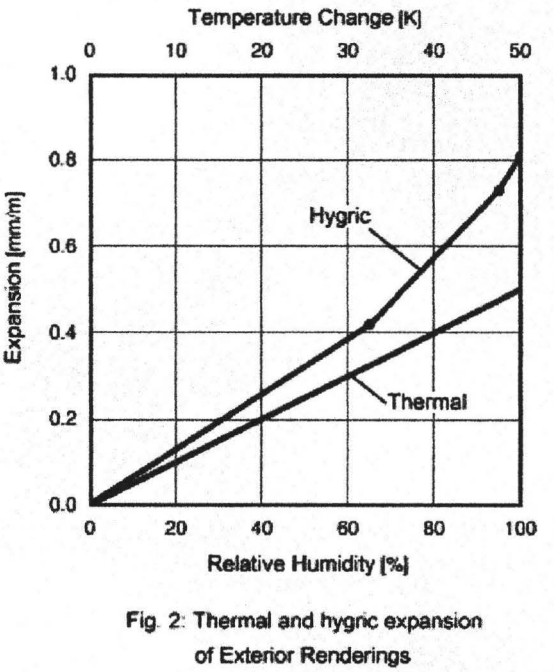


Fig. 2: Thermal and hygric expansion of Exterior Renderings

非定常状態での熱と湿気の連動の特徴をひとつ挙げると、熱と湿気の拡散による機械的な負荷とその内部圧力の結果起こる、断熱壁体への圧力である。一日の中で、外壁は温度 40K、湿度 80%位の幅で変動する。Ｆｉｇ２はそのように温湿度が変動する状況での熱と水分の拡散の変化を表している。この値は研究所で 20 以上のメーカーの製品を計測した結果の平均値である。先ほどの温湿度条件とそれに曝された壁を照らし合わせると、温度変化によって 0.4 ㎜/m、湿度変化によるものも併せると 0.7 ㎜/m以上の拡散の変化が生じる事になる（拡散が自由に起こった場合)。しかし、温度が上昇すると壁の下地は乾燥するので、拡散の変化は打ち消しあうこともある。つまり、いずれ水分蒸発によって熱の拡散はつじつまが合うということだ。壁の下地は自由に動くことができないので、拡散は内部圧力やクラックや下地のベースからの剥離という形となる。

また、熱と水分の相互作用によって起こる被害に凍結と塩害がある。ある相対湿度を下回ると、塩は凝固する。逆に、凝固点を上回れば円は周りの水蒸気を吸収し再び解ける。もしも壁体の空隙に塩が存在すれば、この現象は空隙でも起こる。狭い空隙では凝

固に対して抵抗が生じ、かなりの圧力が生じる。そのため、湿度の変化は壁材をもろくしてしまう。このプロセスは塩の溶解度次第で、壁体の表面や数ミリ内側、数センチ内側で起こる。そして表面が崩れやすくなったり、壁体内部は不安定になったりする。また、氷の粒は塩の粒と同じように作用するので、凍結の被害も塩の被害と同じように起こる。凍結の際、決定的なファクターは0℃付近で温度が変動することと水分がたくさんあることだ。

以上、熱と湿度の相互作用が建物の耐久性にもたらす影響と建物の材料と構造の適した用い方を示した。それらから解るように、壁体内で熱と湿気がどのように動いているかを正確に知ることは、望ましい、ではなく絶対に必要なことなのだ。今まで使われてきた、水蒸気拡散にのみ依存した計算方法（グラスラー法のように）では壁体内の様子を例外的なケースのみでしか把握できない。一方、実際の気象条件下でのすべての輸送メカニズムを含めた非定常コンピュータシミュレーションはついに完成し、実際に計算が正しいことが証明されている。そして、これは建物のあらゆる部位において適用している。以下の文章はこれらの背景を元に読んでいただきたい。

３．湿気の貯蔵と輸送のメカニズム

この建物における非定常での熱と湿気の輸送プログラムを使用するには、建材の熱と湿気の貯蔵と輸送に関する特性に関して、基本的な知識が必要だ。熱の貯蔵と熱伝導はよく知られている。また、水蒸気拡散（潜熱の効果）による熱の移動は湿気の輸送という理解で取り扱われている。以下の議論は湿気に関する現象のみを取り扱っている。氷結、解凍のサイクル（それは融解の潜熱と氷の熱的特性によって決定される）の詳細な分析は(2)を参照してください。

３．１湿気の貯蔵

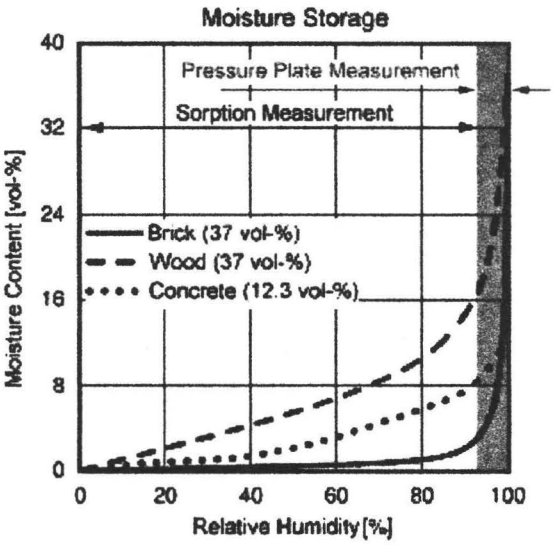


Fig. 3: Typical moisture storage functions for weakly (brick), moderately (concrete) and strongly (wood) hygroscopic building materials. The free saturation of each material is indicated in parentheses. It lies in the capillary moisture region and is thus independent of sorption.

建材には湿気を吸収するものとそうでないものがある。湿気を吸収する建材は乾燥させたものを置いておくと空中から湿気を吸収し、周りの環境に対して水分平衡になる。水蒸気の吸収は主に周囲の相対湿度に依存しており、温度の影響はあまり受けない。よって、湿気の貯蔵に関しては、その建材特有の吸収グラフ（周囲相対湿度との比較）によって表現するのがよい。

図３は、吸湿性の違う３種類の建材の吸収グラフ（等温状態）である。このグラフは実験室に様々な湿度環境を用意し、その中で平衡状態に達した試験体を測定したものだ。相対湿度は最高で約９５％まで上昇した。なぜ９５％かというと、多くの実験室では試

験体上に結露を生じさせずに高湿状態をコントロールするのが非常に難しいからだ。相対湿度がもっと上昇して飽和状態まで達したら、そこはいわゆる毛細水領域であり、圧力プレート器((６)に記載)によって測定しなければならない。圧力プレート器による測定の方法は、まず水中に試験体を沈める。そして、試験体に徐々に高い気圧をかけていく(１００bar ずつ上昇させる)。各々の気圧のレベルごとに試験体は平衡に達する。この実験によって毛細水の湿気貯蔵機能が明らかになり(図３の青い色の部分)、そのグラフは実験室の実験で計測された等温グラフとなだらかに繋がっている。レンガのように空隙が荒い建材では、吸湿領域よりも毛細水領域の方が大きいので圧力プレート器での実験は細部の分析に不可欠である。一方、コンクリートのように空隙が細かい建材は相対湿度９３％で既に含水率がかなり高く、ほぼ正確に毛細水領域・飽和状態の予測ができる。木材や木材を加工した建材も同じく吸湿領域で多くの水分を吸収しているので、飽和状態までの予測は十分できると考えてよい。ガラスや金属、プラスチックなどの吸湿性のない物質は温度が露点に達しない限り、水分は溜まらない。たとえ周囲が相対湿度１００％になってもそれらの物質は完全に乾燥している。

３．２湿気の輸送

多孔性の建材の主な湿気輸送メカニズムは水蒸気拡散、表面拡散と毛細管伝導だ。空隙が固まっていない建材(例えばプラスチック)では、水分子が高分子の中に無理やり入っているので、いわゆる流体拡散が起こっている。経験から、この種の拡散は周囲の湿度に依存した拡散抵抗値を用いた水蒸気拡散によって支配されている(一方、通常の水蒸気拡散抵抗は湿度とは無関係だ)。

また、物質内のまだ飽和していない空隙の引力によって水分が浸透していく現象や、水分子が電場や浸透圧の影響を受けて移動する現象など、納得のいく十分な計算方法がまだないものもある。しかし、これらは例外のケースに含まれるものであるので、ここではこれ以上言及しない。例えば、室内側と室内側の圧力の差から建物の中に満ちている湿った空気など、対流の影響は無視されやすい。気密性は建物の重要な性能であるので、対流は欠陥のある部分か構造が適さなかった場所にのみ予期せず起こるものだ。だから、事前に定量するのは難しく、現実的には三次元の流体シミュレーションによってのみ知ることができる。

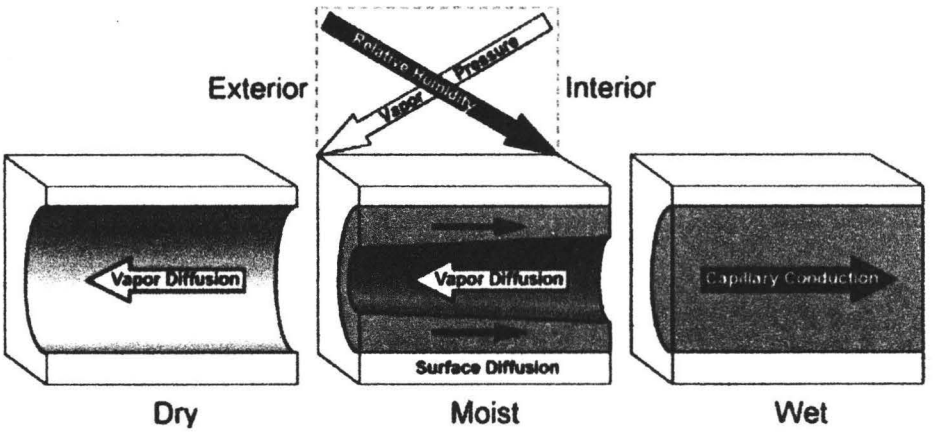


Fig. 4: Moisture transport phenomena in the pores of a massive exterior wall in winter, for different levels of moisture content

上述した湿気輸送の主なメカニズムを建材中の毛管を例にして **Fig. 4** に示した。毛細管の両側では、実際には室外側と屋内側の水分がぶつかり合っていると思われる。つまり、水蒸気圧は室内側に多く、相対湿度は屋外側に多い。建材が乾いているときは、水蒸気が水蒸気圧の高い方から低い方へ、つまり室内側から屋外側に広がっているのだ。

建材が十分湿っているときは、壁に吸収された水分が通常の空気中に水蒸気拡散現象と一緒になって、いわゆる表面拡散と言われるものになる（相対湿度が 60%を超えると吸収された水分が流動し始める)。吸収された水分子は、水分の多いところから水分の少ないところへ移動し、その流れは相対湿度に伴って大きくなる。このことは、(6)に記載されている。つまり、表面拡散に影響を与えている変数は相対湿度であり、水蒸気圧ではないということだ。それゆえ、今言っている境界条件下では、水蒸気拡散と表面拡散が異なった方向へ向かっていることになる。表面拡散は気体相の蒸気移動ではなく、流体移動とみなすべきである。

しかしながら、表面拡散と水蒸気拡散を結び付けて考えるのは習慣的となっている（例えば、DIN 52615 透湿カップによる μ-factor 計測の実験)。この手段による計測では、壁に明らかな温度差がない限り、２種類の移動現象の区別が明らかになるだろう。

物質中の毛細管の湿気は、例えば豪雨の中では溢れ出し、毛細管伝導が始まる。毛細管伝導は、最も効率のよい湿気輸送だ。ここで働いている力は毛細管張力である。毛細管張力は水と空隙中の空気の間に働く表面張力が原因で生じるものだ。毛細管張力と空

隙中の湿気平衡には関係がある。つまり、液体相で働いている力は気体層での相対湿度に対応するのだ。このように、毛細管での現象には毛細管圧力の代わりに相対湿度を使うことができる。

また、水蒸気拡散の方向と液体輸送の方向が違っていることがある。水蒸気拡散は普通、暖かい方から冷たい方へ起こるのに対して、流体輸送は乾燥している方向へ向かい、温度とは関係ない。冬に湿気が凝縮して無機材料を流れていくものとして研究者に知られているこの現象は、正確にシミュレーションモデルの中に組み込まれている。これは何を意味するかというと、違った方向に働く力は水蒸気拡散と流体移動に帰属しているということだ。水蒸気圧（拡散にかかる力）は二つの値によって決定される。

4．物質の温湿度特性

コンピュータシミュレーションの結果は物質の変数を当てはめる事に過ぎない。物質のデータに信頼が置けないために現代の計算モデルは長年受け入れられなかったので、ここでは変数が様々な種類の調査に必要とされていることについて述べる。一般的に、以下の物質特性は温度関係の定常計算をする上で必要だ；

- 乾燥した物質の密度　rho
- 比熱　c
- 熱伝導率　lambda

もし、物質内の湿気の U-factor への効果が定量化されれば、熱伝導率は含水率をあらわすものとしての機能を持つはずだ。適当なデータは(1)及び WUFI の物質データベースにある。一方、水分の挙動にのみ注目した調査ならば、既に水分に関する変数として用いられている熱伝導率 lambda を使用することで十分対応できる。必要な熱的特性の値はたいてい全てＤＩＮ4108-4 に記載されている。

全ての物質を分析する上で(非定常状態を含めて)必要な湿度に関する変数は、

- 水蒸気拡散抵抗　μ
- 空隙率(含水率の最大値 wmax から求める)

多くの建材のμの値は DIN 4108-4 に掲載されている。空隙率は密度(質量/試験体の体積)と真の密度(質量/その物質が占めている体積)から求められるし、含水率の最大値からも求められる。ただしそれは空隙中に水蒸気か水を満たす事ができる物質の場合のみに使える方法だ。しかし、今のところその値は吸着と流体移動を考慮していないシミュレーション(非定常状態におけるグラスラー法のようなもの)によってのみ得る事ができる。

湿気を吸収する様子や毛管水の様子を正確に知るためには、Ｆｉｇ３の湿気貯蔵機能やＦｉｇ５の湿度に依存する流体移動係数も必要である。また、これらの係数は各々のプロセスによる違いを考慮する事も重要だ。なぜかと言うと、毛細管が水を吸収する速度は毛細管が水を再分配したり乾燥したりする速度よりもずっと速いからだ。

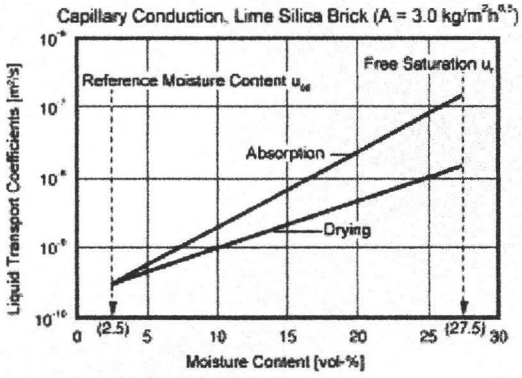


Fig. 5: Liquid transport coefficients for absorption by capillary suction as well as drying and redistribution without wetted surface, estimated from the A-value with WUFI's approximation method. The coefficients increase exponentially with the water content. In most building materials no appreciable liquid transport occurs below the reference moisture content.

様々な建材の湿気に関する変数や毛細管の機能は、様々なデータベースから利用できる(例、ＷＵＦＩのデータベース)。湿気貯蔵機能や流体移動係数の計測はコストも幾らかかかるし、とても骨が折れる作業であるので、研究者が計測するのは困難な事だ。そのため、多くの場合、物質性能の既知値から概算するという方法が使われている。例えば、壁体層において毛管水の存在する物質の層が、直接他の層と接触を持っていない場合、または接触しても長期にわたって湿気を伝達しない場合(つまり感知できる量の毛管水の移動がなかった場合)を考える。そのとき、例えば相対湿度 80%時の含水率の値を引用する(DIN 52620 からの平衡含水率の引用)事で湿気貯蔵機能のほぼ正確な計算結果を得られる。また、ＷＵＦＩの実行によって飽和量も得られる。

同様に、流体移動係数もＷＵＦＩの計算方法で A-value(DIN 52617 で定義されている水分吸収係数)から概算される。このように、吸水性があり毛管水のある物質の挙動を多くの実用的なアプリケーションを使うのに十分な程度、数値化できる(DIN 4108-4 から以下の変数を引用する)。

- 含水率　u80
- 飽和含水率　uf
- 湿気吸収係数　A-value

飽和含水率はA-valueの測定の過程で試験体を通過した水分の量から計算した。

建材の性能は建材製作の過程や製作者によって左右される。だから、ある程度変数の計算に偏差を持たせ(偏差の幅の目安がDIN 4108-4に記載されている)、計算結果にその偏差の効果を記載する必要がある。ある用途にとって、その変数が取るに足らないようなものであったら、それは正確に計算する必要はない。一方、その変数が結果の解釈を決定付けるようなものであったら、標準的なデータや文献からの採用では不適切であり、変数の正確な測定方法が必要となる。

５．気象と表面移動の状態

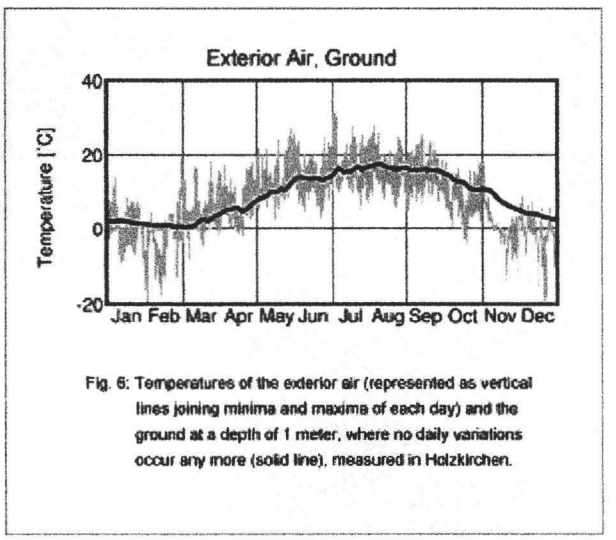


Fig. 6: Temperatures of the exterior air (represented as vertical lines joining minima and maxima of each day) and the ground at a depth of 1 meter, where no daily variations occur any more (solid line), measured in Holzkirchen.

壁の表面を通して、全ての建物は周囲の環境と相互作用を受けている。つまり、周辺環境は壁体に影響を及ぼし、例えば、壁体の熱を放散したり室内空気の湿気を緩衝したりする事で、壁体は周辺環境に影響を及ぼしている。このことを確認するためには壁体と環境の境界線の状況を明らかにしなければならない。基本的には、３種類の境界の状況を区別して考えるべきだ。ひとつは建物の外側の地上の状況、二つ目は建物の外側の地下の状況、もう一つは室内の状況だ。３つの状況は全て異なった状態で温度湿度の交換を行っているので(対流・放射・伝導・拡散)、それぞれの場合で違った計算方法を用いなければならない。

５．１室外の気候

建物に影響を及ぼす気象条件には、気温、相対湿度、日射量、降水量がある。日射量と降水量は建物の傾きと方位によって変わってくるので、その建物ごとに計算しなけれ

ばならない。さらに、風速と風向も流れる風の状況を把握するためには必要だ。長い波長の放射があるのならば、地面と空気の放射率も必要である。

気象条件の変化は細かい間隔で必要である(気温の変化をＦｉｇ６．に記載した)。熱と水分のシミュレーションには一時間ごとのデータが適当である(7)。例えば、一時間ごとの気象データは the German Test Reference Years (TRY) of the Deutscher Wetterdienst (旧西ドイツの 12 地方の気象平均)のものが利用できる。しかし、湿度は気象平均で済まされるものではない。最もよくない湿度の状態というのは、とても寒い年かとても暑い年だと考えられる(冬期結露と夏期結露の為)。このような理由から、Holzkirchen の多くの気象データの中から最近の１０年で最も寒かった年と最も暑かった年のデータを採用した。Hygrothermal Reference Years (HRY)はダウンロードできる。

５．２地下の温湿度環境

地下では、外気温の変動が湿気を帯びて伝わる。Ｆｉｇ６．は 1999 年に測定した地下１ｍの地点の温度変化と外気温変化を比較したものだ。この深さでは、湿度の日内変動もほとんどない。だから、外気温の変動に伴った地下の湿度の変動は秋と春に顕著である。測定データには降水量のデータを含んでいる(雨水や地面に染み込む溶けた雪など)。測定は建物から距離のあるところで行われているので、建物(地面に熱を放っている)の近くの地面はもっと温度が高いかもしれない。植物が生育している地面の相対湿度は 99%か 100%だ。なぜなら、植物は相対湿度の低いところから水分を吸い上げる事ができないからだ。このことは、根っこがある層(温度のレベルが違っていても)には当てはまる。

５．３室内の気候

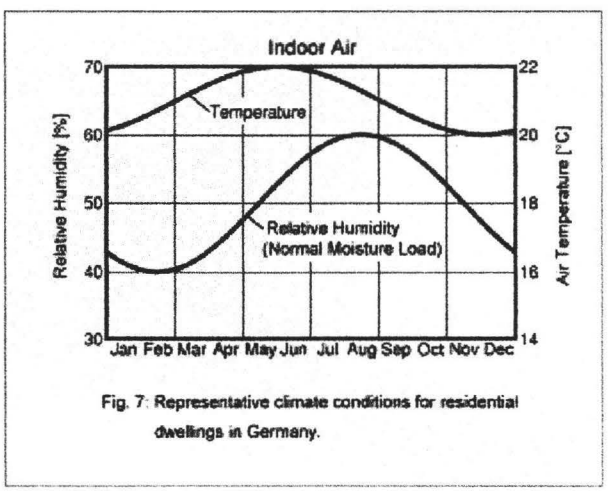


Fig. 7: Representative climate conditions for residential dwellings in Germany.

DIN 4108-3 に記載されている、水分の蒸発期間と結露期間の一定条件は建物内の拡散プロセスを適正に評価するには充分である。しかし、一年を通じたシミュレーションをする上では十分な代表値であるとはいえない。
住居の測定によると、室内と屋外で湿度に差がある場合、一月スパンでの室内湿度は屋外の温度に従属して減少する事がわかった。これは居住者が暖かい時は窓を開放することが原因だ。居住者の習慣と建物の気密性によって、冬期の室内絶対湿度は 2 g/m³～6 g/m³である。ドイツの平均的な屋外絶対湿度 4 g/m³における、室内の気温と相対湿度の推移を **Fig. 7** に示した。室内の気候とは台所やバスルームも含めた居住地域の状態を指す。湿度の低い寝室や事務所は調査中だ。これ以上詳細な室内環境は知られていないし、利用できる測定値もないので、この室内気象条件を利用するのが適当であろう。

5．4表面の移動

屋外の気候は室内の気候と同様に壁体付近の空気を媒介して、壁体表面に影響を及ぼしている。この壁体付近の空気層は熱と水分の移動(各々の表面移動係数による)のに対する抵抗を表している。一般的に、壁体中での対流の様子を細かくモデル化することは必要ない。なぜならば、移動抵抗は各々の層の抵抗に比べて小さいからだ。それゆえに、多くの場合、**table 1** に示した屋外室内の熱・水蒸気移動係数で十分だ。

熱移動係数は、長波長放射の交換も含む。これは対流と放射の熱流が同じ方向に流れている場合にのみ有効である。夜間、放射によって高断熱の建物の表面温度が周囲の温度を下回ったとき、これはもはや仮定外なのだ。それゆえ、夜間の壁体結露のシミュレーションを行う場合には、長波長の放射率の実験結果と比較しながら、表面移動係数などの適当な補正を行わなければならない。

	Surface Transfer Coefficients:	
Component Surface:	Heat Transfer alpha [W/m²K]	Water Vapor Transfer beta_p [kg/m²sPa]
exterior	17	$75 * 10^{-9}$
interior	8	$25 * 10^{-9}$

Table 1:

Average surface transfer coefficients for calculating the heat and moisture exchange between exterior or interior component surfaces and the environment.

日射量と降水量の壁体への影響は熱と水分を元に考えるのが一番よい。表面の色に依存する（壁体への短波長の放射の影響）エネルギーの吸収は熱と変換される。エネルギーの吸収係数は白い外壁など明るい表面の場合、約 0.4、塗装された木材やレンガ、屋根のタイル、アスファルトシートなど暗い表面の場合、0.6～0.8 である。

吸収係数は横殴りの雨にも対応する。なぜなら、壁表面に残って吸収されるのは雨の一部だけで、あとは壁面に当たって跳ねかえったり、壁面を垂れるからだ。実験によって、雨水の吸収係数はたいてい 0.7 くらいが適当だとされる。

6．計算モデル

いろいろな国で熱・水分同時移動シミュレーションモデルに関する研究が多くなされてきた(10)。以下、PC プログラム「WUFI」に関して述べる(2)。このモデルでは、以下２つの方程式によって建物内の熱と水分の移動プロセスを計算している。

$$\frac{\partial H}{\partial \vartheta}\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x}\right) + h_v \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\delta}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right) \qquad \text{Heat transport}$$

$$\rho_w \frac{\partial u}{\partial \varphi}\cdot\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho_w D_w \frac{\partial u}{\partial \varphi}\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\delta}{\mu}\frac{\partial p}{\partial x}\right) \qquad \text{Moisture transport}$$

D_w [m²/s]	Liquid transport coefficient
H [J/m³]	Enthalpy of moist building material
h_v [J/kg]	Evaporation enthalpy of water
p [Pa]	Water vapor partial pressure
u [m³/m³]	Water content
δ [kg/msPa]	Water vapor diffusion coefficient in air
ϑ [°C]	Temperature
λ [W/mK]	Heat conductivity of moist material
μ [-]	Vapor diffusion resistance factor of dry material
ρ_w [kg/m³]	Density of water
φ [-]	Relative humidity

両方程式の左側は貯蔵を表している。熱の貯蔵量は乾燥した物質の熱容量と湿気を含んだ物質の熱容量からなる。湿気の貯蔵量は前に記載した湿気貯蔵係数に関する微分で表される。

右側は移動を表している。熱移動は湿気依存の熱伝導と蒸発エンタルピーを合わせたものだ。蒸発エンタルピーによる熱の移動は、ある場所で蒸発が起こり、潜熱が奪われる、するとその潜熱は別の場所で拡散するという流れで起こる。このような熱の移動は

潜熱の影響 latent heat effect といわれる。

水分の移動(相対湿度の差による表面拡散や毛管水拡散)は比較的温度の影響が小さい。一方で、水蒸気拡散は温度の影響を強く受けている。なぜなら、飽和水蒸気圧は温度に強く依存しているからだ。

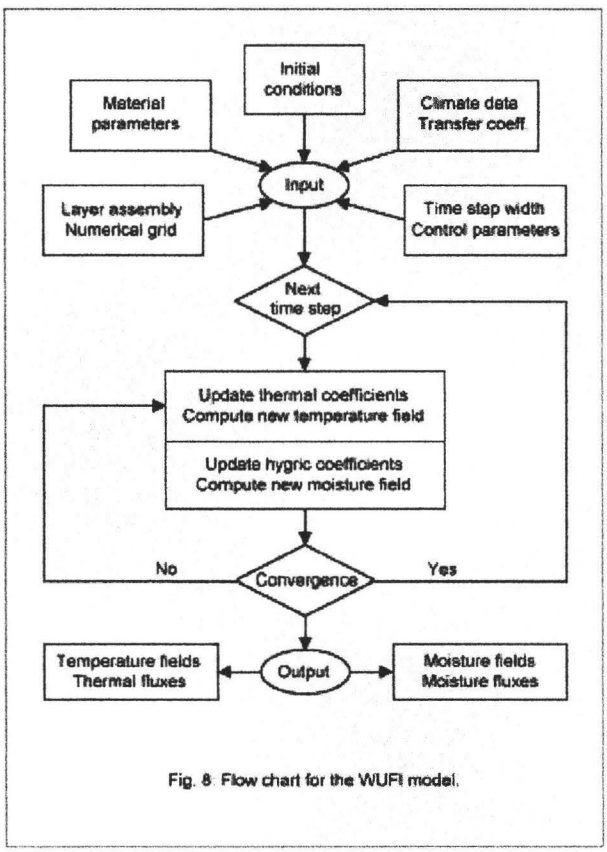


Fig. 8: Flow chart for the WUFI model.

この方程式は means of an implicit finite volume method と **Fig. 8** のフローチャートによって解かれる。解の正確さは区切ったマス目の大きさや時間の区切り方、収束の基準の選択によって決まる。普通、シミュレーションによる計算結果が間違っていることはないので、数学的なパラメータは物理的なパラメータ(材料の物性値や気候)に比べて軽く扱われる事が多い。ユーザーのミスやサーバーの収束のミスを防ぐためにもシミュレーション結果は批判的に評価しなければならない。収束のエラーは湿気の流れと壁体中の水分量を比較することによって WUFI が指摘する。入力ミスや物性値の間違いはユーザーがチェックするしかない。

7、まとめ

非定常の熱及び湿気輸送シミュレーションから、研究者は熱移動に関する情報だけではなく、多くの有益なものを得られるだろう。自然の気象条件下での建物の熱と湿気の動きを探るための新しい可能性

- 加熱過程における凝固水のふるまいや水蒸気が壁体に吸収される様子、毛管水の移動の様子
- 壁体中の湿気が乾く様子
- 夏期の逆転結露現象
- 外壁や屋根に対する日射や雨や表面結露
- エネルギー消費と湿気の関係

空間的・時間的にユーザーの好きなように設定して、建物中の湿気と熱を知ることができる。それらの結果は以下のような用途で使われる。

- 実験の結果を出す
- 違った気候条件下で建物のタイプを変える
- 新しい建物を建てたり、古い建物を改築する時の計画
- 建材の開発
- 室内の湿気許容量を求める
- 建物を適当に使用するための熱と湿気の必要量と限界量

近年、熱と湿気のシミュレーションは建物の調査の為に必要とされる事が多くなってきた。特に、従来の方法が使えない、古い建物の改修工事の時には必要だ。しかし、協議して決められた規格や新しい方法の適当な用法に関してガイドラインがない。だから、ガイドラインを作るために WTA (Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege)が 1997 年に WTA working group を設立した。

2000 年には"Moisture Calculation"というグループが the European Technical Committee TC89 内に設立され、WTA と同じような目的で活動している。このように都市工学や建築で使われるシミュレーションの使用の標準化は国家レベル、国際レベルの両方から進められている。

Literature

[1] **Cammerer, J. und Achtziger,J.:** Einfluß des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen. Bericht zu BmBau Forschungsvorhaben BI 5-800883-4, 1984.

[2] **Künzel H.M.:** Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten; Dissertation Universität Stuttgart 1994.

[3] **Künzel, H.M. und Holm, A.:** Praktische Beurteilung von Putzen durch moderne bauphysikalische Bewertung. WTA-Schriftenreihe (1999), Heft 20, S.177-132.

[4] **Arnold, A.:** Salze, lästige weiße Ausblühungen oder Hauptschadensursache. Jahresbericht Steinzerfall-Steinkonservierung 1990, Verlag Ernst & Sohn, S. 1-9.

[5] **Sedlbauer, K. und Krus, M.:** Schadensrisiko bei Ziegel-Außenbauteilen durch Niederschlag und Frosteinwirkung. Feuchtetag 1999 DGZfP-Berichtsband BB 69-CD, Vortrag U4, S.1-8.

[6] **Krus, M.:** Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlagen und neue Meßtechniken. Dissertation Universität Stuttgart 1995.

[7] **Künzel, H.M.:** Einfluß der Mittelwertbildung von Klimadaten auf die Ergebnisse von Feuchtetransportberechnungen. Tagungsband 9. Bauklimatisches Symposium, Dresden 1994, S. 332-344.

[8] **Künzel, H.M. und Schmidt, Th.:** Auswahl und Aufbereitung von meteorologischen Datensätzen für Feuchtetransportberechnungen. Tagungs-band 10. Bauklimatisches Symposium, Dresden 1999, S. 637-647.

[9] **Künzel, H.M.:** Raumluftfeuchteverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung 24 (1997) Nr. 314.

[10] **Hens, H.:** Modelling Heat Air and Moisture Transfer in Insulated Envelope Parts. Final Report IEA-Annex 24, KU Leuven 1996.

第五章　WUFIによるシミュレーション

５－１　設定

５－１－１　気象条件

外気条件は拡張アメダス気象データ(日本建築学会)の標準年[18]のものを用いた。気象条件は、風速[m/s]、風向、気温[℃]、相対湿度[%]、現地気圧[hPa]、時間雨量[mm/h]、水平面直達日射量[W/m²]、天空日射量[W/m²]。対象都市は札幌(省エネ基準・地域区分Ⅰ)・盛岡(Ⅱ)・新潟(Ⅲ)・東京(Ⅳ)・名古屋(Ⅳ)・福岡(Ⅳ)・那覇(Ⅵ)の７都市を対象とした。室内条件は温度 23℃、相対湿度 50%一定とした。解析は助走期間１年間を含む２年間行い、後半１年間分を評価対象とした。

表 5-1-1-1. 気象条件の用語説明[19]

	説　　明
平均風速[m/s]	60 分間の平均風速
風向	風向は、風がふいてくる方向を示す 平均風速が０．２m/ｓ以下の時は静穏とする
気　　温[℃]	大気の温度
相対湿度[%]	大気中の水蒸気が飽和状態の時を１００%とした、百分率で表した値
現地気圧[hPa]	測定した気圧を補正していないもの
時間雨量[mm]	１分毎に収集した１分間積算雨量より、１時間積算値（正時にリセット）を求める
全天日射量[W/m²]	単位面積の水平面に入射する太陽放射の総量で、直達日射、天空の全方向から入射する散乱日射および雲からの反射日射を合わせたもの 日の出前および日の入り後にもわずかながら観測される
直達日射量[W/m²]	単位面積の水平面に入射する太陽放射のうち散乱光および反射光を除いた日射量をいう

５－１－２　壁体モデル

シミュレーションを行う壁体の層構成について、壁体モデルの概要を図 5-1-2-1、各壁体材料の物性値を表 5-1-2-1 に示す。

断熱材については無機繊維系のグラスウール(以下ＧＷ)と発砲プラスチック系のウレタンフォーム(以下ＵＦ)を採用した。また、透湿性の高いＧＷには防湿層としてポリエチレンシートを貼ったものも計算対象とした。断熱材の材圧は断熱材熱抵抗値の省エネルギー基準に基づいて都市ごとに設定した(表 5-1-2-2. ～3.)。なお、断熱材の詳細は第二章に記載した。

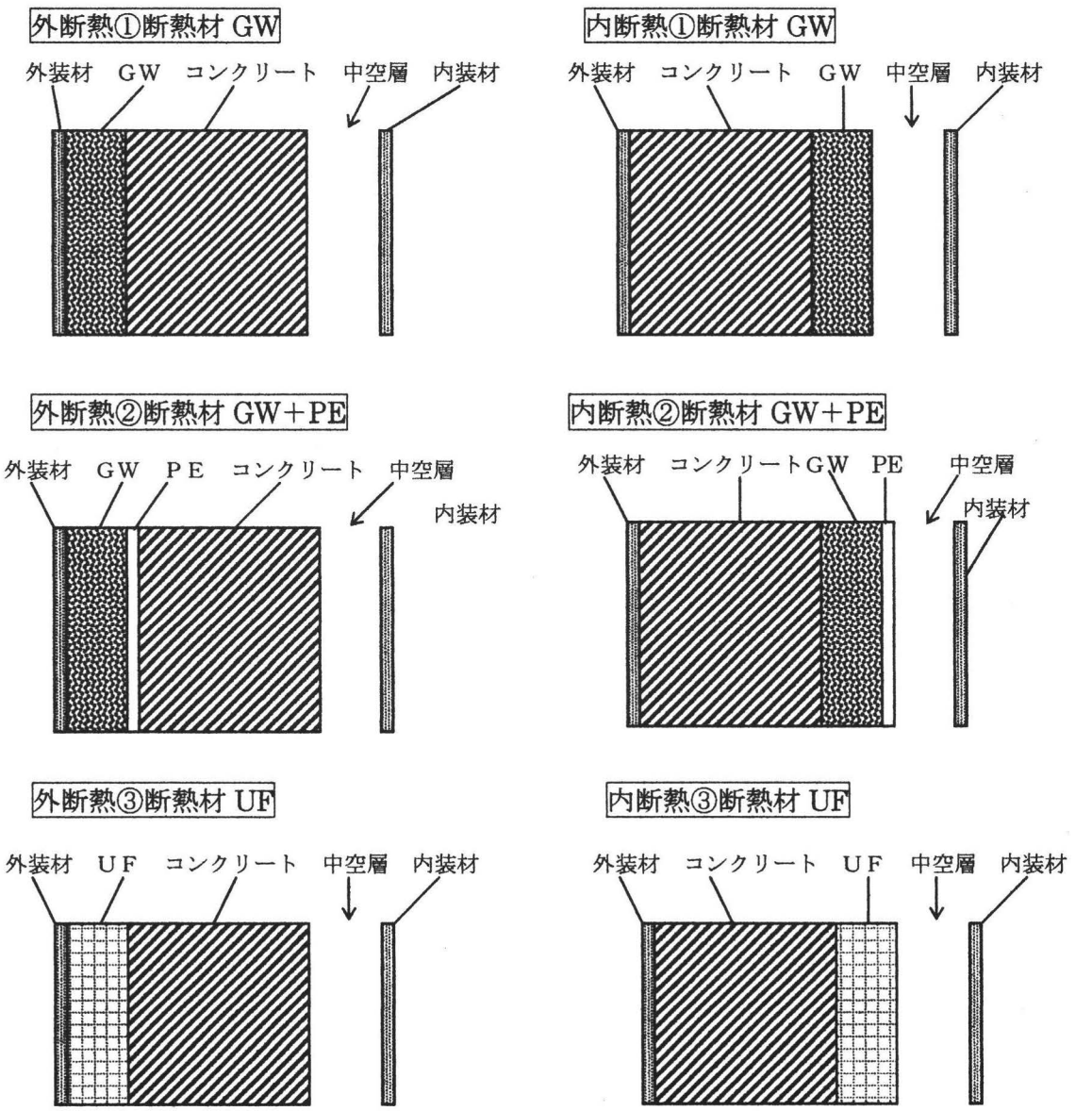


図 5-1-2-1. 壁体モデル

表 5-1-2-1. 壁体材料の物性値[20]

用途	材料	材厚 m	密度 kg/m^3	空隙率 m^3/m^3	熱容量 J/kgK	熱伝導率 W/mK	水蒸気拡散抵抗 -
外装材	モルタル	0.010	1785.000	0.280	850.000	0.700	15.000
断熱材	グラスウール	—	30.000	0.990	840.000	0.350	1.300
	ウレタンフォーム	—	40.000	0.950	1500.000	0.025	50.000
防湿材	ポリエチレンシート	0.001	130.000	0.001	2300.000	2.300	2000.000
	コンクリート	0.100	2300.000	0.180	850.000	1.600	180.000
	中空層	0.040	1.300	0.999	1000.000	0.230	0.380
内装材	石膏ボード	0.010	850.000	0.650	870.000	0.163	6.000

表 5-1-2-2. 断熱材の熱抵抗値の地域別省エネルギー基準と設定値【外断熱時】[10,20]

地域区分	省エネルギー基準の熱抵抗値 m^{2}K/W	断熱材	材厚の設定 m	熱抵抗値 m^{2}K/W
I	1.80	グラスウール	0.063	1.80
		ウレタンフォーム	0.045	1.80
II	1.50	グラスウール	0.053	1.51
		ウレタンフォーム	0.038	1.52
III, IV	0.91	グラスウール	0.032	0.91
		ウレタンフォーム	0.023	0.92
VI	0.30	グラスウール	0.011	0.31
		ウレタンフォーム	0.008	0.32

表 5-1-2-3. 断熱材の熱抵抗値の地域別省エネルギー基準と設定値【内断熱時】[10,20]

地域区分	省エネルギー基準の熱抵抗値 m^{2}K/W	断熱材	材厚の設定 m	熱抵抗値 m^{2}K/W
I	2.30	グラスウール	0.081	2.31
		ウレタンフォーム	0.058	2.32
II	1.80	グラスウール	0.063	1.80
		ウレタンフォーム	0.045	1.80
III, IV	1.10	グラスウール	0.039	1.11
		ウレタンフォーム	0.028	1.12
VI	0.30	グラスウール	0.011	0.31
		ウレタンフォーム	0.008	0.32

５－１－２　算出項目

以上の設定でＷＵＦＩによるシミュレーションを行い、得られる結果は

① 室内外の熱貫流率の推移

② 各層(構成材料)の含水量の推移

③ 壁体全体の含水量の推移

④ モニターポジションのＲＨと温度の変化

である。④のモニターポジションについては研究者が設定できるようになっている。今回は各層の境界全てにモニターを設定し、ＲＨと温度の推移を観察した。

５－２　シミュレーション結果①；カビ・結露の予防基準との照合

５－２－１　カビの予防基準

壁体のＲＨが高い状態が長く続くとカビが発生しやすい。過去の研究から、多層構造の壁体において最もＲＨが高くなりやすいのは断熱材とコンクリートの境界だということが明らかになっている。よって、今回はコンクリートの断熱材側境界付近のＲＨに注目した。以下、このパートの図においてコンクリートのＲＨとはコンクリートの断熱材側境界付近のＲＨを指す。

カビ予防の基準として、80％ＲＨの時間累積率（＝80％ＲＨ以上となった時間/総解析時間）25％以下といわれている[21]。各都市、断熱工法断熱材ごとに断熱材側境界付近コンクリート 80％ＲＨ以上の時間累積率を算出した。

表5-2-1-1. 壁体内コンクリート80%RH以上の時間累積率(%)

	内断熱			外断熱		
	GW	GW+PE	UF	GW	GW+PE	UF
札幌	100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
盛岡	85.10	91.35	83.17	2.29	9.57	0.00
新潟	70.25	97.72	83.21	4.97	12.15	0.00
東京	47.88	36.53	39.50	0.92	12.78	0.00
名古屋	49.10	48.03	46.05	8.96	0.00	0.00
福岡	47.47	39.85	41.31	18.05	0.00	14.41
那覇	0.00	0.00	0.00	38.81	24.98	35.27

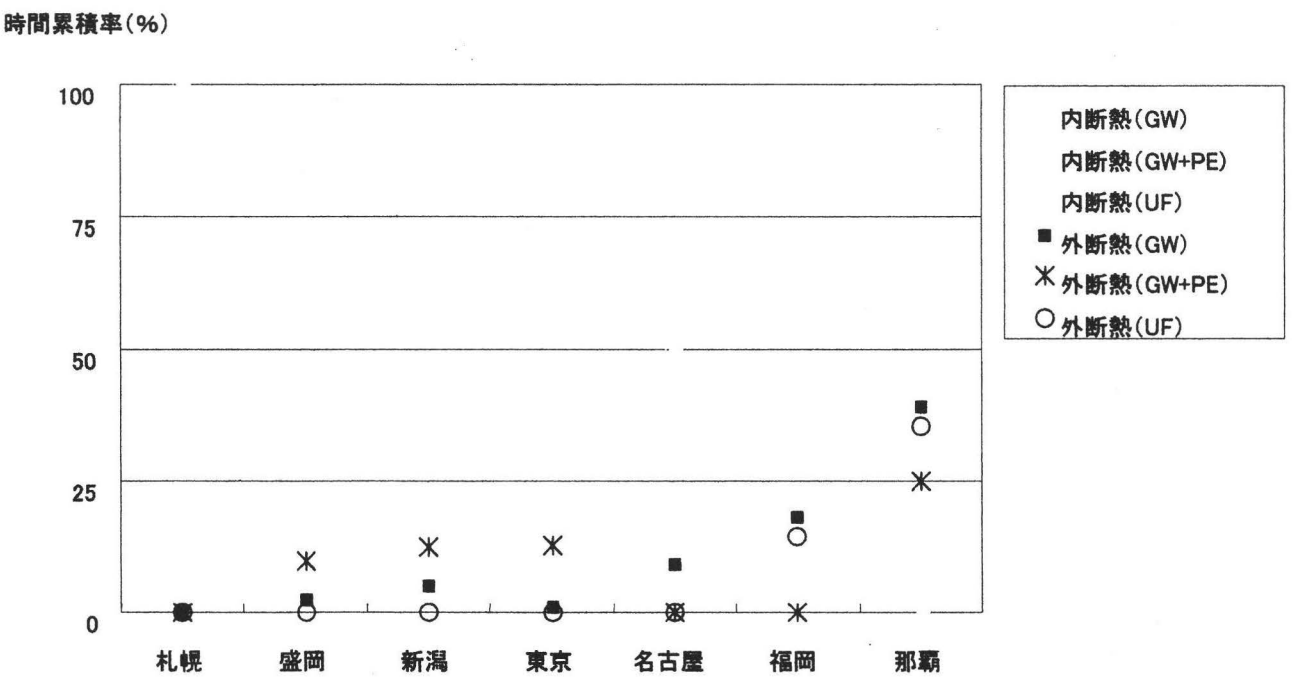


図 5-2-1-2. 壁体内コンクリートの 80%RH 以上の時間累積率(%)

５－２－２　結露の予防基準との照合

結露予防の基準として、90％ＲＨの時間累積率（＝90％ＲＨ以上となった時間/総解析時間）10％以下といわれている[21]。各都市、断熱工法断熱材ごとに断熱材側境界付近コンクリート 90％ＲＨ以上の時間累積率を算出した。

表5-2-2-1. 壁体内コンクリート90％ＲＨ以上の時間累積率（％）

	内断熱			外断熱		
	GW	GW+PE	UF	GW	GW+PE	UF
札幌	89.49	61.93	55.50	0.00	0.00	0.00
盛岡	81.86	60.11	64.44	0.00	2.91	0.00
新潟	62.09	38.56	45.74	1.34	5.80	0.00
東京	44.29	0.00	10.76	0.00	0.00	0.00
名古屋	38.32	0.00	2.69	2.99	0.00	0.00
福岡	42.69	0.38	7.22	3.05	0.00	0.00
那覇	0.00	0.00	0.00	15.42	0.00	2.99

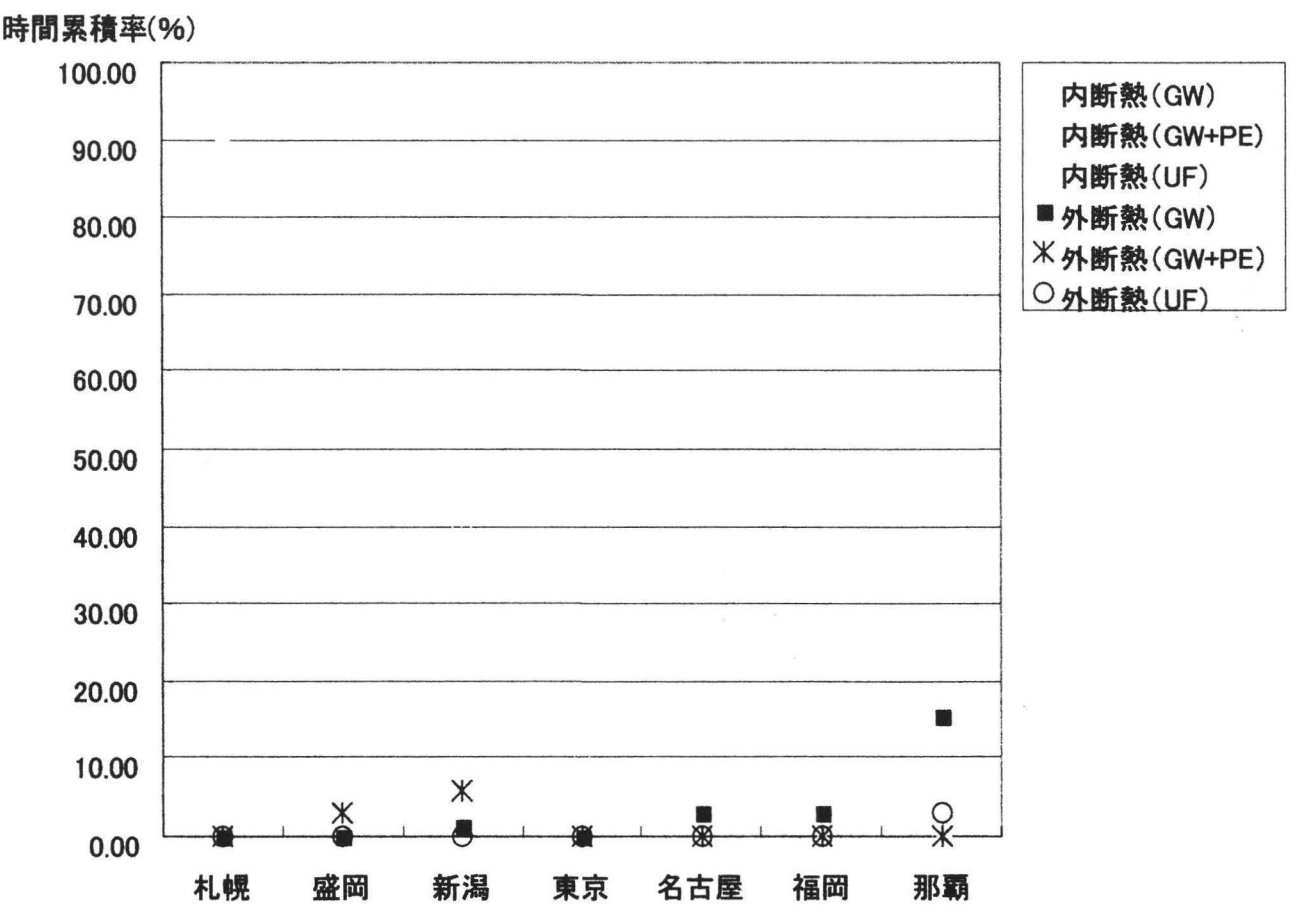


図 5-2-2-2. 壁体内コンクリート 90%RH 以上の時間累積率

５－２－３　考察

累積時間率は外断熱では温暖地ほど高く、内断熱では逆に温暖地ほど低くなる傾向を示した。その原因として、

① 温暖地の外断熱では夏期にいわゆる逆転結露現象(屋外の熱く湿った空気が冷たい室内側の壁にあたって起こる結露)によって相対湿度が上昇すること

② 温暖地の内断熱は冬期もコンクリートの温度が極端に下がらないので寒冷地に比べて結露は生じにくいこと、

が考えられる。

外断熱は那覇以外の都市ではカビ予防基準、結露予防基準ほぼ満たしている。カビ・結露の予防という観点で、断熱材の種類に関わらず、外断熱が有利であるといえる。

また、カビの予防基準との照合では断熱材による差はほぼ生じなかったが、結露の予防基準との照合では内断熱において全ての都市で断熱材にＧＷのみを使用した壁体のコンクリートが最も時間累積率が高い結果となった。このことに関しては、各壁体の時系列グラフとともに考察を述べる。

那覇では、外断熱が内断熱よりもコンクリートの相対湿度を高くしてしまう結果となった。これは、夏期の逆転結露現象がもたらしたものだと考えられる。亜熱帯では高断熱にすることで壁体が高湿度になってしまうことが分かった。

また、都市ごとにカビ・結露の予防基準を満たしているかを基に、その都市に適した断熱工法・断熱材であるかを判断した。

次項の表には、カビ・結露の予防基準に従って時間累積率を記した（カビ；80％ＲＨの時間累積率、結露；90％ＲＨの時間累積率)。カビ・結露の予防基準（カビ；25％以下、結露；10％以下）を満たしているものにはその欄に○、満たしていないものには×を記入した。カビ・結露とも満たしているものはその都市に適した断熱工法・断熱材と考えて、両方にまたがる欄に○、片方満たしているものには△、両方満たしていないものはその都市には適さない断熱工法・断熱材と考えて×を記入した。

《札幌》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	100.00	×	×	100.00	×	×	100.00	×	×
結露	89.49	×		61.93	×		55.50	×	

《盛岡》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	85.10	×	×	91.35	×	×	83.17	×	×
結露	81.86	×		60.11	×		64.44	×	

《新潟》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	65.53	×	×	70.58	×	×	67.00	×	×
結露	62.09	×		38.56	×		45.74	×	

《東京》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	47.88	×	×	36.53	×	△	39.50	×	×
結露	44.29	×		0.00	○		10.76	×	

《名古屋》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	49.10	×	×	48.03	×	△	46.05	×	△
結露	38.32	×		0.00	○		2.69	○	

《福岡》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	47.47	×	×	39.85	×	△	41.31	×	△
結露	42.69	×		0.38	○		7.22	○	

《那覇》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	0.00	○	○	0.00	○	○	0.00	○	○
結露	0.00	○		0.00	○		0.00	○	

図 5-2-3-1. 各都市に適した断熱工法・断熱材の検討【内断熱時】

《札幌》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	0.00	○	○	0.00	○	○	0.00	○	○
結露	0.00	○		0.00	○		0.00	○	

《盛岡》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	2.29	○	○	9.57	○	○	0.00	○	○
結露	0.00	○		2.91	○		0.00	○	

《新潟》

	外断熱・GW			外断熱・GW+PE			外断熱・UF		
カビ	4.97	○	○	12.15	○	○	0.00	○	○
結露	1.34	○		5.80	○		0.00	○	

《東京》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	0.92	○	○	12.78	○	○	0.00	○	○
結露	0.00	○		0.00	○		0.00	○	

《名古屋》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	8.96	○	○	0.00	○	○	0.00	○	○
結露	2.99	○		0.00	○		0.00	○	

《福岡》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	18.05	○	○	0.00	○	○	14.41	○	○
結露	3.05	○		0.00	○		0.00	○	

《那覇》

	GW			GW+PE			UF		
カビ	38.81	×	×	24.98	○	○	35.27	×	△
結露	15.42	×		0.00	○		2.99	○	

図 5-2-3-2. 各都市に適した断熱工法・断熱材の検討【外断熱時】

図 5-2-3-1～2. より、断熱工法は内断熱よりも外断熱、断熱材はＧＷ+ＰＥ→ＵＦ→ＧＷの順で壁体内コンクリートの乾燥を保つことに関して優秀である結果となった。以下、ｉ）寒冷地；札幌、盛岡、新潟　ii）温暖地；東京、名古屋、福岡　iii）さらに暖かい土地；那覇　の３グループに分けて考察を述べる。

ｉ）寒冷地

札幌、盛岡、新潟の３都市では、内断熱ではいずれの断熱材を使用した場合も、カビ・結露の予防基準を全く満たさない結果となった。寒冷地の内断熱では、断熱材の熱抵抗率が次世代省エネ基準を満たしていても、結露やカビの生じる危険性はあることが分かった。

一方、外断熱ではいずれの断熱材を使用した場合も、カビ・結露の予防基準を満たした。その中でも、各時間累積率は札幌→盛岡→新潟の順に大きくなっている。外断熱は寒冷な土地になるほど、その有効性が生かせることが分かる。

ii）温暖地

東京、名古屋、新潟では、内断熱ではいずれの断熱材を使用した場合でもカビの予防基準は満たさない結果となった。結露に関しては、東京では断熱材がＧＷ、ＵＦの場合、名古屋、福岡ではＧＷの場合に予防基準を満たさなかった。しかし、一方、内断熱でも断熱材にＧＷ＋ＰＥを使用した場合は、３都市とも 90%ＲＨの時間累積率はほぼ０%となり、結露の予防できると考えられる。この地域では断熱材ＧＷは防湿シートＰＥを貼ることで、断熱材として適当な役割を果たす事がわかった。

外断熱では、いずれの断熱材を使用した場合でも、カビ・結露の予防基準を満たした。外断熱でも断熱材がＧＷのみの場合が時間累積率が最も高い傾向はあるが、内断熱ほど顕著な差ではない。

iii）さらに暖かい土地

那覇は今回のシミュレーション対象都市の中で唯一、亜熱帯に属している。

内断熱ではいずれの断熱材を用いた場合も、各時間累積率が 0%であり、カビ・結露の予防に適した断熱工法だといえる。

一方、外断熱では夏期の逆転結露の影響で内断熱に比べてＲＨの高い環境となることが分かった。

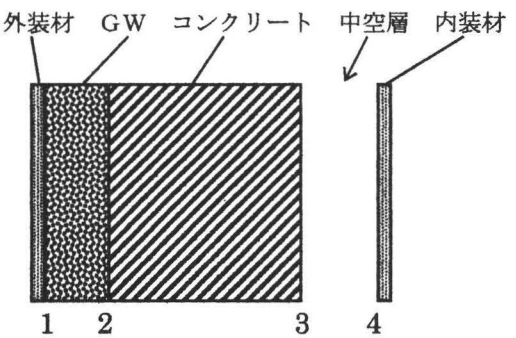
5－3　シミュレーション結果②

壁体内の熱や水分がどのように移動しているかを調べるために、各壁体のモニターポジション(5-1-2 節参照)の一年間のＲＨ・温度の推移をグラフにした。

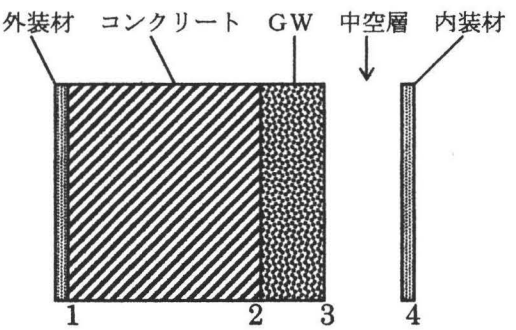
次項から各都市、断熱工法・断熱材ごとに壁体内モニターポジションのＲＨ・温度の年間推移を表す。

モニターポジションについては以下の通りである。

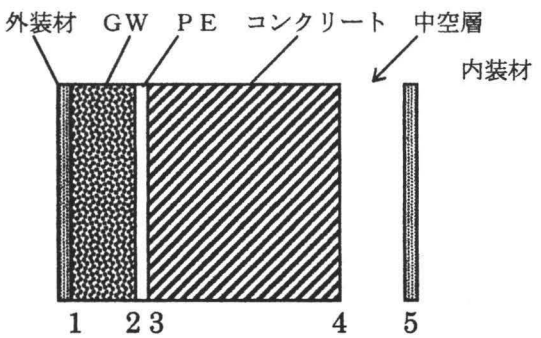
外断熱①断熱材 GW



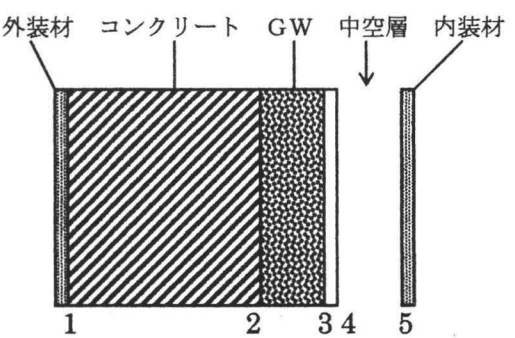
内断熱①断熱材 GW



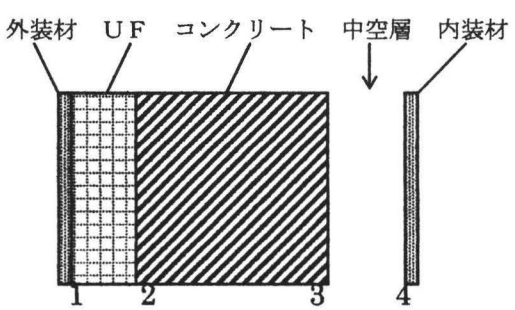
外断熱②断熱材 GW＋ＰＥ



内断熱②断熱材 GW＋防湿層



外断熱③断熱材 UF



内断熱③断熱材 UF

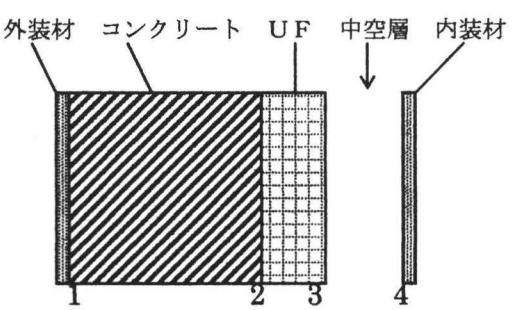


図 5-3. モニターポジションの位置

5－3－1　札幌

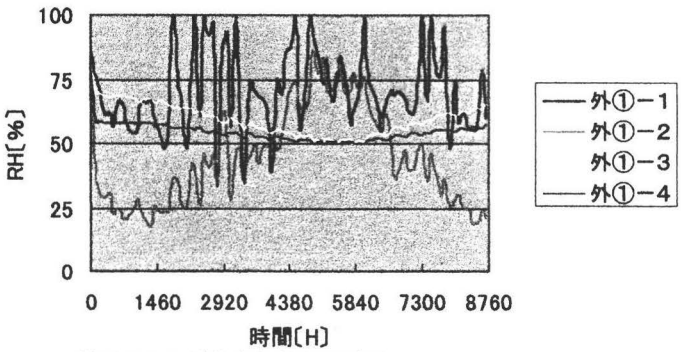


図 5-3-1-1. 壁体中各点のRH変化

（札幌、外断熱、断熱材GW）

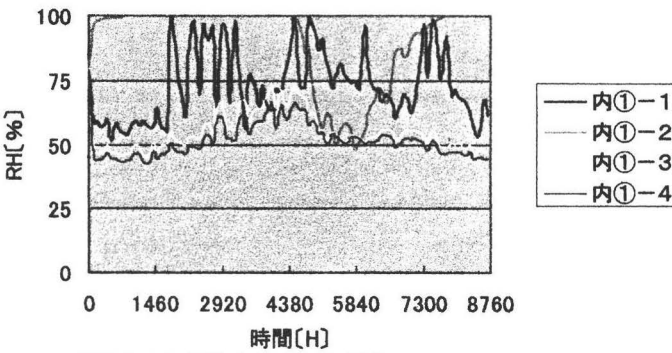


図 5-3-1-2. 壁体中各点のRH変化

（札幌、内断熱、断熱材GW）

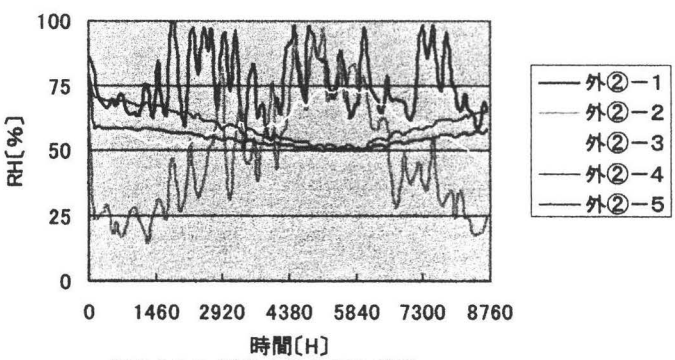


図 5-3-1-3. 壁体中各点のRH変化

（札幌、外断熱、断熱材GW＋PE）

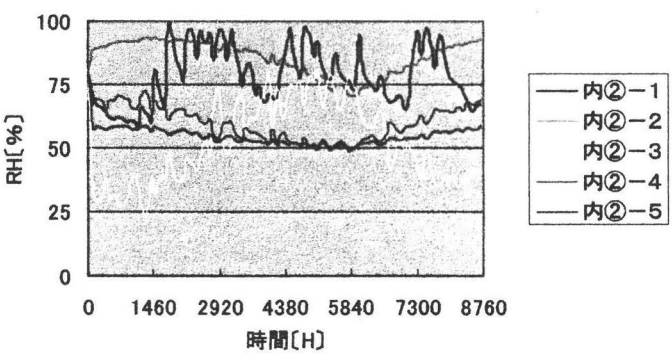


図 5-3-1-4. 壁体中各点のRH変化

（札幌、内断熱、断熱材GW＋PE）

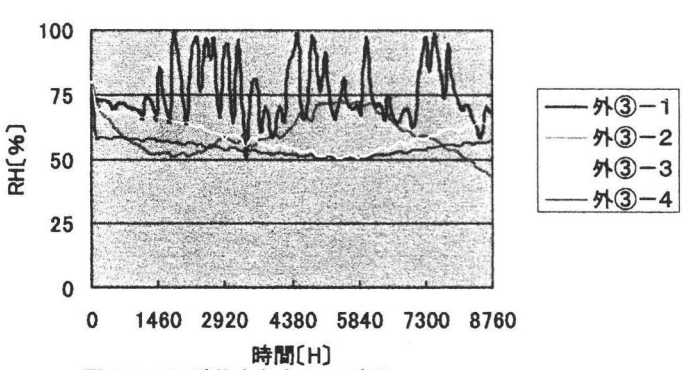


図 5-3-1-5. 壁体中各点のRH変化

（札幌、外断熱、断熱材 UF）

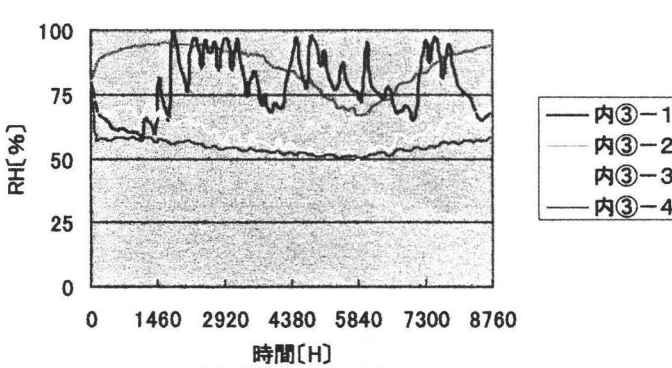


図 5-3-1-6. 壁体中各点のRH変化

（札幌、内断熱、断熱材 UF）

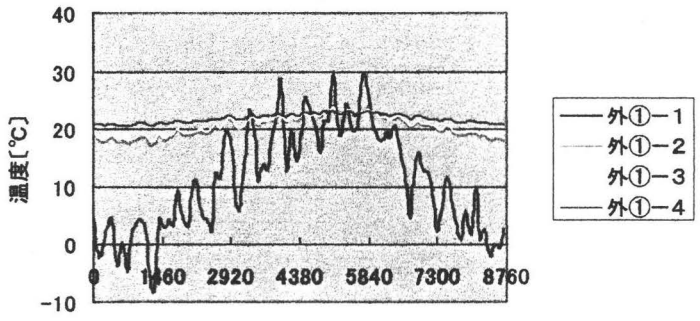


図 5-3-1-7. 壁体中各点の温度変化

（札幌、外断熱、断熱材GW）

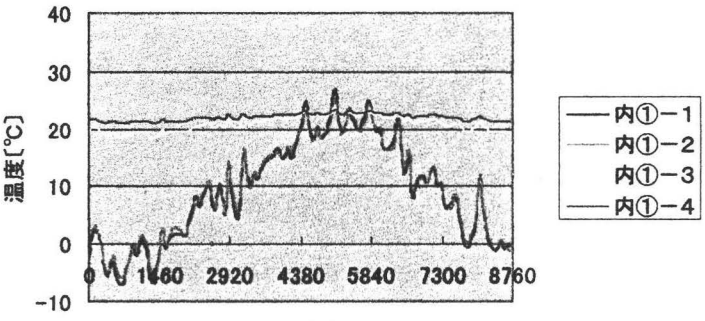


図 5-3-1-8. 壁体中各点の温度変化

（札幌、内断熱、断熱材GW）

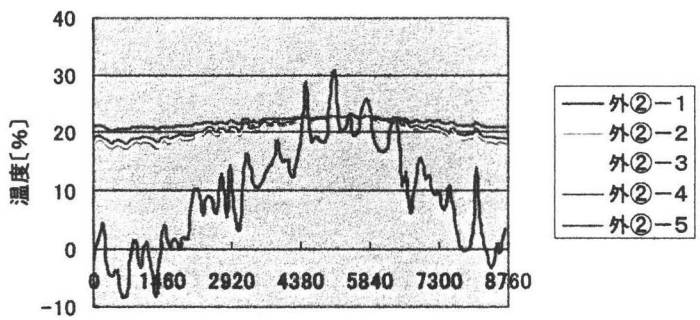


図 5-3-1-9. 壁体中各点の温度変化

（札幌、外断熱、断熱材GW+PE）

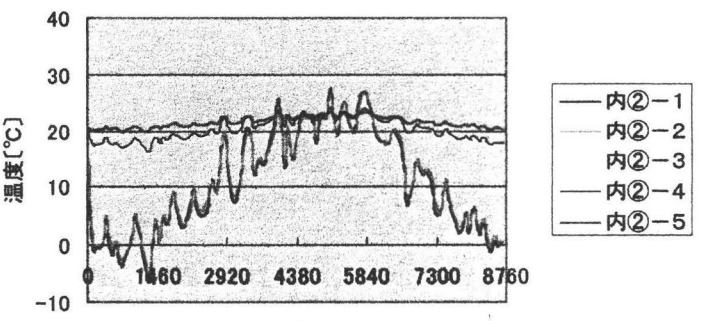


図 5-3-1-10. 壁体中各点の温度変化

（札幌、内断熱、断熱材GW+PE）

P)

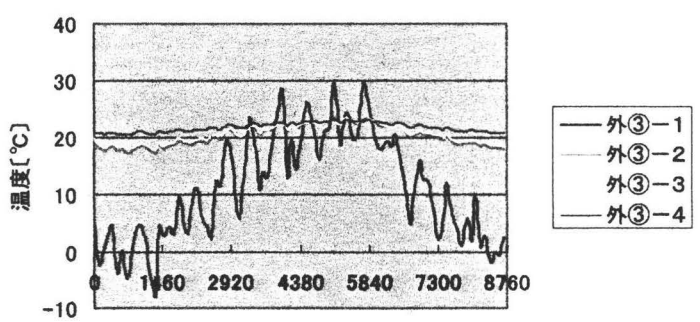


図 5-3-1-11. 壁体中各点の温度変化

（札幌、外断熱、断熱材 UF）

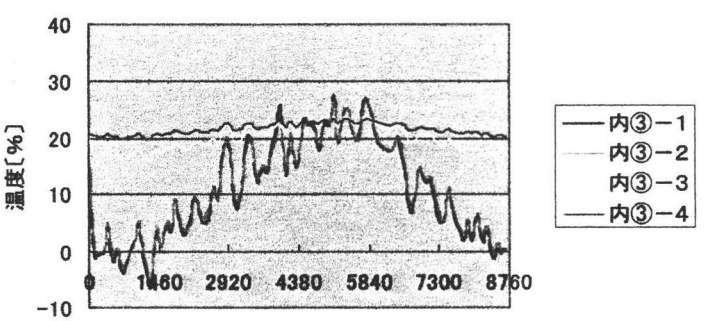


図 5-3-1-12. 壁体中各点の温度変化

（札幌、内断熱、断熱材 UF）

5－3－2　盛岡

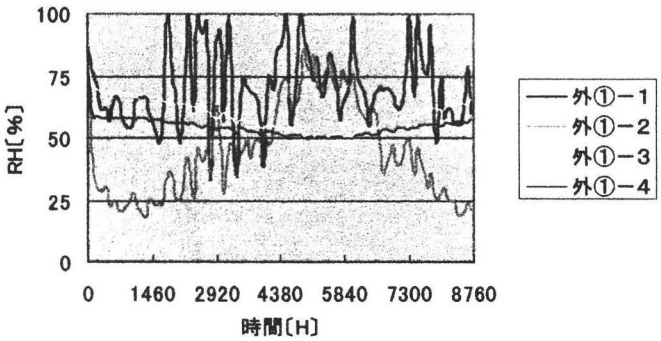


図 5-3-2-1. 壁体内各点のＲＨ変化

（盛岡、外断熱、GW）

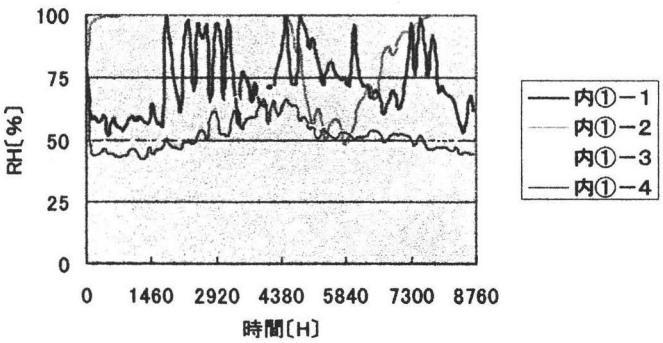


図 5-3-2-2. 壁体内各点のＲＨ変化

（盛岡、内断熱、GW）

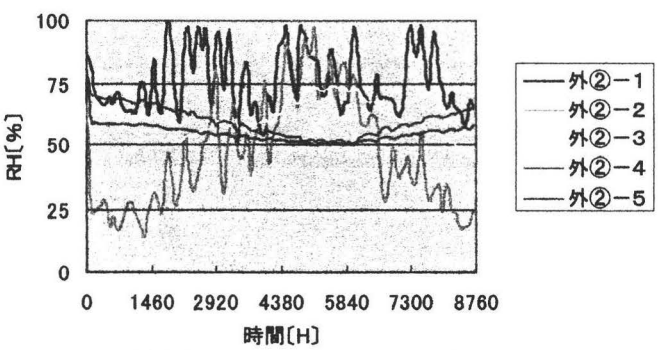


図 5-3-2-3. 壁体内各点のＲＨ変化

（盛岡、外断熱、GW＋ＰＥ）

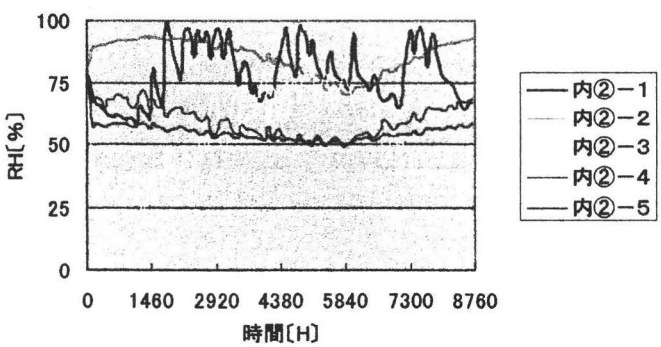


図 5-3-2-4. 壁体内各点のＲＨ変化

（盛岡、内断熱、GW）

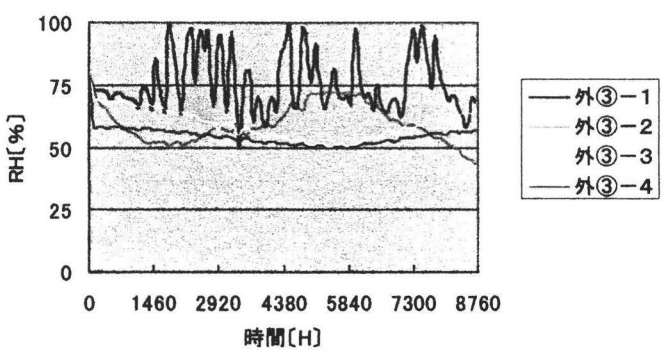


図 5-3-2-5. 壁体内各点のＲＨ変化

（盛岡、外断熱、ＵＦ）

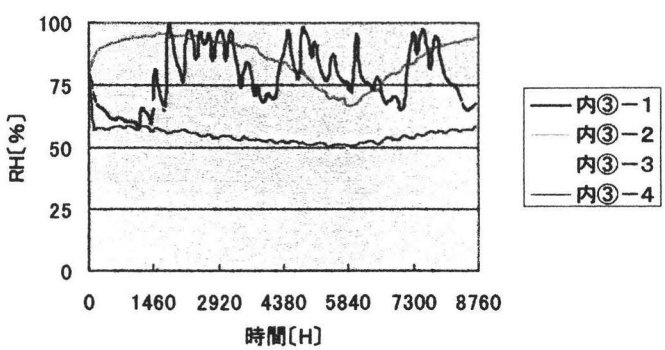


図 5-3-2-6. 壁体内各点のＲＨ変化

（盛岡、外断熱、ＵＦ）

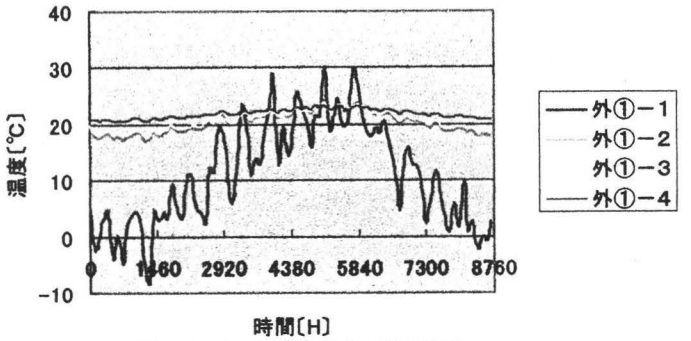


図 5-3-2-7. 壁体中各点の温度変化

（盛岡、外断熱、GW）

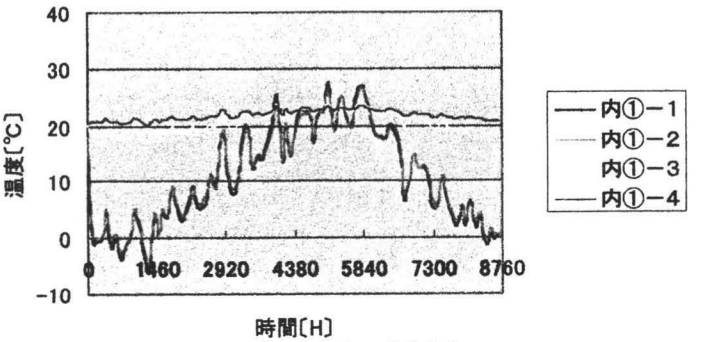


図 5-3-2-8. 壁体中各点の温度変化

（盛岡、内断熱、GW）

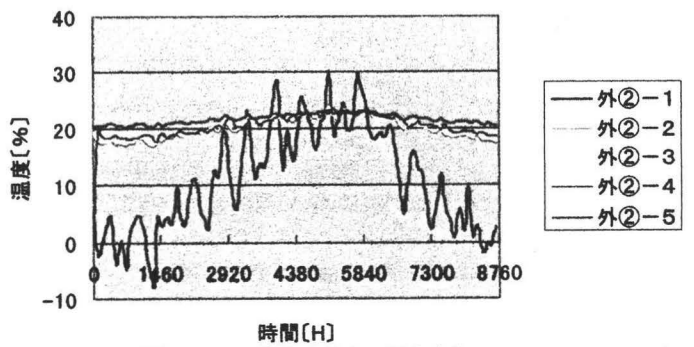


図 5-3-2-9. 壁体中各点の温度変化

（盛岡、外断熱、GW＋PE）

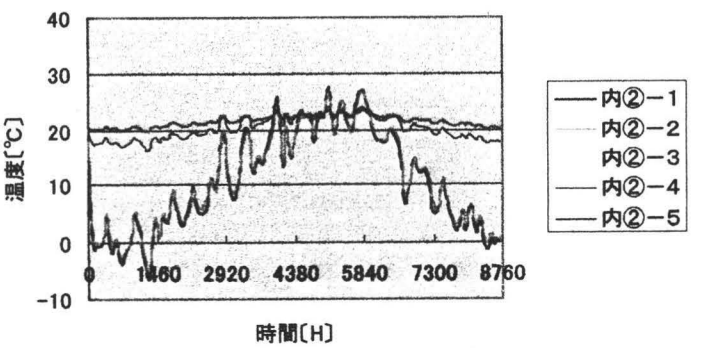


図 5-3-2-10. 壁体中各点の温度変化

（盛岡、内断熱、GW＋PE）

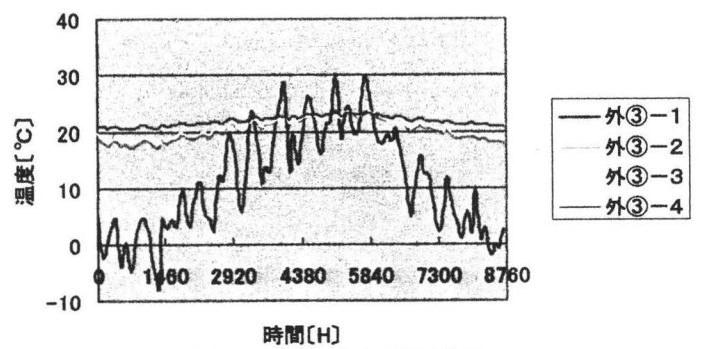


図 5-3-2-11. 壁体中各点の温度変化

（盛岡、外断熱、UF）

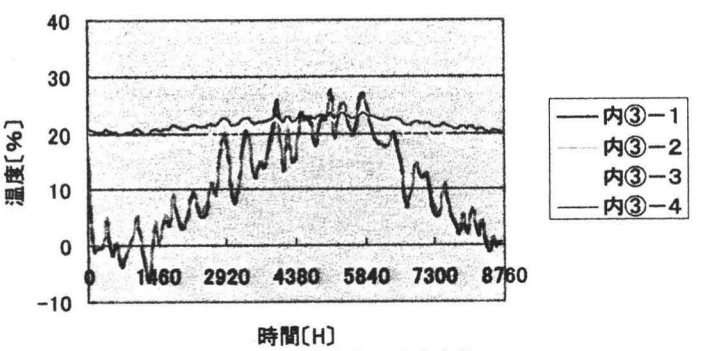


図 5-3-2-12. 壁体中各点の温度変化

（盛岡、内断熱、UF）

5－3－3　新潟

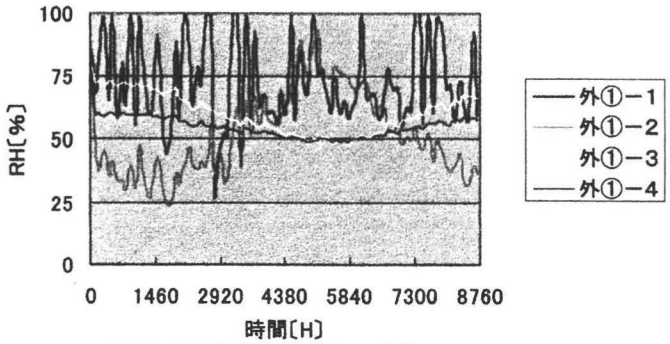


図 5-3-3-1. 壁体中各点のRH変化

（新潟、外断熱、断熱材GW）

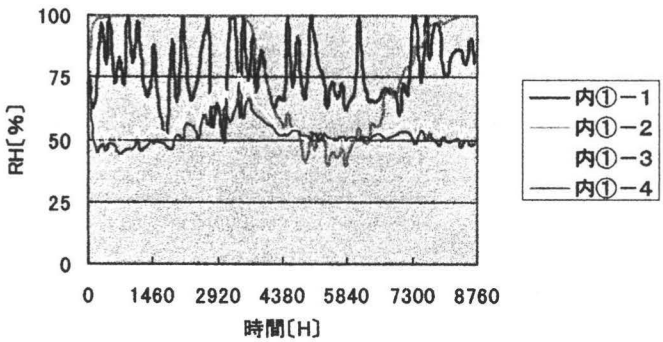


図 5-3-3-2. 壁体中各点のRH変化

（新潟、内断熱、断熱材GW）

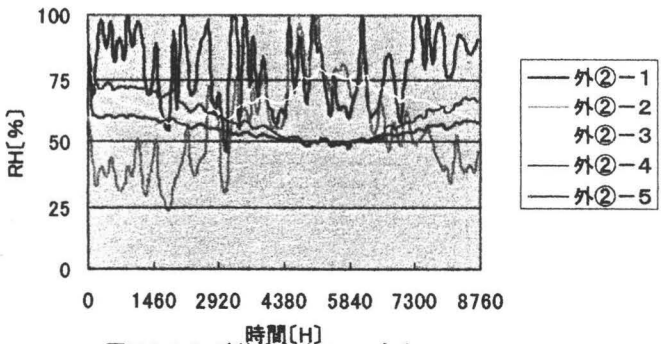


図 5-3-3-3. 壁体中各点のRH変化

（新潟、外断熱、断熱材GW+PE）

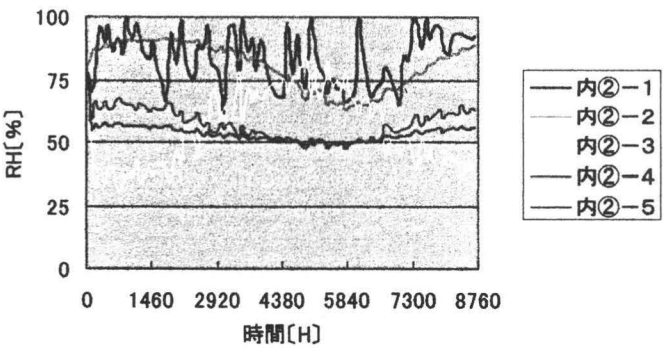


図 5-3-3-4. 壁体中各点のRH変化

（新潟、内断熱、断熱材GW+PE）

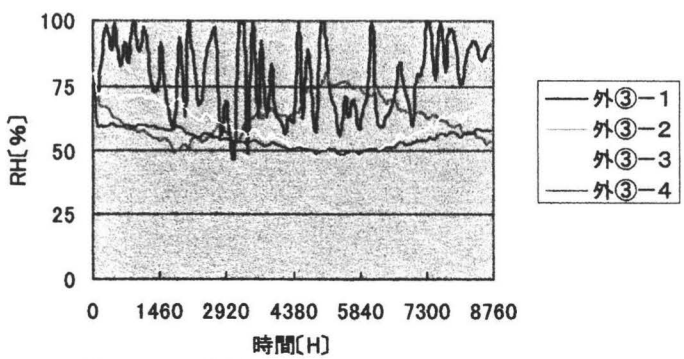


図 5-3-3-5. 壁体中各点のRH変化

（新潟、外断熱、断熱材UF）

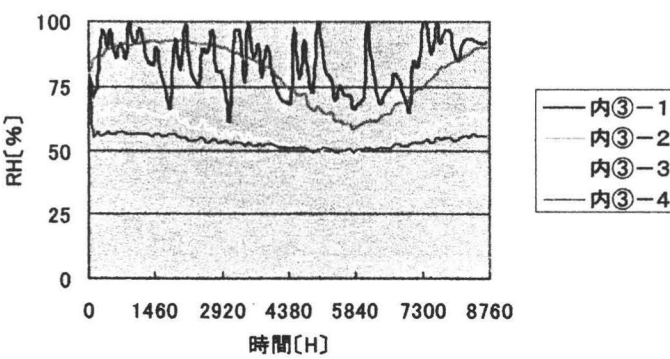


図 5-3-3-6. 壁体中各点のRH変化

（新潟、内断熱、断熱材UF）

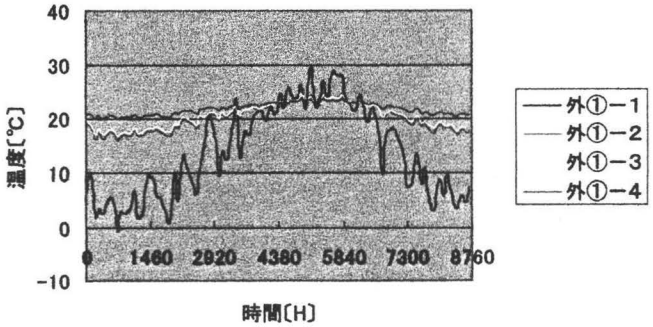


図 5-3-3-7. 壁体中各点の温度変化

（新潟、外断熱、断熱材GW）

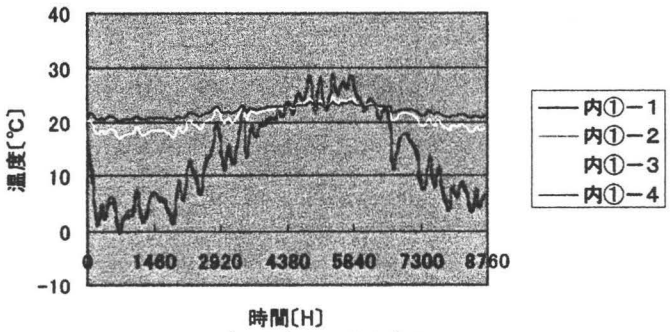


図 5-3-3-8. 壁体中各点の温度変化

（新潟、内断熱、断熱材GW）

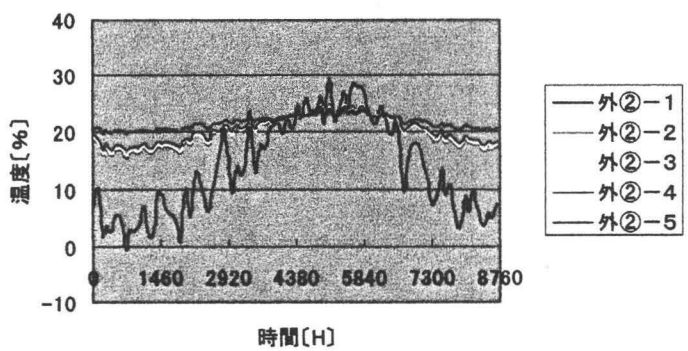


図 5-3-3-9. 壁体中各点の温度変化

（新潟、外断熱、断熱材GW+PE）

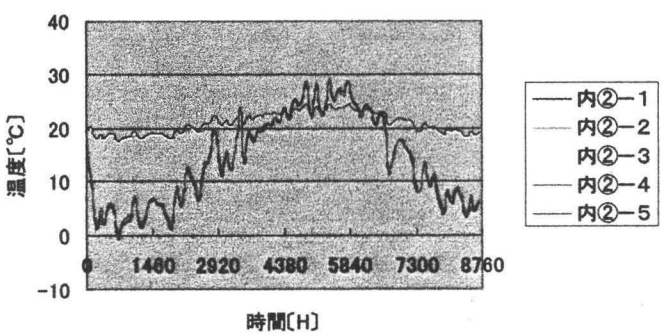


図 5-3-3-10. 壁体中各点の温度変化

（新潟、内断熱、断熱材GW+PE）

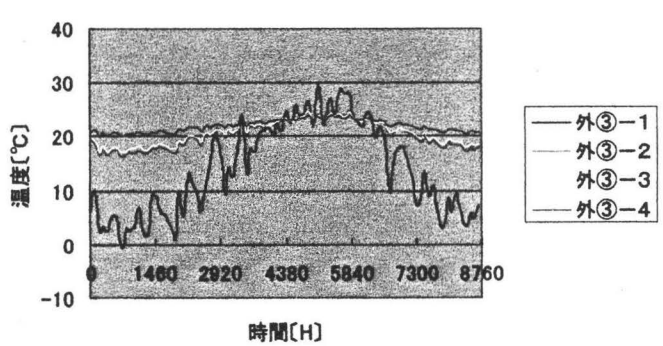


図 5-3-3-11. 壁体中各点の温度変化

（新潟、外断熱、断熱材UF）

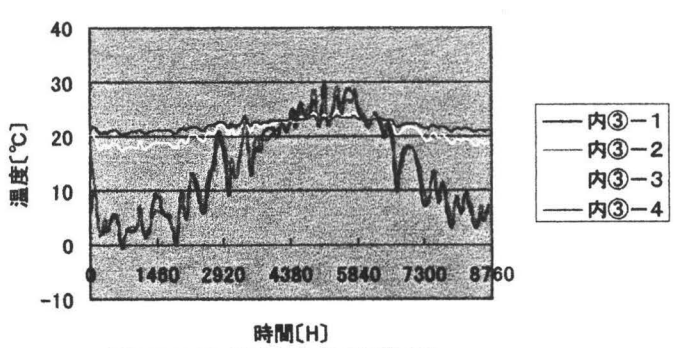


図 5-3-3-12. 壁体中各点の温度変化

（新潟、内断熱、断熱材UF）

5－3－4　東京

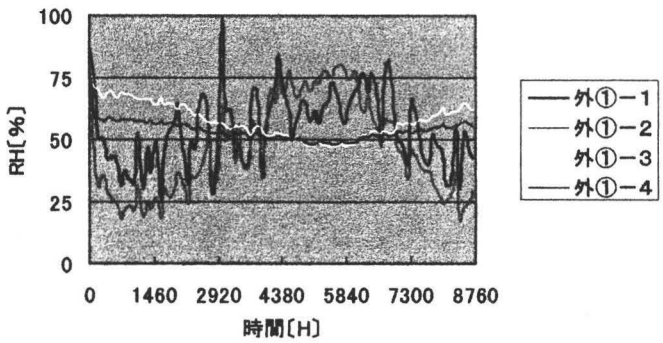


図 5-3-4-1. 壁体内各点ＲＨ変化

（東京、外断熱、GW）

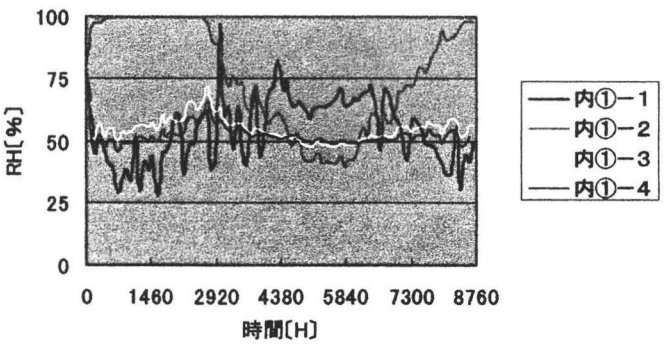


図 5-3-4-2. 壁体内各点ＲＨ変化

（東京、内断熱、GW）

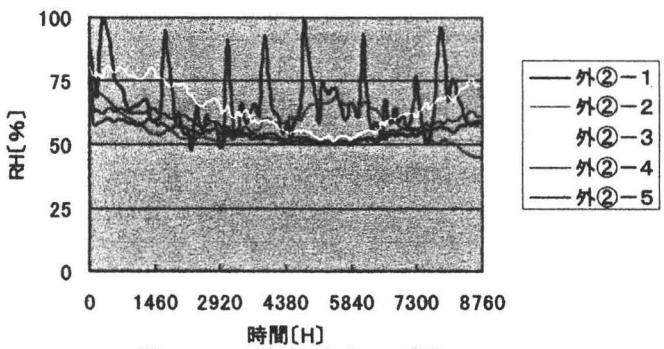


図 5-3-4-3. 壁体内各点ＲＨ変化

（東京、外断熱、GW＋ＰＥ）

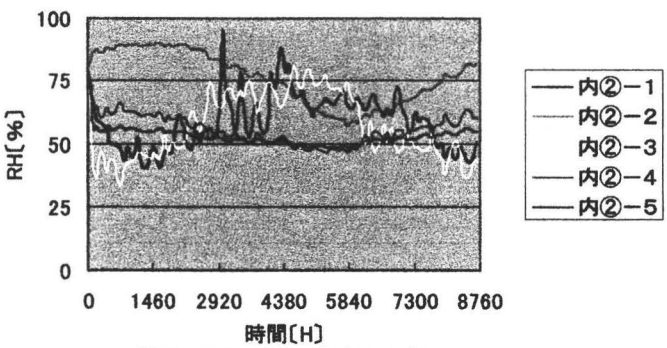


図 5-3-4-4. 壁体内各点ＲＨ変化

（東京、内断熱、GW＋ＰＥ）

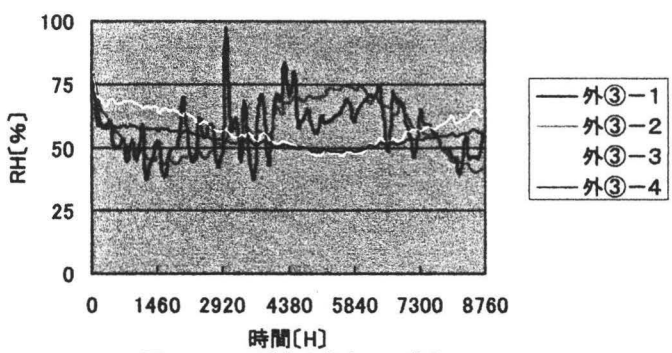


図 5-3-4-5. 壁体内各点ＲＨ変化

（東京、外断熱、ＵＦ）

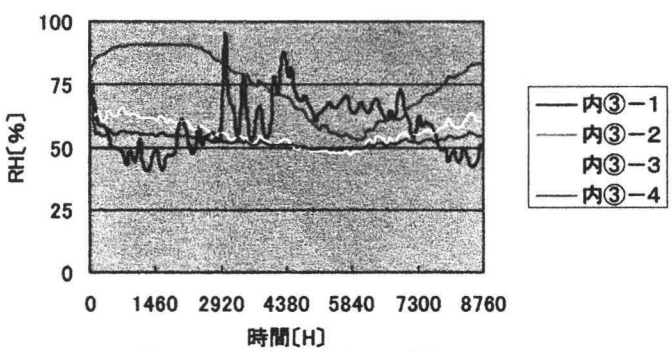


図 5-3-4-6. 壁体内各点ＲＨ変化

（東京、内断熱、ＵＦ）

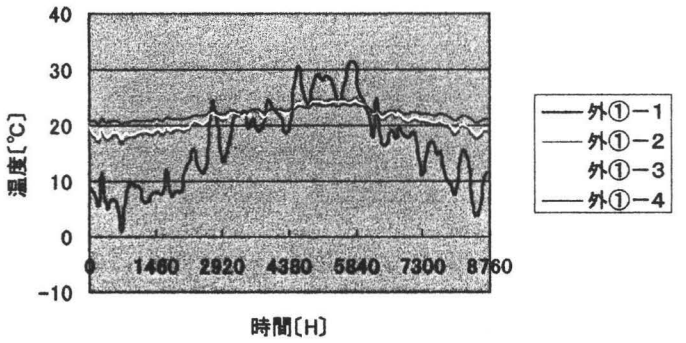


図 5-3-4-7. 壁体内各点の温度変化

（東京、外断熱、GW）

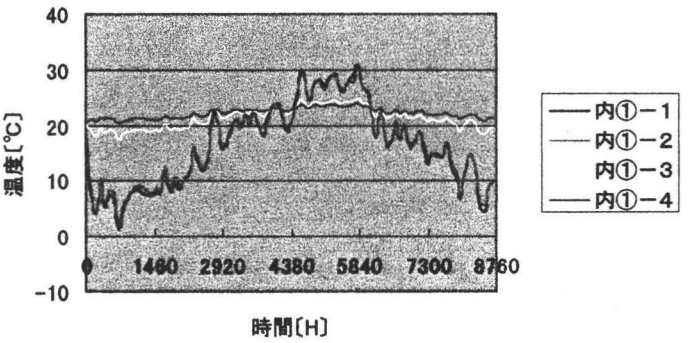


図 5-3-4-8. 壁体内各点の温度変化

（東京、内断熱、GW）

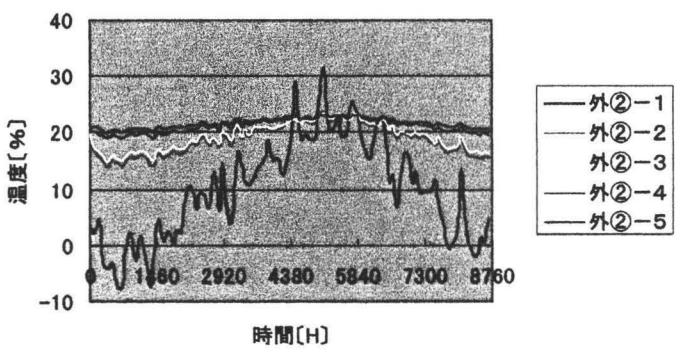


図 5-3-4-9. 壁体内各点の温度変化

（東京、外断熱、GW＋PE）

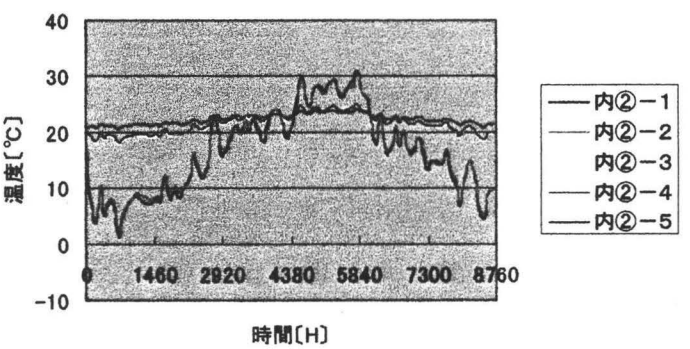


図 5-3-4-10. 壁体内各点の温度変化

（東京、内断熱、GW＋PE）

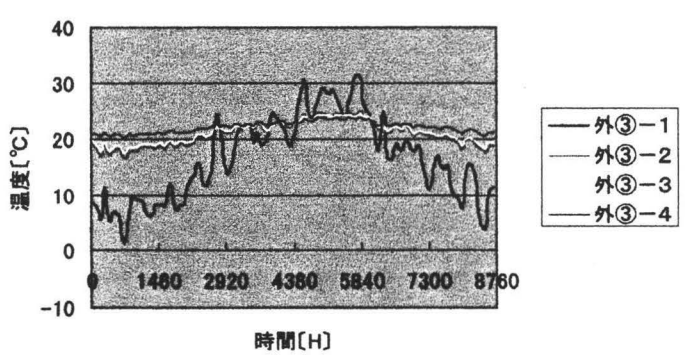


図 5-3-4-11. 壁体内各点の温度変化

（東京、外断熱、UF）

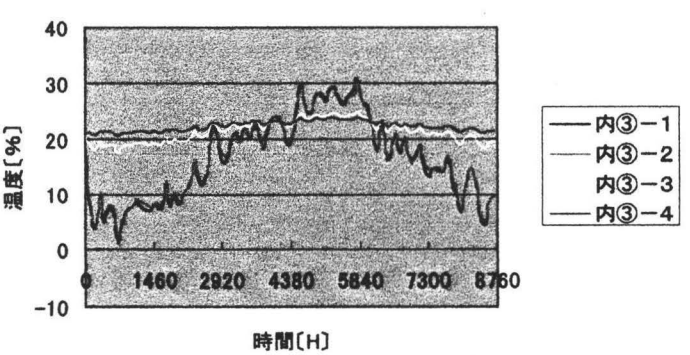


図 5-3-4-12. 壁体内各点の温度変化

（東京、内断熱、UF）

5－3－5　名古屋

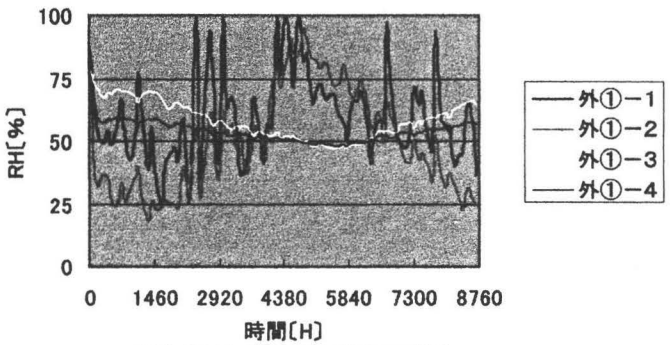


図 5-3-5-1. 壁対中各点のRH変化

（名古屋、外断熱、GW）

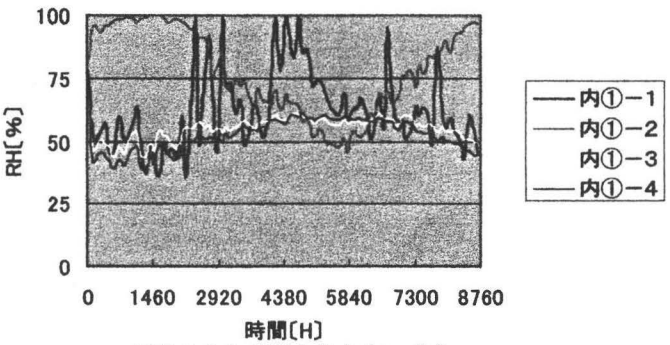


図 5-3-5-2. 壁対中各点のRH変化

（名古屋、内断熱、GW）

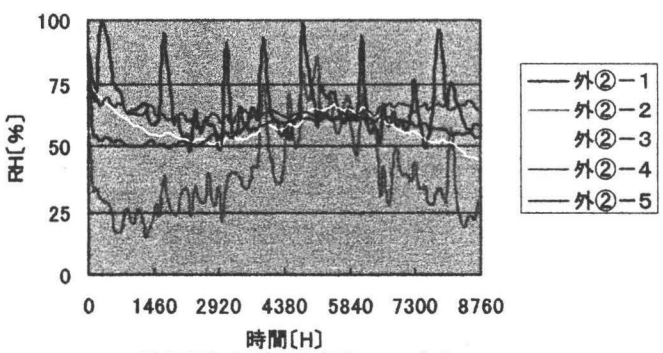


図 5-3-5-3. 壁対中各点のRH変化

（名古屋、外断熱、GW＋PE）

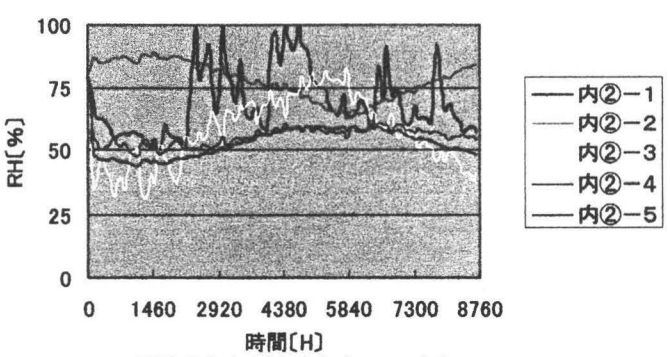


図 5-3-5-4. 壁対中各点のRH変化

（名古屋、内断熱、GW＋PE）

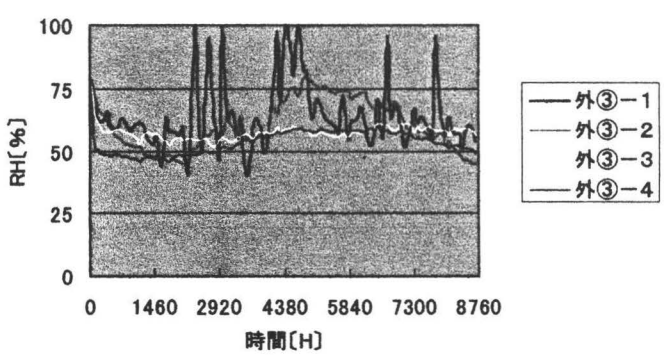


図 5-3-5-5. 壁対中各点のRH変化

（名古屋、外断熱、UF）

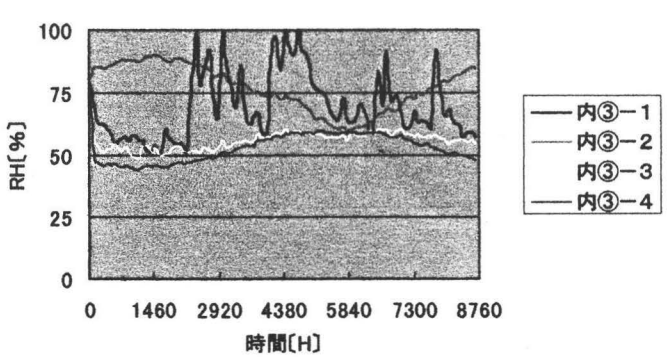


図 5-3-5-6. 壁対中各点のRH変化

（名古屋、外断熱、UF）

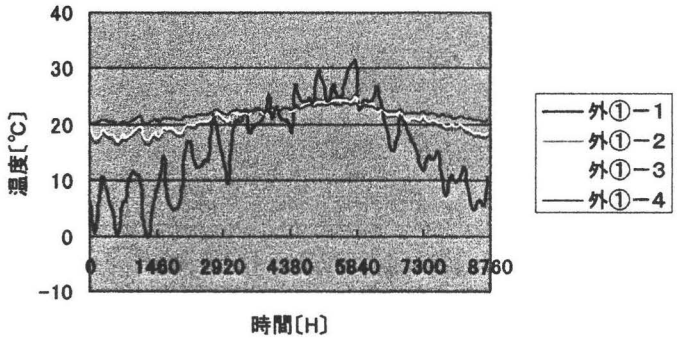


図 5-3-5-7. 壁対中各点の温度変化

（名古屋、外断熱、GW）

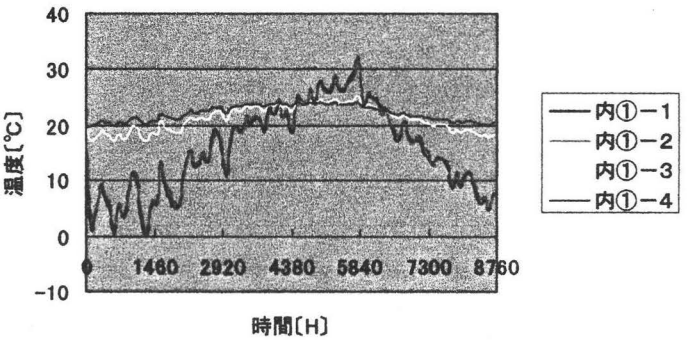


図 5-3-5-8. 壁対中各点の温度変化

（名古屋、内断熱、GW）

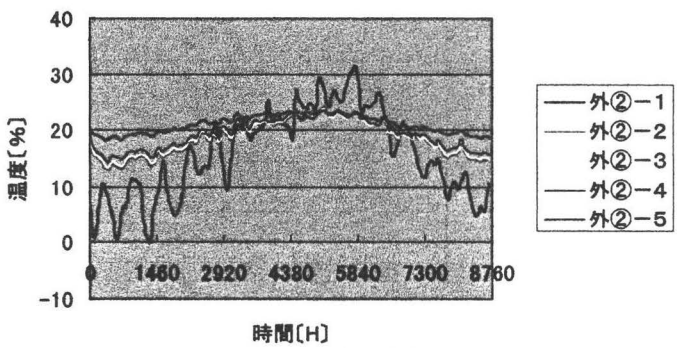


図 5-3-5-9. 壁対中各点の温度変化

（名古屋、外断熱、GW＋ＰＥ）

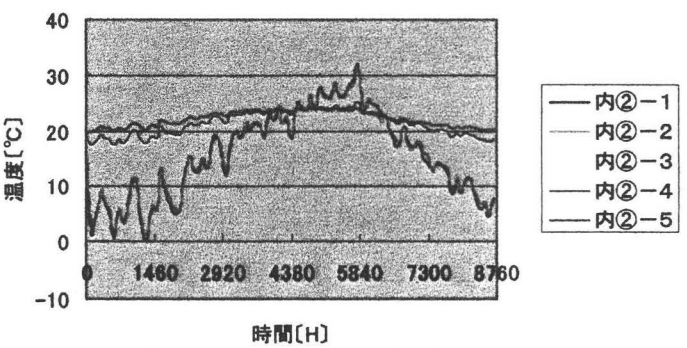


図 5-3-5-10. 壁対中各点の温度変化

（名古屋、内断熱、GW＋ＰＥ）

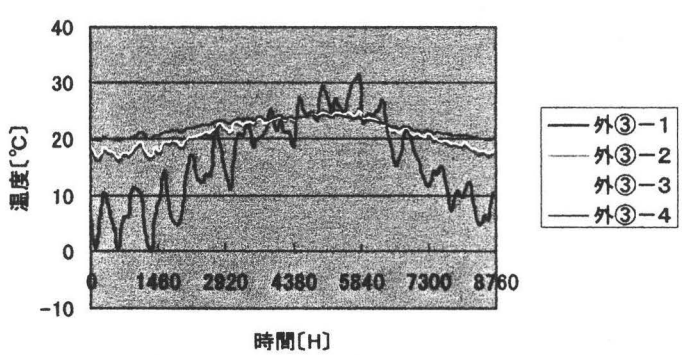


図 5-3-5-11. 壁対中各点の温度変化

（名古屋、外断熱、ＵＦ）

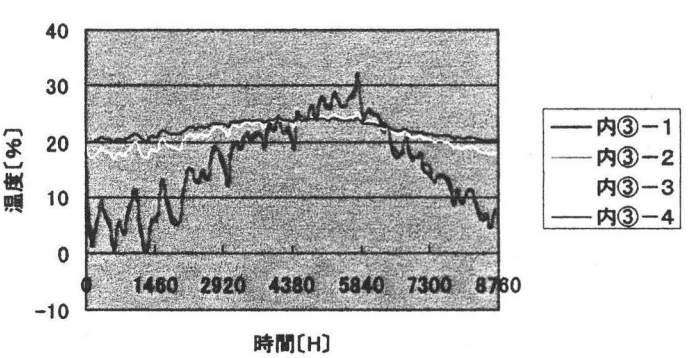


図 5-3-5-12. 壁対中各点の温度変化

（名古屋、内断熱、ＵＦ）

5－3－6　福岡

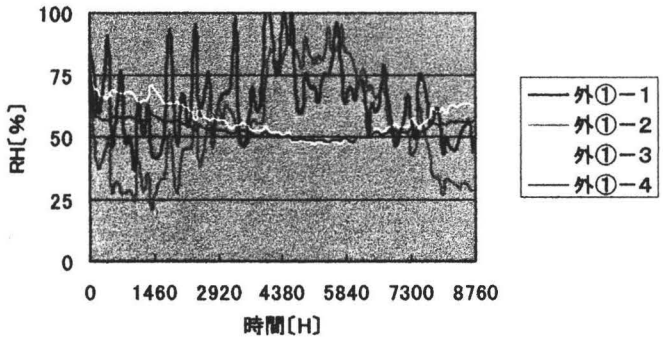


図 5-3-6-1. 壁体中各点のＲＨ変化

（福岡、外断熱、ＧＷ）

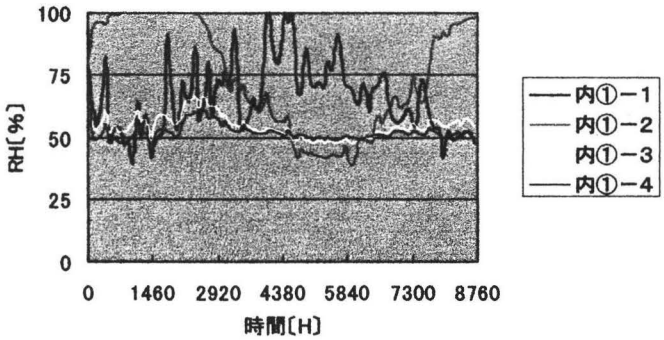


図 5-3-6-2. 壁体中各点のＲＨ変化

（福岡、内断熱、ＧＷ）

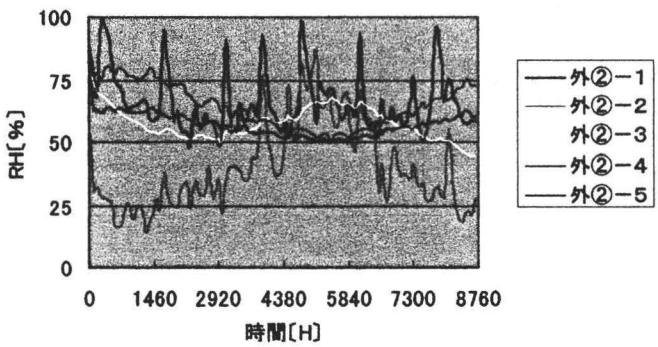


図 5-3-6-3. 壁体中各点のＲＨ変化

（福岡、外断熱、ＧＷ＋ＰＥ）

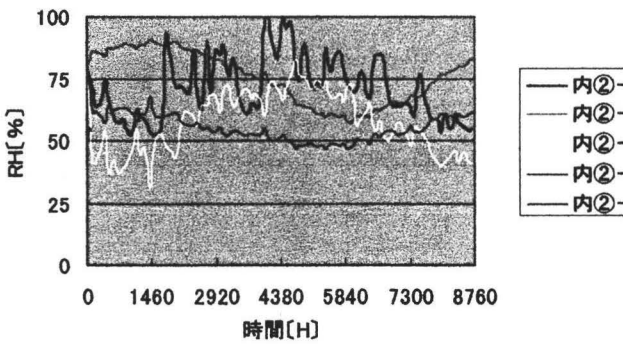


図 5-3-6-4. 壁体中各点のＲＨ変化

（福岡、内断熱、ＧＷ＋ＰＥ）

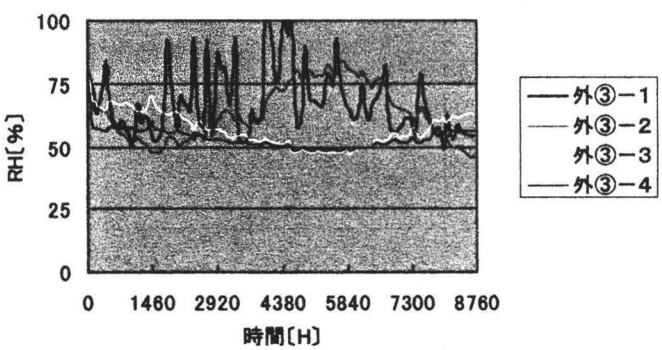


図 5-3-6-5. 壁体中各点のＲＨ変化

（福岡、外断熱、ＵＦ）

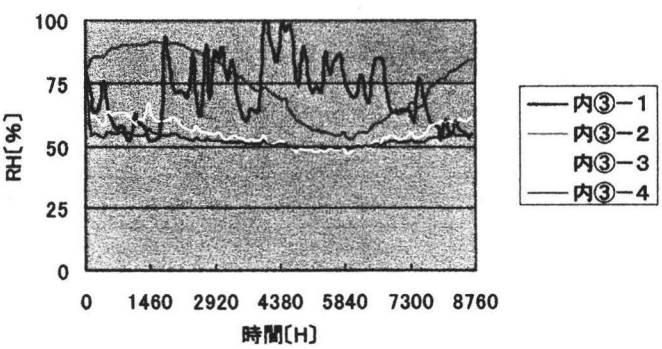


図 5-3-6-6. 壁体中各点のＲＨ変化

（福岡、内断熱、ＵＦ）

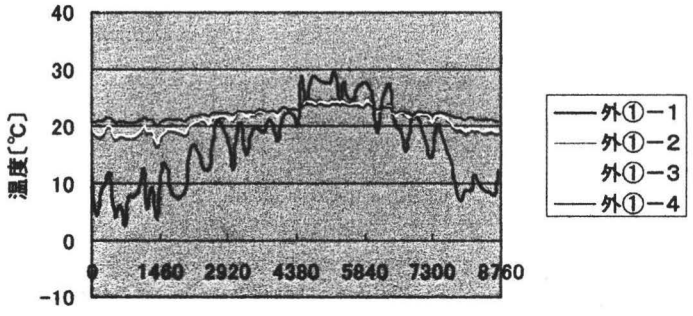


図 5-3-6-7. 壁体中各点の温度変化

（福岡、外断熱、GW）

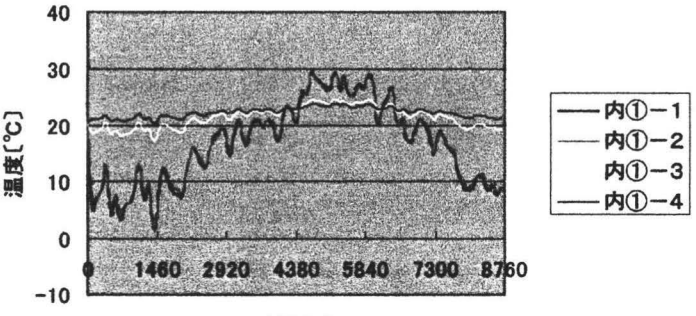


図 5-3-6-8. 壁体中各点の温度変化

（福岡、内断熱、GW）

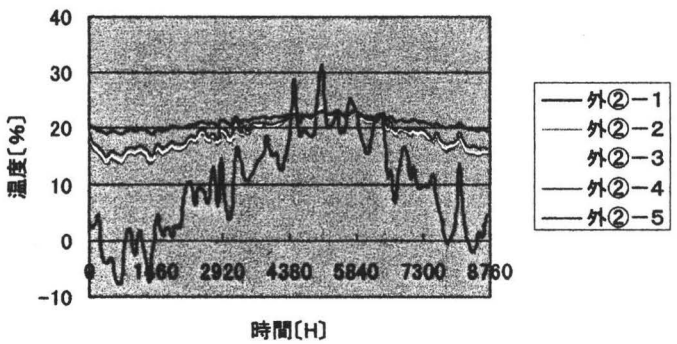


図 5-3-6-9. 壁体中各点の温度変化

（福岡、外断熱、GW＋PE）

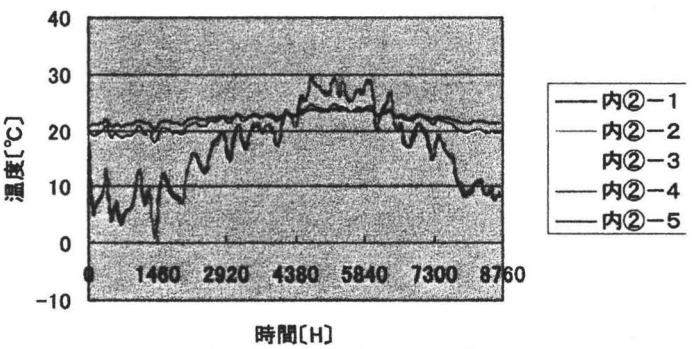


図 5-3-6-10. 壁体中各点の温度変化

（福岡、内断熱、GW＋PE）

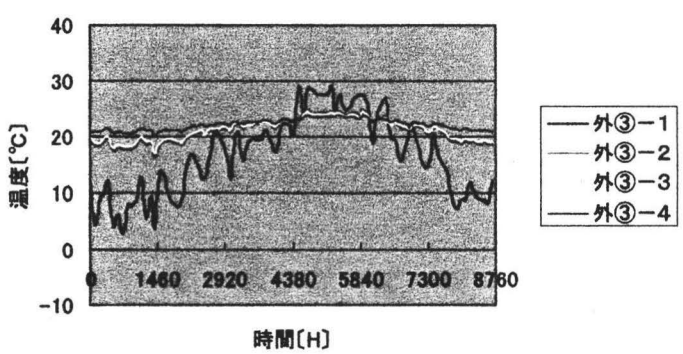


図 5-3-6-11. 壁体中各点の温度変化

（福岡、外断熱、UF）

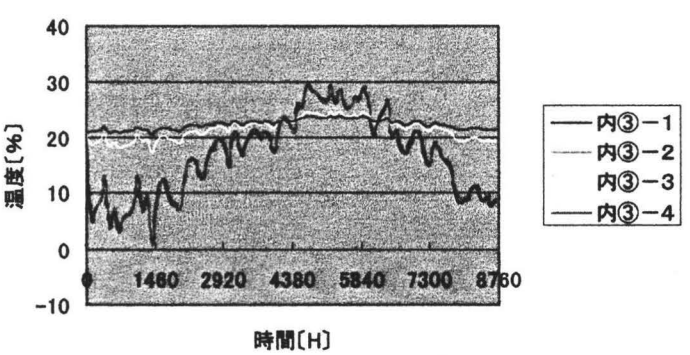


図 5-3-6-12. 壁体中各点の温度変化

（福岡、内断熱、UF）

5－3－7　那覇

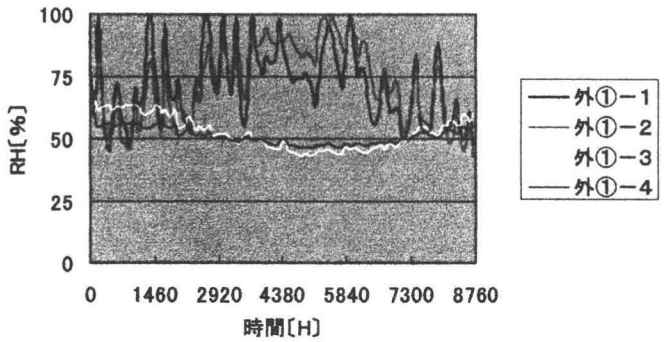


図 5-3-7-1. 壁体内各点のＲＨ変化

（那覇、外断熱、GW）

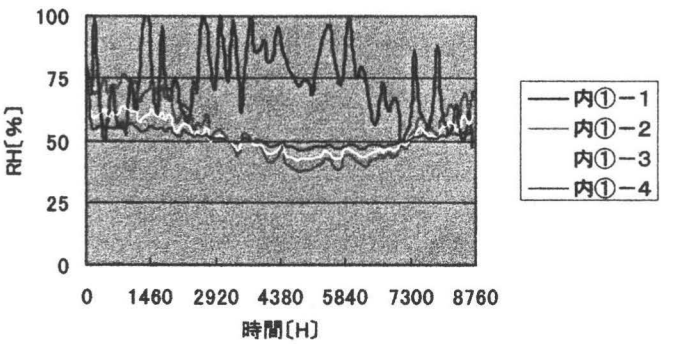


図 5-3-7-2. 壁体内各点のＲＨ変化

（那覇、内断熱、GW）

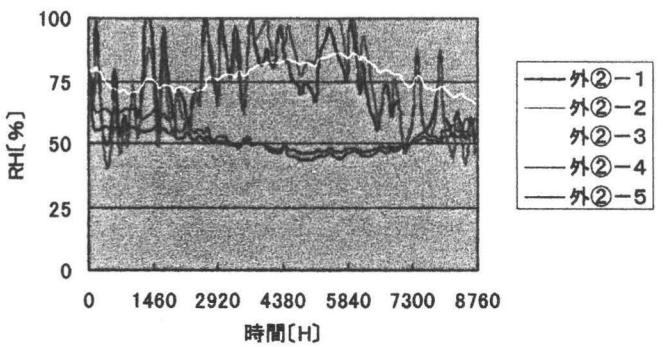


図 5-3-7-3. 壁体内各点のＲＨ変化

（那覇、外断熱、GW＋ＰＥ）

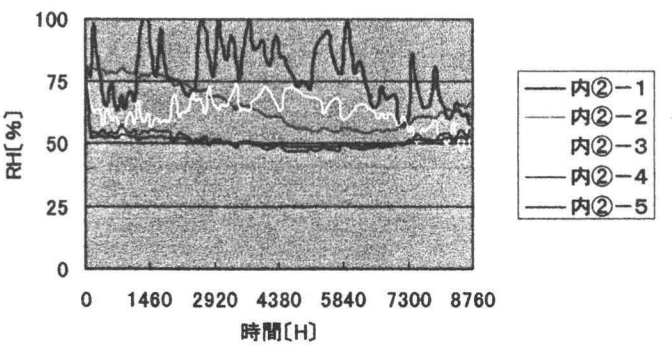


図 5-3-7-4. 壁体内各点のＲＨ変化

（那覇、内断熱、GW＋ＰＥ）

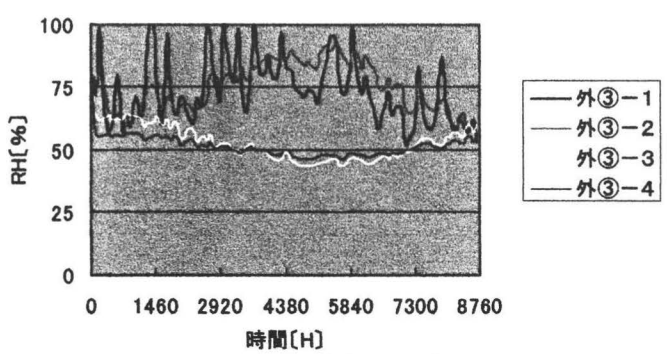


図 5-3-7-5. 壁体内各点のＲＨ変化

（那覇、外断熱、ＵＦ）

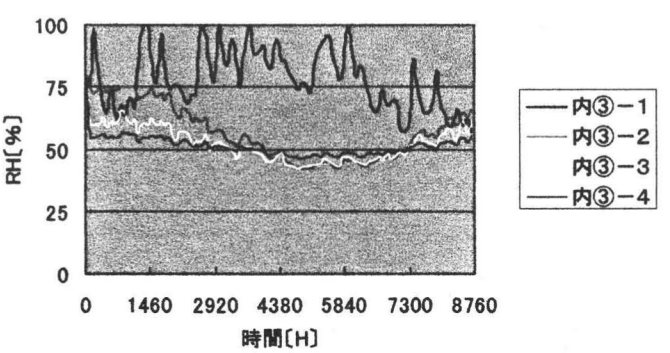


図 5-3-7-6. 壁体内各点のＲＨ変化

（那覇、内断熱、ＵＦ）

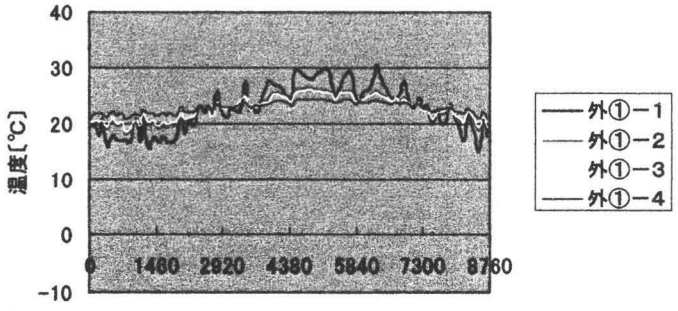


図 5-3-7-7. 壁体内各点の温度変化

（那覇、外断熱、GW）

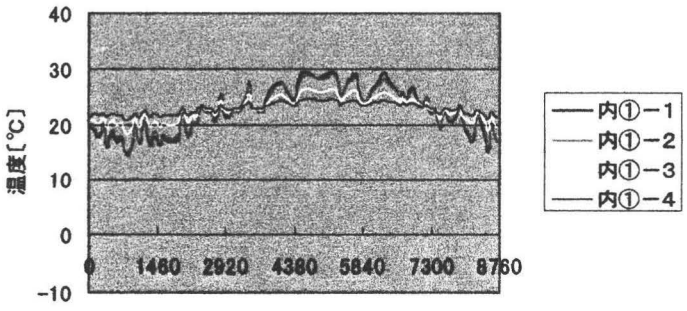


図 5-3-7-8. 壁体内各点の温度変化

（那覇、内断熱、GW）

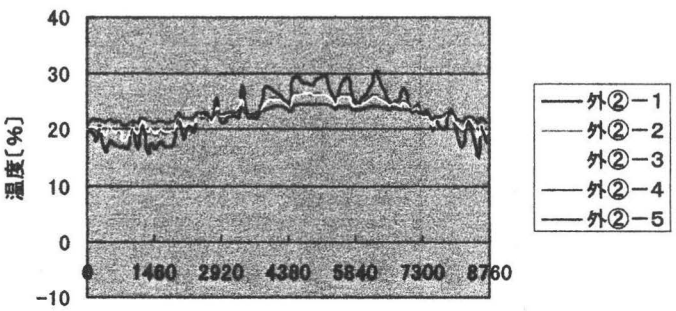


図 5-3-7-9. 壁体内各点の温度変化

（那覇、外断熱、GW＋PE）

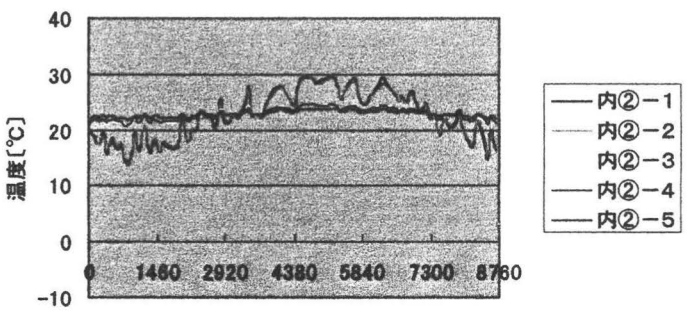


図 5-3-7-10. 壁体内各点の温度変化

（那覇、内断熱、GW＋PE）

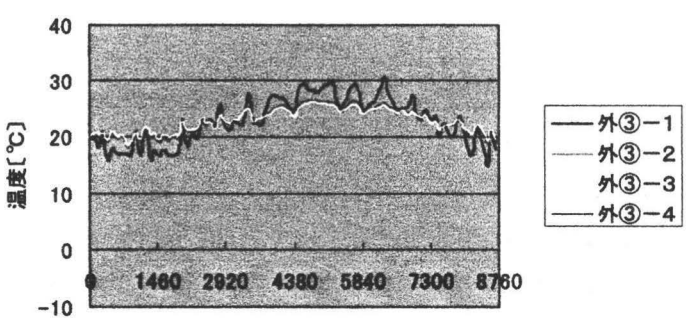


図 5-3-7-11. 壁体内各点の温度変化

（那覇、外断熱、UF）

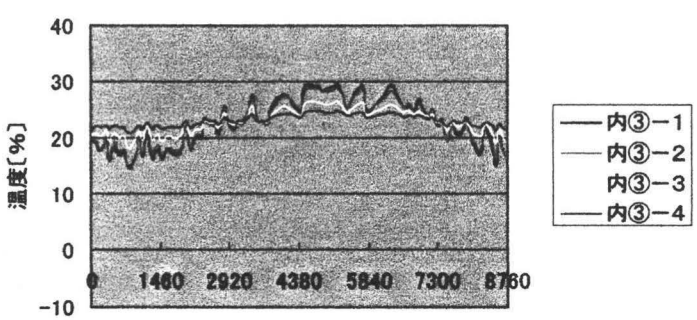


図 5-3-7-12. 壁体内各点の温度変化

（那覇、内断熱、UF）

5－3－8　考察

以下、ｉ）札幌、盛岡、新潟、東京、名古屋、福岡　ii）那覇の２グループに分けて考察を述べる。

また、各壁体とも外装材に設置したモニターポジション１(以下点 1)は屋外の気象条件に同調し､内装材に設置した点４あるいは点５は室内温湿度条件にほぼ一致したので、コンクリートと断熱材に設置した点 2～4 に関して考察する。

ｉ）札幌、盛岡、新潟、東京、名古屋、福岡

《冬期》

・断熱工法によるＲＨ推移の違い

冬期、RH 変化において外断熱と内断熱の差がはっきりとした。

各地、壁体内ＲＨの年間推移のグラフを見ると、1～3 月において外断熱ではいずれの断熱材を使った場合も点 2、3 のＲＨは 75%RH 以下であるのに対して、内断熱では点 2 が 75%を超えている。これは断熱工法の違いにより（外断熱ではコンクリートの外側に断熱材を施工、内断熱はコンクリートの内側に断熱材を施工)、コンクリートの温度に差が出ているからだと考えられる。内断熱はコンクリートの温度が低く、飽和水蒸気量も小さくなるので、内断熱は外断熱に比べて RH が大きくなっていると考えられる。

・断熱材によるＲＨ推移の違い

外断熱壁に関して、1～3 月のＲＨの特徴を断熱材別に見ると、ＧＷを使った壁体は点 2 では 20～50%ＲＨの間を変動しており､点 3 では 60～70%ＲＨを保っている。ＧＷ+ＰＥを使った壁体もほぼ同様の結果となった。外断熱においてはＧＷにＰＥを貼る必要はないと考えられる。ＵＦを使った壁体は点 2、3 共に 50～70%ＲＨを保っている。

内断熱壁に関しては､ＧＷを使った壁体は点 2 において常に 100%ＲＨで結露の生じている状態である。ＧＷ＋ＰＥを使った壁体は点 2 において 90%ＲＨと高い値を保っているが､点 3 では 30～40%ＲＨと低い値を示している。これは、断熱材より屋外側にある点2と断熱材より室内側にある点3の温度の違いによるものだと考えられる。ＵＦを使った壁体では、点 2 は 90%ＲＨと高い値を保っており、点 3 は 60～70%程度を保っている。

・断熱工法による温度推移の違い

各地、壁体内温度の年間推移のグラフを見ると点 2 の温度が外断熱と内断熱で大きく違う。外断熱工法では 20℃付近でほぼ一定であるのに対して、内断熱工法では外気温に同調し 0℃前後で大きく変動している。温度が低ければ飽和水蒸気量も小さくなるので、内断熱は外断熱に比べて RH が大きくなっていると考えられる。

《夏期》

・断熱工法によるＲＨ推移の違い

各地、壁体内ＲＨの年間推移のグラフを見ると、夏期、外断熱ではいずれの断熱材を使った場合も点２のＲＨは冬期よりも高くなっているのに対して、内断熱では冬期よりも低くなっている。これは屋外に比べて低温であるコンクリート表面(点 2)に屋外の暑くて湿った空気が接する事によって RH が高くなっている現象(逆転結露現象)だと考えられる。

しかし、いずれの断熱材の場合も 80%RH を超えることはない結果となった。特に断熱材に UF を使用した壁では点 2､3 のＲＨがカビの生育条件である 70%RH を超えなかった。

・断熱材によるＲＨ推移の違い

外断熱壁に関して、1～3 月のＲＨの特徴を断熱材別に見ると、ＧＷを使った壁体は点 2 では 75～90%ＲＨの間を変動しており、点 3 では 50%ＲＨ付近を保っている。ＧＷ+ＰＥを使った壁体もほぼ同様の結果となった。夏期のＲＨの動向を見ても、外断熱においてはＧＷにＰＥを貼る必要はないと考えられる。ＵＦを使った壁体は点 2 では 75%ＲＨ付近、点 3 では 50%ＲＨ付近を保っている。

内断熱は、ＧＷを使った壁体は点 2 で 50%ＲＨ付近まで下がっている。ＧＷ＋ＰＥを使った壁体も点 2 においては 60～70%ＲＨまで下がっているが、点 3 では逆に 75%ＲＨ程度と冬期に比べて上昇している。これは、断熱材より屋外側にある点 2 と断熱材より室内側にある点 3 の温度の違いによるものであり､逆転結露現象が生じていると考えられる｡ＵＦを使った壁体では､点 2 は 60～70%ＲＨまで下降し、点 3 は年間通じて 50%ＲＨ付近でほぼ一定となっている。

・断熱工法による温度推移の違い

各地、壁体内温度の年間推移のグラフを見ると点 2 の温度が外断熱と内断熱で大きく違う。外断熱では 20℃付近でほぼ一定であるのに対して、内断熱では外気温に同調し大きく変動している。外断熱では屋外の暑くて湿った空気が低温の点 2 の接する事によって RH が高くなっている現象(逆転結露現象)が生じる。

《結露水凍結の被害》

内断熱・断熱材 GW の場合、冬期、点２ではほぼ 100%RH となっており、常に結露が生じている状態である。そのときの点２の温度を見ると、0℃付近であり、特に札幌・盛岡では氷点下となっていることもある。温度が氷点下で結露が生じていると結露水が凍結し、コンクリートのひび割れや春に結露水が溶け出した時に浸水の被害が生じる。内断熱・断熱材 GW+PE または UF の場合は 100% RH になっていることはないが、1mm程度の PE が破損する危険性を考えると冬期にコンクリート温が氷点下になる内断熱工法は寒冷地に適さないと考えられる。

ii）那覇

《冬期》

・断熱工法、断熱材によるＲＨ推移の違い

ＲＨのグラフを見ると外断熱ではいずれの断熱材を使用した壁体も点２は外気条件によく同調している。点３は断熱材にＧＷ、ＵＦを使用した壁体は60%ＲＨ付近、ＧＷ＋ＰＥを使用した壁体は75%ＲＨ付近でほぼ一定である。

内断熱ではいずれの断熱材を使用した壁体も点２は 75%ＲＨ付近でほぼ一定の値を示している。点３はいずれの断熱材を使用した壁体も60%ＲＨ付近でほぼ一定である。

・断熱工法による温度推移の違い

那覇では冬期でも外気温が高く、室内設定温度とほぼ変わらない。温度変化のグラフを見ると、壁体内各点の温度がほぼ同じであり、またほぼ一定を保っていることがわかる。

《夏期》

・断熱工法によるＲＨ推移の違い

夏期、外断熱では冬期と同様にいずれの断熱材を使った場合も点２は外気条件によく同調している。また、冬期に比べて点２のＲＨは上昇しており、逆転結露現象の影響が見られる。断熱材によっては100%ＲＨとなっているものもある。

一方、内断熱では点２のＲＨは冬期よりも低くなっている。これは点２の温度が冬期に比べて上昇したからだと考えられる。内断熱ではカビの発生しやすい夏期に点2、3のＲＨをほぼ70%以下に抑えることができた。

・断熱材によるＲＨ推移の違い

外断熱壁に関して、夏期のＲＨの特徴を断熱材別に見ると、ＧＷを使った壁体は点２では80～90%ＲＨの間を変動しており、結露の危険性が高い。一方、点３では50%ＲＨ付近を保っている。ＵＦを使った壁体も同様の動向を示した。ＧＷ+ＰＥを使った壁体では点 2 において 100%ＲＨとなることもあり、結露が発生しうる事がわかった。点３も80%付近まで上昇した。GW+ＰＥを使った壁体は、防湿シートＰＥの影響で逆転結露が生じていると考えられる。

内断熱壁に関しては、ＧＷを使った壁体は点2、3共に50%ＲＨ付近まで下がっている。ＵＦを使った壁体も同様の動向を示した。ＧＷ＋ＰＥを使った壁体は点２においては50～60%ＲＨまで下がっているが、点３では逆に75%ＲＨ程度と冬期に比べて上昇している。これは、断熱材より屋外側にある点２と断熱材より室内側にある点３の温度の違いによるものであり、逆転結露現象が生じている。

・断熱工法による温度推移の違い

冬期と同様。

５－４　シミュレーション結果③

壁体内コンクリートのＲＨの年間推移が都市や使用した断熱材によってどう違うのか調べるために、都市ごとに各断熱材を使用した壁体内のコンクリートＲＨをグラフにした。

次項から各都市、断熱工法・断熱材ごとに壁体内モニターポジション２のＲＨ年間推移を表す。

５－４　壁体内コンクリートRHの年間推移

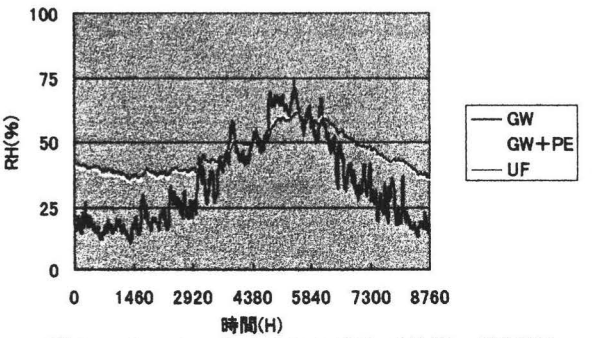


図５－４－１．点２のＲＨ変化（札幌、外断熱）

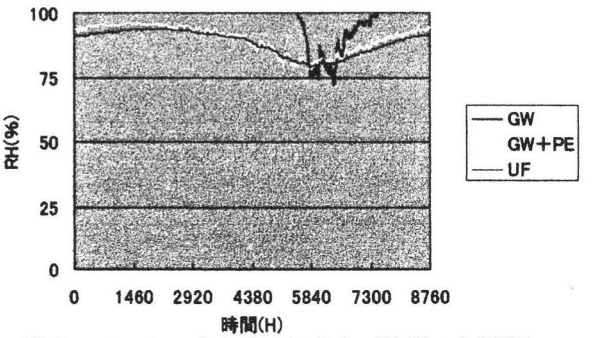


図５－４－２．点２のＲＨ変化（札幌、内断熱）

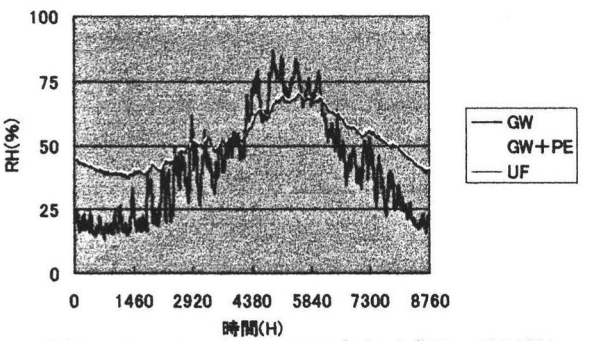


図５－４－３．点２のＲＨ変化（盛岡、外断熱）

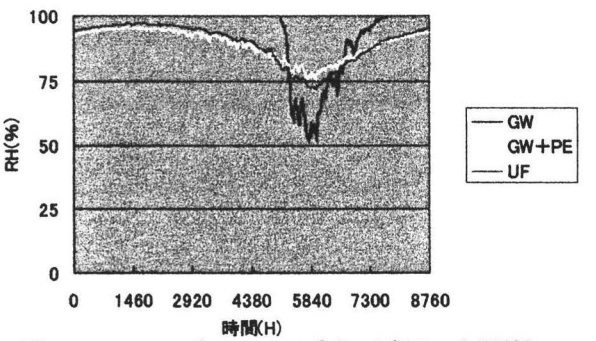


図５－４－４．点２のＲＨ変化（盛岡、内断熱）

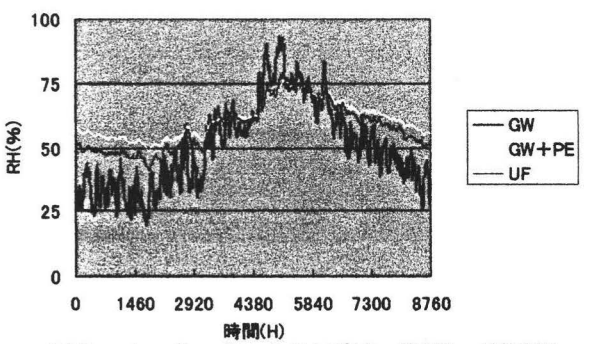


図５－４－５．点２のＲＨ変化（新潟、外断熱）

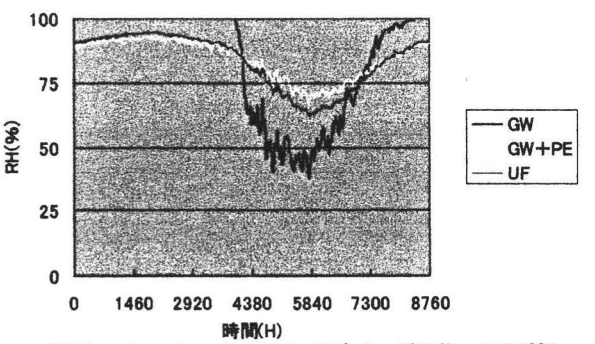


図５－４－６．点２のＲＨ変化（新潟、内断熱）

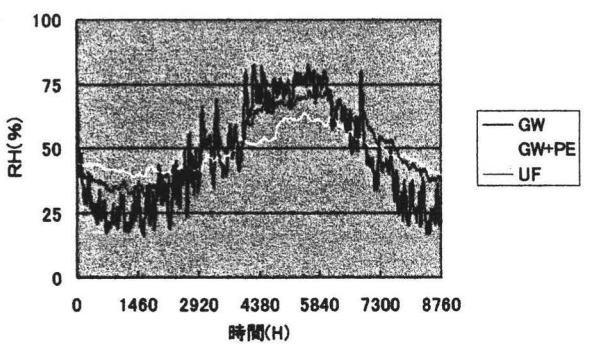


図５－４－７．点２のＲＨ変化（東京、外断熱）

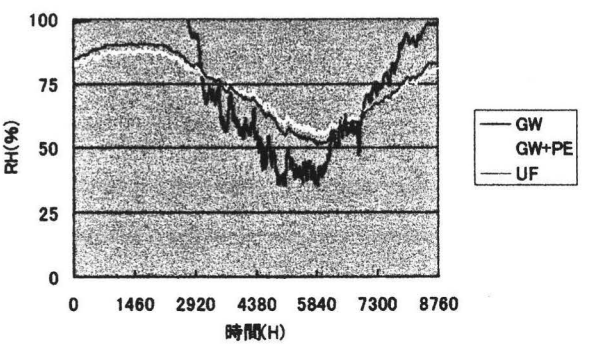


図５－４－８．点２のＲＨ変化（東京、内断熱）

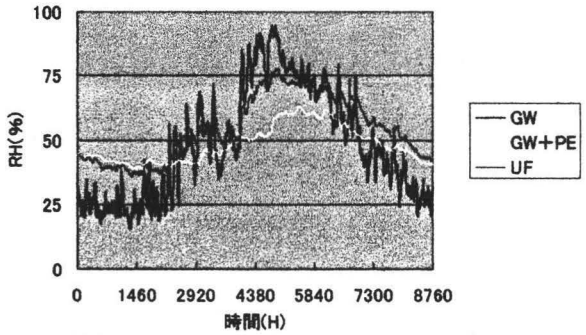


図5－4－9. 点2のRH変化(名古屋、外断熱)

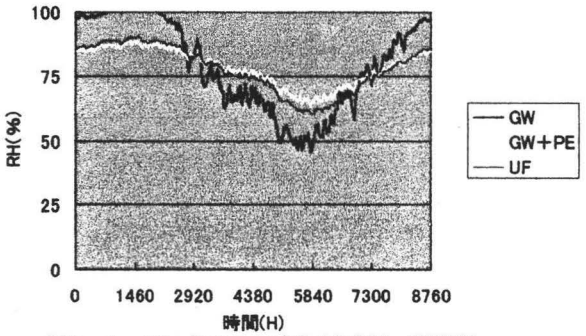


図5－4－10. 点2のRH変化(名古屋、外断熱)

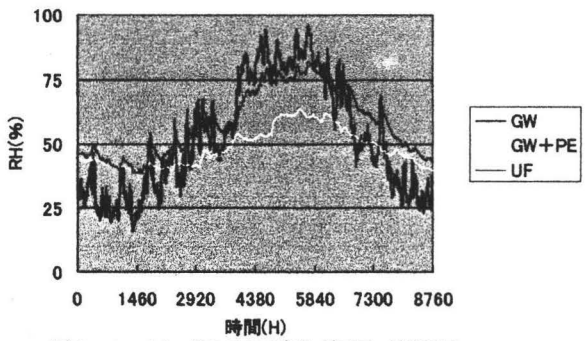


図5－4－11. 点2のRH変化(福岡、外断熱)

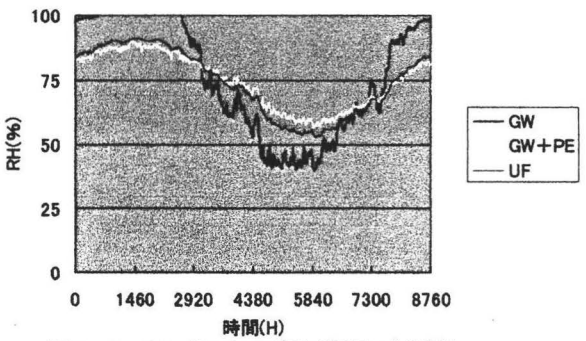


図5－4－12. 点2のRH変化(福岡、内断熱)

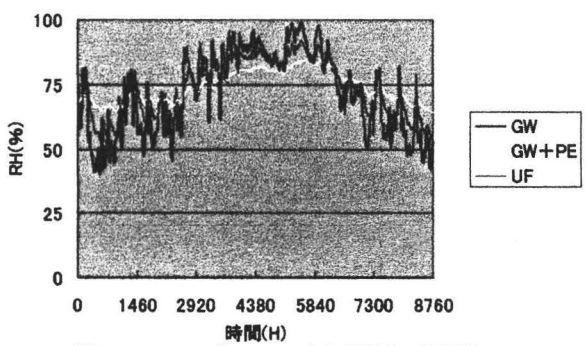


図5－4－13. 点2のRH変化(那覇、外断熱)

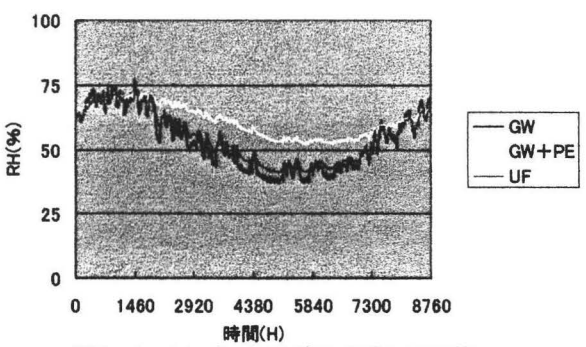


図5－4－14. 点2のRH変化(那覇、内断熱)

5－4－2　考察

《外断熱》

・GW

断熱材にGWを使った壁体のコンクリートに関しては、札幌から福岡の6都市で同傾向のRH推移を示した。冬期20～50%RH、夏期50～80%RH程度の山形グラフとなった。6都市の中で暑さが厳しい名古屋、福岡では夏期一時的に90%RH付近まで達する事もある(逆転結露現象)。また、3つの断熱材の中で、最も値が細かく変動している。これはGWの透湿性が高いため、外気条件の変化に随時反応し、同調するためだと考えられる。

・GW+PE

断熱材にGW＋PEを使った壁体コンクリートも、札幌から福岡の6都市で同傾向のRH推移を示した。冬期40～50 %RH、夏期60～70%RH程度の山形グラフとなった。GWのみを断熱材とした壁体コンクリートに比べて夏期と冬期の差が小さい。GWのみの場合と同様に名古屋、福岡において夏期逆転結露現象の影響が見られるが、75%RH程度までの上昇である。

・UF

断熱材にUFを使った壁体のコンクリートも、札幌から福岡の6都市で同傾向のRH推移を示した。冬期40～50%RH、夏期60～70%RH程度の山形グラフとなった。名古屋、福岡において壁体ごとのRHを比較すると、夏期、GW→GW＋PE→UFでRHが高い。夏期、UFを用いた壁体は3壁体の中で最も逆転結露現象の影響が少ないといえる。

・那覇

那覇は他の都市とは異なる傾向を示した。冬期、どの断熱材を使った壁体においてもRHが高くなっている(50～75%RH)。夏期は更に上昇し、80～90%RHとなる。夏の暑さの厳しい那覇において夏期のRHが高くなることは望ましくない。

《内断熱》

・GW

断熱材にGWを使った壁体のコンクリートは、札幌から福岡の6都市で冬期結露が発生した(100%RH)。寒冷な都市ほど結露している時間が長い結果となった。特に、札幌では一年の大半が結露している。また、夏期、結露が蒸発するとRHが下降して50%RH程度になる。GWは透湿性が高いので、夏期コンクリート温が上昇するに従ってすぐに乾燥する。また、3つの断熱材の中で、最も値が細かく変動している。これはGWの透湿性が高いため、外気条件の変化に随時反応し、同調するためだと考えられる。

・GW+PE、UF

断熱材にGW+PEを使った壁体コンクリートは、全ての都市で冬期RHが高く、夏期になるとRHが下降するという年間推移示している。この傾向は温暖な都市ほど顕著であり、グラフの年間変動が大きくなっている。札幌、盛岡では年間通じて75%RH以上となっている。福岡では最もRHの低い夏期においても60%RHと外断熱に比べてRHは高い。

断熱材にGW+PEを使った壁体とUFを使った壁体は札幌から福岡いずれの都市でもグラフがほぼ重なっている。GWは防湿シートのPEを貼る事で、UFと同じ働きをするようになることがわかった。

・那覇

那覇は冬期、GWを使った壁体においても結露は発生しなかった。どの断熱材を使った壁体も年間通じて40～75%RHとなり、外断熱時に比べると適正な湿度環境といえる。

第六章　総括

本研究目的は第一章に述べたように、「内断熱工法と外断熱工法のモデルにおいて、日本各地の気象データを用いた長期間の非定常解析を行い、壁内の温湿度性状を比較すること。そして、カビの発生しにくい断熱工法を検討すること。」であった。そのために、第五章では、ＷＵＦＩよる非定常シミュレーションを行った。その結果を以下にまとめる。

まず、カビの防止基準との照合では、外断熱工法は那覇以外の全ての都市において、いずれの断熱材を用いた場合も基準を満たしが、逆に内断熱工法は那覇で基準を満たしただけで、その他の都市では基準を満たさなかった。

結露防止基準との照合では、外断熱工法ではカビの防止基準と同様に、那覇以外の全ての都市においていずれの断熱材を用いた場合も基準を満たした。一方、内断熱工法は断熱材にGWを用いたものは那覇、GW+PEを用いたものとUFを用いたものは東京、名古屋、福岡において基準を満たした。

以上の結果から、壁体内のコンクリートの乾燥を保つことに関して、日本の多くの地域において外断熱工法は内断熱工法より優れている事がわかった。次世代省エネ基準を満たす断熱材の厚さを用いても、内断熱工法ではカビや結露の生じる危険性がある。

一方、外断熱工法の弱点として、夏期の逆転結露現象が挙げられる。これは夏期に外気が高温多湿になると壁体内コンクリートのRHが上昇してしまう現象であり、温暖な地方ほど影響が大きい。この逆転結露現象が顕著に現れたのが亜熱帯気候の那覇である。那覇では内断熱工法よりも外断熱工法の方が壁体内コンクリートの RH が年間通じて高くなった。対象都市を年間通じて見ると、福岡までは内断熱工法よりも外断熱工法を用いた方がコンクリートの乾燥が保てる結果となった。また、逆転結露現象が最も起こりにくいのは断熱材としてUFを用いた場合である（断熱材ごとの壁体内コンクリートRHの年間推移より）ので、夏期の気候が温暖な都市で外断熱工法を施工する際には断熱材にはUFを用いるとよい。

また、今回採用した熱・水分同時移動の非定常解析プログラムＷＵＦＩにでは、定常解析ではできなかった、コンクリートの相対湿度の年間推移を求めることができた。ＷＵＦＩは建材データも豊富であるし、実際の気象データを入力できるので、実際の建物外壁の温湿度性状により近いデータが得られたと思う。

今回の結果から、温暖地への断熱工法の適正を確認するためには福岡と那覇の間にさらに九州地方のデータが必要だと思った。今後の課題として、さらに九州地方の気象データを用い、温暖地に適した断熱工法を調査したい。また、今回は室内側の温湿度条件を 23℃50%RH 一定と設定したが、住宅においてはもっと高湿度になる場合が多い。室内側の条件に関しては更に検討の余地がある。

また、今回は外壁内の温湿度性状についてのみ調査を行ったが、実際は居住空間内において、押し入れ内や家具の裏などが高湿度になり、カビや結露の生じている状況も多い。建物内の温湿度は各々の部分が相互作用を与え合っているので、一部を見ただけでは建物全体を把握したことにはならない。本研究で検討した因子はほんの一部に過ぎず、様々な現象を考慮した検討が必要である。

付録　7都市の気象

《札幌》

表-1. 札幌の外気温・ＲＨ月平均値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温〔℃〕	-3.6	-3.5	0.7	8.2	12.9	17.1	17.7	20.7	17.5	11.6	6.2	0
RH〔%〕	67	70	63	63	61	70	71	79	72	68	65	67

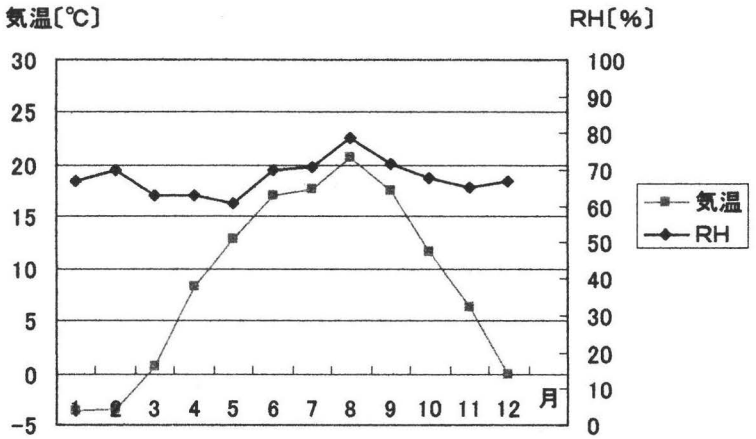


図-1. 札幌の外気温・RH
月平均値の年間推移

札幌は北海道気候区に属する。冬期は寒さが厳しく、1、2、12 月平均気温が氷点下(冬日 97 日、真冬日 45 日)となる。一方、夏期は平均気温が 20 度を超える(夏日 36 日)。日本の他の地域のように初夏の梅雨はない。10 月下旬になると雪が降り始める。年間雨量はあまり多くないが、冬期は降雪の影響(降雪日 115 日)で他の地域に比べて RH が高い。

冬日；最低気温が氷点下の日
真冬日；最高気温が氷点下の日
夏日；最高気温が 25℃以上の日

《盛岡》

表-2. 盛岡の外気温・ＲＨ月平均値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温〔℃〕	-2.2	-0.9	1.7	9.3	15.1	18.8	18.8	21.8	18.5	11.7	7.1	2.9
RH〔%〕	76	71	67	68	66	74	81	82	79	74	75	71

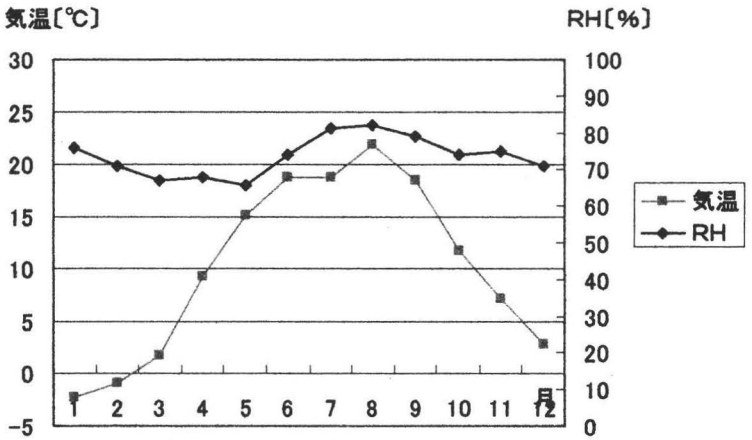


図-2. 盛岡の外気温・RH
月平均値の年間推移

盛岡は高緯度かつ標高も高い内陸地である(標高 155m)。西を奥羽山脈、東を北上高地に挟まれているため、南北に長い盆地的な地形となっている。このため、夏は暑く、冬は寒い気候である。日本海中部から山形県方面に進み岩手県南部を通過する低気圧の影響をうけて悪天となりやすい。また、梅雨の終わりごろには内陸南部では活発化した梅雨前線の影響を受けやすく、沿岸南部とあわせて大雨になることがある。冬期は平均気温が氷点下となり寒さが厳しい。札幌同様冬期は降雪が多いため、高湿である。冬日 115 日、真冬日 10 日、夏日 43 日、真夏日 4 日。

《新潟》

表-3.新潟の気温・ＲＨ月平均値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温〔℃〕	2.3	3.5	5.5	11.8	17.4	21.4	22	24.9	22.3	15.8	12.1	6.8
RH〔%〕	73	68	64	70	66	73	78	77	73	65	69	69

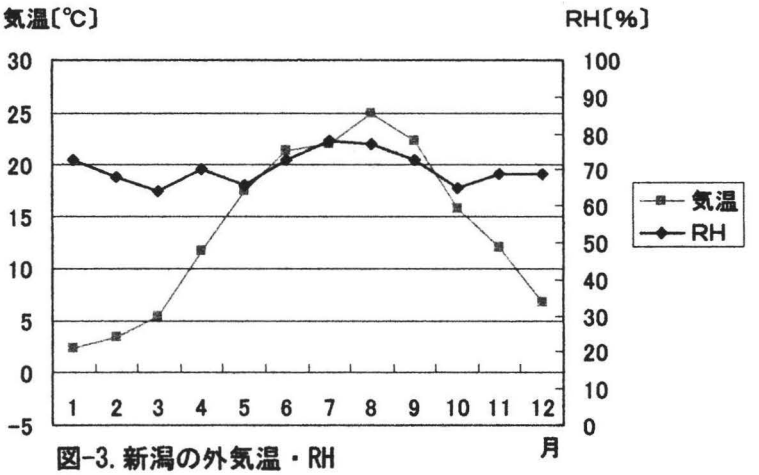


図-3. 新潟の外気温・RH月平均値の年間推移

新潟は日本海岸気候に属する日本海側の海沿いの都市である(海抜 2m)。冬期、平均気温は札幌・盛岡に比べて高いにもかかわらず、降雪量はこの２都市に比べてかなり多い(１月降水量；札幌 104.0mm、盛岡 100.0mm、新潟 173.0mm)。また、冬期は日本海からの季節風が非常に強く、雨、アラレ、ミゾレが降る。夏期は非常に蒸暑い。関東平野ではこの時期夕立が多いのだが、新潟では夕立があまりない。

冬日 34 日。夏期は夏日 84 日、真夏日 18 日。

《東京》

表-4.東京の気温・ＲＨ月平均値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温〔℃〕	5.5	6.4	8.7	15.1	18.8	23.2	22.8	26	24.2	17.8	14.4	9.2
RH〔%〕	46	52	49	61	65	69	75	73	66	59	67	50

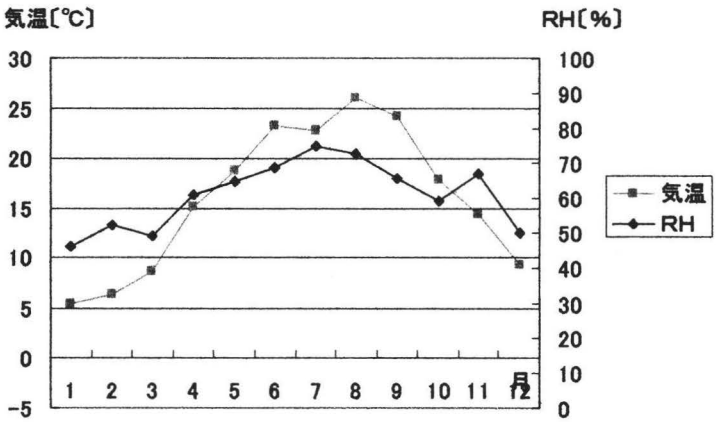


図-4.東京の外気温・RH
月平均値の年間推移

東京は太平洋岸側気候区であり、関東平野にある(海抜 6m)。冬期は、冬型の気圧配置となることが多く、年間で最も降水量が少なく乾燥する時期となる。

また、東京の日照時間は、年間を通して多いが、梅雨時期と秋雨・台風の時期には少なくなる。年間日照時間は、1847 時間で、札幌、金沢、八丈島より多く、南にある那覇（１８２１時間）に比べても多い。夏期はヒートアイランド現象の影響もあり、特に都心では暑さが厳しい。

冬日４日。夏日 104 日、真夏日 48 日。

真夏日；最高気温が 30℃以上の日

《名古屋》

表-5.名古屋の気温・ＲＨ月平均値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温〔℃〕	3.8	5.9	7.9	14.8	19.1	22.6	23.7	26.9	24.9	16.9	14.5	7.1
RH〔%〕	61	56	52	66	68	74	81	77	70	66	76	70

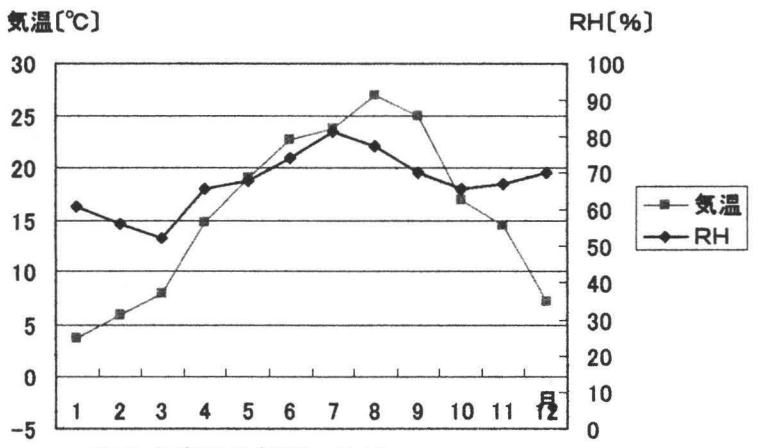


図-5.名古屋の気温・ＲＨ月平均値の年間推移

名古屋は東京と同じく太平洋側気候区に入り、夏期は高温・多雨、冬期は小雨・乾燥する特徴にある。冬期の雪による降水量は少なく、暖候期の雨による降水が多い。低気圧、梅雨前線、秋雨前線や台風の影響によってもたらされる、６～７月と９月に降水が多い。名古屋は、西高東低の冬型気圧配置となる場合、断続的に雲が広がることはあっも、大半は晴れる。しかし、年に数回は積雪となることもある。積雪となるのは、日本付近に強い寒気が南下して、北西の季節風が強まる場合がほとんどで、南岸低気圧による積雪もあるが、回数は多くない。冬日 28 日、夏日 123 日、真夏日 51 日。

《福岡》

表-6.福岡の気温・ＲＨ月平均値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温〔℃〕	5.9	8.3	9.9	16.1	2	23.2	25.5	27.2	25.6	18.8	16.1	9.3
RH〔%〕	60	64	63	65	68	70	75	74	67	58	70	57

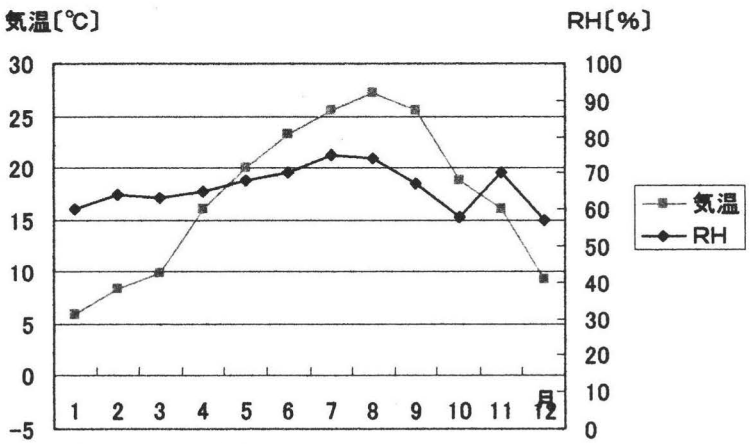


図-6.福岡の気温・ＲＨ
月平均値の年間推移

福岡は太平洋岸気候区に属する太平洋岸の都市である(海抜 3m)。福岡の気候は日本の中では年間通じて比較的温暖である。冬期は寒く、降雨が多く、降雪も時々ある。春は晴れの日が多くて暖かいが、黄砂の影響からほこりっぽい風が吹くことが多い。6 月から 7 月にかけて梅雨（雨期）に入る。梅雨が明けたら暑くて湿気も多い夏期が 9 月の終わり頃まで続く。秋は快適な気候で過ごしやすいが、台風シーズンが 9 月から 10 月の終わり頃まで続く。

冬日 3 日、夏日 141 日、真夏日 49 日。

《那覇》

表-7.那覇の気温・ＲＨ月平均値

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
気温〔℃〕	15.7	18.1	18.4	22.6	24.4	26.6	29.9	29.6	28.5	24.7	23.8	18.7
RH〔%〕	59	65	67	76	75	79	73	73	71	62	67	58

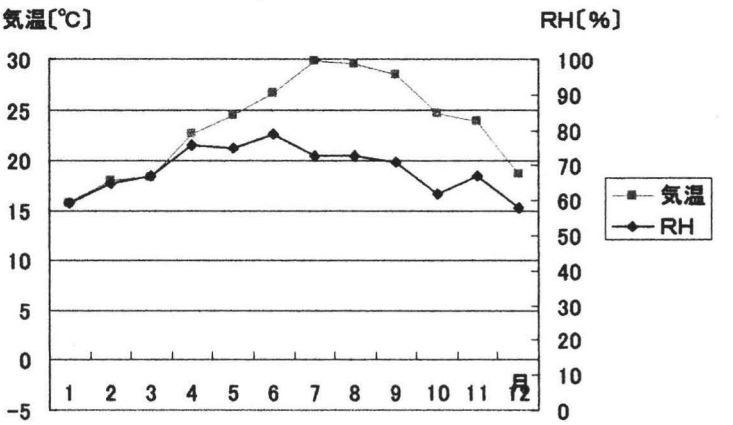


図-7.那覇の気温・ＲＨ
月平均値の年間推移

那覇は南西諸島気候区に属する（海抜 28m）。沖縄県は、北緯 24 度から 28 度にあり、日本で唯一県の全域が亜熱帯海洋性気候に属している。夏期は平均気温が 30℃近くなる。冬期にも平均気温は 15 度を下らず、降雪もない。春から夏にかけては雨量が比較的多く、夏から秋には熱帯低気圧の通過路となって、毎年数個の台風が通過する。特に、沖縄近海が台風の進路変更点になっているため、台風通過の際、長時間にわたり強風におそわれることが多い。

夏日 220 日、真夏日 100 日。

参考文献

1．鹿島出版会編：「建物の断熱と結露防止の知識」鹿島出版会、1982年

2．本間義規：防露計算の現状　建築技術 No.620pp167-174

3．総合防菌研究所：「新築建物の防カビ設計・仕様」㈱アイオーエム、1991年

4．田中絵梨：集合住宅における省エネルギー手法及び断熱工法に関する研究、お茶の水女子大学修士論文 2002年

5．今泉静代：建物躯体の内部結露に関する評価研究、お茶の水女子大学卒業論文 1999年

6．坂本雄三：断熱工法の基礎、トステム建材産業振興財団、2003年

7．建築技術 No.612「外断熱って知ってる」

8．(社)日本建築学会：建築工事仕様書 24 断熱工事、1995年

9．通商産業省生活産業局窯業建材課：ゆとりと豊かさの快適住宅のために－断熱化の必要性と断熱建材、1997年

10. (財)住宅・建築省エネルギー機構；住宅の次世代省エネルギー基準と指針、1999年

11. 坂本雄三監修；次世代省エネルギー基準・早分かりガイド、(財)住宅・建築省エネルギー機構および(社)日本建材産業協会、1999年

12. 山田雅士：結露をとめる、朝倉書院、1987年

13. 建築のテキスト編集委員会編：「初めての建築環境」学芸出版社、1996年

14. 宇田川光弘：「パソコンによる空気調和計算法」オーム社、1986年

15. 宮田久視子：建物躯体の水蒸気拡散に関する研究、お茶の水女子大学卒業論文 1998年

16. 杉崎智子：建物外皮構造の断熱と内部結露、お茶の水女子大学卒業論文 2001年

17. 小野由美子：断熱構造と内部結露に関する総合的調査、お茶の水女子大卒論 2002年

18. 拡張アメダス気象データ、日本建築学会、2000年

19. 気象庁年報、気象庁編、(財)気象業務支援センター、2002年

20. WUFI：Wärme und Feuchetransports in Bauteilen

21. 小峰裕己他；住宅室内のカビ汚染と防止に関する研究　日本建築学会計画系論文集 No.484　pp33-38　1996年

22. 青木正論：温暖地に向けた断熱外壁の防露技術に関する研究、空気調和・衛生工学会講演論文集、2001年

23. 奥山博康：内部結露と暖房負荷に関する外断熱と内断熱の比較検討、空気調和・衛生工学会講演論文集、2001年

24. 坂本雄三,渡辺一正：実大試験壁体における熱湿気同時移動モデルの検証,日本建築学会計画系論文集,No.457,39-47

25. Dipl.-Ing.Hartwig M.Kunzel:Verfahren zer ein- zweidimensionalen Berechung des gekppelten Warme- und Feuchtetransports in bauteilen mit einfachen Kennwerten 1994

1-10 木造住宅のマニフェストを用いた廃棄過程のインベントリとその建築LCAソフトへの移入

東京農工大学

教授　服部 順昭

1．本研究の背景と目的

平成12年度、我が国で排出された産業廃棄物のうち、約2割にあたる7,900万tが建設行為に由来する建設廃棄物であり、最終処分される産業廃棄物のうちの約3割は建設廃棄物に由来するものである。このような事実から、実際の建設廃棄物の流れを解明し、その環境負荷を正確に把握することは、昨今叫ばれている循環型社会形成の一因になると考えられる。

一方、木造建築物のライフサイクルを評価するソフトとして、独立行政法人建築研究所が公表した物質循環計算プログラムがある。このソフトは木造建築物の建設･解体･廃棄･処理過程における消費資源量、CO_2排出量を定量的に算定するために開発されたものである。このソフトのケーススタディの結果によると、木造建築物のライフサイクルのうち、解体･処理におけるCO_2排出量が全体の約4割を占め、そのうちの7割以上が解体材等の輸送に起因するCO_2であった。このように、輸送段階のCO_2排出量が格段に多いにも関わらず、このソフトでは建設廃棄物の輸送距離は全国一律のデフォルト値を設定している。しかし、建設廃棄物の量やその輸送距離は地域によって大きく違うことが予想されるので、そのような違いを反映した地域ごとのデフォルト値、すなわち廃棄シナリオの構築が必要になる。

そこで、マニフェスト[注1]という法律で義務づけられている伝票を用いて木造住宅の建設･解体時に発生する建設廃棄物の量やその処理フローがどの程度把握できるか、また地域ごとにそれらのシナリオが構築可能かを検証し、可能であれば物質循環計算プログラムにおける廃棄段階のデータベースに組み込むこととした。

注1：本研究は建設九団体副産物対策協議会が発行している「産業廃棄物管理表 建設系廃棄物マニフェスト」のE票を用いて行った。このE票には建設廃棄物の種類や量の他、一次処理の方法、排出事業者から最終処分もしくは再資源化まで廃棄物の処理に関わった全ての業者の名称と所在地が記載されている。

2．方法

2.1　調査対象地域の選定

まず、政令指定都市を中心に日本全国をカバーするように大都市地域を選定した。次に、

木材産業が盛んな地域や、製紙業が盛んな地域、産業廃棄物（特に木くず）の大規模処理施設がある地域などを中心に、これもまた日本全国をカバーするように中都市地域を選定した。

選定した地域について、大都市地域は新築工事5邸、解体工事10邸、中都市地域は新築工事3邸、解体工事7邸を目安に、住宅メーカーへマニフェストの収集を依頼した。選定した地域と収集できたマニフェストの邸数は表1のようになった。

2.2　建設廃棄物排出量調査

マニフェストに記載されていた廃棄物の種類と量を用いて、建物ごとに単位延床面積あたりの建設廃棄物排出量を算出し、地域ごとにまとめた。マニフェストには排出量が重量ベースで記載されているものと容量ベースで記載されているものが混在していたので、住宅メーカーから提供の換算表（表2）を用いて重量ベースに統一した。

また、同じ木造住宅を新築あるいは解体しているのにも関わらず、排出される廃棄物の品目はくい違っていた。排出量の平均値を求める際は、母数を該当地域の全邸数にするのではなく、その廃棄品目の排出があった邸数とした。

2.3　処理体制表調査

各地域の廃棄物処理の体制は、処理体制表[注2]によって確立されている。地域ごとの建設廃棄物の処理は原則としてこの中から選出されているので、廃棄物が運搬される可能性がある全てのルートを調べた。建設廃棄物の運搬距離について、地域ごとの平均値を求めるには処理体制表の平均値を知る必要がある。そこで、運搬距離については、「生活地図サイトMapFan Web」（http://www.mapfan.com/）というウェブサイトで、「高速道路は使用しない」という条件を設定し、それ以外の条件は初期設定のまま算出した。また、建設現場から一次処理施設までの運搬距離を求める際には、スタート地点が確定しないことから、当該自治体の庁舎の所在地とした。

注2：排出事業者と委託契約のある処理業者の一覧表で、二次処理業者の名称･所在地の他、一次処理方法とその後の二次処理方法等が記載されている。基本的に建設廃棄物はこの表に従って運搬･処理される。

2.4　建設廃棄物処理フロー調査

地域ごとに、マニフェストと追加伝票[注3]、処理体制表を用いて建設廃棄物の排出現場から二次処理施設もしくは三次処理施設までの流れと、それぞれの処理施設での処理方法を調査した。建設廃棄物の運搬距離は検索条件設定を、処理体制表調査と同様にして、MapFanを用いて調べた。

注3：1台のトラックに複数の建設廃棄物を積んだとき、1部のマニフェストに全ての情報を記載することが困難な場合、マニフェストに添付する建設廃棄物の情報を記入した伝票のこと。

2.5　木質廃材の中間処理工場における環境負荷評価

物質循環計算プログラムに組み込む環境負荷情報の1つとして、木質廃材の処理に関する

インベントリ調査を行った。対象製品は、木造家屋解体材及びその他木質廃材より製造される燃料用、ボード用、製紙用、堆肥用の各チップであり、評価対象の環境負荷項目は CO_2、SOx、NOx とし、エネルギー消費量についても評価した。

3．研究の計画と進捗状況

当初の研究計画の概要は以下の通りであった。

A. マニフェスト調査対象地域の選定、マニフェストの収集
B. 建設廃棄物排出量の把握
C. 処理体制表による平均的な処理フローの把握
D. マニフェストによる処理フローの把握
E. 地域ごとの処理シナリオの決定
F. 代表的な中間処理工場・最終処分場でのインベントリ実施
G. 環境負荷評価プログラム用のサブルーチン構築

B の解析作業を行っていたところ、コピーが不鮮明なものや記入不備のあるマニフェストが多く見つかったため、再度住宅メーカーにマニフェストの追加収集を依頼することになった。

E では、札幌・東京・名古屋地域については処理シナリオを決定し、前述した物質循環算出プログラムに、廃棄物の排出量とその運搬距離を試験的に組み込んだが、その他の地域については、理由は後述するが、処理シナリオの決定には至らなかったので、G のサブルーチンを完成することができなかった。サブルーチンの構築に至らなかったため、

F は名古屋地域の中間処理工場の代表例としてインベントリが完了した。

4．結果と考察

4.1　建設廃棄物排出量調査

結果は表 3~6 の通りで、建物や地域によって建設廃棄物が排出された時の分別の仕方には差のあることが分かった。例えば、現場から混合廃棄物として搬出されていながら一次処理施設で廃棄品目別に選別されているケースで、この場合、排出時の混合廃棄物の内訳とそれらの排出量は分からなかった。

マニフェストに記載してある 13 種類の廃棄物は全て木造建築物に使用されている材料であり、解体工事においては必ず排出されると考えられるものである。しかし、建物や地域によっては、コンクリートがらと木くず以外は全て混合廃棄物として排出されている場合や、マニフェスト上では排出されていないという場合も多くあった。大都市地域では解体工事よりも新築工事の方が良く分別されており、中都市地域では新築工事よりも解体工事の方が良く分別されていた。全国的に見て、新築工事･解体工事ともに中都市地域より大都市地域の方

が廃棄物の分別が良くなされていた。中都市地域の新築工事において、秋田、徳島、愛媛は管理型混合廃棄物しか排出されていなかった。

建設廃棄物の排出量についても各建物や地域によって大きなばらつきがあった。延床面積の割には考えられないほど多い排出量や、逆に少ない排出量であったものもあったが、全国の平均を取ると、新築工事については大都市地域と中都市地域でやや差があったものの、解体工事ではあまり差がなかった。解体工事のこの値は、これまでに行われた 4 つの調査結果（表 7）と近い値であった。また、マニフェストに記載されている廃棄物の重量がそれを運搬するトラックの最大積載量と一致するものが多く見受けられた。これは、法律で排出現場での排出量の測定方法が定められておらず、ほとんどの場合、排出量が目測で測られていることに起因する。

建設廃棄物の運搬に主に用いられていたトラックは表 8 の通りであった。

4.2　処理体制表調査

結果の一例として、川崎の結果を表 9～12 に示した。川崎は、京都や長野などと並んで分別状況が特に良かった地域の 1 つである。表中の「一次平均」とは、処理施設が複数ある場合の一次処理方法別の平均運搬距離であり、「二次平均」とは同様に二次処理方法別の平均運搬距離のことで、同じ処理方法ごとに罫線で区切った。

大都市地域では現場から一次処理施設までの建設廃棄物の運搬距離は平均して 25km 程度であった。一次処理施設から二次処理施設への運搬距離は、首都圏では 100km 以上と長い地域が多かったが、それ以外の地域ではほとんどが 40km 以下で、特に北九州の解体工事と札幌の運搬距離は短く、15km 程度と運搬による環境負荷という点からは恵まれていた。

中都市地域の現場から一次処理施設までの運搬距離は、茨城県の 2 つの地域（74km、45km）と君津（65km）、宮崎（51km）で特に長く、それ以外の地域でも大都市地域より長くなっていた。一次処理施設から二次処理施設までの距離も茨城県の 2 つの地域（114km、118km）と君津（106km）では長く、鹿児島（285km）は最も長かった。

本研究で使用した処理体制表から、大都市地域よりも中都市地域の方が、一次、二次処理施設とも運搬可能な施設が少ないことが分かった。

4.3　建設廃棄物処理フロー調査

4.2 と同様に、結果の一例として川崎の結果を図 1、2 に示した。この図は廃棄物が現場から一次処理業者、二次処理業者へ運ばれていく様子を示している。図中の距離はその施設間の距離を表し、処理業者名の下には廃棄物の品目を表す数字（表 3 参照）とその処理方法を記した。また、図中の括弧でくくられた「再生」は、ウェブサイト等で判明したもので、マニフェストから分かったものではない。

建設廃棄物の運搬・処理は処理体制表に基づいて行われることになっているが、処理体制表に記載されている施設に満遍なく建設廃棄物が運搬されているということはなく、その時の事情に応じて、1 つあるいは 2 つの施設に集中して運搬されている地域がほとんどで、その運搬先の施設に関しても距離が短いといった特徴は見られなかった。また、そもそも処理

体制表には無いルートで処理されている場合も見受けられた。

マニフェストに記載の「再生」には処理フロー調査の結果、大きく 2 つの意味が考えられた。一つはそこで再資源化した（つまり、原料や燃料、材料という資源に変換した）ということ、もう一つはそこでその再資源を利用したということである。どちらも「再生」には違いないのだが、両者のうちどちらの定義を採用するかによって、システム境界、すなわちその廃棄物の処理段階や輸送距離が大きく変わってきてしまう。つまり、前者を「再生」の定義とした場合、後者の再資源化施設への輸送は考慮する必要が無くなり、後者を「再生」の定義とした場合、前者の「再生」で終わっているマニフェストではその後の調査が不可能になるということである。本調査では、その 2 つの「再生」を区別をすることはできなかった。さらには、その再資源化方法や再資源の利用方法は分からなかった。マニフェストの最終処分欄に「売却」と書かれていたものについてはその廃棄物は有価物になったと見なし、「再生」扱いにした。マニフェストに記載されていた処理方法は「焼却」、「破砕」、「選別」、「再生」、「安定型埋立」、「管理型埋立」がほとんどで、それ以上詳しい処理方法は分からなかった。また、マニフェストに「焼却」とあった場合に、その施設でサーマルリサイクルされている場合もあるということが分かったが、単なる焼却処分とサーマルリサイクルのどちらであるのかを区別することはできなかった。

大都市地域･中都市地域を問わず、コンクリートがらと木くずは他の廃棄物と比べて再生率が高かった。また、新築工事の廃石膏ボードも再生率が高かった。中都市地域は大都市地域に比べて再生率が低く、埋立処分される混合廃棄物が多かった。これは、後述するように、解体・収集運搬業者は先の処理方法を見越して解体・分別作業を行っていると考えられるためである。

4.4　LCA による**木質廃材の中間処理工場における環境負荷評価**

4.4.1　目的と範囲の設定

目　　的：木質廃材の中間処理に関わる環境負荷の定量評価

対 象 製 品：木質家屋解体材及びその他木質廃材より製造される燃料用、ボード用、製紙用、堆肥用の各チップ。

機 能 単 位：各製品 1ｔ。

調 査 範 囲：木質廃材の選別からチップ製造までを調査範囲とし、その他固定資本形成等は調査範囲外とした。

データ取得時期：2001 年度（平成 12 年 6 月～平成 13 年 5 月）。

評 価 手 法：積み上げ法。

4.4.2　ライフサイクルインベントリ

（1）インプットとアウトプット

対象工場の 2001 年度における物質収支を図 3 に示した。

インプットとしては、廃木材、水、木材加工機械向けの電力、マテハン（物質運搬）機械向けの軽油があり、本調査では水以外のインベントリを行った。この水は、チップ製造時の洗浄に用いられるものであるが、その使用量は少なく、さらにリサイクル使用されて

いるとのことであったので、その環境負荷量を考慮しないこととした。

アウトプットは対象製品以外に非木質系廃棄物や排水などがあったが、その発生量は少ないとのことだったので、品目を挙げるにとどめた。

（2）配分

投入エネルギーとして得られた電力（906,537 kWh）と軽油（117,670 l）のデータは、チップ工場と生木工場の二工場合計分であったので各チップに以下の要領で配分を行った。

まず電力の配分について、各チップ生産ラインの消費電力量が当該ラインの定格電力と生産能力（ラインの主要機械である破砕機の定格生産能力）に比例すると考え、以下の式により求めた。

$$\text{ラインの消費電力量(kWh)} = \frac{\text{当該チップの生産量(t)}}{\text{当該ラインの生産能力(t/h)}} \times \text{当該ラインの定格電力(kW)} \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

式 1 で得られた全てのチップラインの消費電力の合計と、各チップラインの消費電力からそのチップラインに要した消費電力量の割合が算出される（表 13）。例えば、燃料チップの生産に要した電力の割合は 653,989/1,279148×100＝51% となる。

軽油の配分は、マテハン機械の軽油消費量が仕事量に比例すると仮定し、各チップの生産量で配分した（表 13）。

（3）各チップの物質収支

（2）の結果をもとに、各チップの製造に関する物質収支を表 14 に示した。

（4）環境負荷原単位

環境負荷原単位は、ソフトウェア JEMAI-LCA における NIE-LCA データベースを用いた（表 15）。このデータベースにおける電力は地域別の受電端における原単位として示されているので、工場の所在地に電力を提供している中部電力の値を採用した。

（5）インベントリ結果

投入された電力と軽油に各々の原単位を乗じ、生産量で除すことによって、各チップ 1t 当たりの環境負荷量を算出した（表 16、図 4）。それぞれの環境負荷項目について電力由来と軽油由来の割合も示し、割合が大きい方を網掛けで示した。

（6）解釈

インベントリ結果より、エネルギー消費量、CO_2 排出量、SOx 排出量、NOx 排出量とも全て堆肥用チップが最も大きく、以下ボード用チップ、製紙用チップ、燃料用チップの順となった。これより、環境負荷の観点からは燃料用チップの製造ラインが最も効率がよいことになる。次に、環境負荷量を電力由来と軽油由来に分けてみると、エネルギー消費量、CO_2 排出量、SOx 排出量では電力由来による排出割合が大きいが、NOx 排出量では軽油由来による排出割合が大きかった。

今回の電力と軽油のチップ生産ラインへの按分は、電力については定格電力と生産能力に基づき、軽油については生産量に基づき、それぞれ行った。ラインごとの消費電力による按分を行えば、違った傾向になる可能性もある。

この工場では、廃材選別は付加価値の高い製紙用チップの材料を得るために行われてい

る。今回の調査では、軽油消費量のデータを選別工程とチップ製造工程に分けて得ることができなかったため、4種類のチップへの重み付けは行わずに、重量配分を用いた。

5．期待される成果と問題点

以上の結果から、地域ごとの建設廃棄物の排出量やその処理フローを解明することはできたが、建設廃棄物の分別の程度や排出量は建物や地域によって非常に大きな差が認められた。前述したように、川崎、京都、長野は分別状況が特に優れており、廃棄物が適正に処理されていることが分かったが、それ以外の地域では分別が不十分であったり、排出量が以上に多かったり、少なかったりするケースが見受けられた。これらの原因は以下の理由によるものと推察される。

建設廃棄物の排出量については、本来ならば排出事業者が排出現場で記入することが義務づけられているが、各現場にそれぞれ排出事業者の担当者がいるかどうかは不明であり、実際には収集運搬業者の運転手が記入している可能性が高いと考えられる。また、その排出量は目測で概算の容量や重量が測られたものであり、運搬トラックの最大積載量と一致している場合が多い。目測で測ることについては法律でも禁止されていないので違法行為ではないが、これらの点からマニフェストに記入されている建設廃棄物の排出量に関する情報の信頼性は低いと思われる。

建設廃棄物の分別状況とその処理方法に関して、混合廃棄物の排出がある場合は、一次処理で「選別」されている場合と、選別せずに埋立処分されている場合の2通りあった。これは、建設リサイクル法により建設現場での分別解体･分別収集が義務づけられているが、収集運搬業者が後の処理方法に適した分別作業を行っているためと考えられる。それによって、本来分別収集しなくてはならないはずの廃棄物が、混合廃棄物として排出されている可能性も示唆された。本調査ではこのような事態をその地域の特徴としてとらえることにするが、本調査によってこのような問題点も浮上した。

結果としてあまり分別がなされていない地域は、上記のようにその理由が後の処理方法と関連づけできる場合が多い。建設廃棄物は原則として排出事業者が決定した処理体制表に基づいて処理されるため、各地域の処理フローはその地域の特徴を表しているとともに、排出事業者の影響が色濃く反映されていると考えられる。さらに、ある地域で排出事業者が複数の収集運搬業者と契約があるときに、同じ地域でも収集運搬業者ごとに処理体制表の内容が違っていて、今回作成した処理フローは建設廃棄物を運搬した収集運搬業者の影響が色濃く表れていると考えられる。同様に、表8にまとめたトラックの大きさも収集運搬業者の影響が色濃く表れていると考えられる。

これらのことから、現段階では本研究で得られた地域ごとの建設廃棄物の廃棄シナリオ（排出量と処理フロー）は、マニフェストの書き方が統一されていなかった（良く指導されていない）こと、建物のサンプル数が少なかったこと、一排出事業者から収集したマニフェストであったという理由から、他の排出事業者のマニフェストと見比べるまでは、その地域を代

表するシナリオとは言い難い。そもそも、本調査で得られた結果は、特に分別解体・分別収集の点で法律に沿うものではなかったが、これが現実であると言うこともできる。しかし、物質循環計算プログラムが公表される前（1997年）に独立行政法人建築研究所（当時の建設省建築研究所）が公表した同様のソフト「建築のライフサイクルエネルギー算出プログラム」においては、建設廃棄物の排出量や輸送手段、輸送距離についてのデフォルト値は業者へのアンケート調査によって算出されているものであり、それと比べると、本調査は法律に基づく方法（マニフェスト制度）を初めて活用したことと、実際の処理フローを反映しているという点で優れていると考えられる。今後、マニフェストの記入方法のさらなる指導や電子マニフェストの普及、不法投棄への罰則強化などによる建設廃棄物の適正処理の徹底などがなされることによって、本調査方法の信頼性が向上するものと考えられる。また、今回とは違う排出事業者から新たにマニフェストを提供して頂きサンプル数を増やすことによって、より客観性の高い廃棄シナリオを作成することができる。

しかし、以上の問題を解決しても本調査方法では明らかにならない部分もあることが分かった。現場からの建設廃棄物の排出量が正確に把握できたとしても、その建設廃棄物が複数の二次処理施設へ運搬される場合、それぞれの二次処理施設に運搬された建設廃棄物の量は分からない。また、マニフェストから得られる処理方法に関する情報が「焼却」、「再生」であった場合には、前述したように実際には複数の処理に関する状況が考えられるため、この方法では建設廃棄物の再資源化率などは解明することができない。本調査方法で期待される成果は、解体時に発生する建設廃棄物の排出量と廃棄物の運搬距離である。

6．研究発表の実績及び予定

1）服部順昭、小池 航、中島史郎、小玉裕一郎：木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その7 一次マニフェストによる建設廃棄物処理プロセスの調査、2003年度大会（東海）学術講演梗概集 A-1 材料施工、中部大学、春日井市、平成15年9月5～7日、1091-1092 (2003)

2）中島史郎、小玉裕一郎、岡 建雄、服部順昭、山畑信博、野口貴文、河合 誠、澤地孝男：木造住宅の分別解体・再資源化の促進に関する研究 その8 物質循環算定ツールの開発、2003年度大会（東海）学術講演梗概集 A-1 材料施工、中部大学、春日井市、平成15年9月5～7日、1093-1094 (2003)

7．実用化計画

2003年に独立行政法人建築研究所が公表した物質循環計算プログラムの中に、今回の調査で得られたシナリオの一部（札幌・東京・名古屋）が既に組み込まれている。今後のシナリオの改訂や追加は、独立行政法人建築研究所における物質循環計算プログラムの開発状況に依存する。

表１　調査対象地域と収集したマニフェストの邸数

大都市地域	新築	解体	中都市地域	新築	解体
札幌	3	7	秋田	5	6
仙台	5	7	高萩	2	2
さいたま	6	9	つくば	5	1
東京23区	5	10	君津	2	1
東京多摩	5	10	富士	3	6
川崎	5	12	清水	3	4
横浜	5	10	長野	3	7
名古屋	4	5	松山	6	5
大阪	5	6	徳島	6	8
京都	5	9	宮崎	3	3
広島	5	10	鹿児島	3	9
北九州	8	10			

表２　建設廃棄物の容量から重量への換算表

	品目	換算係数	
		新築工事	解体工事
安定型品目	がら類	1.23	1.23
	ガラス･陶磁器	0.22	0.74
	廃プラスチック	0.08	0.12
	金属くず	0.03	0.22
	混合(安定)	0.192	0.192
管理型品目	汚泥	1	1
	紙くず	0.02	0.013
	木くず	0.52	0.2
	繊維屑	0.25	0.25
	廃石膏ボード	0.22	0.22
	混合(管理)	0.613	0.613

表３　大都市地域の新築工事における品目ごとの単位床面積あたり建設廃棄物排出量(kg/m²)

邸名＼品目		01 コンクリートがら	03 その他がれき類	04 ガラス・陶磁器くず	05 廃プラスチック類	06 金属くず	07 混合安定型のみ	12 紙くず	13 木くず	15 廃石膏ボード	16 混合管理型含む	計
札幌	札幌S1	0	0	0	1.1	0	0	0.7	22.4	11.7	0	35.8
	札幌S2	0	0	0	0	0	0	1.4	37.2	8.9	0	47.5
	札幌S3	0	0	0	3.0	0.6	0	1.2	24.2	6.5	0	35.5
	平均	0	0	0	2.1	0.6	0	1.1	27.9	9.0	0	39.6
仙台	仙台S1	0	0	0.8	2.8	0.1	0	0.9	32.6	4.0	0	41.3
	仙台S2	0	0	1.3	2.1	0.1	0	0.8	32.9	2.3	0	39.5
	仙台S3	0	0	0.7	2.9	0	0	0.7	55.2	0	0	59.5
	仙台S4	0	0	1.6	3.8	0	0	0.8	49.8	1.4	0	57.4
	仙台S5	0	0	0.7	1.7	0	0	0.4	27.2	0.5	0	30.5
	平均	0	0	1.0	2.7	0.1	0	0.7	39.5	2.1	0	45.6
さいたま	さいS1	0	0	0	5.5	0	0	0.6	16.0	5.5	0	27.6
	さいS2	0	0	0	2.7	0	0	0.5	15.3	6.1	0	24.5
	さいS3	4.7	0	2.4	4.0	0.2	0	0.8	38.7	5.2	0	56.1
	さいS4	0	0	0	4.1	0	0	0.8	18.3	7.1	0	30.3
	さいS5	0	0	0	2.2	0	0	0	37.6	7.9	0	47.7
	さいS6	0	0	0	2.4	0	0	0.7	12.3	8.5	0	23.9
	平均	4.7	0	2.4	3.5	0.2	0	0.7	23.0	6.7	0	35.0
東京23区	23区S1	0	0	0	3.0	0	0	0.4	30.7	1.9	0	36.0
	23区S2	0	0	0	1.6	0	0	0.1	10.8	4.8	0	17.3
	23区S3	0	0	0	3.1	0	0	2.2	48.3	18.7	0	72.3
	23区S4	0	0	0	1.6	0	0	0.5	22.4	6.9	0	31.4
	23区S5	0	0	0	0.9	0	0	0.2	8.3	3.5	0	12.9
	平均	0	0	0	2.0	0	0	0.7	24.1	7.2	0	34.0
東京多摩	多摩S1	0	0	0	1.8	0	0	0	26.8	0	59.6	88.2
	多摩S2	0	0	0	1.4	0	0	0	19.9	0	38.3	59.5
	多摩S3	0	0	0	0.6	0	0	0	16.2	0	38.2	55.0
	多摩S4	0	0	0	0.8	0	0	0	25.5	0	57.0	83.3
	多摩S5	0	0	0	0.9	0	0	0	21.2	0	43.4	65.5
	平均	0	0	0	1.1	0	0	0	21.9	0	47.3	70.3
川崎	川崎S1	0	0	1.0	2.5	0.1	0	1.2	27.8	8.2	0	40.9
	川崎S2	0	0	2.2	2.6	0.1	0	1.4	37.9	8.9	0	53.1
	川崎S3	0	0	1.9	4.6	0.2	0	0.4	27.8	6.0	0	40.9
	川崎S4	0	0	2.7	2.8	0.02	0	1.0	31.8	8.0	0	46.4
	川崎S5	0	0	0.5	2.5	0.1	0	1.3	43.5	9.4	0	57.2
	平均	0	0	1.7	3.0	0.1	0	1.1	33.8	8.1	0	47.7
横浜	横浜S1	0	0	0.4	1.2	0.1	0	0.5	12.8	5.4	0	20.6
	横浜S2	0	0	0	3.7	0	0	1.1	32.2	9.2	0	46.2
	横浜S3	0	0	0.5	1.4	0.05	0	0.7	12.5	5.8	0	20.9
	横浜S4	0	0	0.9	1.6	0.1	0	0.7	14.1	4.4	0	21.7
	横浜S5	0	0	0.4	1.6	0.1	0	0.7	33.6	8.2	0	44.6
	平均	0	0	0.6	1.9	0.1	0	0.7	21.0	6.6	0	30.8
名古屋	名古S1	0	0	0	1.7	0.03	0	0.5	4.6	0	0	6.8
	名古S2	0	0	0	2.4	0	0	0.9	16.8	0	0	20.1
	名古S3	0	0	0	1.6	0.03	0	0.5	4.8	0	0	6.8
	名古S4	0	0	0.9	2.5	0	0	0.9	16.2	0	28.6	49.1
	平均	0	0	0.9	2.1	0.03	0	0.7	10.6	0	28.6	20.7
大阪	大阪S1	0	4.8	2.0	3.7	0.4	0	0.5	18.1	7.4	0	36.9
	大阪S2	0	19.9	0	2.5	0.2	0	0.7	37.4	5.4	1.2	67.2
	大阪S3	0	0	3.6	3.2	0	0	1.2	45.5	10.1	0	63.6
	大阪S4	0	0	3.6	1.9	0.4	0	0.8	48.9	8.4	0	64.1
	大阪S5	0	11.3	0.4	2.0	0.2	0	0.6	17.9	4.8	0	37.1
	平均	0	12.0	2.4	2.7	0.3	0	0.8	33.5	7.2	1.2	53.8

品目 / 邸名		01 コンクリートがら	03 その他がれき類	04 ガラス・陶磁器くず	05 廃プラスチック類	06 金属くず	07 混合安定型のみ	12 紙くず	13 木くず	15 廃石膏ボード	16 混合管理型含む	計
京都	京都S1	0	7.2	0.1	4.0	0.1	0	0.1	28.2	5.5	2.4	47.5
	京都S2	0	12.3	0	3.9	0.3	0	0.4	17.1	0.8	5.4	40.1
	京都S3	0	8.1	0.4	4.6	0.2	0	0.2	21.0	8.9	5.1	48.5
	京都S4	0	9.0	0.2	2.5	0.1	0	0.3	17.1	6.4	0.2	35.8
	京都S5	0	10.7	0.3	1.6	0.04	0	0.1	10.4	0	7.5	30.6
	平均	0	9.5	0.3	3.3	0.1	0	0.2	18.8	5.4	4.1	40.5
広島	広島S1	0	13.3	0	0.3	0.1	0	1.3	17.3	1.5	0	33.8
	広島S2	0	17.1	0	0.6	0.1	0	0.8	27.7	3.1	0	49.2
	広島S3	0	5.9	0	0.3	0.1	0	1.0	31.3	1.4	0	40.1
	広島S4	0	6.0	0	0	0	0	1.2	21.3	2.3	0	30.9
	広島S5	0	9.9	0	0.6	0.1	0	0.6	26.2	2.8	0	40.3
	平均	0	10.4	0	0.4	0.1	0	1.0	24.7	2.2	0	38.9
北九州	北九S1	0	0	0	0	0	0	0.6	18.6	4.3	0	23.4
	北九S2	0	42.9	0	0	0.4	0	0.7	9.1	4.5	0	57.5
	北九S3	0	0	0	0	0	0	0.6	12.6	5.7	0	18.8
	北九S4	0	22.8	0	0	0.2	0	0.8	18.7	5.3	0	47.8
	北九S5	0	0	0	0.7	0.5	0	1.3	26.8	3.2	0	32.4
	北九S6	0	0	0	0	0	0	1.6	14.1	4.5	0	20.2
	北九S7	0	0	0	0	0	0	1.6	21.6	6.6	0	29.8
	北九S8	0	0	0	0	0	0	1.3	22.4	4.3	0	28.1
	平均	0	32.9	0	0.7	0.4	0	1.0	18.0	4.8	0	32.3
全平均		4.7	16.2	1.3	2.1	0.2	0.0	0.8	24.7	5.9	20.3	40.8

表４　大都市地域の解体工事における品目ごとの単位床面積あたり建設廃棄物排出量(kg/m²)

邸名＼品目		01 コンクリートがら	03 その他がれき類	04 ガラス・陶磁器くず	05 廃プラスチック類	06 金属くず	07 混合安定型のみ	12 紙くず	13 木くず	15 廃石膏ボード	16 混合管理型含む	計
札幌	札幌K1	177.0	0	0	0	0	0	0	93.5	7.18	84.6	362.3
	札幌K2	464.0	0	0	0	0	0	0	160.1	10.3	162.1	796.5
	札幌K3	321.3	0	0	0	0	0	0	193.4	38.3	15.3	568.3
	札幌K4	414.9	0	0	0	0	0	0	105.8	24.0	67.5	612.2
	札幌K5	217.4	0	0	0	0	0	0	126.7	13.5	39.9	397.4
	札幌K6	455.8	0	0	0	0	0	0	123.0	0	44.1	622.9
	札幌K7	331.1	0	10.4	0	0	0	0	72.5	29.9	11.5	455.5
	平均	340.2	0	10.4	0	0	0	0	125.0	17.6	60.7	545.0
仙台	仙台K1	150.1	0	38.9	2.7	0	0	0	53.3	14.5	0	259.6
	仙台K2	47.7	0	14.6	1.2	0	0	0	45.5	35.2	0	144.2
	仙台K3	115.3	0	1.8	0.9	0	0	0	21.5	13.3	0	152.8
	仙台K4	178.6	0	0	8.6	0	0	0	198.2	0	0	385.4
	平均	122.9	0	18.4	3.3	0	0	0	79.6	15.8	0	235.5
さいたま	さいK1	172.5	0	18.0	0	0	11.0	0	44.6	17.4	0	273.7
	さいK2	229.9	0	17.2	2.8	0	6.6	0	50.6	12.6	0	326.6
	さいK3	222.2	0	15.2	1.8	0	60.0	0	74.7	0	0	378.1
	さいK4	186.7	0	11.7	0	0	0	0	46.7	14.7	0	259.7
	さいK5	209.7	0	18.9	1.5	13.9	14.5	0	40.4	4.2	0	303.2
	さいK6	312.5	0	2.4	7.0	0	5.6	0	31.6	3.2	0	362.5
	さいK7	116.6	0	0	9.8	0	33.6	0.7	69.9	10.3	0	240.8
	さいK8	190.0	0	26.7	4.3	14.4	16.0	0.4	71.3	10.5	0	333.4
	さいK9	311.3	0	12.5	5.4	2.2	19.2	0	21.0	0	0	371.7
	平均	216.8	0	13.6	4.7	10.2	20.8	0.6	50.1	10.4	0	316.6
東京23区	23区K1	123.1	0	0	0	0	32.7	0	48.2	0	0	204.0
	23区K2	142.9	0	0	0	0	0	0	95.2	0	32.8	270.9
	23区K3	109.9	0	13.2	1.8	2.2	0	0	42.0	4.3	0	173.3
	23区K4	186.3	0	0	0	0	0	0	31.4	0	27.0	244.7
	23区K5	80.0	0	0	0	0	0	0	48.0	0	40.9	168.9
	23区K6	198.6	0	0	0	0	14.6	0	50.6	0	0	263.8
	23区K7	148.6	0	0	0	0	0	0	54.1	0	29.0	231.7
	23区K8	86.0	0	0	0	0	0	0	52.7	0	52.7	191.4
	23区K9	184.2	0	19.7	0	0	0	0	82.9	0	0	286.8
	23区K10	75.0	0	0	0	0	16.8	0	46.1	5.5	0	143.4
	平均	133.5	0	16.5	1.8	2.2	21.4	0	55.1	4.9	36.5	217.9
東京多摩	多摩K1	131.9	0	0	1.2	0.4	0	0	70.9	0	122.9	327.3
	多摩K2	252.0	0	4.3	2.3	0	0	0	82.8	0	133.4	474.7
	多摩K3	104.6	0	0	1.2	0.4	0	0	46.2	0	116.7	269.1
	多摩K4	158.2	0	17.1	7.2	4.4	0	0	70.7	8.0	19.7	285.3
	多摩K5	181.8	0	0	8.2	4.6	0	0	82.4	0	116.5	393.6
	多摩K6	231.0	0	0	2.6	12.6	0	0	76.0	0	89.0	411.1
	多摩K7	134.9	0	0	3.4	0	0	0	60.1	5.4	52.3	256.1
	多摩K8	105.6	0	0	4.5	55.6	0	0	46.9	0	71.2	283.7
	多摩K9	206.3	0	0	9.1	19.5	0	0	95.2	0	109.5	439.6
	多摩K10	135.8	0	0	3.0	35.0	0	0	64.1	0	75.8	313.7
	平均	164.2	0	10.7	4.3	16.6	0	0	69.5	6.7	90.7	345.4
川崎	川崎K1	79.8	0	0	0	0	11.6	0	21.7	0	0	113.1
	川崎K2	87.5	0	0	0	0	15.6	0	44.8	0.9	0	148.8
	川崎K3	60.0	0	2.5	5.0	0	5.8	0	40.0	1.1	0	114.4
	川崎K4	162.3	0	16.9	0	0	0	0	45.0	5.0	0	229.2
	川崎K5	130.1	0	17.2	0.6	0	0	0	31.6	4.1	0	183.5
	川崎K6	130.0	0	9.0	0.5	0	6.2	0	16.3	0	0	162.0
	川崎K7	48.0	0	8.9	0.7	0	0	0	19.3	6.6	0	83.5
	川崎K8	72.1	0	10.0	1.6	0	0	0	24.1	1.0	0	108.8
	川崎K9	129.3	0	9.0	1.0	0	0	0	40.8	2.7	0	182.6
	川崎K10	71.7	0	4.4	0	0	3.4	0	20.6	2.0	0	102.2
	川崎K11	124.1	0	26.3	1.4	0	0	0	26.1	2.0	0	179.9
	川崎K12	94.9	0	43.9	7.0	0	0	0	43.9	5.2	0	194.9
	平均	99.2	0	14.8	2.2	0	8.5	0	31.2	3.1	0	150.2
横浜	横浜K1	66.6	0	40.1	2.0	0	0	0	50.0	1.8	0	160.5
	横浜K2	183.2	0	0	3.1	0	0	0	50.0	14.7	0	250.9
	横浜K3	166.6	0	24.7	1.5	0	0	0	46.6	3.7	0	243.0
	横浜K4	228.2	0	0	0	0	17.6	0	35.3	0	0	281.1
	横浜K5	50.0	0	0	1.5	0	0	0	22.5	2.7	0	76.7
	横浜K6	149.9	0	6.2	0	0	0	0	39.1	2.9	0	198.2
	横浜K7	116.6	0	64.7	1.0	0	0	0	66.6	2.75	0	251.7
	横浜K8	104.3	0	3.9	0.6	0	0	0	41.7	1.1	0	151.7
	横浜K9	177.8	0	8.3	1.3	0	0	0	44.4	2.4	0	234.3
	横浜K10	91.6	0	8.6	0	0	0	0	61.1	6.7	0	168.0
	平均	133.5	0	22.3	1.6	0	17.6	0	45.7	4.3	0	201.6

邸名＼品目		01 コンクリートがら	03 その他がれき類	04 ガラス・陶磁器くず	05 廃プラスチック類	06 金属くず	07 混合安定型のみ	12 紙くず	13 木くず	15 廃石膏ボード	16 混合管理型含む	計
名古屋	名古K1	344.1	0	0	0	0	43.0	0	129.0	0	43.0	559.1
	名古K2	255.3	0	0	0	0	106.4	0	127.7	0	42.6	531.9
	名古K3	233.0	0	0	0	0	97.1	0	116.5	0	77.7	524.3
	名古K4	193.5	0	0	0	0	161.3	0	79.7	0	64.5	499.0
	名古K5	222.2	0	0	0	0	177.8	0	88.9	0	59.3	548.1
	平均	249.6	0	0	0	0	117.1	0	108.4	0	57.4	532.5
大阪	大阪K1	199.6	0	0	0	0	189.6	0	63.8	0	6.1	459.1
	大阪K2	143.8	0	0	0	0	263.7	0	95.9	0	29.4	532.8
	大阪K3	228.7	0	0	0	0	508.2	0	162.6	0	19.5	919.1
	大阪K4	79.8	0	0	0	0	175.6	0	63.8	0	31.9	351.2
	大阪K5	136.7	0	0	0	0	566.2	0	195.2	0	12.0	910.1
	大阪K6	218.6	0	0	0	0	203.5	0	90.5	0	94.2	606.8
	平均	167.9	0	0	0	0	317.8	0	112.0	0	63.1	629.8
京都	京都K1	148.2	182.0	0	0	12.4	8.2	0	86.5	0	0	437.3
	京都K2	12.1	285.4	0	0	6.8	0	0	83.7	0	0	391.6
	京都K3	104.1	169.4	81.0	7.4	9.3	0	0.9	61.0	0	0	439.6
	京都K4	0	238.2	34.7	5.0	7.3	0	0.7	116.1	0	0	401.9
	京都K5	187.7	224.5	95.1	5.4	18.6	0	1.8	86.3	5.2	0	631.9
	京都K6	89.4	128.0	17.0	9.3	9.9	0	4.4	144.1	0	0	404.3
	京都K7	71.1	216.6	0	3.2	5.2	0	0	179.7	0	0	475.9
	京都K8	136.0	41.5	0	4.0	3.9	0	0	51.1	16.4	0	256.8
	京都K9	126.6	21.7	0	1.7	6.8	0	0	65.7	1.4	0	229.9
	平均	109.4	167.5	56.9	5.1	8.9	8.2	1.9	97.1	7.7	0	407.7
広島	広島K1	36.0	0	0	0	0	11.2	0	28.1	0	0	75.3
	広島K2	47.2	0	0	0	0	9.8	0	45.0	0	0	102.1
	広島K3	229.9	0	0	0	0	0	0	34.9	2.7	0	267.5
	広島K4	500.6	0	0	0	0	16.2	0	53.9	1.2	0	571.9
	広島K5	63.3	0	23.2	1.7	0	16.5	0	144.4	0	0	249.1
	広島K6	77.9	0	0	0	0	16.6	0	50.7	3.0	0	148.3
	広島K7	151.4	0	0	0	0	54.1	0	25.9	2.4	0	233.7
	広島K8	155.3	0	0	0	0	50.5	0	28.3	8.9	0	243.0
	広島K9	102.1	0	0	0	0	19.9	0	59.8	0	0	181.8
	広島K10	80.0	0	0	0	0	16.6	0	34.7	2.9	0	134.2
	平均	144.4	0	23.2	1.2	0	21.1	0	50.6	3.7	0	220.7
北九州	北九K2	342.7	0	29.8	0	0	0	0	68.8	2.2	0	443.4
	北九K2	105.2	0	0	0	1.9	0	0	25.3	0	0	132.4
	北九K3	332.6	0	0	0	5.8	0	0	73.2	0	0	411.6
	北九K4	189.8	0	0	0	12.1	0	0	16.8	5.5	0	224.3
	北九K5	300.5	0	0	0	9.8	0	0	35.0	0	0	345.2
	北九K6	353.8	0	0	0.4	6.1	0	0	72.7	0	0	433.0
	北九K7	314.3	0	10.5	0.4	6.4	0	0	52.5	0	0	384.1
	北九K8	196.3	0	0	0.2	4.9	0	0	58.6	0	0	260.0
	北九K9	173.0	0	0	0	3.3	0	0	58.6	0	0	234.9
	北九K10	185.5	0	0	0	12.0	0	0	38.1	0	0	288.9
	平均	249.4	0	20.1	0.3	6.9	0	0	50.0	3.8	0	315.8
全平均		177.6	167.5	20.7	2.7	8.9	66.6	1.3	72.9	7.8	61.7	343.2

表5　中都市地域の新築工事における品目ごとの単位床面積あたり建設廃棄物排出量(kg/m²)

邸名＼品目		01 コンクリートがら	03 その他がれき類	04 ガラス・陶磁器くず	05 廃プラスチック類	06 金属くず	07 混合安定型のみ	12 紙くず	13 木くず	15 廃石膏ボード	16 混合管理型含む	計
秋田	秋田S1	0	0	0	2.26	0	0	0	0	0	138.8	141.1
	秋田S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95.6	95.6
	秋田S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	113.9	113.9
	秋田S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109.6	109.6
	秋田S5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	183.3	183.3
	平均	0	0	0	2.26	0	0	0	0	0	128.2	128.7
高萩	高萩S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7	57.2	57.8
	高萩S2	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4	12.3	16.7
	平均	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5	34.7	37.3
つくば	つくS1	0	0	0	0	0	0	0	0	4.4	85.6	90.0
	つくS2	0	0	0	0	0	0	0	3.2	6.2	13.7	23.1
	つくS3	0	0	0	0	0	0	0	20.3	5.1	61.7	87.0
	つくS4	0	0	0	0	0	0	0	3.1	3.3	39.6	46.0
	つくS5	0	0	0.3	1.9	0	0	0.6	28.2	3.4	0	34.4
	平均	0	0	0.3	1.9	0	0	0.6	13.7	4.5	40.1	56.1
君津	君津S1	1.4	0	1.0	2.2	0	0	0.6	50.0	6.0	171.1	232.3
	君津S2	0	0	0	1.5	0	0	0	0	4.0	61.7	67.2
	平均	1.4	0	1.0	1.8	0	0	0.6	50.0	5.0	116.4	149.7
富士	富士S1	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	106.5	110.3
	富士S2	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	59.2	62.8
	富士S3	0	0	0	0	0	0	0	0	10.2	38.0	48.2
	平均	0	0	0	0	0	0	0	0	5.9	67.9	73.8
清水	清水S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72.9	72.9
	清水S2	0	0	0	0	0	0	0	0	6.7	18.8	25.5
	清水S3	0	0	0	0	0	0	0	0	2.6	36.6	39.3
	平均	0	0	0	0	0	0	0	0	4.7	42.8	45.9
長野	長野S1	36.8	13.8	0	5.7	0	0	0.5	35.0	0	0	91.7
	長野S2	0	0	3.2	4.1	0	0	0.9	53.6	0	0	61.9
	長野S3	0	0	4.0	4.4	0.2	0	0.8	30.2	0	0	39.5
	平均	36.8	13.8	3.6	4.7	0.2	0	0.7	39.6	0	0	64.4
徳島	徳島S1	0	0	0	0	0	3.2	0	0	0	39.0	42.2
	徳島S2	0	0	0	0	0	12.9	0	0	8.5	24.0	45.4
	徳島S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37.4	37.4
	徳島S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.1	28.1
	徳島S5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.5	34.5
	徳島S6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.2	35.2
	平均	0	0	0	0	0	8.1	0	0	8.5	33.0	37.1
松山	松山S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.6	57.6
	松山S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.1	35.1
	松山S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120.0	120.0
	松山S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64.5	64.5
	松山S5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.8	50.8
	松山S6	0	0	0	5.4	0	0	0	27.4	9.9	0	42.8
	平均	0	0	0	5.4	0	0	0	27.4	9.9	54.6	61.8
宮崎	宮崎S1	0	0	0	5.17	0	0	3.06	6.75	5.24	0	20.2
	宮崎S2	0	0	0	5.87	0	0	0.49	0	3.02	0	9.4
	宮崎S3	0	0	0	8.06	0	0	4.51	2.23	5.32	0	20.1
	平均	0	0	0	6.37	0	0	2.69	2.99	4.53	0	16.58
鹿児島	鹿児S1	0	0	0	0	0	0	0.7	52.3	9.4	0	62.4
	鹿児S2	0	0	0	0	0	0	0.6	46.8	0	0	47.4
	鹿児S3	0	0	0	0	0	0	1.4	35.3	0	0	36.6
	平均	0	0	0	0	0	0	0.9	44.8	9.4	0	48.8
全平均		19.1	13.8	1.7	3.75	0.2	8.1	1.1	29.7	6.1	64.7	65.5

表６　中都市地域の解体工事における品目ごとの単位床面積あたり建設廃棄物排出量(kg/m²)

品目 / 邸名		01 コンクリートがら	03 その他がれき類	04 ガラス・陶磁器くず	05 廃プラスチック類	06 金属くず	07 混合安定型のみ	12 紙くず	13 木くず	15 廃石膏ボード	16 混合管理型含む	計
秋田	秋田K1	488.3	0	0	0	0	0	0	89.2	0	94.0	577.5
	秋田K2	368.4	0	0	0	0	0	0	55.3	0	53.0	423.7
	秋田K3	290.1	0	0	20.6	0	56.3	0	64.1	0	0	431.1
	秋田K4	313.7	0	0	0	0	15.7	0	76.1	0	39.2	405.4
	秋田K5	361.1	0	12.8	0	0	42.9	0	78.2	11.3	60.2	506.4
	秋田K6	29.8	0	0	0	0	122.9	0	149.1	0	0	301.8
	平均	308.6	0	12.8	20.6	0	59.4	0	85.3	11.3	61.6	441.0
高萩	高萩K1	124.5	22.1	0	0	0	0	2.9	42.6	0	0	192.1
	高萩K2	613.7	94.8	0	0	0	0	0	42.7	0	44.0	795.2
	平均	369.1	58.4	0	0	0	0	2.9	42.7	0	44.0	493.6
つくば	つくK1	84.08	0	0	0	0	0	0	117.41	0	0	201.5
君津	君津K1	145.2	0	16.1	3.0	0	0	0	50.8	1.6	4.4	221.2
富士	富士K1	128.8	0	36.8	0	0	5.3	0	26.2	4.7	0	201.9
	富士K2	242.4	0	0	0	0	0	0	49.2	13.3	0	304.9
	富士K3	156.0	29.6	0	0	0	3.2	0	47.4	0	0	236.2
	富士K4	208.6	0	40.3	0	0	14.0	0	79.8	11.1	0	353.7
	富士K5	171.8	0	0	0	0	0	0	102.8	0	0	274.6
	富士K6	93.1	51.7	0	0	0	2.7	0	80.8	0	0	228.4
	平均	166.8	40.7	38.6	0	0	7.3	0	64.4	9.7	0	266.6
清水	清水K1	31.5	0	0.9	0	0	0	0	38.1	1.5	0	72.0
	清水K2	90.0	5.4	15.4	0.7	0	0	0.1	45.7	3.5	3.8	164.6
	清水K3	72.7	0	0	0	1.5	0	1.5	50.0	0	0	125.7
	清水K4	354.1	0	51.3	3.6	0	0	0	82.9	0	37.0	528.9
	平均	137.1	5.4	33.4	2.1	1.5	0	0.8	54.1	2.5	20.4	222.8
長野	長野K1	167.7	43.9	0.5	0.4	9.1	0	0.1	68.2	0	0	289.9
	長野K2	318.3	216.2	0	3.2	33.2	0	0	86.7	0	4.0	661.6
	長野K3	271.9	97.4	62.0	1.8	20.3	0	0	139.2	0	12.1	604.9
	長野K4	233.3	139.2	24.6	0	7.3	0	0	62.6	0	0	467.0
	長野K5	181.3	56.4	17.0	5.1	25.9	0	0	66.2	4.3	24.1	380.4
	長野K6	289.9	44.6	2.7	2.2	19.1	0	0	60.9	2.4	8.9	430.8
	長野K7	235.8	199.3	0	2.5	17.1	0	0.2	81.7	2.0	7.0	545.5
	平均	242.6	113.9	21.4	2.2	18.9	0	0.1	80.8	2.9	11.2	482.9
徳島	徳島K1	75.7	0	0	0	0	0	0	3.6	0	0	79.3
	徳島K2	81.6	0	0	0	0	0	0	11.7	0	0	93.2
	徳島K3	285.2	0	0	2.1	0	0	0	30.1	0	0	317.3
	徳島K4	53.4	50.6	0	3.7	0	0	0	88.0	0	0	195.7
	徳島K5	507.2	0	0	0.7	0	0	0	97.7	0	0	605.6
	徳島K6	79.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79.7
	徳島K7	289.5	0	0	0	0	0	0	67.9	2.1	0	359.5
	徳島K8	278.5	0	0	0	4.7	0	0	113.8	0	0	397.0
	平均	206.4	50.6	0	2.2	4.7	0	0	51.6	2.1	0	265.9
松山	松山K1	120.0	32.4	0	0	9.7	0	0	186.4	0	0	348.5
	松山K2	103.6	13.0	0	38.9	13.0	0	0	77.7	0	0	246.1
	松山K3	139.7	0	0	0	12.7	0	0	177.8	0	0	330.3
	松山K4	360.9	52.0	0	0	123.5	0	0	500.7	0	0	1037.1
	松山K5	125.3	31.3	0	31.3	15.7	0	0	548.0	0	15.7	767.2
	平均	169.9	32.2	0	35.1	34.9	0	0	298.1	0	15.7	545.8
宮崎	宮崎K1	133.9	0	0	0	0	15.0	0	43.5	0	0	192.4
	宮崎K2	160.3	0	23.2	0	0	16.1	0	47.7	0	0	247.3
	宮崎K3	173.6	24.8	0	0	0	17.4	0	51.7	0	0	267.5
	平均	155.9	24.8	23.2	0	0	16.2	0	47.6	0	0	235.8
鹿児島	鹿児K1	95.7	0	0	0	0	39.8	0	51.9	0	0	187.4
	鹿児K2	179.4	0	0	0	0	24.9	0	43.2	0	0	247.5
	鹿児K3	119.6	0	0	0	0	37.3	0	43.2	0	0	200.2
	鹿児K4	101.5	0	0	0	0	26.4	0	66.0	0	0	193.9
	鹿児K5	403.3	0	0	0	0	201.7	0	403.3	0	0	1008.4
	鹿児K6	159.2	0	0	0	0	318.4	0	477.6	0	0	955.3
	鹿児K7	64.4	0	0	0	0	40.2	0	46.5	0	0	151.1
	鹿児K8	168.1	42.0	0	16.8	16.8	0	0	151.2	0	0	394.9
	鹿児K9	168.1	0	0	0	0	168.1	0	121.0	0	0	457.1
	平均	162.1	42.0	0	16.8	16.8	95.2	0	156.0	0	0	421.7
全平均		177.9	46.0	24.2	11.7	15.4	44.5	1.3	100.6	5.0	26.2	330.5

表 7　木造建築物解体時の廃棄物排出量調査結果比較（kg/m²）

		調査A	調査B	調査C	調査D	最小値	最大値	本調査大都市圏*1	本調査中都市圏*1
安定型品目	コンクリート塊	140.3			202.6	135.3	202.6	177.6	177.9
	がれき類	53.8						167.5	46.0
	コンクリート・モルタル破片		170.9	135.3					
	ガラス陶磁器くず	17.4	78.9	34.5	32.4	17.4	78.9	20.7	24.2
	廃プラスチック	6.0	0.6	3.5	2.0	0.6	6.0	2.7	11.7
	金属くず	8.7	3.3	16.9	5.8	3.3	16.9	8.9	15.4
	混合廃棄物							66.6	44.5
管理型品目	木くず	86.3	69.8	88.1	87.5	69.8	88.1	72.9	100.6
	繊維くず	2.5						1.3(紙くず)	1.3(紙くず)
	廃石膏ボード	19.1			12.0	12.0	19.1	7.8	5.0
	管理型混合	3.2							
	混合廃棄物		30.0		79.5	30.0	79.5	61.7	26.2
合計		337.4	353.5	278.3	427.0	278.3	427.0	343.2	330.5

A:(独)建築研究所材料研究G、東京大学大学院新領域創成科学研究科、他12団体調査
B:積水ハウス㈱調査
C:日本住宅リフォームセンター調査
D:(独)建築研究所プロジェクト 木造建築物の再資源化・資源循環化技術の開発 平成13年度報告書
＊1 表4,6の結果を用いたものであり、合計が各地域の合計の平均であることに注意

表 8　建設廃棄物の運搬に主に用いられていたトラックの最大積載量

大都市地域	新築	解体	中都市地域	新築	解体
札幌	4t	10t	秋田	4t	4t,2t
仙台	4t	4t	高萩	2t	4t
さいたま	2t,4t	2t,4t	つくば	3t	4t
東京23区	2t	2t,4t	君津	4t	4t
東京多摩	2t,4t	4t,2t	富士	4t	4t
川崎	2t	4t	清水	4t	2t
横浜	2t	2t,4t	長野	2t	4t
名古屋	4t,2t	4t,10t	徳島	4t	4t
大阪	2t	2t,4t	松山	3t	4t,2t
京都	2t,3t	2t	宮崎	3t	4t,3t
広島	2t	2t,4t,10t	鹿児島	2t	10t
北九州	2t	4t			

表 9　川崎・新築工事における現場から一次処理施設までの建設廃棄物運搬距離

品目	一次処理業者	一次処理	区分	一次処理施設所在地	運搬距離 (km)	一次平均 (km)	品目平均 (km)
04	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0	26.0	26.0
05	FI-1	圧縮	中間	横浜市	26.0	26.0	26.0
06	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0	26.0	26.0
12	FI-1	圧縮	中間	横浜市	26.0	26.0	26.0
13	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0	26.0	26.0
15	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0	26.0	26.0

表 10　川崎・新築工事における一次処施設から二次処理施設までの建設廃棄物運搬距離

品目	一次処理業者	一次処理	一次処理施設所在地	二次処理業者	二次処理	区分	二次処理施設所在地	運搬距離 (km)	二次平均 (km)	品目平均 (km)
04	FI-1	破砕	横浜市	DII-4	安定型	最終	千・市原市	103.6		103.6
05	FI-1	圧縮	横浜市	DII-1	リサイクル	再生	千葉市	82.3		
	FI-1	圧縮	横浜市	FII-3	リサイクル	再生	川崎市	23.4	52.6	
	FI-1	圧縮	横浜市	DII-4	安定型	最終	千・市原市	103.6		69.8
06	FI-1	破砕	横浜市	FII-1	リサイクル	再生	神・綾瀬市	10.1		
	FI-1	破砕	横浜市	FII-6	リサイクル	再生	神・相模原市	18.8		14.5
12	FI-1	圧縮	横浜市	DII-1	リサイクル	再生	千葉市	82.3		
	FI-1	圧縮	横浜市	FII-2	リサイクル	再生	横浜市	3.7		43.0
13	FI-1	破砕	横浜市	DII-8	リサイクル	再生	埼・日高市	61.8		61.8
15	FI-1	破砕	横浜市	CII-6	リサイクル	再生	千・袖ヶ浦市	102.5		102.5

表 11　川崎・解体工事における現場から一次処理施設までの建設廃棄物運搬距離

品目	一次処理業者	一次処理	区分	一次処理施設所在地	運搬距離 (km)	一次平均 (km)	品目平均 (km)
01	FI-3	破砕	中間	厚木市	39.8		
	FI-6	破砕	中間	横浜市	24.4		
	FI-2	破砕	中間	横浜市	23.6		
	FI-7	破砕	中間	横浜市	26.7		
	FI-8	破砕選別	中間	厚木市	38.6	30.6	30.6
04	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0		
	FI-8	破砕選別	中間	厚木市	38.6	32.3	32.3
05	FI-8	減容固化	中間	厚木市	38.6		
	FI-1	圧縮	中間	横浜市	26.0	26.0	
	FI-8	破砕選別	中間	厚木市	38.6	38.6	34.4
06	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0		
	FI-8	破砕選別	中間	厚木市	38.6	32.3	32.3
12	FI-1	圧縮	中間	横浜市	26.0	26.0	
	FI-8	破砕選別	中間	厚木市	38.6	38.6	
	FI-8	減容固化	中間	厚木市	38.6	38.6	
	FI-8	焼却	中間	厚木市	38.6		
	FI-5	焼却	中間	横浜市	13.3	26.0	31.0
13	FI-4	破砕	中間	横浜市	23.7		
	FI-9	破砕	中間	東・江東区	25.5		
	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0		
	FI-8	破砕選別	中間	厚木市	38.6	28.5	
	FI-8	焼却	中間	厚木市	38.6	38.6	30.5
14	FI-8	減容固化	中間	厚木市	38.6	38.6	
	FI-8	焼却	中間	厚木市	38.6	38.6	38.6
15	FI-1	破砕	中間	横浜市	26.0		
	FI-5	破砕	中間	横浜市	13.3		
	FI-8	破砕選別	中間	厚木市	38.6	26.0	26.0

表 12　川崎・解体工事における一次処理施設から二次処理施設までの建設廃棄物運搬距離

品目	一次処理業者	一次処理	一次処理施設所在地	二次処理業者	二次処理	区分	二次処理施設所在地	運搬距離 (km)	二次平均 (km)	品目平均 (km)
01	ＦＩ-3	破砕	厚木市	建設業者	リサイクル	売却				
	ＦＩ-6	破砕	横浜市	建設業者	リサイクル	売却				
	ＦＩ-2	破砕	横浜市	建設業者	リサイクル	売却				
	ＦＩ-7	破砕	横浜市	建設業者	リサイクル	売却				
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-7	リサイクル	再生	神・愛甲郡	12.4		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-8	安定型	最終	栃・芳賀郡	139.6		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-9	安定型	最終	栃・黒磯市	213.5	176.6	121.8
04	ＦＩ-1	破砕	横浜市	ＤⅡ-4	安定型	最終	千・市原市	103.6		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-8	安定型	最終	栃・芳賀郡	139.6		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-9	安定型	最終	栃・黒磯市	213.5		152.2
05	ＦＩ-8	減容固化	厚木市	ＦⅡ-10	リサイクル	再生	札幌市	1128.8		
	ＦＩ-1	圧縮	横浜市	ＤⅡ-1	リサイクル	再生	千葉市	82.3		
	ＦＩ-1	圧縮	横浜市	ＦⅡ-3	リサイクル	再生	川崎市	23.4	411.5	
	ＦＩ-1	圧縮	横浜市	ＤⅡ-4	安定型	最終	千・市原市	103.6		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-8	安定型	最終	栃・芳賀郡	139.6		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-9	安定型	最終	栃・黒磯市	213.5	152.2	281.9
06	ＦＩ-1	破砕	横浜市	ＦⅡ-1	リサイクル	再生	神・綾瀬市	10.1		
	ＦＩ-1	破砕	横浜市	ＦⅡ-6	リサイクル	再生	神・相模原市	18.8		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-11	リサイクル	再生	厚木市	0.92		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-12	リサイクル	再生	神・平塚市	10.2	10.0	
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-8	安定型	最終	栃・芳賀郡	139.6		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-9	安定型	最終	栃・黒磯市	213.5	176.6	65.5
12	ＦＩ-1	圧縮	横浜市	ＦⅡ-2	リサイクル	再生	横浜市	3.7		
	ＦＩ-1	圧縮	横浜市	ＤⅡ-1	リサイクル	再生	千葉市	82.3		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-13	リサイクル	再生	神・厚木市	5.0		
	ＦＩ-8	減容固化	厚木市	ＦⅡ-10	リサイクル	再生	札幌市	1128.8	305.0	
	ＦＩ-8	焼却	厚木市	ＦⅡ-14	管理型	最終	愛知・幡豆郡	291.7		
	ＦＩ-5	焼却	横浜市	ＦⅡ-15	管理型	最終	横浜市	18.8	155.3	255.1
13	ＦＩ-4	破砕	横浜市	製紙業者	リサイクル	売却				
	ＦＩ-9	破砕	東・江東区	建設業者	リサイクル	売却				
	ＦＩ-1	破砕	横浜市	ＤⅡ-8	リサイクル	再生	埼・日高市	61.8		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-16	リサイクル	再生	神・綾瀬市	9.7		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦＩ-4	リサイクル	再生	横浜市	21.9		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-17	リサイクル	再生	群・渋川市	163.4		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-18	リサイクル	再生	神・愛甲郡	21.9		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-19	リサイクル	再生	群・邑楽郡	106.3		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-10	リサイクル	再生	札幌市	1128.8	216.3	
	ＦＩ-8	焼却	厚木市	ＦⅡ-14	管理型	最終	愛知・幡豆郡	291.7		225.7
14	ＦＩ-8	減容固化	厚木市	ＦⅡ-10	リサイクル	再生	札幌市	1128.8		
	ＦＩ-8	焼却	厚木市	ＦⅡ-14	管理型	最終	愛知・幡豆郡	291.7		710.3
15	ＦＩ-1	破砕	横浜市	ＣⅡ-6	リサイクル	再生	千・袖ヶ浦市	102.5		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-20	リサイクル	再生	千・袖ヶ浦市	112.0		
	ＦＩ-5	破砕	横浜市	ＣⅡ-6	リサイクル	再生	千・袖ヶ浦市	91.5		
	ＦＩ-5	破砕	横浜市	ＦⅡ-21	リサイクル	再生	茨・新治郡	100.9	101.7	
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-9	安定型	最終	栃・黒磯市	213.5		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-15	管理型	最終	横浜市	39.0		
	ＦＩ-8	破砕選別	厚木市	ＦⅡ-22	管理型	最終	横浜市	37.7	96.7	99.6

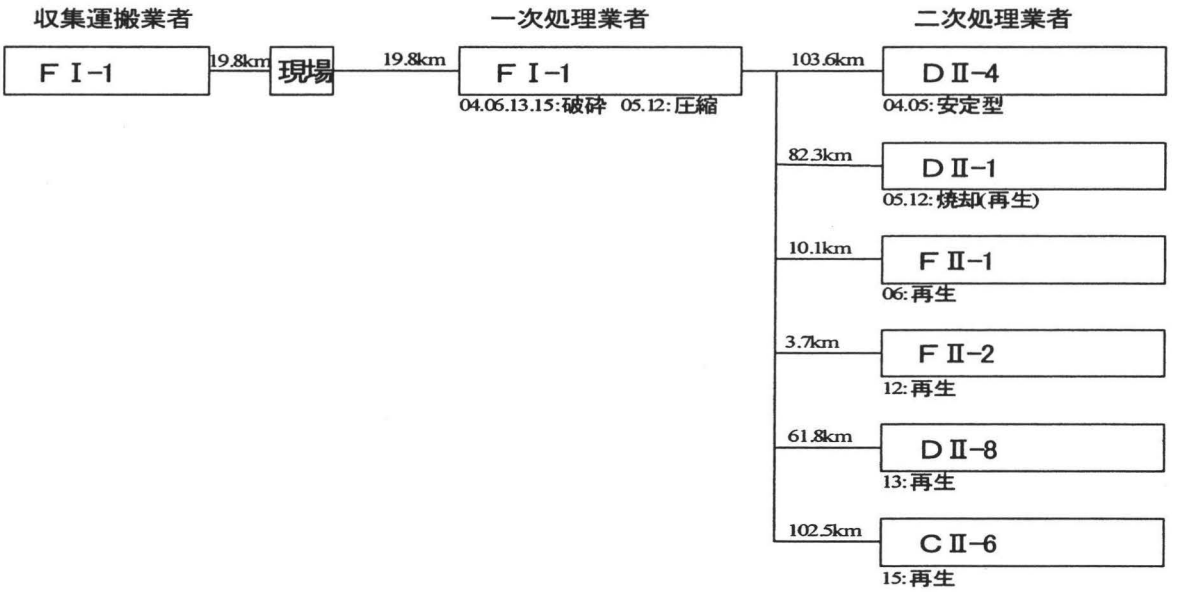


図１　川崎･新築工事における建設廃棄物処理フロー

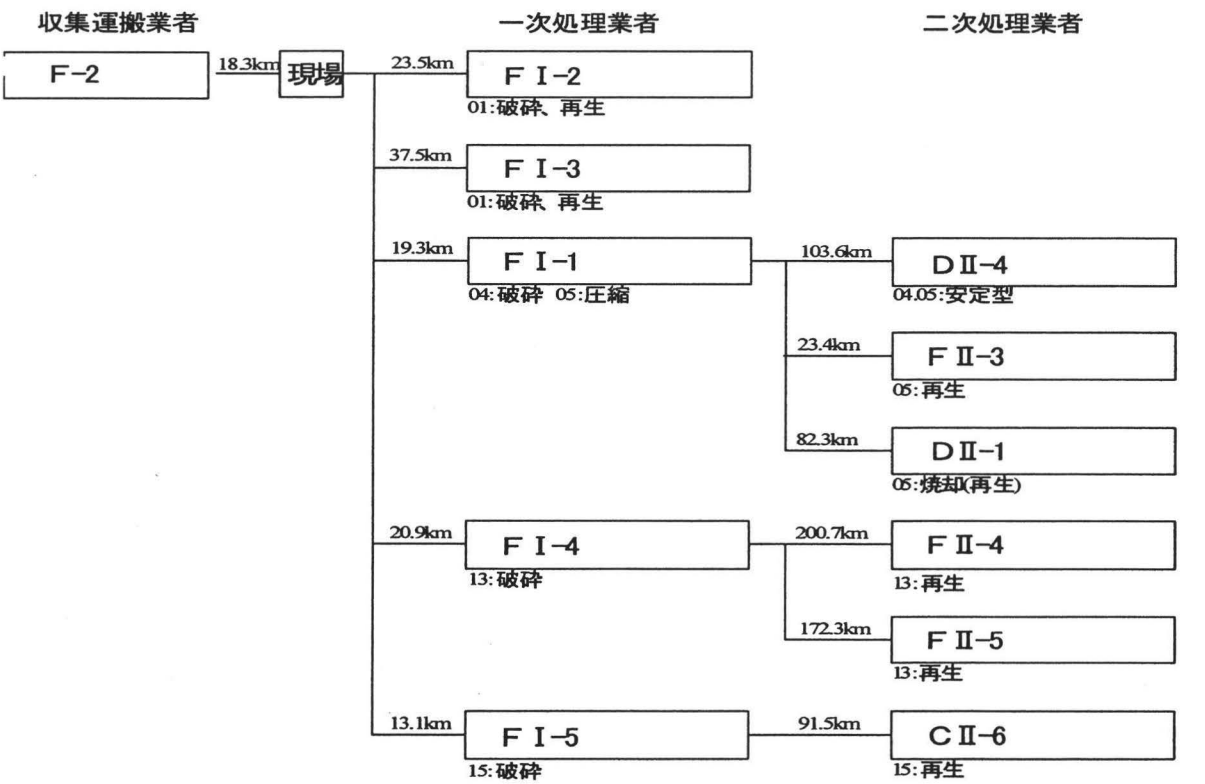


図２　川崎･解体工事における建設廃棄物処理フロー

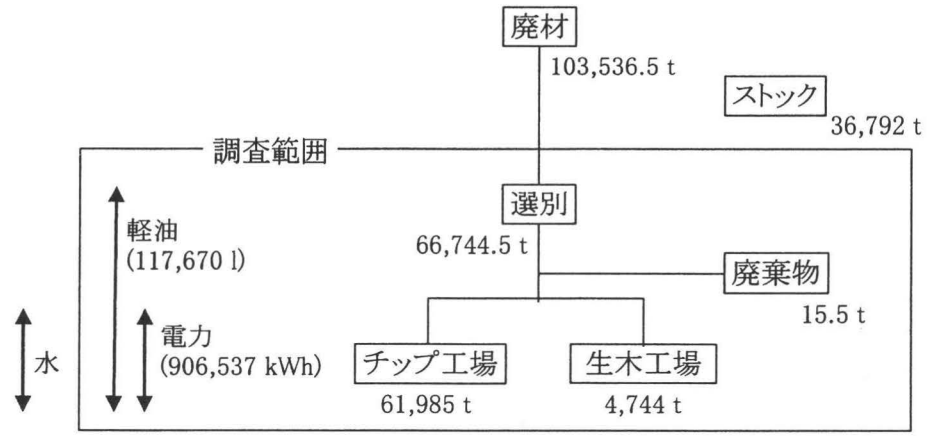


図 3　対象工場の 2001 年度における物質収支

表 13　電力と軽油の配分割合

	燃料用チップ	ボード用チップ	製紙用チップ	堆肥用チップ	計
チップ生産量(t)	43,941	8,107	9,937	4,744	66,729
生産能力(t/h)	30	10	10	6	
定格電力(kW)	447	263	210	257	
消費電力(kWh)	653,989	213,579	208,379	203,201	1,279,148
電力配分割合(%)	51	17	16	16	
軽油配分割合(%)	66	12	15	7	

表 14　製品製造に関する物質収支

インプット	燃料用チップ	ボード用チップ	製紙用チップ	堆肥用チップ	計
廃材(t)	43,941	8,107	9,937	4,744	66,729
(廃材種類)	(ベニヤ類)		(丸太, 梁等)	(剪定枝等)	
電力(kWh)	463,484	151,364	147,679	144,010	906,537
軽油(l)	77,486	14,296	17,523	8,366	117,670
アウトプット					
チップ(t)	43,941	8,107	9,937	4,744	66,729
廃棄物		ごみ, 電気コード, 金属スクラップ, 土, 石 等			

表 15　環境負荷原単位

	エネルギー消費原単位	CO2排出原単位	SOx排出原単位	NOx排出原単位
電力	7.55 MJ/kWh	4.68E-01 kg/kWh	3.74E-04 kg/kWh	1.78E-04 kg/kWh
軽油	3.85E+01 MJ/l	2.74 kg/l	1.36E-03 kg/l	2.93E-03 kg/l

表 16　製品 1t 当たりの環境負荷量

			燃料用チップ	(%)	ボード用チップ	(%)	製紙用チップ	(%)	堆肥用チップ	(%)
エネルギー	MJ	電力	79.64	54.0	140.96	67.5	112.2	62.3	229.19	77.1
		軽油	67.89	46.0	67.89	32.5	67.89	37.7	67.89	22.9
		計	147.53	100	208.85	100	180.09	100	297.08	100
CO2	kg	電力	4.93	50.5	8.73	64.4	6.95	59.0	14.19	74.6
		軽油	4.83	49.5	4.83	35.6	4.83	41.0	4.83	25.4
		計	9.76	100	13.56	100	11.78	100	19.02	100
SOx	kg	電力	3.97E-03	62.3	7.02E-03	74.5	5.59E-03	70.0	1.14E-02	82.6
		軽油	2.40E-03	37.7	2.40E-03	25.5	2.40E-03	30.0	2.40E-03	17.4
		計	6.37E-03	100	9.42E-03	100	7.99E-03	100	1.38E-02	100
NOx	kg	電力	1.88E-03	26.7	3.32E-03	39.1	2.65E-03	33.9	5.40E-03	51.1
		軽油	5.17E-03	73.3	5.17E-03	60.9	5.17E-03	66.1	5.17E-03	48.9
		計	7.05E-03	100	8.49E-03	100	7.82E-03	100	1.06E-02	100

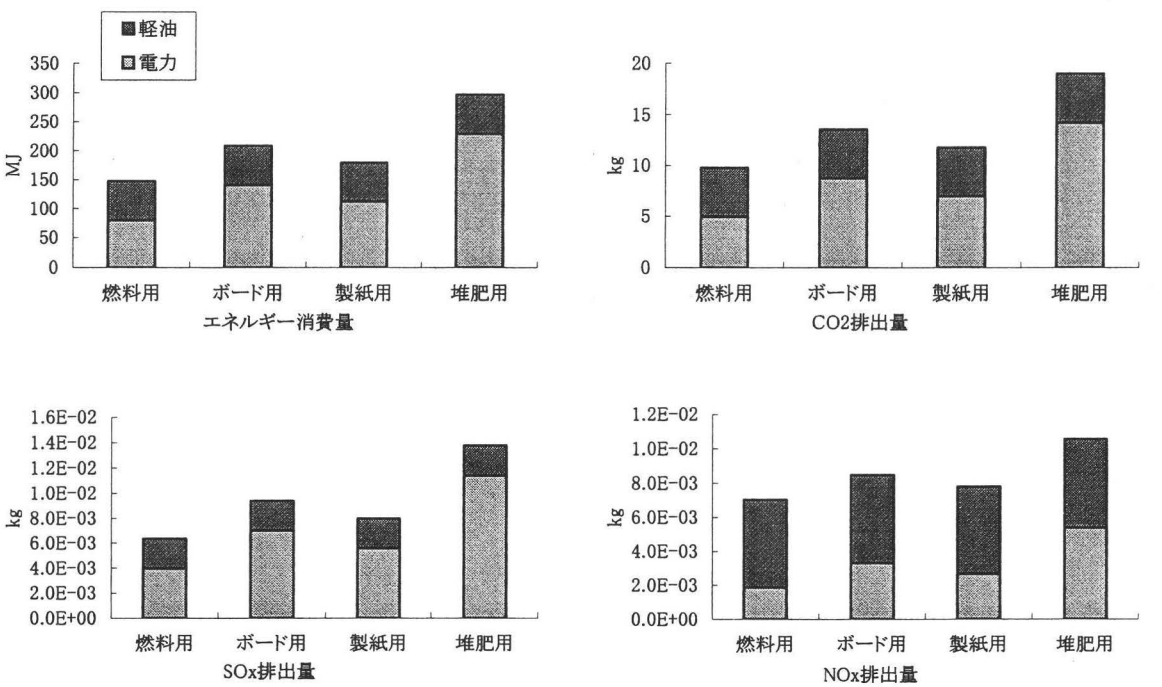


図 4　各環境負荷項目の製品間の比較

1-11 小風力適応型家庭用風力発電システムの開発研究

佐賀大学理工学部

教授　瀬戸口俊明

1．本研究の背景と目的

現在社会においては環境負荷低減のための諸システムの構築が急務であり、家庭用住宅エネルギー供給システムにおいても、自然エネルギーの有効利用で自律型生活環境の改善対策が必要となっている。この自然エネルギーの有効利用に関しては、取りわけ太陽光発電が主流であるが、風力も有望と思われる。

ところで、現在の日本では風力発電の開発が盛んに推進されているが、その発電システムには、①個々の家庭を対象としたものではない、②風速が 3 ～ 5 m/s 以下の小風力（日本国内の大部分の地域はこの風況である）を対象としていない、③騒音対策が必要である、などの問題がある。このような背景から、個々の家庭用住宅を対象とした、低騒音・高性能型の風力発電システムの開発が必要とされる。

以上の背景に基づき、本研究では小風力でも発電が可能となる特殊ディフューザ付低騒音型風力発電システムについて、特に特殊ディフューザと案内羽根付衝動型風車の最適幾何形状を明らかにすることで、その設計法の確立を企図するものである。

2．研究の方法

2．1　ディフューザ幾何形状の最適化

本実験は、図 1 に示す低速風洞を用いて大気中で行った。この風洞では最大で 40 m/s の一様流れを得ることができ、風洞出口は 500 mm × 500 mm の正方形形状をしている。テストセクションは側壁の影響を除くためフレームのみからなり、テストディフューザは上流側

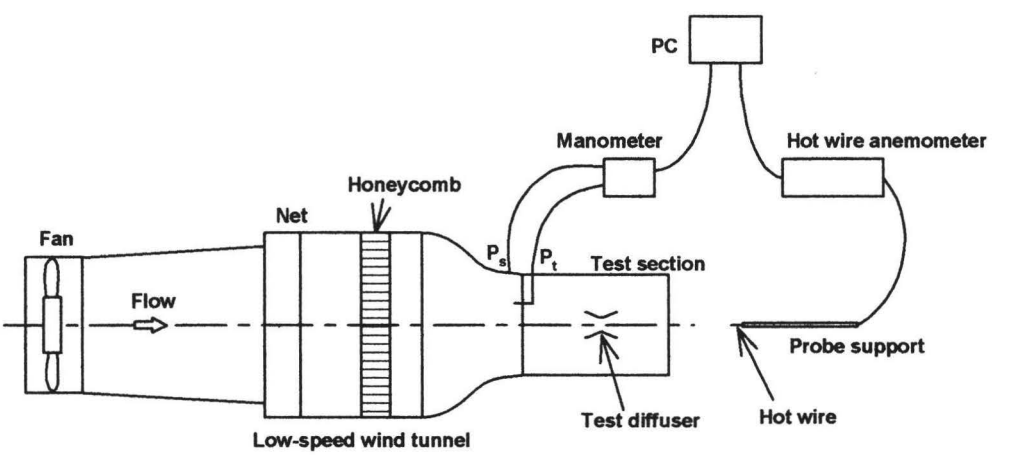


図 1　特殊ディフューザ実験システム全体図

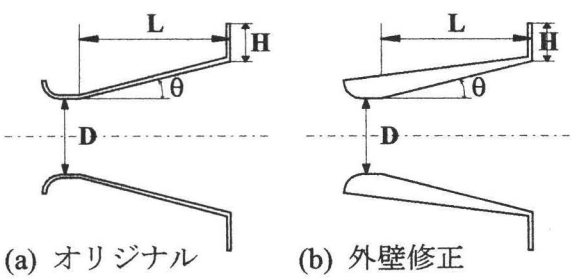
4本、下流側4本の計8本のワイヤーによって一様流れ内に固定された。ワイヤー径は0.5 mmであり、計測対象流れ場に影響が現れないことを確認している。ノズル出口風速は全圧管により全圧 Pt を、壁面取圧孔より静圧 Ps を取り込み、その差圧より求めた。実験はこの値がほぼ一定であることを確認しながら行われた。

図2(a), (b)および図3(a), (b)にテストディフューザの概略を示す。双方向型において、つばを可動式にすることを考えている。すなわち、上流側に位置するつばは流れによって押し倒され、下流側に位置するつばは流れによって引き起こされるよう設計を行う。この動きを容易に行うため、ディフューザの断面形状はタービン部で円形、両端部では正方形であり、ディフューザ拡大部では滑らかに円形から正方形へと形状が移行する。

試験パラメータとして、外部形状，拡大部長さ L，ディフューザ開き角 θ，およびつば高さ H を考えていたが、拡大部長さに関しては予備実験よりL/Dが長くなるほどより効果が大きいことが明らかにされたが、経済的な観点より本実験では $L=2D$ で一定とした。よって本研究で明らかにした幾何パラメータは、ディフューザ開き角 θ，つば高さ H および外部形状の三つであり、θ および H に関する試験値を表1に示す。

ディフューザの加速性能は、中心軸上における速度分布を単一I型熱線を用いて測定することにより求められ、タービン配置部において得られた最大速度 U_{max} が主流風速 U_0 の何倍になっているかで評価した。また加速性能向上のメカニズムを明らかにするため、ディフューザ周囲および後方の流れ場測定も行った。

なお、タービン部直径 D と主流風速 U_0 に基づく試験レイノルズ数は 9.9×10^4 である。

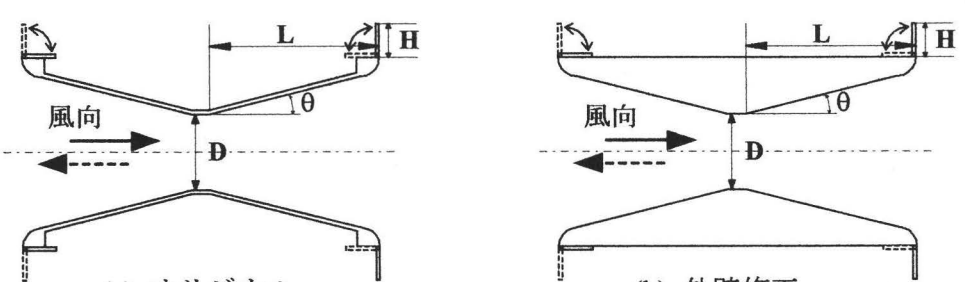


(a) オリジナル　(b) 外壁修正

図2　一方向型ディフューザ子午面断面概略図

表1　特殊ディフューザ試験パラメータ

L/D	H/D	θ [°]
1	0	6
2	0.5	8 10
3	1.0	12 14



(a) オリジナル　(b) 外壁修正

図3　双方向型ディフューザ子午面断面概略図

2．2　案内羽根付衝動型風車の最適化

図 4 に実験装置の概要を示す。直径 1.4m，長さ 1.7m の円筒シリンダ内でコンピュータ制御によりボールネジを回転させてピストンを駆動する往復気流発生風洞にタービン試験装置を接続し、く形状波の速度変化する気流を発生させ、その一定速度部分を用いタービン回転数を一定に保って実験を行った。

図 5 に本実験で使用する二次元形状の案内羽根付衝動型タービンの概要を示す。本実験では、好適なタービン幾何形状に関する知見を売るため、代表的なタービン形状に対し実験を行う。タービン幾何形状の選定に関しては、軸流式ガスタービンの設計法を参考に行った。その手順は、まず設計条件として、設計点におけるロータ角速度 ω_d および出力 P_d を決定し、次に設計条件を満たすように平均半径 r_R でのロータ入口および出口における速度三角形を求めた。そして、ロータ前後の流れの状態が求めた速度三角形となるように、入口案内羽根およびロータの幾何形状を決定した。

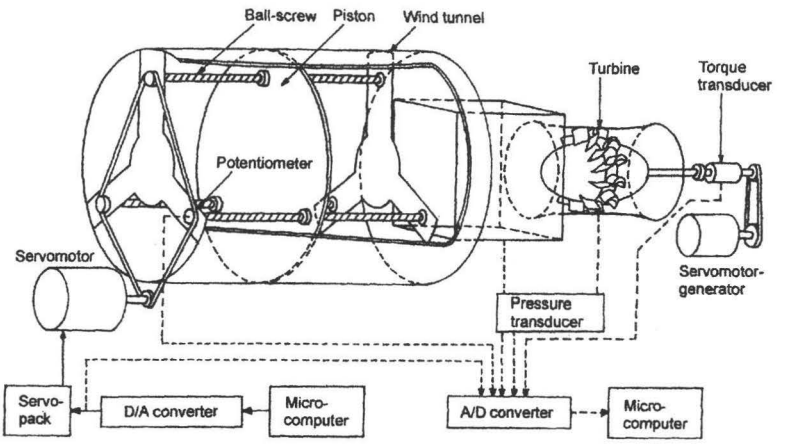


図 4　案内羽根付衝動型風車実験装置概要図

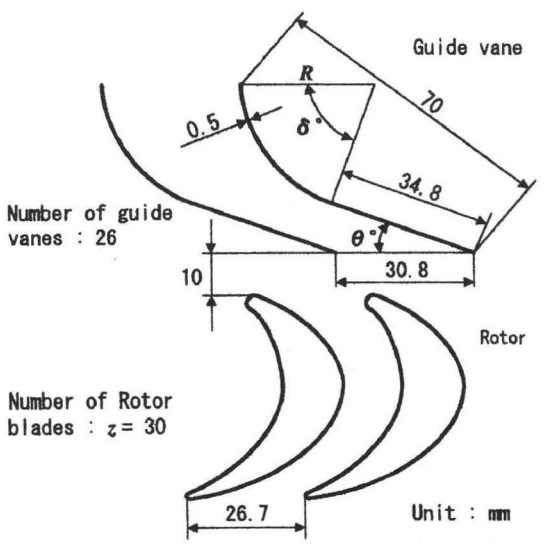


表 2　案内羽根の諸元

θ°	R mm	δ°
14	32	76
17	32.6	73
20	33.5	70
22.5	34.6	67.5

図 5　案内羽根付衝動型タービン概要図

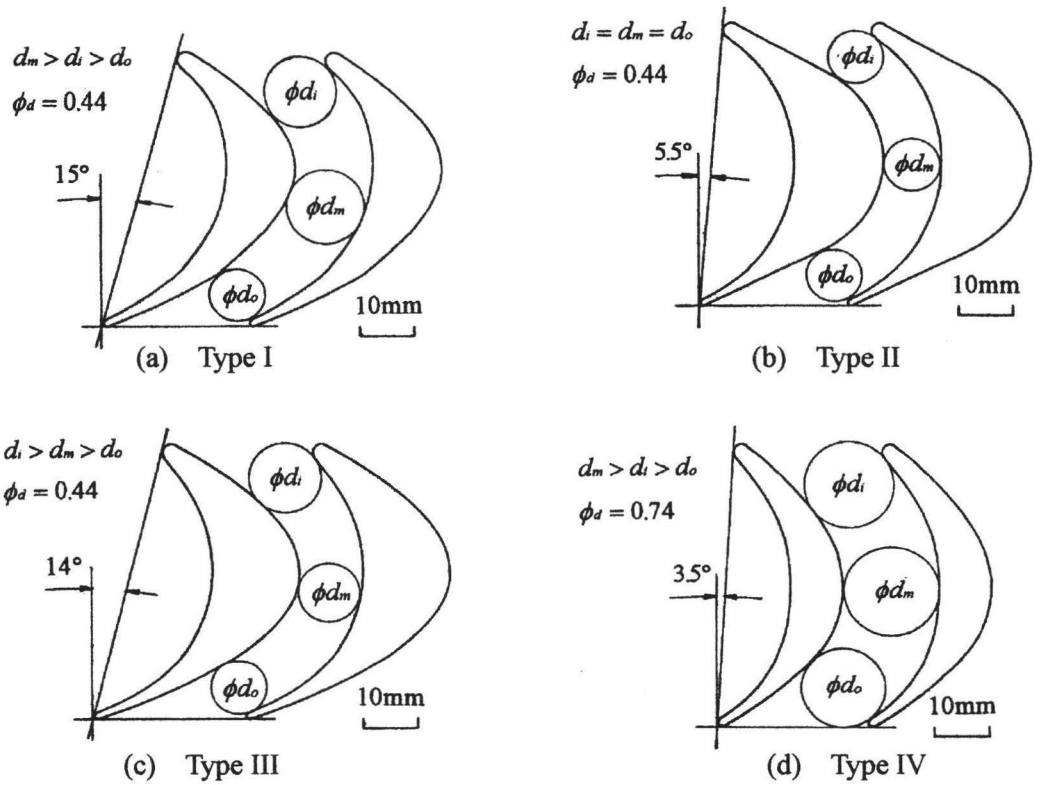


図 6　試験タービン概略図

図 6(a)～(d)に本実験で設計した 4 種類の二次元ロータ翼の概略を示す。図中の d_i, d_m, d_o は、それぞれ翼間通路の入口，中間，出口における幅、ϕ_d ($= v_a/U_{Rd}$, v_a : 流路断面平均軸流速度，U_{Rd} : 設計点での平均半径におけるロータの周速度) は設計流量係数である。以下の議論においては、これらのタービンをタイプ I～IV と呼ぶことにする。タイプ I および IV は、流路幅が中間で最大となる先細ロータ翼翼列、タイプ II は一定断面積流路を有するロータ翼翼列、タイプ III は流路幅が入口で最大となる先細ロータ翼翼列である。以上の全てのロータ翼について、翼弦長 l : 54mm，翼高さ h : 44mm，翼先端直径 : 298mm，翼先端すき間 : 1mm，r_R における弦節比 σ : 2.02，前縁半径 : 1.5mm，後縁半径 : 0.5mm，ハブ比 ν : 0.7 である。なお、設計点における速度三角形によるロータの反動度は、タイプ I～III については 0.12、タイプ IV は 0.044 である。

供試案内羽根は、図 5 に示されるように円弧と直線からなる弦長 70mm，厚さ 0.5mm の薄翼で、平均半径における弦節比は 2.27 である。案内羽根の設定角 θ は、タイプ I～III に対しては 14°，タイプ IV に対しては 20° が設計条件に適合する値であるが、タービン性能に及ぼす θ の影響を調べるために、全てのロータ翼に対して 14° と 20° を用いて実験を行った。またタイプ I のロータ翼に対しては 17°，22.5° の 2 種類についても実験を行った。供試案内羽根の詳細を表 2 に示す。

実験に際しては、タービン角速度 ω (≦ 370 rad/s)，空気流量 Q (≦ 0.320 m^3/s)，案内羽根を含むタービン前後の全圧差 Δp (≦ 1.8 kPa) および出力トルク T_0 を測定した。

3．　研究の結果

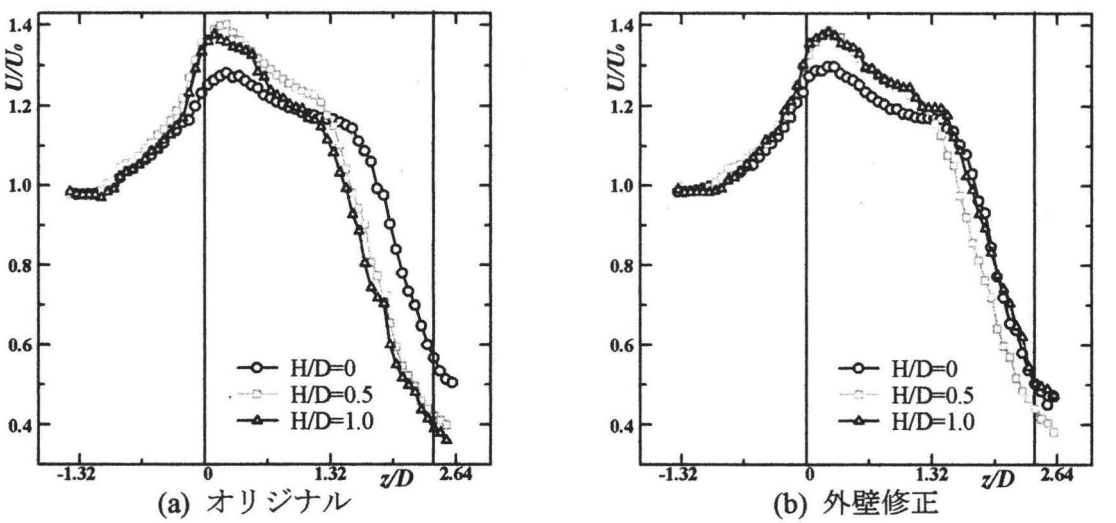
3．1．　ディフューザ試験結果

3．1．1．　一方向型ディフューザの加速性能

図 7(a), (b)に一方向型ディフューザの中心軸状の速度分布を示す。図(a)がオリジナル形状、図(b)が外壁修正形状の結果であり、横軸は中心軸状の位置を、縦軸は速度を表す。これらの結果はいずれもディフューザ開き角が 12° の場合であり、図中の 2 本の縦線はそれぞれディフューザ入口および出口の位置を示す。また図中のシンボルはそれぞれ H/D の値を示す。

図 7(a), (b)を比べると、得られる最大速度 U_{max} および速度分布に関して、$H/D=0$ を除くとほぼ同じであり外壁形状の修正はほとんど効果がないことが明らかになった。従って、以下に示す一方向型ディフューザの結果はいずれもオリジナル形状のみとする。

図 8 につば高さが加速性能に及ぼす影響を示す。横軸はつば高さをタービン部直径で無次元化した値 H/D を、横軸はタービン部で得られた最大速度 U_{max} を主流速度 U_0 で無次元化した値を示し、図中のシンボルはそれぞれディフューザ開き角 θ に対応している。この結果よりいずれの開き角においても、H/D の最適値は 0.5 程度であることが示された。次に、図 9 に開き角が加速性能に及ぼす影響を示す。これは上記のデータを開き角に対して整理し直したものであり、横軸は開き角 θ を、縦軸は U_{max}/U_0 を示している。また、図中のシンボルは



(a) オリジナル　　(b) 外壁修正

図 7　一方向型ディフューザにおける中心軸上の速度分布（θ =12° ）

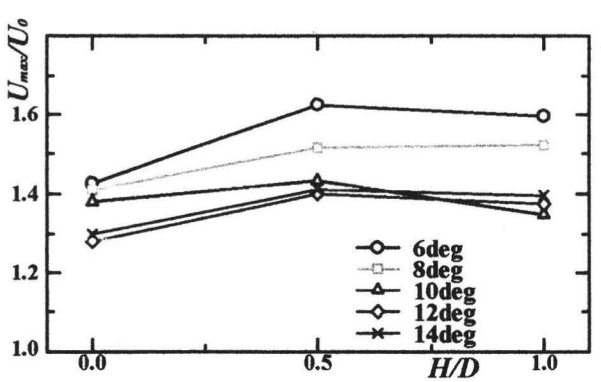


図 8　つば高さの加速性能に及ぼす影響

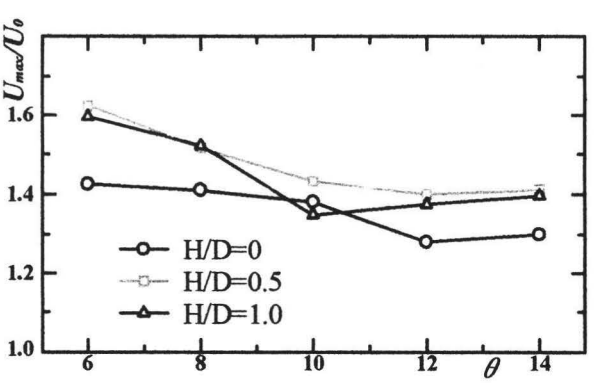


図 9　開き角の加速性能に及ぼす影響

それぞれつば高さ H/D に対応している。この結果より、いずれのつば高さにおいても開き角 θ は6°が最も良いことが示される。

以上をまとめると、一方向型に関しては外部形状に修正を加えないオリジナル形状のディフューザで、開き角 θ=6°，つば高さ H/D=0.5 の時に最も良い性能が得られ、この時流れは主流速度の約 1.62 倍まで加速された。

3．1．2．　双方小型ディフューザの加速性能

図 10(a), (b)に、双方向型ディフューザの中心軸上における速度分布を示す。図(a)がオリジナル形状の、図(b)が外壁修正形状の結果であり、いずれも横軸はディフューザ中心軸上の位置を、縦軸は速度を示している。また、図中の 4 本の縦線は左から順にディフューザ入口，タービン部入口，タービン部出口，ディフューザ出口の位置を示し、図中のシンボルはそれぞれつば高さ H/D に対応する。双方向型の場合、オリジナル形状では外壁の中央部にくぼみが形成される。この部分に大きな定在渦が形成され加速性能に影響を及ぼすと考えられるので、外壁修正有り無しの比較は最も渦が形成されやすい θ=14°で行った。

図 10 より、それぞれのつば高さにおいて分布形状に関しては大きな違いは見られなかったが、得られた速度最大値に関しては、オリジナル形状の場合 H/D=1.0 で U_{max}/U_0=1.28 であるのに対し、外壁修正形状の場合は H/D=1.0 で U_{max}/U_0=1.35 と速度が増速され、外壁修正を施す効果が確認できる。

図 11(a), (b)につば高さが加速性能に及ぼす影響を示す。図(a)はオリジナル形状の、図(b)は外壁修正形状の結果を示し、図の横軸はつば高さ H/D を、縦軸はタービン部で得られた速度最大値を主流速度で無次元化した値を示す。また、図中のシンボルはそれぞれディフューザ開き角 θ に対応している。これらの結果より、いずれの形状・いずれのつば高さにおいても θ=6°の場合に大きく加速されていることが明らかである。全体的につば高さに応じて流速が増加しているが、速度増加の割合は H/D=0.5～1.0 の間より H/D=0～0.5 の間の方が大きく、つば高さをこれ以上大きくしても効果は少ないと考えられる。また、外壁修正に関しては、ディフューザ開き角 θ が 6°と最も小さな場合、オリジナル形状の方がより良い性能を示した。これは外壁上に形成されるくぼみが小さくなったため、前述のくぼみ部に形成される定在渦が抑制されたことを意味している。

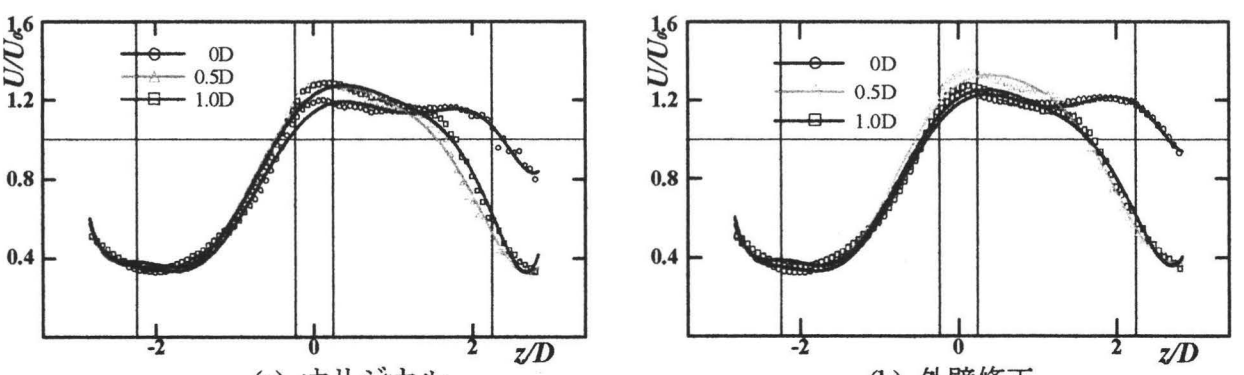
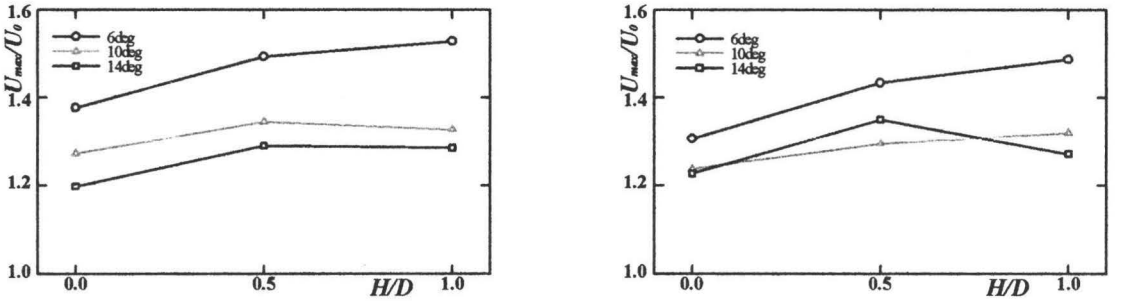


図 10　双方向型ディフューザにおける中心軸上の速度分布（θ=14°）



(a) オリジナル　　(b) 外壁修正

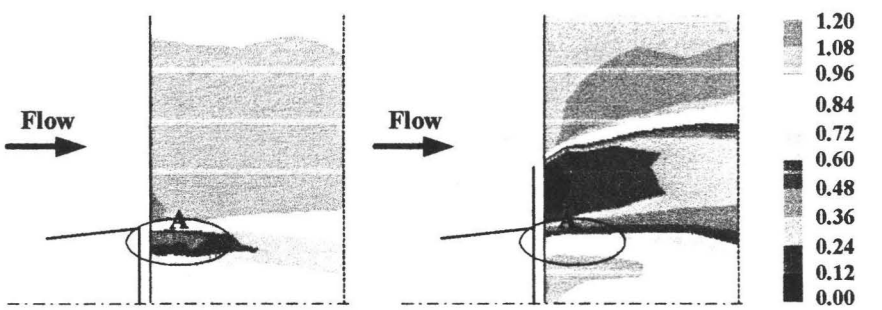
図 11　つば高さが加速性能に及ぼす影響

以上の結果をまとめると、双方向型に関してはオリジナル形状で θ=6°，H/D=1.0 において最も良い性能が得られ、この時流れは主流速度の約 1.52 倍まで加速された。

3．1．3．　ディフューザ出口流れ場

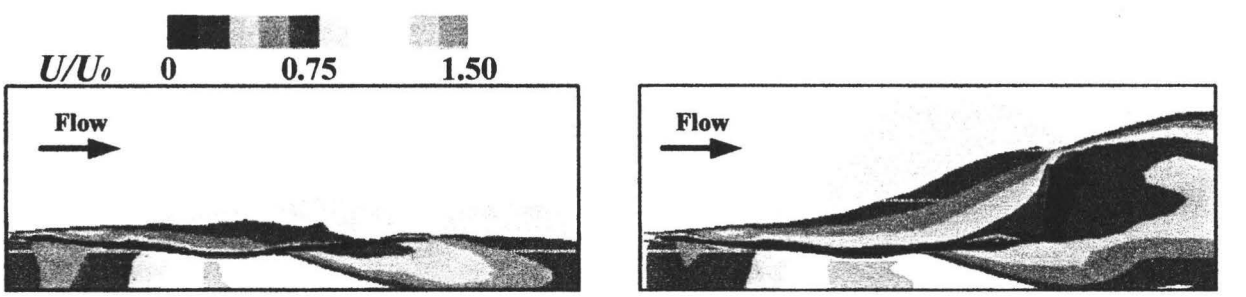
図 12(a), (b)に、θ=6° である一方向型ディフューザ出口における速度分布を等高面図で示す。図(a)が H/D=0 の、図(b)が H/D=0.5 の場合を示し、流れはいずれも左から右である。図より、H/D=0 においてはディフューザ内壁に沿ったはく離の影響（図中 A）が強く見られるが、つばを付けることでこのはく離が抑制され、ディフューザ通過流量が増加している様子が明らかである。

図 13(a), (b)に、θ=6° である双方向型ディフューザ周囲の速度分布を等高面図で示す。図



(a) H/D = 0　　(b) H/D=0.5

図 12　一方向型ディフューザ出口の流れ場（θ =6°）



(a) H/D = 0　　(b) H/D=0.5

図 13　双方向型ディフューザ周囲の流れ場（θ =6°）

(a)が H/D=0 の、図(b)が H/D=0.5 の場合を示し、流れ方向は図 12 と同じである。図より、一方向型と同様につばを付けることでディフューザ内壁面上のはく離が抑制され、ディフューザ通過流量が増大したため、タービン部における流速が増大していることが明確に分かる。

3．2．　案内羽根付衝動型風車試験結果

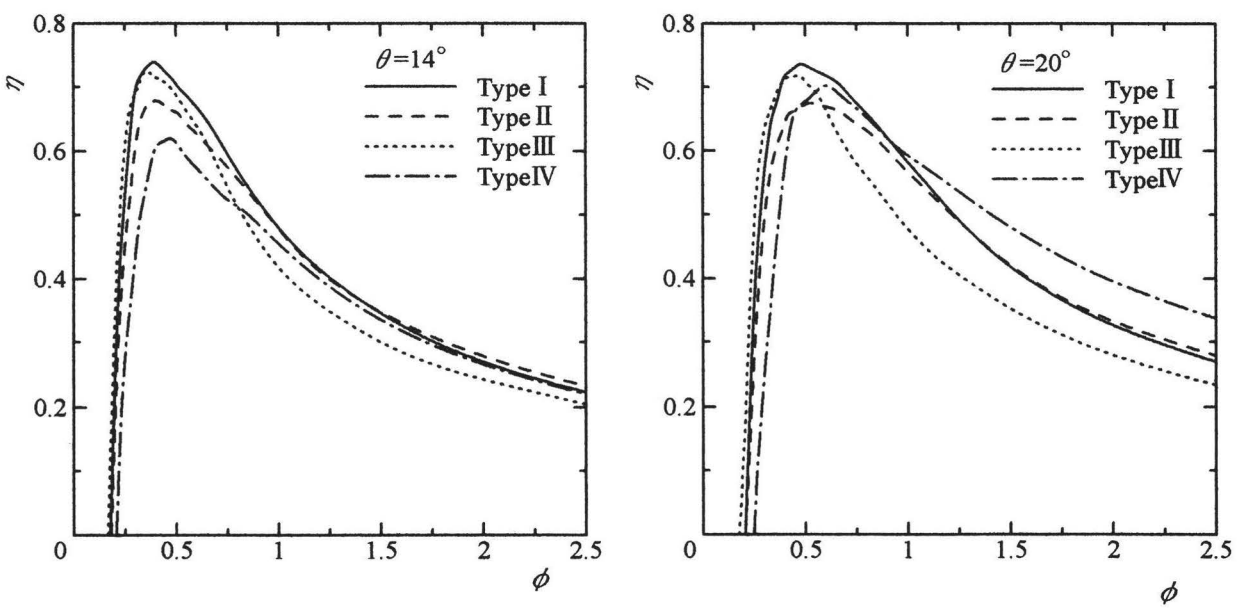
定常流におけるタービン特性を、次式で定義するタービン効率 η，トルク係数 C_T，入力係数 C_A と流量係数 ϕ の関係により評価する。

$$\eta = T_0\omega/(\Delta pQ) = C_T/(C_A\phi)$$
$$C_T = T_0/\{\rho_a(v_a^2+U_R^2)blzr_R/2\}$$
$$C_T = \Delta pQ/\{\rho_a(v_a^2+U_R^2)blzv_a/2\}$$
$$\phi = v_a/U_R$$

ここに、ρ_a：空気密度，z：ロータ枚数，U_R：平均半径 r_R におけるロータの周速度である。

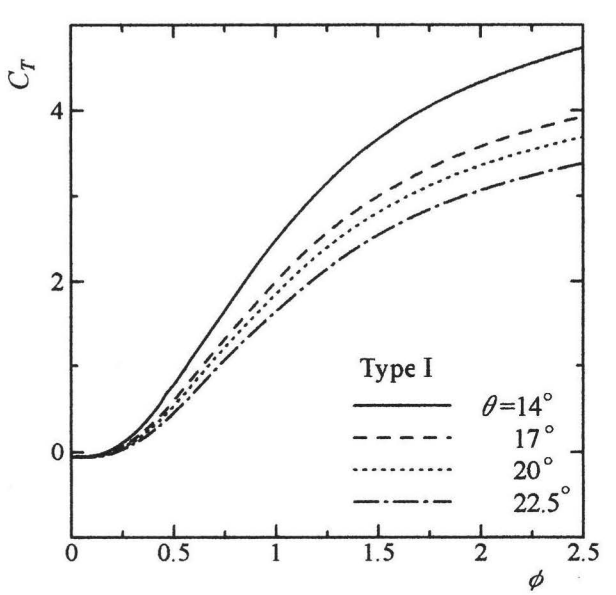
図 14 は、定常効率に及ぼすタービン形状の影響を示す。図 4(a)および(b)より、案内羽根設定角 θ=14° と 20° の両方の場合においてタイプ I の最大効率が最も高いことがわかる。また最大効率の値は、タイプ IV については、案内羽根の設計値である θ=20° の方が 14° より約 8%も大きいが、タイプ I～III については、θ=14° と 20° の差が 1%程度でほぼ同じである。

この原因は、タービン特性に及ぼす案内羽根設定角 θ の影響より考察できる。すなわち、図 15(a)および(b)に示す C_T-ϕ および C_A-ϕ 特性より、θ=14° は入口絶対速度の周方向成分が大きいため C_T 値が大きいが、θ が小さいため C_A 値も大きくなり、結果的に θ=20° の場合とほぼ同じになったものと思われる。一方、図 5(c)に示す η-ϕ 特性より、最大効率の値は θ とともに減少するが、最大効率が得られる流量係数は θ とともに大きくなり、高流量係数域の η も θ が大きいほど高いことがわかる。

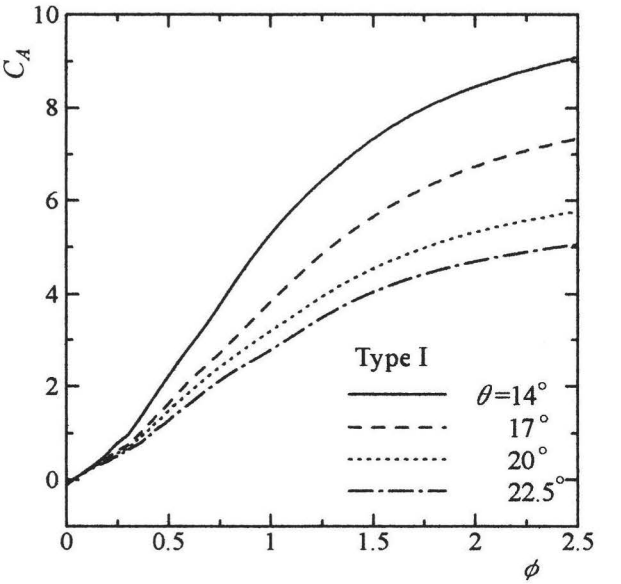


(a)　θ =14°　　(b)　θ =20°

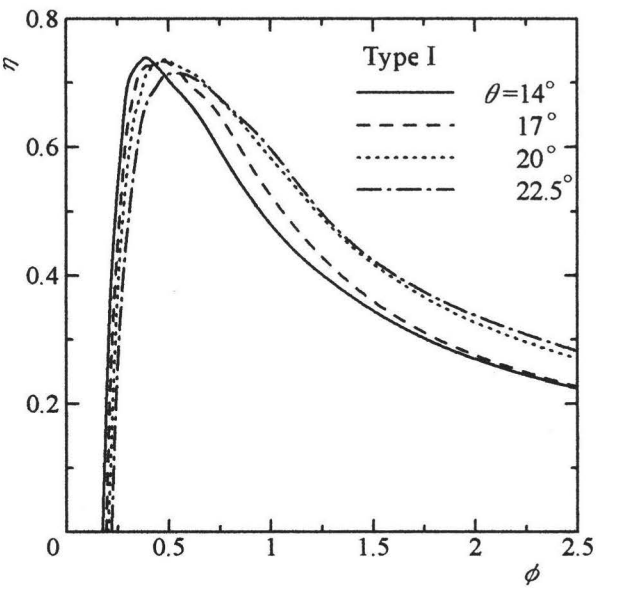
図 14　ロータ形状がタービン効率に及ぼす影響



(a) トルク係数



(b) 入力係数



(c) 効率

図 15　案内羽根の設置角がタービン特性に及ぼす影響

以上より、本研究で設計したタービン定常効率 η の最大値はタイプ I の θ=14° で得られた 74%であることが確認された。なお、図 15(a)のトルク特性より、本衝動型タービンのトルクは従来のプロペラ型風車より極めて大きいため、タービンの回転特性に優れ小風力対応の風車として好適であることがわかる。

4．結論

一方向型および双方向型ディフューザおよび案内羽根付衝動型風車の最適幾何形状に関し

て申請内容の研究は実施され、以下の知見が得られた。

（1） 一方向型ディフューザに関してはL=2Dにおいて、開き角θ=6°，つば高さH=0.5Dが最適であり、外壁修正の効果はほとんどない。この時流速は最大で1.62倍まで加速された。

（2） 双方向型ディフューザに関してはL=2Dにおいて、開き角θ=6°、つば高さH=Dが最適であり、外壁修正は開き角が大きく取った場合に効果が現れる。この時流速は最大で1.52倍まで加速された。

（3） 衝動型風車の最適幾何形状はタイプIであり、案内羽根の設置角θを14°としたとき最大の定常効率74%を得た。なお、今回実験は一定のハブ比0.7で行ったが、この影響を明らかにすることが今後の課題である。

なお、現在までの研究に対し、以下に示す研究成果が得られた。

（1） T. Setoguchi, N. Shiomi, T. Nakano, K. Kaneko, “Development of High- Performance Two-Way Diffuser by Locally Concentrated Fluid Energy”, Procs. of the 7th Symp. on Fluid Control, Measurement and Visualization, CD-R Proceedings No. 022, (2003-8).

（2） 瀬戸口俊明、塩見憲正、金子賢二、“双方向流れに対応した集流加速システムの開発”，機構論，No.048-1, pp.281-282 (2004-3).

（3） T. Setoguchi, N. Shiomi, K. Kaneko, “Development of Two-Way Diffuser for Fluid Energy Conversion System”, Renewable Energy, No.29,Vol.10, pp.1757-1771, (2004-8)，（掲載予定）

1-12 光学顕微鏡による既存住宅木材部材の腐朽診断法確立

東京農工大学　農学部　環境資源科学科

教授　福田　清春

1．本研究の背景と目的

住宅の建築・購入希望者が最も心配する事の一つは性能である。このために『住宅の品質確保の促進等に関する法律』（平成11年法律第81号）が制定された。この法律の下に住宅の性能表示制度が設けられ、まず平成１２年に新築住宅が、次いで平成14年に既存住宅が適用対象となった。国土交通省住宅局住宅生産課のパンフレットによると、既存住宅に関する性能表示制度では、①住まいの劣化や不具合が分かる、②住まいの性能が分かる、③安心・納得して既存住宅の売買ができる、④適切な維持管理や修繕・リフォームに役立つ等があげられている。しかし、これらはいずれも適切な性能診断法の裏づけがあって成り立つものである。特に、シロアリによる蟻害や腐朽菌による腐朽・劣化の診断について、適切な科学的方法が確立されているわけではない。

現在、腐朽の有無を判別するために、目視、打音解析、錐の差込等の経験的な方法が用いられている。また、ピロジン、トルクメーター等種々の器具を用いた方法も行われるが、これらはいずれも腐朽による木材の強度低下に関するものであり、ある程度腐朽が進行していなければ有効性に乏しい。また、変色などの目視観察では、単に黴が生育し汚染されているだけなのか、腐朽菌の生育が生じているのかを判別する事ができない。また、遺伝学的な手法によって、腐朽の有無を判別する試みも行われつつあるが、腐朽菌類に関する知識・情報の欠落から実用化には時間がかかる。この様に現状では、末期の腐朽を判別する事は容易に行えるが、初期腐朽を検出する方法は、まったく確立されていないといえる。

本研究は、住宅木部からごく微量の試料を採取し、これを顕微鏡で観察する事で、木材細胞壁に腐朽の兆候が見られるか、腐朽菌類の存在が観察できるかを明らかにすることを目的に実施したものである。

2．研究の方法

2.1 典型的な木材腐朽菌による腐朽材の調製

スギ（*Cryptomeria japonica* D.Don）とブナ（*Fagus crenata* Blume）の辺材から大きさ２×２×１（繊維方向）cmの試験片を調製し、これを酸化プロピレンで殺菌後、腐朽菌類に暴露した。なお、これらの木材は、それぞれ針葉樹材と広葉樹材の代表として用いたものである。

木材腐朽菌類として、表１の３種類を用いた。これらの菌類は、木材腐朽における３つの

タイプ、褐色腐朽、白色腐朽、軟腐朽を惹き起こす代表的な木材腐朽菌類である。

容積約450mlの培養ビンに石英砂を250ｇ入れ、これにグルコース30ｇ、ペプトン10ｇよりなる培養液70mlを加え、高圧蒸気殺菌し、供試菌類を接種し、28℃で培養した。菌糸が培地表面を覆って生育した事を確認した後、木材試験片を1培養ビン当り３～４個のせた。これを種々期間28℃で培養した。培養後試験片を取り出し、表面に付着した菌糸を取り除いた。腐朽の程度は、腐朽前後の乾燥質量の差から、次式で質量減少を求め、測定した。

質量減少率(%)＝(腐朽前質量―腐朽後質量)÷腐朽前質量×100

表1　供試菌類

褐色腐朽菌：オオウズラタケ；*Fomitopsis palustris* FFPRI
白色腐朽菌：カワラタケ；*Trametes versicolor* FFPRI
軟腐朽菌：ケトミウム(ケダマカビ)；*Chaetomium globosum* IAM 8059

2.2 腐朽材の顕微鏡観察法

(1)解繊

各種腐朽材から長さ５㎜幅１㎜程度の試験片を切り出した。これを小型の試験管に入れた。これに無水酢酸と過酸化水素水の等量混合液から調製した過酢酸溶液２mlを注ぎ入れ、湯煎を用い約70℃に加温した。木材試験片の色が白色になったら、過酢酸を捨て、水を加えて充分に水洗した。この処理木材試験片をエタノール水５：５(v/v)溶液にいれ、試験管振とう機にて繊維状に解繊した。

(2)顕微鏡観察

上記の如く解繊した木材繊維を含む溶液を、パスツールピペットにて１滴取り、スライドグラス上に滴下し、これにカバーグラスをかけて顕微鏡観察を行った。通常の明視野での観察に加えて、木材細胞壁に生じた菌類の分解跡を観察するための偏光顕微鏡、菌糸の侵入状況を観察するための位相差顕微鏡観察を行った。

2.3 既存住宅からの木部採取と観察

日本しろあり対策協会会員企業等の協力を受け、取り壊し住宅約24戸について、木材部材の劣化状況を観察すると共に、変色が生じている部材を切り出し、これより前述と同様の微小試験片を採取した。また、野外に放置された木材からも同様に試験片の採取を行った。

3．結果と考察

3.1.1　健全な木材細胞と、腐朽した木材細胞

採取したサンプル毎の観察結果について報告する前に、比較のため、腐朽を受けていない健全な状態で木材の細胞（仮道管及び木繊維）が光学顕微鏡、特に偏光顕微鏡による観察においてどのように見えるかを示しておく。

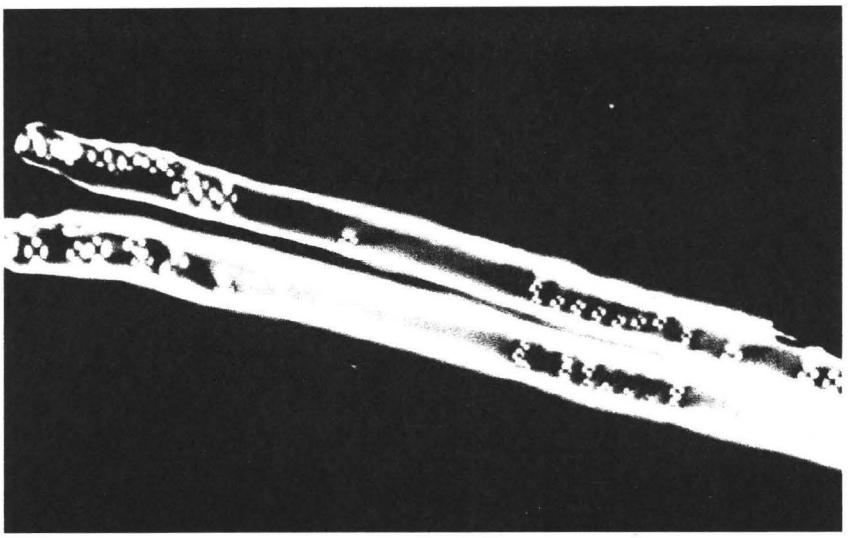


図１：健全な仮道管の偏光顕微鏡写真

図１は腐朽の起こっていない健全な針葉樹材の一部を採取し、解繊した後に偏光顕微鏡で観察した像である。仮道管の細胞壁を構成しているセルロースミクロフィブリルが結晶領域を持っているため、向きによっては健全な仮道管細胞壁は白く輝いて観察される。偏光顕微鏡の偏光板と、セルロースの結晶領域が起こす偏光の向きとの関係により、観察する対象を回転させると仮道管は明るくなったり暗くなったりを繰り返すので、基本的に最も明るく輝く場所で固定し、観察した。

解繊した試料は仮道管一本ずつにほぐれているため、一本の仮道管は明るく見えるが、角度の異なる仮道管は暗く見えるという状況に当然なるため、メインの観察対象とする仮道管以外は必ずしも明るく輝いた状態とはならない。

所々に見られる円のような模様は、壁孔である。壁孔においては、他の部分と異なり壁孔の中心に対して同心円上にセルロースが配向しているため、偏光顕微鏡で見ると4つの部分にわかれた円の様な模様として観察される。なお、通常の光学顕微鏡においては、健全な仮道管や木繊維は形態的損傷の無い状態で観察される。

次に、褐色・白色・軟腐朽のそれぞれの腐朽様式で被害を受けた場合、腐朽様式ごとに解繊した木材の細胞には特徴的な被害の跡が現れる。これを図２－４に示した。

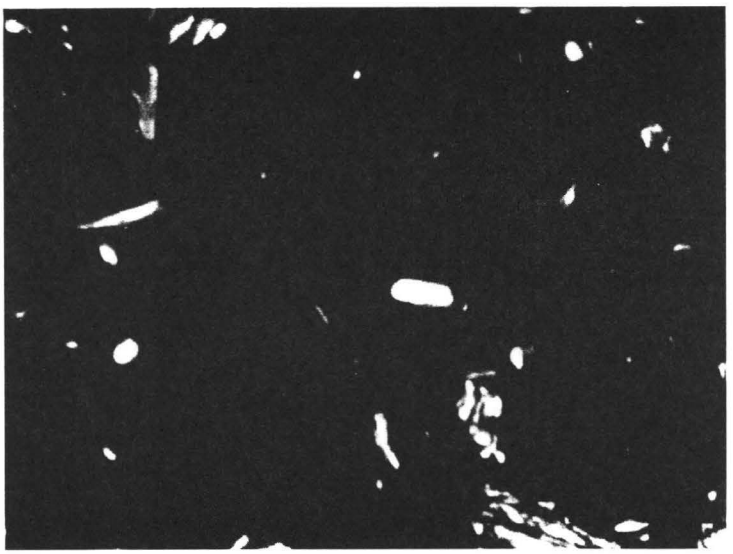


図２：褐色腐朽を受け、細かく断片化した仮道管

明らかに褐色腐朽を受けた材を解繊し検鏡すると、図２に示すようにほとんど例外なく仮道管や木繊維の全体が崩れるように断片化し、細かくなった細胞壁が視野中に無数に見られる。後述する軟腐朽や白色腐朽の様に細胞壁面に特徴的な腐朽跡を残すものではないが、腐朽の進んだものに関しては原形をとどめた健全な仮道管はほとんど残っていない事が多く、顕微鏡による観察時に、視覚的に褐色腐朽が起こっているという状態は非常に把握しやすい。通常の光学顕微鏡でも同様に、木材細胞の断片化が観察される。

図３の様に軟腐朽を受けた木材においては、仮道管の繊維軸方向に対して10ー30度程度の角度をもった斜線状の腐朽跡が見られる。これは、軟腐朽を引き起こす菌類、微小菌類による分解様式に起因している。仮道管や木繊維の細胞壁は外側からS_1層、S_2層、S_3層という三層構造からなっており、その内側に細胞内腔があるという構造を持っている。軟腐朽菌は細胞内腔から木材細胞壁中へ侵入する。その際、内腔に接するS_3層をほぼ垂直方向に通過し、S_2層に到達したのちにS_2層のセルロースミクロフィブリルの配向方向に沿って生育を開始する。その際、菌体周囲のS2層を分解するため、そしてS_2層のセルロースミクロフィブリルの配向方向は仮道管の長軸方向に対してやや角度を持った斜め方向であるため、軟腐朽を受けた仮道管や木繊維では前述のような斜線状の腐朽跡を呈するのである。腐朽のあとは両端の尖ったダイヤモンド型や六角形型となり、極めて特徴的なものである。なお、通常の光学顕微鏡観察の場合、軟腐朽初期に生ずる空洞については明瞭に識別し難く、見逃しがちになる。従って軟腐朽の観察には偏光顕微鏡は不可欠の道具となる。

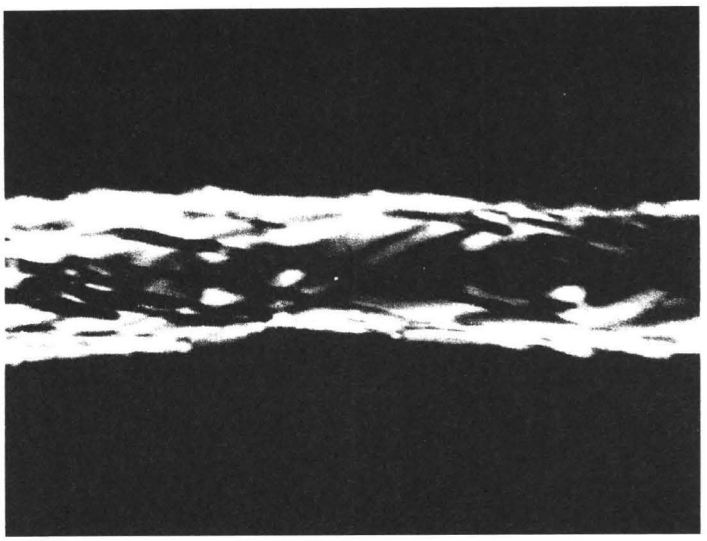


図３：軟腐朽を受け、仮道管表面に斜線が入った様な腐朽跡のついた仮道管

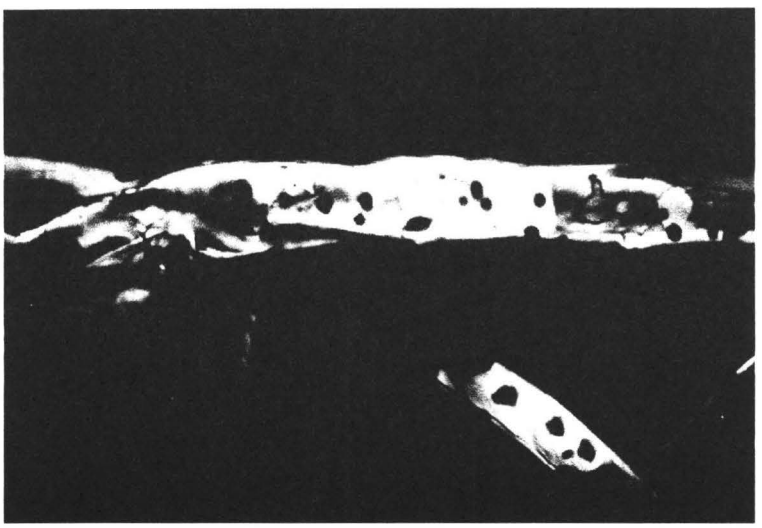


図４：白色腐朽を受けた広葉樹の木繊維

図４は白色腐朽を受けた広葉樹の木繊維を偏光顕微鏡で観察したものである。白色腐朽の場合、褐色腐朽のように細かい断片とはならず、また軟腐朽の様にセルロースの配向方向に沿った特徴的な腐朽跡が見られる事もない。図４から分かるように、白色腐朽を受けた細胞壁の特徴は無数の孔が生じることである。これは軟腐朽の場合と同様、白色腐朽菌の特徴的な腐朽様式に起因している。白色腐朽では、内腔から侵入した菌糸が細胞壁のS_3層に付着すると、$S_3 \rightarrow S_2 \rightarrow S_1$と内側から順に主要構成成分を分解していく。このため、この分解によって生じた窪みがS_1層を貫通すると、細胞を外から見た際には細胞壁表面に穿たれた空洞として確認できる。この空洞は腐朽度が増すと数と大きさを増した。白色腐朽は主に広葉樹を腐朽する腐朽様式であるため、針葉樹を主とする建築部材に関しては褐色腐朽ほどに深刻な被害を引き起こすわけではないが、腐朽が進行するとやはり材に大きな強度低下をもたらす。なお、褐色腐朽を受けた材は非常に脆くなり、指先で簡単につまむことが出来る状態となり、つまんでこすると粉末にな

ってしまうが、白色腐朽においては粉末にはならず、海綿上にほぐれてくるという特徴がある。また、通常の光学顕微鏡でも白色腐朽空洞は観察できる。

3.1.2 実際に木造住宅に用いられた木材の変色部位に関する観察

実際に木造住宅に用いられ、木材表面で変色が生じている部位から採取した試料に対し、解繊処理をほどこした後、観察を行った。それぞれの変色部位の外観と、解繊し顕微鏡によって観察した像とを対比させながら考察を進め、外観の状態から予想される、すなわち目視で推定される木材の状態と、実際の木材の状態との関連を重視した。

木造住宅の腐朽被害において検査を行う場合、重要な点は、木造住宅部材に対して深刻なダメージを与える、最も警戒するべき褐色腐朽による変色と、それと異なる非腐朽菌やその他の原因による変色とを明確に判別出来るかどうか、という所にある。したがってここでの観察は、次の着眼点に基づいて行った。また、これに関して重要と思われるものをピックアップして記す。

- 典型的な褐色腐朽による変色の様子
- 褐色腐朽による変色と異なる黒ずみ等
- 水の滞留しやすい古釘の周辺部
- 菌糸が付着している部位
- 表面汚染を引き起こす非木材腐朽菌類による変色

観察結果を以下に示す。

腐朽の影響を受けた変色部 事例１

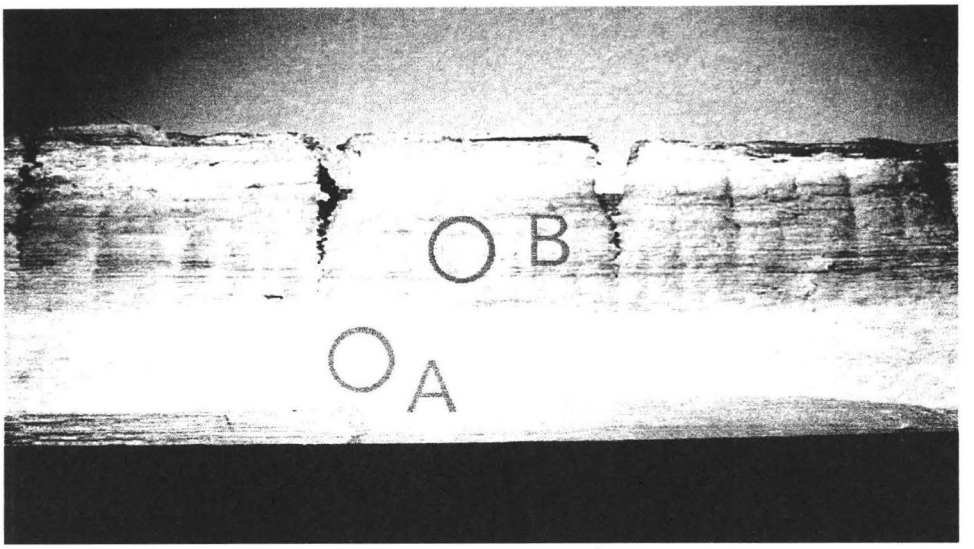


図５：事例1の材外観

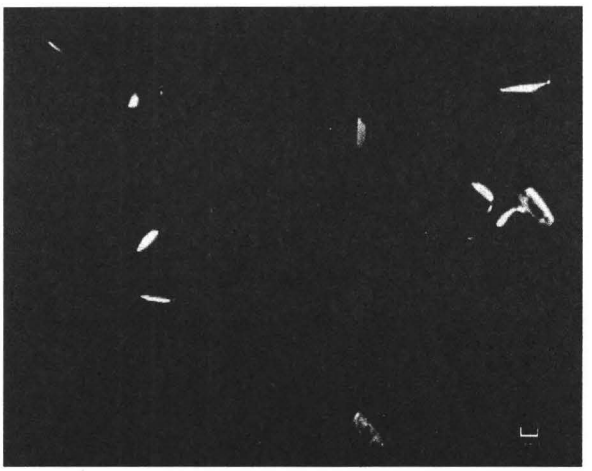


図5-B

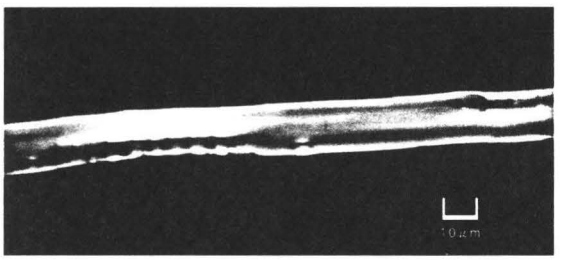


図５-A-1

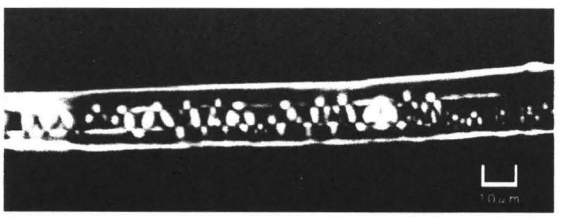


図5-A-2

まず、明らかに腐朽の影響を受けている変色部について、観察を行った。図５には、この典型的な褐色腐朽による変色が起こっている材の外観を示す。外観の写真から見て取れる様に、上面と下面から褐色腐朽が進んでいる板材の柾目面よりサンプルを採取した。上面からの腐朽の度合いは激しく、上面（板目面）においては腐朽によって表面側の材が萎縮し、褐色方形腐れと呼ばれるひび割れが生じ、前述のごとく容易に粉末化する。サンプルは図中のA, Bの二点から採取し

た。ここでの観察の意図の一つは、明らかに褐色腐朽による変色と思われるB部における細胞の状態の確認である。もう一つは、目視では正常な状態だと判断できるA部であるが、ここまで褐色腐朽部位に近接している場合、その目視による判定には信頼性があるのかどうかを確かめるためである。目視による変色の具合で健全と判定された部位でも、実際には内部で腐朽が進んでいるケースがあるのではないか、という疑いから特に外観上健全であり、褐色腐朽部に隣接するA部を詳細に観察した。

B点から採取したサンプルは強度的にも指でつまむとすぐ崩れてしまう様な状態で、明らかに褐色腐朽が生じていた。これを解繊した所、図5-Bに見られる様な極度に断片化した仮道管が見られた。視野中に健康な状態を保っている仮道管は全く見られず、ほぼ一様に細かく断片化している様子が見られた。外観から予想される腐朽状態と良く一致している。

A点から採取したサンプルを検鏡すると、図５-A-1,2の様に正常な状態を保った仮道管が観察された。またA点での観察時、視野中に断片化した仮道管はほとんど見受けられなかった。このサンプルにおいては外観上、はっきりと褐色腐朽が起こっているエリアとそうでないエリアに分かれていると予想できたが、顕微鏡による仮道管の観察によってそれが裏付けられた。

腐朽の影響を受けた変色部 事例２

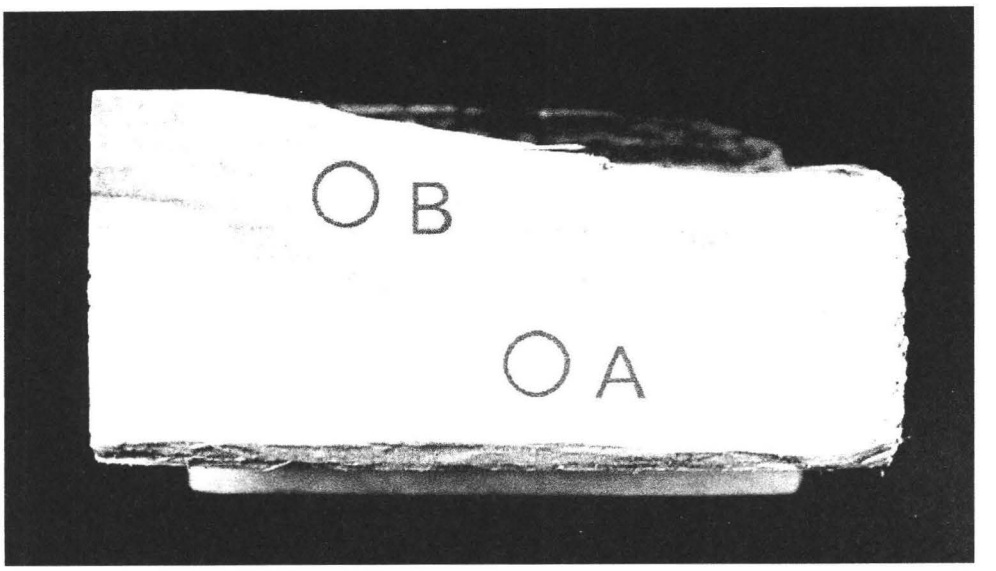


図６：事例2の外観

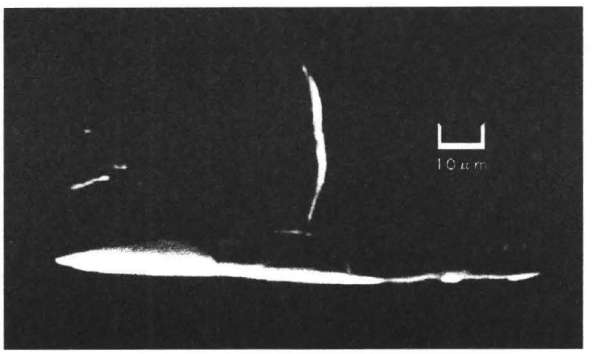


図６-B-1

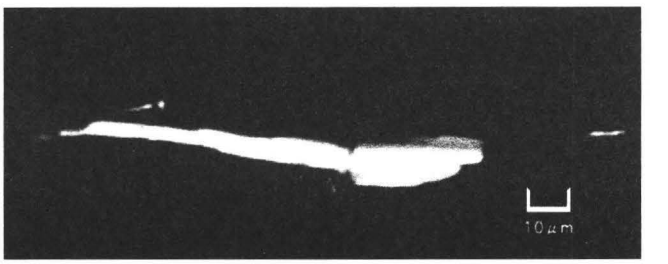


図６-B-2

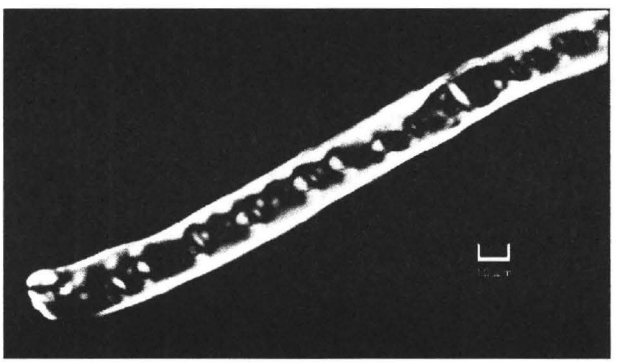


図６A-1

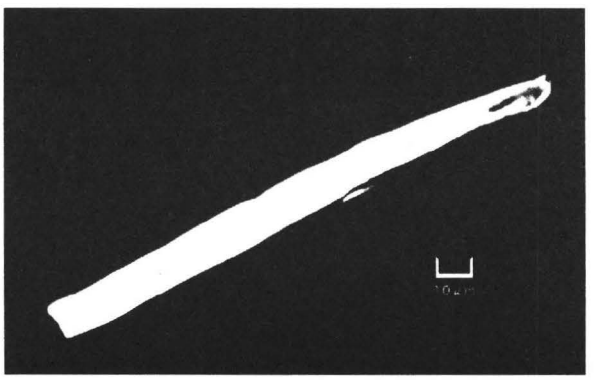


図６A-2

A部においては、外観が非常に綺麗な状態であり腐朽等の害は無いと予想された通り、図６-A1, 2に示すように健全な仮道管のみが観察された。

B部に於ては、観察時に視野全体に渡って断片化した仮道管が確認された（図６-B1, 2)。この部分では、材自体が持つ色が濃くなった様な色を呈し、褐色になっている事から予想された通り、褐色腐朽が起こっていると考えられた。ちなみに、この材では採取部位（柾目）の側面（板目）において、目視でも明らかな、また指でつまむと粉末状にほぐれる程に褐色腐朽が進んでいた。したがって、側面で旺盛に生育していた腐朽菌の菌糸が、木材内部を腐朽しながら通る形で観察面まで進んできていた結果生じた腐朽による変色と見ることが出来る。

この事から考察されることとして、角材の露出した部分が褐色に変色していた場合、その部分だけでみれば腐朽がさほど進んでいない場合でも、表面に出てこない材の隠れた部分においては褐色腐朽がかなり進行しているケースがありうる、という事が考えられる。従って、褐色腐朽特有の、木材そのものの持つ色合いが濃くなった様なタイプの変色部位に関しては、十分なチェックを行う必要があると言える。

腐朽の影響を受けた変色部 事例３



図７：事例3の外観



図７-1

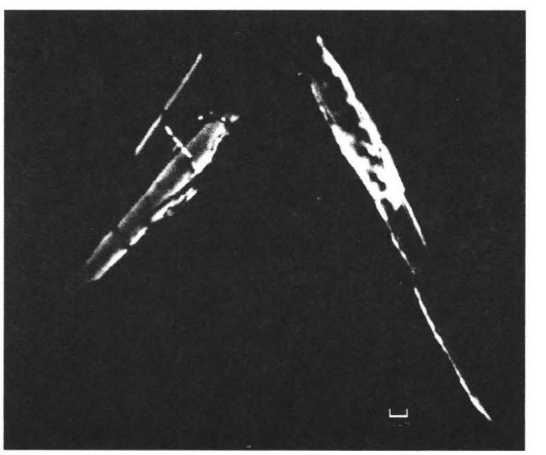


図７-2

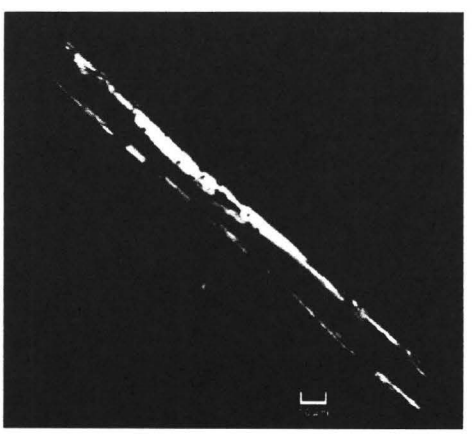


図７-3

試料3では、外観の材の表面状態などから腐朽が起こっているかどうかの判別はできなかったが、着色の状態から褐色腐朽が起こっているのではないかと予想される部位についてのサンプルを取った。

図中赤丸で囲んだ部分から取った試料を解繊したところ、図７-1，2に見られるように激しく断片化した仮道管が多数見られ、健常な状態を保っているものは視野中に一本も見られなかった。図７-3は仮道管は原形を保っているものの、細胞壁の剥離が起こっている。

この材だけでなく、同様な試料をいくつか見てみると、褐色腐朽が起こっている場合の変色の様子はその材自体が持っている色と大幅に異なる事はなく、それ自体の色が濃く、暗くなっていく種類ものであると考えられる。

腐朽の影響を受けた変色部 事例４

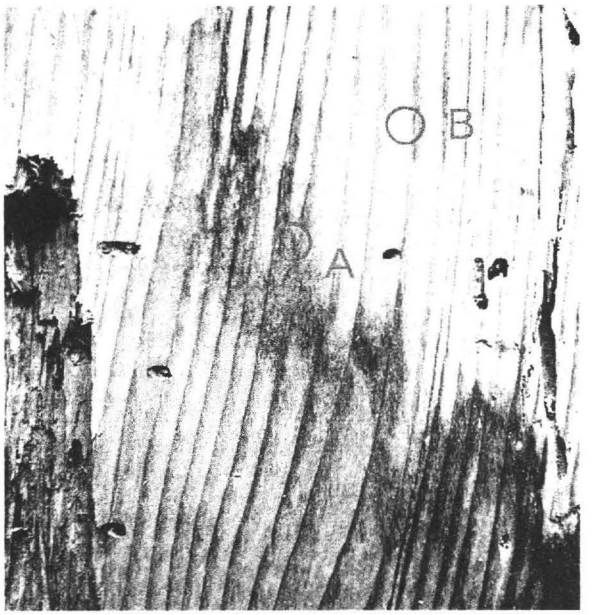


図８：事例4の外観

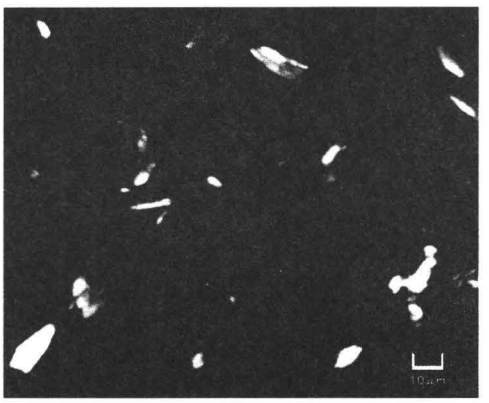


図８-A-1

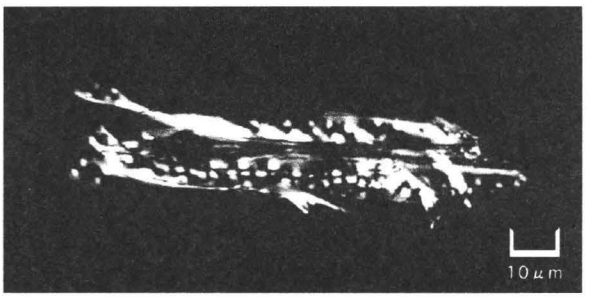


図８-A-2

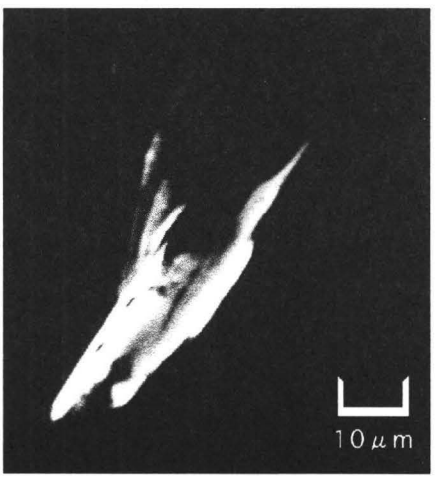


図８-A-3

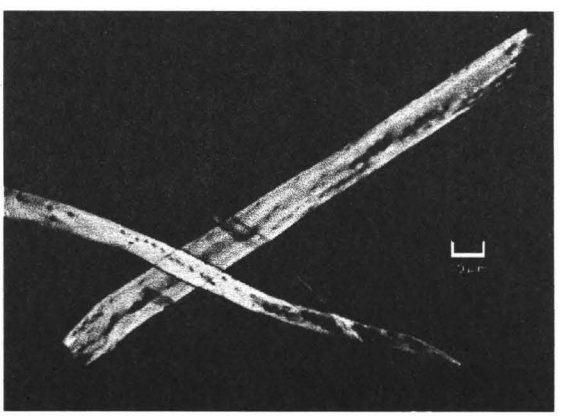


図８-B

事例4でも引き続き腐朽の兆候と思われる変色部位についての観察を行った。部位Aからのサンプルを解繊し偏光顕微鏡で観察したのが図８-A-1ー3、部位Bからのサンプルを解繊し撮影したものが図８-Bである。なお、この変色部位は、指の爪を押し付けると容易に傷が付くなど腐朽の徴候を示していた。

図８ - 1ー3では、仮道管の断片化した様子、細胞壁の剥離が起こっている仮道管、断片を拡大したものをそれぞれ撮影した。これらの状態から、Aの部位における変色は褐色腐朽によるものと考えられる。一方Bの部位では、検鏡の際観察した仮道管の殆どが健全な状態を保っており、腐朽はほとんど起こっていないようであった。

このサンプルにおいても、やはり材自体が持つ色合いから極端にかけはなれた着色を呈する事はなく、褐色腐朽という名の通りに腐朽部位は周囲と比較して暗い色を呈していくのが分かる。

腐朽の影響を受けた変色部 事例5

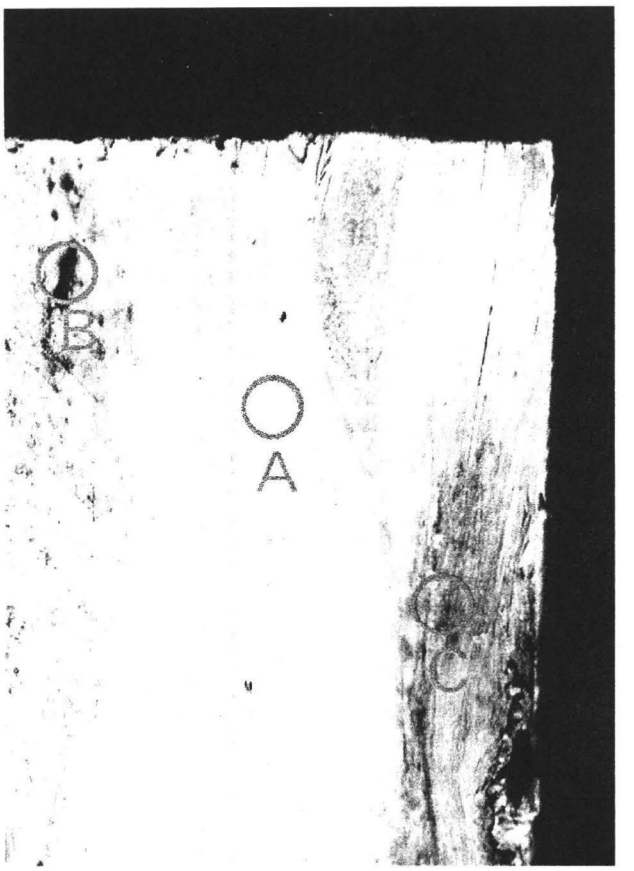


図9：事例5の外観

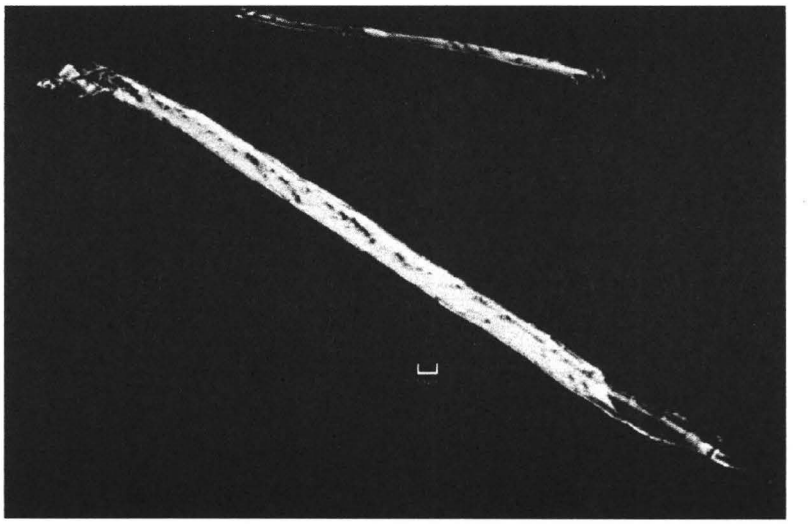


図9-A

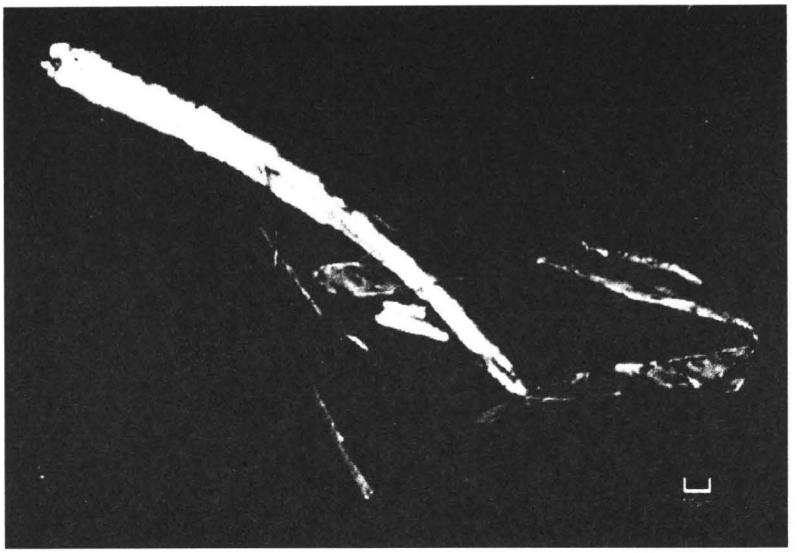


図９-B

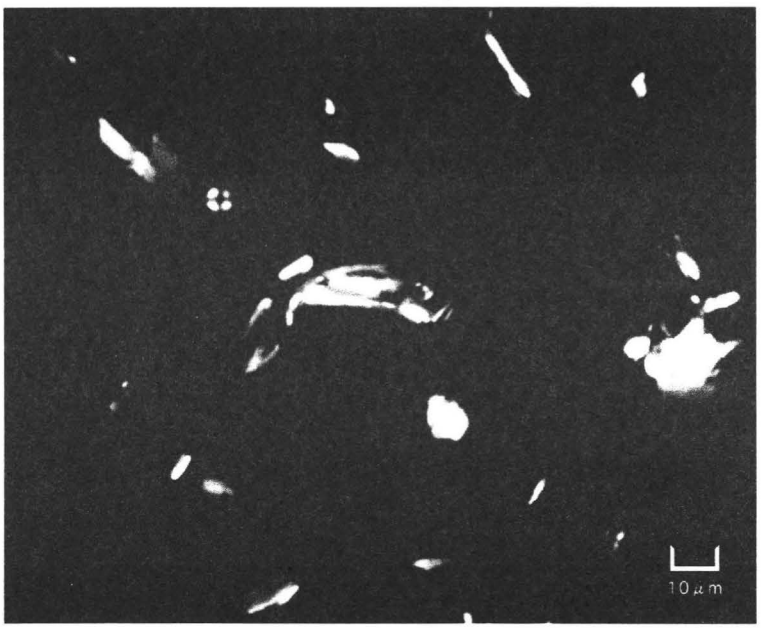


図９-C

この試料からは、A, B, Cの三箇所からサンプルを取った。Aの部位のサンプルを解繊・検鏡したのが図61-Aであり、視野中の仮道管はほぼ全て健全な状態であった。

B, Cの部位ではそれぞれ褐色の変色が起こっているが、Cの部分では比較的広範囲にわたり濃い色合いに変色しているのに対し、Bではスポット的に軽い黒ずみが生じている程度であった。解繊した図はそれぞれ図９-B、図９-Cであり、Cの部位では視野全体にわたって細かく断片化した仮道管が観察され、強度の褐色腐朽が起こっている事が分かった。一方Bの領域においても、多くの仮道管は図９-Bの様に小片に剥離していたが、C部位における断片化ほどには腐朽は進んでいなかった。

腐朽の影響を受けた変色部 事例６

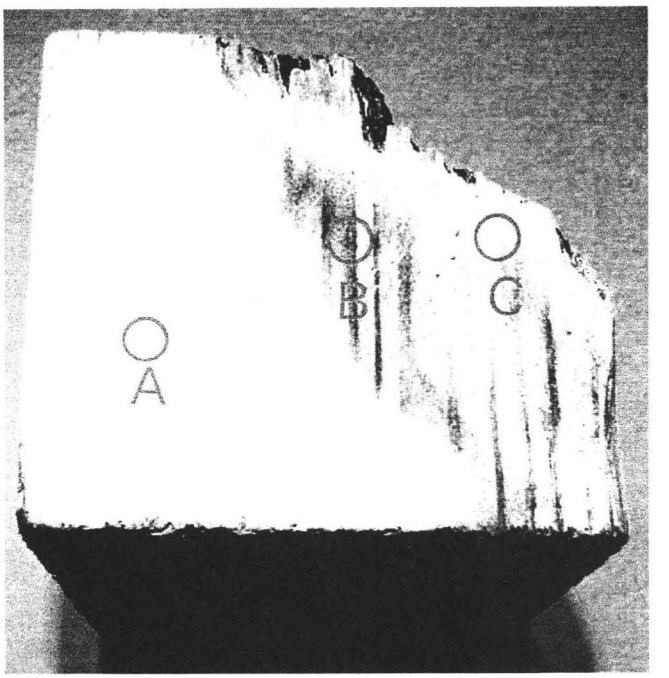


図１０：事例６の外観

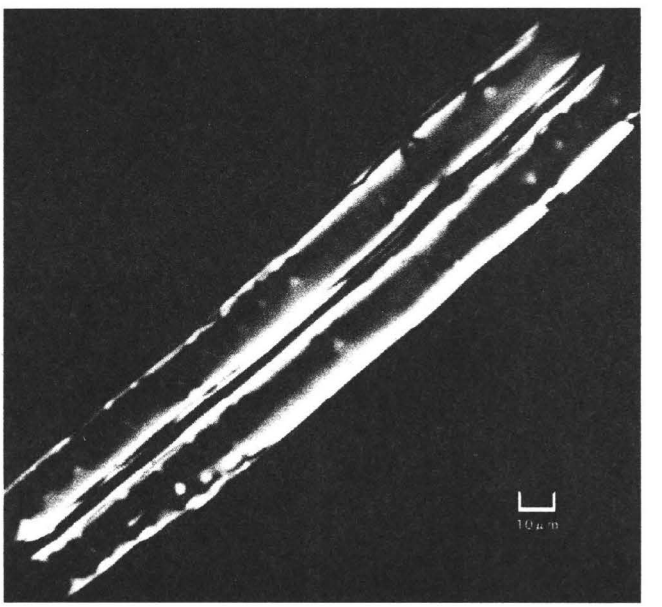


図１０-A

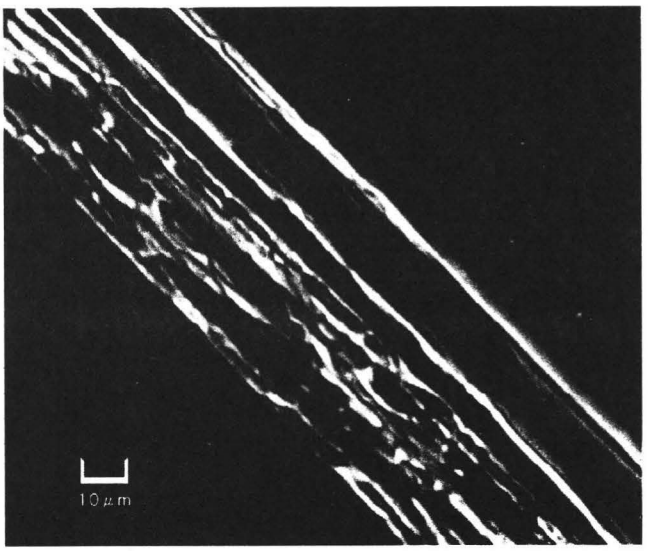


図１０-B

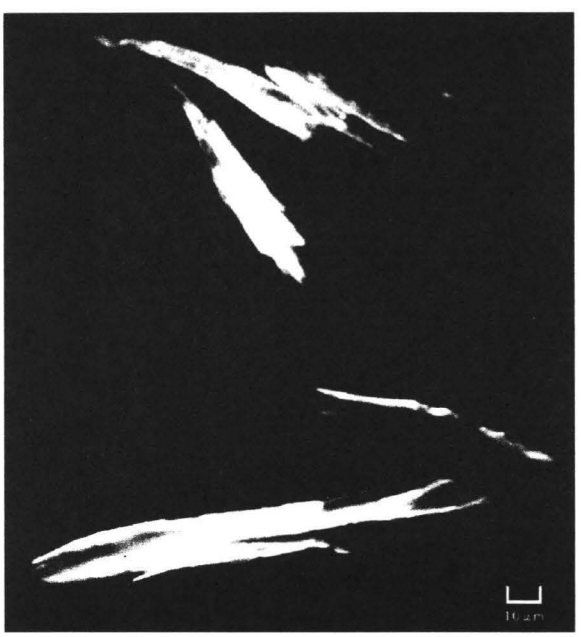


図１０-C

事例6では、事例5と同じく明らかに褐色腐朽の起こっている箇所を選んだ。事例5と異なるのは、褐色腐朽による木材の褐色化に加え、それとは外見上かなり異なる黒ずみ状の変色部位を持つ事である。サンプルはそれぞれA, B, Cの箇所から取り、それぞれを検鏡した。

Aの部位では、外観から想像出来るようにほとんどの仮道管が健全な状態で観察された。したがって、腐朽は起こっていなかったと考えられる。Cの箇所から取った試料においては、褐色腐朽の特徴である細胞壁の断片化が見られ、視野中にごくわずか、数本原形を留めた仮道管があった他は全て細かく断片化していた。このA及びCについての結果は、事例5での例に似たものとなった。

Bの箇所がこの部位において着目した黒ずみ部分で、図１０の左上から右下にかけて他の部分にくらべてわずかであるが暗い色を呈している。この部分の観察結果を見ると、Cの様に断片化した仮道管の切れ端が視野中に多数見られたが、原形を留めている仮道管もわずかであるが見られた。しかし、これら原形を留めていた仮道管を観察すると図１０-Bの様に軟腐朽と思われる腐朽痕跡が数多く見られた。

このことから、この部位Bは水が常に（あるいは繰り返し）かかるなどして、軟腐朽が起こりやすい高い含水率が保たれていたのだろうと予想された。そしてCの方向から褐色腐朽が進行し、軟腐朽と併存していったものと考えられる。

腐朽の影響を受けた変色部 事例７

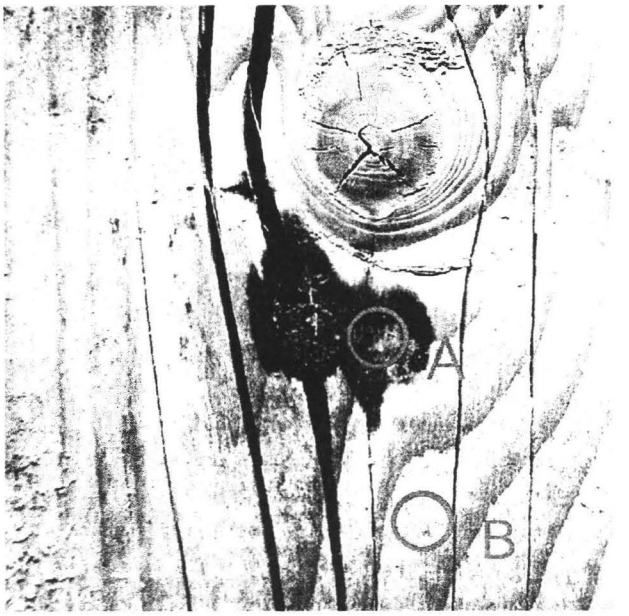


図１１：事例７の外観

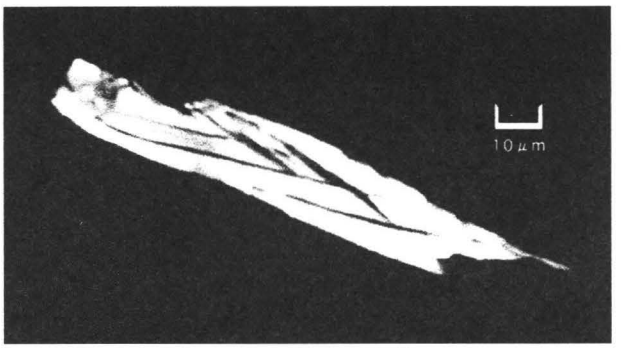


図１１-A-1

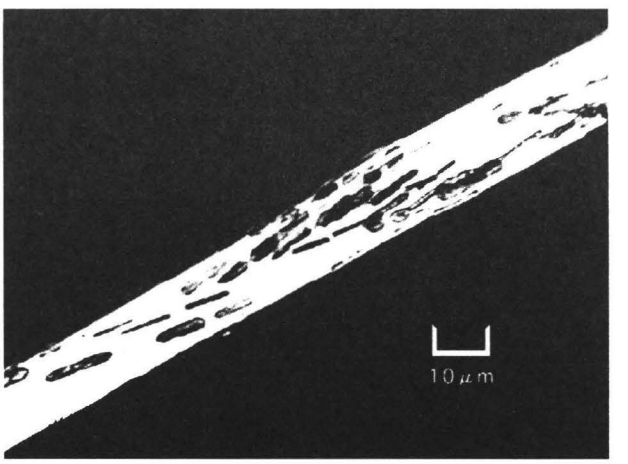


図１１-A-2



図１１-A-3

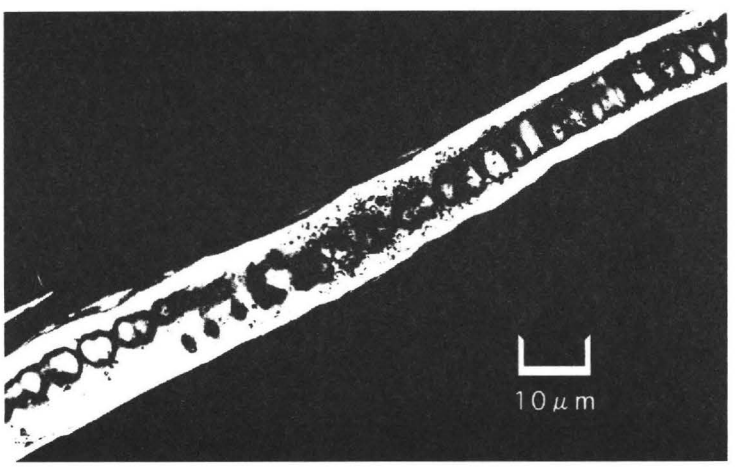


図１１-A-4

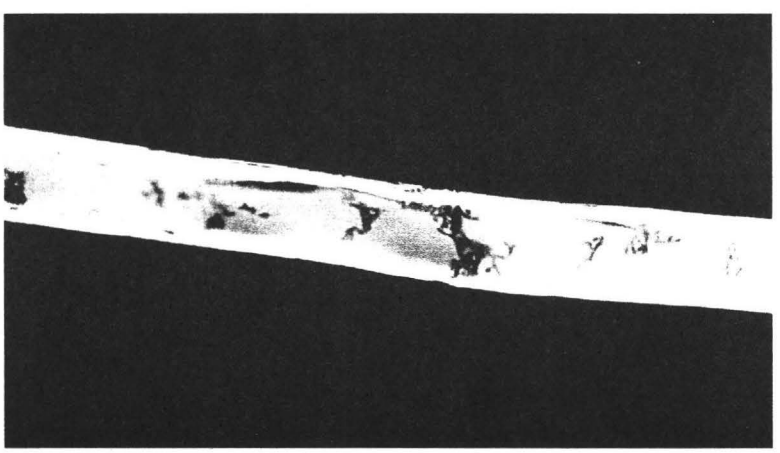


図１１-S

腐朽の影響を受けた変色部 事例８



図１２：事例８の外観

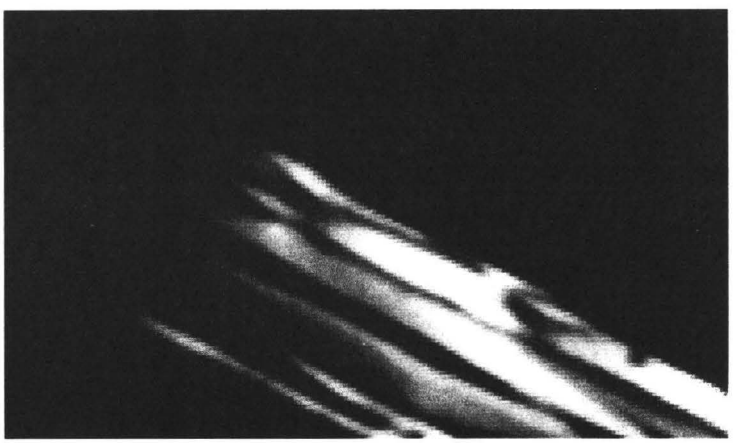


図１２-A-1

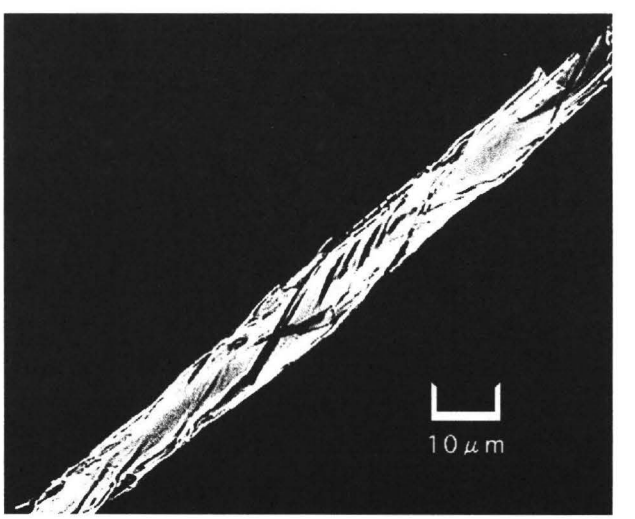


図１２-A-2

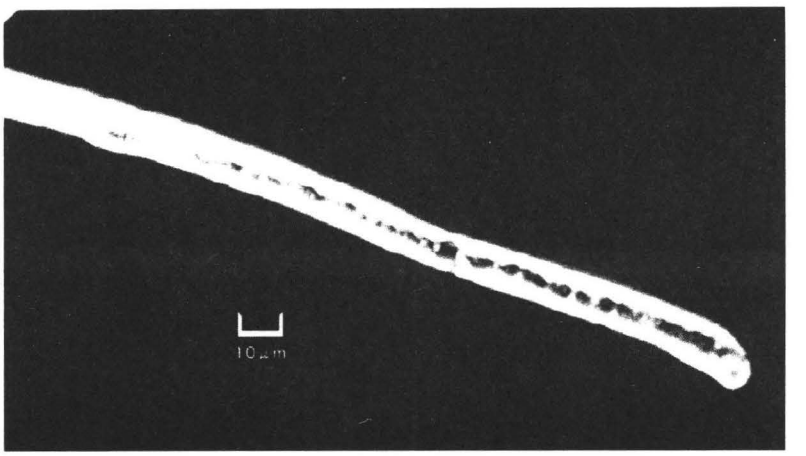


図１２-B

事例7, 8では、長年使った住宅建材には多く見られると思われる釘の周辺でおこる黒ずみをとりあげた。釘の周辺には構造的に水が溜まりやすく、また釘自体が金属であるため、温度変化によって結露がおこる事によっても水が発生しやすく、高含水率になりやすい部分である。こう言った部分においては腐朽が生じる可能性は高いと言える。

事例7, 8ともに、外見上健全であると思われたB領域においては、解繊後の顕微鏡観察において双方ともに健全な仮道管だけが確認された。

事例7, 8のA領域においては図１１Ａ - 1, 2および図１２A-1, 2に示した通り、軟腐朽による特徴的な腐朽跡を持った仮道管が多数観察された。この部位において、液体状態の水が長くたまった可能性が考えられる。そして図１２A-3に示した様に、断片化した仮道管も見受けられたため、軟腐朽と平行して褐色腐朽も起こっている可能性が考えられる。軟腐朽による強度の低下はさほど深刻ではないが、こういった部位においても褐色腐朽が生じているという事態は腐朽診断と予防の上で押さえるべきポイントである。

さらに、事例7のA領域において、図１１A-4に示したように仮道管壁上には褐色腐朽、白色腐朽や軟腐朽とは異なる腐朽跡がみられた。比較参考に、図１１-Sに水中や堆肥中で細菌によって生ずる分解跡を示しているが、これと、図１１A-4で見られた腐朽跡は良く似ていた。

腐朽の影響を受けた変色部 事例９

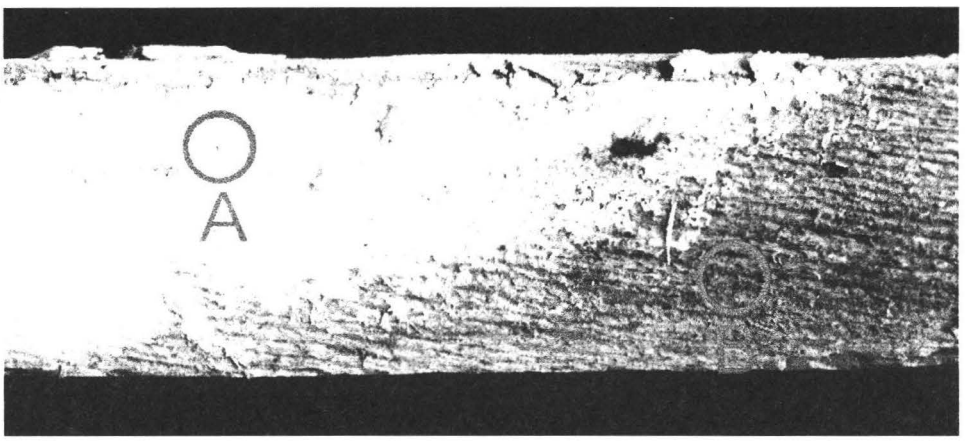


図１３：事例９の外観

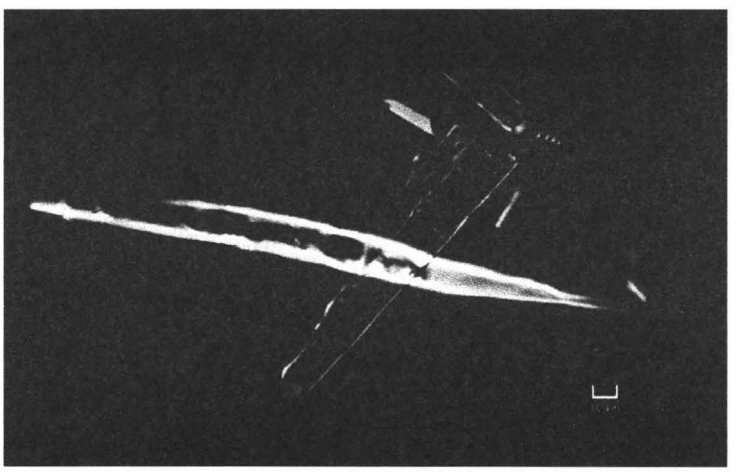


図１３-A

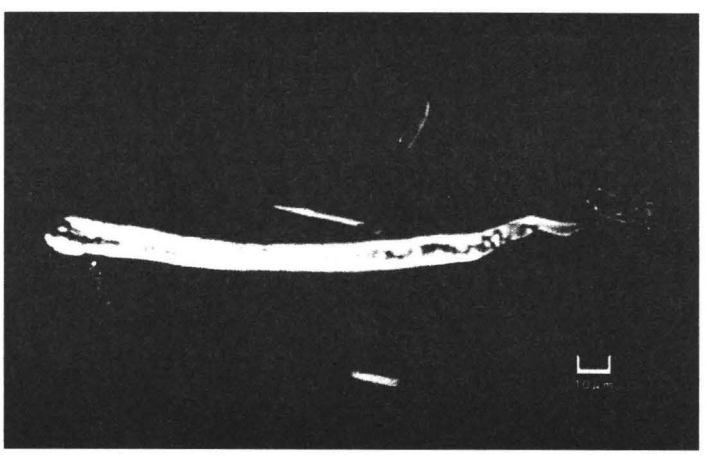


図１３-B

試料9では、木材表面に菌糸が白い薄膜状に残っている部位を扱った。サンプルはA，Bの部位とし、それぞれ菌糸が生育している部位、菌糸の無い部位から採取した。

解繊・検鏡の結果を見ると、A部においては仮道管は断片化し、褐色腐朽が起こっている事が分かった。一方でBの部位においても、多くの仮道管が断片化している様子が観察された。Bは周辺との関係で見ると一見正常な部位に思えたが、色自体は暗褐色となっているため、おそらく菌糸は無いもののこの材においては全体に褐色腐朽菌の菌糸が蔓延しているものと考えられた。

この事からも言える事であるが、目視による腐朽診断の際に、周囲との相対的な着色の様子からだけで判断するのは危険であると言える。その材のもつ本来の標準的な状態を把握した上で、その差異を見て取る事が必要となってくる。

腐朽の影響を受けた変色部 事例 10

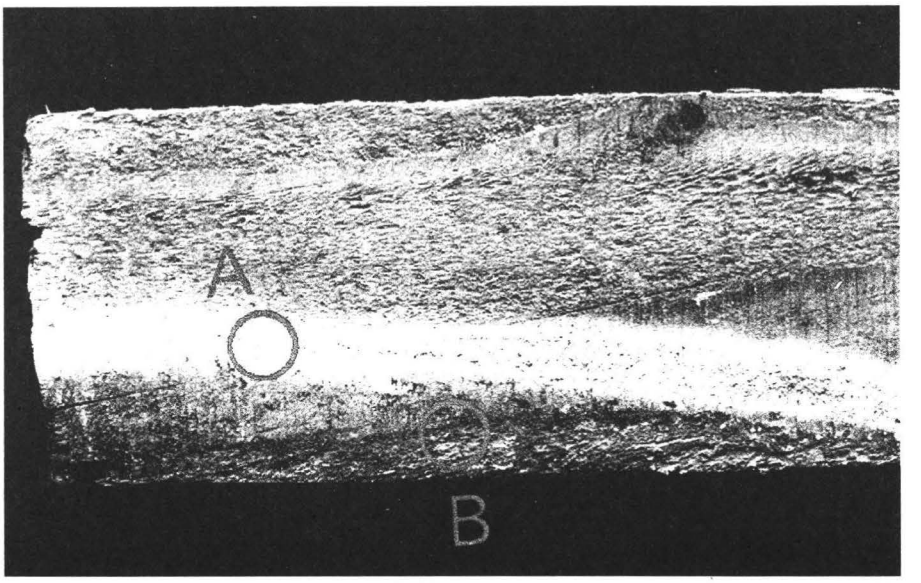


図１４：事例 10 の外観

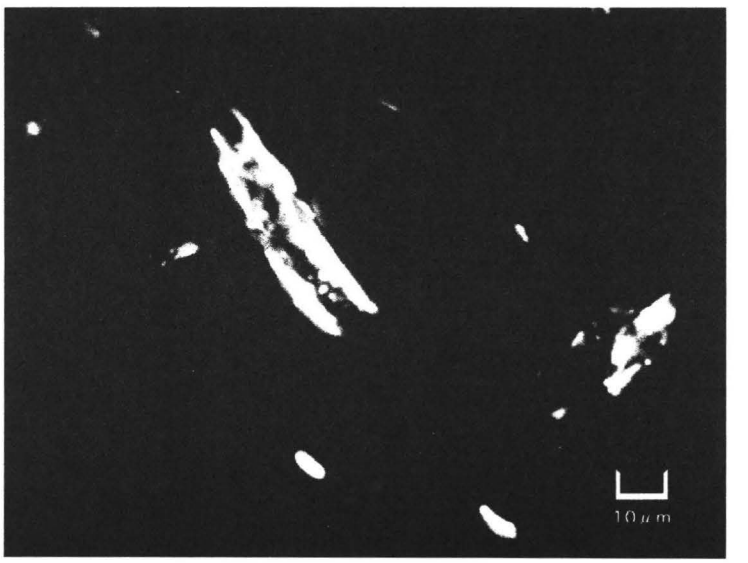


図１４-A

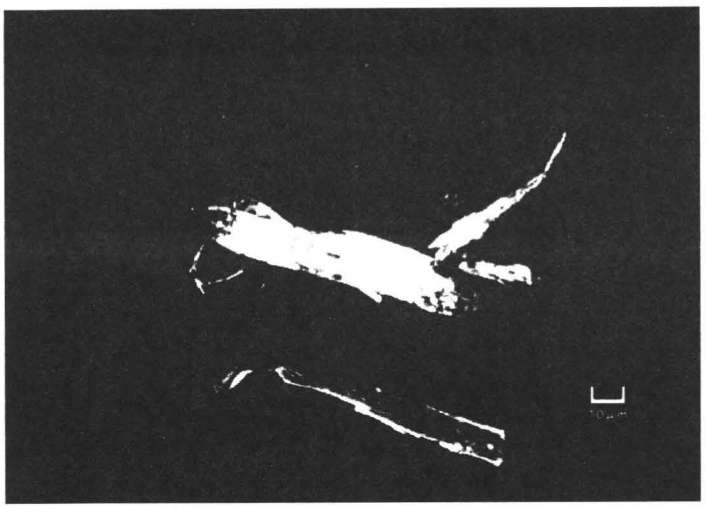


図１４-B-1

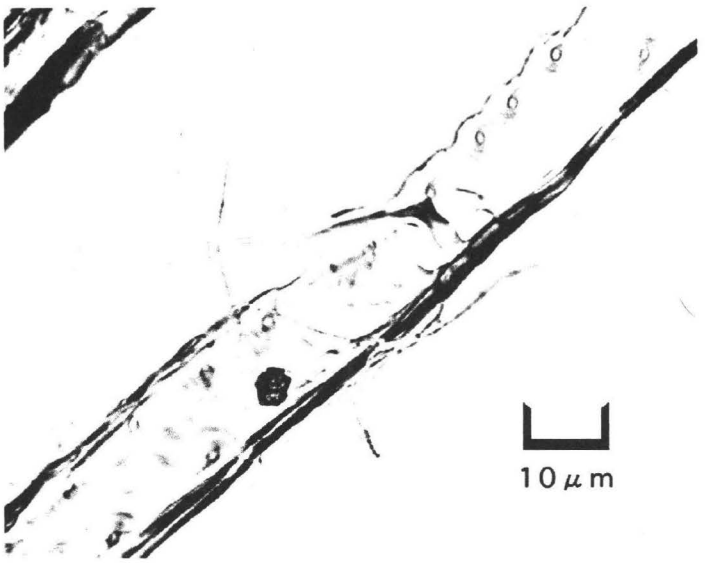


図１４-B-2
（通常の顕微鏡による撮影）

事例10も事例9と同様、表面に菌糸が存在する部位を検鏡した。ここでも、材の表面には菌糸の存在していない部分でも仮道管の断片化が非常に進んでおり、褐色腐朽が進んでいる事が分かる。

これらの結果から、菌糸が目視で確認できる部位に関しては、周辺部位も重点的

に診断する必要があると言える。菌糸が確認できる部位は、木材表面にそれが現れているだけに過ぎず、菌糸の見られない周辺部でも図１４-B-2に見られるように木材内部で菌糸が旺盛に生育し、腐朽が進行している場合が多々ある。

腐朽の影響を受けた変色部 事例 11-13

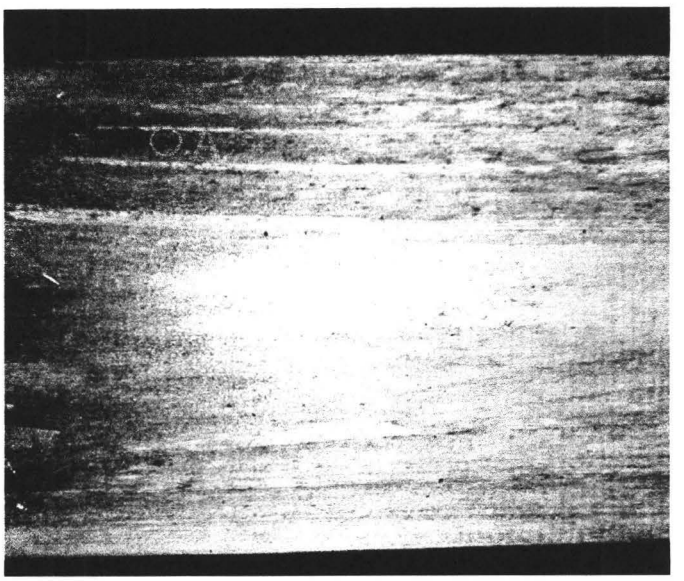


図１５：事例11の外観

材表面に
青みがかった変色が見られる。



図１６：事例12の外観

材の木目に沿った黒ずみ

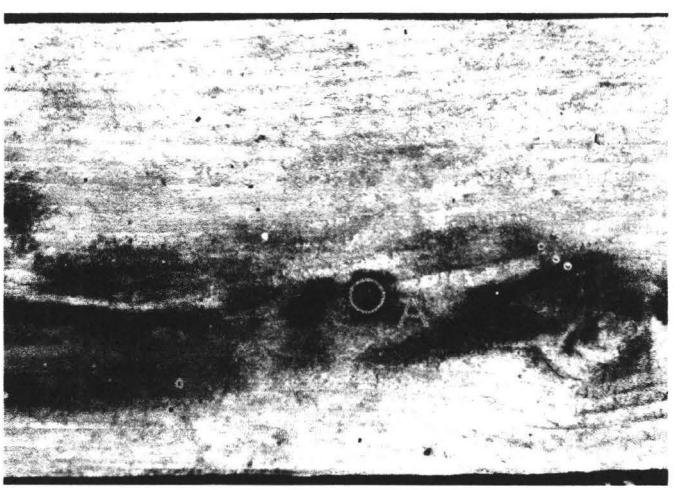


図１７：事例13の外観

材表面に褐色腐朽に似た変色

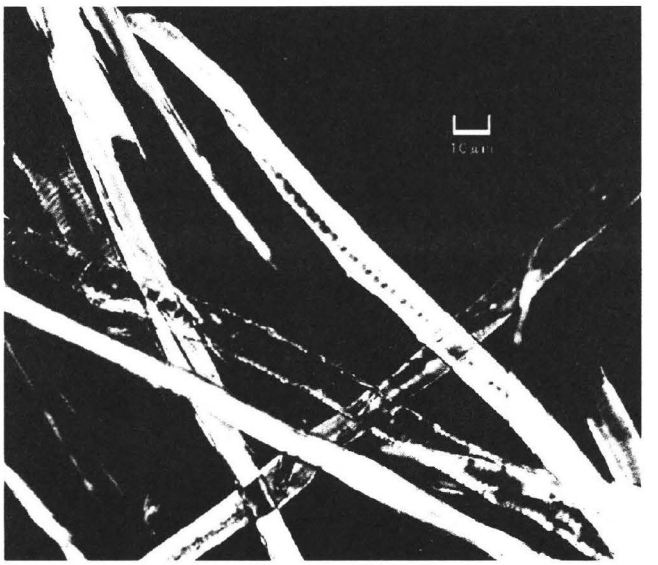


図１８：事例11の仮道管

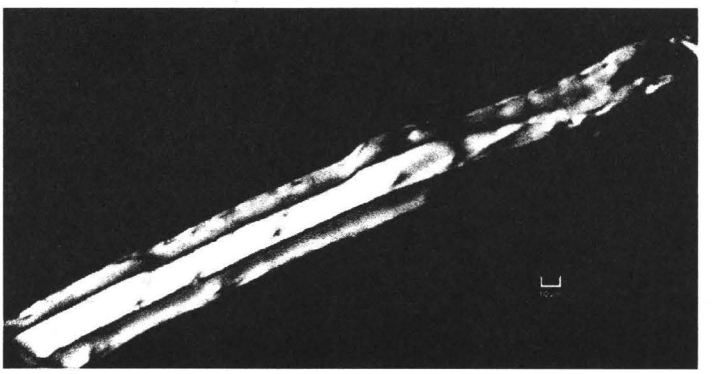


図１９：事例12の仮道管

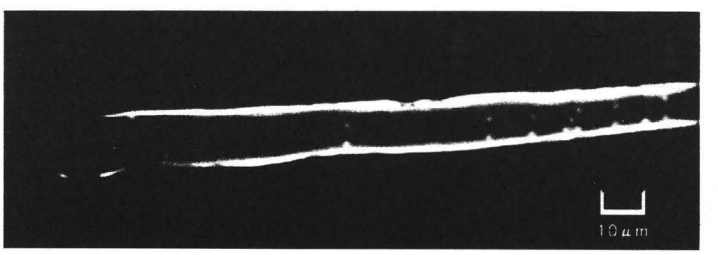


図２０：事例13の仮道管

図１８ー図２０は、それぞれ事例11ー13のAの部位を解繊し、検鏡したものである。これらをまとめて示したのは、変色した部位であるにもかかわらず、解繊した結果、腐朽被害がまったく見られなかったという共通点があるためである。

試料11はいわゆる表面汚染と呼ばれる非木材腐朽菌による変色部位と思われる。薄い青みがかった色が、細かい斑点状に木材表面についていた。この変色した部位を解繊した結果、腐朽被害を受けた仮道管は全く見られず、健全な状態であった。したがって木材腐朽菌類による変色では無いと判定された。

試料12は原因を特定しにくい黒ずみである。軟腐朽等が発生しているかもしれないという予想のもと観察したが、こちらにおいても腐朽を受けたものは見うけられなかった。図１９に示した様に、非常に状態の良い仮道管が多数観察され、材の状態は健全であった。

試料13は褐色腐朽の起こっている材によく似た色を呈しているが、表面の様子は異なっていた。表面が粉をふいた様な状態になっており、指でこすると褐色の粉末が取れるが、木材自体はへこんだり削れたりしなかった。これは褐色腐朽にはない点であった。解繊した結果が図２０で、視野中の全ての仮道管が健全な状態であった。したがってこの変色も、非木材腐朽菌の繁殖によって引き起こされたものだと判定された。

4．結論(今までに得られた成果)

既存住宅の売買において、購入希望者が最も心配する事は性能であるが、特に木質部材について、シロアリの食害や腐朽の有無、それらの被害程度が問題となる。住宅の劣化診断を行なう場合、これらの被害箇所や被害範囲を確実に検出・把握する技術的な方法は確立されていない。現在、検討中の方法として、シロアリ被害については、AE(ｱｺｰｽﾃｯｸ・ｴﾐｯｼｮﾝ)モニタリング法が挙げられる(今村祐嗣：平成 11-13 年度科学研究費補助金基盤研究(B)(2)研究成果報告書)。しかし、この方法は腐朽には適用できない。

現在、腐朽の有無を判別するために、目視、打音解析、錐の差込等の経験的な方法が用いられている。また、ピロジン、トルクメーター等種々の器具を用いた方法も行われるが(福田清春、鈴木憲太郎：木造建築物の腐朽診断と補修方法、(社)日本しろあり対策協会発行、平成 10 年)、これらはいずれも腐朽による木材の強度低下に関するものであり、ある程度腐朽が進行していなければ有効性に乏しい。特に、変色などの目視観察では、単に黴が生育し汚染されているだけなのか、腐朽菌の生育が生じているのかを判別する事ができない。

腐朽の有無を判別するために、診断箇所に存在する菌類を遺伝子によって検出する方法や腐朽菌類が分泌する、特殊な蛋白質を抗体抗原反応を利用して検出する方法(住宅の生物劣化診断技術の現状と将来：日本木材保存協会主催講演会(平成 15 年 12 月 1 日、東京木材会館)資料集：)が検討されているが、これらはいずれも腐朽菌類の存在を検出するものとされるが、腐朽菌類と一般的なカビ類との違いをどの程度判別できるのか、現状ではかなり疑問である。また、これらの方法は、いずれも木材の腐朽を直接検出するものではない。例えば、胞子が付着しているだけの場合など、検討しなければならない問題もある。

本研究では、ごく微小な木材を診断箇所から採取し、光学顕微鏡によって木材細胞壁の分解の兆候を検出しようと考えた。ここで検討・提示した方法は、煩雑な通常のプレパラート作成法を避け過酢酸により解繊する事と、偏光を利用して迅速に木材細胞壁中での分解跡や腐朽菌類菌糸の存在を調べることが可能である。本研究結果を踏まえ住宅腐朽診断の要点を示すと以下の通りである。

(1) 木材を目視して一葉に明色である場合、診断するまでも無く健全である。例え、変色した部分に隣接していても、明色部分には腐朽の兆候や腐朽菌菌糸の存在はない。

(2) 材全体が腐朽を受けて変色し一様になっている場合は、目視検査だけでは判断し難い。目視だけで診断を行う場合、全体が腐朽を受けているのに全体が健全であるという判断を下す恐れがある。この判断を下すためには、別の個所で用いられている同種の材との比較、またはそれぞれの樹種が固有に持っている色をあらかじめ参照する事により、その材の本来の色を知っておく必要がある。これは木材に関する経験に左右されてしまう部分があるが、木造建築物に用いられる主要な木材であるスギ、ヒノキなどを中心に、それぞれの材の健全な状態の外観をまとめたリストを作成し、これと比較することが出来れば、より目視判断の信頼性は高まると考える。ただし、このように全体が腐朽を受けている場合、腐朽の程度はかなり進んでいると言え、材表面のひび割れなどの腐朽特有の状態を呈している事も多いため、木材表面を色変化のみに

頼ることなく注意深く観察することもまずは重要である。

(3) 変色が認められる場合、目視で腐朽か単なるカビ汚染かを判別する、つまり腐朽の兆候を検出する事は出来ない。この場合、腐朽が疑われる箇所の木材細胞を調べる事が重要である。ごく微量の木材を採取し、解繊して偏光(クロスニコル)下で調べると、腐朽の有無が容易に判別できる。

(4) 褐色腐朽の場合、木材細胞は腐朽初期であっても、激しく断片化する。このタイプの腐朽が建築部材には多い。

(5) 住宅の場合、針葉樹材が多く使用されていることもあり、白色腐朽はまれにしか生じない。白色腐朽では、腐朽初期に木材細胞は断片化することは無く、細胞壁中に点々と円形空洞を生ずる。

(6) 軟腐朽は、従来住宅用木材には生じないとされていたが、釘周囲の結露水の影響を受け易い箇所では、その発生が見られる。この場合、木材細胞壁には両端が尖った特徴的な空洞が細胞の繊維軸にほぼ平行して連なる事で容易に検出できる。

なお、本論では特にふれなかったが、菌糸の存在が認められる場合、菌糸の隔壁脇にクランプを持つか否かで、担子菌類、つまり木材腐朽菌類の存在が判別できる。

5．これから期待される成果

『住宅の品質確保の促進に関する法律』に基づいて行なう住宅性能評価のうち、既存住宅の場合、新築と異なり腐朽や蟻害の発見が極めて重要になり、『特定現況検査』に際しては、評価員(建築士)の指揮監督と責任の下に外部の専門家に検査の補助をさせて良い事になっている。

この様な検査に際して、検査方法の要点、特に腐朽については被害箇所の科学的把握法が明確になっている必要がある。本研究は、腐朽被害が疑われる箇所に関して、極めて微量なし量採取と顕微鏡観察により腐朽の有無を判別する事を可能とした。これらを通じて、本研究の成果が今後の既存住宅検査に役立つものと期待している。

6．残る問題点と対策

本研究による住宅検査法は、検査対象から少量のサンプルを採取し、実験室に持ち帰る事が必要であり、現場で検査時に直ちに腐朽の有無を判別できるものではない。今後、現場で検査に役立つ手法、用具の開発が重要となろう。現在、手のひらサイズで容易に強度が測定できるような器具(果物の熟度計をモデルとして)を開発中である。

７．研究発表の実績及び予定

本研究の成果は、『日本木材学会』や『日本建築学会』の機関紙や大会を通じて、発表する予定である。

８．実用化計画

『指定住宅性能評価機関の評価員』に同行できる専門家のうち、(社)日本しろあり対策協会の『蟻害・腐朽検査員』の講習において、平成１６年度より本研究の成果を生かす事になっている。

1-13 現場での施工性を向上させた土塗り壁工法の開発

横浜国立大学大学院工学研究院

教授 山崎 裕

1. 研究の背景と目的

土塗り壁は、日本の気候風土に適し、長く日本の住宅の壁として用いられてきたが、近年の急速な工業化住宅の普及とともに衰退してきている。その大きな理由としては、①耐荷機構が明らかではなく、耐力性状にもばらつきがあり、その耐震性能の評価方法が確立されていないことと、②施工に時間がかかり、コストがかさむことが考えられる。①については、近年において研究が進みつつあり、2003 年 12 月には建設省告示 1100 号に追加された特定の仕様の土塗り壁の壁倍率は、最大 1.5 に設定された。一方、②に対しての決定的な解決方法はない。そこで、本研究では、土塗り壁の下地である荒壁層をパネル化することで、現場での工期を短縮する工法を提案し、実大試験体のせん断加力実験により、破壊形式および耐荷性能に関して、通常の手順で施工された土塗り壁と比較する。

2. 研究の方法

本研究での試験体の構成は、表 1 に示す 5 体である。軸組のみの試験体(P0)、通常の施工法(従来工法)により荒壁塗りまで行った試験体(P1)、そしてその上に中塗りまで行った試験体(P2)がある。また、本研究で考案した荒壁をパネル化する工法(パネル化工法)でパネルを取り付けたのみの試験体(P3)と、パネルの上に中塗りまで行った試験体(P4)である。それぞれの試験体に頂部集中の水平せん断力を静的に載荷し、塗り土の層ごとのせん断力の負担比率から従来工法とパネル化工法の土塗り壁の耐荷性能を比較する。

3. 試験体の製作方法

(a)軸組の製作

試験体の軸組は、1820mm×2712.5mm であり、横貫および縦貫を等間隔に配したものである（図 1）。また、パネル化工法による試験体の軸組には、小舞竹が納まるように溝が彫られている。用いた部材および接合部の形式は、表 2 に示した。

(b)小舞下地の製作

図 2 は、従来工法によって竹の小舞下地を掻いたものである。小舞竹には幅が約 20

～25mm、厚さが 5mm 程度の割竹を、間渡し竹には直径 12mm 程度の丸竹を用いた。

またパネルは、図 3 に示すように、一定の長さにカットした小舞竹を藁縄で結びつけたものである。小舞竹の長さの違いにより、隅角部に適用するもの（図 3-a）と、中央部に適用するもの（図 3-b）の 2 種類があり、土塗り壁 1 体に対して 8 枚で構成される。

(c)荒壁塗り

荒壁塗りに用いた土は、荒木田土に水およびわらスサを練り合わせた後、60 日程度寝かせたものである。練り合わせの分量等は表 3 のとおりであった。従来工法の試験体(P1、P2)では、荒壁土を小舞下地に塗り、裏返し塗りも行った。乾燥後には無数のひび割れを確認した。

また、パネル化工法での荒壁塗りの工程を示す。

①荒壁土を凹凸で囲まれた型枠（図 4）に流し込む。

②予めわら縄で編んでおいた小舞竹（図 3）を、上から強く押し込む。そのときに、型枠の凹凸に小舞竹が納まるようにする。

③その上から更に荒壁土を加え、表面をならす。

④ポリエチレン織布を被せて、2 週間程度養生し脱型する。その後更に 2 週間程度乾燥させて最後にポリエチレン織布を剥がして完成となる。ポリエチレン織布を用いることにより、急速な乾燥による表面のひび割れを防ぎ、パネルの品質が安定する。

(d)荒壁パネル設置

まず横架材と柱および横貫のみが配された軸組に、荒壁パネルを取り付ける。このとき、桁、土台および柱に予め彫られた溝に、小舞竹が納まるようにし、横貫に木ネジ（φ25、L=35）で一辺当たり 4 本固定する。その後、縦貫を設置し横貫との交差部を釘打ち（N50×4 本）した後、荒壁パネルを縦貫とも木ネジで一辺当たり 3 本固定する（図 5-a、図 5-b は設置図)。

(e)中塗り

荒壁塗りから約 40 日後、残りの荒壁土に水、砂およびわらスサを表 3 に示す分量で混ぜたものを中塗り土とし、P2 および P4 試験体に施工した。中塗りの施工の際には、貫位置での乾燥ひび割れを防ぐため、長さ約 20ｃｍのパームを貫と直角方向に塗り込んだ。約 50 日後の加力試験時には十分乾燥し、このときの各層の塗り厚を図 6 に、図 7 に試験体の断面図を示す。P2 および P4 試験体の合計の塗り厚はほぼ等しいが、P2 試験体の中塗り層は、P4 試験体より 5mm 以上厚い。

4. 土塗り壁試験体の加力方法および測定位置

土塗り壁試験体の加力は、文献 1)に示されている、柱脚固定式の面内せん断試験方法

に準じた。図8に示す加力フレームに土台を固定した後、図9に示すように、見かけの変形角 1/300、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30、1/15rad で、オイルジャッキにより頂部に集中して正負交番の水平力を繰り返し載荷した。なお、柱頭および柱脚のホールダウン金物(S-HD10)は、一度ある程度工具によって締め付けた後にゆるめ、加力開始時には手締め程度の拘束とした。各部の変位の測定位置は図10に示す。

5. 実験結果の概要

5.1 土塗り壁試験体の破壊性状

従来工法で荒壁仕上げのP1試験体と荒壁パネルを取り付けたのみのP3試験体では、加力中に表面の細かな土が落ちることはあっても、荒壁土ごと小舞下地から剥がれ落ちてしまうことはなかった。なお、荒壁仕上げのP1試験体では、もとより表面に多数の乾燥ひび割れがあるため、加力によるひび割れの発生は確認できなかったが、乾燥によるひび割れが軽微であったP3試験体では、1/30rad 付近からせん断ひび割れが確認できた。

一方、中塗り仕上げのP2、P4試験体では、加力前から横貫および縦貫に沿って乾燥によるひび割れが存在し、特に P4 試験体で顕著であった。これはパネル化工法では、貫の裏側には荒壁土がなく、直接中塗り土を塗ったためである。

P2、P4試験体では、変形角 1/150～1/100rad でせん断ひび割れが生じ、その後、柱頭、柱脚付近の土が面外へ浮き上がった。1/30rad 時には、試験体中央付近の土が荒壁ごと小舞下地から剥がれ落ちた。土の剥落はパネル化工法の P4 の方が従来工法の P2 よりも激しかったが、ともに荒壁土と中塗り土とは一体化していた。破壊は中段部に集中し、1段目の貫より下と、3段目の貫より上の部分での破壊は軽微であった。P2、P4試験体のひび割れ状況は図11に示す。なお、変形角 1/15rad では試験体の破壊が激しかったため、P2試験体では正負1回ずつ、P4試験体では正加力のみとした。

5.2 耐力性状

図12に各試験体の荷重－変形関係を示す。P1、P3 試験体では、初期剛性は低いものの加力終了まで耐力が増加し続けた。P0 試験体と P1、P3 試験体の比較より、荒壁層の負担せん断力はごくわずかであることが分かる。また、P3 試験体では P1 試験体よりもやや大きい耐力であった。

P2、 P4 試験体の初期剛性は P1、P3 試験体に比べて高く、P2 試験体は 1/75rad、P4 試験体は 1/50rad で最大耐力を迎え、それ以降はゆっくりと低下した。P2、P4 試験体の荷重－変形関係の傾向に大差は見られなかった。

表4に各試験体の壁倍率を示す。壁倍率は次式で算定した。

$$\text{壁倍率} = \min\begin{bmatrix} Py \\ 0.2Pu/Ds \\ 2/3Pmax \\ P_{(120)} \end{bmatrix} /1.82/1.96$$

従来工法で中塗り仕上げの P2 試験体の壁倍率は、壁厚が約 50mm と比較的薄いにも関わらず、約 1.0 であった。本試験体は、小舞竹を貫に釘止めすることなく、塗り回数も荒壁と中塗りの 2 回にとどめるなど、必要最低限の手間で製作されたが、この程度の簡素な工法の土塗り壁でも必要十分な耐震性能であることが分かる。

また、パネル化工法の P4 試験体に関しては、壁倍率は 0.94 を示した。耐力に大きな影響を及ぼす中塗り層の壁厚が、P2 試験体よりも 5mm 以上薄いにも関わらず、同程度の評価となった。

5.3　各部の変形性状

(1) 柱脚および柱頭の引抜け量

図 13 に、柱脚および柱頭の引抜け量を示す。ホールダウン金物が有効に作用する側の引抜け量は、変形が進んでも 2mm 以内に抑えられている。一方ホールダウン金物が作用しない側では、変形とともに引抜け量も増加し、最終的には 3〜5mm 程度となった。

(2) 柱脚および柱頭の回転

図 14 に、柱脚および柱頭の回転角を示す。全ての柱頭・柱脚で変形が進むにつれて回転角も増加している。

(3) 面内の横はらみ量

各試験体における面内の横はらみ量(両柱間の距離の変位)の推移を図 15 に示す。柱頭および柱脚は桁と土台とで拘束されているため、中段位置での横はらみ量が大きい。

試験体間で比較すると、P0 試験体のみ加力が進むにつれて両柱間の距離が狭くなった。これは、P0 試験体では製作の際にホールダウン金物で予め締め付けてから、貫を楔留めしたために、加力前が最も両柱間の距離が広がった状態となったためである。荒壁のみの P1 および P3 試験体では、変形角に比例して両柱間の距離が広がる。しかし、中塗りまで行った P2 および P4 試験体では、1/50rad まで 2 段目貫位置での横はらみ量が 1 段目、3 段目の貫位置での横はらみ量よりも小さい。

また、従来工法とパネル化工法とでは、後者の方が大きな値である。これは、前者では小舞竹が連続しているのに対し、後者では貫の位置で連続していないためではないかと考えられる。

6.耐力性状に関する考察

図 16 には各層の負担せん断力とせん断応力を示した。各層の負担せん断力は各試験体の耐力の差から求めた。さらにその値を各層の断面積で除することで各層の負担せん断応力とした。

荒壁層の負担するせん断力は中塗り層に比べて大分低いが、変形が進むにつれて増加する。また P1 と P3 で比較すると、パネル化工法の P3 の方が若干高い値である。

中塗り層の負担せん断力は、パネル化工法の P4 では従来工法の P2 の 65%程度であったが、せん断応力は両者同程度であり、負担せん断力の差は、壁厚の違いによるところが大きいと考えられる。

7.まとめ

パネル化工法の土塗り壁の耐震性能を評価するため、従来工法の土塗り壁試験体とともにせん断加力試験を行った。

中塗りまで行った従来工法の P2 試験体とパネル化工法による P4 試験体とで比較すると、中塗り層の負担せん断応力はほぼ同等であり、初期剛性も従来工法より若干低い程度であった。

また、破壊性状に関して、パネル化工法の P4 試験体の方が従来工法の P2 試験体より激しかったのは、パネル化した荒壁の乾燥ひび割れが少なかったことで、中塗り層との付着がやや弱かったことや、パネル化工法では荒壁パネルと貫とを数箇所木ネジで留めただけであったため、この木ネジに応力が集中したことが考えられる。

本研究におけるパネル化工法の土塗り壁は、従来工法のものと同程度の耐力であることを確認したが、最終的な破壊性状を改善する工夫が必要である。

参考文献

1)(財)日本住宅・木材技術センター：木造軸組み工法住宅の許容応力度設計 2001.12

表1　試験体の構成

試験体名	仕上げの状態
P0	軸組みのみ
P1	小舞下地+荒壁(従来工法)
P2	小舞下地+荒壁+中塗り(従来工法)
P3	荒壁パネル(パネル化工法)
P4	荒壁パネル+中塗り(パネル化工法)

表2　各部材の詳細

部材名	断面(mm)	材質
桁	180×105	ベイマツ
柱	105×105	スギ
土台	135×105	スギ
貫	105×15	スギ
柱頭・柱脚	短ほぞ差し+S-HD10	
柱・貫仕口	通し貫+楔	

表3　練り合わせ量およびスランプ値

	荒木田土(kg)	砂(kg)	水(kg)	スサ(kg)	スランプ値(cm)	密度(g/cm3)
土練り	1130.9	—	232.1	8.2	14.8	1.56
荒壁土	—	—	—	3.4	13.4	1.53
中塗り土	185.5	393.8	35.9	1.4	8.3	1.99

表4 壁倍率の算定

試験体名		P-0			P-1			P-2	
加力方向	(+)	(−)	平均	(+)	(−)	平均	(+)	(−)	平均
Pmax[kN]	3.039	3.704	3.372	4.210	4.967	4.589	8.119	7.509	7.814
$\delta_{(Pmax)}$[rad]	0.064	0.099	0.081	0.066	0.098	0.082	0.013	0.013	0.013
δ y[rad]	0.021	0.025	0.023	0.023	0.033	0.028	0.005	0.005	0.005
Py[kN]	1.599	2.014	1.807	2.230	2.608	2.419	5.097	4.692	4.894
K[kN/rad]	74.433	80.535	77.484	95.800	80.257	88.029	1095.340	945.119	1020.230
δ u[rad]	0.067	0.100	0.083	0.066	0.100	0.083	0.033	0.020	0.027
δ v[rad]	0.037	0.039	0.038	0.039	0.052	0.046	0.006	0.007	0.007
Pu[kN]	2.719	3.159	2.939	3.758	4.172	3.965	6.921	6.458	6.690
μ	1.825	2.549	2.187	1.686	1.921	1.803	5.192	2.968	4.080
Ds	0.614	0.494	0.554	0.649	0.593	0.621	0.326	0.450	0.388
0.2Pu/Ds	0.885	1.279	1.082	1.158	1.406	1.282	4.241	2.869	3.555
2/3・Pmax[kN]	2.026	2.470	2.248	2.806	3.312	3.059	5.413	5.006	5.209
P(120)[kN]	0.903	0.960	0.932	1.143	1.073	1.108	6.788	6.141	6.465
最小値	0.885	0.960	0.932	1.143	1.073	1.108	4.241	2.869	3.555
壁倍率	0.248	0.269	0.261	0.320	0.301	0.311	1.189	0.804	0.995

試験体名		P-3			P-4	
加力方向	(+)	(−)	平均	(+)	(−)	平均
Pmax[kN]	4.610	5.365	4.987	6.696	6.861	6.778
$\delta_{(Pmax)}$[rad]	0.066	0.092	0.079	0.019	0.013	0.016
δ y[rad]	0.017	0.024	0.020	0.005	0.003	0.004
Py[kN]	2.203	2.532	2.367	4.535	3.960	4.247
K[kN/rad]	128.856	106.458	117.657	843.797	1314.210	1079.004
δ u[rad]	0.067	0.100	0.083	0.033	0.020	0.026
δ v[rad]	0.030	0.043	0.036	0.007	0.005	0.006
Pu[kN]	3.821	4.540	4.180	5.660	6.010	5.835
μ	2.250	2.344	2.297	4.902	4.369	4.636
Ds	0.534	0.521	0.528	0.337	0.359	0.348
0.2Pu/Ds	1.430	1.744	1.587	3.359	3.344	3.351
2/3・Pmax[kN]	3.073	3.577	3.325	4.464	4.574	4.519
P(120)[kN]	1.513	1.621	1.567	5.318	5.835	5.577
最小値	1.430	1.621	1.567	3.359	3.344	3.351
壁倍率	0.401	0.454	0.439	0.942	0.937	0.940

Pmax:最大耐力、δ(Pmax):最大耐力時の変形角、δy:降伏時の変形角、
Py:降伏耐力、K:初期剛性、δu:終局時の変形角、
δv:完全弾塑性モデルの降伏変形角、Pu:終局耐力、μ:塑性率、Ds:構造特性係数、
P(120):1/120rad時の耐力

完全弾塑性モデルへの置換方法は、文献1)に従った。
最小値とは、Py、0.2Pu/Ds、2/3Pmax、P(120)の最小値を指す。

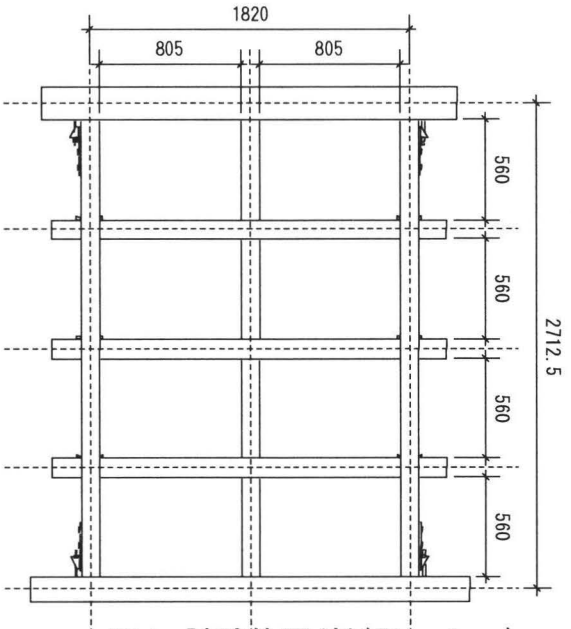


図1　試験体図（軸組）　(mm)

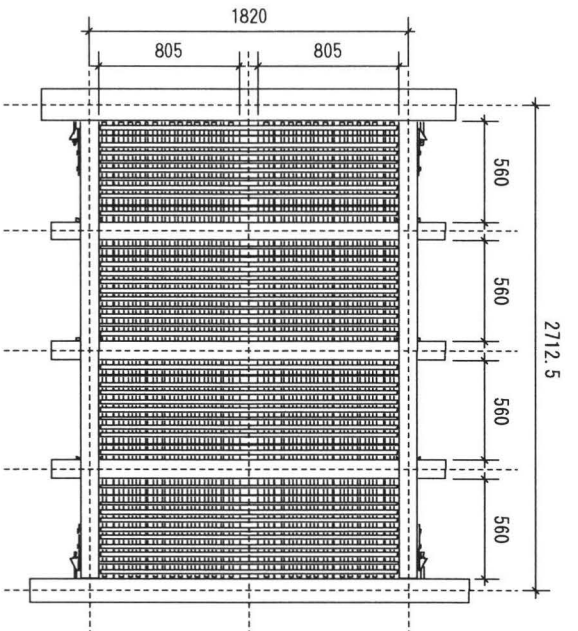


図2　試験体図（小舞下地）　(mm)

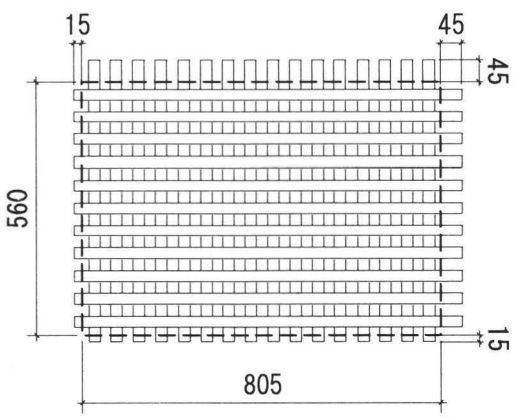


図3－a　荒壁パネル（隅角部）(mm)

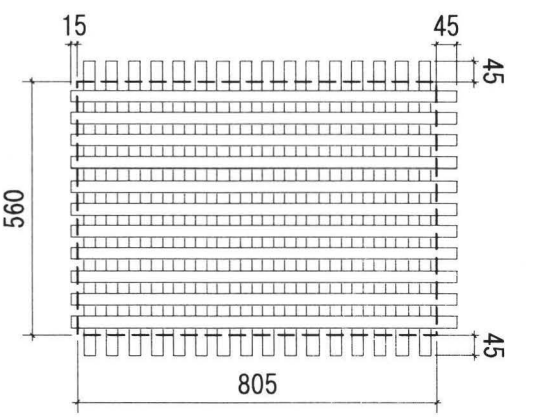


図3－b　荒壁パネル（中央部）　(mm)

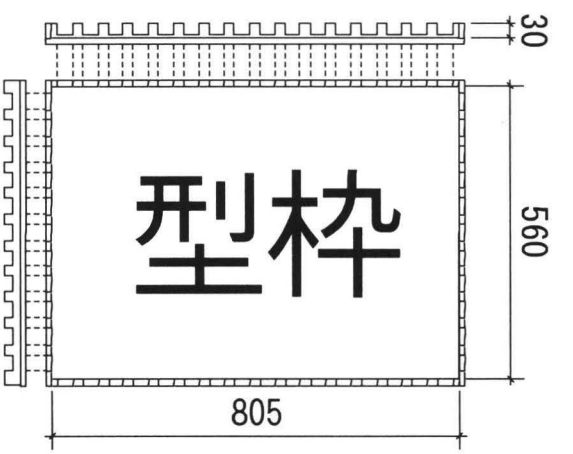


図4　荒壁パネル製作用型枠　(mm)

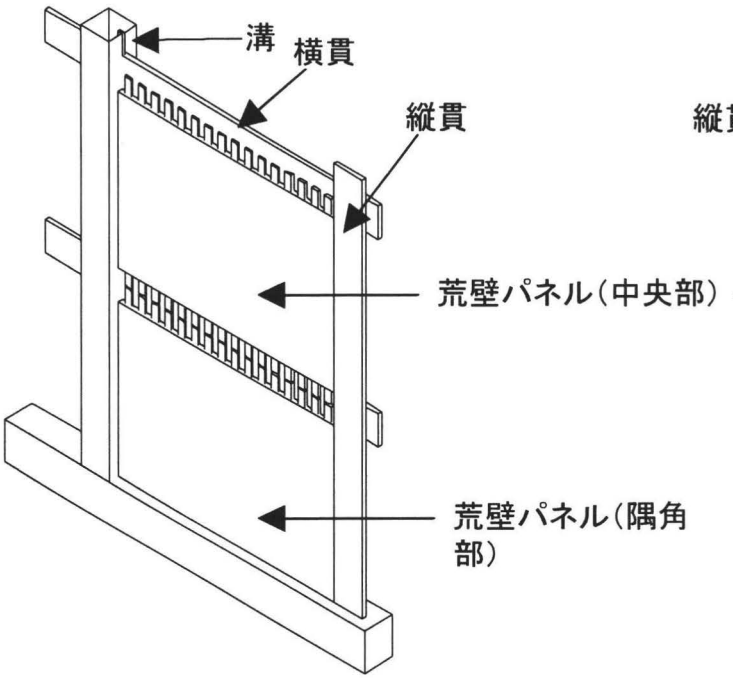


図5－a　荒壁パネル設置図(表)

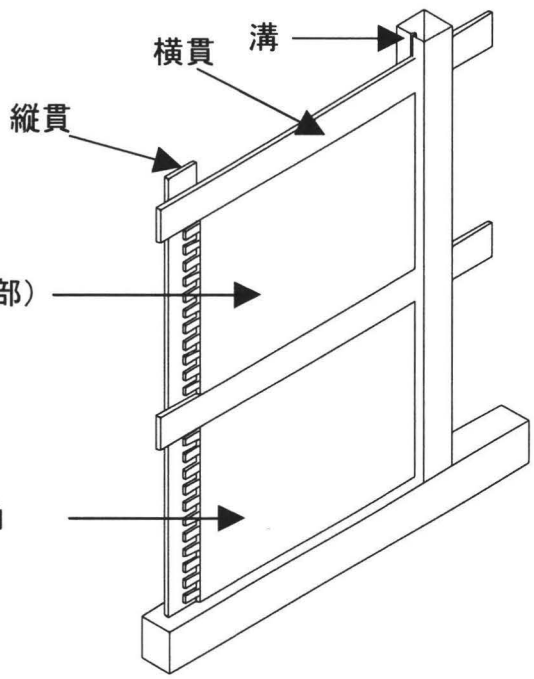


図5－b　荒壁パネル設置図(裏)

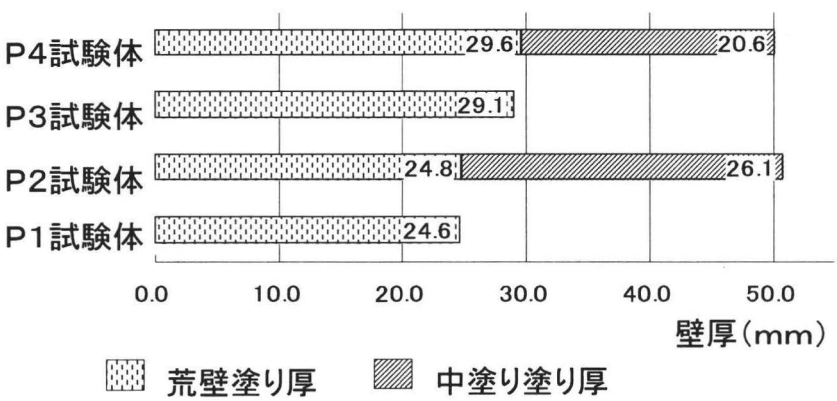


図6　試験体の壁厚

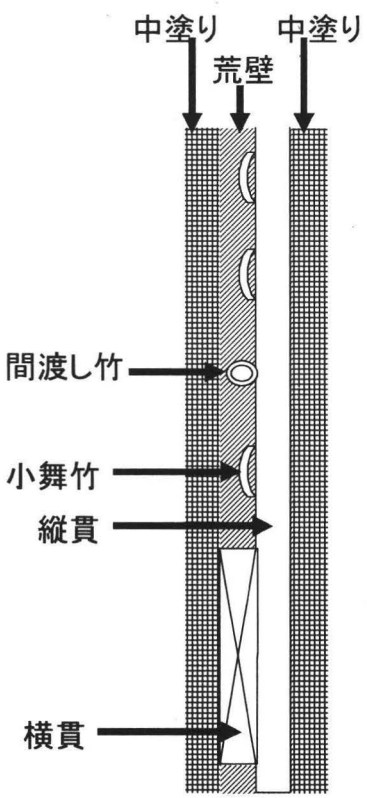


図7　試験体断面図

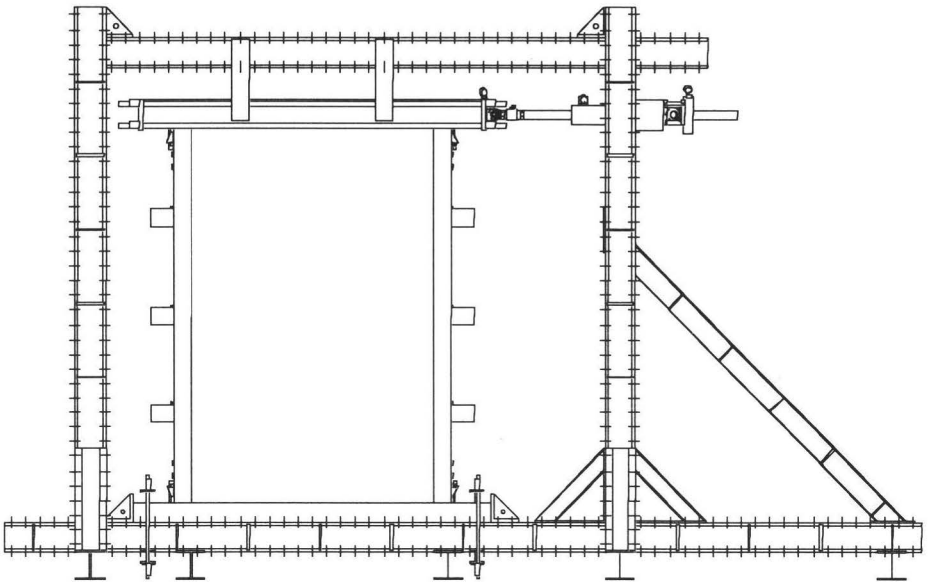


図8　試験体設置図

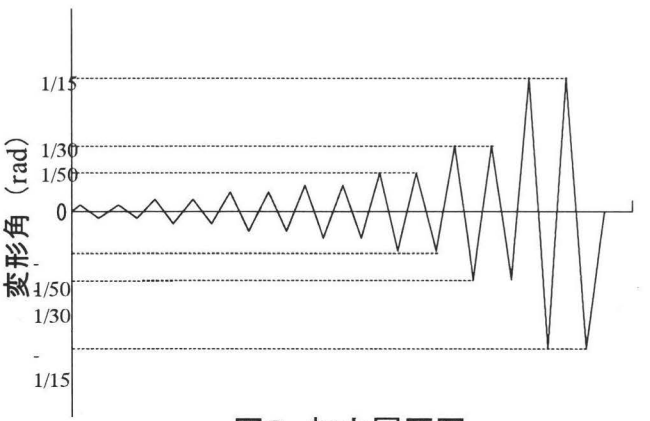


図9　加力履歴図

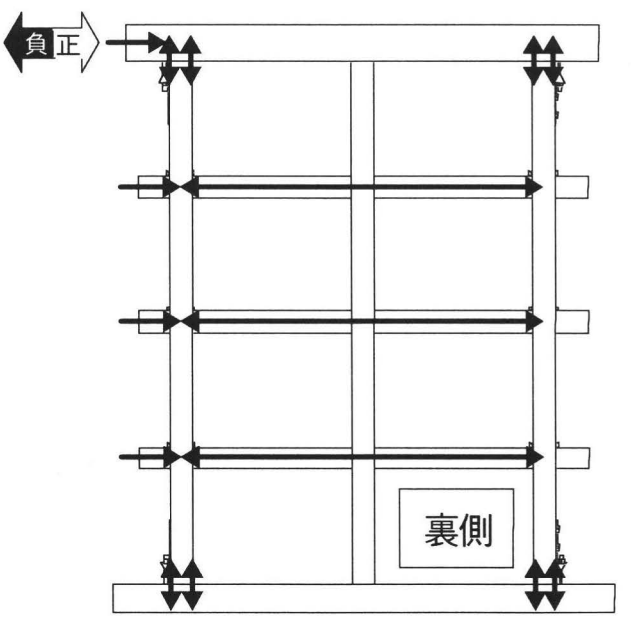


図10　変位計測定位置

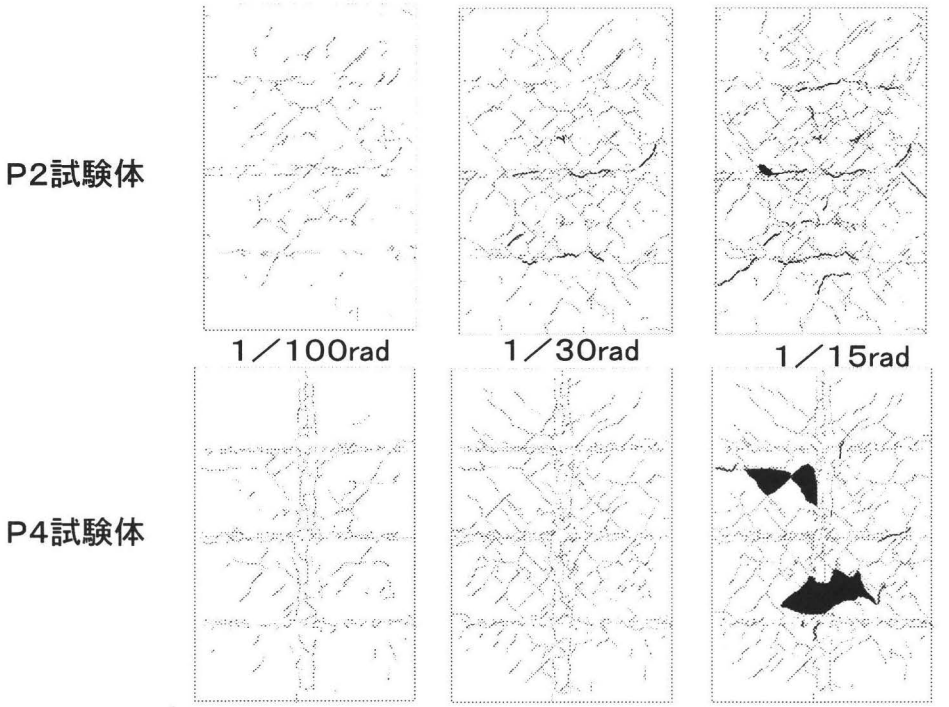


図11　ひび割れ状況

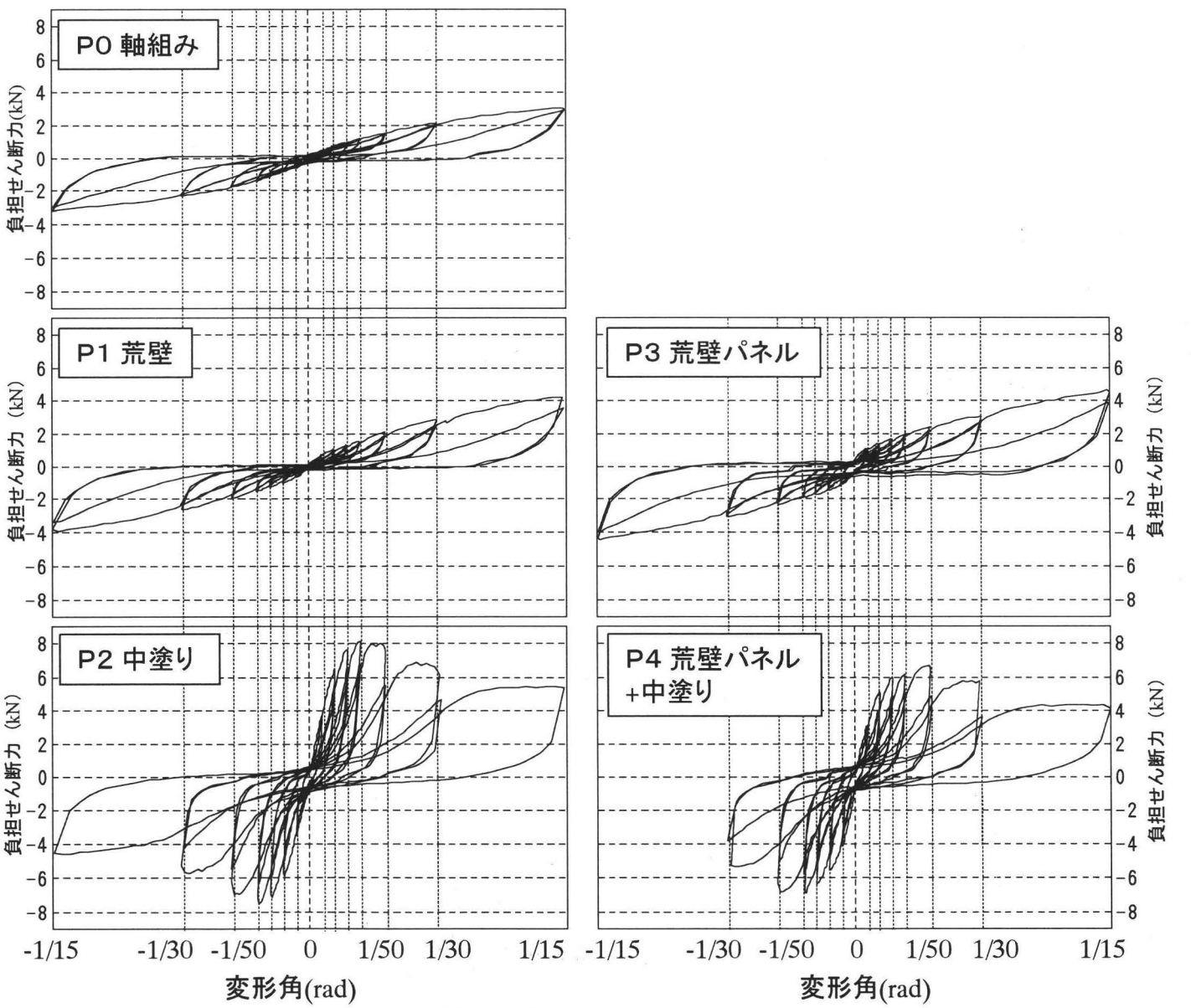


図12　荷重－変形関係

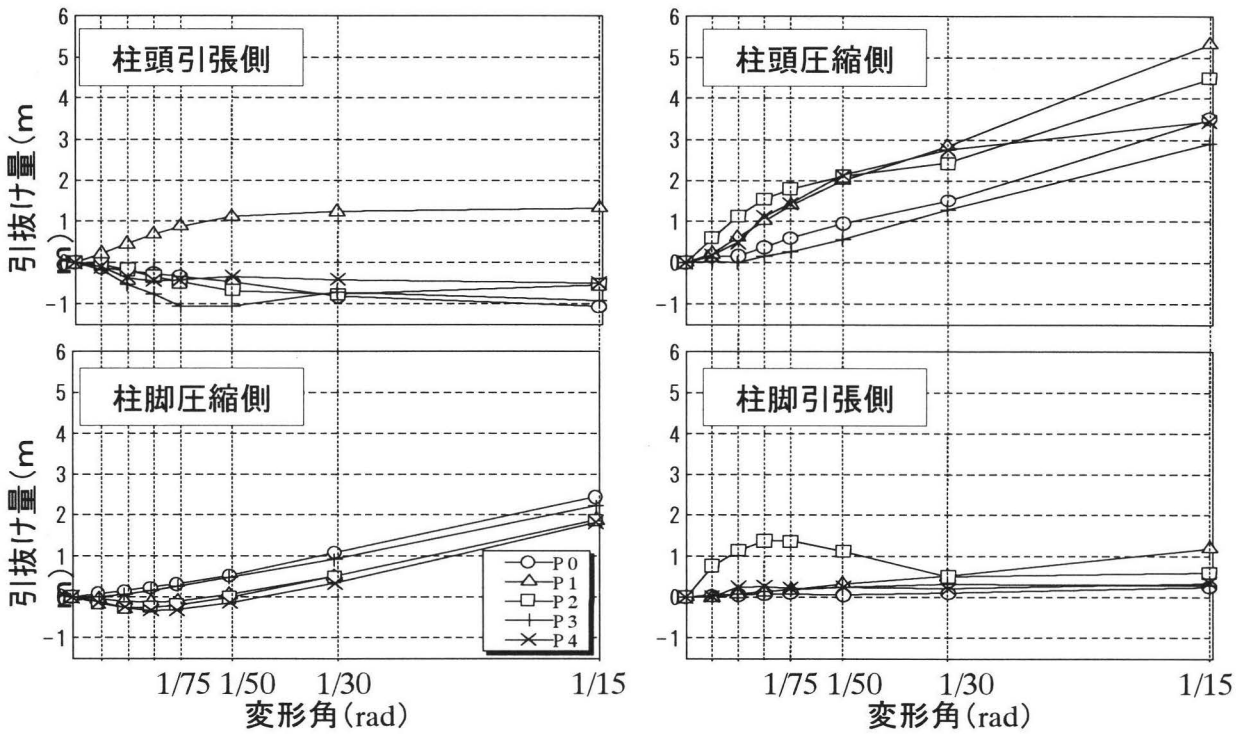


図13 柱頭・柱脚の引抜け量

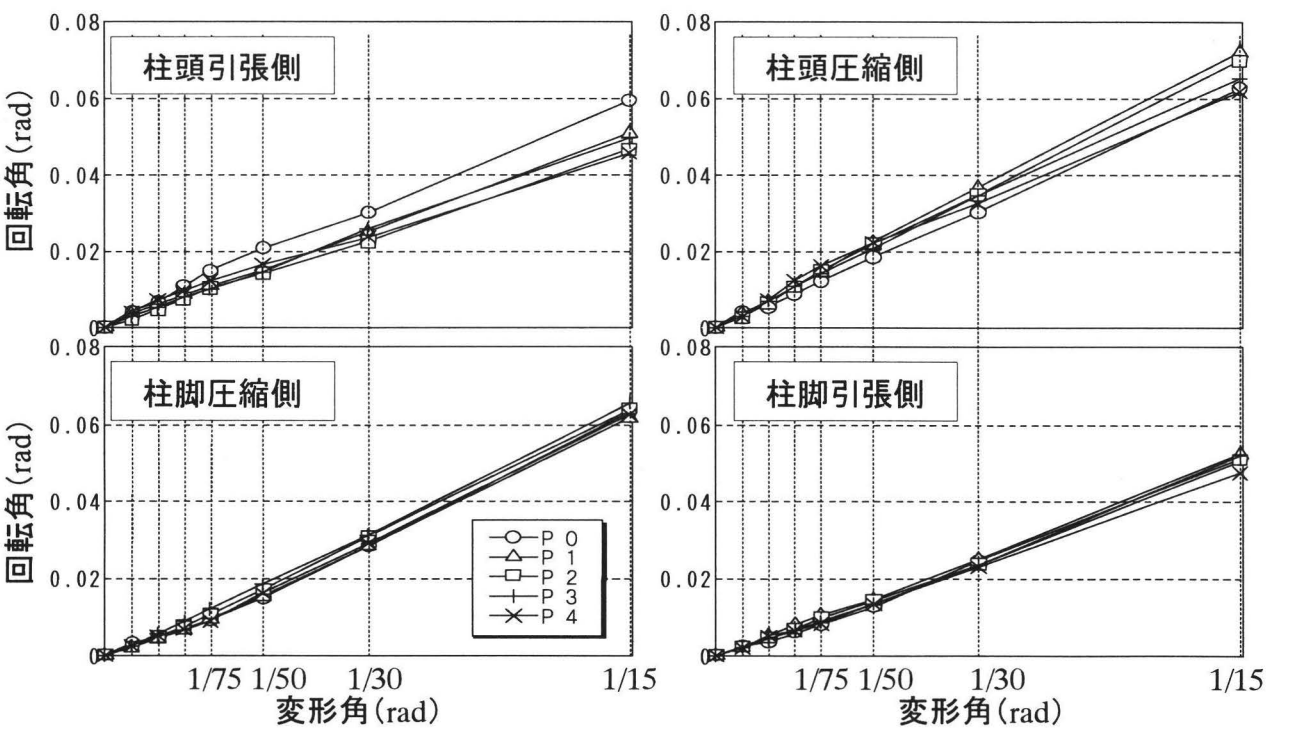


図14 柱頭・柱脚の回転角

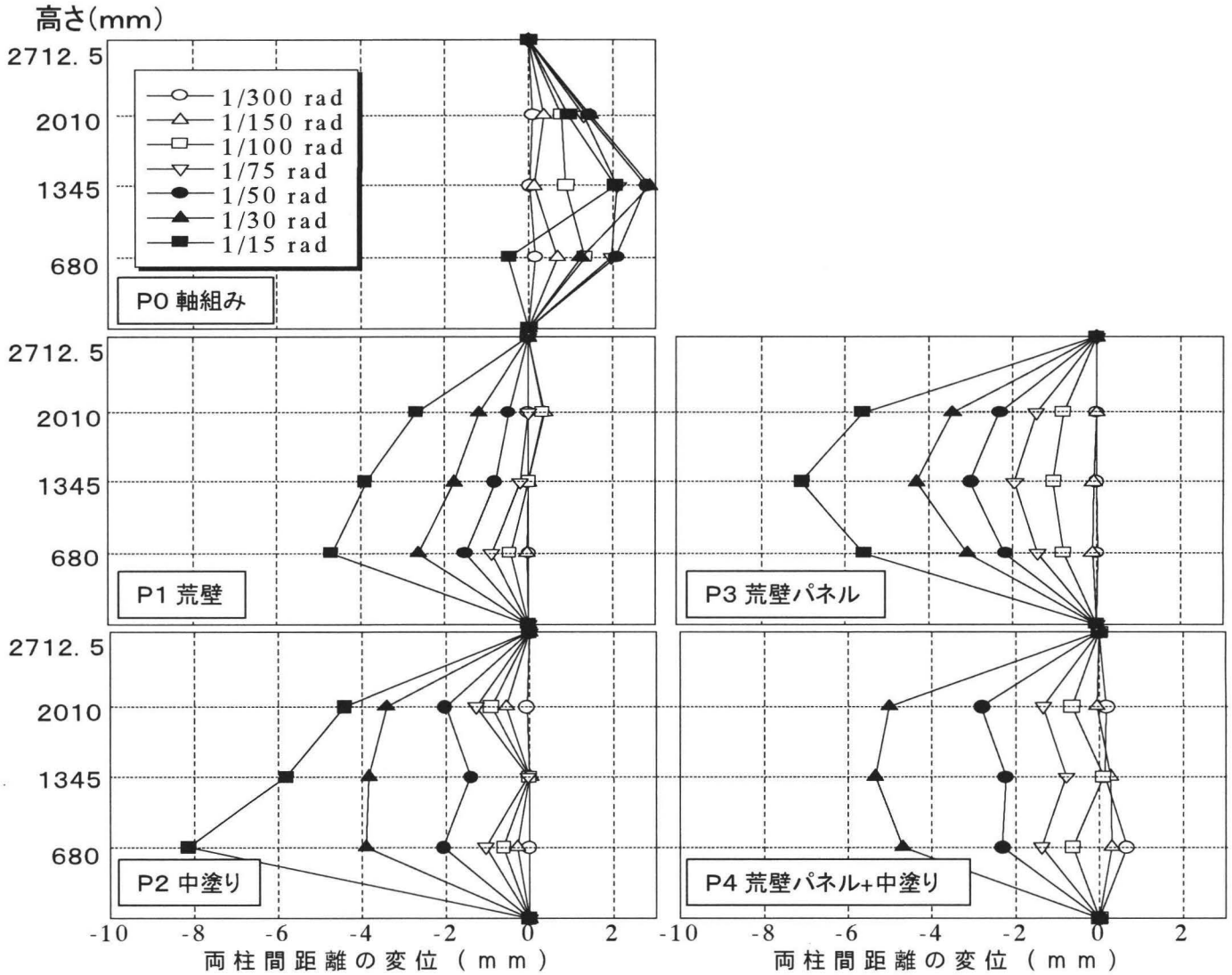


図15　面内横はらみ量

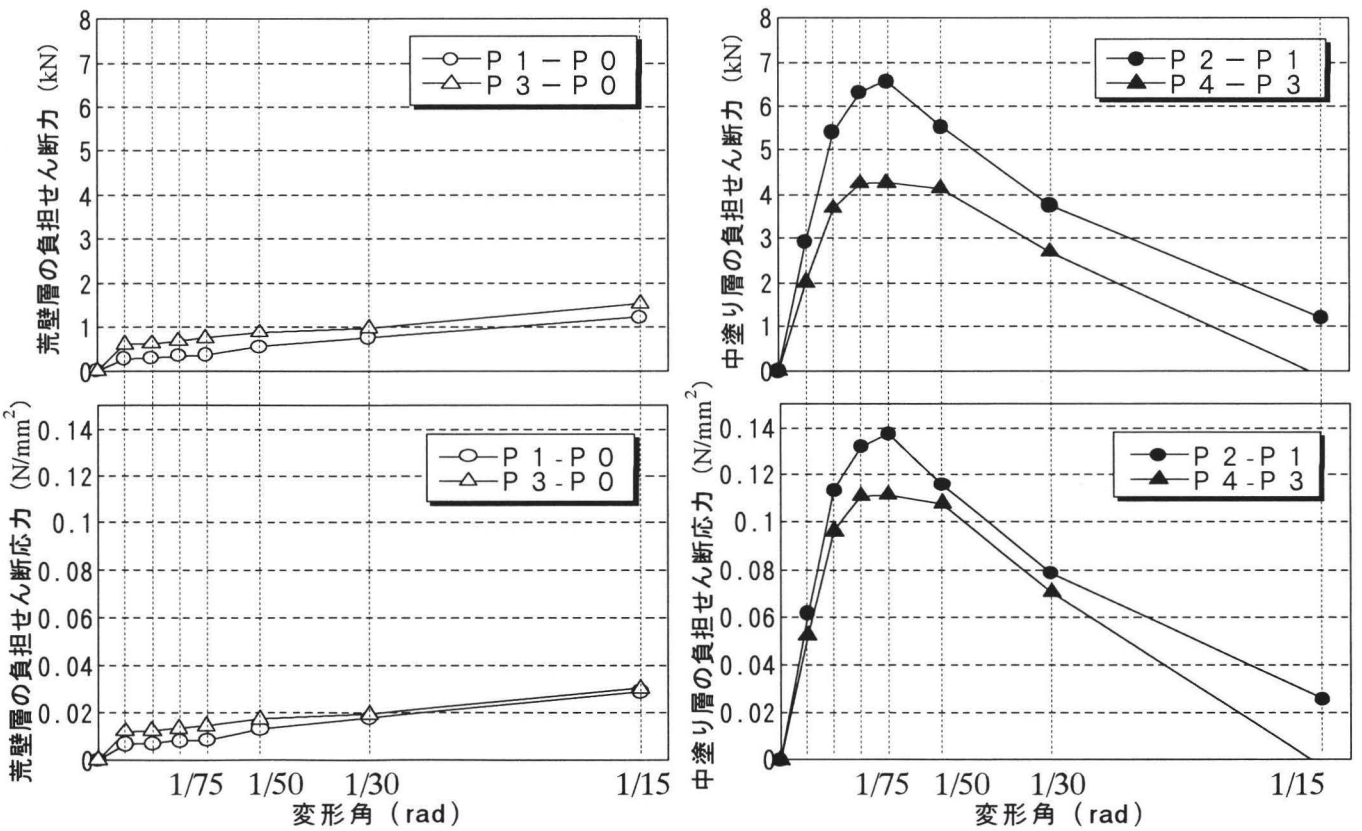


図16　各層の負担せん断力とせん断応力

1-14 長寿命住宅のための高性能・高信頼ソーラーシステムの調査・研究

早稲田大学理工学部総合研究センター

客員教授　中島　康孝

1．本研究の目的

わが国の住宅を中心とした光発電（PV）建築は、国の助成事業もあって世界の設置実績（‘ 99 年度末）比約 40%で、20%のアメリカに大きく水をあけトップに立っている一方、熱利用（SH）建築に関しても、給湯が中心ではあるが現在まで約 400 万台（累積数）使用されていて、その結果は約 100 万 kl の原油の節約と約 72 万トン（炭素換算）の CO2 削減効果を生んでいる。（ソ振協調べ）昨年、11 月に地球温暖化防止会議 COP7 がモロッコのマラケシュで開催され、京都議定書の運用ルールが決定され、わが国の批准も決まり、今、一段の太陽エネルギーの普及が強く求められよう。

わが国の住宅におけるエネルギー消費量は増加し続けており、もはや聖域となり得ず一層強力なエネルギー対策が求められている。しかも年間エネルギー消費の使用目的別割合は、平均して、熱利用 65%、電力利用 35%である。従って、光発電のみならず熱を含めたトータルで、どれだけ多く太陽エネルギーで賄う事が可能かが、今後問われることになる。太陽熱利用システム技術は第一次石油危機’75～’90 にソーラーハウスブームがあって既にハイレベルに達し、普及を促進させる段階に入ったという認識が一般化したが、この認識が正しかったとすれば今の 50%近くの住宅が地球環境に貢献しているはずであるが、太陽熱利用の普及にブレーキがかかってしまったのが実状である。アンケートなどによると、その原因は、コストも去ることながら、供給されたソーラーシステムおよび構成要素部材の信頼性が大きく揺らぎ、建築家とクライアントが拒否反応を示した。これまでのソーラーシステムは構成部材の耐久性能や施工による寿命のバラツキが大きく、長寿命化に進む建築に適合しなかったのである。

今、世界のトップをリードしている我が国の光発電が、熱利用の二の舞にならないためにも、長寿命化建築に相応しい高性能、高信頼ソーラーシステムを改めて検討する必要がある。日本建築学会（研究者主査の委員会）においても、長寿命建築に取り組むソーラーシステムについて建築家が安心してクライアント薦められるシステムおよび部品部材を選別し、標準化する必要があるとの結論に達した。

以上の背景から、本研究では住宅におけるソーラー建築（光発電、熱利用）の高性能、高信頼を確立するため、ソーラーシステムおよび構成部材の性能表示を含めた標準化、評価システムおよびモジュール化の調査研究を実施する。その研究成果により、これからの環境の

世紀において普及が期待されているサスティナブル都市建築における、長寿命住宅のニーズに耐え得る、特に高性能・高信頼のソーラーの開発するべき指針を具体的な形で明確化することを目的としている。

2．本研究では、ソーラー建築を構成する、太陽光発電（PV）および太陽熱利用（SH）システム並びに関連建築部材に関し、高性能性と高信頼性とを確保するため、次の各項目に対し調査研究する

3．研究内容

3.1　ソーラー建築の分類と標準化

（1）ソーラーハウス計画は、熱箱を作る姿勢の建築であり、熱プランニング各段階をとらえて進めるプランニングである。図 3-1 は、発展しながら設計を決めていく過程を表し、14の重要検討項目 [　　] を取り上げた、検討項目はパッシブ、アクティブに分けてみた、図 3-1 は集熱から熱環境手法までの各項目である。

ソーラー建築が本格的普及のレールに乗るには、企画－基本計画－設計－施工－運転管理－評価という一連の流れの部分で利用し得る標準化された資料が欠かせない。特に形と納まりにこだわるが、システム性能には、弱い建築家に対して、ソーラー建築のためのシステムと性能の標準化が用意されるべきである。その上で、ソーラー建築設計のポイントをまとめれば次のようである。

①断熱、通風、防熱、蓄熱および南開口面などを考慮したパシップソーラー建築とする。

②建築における、年間エネルギー（熱、電）消費量に対する、太陽エネルギーの最も有効利用をはかれるような、集光角度および集熱器と太陽電池の面積の込み合わせ。ただし、暖房給湯が主では、緯度プラス 15° の南面傾斜角度、冷房給湯を主としたときは緯度マイナス 15° が良いとされている。

③太陽エネルギー利用を考えるとき、季節変動の大きい、我が国では、太陽依存率を上げるためには、蓄エネルギー技術が鍵を握っている。従って、地中蓄熱など長期蓄エネルギー技術の開発利用が待たれる。

（2）室内環境を保つ手法の標準化

熱環境を保つとは、図 3-2 のように、建物を取り巻く大気の気温と湿度、日射と風、雨と雪、そして大地の地中温と水分など外的環境の年、日、時間変動に対して、建物内において熱的に快適な移住空間を保つことをいう。この快適な環境条件は普通の着衣でくつろいで状態では、一般に室内温度、湿度、日射を含む輻射、通風を含む気流など四要素で決まる有効温度や、効果温度などの熱環境指標の設定によって得られることが多夏は、日射と外気温度　による熱取得量を減らし、室内温度を除去する。冬は、日射を大いに取り入れ、熱損出量を減らし室温を安定させる。その手法は、前者は主として「通風」と「防熱」、後者には「断熱」と「蓄熱」などが重要な要素となる。その働きの特徴と限界を十分認識

表3-1 システムの分類

- A給湯システム
  - 自然循環式
    - A_1 太陽熱温水器方式
    - A_2 太陽熱温水器＋補助ヒーター
  - 強制循環式
    - A_3 集熱器＋直接給湯方式
    - A_4 集熱器＋間接給湯方式
    - A_5 蒸発集熱器＋ヒートポンプ給湯方式
- Bアクティブ暖冷房システム
  - 水熱媒体
    - B_1 水集熱器＋放熱器方式(暖)
    - B_2 水集熱器＋空気分配方式(暖)
    - B_3 水集熱器＋水・水ヒートポンプ式(暖冷)
    - B_4 水集熱器＋空・空ヒートポンプ式(暖冷)
    - B_5 水集熱器＋吸収冷凍機(暖冷)
  - 空気熱媒式
    - B_6 空気集熱器＋空気分配方式(暖)
- Cパッシブ暖房システム
  - 集蓄熱方式
    - C_1 床・壁輻射方式(ダイレクトゲイン)
    - C_2 天井輻射方式(スカイサーモ)
    - C_3 トロンブ壁，水タンク方式(蓄熱壁)
  - 熱移動方式
    - C_4 サンルーム空気循環方式(サンルーム)
    - C_5 サーモサイフォン方式
    - C_6 ヒートパイプ方式

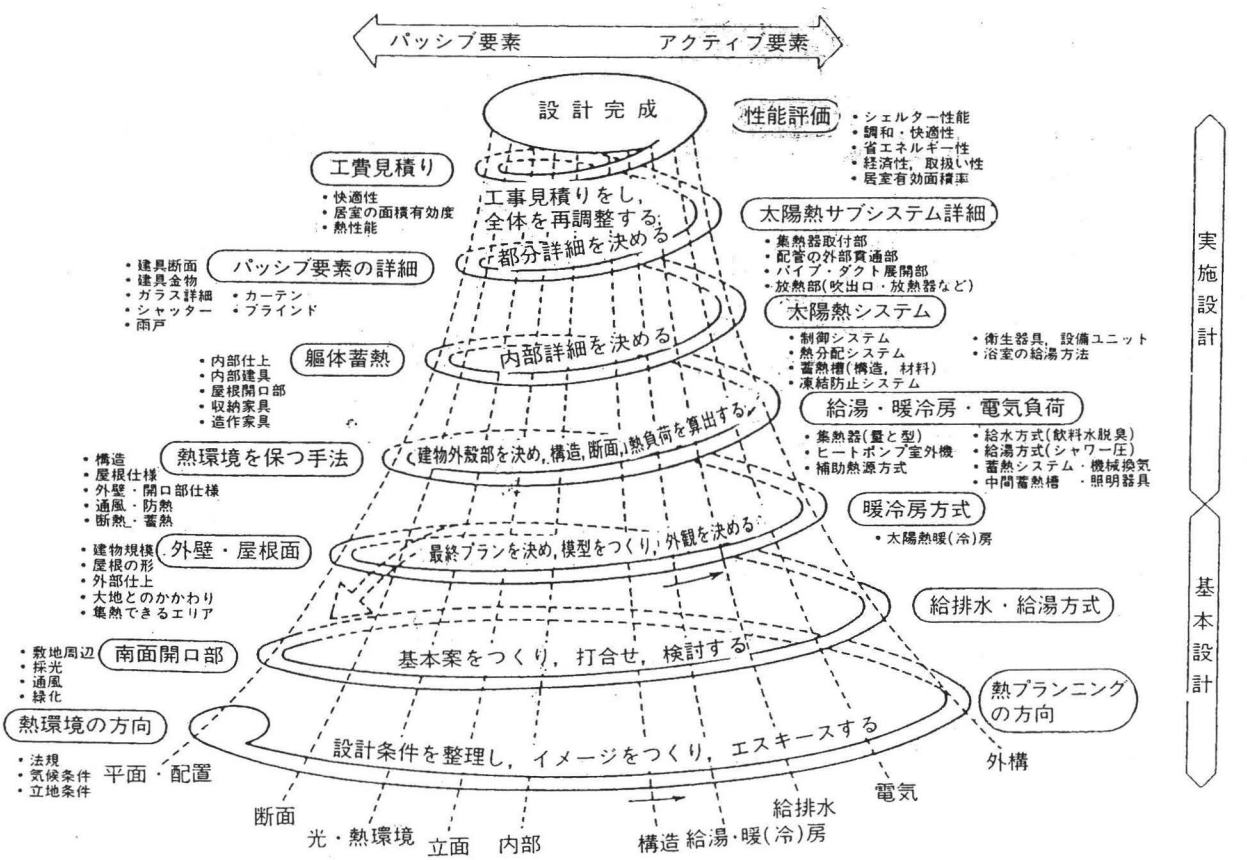


図3-1 ソーラー建築計画のプロセス図

した上で、組み合わせと採用順序を決めることが肝要である。
熱環境を保つ手法は図 3-3 の分類の通りである、表中には ＋（プラス）、－（マイナス）要素とチェックポイントが説明されている。

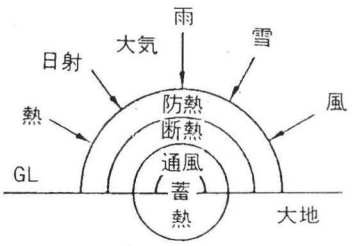


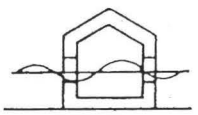
図3-2 熱環境の要素

（3）集める手法の建築的分類を図 3-4 に示す。
（4）蓄える手法の建築的分類を図 3-5 に示す。
（5）使う方法の分類（太陽熱給湯 / 冷暖房システム）
太陽熱による給湯・冷暖房への使用方法は、給湯のみか、給湯暖房か給湯冷暖房かであるが、分類では表のように（A）アクティブ暖（冷）房システムおよび（C）パッシブ暖房システムに分け、それぞれ給湯は A1～A５の５種類、アクティブ暖房は B1～B6 の６種類、そしてパッシブ暖房は C1～C6 の６種類に分けられる。それぞれのシステムソーラーハウスへの取り組み方法と特徴を図 3-6 に示した。

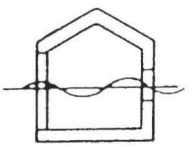
3.2　モジュール化
（1）集熱器・太陽電池
1）　集熱器の性能・特性について、水集熱（平板・真空管）、空気集熱（平板・現場施工・壁式）を図３-７に示す。
2）　太陽電池の性能・特性について、単結晶・多結晶・アモルファス・化合物 / パソコン / 接続箱を図３-８に示す。
（2）蓄熱・蓄電システム
1）　蓄熱システムの性能・特性について、貯湯槽（直接・間接集熱）、パネル蓄熱槽、砕石蓄熱槽、躯体蓄熱を図３-９に示す。
2）　蓄電システムの性能・特性について、シール蓄電池・パワーキャパシタ、充放電制御機器を図 3-10 に示す。
（3）配管・配線の標準例
1）　配管材料について、管材、接合材料、弁類を図 3-11 に示す。
2）　保温材料について、保温材料、保護材料を図 3-12 に示す。
3）　配線材料について、電線種、保護材料、保護装置、接続機器を図 3-13 に示す。

A 通風

夏の外気冷却と防湿



A1 開口部通風



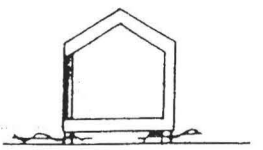
窓など，開口部の位置と大きさを確保することにより，室内にこもる熱を放出する．
⊕通風量の調節可．　⊖風雨の吹き込み，ほこり・騒音の侵入

A2 屋根裏通風



夏の屋根の過熱防止および寒冷地の屋根裏を通風する．
⊕輻射熱防止に有効
⊖ほこりの侵入　清掃不可

A3 床下通風

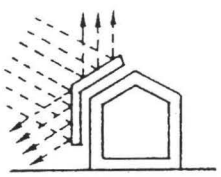


夏の床面冷却および防湿として床下を通風する．
⊕木造床の耐久性
⊖冬の熱損失

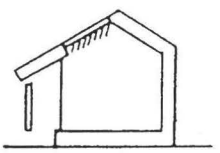
チェックポイント　・風向きと通風径路の確保　・外気の出入口の位置と大きさ　・開口部の開閉しやすさ　・開口部の防犯方法
・屋根裏，床下の小動物の出入防止　・結露防止対策

B 防熱

夏の日射遮蔽

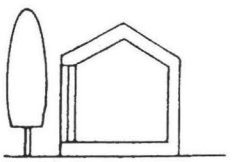


B1 庇・ルーパ・ブラインド



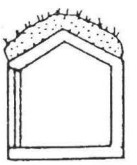
主として夏の日射を遮蔽し，冬の日射を十分採り入れる．
⊕単純にして有効
⊖外部ルーパの汚れ　ルーパの操作

B2 植栽



落葉樹などの植栽によって夏の日射を遮蔽し，冬の日射を採り入れる．
⊕自然の利用
⊖落葉時期のずれ　樋の清掃

B3 被土屋根

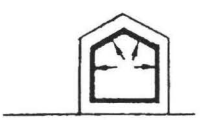


芝など植物による土中の保水力と流土防止水抜屋根樋
⊕屋根防熱上最も有効
⊖屋根荷重大で，構造部材強化の要

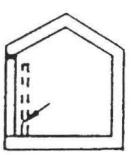
チェックポイント　・夏の太陽高度と庇の出　・冬の日射利用と夏の遮蔽　・外部ルーパの材料と防塵　・被土屋根の耐圧
・天井ブラインドの支持・操作方法　・冬，日射確保のできる植栽

C 断熱

熱貫流の軽減

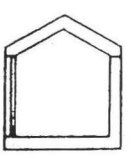


C1 二重サッシュ・複層ガラス窓



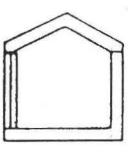
二重サッシュ，複層ガラス窓，断熱戸付開口部などとし，熱の流出を防止する．
⊕南面開口部に有効
⊖高価

C2 外壁・床断熱



建物外殻としての外観・床などの熱絶縁性を向上させる．
⊕比較的安価
⊖仕上材の選択範囲

C3 屋根・天井断熱

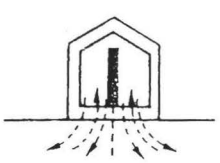


建物外殻としての屋根・天井などの絶縁性を向上させる．
⊕安価
⊖断熱材の気密施工法

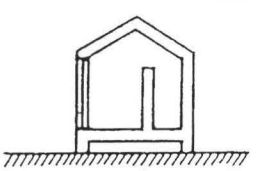
チェックポイント　・建具と枠との気密性　・二重・三重サッシュの内部清掃　・内部結露の防止対策
・断熱カーテン等の取付方法　・金属屋根の耐熱断熱材　・外断熱工法の外装材

D 蓄熱

室温の安定化

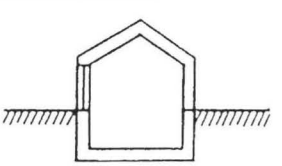


D1 躯体



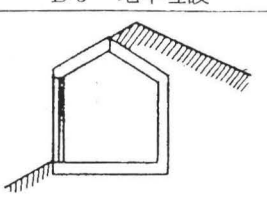
熱容量の大きい材料で床・壁・天井などを造り，太陽熱その他の熱を蓄熱させる
⊕一般的
⊖建物荷重大　耐震上の配慮

D2 土間床・半地下



土間床または半地下とすることにより大地の熱容量を利用する．
⊕地下の有効利用　熱負荷が小
⊖結露　高価

D3 地中埋設



建物外殻の大部分を地中に入れ，大気の影響を小さくし，大地の熱容量を利用．
⊕室温変動が小　熱負荷が小
⊖接地面の防水と結露　高価

チェックポイント　・集熱量に適した躯体蓄熱容量　・躯体蓄熱と外断熱の工法　・地下室の構造，防水および通風
・土の熱物性値と地下水位　・外気温と地中温の年変化　・寒冷における凍結線レベル

図3-3 室内環境を保つ手法の分類

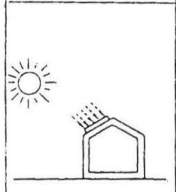
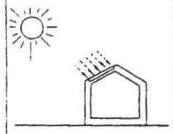
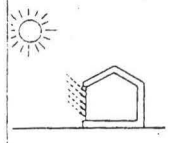
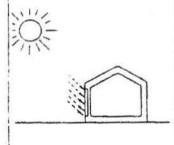
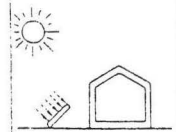
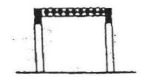
屋根＋コレクタ型	A1　平板コレクタ	A2　特殊低温コレクタ	A3　給湯温水器	A4　太陽電池兼用コレクタ	A5　屋根置きコレクタ	A6　真空管コレクタ	チェックポイント
	 平板コレクタを屋根に取り付ける．水または空気による強制循環，蓄熱タンク別 ⊕架台下地安価　⊖配管納まり	 ポリプロピレンなど簡単なプラスチック材料による低温コレクタ，水強制循環，蓄熱別，軽量． ⊕安価　⊖効率低い	 市販の給湯温水器を屋根に取り付ける．蓄熱タンク一体，自然循環． ⊕安価　⊖配管納まり	 太陽電池と水集熱または空気集熱とで太陽熱を集め，その電気で集熱ポンプを作動させる ⊕太陽熱の段階的有効利用 ⊖高価	 陸屋根の平坦部分の利用．強制循環，自由な勾配と配列． ⊕自由な配列　⊖架台の費用	 建物外皮になじんだ取付け，水強制循環，蓄熱別． ⊕建物の一体感，冷房利用 ⊖高価	●屋根勾配　有効集熱の勾配 ●配管流路のバランス，凍結防止の自然落水 ●取付金物・取付架台の耐風圧強度 ●屋根材とコレクター材料の電触防止 ●屋根材の耐久性 ●配管の屋根貫通部の雨仕舞 ●取付金物・取付架台の雨仕舞 ●コレクターのメンテナンス
屋根＋コレクター体型	B1　ガラス屋根・天窓	B2　コレクタ葺き屋根	B3　空気式コレクタ	B4　コレクタ内蔵銅板葺き	B5　天井バッグ	B6　水流下式	チェックポイント
	 冬，光と熱を屋根面より直接採り入れ，夏，ブラインド，ルーバで遮る．躯体蓄熱，天窓は通風，開閉可 ⊕室内の明るさ　⊖雨仕舞	 垂木，鉄骨下地に直接取付け，水強制循環 ⊕一体感　⊖修理難	 空気を媒体として集熱，ダクトによる分配，砕石蓄熱 ⊕冬期，凍結しない　⊖動力必要	 鋼板葺き，野地板部分にコレクタ内蔵，水強制循環． ⊕恒久的屋根材，融雪も可 ⊖効率低い	 蓄熱材料による天井． ⊕室温安定　⊖重い天井からくる不安感	 波形屋根の集熱板．水の自然流下 ⊕建材によるコレクタ　⊖低効率	●屋根勾配と有効集熱の勾配 ●配管流路のバランス，凍結防止の自然落水 ●屋根材・コレクタ材料の選択 ●ガラス屋根の夏の防熱・排熱 ●天然の雨仕舞 ●コレクタ保守・修理の方法 ●コレクタのメンテナンス
開口部型	C1　大開口	C2　二重窓開口	C3　空気対流式	C4　付属サンルーム	C5　可動式ドーム	C6　ハイサイド窓	チェックポイント
	 冬，光と熱を南面大開口より直接採り入れる．夏，ブラインドなどで遮る．躯体蓄熱． ⊖居住性良好　⊖防熱・防犯の難，室温分布の偏り	 冬，光と熱を南面大開口より直接採り入れる．夏，遮る．高性能，躯体蓄熱． ⊕断熱的　⊖多少高価	 冬，光と熱を南面大開口より直接採り入れる．夏，遮る．空気強性循環による熱分配 ⊕室温分布良好　⊖動力必要	 付属サンルームによる日射導入，保温性，植物との共存． ⊕断熱性　⊖スペースをとる	 可動式ドームガラス屋根．手動または電動による． ⊕夏・冬の熱の制御　⊖高価	 北側室内への光と熱の導入． ⊕家全体の居住性	●サンルームの夏の過熱防止 ●床材（じゅうたん，フローリング）の日焼け ●防犯の方法 ●ブラインド，ルーバによる遮熱 ●夏の風通しの開閉方法
外壁型	D1　蓄熱壁（トロンプ・ウォール）	D2　雨戸付き蓄熱壁	D3　水タンク壁（ウォータ・ウォール）	D4　カーテンウォール	D5　熱呼吸壁	D6　可動コレクタ	チェックポイント
	 ガラスカバー付き南面コンクリート壁集蓄．放熱を自然で行なう．パッシブの原型 ⊕夜間室内への自然放熱　⊖南面遮蔽による居住性低下	 断熱スクリーンを加えて性能を高めたもの． ⊕夜間室内へ自然放熱　⊖南面遮蔽による居住性低下	 水タンクの南面室内配置 ⊕容易な熱容量の増大　⊖スペースをとる．	 カーテンウォール方式による窓とコレクター． ⊕施行性が良い	 ガラスカバー付き基礎コンクリート壁による自然空気対流，集・蓄・放熱． ⊕南面開口部をつぶさない ⊖集熱面積が少ない	 開口部内側に建具式に納めたコレクタ ⊕開閉自由　⊖配管の露出	●南面居室の居住性 ●蓄熱材の耐震性 ●カーテンウォール・ジョイント部の断熱・耐火性 ●夏の風通しの開閉方法 ●南壁面以外は効果が薄い
別置型	E1　バルコニー	E2　ハイサイド窓	E3　パラペット	E4　単独置き	E5　別棟置き	E6　反射鏡式	チェックポイント
	 バルコニ，コートなどに置く． ⊕保守点検が容易	 ハイサイド窓の屋根，ベントハウス周囲などに置く． ⊕架台不要．	 パラペット，庇部分などに置く． ⊕配列の自由　⊖防水納まりの複雑さ	 庭先，プールサイド，塀などに置く	 別棟，ガレージ屋根や外壁などに置く．	 光の調整と断面構成の面白さの演出． ⊕日射利用面積の増加　⊖反射面の劣化	●建物の外観 ●除雪の方法 ●耐火性 ●取付金物・取付架台の耐風圧・耐震性

図3-4　集熱器の取付位置の分類と設計のチェックポイント

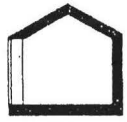
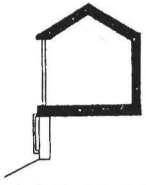
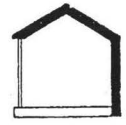
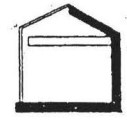
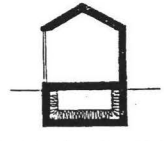
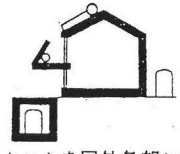
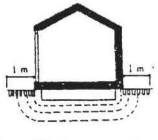
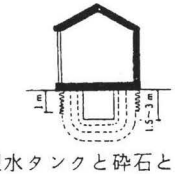
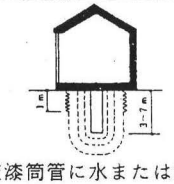
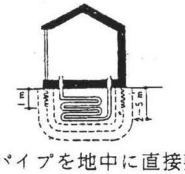
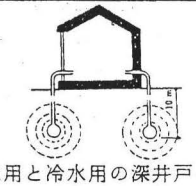
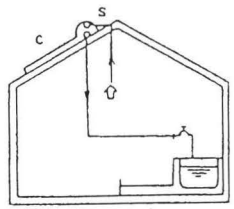
	A1　トゥロンブウォール	A2　内部蓄熱壁	A3　基　礎	A4　蓄熱床	A5　蓄熱天井	チェックポイント
A 躯体蓄熱型	 ガラスまたはプラスチックカバー付き南面コンクリート壁．空気層からの対流放熱と輻射放熱． ⊕輻射効果 ⊖内装材の制約	 サンルームなどを通した日射を間仕切壁に蓄熱する． ⊕輻射効果 熱損失が小さい ⊖耐震上の配慮	 ガラスまたはプラスチックカバー付き基礎． ⊕日射受熱部の有効利用 ⊖対流放熱のみ	 床蓄熱 ⊕床からの輻射効果 ⊖床仕上材による効果の優劣	●ルーフポンド　●コンクリート天井　●潜熱型天井蓄熱パネル  天井または屋根への蓄熱 ⊕蓄熱面積の確保 ⊖耐震上の配慮 屋根面の雨仕舞	有効な南面開口部とのバランス ●受熱面の吸収率 ●躯体蓄熱となりうる材料と工法 ●異種材料接合部の断熱の納まり ●蓄熱体への日射集熱面積 ●室内への対流，輻射による放熱効果 ●躯体の厚さと室内最大放熱のタイムラグ
	B1　居室内	B2　タンク室	B3　天井裏	B4　床　下	B5　外　部	チェックポイント
B 容器蓄熱型	●水タンク外周置き　●水タンク置き　●砕石タンク置き  蓄熱タンクを居室内に置き，室内熱容量を高める． ⊕室内への直接放熱 ⊖設置場所	 蓄熱タンクをタンク室などに置く． ⊕タンク形態の自由さ ⊖タンク室の確保	●天井裏置き　●天井バッグ  蓄熱タンクまたは天井バックを天井裏スペースに置く． ⊖天井裏スペースの有効利用 ⊖天井構造の配慮	●二重床水槽　●蓄熱土壌　●ロックベッド  床下コンクリートによる断熱容器内に水，土，石を入れる． ⊕二重床の有効利用 大量　床暖房効果 ⊖高価　防水，配管の納まり	●屋根　●バルコニ　●サービスヤード　●単独地下室  蓄熱タンクを屋外各部に置く． ⊕室内スペースの有効性 既存住宅への適応 ⊖熱損失が大きい． 配管の納まり	●容器の設置スペース ●蓄熱温度と蓄熱材料の選択 ●水方式における凍結防止 ●蓄熱容量と蓄放熱特性 ●容器の耐震基礎 ●蓄熱容器の断熱性能 ●容器材料の耐圧，耐久性
	C1　床暖式	C2　熱核式	C3　深筒式	C4　伝熱パイプ式	C5　深井戸式	チェックポイント
C 地中蓄熱型	 床下内に伝熱パイプを平面的に埋込み，地中に蓄熱する． ⊕安価　床暖房効果 ⊖蓄熱容量は小さい．蓄熱期間は数日間	 小型水タンクと砕石とで熱核を形成し，周囲の地中に蓄熱し，熱回収する ⊕長期短期の自在のコンビネーション　比較的に小容積 床暖房と温風暖房の併用 ⊖水タンクの支持方法	 中空漆筒管に水または空気を通して，周囲地中に蓄熱し，熱回収する． ⊕地表面への熱損失少ない ⊖短期熱回収しにくい 地下水の影響を受けやすい	 伝熱パイプを地中に直接敷設して地中に蓄熱し，熱回収する．ヒートポンプによる熱回収． ⊕大規模建築への適応 ⊖床暖房効果は小さい ポンプ動力大	 温水用と冷水用の深井戸を用いて太陽熱を蓄熱し，ヒートポンプで熱回収して暖房し，冷水を貯え夏の冷房に使う． ⊕大規模建築への適応 冷房への利用 ⊖地下水の流動　ポンプ動力	●土質の熱的性質と地下水位の確認 ●熱負荷に対する蓄放熱量 ●長期季間蓄熱における熱回収量 ●断熱箇所の設定 ●暖房利用温度と蓄熱温度の対応 ●保守点検方法 ●材質の耐久性

図3-5　各蓄熱方式の設置位置の分類と設計のチェックポイント

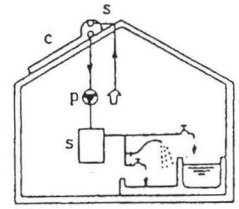
A 給湯システム

A1 太陽熱温水器方式



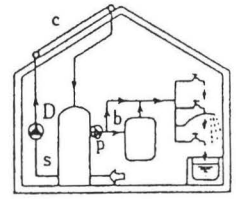
市販温水器を屋根に設置し，自然循環による集熱，落水による浴槽への給湯
⊕安価　単純システム
⊖給湯箇所の制約　屋根との一体感　寒冷地には不向き

A2 補助ヒーター＋太陽熱温水器方式



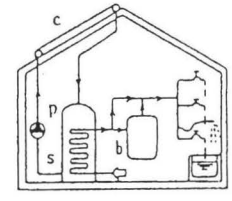
市販温水器と補助ヒータを組合わせた強制給湯．自然循環による集熱．
⊕シャワーなど混合水栓の利用
⊖屋根との一体感　寒冷地には不向き

A3 集熱器＋直接給湯方式



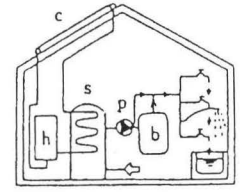
集熱器と貯湯タンクによる強制循環集熱．ポンプによる強制給湯．
⊕大貯湯量　寒冷地にも可
⊖設置スペース　凍結対策

A4 集熱器＋間接給湯方式



集熱器と熱交換コイル付き貯湯タンクによる強制循環集熱．集熱とは別系統の給湯
⊕水道圧の直接利用　寒冷地向き
⊖高価　設置スペース　不凍液濃度の管理

A5 蒸発集熱器＋ヒートポンプ方式



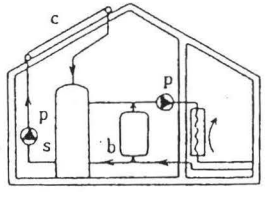
集熱器兼蒸発器により太陽と外気とから集熱できる直膨型ヒートポンプ給湯．
⊕日射がなくても外気から集熱可能
⊖小型のユニットしかない

図中凡例

a：吸収冷凍機
b：補助熱源
c：コレクタ
f：ファン
h：ヒートポンプ
p：ポンプ
r：放熱器
s：蓄熱槽
t：クーリングタワー
u：ファンコイルユニット

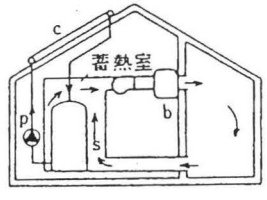
B アクティブ暖（冷）房システム

B1 水集熱・放熱器方式



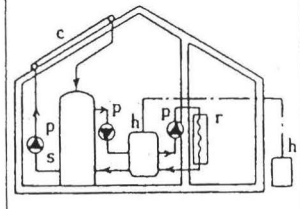
水集蓄熱と放熱器または床暖房による温水暖房
⊕温水暖房方式に組合せ可
⊖放熱器設置スペースと納まり

B2 水集熱・空気分配方式



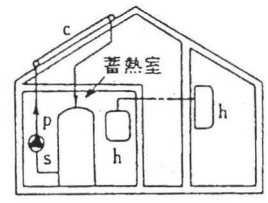
水集蓄熱とダクトによる温風暖房，地下蓄熱室により長期蓄熱が可能．
⊕放熱器不要　長期蓄熱可
⊖ダクトスペースと吹出口の納まり　ファンの騒音　蓄熱室スペース

B3 水熱源ヒートポンプ方式



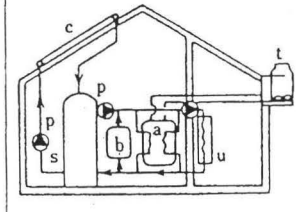
水集蓄熱と水熱源ヒートポンプによる暖（冷）房，ファンコイルユニット使用．
⊕低温集熱の利用　冷房も可
⊖小型ヒートポンプが特注品

B4 空気熱源ヒートポンプ方式



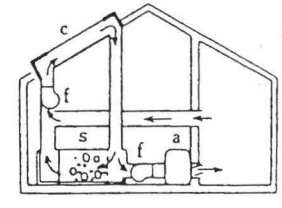
水集蓄熱と空気熱源ヒートポンプによる暖（冷）房．地中利用長期蓄熱も可．
⊕低温集熱の利用　市販ヒートポンプの利用　冷房も可　長期蓄熱可
⊖蓄熱室スペース

B5 吸収冷凍機方式



小型吸収冷凍機による太陽熱冷暖房．ファンコイルユニット使用．
⊕太陽熱の冷房可
⊖高価　集熱面積大

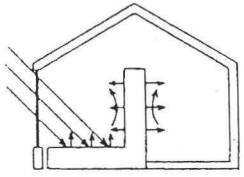
B6 空気集熱方式



空気集熱と砕石蓄熱による温風暖房．
⊕凍結なし　屋根との一体感
⊖ダクトスペースと吹出口の納まり　給湯への対応　蓄熱スペース

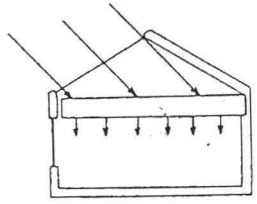
C パッシブ暖房システム

C1 床・壁輻射方式



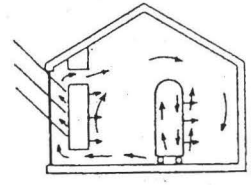
床・壁に集熱し，対流と輻射で室内に熱を伝える．
⊕安価　体感温度の快適性
⊖集蓄熱位置および内装材の制約　熱制御なし

C2 天井輻射方式



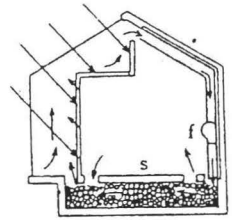
屋根より天井に集熱し，輻射で室内に熱を伝える．
⊕体感温度の快適性
⊖天井裏への熱損失大　非耐震的　熱制御なし

C3 トロンブ壁または水タンク方式



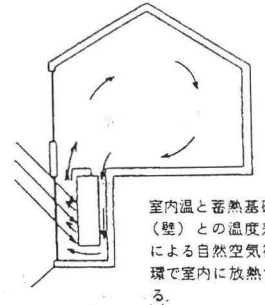
南面のコンクリート壁，または水タンクに集熱し，伝導・対流により室内に熱を伝える．移動型水タンクも可．
⊕蓄熱容量により室内温の安定
⊖南面開口の低下　内装材の制約

C4 サンルーム空気循環方式



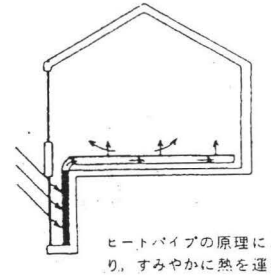
サンルームを中心として，空気循環により各室に熱を運び伝える．
⊕サンルームの受熱量大　寒冷地向き
⊖サンルームのスペースと費用

C5 サーモサイフォン方式



室内温と蓄熱基礎（壁）との温度差による自然空気循環で室内に放熱する．
⊕南面開口と関係なく設定できる
⊖輻射なしで対流のみの放熱

C6 ヒートパイプ方式

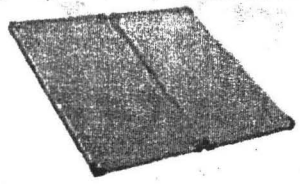
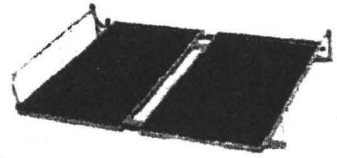
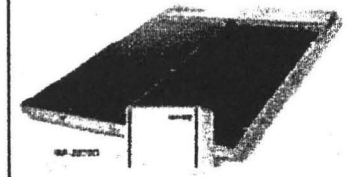


ヒートパイプの原理により，すみやかに熱を運び室内に伝える
⊕動力なし　短時間の熱移送
⊖建築部品として未製品化

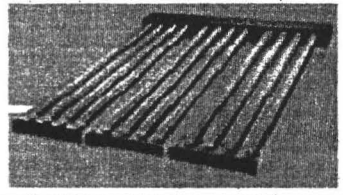
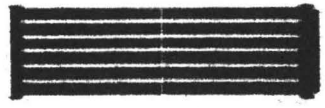
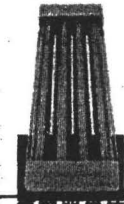
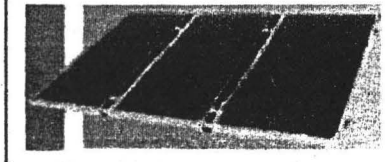
図3-6 給湯方式の分類と特徴

図 3-7 集熱器の性能・特性

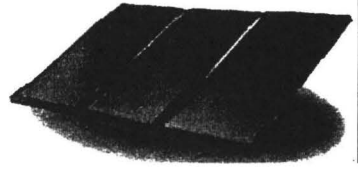
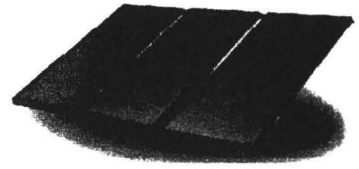
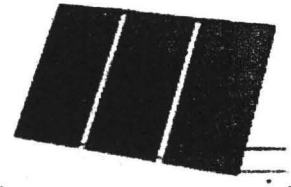
（順位不同）

メーカー名		長州産業	長府製作所	ノーリツ	ノーリツ
外形写真					
システム方式		貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽一体又は別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー
形名		USC-213	CR-175R(L)	SCQ-220	SC-420
集熱器形式		平板型	平板型	平板型	平板型
集熱板表面処理		ﾌﾞﾗｯｸﾎﾟﾘｴｽﾃﾙﾊﾟｳﾀﾞｰｺｰﾄ	ﾌﾞﾗｯｸﾍﾟｲﾝﾄ	選択吸収面	ﾌﾞﾗｯｸﾍﾟｲﾝﾄ
集熱面積	m^2	2	1.75	2	1.75
有効集熱面積	m^2	1.86	1.65	1.91	1.65
外形寸法：短辺	mm	1028	1000	1002	1000
長辺	mm	1948	1750	2002	2010
高さ	mm	80	70	60	85
質量	kg	32	32	40	35
集熱板内容積	L	3	3	2	5
配管サイズ		Rc3/4(メネジ)	Rc1/2(メネジ)	φ12.7 ひも出し管(4方向取出し)	Rc1/2(メネジ)
透過体種類		白板強化ガラス	強化ガラス	強化ガラス	強化ガラス
断熱材種類		グラスウール	発泡スチロール	グラスウール	グラスウール
備考		集熱ホースニップル付属	落水式集熱方式	専用熱媒・タンク仕様	専用集熱器接続セット

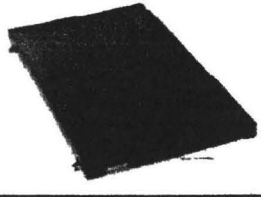
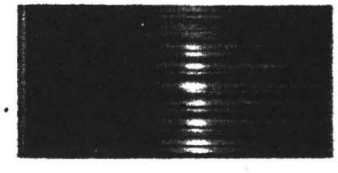
（順位不同）

メーカー名		日本電気硝子	日本電気硝子	日本電気硝子	チリウヒーター
外形写真					
システム方式		真空貯湯型温水器	集熱器単体販売	集熱器単体販売	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー
形名		MK-01	MP6-3000L(R)	SP4-2400	CSC2C
集熱器形式		真空管型	真空管型	真空管型	平板型
集熱板表面処理		選択吸収面	選択吸収面	選択吸収面	ﾌﾞﾗｯｸﾍﾟｲﾝﾄ
集熱面積	m^2	1.57	2.67	1.5	2.04
有効集熱面積	m^2	0.97	1.91	0.91	1.97
外形寸法：短辺	mm	639	897	605	1020
長辺	mm	2460	2972	2472	2000
高さ	mm	177	165	179	65
質量	kg	37	59	40	35
集熱板内容積	L	80	3	80	1.5
配管サイズ		R1/2(オネジ)	R3/4(オネジ)	G3/4(平行オネジ)	Rc3/4(メネジ)
透過体種類		ガラス管(φ126x2t)	ガラス管(φ126x2t)	ガラス管(φ126x2t)	強化ガラス
断熱材種類		真空層	真空層	真空層	グラスウール
備考		貯湯型(2・3・4枚仕様)	真空循環型(センサー付仕様あり)	真空貯湯型	専用熱媒

（順位不同）

メーカー名		矢崎	矢崎	矢崎	矢崎
外形写真					
システム方式		貯湯槽一体の住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー
形名		SP-C1020	SC-E1020	SC-G1020	SC-D1020
集熱器形式		平板型	平板型	平板型	平板型
集熱板表面処理		選択吸収面	選択吸収面	選択吸収面	選択吸収面
集熱面積	㎡	2	2	2	2
有効集熱面積	㎡	1.91	1.91	1.91	1.91
外形寸法：短辺	mm	1002	1002	1002	1002
長辺	mm	2002	2002	2002	2002
高さ	mm	60	60	60	60
質量	kg	40	37	37	40
集熱板内容積	L	2	2	2	2
配管サイズ		φ12.7 ひも出し管(4方向取出し)	φ12.7 ひも出し管(4方向取出し)	φ12.7 ひも出し管(4方向取出し)	φ12.7 ひも出し管(4方向取出し)
透過体種類		強化ガラス	強化ガラス	白板強化ガラス	白板強化ガラス+透明断熱材
断熱材種類		グラスウール	グラスウール	グラスウール	グラスウール
備考		専用熱媒・タンク仕様	専用熱媒・タンク仕様	専用熱媒・タンク仕様	専用熱媒・タンク仕様

（順位不同）

メーカー名		矢崎	矢崎	サンジュニア	
外形写真					
システム方式		集熱器単体販売	集熱器単体販売	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	
形名		SC-X1020	SC-V1020	FAL-S2C	
集熱器形式		平板型	平板型	平板型	
集熱板表面処理		選択吸収面	選択吸収面	選択吸収面	
集熱面積	㎡	2.01	2.01	2.16	
有効集熱面積	㎡	1.91	1.91	1.94	
外形寸法：短辺	mm	1002	1002	1065	
長辺	mm	2002	2002	2030	
高さ	mm	77	77	65	
質量	kg	46.5	46.5	35	
集熱板内容積	L	2	2.5	1.5	
配管サイズ		R1/4(オネジ)	R1/4(オネジ)	G3/4(平行オネジ・4方向取出し)	
透過体種類		強化ガラス	白板強化ガラス+透明断熱材	強化ガラス	
断熱材種類		グラスウール	グラスウール	グラスウール	
備考		左右勝手・センサー付仕様あり	左右勝手・センサー付仕様あり	専用熱媒・タンク仕様	

（順位不同）

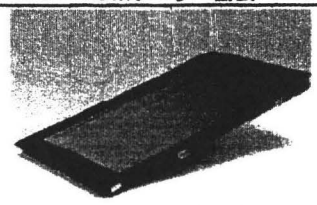
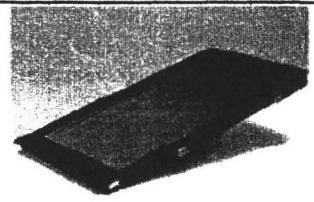
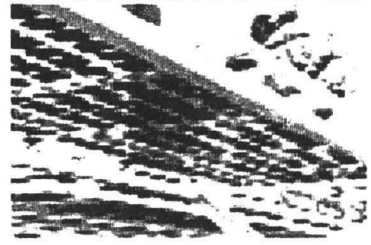
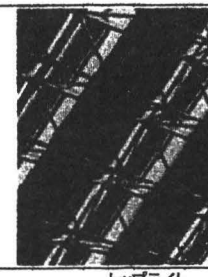
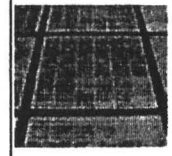
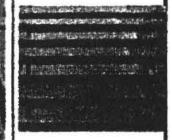
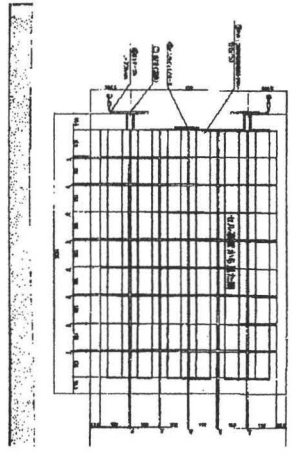
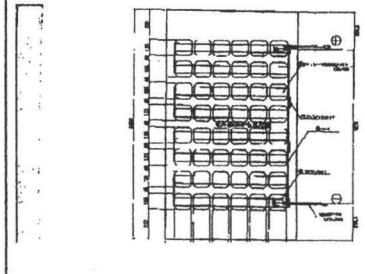
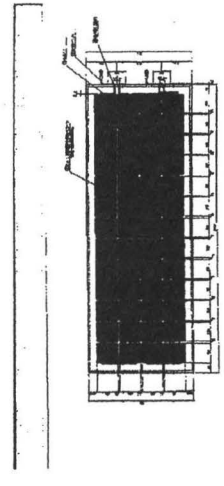
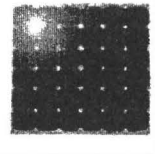
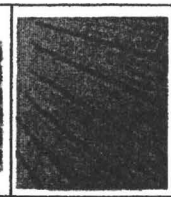
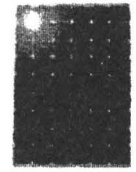
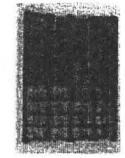
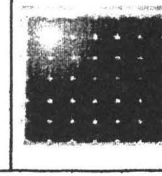
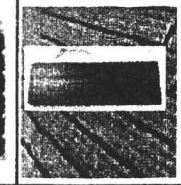
メーカー名		OMソーラー協会	OMソーラー協会	OMソーラー協会	OMソーラー協会
外形写真					
システム方式		OMソーラーシステム	OMソーラーシステム	OMソーラーシステム	OMソーラーシステム
形名		AC-1015H(J)	AC-1022H(J)	AC-0915H(J)	AC-0922H(J)
集熱器形式		平板型空気集熱器	平板型空気集熱器	平板型空気集熱器	平板型空気集熱器
集熱板表面処理		ブラックペイント	ブラックペイント	ブラックペイント	ブラックペイント
集熱面積	㎡	1.6	2.36	1.44	2.13
有効集熱面積	㎡	1.4	2.1	1.2	1.9
外形寸法：短辺	mm	1016	1016	916	916
長辺	mm	1572	2322	1572	2322
高さ	mm	78	78	78	78
質量	kg	33	47	30	43
集熱板内容積	L	–	–	–	–
配管サイズ		ダクト接続口φ100x2個	吐出し口φ100x2個	吐出し口φ100x2個	吐出し口φ100x2個
透過体種類		強化ガラス	強化ガラス	強化ガラス	強化ガラス
断熱材種類		イソシアヌレートフォーム	イソシアヌレートフォーム	イソシアヌレートフォーム	イソシアヌレートフォーム
備考		吐出し口上(J)・後(H)選択可能	吐出し口上(J)・後(H)選択可能	吐出し口上(J)・後(H)選択可能	吐出し口上(J)・後(H)選択可能

図 3-8 太陽電池の性能・特性

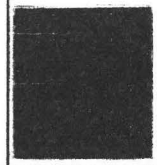
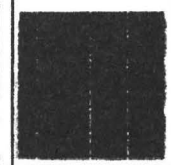
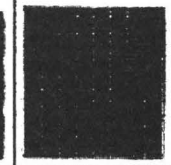
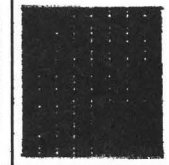
（順位不同）

メーカー名		旭硝子ビル建材エンジニアリング			エム・エス・ケイ	
概要						
設置方式		カーテンウォール	庇	トップライト	屋根材一体型	
形名		—	—	—	MSZ-82P	RK-18
セル種類		多結晶	単結晶	多結晶	多結晶	単結晶
公称最大出力	W	161	104	154	82	43.3
公称最大出力動作電圧	V	24.35	22.32	24.0	17.3	8.9
公称最大出力動作電流	A	6.63	4.68	6.42	4.75	4.87
公称開放電圧	V	32.62	29.62	32.9	21.8	11.16
公称短絡電流	A	7.36	5.24	7.09	5.2	5.46
モジュール効率	%	9.6	5.9	9.1	9.9	12.6
重量	kg	42	75	51	10	5.8
外形寸法：短辺	mm	1045	980	754	903	370
長辺	mm	1603	1800	2230	930	1,262
高さ	mm	13	20	26.8	33	49
備考		合せガラス（代表例） 				

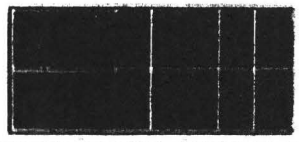
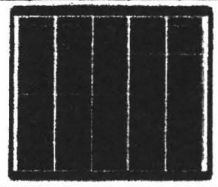
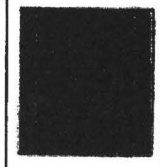
（順位不同）

メーカー名		エム・エス・ケイ				川崎重工業		元旦ビューティ工業			鐘淵化学工業
概要											
設置方式		屋根置き型			屋根材一体型	屋根置き型		屋根材一体型			屋根材一体型
形名		LPS125-180JH	LPS125-135JH	MPS125-90JH	RHH125-72	EC-110	EC-55	DSR-PVS74AK	SBR-PVS59AK	MSR-PVS54AK	エーシックルーフHH
セル種類		単結晶				多結晶		単結晶			薄膜シリコン ハイブリッド
公称最大出力	W	180	135	90	72	110	55	74.2	59.4	54.3	17.5
公称最大出力動作電圧	V	35.6	26.7	17.8	14.8	34.2/17.1	16.1	22.3	17.8	16.3	97.2
公称最大出力動作電流	A	5.05			4.87	3.2/6.4	3.42	3.33			0.181
公称開放電圧	V	44.6	33.5	22.3	18.6	40/20	20	27.7	22.1	20.3	130.0
公称短絡電流	A	5.68			5.41	3.7/7.4	3.9	3.61			0.208
モジュール効率	%	14	13.8		13.1	10.6	10.3	13	12.5	9.8	–
質量	kg	18	14	9	10	12.2	6.8	11	7.5	10.5	4.6
外形寸法:短辺	mm	802			298	1,585	814	345	237	455	350
長辺	mm	1580	1195	815	1,990	653		1650	2000	1212	948
高さ	mm	50			34	35		49	19	47	34
備考						認定:IEC61215,UL1703 IEEE1262, TUF, CE		防災認定:DR-9011			

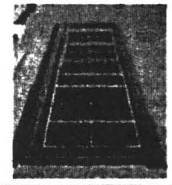
（順位不同）

メーカー名		鐘淵化学工業				京セラ	京セラ	京セラ	京セラ	京セラ	京セラ
概要											
設置方式		屋根置き型	陸屋根型		窓材型	勾配屋根型	陸屋根型	勾配屋根型	陸屋根型	勾配屋根型	
形名		エーシックルーフHS	エーシックルーフHR	エーシックルーフSL	シースルータイプ	R136	G136	R158	G158	R162	R167
セル種類		薄膜シリコン ハイブリッド		薄膜シリコン アモルファス		多結晶	多結晶				
公称最大出力	W	36.5		58.0	38.0	136	136	158		162	167
公称最大出力動作電圧	V	48.6		63.0	59.6	20.3	20.3	23.2			
公称最大出力動作電流	A	0.751		0.92	0.638	6.70	6.70	6.82		6.99	7.20
公称開放電圧	V	65.0		85.0	91.8	25.0	25.0	28.9			
公称短絡電流	A	0.864		1.12	0.972	7.53	7.53	7.58		7.77	8.0
モジュール効率	%	8.4		6.6	4.1	12.2%	12.5%	12.1%	12.4%		12.8%
質量	kg	5.4	5.9	13.5	22.6	14.5	14.0	16.5	15.0	16.5	
外形寸法:短辺	mm	465		920	950	993	971	1012	990	1012	
長辺	mm	939	950	950	980	1120	1120	1290			
高さ	mm	25.5	40		10	36	36	36			
備考											

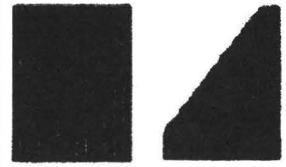
（順位不同）

メーカー名		京セラ						クボタ			神戸製鋼所
概要											
設置方式		勾配屋根型		屋根材一体型	屋根材一体型	勾配屋根型	陸屋根型	屋根材一体型			サッシュ等
形名		SU41	SU55	E63	E59	SPR167	SPG167	PVY-10-001	PVY-10-003	PVH-30-001	ASIOPAK-30-SG
セル種類		多結晶					多結晶	薄膜多結晶		HIT太陽電池	アモルファス
公称最大出力	W	41	55	63	59	167	167	37.5	34.5	64.0	32
公称最大出力動作電圧	V	5.75	7.7	9.3		23.2	23.2	100	90	22.8	36
公称最大出力動作電流	A	7.30		6.78	6.35	7.2	7.2	0.375	0.383	3.76	0.89
公称開放電圧	V	7.2	9.6	11.8		28.9	28.9	130	123	18.2	49
公称短絡電流	A	8.0		7.35	6.94	8.0	8.0	0.434	0.453	3.52	1.13
モジュール効率	%	12.2%	12.3%	10.0%	9.4%	12.8%	13.1%	9.3	8.6	16.0	5.3
質量	kg	3.7	4.8	7.5		16.0	15.0	7.3	7.3	6.8	14
外形寸法:短辺	mm	345		713		1012	990	439			600
長辺	mm	972	1296	885		1290	1290	910			1000
高さ	mm	20		38		36	36	20			10
希望小売価格(税別)	円	段葺き形状		防災認定品				防災認定DR-9004			フレームなし

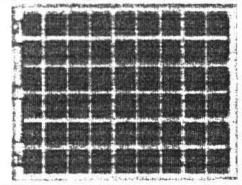
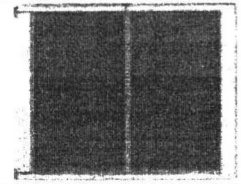
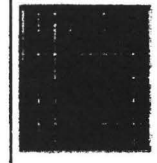
（順位不同）

メーカー名		神戸製鋼所					三晃金属工業			シャープ	
概要											
設置方式		架台据付型				サッシュ等	屋根材一体型			勾配屋根型(寄棟)	
形名		ASE-100-GT-FT/K	ASE-250-DG-FT/MC	ASE-300-DG-FT	ASI-F32/12	ASITHRU-30-SG	ソーラー段ルーフ26N	ソーラー単結晶フラット		NE-100BC	NE-050BL/BR
セル種類		多結晶			アモルファス	アモルファス	単結晶		多結晶	多結晶	
公称最大出力	W	100	275	300	32.2	27	72.0	108.0	88.0	100	50
公称最大出力動作電圧	V	34.5	59.1	51.2	16.8	36	14.8	22.2	9.33	20.30	10.15
公称最大出力動作電流	A	2.9	4.65	5.9	1.92	0.75	4.87		7.30	4.93	
公称開放電圧	V	42.5	73.1	60	22.8	49	18.6	27.9	12.0	25.70	12.85
公称短絡電流	A	3.2	5.07	6.4	2.5	1.02	5.41		8.00	5.30	
モジュール効率	%	12.1	13	12.4	5.3	4.5	-			13.2	10.2
質量	kg	8.5	41	50	6.2	14	13.2	30.5	13.0	9.9	7.2
外形寸法:短辺	mm	644	1336	1283	605	600	275	500		802	
長辺	mm	1282	1605	1892	1005	1000	2000		1750	945	
高さ	mm	35	50	51	34	10	34	43	34	46	
備考		合わせガラス				シースルー型					5角形

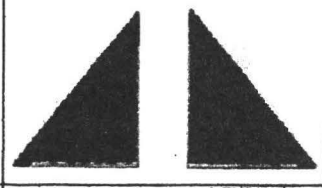
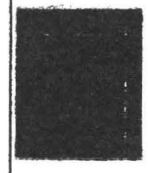
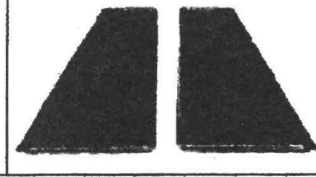
（順位不同）

メーカー名		三洋電機				シャープ					
概要											
設置方式		屋根置き型			屋根材一体型	勾配屋根型(寄棟)		勾配屋根型(切妻)	陸屋根型	屋根材一体型	
形名		HIP-200B2	HIP-190B2	HIP-180B2	HIP-4512B4	ND-146CM	NE-073LM/RM	NT-167AK	NT-87A1H	NE-36K5F	NE-36K4F
セル種類		HIT太陽電池				多結晶		単結晶	単結晶	多結晶	
公称最大出力	W	200	190	180	45	146	73	167	87	51	37
公称最大出力動作電圧	V	55.8	54.8	54.0	12.9	20.42	10.21	41.24	17.58	10.46	7.59
公称最大出力動作電流	A	3.59	3.47	3.33	3.49	7.15		4.05	4.95	4.88	
公称開放電圧	V	68.7	67.5	66.4	16.6	25.38	12.69	50.30	22.14	13.30	9.70
公称短絡電流	A	3.83	3.75	3.65	3.71	7.89		4.29	5.37	5.24	
モジュール効率	%	17.0	16.1	15.3	働き寸法により異なる	12.7	9.7	17.4	13.7	11.9	10.8
重量	kg	14.0			6.0	14.5	10.5	14.0	8.5	8.4	5.1
外形寸法:短辺	mm	894			345	990		802	530	280	
長辺	mm	1319			1415	1165		1200	1200	1535	1228
高さ	mm	35				46		55	35	29.7	
備考					防火認定品	5角形				防災認定品	

（順位不同）

メーカー名		シャープ								昭和シェル石油	
概要											
設置方式		勾配屋根型(切妻)		陸屋根型		窓材型		トップライト型		勾配屋根型	勾配屋根型
形名		ND-150AM	NE-132AK	ND-Q7A1K	NE-L0A1H	結晶系採光型		薄膜系採光型		RS172-AS	RK148-HP
セル種類		多結晶				多結晶		薄膜太陽電池		単結晶	多結晶
公称最大出力	W	150	132	167	120	218	111	19		109	158
公称最大出力動作電圧	V	20.50	26.78	23.53	25.70	50.5	25.3	46		34.6	23.2
公称最大出力動作電流	A	7.32	4.93	7.10	4.67	4.32	4.41	0.42		3.15	6.82
公称開放電圧	V	25.40	33.17	29.02	31.90	64.4	32.2	62		43.2	28.9
公称短絡電流	A	8.09	5.40	7.91	5.31	4.91	5.02	0.54		3.44	7.58
モジュール効率	%	13.0	13.7	12.6	12.5	7.3	7.4	4.1		12.8	12.1
質量	kg	14.5	12.5	16.0	12.5	93.0	66.0	23.0	33.0	11.0	16.5
外形寸法:短辺	mm	990	802	1004	802	1500	1000	800		869	1012
長辺	mm	1165	1200	1323	1200	2000	1500	965		982	1290
高さ	mm	46				14.5±2	25.3±2	14.5±2	27.3±2	35	36
備考						合わせガラス	複層ガラス	合わせガラス	複層ガラス		

（順位不同）

メーカー名		昭和シェル石油								松下電器産業	
概要											
設置方式		勾配屋根型			勾配屋根型/陸屋根型	陸屋根型	屋根材型			勾配屋根型	陸屋根型
形名		RS128-AL	RS128-AR	RS156-2PA	SP75	RK148/A-HP	PMR172-45S	PMR172-45L	PMR172-45R	BP-K54SH125L	FY-SS111A66
セル種類		単結晶				多結晶	単結晶			多結晶	単結晶
公称最大出力	W	42		42×2回路	73	158	109			125.0	111.21
公称最大出力動作電圧	V	13.4			17.0	23.2	34.6			26.0	33.0
公称最大出力動作電流	A	3.15			4.4	6.82	3.15			4.81	3.37
公称開放電圧	V	16.8			21.7	28.9	43.2			32.3	40.8
公称短絡電流	A	3.44			4.8	7.58	3.44			5.46	3.75
モジュール効率	%	9.6		9.8	11.5	12.4	11.8	10.5		13.0	14.5
質量	kg	5.9		11.0	7.6	15.5	11.0	12.6		12.5	10.0
外形寸法:短辺	mm	893		869	527	990	900	542, 1476.5		802	645
長辺	mm	982		982	1200	1290	1027	1027		1200	1185
高さ	mm	35			34	36	35			46	35
備考		三角形(左用)	三角形(右用)				防災認定品	台形(左用):防災認定品	台形(右用):防災認定品		

（順位不同）

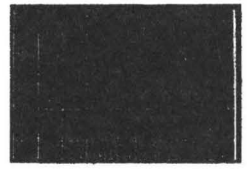
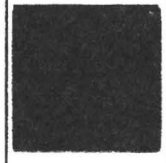
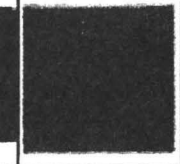
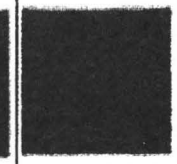
メーカー名		松下電工			三菱電機						
概要											
設置方式		屋根材型		屋根置き型	勾配屋根型		屋根材型	勾配屋根型	陸屋根型		
形名		MD-PD125S	MD-P125S	MD-PH125S	PV-MR134C	PV-MG134CR	PV-MY075AC/AS	PV-MM100C	PV-MF134C	PV-MG134CF	PV-MG076BFT
セル種類		多結晶			多結晶						
公称最大出力	W	125			134		75	100	134		78
公称最大出力動作電圧	V	26.0			19.4		11.4	15.3	19.4		11.2
公称最大出力動作電流	A	4.80			6.91		6.56	6.56	6.91		6.8
公称開放電圧	V	32.3			24.3		14.4	19.2	24.3		14.5
公称短絡電流	A	5.46			7.43		7.12		7.43		7.45
モジュール効率	%	12.16	-	-	12.7		11.8	11.7	13.4		12.2
質量	kg	12.0			5		8.5	11	12.5		8.5
外形寸法:短辺	mm	844	812	802	827		493(働き寸法)	675	803		499
長辺	mm	1218	1210	1200	1271		1288.6(働き寸法)	1270	1248		
高さ	mm	27	20	46	37		25.8(働き寸法)	37	46		
備考		防災認定DR-0010					防火認定品				高所設置用

図 3-8-2 パワーコンディショナ(住宅用)

メーカー名			オムロン	京セラ			クボタ	クボタ	三洋電機		
概要											
形名			KP40F /KP-DP1	PVN-302	PVN-402	PVN-550	PVX-10-041	PVH-30-041	SSI-TL40A2		
使用環境条件	本体		-10～40℃	-10～40℃			-10～40℃		-10～40℃		
	リモコン		-0～40℃	—	—	—	-10～40℃		—		
入力回路数			—	1			1		1		
定格入力電圧		V	240	225		236	240	250	250		
入力動作電圧範囲		V	DC100～370	DC100～370		DC100～350	DC100～370	DC70～370	DC90～370		
定格出力電圧、定格周波数	連系運転時	V, Hz	202、50/60	202,50/60			202,50/60		202,50/60		
	自立運転時	V, Hz	101, 50/60	101,50/60			101,50/60		101,50/60		
定格出力電力	連系運転時	kW	4	3	4	5.5	4		4.0		
	自立運転時	kW	1.5	1.5			1.5		1.5		
定格電力変換効率		%	93.5%	93.5%		94.0%	93.5%	94.5%	94.5%		
騒音		dB	—	40		35	36.7(実測)	34以下	34以下		
主回路方式	インバータ方式		電圧型電流制御	電圧型電流制御			電圧型電流制御		電圧型電流制御		
	絶縁方式		非絶縁トランスレス方式	非絶縁トランスレス方式			非絶縁トランスレス方式		非絶縁トランスレス方式		
単独運転検出方式	能動		無効電力変動検出	無効電力変動検出			無効電力変動検出	周波数シフト方式	周波数シフト方式		
	受動		周波数変化率検出	周波数変化率検出		電圧位相跳躍検出	周波数変化率検出	電圧位相跳躍検出	電圧位相跳躍検出		
認証登録番号			P-0068	P-0070	P-0069	P-0061	P-0068	P-0083	P-0073		
質量	本体	kg	13	13		19.8	13	14	14.0		
	リモコン、表示部	kg	—	—	—	—	0.12	0.14	—		
外形寸法(W×D×H)	本体	mm	460×135×280	460×135×280		580×162×280	460×280×135	490×265×152	490×156×270		
	リモコン	mm	80×20×120				80×120×20	120×120×15	—		
備考									モニター表示器(別売)		

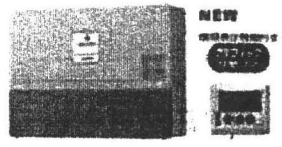
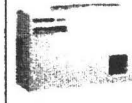
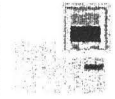
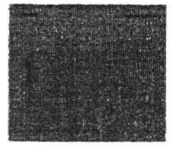
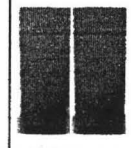
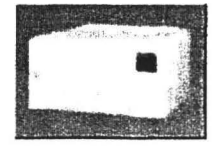
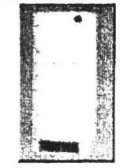
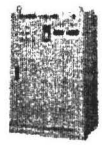
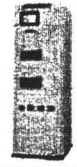
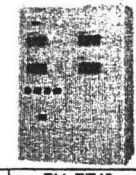
メーカー名			シャープ			日本電池	松下電器産業	松下電工	三菱電機	三菱電機	三菱電機
概要											
形名			JH-S303	JH-M303	JH-L305	LBSC-4.5-S3CF	BP-NV4KL	PV-PC1	PV-PN04D	PV-PN06B3	PV-PS05C2
使用環境条件	本体		-10～40℃			－10～41℃	-10～45℃	屋内	0～40℃		-20～40℃
	リモコン		0～40℃			-10～40℃	—	屋内	—	—	-10～40℃
入力回路数			3		5	—	1	5	1		3
定格入力電圧		V	200		—	220	200	200	236	234	
入力動作電圧範囲		V	DC80～320			DC100～250	DC145～350	DC100～350	DC115～350		DC100～300
定格出力電圧、定格周波数	連系運転時	V, Hz	202,50/60			202,50/60	202,50/60	202,50/60	202,50/60		
	自立運転時	V, Hz	101,50/60			100,50/60	101,50/60	101,50/60	101,50/60		
定格出力電力	連系運転時	kW	3.0	4.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.3	5	4
	自立運転時	kW	1.5			1.5	1.5	1.5	1.5		
定格電力変換効率		%	91.0			93.5%	93.5%	95.0%	94.5%	94.5%	94.0%
騒音		dB	—	—	—	—	35以下	—	36以下		45以下
主回路方式	インバータ方式		電圧型電流制御			電圧型電流制御	電流制御方式	正弦波PMW方式	電圧型電流制御		
	絶縁方式		高周波絶縁トランス			非絶縁トランスレス方式	非絶縁トランスレス方式	非絶縁トランスレス方式	非絶縁トランスレス方式		
単独運転検出方式	能動		周波数シフト方式			無効電力変動検出	周波数シフト方式	周波数シフト方式	周波数シフト方式		
	受動		電圧位相跳躍検出			電圧位相跳躍検出	電圧位相跳躍検出	電圧位相跳躍検出	電圧位相跳躍検出		
認証登録番号			P-0078	P-0084	P-0079	P-0032	P-0074	P-0071	P-0082	P-0048	
質量	本体	kg	24	25	32	16	約20	16.5	13.3	21.4	23
	リモコン、表示部	kg	0.2			0.2	約0.2	0.15	—	—	0.2
外形寸法(W×D×H)	本体	mm	560×208×410		698×208×410	580×160×290	450×150×300	480×285×*135	430×140×240	635×170×250	630×175×379
	リモコン	mm	137×20×117			120×16×120	120×116×22	120×116	—	—	116×19×128
備考											

図 3-8-3 パワーコンディショナ(産業用)

(順位不同)

メーカー名			京セラ						山洋電気				
													
形名			PC-01000GP	PC-01000SX-10	PC-01000SX-20	PC-01000SX-30	PC-01000SX-40	PC-01000SX-50	PMC100TD	PMC200TD	PMC300TD	PMC400TD	PMC500TD
電気方式			三相3線式						三相3線式				
定格容量		kW	10	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
使用環境条件	周囲温度	℃	-10～50℃	-10～50℃					-10～40℃(40℃以上50℃までは出力制限にて運転可能)				
	相対湿度	%	10～95%結露なきこと	30～90%結露なきこと					30～90%結露なきこと				
定格入力電圧		V	DC300	DC300					DC300				
入力動作電圧範囲		V	DC200～500	DC200～500					DC200～500				
出力電圧、周波数		V、Hz	AC202,50/60	AC200,50/60					AC200,自動同期50/60				
電力変換効率		%	定格92.5	定格92					ユニット効率92%(JIS C 8961に基く効率測定法による定格負荷時)				
出力基本波力率			0.95以上	0.95以上					0.95以上				
高調波歪率		%	総合5%以下、各次3%以下	総合5%以下、各次3%以下					総合電流5%以下、各次調波3%以下				
電力制御方式			最大電力点追従、進相無効電力制御	太陽電池最大電力点追従方式、進相無効電力制御					太陽電池最大電力点追従方式				
インバータ方式			電圧型電流制御方式	電圧型電流制御方式					電圧型電流制御方式				
絶縁方式			トランスレス方式	トランスレス方式					トランスレス方式				
連系保護			系統過電圧、不足電圧、周波数上昇、周波数不足	系統過電圧、不足電圧、周波数上昇、周波数不足					系統過電圧、不足電圧、周波数上昇、周波数不足、地絡過電圧(外部接点信号受け)				
単独運転検出	能動		無効電力変動方式	無効電力変動方式					無効電力変動方式				
	受動		電圧位相跳躍検出	電圧位相跳躍検出					電圧位相跳躍検出				
外形寸法	低圧	mm	600×285×550	600×580×1045	600×580×1345	600×580×1645	1200×580×1645	1200×580×1645	600×580×1045	600×580×1345	600×580×1645	1200×580×1345	1200×580×1345
	高圧	mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
質量	低圧	kg	55	125	195	265	380	430	125	195	265	380	430
	高圧	kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
備考													

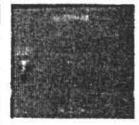
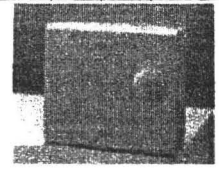
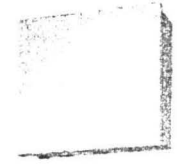
（順位不同）

メーカー名			三菱電機									富士電機
概要												—
形名			PV-PS05	PV-PS10	PV-PS15	PV-PS20	PV-PT10	PV-PT20	PV-PT30	PV-PT40	PV-PT50	Pvplus10
電気方式			単相2線式(単相3線式配電盤に連系)				三相3線式					三相3線方式
定格容量		kW	5	10	15	20	10	20	30	40	50	10
使用環境条件	周囲温度	℃	0～40℃									-10～40℃
	相対湿度	%	30～90%									—
定格入力電圧		V	DC234				DC300					DC300
入力動作電圧範囲		V	DC115～350				DC180～440					DC190～450
出力電圧、周波数		V、Hz	AC202、50/60									AC202、50/60
電力変換効率		%	定格94.5				中性点接地時：定格94%、1相接地時：定格93%					93
出力基本波力率			0.95以上									0.95以上
高調波歪率		%	総合5%以下、各次3%以下									総合5%以下、各次3%以下
電力制御方式			太陽電池最大電力点追従方式、進相無効電力制御									—
インバータ方式			電圧型電流制御方式									—
絶縁方式			トランスレス方式									トランスレス方式
連系保護			系統過電圧、不足電圧、周波数上昇、周波数不足				系統過電圧、不足電圧、周波数上昇、周波数不足、(系統地絡過電圧)					OV,UV,OF,UF
単独運転検出	能動		周波数シフト									—
	受動		電圧位相跳躍検出									—
外形寸法	低圧	mm	813×400×1300	813×600×1300	1000×800×1600	1000×800×1830	600×700×1350	600×700×1850	600×700×1850	1200×700×1850	1200×700×1850	800×700×1950
	高圧	mm	—	—	—	—	—	600×700×1850	1200×700×1850	1200×700×1850	1200×700×1850	—
質量	低圧	kg	120	190	280	330	190	300	350	590	640	290
	高圧	kg	—	—	—	—	—	310	550	600	650	—
備考												

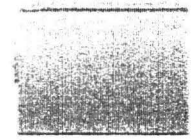
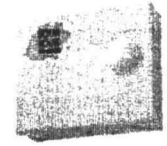
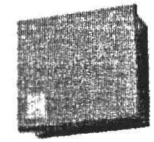
（順位不同）

メーカー名			日新電機					
概要			—					
形名			SP-310-AC	SP310	SP320	SP330	SP340	SP350
電気方式			三相3線式	三相3線式				
定格容量		kW	10	10	20	30	40	50
使用環境条件	周囲温度	℃	0～40℃					
	相対湿度	%	30～90%					
定格入力電圧		V	DC270	DC270				
入力動作電圧範囲		V	DC220～350	DC220～350				
出力電圧，周波数		V，Hz	AC202,50/60					
電力変換効率		%	定格90%	定格90%				
出力基本波力率			0.95以上					
高調波歪率		%	総合5%以下，各次3%以下					
電力制御方式			太陽電池最大電力点追従方式，進相無効電力制御					
インバータ方式			電圧型電流制御方式					
絶縁方式			高周波絶縁方式	商用周波数絶縁方式（変圧器内臓）				
連系保護			系統過電圧、不足電圧、周波数上昇、周波数不足					
単独運転検出	能動		無効電力変動方式					
	受動		電圧位相跳躍検出					
外形寸法	低圧	mm	700×250×630	800×750×1900	1000×750×1900	1000×750×1900	1200×750×1900	1200×750×1900
	高圧	mm	700×250×630	800×750×1900	1000×750×1900	1000×750×1900	1200×750×1900	1200×750×1900
質量	低圧	kg	60	600	800	900	1100	1200
	高圧	kg	60	600	800	900	1100	1200
備考								

（順位不同）

メーカー名		京セラ				クボタ			三洋電機		
概要											
形名		JBD303	JBD404	JBD306	SD34	PVX-10-011	PVX-10-012	PVH-30-011	PVC-SK4	PVC-SK6	PVC-SK7
設置場所		屋内・屋外				屋内			屋内・屋外		
最大入力電圧	V	300			500	DC300V	DC300V	DC300V	450		
入力回路数		3	4	6	4	6	10	6	4	6	7
入力回路定格電流	A/回路	7.6			8.4	10			4		
出力回路定格電流	A	22.8	30.4		50	30	30	30	16	24	28
質量	kg	5.8	7.1	7.3	18	3.6	4.6	3.6	2.6	2.8	3.0
外形寸法:幅	mm	300	400		500	285	385	285	344		
高さ	mm	300	300		500	254			295		
奥行	mm	120			200	90			115		
備考											

（順位不同）

メーカー名		山洋電気			シャープ		昭和シェル石油				
概要		—	—	—							
形名		GBPM07D00	GBPM15D00	GBPM05D00	SZ40JB	SZ41JB	NTB06	NTB10	KDB03	KDB04	接続箱5回路
設置場所		屋内・屋外			屋内・屋外		屋内・屋外				
最大入力電圧	V	500			350		250		300		
入力回路数		7	15	5	5	4	6	10	3	4	5
入力回路定格電流	A/回路	6		8	5.0	7.4	5		8		
出力回路定格電流	A	42	90	40	25		30	50	24	30	50
質量	kg	30	40	30	3.5		3.6	4.6	3.3	3.4	15
外形寸法:幅	mm	500	700	500	387		285	385	260		500
高さ	mm	600			295		254		250		400
奥行	mm	200			130		90		100		120
備考											

（順位不同）

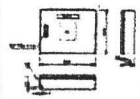
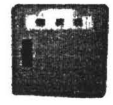
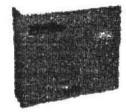
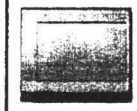
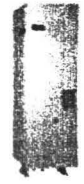
メーカー名		昭和シェル石油	日新電機	日本電池		松下電器産業㈱		松下電工㈱	三菱電機㈱			
概要			—									—
形名		接続箱10回路	—	LBJ-20-P12C	LBJ-4.5-P5A	BP-JL5CKP	ME-JH10CK	PV-JB	PV-CWX4B	PV-CN04E	PV-CN05C	PV-CNS192
設置場所		屋内・屋外	太陽電池架台	屋外		屋外		屋内壁掛け型	屋内・屋外雨線内			屋外
最大入力電圧	V	300	450	500		375	450	450	300			450
入力回路数		10	20	12	5	5	7	2～5	3+2(昇圧)	3	4	5
入力回路定格電流	A/回路	30	10	10		10	5	50/2～5	7			8
出力回路定格電流	A	75	100	100	50	30	50	50	28	21	28	40
質量	kg	19	40	25	10	3.6	39	3.6～4.0	9	3.3	3.4	12
外形寸法:幅	mm	600	600	500	300	285	605	415	500	260		400
高さ	mm	400	780	600	300	254	730	325	256	250		400
奥行	mm	120	200	160	120	90	182	97	120	100		120
備考												

図 3-9 蓄熱システムの性能・特性

（順位不同）

メーカー名		長州産業	長府製作所	長府製作所	ノーリツ
外形写真					
システム方式		貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー
形名		UST-302	SWRT-200	SWRT-300	HTA-272
貯湯槽形式		水道直結・密閉式	給湯加圧ポンプ給湯・開放式	給湯加圧ポンプ給湯・開放式	給湯加圧ポンプ給湯・開放式
タンク容量	L	300	210	280	270
外形寸法:	mm	610Wx660Dx1712H	560Wx719Dx1868H	560Wx719Dx1868H	610Wx660Dx1495H
質量(乾燥時)	kg	66	58	58	47
電源		AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)
消費電力	W	120/153 (50/60Hz)	313/355 (50/60Hz)	313/355 (50/60Hz)	85/120 (50/60Hz)
集熱ポンプ揚程	m	8/10 (50/60Hz)	16/20 (50/60Hz)	16/20 (50/60Hz)	9/13 (50/60Hz)
最高使用圧力	kPa	186(減圧弁167)	156/196 (50/60Hz)	156/196 (50/60Hz)	78
接続口: 給水・給湯		R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	給水:G1/2、給湯R1/2
排水		Rp1/2(平行メネジ)	Rc1/2(メネジ)	Rc1/2(メネジ)	R1/2(オネジ)
集熱回路		Rp1/2(平行メネジ)	Rc1/2(メネジ)	Rc1/2(メネジ)	R1/2(オネジ)
貯湯槽材質		SUS444系ステンレス鋼	高密度ポリエチレン	高密度ポリエチレン	高密度ポリエチレン
備考		不凍液循環式	落水式集熱方式	落水式集熱方式	給湯圧力78.5kPa(0.8kgf/cm²)

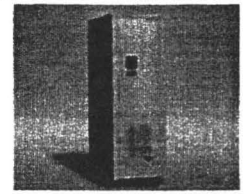
（順位不同）

メーカー名		ノーリツ	ノーリツ	チリウヒーター	
外形写真					
システム方式		貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	
形名		HTA-272D	ST-342D	CSTP304	
貯湯槽形式		給湯加圧ポンプ給湯・開放式	水道直結・密閉式	水道直結・密閉式	
タンク容量	L	270	300	300	
外形寸法:	mm	610Wx770Dx1495H	610Wx660Dx1700H	595Wx718Dx1841H	
質量	kg	61	90	78	
電源		AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	
消費電力	W	160/225 (50/60Hz)	75/110 (50/60Hz)	80/110 (50/60Hz)	
集熱ポンプ揚程	m	9/13 (50/60Hz)	9/13 (50/60Hz)	10.2/13.4 (50/60Hz)	
最高使用圧力	kPa	196	441(減圧弁392)	196	
接続口: 給水・給湯		給水:G1/2、給湯R1/2	R3/4(オネジ)	給水:R3/4、給湯Rc3/4	
排水		R1/2(オネジ)	R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	
集熱回路		R1/2(オネジ)	R3/4(オネジ)	Rp1/2(平行メネジ)	
貯湯槽材質		高密度ポリエチレン	SUS316系ステンレス鋼	SUS444ステンレス鋼	
備考		給湯圧力196.2kPa(2.0kgf/cm²)	不凍液循環式	不凍液循環式	

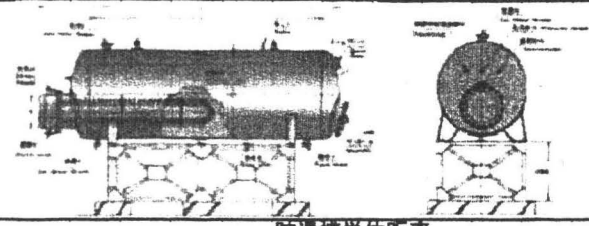
（順位不同）

メーカー名		矢崎	矢崎	矢崎	サンジュニア
外形写真					
システム方式		貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー・床暖房	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー
形名		HT-E30	HT-D30-P	HT-D30-PW	SA-300A
貯湯槽形式		水道直結・密閉式	水道直結・密閉式	水道直結・密閉式	水道直結・密閉式
タンク容量	L	300	300	300	300
外形寸法:	mm	591Wx693Dx1717H	632Wx752Dx1912H	632Wx752Dx1912H	650Wx750Dx1518H
質量(乾燥時)	kg	62	88	94	70
電源		AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)
消費電力	W	95/130 (50/60Hz)	85/125 (50/60Hz)	85/125 (50/60Hz)	130/180 (50/60Hz)
集熱ポンプ揚程	m	9/12 (50/60Hz)	9/12 (50/60Hz)	9/12 (50/60Hz)	8/8 (50/60Hz)
最高使用圧力	kPa	294(減圧弁245)	294(減圧弁245)	294(減圧弁245)	98
接続口: 給水・給湯		R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)
排水		R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	φ13
集熱回路		φ12ゴムパイプ	φ12ゴムパイプ	φ12ゴムパイプ(暖房用熱交も同じ)	R1/2(オネジ)
貯湯槽材質		SUS445系ステンレス鋼	SUS445系ステンレス鋼	SUS445系ステンレス鋼	SUS444系ステンレス鋼
備考		不凍液循環式	不凍液循環式	不凍液循環式・暖房用熱交内臓	不凍液循環式

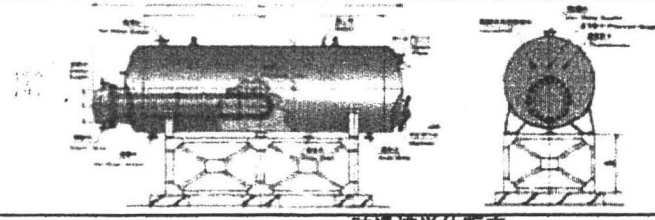
（順位不同）

メーカー名		サンジュニア	サンジュニア	OMソーラー協会	
外形写真					
システム方式		貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	貯湯槽別置きの住宅用ソーラー	
形名		SA-400A	SA-500A	HT-D30P-OM	
貯湯槽形式		水道直結・密閉式	水道直結・密閉式	水道直結・密閉式	
タンク容量	L	370	460	300	
外形寸法:	mm	650Wx750Dx1898H	650Wx750Dx2123H	632Wx752Dx1912H	
質量	kg	80	94	80	
電源		AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	AC100V (50/60Hz)	
消費電力	W	130/180 (50/60Hz)	130/180 (50/60Hz)	85/125 (50/60Hz)	
集熱ポンプ揚程	m	8/8 (50/60Hz)	8/8 (50/60Hz)	9/12 (50/60Hz)	
最高使用圧力	kPa	98	98	294(減圧弁245)	
接続口: 給水・給湯		R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	R3/4(オネジ)	
排水		φ13	φ13	R3/4(オネジ)	
集熱回路		R1/2(オネジ)	R1/2(オネジ)	φ12ゴムパイプ	
貯湯槽材質		SUS444系ステンレス鋼	SUS444系ステンレス鋼	SUS444系ステンレス鋼	
備考		不凍液循環式	不凍液循環式	不凍液循環式	

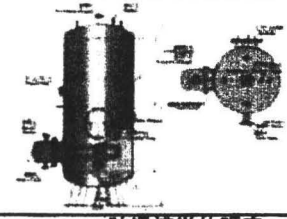
（順位不同）

メーカー名		ベルテクノ								
外形図										
システム方式		貯湯槽単体販売								
形名		SHS-5	SHS-8	SHS-10	SHS-15	SHS-20	SHS-25	SHS-30	SHS-35	SHS-40
貯湯槽形式		密閉式								
タンク容量	L	500	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
外形寸法：胴内径	mm	700	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1300
全長	mm	2300	3000	3100	3400	3500	3500	3600	3700	4000
質量	kg	220	250	300	340	500	600	700	800	900
板厚 ：胴	mm	3	3	3	3	4	4	4	5	5
鏡	mm	3	3	4	4	5	5	6	6	6
最高使用圧力	kPa	490								
接続口：給水	A	40	50	50	65	65	80	80	80	80
給湯	A	50	65	65	80	80	100	100	100	100
排水	A	32	32	32	40	40	50	50	50	65
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)								
備考		横型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準								

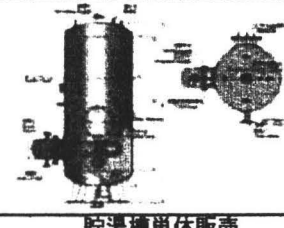
（順位不同）

メーカー名		ベルテクノ							
外形図									
システム方式		貯湯槽単体販売							
形名		SHS-45	SHS-50	SHS-55	SHS-60	SHS-70	SHS-80	SHS-90	SHS-100
貯湯槽形式		密閉式							
タンク容量	L	4500	5000	5500	6000	7000	8000	9000	10000
外形寸法：胴内径	mm	1400	1400	1500	1500	1600	1600	1600	1600
全長	mm	4100	4200	4350	4550	5050	5500	6150	6600
質量	kg	1100	1200	1400	1500	1600	1900	2000	2200
板厚 ：胴	mm	5	5	6	6	6	6	6	6
鏡	mm	6	6	8	8	8	8	8	8
最高使用圧力	kPa	490							
接続口：給水	A	80	80	100	100	125	125	125	150
給湯	A	100	100	125	125	125	125	125	150
排水	A	65	65	80	80	100	100	100	125
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)							
備考		横型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準							

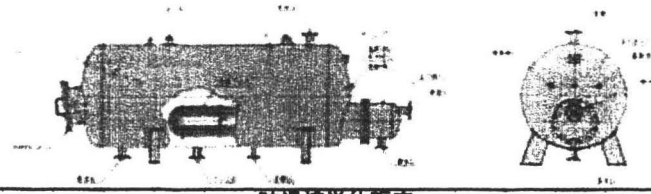
（順位不同）

メーカー名		ベルテクノ								
外形図										
システム方式		貯湯槽単体販売								
形名		SVS-5	SVS-8	SVS-10	SVS-15	SVS-20	SVS-25	SVS-30	SVS-35	SVS-40
貯湯槽形式		密閉式								
タンク容量	L	500	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
外形寸法: 胴内径	mm	700	800	900	1000	1100	1200	1200	1300	1400
全高	mm	2050	2200	2200	2550	2800	2950	3300	3350	3400
質量	kg	220	250	300	380	500	600	650	700	1000
板厚 :胴	mm	3	3	4	4	4	5	5	5	5
鏡	mm	3	4	4	5	5	6	6	6	6
最高使用圧力	kPa	490								
接続口: 給水	A	40	50	50	65	65	65	80	80	80
給湯	A	50	65	65	80	80	100	100	100	100
排水	A	40	40	40	50	50	65	65	65	80
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)								
備考		縦型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準								

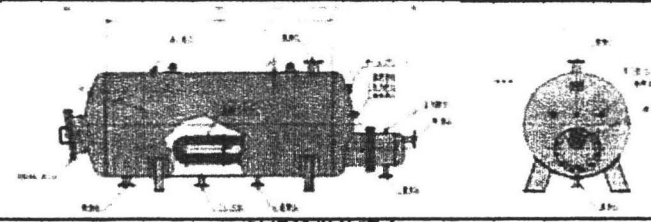
（順位不同）

メーカー名		ベルテクノ							
外形図									
システム方式		貯湯槽単体販売							
形名		SVS-45	SVS-50	SVS-55	SVS-60	SVS-70	SVS-80	SVS-90	SVS-100
貯湯槽形式		密閉式							
タンク容量	L	4500	5000	5500	6000	7000	8000	9000	10000
外形寸法: 胴内径	mm	1400	1500	1600	1600	1700	1800	1800	2000
全高	mm	3600	3650	3700	3800	3850	4100	4500	4200
質量	kg	1100	1200	1300	1400	1550	1900	2000	2200
板厚 :胴	mm	5	6	6	6	6	6	6	8
鏡	mm	6	8	8	8	8	8	8	10
最高使用圧力	kPa	490							
接続口: 給水	A	80	100	100	100	125	125	125	150
給湯	A	100	125	125	125	125	125	125	150
排水	A	80	80	100	100	100	100	100	125
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)							
備考		縦型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準							

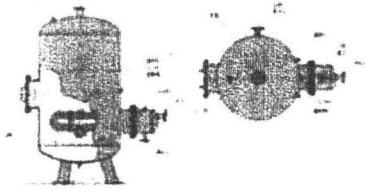
（順位不同）

メーカー名		森松工業								
外形図										
システム方式		貯湯槽単体販売								
形名		MSAC-500	MSAC-800	MSAC-1000	MSAC-1500	MSAC-2000	MSAC-2500	MSAC-3000	MSAC-3500	MSAC-4000
貯湯槽形式		密閉式								
タンク容量	L	500	800	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
外形寸法：胴内径	mm	700	800	800	900	1000	1200	1200	1300	1300
全長	mm	2290	2710	3110	3150	3590	3270	3670	3860	4160
質量	kg	310	370	400	470	560	700	810	970	1000
板厚 ：胴	mm	3	3	3	3	3	4	4	4	4
鏡	mm	3	3	3	4	4	5	5	6	6
最高使用圧力	kPa	490								
接続口：給水	A	50	65	65	80	80	80	80	80	80
給湯	A	50	65	65	80	80	80	80	80	80
排水	A	32	40	40	40	40	50	50	50	50
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)								
備考		横型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準								

（順位不同）

メーカー名		森松工業								
外形図										
システム方式		貯湯槽単体販売								
形名		MSAC-4500	MSAC-5000	MSAC-5500	MSAC-6000	MSAC-6500	MSAC-7000	MSAC-8000		
貯湯槽形式		密閉式								
タンク容量	L	4500	5000	5500	6000	6500	7000	8000		
外形寸法：胴内径	mm	1300	1300	1300	1400	1400	1500	1600		
全長	mm	4360	4960	5360	5000	5400	5150	5300		
質量	kg	1050	1200	1300	1330	1400	1600	1800		
板厚 ：胴	mm	4	4	4	4	4	5	5		
鏡	mm	6	6	6	6	6	6	7		
最高使用圧力	kPa	490								
接続口：給水	A	100	100	100	100	100	125	125		
給湯	A	100	100	100	100	100	125	125		
排水	A	50	50	50	50	65	65	65		
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)								
備考		横型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準								

（順位不同）

メーカー名		森松工業								
外形図										
システム方式		貯湯槽単体販売								
形名		MSBC-500	MSBC-800	MSBC-1000	MSBC-1250	MSBC-1500	MSBC-1750	MSBC-2000	MSBC-2250	MSBC-2500
貯湯槽形式		密閉式								
タンク容量	L	500	800	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500
外形寸法: 胴内径	mm	700	800	900	900	1000	1100	1200	1200	1200
全高	mm	1950	2280	2420	2620	2560	2500	2540	2740	2940
質量	kg	300	370	400	430	480	580	620	660	710
板厚 :胴	mm	3	3	3	3	3	4	4	4	4
鏡	mm	3	3	4	4	4	5	5	5	5
最高使用圧力	kPa	490								
接続口: 給水	A	50	65	65	80	80	80	80	80	80
給湯	A	50	65	65	80	80	80	80	80	80
排水	A	32	40	40	40	40	40	40	40	50
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)								
備考		縦型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準								

（順位不同）

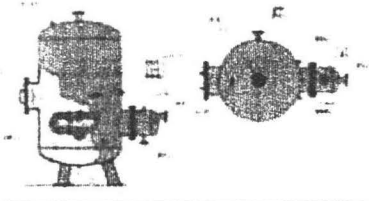
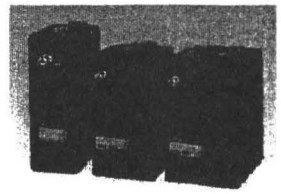
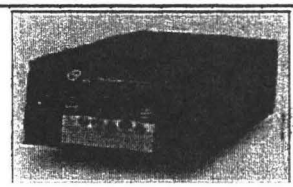
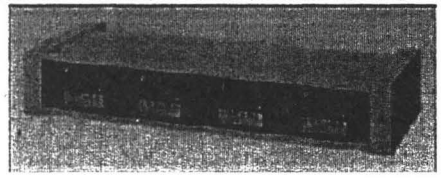
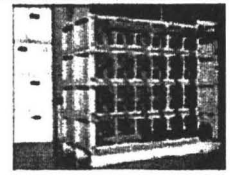
メーカー名		森松工業								
外形図										
システム方式		貯湯槽単体販売								
形名		MSBC-2750	MSBC-3000	MSBC-3250	MSBC-3500	MSBC-4000	MSBC-4500	MSBC-5000	MSBC-5500	MSBC-6000
貯湯槽形式		密閉式								
タンク容量	L	2750	3000	3250	3500	4000	4500	5000	5500	6000
外形寸法: 胴内径	mm	1300	1300	1400	1400	1500	1500	1600	1600	1600
全高	mm	2780	2980	2820	3020	3060	3260	3200	3600	3900
質量	kg	780	830	880	920	1100	1150	1250	1350	1450
板厚 :胴	mm	4	4	4	4	5	5	5	5	5
鏡	mm	6	6	6	6	6	6	7	7	7
最高使用圧力	kPa	490								
接続口: 給水	A	80	80	80	80	80	100	100	100	100
給湯	A	80	80	80	80	80	100	100	100	100
排水	A	50	50	50	50	50	50	50	50	50
貯湯槽材質		SUS444ステンレス鋼(他の材質も選べます)								
備考		縦型貯湯槽、蒸気熱交換器が標準								

図 3-10 蓄電池システムの性能・特性

（順位不同）

メーカー名		日本電池株式会社(1)									
概要											
種類		MSE型・SNS型据置用密閉鉛電池(SNS型は型名がSNS-50-12のようになります。)									
形式		MSE-50-12	MSE-100-6	MSE-150	MSE-200	MSE-300	MSE-500	MSE-1000	MSE-1500	MSE-2000	MSE-3000
公称電圧(V)		12	6	2							
容量(Ah)	10時間率	50	100	150	200	300	500	1,000	1,500	2,000	3,000
	1時間率	32.5	65	97.5	130	195	325	650	975	1,300	1,950
外形寸法(mm)	H(最大)	217		354				362	372		
	W(約)	128		170			171		337		340
	L(約)	363	345	106		150	241	471	476		696
質量	(約kg)	23	22.5	12.5	15	21.5	35.5	70	108	140	212
備考		防災対応型に適用									

（順位不同）

メーカー名		日本電池株式会社(2)									
概要		  顆粒クラッドSLC						 SLE型			
種類		顆粒クラッド式SLC型		SLE型							
形式		SLCX70-3	SLCX70-6	SLCX500-6	SLCX500-12	SLCX1000-2	SLCX1000-6	SLCX1500-8	SLCX2000-2	SLCX2000-6	SLCX3000-6
公称電圧(V)		12	24	12	24	4	12	4	2	6	4
容量(Ah)	10時間率	70		500		1000		1500	2000		3000
	5時間率	63		450		900		1350	1800		2700
外形寸法(mm)	H(最大)	134	232	373		323		373	323		
	W(約)	565		589	1106	408	1078	589	408	1078	
	L(約)	286		547		537		547	537		
質量	(約kg)	43	81	230	445	150	435	230	150	435	
備考		電力貯蔵、ピークシェービング、配電線電圧上昇防止、独立電源等に適用									

（順位不同）

メーカー名		古河電池（1）									
概　　要											
種類		制御弁式据置鉛蓄電池									
形式		FVL-50-12	FVL-100-6	FVL-150	FVL-200	FVL-300	FVL-500	FVL-1000	FVL-1500	FVL-2000	FVL-3000
公称電圧(V)		12	6	2							
容量(Ah)	10時間率	50	100	150	200	300	500	1000	1500	2000	3000
	1時間率	32.5	65	97.5	130	195	325	650	975	1300	1950
外形寸法(mm)	H(最大)	220		365					375		
	W(約)	128		170			171		337		340
	L(約)	363	345	106		150	241	471	476		696
質量	(約kg)	20.5	20	13	15	22	36	72	113	143	216
備考											

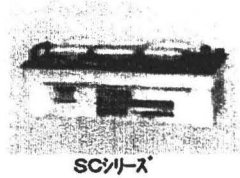
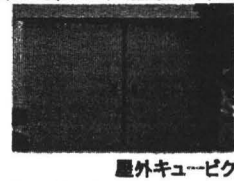
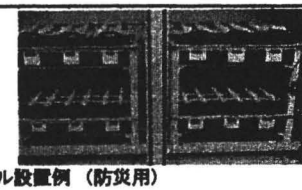
（順位不同）

メーカー名		古河電池(2)									
概　　要											
種類		制御弁式据置鉛蓄電池									
形式		MSE-50-12	MSE-100-6	MSE-150	MSE-200	MSE-300	MSE-500	MSE-1000	MSE-1500	MSE-2000	MSE-3000
公称電圧(V)		12	6	2							
容量(Ah)	10時間率	50	100	150	200	300	500	1000	1500	2000	3000
	1時間率	32.5	65	97.5	130	195	325	650	975	1300	1950
外形寸法(mm)	H(最大)	220		365					375		
	W(約)	128		170			171		337		340
	L(約)	363	345	106		150	241	471	476		696
質量	(約kg)	20.5	20	13	15	22	36	72	113	143	216
備考											

（順位不同）

メーカー名		ユアサコーポレーション(1)										
概　　要												
種　　類		制御弁式鉛蓄電池(据置タイプ) 2003年9月現在										
形　　式		STL-A-50-12	STL-A-100-4	STL-A-100-6	STL-A-150	STL-A-200	STL-A-300	STL-A-500	STL-A-1000	STL-A-1500	STL-A-2000	STL-A-3000
公称電圧 (V)		12	4	6	2							
容量 (Ah)	10時間率	50	100		150	200	300	500	1000	1500	2000	3000
	1時間率	32.5	65		97.5	130	195	325	650	975	1300	1950
外形寸法(mm)	H(最大)	220			365					375		
	W(約)	128			170			171		337		340
	L(約)	363	345.5		106		150	241	471	476		696
質　　量	(約kg)	24	16.5	23.5	11	14	20	33	66.5	104	134	200
備　　考		フロート使用時長寿命期待										

（順位不同）

メーカー名		ユアサコーポレーション(2)										
概　　要		 SCシリーズ		 SCSシリーズ				  屋外キュービクル設置例 (防災用)				
種　　類		太陽光発電向　クラッド式低率放電用据置ハイブリッド鉛蓄電池 ⇒ (2003年9月現在)										
形　　式		SC200	SC250	SCS230	SCS450	SCS670	SCS900	SCS1120	SCS1250	SCS1700	SCS2000	SCS2240	SCS2500
公称電圧 (V)		12		2									
容量 (Ah)	10時間率	145	180	145	280	420	560	685	760	1030	1230	1370	1520
	500時間率	210	265	230	450	670	900	1120	1250	1700	2000	2240	2500
外形寸法(mm)	H(最大)	275	282	376						422			
	W(約)	505	518	170						280			
	L(約)	220	276	120	195	285	390	515		653			
質　　量	(約kg)	57	66	12.5	21	31.5	42	55	57.5	104	109	114	120
備　　考		200時間率定格 200Ah/250Ah		低率放電特性に優れ、長寿命期待									

（順位不同）

メーカー名		新神戸電機(1)							
概　　要									
種類		制御弁式(シール)小形鉛蓄電池							
形式		HC24-12	HC38-12	HC100-12					
公称電圧(V)		12							
容量(Ah)	10時間率	22	35	110					
	1時間率	14	23	80					
外形寸法(mm)	H(最大)	125	170	225					
	W(約)	175	165	163					
	L(約)	166	197	494					
質量	(約kg)	9	15	46					
備考									

（順位不同）

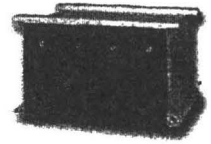
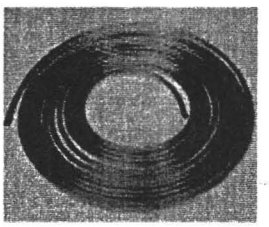
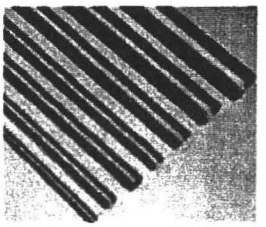
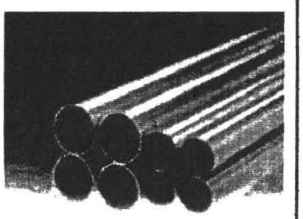
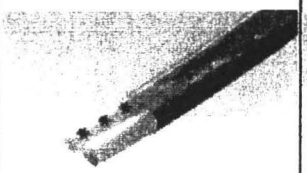
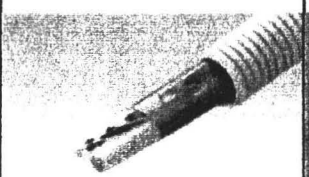
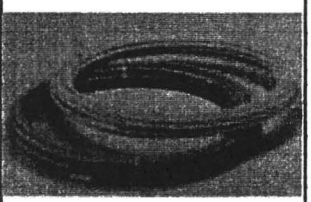
メーカー名		新神戸電機(2)							
概　　要									
種類		制御弁式(シール)据置鉛蓄電池							
形式		LL50-12	LL220	LL330	LL660	LL1000	LL1500	LL1000-12	
公称電圧(V)		12	2					12	
容量(Ah)	10時間率	50	220	330	660	1000	1500	1000	
	1時間率	30	83	125	250	380	570	380	
外形寸法(mm)	H(最大)	175	497			500		339	
	W(約)	166	172					1145	
	L(約)	350	92	126	230	303	437	500	
質量	(約kg)	26	18	26	53	67	98	420	
備考		省エネ・環境対応蓄電池							

図 3-11 配管材料
(1) 使用管材(室内・室外)

項目＼管材			銅管(軟質)・長定尺管 cup	銅管(硬質)・短定尺管 cup	一般配管用ステンレス鋼管 sus
管の材質・構造			 (25～50mm/巻)		
関連規格			JIS H 3300 C1220T JWWA H101	JIS H 3300 C1220 JIS H 3300 C1020 JWWA H 101	JIS G 3448 JIS G 3459
管径(A)			8.10.15.20.25.32.40.50	8.10.15.20.25.32.40.50	8.10.13.20.25.30.40.50
接合方法			・ろう付け接合 (主としてハンダ付け) ・フレア接合 ・メカニカル接合	・ろう付け接合 (主としてハンダ付け) ・メカニカル接合	・差込みろう付け接合 ・プレス接合 ・圧縮継手接合
使用範囲 [温度(℃)と圧力(kgf/㎠)]			65℃(27kgf/㎠以下) 100℃(26kgf/㎠以下)	65℃(27kgf/㎠以下) 100℃(27kgf/㎠以下)	100℃(1.0MPa以下)
用途		給水	○	○	○
		給湯	○	○	○
		暖房	○	○	○
一般的性能比較	強度		△	△	○
	耐衝撃性		× (変形)	△	○
	耐熱性		○	○	○
	耐火性		○ (裸管)	○	○
	耐食性	内面	△ (強制循環配管部では潰食・腐食に注意)	△ (強制循環配管部では潰食・腐食に注意)	○
		外面	△ (マクロセル腐食・保温材に注意)	△ (マクロセル腐食・保温材に 注意)	○
	熱伸縮		△	△	○
	断熱性		△ (被覆管)	×	○
	可撓性		○	×	△
	施工性		○	△	△
	軽量性		△ (0.62kg/m、20A)	△ (0.62kg/m、20A)	○
	その他(留意事項等)		・ハンダ付けによる漏水の注意	・ハンダ付けによる漏水の注意	
			・メカニカル接合の場合、締め込み不良に注意	・メカニカル接合の場合、締め込み 不良に注意	・プレス接合の場合、締め込み 不良に注意 接合部の隙間腐食に注意
備考			現在は樹脂で被覆された管(被覆銅管)の使用が多くなっている		

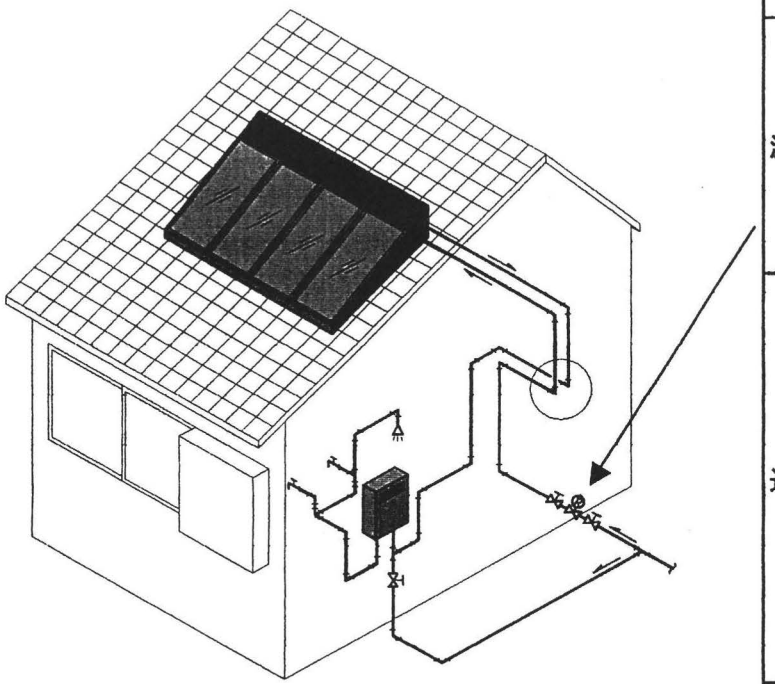
＊参考文献:住宅の給湯システムマニュアル (財)ベターリビング

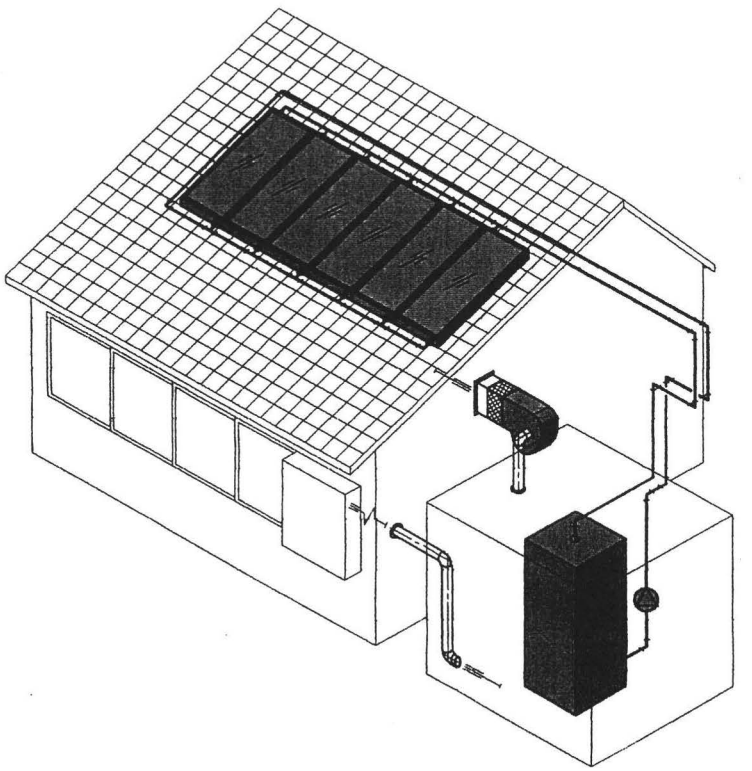
(2) 使用管材(室内配管)

項目＼管材		ポリエチレン保温被覆管(ペアチューブ)	ポリエチレン保温被覆管(ペアチューブ さや管付)	架橋ポリエチレン管
管の材質・構造				
関連規格		JIS K6769	JIS K6769	JIS K 6769 JIS K 6787
管径(A)		7・10A	7・10A	10・13・16・20・25A
接合方法		メカニカル継手	メカニカル継手	融着継手 メカニカル継手
使用範囲[温度(℃)と圧力(kgf/㎠)]		80℃(0.79MPa以下) 10A(要確認)	80℃(0.79MPa以下) 10A(要確認)	80℃(0.75MPa以下) 16A
用途	給水	×	×	○
	給湯	×	×	○
	暖房	○	○	○
一般的性能比較	強度	△	△	△
	耐衝撃性	○ (変形)	○ (変形)	○ (変形)
	耐熱性	△	△	△
	耐火性	×	×	×
	耐食性 内面	○	○	○
	耐食性 外面	○	○	○
	熱伸縮	△	△	△
	断熱性	○	○	○
	可撓性	○	○	○
	施工性	○	○	○
	軽量性	○	○	○
	その他(留意事項等)	・メカニカル接合の場合、締め込み不良に注意	・メカニカル接合の場合、締め込み不良に注意	・メカニカル接合の場合、締め込み不良に注意
備考		床暖房用 防火区画処理に注意	床暖房用 防火区画処理に注意	電気融着工法では表面が非架橋のものを用いる 防火区画処理に注意

(3) 使用弁類

仕様弁類は100℃以上の耐熱性の有るものを使用する。
ただし、集熱器の出口(還り管)系は120℃以上の耐熱性があるものを選定する。
弁類の中で、太陽熱用に特に使用されるものを以下に紹介しておく。





器具名	参考写真	機能・特徴
減　圧　弁		給水の圧力を一定以下に減圧してタンク(蓄熱槽)に給水する役目をする。 逆流防止機能(逆止弁)機能、ゴミ取り機能(ストレーナー)を付加したものもある。
逃 が し 弁		お湯を沸かすときに生じる、水の体積膨脹によるタンク内の圧力上昇を逃がす安全装置。タンク内を一定圧力に維持する。 減圧弁とセットで使用され、通常減圧弁より20%程度高い圧力に設定する。 集熱中は絶えず逃がし弁から少量の水が排出される。
負圧作動弁付 逃 が し 弁		タンクより下の階に給湯する場合に、給水量が給湯量に間に合わないときなどに、タンク内が負圧になってタンクが破壊するのを防止する安全装置。　写真は逃がし弁と一体になったものだが、単体の逃がし弁もある。
ホ ッ パ ー		逃がし弁から絶えず排水される膨張水を受けて、排水するための接続管。
自動エアー抜き弁		配管内やタンクに溜まる空気を自動的に排出するための機器。 タンクの最上部や配管の最上部に取り付ける。 エアー排出時に少量の水も一緒に排出されるので、ビニールホースなどで排出口からホッパーなどに排水する。 また、カルシウムや、珪素を含む水の地域では、成分が排出口に固着するため定期点検が必要である。

(4) 管の接続

1 管の切断は管端が変形しない様な工具を用い、管心に直角に切断する。

① 銅管
パイプカッター、金切り鋸、鋸盤、小型電動鋸等

② 一般配管用ステンレス鋼鋼管
パイプカッター、金切り鋸、鋸盤、小型電動鋸、ガス切断機等

③ ポリエチレン管
専用パイプカッター

2 銅管の接合

銅管の接合にはフレア形締め付け接合、差し込みロウ付け接合のいずれかによる。

3 一般配管用ステンレス鋼鋼管の接合

ステンレス鋼鋼管の接合には差し込みロウ付け接合、プレス接合、圧縮継手接合のいずれかによる。

4 ポリエチレン管の接合

① ペアチューブ
金属製ソケット・分岐ヘッダーに差し込む。
床暖房システムのヘッダー部分には抜け防止のクリップ取り付け。

② 単管 (給湯・暖房)
メカニカル継手、融着接合
特に現場電気融着の場合は専用の表面切削工具が必要

管の接続例を以下に示す。

接続管種	接続例

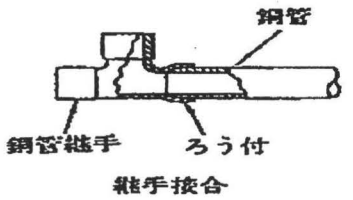
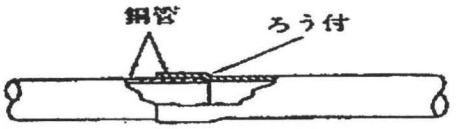
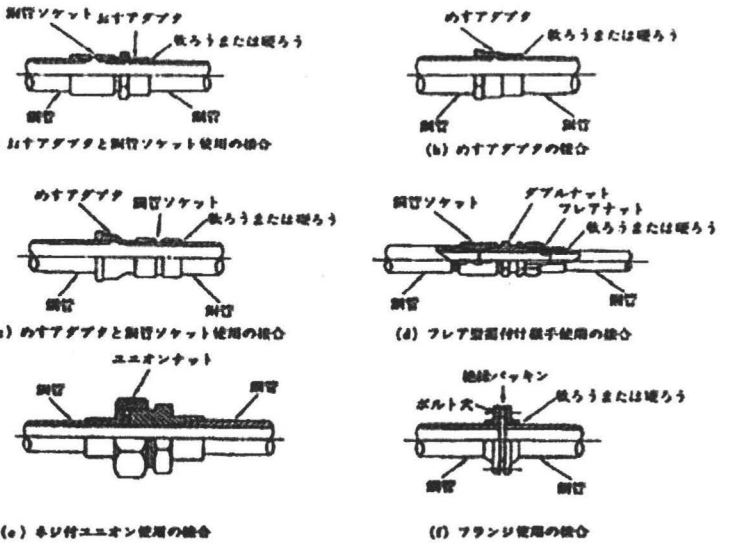
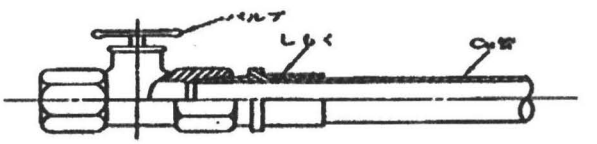
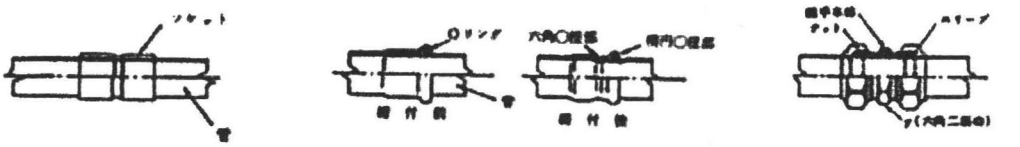
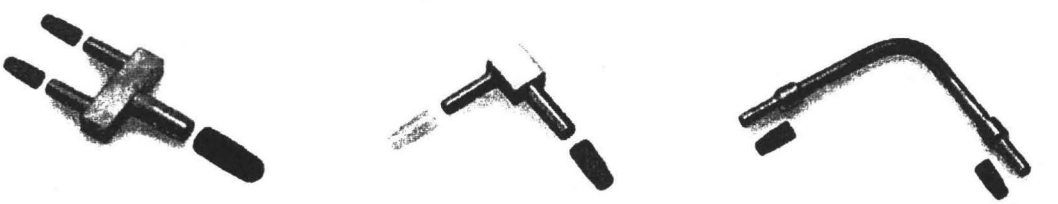
銅管(Cu)	 継手接合  銅管と銅管との直線接合
銅管(Cu)と銅管(Cu)	
銅管(Cu)とバルブ	
ステンレス鋼鋼管の接合	 差込接合　プレス接合　圧縮継手接合
ペアーチューブの接合	

図 3-12保温材料

●集熱系の保温チェック項目

	チェック項目	基準
①	屋外の保温の防水法について検討を行なったか	・保温材は吸水性のないもの (硬質ウレタン・ポリエチレンフォーム等) ・吸水性材質ならラッキングが必要 ・吸水率0.1mg/㎠
②	集熱系配管のバルブ類,ポンプなどは保温して放熱に対する配慮を行っているか	・ポンプはモーター部を除き保温。バルブも同様
③	使用温度範囲からみて,使用材料は適正か	・暖房,冷房が入っているシステムでは必ず100℃以上の材料を使用(耐熱120℃程度)
④	断熱材の効果が減退するような無理な締付けを行なっていないか	・支持金具等の適性選定
⑤	吊り金物、支持金物に断熱の処置をとっているか	・特に冷房する管は吊り材も保温する
⑥	伸縮継手,集熱器継手,ハルブ等の保温は適当か	
⑦	ラッキングの材質は適正か,加工取付けは良好が	・ラッキングは耐熱性が必要
⑧	熱伝導率は適正か	・0.047W/m・℃以下

●保温材料の特性

① 熱損失量

	熱損失量 (W/m)			
	被覆厚さ(10mm)		被覆厚さ(20mm)	
	周囲温度差 1℃	周囲温度差 70℃	周囲温度差 1℃	周囲温度差 70℃
ロックウール保温材	0.394	27.6	0.265	18.6
グラスウール保温材	0.367	25.7	0.247	17.2
硬質ポリウレタン保温材	0.295	20.7	0.195	13.7
架橋ポリエチレンフォーム保温材	0.385	27.0	0.259	18.1

(注)70℃における熱伝導率を使用

② 条件

	規 格	密 度 (Kg/m^3)	熱伝導率 (W/m℃)	
			20～30℃	70℃
ロックウール保温材	JIS A 9504	30	0.041	0.047
グラスウール保温材	JIS A 9505	24	0.041	0.043
硬質ポリウレタン保温材	JIS A 9514	40～50	0.028	0.034
架橋ポリエチレンフォーム保温材	<JIS K 6767>	40未満	0.038	0.045

(資料出所) JIS,保温保冷工業便覧,業界カタログ。 規格＜＞は測定法

●保温の実施例

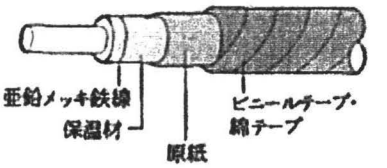
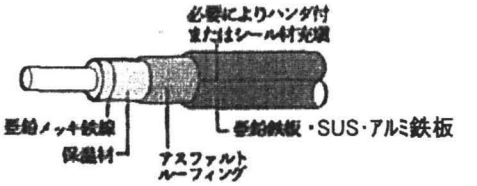
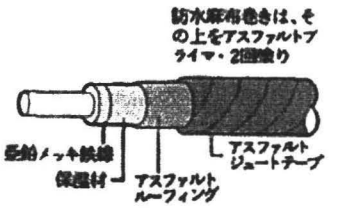
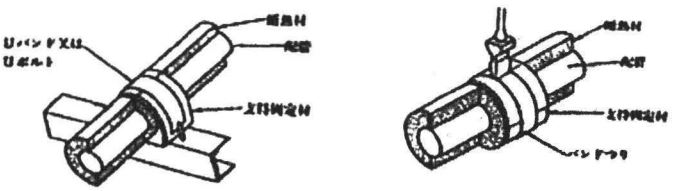
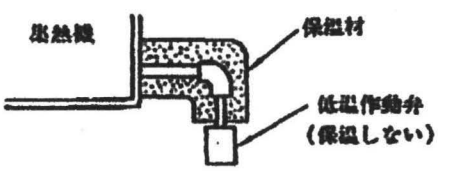
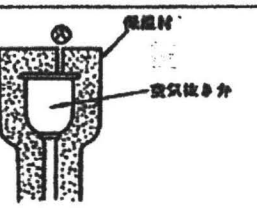
保温材・保温部位	保温例	備考
屋内露出配管の保温例		グラスウール、 ロックウール等の 無機系材料
屋外露出配管の保温例		グラスウール、 ロックウール等の 無機系材料
埋設又は暗きょ内配管の保温例		グラスウール、 ロックウール等の 無機系材料
固定/支持方法の例		硬質発泡ウレタン 支持固定材
低温作動弁周りの保温例		特殊な保温例(1)
自動空気抜き弁周りの保温例		特殊な保温例(2)

図 3-13 配線材料

① 使用電線

使用される電線と特性を下表に示す

ケーブル種類	許容温度最高〔℃〕	耐燃性	熱変形性	耐候性
CV*1	90	○	○	○
VV*2	60	○	△	○
PNCT*3	80	◎	△	○

〔注〕 ◎：優，○：良，△：可

＊1 架橋ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル

＊2 ビニル絶縁ビニルシースケーブル

＊3 エチレンプロピレンゴム絶縁クロロプレンシースキャブタイヤケーブル

② 使用管材

使用される電線管の種類を下表に示す

電線管仕様

（単位：mm）

金属電線管				樹脂電線管							
種類	太さ(管の呼び方)	外径	厚さ	種類	太さ(管の呼び方)	外径	内径	種類	太さ(管の呼び方)	外径	内径
厚鋼電線管	G 16	21.0	2.3	硬質塩化ビニル電線管	14	18	14.0	二種金属可とう電線管	10	13.3(14.9)	9.9
	G 22	26.5	2.3		16	22	18.0		12	16.1(17.7)	11.4
	G 28	33.3	2.5		22	26	22.0		15	19.0(20.6)	14.1
	G 36	41.9	2.5		28	34	28.0		17	21.5(23.1)	16.8
	G 42	47.8	2.5		35	42	35.0		24	28.8(30.4)	23.8
	G 54	59.6	2.8		42	48	40.0		30	34.9(36.9)	29.3
	G 70	75.2	2.8		54	60	51.0		38	42.9(44.9)	37.6
	G 82	87.9	2.8		70	76	67.0		50	54.9(56.9)	49.1
	G 92	100.7	3.5		82	89	77.0		63	69.1(71.5)	62.6
	G104	113.4	3.5	合成樹脂可とう電線管（PF）	14	21.5	14.0		76	82.9(85.3)	76.0
薄鋼電線管	C 19	19.1	1.6		16	23.0	18.0		83	88.1(90.5)	81.0
	C 25	25.4	1.6		22	30.5	22.0		101	107.3(109.7)	100.4
	C 31	31.8	1.6		28	36.5	28.0		〔注〕( )内寸法は防水性を示す。		
	C 39	38.1	1.6								
	C 51	50.8	1.6		自己消火性なし コンクリート埋込専用						
	C 63	63.5	2.0								
	C 75	76.2	2.0								
ねじなし電線管	E 19	19.1	1.2								
	E 25	25.4	1.2								
	E 31	31.8	1.2								
	E 39	38.1	1.4								
	E 51	50.8	1.4	合成樹脂可とう電線管（CD）	14	19.0	14.0	放付き硬質合成樹脂管（FEP）	30	18	14
	E 63	63.5	1.6		16	21.0	18.0		40	22	18.0
	E 75	76.2	1.8		22	27.5	22.0		50	26	22.0
ケーブル保護用合成樹脂製管	16	22.4			28	34.0	28.0		65	34	28.0
	22	27.9	2.3						80	42	35.0
	28	34.7	2.5		自己消火性なし コンクリート埋込専用				100	48	40.0
	35	43.3	2.5								
	42	49.2	2.5								
	54	61	2.8								
	70	76.6	2.8								
	82	89.3	2.8								
	92	102.1	3.5								
	104	114.8	3.5								

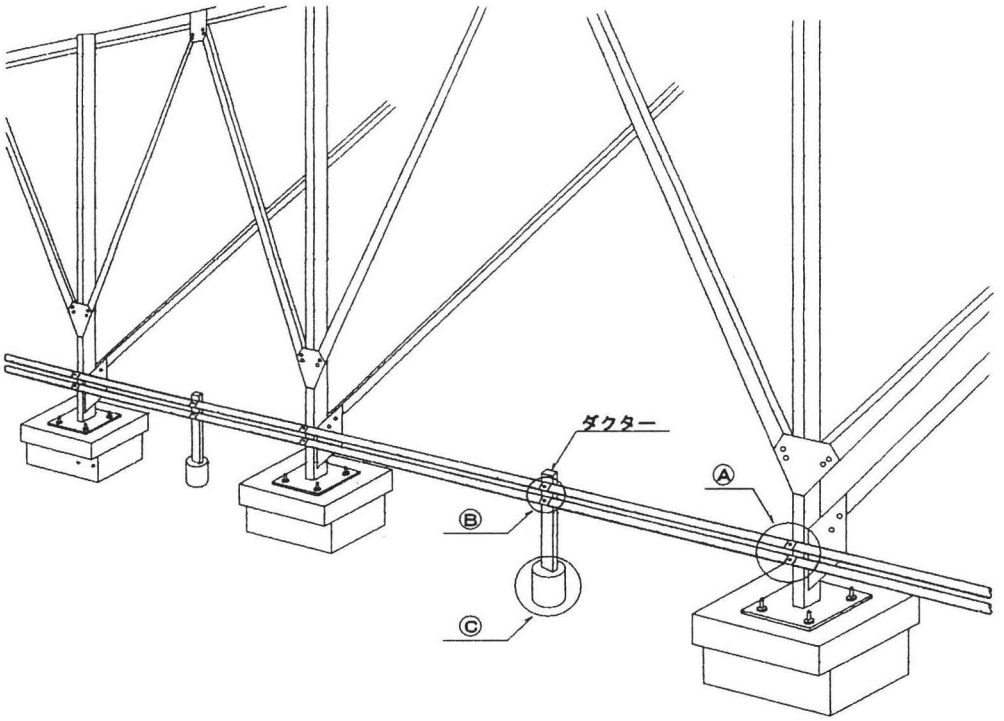
③ 太陽電池システム配線・設置用部品

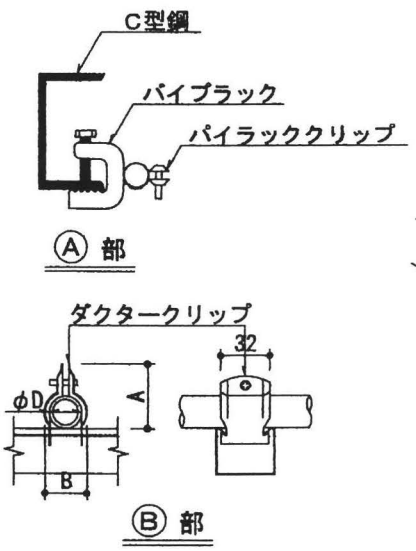
次ページ以降に配線材料・設置材料例を部位ごとに示す

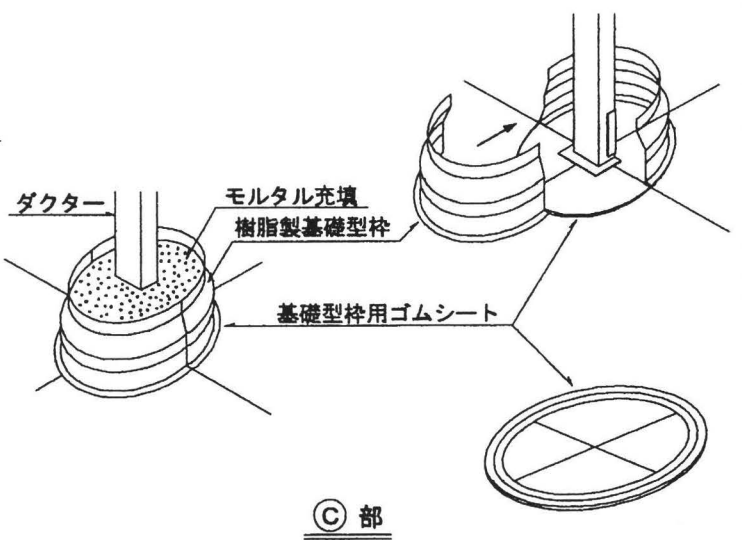
太陽光発電各種工事の支持間隔

	施工の区分	必ず	原則	望ましい	支持点間の距離
1 金属管工事	埋設以外の施設		○		2．0m以下
2 合成樹脂管工事 （電技 193条）	埋設以外の施設 支持点は管端、管とﾎﾞｯｸｽの接続点の0.3m以内も設けること。	○			1．5m以下
3 可とう電線管工事 （内線規定 420）	造営材の側面又は下面に於いて、水平方向に施設するもの。	○			1．0m以下
	人が触れる恐れが有る物。	○			1．0m以下
	管相互及びﾎﾞｯｸｽ、器具との接続箇所。	○			接続箇所から0．3m以下
	その他のもの				2．0m以下
	工事上やむを得ないとき。				ころがしとするが出来る。
4 金属ダクト工事 （電技 197条）	下記以外 取扱者以外の者が出入り出来ないよう設備した場所で垂直に取付。	○ ○			3．0m以下 4．0m以下
5 ケーブル工事（全般） （電技 201） （内線規定 450）	造営材の側面又は下面に沿って施設	○			2．0m以下
	人が触れる恐れのない場所で垂直に施設。	○			6．0m以下
	同上			○	6．0m以下で各階毎
	隠蔽配線で張力が加わらない時。				ころがしとするが出来る。
6 ケーブル工事 3.2m以下で露出した場所で造営材に施設 （内線規定 450）	造営材の側面又は下面に於いて、水平方向に施設するもの。		○		1．0m以下
	人の触れる恐れの有る物		○		1．0m以下
	その他の場所		○		2．0m以下
	ｹｰﾌﾞﾙ相互並びにﾎﾞｯｸｽ及び器具との接続箇所		○		接続箇所から0．3m以下

太陽光発電露出配管配線　その(1)　接続箱→接続箱







(注)1. 支持点間の距離については各種工法の支持間隔の項による。

2. ダクターは溶融亜鉛メッキ製とする。

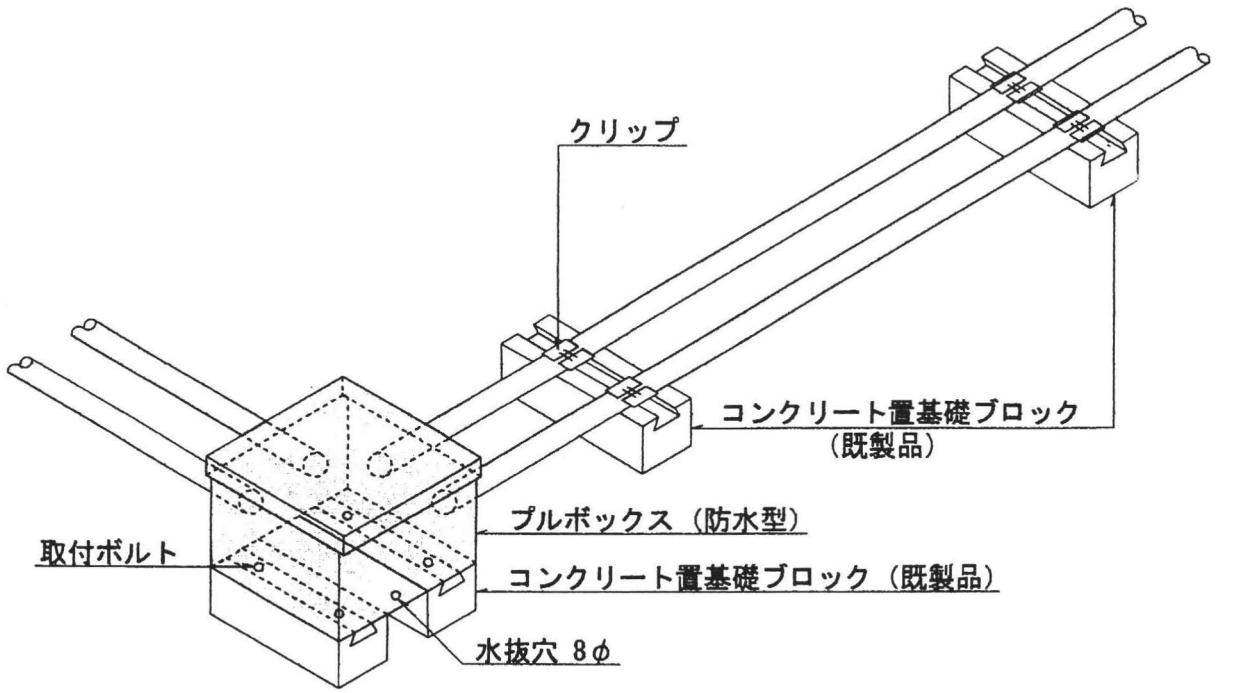
3. 支持金物はステンレス又は溶融亜鉛メッキとする。

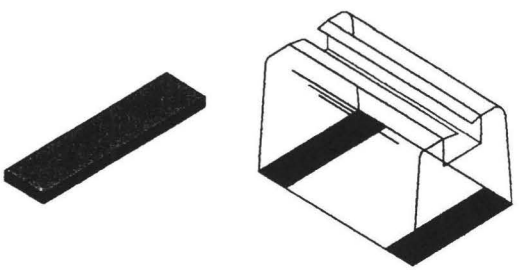
4. ボルト，ナット類はステンレス製とする。

5. 塗膜防水工法など配管架台を直接施工できない場合には、基礎型枠用ゴムシートを接着剤で固定し施工する。

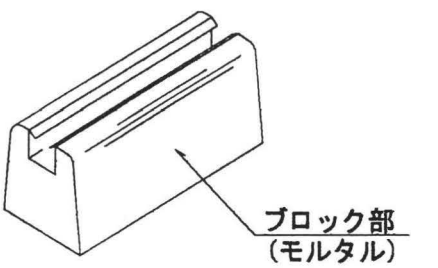
6. シンダー工法の収縮目地部には配管架台を置かない。

太陽光発電露出配管配線　その(2)　接続箱→連系制御盤





基礎ブロック用ゴムシート
材質：クロロプレンゴム



コンクリート置基礎ブロック

(注) 1. 支持点間の距離については各種工法の支持間隔の項による。

2. プルボックス(防水型)はステンレス又は溶融亜鉛メッキ製とする。

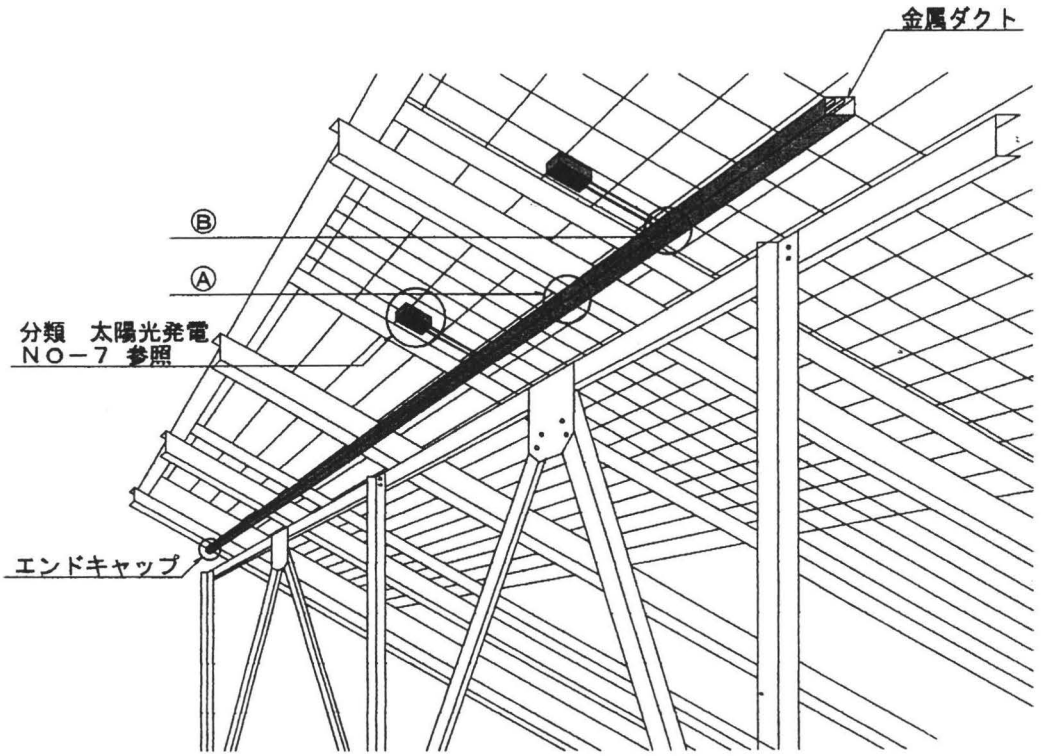
3. 支持金物はステンレス又は溶融亜鉛メッキ製とする。

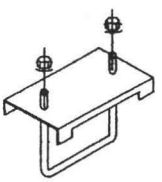
4. ボルト，ナット類はステンレス製とする。

5. ~~塗膜防水工法など配管架台を直接施工できない場合には、基礎ブロック用ゴムシートを接着剤で固定~~し施工する。

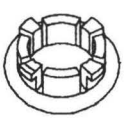
6. シンダー工法の収縮目地には基礎ブロックを置かない。

太陽光発電金属ダクト工事　その(1)　モジュール→接続箱

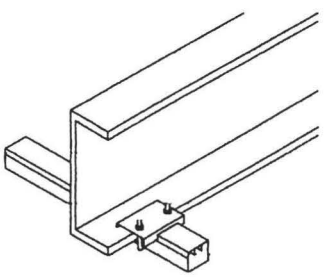




形鋼用ダクト交差支持金物



ケーブル保護ブッシング
材質：ポリエチレン



Ⓐ 部

Ⓑ 部

(注)1. 支持点間の距離については各種工法の支持間隔の項による。

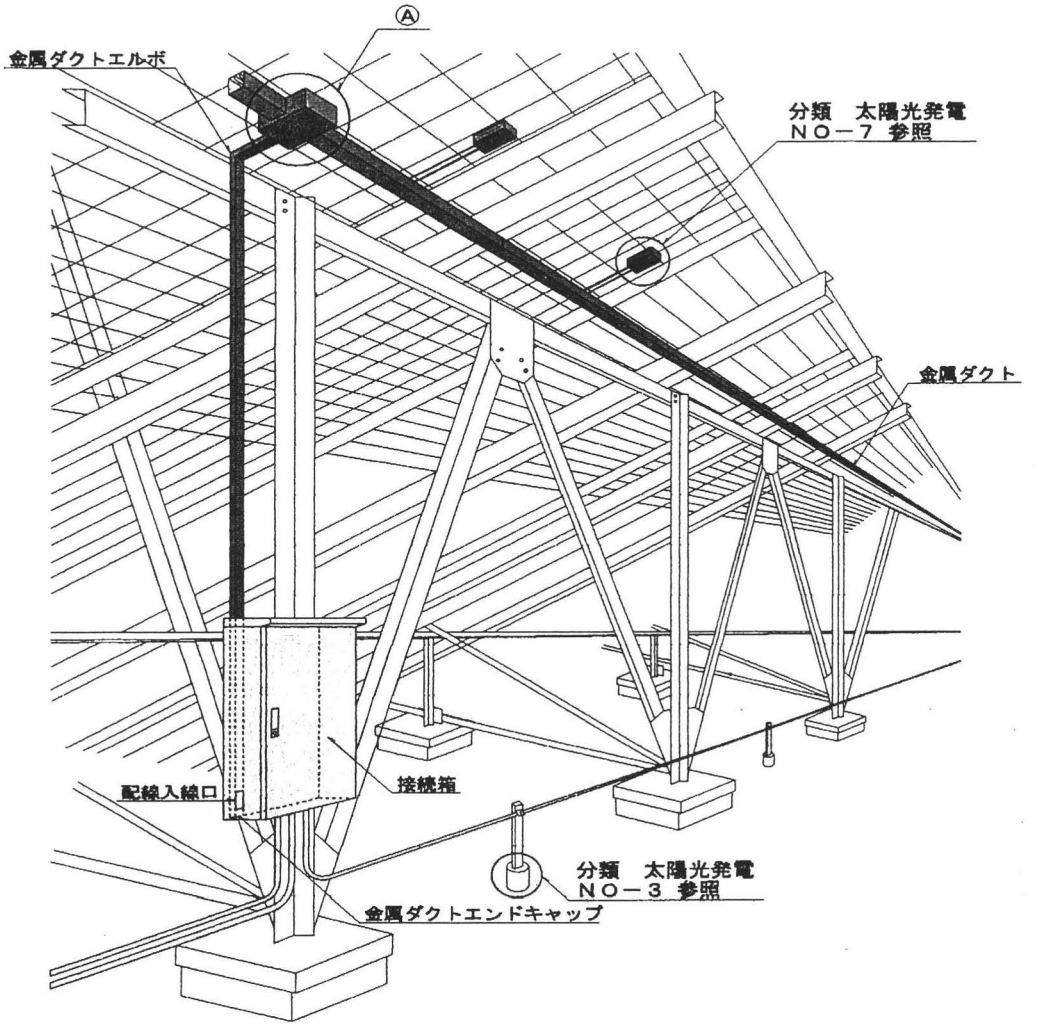
2. レースウェイは溶融亜鉛メッキ製とする。

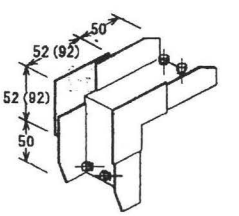
3. 支持金物はステンレス又は溶融亜鉛メッキ製とする。

4. ケーブル入線口(現場穴あけ)は鉛丹錆止め塗装後ブッシングを施設する。

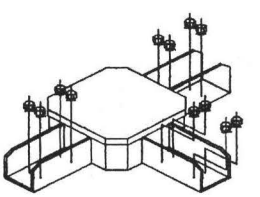
5. レースウェイは下側に水抜き穴(5mmφ)を設ける。

太陽光発電金属ダクト工事　その(2)　モジュール→接続箱





金属ダクトエルボ



Ⓐ 部
金属ダクトジャンクションボックス

(注)1. 支持点間の距離については各種工法の支持間隔の項による。

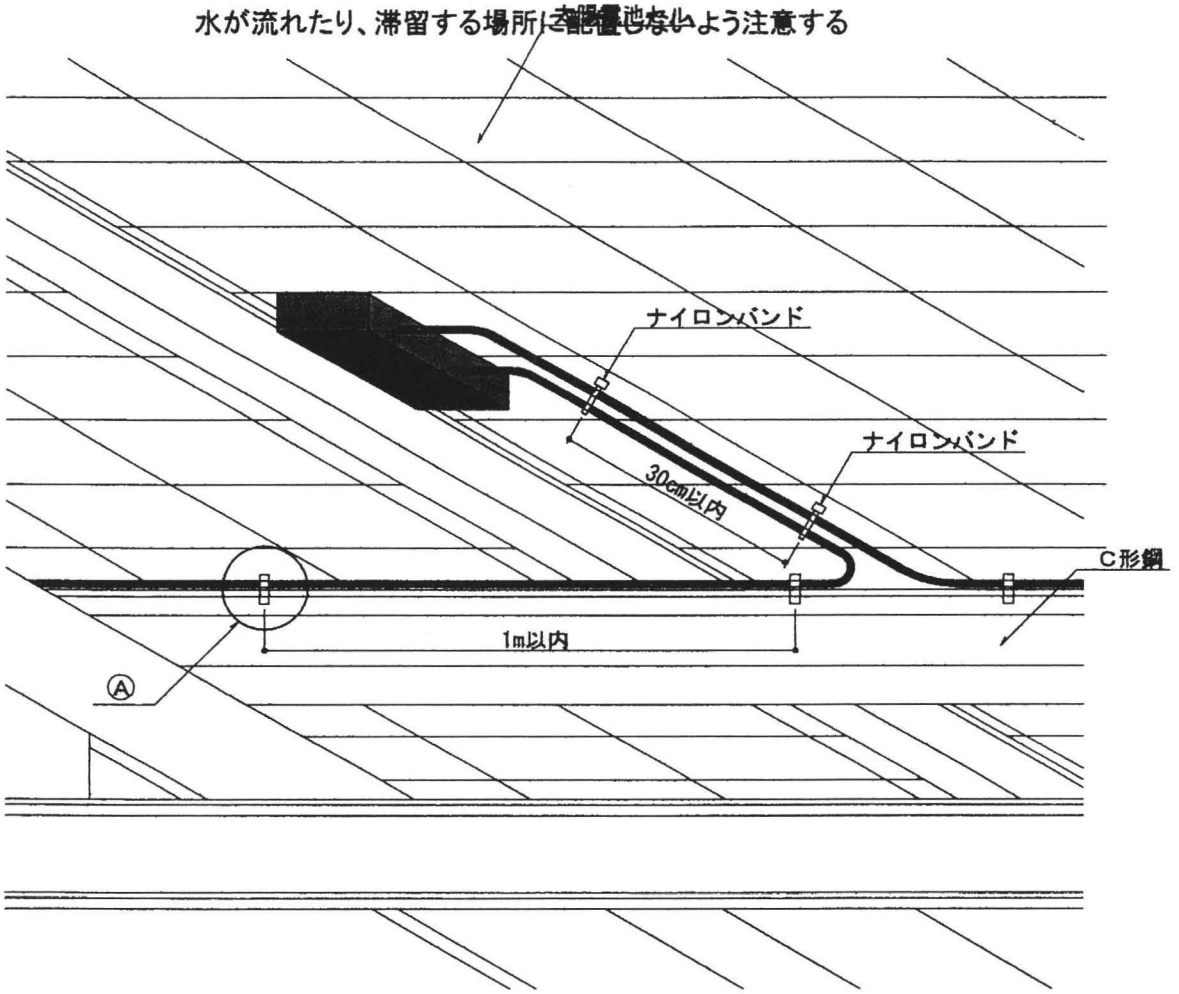
2. 金属ダクトは溶融亜鉛メッキ製とする。

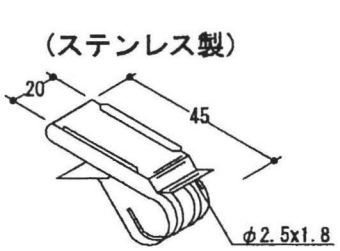
3. 支持金物はステンレス又は溶融亜鉛メッキ製とする。

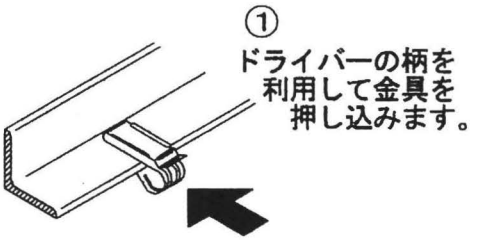
4. ボルト，ナット類はステンレス製とする。

5. 配線入線口(現場穴あけ)は鉛丹錆止め塗装後自在ブッシングを施設する。

太陽光発電露出配線　モジュール→モジュール







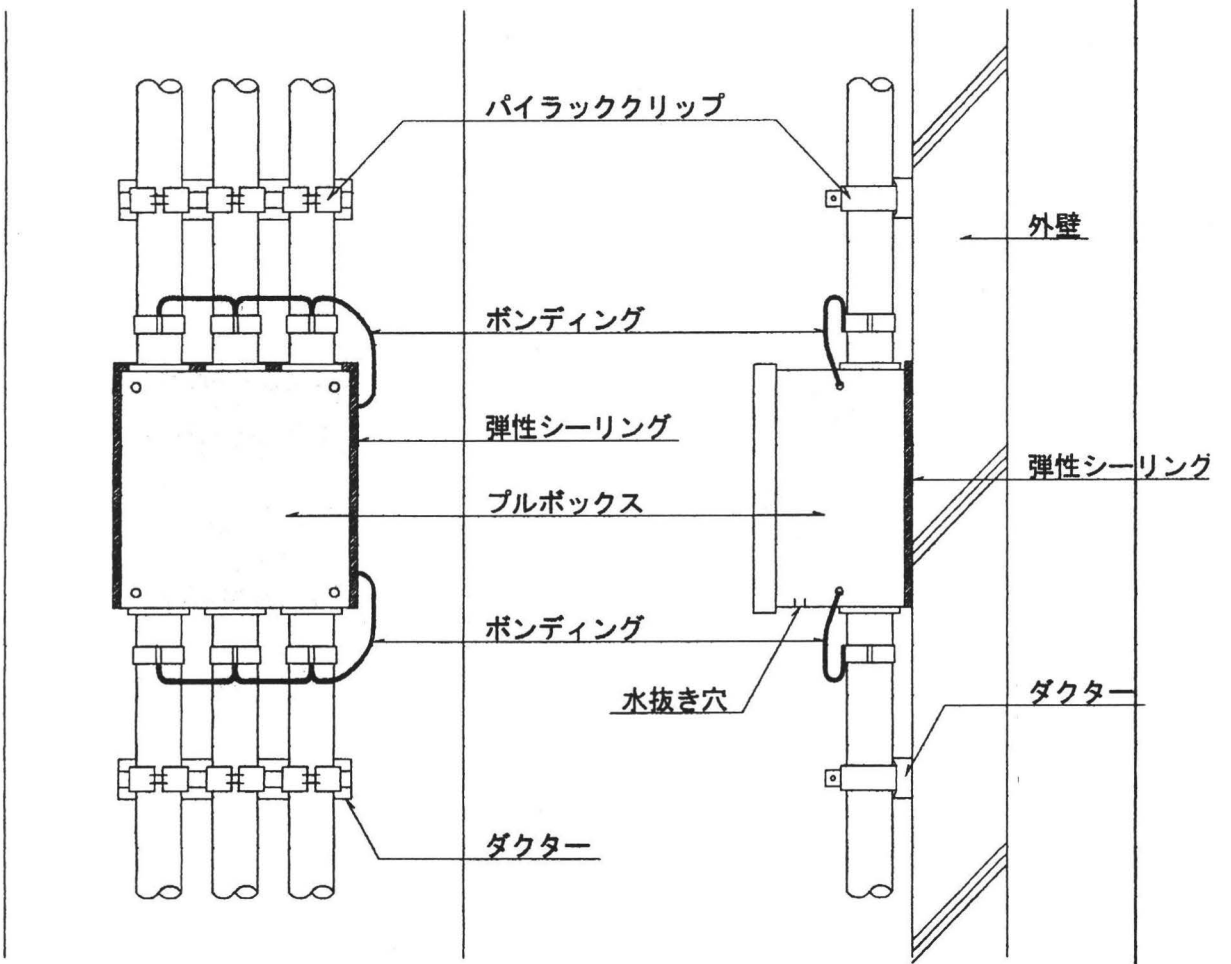
Ⓐ 部

(注)1. 配管支持金物Ⓐはステンレス又は樹脂製とする。

2. ナイロンバンドは屋外用(常時使用温度範囲－55℃～＋85℃)を使用する。

屋外壁露出配管の施工基準

水が流れたり、滞留する場所に配置しないよう注意する



(注)1. プルボックスと配管支持点間の距離は 0.3m以下とする。

2. 屋外露出配管する金属部分(配管のネジ切部, ダクターの切断部)は、十分防錆処理を行う。

3. プルボックス, ダクターは溶融亜鉛メッキ製とする。

4. 支持金物はステンレス又は溶融亜鉛メッキ製とする。

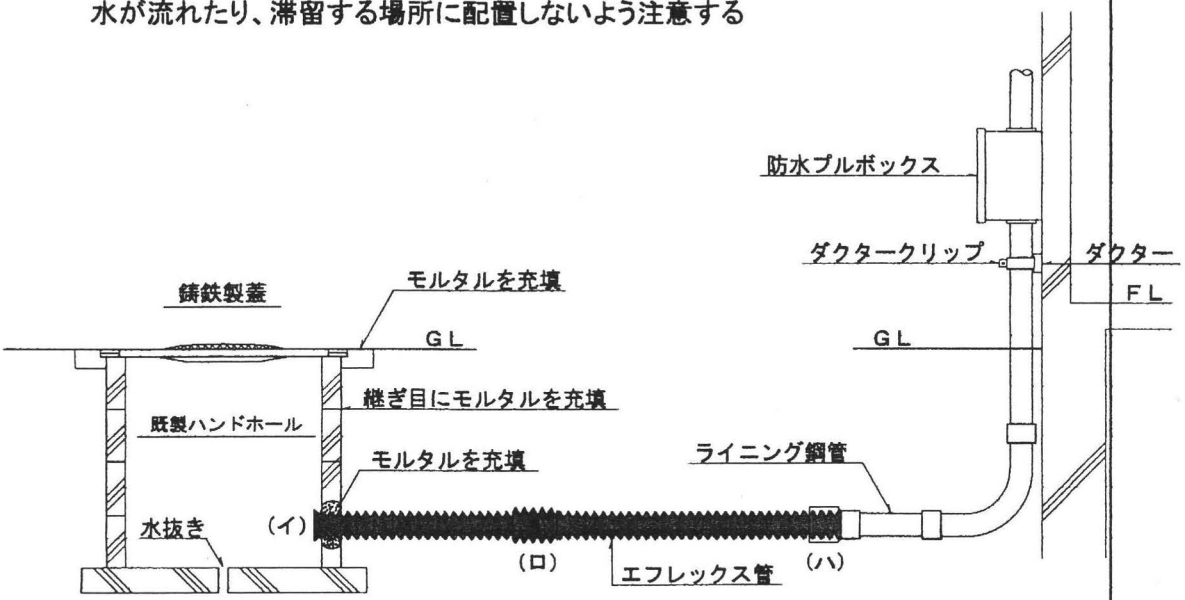
5. ボルト, ナット類はステンレス製とする。

6. プルボックス周囲(下部は除く)に弾性シーリングを施す。

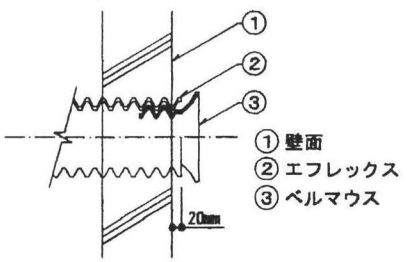
7. プルボックスのふた部には、ゴムパッキンを入れる。

ハンドホールと管路　（エフレックス管）

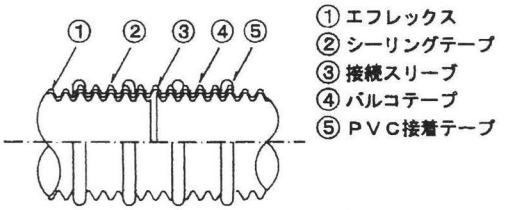
水が流れたり、滞留する場所に配置しないよう注意する



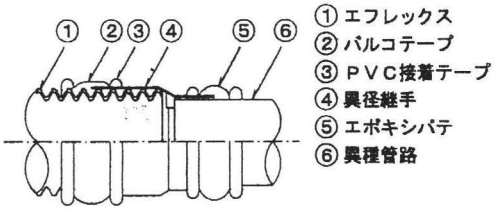
（イ）ベルマウス使用の場合



（ロ）エフレックス相互の接続（直線接続）



（ロ）エフレックスと他種管路との接続



エフレックスの布設間隔（左右・上下）

エフレックスの呼称（mm）	左右・上下間隔（mm）
30, 50	50
80, 100, 125, 150	70
200	100

（注）1. 車輌その他重量物の圧力を受ける場合、土被り 1.2m以上、その他は 0.6m以上とする。

2. ~~底部はエフレックスが石などと直接接しないよう平滑に均す。~~

3. 常水面が桝より低い時、水抜きパイプ(75)程度を入れる。

4. 常水面が高くて水抜きパイプを設けることができない時、雨水が入らないように防水蓋とする。

5. 鋳鉄製蓋は他重量物の圧力を受ける場合は重耐重製とし、その他は中耐重製とする。

1-15 歴史的町家の再生・大規模改修のための防火構造仕様の開発

早稲田大学理工学部建築学科
教授　長谷見雄二

1．本研究の背景と目的

京都等、準防火地域に指定された歴史的町並みに建つ市街地建築の外周部材は、一般に防火構造以上の防火性能を要求されるが、歴史的町家のほとんどはこの条件を満足しないため、その保存再生は、建築確認を要さない小規模な改修に限られている。このため、歴史的町並みは長期的には衰退傾向を免れないが、筆者らは、最近、木造土壁の伝統的町家仕様の延長上で、防火構造・準耐火構造の外壁と軒裏が実現可能なことを実験的に明らかにし、“裏返しのない木造土壁による防火構造”、“木造現し軒裏による準耐火構造”の開発を行ってきた[*1~8]。ただし、そこでは、防火性能を高めるために既存の歴史的町家ではあまり使われていない細部の工夫等を外壁に施しているため、伝統的意匠の町家を新築したり、既存町家の部材自体を大幅に更新する場合には適用できても、柱・梁・壁等をそのまま利用する町家再生や保存には利用することはできない。

京都の歴史的町家では、隣家と接近して建っているため、戸境壁は、裏返し塗りができず、柱も偏平柱が使われることが多い。さらに、壁土と柱は突きつけ納まりとなっており、隙間が生じやすいなど、火災加熱時の軸組の断面減少、火炎貫通については不利な条件が少なくない。これらの部材をそのまま利用する再生保存では、これらに関する防火対策が必要である。

本課題では、京都の歴史的町家に普通に見られる柱・桁・壁等の条件をそのまま保存したうえで、伝統的意匠と両立する火炎貫通防止等の手法を導入し、約一層分の実大試験体を使った加熱実験により、法令上、防火構造に認められる外壁（戸境壁）仕様を明らかにすることを目的とする。

2．研究の方法

京町家において、戸境壁に使われる、偏平柱を用いた“裏返し塗りのない土壁”について、以下の方法で研究を進めた。

① 既存の偏平柱はそのままに、再生保存時に手を加えることが可能な土塗厚や、壁土と柱の取り合い部に防火補強等を施した土壁仕様を設計する。
② 設計した仕様について、高さ約 3m×幅 3m の実大試験体を 1 体製作する。
③ 柱に長期許容荷重を載荷して加熱実験を行う。
④ 試験体仕様が防火構造に必要な 30 分間の防火性能を有することを確認する。
⑤ 今後の課題を整理する。

3．研究の計画と進捗状況

3.1　達成すべき防火性能

外壁に要求される防火性能は、裏面に熱を伝えない【遮熱性】、火炎を貫通しない【遮炎性】、軸組が崩壊しない【非損傷性】と考えられる。この3項目について、ISO834標準加熱曲線による載荷加熱実験から、防火構造に要求される 30 分以上の防火性能を有することを検証する。

京町家は、隣家と接近して建築されているため、その戸境壁は、裏返し塗りのない土壁となることが多い。この裏返し塗りのない土壁は、

①片塗りのため土塗り厚の確保が難しい

②屋外側（加熱側）に土塗り壁下地の木製貫や竹木舞が露出しており、直接加熱を受ける

等の理由で、京町家の土塗り壁仕様のうち、もっとも脆弱と考えられる。すなわち、本研究の試験体仕様で、防火構造以上の性能が確認されれば、京町家で使われる他の土塗り壁仕様についても同等以上の性能を有すると考えてよい。

3.2　試験体の設計

試験体は、京町家の一般的な偏平柱を用いた戸境壁仕様に、再生・大規模改修時に有効な防火補強を施した設計を行った。

再生・改修においては、既存部材を用いるため軸組への加工を要しない防火補強手法を行うことが重要となる。そこで、遮炎性に関しては、燃えぬけが予想される土壁と柱の取り合い部が突き付け納まりとなっていることを想定して、土を取り払うか、土を増し塗りする場合には既存の土壁の状態から施工できる、のれん（麻布等を割竹に釘で留めたもの。土壁や漆喰仕上げにおいて、チリの隙間を防止する目的で柱や桁に打ち付け、土塗り時に塗り紺で使用する）打ちをこの取り合い部に施した。また、遮熱性に関しては、隣家との隙間が狭く、屋外側からの土塗りが困難な状況を想定して、室内からの土塗り厚さを確保した。この際、土壁の総厚（片塗り厚）は 40mm とした。

試験体の製作は、平成 15 年 10 月 16 日に軸組の製作を開始し、その後、荒壁塗り→貫伏せ・付け送り・チリ廻り→中塗りの順（10 月 21～11 月 15 日）で左官工事（土塗り工事）を行い、雨掛かりのない屋外で自然乾燥養生を行った。養生後、平成 16 年 1 月 16 日に（財）日本建築総合試験所の大型壁炉にて、載荷加熱実験を行った。

3.3　試験体の概要

試験体仕様を表 1 に、試験体の構成を図 1、図 2 に示す。

試験体は、実大規模の土壁 1 体で、外形寸法を（財）日本建築総合試験所の防耐火性能試験・評価業務方法書 3)にならい、W3000mm×H3190mm とした。土壁仕様は、京町家の隣家との戸境壁に使われることが多い、スギ材の偏平柱（120×90mm）に京土を用いた裏返し塗りなしの土壁とし、塗り厚を 40 ㎜とした。下地は、竹小舞下

地とし、3段の通し貫（スギ/12×90 ㎜）に、割竹で間渡し竹（えつり竹）、小舞竹を編んだ。また、柱間隔は、京町家の戸境壁に多くみられる半間とした（京間半間＝1間/2 ＝ 6尺3寸/2≒1910/2 ㎜。1間の中央に柱心を置き、柱間隔は｛1910+120｝/2=1015 ㎜とした）。突き付け納まりとなっている軸組と土壁の取り合い部（チリ際）には、接合性を高めるために、のれん打ちを行い、左官工事のちり廻り、中塗り時に一緒に伏せ込んだ。

3.4 実験方法

（財）日本建築総合試験所防耐火試験室内の大型耐火炉を使用し、同試験所の「防耐火性能試験・評価業務方法書（耐力壁の防火性能評価）」に従って、載荷加熱実験を行った。

3.4.1 加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に従って加熱を行った。
この加熱曲線は次式で表され、図4に時系列の変化を示す。

$T=345\log_{10}(8t+1)+20$

T:平均炉内温度（℃）、t：経過時間（分）

加熱開始後、約 2～3 分に加熱側に露出した下地貫や竹木舞に着火・燃焼し、耐火炉内の温度が急激に上昇するが、燃料供給を制御するなどして、出きる限り、標準加熱曲線に合わせるようにした。

また、以下の場合に加熱を中止することとした。

- 試験体非加熱面への火炎貫通により実験の継続が困難となった場合。
- 壁或いは柱の座屈による変形が進み、載荷の継続が困難となった場合。
- 上記以外で安全上問題があるとした場合。

3.4.2 載荷方法

載荷は、加熱される試験体中央の3本の柱に油圧ジャッキを用いて鉛直荷重を加えて行った。荷重は、長期許容応力度に相当する荷重とし、平成 12 年建設省告示第 1452 号に規定されたスギ（一級）材の基準強度 Fc ＝ 21.6N/㎟、材長 L ＝ 3190 ㎜を用い、柱両端ともピン接合で座屈（有効細長比）を考慮した値を用い、柱 1 本あたり 17.0kN （計 51.0kN ）を載荷した。

3.4.3 測定項目

①試験体各部温度

図2及び図3に示すように、φ0.68 ㎜のK熱電対を試験体に 40 点取り付け、試験体表裏面及び内部温度の変化を 30 秒間隔で測定した。

② 炉内温度

試験体の加熱面から 10cm 離れた位置で、先端が露出するステンレス保護管に入っ

たシース型K熱電対を12点配置し、30秒間隔で測定した。

③軸方向収縮量と面外方向変位量

軸方向収縮量は耐火炉下部に3カ所設置した変位計を用いて30秒間隔で測定した。面外方向変形量は、試験体の中央3本の柱に一カ所ずつ設置した変位計を用いて30秒間隔で測定した。

④炭化深さの測定

試験終了後、載荷した3本の柱の上下2箇所（柱の土台上端から600㎜の位置と桁下端から600㎜の位置）を切断し、炭化深さを測定した。

⑤その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、ＶＴＲ撮影、試験体非加熱面の赤外線サーモビューワーによる熱映像撮影を行った。

3.4.4 防耐火性能評価基準

壁（耐力壁）の防耐火性能の評価基準は、（財）日本建築総合試験所の「防耐火性能試験・評価業務方法書（耐力壁の防火性能評価）」に従い、以下の3点とした。

①目視により裏面への火炎の貫通がないこと（遮炎性）

②熱電対温度測定による裏面温度が規定値に達しないこと（遮熱性）

規定値は以下の通りである。

・試験体裏面（非加熱面）温度の平均値が初期温度＋140℃。

・試験体裏面（非加熱面）温度の最高値が初期温度＋180℃。

本実験では初期温度が9℃であったため、規定値を平均149℃、最高189℃とした。

③軸組の変形が規定値に達しないこと（非損傷性）

規定値は以下の通りである。

・軸方向最大収縮量がｈ/100　。

・最大軸方向収縮速度が3ｈ/1000

（ｈ：試験体のうち、加熱を受ける部分の高さ）。

本実験ではｈ=2940㎜であったため、軸方向最大収縮量既定値を29.4㎜、最大軸方向収縮度既定値を8.82㎜/分とした。

４．今までに得られた成果

表2に実験結果一覧を示す。また、写真1～4に試験体裏面の熱映像写真を、図3に加熱終了後の試験体の柱の炭化状況を、図4に耐火炉内温度変化を、図5に試験体裏面温度変化を、図6に土壁内部温度変化を、図7に柱の軸方向収縮量を、図8に柱の軸方向収縮速度、図9に柱の面外方向変位量を示す。

実験開始後4分36秒に試験体加熱側の柱下部に着火し、その後すぐに、加熱側に露出した下地貫と竹小舞が柱とともに激しく燃焼し、6分20秒にはそれらが炭化して脱落し始めた。さらに、20分頃から土壁中央部が非加熱側へ変形し始め、この変形

により柱と土壁の取り合い部である、チリ際に徐々に隙間が生じ、37 分 30 秒にこの隙間から裏面側へ火炎が貫通した。火炎貫通後、土壁に加え、柱も非加熱側にたわみ始め、試験続行が危険となったため、実験開始 40 分で加熱を終了した。

4.1 遮炎性（火炎貫通）の検証

加熱開始後 37.5 分に、柱と土壁の取り合い部（チリ際）に生じた隙間から火炎貫通が起こった。

この隙間が生じる原因として 2 つの要因が考えられる。一つは、チリ際に防火補強として施工したのれんが加熱により燃焼したために、柱と土壁の接合性が低下したことである。図 3 の炭化状況をみると、加熱終了時（ 40 分）にはのれんの施工位置まで燃焼が進んでいたことがわかり、また、写真 4 の熱映像写真からも、チリ際の温度が他の裏面温度に比べて高いことがわかり、柱とのれんの燃焼がチリ際に隙間を作ったと考えられる。もう一つは柱の変形であり、図 7、8、9 をみると、加熱開始 35 分付近から柱の変形が始まっており、この変形により柱と土壁の接合がきれ（チリ切れ）、隙間が生じた。しかし、これは、遮炎性というよりは、柱の変形に由来する非損傷性の問題と考えられるが、いずれにしても遮炎性については、柱と土壁の取り合い部の部材同士（木材と土）の接合性を高めることが重要となる。

以上により、40 ㎜厚の片側（室内側）からの土塗り壁の場合、チリ際に施したのれん打ちは、加熱開始から 37 分 30 秒は裏面側への火炎貫通を防ぎ、30 分以上の遮炎性を有することが確認された。

4.2 遮熱性（裏面温度変化）の検証

図 5 に示すように、加熱終了時（ 40 分）に裏面温度が 94℃、最大裏面温度 97℃となり、規定値（平均 149℃、最高 189℃）を超えることはなかった。

図 6 よると、土壁の内部温度は、断面位置によって大きく異なり、加熱表面【4】【13】と裏面の位置【6】【15】を比較すると（間に 40 ㎜厚の土）最大で約 750℃、貫裏側【5】【14】と加熱裏面の位置【6】【15】を比較すると（間に 28 ㎜の土）で最大で約 300℃の温度差が生じている。このことから、土塗り厚を増すことにより断熱性（遮熱性）が向上することが顕著であり、遮熱性は土塗り厚さに支配されることが明らかである。

今回の実験により、土塗り厚 40 ㎜の土壁は、防火構造に要求される 30 分を大きく上回る、40 分以上の遮熱性を有することが確認された。

4.3 非損傷性（軸組の変形）の検証

図 7、8、9 によると、加熱終了時（ 40 分）の軸方向最大収縮量は 4.1 ㎜、収縮速度は 2.56 ㎜/分となり、規定値（収縮量 29.4 ㎜、収縮速度 8.82 ㎜/分）を超えることはなかった。しかし、面外方向変位量が、中央柱で最高 44.2 ㎜に達して、柱中央部が非加熱側に大きく変形したため、試験続行を危険と判断し、加熱終了した。

軸組の崩壊は、燃焼により炭化・断面欠損した柱が、試験中に載荷される荷重に耐えられなくなり、座屈することが原因である。そのため、柱の炭化や断面欠損を遅延または抑制することが非損傷性向上のための最大の課題とされてきた。この対策として、加熱される柱の屋外側の柱の露出面積を少なくすることがあげられる。今回の試験体仕様は、図2及び図3のように土塗り壁の屋外側表面と柱の屋外側表面をそろえることにより、柱は加熱側一面しか加熱を受けず、最大限、柱の露出面積を減らした仕様となっている。

以上により、柱の露出面積を少なくすることで、柱に長期許容荷重を載荷した状態において、防火構造に要求される30分を大きく上回る、40分間の非損傷性を有することが確認された。

4.4 試験終了後の軸組の炭化状況

図3に示すように、炭化深さは柱正面で 18.8 ～ 29.8 ㎜（炭化速度 0.47 ～ 0.745 ㎜/分）、柱対角線上で 33.1 ～ 46.2 ㎜（炭化速度 0.825 ～ 1.16 s ㎜/分）となった。試験終了時には柱の土塗り壁裏側の位置まで燃えこんでおり、柱断面の約 1/3 が炭化している状況がわかる。

4.5 防火構造の性能を有する土壁仕様

本実験により、30分を超える遮炎性・遮熱性・非損傷性を確保できたことから、今回の戸境壁を想定した土壁仕様（偏平柱、裏返し塗りなし土壁）が長期許容荷重において防火構造の性能を有することが確認された。

今回の実験により、以下の3点を確保すれば、既存仕様に簡易な防火補強を行って、防火構造の性能を確保できることが確認された。

① のれん打ち等でチリ廻りの部材同士の接合性を確保する（→遮炎性）
② 土壁の塗り厚を 40 ㎜以上確保する（→遮熱性）
③ 柱屋外側の露出面積を少なくする（→非損傷性）

5．これから期待される成果

本研究では、既存町家の戸境壁仕様のうち、偏平柱を用いた裏返し塗りのない土壁について、柱に長期許容荷重を載荷した加熱実験により、防火構造に要求される性能を実現できることを明らかにしたが、このような構成の土塗り壁仕様は既存京町家の戸境壁の中でも、比較的、多くみられる。

しかし、実際の既存町家の戸境壁には、細部において、本実験の試験体より防火性能が劣ると考えられるものもある。その典型として、

① 既存町家では土塗り厚さが 40mm 確保されていない場合がある（遮熱性に影響）
② 既存町家では柱と土壁の取り合い部は突きつけになっている（遮炎性に影響）

の2点があげられる。既存町家の再生・改修時にこの2点について、4.5 で述べた防火的改良を加えれば、一旦、土をすべて剥がし、柱・梁を取り替えることなく、法令

上、防火構造に相当する仕様になり得る。具体的には、既存土壁の撤去の有無にかかわらず、柱及び梁の室内側側面にのれん打ちをし、それを伏せ込みながら、土を所定の厚さ（40mm）以上まで、増し塗りすればよい。

以上の簡易な改修により、既存の軸組、土塗り壁を使用しつつ、法令上、防火構造に相当する防火性能を実現できる。

6．残る問題点と対策

本研究では、偏平柱を使った裏返し塗りのない土壁で、再生・大規模改修時に適用可能な防火改修手法を一つ提示した。しかし、既存町家の外壁仕様は、建物部位や建築地域により、多様であると考えられる。たとえば、京町家の戸境壁では、偏平柱を使った裏返し塗りのない土壁であっても、今回の仕様のように土壁部分の屋外側表面が柱表面と同面とは限らず、偏平柱の側面が露出する場合もある。この場合、加熱による柱の炭化が本実験仕様よりも促進されるため、防火構造の性能を有するかは不明である。このように、全国の既存町家の多様な土壁外壁仕様についても、今後、防火性能の検討が必要と考えられるが、これは以下の手順で進めればよいと考える。

① 各地域の伝統木造について外壁の土塗り壁仕様を整理する。
② それら仕様に対して、本研究成果を含む、既存の研究成果が適用できる範囲を検討する。
③ 適用できない仕様について、加熱実験等から防火性能を検証する。

ところで、土塗り壁の防火性能は、壁に要求される防火性能基準のうち、遮熱性（土塗り厚を確保する）、遮炎性（柱と壁土の接合性を向上する）よりも、非損傷性に支配されるところが大きい。この非損傷性を向上するためには、①燃焼による柱の断面減少を抑制する、②柱が受ける荷重を軽減する、ことがあげられるが、②については、性能評価機関の業務方法書において、柱に長期許容荷重を載荷することが定められているため、これまでの法令適合を目指した技術開発は、どちらかというと、上記①に関する防火的改良を行っている。しかし、既存町家の再生・大規模改修では、基本的には既存軸組をそのまま使用するため、仕様によっては、①に関する防火補強が不可能な場合も多い。既存町家の柱の軸力を調査した報告によると、柱への実態荷重は、長期許容荷重の約6割とされており*9、これらの土壁仕様を長期許容荷重で評価するのは、過剰な条件ともいえる。京町家の戸境壁仕様の中にも、長期許容荷重では、防火構造の性能を確保できないものもあり、柱への防火補強が困難場合には、防火構造に相当する 30 分間の加熱に耐えることのできる荷重を特定し、その荷重の範囲で町家の活用を行えば、実質的に集団規定を満足することになる。このように長期許容荷重によるのではなく、構造計算等で柱の荷重を特定し、その範囲で性能評価を受けることを可能とする仕組みづくりも合わせて必要といえる。

7．研究発表の実績及び予定

日本建築学会技術報告集、第 20 号、2004 年 12 月発刊予定、投稿済（査読中）
安井昇、長谷見雄二、田村佳英、木村忠紀

8．実用化計画

建築基準法に適合した使用として位置づけるためには、

① 性能評価試験による国土交通大臣認定の取得

② 国土交通省による告示化

の２通りがある。現在、土塗り壁について、②の国土交通省による告示化が進められている（平成１６年４月３０日にパブリックコメント募集が締め切られた）。本研究で、防火構造の性能を確認した仕様は、この告示条文に含まれ、間もなく、実用化される見込みである。この告示条文では、

① 柱の屋外側の柱チリ寸法（柱側面の露出寸法）を 15mm 以下とする。

→本実験では柱チリ寸法が 0mm

② 軸組と土の取り合い部にちりじゃくりなどの火炎貫通を防止する措置をする。

→本実験ではのれん打ちを行った

の２項目を同時に満たす

が例示され、本実験の試験体では上記のように対応している。この告示化により、本実験で防火性能を確認した仕様が、実用化され、建築確認を必要とする建物の大規模改修や新築に使用可能となる。

ところで、京町家（木造２階建て、床面積 500 ㎡以下）外周部を構成する部位のうち、建築基準法の集団規定を受けるのは、本研究で検討を行った外壁と軒裏である。京町家の軒裏は、構成部材の垂木・野地板・面戸板が木材あらわしとなっている。軒裏に要求される防火性能は、室内へ熱を伝えない【遮熱性】、室内へ火炎を貫通させない【遮炎性】と考えられ、屋外火災時に、たとえ、軒先の垂木や野地板が燃焼し、脱落しても、面戸周辺から室内へ延焼しない性能を確認すればよい。この考えをもとに、研究が実施され、既存町家の軒裏仕様に簡易な防火補強を加えることにより、防火構造よりも上位の準耐火構造が実現可能なことがわかっている[*3.7.8]。この軒裏についても、前述の土塗り壁と同時期に、国土交通省による告示化が進められている。これにより、既存京町家仕様の土塗り壁や木材現し軒裏に、簡易な防火的補強を加えることで、法令上、防火構造及び準耐火構造に位置づけられる仕様となり、これまで、建築基準法に適合しないことが問題視されていた既存町家であっても、十分な防火性能を有し、法令適合した再生・改修が可能となる（ただし、６でも述べたように、現段階では、既存町家における使用例は少ないものの、一部の戸境壁の仕様は、防火補強しても防火構造の性能を達成できておらず、今後の検討が必要である）。

9.参考文献・引用文献

*1. 市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価(その 1)町家型伝統木造の防火上の題点と防火技術開発の目標
日本建築学会関東支部研究報告集　2002.3

安井昇・長谷見雄二・秋月通孝・上島基英・大西卓・馬屋原敦・田村佳英

*2. 市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価(その 2)木造土壁の防火性能に関する実験的研究
日本建築学会関東支部研究報告集　2002.3
上島基英・長谷見雄二・安井昇・秋月通孝・畑俊充・馬屋原敦・木村忠紀・大西卓・村上博・酒井憲吾・田村佳英

*3. 市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価(その 3)京町家における化粧軒裏の延焼防止手法
日本建築学会関東支部研究報告集　2002.3
馬屋原敦・長谷見雄二・安井昇・秋月通孝・大西卓・木村忠紀・上島基英・吉田正友・酒井憲吾

*4. 市街地型木造土壁構法の防火性能の再評価（その 4）実大木造土壁の載荷加熱実験
日本建築学会関東支部研究報告集　2003.3
上島基英・長谷見雄二・安井昇・木村忠紀・馬屋原敦・北後明彦・畑俊充・田村佳英・大西卓・酒井憲吾・清水真理子・樋山恭助・尾野克典・吉田正友・山本幸一

*5. 市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価（その 5）燃焼による炭化を考慮した柱の圧縮耐力実験
日本建築学会関東支部研究報告集　2003.3
清水真理子・安井昇・長谷見雄二・馬屋原敦・木村忠紀・村上雅英・上島基英・樋山恭助

*6. 市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価（その 6）木造土壁の部分仕様が防火性能に及ぼす影響
日本建築学会関東支部研究報告集　2003.3
樋山恭助・長谷見雄二・安井昇・村上博・馬屋原敦・上島基英・木村忠紀・清水真理子・畑俊充・田村佳英

*7. 市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価（その 7）準耐火構造の性能を有する化粧軒裏の開発
日本建築学会関東支部研究報告集　2003.3
馬屋原敦・長谷見雄二・安井昇・大西卓・上島基英・田村佳英・酒井憲吾・清水真理子・樋山恭助・尾野克典・吉田正友・山本幸一

*8. 市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価（その 10）木造化粧軒裏の各部仕様が延焼防止性能に与える影響
日本建築学会関東支部研究報告集　2004.3
上島基英・長谷見雄二・安井昇・田村佳英・木村忠紀・北後明彦・酒井憲吾・清水真理子・尾野克典・吉田正友・山本幸一

*9. 京町家防火・耐震工法開発の基礎研究

京都市木造住宅振興支援事業　2003.3
関西木造住文化研究会

表 1　試験体仕様

試験体名	試験体寸法	土壁			チリ廻りの処理	軸組仕様			温度測定点	載荷荷重 (kN/本)
		裏返し塗り	土塗り厚	含水率		柱	柱間隔	含水率		
試験体A	w=3000mm H=3190mm	無 (真壁)	深草土 36mm (室内側)	3.66 %	のれん打ち	スギ 120×90mm	半間	13.0 %	40 点	17.0

＊軸組含水率は柱、土台、桁の平均値を使用

表 2　実験結果

試験体名	加熱時間 (分)	遮炎性 火炎貫通	遮熱性 裏面温度(℃)		非損傷性* 軸方向最大		面外方向最大	炭化深さ 平均 (mm)		最高 (mm)	
			平均	最高	収縮量(mm)	収縮速度(mm/分)	変位量(mm)	正面	対角	正面	対角
試験体A	40	アリ (37.5分)	97 (40分)	94 (40分)	4.10 (40分)	2.56 (40分)	-44.2** (40分)	22.7	37.9	29.8	46.2

＊非損傷性の規定値をどの試験体も超えていないが、すべての試験体で柱の変形が大きくなったため加熱を中止した。
＊＊＋が加熱側、- が非加熱側への変位量

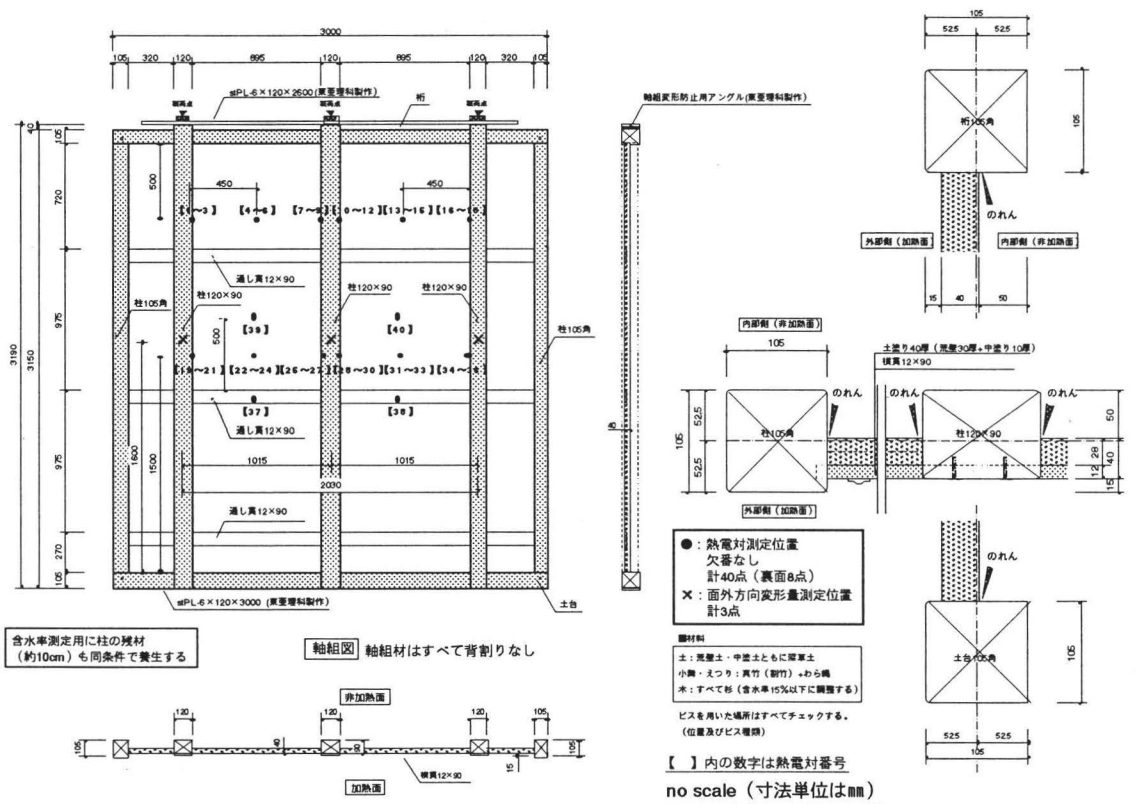


図 1　試験体図と温度測定位置

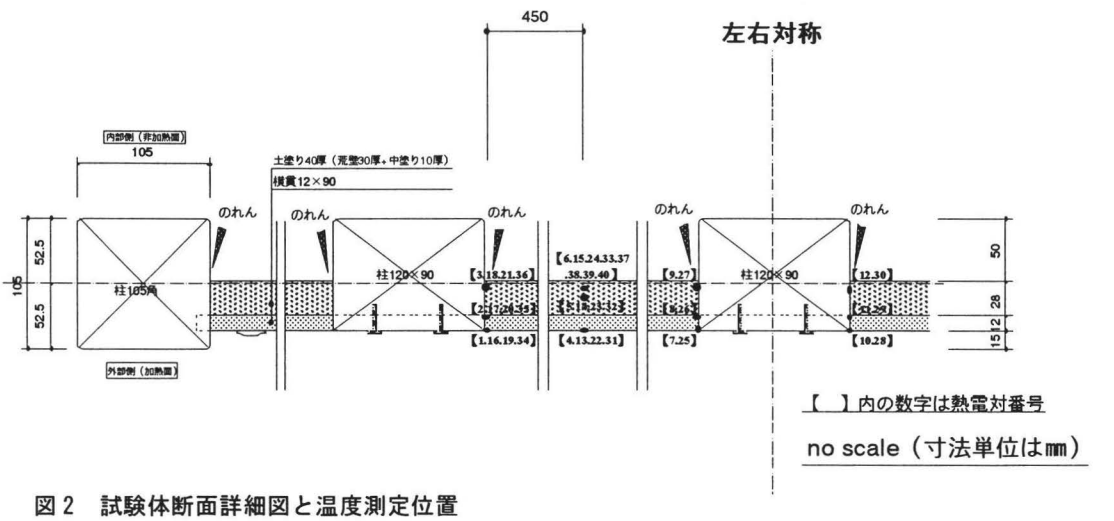


図 2　試験体断面詳細図と温度測定位置

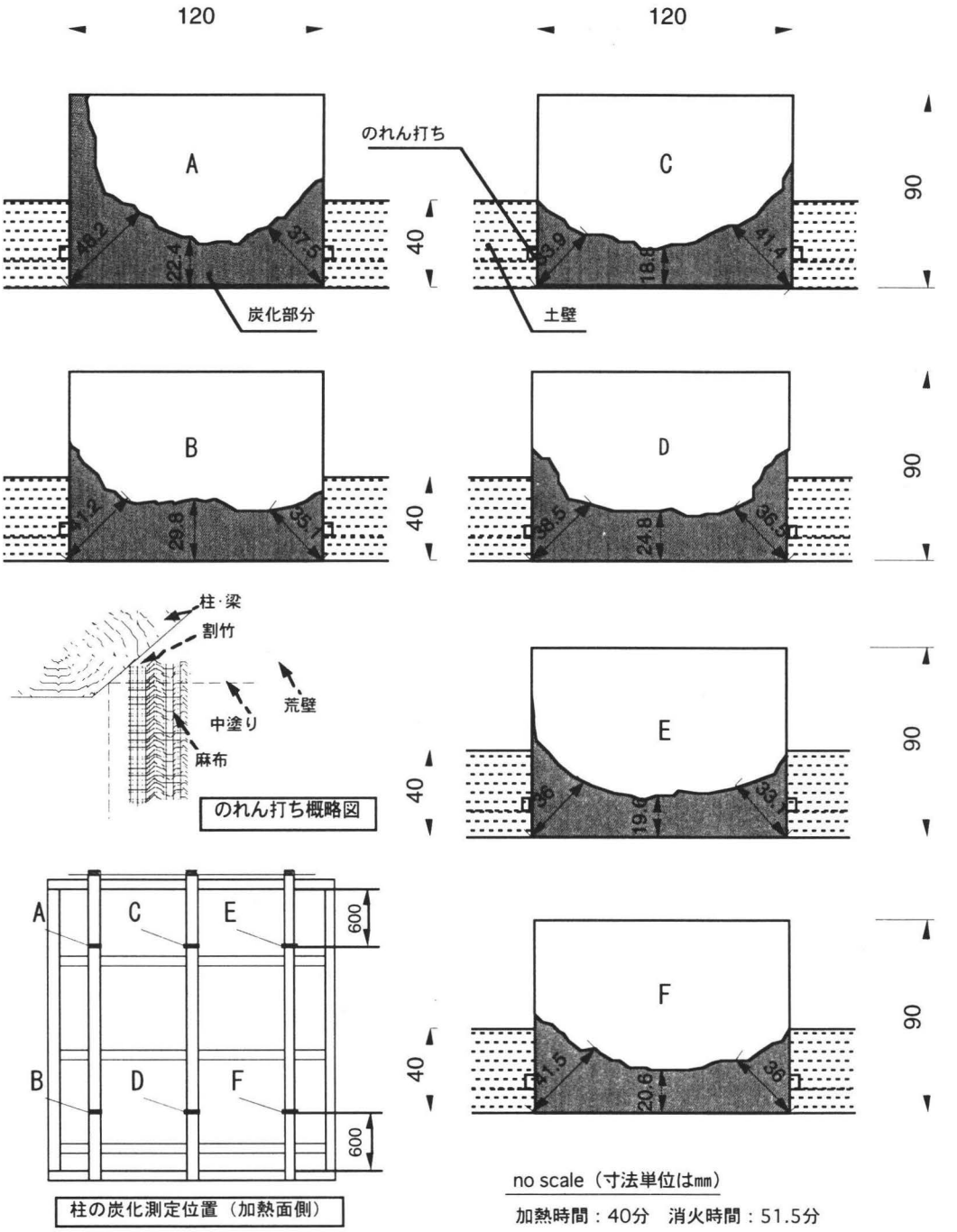


図3　試験終了後の柱の炭化状況

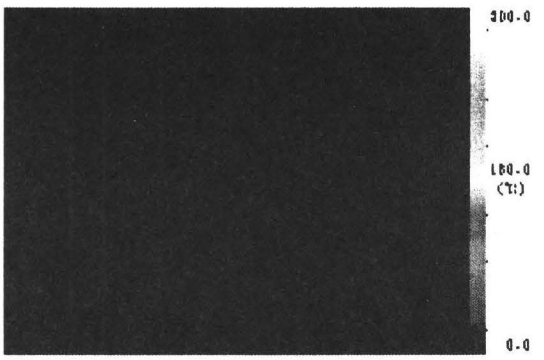


写真１　加熱０分の試験体裏面の熱映像



写真２　加熱15分の試験体裏面の熱映像



写真３　加熱30分の試験体裏面の熱映像

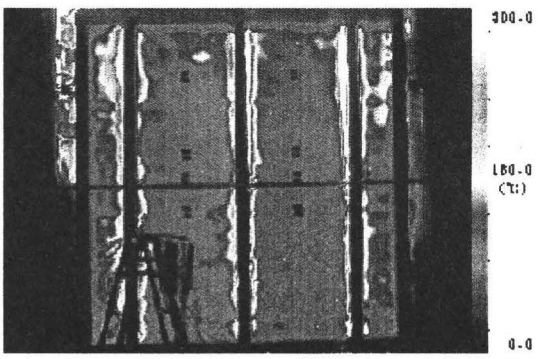


写真４　加熱40分の試験体裏面の熱映像

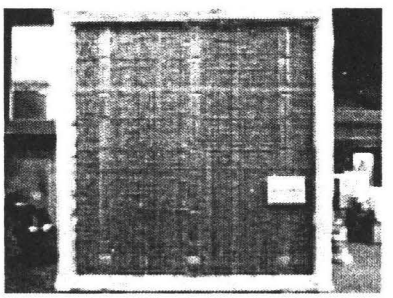


写真５　加熱前の加熱面の状況

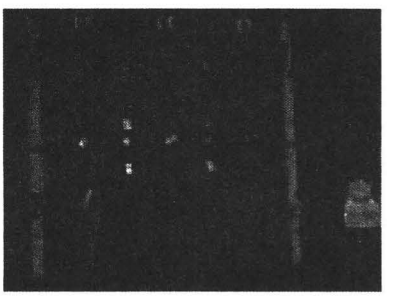


写真６　加熱中の非加熱面の状況

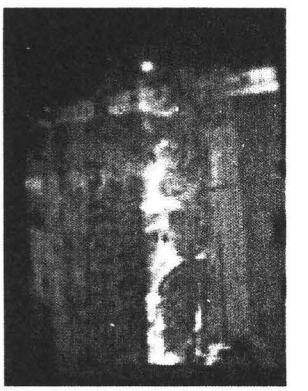


写真７　加熱中の耐火炉内の状況



写真８　加熱終了時の非加熱面の状況

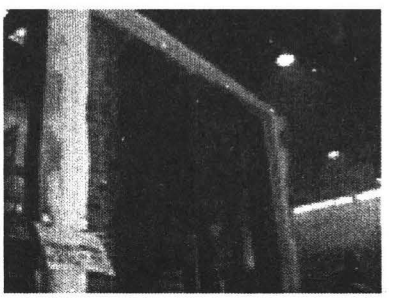


写真９　加熱終了後の加熱面の状況

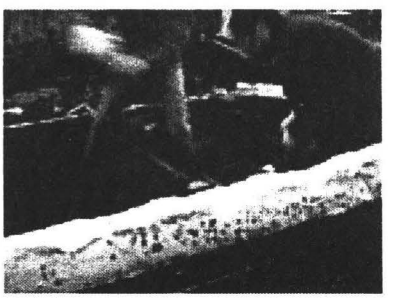


写真１０　試験体解体風景

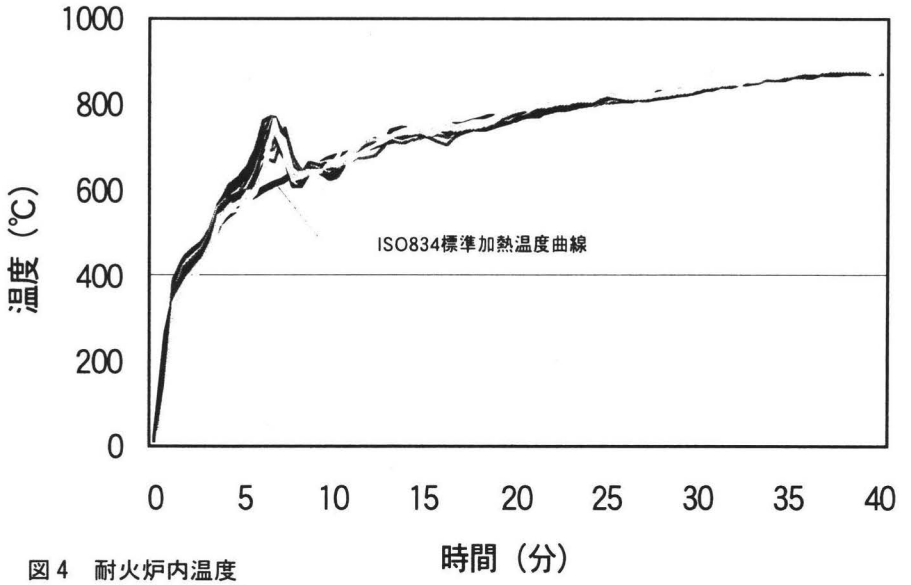


図４　耐火炉内温度

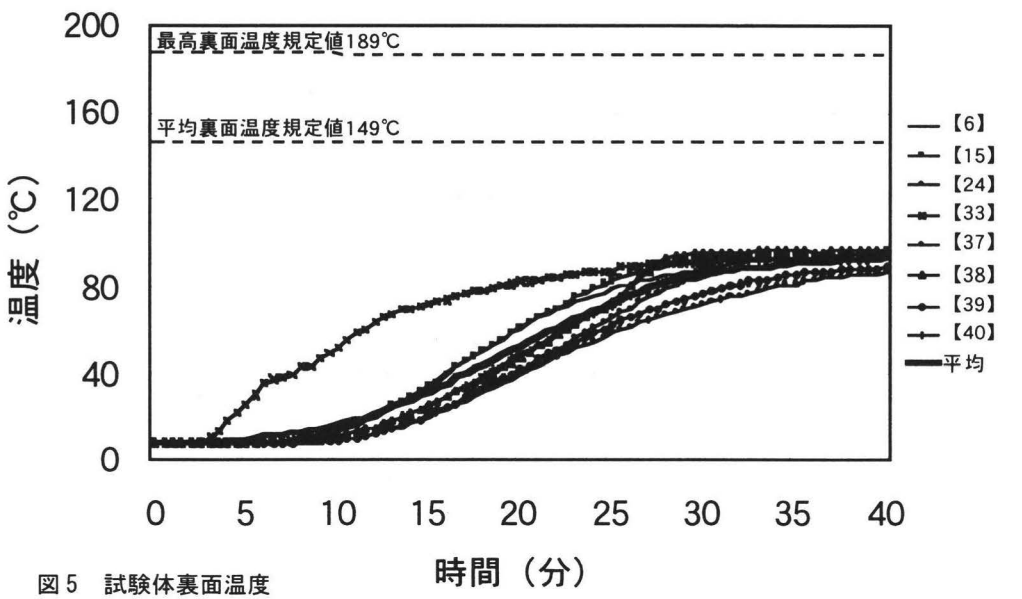


図５　試験体裏面温度

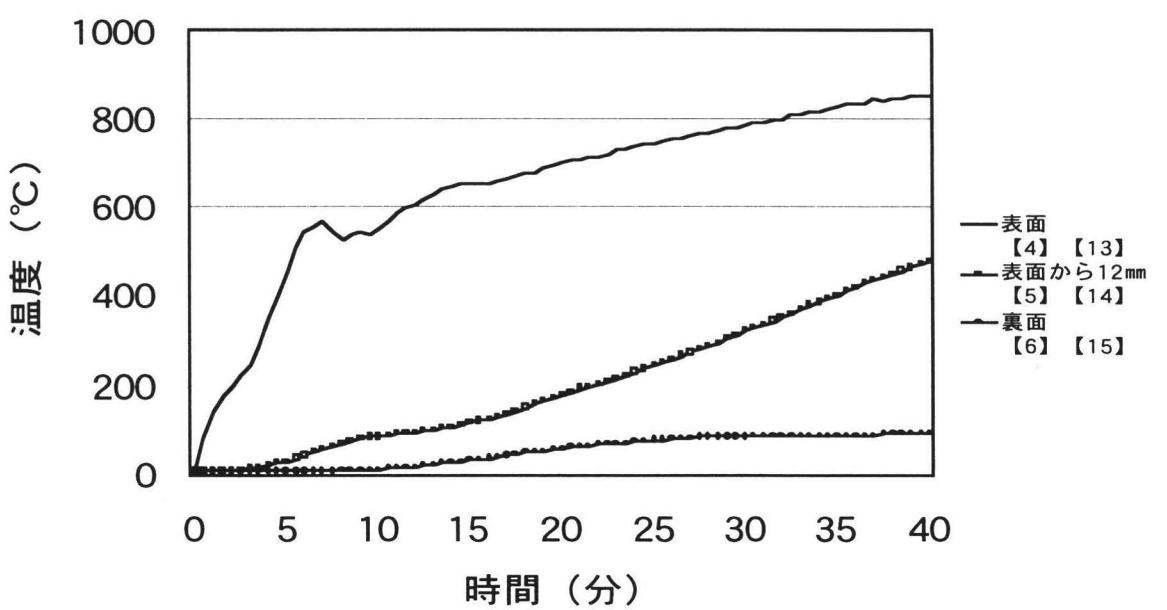


図６　試験体上部土壁の断面内平均温度

*表面温度は測定点【4】と【13】の平均値、表面から12㎜の（横貫裏側）の位置の温度は【5】と【14】の平均値、裏面温度は【6】と【16】の平均値、とした

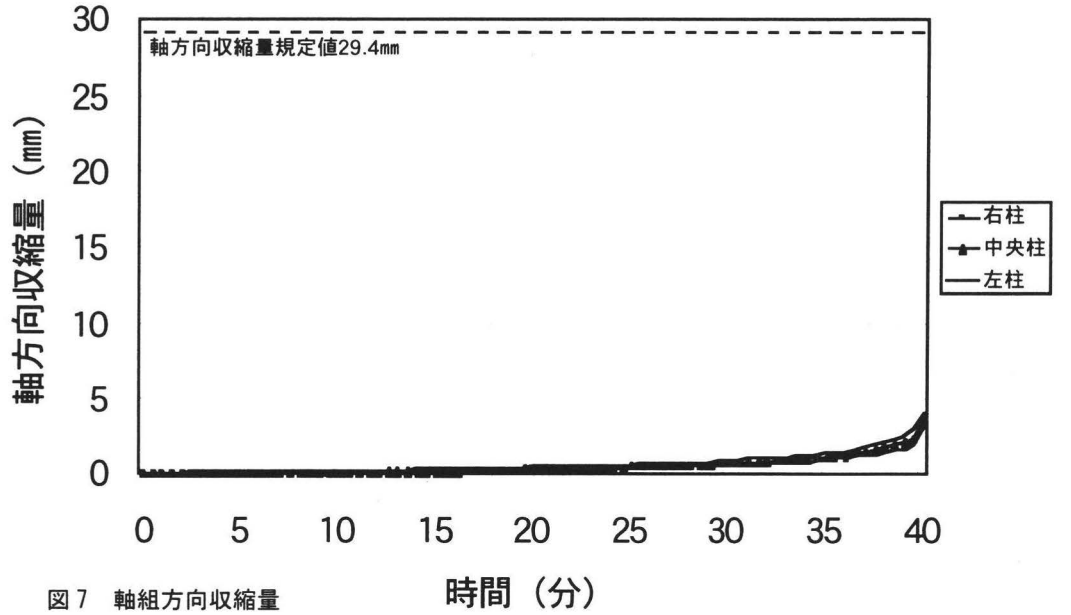


図7　軸組方向収縮量

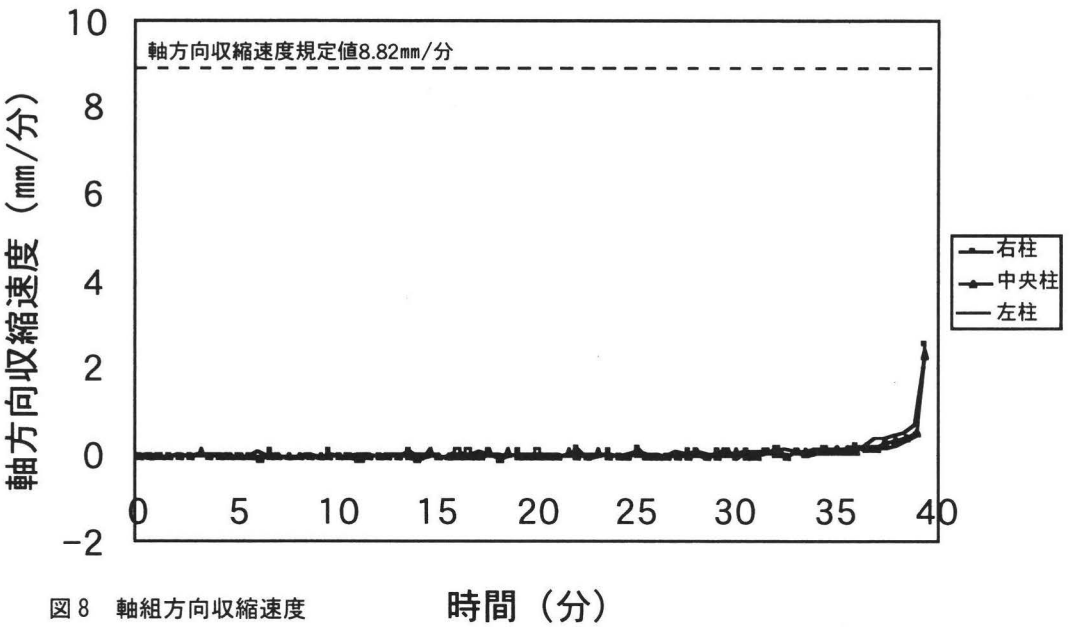


図8　軸組方向収縮速度

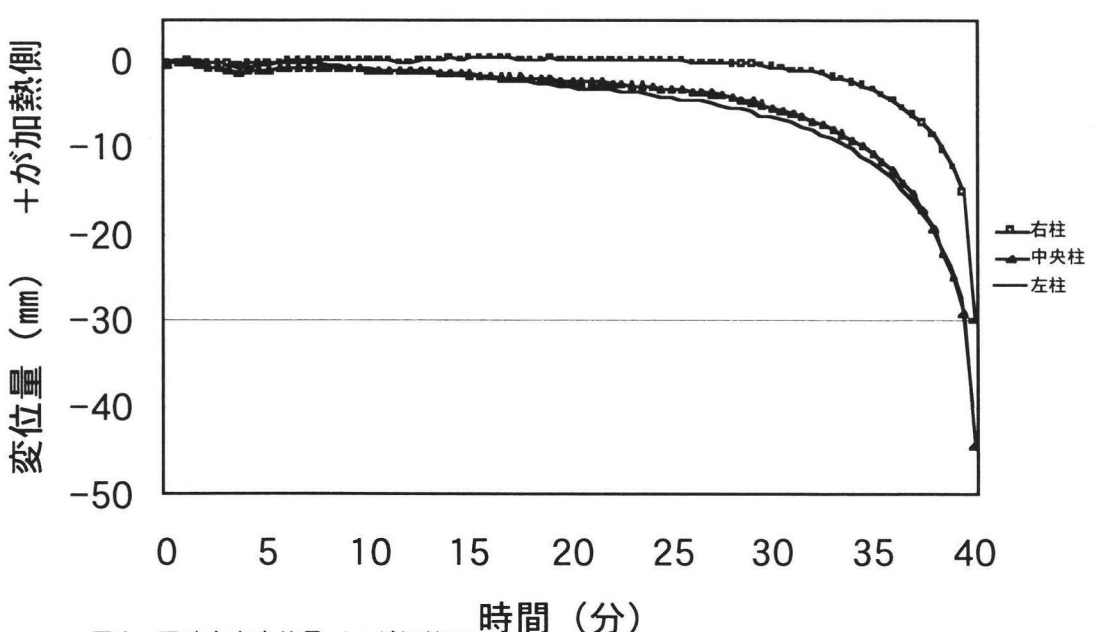


図9　面外方向変位量（＋が加熱面）

*柱の左右は試験体加熱面よりみて

1-16 品確法の住宅性能表示制度(共同住宅)の供給者・需要者への浸透と評価に関する研究

三重大学 工学部 建築学科　助教授　高井宏之
京都大学大学院 都市環境工学専攻　教授　高田光雄

1．背景・目的

2000年度半ばに「住宅の品質確保の促進等に関する法律」（以下、品確法）が施行された。その柱の一つが住宅性能表示制度（以下、性能表示制度または制度）である。これは5つの基本的考え方[注1)]に基づき選定された約30の表示事項について、定められた表示方法と評価方法に則り、個別の住宅の性能に関する特性を供給者から需要者に表示する制度である。制度の利用は供給者の任意であるが、現在着実に制度は浸透しつつある。しかし、実際に供給されている総戸数に比べると必ずしも多いとは言えず[注2)]、国土交通省により様々な対策が打たれているが更なる工夫が必要であると考える。

本研究は、この性能表示制度について、共同住宅に対象を絞り、需要者の受容と評価の実態を明らかにすること、及び一層の普及促進をねらいとした改善提案を作成することを目的としている。また、先行して実施した住宅供給者の制度の受容と評価の実態[1)]との比較により、需要者と供給者の比較の視点からも考察を加えている。

本研究に係わる既往研究は、大きく「～1980年代」「1990年代～品確法施行前」「品確法施行後」の3期に分けることができる。「～1980年代」には、工業化戸建住宅を対象とした建設省の研究、JIS基準作成を念頭においた通産省の調査研究、及び分譲共同住宅に的を絞った建設省や住都公団による性能表示制度・方法の研究があった[2･3)]。「1990年代～品確法施行前」には、法制化を目指すものではないが品確法の性能表示制度と近い発想で、需要者に表示すべき性能項目や方法の調査研究が複数見られた[注3)]。「品確法施行後」では、辻本ら[6)]が住宅展示場の一般来場者に制度の認知度を簡単に調査した程度であり、多数の需要者を対象とした本格的な評価等に関する調査研究や本研究のような住宅供給者を対象とした調査研究は見られない。

また、本研究を着手した2002年以降では井上ら[7･8)]や久木ら[9)]の研究が見られる。これらは住宅購入予定者等を調査対象にしているが、本研究は住宅購入を通過体験し、制度に実際に触れより深い理解をしたと考えられる需要者を調査対象としている点で異なっている。一方、国土交通省自身も性能表示制度を利用した住宅購入者の意識・評価に関する調査[10･11)]を実施している[注4)]。本研究はこれを参考にし、かつ先述の供給者調査との比較が可能な調査内容としており、このような性能表示制度に関する調査研究は過去には見られない。

2．研究の方法と調査対象の概要

本研究の方法の概要を表1に示した。本研究では、上述の先行して実施した住宅供給者の調査に加え3種類の調査を行った。第一は需要者の制度に対する受容と評価に関する実態調査

表１　調査の概要

	先行研究[1)]	【調査Ａ】	【調査Ｂ】	【調査Ｃ】
調査対象	次のどちらかに該当する民間ディベロッパー計24社 1)分譲マンション供給戸数上位20社（全国2000年度）[15)] 2)同上（首都圏2000年度）[15)]	下記に該当する事例の居住者（首都圏・関西圏：各6事例、計12事例） 1)性能表示制度を利用 （12事例中、設計性能評価のみ：6事例、建設性能評価も実施：6事例となるよう選定） 2)2002年4月－2003年3月入居予定（※１）の分譲集合住宅 3)2001年度に実施した供給者調査（調査Ｂ）で回答を得た21社が事業主（2000年度の全国マンション供給戸数ランキングで上位･下位に偏りが生じぬよう選定）（※２）	調査Ａの中から、個別のヒアリング調査に応じてもよいと回答した居住者。ただし、調査対象事例ごとに1名。また首都圏と関西圏に偏らないよう選定。	次の2者。 1)民間ディベロッパー （先行研究の調査の回答企業かつ現在性能表示制度を採用中の企業） 2)公的機関の性能表示制度の担当者
方法	質問紙による郵送調査法	集合郵便受けへ調査票を投函・配票、及び郵送回収による質問紙調査	訪問面接調査	訪問面接調査
時期	2001年12月－2002年2月	2003年12月－2004年1月	2004年6月	2004年9月
実施状況	配票数:23社(事前拒否1社除く) 回収数：21社 回収率：91.3%	配票数：720(首都圏368・関西圏352) 有効回収数：210 （首都圏105・関西圏105） 有効回収率：29.2%	首都圏：4名 関西圏：5名	民間ディベロパー：3名（3社） 公的機関：1名

※1 住宅選択時の状況を忘れておらず、かつ入居後の居住体験からも制度を評価できる視点で設定した。
※2 この結果、関西圏では一部21社外も対象とした。

【調査Ａ】である。方法は、表１の「調査対象」の3)の条件を満たす事業主に着目し、その企業が特定の期間に供給した、制度を適用した12事例を抽出し、その居住者への郵送調査である。第二は、その調査回答者の中から選出した９名の需要者に対する訪問面接調査【調査Ｂ】であり、住宅販売時における性能表示の実態・評価、及び郵送調査内容の各事項に関する詳細な実態把握を目的とした。第三は、実際に制度に取り組んでいる主体に対する訪問面接調査【調査Ｃ】であり、調査Ａ・Ｂから導いた制度の改善案に対し、評価を加えてもらうことを目的とした。

３．需要者の制度に対する受容と評価に関する実態－郵送調査　【調査Ａ】

3-1　調査回答者等の特性と住宅選択行動

(1) 調査回答者の住戸や家族の特性（図１）

各特性とも特に集中したアイテムは見られず､現住宅や回答者の特性に大きな偏りはないと推測できる。

(2) 性能表示制度と住宅選択行動（図２･３）

住宅販売時における制度の説明状況（図２左）は､「受けた」とするものが78%と最も多い。また受けた説明や販売時に配布された資料・パンフレット・解説書などの情報により、制度が住宅購入に役立ったか（図２右）については「住宅決定の決めてになった」は9%であるが､「役に立った」を含めると42%､「参考程度に役に立った」も含めると91%が住宅選択に係わっている。

一方、住宅選択理由（図３）では､「性能表示付きマンション」が複数回答で45%となっており､「住宅の性能」「内装・設備」「住宅供給者の信頼性」に匹敵する高い値となっている。また、設計性能評価のみの事例と建設性能評価も行っている事例を比較すると（図は略)、後者の購入者の方が「建物の耐久性」「建物の安全性」「住宅供給者の（売主や事業主）の信頼

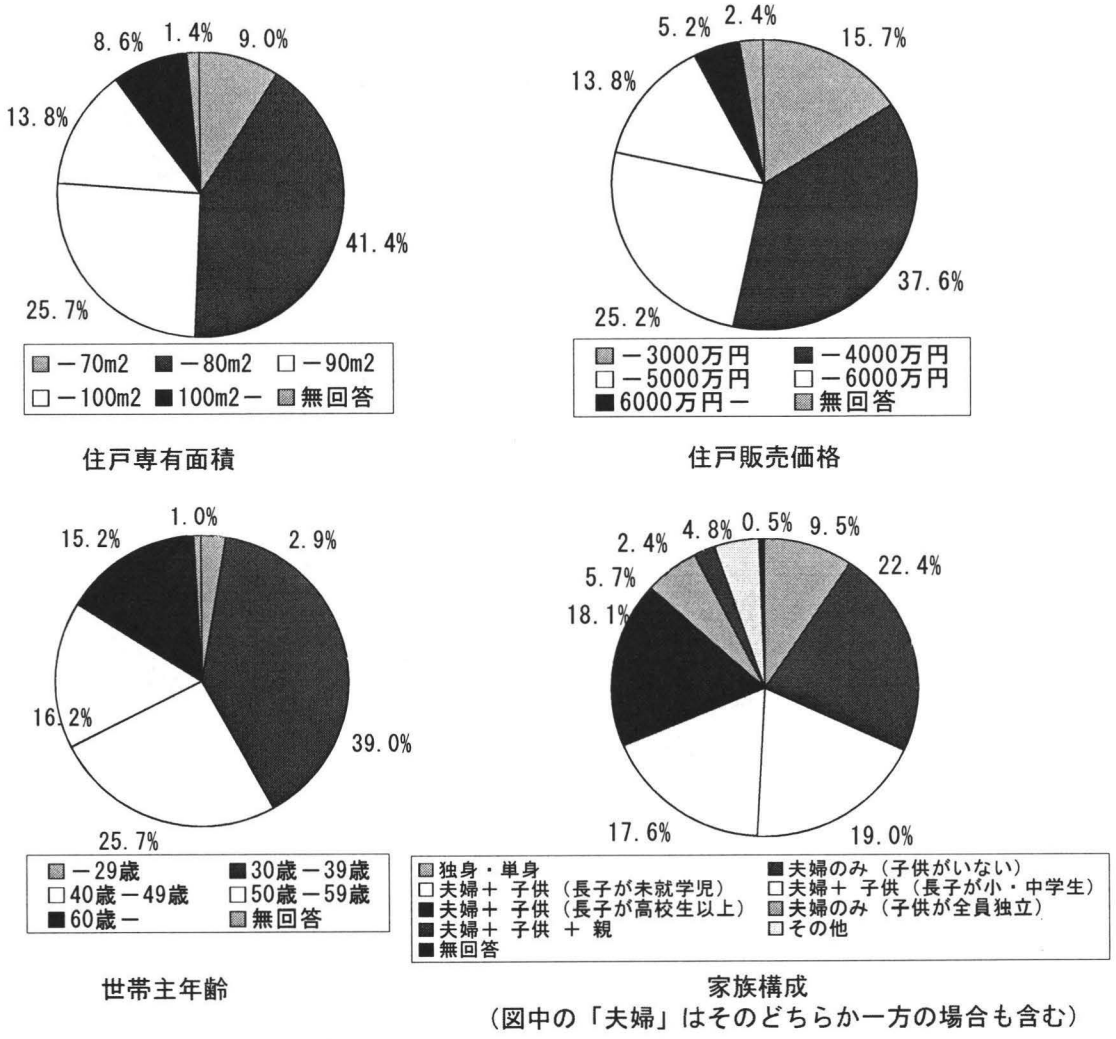


図１　調査回答者の住戸と家族の特性（N=210）

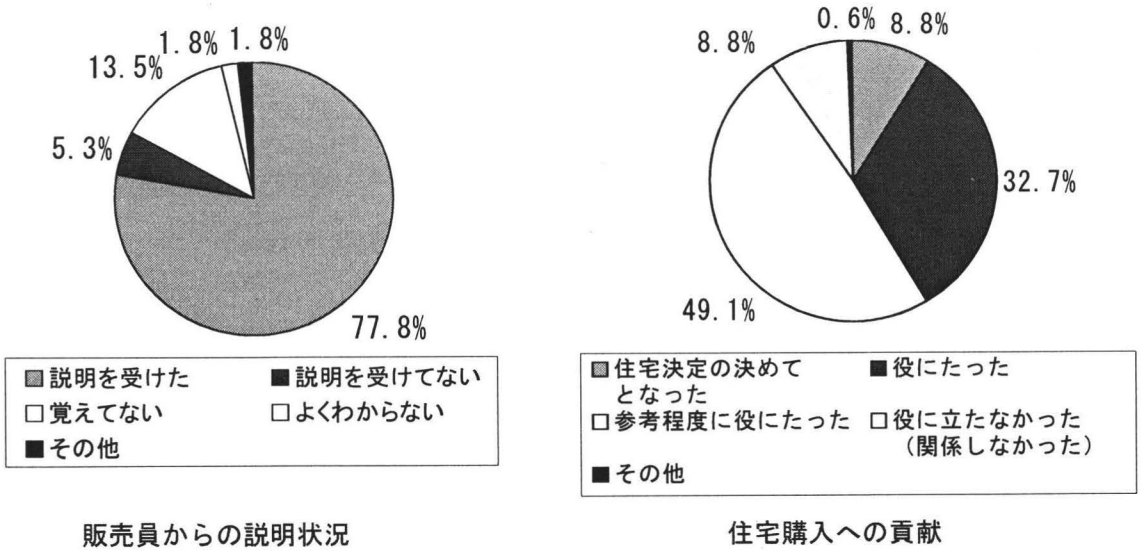


図２　販売員からの説明状況と住宅購入への貢献
(単一回答：N=171･･･購入時に性能表示付きであることを知っていた人のみ)

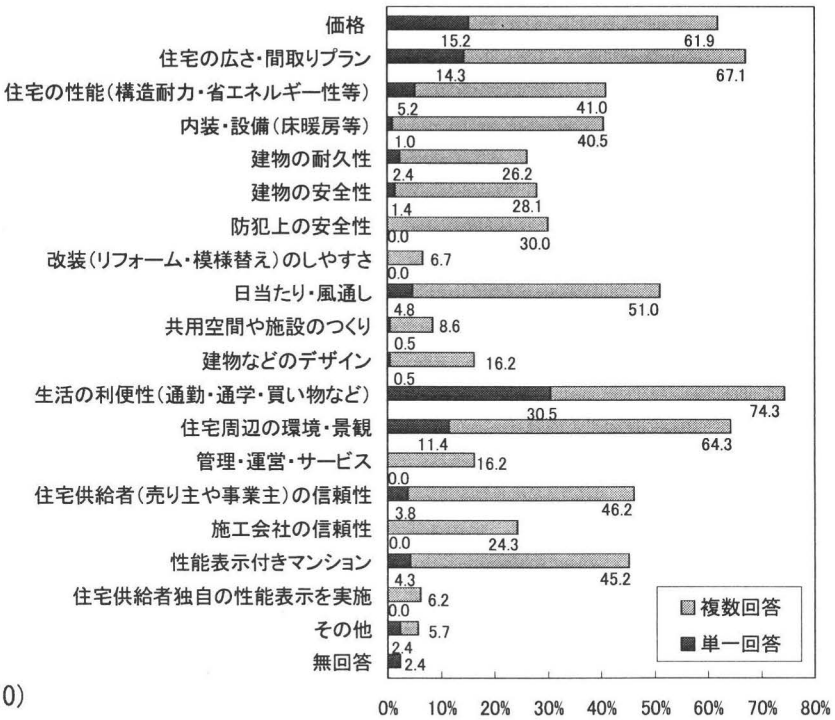


図３　住宅選択理由（N=210）

性」「施工会社の信頼性」の値が高く、視覚的に判断しづらい性能や信頼感を大切にする需要者が建設性能評価の存在を重視している傾向が見られた。ただ、図２右の住宅購入への貢献などではあまり差は見られなかった。

以上を総合すると、性能表示制度を採用した事例では購入者の４割強の住宅選択に影響を及ぼし、参考となる場合も含めその貢献度は高いと理解できる。ただ、建設性能評価を行っているかどうかは現状あまり住宅購入への影響は見られない。[注5)]

3-2　性能表示制度に対する評価

(1) 制度のメリット（図４）

需要者の感じるメリットの第一は『物件に対する安心感』である。それは、「物件の信頼性が増す」「性能の情報が公開されるため、欠陥住宅の可能性が低くなる」「第三者機関による評価を受けているので安心できる」などに現れ、これらはいずれも50%を超える。第二は、その物件を供給する『供給者に対する評価』であり、具体的には「住宅供給者への信頼性が増す」「住宅性能の向上に対する住宅供給者の取り組み姿勢がよくわかる」であり共に30%台である。

また、「資産価値への反映が期待できる」や「専門知識がなくても住宅の性能が分かる」などの効果も評価されている。

一方、制度本来の目的の一つである、物件の相互比較等による「物件の特長がよくわかる」は、採用物件が未だ多くないこともありあまりメリットと評価されていない。また「安価で迅速な紛争処理が受けられる」も未だ実感をもって受け入れられていない。

(2) 制度のディメリット・問題点（図５）

第一は『理解のしにくさ』である。それは「内容」「表示方法」「専門用語」に関してである。また「表示を行っている物件が少ないので、物件間の比較がしにくい」も29%と少なくない。更なる普及が望まれる。

一方、「住宅の性能を十分に評価しているとは考えられない」や「表示して欲しい項目を含んでない」は少なく、具体的な問題としては顕在化していない。

なおその他の意見として、少数であるが事業主や建設会社と評価機関の癒着などを懸念する声もあった。このあたりの信頼獲得も今後の課題の一つかもしれない。

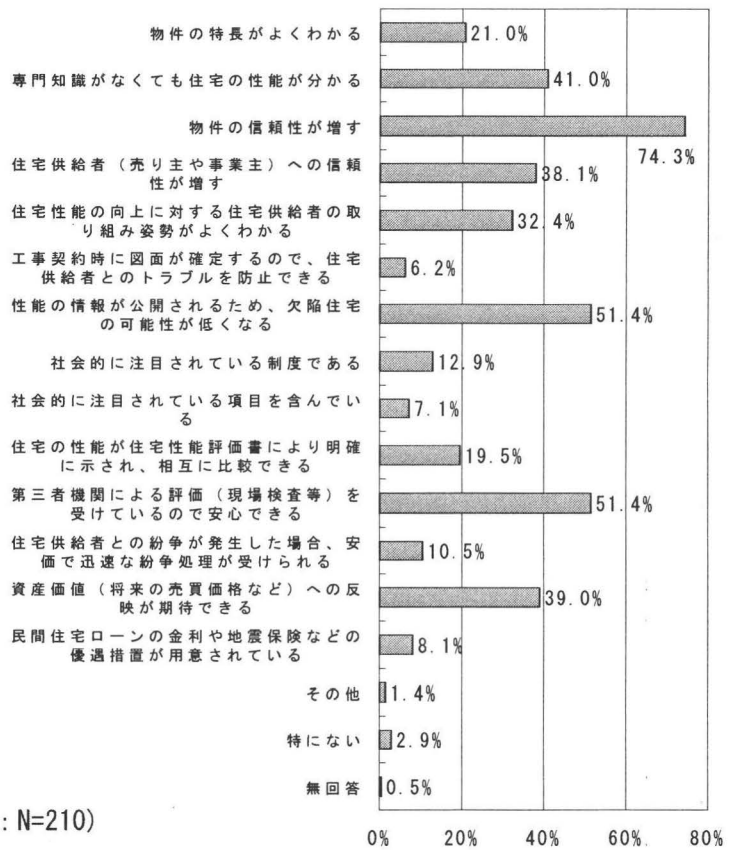


図４
性能表示制度のメリット（複数回答：N=210）

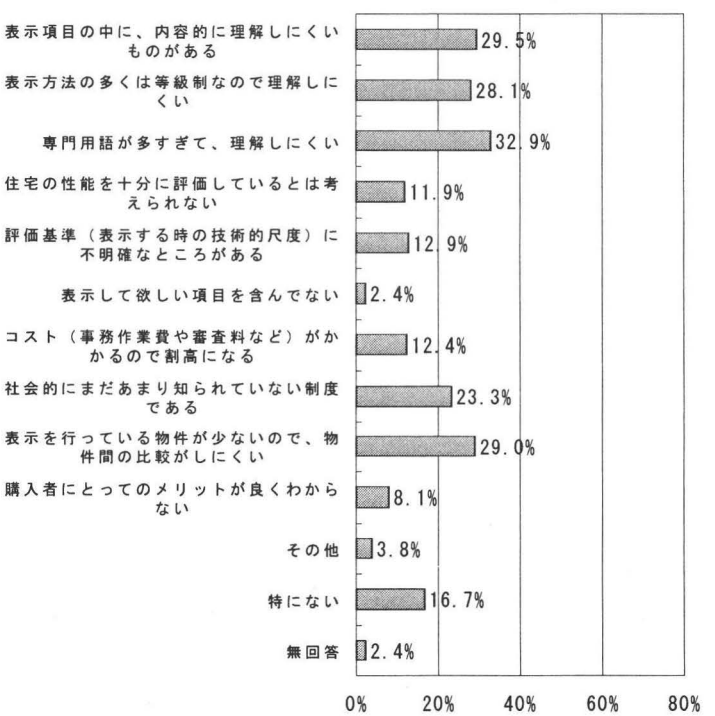


図５
性能表示制度のディメリット・問題点
（複数回答：N=210）

(3) 表示事項及び評価基準に関する評価（図６）

住宅購入時における、表示事項ごとにその『内容理解度』と『重視度』を３段階で評価した平均値を示した。（図６中央）

『内容理解度』が高い事項は「ホルムアルデヒド対策」をはじめとした「6. 空気環境」全般や「9. 高齢者等への配慮」であった。また、逆に低い事項は「地盤又は杭」「基礎構造」「単純開口率」「方位別開口比」であった。『重視度』が高い事項は「耐震等級」「空気環境」「床衝撃音対策」など、一時期社会的に大きく取り上げられた問題に関わる事項や、実生活に強く結びつく日常的に問題意識を持たれている事項であった。

表示事項（「・・・に関すること」は略）		評価（平均） 1 2 3	具体的な指摘内容の類型 わからない 内容・意味	数字・%表示	実際の程度	判断基準	比較できない	イメージわかない	表現方法が曖昧	その他
		内容理解度 / 重視度								
	（内容理解度）	あまりわからない　よくわかる								
	（重視度）	重視していない　重視した								
1.構造の安定	1-1耐震等級（構造躯体等の倒壊等防止）		1		1		2		2	4
	1-2耐震等級（構造躯体の損傷防止）		1		1		2	1	2	4
	1-3耐風等級（構造躯体の倒壊等防止及び損傷防止）		1		1	2	2		2	4
	1-4耐積雪等級（構造躯体の倒壊等防止及び損傷防止）		1		1	3	3		2	4
	1-5地盤又は杭の許容支持力及びその設定方法		4	8		1	2		2	5
	1-6基礎の構造及び形式等		3	6		1	3		2	6
2.火災時の安全	2-1感知警報装置設置等級（自住戸火災時）									
	2-2感知警報装置設置等級（他住戸等火災時）									1
	2-3避難安全対策（他住戸等火災時・共用廊下）									
	2-4脱出対策（火災時）									
	2-5耐火等級（延焼のおそれのある部分（開口部））					1				
	2-6耐火等級（延焼のおそれのある部分（開口部以外））					1			1	1
	2-7耐火等級（界壁及び界床）					1				
3.劣化の軽減	3-1劣化対策等級（構造躯体等）					1	1	2	2	
4.維持管理への配慮	4-1維持管理対策等級（専用配管）		2	1	1	1				
	4-2維持管理対策等級（共用配管）		2	1	1	1				
5.温熱環境	5-1省エネルギー対策等級		1		1	1	1	1	3	
6.空気環境	6-1ホルムアルデヒド対策（内装）									
	6-2全般換気対策									
	6-3局所換気設備									
	6-4室内空気中の化学物質の濃度等					1				1
7.光・視環境	7-1単純開口率		6	2	3	2				
	7-2方位別開口比		6	2	3	2				
8.音環境	8-1重量床衝撃音対策		1	1	2					
	8-2軽量床衝撃音対策		2	1	2					
	8-3透過損失等級（界壁）		5	1	1	1				
	8-4透過損失等級（外壁開口部）		4	1	1	1				
9.高齢者等への配慮	9-1高齢者等配慮対策等級（専用部分）									1
	9-2高齢者等配慮対策等級（共用部分）									1

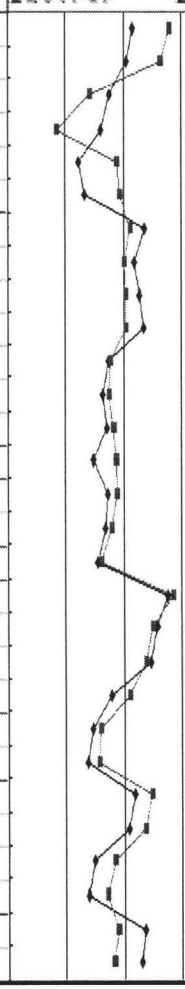


図６　表示事項の内容理解度・重視度及び問題点（N=210）

※中央は、住宅購入時の『内容理解度』と『重視度』を３段階で評価し平均値を示した。３に近づくほど『内容理解度』『重視度』が高いことを示す。右側は『内容理解度』に対し「あまりわからない」とした事項に対し記入された具体的な問題点を分類した。

『内容理解度』と『重視度』の関係を見てみると、全体的に『重視度』が高い事項について『内容理解度』が高いという健全な傾向が見られる。ただし、「耐震等級」「床衝撃音対策」に対しては『重視度』が高いが『内容理解度』が低く、重視したいが住宅選択時の参考にしづらい状況であり改善が必要であろう。

具体的な指摘内容（図６右）については、事項の内容・意味、数字・%表示の意味することやそれに係わる世間一般の実態、良否の判断基準が「わからない」という指摘が多い。また、「比較ができない」「表現方法が曖昧」であるという指摘も多く見られた。

(4) 制度の総合評価（図７）

需要者の制度に対する「関心」は高く、制度の「社会的な意義」を十分認めた上で、現状「社会への定着」は十分ではないと考え、その定着を強く望んでいる。また、物件や企業の「特徴や他との違いを知る手段になる」とも考えている。

一方、現状「理解するための努力」は大いに必要な状況であり改善が望まれている。また、現在の住宅の性能表示に対しての満足度は総合的には低くはない。

3-3 需要者と供給者の制度等に対する認識の比較

文献１に示す供給者への調査は2001年12月に実施した。本研究の調査とは２年の時間差があり、その間冒頭に述べた通り制度の採用戸数も増加してきた。しかし、依然として制度を適用しない供給者も多く[注6)]、比較分析に大きな問題はないと考える。

(1) 制度のメリット（図８）

「その物件の信頼性を示すことができる」が多いことは、需要者と供給者で一致している。また、制度が広く普及しておらず物件間の比較が難しい現状において「その物件の特徴を示すことができる」が少ないこともやはり一致している。

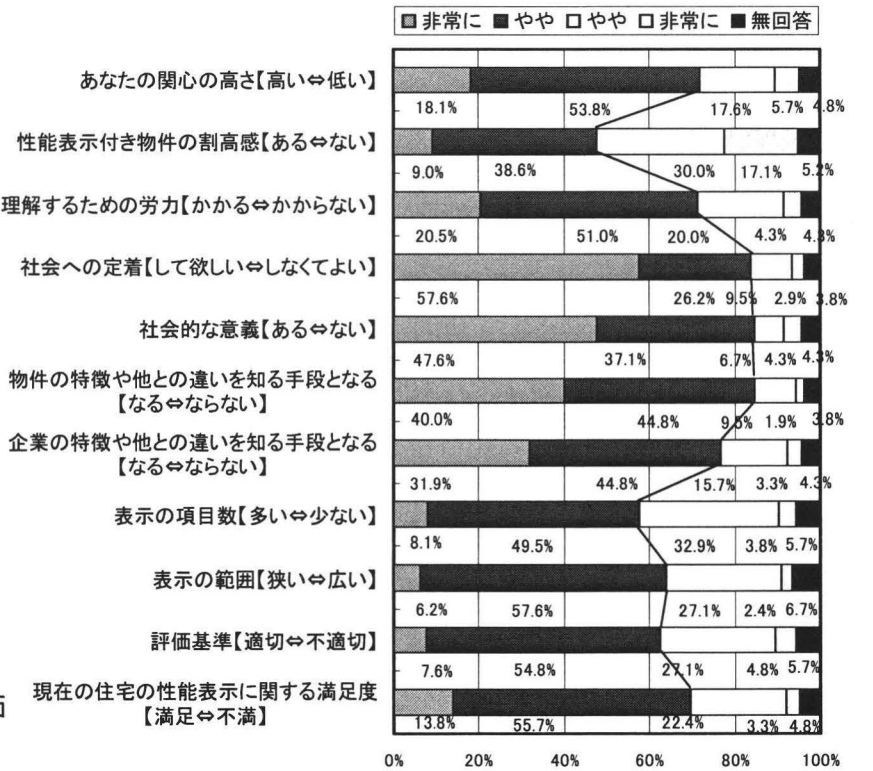


図７
性能表示制度の総合評価
（単一回答：N=210）

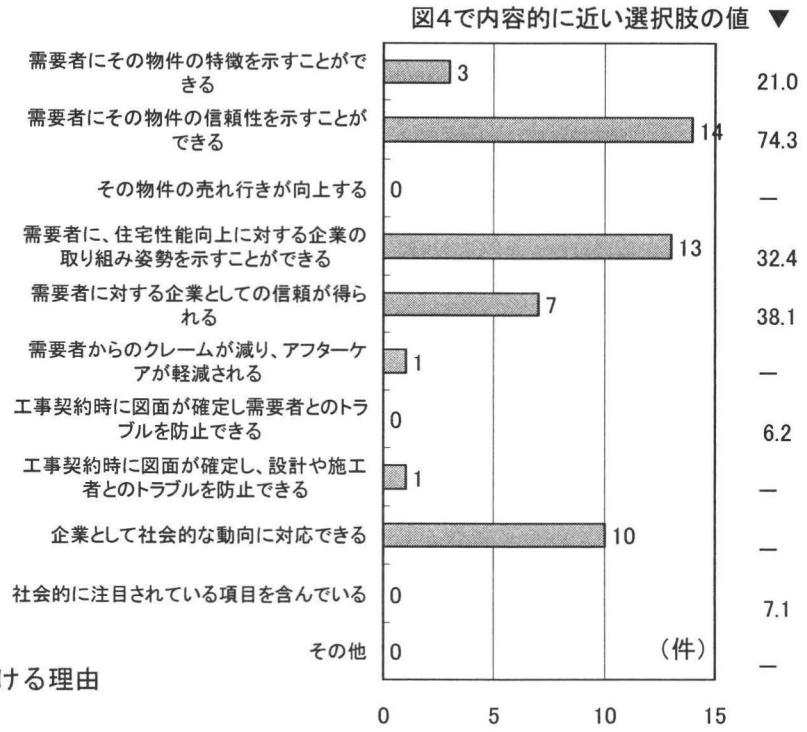


図８

供給者が性能表示(設計)を受ける理由

(複数回答：N=17)

※供給者には本図の１１の選択肢中から１－３位を記述させたが上記はその合計を示した。なお、対応する右端には図４の需要者の選択肢の中で内容的に近い選択肢の値を併記した。

一方、「住宅性能向上に対する企業の取り組み姿勢を示すことができる」は、供給者が意識しているほど高くはなく、需要者は物件自体の良否の判断に制度を活用する傾向がやや強いようである。

(2) 表示事項及び評価基準に関する評価（図は略）

文献１に記述した通り、供給者が重要度が高くかつ改善余地が大きいとした表示事項は「耐震等級」の２項目であり、理由は３等級の設定幅が大きすぎることなどであった。また「床衝撃音対策」の２項目は評価方法、設計段階での性能評価の難しさ等について指摘が見られた。これらの項目は需要者も重視している項目であり、特に「耐震等級」については重視度に比べわかりにくいとしているものである。

一方、供給者が認識する重要度は高いが改善の余地はあまり高くないものには「劣化対策等級」や「ホルムアルデヒド対策（内装)」があり、また特に重要度の低い表示事項として「単純開口率」「方位別開口比」があがった。これは需要者の意見と一致している。

(3) 制度の総合評価（図９・図７）

需要者と供給者で一致しているのは、「社会的な意義」が高いこと、および「物件や企業の差別化の手段（特徴や他との違いを知る手段)」となることである。また、「表示すべき項目数」や「表示の範囲」についてはやや需要者の方が改善意欲が高く、「評価基準」については供給者の方が改善に対する問題意識が強い。

しかし、何より着目すべきは制度に対する関心の高さであり、需要者の関心は供給者が考えているよりも圧倒的に高い。[注7)]

(4) 更に表示した方がよい事項（図 10・11）

冒頭で述べた通り、表示事項の選定は５つの基本的な考え方に基づき、各種立場からの

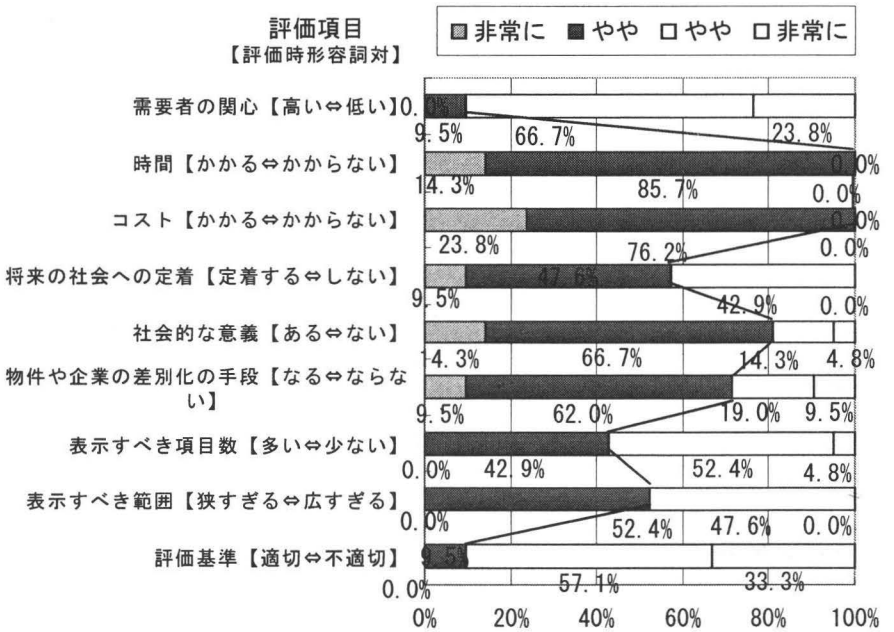


図９
供給者の性能表示制度の総合評価
（単一回答：N=21）

意見もふまえた上で決定された[13]。しかし、評価技術の確立の状況や客観性が強く重視されたために物理的な扱いが比較的容易な項目に特化し、需要者が住宅選択時に求める事項[4]と比べ限定されたものとなっている。

この現状に対して、各社共通のルールを設け表示した方がよいと考えられる事項について尋ねたのが図10と図11である。[注8] なお、この設問では純粋に需要者にとっての貢献を念頭に評価してもらった[注9]。

両者の結果を比較すると、需要者がより強く希望する項目は、図10では「住戸の風通しの良さ」や「結露防止対策」「防かび・抗菌・防ダニ配慮対策」などの生活に密着した項目であり、これらはいずれも供給者との認識に大きな隔たりがある。また図11では「管理体制」「セキュリティー確保の方法」「ゴミ処理方式」など運営・管理に関わる項目の値が高く、これらの重要性の認識は供給者と一致している。

3-4 小括

需要者の性能表示制度に対する関心は高く、実際の住宅選択行動に及ぼす影響は大きい。感じるメリットは「物件に対する安心感」や「供給者に対する評価」であり、「資産価値への反映への期待」や「専門知識がなくても住宅の性能が分かる」もある。

しかし、制度本来の目的の一つである、物件間の比較による「物件の特長の理解」はメリットと認識されていない。その原因は、制度が採用されている物件の現状の少なさであるが、表示事項の理解のしにくさも無関係ではあるまい。特に後者は、表示事項の内容・意味、数字・%表示の意味することやそれに係わる世間一般の実態、良否の判断基準がわからないという指摘が多い。またそれに関連し、理解するための努力が大と認識されている。

需要者と供給者の比較では、制度の「社会的な意義」が高いことや「物件や企業の差別化の手段」となるとの認識は一致している。しかし、需要者の関心は供給者が考えているよりも圧倒的に高い。表示事項については「耐震等級」「床衝撃音対策」の改善ニーズ、「単純開口率」「方位別開口比」の重要度の低さは意見として一致しているが、需要者は「風通しの良さ」

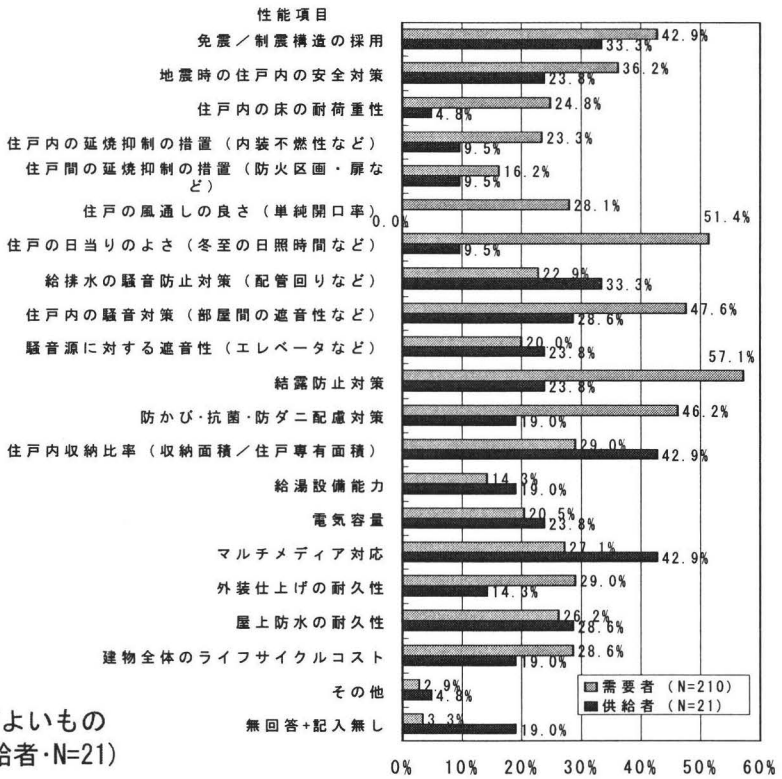


図１０
共通ルールを設け表示した方がよいもの
（複数回答：需要者･N=210、供給者･N=21）

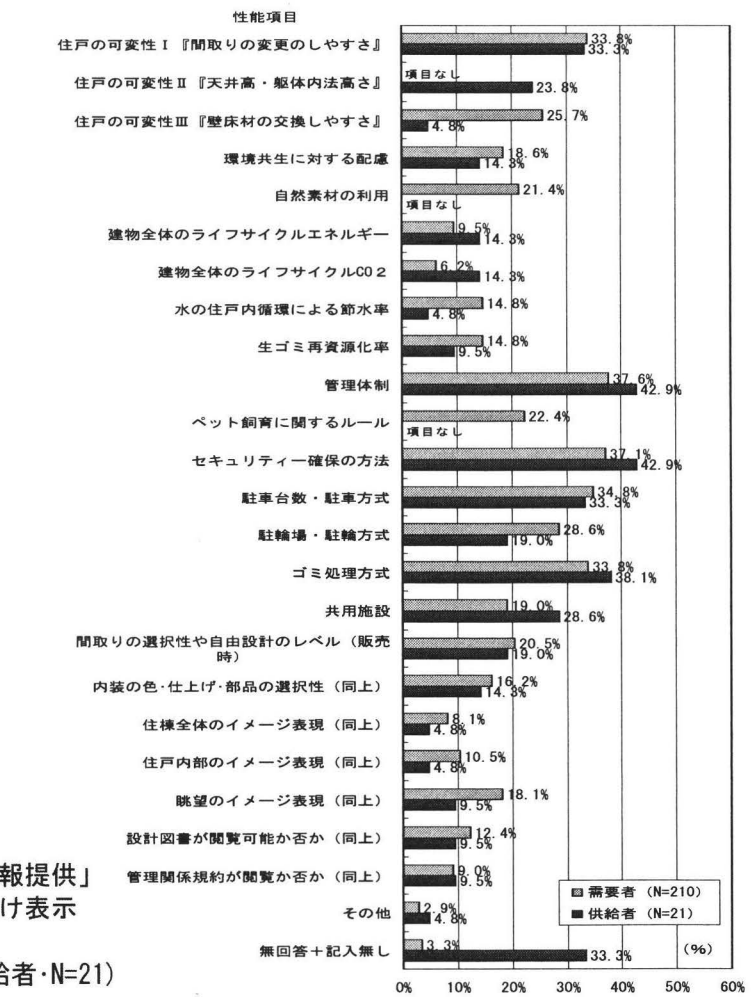


図１１
性能表示を「需要者への物件情報提供」と広く捉え、共通のルールを設け表示した方がよいもの
（複数回答：需要者･N=210、供給者･N=21）

や「結露防止対策」「防かび・抗菌・防ダニ配慮対策」など、より生活に密着した項目の充実を希望している。

以上の結果をもとに今後の性能表示制度のあり方を展望すると、第一は『社会への普及促進』である。国土交通省は品確法施行後直ちに「住宅性能表示制度普及推進アクションプログラム」を立案・実施したが、物件の相互比較が可能な程度には普及していない。そのための方策の第一は「住宅供給者への働きかけ」であり、本調査で明らかとなった、需要者の性能表示制度に対する興味の高さ、及びその採用が住宅選択行動に大きな影響を及ぼすことを十分認識してもらう必要がある。また、需要者にとって生活に密着した表示項目の充実により、更に需要者に興味を持ってもらうことも有効な方法となろう。

あり方の第二は『需要者にとってのわかりにくさの克服』である。まず、現状配布されている評価書の書式も評価機関で統一されていない。[注10] これでは需要者は混乱に陥いるであろう。また、性能表示解説書については、国土交通省で発行している「住宅性能表示ガイド」をそのまま配布している供給者もいるが、需要者に性能が感覚的に理解しやすい解説図を用いているケースもある。これは大いに評価に値する。

最後は、需要者にとっての『判断基準の提供』である。需要者は等級や数値が示されても、世間一般の実態やこの程度あれば十分といった目安がないと判断は難しい。国土交通省は2002年に、建設住宅性能評価を受けた住宅の性能等級の実態調査を実施・公表したが、これは上記ニーズに応えるものとなり得る。この調査の継続的実施と需要者への周知が強く望まれる。

4．需要者の制度に対する受容と評価に関する詳細実態－訪問面接調査【調査B】

4-1　調査概要

前章で需要者の性能表示制度に対する関心や意識を明らかにした。しかしながら、これらは全需要者における関心や意識の高い人の「割合」などに基づくものであり、個々の需要者における「深さ」は明らかとなってはいない。本章は、具体的な需要者９名に対する個別の面接調査を行い、個々の住宅購入プロセスや志向を念頭におきつつ、需要者の制度に対する受容と評価の実態を明らかにする。なお、対象者は上記の「深さ」を重点的に明らかにするために、住宅選択理由として「性能表示付きマンション」を選んだ需要者を中心に選定した。

4-2　調査結果

(1) 住宅選択理由と制度の認知・期待・印象・イメージ・理由（表２）

表２の『ｂ．住宅選択理由』や『c. 当初の認知、期待・印象・イメージ、理由』からは、調査Ａの結果と同様に、第三者機関の評価であることに対する安心や信頼という言葉が抽出された。しかしながら、一方で「ないよりはあった方がよい」との言葉が多く見られ、関心は必ずしも深いものではないことがわかった。しかしながら着目に値するケースもある。事例Ｌは池の埋立地に建設された集合住宅であり、この居住者は地下構造に関する不安を持っていたが、制度がその解消に大きな役割を果たしたと述べている。このように需要者にとって見えない性能が住宅選択に大きく係わる場合は、制度は力を発揮することがわかった。またこの居住者は建築以外の第三者評価機関に勤務しており、制度の意味は理解しているものの、業者との癒着などの課題も仕事柄知っていると述べている。この居住者は、ある意味で専門家であり、広く一般にもこのような誤解を与えない十分な情報提供が必要であると言える。

表2 需要者の個別ヒアリングの結果（その1）

事例	所在地	家族構成 ※1	世帯主年齢〈回答者〉	a. 購入の経緯	b. 住宅選択理由 ※2	c. 当初の認知、期待・印象・イメージ、理由
A	東京	4	44 ＜奥様＞	・きっかけは何となくチラシを見て。 ・前住宅に近いところ。	・前住宅に近い。 ・主人の実家が近い。 ・途中基礎を確認できた。 **【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】** ・無いよりはあった方が良い。第三者機関で安心。	・モデルルームに行った時にパンフに表示されていた時。 ・あまり期待は無く、ないよりはあった方が良い。
B	神奈川	2	75 ＜主人＞	・30年前から目の前に居住。耐震性が乏しいのと高齢化で購入を決意。 ・自分は戸建希望だったが奥様がマンション希望。	・S不動産（以前関連会社勤務で信用あった） ・子供らが近くに住む。 **【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】**	・探していた頃は知らず。 ・友人より制度の存在を知り、ないよりはついてる方が良いとこの制度を採用物件を中心に探した。
E	神奈川	3	38 ＜奥様＞	・前住宅は借り上げ社宅、近くに大きな道路と地下駐車場も結露。 ・金利が安さと夫の年齢。 ・住宅情報誌を色々探索。	・広さと向きと環境 ・夫の通勤がしやすい事 ・広い割に安かった ・妥協した点は電車の駅の近く、及びタイル張り。	・少し知っていた。 ・その時は半信半疑だったが、付いてないよりは付いている方が良いかなって感じ。
F	東京	2	57 ＜主人＞ ＜奥様＞	・時期的にお金もたまってきたし家が欲しかった。 ・動物病院を10年前から経営しその近くで家探し。動物と共に住める家を。	・基礎工事から見ていて、作業員等がきっちり。 ・施工会社が大成建設。 **【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】** ・お墨付きで安心感。第三者評価が大きい。	・契約前から知っていた。
G	大阪	5	38 ＜奥様＞	・同市の築20年マンションに4年。使いにくく価格も下がるので4～5年間不動産広告を見ていた。 ・昔の状況理解、周辺環境不変の理由で同市周辺を1日で複数回って決定。	・完成分譲形態で安心感。住戸からの風景、日当り、電柱・電線などわかる。 ・サンプルルームあり、見えない部分もしっかり作っているのが実感できた。 **【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】**	・販売センターに来てはじめて知った。 ・目に見えない部分が、実物の状況も含めよくわかった。 ・第三者の評価であることがよい。
H	大阪	5	51 ＜主人＞	・現最寄り駅より車で15分の所に約20年間。 ・子供でき手狭、最寄り駅近く物件を何年か着目。 ・地価が下がり手が届く範囲となり購入。	・左の条件に合った。 **【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】** ・見た物件の中でこれだけ性能表示をやっていた。	・数年物件を見ていて知っていた。 ・第三者機関の評価であり中立的な視点でちゃんとしている。安心感あった。
J	兵庫	4	44 ＜主人＞	・借上げ社宅住まいで大阪に転勤。これを機により職場の近く住宅取得。 ・子供が中学校への時期。 ・1年位探したが現住宅の事業主物件を複数見た。	**【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】** ・新制度で総合評価尺度。 ・第三者機関の評価で、事業主説明の「今後転売時に役立つ」に共感。 ・物件比較、このランクで○という程でない。	・名前は知っていた。 ・メリットは期待できそうだと感じた。
K	大阪	3	40 ＜主人＞	・勤務先家賃補助が近々半減で住宅取得検討。 ・奥様勤務先に近くひやかしで住宅見学。ルーフバルコニー気に入り購入。 ・購入可能な範囲。	**【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】** ・事業主に知り合いおり、信頼感。 ・奥様近くに昔住み土地勘 ・ルーフバルコニー	・知っていた。 ・「期待・印象・イメージ」は特になし。
L	奈良	3	29 ＜主人＞	・賃貸居住で、第一子誕生を機に住宅取得。 ・妻の実家に近くに限定。 ・以前より実家に近い所を色々見て歩き。	**【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】** ・池の埋立て地のマンションが不安要素。それを解消する役割を果たした。 ・奈良最初の性能表示物件で、転売時価値を期待。	・様々な広告記述で認知。 ・自分自身も家電製品の第三者評価機関に勤務、制度の意味は理解。 ・業者との癒着などの課題も（業界で違うだろうが）仕事柄知っている。

※1 家族構成：
1．独身・単身／2．夫婦のみ（子供がいない）／3．夫婦（またはそのいずれか）＋子供（長子が未就学児）／4．夫婦（またはそのいずれか）＋子供（長子が小・中学生）／5．夫婦（またはそのいずれか）＋子供（長子が高校生以上）／6．夫婦のみ（子供が全員独立）／7．夫婦（またはそのいずれか）＋子供＋親／8．その他

※2 **【15. 性能表示付きﾏﾝｼｮﾝ】**＝質問紙調査で住宅の選択理由としてこの項目を選んでいる人

表3 需要者の個別ヒアリングの結果（その2）

事例	d. 販売時の状況		e. 住宅購入時の評価（【 】内は簡易に表現。実際の選択肢は図 4・5 参照）	
	(1)販売時の性能表示の状況	(2)評価書のわかりやすさ	(1)『住宅購入への影響』の詳細内容	(2)〈メリット・ディメリット〉
A	・パンフに表示。モデルルームで説明、評価書とガイドブックを入手。 ・ガイドブックに各ランクの内容が記述。	・内容は大部分理解できた。理解できなかった所は杭の所。	**【2. 役にたった】** ・一応役にたったと思う。	＜メリット＞ （7 項目） ＜ディメリット＞ **【5. 評価基準（技術的尺度）に不明確なところ】**
B	・パンフレットに記述。 ・性能評価書は引渡し後にもらった。	・評価書は、数字で表されているのでわかりづらかった。 ・ガイドブックはわかりやすかった。	**【2. 役にたった】** ・安心できる。	＜メリット＞ **【3. 物件の信頼性増す】** ＜ディメリット＞ **【1. 表示項目中に内容的に理解しにくいもの】** **【3. 専門用語が多すぎて、理解しにくい】**
E	・渡されただけで特に説明は無かった。 ・他の物件を回った時には説明してもらえた。 ・性能表示の他物件との比較はしなかった。	・全ての項目について、実際にどうなるのかが理解しづらい。 ・調査票に書かれていた音の事はもちろん、説明書の“その他”の意味がわからない。	**【3. 参考程度役立った】** ・不動産屋が制度をしっかりと理解していない。その様な人の説明で間違った理解をしてしまう。（設計と建設 2 つあるとは思わなかった）	＜メリット＞ **【3. 物件の信頼性増す】** ＜ディメリット＞ **【5. 評価基準（技術的尺度）に不明確なところ】**
F	・契約時に写し、引渡し時に本書を入手。	・わかり易かった。	**【1. 住宅決定の決め手となった】**	＜メリット＞ **【7. 性能の情報が公開されるため、欠陥住宅の可能性が低くなる】** ＜ディメリット＞なし
G	・近くの物件と比較しこの物件を説明してくれた。 ・販売時に説明会あり常設ビデオコーナー。 ・各ランキングの説明は口頭（確か）。 ・ガイドブックはあった。	・耐震性能のランキングがわかりやすかった。阪神大震災の事故のケースを示し、それと比較していた。	**【2.役に立った】** ・安心感がある。	＜メリット＞ **【11. 第三者機関評価（現場検査等）で安心】** ＜ディメリット＞ **【9. 表示物件が少なく物件間の比較がしにくい】** ・評価の物差しになっていない。
H	・購入時に解説書と共に説明を受けた。 ・パンフレットでは 1 ページ使っており、これに加え別冊の冊子。この物件の設計内容を例示しながら解説してあった。	・どのランクが普通なのか、どのくらいが実際必要なのかわからない。	**【3. 参考程度役立った】** ・耐震、シックハウス関係。遮音の問題は上階に他住戸のない位置を選びクリアした。	＜メリット＞ **【11. 第三者機関評価（現場検査等）で安心】** ＜ディメリット＞ **【1. 表示項目中に内容的に理解しにくいもの】** ・各ランクの意味不明。（例：1.25 倍とは何か）
J	（一般販売が終わってからの購入なので不明）	（未回答）	**【2. 役にたった】** ・他の評価要素に加え、プラス評価に働いた。	＜メリット＞ **【3. 物件の信頼性増す】** ＜ディメリット＞なし
K	・性能表示採用は記述していたし、評価書自身の紹介はあったが、詳しい話はなし。 ・良いものか聞いたがはっきりした話はなし。 ・オリジナルガイドも合わせて手渡されたが、さっと目を通した程度。	・トータルで見てどうかがわかりにくい。 ・個々の値がどうかというところまで見ていない。	**【4. 役に立たなかった（関係しなかった）】** ・結果として性能表示付きであった。	＜メリット＞ **【11. 第三者機関評価（現場検査等）で安心】** ・紹介者（事業主）の信頼厚くそもそも安心感。 ＜ディメリット＞ **【1. 表示項目中に内容的に理解しにくいもの】** ・比べること自体も大変。
L	・販売センター、広告、パンフレットに簡単に紹介してあった程度。 ・購入前は特に資料なしで引渡し時に一式渡してもらった。	（未回答）	**【3. 参考程度役立った】** ・池の埋め立て地であることの不安解消に役立った。	＜メリット＞ **【3. 物件の信頼性増す】** ＜ディメリット＞ **【5. 評価基準（技術的尺度）に不明確なところ】** ・建設会社などと評価する会社の裏がありそう。

表4　需要者の個別ヒアリングの結果（その3）

事例	f. 改善提案
A	・一般的人でも理解、想像がつく様な単位を使う。マグニチュード7なら少しヒビが入るが問題なしなど。 ・内装品の寿命。　・料金を安く。
B	－
E	・内装品も明記。例えばフローリングのキズがつきやすいとか。 ・火災の所で60分耐火の時間でどれだけの人が助かり、20分ではどれだけかなど明記。
F	・内装材も耐久年数を。　・項目数を増やす。 ・評価書レベルで何段階の何かがわかるように。 ・評価した数字の意味だけでなく基準も示す。例えば耐久性能“3”だと、小学校や庁舎程度の耐震・耐久性能があるなど。地震時にヒビが入っても修復で使用可かも。
G	・専門的に過ぎるか。　・説明してくれよかった。 ・希望を入れると合うものが出力。ユーザー論理で探せるもの。
H	・もっと詳しくビジュアルで具体的にわかりやすく。例えば阪神大震災を例に引く等の例示で実感できるものを。 ・インターネットで物件性能が手軽に収集可。
J	・特にない
K	・見やすいものに。　・自分たちが感覚的にわかるようなもの。　・総合的なものも。 ・普及し相互比較可に。　・各項目の重要度がわかるもの。第三者の提言でも良い。
L	・そのランクとなった理由やねらいの情報。　・世の中一般の性能とこのマンションが比較できる情報。 ・設計時評価と竣工後の比較、変更理由。

(2) 販売時の状況（表３左）

住宅選択時から少々時間が経過していたため、全体として需要者の記憶はやや曖昧であったが、『(1) 販売時の性能表示の状況』は住宅供給者間でばらつきがあったようである。

『(2) 評価書のわかりやすさ』は、わかりやすかったとわかりにくかったなど意見は多様であった。なお、事例Hの居住者の「どのランクが普通なのか、どのくらいが実際必要なのかわからない」の意見は示唆に富む。この居住者は化学系の研究開発職にあり、技術者の視点から性能を理解するためには基準となる物差しが不可欠であると指摘している。

(3) 住宅購入時の評価（表３右）

意見は多様であり、特に＜メリット・ディメリット＞について、この９名について顕著な傾向は見られなかった。

(4) 改善提案（表４）

多様な意見が見られ、また抽出された意見は技術的に評価・表示が困難なものも少なくない。しかしながら、需要者が実感をもって性能の内容などを理解できるようにしてほしいという点では共通している。

4-3　小括

制度が需要者に対して与える効果は安心や信頼であることが確認されたが、一方で制度に対する期待は未だ「ないよりはあった方がよい」というレベルであることもわかった。しかしながら、池の埋立地に建設された集合住宅のケースのように、住宅の性能が需要者にとって切実な問題となる場合には、制度は力を発揮する現象も見られた。また、性能評価の客観性や、性能を理解するためには基準となる物差しの存在が必要との意見も得られた。

５．改善提案と実際に制度に取り組む主体の評価－訪問面接調査【調査Ｃ】

5-1　改善提案と調査概要

供給者調査も含めた３つの調査結果を踏まえた制度に対する改善提案を、各調査から導か

れた「課題」とそれらを総合的にとらえた「改善の具体的方策・アイデア」の形でとりまとめたものが図１２である。「改善の具体的方策・アイデア」は全部で４つの項目に集約して整理した。本章はこれらの提案の妥当性の検討を目的に、実際に制度に取り組む主体に対し、それぞれの制度への取り組みの実態把握も含め訪問面接調査を行った。

5-2　調査結果

(1)性能表示に関する取組み及び需要者調査結果の感想（表５）

まず住宅供給者３社について見よう。『１）性能表示採用の方針』からは、３社とも制度の施行当初より積極的を採用していた企業であった。しかしながら『２）表示項目の方針』から、「音環境」についてはいずれも表示しておらず、理由としては昨今一般化してきた住戸の個別設計や設計変更に対応できないことを共にあげている。「室内空気中の化学物質の濃度等」については対応が分かれているが、表示しないまでも測定自体は３社とも実施しており需要者のニーズの高さに対して何らかの対応を行っている。

『３）性能評価書のフォーマット』や『４）解説書など』については各社の対応は分かれているが、性能評価機関の諸活動の影響は大きいものの、また独自の取り組みも積極的に行っている。『５）その他の取り組みなど』としては、イベントや中古住宅の性能表示への展開などが行われている。しかしながら、評価方法や条文の解釈などについてはまだ幅があり安定していないとの意見もあった。

『６）需要者調査結果の感想』では、需要者調査（調査ＡとＢ）が実感に合っているとの意見であった。具体的には、実際調査Ｂで明らかとなった需要者の興味の浅さについては「詳しく説明しようとすると逆に客の理解は遠のき、逆効果。」や「ないよりはあった方がよいとの意見はよくわかる」「等級はどうかまで関心は行っていない」など同意する意見が得られた。

一方、性能表示に係わる公的機関からは、見直しの定期的な検討が住宅建設５箇年計画とも関連付け行われていること、及び建築住宅性能基準運用協議会や評価機関と連動し活動している状況が確認できた。需要者調査結果については自ら実施している調査と対応しているとの評価が得られた。

(2)改善策への意見・評価（表６）

『１）性能表示制度のＰＲ・普及』に係わる事項については、その重要性は同意するものの、興味のレベルが多様な需要者への対応が不可欠であるなどの意見が得られた。

『２）供給者にとってのメリットの創出』に係わる事項については、コストダウンの必要や、各社独自の工夫が現状の制度をわかりにくくすることへの危険性などが指摘された。

『３）需要者にとってのわかりやすいツール等の開発』に係わる事項については、性能評価書の書式の統一や、需要者の判断材料の提供については概ね賛同する意見が得られたが、その客観性や誤解を与えないことなどが不可欠であるとの指摘もあった。

5-3　小括

訪問面接調査を行った住宅供給者は、現状様々な独自の取り組みを行っているが、「音環境」や「室内空気中の化学物質の濃度等」については積極的な表示を行っていない。特に前者については、住戸の個別設計等に対応できないことが障害になっている。また需要者の興味のレベルは多様であり、「詳しく説明しようとすると逆に客の理解は遠のき逆効果」など全ての需要者に積極的に対応することの難しさを示唆する意見もみられた。



図１２　住宅性能表示の改善提案

表５　性能表示（共同住宅）に関する取組み、及び需要者調査結果の感想

	供給者			性能表示に係わる公的機関
	A社(超大手)	B社(大手)	C社(中堅)	
1) 性能表示採用方針	・全物件に『設計』『建設』実施。 ・制度施行1年前から「品質性能 ism」という企業方針を出し取り組み。当初は2種類提示していたが、第三者機関評価ということで本制度に1本化。	・当初より全戸『設計』『建設』を実施。	・全物件で『設計』『建設』実施。ワンルームや他社の仕入れ・販売分は別。 ・将来はこうなる、付いていた方が良いだろうの判断から当初から取り組み。大手との違いを出す考えはなかった。効果は期待してなかったので。	・見直しや提案は、建築住宅性能基準運用協議会のコンタクトポイントで随時受け付け、それを踏まえ国交省や国総研で年1回変更の検討を行う。 ・住宅建設5箇年計画と連動しており、平成 17 年度大幅に見直す。
2) 表示項目方針	・「音」は表示せず。理由は間取り変更ができなくなる、ユーザーの個人差が大(等級はあってもトラブルになる)、工場での部品単体の遮音性と現場の差がある。(例:換気スリーブ) ・「室内空気中の化学物質の濃度等」は実施せず。理由は測定制度の誤差や個人差(同上)。実際はサンプリングで測定。 ・独自表示は行わない。	・「音」は支店単位で判断。基本的に実施せず。理由はプラン変更に対応できないため。プラン変更すると受音室の大きさが変わり性能が変わる。ただ社内的には実測し、結果は社内基準の改定や商品改善に生かす。 ・「室内空気中の化学物質の濃度等」は実施せず。日程・コスト・人の問題。ただ社内的には最も厳しい条件の「最上階の中住戸」で測定。	・「音」は社内一律のルールはないが、首都圏以外は表示、首都圏は非表示。表示しない理由は支配面積・構法・端部／中間住戸等で「商品カタログ等級＝性能等級」と必ずしもならないため。実際カタログ等級より1ランク落ちる感じ。設計変更に対応できないも理由。 ・表示方法は相当スラブ厚。「相当」が需要者の認識にないケースあり。 ・「室内空気中の化学物質の濃度等」は全物件表示。	
3) 性能評価書フォーマット	・契約時に『設計』、引渡し時に『建設』。 ・ハウスプラスのものを使用。	・契約時に『設計』、引渡し時に『建設』。品確法のチラシや評価機関の資料を渡している。 ・評価機関は必ずしも特定せず。 ・評価機関の表示項目以外に独自表示システムを採用。別冊で渡し契約書の一部の扱い。	・販売パンフに「耐震性」と「室内空気中の化学物質の濃度等」の特性値(等級ではない)を記述。求めに応じ他評価項目の等級を提示。契約と引渡し時に別冊で全項目等級を評価書の形で渡す。 ・ユーザー意識低く思ったほど営業効果ないため。	
4) 解説書など	・オリジナル版を作成していたが現状はハウスプラスのものを手渡す。	・オリジナル版を作成。	・国交省、評価機関のものを参考に独自作成。逐次更新。	
5) その他取り組みなど	・9項目のうち関心あるものを尋ね、興味あるものを説明する。 ・制度スタート時はイベントメニューに説明会を常に実施。最近は認識も広がりあまり行わず。	・新築で性能評価付きの自社物件について、国土交通省の中古住宅の性能表示とは別に、独自の中古住宅の価値評価システムを適用している。	・ユーザーは等級に通知表の5段階評価イメージをもち誤解されやすい。 ・評価方法の条文の解釈にまだ幅があり評価機関や個人で判断が違う場合も。逐次国交省の指導は受けているようだ。例えば台所を居室に扱うことは制度施行後確定。しかし収納やタンス置き場の遮音性、浴室手摺の位置・役割などは未確定。 ・紛争処理機能は今のところケースがゼロでどうなるか疑問。「室内空気中の化学物質の濃度等」は入居後家具も入り難しい。	・評価機関のパンフレット等製作などの必要経費に補助を出している。
6) 需要者調査結果の感想	・実感に合っている。 ・制度は中身が難しく説明も難しい。 ・詳しく説明しようとすると逆に客の理解は遠のき逆効果。	・ないよりあった方がよいとの意見はよくわかる。 ・制度の説明はあまりしない。聞かれないし求められないから。選択決め手になるなら別。 ・紛争処理、10 年保証等も伝わってない印象。	・需要者は「表示付き」レベルの関心はあるが、等級はどうかまで関心は行っていない印象。 ・『建設』の現場検査は確かに安心感につながる。	・平成 14 年度の住宅市場動向調査の結果と対応。 ・物件間で性能比較する人が少ないのが実態だろう。

※右のように略した:設計性能評価＝『設計』、建設性能評価＝『建設』

表６　改善策への意見・評価

	供給者			性能表示に係わる公的機関
	A社(超大手)	B社(大手)	C社(中堅)	
1)性能表示制度のPR・普及				
住宅情報誌と連携しての広報			○制度広がりが第一。ただ3Pの次レベル。	・省は結構PRを実施。住宅月間でも大きく取り上げる。
需要者にとってのベネフィット明示し訴求 → 供給者向け説明マニュアル制作	△多様な需要者個々に合った説明の仕方が必要。	×「転売時にメリットとなる」は、戸建からマンションに移るケースが増え、永住志向の強い現在においては訴求点としては弱い。	△ローン優遇策あるが他優遇措置と重複し受けられずメリッ希薄。 ・公庫中古融資で評価付き物件が優遇だとよいが中古と新築で性能異なり悩ましい。	○プレゼ技術の工夫は更に必要かもしれない。
物件相互比較可能になるレベルが到達目標		・30%は国土交通省の当初の目標値で一つの目安であろう。		
2)供給者にとってのメリットの創出				
表示に係わるマンパワーやコストの低減		○評価機関手数料が10 万円/戸、これ他に内部コスト。中小はしんどいだろう。	○表示をなくしてその分コストダウンすべきとの内部的議論もある。	
独自の性能表示等の企業努力の明示	×需要者わかりにくくなる ・M社は『設計』と独自性能を実施。 ・R社は制度に沿い独自性能を実施。	△これよりも戸建と集合住宅の違い、構造形式別の対応などが重要。 ・自社独自の表示システムで独自項目を表示している。		・制度の適用は「重要事項の説明」の項目として義務付け。 △制度の一部であり紛争処理の対象と誤解されると不具合。 △現制度と分ける必要
企業努力出やすい表示方法採用	・しっかりした物差しがあればよいが・・・			
「選択項目」の表示の有無の義務付け				×評価書の様式自体は評価機関の創意工夫に任せたらよい。
『設計』と『建設』の有無の義務付け			△『建設』を行わない会社があり、それが問題ない現状をどう理解すべきか。	△『設計』と『建設』違いはマークを見れば分かる。任意制度なので難しいかもしれない。
3)需要者にとってのわかりやすいツール等の開発				
評価書の書式統一	○知らなかった。やった方が良い。			×プレゼ技術の問題とも言える。誤解を招かないレベルであれば競争があってもよい。 △実施していない選択項目を空欄で残すのは望ましくはあるが必要とは言えない。ただ項目の周知は大切。
需要者が感覚的にわかりやすい解説書(ガイドブック)制作				
需要者の判断素材の提	○重要。ただ第三者「お勧め等級」はやらない方が良い。各人の関心との関連や項目間トレードオフ関係の配慮に限界あり。			・国交省の性能等級実態調査は毎年実施し住宅性能評価機関等連絡協議会HP公開。 △バイアスかかっていないことが重要で「お勧め等級」は難しい。 △売れ筋情報は良い。
4)その他				
	・客はかぶり厚が 3cmかどうかを知りたがっているのではなく、実際 3cm確保されているかを知りたい。			

※ ○△×は評価のプラスマイナスのイメージを表現。「・」は評価に直接関係しないコメント。

6．まとめと改善提案

(1) 制度に対する需要と評価

需要者の性能表示制度への関心は高く、実際の住宅選択行動に及ぼす影響は大きい。また感じるメリットは、物件に対する安心感・信頼や供給者に対する評価である。これは供給者の認識を上回るものであり大いに評価してよい。また、制度の「社会的な意義」が高いことや「物件や企業の差別化の手段」となることについては需要者と供給者の認識は一致している。

しかしながら、需要者の関心のレベルは未だ「ないよりはあった方がよい」というものであり、また制度本来の目的の一つである、物件間の比較による「物件の特長の理解」の手段としては制度は十分機能していない。その原因の第一は制度が採用されている物件の現状の少なさにあるが、表示事項の理解のしにくさや需要者の関心が多様であることも無視できない。今後更なる普及を考えた場合、これらの状況に即した周到な戦略が不可欠である。

(2) 改善提案

今後の性能表示制度普及のための方策やアイデアは、大きく４つに分けて考えることができる。基本的な構成は図12に準ずるが、ここでは５章の調査結果を踏まえ論じたい。

第一は『性能表示制度のＰＲ・普及』である。例えば、住宅情報誌と連携しての広報活動や、制度のもつ効果や表示事項のもつ意味を需要者にとっての切実な問題に引き寄せて価値を伝えることが考えられる。これらにより需要者全体の関心の底上げを図る必要がある。

第二は『供給者にとってのメリットの創出』である。まずは、性能表示に係わるソフトや汎用性のあるツールの開発・普及による供給者のマンパワーやコストの低減が必要であるが、独自の性能表示に係わる企業努力が促進されるメカニズムづくりも考えられる。ただし、このことが制度の仕組みのわかりにくさを助長しないよう十分考慮する必要がある。

第三は『需要者にとってのわかりやすいツール等の開発』である。まずは、現状不揃いである評価書の書式の統一が不可欠であるが、需要者が感覚的にわかりやすい解説書（ガイドブック）の制作や、需要者が性能を理解するための基準となる物差しの提供が考えられる。

最後は『性能表示事項の改善・充実』である。現状改善のニーズが高いのは「耐震等級」「床衝撃音対策」である。特に後者については、住戸の個別設計等への対応が障害になっており更なる技術的な検討が必要である。また「単純開口率」「方位別開口比」の改善等に対する声も小さくない。そして、「詳しく説明しようとすると逆に客の理解は遠のき逆効果」という現象や多様な需要者の関心に応えるために、生活密着型の表示事項の拡大を図ると共に、表示事項や等級を需要者が価値を実感できる言葉に翻訳する努力が必要と考えられる。これらにより、制度と需要者の「距離」を縮めることが可能となるであろう。

参考文献

1) 高井宏之(2002)「住宅性能表示制度（共同住宅）に関する供給者の受容と評価の実態」『都市住宅学会No. 39』pp. 55 － 63

2) 大平昌男(1985)「公団住宅の性能表示方法に関する研究」『住宅・都市整備公団住宅都市研究試験所研究報告集』No. 3

3) 近江・大平(1986)「公団住宅の性能表示方法に関する研究（続）」『住宅・都市整備公団住宅都市研調査研究期報』No. 83

4) 秋津泰孝・高井宏之・他(1996)「集合住宅の性能表示に関する住まい手の意識調査 その１その１ 調査の概要／その２ 住まい手の関心度･満足度／その３ 住まい手が理解しにくい性能」『日本建築学会大会学術講演梗概集F-1分冊』pp. 1131-1236

5)伊村則子・石川孝重・他(2000)「住宅の品質確保と性能維持に関する研究」『日本建築学会大会学術講演梗概集F-1分冊』pp. 1231～1232
6)花井英枝・河野守・辻本誠(2001)「住宅性能表示制度に関するアンケート調査」『日本建築学会大会学術講演梗概集 E-2分冊』p p. 421～42
7)井上勝夫・他(2002)「住宅購入時の消費者要求と住宅性能表示制度 その1・その2」『日本建築学会大会学術講演梗概集D-1分冊』pp. 81-84
8)井上勝夫・他(2003)「住宅購入時の消費者要求と住宅性能表示制度 その3－5」『日本建築学会大会学術講演梗概集D-1分冊』pp. 41-46
9)久木章江・他(2003)「住宅性能に対する居住者の意識に関する研究 その1－5」『日本建築学会大会学術講演梗概集F-1分冊』pp. 1199-1208
10)国土交通省住宅生産課(2002)「平成13年度住宅市場動向調査(住宅性能評価アンケート)報告書」
11)一棟宏子(2004)「消費者の立場からみた住宅の品質確保促進法の現状と課題」『都市住宅学 No. 44』pp. 15-19
12)伊藤滋夫編著(1999)「逐条解説 住宅品質確保促進法」有斐閣
13)長谷川恵一(2001)「住宅・マンションの『性能表示』がわかる本」清文社
14)ハウスジャパン・プロジェクト編著、松村秀一、田辺新一監修(2001)「生活価値を創造する21世紀型住宅のすがた」東京経済新報社
15)不動産経済研究所(2001)「全国マンション市場動向－2000年実績・展望」不動産経済研究所

注記

注1)国土交通省発行のパンフレットで、具体的には次の5点であると記されている[13]。
- 評価のための技術が確立され、広く利用できること
- 設計段階で評価が可能なものとすること
- 外見からでは容易に判断しにくい事項を優先すること
- 居住者が容易に変更できる設備機器などは原則として対象としないこと
- 客観的な評価が難しい事項は対象としないこと

注2)例えば国土交通省の発表によれば、2003年度の設計住宅評価書の「受付」件数は前年度の36%増、建設住宅評価書では33%増と共に増加している。この傾向は性能評価書の「交付」件数においても同様の傾向が見られる。ただし、この交付件数について同一年度の住宅着工戸数の「持家＋分譲住宅」に対する割合をみると、2001～2003年度はそれぞれ8.6%、13.7%、19.1%であり、確実に増加の傾向にあるものの、性能表示制度を採用している住宅はまだ少数派である。一方、例えば平成2003年度について、設計住宅評価書の受付件数に対する建設住宅のそれの割合は73%であり、「設計住宅評価のみ」の事例が少なからず存在することがわかる。

注3)その一つが生活価値創造住宅開発プロジェクト(愛称:ハウスジャパン)[14]における性能表示の研究であり、1995年から2000年まで研究成果を建築学会大会で報告しており、例えば文献4)がある。また、石川らは構造性能に特に着目した調査研究を行い同様に建築学会大会で毎年報告していた。(例えば文献5)

注4)これ以外にも2002年12月に、建設住宅性能評価を受けた住宅の性能等級の実態調査を実施し公表した。

注5)実際、後述する調査Bの結果が示すように、設計性能評価のみの事例と建設性能評価も行っている事例の2種類の存在自体やそれらの違いを知らない者も少なくなく、建設性能評価が需要者にとって重要ではないとは必ずしも言えない。

注6)供給者調査の調査対象であった21社と、表1に示した期間(首都圏・近畿圏)の性能表示制度を採用した物件の事業主を比べると、供給者調査で「現在利用」と回答した14社の内13社の物件が性能表示付きで供給されていることが確認できたが、「今後利用予定」「現在検討中」としていた残りの7社の物件は見られなかった。

注7)厳密には、性能表示付きではない分譲集合住宅の居住者の関心度も分析する必要がある。しかし、本調査の居住者の住宅選択行動<開始時>における制度の認知は、「知っていた」31%、「少し知っていた」17%、「聞いたことはあるが内容までは知らなかった」22%であり、認知度や関心は高いと推測できる。

注8)これら項目は筆者も研究開発に携わったハウスジャパンプロジェクトの性能表示項目[4]を元に作成した。

注9)この設問は、「ここでの表示とは、現在の評価機関審査や紛争処理とは別の扱いとし、かつ評価基準などのルールが極めて妥当であることを前提に」回答を得ており、純粋に需要者への表示の必要性を尋ねたものである。この理由は、評価技術の確立の状況の問題もさることながら、自社にとっての業務上の得失について過度な心配を排除することを意図したためである。

注10)各調査対象事例の性能評価書などを収集した。

1-17 濃度画像情報に基づく換気効率指標の測定技術の構築に関する研究

東京工芸大学　工学部建築学科

教授　大場　正昭

1. 本研究の背景と目的

室内空気清浄度を評価するためには完全混合仮定ではなく、濃度分布を組み込んだ指標が必要である。換気規格 HASS102 では、室内の換気効率を加味した換気設計を行うことが推奨されている。CFD 技術の発達で汚染質濃度分布の構造も詳細に把握することが可能となってきた。しかし、実験的に換気性状の空間構造を簡易に把握する技術は未だ充分とはいえない。

室内換気量を測定する方法として JIS A1406 の屋内換気量測定法（トレーサガス法）が推奨されている。ガス濃度減衰法はトレーサガスを室内に放出して定常濃度に達してから放出を止め、トレーサガス濃度の減衰過程から減衰勾配を算出して、減衰勾配の換気回数から換気量を取得する方法である。

近年、画像装置は工学の広い分野で使用されている。デジタルスチルカメラは簡単にパソコンに画像を取り込める容易さと商品の多様化により、フイルムカメラの出荷台数を抜き、カメラの主役がデジカメに交代した。コンパクトのデジカメでも有効画素数が 2 メガあり、高級の一眼レフカメラは 6 メガの画素数を有する。従って、濃度分析計のポイント測定に比べて可視化画像から同時刻に数百万点の画像輝度値情報を得ることができる。連続撮影速度は数 Hz であまり速くないが、室内空気の流れが遅いことを考慮すると、可視化されたトレーサミストの減衰過程を正確な露出制御で充分追随して撮影できる。

換気効率指標を実際の設計に反映させるためには、室内空間の換気性状を瞬時に総合的に評価できる実験技術を開発することが不可欠である。本研究は、新しい換気量測定法の構築を目的として、トレーサガス濃度の減衰過程からでなく、輝度信号の減衰曲線から換気量を測定する方法について検討してきた。ASHRAE（1998）大会に、放送業務用と一般家庭用のデジタルビデオカメラを用いて発炎筒煙の輝度情報から建屋の換気量を測定して、本測定法の有効性を報告した[1),2)]。今回、デジタルスチルカメラの利便性に着目し、換気量の測定精度とトレーサーミストの粒径特性について検討したので報告する。

2. 実験概要

本実験は、換気実験室の気密測定とトレーサーミストの粒径分布に関する実験および

デジタルスチルカメラを用いた画像換気測定法の検証実験から構成される。

2.1　換気実験室の概要

換気実験室の概要を図 1 に示す。室内寸法は高さ 2.3m、幅 1.8m、奥行き 1.8m、室容積 7.7m^3 である。換気ファンは安川エンジニアリング(株)VS mini 2 台を給排気に使用した。排出風量は 0.002m^3/s～0.039m^3/s の範囲で調整した。照明は写真用レフランプ 500W を 2 灯使用した。室内は撮影壁面を暗幕で覆うことにより背景画像信号値を小さくした。

2.2　換気実験室の気密測定実験の概要

(1)気密測定器

気密測定にはアメニティエマロテスタ社の KNS－4000 及び風量可変送風機を使用した。

(2)測定方法

風量可変送風機、風量測定部からなる装置を換気実験室の窓に漏れのないように接続し、減圧法により測定した。ダクト径は 100φ と 154φ を使用して、相当隙間面積を計測した。

2.3　トレーサーミストの粒径分布に関する実験の概要

(1)測定器

①粒径測定器：トレーサーミストの粒径測定には図 2 に示すデカティ社のエレクトリカルローブレッシャー(ELPI)を使用した。サンプルエアー中の粒子は、コロナチャージャーにて荷電された後、多段多孔低圧型カスケードインパクターに導入され、空気動力学的粒径に従い、各ステージに分級捕集される。表 1 に各ステージの粒径範囲を示す。

②発煙装置：シーディングミストの発煙装置はダンテック社の F2004 を使用した。ミスト液は SPEZIAL “D” を使用した。

(2)測定方法

換気実験室でシーディングミストを発煙装置 F2004 により発生させた。発煙時間は数秒であった。発煙後、扇風機で十分攪拌してから、ELPI 粒径分析装置でサンプルエアー中の粒子を各ステージに分級捕集して、粒径 0.03～10μm の粒径分布と濃度を計測した。換気回数 10 回/h を 3 回、無換気を 1 回実施した。解析点を図 3 に示す。

2.4　デジタルスチルカメラを用いた画像換気測定法に関する実験の概要

(1)撮影機器および測定機器

①カメラ：ソニーのデジタルカメラ DSL-D700 を使用した。有効画素数 768×493、映像 S/N 比 60dB。絞りは 1.8～16、レンズは 9.5mm～143mm で最小被写体照度は F1.8, +18dB の時 26lx である。映像の黒レベルを調整できるペデスタル制御回路は有しない。

②画像処理システム：画像処理機は分解能 8 ビットでモノクロ映像を連続的に 768 フレーム取り込むことができるライブラリー社の画像処理機ひまわり(メモリ 512×512、ホストコンピューターGateway2000)を使用した。8 ビット 256 階調の映像信号のうち明暗を表す輝度信号を 256 で除して 0.0～1.0 の画像信号値にデジタル変換した。

③発煙装置：シーディングミストの発煙装置はダンテック社の F2004 を使用した。ミスト液は SPEZIAL “D” を使用した。

④重量測定：島津製の電子上皿天秤(LIBROR EB)を使用した。分解能は 0.001g である。

(2)測定方法

①粒子重量濃度：換気実験室でシーディングミストを発煙装置 F2004 により発生させた。上皿天秤でトレーサ液の重量を実験前後に秤量した。

②カメラ絞りと照明の調整：被写体の背景を反射率の低い暗幕、黒紙などで覆い、背景が乱反射しないように照射する。被写体は室の換気様相を代表する室中央点を設定する。カメラのホワイトバランスとブラックバランスを調整する。次に可視化トレーサーミストを室内の粒子重量濃度が 1.5 g/m^3 になるまで放出する。放出後、扇風機で十分攪拌してから煙を排気し、希釈されて被写体の解析点が視認できるようになったときに絞りと照度を変えて画像を撮影する。最大画像信号値 $_{max}$ が小さいと線形性の範囲が狭くなるので、最大画像信号値が

$$I_{max} > 0.20 \qquad (1)$$

の条件を満たすように絞りと照度を調整する。

③換気測定と画像解析：背景画像を撮影した後にトレーサーミストを放出し、扇風機で十分撹拌してから換気を開始する。ミストが十分薄くなるまでミストの減衰過程を撮影する。画像解析はミストの画像信号の減衰過程からバックグランドの画像信号値 I_{bg} を差し引いた分布に対して、換気回数を求める。回帰直線の算定範囲を始点として撮影開始直後に生ずる画像信号値の平衡状態を除くために画像信号最大値 I_{max} の 90%となる点を選び、終点は画像信号の線形性が保てる最小値を下限値として、その間で回帰直線を最小自乗法により算定し、その傾きから換気回数を求める。換気効率の実験条件を表２に示す。換気効率の測定においてトレーサーガス法で流量を較正し、風量換気回数を算出した。

３．解析のための基礎知識

3.1　光学に関する基礎知識

(1)光の散乱について

粒子による光の散乱を図４に示す。球形粒子に入射する光の散乱は、入射光強度と散乱光強度の間に、懸濁粒子による光の吸収を無視すれば、

$$i = i_0 \cdot R(\theta) \cdot C/r^2 \qquad (2)$$

$$R(\theta) \sim \delta^6/\lambda^4 \cdot f(\theta) \qquad (3)$$

ここで i：方向 の距離 r の散乱光強度[watt/m^2]、

i_0：入射光強度[watt/m^2]、$R(\theta)$：レイリー比、

C：粒子濃度[個/m^3]、　　δ：トレーサ粒子径[m]

λ：光の波長[m]、　　$f(\theta)$：散乱光強度の方向依存性を表す関数

が成り立つ。粒子濃度は単位体積中の粒子数を表すので、散乱光強度は粒子数と入射光強度に比例し、距離の自乗に反比例する。また粒子濃度は粒径の自乗に比例するので、大きな粒径は光学的濃度を高くすることができる。角度θで散乱した光は距離 r のカメラで散乱光強度を測定される。

Rosensweig[3]はレイリー理論に基づき、煙粒子を含む流れにおいて煙粒子の光散乱強度

は粒子数に比例すると考え、煙粒子に光を照射し、光電変換器で光信号を電気信号に変換することにより流体濃度を計測した。粒子数密度が比較的小さいときに煙粒子の光散乱量は流体濃度に比例することが確認された。しかし、粒子数密度の高い領域では、粒子間で散乱を繰り返す多重散乱現象を生じる可能性がある。多重散乱は粒子群の大きさ、粒子数密度、粒子の減衰係数、光の明るさ等に大きく影響される。また散乱光の偏光や変動は粒子の非球形性や空間濃度の非一様性により生じるので、可視化トレーサの放出、照明、カメラ等に工夫が要求される。

(2)光学レンズ像の明るさ

対象面の照度とイメージセンサの受光面にできる像照度との間には

$$J = J_o \cdot R \cdot T / \{4(m + 1)^2 F^2\} \qquad (4)$$

ここで J：像面照度、J_o：対象面の照度、R：対象物の反射率

T：レンズの透過率、m：レンズの倍率、F：レンズの絞り

が成り立ち[4]、像面照度は対象物の反射率と照度に比例する。像面照度はイメージセンサの光電変換により電気信号である画像信号に変換される。

$$I = k \cdot J^{\gamma} \qquad (5)$$

ここで、k：光電変換係数、　γ：ガンマ係数

従って、画像信号は反射率と対象面照度のべき乗に比例し、カメラ絞りのべき乗に反比例する。

3.2　換気効率に関する基礎知識

(1)空気齢

空気齢の概念を図５に示す。換気による供給空気が室内のある点 P に至るまでに要した平均的な時間が空気齢である。トレーサーガス減衰法による空気齢 τ の算出式 (6) を以下に示す。

$$\tau_p = (Tstop - Tstart) * Iavg \,/\, I(Tstart) \qquad (6)$$

(2)換気効率

一般に室内の汚染質が均一に混ざっている状態を仮定して完全混合から換気量が算出される。しかし、実際の室内空間では局所的に汚染質の高濃度領域が生じていることが多い。局所領域における換気性状を評価対象とする概念として換気効率が定義された。

(3)名目換気時間

室容積を送風量で除して名目換気時間を得た。

$$\tau_n = V/Q \qquad (7)$$

４．実験結果

4.1　換気実験室の気密性について

気密測定の結果である隙間流量特性を図６に示す。ダクト径 154φに設定した際に通気量と圧力差の分布にばらつきが生じていることから、ダクト径 100φのαA を採用した。総相当隙間面積は 23～25cm² を示した。気密性能は 6.91～7.51 cm²/m²であった。

4.2　トレーサーミストの粒径分布に関する実験結果

(1) 室中央における換気時の粒径分布

換気回数を 10 回/ h に設定して粒径分布を検討した。粒径の度数分布を図 7 に示す。横軸の粒径は各捕集板の粒径で表示した。換気開始時の粒子は粒径 0.267～0.407 μm に多く分布し、対数正規分布の形状を示した。平均粒径は 0.44 μm で、カイ二乗検定によれば正規分布より対数正規分布の方が合致した。観測値と推定値の相関係数は 0.97 であった。時間が経過すると粒子は 0.03～0.063 μm と 1.021～1.655 μm の 2 つ山に分布した。小さな粒径が 1000 秒で増加したのは、粒径の大きな粒子に比べて重力沈下せず浮遊時間が長いためと考えられる。

(2) 室中央における粒径別換気回数

測定点 No.3 における粒子個数の減衰から換気回数を求めた。粒子個数の減衰分布を図 8 に、各ステージの換気回数を図 9 に示す。粒子総個数から求めた換気回数は 10.18 回/ h であり、風量換気回数 10 回/ h と近い値を示した。粒径 0.655～2.52 μm の範囲でも同様な傾向を示したが、2.52～9.99 μm の範囲は収録された粒子数が少ないため精度の高い換気回数を得られなかった。

(3) 室中央における無換気時の粒径分布

測定点 No.3 における無換気時の粒径分布を図 10 に示す。初め、粒子は粒径 0.173～0.267 μm に多く分布し、4000 秒後にはピークが粒径 1.021～1.655 μm に移動した。

(4) 室中央における粒径の経時変化

測定点 No.3 における粒径平均値の経時変化を図 11 に示す。無換気の場合、粒子同士が凝結して粒径が大きくなる傾向を示した。換気時は、平均粒径は初め増加したが 600 秒以降で減少した。原因は小さな粒径の粒子が残存し、その寄与が大きいためと考えられる。時間の経過に伴う初期粒径からの偏差が画像換気測定法の精度を低下させる因子である。

(5) いくつかの測定点における粒径分布

換気回数 10 回/h に設定して各測定点の粒径分布を検討した。図 12 に各点の開始時の粒径分布を示す。図 7 に示す実験とは異なるものであるために、同図の結果と多少異なる。各測定点ともに換気開始時の粒子は 0.386～0.627 μm に多く分布し、対数正規分布の形状を示した。図 13 に 700 秒後の粒径分布を示す。各測定点ともに時間が経過すると粒子は 0.627～0.98 μm に多く分布した。小さな粒子は浮遊時間が長いために残留度数が相対的に増加した。

4.3　デジタルスチルカメラを用いた画像換気測定法に関する実験結果

画像の輝度信号を利用したデジタルカメラにより換気回数や換気効率を求める画像換気測定法を提案する。

(1) デジタルカメラ視感反射率特性

カメラスタンドの作業面に無彩色明度標準色票を置き無反射ガラスを被せてから、白色光の照明を当て、真上 0.7m に取り付けたカメラで撮影した。作業面照度は 4 つのランプの照射角度を調整して均一な分布を得た。画像信号を 8 点近傍処理して平均画像信号

値を算出した。図 14 に無彩色明度標準色票の視感反射率と画像信号値の関係を示す。対象面照度は 450*lx*、レンズ絞りを 2.8 にした。絞りで黒レベルを調整することにより画像信号値と視感反射率の間に良い相関関係を形成できた。γ係数は 0.59 を示した。

(2)デジタルスチルカメラ撮像部の光電変換特性

a.粒子重量濃度と画像信号値の関係

粒子重量濃度 C は上皿天秤で実験前後のトレーサ液の重量差を実験室の体積 7.659 m^3 で除して算出した。測定点 No.3 における照度 400 lx、無換気に設定した場合の画像信号値と粒子重量濃度の関係を測定した。解析は最大画像信号値の 90%となる数値を採取し、撮影開始直後の画像信号値の平衡状態を除いた。図 15 に粒子重量濃度別にみた画像信号値の減衰状況を示す。粒子重量濃度が小さいと画像信号値は全体に低下する。図 16 に粒子重量濃度と画像信号値の関係を示す。測定は延べ 33 回行った。画像信号値 I_{max} と粒子重量濃度 C の間には以下の関係式が成立した。

$$I_{max} = 0.1079C + 0.5129 \qquad (8)$$

相関係数は 0.88、標準誤差は 0.048 を示した。無換気時には図 10 に示すような粒径変化を生じるが、式(2)の関係から、本トレーサミストを使えば、画像信号値と粒子重量濃度との間にほぼ比例関係を得られることが確認できた。

b.照度と画像信号値の関係

粒子重量濃度は 1.5 g/m^3、無換気に設定した。図 17 に照度別にみた画像信号値の減衰状況を示す。照度が小さいと画像信号値は全体に低下する。図 18 に照度と画像信号値の結果を示す。測定は延べ 15 回実施した。照度 J と画像信号値 I_{max} の関係式を以下に示す。

$$I_{max} = 0.0293 \cdot J^{0.524} \qquad (9)$$

カメラのガンマー係数に近い値を得た。

(3)画像換気回数の測定精度

画像換気回数測定法の測定精度を調べるために、測定点 No.3 において照度 400 lx、粒子重量濃度 1.5 g/m^3 に設定して換気実験を延べ 40 回行った。換気回数の範囲は 1～18 回/h である。図 19 に照度と画像換気回数との関係を示す。画像換気回数と風量換気回数との関係を図 20 に示す。画像換気回数と風量換気回数の間には以下の関係式が成立した。

$$Nc = 1.1028Nz - 0.5314 \qquad (10)$$

相関係数は 0.99 を示した。換気回数 1 回/h 以下では十分な測定精度が得られなかった。

(4)換気効率

a.トレーサーガスや画像信号値の減衰

図 21 にトレーサーガスの減衰過程と図 22 に画像信号値の減衰曲線を示す。送風量の換気回数は 10 回/h なので、局所換気効率は、

Iavg=0.155

τ_p＝（1280 秒＊0.155）/0.457＝436.38 秒

τ_n＝3600/10＝360 秒

ε ＝436.38/360＝1.21 である。

なお、測定において、粒子重量濃度は 1.5g/m^3 を目指したが、実際には 1.00～1.70g/m^3 の範囲であった。測定点 No.3 以外の照度は 120～680lx である。

b.換気回数 15 回/h 時の換気効率

換気回数が 15 回/h 時における測定点 No.3 と No.4 の画像信号値の減衰分布を図 23 に示す。No.3 では測定開始から 800 秒までの間に画像信号値は減衰し、その後には平衡状態となった。画像換気回数は 16.2 回/h で、送風量の換気回数 15 回/h と近い値を示した。測定点 No.4 における画像信号値は 500 秒付近で負値を示し、その後に増加した。画像換気回数は 25.5 回/h と精度が低下した。原因は、レフランプの向きにより No.4 が高輝度となったためである。換気回数 15 回/h 時の局所換気回数分布と局所換気効率分布を図 24 に示す。局所換気回数は No.7 を除いて、送風量換気回数よりも大きい数値を示した。局所換気効率分布は給気口から排気口にかけて No.4 を除いて低かった。No.4 の換気効率が 0.71 と低いのは画像測定法上の問題だと考えられる。

c.換気回数 5 回/h 時の換気効率

換気回数が 5 回/h 時における測定点 No.3 と No.4 の画像信号値の減衰分布を図 25 に示す。No.3 においては換気回数 15 回/h 時と同様に開始時から 1500 秒にかけ減衰している。No.4 においても 300 秒後付近から負値を示し、その後に増加した。換気回数 5 回/h 時の局所換気回数分布と局所換気効率分布を図 26 に示す。換気回数 15 回/h 時と同様に、局所換気回数は No.7 を除いて送風量換気回数よりも大きい数値を示した。局所換気効率分布は No.7 が低かった。

d.局所換気回数分布

粒子濃度測定と画像換気測定により求めた局所換気回数の分布を図 27 に示す。測定点 No.3～No.6 では粒子濃度測定から求められた局所換気回数と画像測定から求められた局所換気回数は近い値を示した。測定点 No.7 において粒子濃度測定の換気回数が 9.47 回/h であるのに対して、画像換気測定の換気回数が 5.33 回/h である。これは排気口ファンの位置から近いために設定換気回数以上の換気がなされたと考えられるが、他手法による検討が別途必要である。図 28 に測定点 No.7 における粒子濃度測定と画像換気測定による画像信号値の減衰分布を示す。

e.局所換気効率分布

粒子濃度測定と画像換気測定により求めた局所換気効率の分布を図 29 に示す。換気回数と同様に、両者の換気効率は測定点 No.4 を除いてほぼ一致した。図 30 に No.4 における粒子濃度測定と画像換気測定による画像信号値の減衰分布を示す。

5．結語

1) トレーサミストの粒径分布は換気開始時に室内の各測定点で対数正規分布の形状を示した。換気開始時の粒径は 0.386～0.627μm に多く分布する。各測定点ともに時間が経過すると粒子は 0.627～0.98μm に多く分布した。小さな粒子は浮遊時間が長いために残留度数が相対的に増加した。無換気時の場合、粒子同士が凝結して粒径が大きくなる傾向がある。

2)デジタルスチルカメラは低い視感反射率で画像信号値の線形性が低下するが、絞りで黒レベルを調整することにより画像信号値と視感反射率の間に良い相関関係を形成できた。
3)画像の輝度信号を利用したデジタルカメラによる換気回数測定法を提案した。
4)画像測定法は数回以上の換気がなされている換気環境の測定に適しており、ミスト総数の粒子個数濃度から算出した換気回数に良く対応した。
5)適切な照度環境が形成される場合、デジタルカメラの画像信号値から 2 次元的な局所換気効率を測定できることが判った。
6)撮影開始と終了の画像信号差が狭いと換気効率の測定精度が低下した。

謝辞

本実測を行うに当たり東京工芸大生の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

記号表

C：粒子重量濃度［g/m^3］
C_N：粒子個数濃度［個/cm^3］
I：画像記号値
I_{bg}：背景画像記号値
I_{max}：最大画像記号値
J：照度［lx］
Nc：風量換気回数［回/h］
N：画像換気回数［回/h］
R：視感反射率
T：時間［sec］
γ：ガンマー係数

参考文献

1)Masaaki Ohba, Kenji Irie: A new technique for measuring air change rates in a test house using Video imaging, ASHRAE Transactions Research, pp.103-109, 1999
2)大場正昭、入江謙治：デジタルビデオ画像の輝度情報を利用した実物建物の換気回数測定に関する研究、日本建築学会計画系論文集、No. 531、pp. 45-52、2000
3)Rosensweig R.E., Hottel H.C. and Williams G.C.: Smoke-scattered Light measurement of turbulent concentrations, Chemical Engineering Science, 15, pp.111-129, 1961
4)入江謙治、大場正昭：ビデオ画像輝度値減衰法による実物建屋の換気回数の測定に関する研究 その２　8mm ビデオカメラの較正と換気回数の測定精度について、可視化情報学会誌、Vol.19、No.1、pp.139-142、1999

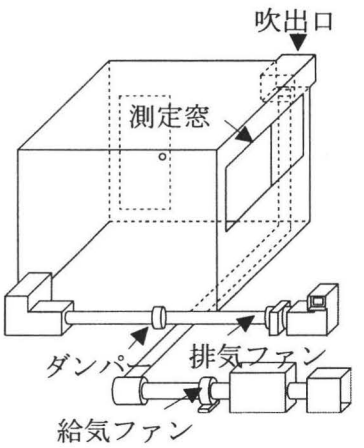


図１　換気実験室

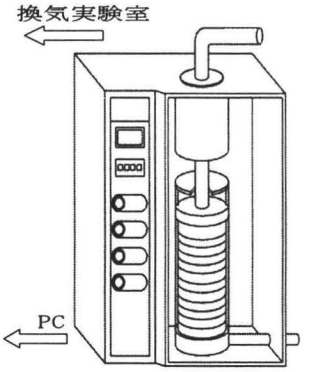


図２　ELPI 粒径分析装置

表１　各ステージの粒径範囲

stage	粒径(μm)
stage1	0.030~0.063
stage2	0.063~0.109
stage3	0.109~0.173
stage4	0.173~0.267
stage5	0.267~0.407
stage6	0.407~0.655
stage7	0.655~1.021
stage8	1.021~1.655
stage9	1.655~2.520
stage10	2.520~4.085
stage11	4.085~6.560
stage12	6.560~9.990

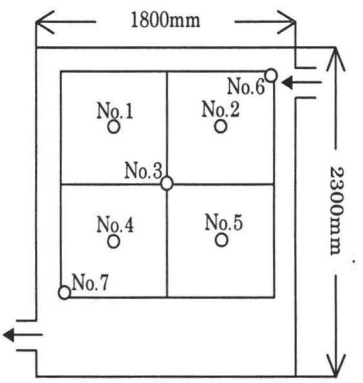


図３　画像解析点の番号

表２　実験条件

風量換気回数 回/h	粒子重量濃度 g/m^3	カメラ 絞り	照度(lx) 測定点 No3
5, 8, 10, 12, 15	1.5	5.6	400

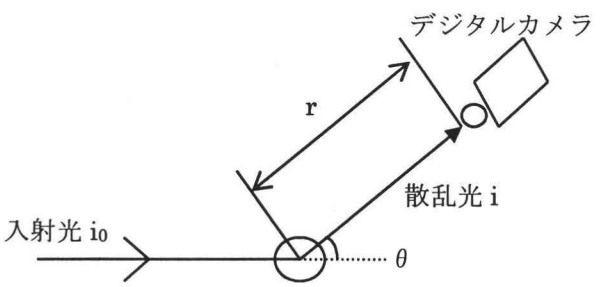


図４　粒子による光の散乱

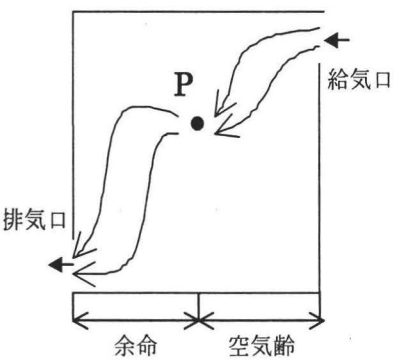
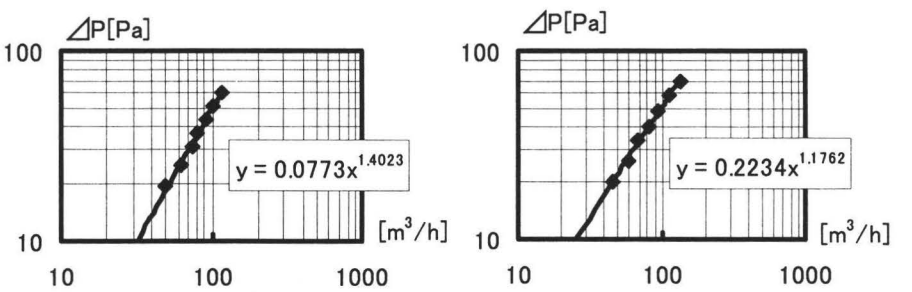
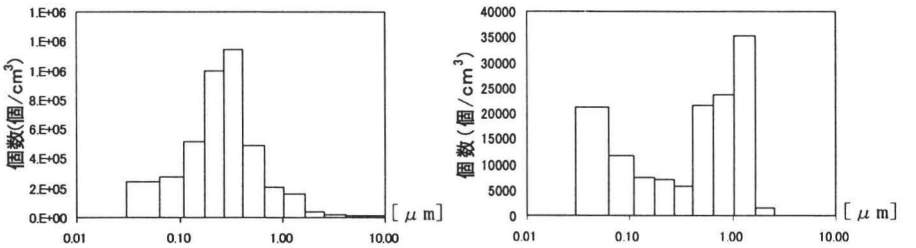


図５　空気齢の概念



(1) ダクト径 100φ　　(2) ダクト径 154φ

図６　隙間流量特性



(1)開始時　　(2)1000 秒後

図７　換気時のトレーサーミストの粒径分布

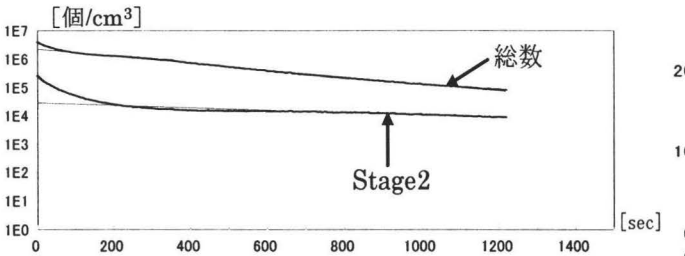


図８　粒子個数と減衰分布

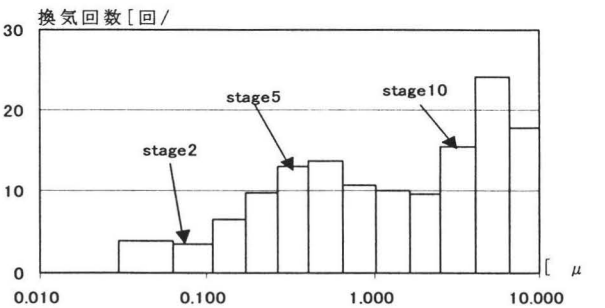
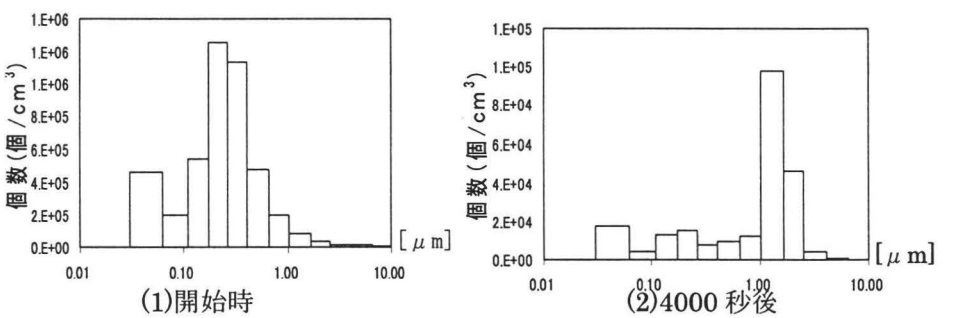


図９　ミスト粒径別に算出された換気回数



(1)開始時　　(2)4000 秒後

図 10　無換気時の粒径分布の経時変化

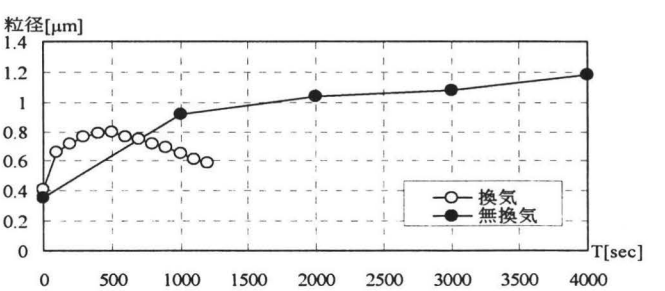
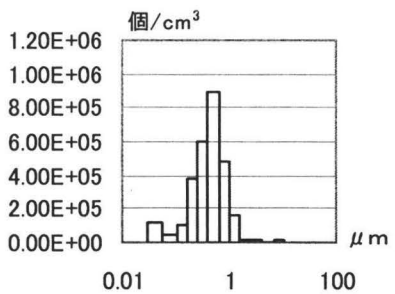
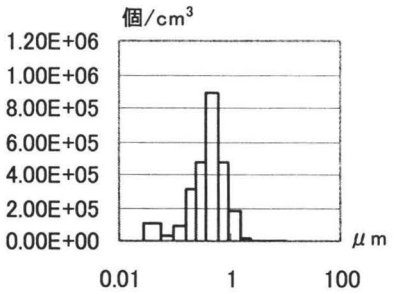


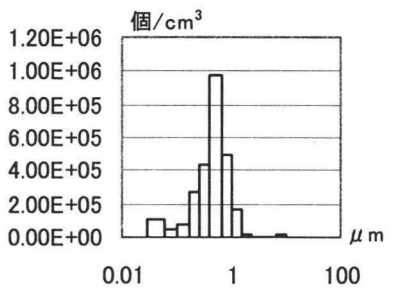
図 11　トレーサーミスト中心粒径の経時変化



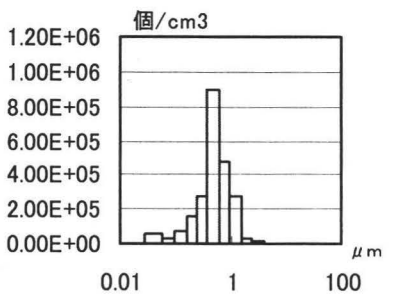
(1) 測定点 No.3



(2) 測定点 No.4

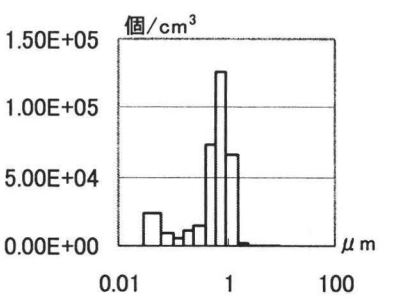


(3) 測定点 No6

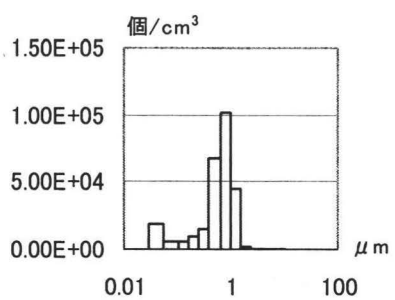


(4) 測定点 No.7

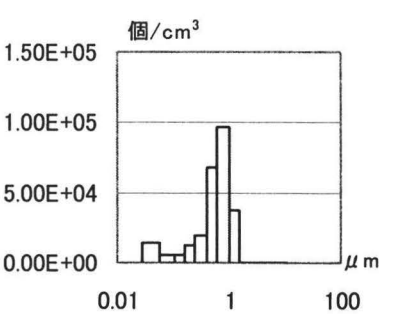
図 12　換気開始時の粒径分布



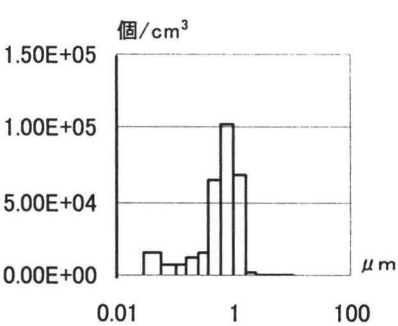
(1) 測定点 No.3



(2) 測定点 No.4



(3) 測定点 No.6



(4) 測定点 No.7

図 13　換気開始 700 秒後の粒径分布

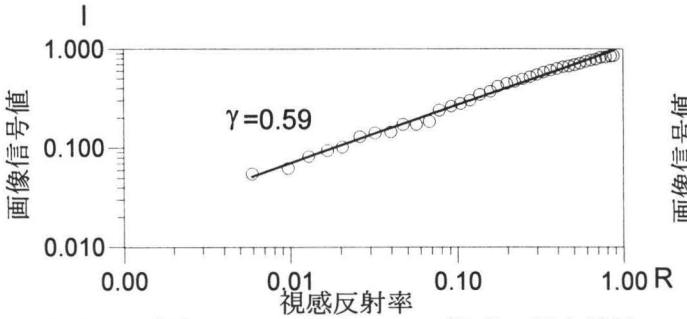


図 14　デジタルスチルカメラの視感反射率特性

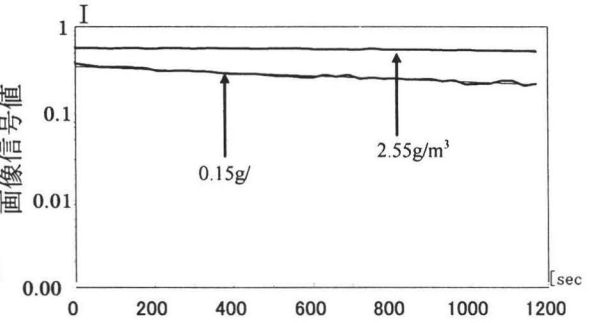


図 15　粒子重量濃度別にみた画像信号値の減衰

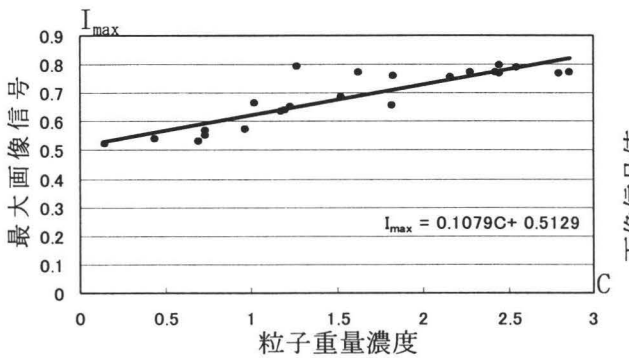


図 16　粒子重量濃度と最大画像信号値との関係

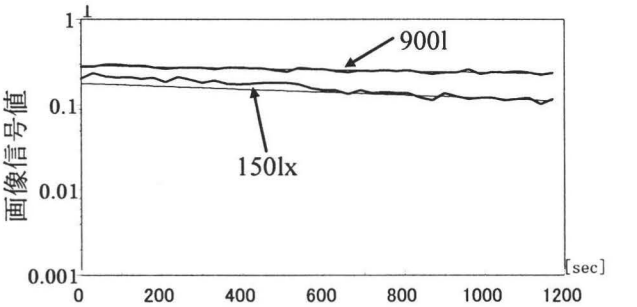


図 17　照度別にみた画像信号値の減衰

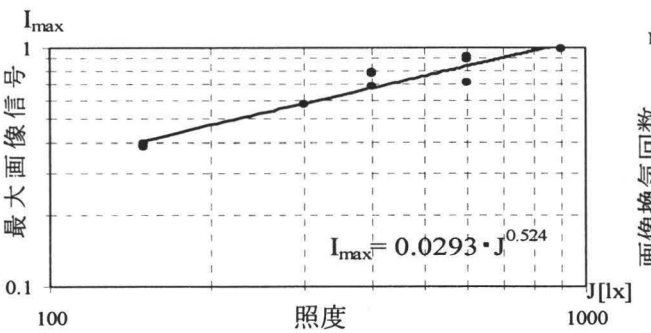


図 18　照度と最大画像信号値との関係

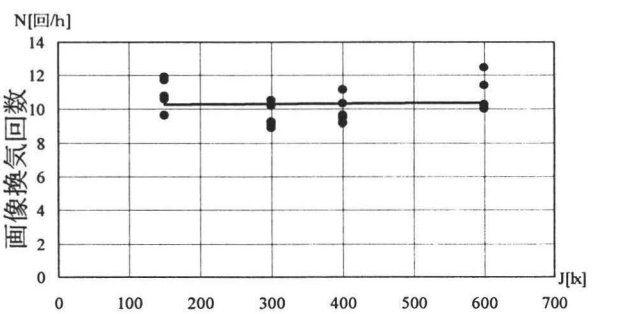


図 19　照度と画像換気回数との関係

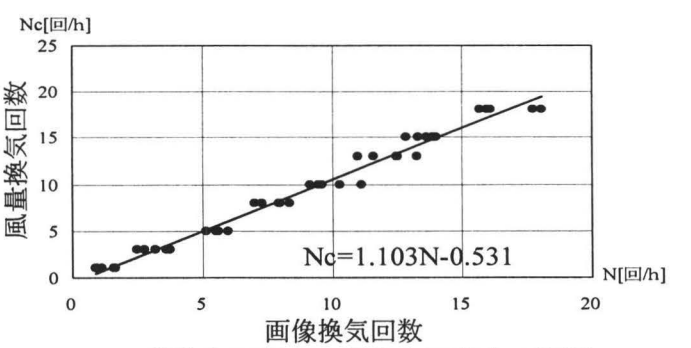
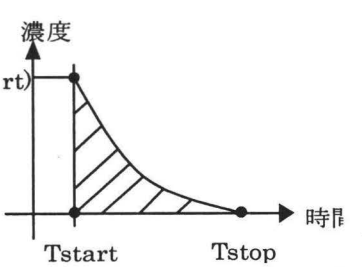


図 20　画像換気回数と風量換気回数との関係



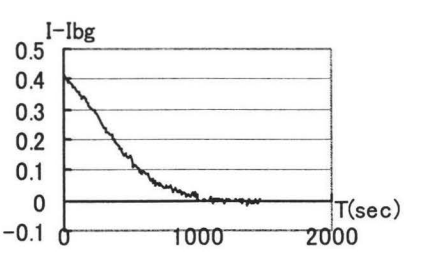
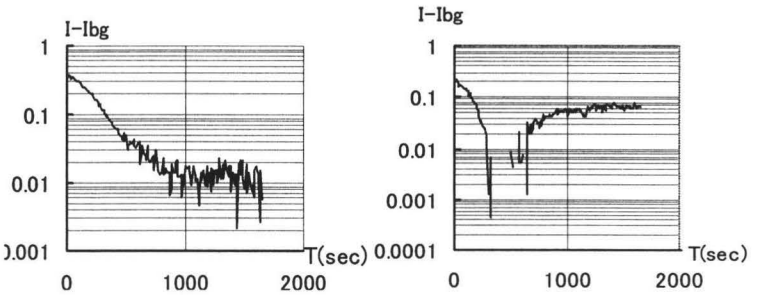
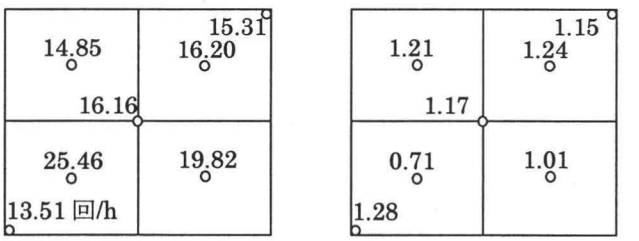


図 21　トレーサーガスの減衰過程　図 22　画像信号値の減衰曲線



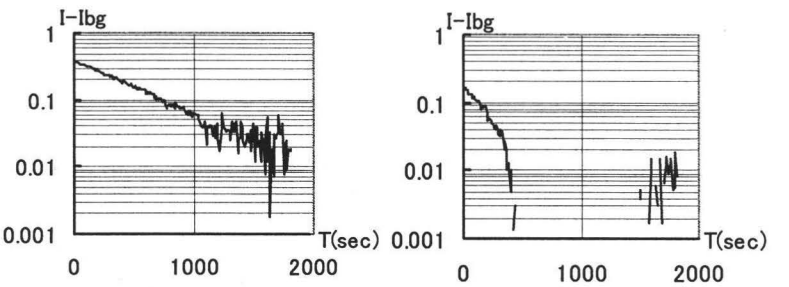
(1) 測定点　No3　　(2) 測定点　No4

図 23　風量換気回数 15 回/h における画像信号値の減衰分布



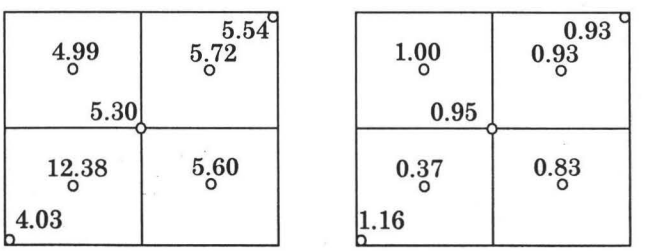
(1) 局所換気回数　　(2) 局所換気効率

図 24　風量換気回数 15 回/h における室内の局所換気回数分布と局所換気効率分布



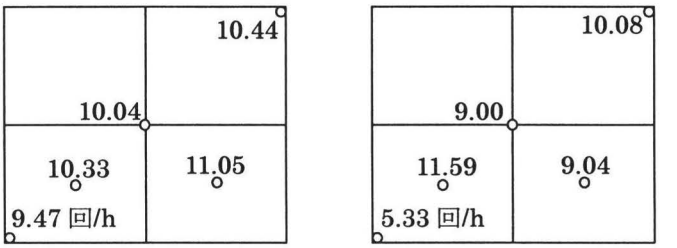
(1) 測定点　No3　　(2) 測定点　No.4

図 25　風量換気回数 5 回/h における画像信号値の減衰分布



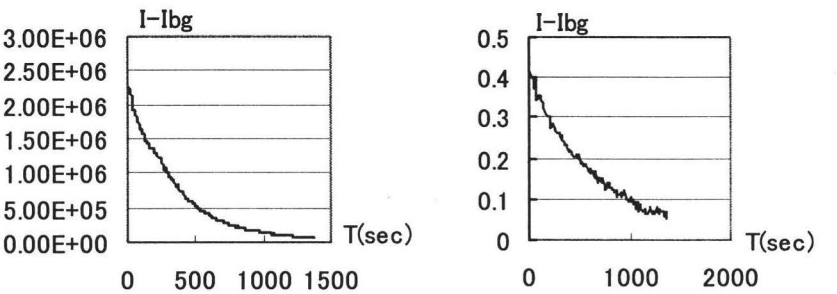
(1) 局所換気回数　　(2) 局所換気効率

図 26　風量換気回数 5 回/h における室内の局所換気回数分布と局所換気効率分布



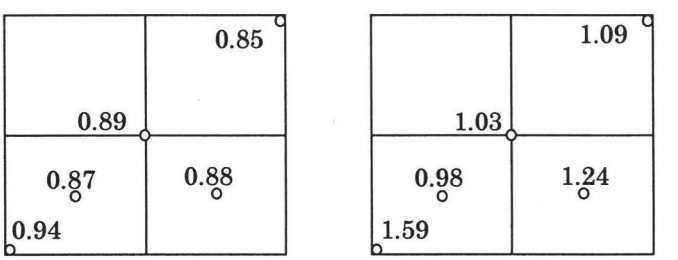
(1) 粒子濃度測定　　(2) 画像換気測定

図 27　粒子濃度測定と画像換気測定により求めた局所換気回数



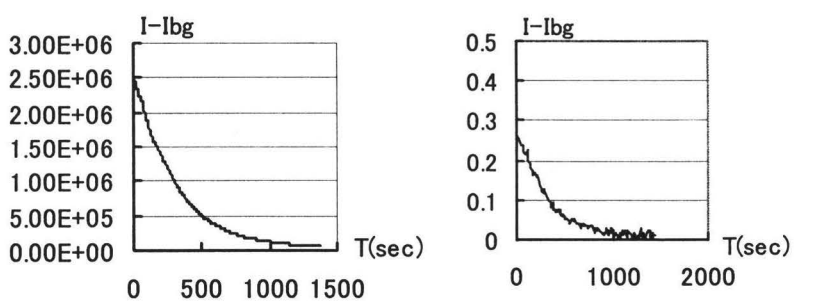
(1) 粒子濃度測定　　(2) 画像換気測定

図 28　測定点 No. 7 の減衰分布



(1) 粒子濃度測定　　(1) 画像換気測定

図 29　粒子濃度測定と画像換気測定により求めた局所換気効率



(1) 粒子濃度測定　　(2) 画像換気測定

図 30　測定点 No. 4 の減衰分布

1-18 暗騒音の存在する居住環境における人間の低周波音知覚特性に関する実験的研究

埼玉大学工学部建設工学科
助教授　松本　泰尚

1．本研究の背景と目的

住宅における快適な居住環境の形成を妨げる要因の一つに，低周波音による環境影響が挙げられる．低周波音を発生する音源の多くは人間活動に関係するものであるが，近年では，そのような音源の多様化や人間活動の 24 時間化に伴い，低周波音に関する環境問題はその重要性を増している．このような状況を反映して，例えば，低周波音に関する問題に起因する苦情数が増加していることが報告されている [1-3].

現状の低周波音による環境影響に対する問題点の一つとして，その評価基準が明確でない点が挙げられる．2000 年 4 月に環境省から発表された「低周波音の測定方法に関するマニュアル」に示されているように，低周波音を評価する際に，既往の研究で測定された人間の「標準的」な「低周波音の感覚閾値（低周波音を感ずる最小音圧レベル）」が用いられることもあるが，実状と整合しない評価結果となる例も少なからず存在する．その理由の一つとして，既往の研究で得られた「標準的」な「感覚閾値」（本研究では「感覚閾値」という言葉の代わりに「知覚閾値」を用いる）は無響室などの実験室により測定されており，実際の居住環境下に存在する暗騒音が，問題となる低周波音に与える影響が明らかにされていないことが挙げられる.

そこで，本研究では，暗騒音が人間の低周波音に対する知覚特性に与える影響を明らかにし，異なる暗騒音環境下での低周波音の評価に対して既往の感覚閾値を適用することの妥当性を検討することを目的とした.

2．研究方法

本研究では，被験者を用いた官能実験により，低周波音知覚特性に与える暗騒音環境の影響に関して検討した．実験は，埼玉大学工学部の実験棟内の一室（6.5 x 3.75 x 5.3 m）で実

施した．図 1(a)に実験時における室内の概略図を示す．実験においては，異なる暗騒音環境下における低周波数領域の純音の知覚閾値を測定した．

知覚閾値測定の対象とする低周波数領域の純音の周波数は，20，31.5，40 及び 50Hz とした（以後，これらを試験音と呼ぶ）．これらの試験音は，信号発生器（エヌエフ回路設計ブロック，E-1011A）からの正弦信号に基づき，低周波音用スピーカー（ヤマハ，YST800）により発生させた．また，暗騒音環境としては，実験室内の暗騒音，及び，60Hz から 100Hz の周波数帯域雑音を 2 種類の音圧レベルで人為的に発生させた環境の計 3 種類を設定した．これらの暗騒音は，パーソナルコンピュータで生成した信号を入力として用い，試験音に用いたものと同種のスピーカーから発生させた．実験室の中央付近の高さ 1.0m の位置に試験音用のスピーカー，床に暗騒音用のスピーカーをそれぞれ設置し，スピーカーの 1m 前に実験中に被験者が座る椅子を設置した．ただし，20Hz の試験音の場合に限り，スピーカーと被験者の位置は 30cm とした．このことは，実験設備の性能上の制約から，試験音に伴って非線型的に発生する高周波調和成分を，知覚閾値測定に影響を及ぼさない程度の音圧レベルに抑えるために必要であった．実験中は，通常の座位で腰掛けた被験者の耳の位置が高さ 1.2m の位置になるように，椅子の高さを調節した．図 1(b)に 2 つのスピーカーと被験者の位置関係を示す．音圧の測定には，被験者の左耳付近に設置した低周波音測定用マイクロフォン（リオン NA-18）を用いた．

実験には，年齢 26 歳から 29 歳までの 5 名の被験者が参加した．知覚閾値の測定には被験者調整法を用いた．すなわち，被験者が前述の信号発生器の出力を自ら調整することにより，試験音を知覚できる最小の音圧レベルを決定した．同一条件での測定を 4 回行い，そのうち 2 回は被験者が試験音を十分に知覚できるレベルから音圧調整を始め，残りの 2 回は全く知覚できないレベルから始めた．測定開始前には，被験者に試験音と暗騒音の差異を認識させる目的で練習を行った．

ここで，一般に，暗騒音環境は，実験室外の人間活動や風のような自然現象など種々の条件の影響を受ける．本研究では，全ての測定時にわたって暗騒音環境の再現性を確保することが重要であったため，全ての実験は，天候の安定した日の夜間の比較的静かな時間帯を選んで実施した．このことにより，再現性の高い暗騒音環境が得られた．本実験で用いた 3 種類の暗騒音環境の測定結果を，1/3 オクターブバンド音圧レベルの分布で図 2(a)及び(b)に示す．参考のため，図 2(a)及び(b)には，ISO 389-7 [4] に示されている無響室内など暗騒音の影響が少ない環境で測定された標準的な知覚閾値も示している．図より，実験で用いた全ての暗騒音環境において，50Hz 以上の周波数領域では，暗騒音の音圧レベルが標準的な知覚閾値を上回っていることが分かる．さらに，暗騒音環境の再現性の確認として，知覚閾値程度の試験音と暗騒音を同時に発生させたときの音圧の測定結果のうち，50Hz から 200Hz の周波数領域の 1/3 オクターブバンド音圧レベルを図 2(a)及び(b)に示し，暗騒音のみの場合と比較している．図 2(a)に示した試験音の周波数が 31.5，40 及び 50Hz の場合は，試験音の

有無に関わらず，比較的良好な暗騒音環境の再現性が得られていることが分かる．しかし，図 2(b)に示した試験音の周波数が 20Hz の場合は，試験音の有無により，特に 63Hz の 1/3 オクターブバンド音圧レベルに変化が認めれられた．このことは，被験者の知覚閾値が ISO389-7 [4] の標準的な知覚閾値よりかなり高い場合においてのみ見られた．この理由は，主に比較的高い音圧レベルで 20Hz の試験音を発生させた時に生じる 60Hz の高周波調和成分の影響によるものであった．そこで，以後，試験音 20Hz の結果は参考程度に使用することとした．

3．実験結果

図 3 に，4 種類の試験音に対し 3 種類の暗騒音環境下で測定した 4 名の被験者の知覚閾値の結果を示す．図には，同一の測定条件での測定 4 回分から求めた中央値及び最大値，最小値を示している．図示していない 1 名分（被験者 3）の結果は，図示している被験者 2 の結果と類似している．また，図には ISO389-7 [4] で示されている暗騒音の影響が少ない環境で測定された標準的な知覚閾値も示している．さらに，図 4 には，各測定条件に対して全被験者の測定結果の平均値と標準偏差を示している．

まず，室内の暗騒音環境下で測定した知覚閾値に着目する．50Hz の試験音の結果の場合，暗騒音環境下で測定した結果は，ISO の標準的な知覚閾値に比べ 20dB 程度高い値になっており，これは全ての被験者に対し同様に認められる傾向であった．40Hz の試験音の結果では，暗騒音環境下での知覚閾値と ISO の知覚閾値との差は，1 名の被験者が 10dB 程度であったことを除き，他の全ての被験者は 50Hz の場合と同様に 20dB 程度であった．31.5Hz の試験音の場合は，暗騒音環境下での知覚閾値と ISO の知覚閾値との差に被験者間のばらつきが認められ，0dB から 20dB 程度となった．20Hz の試験音の場合も，31.5Hz の試験音の場合と同様に暗騒音環境下での知覚閾値と ISO の知覚閾値との差に被験者間のばらつきが見られ，その差は 0dB から 15dB 程度であった．被験者間でばらつきは見られるものの，室内の暗騒音環境下での知覚閾値と ISO の標準的な知覚閾値との差は，試験音の周波数が低いほど小さくなる傾向が認められる（図 3，図 4）．

次に，周波数帯域雑音を含んだ暗騒音環境下での知覚閾値測定結果に着目する．室内の暗騒音環境下での知覚閾値と音圧レベルが低い方の周波数帯域雑音を含んだ暗騒音環境下（図中の Noise 1）での知覚閾値を比較すると，Noise 1 での知覚閾値の方が 4dB から 15dB 高いことが図 3 より分かる．この差に関しては，試験音の周波数の影響は認められず，各周波数で同様の傾向を示していた．また，音圧レベルが高い方の周波数帯域雑音を含んだ暗騒音環境下（図中の Noise 2）での知覚閾値と Noise 1 での知覚閾値を比較すると，差がほとんど認められないものから，9dB 程度の差が認められるものまで，被験者間また試験音の周波数間でばらつきが見られたが，Noise 2 での知覚閾値の方が Noise 1 での知覚閾値より高い

傾向にあることは共通であった．Noise 2 での知覚閾値と室内の暗騒音環境下での知覚閾値とを比較すると，それらの差は 9dB から 20dB 程度であった．図 4 に示した平均値においては，試験音の周波数の低下とともに，それらの差がわずかながら減少する傾向が認められるが，例えば図 3(d)に示した被験者 5 のように，逆の傾向を示す被験者もあった．

4．考察

本実験で用いた異なる周波数の試験音に対する知覚閾値に共通して認められた傾向として，暗騒音の音圧レベルが増加することにより，知覚閾値も上昇することが分かった．試験音の周波数が 20Hz の場合の結果は，上記の通り被験者間で暗騒音のスペクトル分布及び音圧レベルが異なるため，他の周波数の試験音に対する結果との直接の比較は難しいが，やはり暗騒音の音圧レベルの増加に伴う知覚閾値の上昇の傾向が見られた．このことは，本実験で用いた 3 種の暗騒音間で音圧レベルが異なる周波数領域である 60Hz から 100Hz の音が，試験音として用いた 20Hz から 50Hz の音の知覚に，いわゆるマスキングの影響を及ぼすことを示すものである．妨害音としての暗騒音の音圧レベルが 60Hz から 100Hz の周波数領域において 25dB から 35dB 程度増加することにより，4dB から 20dB 程度の知覚閾値の上昇が見られたが，この知覚閾値の上昇は試験音の周波数及び被験者に依存していた．

既往の研究においても，50Hz 以下の周波数領域の音に対する知覚が，それ以上の周波数領域の音に影響されることを報告したものがあり，Fidell ら [5] は，40Hz の純音の知覚が 11Hz から 400Hz の周波数領域の音に影響されることを示している．また，逆に 50Hz 以下の音の妨害音としての効果を検討した例もあり，Finck [6] は，10Hz から 50 Hz の純音が 50Hz から 500Hz までの周波数領域の純音の知覚に同程度のマスキング効果を示すことを示している．Watanabe ら [7,8] は，10Hz と 20Hz の純音及び複合音が 4Hz から 50Hz の純音の知覚閾値に及ぼす影響，また 20Hz を中心周波数とする帯域雑音が 20Hz の純音の知覚閾値に及ぼす影響を検討しているが，被験者間でその影響は顕著なばらつきを示しており，妨害音がある場合の知覚閾値が妨害音がない場合の知覚閾値を下回るような結果も報告されている．本研究でも被験者間のばらつきが認められるため，より信頼性の高い一般的な結論を導くためには，数多くの被験者を用いた結果に統計的な分析を加えることなどを考える必要がある．

前節で述べた通り，測定した室内の暗騒音環境下での知覚閾値と ISO で示されている標準的な知覚閾値との差が，試験音の周波数が低いほど小さくなる傾向が認められた．この理由としては，主に二つの可能性が考えられる．すなわち，本実験に参加した被験者の静寂な環境下での知覚閾値が，ISO の標準的な知覚閾値に比べ，低い周波数でより小さい値であった可能性，及び，50Hz 以上の暗騒音の妨害音としての影響が，妨害音と試験音との周波数間隔が広がることにより減少した可能性である．このことに関して，図 4 には，著者らが実施

した他の実験において，本実験に参加した被験者と同一の被験者に対してより静寂な条件下で測定した知覚閾値も参考として示している．その実験環境における暗騒音は，160Hz 以下の周波数領域における音圧レベルは，ISO の標準的な知覚閾値を下回っていた．ISO の知覚閾値を上回っている 160Hz 以上の周波数領域の音が，今回用いた 50Hz 以下の試験音に対しマスキング効果を示す可能性は否定できないため，これらのデータを示したことにより，上記の二つの可能性から一つに断定することはできない．しかし，160Hz 以上の音圧レベルが ISO の知覚閾値を上回る条件で測定した知覚閾値が，本実験での室内の暗騒音環境下（50Hz 以上の音圧レベルが ISO の知覚閾値を上回る条件，図 2 参照）での知覚閾値より低い値であることから，妨害音と試験音との周波数間隔が広がることによるマスキングの影響の減少が見られていると解釈できる．

マスキングの影響を定量的に評価するためには，前述のように多くの実験データを収集することのほか，モデルによるマスキングのメカニズムの推定も有用である．マスキングの影響を考慮した音の知覚に関して，Zwicker ら [9] は，複合音に対する人間の知覚閾値およびラウドネスを予測するモデルを提案している．しかし，このモデルは 50Hz 以上の可聴音に対して構築されたものであり，本研究で対象としたような低周波領域への適用はできない．Moore ら [10,11] は，Zwicker らのモデルを 20Hz 以上の音にまで適用可能に改良したモデルを提案しているが，このモデルは十分な実験データに基づいたものではないため，その信頼性は確認されていない．本研究の今後の展開として，このようなモデルの構築により，実験データの理論的な解釈を進めていくことも有用であると考えられ，このことについて現在検討を行っている．

5．まとめ

本研究では，被験者を用いた実験を行い，20Hz から 50Hz の低周波音の知覚閾値を異なる暗騒音環境下で測定することにより，暗騒音が低周波音の知覚に与える影響に関して検討した．本研究で用いた 60Hz から 100Hz の周波数領域で音圧レベル 25dB から 35dB 程度増加させた暗騒音環境により，50Hz 以下の純音の知覚閾値は 4dB から 20dB 程度上昇した．このことは，50Hz 以上の周波数領域の音が，50Hz 以下の純音の知覚に対し，マスキングの効果があることを示すものである．従って，日常生活の環境のように暗騒音が存在する環境下での低周波音の知覚閾値は，ISO389-7 や既往の研究で報告されている静寂な環境で測定した知覚閾値よりも高い値となる可能性が高いと言える．純音の知覚閾値が周波数及び被験者に依存するのと同様に，このマスキングの効果もそれらに依存する傾向が認められた．今後は，このようなマスキングの効果を定量的に評価するために，より多くの実験条件での知覚特性を数多くの被験者を用いて継続的に検討していくとともに，数学モデルを用いた知覚メカニズムの推定等も有用であり現在検討中である．

6．参考文献

1. Kamigawara, K., Tokita, Y., Yamada, S. and Ochiai, H., Community responses to low frequency noise and administrative actions in Japan, Proceeding of 32nd Internoise, Korea, 2003, 1221-1226.
2. Persson-Waye K. and Rylander, R., The prevalence of annoyance and effects after long-term exposure to low-frequency noise, Journal of Sound and Vibration, 2001, 240(3), 483-497.
3. van den Berg, F., Low frequency sounds in dwellings: A case control study, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 2000, 19(2), 59-71
4. International Organization for Standardization, Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – part 7: Reference threshold of hearing under free field and diffuse-field listening conditions, ISO 389-7, 1996.
5. Fidell, S., Horonjeff, R., Teffeteller, S. and Green, D.M., Effective masking bandwidths at low frequencies, Journal of the Acoustical Society of America, 1983, 73(2), 628-638.
6. Finck, A., Low frequency pure tone masking, Journal of the Acoustical Society of America, 1961, 33(8), 1140-1141.
7. Watanabe, T. and Yamada, S., Study on perception of complex low frequency sounds, Proceeding of Ninth International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration, 2000, Denmark, 199-202.
8. Watanabe, T. and Yamada, S., Study on the masking of low frequency sound, Proceeding of 10th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, 2002, UK, 41-46.
9. Zwicker, E. and Fastl, H., Pyscho-acoustics - Facts and Models, Second updated edn., Springer-Verlag, Germany, 1999.
10. Moore B.C.J. and Glasberg B.R., A revision of Zwicker's loudness model. Acustica - acta acustica, 1996, 82, 335-345.
11. Moore, B.C.J., Glasberg, B.R. and Baer, T., Model for the prediction of thresholds, loudness, and partial loudness, Journal of Audio Engineering Society, 1997, 45(4), 224-239.

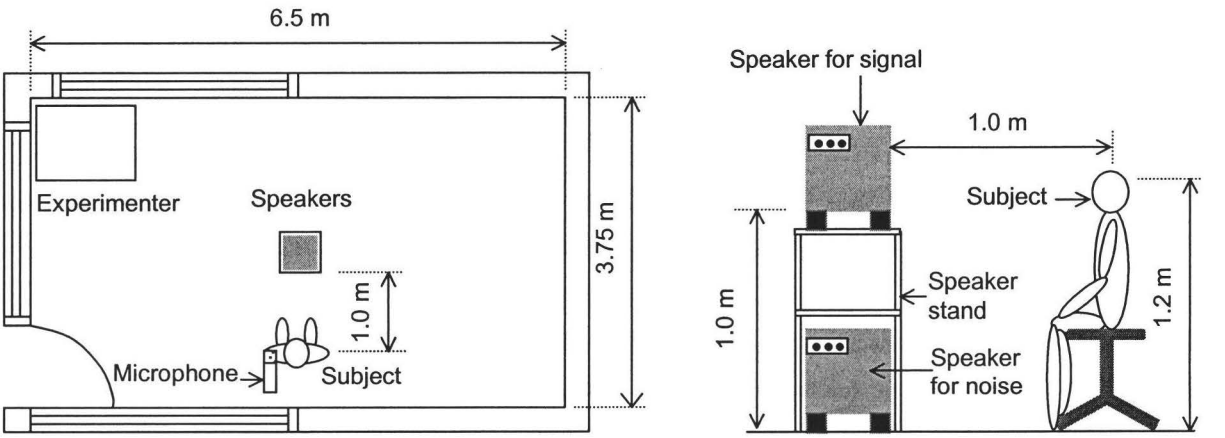


図1　実験室内の概要図．(a) 平面図，(b) 側面図．

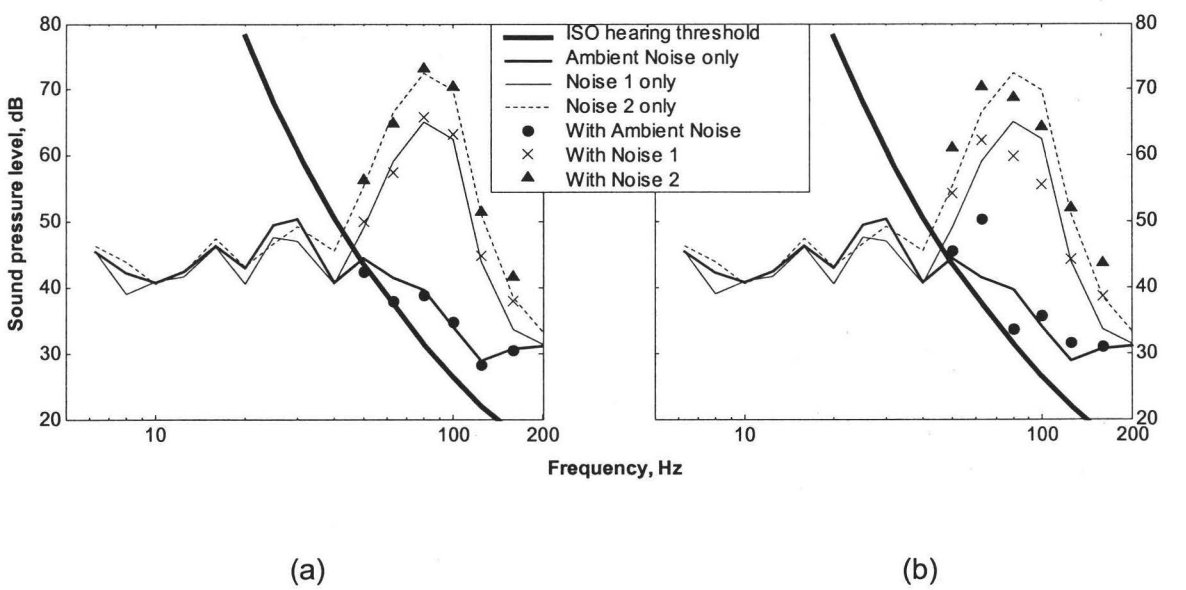


図2　3種類の暗騒音の1/3オクターブバンド音圧レベル．(a) 暗騒音のみの場合と30Hz，40Hz，50Hzの試験音と暗騒音の同時発生の場合の比較．(b) 暗騒音のみの場合と20Hzの試験音と暗騒音の同時発生の場合の比較．ISO 389-7 [4] の標準的な知覚閾値も参考のため図示．

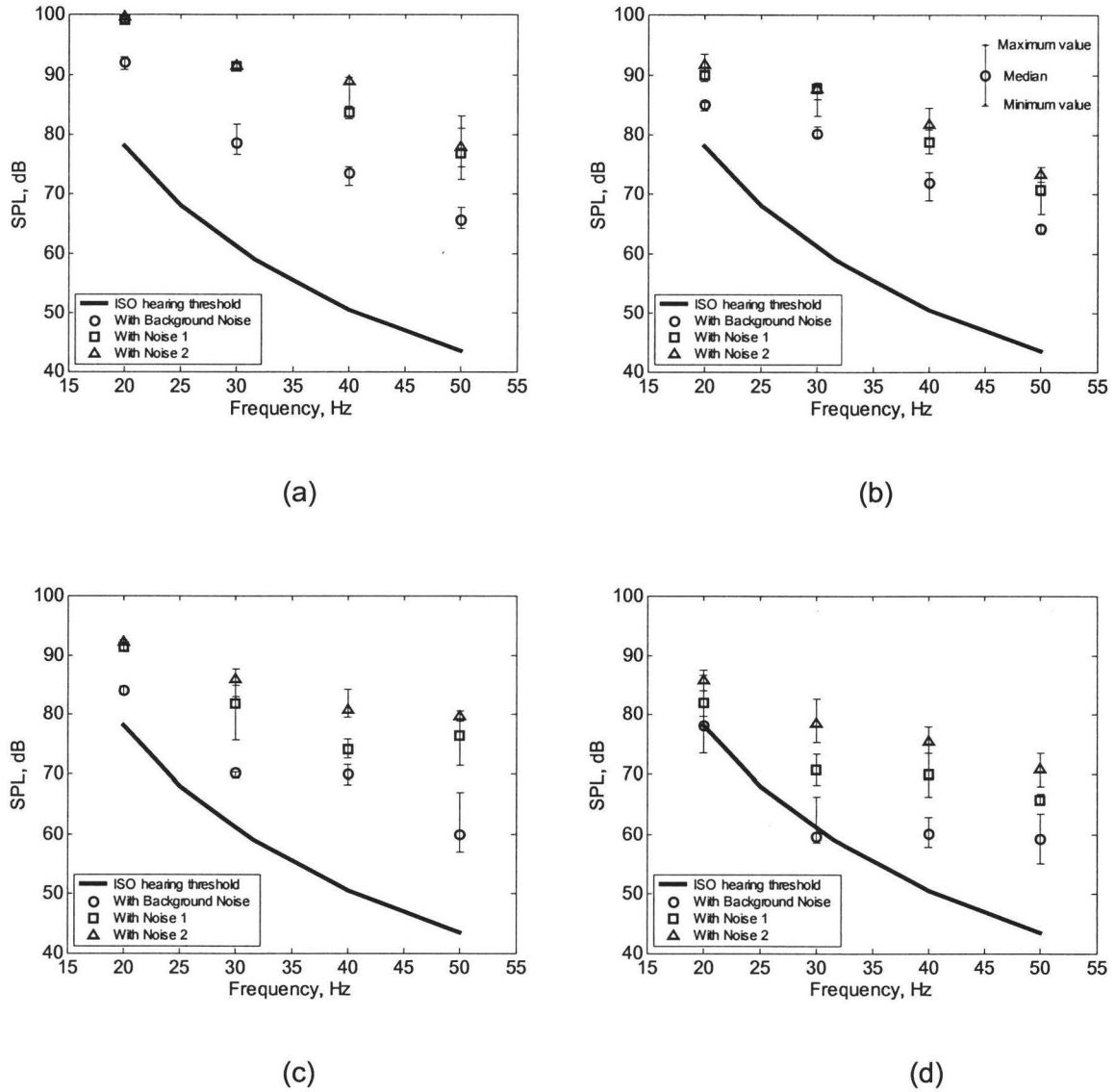


図 3　被験者 4 名分の各暗騒音環境下での知覚閾値（4 回の測定値の中央値と最大値・最小値）．(a) 被験者 1，(b) 被験者 2，(c) 被験者 4，(d) 被験者 5．被験者 3 の結果は被験者 2 の結果と類似．ISO 389-7 [4] の標準的な知覚閾値も参考のため図示．

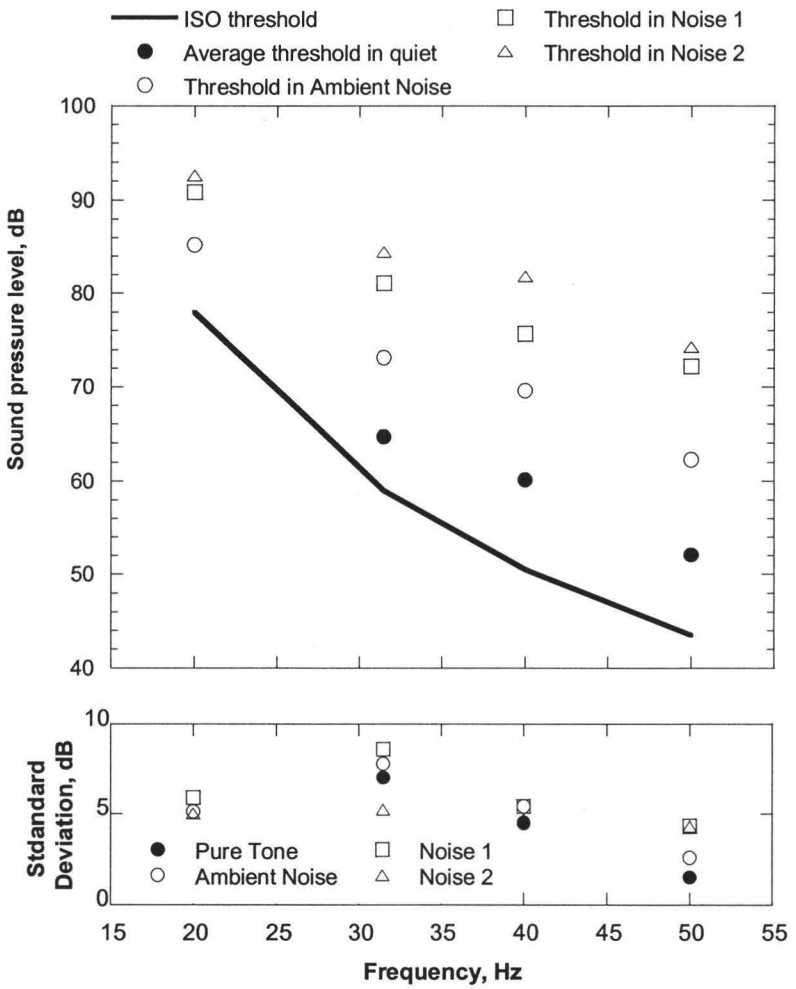


図4　各暗騒音環境下での知覚閾値の全被験者の平均値(a)及び標準偏差(b). 他の実験で測定したより静寂な環境での知覚閾値及びISO 389-7 [4] の標準的な知覚閾値も参考のため図示.

1-19 都市ゴミ溶融スラグ微粉末を用いたセメントレスコンクリート製品の開発

茨城大学工学部

教授 福澤公夫

1. 序論

今日の社会は，地球資源・エネルギーを採取し消費し廃棄するというシステムの上に成り立っている．近年の日本における一般廃棄物の排出量は年間約 5000 万 t で国民一人あたり 1 日に 1kg のごみを排出している計算となる．その内 15%が中間処理（破砕・選別による資源か，拘束堆肥化等）および再生業者等に直接搬入されているのみで，約 80%は直接焼却されており，焼却後の最終処分量は年間 1000 万 t を超える．

平成 12 年 6 月に公布された「循環型社会形成推進基本法」は，廃棄物・リサイクル対策として，第 1 に廃棄物の発生抑制(Reduce)，第 2 に使用済み製品・部品の再利用(Reuse)，第 3 に回収された物を原材料として利用するリサイクル(Recycle)の 3R を基本として，エネルギーの有効利用を促進することを義務づけている．

家庭や事業所から排出される一般廃棄物（都市ごみ）は，上記した通り焼却処分されるが，焼却灰にはダイオキシンが存在する可能性が高い．平成 12 年 1 月より施行された「ダイオキシン類対策特別処置法」においてダイオキシン類の排出が制限され，基準を満たさない焼却炉は休止し改善工事を行うか，または，廃止することが義務づけられた。そこで，全国の多くの自治体ではダイオキシン類の除去のため，ごみの焼却に伴って発生する焼却灰をさらに高温で溶融する処理方法を取り始めている。高温(1300℃以上)で溶融された焼却灰はスラグと呼ばれ，一般に冷却水により急冷され，水砕スラグとされた後に埋め立て地に捨てられている。また，焼却灰は溶融することにより，体積が大幅に減少することから，埋め立て処分地の節約にもなる．このようにして発生する溶融スラグは，その製造工程で大きなエネルギーが使用されていることと，最終処分場（埋め立て地）の残余年数が極端に少ないことから，有効利用が検討されはじめ，現在，コンクリート用細骨材としての利用および路盤材への利用が盛んに検討されている。これまでの研究成果から平成 14 年 7 月に「一般廃棄物，下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材(コンクリート用溶融スラグ細骨材)」として TR 化（TR A 0016）がなされ溶融スラグの安定的な利用先として検討され始めている。 また，溶融スラグを路盤材として利用すべく TR 化（TR A 0017）が行われている。しかし，溶融施設が年々急増していることから，スラグの排出量から考えるとさらなる安定した利用方法が求められている。

スラグは溶融され急冷されると，非晶質の物質となり結晶化エネルギーを内在する．このエネルギーは一般に「潜在水硬性」と呼ばれている．潜在水硬性とは単に水を混ぜただけでは硬化は起こさないが、同時に刺激材が存在するときは硬化し、難溶性の水和物に変わるよ

うな性質の事を言う．セメントの場合は水と混ぜただけで固まるが，これはセメント自身がアルカリ刺激を出すことにより潜在水硬性が発揮される事によると言われている．スラグは自身でアルカリ刺激を出さないので他からアルカリ刺激を受ける必要がある．

そこで本研究では都市ごみ溶融スラグをセメントの代替材としたコンクリートの研究を行うものである．

2.都市ごみ溶融スラグをセメント代替材に用いたモルタルに関する研究

2.1　緒言

スラグは溶融後に急冷することにより非晶質になり内部応力を有する．この非晶質な物質にアルカリ刺激を加え活性化することにより水硬性が発揮され硬化体を生成する．活性化した際に，自らがアルカリを供給しC-S-Hゲルを生成する性質は潜在水硬性と呼ばれている．ポゾランの持つポゾラン反応は，それ自身石灰を溶出することができないという点において，潜在水硬性とは本質的に異なる．急冷（水冷）スラグは刺激材と水と混ぜることにより，普通ポルトランドセメントのように結合材となり得る．このことを利用したものに高炉セメントがある．高炉セメントは高炉スラグと普通セメントを混合したものである．高炉スラグとは、鉄鉱石を溶鉱炉で溶かし、銑鉄を造る際に出てくる副産物（スラグ）で、成分は一般のセメントと同じ石灰石である。高炉スラグはセメントのアルカリ刺激を利用して水和生成物を作るために，高炉セメントを適量使用したコンクリートは緻密な硬化体を生成する．

「溶融スラグ」をセメント代替材にするという研究はこれまでに幾つか行われてきているが「都市ごみ溶融スラグ」をセメントの代替材とするという研究はこれまでほとんどなされてこなかった．理由として，都市ごみ溶融スラグは活性度が低いことからアルカリ刺激を加えても強固な硬化体を生成するまでには至らないだろうという予測と，社会的要請が低かったためと考えられる．

しかし近年，ダイオキシン類対策特別処置法が制定されたことにより，社会的要請が大きく変化した．理由は，都市ごみを焼却した後に発生する灰にはダイオキシン類が存在するためである．そのため全国の多くの清掃センターでは都市ごみを溶融処理しダイオキシン類を分解した後に発生する「都市ごみ溶融スラグ」を埋立て処分する方法を採用している．このような経緯を経て，最終処分地の残余年数が少ないことも相まって，都市ごみ溶融スラグの再利用の検討が急がれている．

2.2　溶融スラグの品質

2.2.1　粉末X線分析

本試験で使用している溶融スラグを写真1に示す．5mm以下の粒径のものが大部分であるが、団粒化した20mmを超えるものも含有している。また，針状の生成物も確認出来る．溶融スラグの色調は黒色であり、表面は滑らかで光沢があり、形状は角張っている。

本研究に用いた溶融スラグの粉末X線回折結果を図1に示す。測定にはRigaku製粉末X線回折装置RINT-2200 Ultima水平を用いた．図に示すように30°付近に凸部がみられるものの突出したピークが観察されていないことから非晶質のガラス状態であることが分かる。

2.2.2　蛍光X線分析

都市ごみ溶融スラグの化学組成分析はガラスビード試料作製装置を用いて1080℃で溶融し，ガラスビードを作製する．その後，島津製シーケンシャル型蛍光X線分析装置を用いて化学組成の分析を行った．

蛍光X線による溶融スラグの化学組成の分析結果を表1に示す．また本研究にて使用した溶融スラグの化学組成を高炉スラグの平均的な値と比較する。都市ごみ溶融スラグは，SiO2，Al2O3およびCaOの3成分の含有量が多く約9割を占め，その他の成分は微量である。硫黄は、鉄筋コンクリートの場合鋼材を腐食させる可能性があるが、本研究にて使用する急冷スラグの場合、ガラスの中に硫黄分が分散され安定しているため悪影響は及ぼさないと考えられる。また，急冷スラグは図1からも確認できるように非晶質のガラス状態となるため結晶化エネルギーを内在し，潜在水硬性を有する。そこで，表2に水硬性能を評価する指標の一つであるスラグの塩基度 b を比較する。なお，塩基度は式(1)にて算出した。JIS A 6206の高炉スラグ微粉末の規格値1.60以上に比べ，都市ゴミ溶融スラグの塩基度は低いことが確認できる。このような低い塩基度を有する溶融スラグでも，Fe2O3やP2O5等のガラス構造を不安定化し水和反応性の増大に効果がある化学成分を高炉スラグに比べ多く含むため良好な水硬性を示すことが報告されている。

2.3　硬化メカニズム

図2にポルトランドセメントの硬化メカニズムと溶融スラグをセメント代替材として用いる場合の硬化メカニズムの違いについて示す．図に示すように通常のセメントの水和反応では，水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$），CSHおよびエトリンガイトを主な生成物として硬化体が形成される．一方，溶融スラグをセメント代替とした場合も同様に，急冷工程を経ることにより潜在水硬性を有し，図に示すようにアルカリ材料を混入することによりこの水硬性を発揮させ硬化体を形成する．硬化体としては，ケイ酸ゲル，CSHおよびゼオライト系生成物を形成する．なお，図2に示す水和生成物は，アルカリ材料としてケイ酸塩（$Na_2O \cdot nSiO_2$）を使用した場合である．

2.4　硬化体

写真2に溶融スラグ微粉末を用いた硬化体のSEM観察結果を示す。スラグ微粉末の表面はC-S-H系のゲルと思われる水和物で覆われており，(a)観察No.1に示すような，面状生成物や(b)観察No.2に示すような微細な網目状の生成物が確認できる．　2.5　溶融スラグの平均粒径の違いによるモルタルの圧縮強度への影響

2.5.1　実験概要

溶融スラグをセメント代替とした硬化体は，前述した通りアルカリ刺激材料の刺激により潜在水硬性を発現し固まった物である．であれば，アルカリ刺激材と溶融スラグの接する面積，つまり反応面積の違いが硬化体の性状に影響を及ぼす事は容易に想像ができる．

本研究では，反応面積を増やす方法として，溶融スラグの粒径を小さくする（ブレーン値を大きくする）方法を用いた．

そこで本項では溶融スラグの平均粒径を変化させた場合のモルタルの圧縮強度の違いを検討する．溶融スラグの平均粒径 D_{50} とは粒度分布曲線に対して透過率50%の時の粒径を示す．

本実験では平均粒径 D_{50}=5, 10, 20, 30 μm の５水準の溶融スラグ微粉末を比較した．これら４水準の溶融スラグ微粉末の粒度分布を図３に示す．粒度分布の測定には島津製レーザー回折式粒度分布測定装置 SALD-1100(V2.1)を用いた．

2.5.2　配合

表３に実験に使用したモルタルの配合を示す。本実験では，アルカリ刺激を与えるアルカリ材料として水ガラスを使用した。この水ガラスの成分は酸化ナトリウム 17.48%，無水ケイ酸 37.03%と水で構成される。表 3-4 に示す配合中のアルカリ刺激材料には，水ガラスの固形分を示し，水分は配合中の水に含めた。細骨材には岩瀬産砕砂 2005 を使用した。

養生方法は蒸気養生を用いた．養生条件は湿度 85%RH，前置き 30℃・2h，昇温 15℃/h，最高温度 65℃・5h，その後，自然放冷とした．

2.5.3　実験結果

図４に溶融スラグの平均粒径 D_{50} と圧縮強度の関係を示す。図に示すように溶融スラグ微粉末の平均粒径が小さくなるほどモルタルの圧縮強度は増加する。これは，アルカリ刺激材料と接する溶融スラグの表面積が増加し水和反応が促進されるためと考えられる。

2.6　蒸気養生の最高温度および養生時間の違いによるモルタルの圧縮強度への影響

2.6.1　実験概要

溶融スラグをセメント代替にしたモルタルは蒸気養生を行うことにより，圧縮強度が大きく伸びる．本項では，蒸気養生の最高温度および養生時間の違いがモルタルの圧縮強度にどのように影響するのか検討する．表４に実験に使用したモルタルの配合を示す。

2.6.2　実験結果

図５に蒸気養生の最高温度を変化させたときの材齢と圧縮強度の関係を示す．図から，溶融スラグをセメント代替にしたモルタルは養生温度が低いと強固な硬化体を形成しない事が分かる．最高温度 65℃は材齢が経つにつれて最高温度 85℃の値に近づいていく．これは，85℃の供試体は養生温度が高いので，水和反応が助長され，蒸気養生中の硬化初期に水和反応を終えたのに対して，最高温度 65℃の供試体は水和反応が養生時間中には完全に終わらず，その後徐々に反応を続けたためと考えられる．しかし，初期の養生温度が低いと，十分に溶融スラグのガラス網目構造を破壊する反応が起こらないために，養生後も水和反応をすることができず，圧縮強度がのびないと考えられる．

2.7　アルカリ刺激材の違いによるモルタルの圧縮強度への影響

2.7.1　実験概要

溶融スラグをセメント代替とし水和反応を起こすには，溶融スラグの潜在水硬性を呼び覚ますアルカリ刺激が必要となる．本項では，そのアルカリ刺激材に用いる物質の検討を行う．

2.7.2　アルカリ刺激材

溶融スラグの組成より，刺激材としては CaO，$Ca(OH)_2$，Na_2SiO_3 などのアルカリが有効であると考えられる．また，アルカリと両性化合物である $Al(OH)_3$ などの併用も考えられる．このような理由から，本実験に用いたアルカリ刺激材を表５に示す．水ガラス（$Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot xH_2O$）は JIS K 1408 に規格される１号を用いた．外観は水あめ状で無色の液体である．その他のアルカリ刺激材は粉体または粒状の試薬を用いた．

2.7.3　配合

表 6 に実験に使用したモルタルの配合を示す。本実験では，水ガラスは液体であるため，固形分の質量のみをアルカリ刺激材（AL.）として計算している．その他の刺激材は各物質の質量をそのままで計算した．細骨材には岩瀬産砕砂 2005 を使用した。

2.7.4　実験結果

図 6 に種々アルカリ刺激材を用いた場合の材齢 28 日における圧縮強度を示す．図に示すように，最も圧縮強度の大きかったアルカリ刺激材はメタ珪酸ナトリウムであった．またメタ珪酸ナトリウムは水ガラスと違い粉末状であるために，練混ぜ時の扱いが容易であるという利点もあった．水酸化ナトリウムも高い圧縮強度を示した粒状の薬品であるが，空気中の炭酸ガスと水分をすって潮解してしまうために取り扱いが困難である．これらの結果から，本研究におけるアルカリ刺激材にはメタ珪酸ナトリウムが最適であるとした．

2.8　W/B と AL/SL を変化させた場合のモルタルフロー及び圧縮強度

2.8.1　実験概要

コンクリートとして実用化を行うためには圧縮強度のみではなく練混ぜ時のフレッシュ性状，特に流動性や硬化経緯も施工面から考えると重要である．

都市ごみ溶融スラグをセメント代替材にしたモルタルは普通ポルトランドセメントを使用したモルタルに比べて水和反応が急激に起きる傾向がある．また，フレッシュコンクリートは粘性が高く，こわばりが発生するという特徴を持つ．これらの特徴はコンクリートとしては一般的に悪い特徴である．また，フレッシュ性状が悪いことにより，締固めを十分に行うことが出来ず，品質の悪い硬化体ができ，圧縮強度が通常に比べて低下する事もある．これまでの実験から，これらの特性を変化させる主な要因として以下の 5 つが考えられる．

1)溶融スラグ微粉末（SL）の平均粒径
2)SL と，その反応を促すアルカリ刺激材（AL）の比率であるアルカリ材スラグ比（AL/SL）
3)水［W］と結合材料（B=SL＋AL）の比率である水結合材比（W/B）
4)水和反応に寄与する練混ぜ時の外気温
5)骨材の含水率

この中で特に，W/B と AL/SL 及び溶融スラグの平均粒径が諸特性に及ぼす影響は大きく本研究において，これらの適切な量を定めることは大きな課題の一つである．

そこで本項では，溶融スラグの平均粒径は一定として，W/B と AL/SL を細かく変化させたモルタルを作製し実験を行うことにより，最適な配合を見つける事を目的とした．表 7 に示す範囲から最も適切な配合を検討することとした．

この実験において，適切な配合と判断する基準は，出来上がった硬化体の圧縮強度と練混ぜ時のモルタルフロー及び経時変化である．圧縮強度は通常の建築物に使われるコンクリートの圧縮強度 20～30MPa を超える値として 30MPa 以上を目標とした．モルタルフローは，打設時には材料分離が起きない程度で，できるだけ大きな値を選ぶものとした．経時変化はモルタルフローと打設後 10 分経ったときのモルタルフローの低減率が小さい配合を選ぶことにした．

2.8.5　実験結果

(1)　モルタルフロー試験結果

図 7 に打設時におけるモルタルフロー試験結果を示す．図からは，W/B および AL/SL の値とモルタルフローに一定の関係が見られないように思える．これは，モルタルフローに及ぼす要因が少なくとも 3 つあるからである．3 つとは，単位水量，凝結時間（擬凝結）および粉体量である．

W/B が小さくなると単位水量は減少する．そのため全体の傾向として W/B が小さくなるとモルタルフローは小さくなるはずである．

凝結時間の変化は水和反応の速度と関係を持つ．水和反応の速度は AL/SL が大きくなると早くなる．そのため AL/SL が大きくなるとモルタルフローは小さくなるはずである．しかし，以上の 2 つの条件からすれば AL/SL27.5%，W/B30%が最もモルタルフローが小さくなるはずだが，図から最も大きい値になっていることが分かる．この原因は，粉体量で説明が付く．つまり，AL/SL が大きくなるということは，溶融スラグ微粉末の量が減るということである．溶融スラグ微粉末の量が増えるとモルタルの粘性が急激に増加する．特に，単位水量の少ない W/B30%ではこの影響は大きい．これら 3 つの要因が複雑に絡み合った結果，図のモルタルフローになった．

次に打設 10 分後のモルタルフローを図 8(a)に示す．打設 10 分後ではモルタルフローに一定の法則性が表れる．とくに，AL/SL が 17.5%では急激にモルタルフローが低下している．理由は先に述べたように，溶融スラグの粉体量が多いためだと考えられる．

次に，打設時から打設 10 分後へのモルタルフローの減少率を図 8(b)に示す．減少率が小さいほど流動性を長時間保てる事になる．実際の施工時にはこのモルタルフローの減少率が小さいほど，良質なコンクリートであるといえる．図から，AL/SL が 22.5%以上であればモルタルフローの減少率は少ないことが分かる．

(2)　圧縮試験結果

図 9(a)からは W/B が 40%では目標とする圧縮強度に達しない事が見て取れる．よって W/B40%は候補からはずれる．

図 9(b)からは AL/SL22.5%と 27.5%に圧縮強度の差が見られないことが分かる．このことから，アルカリ刺激材の単位量が少ない 22.5%が最適な配合と言える．

以上のモルタルフローおよび圧縮強度の関係から，W/B は 35%で AL/SL は 22.5%が最適な配合だと言える．

3.　都市ごみ溶融スラグ微粉末を有効利用したコンクリートに関する研究

3.1　緒言

ここまでに行ってきた研究はコンクリートの前段階であるモルタルによる実験であった．モルタルによる実験によって，都市ごみ溶融スラグをセメント代替および混和材に利用した硬化体の基礎的な性状を掴むことができた．そこで本章では，モルタルから一歩前進し，より実用的なコンクリートにおける諸特性を検討する．

都市ごみ溶融スラグ微粉末をセメント代替に利用したコンクリートを今後セメント代替コ

ンクリートと呼ぶ.
コンクリートの実用化を目指すに当たり，本章ではフレッシュ性状，圧縮強度，凍結融解抵抗性，化学抵抗性，溶出試験の5点について検討を行った． これまでのモルタルによる実験的検討から，配合は表8に示す通りとした.

3.2　フレッシュ性状試験

今回用いた配合では流動性が大きく，JIS A 1101に規定されるスランプ試験方法では測定ができない．そこで高流動コンクリートなどに用いられるJIS A1150に規定されるスランプフロー試験を行った．本実験に用いた配合では表9(a)に示すように非常に大きなスランプフローを得た．また15分後であっても十分に施工が可能であるスランプフロー値を得た．Airは5.2%で，普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと大差ない結果となった.

3.3　養生条件の違いによるコンクリートの圧縮強度への影響

3.3.1　実験概要

普通コンクリートは養生条件の違いにより，その性状が変化する．溶融スラグをセメント代替としたコンクリートも養生条件の違いにより硬化体の性質が大きく変化する．本項では養生条件の違いによるセメント代替コンクリートの圧縮強度への影響を考察する.

蒸気養生，水中養生，気中養生の3水準について検討した．蒸気養生の条件は，前置き30℃・2h，昇温15℃/h，最高温度65℃・5h，その後，自然放冷とした．水中養生，気中養生は供試体作製後、湿布で覆って24時間気中に静置した後脱型し、20±3℃の恒温室で所定材齢までそれぞれの養生を行った。

3.3.2　実験結果

図10に養生条件の違いによる圧縮強度と材齢の関係を示す．図10に示すように蒸気養生は材齢1日から28日まで圧縮強度は一定で高い値を示している．水中養生および気中養生は目標とする30MPaには届かなかった．気中養生は硬化体に自己収縮によるひび割れが確認された．この結果からセメント代替材コンクリートもモルタル同様に蒸気養生が望ましいと言える.

3.4　凍結融解試験

3.4.1　実験概要

凍結融解試験は主に、寒冷地におけるコンクリートの耐久性を評価する目的で行われてきた。この試験方法は、コンクリートに強制的にストレスかけて劣化を促進させることが出来ることから短期間で耐久性を評価することが出来る。一般的に凍結融解に強いコンクリートは耐久性のあるコンクリートといる。

コンクリートの凍結作用に対する抵抗性は，骨材の品質，コンクリートの配合および気泡組織などによって変わる．また，実際のコンクリートでは気象条件，構造物の種類，露出条件などによって劣化の程度は著しく異なる.

本試験で用いた凍結融解試験はJIS A 1148に則った試験である．試験方法の種類は水中凍結融解試験方法を用いた.

3.4.2　試験装置および試験体

試験装置は，日本コンクリート工業株式会社にお貸し頂き測定を行った．凍結融解抵抗性

は動弾性係数測定により判断した.

試験体は 3 体用い，計測した実験値の平均を測定値とした．試験体を写真 3 に示す．試験体寸法は 100×100×400mm の角柱である.

凍結融解のサイクルは 300 サイクルとし，30 サイクルごとに動弾性係数と質量変化率を測定した.

3.4.3　試験結果

図 11 に相対動弾性係数と凍結融解サイクル数の関係を示す．一般に，凍結融解抵抗性は図中に示す最小限界値（相対動弾性係数 60%）を下回らなければよいとされている.

本実験に用いた試験体は，ほぼ 90%付近を推移しており，十分な凍結融解抵抗性を持っていると言える 150 サイクルで一端大きく相対動弾性係数が下がっているが，測定誤差によるものだと考えられる.

図 12 に質量減少率と凍結融解サイクル数の関係を示す．質量減少率は徐々に小さくなってきており，300 サイクル以降はさほど変化がないものと考えられる.

以上の結果からセメント代替コンクリートは凍結融解抵抗性を持ち合わせていると言える.

3.5　化学抵抗性試験

3.5.1　実験概要

コンクリートの化学的浸食機構はきわめて複雑で，酸や塩の濃度あるいはコンクリート配合の選定などその抵抗性を判定する試験法を統一的に標準化することは難しい.

本試験は ASTM C 267-71 を基本とした物である．しかしこの試験方法はセメントモルタルに対しての物である．モルタルとコンクリートの化学抵抗性は必ずしも対応するとは言えないので本試験では，100φ×200h のコンクリート円柱供試体について試験を行った.

試験体は 5%硫酸溶液と 5%水酸化ナトリウム溶液に浸して，時間変化と質量減少率の関係を調べた.

健全なコンクリートはセメントから遊離された「消石灰」を多量に含むため、一般にＰＨは 12～13 という強アルカリ性である。アルカリ性であるということは、OH-(水酸化物イオン、アルカリ性を示す物質）量が、H^+(水素イオン、酸性を示す物質）量に比べて多量に存在しているという状態である。

コンクリート表面と酸性物質が接触した場合，遊離消石灰を中和するだけにとどまらず、セメント硬化体自身を中和して破壊してしまう。これが酸による劣化で、表面からやせ細っていくのが特徴である。これらの現象は，温泉地帯や下水道の管渠や食品工場など（酸を使わない食品工場でも、食品の腐敗の過程で生成する乳酸により劣化する）にみられる現象である。コンクリートの硬化体中には、$3CaO \cdot Al_2O_3$（アルミン酸３カルシウム、通称C_3A）が存在するが、ここに SO_4^{2-}（硫酸イオン）が供給されると、$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$（通称エトリンガイド）を生成する。このエトリンガイドの膨張によりコンクリート内部から破壊されるのが、SO_4^{2-}（硫酸イオン）による劣化である。なお、下水道の管渠などは、酸と SO_4^{2-} の複合した劣化現象が多々見受けられる。

3.5.2 実験結果

図 13 に化学抵抗性試験結果を示す．図からも普通コンクリートは酸に弱い事が分かる．セ

メント代替材コンクリートは酸性にもアルカリ性にも抵抗力を持つことが見て取れる．理由として，都市ごみ溶融スラグをセメント代替にしたコンクリートは普通コンクリートとは違い，酸に中和する水酸化カルシウムや消石灰を持ち合わせていないことが挙げられる．水酸化ナトリウム溶液の試験体の質量が浸漬初期に微増している．これは試験を始める前の試験体が十分に水を含まない状態で試験を始めてしまった可能性もあるが，水和反応により生成物ができ，質量が増加した可能性もある．

この結果から，セメント代替材コンクリートは温泉地や下水道などのアルカリや塩の含まれる場所にも使用できることが分かった．

写真4に硫酸5%溶液に浸漬した普通コンクリートとセメント代替材コンクリートを示す．左は普通コンクリートの試験体である．右はセメント代替材コンクリートである．普通コンクリートは表面が中和して剥離している．写真からもセメント代替材コンクリートが酸に対して抵抗性を示していることがよく分かる．

3.6　溶出試験

3.6.1　実験概要

都市ごみ溶融スラグは都市ごみ焼却灰中に含まれるダイオキシン類を分解した後に生じる生成物である．つまりダイオキシン類については安全な物質である．「ダイオキシン類対策特別処置法」が施行され，最終処分方法が溶融スラグという形式を取る自治体が一般的になってきた事から，この事実は浸透してきていると思われる．

しかし，その製造方法故に都市ごみ溶融スラグは潜在的に重金属類を含有している．重金属類が含有されている理由は，一般家庭から排出されるごみの中に何らかの形でそれらが混入しているためである．これら重金属類は環境および生態系に多大な影響を与えることから，環境省により溶出値に制限が出されている．

そこで本項では都市ごみ溶融スラグをセメント代替材にしたコンクリートの安全性を調べるために，溶出試験を行った．本研究における溶出試験は専門企業に委託した．検査対象は都市ごみ溶融スラグ（製造されたままの物），都市ごみ溶融スラグ微粉末，都市ごみ溶融スラグ微粉末をセメント代替材としたコンクリートの3点である．検査した項目は，カドミウム，六価クロム，ヒ素，総水銀，セレン，鉛の6種類で環告46号（土壌の汚染に係わる環境基準について）による溶出液の分析を行った．

3.6.2　試験結果

表10に溶出試験結果を示す．都市ごみ溶融スラグ，都市ごみ溶融スラグ微粉末および混和材コンクリートは全ての項目において基準値をクリアーした．溶融スラグは製造工程で溶融した後に急冷される事により，重金属類をガラス（シリカ質）がコーティングするので重金属類は溶出しない．しかし，セメント代替コンクリートはヒ素についてのみ基準値をオーバーしている．セメント代替材コンクリートは重金属類を覆っているガラスを溶かして再結晶化させることで硬化体を生成していることにより，重金属が流出したと考えられる．

ヒ素（As 原子番号33　原子量　74.92）とは、天然に遊離の状態で産出することもあるが、多くは硫化物である。化合物としては３価のものと、５価のものが安定であり、いろいろな種類の鉱石とともに産出される元素である。この化合物は、主に木材防腐剤・防アリ剤・農

薬（殺虫剤）・半導体製造などに幅広く使用されている。近年までは医薬品、殺虫剤、殺鼠剤、顔料などにも使用されていたが、その毒性が強いため、今日では特殊ガラス製品、銅・鉛などとの合金、木材・皮革の防腐剤、セラミックス、染料などに利用されている。また、自然界にも多く存在する.

ヒ素の対策としては，炉でヒ素を除去するか，ごみとして出されるヒ素を取り除く事が考えられる．都市ごみとは一般家庭から排出されるものである．自治体の協力の下，ごみの分別回収を進め，重金属類を都市ごみから除去することが最も適切で，かつ市民にごみ問題を浸透させる方法であると考える.

3.7　試作品の製作

3.7.1　概要

これまでの実験によりセメント代替コンクリートの基本配合，諸特性，耐久性および安全性についての検討を終えた.次のステップとして，実際のコンクリート製品の試作を行った．製作したコンクリート製品は車歩道ブロックと U 字溝である．車歩道ブロックは無筋で，U 字溝は鉄筋入りである

表 11 に試作品に用いたコンクリートの示方配合を示す．試作品で用いた配合は本研究で用いてきた配合とほぼ同様であるが，s/a のみ 50%となっている．これまで用いてきた配合では，多少の材料分離が見られたために， s/a を 50%まで引き上げた.

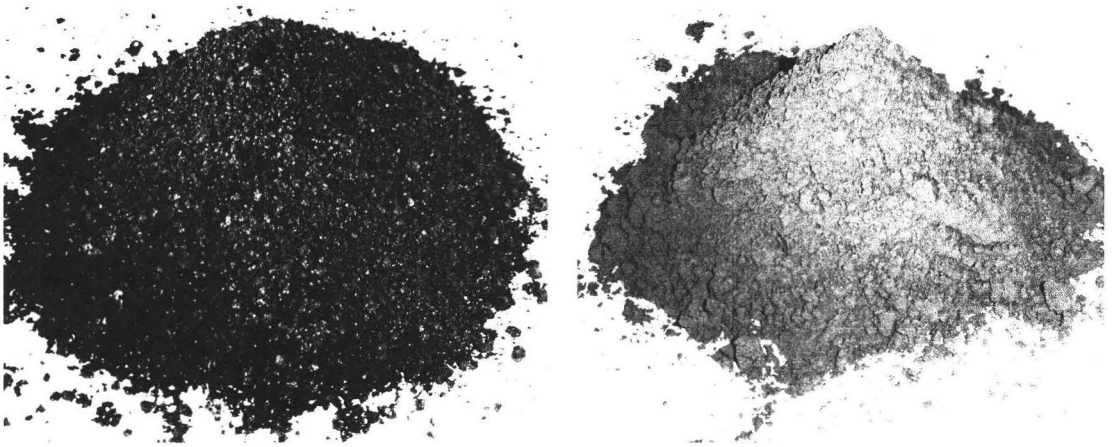
養生方法は蒸気養生を用い，最高温度 50℃で行った.

3.7.3　試作品

写真 5 に試作品を示す．(a)は U 字溝である．U 字溝は街の側溝などに使われるコンクリート製品である．写真から試験体側面にジャンカのような凹凸が見られるが，これは硬化体と型枠の付着が大きく，脱型時に試験体の表面が剥がれたためで，強度に問題は無い．脱型が成功しなかった原因は，型枠に塗った離型剤が強いアルカリにより効力を失ったためだと考えられる．普通コンクリートではこのような事は起きないが，セメント代替コンクリートは普通コンクリートに比べアルカリが強いためにこのような事が起きたと考えられる．今後，離型剤の検討を行う必要がある.

写真 5 (b)は車歩道ブロックである．車歩道ブロックは名前の通り，道路と歩道を隔てるコンクリートブロックである.U 字溝とは違い，車歩道ブロックは非常に良い出来であった．モールド管で試験体を作ると，試験体の表面はガラス質の層ができるが，試作品ではその層ができなかった．これも先に述べたように，離型剤の影響がある.

解決すべき問題はあるが試作品第 1 号としては上々のできあがりであった．今後は離型剤の問題と，まだ材料分離が大きいので，石粉を外割添加するなどして，流動性の調整を行いたい.



(a)粉砕前の溶融スラグ　　(b)粉砕後の溶融スラグ

写真1　都市ごみ溶融スラグ

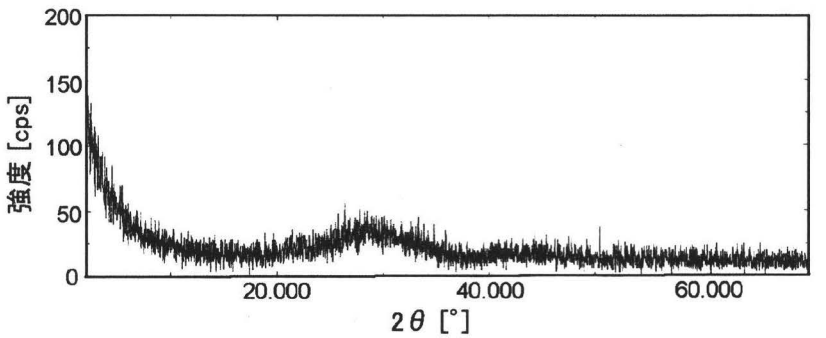


図1 溶融スラグのX線回折結果

表2　スラグの化学組成

種類	化学成分［%］								塩基度
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	TiO_2	b
都市ごみ	42.2	18	2.84	28.2	3.5	0.73	1.35	1.73	1.18
高炉スラグ*	34.4	16.2	0.8	40.8	6.6	0.7	−	−	1.85

*コンクリート工学ハンドブックより

$$b=\frac{Al_2O_3+CaO+MgO}{SiO_2} \quad (1)$$

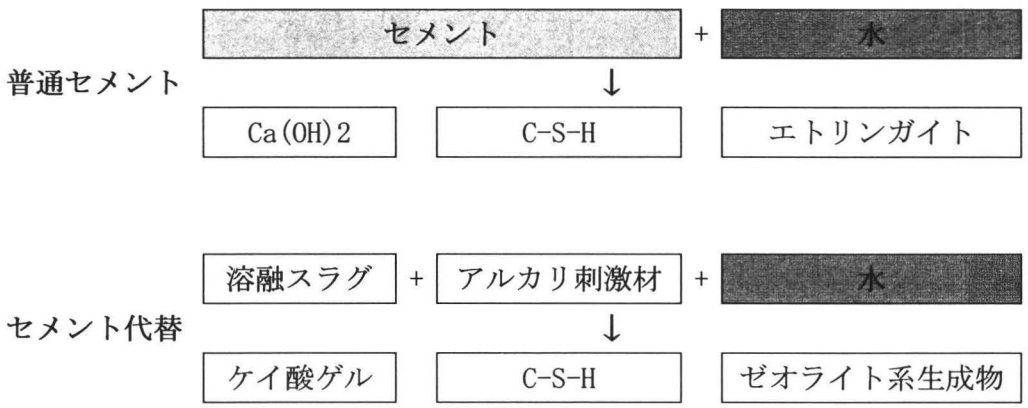
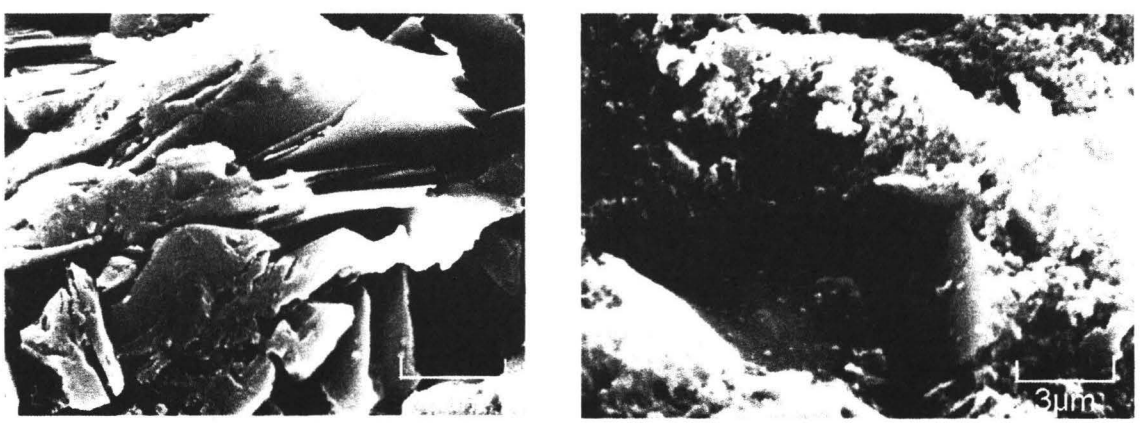


図 2　水和反応機構概略図



(a)観察 No. 1　　(b)観察 No. 2

写真 2　硬化体の SEM 観察結果

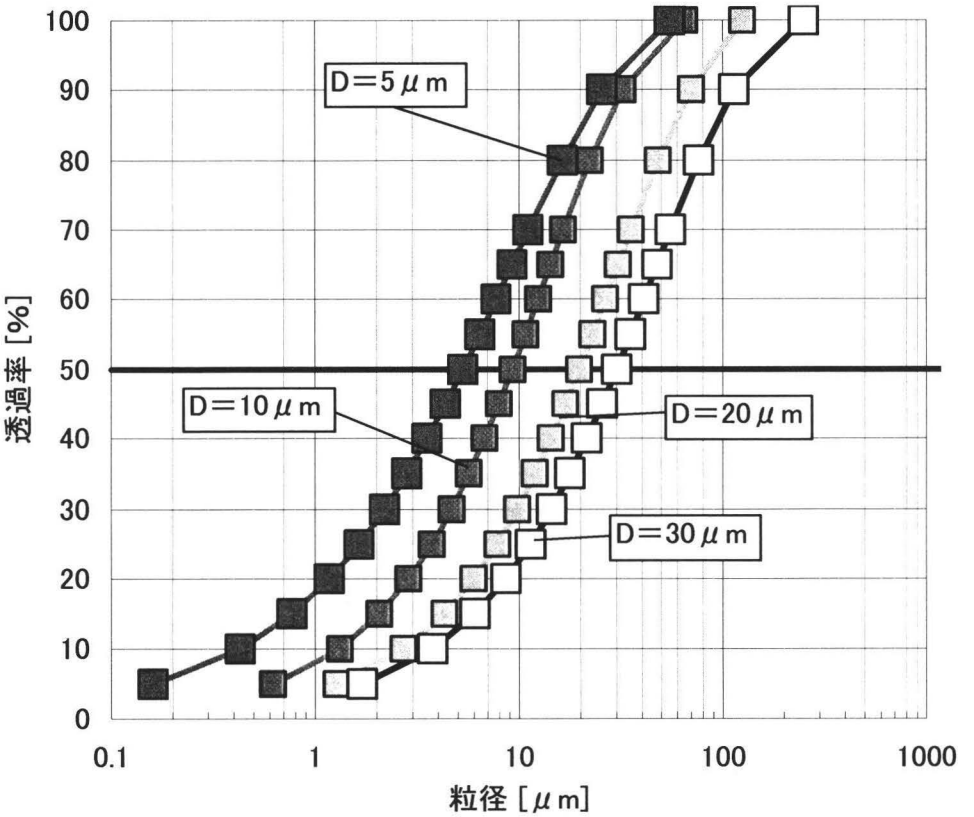


図３　溶融スラグの粒度分布曲線

表３　示方配合

Al/Sl	Air	単位量 [kg/m^3]			
[%]	[%]	W	Sl*	Al*	S
33.3	3.0	223	478	159	1184

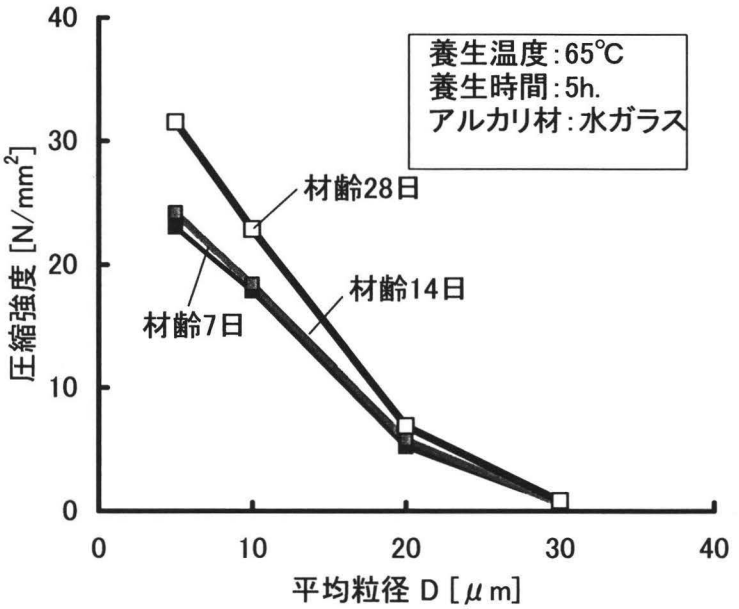


図 4　溶融スラグの平均粒径と圧縮強度の関係

表 4　示方配合

Al/Sl	Air	単位量 [kg/m³]			
[%]	[%]	W	Sl	Al	S
33.3	3.0	230	493	164	1221

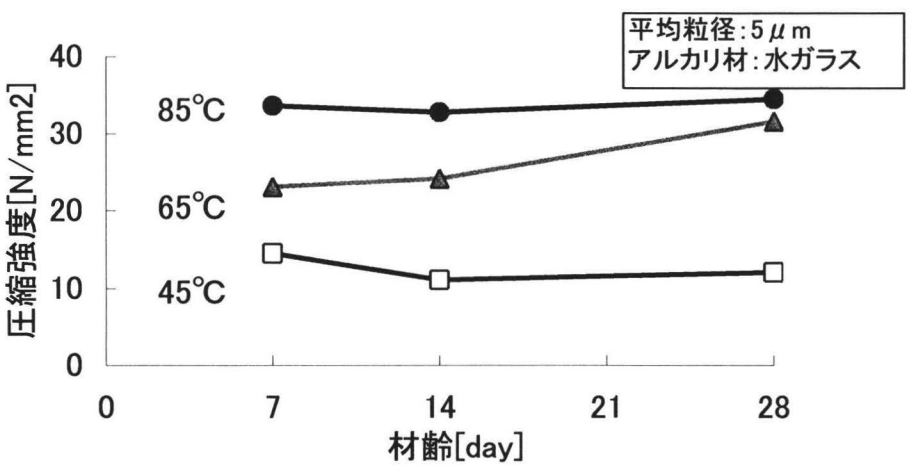


図 5　蒸気養生の最高温度を変化させたときの材齢と圧縮強度の関係

表５　アルカリ刺激材と化学組成

水ガラス１号	SiO_2[%]	35.0-38.0	Na_2O[%]	17.0-19.0	FeO[%]	0.03 以下
無水メタ珪酸ナトリウム	SiO_2[%]	46.0-52.0	Na_2O[%]	47.0-53.0		
水酸化ナトリウム	NaOH[%]	96.0 以上				
水酸化カルシウム	$Ca(OH_2)$[%]	95.0 以上				
水酸化アルミニウム	$Al(OH)_3$[%]	95.0 以上				

表６　示方配合

Al/Sl [%]	Air [%]	単位量 [kg/m³]			
		W	Sl	Al	S
33.3	3.0	230	493	164	1221

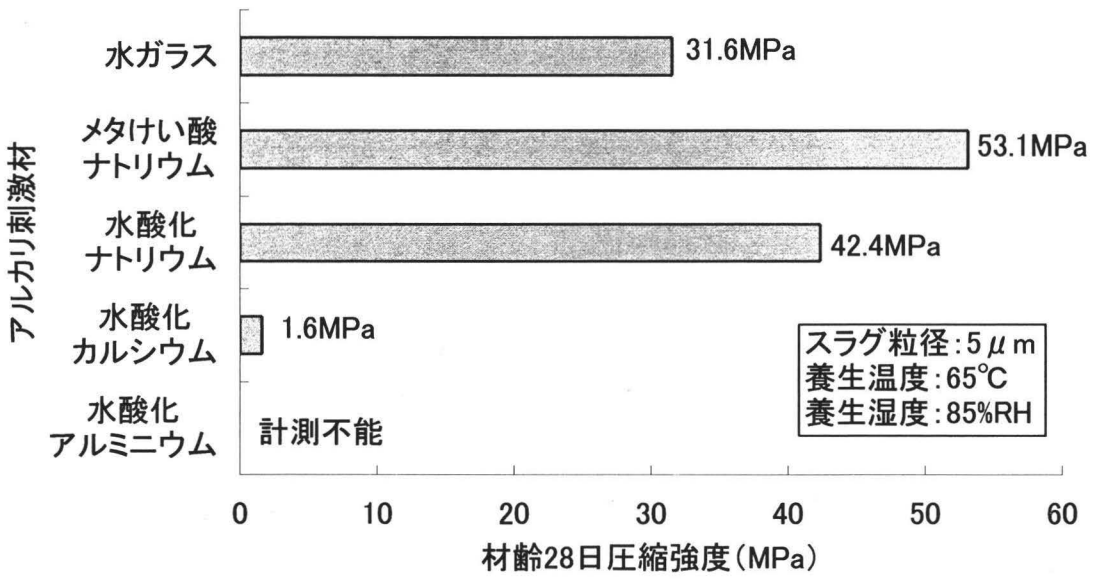


図６　アルカリ刺激材の種類とモルタルの圧縮強度の関係

表 7　W/B と AL/SL を変化させた配合の組み合わせ

		W/B		
		30%	35%	40%
AL / SL	17.5%	A1	A2	A3
	22.5%	B1	B2	B3
	27.5%	C1	C2	C3

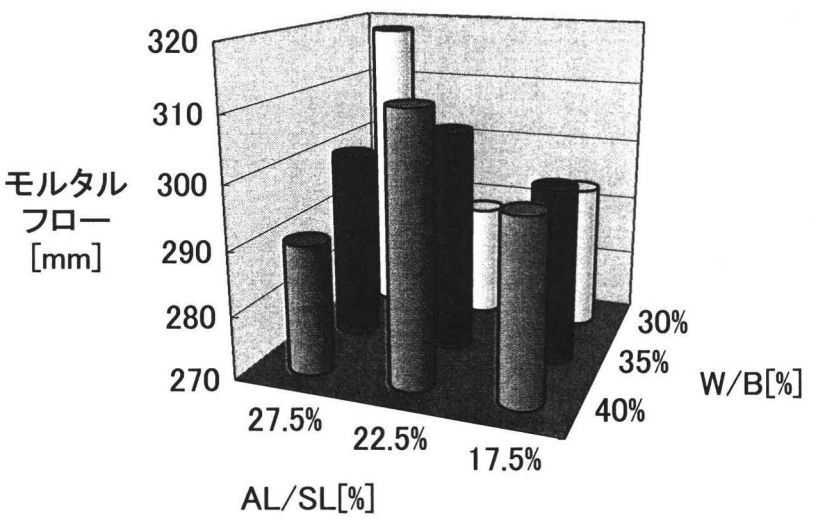
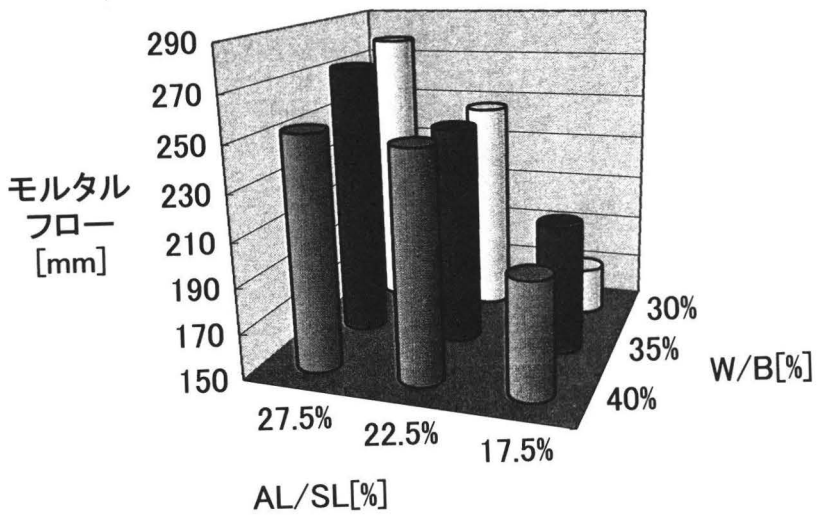
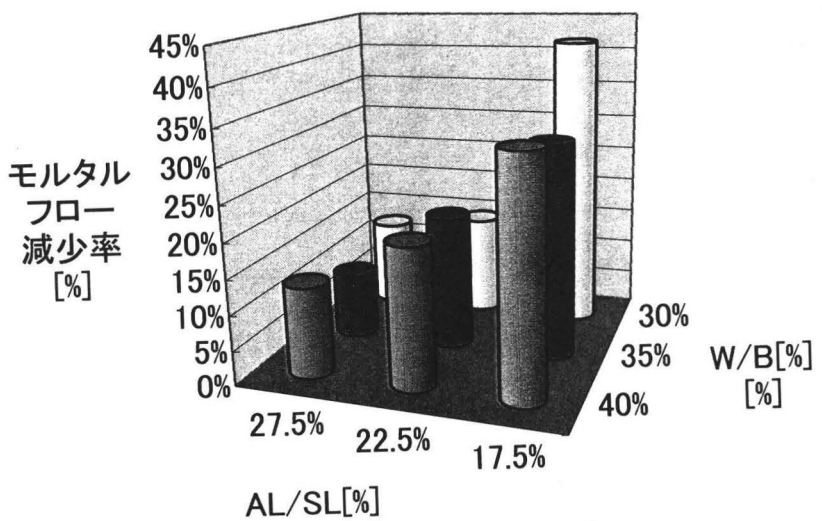


図 7　打設時のモルタルフロー

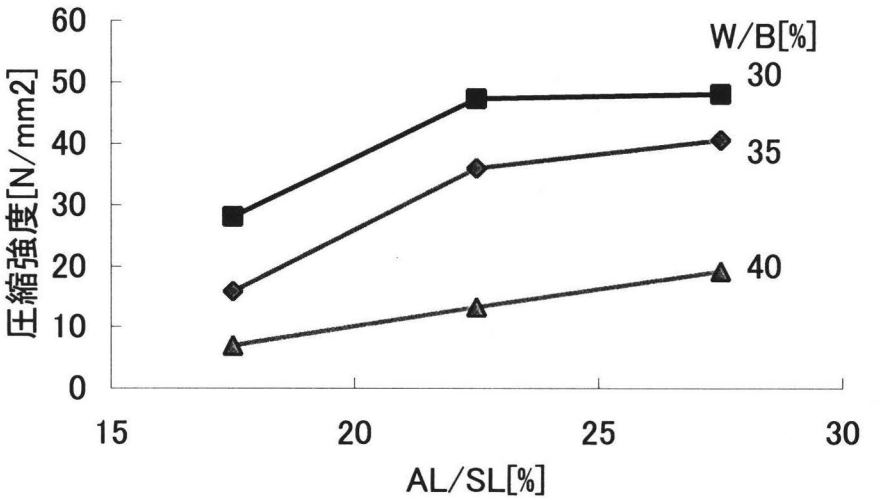


(a) 打設 10 分後のモルタルフロー

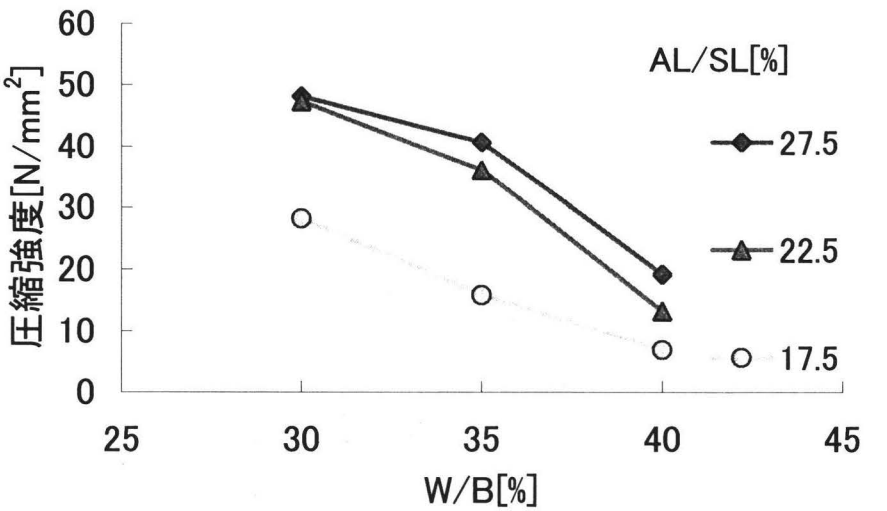


(b) モルタルフロー減少率

図 8　モルタルフロー実験結果



(a)　圧縮強度と AL/SL の関係



(b) 圧縮強度と W/B の関係

図 9　圧縮試験結果

表 8　コンクリートの示方配合

s/a	AL/SL	W/B	単位量[kg/m³]					
[%]	[%]	[%]	W	SL	AL	S	G	Ad
45.0%	22.5%	35.0%	142	331	74	769	949	0.004%

表 9　フレッシュ性状試験結果

		スランプフロー	Air
打設時	50cm 到達時間	2.7S	5.2
	流動停止時間	28.7S	
	直径	605	
15 分経過	50cm 到達時間	2.8S	
	流動停止時間	38.2S	
	直径	560	

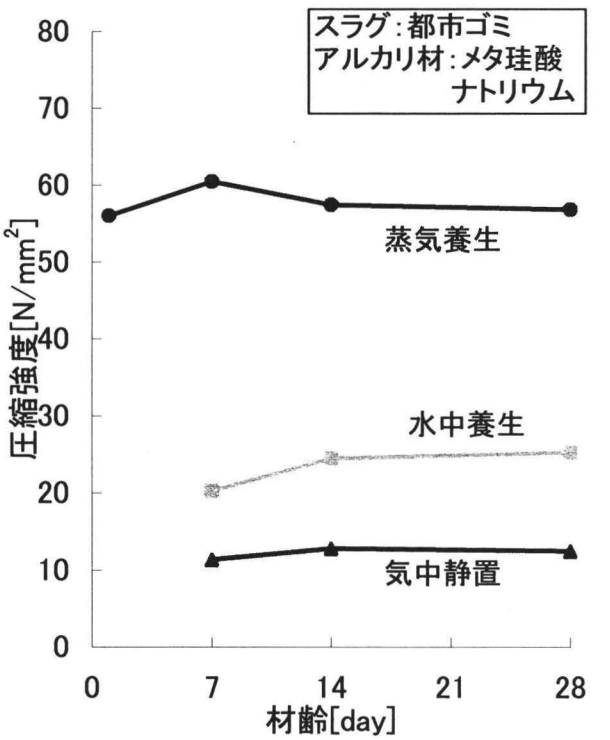


図 10　養生条件の違いによる圧縮強度と材齢の関係



写真 3　試験体

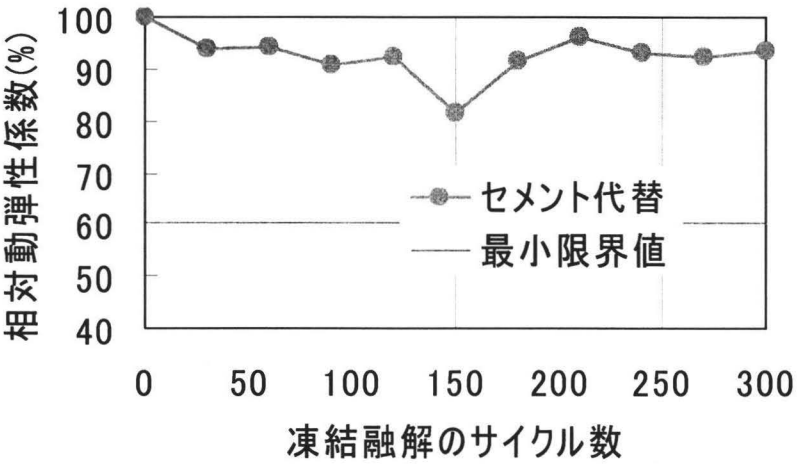


図 11　相対動弾性係数と凍結融解サイクル数の関係

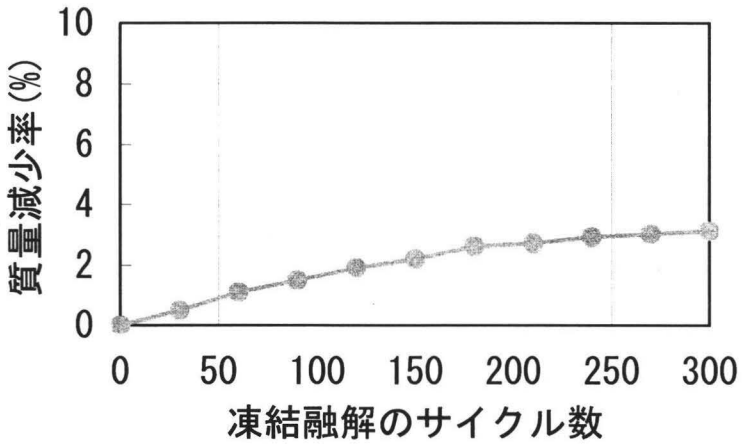


図 12　質量減少率と凍結融解サイクル数の関係

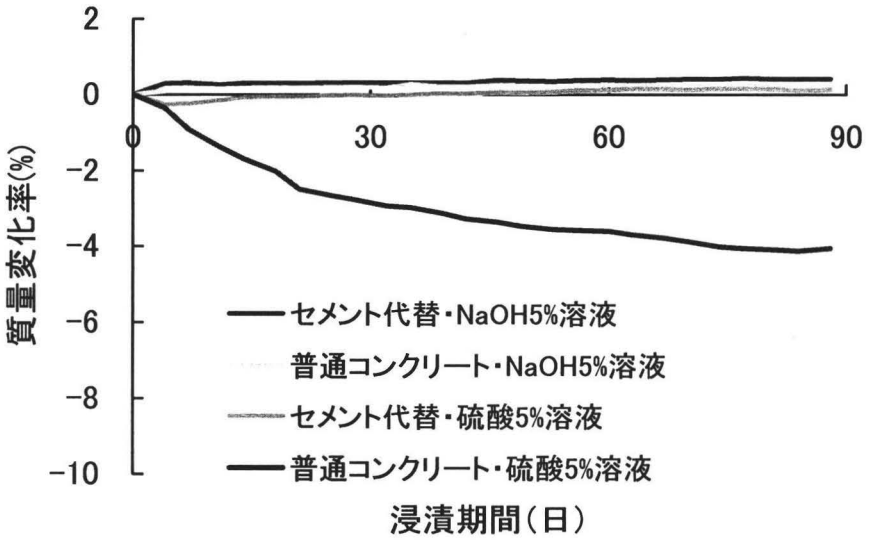


図 13　化学抵抗性試験結果

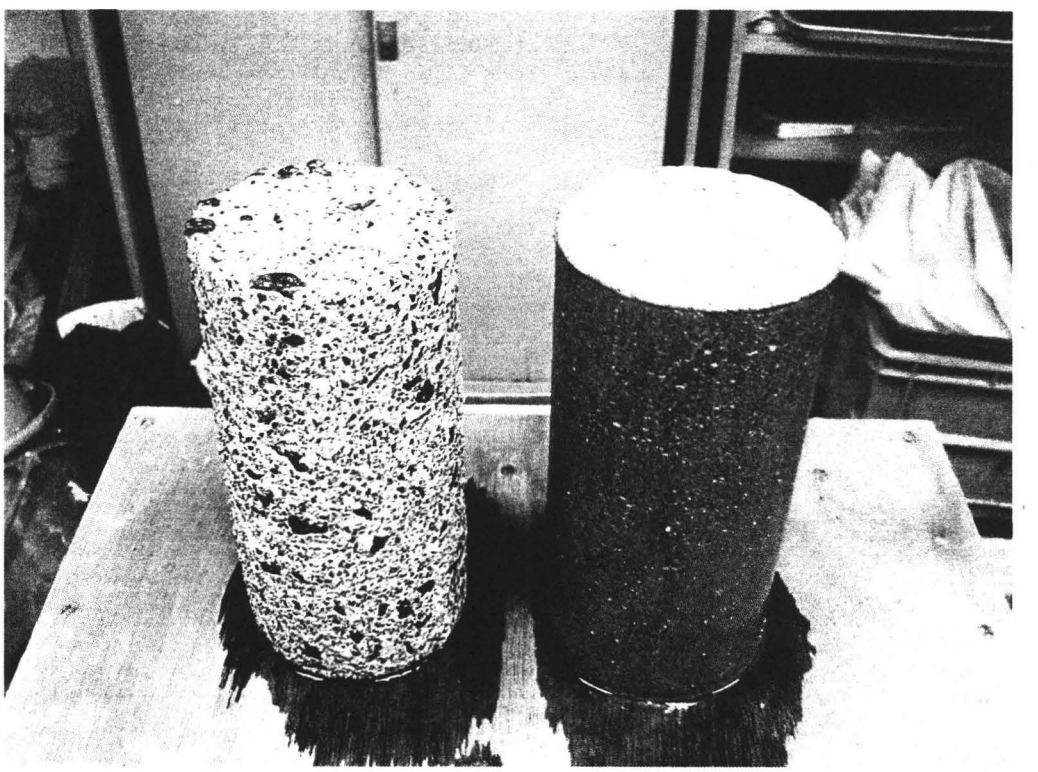


写真 4　化学抵抗性試験（普通・セメント代替）

表 10　溶出試験結果

試料の種類		検査結果				
検査の対象		環告 46 号	セメント代替コンクリート	都市ごみ溶融スラグ	都市ごみ溶融スラグ微粉末	混和材コンクリート
カドミウム	(mg/L)	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
六価クロム	(mg/L)	0.05 以下	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
ヒ素	(mg/L)	0.01 以下	0.14	<0.005	<0.005	<0.005
総水銀	(mg/L)	0.0005 以下	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	(mg/L)	0.01 以下	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
鉛	(mg/L)	0.01 以下	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005

検査方法	
カドミウム	JIS K 0102.55.3 に該当する ICP 発光分光分析法
六価クロム	JIS K 0102.65.2.1 に該当するジフェニルカルバジド吸光光度法
ヒ素	JIS K 0102.61.3 に該当する水素化物発生 ICP 発光分析法
総水銀	昭和 46　環告第 59 号付表 1 に該当する原子吸光法
セレン	JIS K 0102.67.3 に該当する水素化物発生 ICP 発光分析法
鉛	JIS K 0102.54.3 に該当する ICP 発光分析法

表 11　示方配合

s/a	AL/SL	W/B	単位量[kg/m³]					
[%]	[%]	[%]	W	SL	AL	S	G	Ad
50.0%	22.5%	35.0%	142	331	74	856	862	0.004%

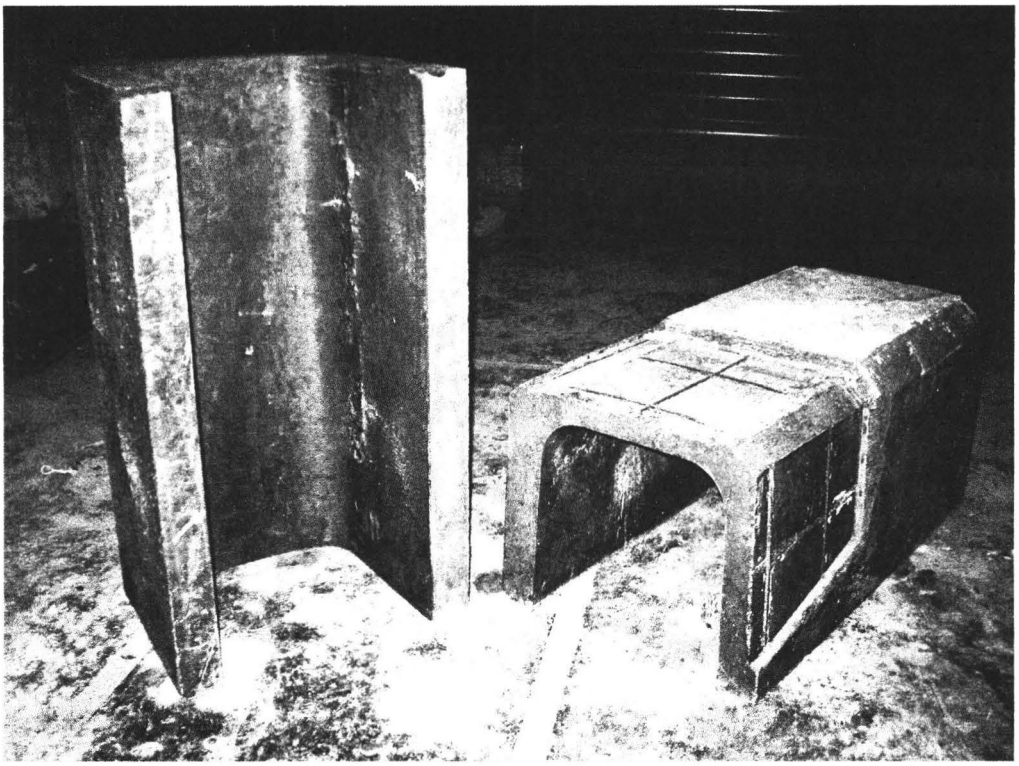


写真 5(a)　試作品（U 字溝）

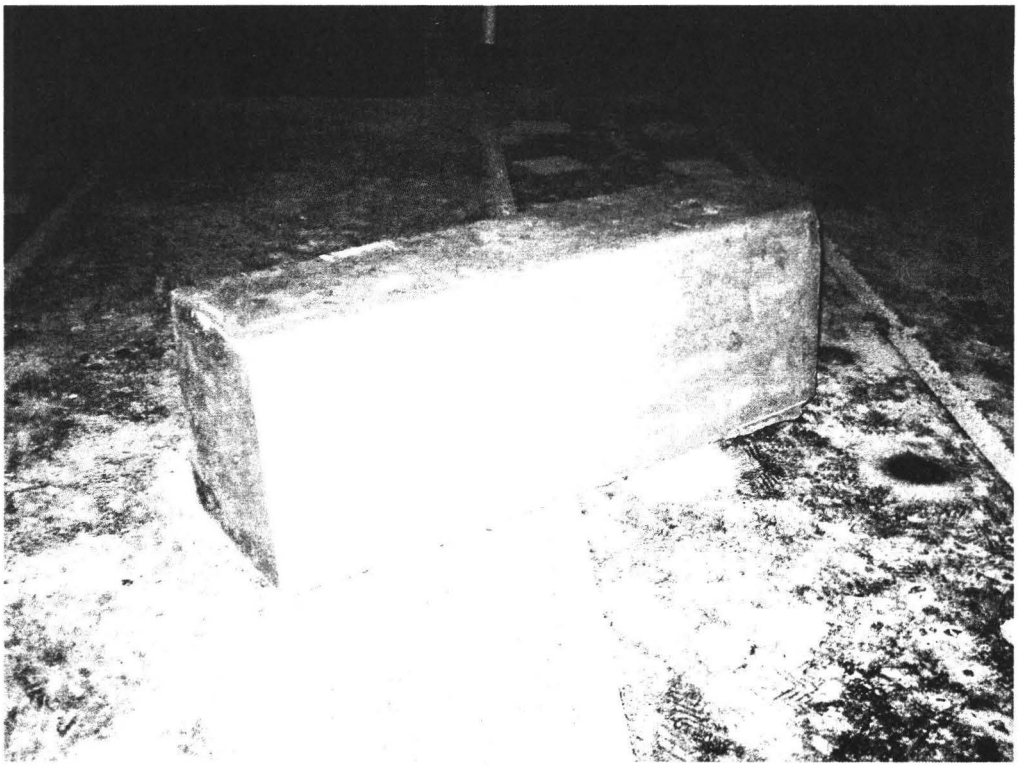


写真 5(b)　試作品（車歩道ブロック）

1-20 在来軸組構法の継手・仕口のエネルギー吸収性能に関する基礎的研究

岐阜県立森林文化アカデミー
講師　小原勝彦

1．本研究の背景と目的

1995 年兵庫県南部地震で甚大な被害を受けた在来軸組構法の住宅について、その地震以降急速に構造に関する実験的研究、解析的研究や構造設計法の提案などがなされてきた。申請者も実大２階建木質構造住宅の振動実験[1)]などを共同研究してきた。そして、大地震時におけるの建物全体の振動性状、エネルギー吸収性能などの大要を明らかにした。また、在来軸組構法のエネルギー吸収性能は接合部がその大半を担っているという事実は、すでに分かっていたことであり、面材耐力壁での面材を留めている釘接合や、軸組材同士・軸組材と金物などを緊結するボルト接合などの研究は数多くなされてきた。このような、接合金物を用いた接合方法については、定量的評価をした設計法も確立している。しかし、いわゆる伝統的な接合方法、例えば、鎌継ぎ、蟻継ぎ、追掛大栓継ぎや、短ほぞ込栓仕口などに関する定量的な評価は、体系的に研究されてはいない。このような、伝統的継手や仕口についてエネルギー吸収性能まで考慮に入れた研究を行い、設計法を確立していくことは、非常に重要なことである。

本研究では、先ず、代表的な継手・仕口について強度性状を調べる。これは、曲げ試験、せん断試験、引張試験などの標準的な強度試験を行い、降伏強度や最大強度などを調べる。動的加力を行い、大地震時の挙動を確認する。これらの実験では、樹種や各継手・仕口の寸法などをパラメータとし、実験的評価を行う。実験データから、エネルギー吸収性能についても分析を行う。次に、汎用構造解析ソフトを用いて、各接合部の構造解析を行う。ここで、実験結果と構造モデル解析との整合性を確認して、継手・仕口の理想的な接合寸法について、客観的に評価する。最終的に、各継手・各仕口の最適な寸法を提案し、接合部の設計法に提案する。

現在の設計法では接合金物多用していかなければ、住宅がなかなか設計できない様になってしまっている。これは、軸組在来構法では継手、仕口の定量的な評価が体系的になされていないからである。本研究の成果は、日本建築学会や日本木材学会などで公表していくだけにとどまらず、構造設計法への提案までを視野に入れている。現在の構造設計法への基礎的資料として参考するために、充分な成果を上げることが出来ると確信している。また、申請者がこれまで研究してきた実大建物の振動性状について未確定要素であった継手・仕口の定量的な評価が得られるので、再度、実大建物に対して本研究で得られたデータを利用することができる。このことは他の研究者にはできないことであり、本研究成果をさらに活用することができる。

木質軸組構法の伝統的継手・仕口について体系的に実験的研究を行い、①定量的評価を

行うこと、②エネルギー吸収性能の分析を行うこと、③構造設計法での構造計算として適用できる設計式を提案することが、本研究の目的である。

2．研究の方法

本研究は実験的研究を中心にして、基礎的データの蓄積に重点を置く研究である。平行して、解析的研究及び構造計算へ適用できる設計式の提案を行う。

2．1　実験的研究

静的加力による代表的な継手・仕口（例えば、鎌継ぎ、蟻継ぎ、追掛大栓継ぎや、短ほぞ込栓仕口）について強度性状を調べる。樹種、各継手・仕口寸法などをパラメータとして、曲げ試験、せん断試験、引張試験などの標準的な強度試験を行う。静的加力時の許容耐力、降伏耐力や最大耐力などを調べる。また、履歴曲線からエネルギー吸収性能を分析する。

実験のパラメータは下記に示したものとする。

接合部　：①継手　②仕口
加力方法：①静的加力
強度試験：①曲げ試験　②せん断試験　③引張試験
樹種及び寸法をパラメータとして行う。
許容耐力、降伏耐力や最大耐力を求める。
履歴曲線からエネルギー吸収性能を分析する。

3．研究計画と進捗状況

3．1　研究計画

本研究の申請当初の研究計画は以下のようにした。
平成 15 年 1 月～ 11 月　実験、まとめ

3．2　進捗状況

進捗状況は、上記に掲げた当初の研究計画を全て終了している。

4．今までに得られた成果

4．1　継手に関するアンケート調査

（1）調査目的

木造在来軸組構法は、木材の価格、取り扱い易さ等の関係から、接合部には“継手”と呼

ばれる技術が用いられている。この在来軸組構法の継手をみると、一般的な形状は理解、認識されているが、細かい寸法については、各々の大工の経験と勘に委ねられている。そこで今回実験を行うにあたり、岐阜地方での特色と実際の現状を把握することが必要であると考え、継手に関するアンケート調査を実施した。

（2）調査概要

調査対象者、調査方法、回収率を下記に示す。

アンケート調査対象者：岐阜県産直住宅建築協会（29団体)、美濃市大工（10軒)、関市大工（5軒)、岐阜市大工（5軒）

アンケート調査表の配布と回収：岐阜県産直住宅建築協会に対しては FAX にて配布・回収し、大工に対しては郵送にて配布・回収を行った。

アンケート調査表の回収率：配布枚数（49)、回収枚数（14)、有効回答率（11)、回収率（28.6%)

（2）調査結果

アンケート調査の回答元は、図１に示した位置に拠点のある産直住宅協会（A ～ E 社)、大工（イ～ヘ氏）である。調査の結果、岐阜県内の木材関連業者には継手寸法に関する地方的なまとまりの様なものはなかった。各々が適当と考える寸法を採用しているようであった。このことは、大工の技術の個人に頼る割合が大きいことを示している。また、各部材毎の使用樹種の結果について触れておく。まず、梁材には、松、地松、米松、柱･土台に使用する材には、桧、東濃桧という回答が多く見られた。

標準的な寸法といった傾向は見られなかったが、本実験の供試体寸法はそのアンケート結果を考慮して決定した。

４．２　継手の曲げ実験

（1）実験目的

一般に伝統継手の細部は大工個人の経験に委ねられており、その性状はいまだ明確にはなっていない。本実験では、従来横架材に用いられて来た４種類の継手（腰掛け蟻継ぎ、腰掛け鎌継ぎ、金輪継ぎ、追掛大栓継）の曲げ実験を行い、そのエネルギー吸収性能を明らかにすることを目的としている。

（2）実験概要と実験供試体

腰掛け蟻継ぎ、腰掛け鎌継ぎ、金輪継ぎ、追掛け大栓継ぎの４種類の継手（計 29 体）に曲げ実験を行った。これらの供試体を図２に示す。供試体は各継手ごとに継手形状を変化させた。供試体の材料にはスギ人工乾燥材を使用した。

加力方法を図３に示す。変位は継手中央、両加力点下の材側面で測定した。

（3）エネルギー吸収性能

図４により定義される、等価粘性減衰定数（Heq)を図５に、等価剛性を図６に、履歴

エネルギーを図７に示す。Heq では、蟻継ぎは初期のサイクルから 17 %に近い値をとり、そのまま横這いの値を示すが、その他の継手は変位と共に右肩上がりの値を示した。鎌継ぎと金輪継ぎは 10 %付近に留まり、その後上昇する傾向が見られた。また等価剛性では初期の値で、鎌は蟻継ぎの 2.5 倍の値、追掛は鎌継ぎの 4.6 倍の値、追掛-金輪で 1.5 倍であった。継手形状の寸法差で履歴エネルギーを見ると、蟻継ぎでは、ａ種-ｂ種間で（ａ，ｂ：腰掛背 60 ㎜,80 ㎜）、変位 100 ㎜の時 1.5 倍の値、追掛継ぎのａ-ｂ-ｃ各種間（ａ，ｂ，ｃ：継手全長 360,420,480 ㎜）では、大きな違いが見られなかった。

（４）まとめ

各継手の実験結果を表１に示す。継手のない材との比較である接合効率を見ると、ＭＯＥ（曲げヤング係数）で、蟻継ぎは 5 %、鎌継ぎ 10 %、追掛-金輪継ぎだと 50 %弱、の剛性であることが示された。

最大荷重で見ると、蟻-鎌-金輪-追掛の順で強度が出ていた。各継手間で比べてみると、金輪-追掛は大体同じ強度が出ており、蟻継ぎはその 1/10 倍、鎌継ぎは約 1/8 倍の強度であった。

しかし、エネルギー吸収性能で見ると、蟻-鎌も金輪-追掛も Heq では最終的に 20 ～ 25 %に収まることが示された。また蟻継ぎは、他の継手と比べ初期の値から 17 %近くに現れており、蟻継ぎの特徴と言えた。一方で、等価剛性や履歴エネルギーでは、他の継手よりも小さい値しか示さなかった。

継手の寸法差で見ると、蟻の腰掛の高さによる違いは若干見られたが、追掛の継手長さによる違いは明確には現れなかった。追掛・金輪は、材背も大きく、等価剛性、履歴エネルギーと、蟻・鎌の数倍の値をとり、消費エネルギーの大きいことを示していた。

４．３　仕口の引張実験とせん断実験

（１）実験目的

伝統構法による仕口のせん断試験および引張試験を行い、構造性能を把握することが本試験の目的である。本試験では、せん断試験供試体 4 体、引張試験 T 型供試体 6 体、引張試験＋型供試体 3 体について破壊性状の特徴を把握し比較することを目的としている。

（２）実験概要と実験供試体

試験の方法は、（財）日本住宅・木材技術センターが定める「木造軸組工法住宅の許容応力度設計」中の「２章　木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法」に準拠する。

１）仕口せん断実験

スパン 2730mm の実物大の小梁（240）が大梁（270）に掛かっていることを想定して４点（２点支持、２点加力）負荷の加力実験を行った（写真１）。

いずれの試験体も大梁の仕口部のめり込み破壊および割裂破壊、小梁の蟻下部のめり込みが主要な破壊モードであった。最初に大きな耐力低下を生じる変位は実験供試体 A1 で

6mm 程度、実験供試体 A3 で 17mm 程度であった。これは、掛かり寸法 30mm と 60mm の相違が変形に現れていると考えられる。

２）T型仕口引張実験

横架材と柱からなるＴ型の試験体を柱軸方向に引張実験を行った。（写真２）

込み栓系の実験供試体（B1、B2）は、込み栓によるホゾ木口のせん断破壊、込み栓の曲げ変形などが主要な破壊モードであった。

15mm 角の込み栓の実験供試体（B1）に比較して、18mm 角の込み栓の実験供試体（B2）の低減を考慮した短期許容耐力は 1.2 倍程度の値である。これは、込み栓のせん断や曲げが絡むような（ホゾのせん断破壊も含む）破壊モードであるために、込み栓の辺の比率 18 ／ 15 ＝ 1.2 がほぼそのまま短期許容耐力（低減考慮）の比率となったと考えられる。

３）＋型仕口引張実験

通し柱の両側に胴差しがあるような＋型の試験体を胴差し軸方向で引張試験を行った。（写真３）

実験供試体 D1 では、車知栓のせん断破壊、竿の抜けなどが主な破壊モードであった。実験供試体 D1 の短期許容耐力（低減考慮）は、Z マーク金物の羽子板ボルト（短期許容耐力スギ類 5.00kN）同等以上であることが確認できた。

（３）実験結果

実験結果を表２、表３に示す。

本来実験はスギ材で実施されるべきであるので、他のデータとの比較のためスギ材とヒノキ材の圧縮許容応力度の比率（同様であるが、せん断許容応力度の比率）である６／７を用いて、ヒノキ材の利用されている実験供試体の強度に一律係数をかけて低減している。

実験供試体 C1（T 型金物）及び C2（V 型金物）の実験生データと、日本住宅・木材技術センター発行の「木造住宅耐震設計のポイント」pp.96Z マーク表示金物許容耐力表のスギ類での値（CP･T：3.40kN、VP：3.92）の比率として、ばらつき係数の 0.53 を求めた。本来金物仕口の構造強度のばらつきと伝統的仕口の構造強度のばらつきは同値ではないが、本表では同じと仮定し、処理をした。

（４）まとめ

１）破壊概要について

①仕口のせん断試験の破壊概要

いずれの試験体も大梁の仕口部のめり込み破壊および割裂破壊、小梁の蟻下部のめり込みが主要な破壊モードであった。仕口鉛直変位が約 5mm 時の耐力は、実験供試体Ａ１で 22kN 程度、実験供試体Ａ２で 21kN 程度、実験供試体Ａ３で 24kN 程度、実験供試体Ａ４で 25kN 程度でありそれほど相違はない。しかし、最初に大きな耐力低下を生じる変位は実験供試体Ａ１で 6mm 程度、実験供試体Ａ２で 8mm 程度、実験供試体Ａ３で 17mm 程度、実験供試体Ａ４で 40mm 程度である。実験供試体Ａ１及びＡ２は掛かり寸法が 30mm であり、実験供試体Ａ３及びＡ４は掛かり寸法が 60mm であるので、その違いが大きく現れて

いると考えられる。また、実験供試体Ａ１及びＡ３は高温人工乾燥材であり、実験供試体Ａ２及びＡ４は自然乾燥材であり、2mm 程度、若しくは 23mm 程度の変位ののびが測定されている。しかし、材のばらつきによることも考えられる範囲であり、乾燥方法の違いによるものとは断言できないと考える。

②Ｔ型仕口の引張実験の破壊概要

込み栓系の実験供試体（B シリーズ）は、込み栓によるホゾ木口のせん断破壊、込み栓の曲げ破壊、土台の曲げ破壊などが主要な破壊モードであった。

金物系の実験供試体（Ｃシリーズ）は、金物の変形及び破壊、釘頭のせん断破壊若しくは釘のパンチングアウトなどが主要な破壊モードであった。

③＋型仕口の引張実験の破壊概要

いずれの＋型仕口供試体の引張実験でも、加力軸と抵抗軸の偏心による破壊モードが確認できた。

実験供試体Ｄ１では、車知栓のせん断破壊、竿の抜けなどが主な破壊モードであった。

実験供試体Ｄ２では、込み栓による小根ホゾ木口のせん断破壊、込み栓の曲げ変形などが主な破壊モードであった。

実験供試体Ｄ３では、引きボルト部の梁材木口のせん断破壊、引きボルトの曲げ変形などが小野な破壊モードであった。

２）短期許容耐力について

①仕口のせん断試験の短期許容耐力

実験供試体Ａ１（掛かり寸法 30mm）とＡ３（掛かり寸法 60mm）で低減を考慮した短期許容耐力を比較すると、それほど相違はない。

実験供試体Ａ３（高温人工乾燥）に対して、Ａ４（自然乾燥）の低減を考慮した短期許容耐力は 1.5 倍程度の値となっている。

②Ｔ型仕口の引張実験の短期許容耐力

込み栓系の実験供試体（B シリーズ）の 15mm 角の込み栓の実験供試体（Ｂ１、Ｂ３）に比較して、18mm 角の込み栓の実験供試体（Ｂ２、Ｂ４）の低減を考慮した短期許容耐力は 1.2 倍程度の値となっている。込み栓のせん断や曲げが絡むような（ホゾのせん断破壊も含む）破壊モードであるために、込み栓の辺の比率 18 ／ 15 ＝ 1.2 がほぼそのまま短期許容耐力（低減考慮）の比率となったと考えられる。

また、15mm 角の込み栓の短期許容耐力（低減考慮）は CP･T 金物同等程度、18mm 角の込み栓の短期許容耐力（低減考慮）は VP 金物を超える程度であることが確認できた。

③＋型仕口の引張実験の短期許容耐力

実験供試体Ｄ１及び D2 の短期許容耐力（低減考慮）は、Z マーク金物の羽子板ボルト（短期許容耐力スギ類 5.00kN）同等以上であることが確認できた。

実験供試体Ｄ３の短期許容耐力（低減考慮）は、Z マーク金物の 10kN 用引き寄せ金物

（短期許容耐力スギ類 10.00kN）同等程度であることが確認できた。

５．これから期待される成果

本研究の基礎的実験データは今後精査を行い、設計法を確立するためのデータとして利用できる。在来軸組構法の継手や仕口の強度性状やエネルギー吸収性能を定量的に評価するための貴重なデータとなることが期待できる。

本研究では明確な設計式を提案することができなかったが、設計式を提案するための基礎的データとして利用していくことが期待できる。

６．残る問題点と対策

本研究では基礎的実験データを取得することを主目的として実施したので、まだ不足している実験が数多くある。それらの実験を実施していくことが最重要課題である。

７．研究発表の実績及び予定

７．１　研究発表の実績

研究発表は 2004 年 8 月に第 13 回世界地震工学会（13thWCEE, 13th World Conference on Earthquake Engineering）にて、*"A STUDY ON EXPERIMENTAL TESTING OF JOINTS ON TIMBER STRUCTURES"* という論文題目[2)]で、ポスターセッションで発表した。

７．２　研究発表の予定

今後この研究内容は日本建築学会や日本木材学会などで公表していく予定である。

８．実用化計画

本研究内容を実用化するには、もう少し時間がかかると思われる。それは、本研究の基礎的実験データは今後精査を行う必要があり、本研究では基礎的実験データを取得することを主目的として実施したのでまだ不足している実験が数多くあるからである。

参考文献

１）小原、宮澤：「実大振動実験における履歴特性に関する研究」、日本建築学会構造工学論文集 Vol.47B、2001.3

２）Katsuhiko KOHARA, Ryo AOKI and Hitoshi TAMURA; *"A STUDY ON EXPERIMENTAL TESTING OF JOINTS ON TIMBER STRUCTURES"*, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2441, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004

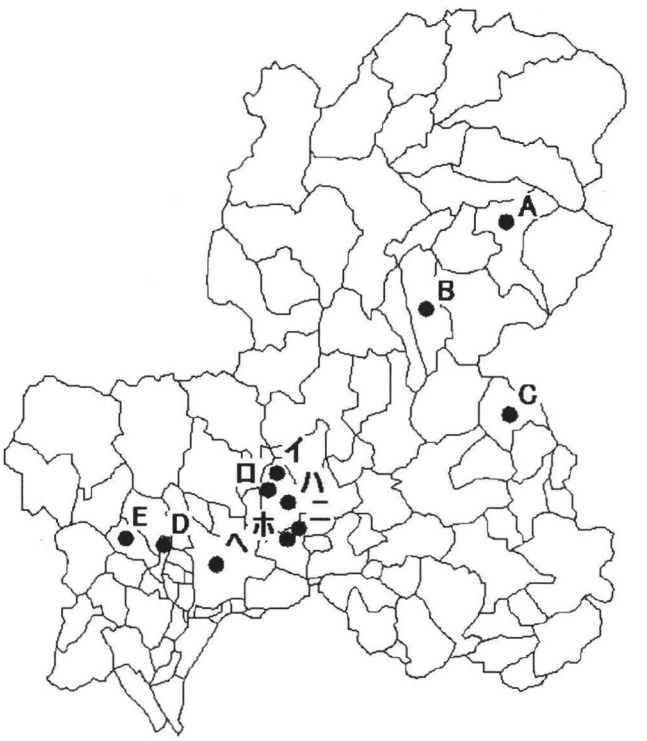


図１　アンケート回収元位置図（岐阜県）

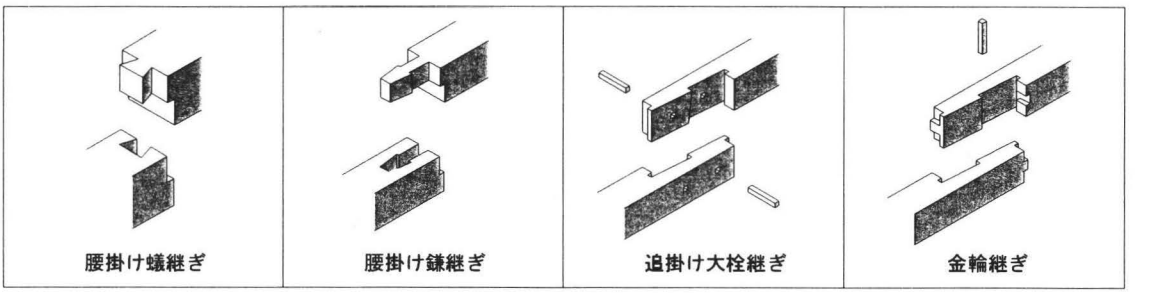


図２　実験供試体種類

4点荷重曲げ実験	
制　御：手　動	
繰返し加力	
測定	ロードセル
	変位計
	ひずみゲージ

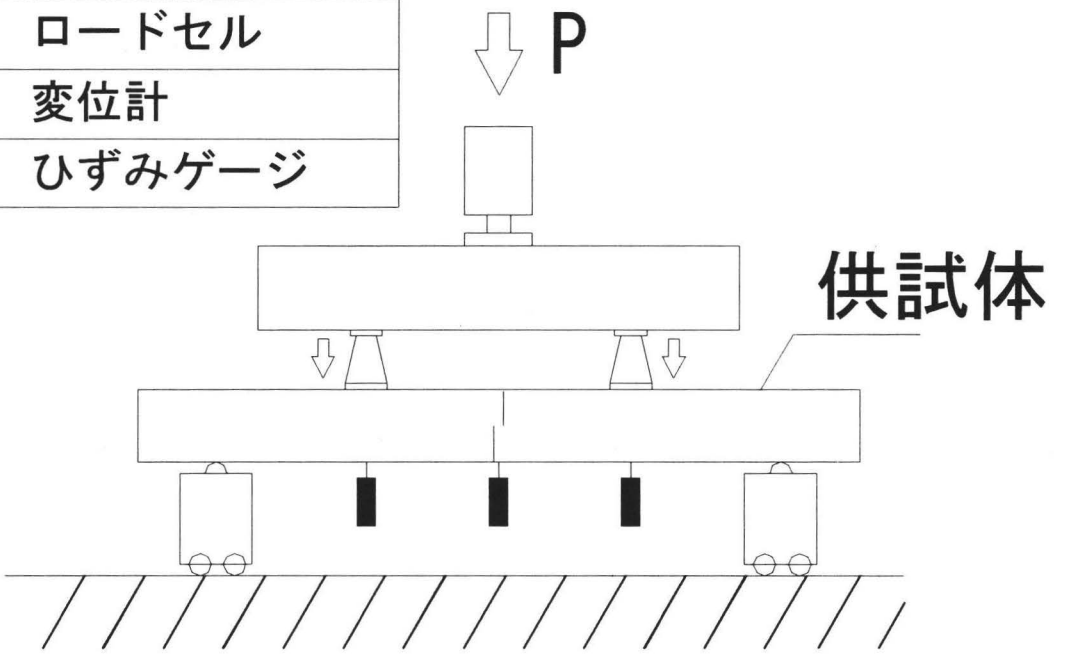


図３　加力方法

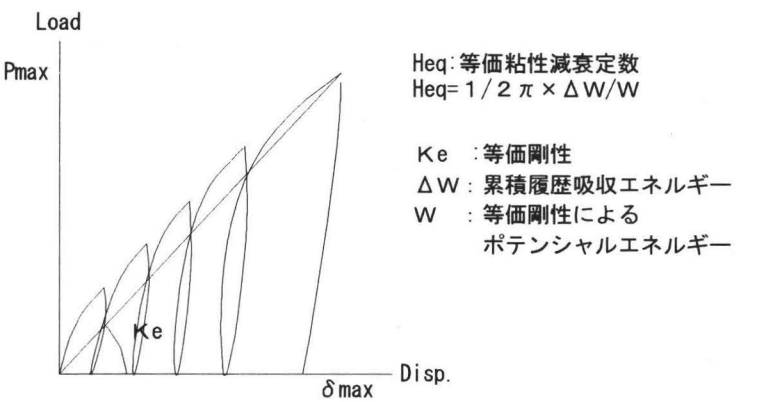


図４　履歴特性の定義

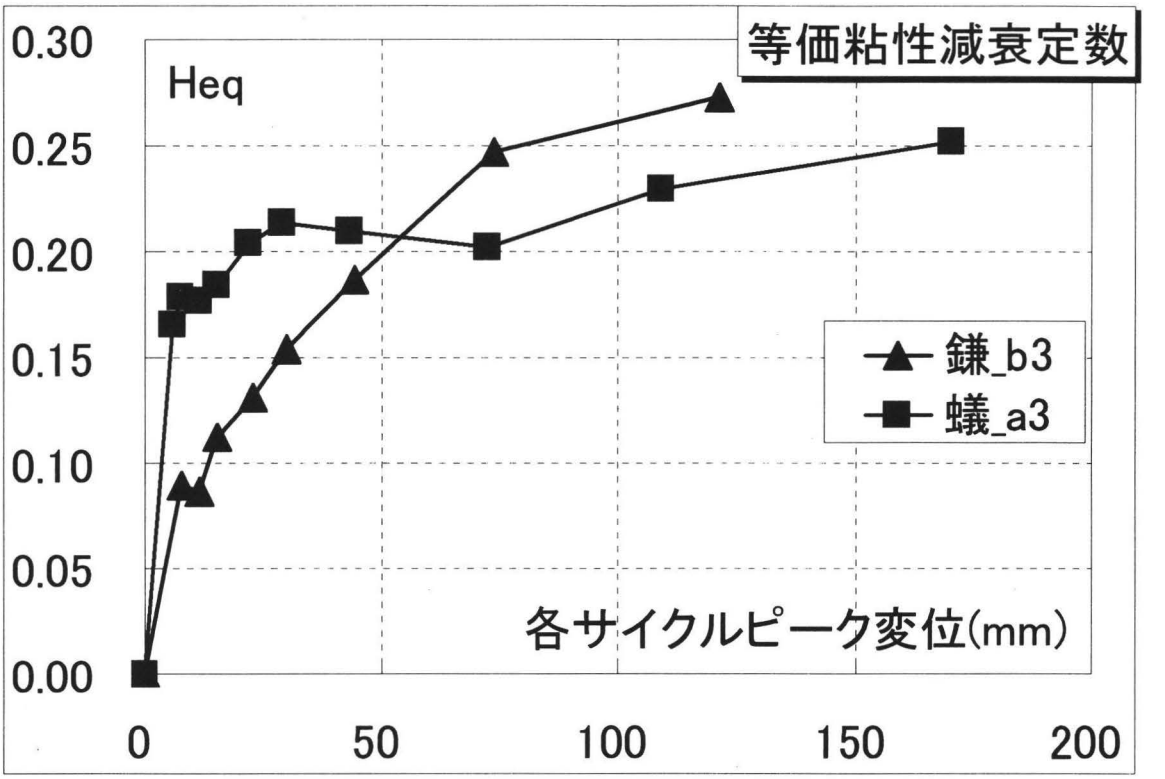


図５（１）　等価粘性減衰定数（蟻、鎌）

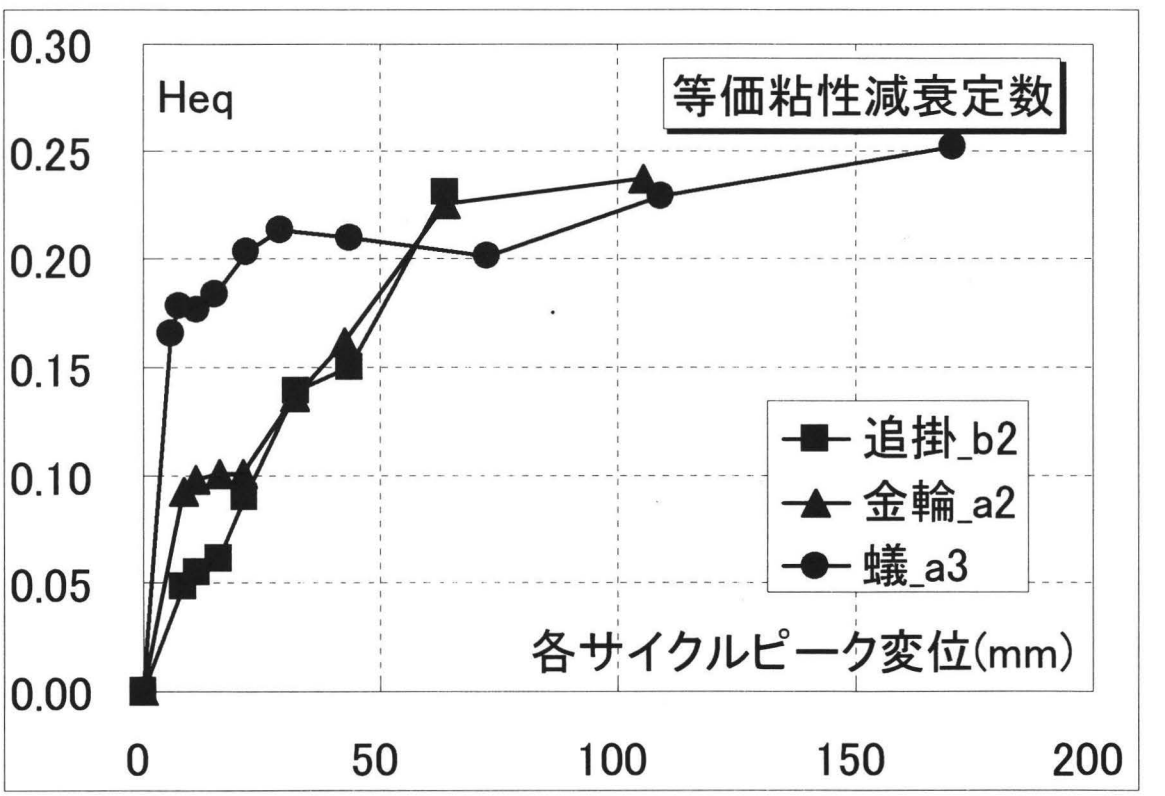


図５（２）　等価粘性減衰定数（追掛、金輪）

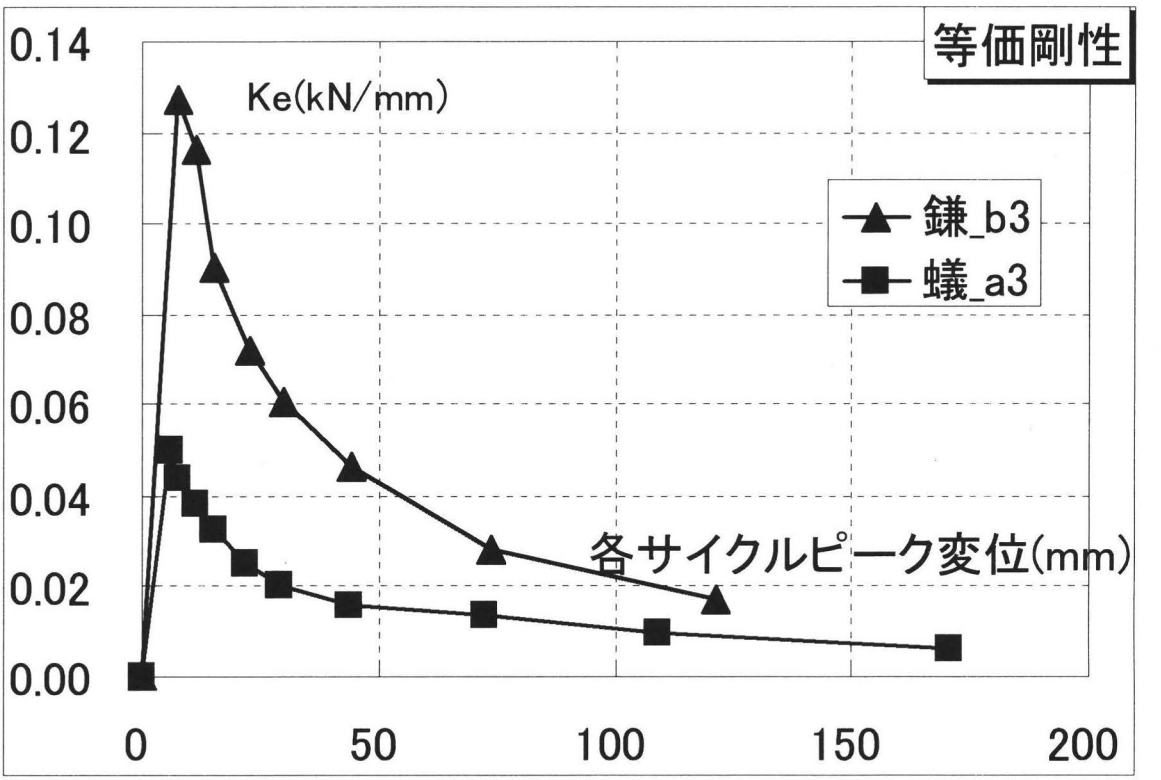


図６（１）　等価剛性（蟻、鎌）

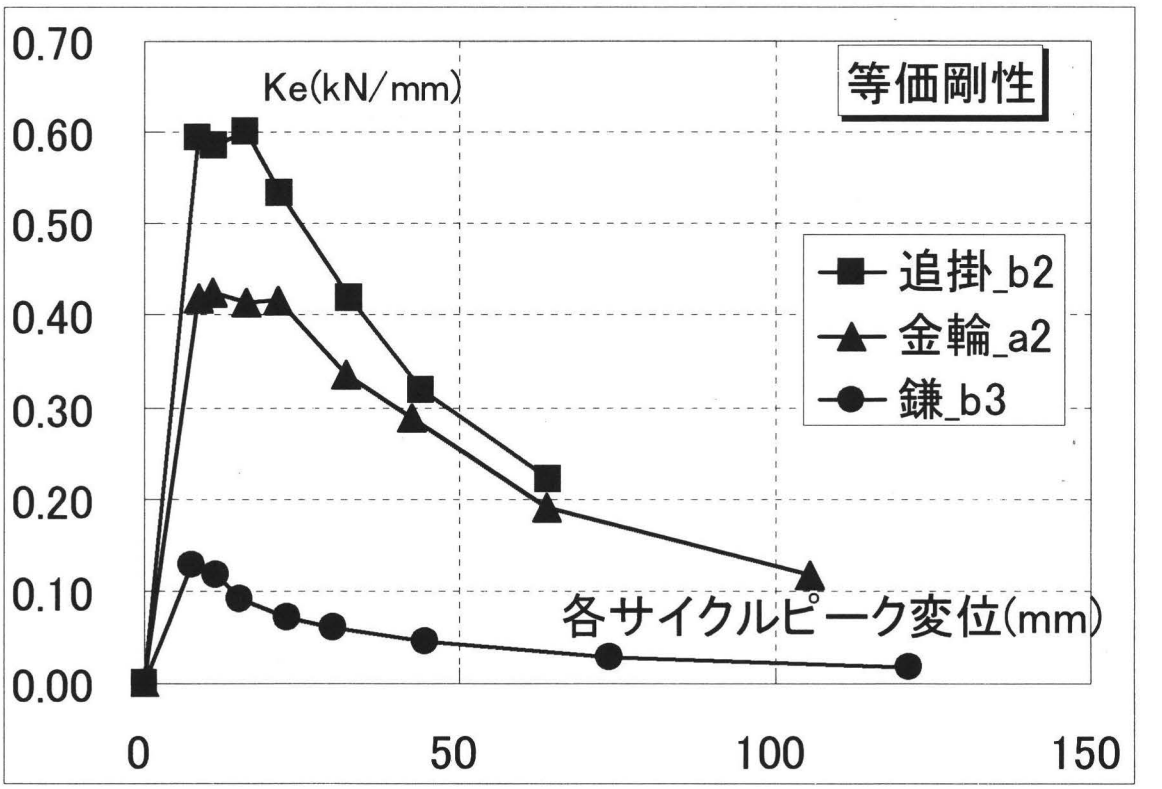


図６（２）　等価剛性（追掛、金輪）

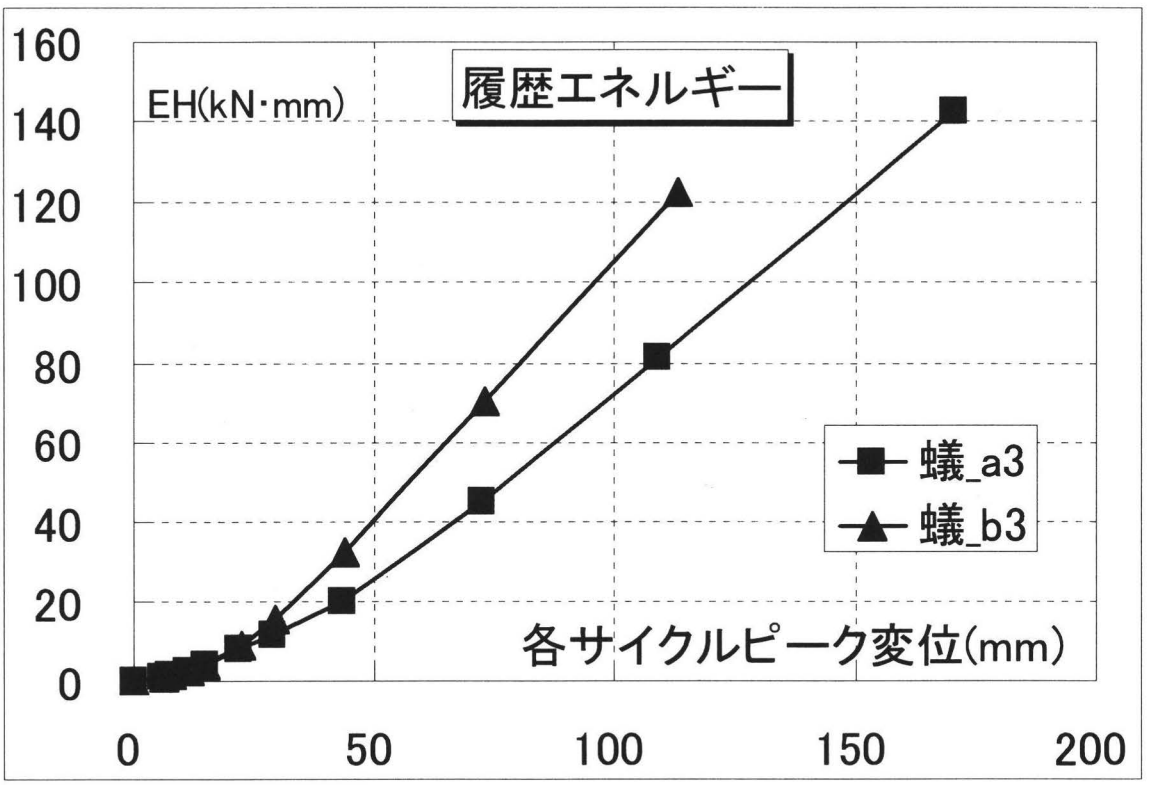


図７（１）　履歴エネルギー（蟻、鎌）

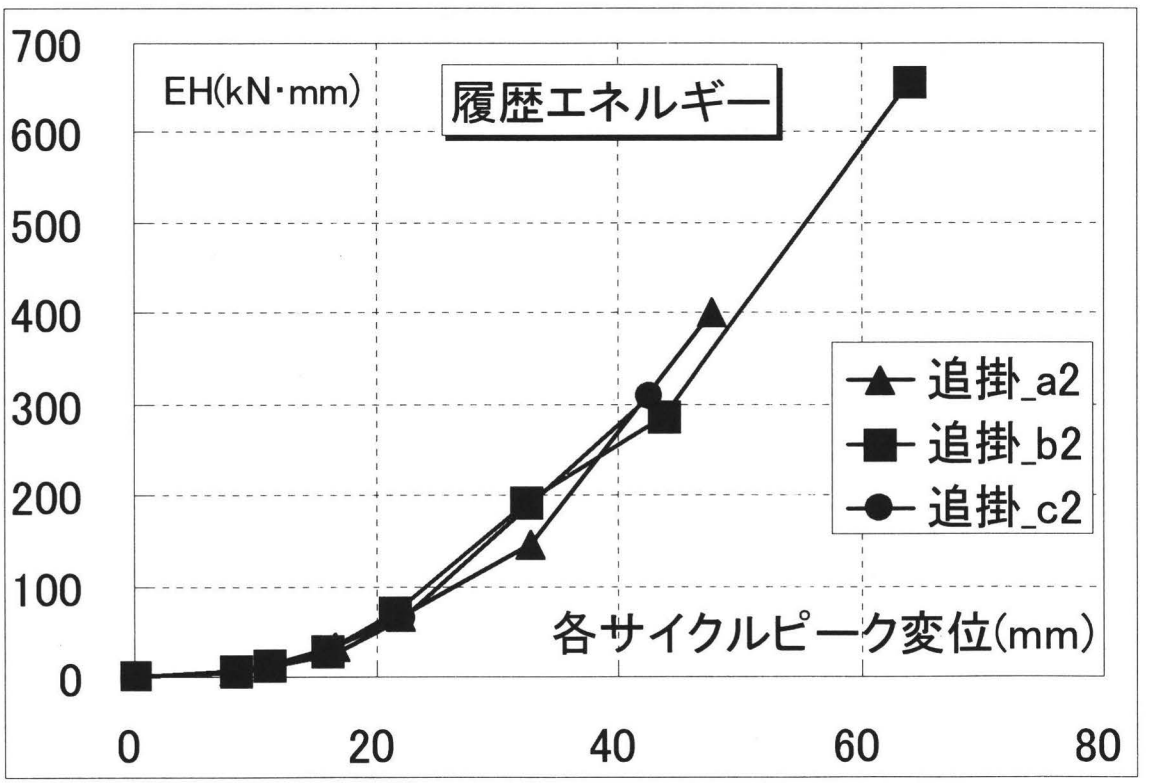


図７（２）　履歴エネルギー（追掛、金輪）

表１　実験結果一覧

	最大荷重〔kN〕	許容耐力〔kN〕	MOE〔kN/mm^2〕	MOR〔N/mm^2〕	接合効率 MOE〔%〕	接合効率 MOR〔%〕
腰蟻	1.36	0.60	0.37	1.59		
腰鎌	1.83	0.74	0.79	2.35		
金輪	13.49	6.36	3.42	8.39		
追掛	14.43	7.61	3.61	8.97		
					0 50 100	0 50 100

表２　実験結果一覧（１）

		架台設置支点間距離		Pmax kN	δ Pmax mm	Py kN	δ y mm	2/3·Pmax kN	短期許容耐力 実験値	N値・参考N値 実験値	樹主低減 スギ/ヒノキ 6/7	ばらつき係数 一律0.53	短期許容耐力 低減考慮	N値・参考N値 低減考慮
A1	小梁：スギ120×240 大梁：スギ120×270 掛かり寸法：30 高温人工乾燥	2730	01	31.68	13.9	15.97	1.56	21.120	15.970	2.985	1.000	0.530	8.464	1.582
		2730	02	31.68	13.9	19	4.75	21.120	19.000	3.551	1.000	0.530	10.070	1.882
A2	小梁：スギ120×240 大梁：スギ120×270 掛かり寸法：30 自然乾燥	2730	01	27.31	8.13	13.81	1.08	18.207	13.810	2.581	1.000	0.530	7.319	1.368
		2730	02	27.31	8.13	9.43	2.24	18.207	9.430	1.762	1.000	0.530	4.998	0.934
A3	小梁：スギ120×240 大梁：スギ120×270 掛かり寸法：60 高温人工乾燥	2730	01	38.8	17.78	18.25	1.53	25.867	18.250	3.411	1.000	0.530	9.673	1.808
		2730	02	38.8	17.78	20.77	4.04	25.867	20.770	3.882	1.000	0.530	11.008	2.057
A4	小梁：スギ120×240 大梁：スギ120×270 掛かり寸法：60 自然乾燥	2730	01	56.65	38.51	28.5	8.25	37.767	28.500	5.326	1.000	0.530	15.105	2.823
		2730	02	56.65	38.51	27.78	6.94	37.767	27.780	5.192	1.000	0.530	14.723	2.752
B1	柱：ヒノキ120×120 横架材：ヒノキ120×120 込み栓：カシ15×15	800	01	16.63	10.14	8.54	1.02	11.087	8.540	1.596	0.857	0.530	3.880	0.725
B2	柱：ヒノキ120×120 横架材：ヒノキ120×120 込み栓：カシ18×18	800	01	18.04	25.35	10.09	0.68	12.027	10.090	1.886	0.857	0.530	4.584	0.857
B3	柱：ヒノキ120×120 横架材：スギ120×120 込み栓：カシ15×15	800	01	24.68	12.36	7.45	1.17	16.453	7.450	1.392	0.857	0.530	3.384	0.633
B4	柱：ヒノキ120×120 横架材：スギ120×120 込み栓：カシ18×18	800	01	14.18	14.8	9.96	0.76	9.453	9.453	1.767	0.857	0.530	4.295	0.803
C1	柱：ヒノキ120×120 横架材：ヒノキ120×120 金物：T型金物	800	01	12.1	14.21	7.05	1.7	8.067	7.050	1.318	0.857	0.530	3.203	0.599
C2	柱：ヒノキ120×120 横架材：ヒノキ120×120 金物：V型金物	800	01	15.79	16.5	8.63	2.77	10.527	8.630	1.613	0.857	0.530	3.920	0.733
D1	柱：ヒノキ150×150 横架材：スギ120×270 仕口：竿車知栓	2730	01	24.23	1.2	9.69	0.15	16.153	9.690	1.811	0.857	0.530	4.402	0.823
		2730	02	24.23	1.2	12.04	3.33	16.153	12.040	2.250	0.857	0.530	5.470	1.022

表３　実験結果一覧（２）

	各破壊モード	含水率							ヤング係数
		1	2	3	4	5	6	平均	t/cm^2
A1	●大梁仕口部のめり込み破壊　割裂破壊 ○鐶下部のめり込み	32.5	20.0	20.0	31.0	---	---	25.88	48.4
A2	●大梁仕口部のめり込み破壊　割裂破壊 ○鐶下部のめり込み	9.5	14.5	11.5	15.5	13.0	15.5	13.25	70
A3	●大梁仕口部のめり込み破壊　割裂破壊 ○鐶下部のめり込み	13.5	21.5	15.0	9.5	---	---	14.88	50
A4	●大梁仕口部のめり込み破壊　割裂破壊 ○鐶下部のめり込み	16.5	19.0	16.5	17.5	22.0	17.0	18.08	90
B1	●込み栓によるほぞ木口のせん断破壊 ○込み栓の曲げ変形	26.0	24.0	16.5	16.5	---	---	20.75	130
B2	●込み栓によるほぞ木口のせん断破壊 ○込み栓の曲げ変形	20.5	25.5	21.0	22.0	---	---	22.25	70
B3	●込み栓の曲げ破壊 ○ホゾの抜け	28.0	26.0	30.0	24.0	---	---	27.00	110
B4	●土台の曲げ破壊 ○込み栓の曲げ変形	23.0	29.5	25.5	25.5	---	---	25.88	90
C1	●CP-T金物の破壊(T型の付け根部分の金物の破断など) ○釘のせん断破壊(柱側1本，土台側2本)	27.0	26.5	25.5	23.5	---	---	25.63	70
C2	●金物からの釘(柱側)のパンチングアウト ○金物の変形(金物のめくれ上がり)	24.5	18.0	25.0	26.5	---	---	23.50	90
D1	●車知栓のせん断破壊 ○竿の抜け	16.5	14.5	17.5	17.5	17.0	18.0	16.83	90



写真１　梁端部のせん断試験

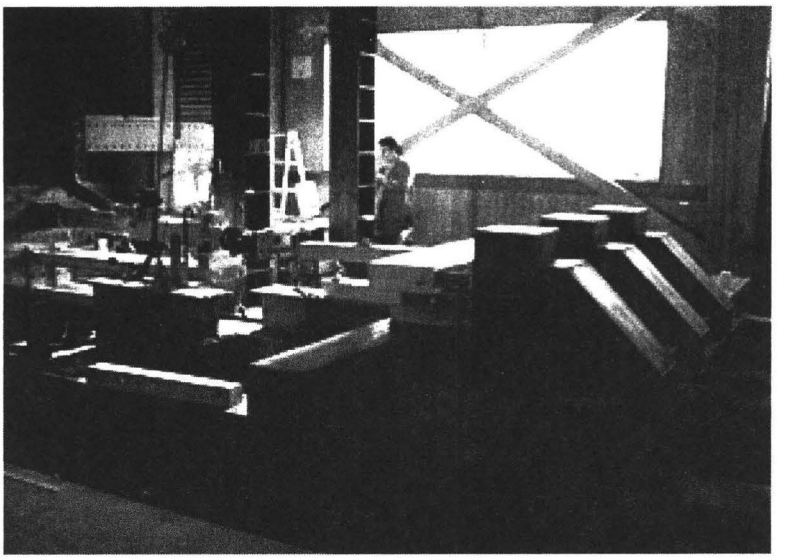


写真２　Ｔ型仕口引張試験

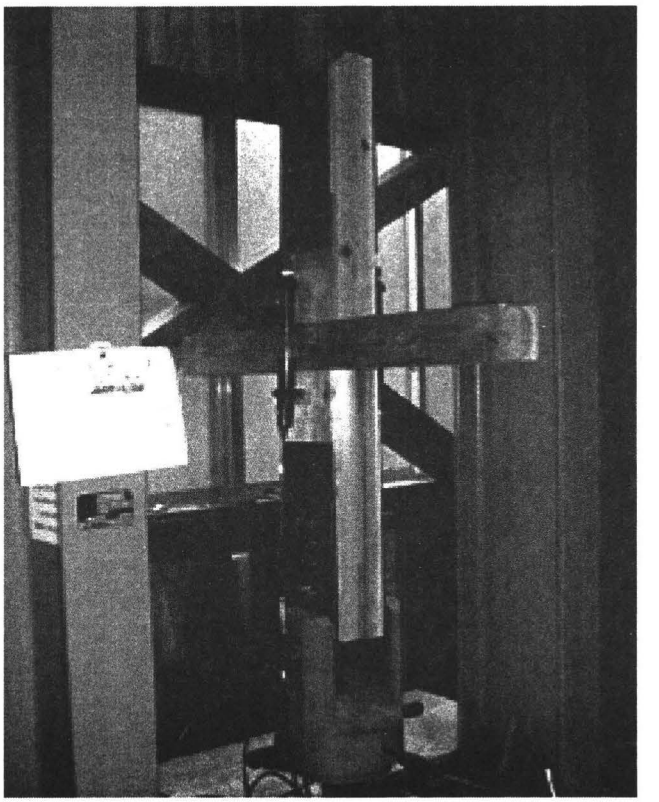


写真３　＋字型仕口引張試験

1-21 家屋解体材の炭化物を原料とした建築内装用ボードの開発

明星大学 理工学部 化学科
助教授 吉澤 秀二

1．本研究の背景と目的

21世紀の産業は再生可能な資源を活用する、資源循環型でなくてはならない。資源循環型の社会を実現するためには、家屋解体材、廃紙材、間伐材、飲料系工場からのビール滓・お茶殻等の、大量に発生するバイオマス廃棄物を新たな資源として活用することが重要になる。現在、家屋解体材と廃紙材は各々年間640万トン、200万トンに上っている。また、350万トンの間伐材が眠っているとも言われている。最近、バイオマス廃棄物を再活用する方法として、「炭化処理」が注目されている。「炭化処理」はバイオマスを、腐朽することなく永久に炭素原料として固定化できるためである。同時に、このように原料化された炭化物を大量に消費する需要が求められている。家屋解体材や樹木を「炭化処理」して得られた炭化物は、床下調湿材として利用されているが、需要量は少なく供給過剰になっている。これら炭化物を大量に活用するために、建築内装用の炭化物ボードの開発研究を行なっている。炭化物ボードは、天然繊維を接着剤としてバイオマスの炭化物微紛体を結合した成形体である。天然繊維のセルロース繊維としては廃棄物である牛乳パックを選び、コラーゲン繊維としては皮革屑を原料とている。廃棄物を原料とすることで、環境負荷の低減にも役立つことが期待でる。

炭化物は揮発性有機化合物(VOCs)を吸着することが知られているが、室内に設置する使用方法では使用量が限られるという欠点がある。そこで、炭化物を建築内装用ボードに加工することで、大量の炭化物を室内に無理なく設置することが可能になる。しかし、炭化物をボード化することにより吸着特性が低下しないことが不可欠であり、炭化物の持つ吸着特性を保持してボード化することにより、室内空気を清浄化する機能が期待できる。本研究では、炭化物ボードのホルムアルデヒドやトルエン、アンモニアなどの揮発性化合物の吸着性能を評価することを目的とする。

2．研究の方法

炭化物ボードの製造方法を図1に示す。炭化物紛を固めてボード化するための接着剤として、セルロース繊維とコラーゲン繊維を超微細化した天然繊維を使用する。天然繊維の長微細化処理は、図2の融砕機（増幸産業製：スーパーグラインル^{R}）を用いる。この融砕機は石臼と同じように砥石が回転し、その間を繊維が通過する課程で微細化される。（図3）超微細化セルロースの直径は80～100 nmになる。通常の紙などの繊維の直径は数10 μ mであり、1000分の一まで超微細化することができる。この超微細な繊維が炭化物微粉体に絡み付き、強靭な接着力を発揮すると考えられる。

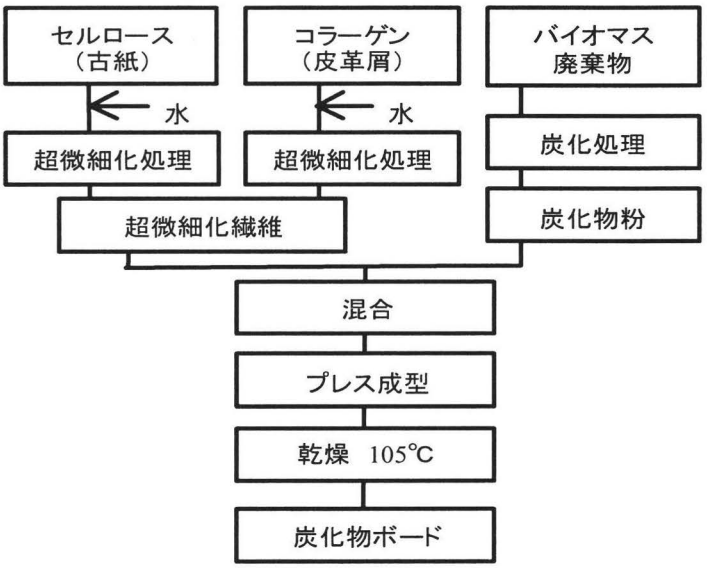


図 1　炭化物ボードの製造工程

家屋解体材を原料とした炭化物は、0.3～0.6 mm に粉砕したものを用いる。炭化物微紛体 80 重量部に対し、超微細化複合繊維スラリーを、繊維重量部で 20 重量部となるようにミキサーに入れ混合する。プレス用型枠に混合材料を投入し、脱水プレス成型後、105℃で 24 時間乾燥したものが炭化物ボードである。このプレス成型で作られる炭化物ボードは、プレス圧力を調節することにより、炭化物ボードを得ることができる。

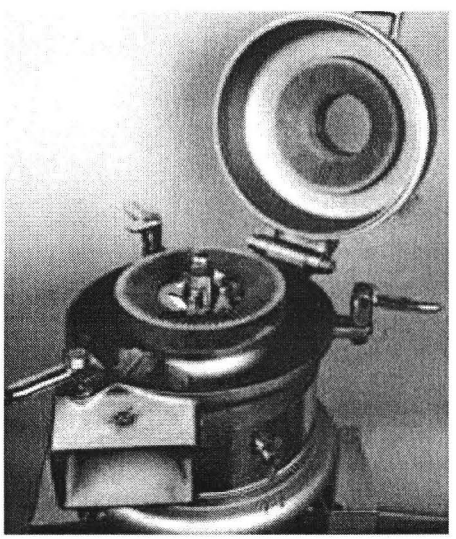


図 2　融砕機（スーパーグラインデル®）

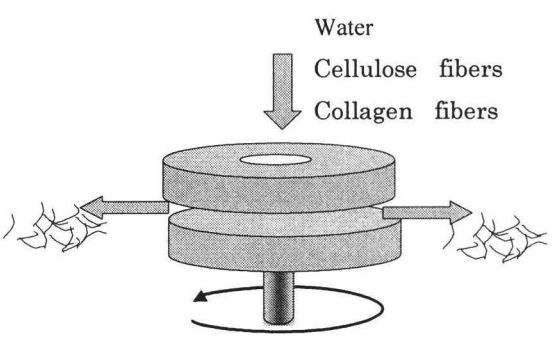


図 3　融砕機の原理図

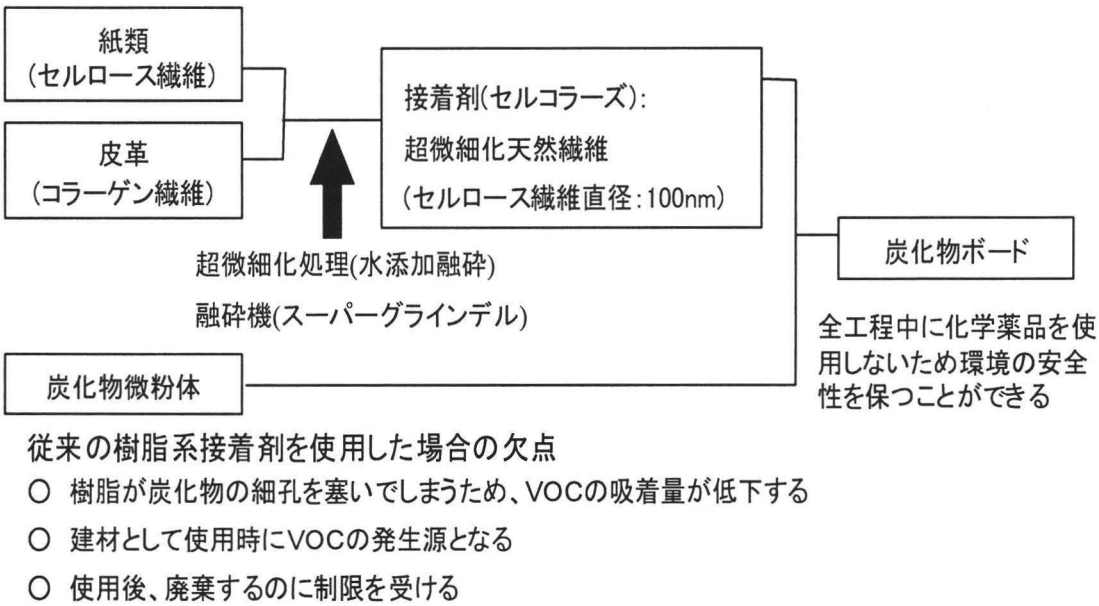


図 4 炭化物ボードの製造技術の特徴

図 4 に、炭化物ボードの製造技術の特徴についてまとめた。炭化物ボードは超微細化天然繊維を接着剤としているため、炭の微細孔を塞ぐことなく絡み合いの効果で炭化物粉を接合することができる。そのため、炭のもつ優れた吸着性、脱臭性、調湿性などの特性をそのまま生かしてボード化できる。また、合板やパーティクルボード等の木質系建築内装材に用いる接着剤は尿素樹脂等のため、硬化時に揮発性有機化合物（VOCs）を発生するが、炭化物ボードでは天然繊維を接着剤として使用するため、有害な VOCs の発生はなく、使用中の安全性が確保できる。また、炭化物ボードの製造工程では、水以外の化学薬品を使用することなく製造できるため、環境汚染を生じることがない。

3．研究の計画と進捗状況

応募時の研究計画を①～④にまとめた。

①100 nm 程度に解繊したセルロース繊維とコラーゲン繊維の混合物に、数 100 μm 程度の炭化物を混合し、プレスで成型後、水分を除去して厚さ 20 mm の炭化物ボードを作製する。

②作製した炭化物ボードを用い、ホルムアルデヒドやトルエン、アンモニアなどの揮発性化合物の吸着特性を測定する。実際の室内環境を想定した低濃度(20 ppm)における吸着速度と吸着量を測定する。また、揮発性化合物の濃度を高濃度（100 ppm）として、ボードによる総吸着量を見積もる。

③作製した炭化物ボードを用い、容器内の相対湿度を種々変えた条件で平衡含水率を測定し、吸湿・脱湿特性を検討する。

④作製した炭化物ボードを走査型電子顕微鏡により組織や形態を観察し、繊維と炭化物の絡み合いの状態と吸着特性、吸湿・脱湿特性との関連性を検討する。

進捗状況を①～④にまとめた。

① 牛パックの裁断くずと皮革裁断くずを、各々セルロース繊維とコラーゲン繊維の原料として、融砕機により解繊し超微細化天然繊維を作製した。家屋解体材を原料とした炭化物の比表面積は、BET 法より求めた結果 212 m^2/g であった。この超微細化天然繊維をバインダーとして、数 100 μ m 程度の炭化物を混合（重量で 20 部：80 部）し、プレスで成型後、水分を除去して厚さ 20 mm の炭化物ボードを作製した。比重は約 0.4 であった。

② 作製した炭化物ボードを用い、ホルムアルデヒドやトルエン、アンモニアなどの揮発性化合物の吸着特性を測定した。実際の室内環境を想定した低濃度(20 ppm)における吸着速度と吸着量を測定した。また、揮発性化合物の濃度を高濃度（100 ppm）として、ボードによる総吸着量を見積もった。

③ 作製した炭化物ボードを用い、容器内の相対湿度(RH)を 75%と 53%の条件下で平衡含水率を測定し、吸湿・脱湿特性を検討した。

④ 繊維と炭化物の絡み合いの状態と吸着特性、吸湿・脱湿特性との関連性は現在検討中である。

4．今までに得られた成果

吸着特性

炭化物ボードの化学物質の吸着性能を把握するため、吸着試験を行なった。吸着ガスとしてホルムアルデヒドを選択し、各々の吸着特性を炭化物紛と比較して図 5 に示す。ガスの初期濃度は 20ppm とした。容器内に炭化物ボードまたは炭化物粉を設置し、所定の時間毎にガスの濃度を測定した。その結果、炭化物ボードの場合はガスの濃度は吸着により低下し、2 時間後にはほとんどのガスを吸着した。一方、炭化物粉の場合は、30 分で同様の量まで低減している。即ち、炭化物ボードの吸着量が炭化物自身と比べてほぼ同じであるが、吸着速度は低下している。これらの結果は、接着剤として用いた超微細化繊維は、炭化物の細孔を塞

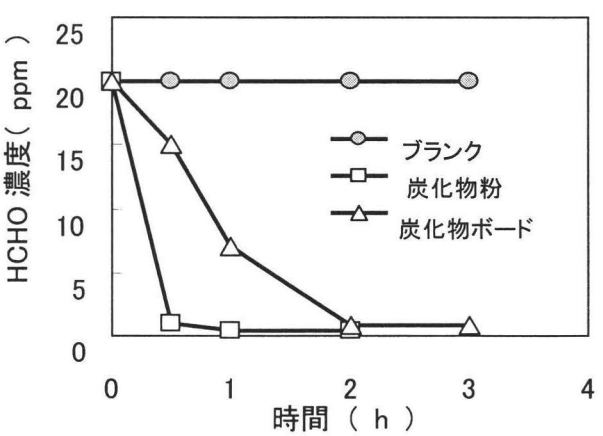


図 5 炭化物ボードと炭化物のホルムアルデヒドの吸着特性

ぐことがないため、炭化物自身の吸着量は保持されることを示している。また、炭化物ボードの吸着量は、炭化物ボード中に含まれる炭化物量に依存し、炭化物の吸着性能を発揮することが確認された。アンモニアやトルエンの吸着の場合も同様な結果が得られた。

飽和吸着量

次に、炭化物ボードの化学物質吸着に対する飽和吸着量を検討した。前項と同様の実験を繰り返したが、ガス濃度は24時間後の値を求めた。図6に、炭化物ボードと炭化物粉による、ホルムアルデヒドの繰り返し20回までの吸着量を示す。吸着量は炭化物単位重量（g-C）当たりのホルムアルデヒド重量（mg）とした。繰り返し回数が多くなるに従い、炭化物ボードと炭化物粉の一回当たりの吸着量は少なくなった。また、ボード化することにより、炭化物粉の吸着特性は低下していることが分かる。吸着量を積分して求めた飽和吸着量として、炭化物ボードは5.778 mg/g-C、炭化物粉は7.272 mg/g-Cの値を得た。

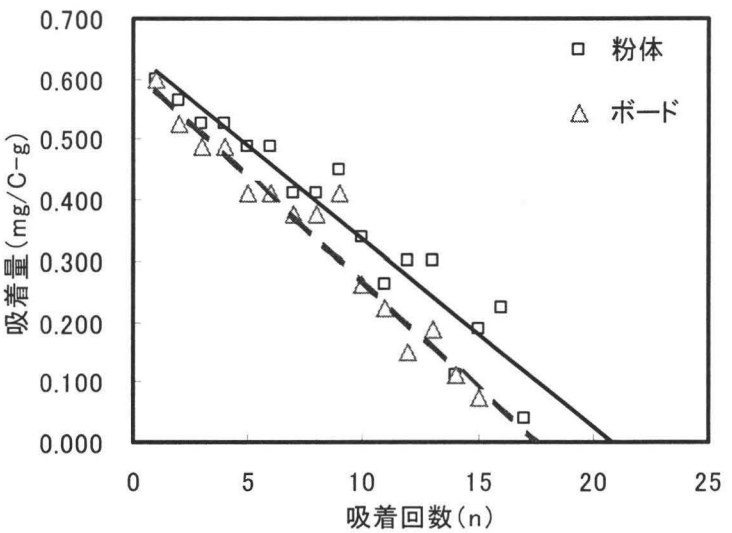


図6 炭化物ボードによるホルムアルデヒドの繰返し吸着特性

吸着の湿度依存性

アンモニアの各相対湿度条件における繰返し吸着試験結果を図7に示す。各相対湿度においても炭化物ボードの吸着量は，繰返し回数が増すごとに低下する。低湿度(RH 30%)と高湿度(50%)の吸着量を比較すると低湿度の吸着は，早期に飽和することが分かる。アンモニアは親水性であるため，低湿度に比べて高湿度の方が炭化物の表面，内部に吸着した水分子と水素結合により多分子吸着し吸着量が増加したと考えられる。

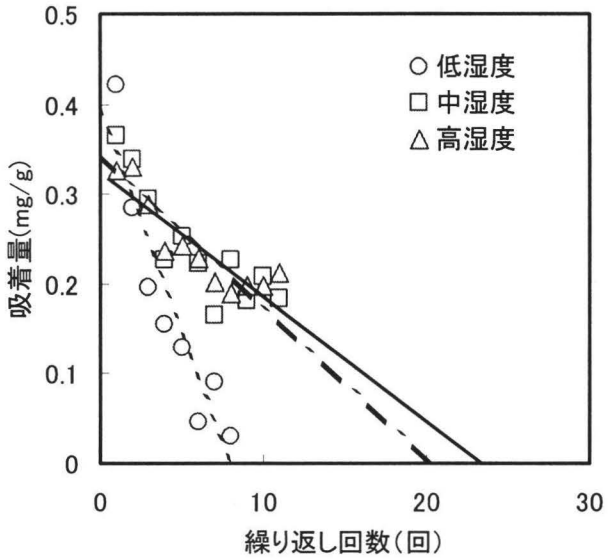


図 7 アンモニアの吸着特性の相対湿度依存性

吸放湿特性

炭化物は、周辺環境の相対湿度変化に対応して、吸湿や放湿することが知られている。炭化物ボードを湿度が一定の容器内に静置し、時間毎の重量を測定して吸放湿量を評価した。炭化物ボードの吸放湿量は、建築用内装材に使用した場合の性能を表記するため、壁面の面積に対する吸放湿量（g/m^2）で表している。相対湿度が 75 %から 53 %に変化した時の、炭化物ボードの吸着・放湿挙動を図 8 に示す。絶乾状態の試料を、まず相対湿度 75 %の雰囲気中に、24 時間放置した。その後、湿度 53 %中に 24 時間放置した。75 %、12 時間では炭素化物ボードは約 $40g/m^2$ を吸湿している。その後、53 %中では放湿により、炭化物ボードの含水率は $10g/m^2$ まで低下しており、30 g/m^2 もの水分を放湿したことになる。このように炭素化物ボードは、湿度変化に応じて吸湿・放湿することから、室内空間の調湿機能を有する建築用内装材である。

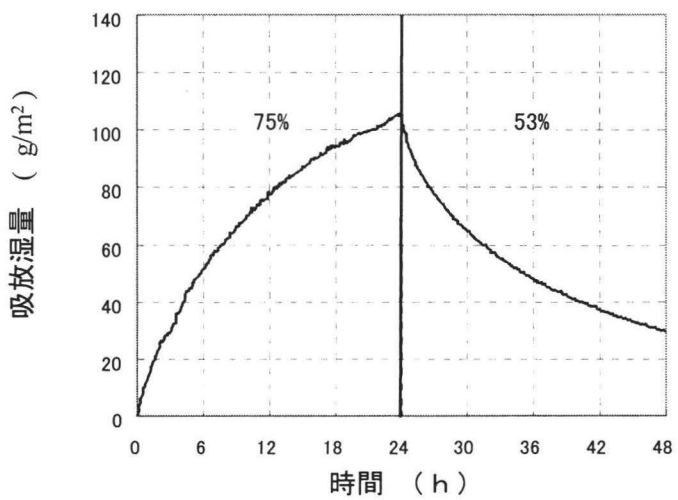


図 8 炭化物ボードによる吸放湿特性

難燃特性

炭化物ボードの燃焼特性をコーンカロリーメーター（ISO/FDIS 5660-1 に準拠）により評価したところ、300 秒後の総発熱量が 8 MJ/m^2 程度あったが、明確に準不燃材にランクすることはできなかった。炭化物ボード表面に酸化ホウ素 B_2O_3 を 380 g/m^2 担持した試料では、300 秒後の総発熱量は 5 MJ/m^2 程度まで低下し、準不燃材となることが分かった。図 9 に炭化物ボードの簡易燃焼試験の結果を示す。簡易燃焼試験とは、LP ガスを燃焼させバーナーにより炎を試料表面に吹き付ける方法である。写真左側の B_2O_3 を担持していない炭化物ボードでは、炎を吹き付けた部分が焼け落ちているが、B_2O_3 を担持した試料では、形を保っていることが分かる。B_2O_3 の難燃化の機構としては、加熱により溶融することによる試料表面のコーティング効果や炭化促進効果が報告されている。

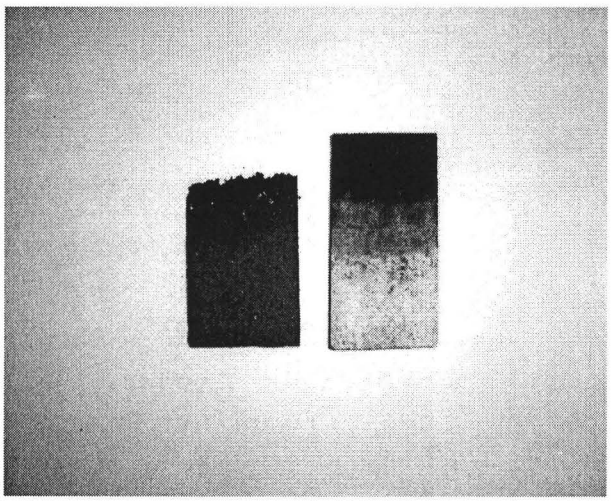


図 9　炭化物ボードの簡易燃焼試験結果
（左：未処理　右：B_2O_3 処理）

生崩壊性

このように炭化物ボードは、人間に対する健康を重要視した建築材料であり、再使用する

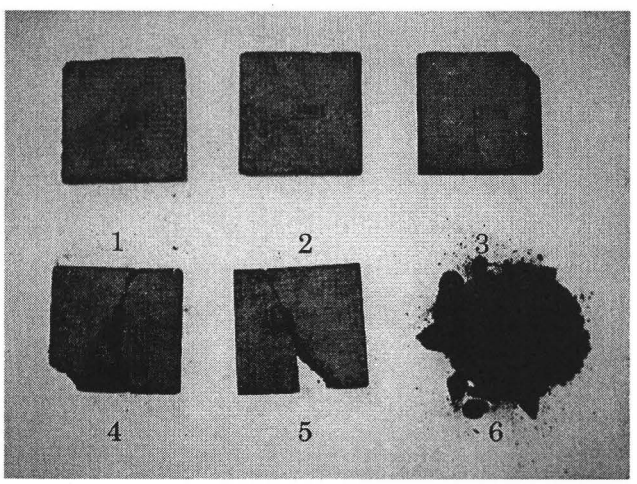


図 10　炭化物ボードの土壌埋設1～6 ヶ月後の状態

ことが可能である。また廃棄した場合でも、天然繊維の接着剤は土壌中のバクテリアによって生分解するが、残る炭化物は腐朽することなく粉体状に戻る（生崩壊）。図10に、炭化物ボードを1〜6ヶ月の間、土壌中に埋設した結果を示す。6ヵ月後には炭化物粉の状態に戻っていることが分かる。このように炭化物ボードは環境汚染を生じることが無く、廃棄後も土壌改良剤としての役割を持たせることができる材料である。

５．これから期待される成果

①炭化物ボードは、地域性のあるバイオマスを原料としたり、地域のエコタウン構想に用いられる可能性など、地域ごとの特徴を生かしているため、地域に密着した産業となり得る。炭化物ボードは廃棄物を原料とするため原料コストが安く、さらに大量生産に進むと低コストでの製造が期待できる。

②バイオマスを「炭化処理」し、建築内装用ボードとして活用することにより、今まで大量に廃棄されていたバイオマスを資源として再利用することが可能になる。

③化学物質が室内空気を汚染することによって発生する、シックハウス症候群や化学物質過敏症などが問題になっている。これらの汚染原因は、新建材や壁紙、殺虫剤などから発生する揮発性有機化合物(VOCs)である。この室内空気を清浄化するための技術の一つとして、炭化物ボードの有効性が確認できれば、健康な室内環境を得ることが可能になる。

６．残る問題点と対策

①炭化物ボードを実際の使用条件に即した環境下での吸着実験の検証が必要である。VOCsの吸着性に及ぼす環境湿度と環境温度の影響を明らかにする。また、VOCsの脱着に及ぼす環境湿度と環境温度の影響を明らかにする。

②実際の使用のモデルとして、数十m^3程度のモデルルームに炭化物ボードを設置して、長期間の吸着性能の検証と、実住宅へ炭化物ボードを施工し、定期的にVOCs濃度を測定することにより、効果的な設置方法を検討する。

７、研究発表の実績及び予定

（論文、出版物）

1.柴野一則、吉澤秀治、後藤純雄、小川　游、超微細化天然繊維を用いた炭素化物ボードの作製と建築内装材としての性能、炭素、204, 166-170(2002).

2.吉澤秀治、超微細化天然繊維の利用開発と炭化物ボード、APAST（森と木の先端技術情報）、13, 52-55(2003).

3.K.Shibano, S.Yoshizawa, S.Goto, Y.Ogawa, Biodegradation and Adsorption Property of Charcoal Board with Superfine Natural Fibers as Building Interior Materials, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn.,

28, 1063-1066(2003).
4.K.Shibano, K.Kamiya, S.Yoshizawa, O.Sugawa, Fire Retardation of Charcoal Board Added with Boron Oxide, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 28, 1099-1102(2003).
5.K.Kamiya, K.Shibano, S.Yoshizawa, O.Sugawa, Y.Ogawa, Non-combustibility of Charcoal Board Covered with Low Melting Point Glass, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 29, (2004) in press.
6.K.Shibano, K.Kamiya, S.Yoshizawa, S.Goto, Y.Ogawa, Repetition Property of Chemical Compounds Adsorption by Charcoal Board Adhered with Superfine Natural Fibers, Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 29, (2004) in press.

（学会・研究会発表）

1. 坂本　篤、上矢恭子、柴野一則、吉澤秀治、小川　游、環境保全型の新しい炭化物産業の提案－揮発性化学物質を吸着する建築内装用炭化物ボードの開発－、第2回八王子地域産学公連携機構研究成果発表講演会、八王子、2002年12月.
2. 上矢恭子、柴野一則、吉澤秀治、小川　游、後藤純雄、炭素化物ボードによる室内空気中のホルムアルデヒドの低減効果、第29回炭素材料学会年会、関西大学、2002年12月.
3. 坂本　篤、吉澤秀治、柴野一則、小川　游、後藤純雄、超微細化天然繊維を用いた炭素化物ボードの吸着特性に与える湿度の影響、第29回炭素材料学会年会、関西大学、2002年12月.
4. 柴野一則、吉澤秀治、小川　游、後藤純雄、超微細化天然繊維を接着剤とした建築内装用炭素化物ボードの生崩壊性、第29回炭素材料学会年会、関西大学、2002年12月.
5. 吉澤秀治、坂本　篤、上矢恭子、柴野一則、小川　游、炭化物ボード－地域密着型炭化物産業の提案－、環境学研究会・エコマテリアル研究会合同シンポジウム、明星大学、2002年12月.
6. 上矢恭子、柴野一則、吉澤秀治、小川　游、後藤純雄、炭化物ボードによる室内空気中のホルムアルデヒドの低減効果、環境学研究会・エコマテリアル研究会合同シンポジウム、明星大学、2002年12月.
7. 小倉正義、堀江誠人、柴野一則、吉澤秀治、小川　游、超微細化天然繊維を用いた炭素化物ボードの吸着特性に与える湿度の影響、環境学研究会・エコマテリアル研究会合同シンポジウム、明星大学、2002年12月.
8. 柴野一則、吉澤秀治、上矢恭子、中島大介、後藤純雄、小川　游、炭化物ボードによる室内ホルムアルデヒド濃度の低減効果－その2（長期測定結果）－、平成14年度室内環境学会、東京、2002年12月.
9. 上矢恭子、柴野一則、吉澤秀治、江副優香、後藤純雄、メタノール溶媒を用いたVOCs発生量の簡易・安全測定法、平成14年度室内環境学会、東京、2002年12月.
10. 柴野一則、吉澤秀治、坂本　篤、後藤純雄、小川　游、建築内装用炭化物ボードの作製と揮発性有機化合物の吸着性能、平成14年度室内環境学会、東京、2002年12月.
11. K.Kamiya, K.Shibano, S.Yoshizawa, O.Sugawa, Fire Retardation of Charcoal Board Added with Boron Oxide, 第14回日本MRS学術シンポジウム、東京工業大学、2002年12月.
12. K.Shibano, S.Yoshizawa, S.Goto, Y.Ogawa, Carbon Composite Board with Superfine Natural Fibers as Building Interior Materials, 第14回日本MRS学術シンポジウム、東京工業大学、2002年12月.
13. A.Sakamoto, K.Shibano, Y.Ogawa, S.Yoshizawa, S.Goto, Chemical Compounds Adsorption by Charcoal Board Adhered with Superfine Natural Fibers, 第14回日本MRS学術シンポジウム、東京工業大学、2002年12月.
14. K.Shibano, S.Yoshizawa, S.Goto, Y.Ogawa, Reduction of Formaldehide Concentration with Charcoal Board in a Room Model, 第14回日本MRS学術シンポジウム、東京工業大学、2002年12月.
15. K.Shibano, Y.Ogawa, S.Yoshizawa, Application Examples of Charcoal Board for Healthy Housing, 第14回日本MRS学術シンポジウム、東京工業大学、2002年12月.
16. 柴野一則、吉澤秀治、小川　游、炭素化物ボードによる室内ホルムアルデヒド濃度の低

減効果及び施行事例、第4回エコカーボン研究会・第15回炭化物利用研究会合同会議、池田市、2003年2月.

17. 吉澤秀治、建築内装用炭化物ボードの開発と産業化、エコマテリアル展「エコマテリアル：エコインダストリーと自然系素材の出会い」、日本未来科学館、東京、2003年2月.
18. 吉澤秀治、室内の化学物質を吸着する内装用炭化物ボードー環境保全型の新しい炭化物産業の提案ー、宮崎県第1回環境資源技術研究会、宮崎厚生年金会館,2003年7月.
19. 吉澤秀治、超微細化天然繊維を接着剤とした炭化物ボード、日本木材学会第8期研究分科会第五分科会第2回討論会、静岡、2003年8月.
20. K.Kamiya, K.Shibano, S.Yoshizawa, O.Sugawa, Y.Ogawa, Non-combustibility of Charcoal Board Covered with Low Melting Point Glass, 8th IUMRS Inter. Conf. on Advan. Mater.,Yokohama, Oct., 2003.
21. K.Shibano, K.Kamiya, S.Yoshizawa, S.Goto, Y.Ogawa, Application Examples of Charcoal Board for Healthy Housing, 8th IUMRS Inter. Conf. on Advan. Mater., Yokohama, Oct., 2003.
22. K.Shibano, K.Kamiya, S.Yoshizawa, S.Goto, Y.Ogawa, Repetition Property of Chemical Compounds Adsorption by Charcoal Board Adhered with Superfine Natural Fibers, 8th IUMRS Inter. Conf. on Advan. Mater., Yokohama, Oct., 2003.
23. 上矢恭子、柴野一則、吉澤秀治、須川修身、小川　游、炭化物ボードの難燃化ー低軟化点ガラスの効果ー、第30回炭素材料学会年会、千葉大学、2003年12月.
24. 宇津城隆之、上矢恭子、吉澤秀治、柴野一則、後藤純雄、木炭のガス吸着に及ぼす炭化条件の影響、第30回炭素材料学会年会、千葉大学、2003年12月.
25. 吉澤秀治、森　靖典、小川　游、片山達也、炭化物ボードを活用した床暖房用畳の試作、八王子地域産学公連携機構第 3 回研究成果等発表講演会、八王子、2003 年 12 月.
26. 福田洋平、上矢恭子、柴野一則、吉澤秀治、後藤純雄、アルコール溶媒を用いた揮発性芳香族化合物の簡易・安全測定法、第 2 回環境学シンポジウム、明星大学、2003 年 12 月 6 日.
27. 長谷川拓也、上矢恭子、柴野一則、吉澤秀治、後藤純雄、炭化物ボードによるアンモニア、トルエン吸着特性に及ぼす湿度の影響、第 2 回環境学シンポジウム、明星大学、2003 年 12 月 6 日.
28. 長谷川拓也、柴野一則、上矢恭子、吉澤秀治、後藤純雄、小川　游、建築内装用炭化物ボードの吸着特性に与える湿度の影響、平成 15 年度室内環境学会、東京、2003 年 12 月.
29. 福田洋平、柴野一則、上矢恭子、吉澤秀治、後藤純雄、小川　游、アルコール溶媒を用いた VOCs 発生量の簡易・安全測定法、平成 15 年度室内環境学会、東京、2003 年 12 月.
30. 柴野一則、長谷川拓也、上矢恭子、吉澤秀治、後藤純雄、小川　游、炭素化物ボードの化学物質吸着特性に及ぼす湿度の影響、第 5 回エコカーボン研究会、九州大学、2004 年 3 月 4 日.

８．実用化計画

アイオーティカーボン株式会社（富山県富山市海岸通字松浦町 2-9）において、2004 年 3 月より炭化物ボードの商品化を開始した。

http://www.iotc.co.jp

第３部　国際会議・国際協力

3-1 景観材料普及促進シンポジウム

「世界に誇れる作品・製品の提案について」

景観材料推進協議会（社団法人 日本建材産業協会）
審議役　森田 博

1. 本研究の背景と目的

わが国における町づくり、特に地方都市部においては、従来即効性ある経済成長が優先されてきた。そして、車社会の到来と歩調を合わせて新しいタイプの生活環境を提供してきた。しかしながら、それらは当初から景観についてはほとんど考慮されてこなかった。

近年、生活の豊かさを享受できるようになり、多くの人々が都市デザインに関心を寄せるようになったが、特に地方都市イメージの向上に伴って特色ある自然環境との調和、あるいは歴史的・文化的特徴を全面に打出し、訪れる人々にとって安らぎと調和に感動を覚えさせるような地域も出現し、市民活動として次第に景観的配慮の必要性が意識され始めている。

このような背景から生活環境の整備と共に、良好で高品位の景観対策を実行することも求められてきており、これらの目的に対応するため一方では景観材料の開発を促進すること、他方では景観に対する一般市民の啓発活動に尽力することが必要と判断した。

2. 研究の方法

優れた景観整備事例を、発注者（自治体）・関係デザイナー・設計者・施工者及びメーカーそれぞれの立場で計画から施工まで経緯や材料選定、問題点などをシンポジウム形式で討論、良好な景観材料とは何か、良好な景観とは何かを見極め、優れた景観形成の普及・促進を図ることとした。

具体的な景観整備事例として三重県桑名市の「桑名城外堀線」、「住吉入江」、それと長崎の「万橋」をとりあげた。シンポジウム会場は桑名市とし、最寄りの「桑名城外堀線」、「住吉入江」を視察した上でシンポジウムを開催することで、参加者に理解をより深めてもらうことができた。

3. 研究の計画と進捗状況

シンポジウムは平成15年6月12日（木）に実施、無事所期の目的を達成することができた。

4. 今までに得られた成果

発注側である自治体が景観整備に寄せる期待と要望が、関係デザイナー・設計者を介し景観材料メーカーに直接伝わり、より良い景観材料に対する理解が深まった。

5. これから期待される成果

景観材料メーカーがシンポジウムで得られた情報を元に、良好な景観材料の開発が進むと思われる。設計者・デザイナーから決して十分な評価を得られていない量産規格の景観材料が見直されると同時に、設計者・デザイナーとの交流により整備計画からメーカーの参画が実現し、より理想的な景観整備事例が増えていくことも期待できる。

6. 残る問題点と対策

景観整備はそこに生活する人々、また訪ねてくる人々にとって安らぎと調和に感動を覚えさせるようなものでなければならない。主役はあくまでも市民である。今回のシンポジウムでは市民の声を発注者（自治体）が代弁したが、本来は直接意見を聞き討論できることが理想である。

また今回は、より良い景観整備には高価な材料や特注品が必要であるという意識が払拭できなかった。実例においても基本的には専用設計品が多く用いられていた。今後は量産規格品を用いても優れた景観整備が可能なこと、そのためにはデザイナーや設計者とのコラボレーションがさらに必要であるが、それによって低コストでも十分に良好な景観が実現できることを広く訴えて行きたい。

7. 研究発表の実績及び予定

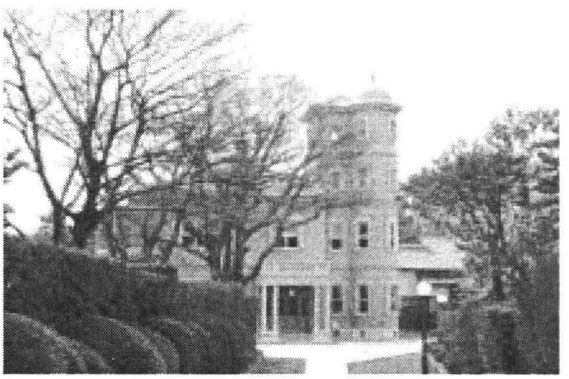
シンポジウムの報告書を作成し、シンポジウム参加者および関係自治体へ配布した。今後は良好な景観整備を普及・促進してゆく活動のために、主に自治体を中心に配布していく予定である。

・添付資料

シンポジウム報告書・・・・1部

2003 第三回地域事業推進委員会シンポジウム

「世界に誇れる作品・製品の提案について」
～生き残るためのものづくり～



三重県桑名市六華苑
・
桑名城外堀線
住吉入江

2003 年 6 月 12 日(金)

社団法人 日本建材産業協会
景 観 材 料 推 進 協 議 会

この事業は、財団法人トステム建材産業振興財団の助成を受けて実施したものです。

目次

講演者略歴 ---------- **2-4**

プログラム(視察) ---------- **5**

景観視察Ⅰ・Ⅱ ---------- **6-7**

プログラム(講演) ---------- **8**

趣旨説明 ---------- **9**
景観材料推進協議会　専務理事　岩田 誠二

挨　　拶 ---------- **10**
経済産業省　中部経済産業局　産業振興部　製造産業課　課長　竹中 俊昭

講 演 Ⅰ ---------- **11-27**
長崎・万橋

講 演 Ⅱ ---------- **28-39**
桑名城外堀線

講 演 Ⅲ ---------- **40-50**
住吉入江

閉会挨拶 ---------- **51**
景観材料推進協議会　地域事業推進委員会　委員長　伊藤 貞二

講演者略歴

篠原 修（しのはら おさむ）

略　歴
1945　神奈川県生まれ
1968　東京大学工学部土木工学科卒業
1971　東京大学工学系大学院修士課程修了
1971　アーバンインダストリー入社
1975　東京大学農学部林学科助手
1980　建設省土木研究所道路部主任研究員
1986　東京大学農学部土木工学科助教授
1989　東京大学工学部土木工学科助教授
1991　東京大学工学部土木工学科教授

設計指導/監　修
松戸森の橋・広場の橋
江戸川区　辰巳新橋
JR東日本東京駅高架橋
福井県　勝山橋
沖縄県　阿嘉橋
神奈川県　新小倉橋
皇居周辺道路
島根県　津和野川護岸・広場
浦安市　境川
宿毛　河戸堰　ほか

主な著書
『土木景観計画』（技報堂出版）
『街路の景観設計』～編・共著～（技報堂出版）
『水環境の保全と再生』～共著～（山海堂）
『港の景観設計』～編・共著～（技報堂出版）
『橋の景観デザインを考える』～編～（技報堂出版）
『日本土木史』～共著～（技報堂出版）
『土木造形家百年の仕事』（新潮社）

西村 浩（にしむら ひろし）

略　歴
1967　佐賀県生まれ
1991　東京大学工学部土木工学科卒業
1993　東京大学工学系大学院研究科修士課程修了
1993-98　GIA設計勤務
1999　ワークヴィジョンズ設立
現在（有）ワークヴィジョンズ代表、日本大学理工学部社会交通工学科非常勤講師

主な作品
世田谷区　KS邸
北青山　Dクリニック
横浜市　UO邸
長崎市　万橋
長崎市　常盤出島地区（港の橋梁群）ほか

主な著書
『[RC造]現場写真帳』～建築知識 2000-10～

講演者略歴

佐々木 政雄（ささき まさお）

略　歴
1945　東京都生まれ
1968　早稲田大学理工学部建築学科卒業
1971　早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了（吉阪隆正研究室）
1974　早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了（吉阪隆正研究室）
1974　アトリエ74建築都市計画研究所設立

主な参加プロジェクト
浦和市さくら草通りショッピングモール計画・事業
足利市ばんな寺周辺地歴史的地区環境整備計画・事業
金沢市兼六園周辺地区整備計画・事業
川越市歴史地区環境整備計画・事業
姫路市城西地区居住環境整備計画・事業
下関市長府地区歴史的地区環境整備計画・事業
掛川市城周辺地区ふるさとの顔づくりモデル事業
熊谷市星川シンボルロード整備事業
桑名市中心市街地整備計画・事業
日向市駅周辺地区整備計画・事業　ほか

主な著書
『アメニティ都市への途』～社団法人日本都市計画学会 共著～
『みち・まち・アメニティ』～地区交通計画研究会編・共著～
『歴史のまちのみちづくり』～建設省都市局監修 歴みち研究会編・著～

主な受賞
総理大臣賞（21世紀の日本）*
都市計画学会デザイン賞（杜の都・仙台）*
兵庫県さわやかまちづくり賞 まちなみ部門（姫路市）
静岡県都市景観賞優秀賞（掛川市中心市街地）
*吉阪研究室として受賞

南雲 勝志（なぐも かつし）

略　歴
1956　新潟県生まれ
1979　東京造形大学造形学部室内建築学科卒業
1987　永原浄デザイン研究所を経てナグモデザイン事務所設立
1999　ICSカレッジオブアーツ講師

主な参加プロジェクト
皇居周辺道路環境整備計画 照明デザイン
門司港周辺再開発 照明デザイン
浦安・境川再開発 照明・防護柵・照明デザインなど
福井県勝山橋 景観デザイン設計
三重県桑名市住吉入江再開発 ストリートファニチャーデザイン
宮崎県日向市市街地活性化 ストリートファニチャーデザイン
Project Candy家具シリーズ及びショールームデザイン
慶応大学三田キャンパス GSEC家具デザイン　ほか

主な受賞
通産省グッドデザイン景観賞（門司港照明）
通産省グッドデザイン家具インテリア部門 部門賞（Project Candy シリーズ）
第一回土木学会景観デザイン最優秀賞（門司港照明）

専門分野
環境プロダクトデザイン・家具デザイン

所属団体
都市環境デザイン会議
日本インダストリアルデザイナー協会

講演者略歴

小野寺 康 （おのでら やすし）

略　歴

1962　北海道生まれ

1985　東京工業大学工学部社会工学科卒業

1987　東京工業大学大学院社会工学専攻修了

1987-93　アプル総合計画事務所

1993　小野寺康都市設計事務所設立

主な作品

広島・太田川河岸テラス

門司港レトロ地区環境整備

与野本町駅西口都市広場

浦安・境川

茂原・豊田川

桑名・住吉入江

浦安・猫実川

東部丘陵線景観デザイン・広場設計

野蒜水門修景　ほか

主な執筆

『都市計画213号』「親水性の周辺」

『景観デザインレポート』～景観デザイン研究会編～

『造景』No. 25「浦安・境川のデザイン」

主な受賞

中里村新庁舎設計プロポーザルコンペ　佳作

越谷市・西大袋地区中心街設計プロポーザルコンペ

入選

土木学会　景観・デザイン委員会デザイン賞最優秀賞

（門司港レトロ地区環境整備）

土木学会　景観・デザイン委員会デザイン賞優秀賞

（与野本町駅西口都市広場）

プログラム(視察)

平成15年6月12日(木)・三重県桑名市・桑名城外堀線／住吉入江

10:30　**集　合**
寺町商店街入口(八間通り側)

10:30～10:45　**説　明**

10:45～12:00　**景観視察Ⅰ**
桑名城外堀線

景観視察Ⅱ
住吉入江

12:00　**一時解散**

視察Ⅰ
桑名城外堀線
視察Ⅱ
住吉入江

視察概要　今回のシンポジウムは講演だけでなく実際の景観整備状況を見ていただき、より理解を深めていただくことができた。

まず桑名城外堀線の視察から開始、寺町商店街入口（八間通り側）からお堀沿いに南下しながら整備状況を確認、石の橋「防護橋」で折り返し、その後北上し住吉入江と移動した。

視察参加者は50名であった。桑名市役所の石川氏、伊藤氏および同市教育委員会 大塚氏や、東京大学工学部教授篠原氏をはじめとする講師の方々がガイドとして参加者を先導された。

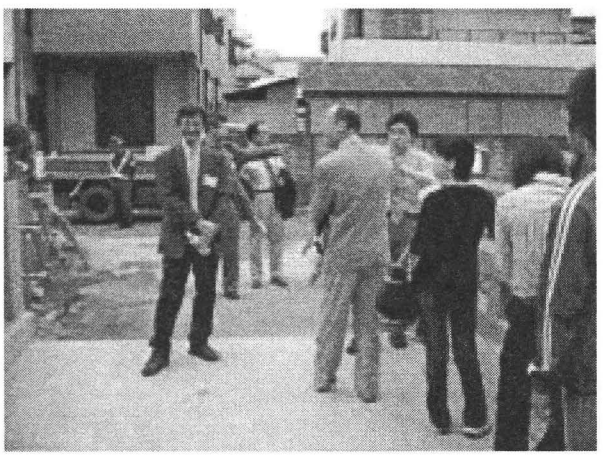


桑名城外堀線　桑名城外堀線はまだ工事が進行中で全体の完成状態は確認できなかったが、今回のシンポジウム講演でとりあげられたストリートファニチャー類、橋梁、路床材の施工は終了しており、そのディティールは十分に確認できた。

お堀の護岸は石積みが採用されているが、これはかつてのお堀の再現ではないという。単なる復元ではなく「今」の時代空間との調和を考慮しながら、将来への資産となる景観を作り出していくことが重要だとのことであった。



説明風景（小野寺氏による説明）



石の橋（防護橋）にて



お堀護岸の石積み（工事中）

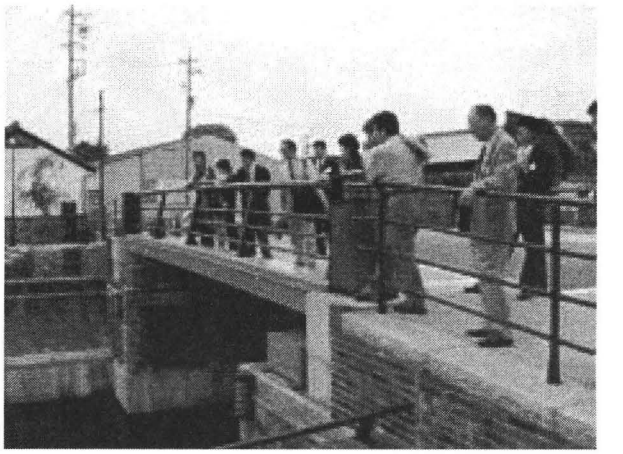
住吉入江　住吉入江の施工は終了後時間が経過しており、その主要な景観材料「レンガ」の風合いやファニチャー類の表情が程よい時間の流れを感じさせていた。特に西諸戸邸前の石畳とレンガ蔵、住吉入江のレンガ護岸が落ち着いた空間を作り出しており、異なる時代の風景を一つの空間に調和させていた。



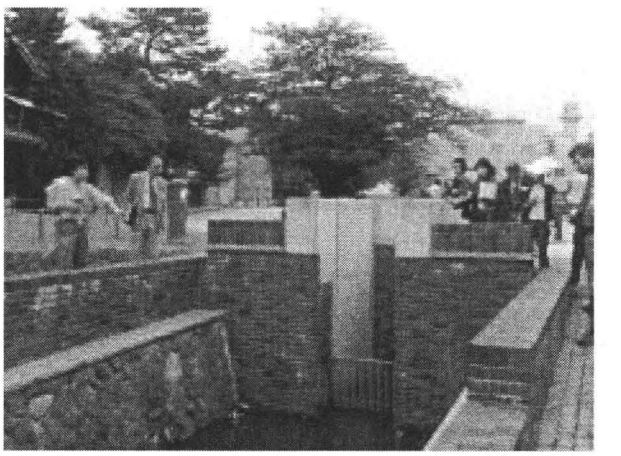
住吉入江



説明を行う小野寺氏



玉重橋にて



西諸戸邸前の水路用水門にて



西諸戸邸前にて（古い郵便ポストが残されている）

プログラム(講演)

平成15年　6月12日(木)・三重県桑名市　六華苑

講演進行
東京大学 工学部 土木工学科 教授　篠原 修

13:30～13:50　**趣旨説明**
景観材料推進協議会 専務理事　岩田 誠二

挨　拶
経済産業省 中部経済産業局 産業振興部 製造産業課 課長　竹中 俊昭

13:50～14:30　**講 演 Ⅰ　長崎・万橋**
有限会社 ワークヴィジョンズ 取締役　西村 浩

14:30～15:20　**休　憩**
重要文化財「六華苑」の見学

15:20～16:05　**講 演 Ⅱ　桑名城外堀線**
株式会社 アトリエ74 建築都市計画研究所 代表取締役　佐々木 政雄
ナグモデザイン事務所 代表　南雲 勝志
大成ロテック株式会社 総合技術部 生産技術室 課長　深沢 邦彦
ヨシモトポール株式会社 営業部 部長　飯島 秀雄
株式会社INAX タイル建材事業部 公共エクステリア商品部　井村 竹応
株式会社INAX 中部統括支社 中部特販統括部 タイル公共エクステリア特販部 課長　坂井 日佐男

16:05～16:50　**講 演 Ⅲ**
有限会社 小野寺康都市設計事務所 代表　小野寺 康
ナグモデザイン事務所 代表　南雲 勝志

16:50～17:00　**閉会挨拶**
景観材料推進協議会 地域事業推進委員会 委員長　伊藤 貞二

趣旨説明

景観材料推進協議会
専務理事
岩田　誠二

皆さま本日は大変お忙しい中多数お集まりいただきましてありがとうございました。本日は三回目ということでございますが、東京大学篠原先生のご指導のもとに、このようなシンポジウムを続けてきております。

なんと申しましても日本の大きな課題は都市の再生となっておりまして、各自治体を含めまして広い意味での都市間競争というものでこの都市景観形成で差がつくのではないかと思っておりますが、そういう意味で大変重要な課題に我々は取り組んでいると思っているわけです。

このシンポジウムを通じましてメーカーの方々、デザイナーの方々あるいは建設会社の方々が共同でなにか提案できないか、あるいはデザイナーと建設会社の方々のコラボレーションの成功事例というものはどんなものがあるのか、といったようなことをご紹介いただきながら皆さんで力をあわせて美しいまちづくりをどう進めるかということが課題となっているわけでございまして、ぜひそれを目指していい景観形成のために皆様方の力を結集していただきたいと思うわけでございます。

私ども日頃こういう活動を通じまして、景観形成というものがいかに重要であるかよくわかるのではございますが、大変難しい課題でございまして、結局はその街にとっての景観形成のコンセプトはなにかということが一番大事なんじゃないかと思っております。これは市民の方々を含めまして行政・学会・産業界すべてのその地域の方々が同じような景観コンセプトを持ってまちづくりを推進するということが一番大事でございますが、そういうことを、コンセプトを持つためにもこういうシンポジウムでいろんな角度から、いろいろなテーマで市民参加型のシンポジウムをどんどん開催してゆくということが非常に重要ではないかなと思っております。今日はそういうことで、篠原先生のご指導のもとにこういうシンポジウムが持てるわけでございますが、なんと申しましても素晴らしいこの桑名市の重要文化財「六華苑」というところで本日のシンポジウムが開催できますことを、関係者の皆さまのご尽力でできたことを感謝いたしまして本日の開会の挨拶とさせていただきます。ありがとうございました。どうぞよろしくお願いいたします。

挨　拶

経済産業省 中部経済産業局 産業振興部 製造産業課
課長
竹中 俊昭

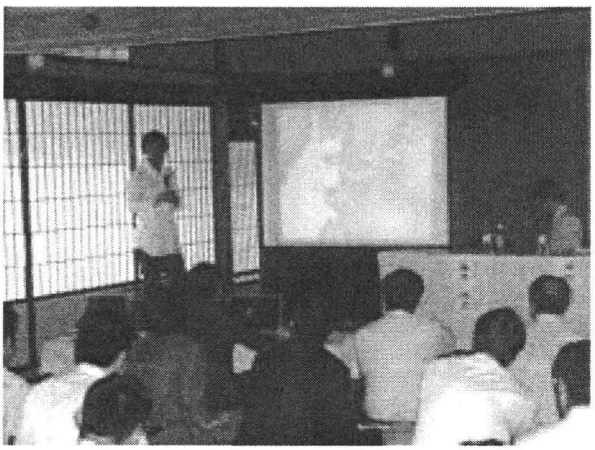
ご紹介いただきました中部経済産業局の竹中でございます。東京大学篠原先生のご指導のもとにこうしたシンポジウムを開催されているということをお伺いいたしておりますが、このシンポジウムを開催するにあたって大変ご尽力をいただいております景観材料推進協議会、そして社団法人の日本建材産業協会に対して敬意を表する次第でございます。そして本日お集まりの皆さま、大変ご苦労さまです。私ども、先ほどご紹介ありました経済産業省といっております、前は通商産業省といっておりました。通商と産業の振興をご支援させていただく省庁でございまして、貿易のほう、輸出の拡大、最近は輸入の拡大もやらなければいけませんが、国内に向けては産業の振興ということで製造業を中心としたものづくり、ソフト・ハードを含めてものづくりのご支援を申し上げるという団体でございます。

私どもは近年、ものづくりをいかにして独自性を発揮して進めていただくかということとともに、いかにまちづくりを進めていただくかということをご支援申し上げております。街の活力というのは何だろう、といった場合にはですね、やはり１億2800万人の人口を抱えるわが国において、おまんまを食べていくためにはものづくりというのは欠かせないだろうと思います。街の活力に対して製造業ですね、ものづくりの振興というのは不可欠かな、と思うわけですが、一方でそうした工場が繁栄するだけではなくてその街に住む人、あるいはその街に通う人、あるいはその街を訪れる人たちにとって魅力的な街でなければいけないと思うわけです。住む人にとっては素晴らしい生活基盤がきちんとあるということが大事でしょうし、またそこへ通う方々にとっては便利な高速交通基盤がきちんと発達しているというようなことも大事だと思います。そしてまた遠くからこの街に訪れていただける方々にとっては、ここに来て良かったなあという街でなければならない、そういった街の魅力に溢れていなければならないと思うわけですね。例えば桑名にきたら、あっ桑名のにおいがする、という街であってほしいわけですね。それは何も鋳物の工場の煙突からでるくさいにおいという意味ではなくて、見た目に桑名は鋳物の街だなあ、何処々はタオルの産地の街だなあ、という具合に駅を降りたとたんにこの街はこういう街なのだということが一目でわかっていただけるようなまちづくりが必要になってくると思われます。

今日は産業界の方々、そして学会の方々など広いご見識をお持ちの方々から本日のテーマにもなっておりますが「世界に誇れる作品・製品の提案について」～生き残るためのものづくり～というようなことでシンポジウムが開催されます。皆様方にとってこのシンポジウムが実り多いものでありますことを祈念・期待いたしまして講演のご挨拶、お招きいただきましたご挨拶とさせていただきます。本日はありがとうございます。

講演Ⅰ
長崎・万橋

有限会社 ワークヴィジョンズ
取締役
西村 浩



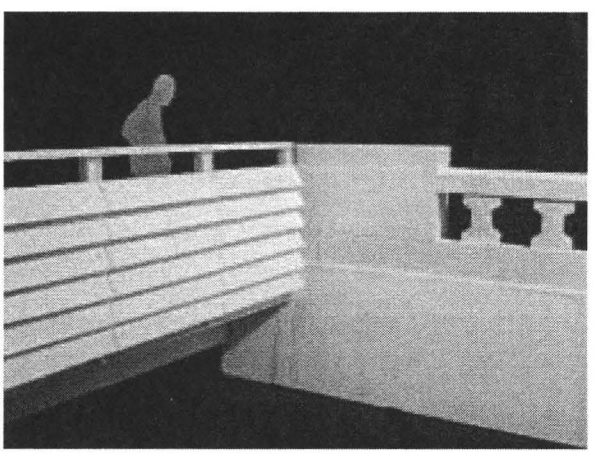
西村氏

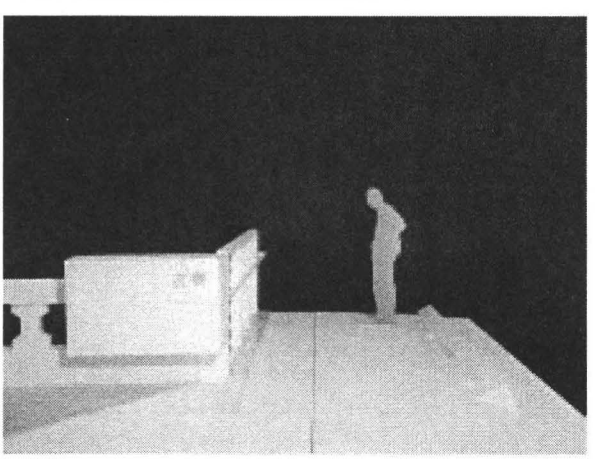
はじめまして、ワークヴィジョンズの西村と申します。このシンポジウムには初めて参加させていただきまして、いきなりこの茶髪の兄ちゃんは何なのだと思っておられる方もいらっしゃると思いますので、簡単に自己紹介をさせていただきたいと思います。

私は大学では篠原先生の教え子で、93年に大学院を卒業してそのあと設計事務所に入って、5年9ヶ月勤めて今の会社を立ち上げて、ようやく5年目です。それで会社の仕事はこのような土木の仕事もやっておりますけれど、ほかにも建築の設計もやっていまして、街ごと何とかやれるような環境をつくろうじゃないかという体制でやっております。

今日はですね、桑名に来まして、実は今日初めて来たのですけど、前から写真では拝見していたのですが、今日の内容が万橋、私が今日ご紹介する長崎でやっております万橋という話と、あと桑名の話の二本立てなのですけれど、今日来てみて思ったのですが両方とも歴史のある街、歴史のありかたというのが桑名と長崎ではちょっと違うのですが、このシンポジウムは歴史に対してどのように設計者なりメーカーの方なり施工者の方が答えを出していくかという会じゃないかなと思っています。そういう意味で僕がここに来た印象では僕の考えとちょっと違うところもあるし、納得できるところもあるのでこれから後半を聞かせてもらうのが楽しみだと思っています。 今日は半分以上が桑名なので長崎の話は前座だと思っています。気軽に聞いていただければと思います。

まずこれなのですが(Ⅰ-1)、もう物ができていますので、模型の写真を出す必要がないかなと思ったのですがせっかく模型を作ったので、表紙に模型を出させていただきました。この模型はスタディの時に使った模型で大きさは5分の1です。ですから結構大きな模型になります。こっちが高欄と親柱で、





Ⅰ-1

ここは歩道部分ですね。

これから2枚の写真をお見せしたいと思います。これは既に出来上がった写真です(Ⅰ-2)。ここの川は、ちょっと上流に眼鏡橋がある長崎の軸となる中島川という川です。これに架かっているのが万橋です。あとでこの写真については説明しますので、見ておいていただきたいと思います。で、これはもうち



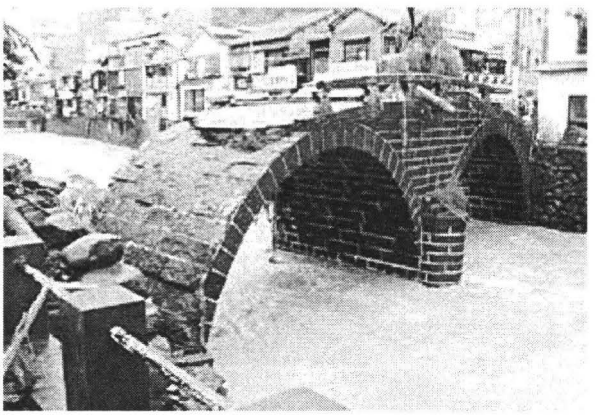
Ⅰ-2



Ⅰ-3

ょっと近寄った写真です(Ⅰ-3)。さっきの印象とちょっと違っていると思います。この橋は石材を高欄にルーバー状に取り付けたデザインで、橋のデザインというよりは橋自体はフィックスされていましたので、高欄のデザインなのかもしれません。ですから橋の本質的な意味での、本体のデザインというよりも高欄でどう風景を創っていくかという答えの一つだと思います。この写真も見ておいてください。

まず万橋の概要ですが、なぜ架け替えるのかということから始めると、まずもともとは昭和57年の長崎大水害というのがあ

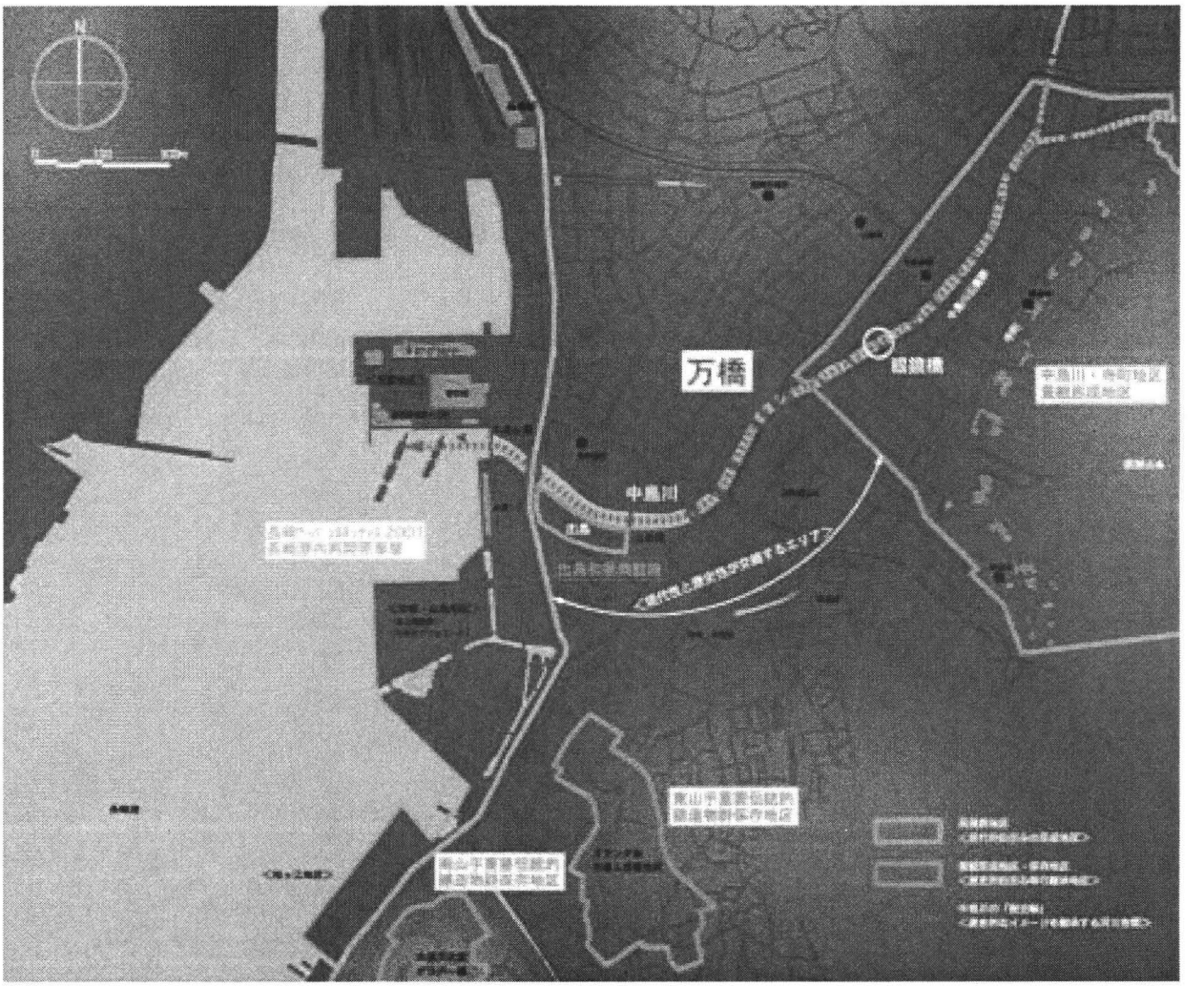


Ⅰ-4　眼鏡橋



Ⅰ-5　袋橋

りまして、この写真がそうなのですが(Ⅰ-4)、上流にあった眼鏡橋とか石橋群がほとんど流されました。実はそのとき私は高校1年生で長崎にいまして、この水害を体験しております。幸い山の上にいたのでラジオで聞いていると、車が流れているとかなんだと言っていまして状況はよくわからなかったのですが、翌日か翌々日に下におりてみると惨憺たる状況で、家はつぶれているわ、車はひっくり返っているわ、街はこういう状況だわ、本当に水の力はすごいなと思いました。で、この写真で非常に気になるのは眼鏡橋なのですが、流されてはいるのですがアーチの部分はしっかり残っているというこの橋の力強さ、こちらもそうですが(Ⅰ-5)、一つ手前の袋橋だと思うのですがアーチの部分だけはしっかり残っていて、その上に積んである石はみんな流されてしまっている。そして、しかもその上(アーチの)を人が歩いているのですね、よくみると。おそらく渡らざるを得なかったのでしょうけれども、それでもしっかりもっているということはこの石橋の力というものはすごいなと感じました。



I-6

新しい万橋の概要ですけれども、構造形式は、洪水があってから非常に河川条件が厳しくなりまして、桁下にほとんど余裕がなくて上は車両が通る、もうこれはプレテンションのPCの単純桁しかないという状況、もちろん経済的な面も含めてこれは決まりという前提でデザインを始めました。橋長は23m、まあそんなに大きな橋ではありません。ここからこの万橋、先ほどお見せした2枚の写真に至るまでに僕がどのように考えたのか、ですから僕と違う考えの方もいらっしゃるかとは思いますが、どういうことを考えて作ったのかということをご説明したいと思います。

最初に、先ほどもちょっと申し上げましたが、長崎というところは非常に山が迫ってきていて土地があまりない所、もともと真ん中に中島川が流れていて川の周辺に人が住んでおり、川を水運に使用し、川から魚を上げたり物資を運んだり洗濯したりと、川の周辺で暮らしている人が多かったのですが、人口が増えるに連れてだんだん山の上に拡大していった街、つまり街の成り立ち自体がもともと市民の方の意識もそうなのですけれど、長崎といえば中島川という意識の強い街といえます。それで中島川というのが都市の軸として非常に重要だと考えました。

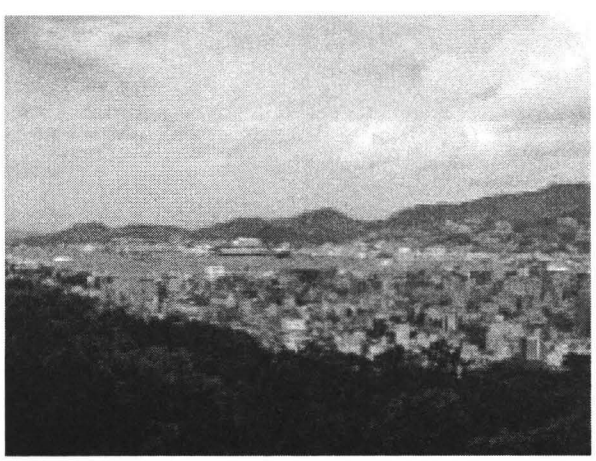
これが長崎の地図です(I-6)。これが長崎港です。昔は鶴の港などと呼ばれ非常に美しい港だったらしいのですが、一時期土地が少なくなったため倉庫や魚市場などが密集してあまり海が見えないところでした。この長崎港へ一本の川が流れ込んで、上流で二股に分かれていますが、これが中島川という川です。万橋がこの赤い丸のところです。眼鏡橋がどこに

あるかというと、ここですね。もう河口部がここ。で、実際ですね、ここに帯(スケール)がありますがこれで300mなのですね。万橋(を中心に)から大体1kmの円を描きますと、市街地がほとんど入ってしまうぐらいの大きさ。ですから眼鏡橋と万橋の距離は歩いて数分ぐらいの距離にあります。

この絵は山がどうなっているかという絵ですね。実際にはこの緑の部分、だいたいですけれどこういうところに山がありまして、平地といいましてもこれも斜面なのですが、平らな部分というと本当にこれだけしかありません。もともとこれぐらいのところから山のほうへ家が増えていき、おかげで長崎は1千万ドル(？)の夜景といわれるほど、山に張り付いた家の夜景が綺麗だといわれています。これはその様子を見たところです(Ⅰ-7)。海のほうから山を見たところなのですが、下に建物があって山に家が張り付いているという状況です。これは山の上から見た状況ですが(Ⅰ-8)、この平らな部分にこれだけ密集して建物が建っていてそれが港に面している状況です。



Ⅰ-7



Ⅰ-8

それともう一つ考えたのが多様な文化が密集した、この密集したというのが重要なのですが、街である、ということです。どういうことかといいますと昔、鎖国時代に一時期唯一外国に開放されていた出島というのが実はここにあります。このあたりはもう埋立地なのですね。で、今ここは出島の復元事業を行っているのですが、この出島の後ろに長崎県庁があります。昔の長崎奉行所、つまりここで出入りを管理していたということなのですね。それで出島があって、眼鏡橋など石橋群があって、上流には山があってお寺が並んでいる。寺町といって中国のお坊さんたちが作ったお寺が並んでいる。ここはその、緑で囲った部分が景観形成区域になって、ある程度の風景が守られている地域です。

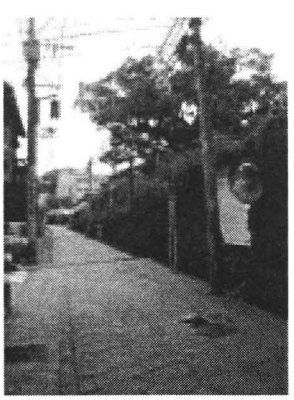
一方、東山手と南山手の伝建地区になりますけど、この地域も先ほどの地域の文化と異なった、こちら東山手にはオランダ坂があったり、外国人の居留地区があったり、こちら南山手には大浦天主堂があったり、グラバー邸があるような場所で、これも守られた地域です。

河口の部分はですね、先ほど申しました通り昔は倉庫とか魚市場とかが密集していて、とても市民が海に面して憩うような場所ではなかったのですけれども、長崎では「アーバンルネッサンス2001」というものを設定しましてここを再開発しようと、今ずいぶん新しい街になっています。

先ほど申し上げたこれが寺町、中島川の寺町景観形成地区です(Ⅰ-9)。長崎は石畳が非常に有名で、市民の方も「石」という材料に愛着を持っている。不思議なことに長崎では



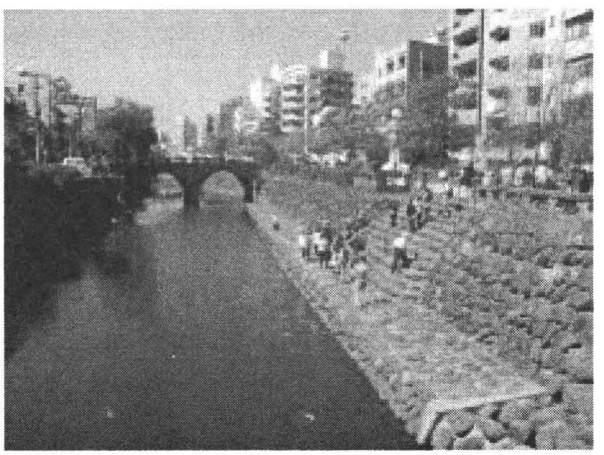
Ⅰ-9　興福寺



寺町景観形成地区の石畳

この「石」が斜めに貼ってあるのですね。いろんな説がありまして、道が非常に急であったり曲がっていたりするため、斜めに貼れば誤差がわかりにくいとか、坂が多いので目地に沿って水が下に流れてゆくとかいわれていますけれど、とにかく斜めに貼っている場所が非常に多い。この通りの右側の部分、ここは全部お寺です。興福寺とか崇福寺、崇福寺は国宝だと思うのですけど、そういうお寺も並んでいます。これは興福寺の本堂の写真ですね。

次に先ほどの石橋群があるところですね、万橋のちょっと上、これが眼鏡橋です（Ⅰ-10）。最初にお見せした万橋の場所とはずいぶん風景が違うと思うのですけど、眼鏡橋があって、全

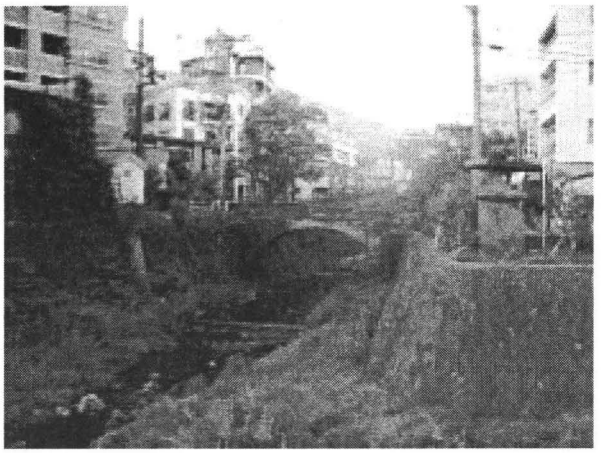


Ⅰ-10　眼鏡橋

部大きな石が積まれているのか貼られているのか、これも大水害の後に修復したところです。で、大水害の後河川を拡幅するはずなのですけど、やっぱり眼鏡橋というもの、河川を拡幅すると眼鏡橋がなくなってしまうので長崎はどういうことをしたかといいますと、眼鏡橋部分の河川幅を残したままで、実はここに公園があるのですけど、この下にバイパスが通っている。バイパスを通すことでこの眼鏡橋を保存したということです。実は川の沿岸には昔、家が建っていて、非常に水に近いところに人が住んでいたのですが、今は公園になっています。

これはちょっと上流にいくとある桃渓橋ですが（Ⅰ-11）、これは非常に美しい石橋で、これだけは流れなかったらしいのですね。小さな橋ですが非常にいい橋です。

？マークのついた写真があります（Ⅰ-12）。これは眼鏡橋の横の公園にある交番ですが、先ほど文化の位置



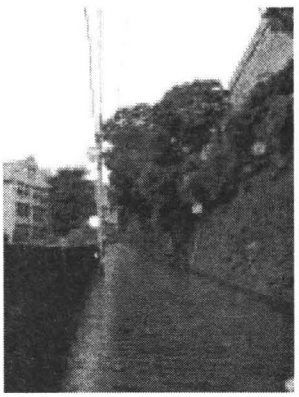
Ⅰ-11　桃渓橋



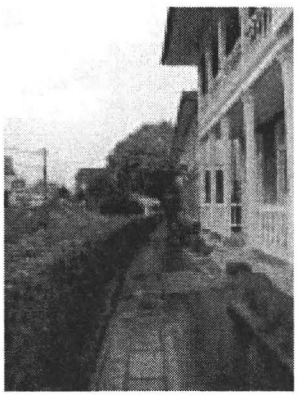
Ⅰ-12

が中国文化にあって、こちらに西洋の文化のグラバー邸があってと申しましたが、この地域は石橋群とかお寺があるとか中国文化の強い地域なのになぜかグラバー邸風の交番が建っている。これが本当に長崎らしさを表現した建物かというと、これは違うと思うのですね。実は全国津々浦々こういうことが非常に多くて、その場所がどういう場所なのかきちんと考えずに長崎らしいものを持ってくるとかですね、例えば桑名であれば、桑名市らしいものをどこかに持ってくるとか、そういう安易なことが行われていて疑問に思っております。

次ですね、東山手と南山手の伝建地区について簡単に紹介いたします。ちょっと観光案内みたいになっていますがしばらく我慢ください。最後がありますので。これは東山手の伝建地区ですが、これがオランダ坂です（Ⅰ-13）。ちょうど雨が降っていて石が輝いて綺麗な時でした。そしてこれが外国人の



I-13　オランダ坂

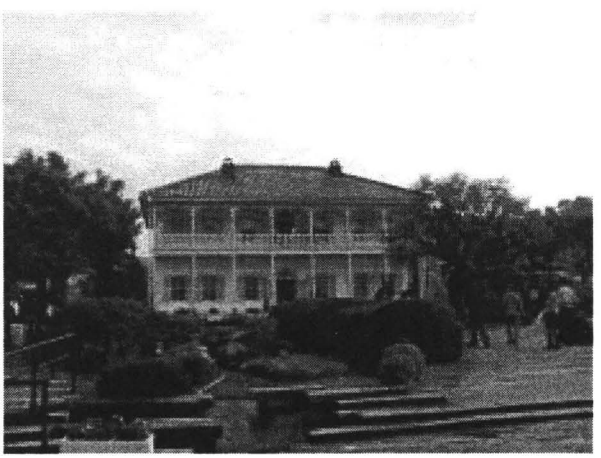


外国人居留地区



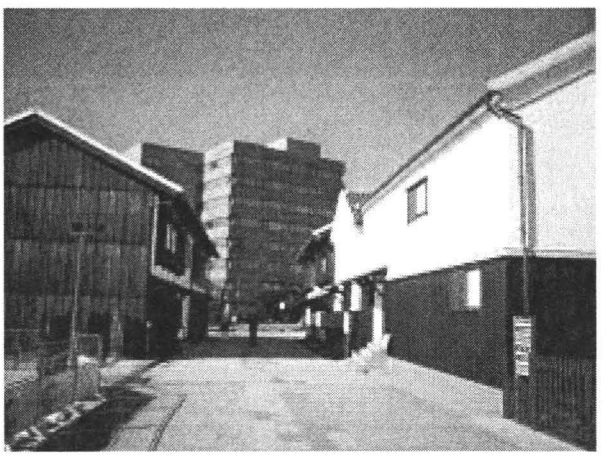
大浦天主堂

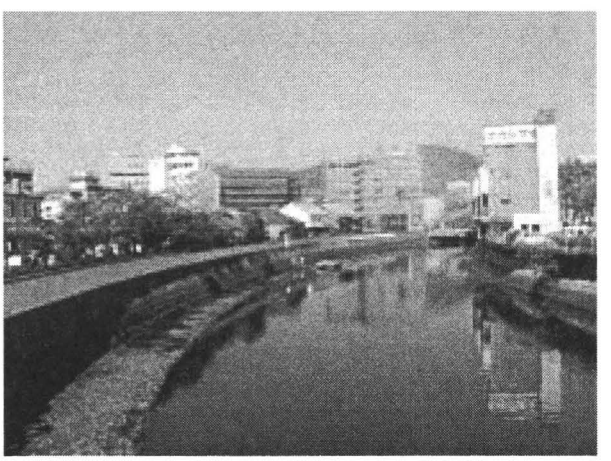
居留地区ですね。小高い丘の上で風景のいい所にこういう洋館が建っていたというところです。次にこの南山手(I-14)。南山手のほうは、これが大浦天主堂ですね。こちらがグラバー邸の中にある三菱のドックハウスという建物ですね。先ほどの石橋群のところとか、寺町とは全然違う風景が、1km、2kmの中にこれだけ保存されているという、長崎は非常に不思議な場所です。



I-14　ドックハウス

次に出島のところですね。出島は万橋のところから300m下流に歩くともうあります。出島に入ると、今、長崎市のほうでオランダ商館跡の復元事業をやっておりまして、一つ一つ発掘をしてその上に建物を復元している。この壁が出島の内側の

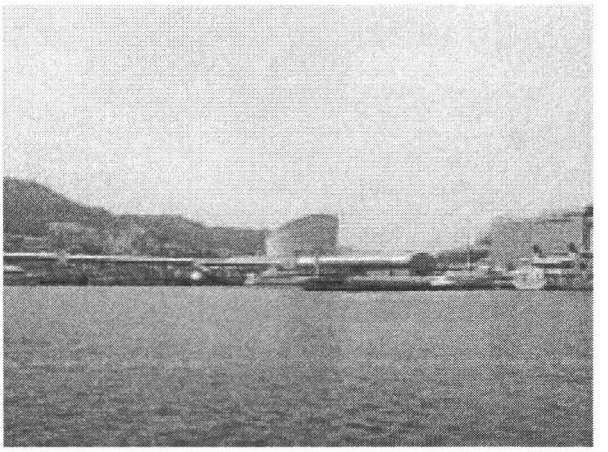




I-15

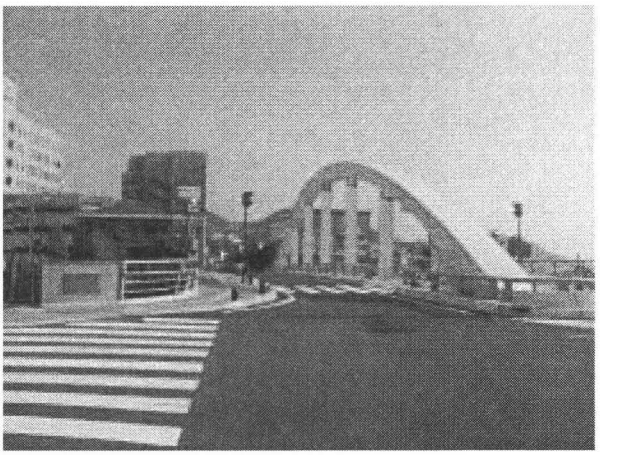
壁です(I-15)。こちら側に長崎奉行があって、県庁がある。今ここに橋は架かっていませんが昔は架かっていて、ここで出入りをチェックしていたということです。で、この橋を復元するという構想もあるようです。さきほど外側が埋め立てられたと申しましたが、今、外側のお堀を掘っていまして、何とか出島の形が見えるようにしようということを一生懸命やっておられるようです。

最後にここですね、先ほどの港の部分の「アーバンルネッサンス2001」という構想に基づく再開発事業です(I-16)。この部分は昔誰も立ち寄らなかった場所なのですけど、今はですね、これ高松 伸が設計した客船ターミナルがあるとか、ここにオレンジ色の玉が見えますけど、外国人、名前忘れましたけど、倉庫の上に覆いを作って、決して評判は良くないのですけれど。あるいは大きなデパートができたり、あるいはここにヨットハーバーができて出島ワーフという飲食の、フィッシャーマンズワ

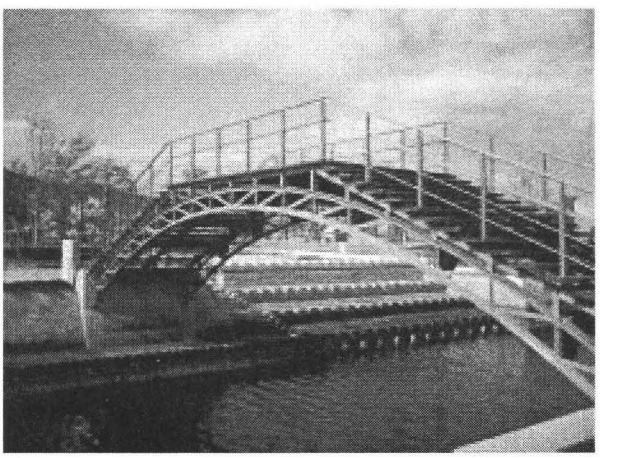


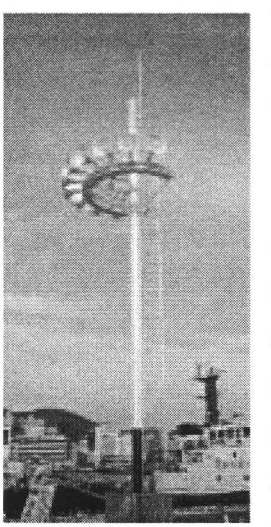


I-16　出島ワーフ



I-17　大波止橋





I-18

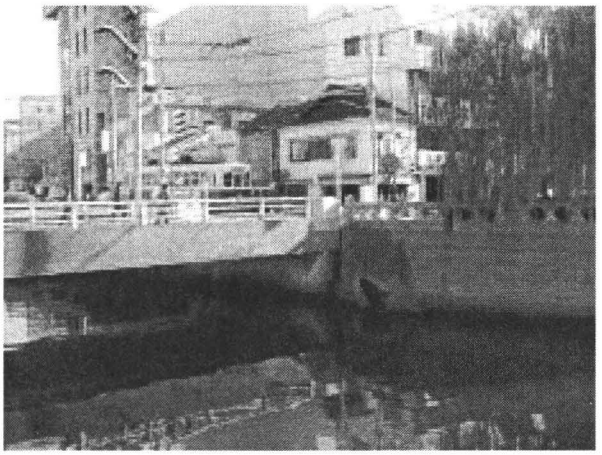
ーフみたいなものができたり、あるいはこの橋は(Ⅰ-17)先ほどの中島川の一番河口部に架かる大波止橋、これは篠原先生もかかわられた橋なのですが、眼鏡橋と同じ河川ながら非常に現代的な橋が架かっている。この二つはですね、今、港の部分で大きな公園を作っていますが、その中に運河がありまして橋をいくつか作っています。そこにヨットハーバーがありますからスピーカーをつけなければならないということで、スピーカーをつけるポストが建っていて、実はこの二つは私が今もかかわっているプロジェクトなのですけども、私が設計したものです(Ⅰ-18)。こういうふうに港湾部というものは上流部と違って全く新しい、しかも計画的に作られた街ができつつあるという状況です。

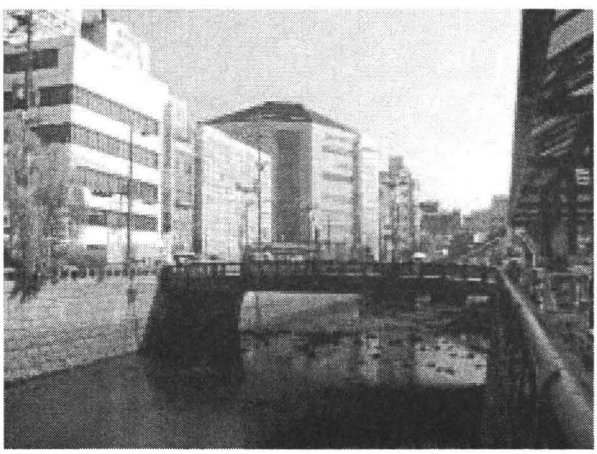
なんでここまでしつこく観光案内をしているかといいますと、実はこういうところを、長崎というのはいろんな新しいものがあり古いものがあり、中国あり日本あり、オランダありみたいなところで、この万橋を考える上でこれらをどういうふうに僕らが将来考えていくのだろう、ということで一つ一つ丁寧に紹介しました。

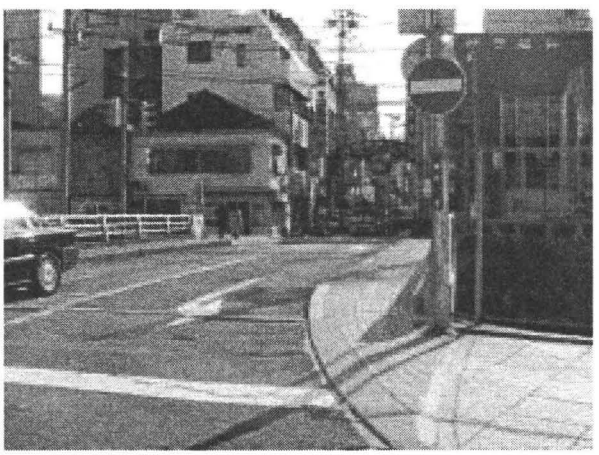
では次に、万橋の付近がどうなっているのか。この部分は、例えば景観形成地区であるとか伝建地区であるとか、復元事業をしているとか再開発がかかっているというものからは全く抜けている場所で、じゃあここはどういう場所なのだろうということを見ていきます。

これはですね(Ⅰ-19)、他の都市と全くかわらず単に経済の発展に伴ってどんどん拡大していった街です。本当に繁華









I -19

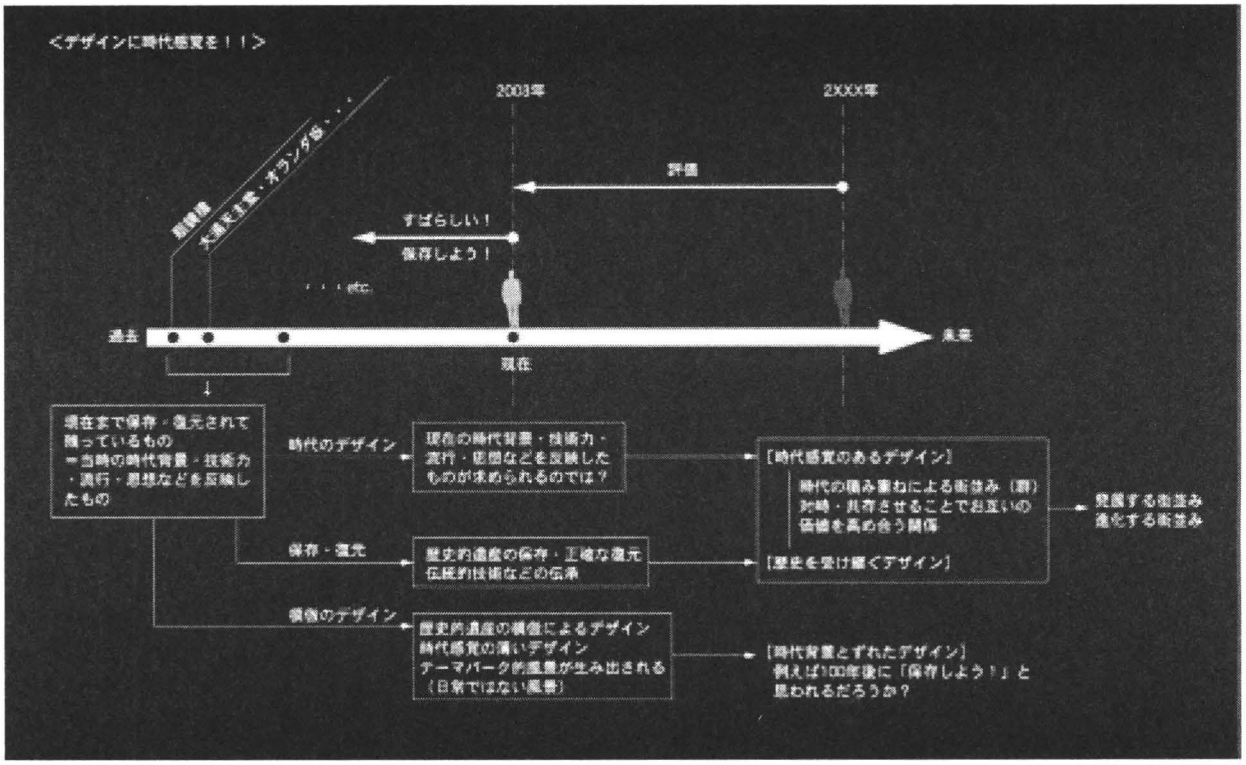
I -20　旧万橋

街。ここが中島川ですが商業ビルが建っていたりするような環境です。で、ここのあたりにあるのが万橋ですね。こういう市街地のなかに万橋があります。これが昔の万橋の写真です(Ⅰ-20)。単純なコンクリートの桁橋で、地覆がかぶせてあってコンクリートのモルタルの面がべとっと見えていて、何てことない既製品の高欄がついている。歩道幅員も狭いというような状況で架け替えをするということになっていました。

次ですね、現在いろんな文化が2km四方に散らばっていて、その、中島川というのはさっき都市軸といって市民の象徴のような川だと申しましたけど、実はいろんな文化の中を、いろんな時代のなかを貫いてゆくものなのですね。よくいろんな都市でいいますけど都市計画でここからは商業地域で、ここからはなんとかで、とわけていっても川は関係なくそれらを貫いていくと。しかも長崎の場合はそれがたった2km四方の中でいろんな文化が展開する。ということでその歴史軸・中島川という中で万橋がどういう展開を見せたらいいのか、と私は非常に悩みました。

ここに青い線(Ⅰ-6)があるのですが、上流からいくと寺町の影響を受けながら石橋群を通って、眼鏡橋を通り、ここの線を越えるとあっという間に市街地になってしまうのですね。ころっと風景が変わる。で、すぐ万橋があって、もう典型的な市街地があって、しばらくすると出島がでてきてしまう。出島を過ぎるとすぐ現代の新しい街が出てくる。という中でこの万橋の場所は非常に扱いが難しい。川の流れに沿ってゆくと江戸期の石橋群からどんどん現代に近づいていって、最後は計画的な現代に向かってゆくという非常に難しいところだと感じました。

それで考えたのは多分この桑名と一緒で、万橋に与えられた課題は歴史をどういうふうに受け継ぐのだろう、これだけたくさん散らばっている歴史をどういうふうに受け継ぐのか。そしてさらに、ここが重要なのですけど、その上で現代をどういうふう



I-21

に表現するか、ということですね。われわれは歴史を受け継ぐ、歴史を考慮してものを作るということを、どのような作品を見ても行っている。もちろんその表現方法は異なるのですが、重要なことは僕らがエンジニアとして現代に生きている、しかも現代の技術で飯を食べている、ということで、その歴史の流れの中にどのようにして現代を表現するのかということをしっかり考えるべきだろう、というのが万橋に与えられた課題だと捉えております。

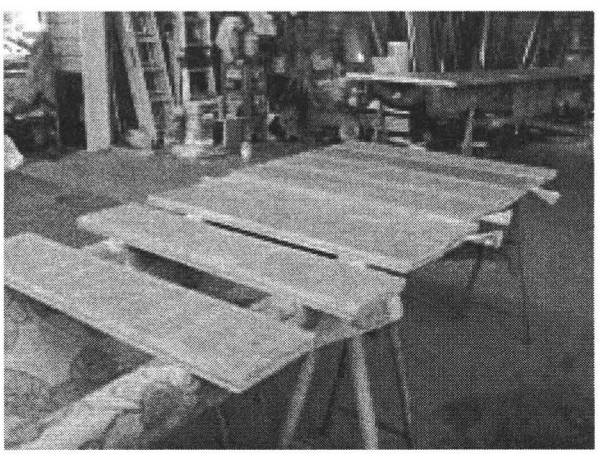
これ、僕がいろんなところで使う絵なのですが(Ⅰ-21)、今現在、私たちはここに立っているわけですね、で、これが過去から未来への時間の流れ、長崎で言えば眼鏡橋があったり、大浦天主堂ができたり、オランダ坂ができたり、桑名で言えば諸戸邸ができたり、というのがあって、今の時代から見てすばらしいな、保存しようと思っているわけなのですね。で、保存しよう、すばらしいと思っているものはどういうものかというと、当時の技術とか思想を反映したものが多い。じゃあ僕らが現在何を作るかというと、この歴史というものをきちんと保存したうえで未来に立った時に、今作るものが評価されるわけです。評価されることを踏まえ、今どう考え振舞えばいいのか、ということをしっかり考えてものを作らなければならない、といつも考えるようにしています。僕はそのデザインの仕方を「時代のデザイン」と呼んでいて、現代の時代背景とか技術力とか、また流行や思想というものもあるだろうし、それらを反映したものが求められるのではと思うのですね。

一方で、例えば諸戸邸を保存しようとかいう場合、そういうものは適当に保存するのではなくて、しっかり図面とか調査をしたうえで、正確な復元なり保存するというのが前提ですね。で、もうひとつ街中でよく見受けられるのが、「模倣のデザイン」と呼んでいるのですけれど、歴史的な遺産があるからそれをモチーフにして作ろうとか、それをレリーフにしてどこかに貼ろうとかですね、それに似た建物を作ろうとかそういうデザインが歴史を考える際に非常に流行しているというか横行している。実は簡単なのですね、真似すればいいので。このデザインは非常に危険なものでして、なぜかというとそういうものを大量に作るとディズニーランドになってしまうのですね。要するにテーマパーク。日常その場所になかったものが真似されて作られて、なんとなく雰囲気があり、ぱっと見た目行ったような気になるけれど、実は本物ではなく妙に軽いもの、そういうものが大量に

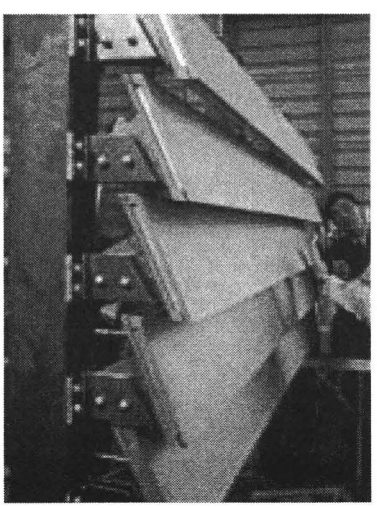
作られると本当に街がテーマパークになってしまう。そういうものはおそらく未来において見られたときに、なんでその時代にこのようなものが作られたのだろう、という評価を受けてしまうのではないかと思うのですね。それがもし本当にディズニーランドでテーマパークならいいのですが、街中でやるのは非常に危険であると考えています。

僕の考える理想的なまちのあり方というのは、こういう「時代のデザイン」、要するに当時の技術力を表したものと、正確に復元して保存されたものの二つが重なり合ってまちが発展してゆく、進化してゆく、それが理想的なまちだと思っています。

万橋はそういう考えで作ったのですが、竣工の写真に行く前に、これ施工中の写真ですが、メーカーの方もいらっしゃると思いますのでどういうふうに作ったのかということですね、まずここに板がたくさん並んでいますが(Ⅰ-22)、これは石材で



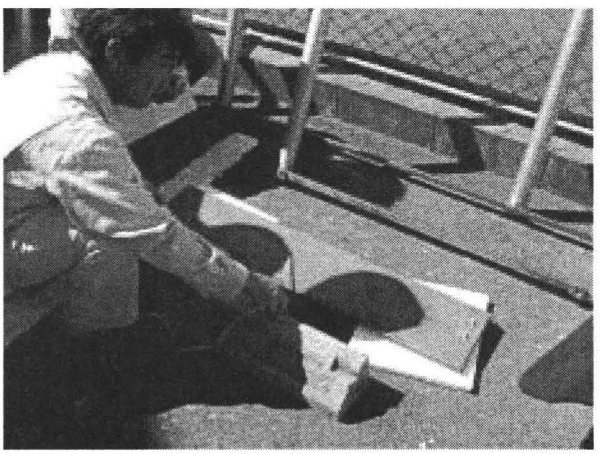
Ⅰ-22



Ⅰ-23

すね。ただし高欄に使いますので、割れて落ちないように金属板がサンドイッチされています。金属板を支柱にボルトで止めて、石材がルーバー状として使用されるというものです。下が、実際に建ったときにどういう感じなのだろうということを工場で仮組みしてチェックしている写真です(Ⅰ-23)。実はこの高欄は製作が非常に難しくて、支柱の精度だとかルーバーの角度を調整するしくみであるとか、それらを現場に取り付けて精度を出すとかですね、例えば真ん中に目地がありますが、この目地の幅をどうやって全部同じにするかとか非常に細かい調整が必要だった橋でした。

最後にこの写真はですね(Ⅰ-24)、真夏だったと思うので



Ⅰ-24

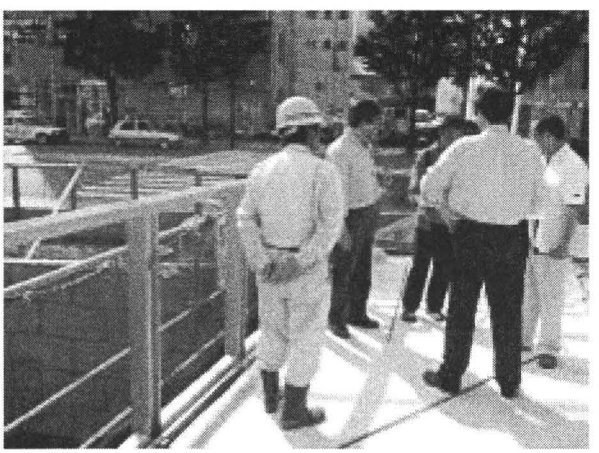
すけれど、石の間に金属板を挟んでいますので熱せられた時の膨張率が違う。そうすると引っ張られて石が割れたりする可能性もありますので、これ実際に温度を測っているところです。で、実際に温度を測って中の金属がどれぐらい膨張するのかというのを計算して、その膨張率の差によって接着剤の仕様を決めるという段取りを踏んでこの高欄は作ってあります。

これは(Ⅰ-25)は現地ですね、支柱をちょうど建て終わった

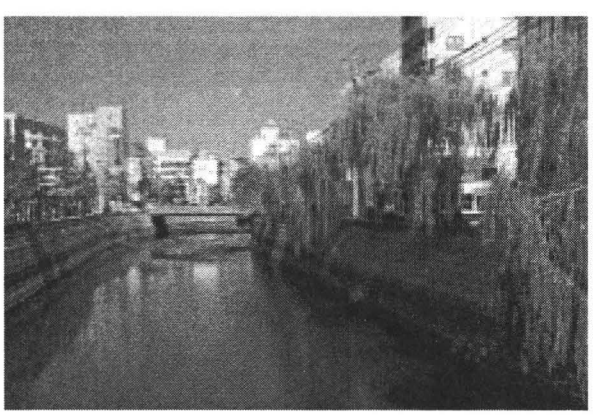


Ⅰ-25

ところなのですけど、この支柱を正確に建てないと工場で作ってくる石の材料がぴたっと付かないという、非常に精度を要求された建て方でした。支柱がきちんと建ってくれ、あとの取り付けのところの調整誤差はとっていたので最終的にはきれいに付きました。これは現場で打ち合わせをしているところで(Ⅰ-26)、これは篠原先生、これは僕、ですね。非常に暑い中で打ち合わせをしたような記憶があります。



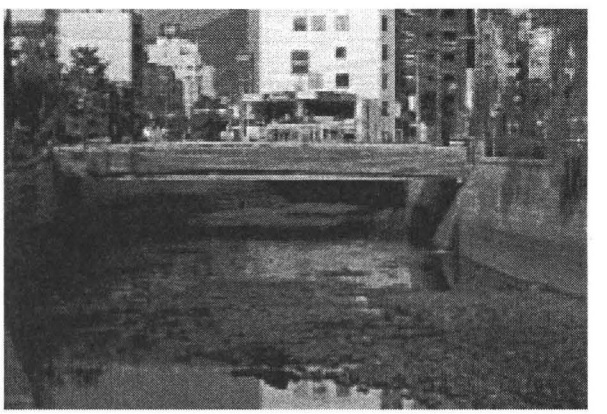
Ⅰ-26



Ⅰ-27

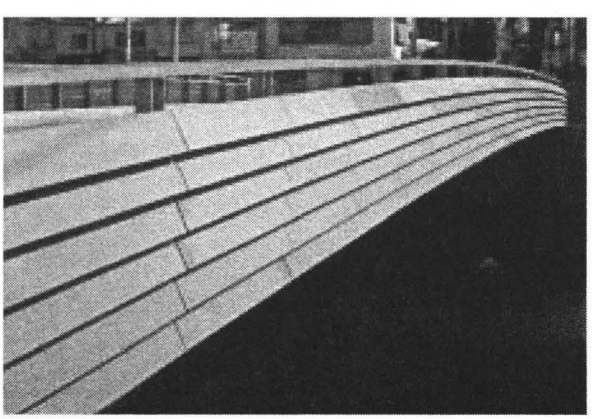
竣工の写真です(Ⅰ-27)。さきほどこの万橋について歴史を受け継ぐ、そして現代をどう表現するかということを申しあげましたが、この中島川というのは市民の方がどう思っているかというと、イメージとしては眼鏡橋にあるような石貼りや石の橋から、石という材料が市民のなかで圧倒的な意識として存在し、眼鏡橋の護岸をするのは石だろうとか、橋を架けるのなら石橋だろうということを県のほうに訴えていたようです。中島川の風景とこの橋をどうやって調和させるのか、ちょっと遠めから見たときに、やっぱりこの石の素材を使ったことが緑であるとか河川風景とかに落ち着いて調和してくれた気がしています。遠めにみるとルーバーの線はあまり見えなくて、石の色とか雰囲気がみえる程度なので、素材の雰囲気と風景が調和する効果があったということですね。ある意味中島川の歴史というものに橋が調和したのかな、というふうに感じています。

近づいた写真です(Ⅰ-28)。だんだん石のルーバーの線



Ⅰ-28

が見えてくる。そうすると、なにか遠くでは落ち着いた風景だったのが橋の形がちょっとはっきり見えてくる。線がはっきり見えてきて、これはどういう橋なのか、という気になってくる。ここでも素材に石を使ったことで、今のところあまりきれいな川でないのですが、周りの風景とは調和しているような気がします。ただ周りが市街化しているところで残念なのですけれど、実はここにレンガの建物があるのですが、ここから向こうは先ほど申し上げた景観形成地区で、これも景観条例に従って積まれたレンガだそうです。これは立体駐車場です。ものすごいお金をか



Ⅰ-29

けて立体駐車場を作っています。

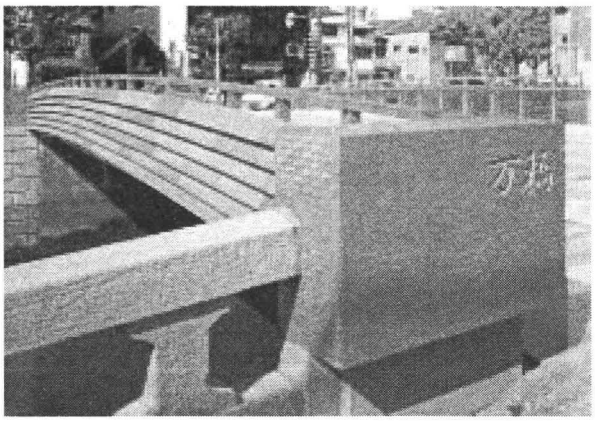
もっと近づくと(Ⅰ-29)、はっきり石のルーバーの線、太陽の光によって影の位置が変わりきれいなエッジが見える、石という素材で風景との調和をとりながら近づくと非常に現代的な雰囲気がする、こういう表現を今回探していたのですね。先ほど最初に申し上げた歴史をいかに捉えるか、それから現代をどう表現するか、私の回答としては素材によって風景との調和をとり、歴史的な雰囲気をとったうえで、近づくと現代的である、という表現でこの橋を考えたわけです。

これ、反対側なのですけれども(Ⅰ-30)、太陽の向きが逆



Ⅰ-30

で影が長くなるとこういう表情になります。残念なことにこの部分は護岸がすでにできあがっていて、コンクリートの化粧型枠で作られていました。ちょっと上流からは石の護岸なのですけど、景観形成地区を外れただけで護岸を変えてしまうという行政のやり方は、河川というものを地域でわけてしまっている。一本の流れる線を軸として捉えないで地域で分断して河川を考えているのですね。ここは石でやるなら石、というふうに本物の石でやってほしかったなあと私は思っています。

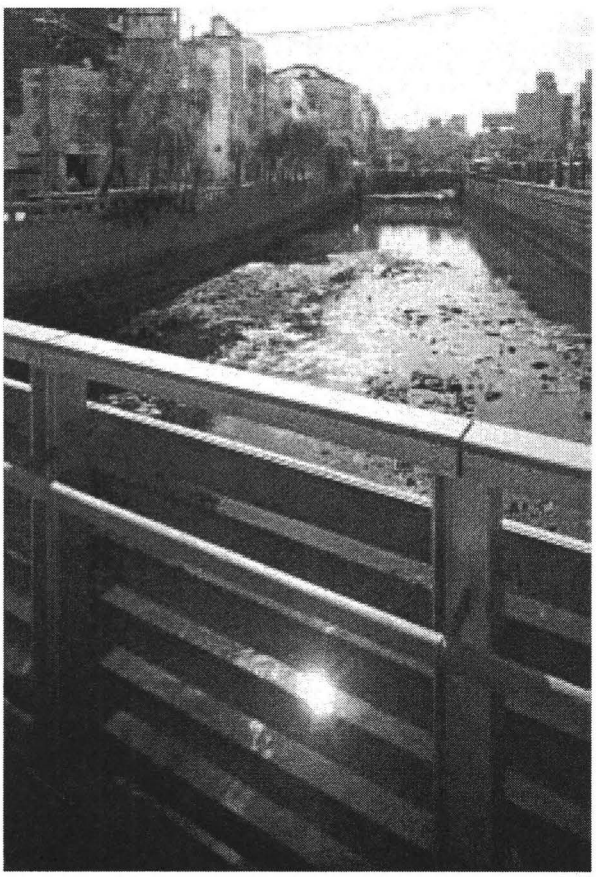


Ⅰ-31

これは親柱です(Ⅰ-31)。ちょっと見えにくいと思いますけど、ベースにたくさんの柄がついています。この親柱は中国産の安山岩です。コンクリートにみたいな石なのですけど一応、石です。実はこの柄というのが「鯨」なのですね。鯨の柄といっても本物の鯨っぽく描いたのではなくて、我々のほうでちょっとグラフィカルに抽象化して、それを模様にしたというものです。で、なんで鯨なのだ、というとこれはちょっと大変な目に遭いまして、親柱に、例えば地元の名産を入れたり名物を入れてくれとかいう話はよくあって、安易にそのままをレリーフにして入れていたりするという傾向がよくあります。で、親柱になぜそんなものを入れないといけないのか、という思いもありますし、あと親柱というものが本来その地域だけのものではないと考えて、安易に入れてしまうのは良くないというということで、当初は入れることに大反対したのですね。篠原先生とともに。県の方にもお願いして自治会に対し、入れたくない旨申し上げたのですが、何回言ってもだめなのですね。最後は橋の工事を中止しろ、というところまでいきまして、私のほうでお願いして自治会のほうへ出向き説明を聞きました。それで私が提案したのが鯨を簡単に入れてしまうのではなくて、もっと親柱と一体となった鯨の柄というものを考えましょう、と柄をベースに入れました。意外と柄自体が目立つというより、親柱のテクスチャーとなってまあよかったかなと思っています。ただしですね、この親柱をみると実は入っているのですね、鯨の絵が。で、当初本当に入れたくなかったのですが、最後には小さくてもいいから入れてくれということで入れました。ただ私たちも精一杯の抵抗をして彫っただけ、将来おそらく風化してぼんやりして、なんか描

いてあるなという雰囲気になってくるのだろうと思いますけど、まあその程度が将来的にはいいのかなということで何とかここまでで抑えたと、しかも手前側の商店街の方々だったので、向こう側には入れなくて済んだという橋です。非常にこれは苦労しました。

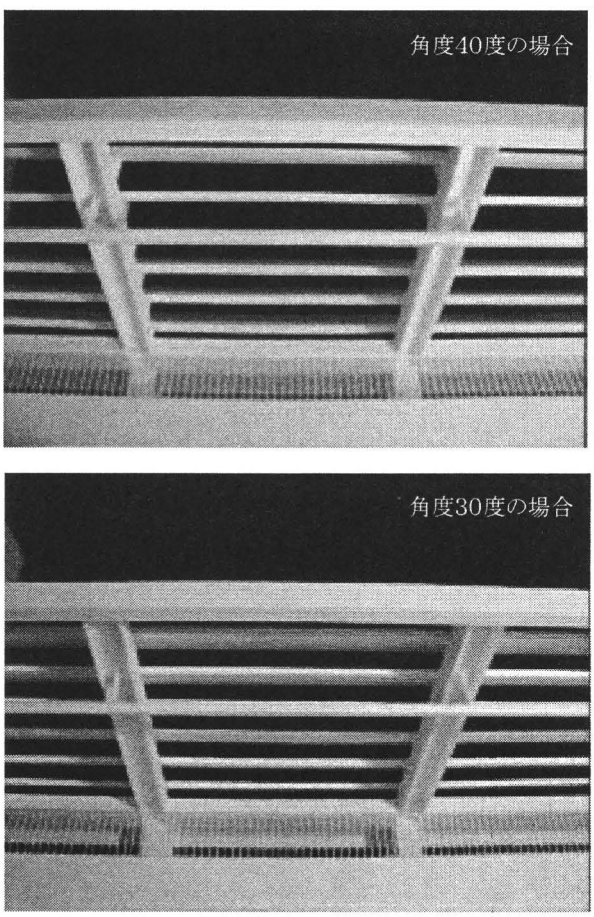
これが私の一番好きな写真です(Ⅰ-32)。ルーバーにした



Ⅰ-32

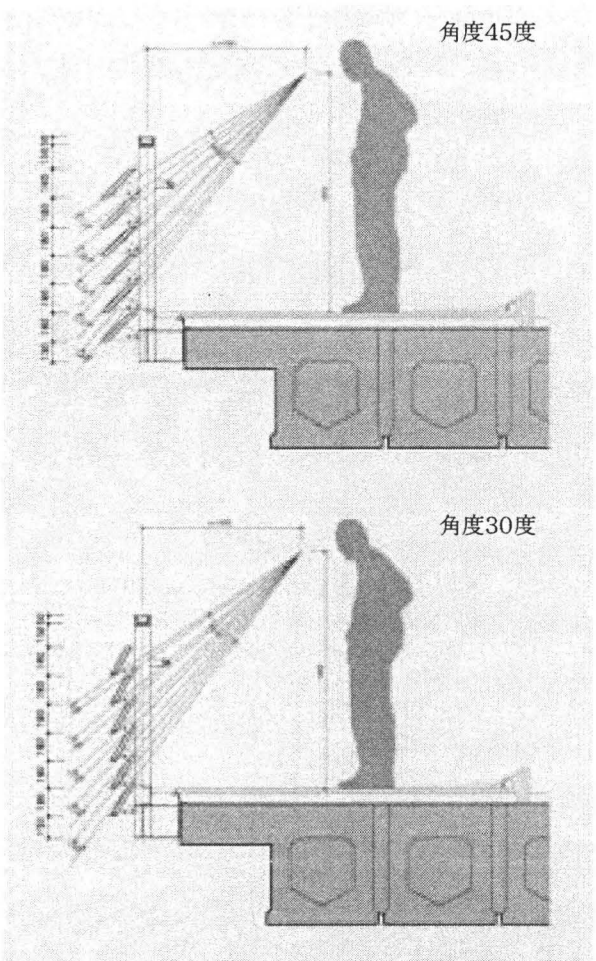
というのは、一つは先ほど申し上げた現代的な表現をしようということもありましたし、もう一つは歩行者からみると水の方向に視線が向くのですね。それから意外と面になっているから見えないかなって思うのですけど、板が斜めになっているだけで目が必然的に下に向いてしまう。市民が水を意識するような橋にしようということを考えました。気を使ったのはルーバーの角度です。水の輝きがきれいに見えるにはどうしたらいいのだろう、ということで太陽が当たったときに石の向こう側の、反射して光っているところが見えないことなのですね。要するに内側から見ると全部石が影になっている。で、水が輝いているというルーバーの角度を探そうということで検討をしました。実際写真でもわかるように、石は全部バックライトになっています。例えば日本家屋はそういう効果があるのですね。お庭がきれいに見えるよう室内が非常に暗く、外をみると緑がきれいに見える。これは中が暗く、また縁取りが影になって暗いからです。その効果を考えて石の輝く面が見えないようにしようと考えたわけです。

これがルーバー検討中の写真です(Ⅰ-33)。45度と30度



Ⅰ-33

で試しに比較してみました。45度の場合は板が立ちますので、歩いてみて石がたくさん光って見えるのですね。石も水も光って、水が美しく見えない。30度の場合は実はほとんど輝いている面が見えなくて、30cmぐらい近づかないと見えない状況で、ほとんどが影になる。ただし45度の場合は開口率が多くて水はたくさん見えるのですけど、そういう効果よりも絞ったうえできちんと水が見えるほうを選ぼうということで30度を選択しま

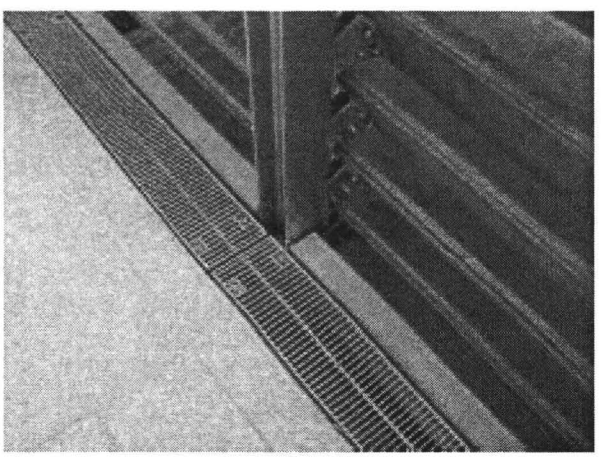


I -34

した。

この図面は(Ⅰ-34)、ルーバーに対して確か1mの位置からの目線をとって、ルーバーのハイライト面がどのように見えるかということを検討したものです。上が45度で下が30度のルーバーです。1mの位置から25cmピッチで少しずつルーバーから離れていったら開口率がどうなるかということを確認したのですが、面白いことに45度は橋の真ん中付近が良く見えて、近づくと見えなくなるのですね。で、30度のほうは近づくほど見えるようになる。もちろん開口率は45度のほうが多いのですが、水がきれいに見えるのは30度のほうだろうということになりました。

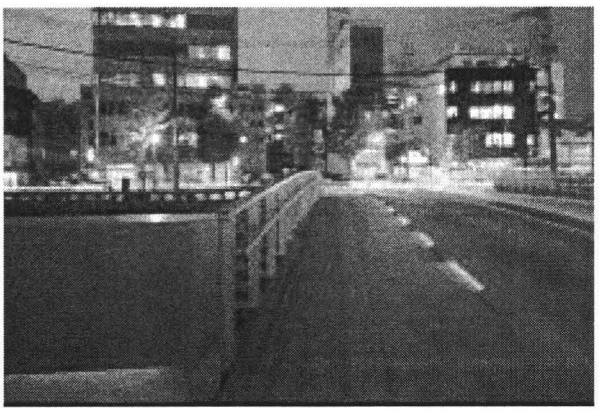
もうひとつここで変わった点なのですが、先ほども小野寺さんと街中で話していたのですが、実はこの橋、普通付いている地覆というものがありません。当初、私は設計事務所にいたもので、何で橋に地覆がいるのだろうと疑問に思っていまして、今回のプロジェクトでコンサルの担当者に聞いてみたのです。ところが高欄を付けるためのものだと言われて明確な回答がなく、実はいままで付けていたからなんとなく習慣で付けているというのが非常に多いということがわかったのです。じゃあ地覆の意味とはなんだろうと考えると、まず高欄に車がぶつかって壊れたときに、地覆は壊れるけれど橋本体は壊れないように付けているとか、物を落としたときに転がらないようにとか答えとしてはそのくらいなのですね。じゃあその二つのことぐらいを満たせば別になくてもいいだろうということでこうしています。実際にはちょっと立ち上がっているのですが。物を落としても止



I -35

まるぐらいの高さは立ち上がっています。水は側溝で全部下に落としています(Ⅰ-35)。そこから支柱が立ち上がってルーバーが付いている、という状況です。ここにボルトがたくさん付いていますけれど、このボルトで最後の調整をしたり、ルーズになっていて動きに対して追随したりという役割を担っています。

もう一つこの橋で工夫したのは、歩道と車道はユニバーサルデザインを考えてフラットタイプになっています(Ⅰ-36)。通常段差がつけてあって上らなければならないのですが、完全にフラットタイプ。その代わり歩車境界に縁石を車止めとして付けなければならないのですが、その車止めの断面を三角形の形にしています。そしてその中に照明を組み込んでいる。なんで照明を組み込むかといいますと、夜暗いからというのもありますし、この先がずうっと商店街なので、せっかく橋を作るの



I -36

なら商店街の人のために演出をしてあげようということも考えました。この照明はこのとき初めて出たばっかりだったのかな、防水型のLEDです。小さな電球がたくさん並んでいます。いままで防水型がなかったのですが、防水のシリコンキャップが付いて、こういう低いところで水がかかるところでも使える防水型のLEDを使っています。この親柱は浮いているのですがその下にも入れていて、橋詰と歩道の沿道を明るく照らしてあげるようにしています。

この万橋の文章は何回も書いていますが、そのなかで僕が、今日のまとめですね、言いたかったことはですね、最終的に僕は橋の写真を見せて橋という物の形なり姿について語りましたけれど、実は橋のデザインは、デザインとはそういうものなのでしょうけれど、物は美しいだけでは成り立たないということなのですね。どういうことかと言うと、今日説明しましたようにまず付ける場所が将来どういうかたちになるのか、どういう場所になるのかということを考えて、その未来に立った時から現代と過去をもう一度見つめなおして、現代の答えを出すという作業じゃないかというのが今回学んだことです。で、時を経て受け継がれてきた歴史的環境に対して現代をどういう風に表現するのか、どう捉えるのか、というのが歴史の流れから見ると僕らにとって重要なことではないか、そして重要なことが「現代の痕跡を残すこと」、必ず過去と未来を結ぶ時間軸の上に落とさなければならない、全然違うところに現代を落としてもそれは将来につながらない。ですから未来を睨んでその時間軸上に現代の痕跡を残す。それが我々、皆さんもそうでしょうけれど、エンジニアの仕事ではないか、とこのプロジェクトを通じて感じました。

以上で説明を終わらせていただきます。ありがとうございました。

篠原氏　どうもありがとうございました。せっかくのチャンスですので、聞きたいことがございましたら手をあげていただいて。いかがでしょうか。

それでは僕のほうから一つ。あの万橋は石をスライスして高欄のルーバーに使って、あるいは親柱のところに、あなたの説明ではちょっとわからなかったと思いますけど、たもとの街は万屋町という町で、長崎に「おくんち」というお祭りがあって万屋町のシンボルマークがちょっとなまずみたいな形をした鯨が潮を吹いている絵柄なのですね。それを入れてくれという話しで、それで何とか抵抗して最後はテクスチャーみたいにしようとしたのですけど、まあ、そういう意味でいろいろデザイン的な苦労とか製作上の苦労とかがあったのですけど、今日メーカーの方も来ておられるので、多分石をスライスしてね、先ほどちょっと説明ありましたけど真ん中に金属板を挟んでボルトで止めたというその辺の施工とかね、石の加工と金属板との組み合わせとかね、その辺はちょっと苦労があったのではないかと思うのですが、いかがですか。

西村氏　あの、先ほどもちょっと説明しましたけれど、当初本当に石だけでやろうと思っていたのですが、やっぱり万が一割れたたらスカスカになってしまい人が落ちてしまう。だから割れても人が落ちないように金属板を間に挟んでくれって話で指示がありまして、確かにそうだなということでやってきたのですが、そのときに発生するのが石と金属の収縮率の違い。暖まったり冷めたりした時に伸び縮みが違うということが非常に難しくて、それに追随するには接着剤の材質によって性能が変わってくる。で、そのためにはどれくらい伸縮が違うのかというのを測らなければならなくて、真夏の中温度を測ってですね、それに基づいて金属の伸び、長さに対して何ミリ伸びるか。石はほとんど伸びないですよね、それに対して接着剤が追随できるか、というところを狙って接着剤を探す。しかも接着剤もベタ貼りではなくて、点付けで付けなければならないとかですね、そういうことを非常に苦労しました。

あとはですね、組みあがったパネルを取り付けるのに、今度

ボルトで締めるのですが、ところが逃げを大きくしようと思うとボルトがたくさん必要になってしまう。最初考えたときはボルトだらけで困ったなあと。今でも結構ありますけどずいぶん減ったほうなのですね。いかに精度よく建てることに力を注いで、逃げを取らずにつけるか、要するに物を正確に、精度よく作らないとボルトの数は減らない訳ですね。それを努力してなるべく減らしてもらったというのがこの橋です。

実は仮組みをした時に、仮組の時の鉄は錆びたままなのですが、その状態でみると不安になりまして、僕は橋が出来上がるまで実は非常に心配でした。でも出来てみると、これアルミ亜鉛溶射のめっきですが、艶なしのシルバーという感じで意外と目立たない。さらによかったのは内側に木の手摺を付けたのですが、これで柔らかい感じが出せたというのがよかったかなと。これやってなかったらヤバかったなとちょっと感じていましたが、まあ結果として、僕の感想としては非常に難しい長崎の歴史のなかに、歴史を受け継ぎ現代を表現するテーマに対して、自分で言うのも何なんですが、いいところにいい感じでものを落とせたなという、新しいけど古い感じもするという感覚を出せたかなという気がしています。長崎に行かれたらぜひ見ていただければと思います。

篠原氏　わかりました。何かございますか？ありませんか。せっかくですから。

あの、先ほど専務理事の岩田さんが言われたのであまり言う必要がないかなと思って言わなかったのですが、このシンポジウムは三回目でして、もともと始めた趣旨は、メーカーの方もおられると思いますが、メーカーの方は何となくこういうのがいいかなと思われて、会社の中にいるデザイナーとか外にいるデザイナーと組んで製品を作って市場に出すと。ところが実際デザインをやっている小野寺さんとか南雲さんとかそういう人から見ると、メーカーの人はいいと思ってデザインしているのだけれども、どうも実はあまりよくないんじゃないか、と思っている。しかし従来のデザイナーだとあまりメーカーと組んでやっていないものですから、自分のデザインがなかなか思うように実際のものに反映しないという事情があって、まあ簡単に言いますと、いいものを作っていくためにはデザイナーはデザイナー、メーカーはメーカーとバラバラにやるのではなくて、メーカーの人とデザインの人がデザインをする段階からチームワークを組んでいかないといいものはできないのではないか、それに後で桑名の話でててくると思いますが、設計の前の段階ですね、計画の段階からやっていかなければならない。それについて言うと大抵のまちづくりでもそうなのですけど、まあ橋もそうなのですけど、計画する人は計画する人、計画が終わると今度は設計へ受け継いで計画の人はあまりタッチしない。設計の人は計画の人がどういうことを考えていたのかあまり知らないので、やっぱり橋でも街でもそうなのですけど、計画する人も実際に設計する人もチームワークを組んでいかないとなかなかいいものができない。それをもうちょっと言うと、今度は工事になるのですけど、工事をやっている段階でも設計をやった人が設計したように実際にできるかどうか、と申しますのは橋ならまだいいのですが、今日見ていただいた地形に変化がある川とか入り江みたいなところですと、現場で調整しないとうまくいかないのですね。図面で描いただけでは絶対にうまくいかない。それで工事をやっている時にも計画をやった人、設計をやった人がかかわっていくと、そういう縦の流れの仕事のコラボレーションというか共同作業と、物を作る人、設計する人、工事をやる人の横のつながりというか職能の間のつながりをやっていかなければならない。ということで前二回のシンポジウムでも設計をやる人と物を作るメーカーの人の両方から出てもらってお互いどういうことを考えて、どういうチームを組んでやったか、という話をしてきました。たまたま今回西村さん、一人でしゃべったのですがそれはですね、メーカーの人にも来ていただく予定でしたが‥‥。

西村氏　来てもらう予定だったのですが、まずは福岡の会社なので遠くて来られないと‥。人がいないから来られない‥。あと担当された方が都合で辞められたみたいで、とりあえず解る人がいなくなったということで残念ながらお越しいただけませんでした。

篠原氏　あの、さっき紹介がありました「常盤出島」にアーチみたいな橋が架かっていましたけど、あれも西村氏とその構造をやっている人と、あと三菱重工業とかそのほかの橋梁メーカーの人と話し合いながらやったというものです。ちょっと遅ればせで、先ほど説明すればよかったのですが、すいません。

まあそういう趣旨でやっておりまして、こういう仕事のやり方、人間の輪のつながりというか広がりを広めていきたいと思っています。それはなぜかと言うと、公共事業ですと税金を出して作っているわけですから、結局物を作るときに作り手のほうがチームワークを組んで、市民の意見も聞きながらいいものができるかどうかですね、本当は市民が損をするか得をするかなのですよね。同じお金を使っていいものが出来るか出来ないかというわけですから。

さっきの岩田さんの話では出なかったですけど、だいぶ前から、のちほど登板する佐々木政雄さんと一緒に桑名の仕事をずっとやっておりまして、今日見ていただいたのですけど、その縁でこういう六華苑という場所を借りていただいて。梅雨ですけど、やっぱりこの日本家屋はちょっと涼しいですよね、コンクリートの建物よりも。そんなことです。

ほかに何か質問はございますか。よろしいですか。

帝国建設コンサルタント　櫛田氏　帝国建設コンサルタントの櫛田と申しますけれど、橋梁のほうの専門なのですが、以前にやはりこの高欄の問題でちょっとぶつかったことがありまして、防護柵設置要綱とのかかわりですね、これをどういうふうに克服されたかお聞きしたいのですが。

実は防護柵設置要綱をそのままやっていきますと、例えば車両用防護柵をデザイン化しようとすると非常に難しいところに入り込んでしまいまして、困ったことがあります。今設置したものも実際に設置要綱を完全に満足するかというと、非常に難しい。解析用シミュレーションである程度確信を持ってはいるのですけど。そのあたりをどう克服されたのかというのが一つと、それから二つめは、ちょっと側面を見せていただいたら、高欄があってその下にスラブの本体がでてきますね、その部分をどういう形で、あそこまで全部高欄にされなかった理由ですね、そのあたりをお聞きしたい。

西村氏　まず一点目、これは車両用防護柵ではありません。歩道のところでブロックアウトするということで、高欄でやっています。だから荷重250kg／mで計算しています。車両防護柵でしたら今はほとんど何もできません。いい既製品を作らない限りは。一つ一つデザインしていたら相当な実験費用がかかりますし。なかなか難しいことだと思います。

二点目ですね、当初これは桁がもう一本多かったのです。先ほど申し上げるのを忘れましたが。実は桁の面が太く見えてくるのが嫌だったので構造計算して一本減らしてもらって、側面端部を現場打ちで、キャンチレバーで打ってもらっています。そこに影が落ちて手摺の面が手前に出てくるように考えています。あと、これはうっかりしていたのですが、胴面の部分までコンクリートを打てばよかったのかもしれないですね。ただそれは地覆を作ったときには隠れるのですけど、今回地覆を無くしているおかげで出てきてしまったということで、あそこまで打つかどうかという判断を、まあ影になるからいいだろうなとは思いましたし、気にすれば気になるのですがそれよりも手摺が非常に強い印象を持つので、そこまで打たなくてもいいかなと思ってあの形にしてあります。

篠原氏　よろしいですか？ほかにございますか？はい、どうぞ。

伊藤鉄工　伊藤氏　伊藤鉄工の伊藤と申します。あの先ほど石と鉄を一緒にするのに膨張率の関係で苦労されたということなのですけれど、金属のほうを変更するとかそういうことは考えられなかったのですか。

西村氏　正直言いますと金属じゃない材料も考えました。あとはコストですね。どうしてもそこで引っかかって金属でやるということになって、じゃあ伸縮率を考えなければならないと。FRPでやるとかそういうことも考えたのですが、お金が追いつかないのですね。どうしても。莫大なお金になってしまうので。最終的にはお金で決めたということですね。

伊藤鉄工　伊藤氏　私ども鋳物屋ですので、鋳物とか鉄系はだいたいニッケルの量で膨張率が0から22×10^{-6}まで変えられるのですね。ですからコストの面というのもあるのですけど、私どもたまたま興味をもっておりますので。

西村氏　例えば桑名のように数量があればやっていたかもしれませんが、これはたかだか23mの橋梁で、仮に作ったとしても相当高いでしょうね。例えばこれが1kmあったらやっていたかもしれませんが、この長さではとてもできる状況ではなかったですね。

（文中写真・資料は西村氏提供）

講演 II
桑名城外堀線



株式会社 アトリエ74 建築都市計画研究所
代表取締役
佐々木 政雄

ナグモデザイン事務所
代表
南雲 勝志

大成ロテック株式会社 総合技術部 生産技術室
課長
深沢 邦彦

ヨシモトポール株式会社 営業部
部長
飯島 秀雄

株式会社INAX タイル建材事業部 公共エクステリア商品部
井村 竹応

株式会社INAX 中部統括支社 中部特販統括部
タイル公共エクステリア特販部
課長
坂井 日佐男

篠原氏　それでは先ほど見学していただいた方はおわかりだと思いますが、外堀の復活事業ということで平成10年からやっておりまして、その内容を今日は二つに分けまして、見学いただいた寺町あたりのですね、外堀を含む全体計画についてと、実際の工事について前半で話をいただいて、後半のほうは見学の最後で見ていただいた、漁船が避難する住吉入江についてということで進めていきたいと思います。それではよろしくお願いいたします。

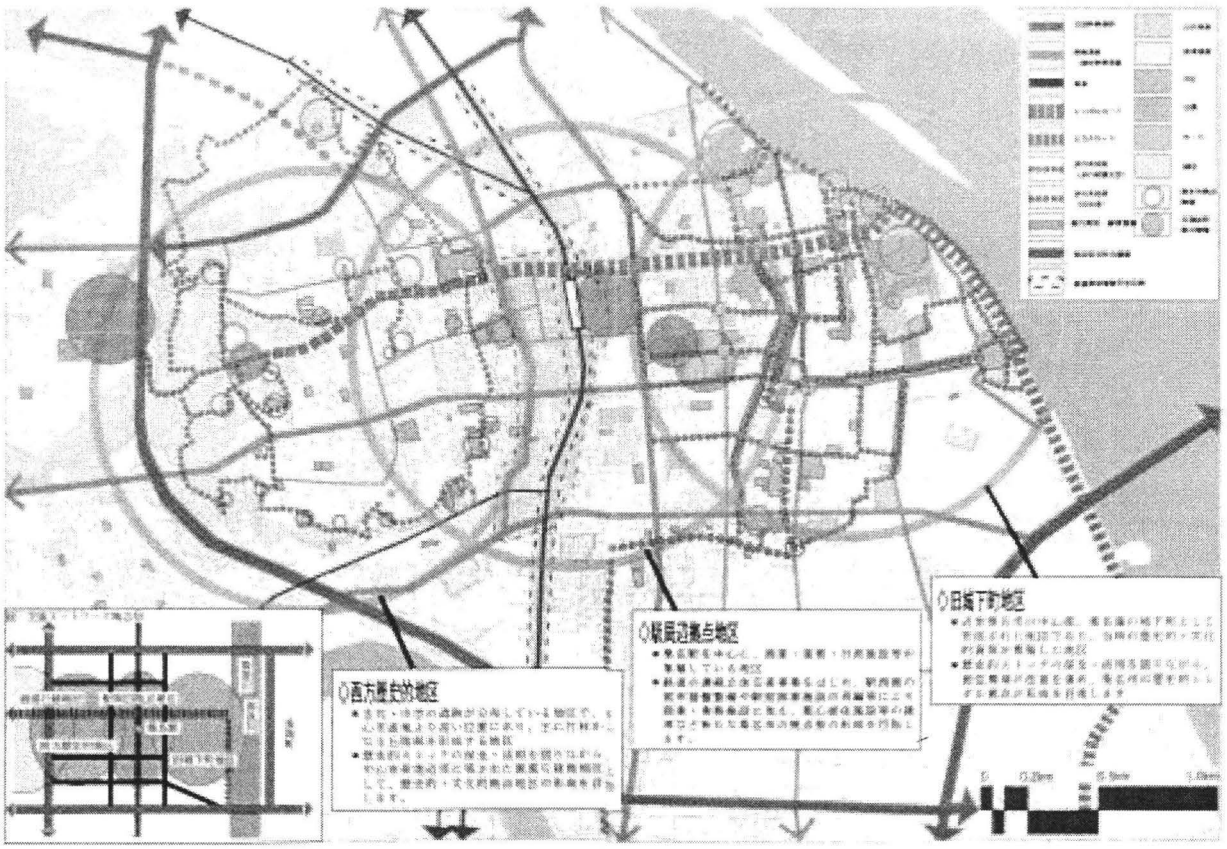
佐々木氏　それでは私、ご紹介いただきました株式会社アトリエ74建築都市計画研究所の佐々木でございます。私の専門は都市計画でございまして、先ほど篠原先生の全般のお話にありましたように、まちづくり全体計画ということをやっておりますが、通常は計画が終わるとあとは設計で、10年後に行ってみたら何かとんでもないものができているのを多々経験しているのですけど、桑名の場合は計画から設計、場合によっては現場までしつこく、市が嫌がるほど関係をしております。これは、先ほど先生のお話にありましたように、計画が終わって設計に行きますが、やっぱりトータル的に計画の段階から設計チームと一緒に議論し、設計の時も計画チームとして加わり、場合によっては現場も、実際に工事をやっている方と設計チーム・計画チームが常に現場に来て、当初の計画が意図通りできているか、それからデザインの方にとってはデザインがちゃんと意図通りできているかと。それから現場でやっている方がその全体を理解した上でできているかどうか、ということを常に意識しながら仕事をしております。

その中で先ほどありましたように桑名の外堀ということで、午前中現地をご覧いただきましたようになぜ外堀に着目して事業が進んでいるのかと、その全体の桑名のまちづくりなかでの外堀の意味づけということを、私のほうからまずお話させていただきます。

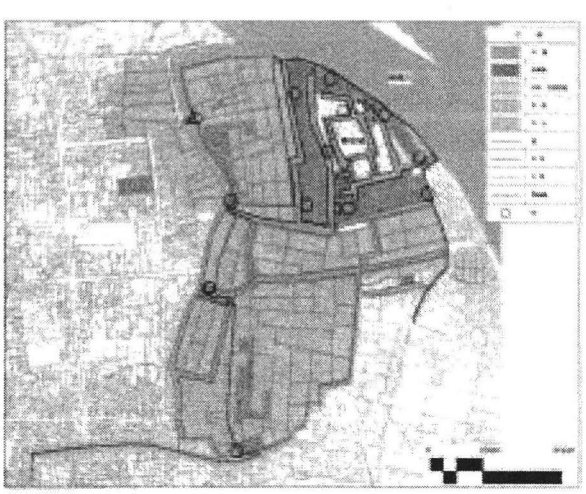
それで今お配りしましたパンフレットですね、「歴史の流れるまちづくり　桑名」それからもう一つ、ラーメン屋のマークみたいなパンフレットがあります。これが実は非常にいろいろなことを象徴しております。それで「歴史の流れるまちづくり　桑名」のほうを開いていただくと、まちづくりとしての大きな考え方の整理がございます。（次ページ参照）実は私、桑名はかれこれ10年くらいかかわっておりまして、桑名の中心市街地をどうしていったらよいかということをやっております。今日会場に来ておられます桑名市都市整備部の石川次長さんが係長時代

桑名市　歴史を活かしたまちづくり(歴みち事業)　整備計画

桑名市パンフレット(歴史の流れるまちづくり桑名)より抜粋



からでございまして、その後今の外堀については篠原先生と5～6年ご一緒しております。現在は駅の反対側ですね、駅の西の区画整理事業もしつこくやっておりまして、市側も「お前くるな」という顔をしておりますけど知らんぷりをしてずっと10数年仕事をしております。



桑名城城下町重ね図

パンフレット見開きにありますように桑名の中心は、今駅が真ん中にございますが、その図の右側が旧城下町です。この旧城下町も現地をご案内したときに説明したのですが、桑名は幕軍でありましたからお城は徹底的に壊されまして、石垣は全部四日市築港へいきまして、戦争では爆撃されて戦後、戦災復興区画整理事業が行われていますから、旧城下町といってもほとんど見た目には何もないというふうに見えるのですが、実はこれが、下の図をみていただくと、現在の図面と江戸末期の図面を重ねると、区画整理はされていますけど、基本的に昔の道路を大きく変えていない構造として今の街ができているということを我々が発見しました。

もう一つは城下町のお堀ですね、四重のお堀がありますが、お堀自身は実は動いていない。ただし今日外堀を見ていただきましたように、昔の外堀と位置は変わってないのですが、半分埋め立てられているとか、ゴミ捨て場になっているとか、下水処理場になっているとかということで昔の外堀がまったく姿

を変えているが、実は現存していたということがありまして、いろいろ議論はありましたがその中で旧城下町の再現はこの外堀をうまく使おうということで、まちづくり全体の中で外堀を戦略的なプロジェクトと位置付け、ここから手をつけて市民にわかりやすく事業内容が見えるようにしようと。それで篠原先生と一緒に委員会を作って、5～6年ですかね、だから5～6年で姿が見えてきているのは思った以上に早いし、それから今日の外堀のほう石積みの工事をしておりましたが、昔の外堀はゴミ溜めでしたから、商店街のドブや汚物を流すみたいなそんなところが一気に変わってくるということで、非常に商店街がいきいきしてくるような印象がしていますし、もともとそういうところを狙っているわけです。

話はこのパンフレットに戻りますけど、見開きの地図で駅を中心として右側の旧城下町と駅の左側の駅西地区と、さらにもう少し左側ですね、ここに大丘陵団地があって、都市整備公団が大住宅団地を作って住民約3～4万人ですかね、そしてほとんど名古屋に行くわけですね。通勤・通学も高速バスを使って。ですから駅を使わない。ましてや駅の反対側にある旧市街地との関係が非常に希薄ということもありまして、私たちが桑名の中心市街地に対して当初描いたストーリーは、特に西側に住んでいる人たち、桑名市民なのですが名古屋市桑名区といってもおかしくないような名古屋と関係が強い住民を何とか街にもっていこうと。そのために必要な交通アクセス、道路の整備をどうするかということと同時に旧市街地の魅力をどうもう一度復活させるかという、これは城下町という資産、城下町の資産としてわかりやすいものは外堀ということで、ともかく外堀を復活のシンボルにしようと。これを戦略的なプロジェクトと位置付けました。

その他いろいろと手をつけているわけですが、その中で今の外堀とそれから住吉入江、これは両方とも旧城下町の外堀ですが、この「六華苑」の近くにある住吉入江は、伊勢湾台風の時の護岸工事、伊勢湾台風ですから30年くらい前ですかね、私が小学校の時と記憶していますから、その伊勢湾台風の堤防工事をまだ延々やっていますので、その堤防に伴う工事の一部として、これは台風が来たときの漁船の避難施設としてですが、住吉入江があるわけです。そこの部分の整備と、これは国の河川の直轄事業ですが、それに合わせて護岸工事をしたと。これはレンガ積みでしたと。このデザイン意図はのちほど小野寺さんからありますが、そういう部分と、それから商店街のところは同じ外堀なのですが、当時の外堀は土羽ですね、土をただ盛っているだけでつまり石垣がないお堀です。しかし現実的には石垣のないお堀はできないので、外堀のイメージということで石積みにしています。あの石積みは現地で私が説明しましたが、単に石を積んでいるのではなくて、この積み方は文化庁の、文化財関連のコンサルが来て積み方を指導しました。乱積みといいますが、いわゆる今ある綺麗な積み方ではなく、当時の、江戸時代の石の積み方を再現しています。ということであちらは旧外堀の、お城のあたりのイメージで作っていこうと。ただしもともと土羽ですから石垣ではニセモノですね。ただ本物の土羽とはどういうものだったかということで一部再現を検討中で、今日集まっていただいた商店街入口、広場がありましたが、そこに昔のほぼ本物に近い土羽を復元しようと。そうすると桑名城の江戸時代における外堀の、本物の再現が一部あって、そういうものがあった上で外堀としてのイメージを再現すると。ということを全体として考えています。それは、基本的には中心市街地の魅力付けはどうするのかと。一つは寺町商店街そのものの賑わいをどう回復するかということで、駅の西にある3万人くらいの桑名市民に街に来てもらう。そのためには街自身の魅力と商店街の魅力高めることが必要で、商店街ではお祭りなんかも一生懸命やっておられ、同時に六華苑などの重要文化財など全国から集客できるだけの拠点性を持っているわけですから、外からきた人がここで戻ってしまうのではなく、レンガ倉庫を見て住吉入江を歩いてゆくと、昔の土羽の外堀が再現されて、そして賑やかでローカルな商店街があって、裏には水の流れているお堀があってと。そういうことをストーリーとして狙っています。ということで第一期としては予想通りうまくいっているのかな、と思いましてそのあたりがこのパンフレットの説明です。

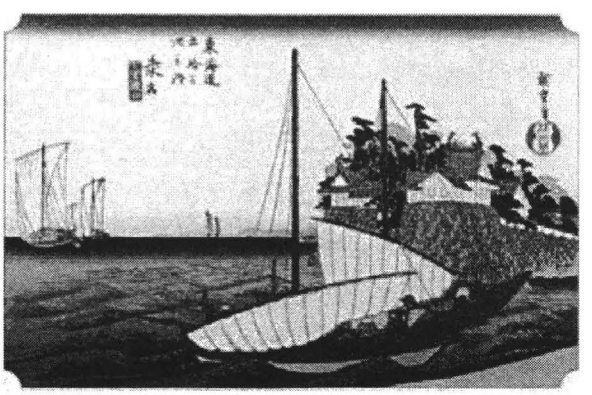
もう一つの中華ラーメンのようなパンフレットがありますけど、これと見比べていただくと当初計画したのと、今事業で動いているものの紹介ですが、このくらいイメージの段差というか格差があるいい証拠かなと思います。とりあえずそこまでにしておき

ます。

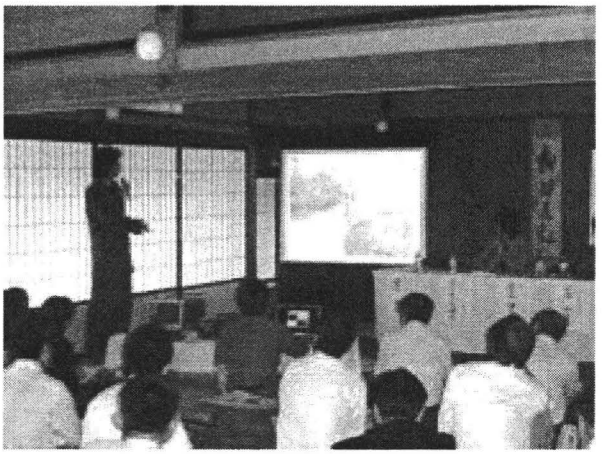
それから今お話したこと、先ほどありましたように建築画報社の宣伝になりますが、建築画報(No. 301)54ページからこの桑名の一連の記事がでております。お話のもっと詳しいことが出ておりますので、帰りがけにでもぜひ皆さん一冊お買い求めいただきますようお願いします。

南雲氏　皆さんこんにちは。ナグモデザイン事務所の南雲と申します。今佐々木さんのほうで桑名の外堀線、住吉入江から含めて全体的なお話がありましたが、私のほうではそれを踏まえまして具体的に照明灯ですとかストリートファニチャー、それから小さい橋とかいくつかお話します。そういった表にでてくるデザインをどうしていこうかというところで参加させていただきました。前半・後半がありまして、一応最初外堀線で、後半が住吉入江ですのでその順番で説明いたしますが、実際の作業としましては住吉入江のほうが先でしたので、今からお話しする外堀線はそれの第二弾ということで作業してまいりました。

まず照明のお話から。住吉入江はですね、基本的なテーマとしては「明治」ということを一つのキーワードで行おうということになったのですが、この「外堀」においては、これは「江戸」でやってほしいというかたちでした。それで一番悩みましたのが照明、照明といっても背の高い街路灯といわれるタイプですね、といいますのは江戸時代というのは街路灯がありませんので、いったい現代にはどういう形で表そうと、先ほど西村さんもお話されましたが、非常に悩むところでして、いろいろと資料を見返したりしていました。みなさまのお手元にありますこちらの資料ですね、右上のほうを見ていただきたいのですが、広重さんの有名な絵(版画)があります。これは七里の渡しから船が出



歌川広重・東海道五十三次　桑名

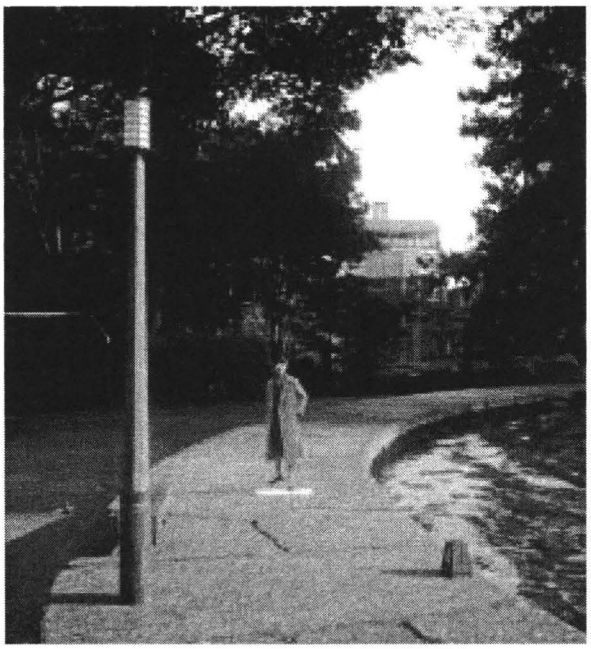


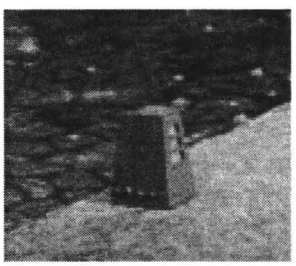
南雲氏

るところなのですが、この絵を見たときに船のマスト、日本語で帆柱ですね、これは紛れもなく木柱であったはずで、すらっとしたいいプロポーションをしていると。瞬間的に、背が高く立ち上がってくるものはこれでいこうとまず思いました。それで何とか、それを現代にきちんとした形で落とし込めないかということを一つのテーマとして進めてきました。

全体の構成ですが、見ていただきましたようにお堀があります。で、お堀の横に歩道がありまして、その横に車道があります。今申し上げました照明というのは歩車道境界に建つ照明で、もう一つのあかりとしましては水際に、非常に低いフットライト的な照明があります。夜はこういった、足元と水際に光が映りこむというのが狙いです。この照明に関してもう一つには「江戸」ということもありますので、一般的な照明灯は高さが高いのですが、当時、今も大事なことですが、人間のスケールが基本であったはずですし、ここはあまり車を通してはいけないという場所でもありますので、できるだけ低くくて人に違和感のない高さというのを心がけました。

これは(Ⅱ-1)今申し上げました全体のプロポーションと二つの照明ですね。こっちにちょっとベンチも見えますけど。それぞれのスケール検討を10分の1のモデルで検討した写真です。





Ⅱ-1

これは(Ⅱ-2)今の模型の写真に似ていますが、現物です。今日見ていただいた照明はつい最近ついたはずですが、木柱ということもありまして、いったいきちんと持つのかということを非常に心配しておりました。これはおよそ2年前に作った実験柱です。公共の屋外というところにおきましては、それが果たして数年後どうなるのかという、やったことのないものについては非常に難しいものですから、実験を先行して行いました。今日出席いただいておりますヨシモトポールさんのところで、これは注文するから、できるかできないかわからないけど木柱をやりたいから何とか協力して、というお願いをしまして先行実験をやったときのものです。上の部分が木ですね。で、下の部分がコンクリート製です。これ石が若干違いますけど、実際は桑名の石積みの石じゃないのですけど、製品では石積みの石を桑名から持ち込みまして砕石し、それをここに組み込んであります。今日実際に見ていただいた柱は桑名の石で桑名色の基壇ができております。



Ⅱ-2

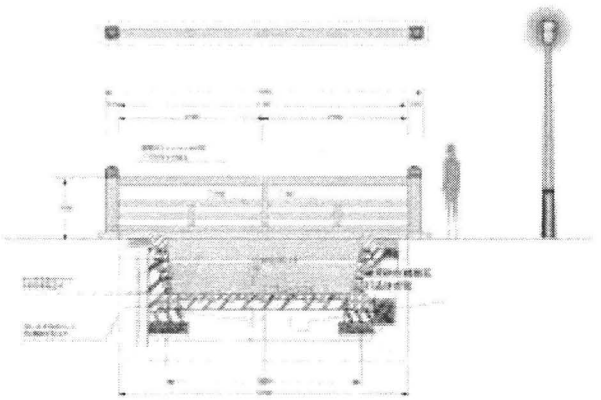


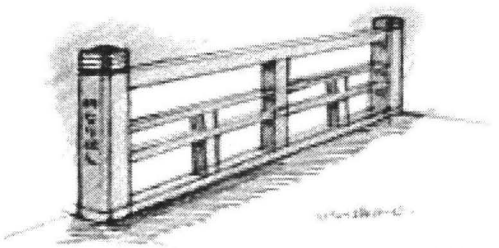
Ⅱ-3

これは(Ⅱ-3)先ほど申し上げましたフットライトですね。これの現物の、鋳物の模型です。これも一度型を確認して、細かいところは修正している段階です。

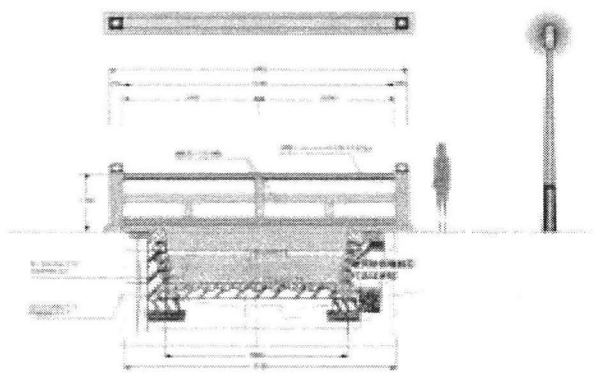
次は橋ですが、見ていただいた通り非常に幅員が狭いお堀です。広いところで4．5m、最上流へいきますと2．5mしかありません。橋といいましても実際4m程度のピッチです。構造もボックスカルバートで、その上に高欄が載るというもので厳密には橋といえるかどうかというところですが、商店街がありましてその裏手、今度はそれを表にしようというものですが、ひじょうに歩行者の通行もありますし広場的な気持ちのいい通りになるという意味では、一つ一つの橋が市民に親しまれるような優しい橋にしていったらいいのでは、ということを基本的に考えました。まあ現状の橋よりはずいぶん短くなるのですけど、お堀沿いに歩道ができますので導線はスムーズにしていったらどうかと考えました。一つの特徴として、いずれの橋にも共通しているのですが、親しみを持たせるという意味で親柱の上に照明をつけています。これで橋の位置と、そばを通るときになんとなく頭をなでるとか、そういう優しい感じを持たせられないかなと考えました。

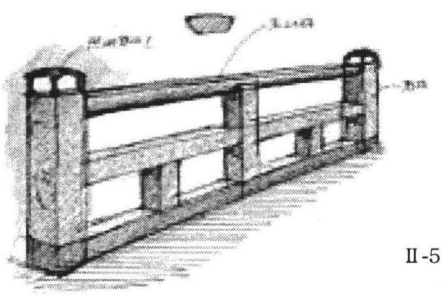
これが一番手前の稲荷橋です(Ⅱ-4)。全体的には橋が小さく、目立たせるというより素材を大事にしたらどうかということで、木の橋、石の橋、鉄の橋という素材をわかりやすいものにしました。稲荷橋は稲荷神社が隣にあるものですから、木の橋だなということで、またボリュームを持ったかたちですすめました。素材の木材は地元の要望もありましてお稲荷さんの色、





Ⅱ-4

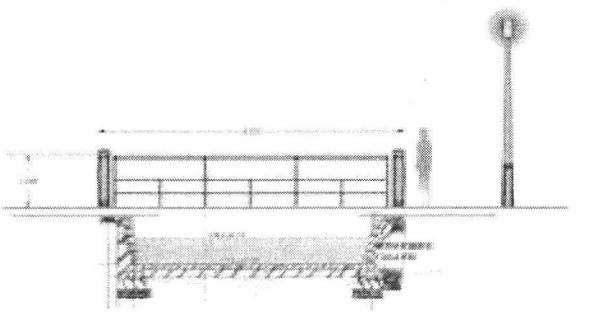


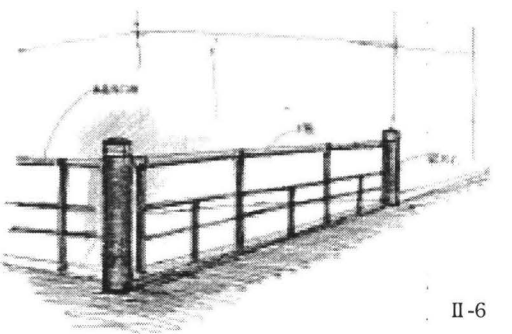


Ⅱ-5

赤色ですね、この赤を何とか橋に表現して欲しいということで、ご覧のとおり照明の部分ですね、ここだけにちょっと赤を入れて過去のイメージを踏襲しています。

これが(Ⅱ-5)、今日見ていただいた中ではここまで出来ていたと思いますが、昔は橋の名前がなかったのですが、今回正しく「防護橋」と名前にしています。先ほどの木に対して重厚感のある石で表現しています。当初手に触れるところだけは石でと思っていたのですが、いや全部石だろう、ということで石になっております。



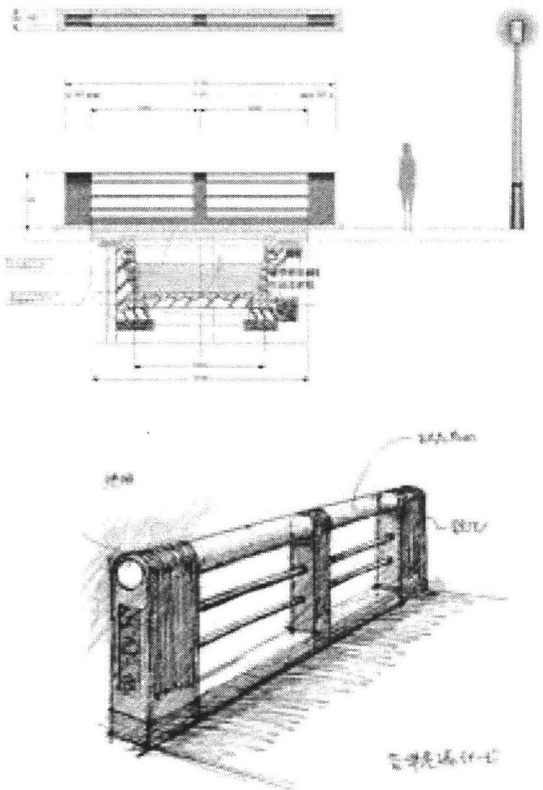


Ⅱ-6

これは次の京橋ですが(Ⅱ-6)、ここは非常に複雑で堀も折れ曲がっていますし、新しく歩道ができたりしまして、この橋をそのまま改修するというよりは、篠原先生に相談したときに言われたのですが、商店街もありますし、皆さんの憩いための広くゆったりとした場所にしたらどうか、ということでこの橋の3倍ぐらいの、ウッドデッキの床とした広場に生まれ変わろうとしています。

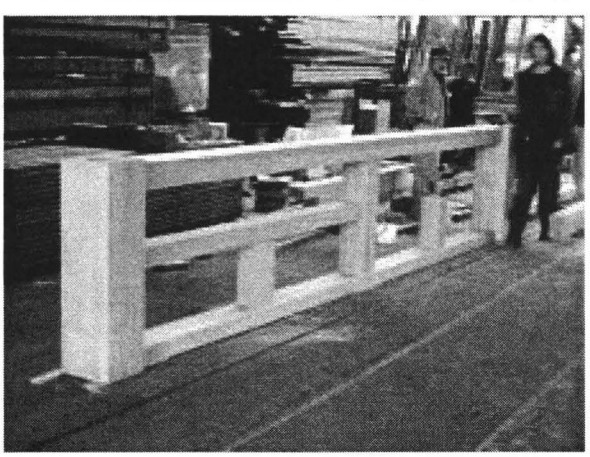
これが最上流の吉津屋橋といいます(Ⅱ-7)。これは鉄の橋ということで、石と木に対して「鉄の橋」というイメージでまとめました。これも橋という感じではないのですけどもきちんと高欄をつけることで橋という認識ができるようにしてあげようと、照明も共通して付けています。これは来年度以降の竣工です。

先ほど高欄で車両対応が何とかという話が西村さんのところでありましたが、今回もほんの4mぐらいで幅員も3mぐらいし



Ⅱ-7

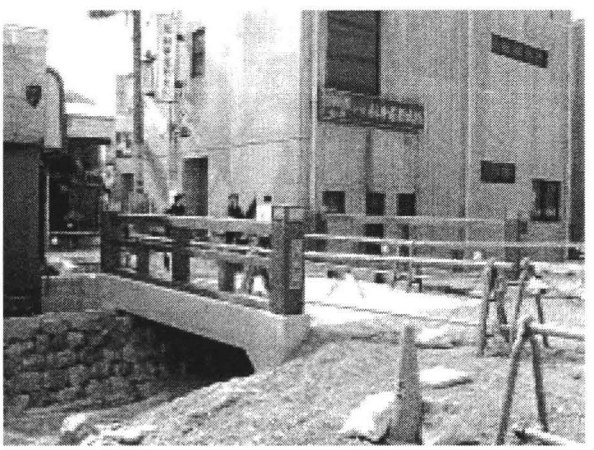
かない橋ですが、車が通るので車両対応にしてほしいという話があって、地覆がなんと幅600mm、高さ250mmという、この橋のスケールにしてはすごい条件が出されたのです。しかしちょっとどう考えても絵にならなくて、まあ車両対応とはいいながら幅400mm、高さ200mmという車両対応ではない普通の大きさになんとか抑えてもらうことでバランスを取ったという経緯があります。



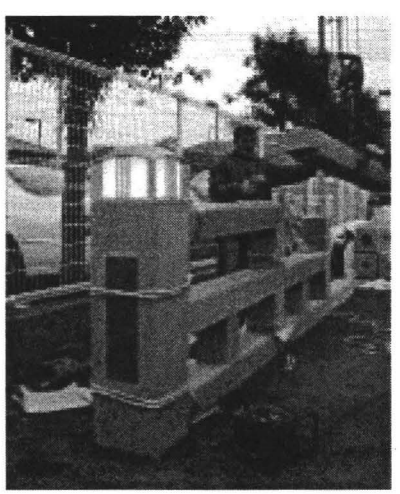
Ⅱ-8

これは稲荷橋の製作途中、工場検査ですね(Ⅱ-8)。このクラスになるとなかなか普通のひとにはできなくて、専門の大工さんに作ってもらいました。継手とか組み立ての手順ですね、そのあたりの確認をここで組み立て実験し行っています。

これは現場に設置したところですね(Ⅱ-9)。2ヶ月ぐらい前の写真です。仕上げは木の素材感をできるだけ活かしたいということで、表面をかなり弱い塗装にしてあります。1年ぐらいしたらかなり色は取れてくると思うのですが、あまり人工的な仕上げをするのではなく優しい仕上げということで、そのかわり丈夫な木を使っています。



Ⅱ-9



Ⅱ-10

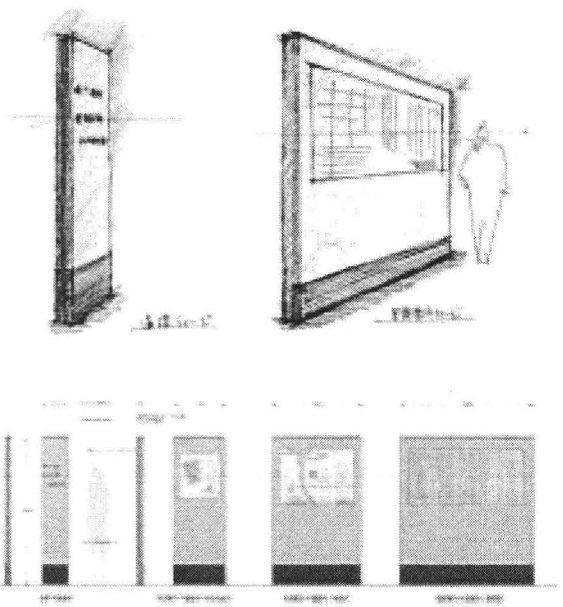
これ、石ですね(Ⅱ-10)。石も石工さんに、2～3人でしたけど苦労しながら組み立て実験をして、ちょっと削ったりしながら確認しました。今持ち上げているのが、2人でやっと持ち上げられるかどうかぐらいの重さでした。

これは(Ⅱ-11)まだ実際に現場には付いていませんけどサ

インの計画がありまして、これもどうせやるならなら木でいこうということで進めています。

これは違う現場なのですが、木のサインのイメージということで、こんな形になってくるのではということで参考に入れました。

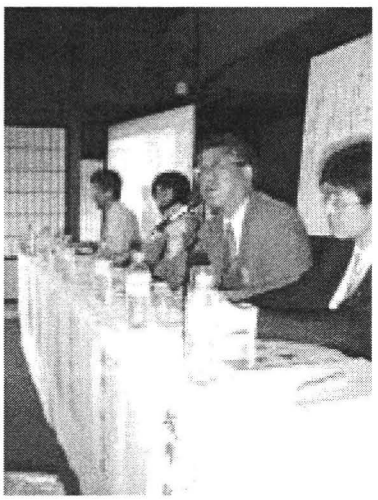
ちょっと時間オーバーしましたが、ありがとうございました。



Ⅱ-11

佐々木氏　ちょっと今の説明に一言だけ、今の石垣のところは江戸時代の景観を復元しているというのではなくて、住吉の、明治の景観を復元しているのではなくて、当時の持つモチーフをもって21世紀の、今の景観を作っている。それから商店街のところの江戸期の外堀というイメージを持って今の街を作っているというのが新しい言い方かなと。おそらく後半でこの議論が出ると思いますが、先ほどの話の、もし南雲さんの話で、石垣は江戸時代のイメージを再現するような議論になるとあの橋はいったい何だろうと疑問を持たれるかもしれませんが、それはまた後半で議論いただければと、補足させていただきます。

飯島氏　ヨシモトポールの飯島と申します。外堀通り線では先ほど南雲さんから紹介していただきました、歩道の照明柱の製作、お手伝いをさせていただきました。ちょっと会社のPRをさせていただきますと、私どもの会社はこの諸戸家一族と同じように、長野県の林業から発足しております。まあ山持ちのかたはそうなのかもしれませんが、私どもの親会社のほうも佐久のほうで洋館を建てまして、それが県の指定文化財となっています。昭和36年にその林業からコンクリートポールを作るということで別会社を設立いたしまして、コンクリートポールの電柱の製造を開始いたしました。続いて鋼管柱の製造ということを始めまして現在に至っております。



飯島氏

今回のこの外堀通り線では使った素材が4種類ございます。コンクリート、木、鉄、そして繋げたところの鋳物と。この4つの材料を使って今回照明柱の製造をさせていただきました。木のほうは先ほど帆柱というかマストの感覚を出すということもあり、一本の無垢の木を加工いたしまして、中心部をくり貫いて鋼管を差込み、強度を持たせる方法を取っております。また、質感を出すために木の仕上げとしてはオイルフィニッシュという木の素材感を残すものにしています。それから下段部のほうでコンクリートの遠心技術を活かしまして、コンクリート柱ですが中空構造になっておりまして、その中に照明に必要な安定器とかスイッチ類を収納しております。コンクリートにつきましても桑名の地域性を出したいということで、こちらから採れる石を工場へ持ち込みまして、砕石しコンクリートの中に混ぜ仕上げております。表面は石目を出すために研磨仕上げという加工方法をとっています。また、特に気を使いましたのはコンクリートと木を繋ぐ部分ということで、外から見たらどうやって繋いでいるのかなと、わからないような工夫をしながら設計を進めてまいりました。

あわせまして先ほど説明がありました、約2年前に売れるか売れないかわからないのですが、タダで試作品を作りまして、2年間経年変化を確認しております。実物の写真がないのは

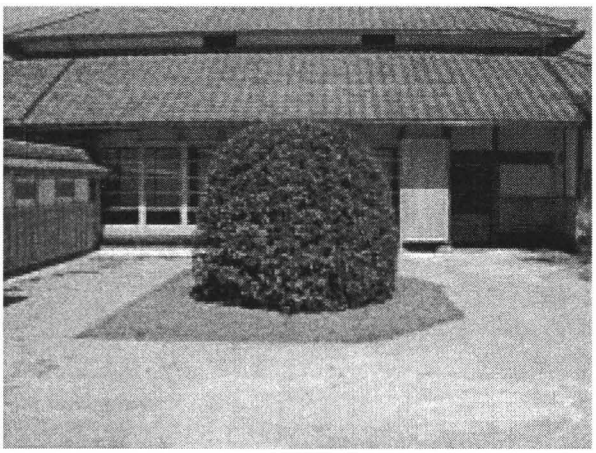
先週の土曜日に納入したばかりでして、2年ぐらい前から着々と準備を進めまして今回納入させていただきました。

材料の特性を活かした製品作り、お客様に喜んでもらえる製品作りを心がけておりますので、なにかございましたら声をかけていただきたいと思います。

井村氏　株式会社INAXの井村と申します。我々は今回、この外堀の工事に関して舗装材、床の舗装材の、橋のところに少しだけしかまだ施工されていないのですが、土の舗装材のソイルバーンというものですね、そういったものを納めさせていただいております。

今回そのソイルバーンを納めさせていただくにあたって3年ぐらい前ですか、こういった事業があるのでなるべく天然のものといいますか、昔の素材に近いものでというお話をいただきました。ちょうど我々の研究所のほうで昔の「たたき」という、土と消石灰を混ぜてたたいて仕上げるというものを基礎研究としてやっておりました。そういったところもありまして、ちょっと試してもみましょうかということで3年ぐらい前に試験施工しております。結果としては最悪で、ぼろぼろになってどうにもならないというものでした。それでも非常に期待していただきまして、これは我々としても何とかしなければならないと思いました。我々INAXは素材メーカーというところもありまして、だいたいそれから1年ぐらいで平面では解決できました。きちんと固まって問題なく耐久性もあってと、そういうところは解決できました。

ただ、我々もともとタイルメーカーでして工場で四角いものを作って売り、そして施工は職人さんに勝手にというか、やってもらうというものなのですが、現地で土を固めるという現場で施工して初めて製品として成り立つというものはどうしてもノウハウがINAXにはありませんでしたので、これは何とかしなければならないと。最初我々のほうで単独でトライをしてみたのですがどうにもならない。社内からはやめてしまえという声もちらほらと聞こえていまして、ちょうどその時大成ロテックさんをはじめ、大林道路さんとか世紀東急工業さんとかそういった舗装会社と研究会（ソイルバーン工法研究会）ということで、コラボレーションを行いました。材料的にはINAXで解決しますと、工法的には施工のプロであります舗装会社のほうで解決するということで、技術を高めてまいりました。新しい技術がどんどん出てきている世の中ですので、製品ができたらタイミングよくすばやく世の中に投入していかないと勝てない状況の中、こういった研究会で一社だけでなく数社が集まって共同でやるということで、いいものを時代のニーズにあわせて出すことができたと思っています。そういうこともありまして何とか昨年の7月に「ソイルバーン工法」を確立させまして、リリースいたしました。



Ⅱ-12

写真が今出ているのですが、桑名の前にいくつか現場を納めさせていただいています。これは桑名とは違うのですが（Ⅱ-12）、日本海側島根県の旧豪農といいますかお百姓さんの家のお庭の整備ということで、「たたき」という素材が合っているのではないかと思います。



Ⅱ-13

こちら（Ⅱ-13）は「土の道」ということで緑道といいますか公園道路に使っていただいた例です。次も公園ですね（Ⅱ-14）。緑に合うといいますか、こういうところに使っていただいており

ます。これは大成ロテックさんのほうで施工していただいたものです。



Ⅱ-14

島根県の旧豪農のほうも大成ロテックさんで施工いただいたのですが、これについては環境団体から変なものが溶出しないかどうか、と非常に厳しい指摘がでておりましたが、我々はセメントなどを使わず天然のものだけでやっておりますので大丈夫、と申しまして採用されたものです。

その他、写真はないのですけれど東京都内の英国大使館の前に先月施工させていただいたのですが、そこも大使館のほうから変なものを使うなと、セメントとか樹脂を使わないでくれ、なるべく天然のものでやってくれということでこれが採用されたという経緯があります。

最後にこれは住宅外構といいますかマンションの前に「土の道」をということで採用されたものです(Ⅱ-15)。



Ⅱ-15

こういったことも踏まえまして今回桑名のほうに納めさせていただくことができました。設計のみんなには長いこと我慢してもらい、また変なものを見せて心配かけたかなと思うのですけど、大成ロテックさんなどの協力をもらい非常に完成度の高いものに仕上げることができまして、安心して使っていただけるかと思っております。

どうもありがとうございました。

深沢氏　引き続きまして大成ロテックの深沢のほうから「ソイルバーン工法」の施工にかかわる苦労話といいますか、そのあたりを若干紹介させていただきたいと思います。

初めに私ども大成ロテックと申しますのは道路の舗装工事をメインにやっております会社でして、本日は慣れないネクタイをヘルメットにかえてもらえると非常にリラックスするのですけど。今日、ソイルバーンを見学していただいたのですが、もうひとつ、西諸戸邸の正面、御影の石畳の舗装をご覧になられたと思いますが、あちらも私どもの車道用の石貼り舗装ということで昨年施工させていただきました。車道用の石貼り舗装というのはちょっとよそではあまりないかと思いますが、こちらにつきましてはまた機会がありましたら紹介させていただきたいと思います。

さっそくソイルバーンですが、私ども施工会社とは言いつつも若干なり以前から土系舗装を社内で研究開発していたのですけれど、なかなかいいものができませんでした。が、そのような中、材料的に完成されたINAXさんのソイルバーンを紹介受けましてぜひ協会を設立、盛り立てていこうということで、施工の立場から参加させていただくことになりました。

私どもアスファルト舗装をメインにやっているのですけれど、従来でしたらそこにある土を避けてアスファルトを盛っていくと。ですから土といったら捨てたものですが、その土をそのまま活かすというちょっと逆転的発想がありまして、非常に土というもの扱い慣れていませんでした。皆さんお気づきだと思いますが、土は自然の状態でしたら水を含んで、関東のほうでしたら関東ローム、雨が降ったらぐちゃぐちゃになってしまいます。ですが水がとんで乾くとそれなりに締まったといいますか歩きやすい状態でして、非常にそのあたりの水加減が土舗装については敏感に影響するのではないかな、というのが協会を通じま

して、また施工を通じましてわかりました。

お手元にソイルバーンのチラシがあると思いますが、一番ポイントとなりましたのはいかに設計された調合比、原料の砂、土、それから固化剤、水分ですね、これらをいかに変化させずバランスよく製造から施工までもっていくかということがポイントになりました。当初失敗したときにはこの水の調整、加水が変化したり、夏場暑いときには蒸発してしまって表面がぱさぱさになって固まらなかったりというトラブルがありました。

そのようなわけで、合理的に施工するには現場の横で材料を練ってすぐ敷きならす、これが一番いいのではないかということで、パンフレット裏側の右にある施工のプロセスというところで、混合用のミキサーが写っていると思います。こちらを今回



ソイルバーン施工プロセス　（井村氏配布資料より抜粋）

ソイルバーン用に開発いたしました。見た目にはかなり大きく見えるかもしれませんが、4トンの平ボディ車、普通免許で乗れるトラックに積んで入って行くことができます。こちら、実際今回の寺町商店街のお稲荷さんのまん前にこの機械を持ってきまして、施工させていただきました。

先週金曜日ですね、無事トラブルもなく、またお天気にも恵まれたのですけれど、どんよりとした曇り空で水が蒸発することもなく、なんとか今日ご覧いただいたような仕上がりになりました。

土ですけど、今日ご覧いただいた仕上がり、あの黄色っぽい色、割りとテカテカしていた、ザラつきのないイメージだったかと思いますけれど、あれも一つの完成品だったとは思っていますが、まだまだ今後進化させていきたいと考えております。もうすこしザラついた面のほうがいいのでは、と言われる発注者もおられます。このあたりは協会を挙げて盛り立てていきたいと思います。冒頭のほうでも申し上げましたが土系舗装について、世の中は今ゴミ問題、ゼロエミッション等のお話があります。これ私の個人的な希望と申しますか、現地にある土をそのまま剥がさないで、その状態で固化剤等を添加、その場で固めて舗装するといったものにこのソイルバーンを結び付けていったら、各地域の皆さまに愛着のある本当の材料ということで採用していただけるのではないか、そういった希望も持っております。

ちょっと簡単ではありましたが、以上で終わらせていただきます。

篠原氏　説明どうもありがとうございました。INAXさんで土を混ぜた舗装というのは前から聞いておりましたけれど、施工メーカーと一緒にやった今度のソイルバーンの話は初めて聞きました。桑名ではありませんけれど私は島根県の津和野のほうで、河川の堤防の上の道路で以前使いました。地元では非常に好評でした。タイルを使うのがいいところと、石を使うのがいいところと、レンガを使うのがいいところと、なるべく土みたいなものがいいところとそれぞれ場所によって違うわけで、それが使い分けられるようになってきたということは非常にありがたい、特にデザインするほうからするとそう思います。せっかくですから、さっきの西村さんとは違ってここでは全員いますから、プランニングをやっている人とデザインをやっている人と、作っている人と工事をやっている人と。なにかご質問ございませんか。質問がありましたらどうぞ。

それでは私のほうから、今日は小さな橋でしたけれど、あそこでは木、これは外材ですけどね、木と石と鉄を使ったというのですけど、それぞれ施工するときは違う専門の人と付き合うわけですよね。木だったら大工の人と、石だったら石工屋さんと、鉄だったらメーカーさんと。そのへんで何か面白かったことや苦労したことはありますか。南雲さん。

南雲氏　今回は組み合わせではなくてすべて無垢材のまま使っていますので、そういう意味ではジョイントの方法ですね、伝統的な組み方というのを基本にしていますので、むしろそのへんではこちらからこうやってくれというよりは、職人さんのほうから、こういうジョイントのほうがちょっと狂ってきたときに逃げが目立たないよとか、そういう提案を逆にしていただきましたので、それは工場検査で修正できた経緯があります。伝統的な職人さんの技というのは必要だと思いました。

篠原氏　他によろしいでしょうか。どうぞ。

伊藤委員長　委員長の伊藤でございます。ヨシモトポールさんにちょっとお伺いしたいのですが、2年前に現物模型を作られたということで、2年経ってから現物を納入されたと。儲かったのですか？

飯島氏　これからです。回収は(笑)。

伊藤委員長　そのあたりは、現物模型を作って桑名で使うだけですよね。どうお考えでしょうか。

飯島氏　説明の中でもありましたように、素材の特性をどうやって活かしたらいいか考えながら製品を作っていこうと思っていますのでどちらかというと、儲かる、儲からないというよりそれは私たちとしてはいい話をいただいたなと。鉄と木とコンクリートと鋳物の四つの材料を複合させながら製品を作っていくという新しいノウハウを私たちなりに確立させていただけるのかなと、ということで将来儲けさせていただこうと思っています。

伊藤委員長　同じことでINAXでも3年前はなかなかうまくいかなくて、よく関係者の方が待ってくれたなと私としてはうれしい限りなのですが、井村さん、同じような質問ですがどうですか。

井村氏　そうですね。こちらも最初は新しい商品ですので、どうしても現場でやってみないとわかりませんでした。試験室でパーフェクトというものは簡単にできるのですが、やはり現場に落とし込んで初めてわかる問題というのがあります。そういった機会を与えていただいたということでこの桑名の外堀の工事は我々にとって良い経験でした。今日の我々があるのは桑名の失敗があったからこそというような(笑)。本当に良い教訓といいますか、問題点がはっきりとわかりましたので、次に何をすればよいのかという課題が見えました。今はそれもクリアーしてこれから儲けるという段階でして、決して無駄な経験ではなかったと思います。

篠原氏　よろしいですかね。それでは桑名の前半の部を終わります。どうもありがとうございました。

(文中写真・資料は桑名市、南雲氏、井村氏提供)

講演Ⅲ
住吉入江

有限会社 小野寺康都市設計事務所
代表
小野寺 康

ナグモデザイン事務所
代表
南雲 勝志

篠原氏　はい、先ほど南雲さんからの説明にもありましたように、時間的な順序でいきますと「住吉入江」のほうが最初にできまして、そして今外堀工事をだんだん上流側に向けて進めているという状況です。多分その話もでると思いますが、どういう素材を作るか、使うかということでずいぶん議論もございまして、先ほどこの六華苑の説明をいただいた、歴史に詳しい桑名市教育委員会の大塚さんとも、大論争というとちょっと大げさだけれども一時期論争がございました。時代設定の話ですね。まあその辺も含めまして水辺の全体のデザインをした小野寺さんと、部品といってよいのかわかりませんが係船柱という船を留める金具ですね、あるいは玉重橋の親柱・高欄、それから住吉入江では木は使っておりませんが鋳物の照明灯。それらを担当されました南雲さんと二人で説明をお願いします。地元の鋳物組合の人と組んでやったので、その方が来ていただけると、この二人のデザイナーがかなり難しい注文を出して苦労したという話が聞けるのでは、と思ったのですが、来られないということでちょっと残念です。まあ小野寺さん、南雲さんにその辺の話も含めて説明をいただきたいと思います。どうぞ。

小野寺氏　それではご説明いたします。先ほど現場を見ていただきましたが、レンガ造りの護岸と水域のあったところが住吉入江です。当初あそこは入江と申しましても旧外堀ですので、水域としての外堀が残っているような場所ですね、そこに漁業権のようなものが付きまして、台風の時だけ船がやってきてそこの係船金物に船を係留して安定させ、台風が通り過ぎるのを待つという、避難港としての整備でした。もともと歴みち事業として計画されていたものではなく当初は単純なコンクリートの護岸で、表面は石目化粧型枠で処理され、上に付く防護柵もアルミの既製品で終わるような話しでした。予算的にも大した金額が付かなかったと聞いています。

それが、場所の重要性からもうちょっと考え直したほうがいいのでは、という声が桑名市の中でも上がり篠原先生のところにご相談に行かれたそうで、その時先生も「重要な場所だから位置づけし直したほうが良い」ということになり、アトリエ74の佐々木氏が歴みち事業を上にかぶせて、この事業を桑名全体の街づくりの観点からそれに取り込んでしまうかたちになりました。本来別個に災害対策として整備されていたものが、途中から街づくりのなかに一部取り込まれてしまったわけですが、途中からといっても施工段階から取り込まれたという状況でした。どういうことかというと、篠原先生をはじめ我々が現場に行った時には護岸に鋼矢板(パイル)が打ち込まれ、コンクリート用型枠が完全に建ち上がっており明日にでもコンクリートを打つという、もう工事は止まらない状態でした。つまり線形や基本構造は絶対に変えられないと。その上に付け加えるかたちで何とかしなければならない。で、できるといってももう鋼矢板(パイル)が打ってあるわけですから、荷重条件も決まっており、例えば石積みにしようとかそういうわけにはいかない。薄っぺらい石を貼ってお茶を濁すということもありえない。後世に残らず資産にもなりませんから。最終的にはある程度時間の経過に耐えられるような説得力のある風景にしなければならない。

といってもその時すでに先生は現場をご覧になっていて、皆さんも現場をご覧になられておわかりのように旧家があるのですね、西諸戸邸という。大きなお屋敷があって横にレンガ造りの蔵が見えています。実際、汐入の庭を作るのに水路を引き込んだのですが、この水路も全部レンガ造りになっているのですね。私と南雲さんは先生に呼ばれて、何とかしたいから協力してほしいといわれたのですが、先生は現場を見て既にレンガでいきたいと決めておられたわけです。先生は当初から、荷

重条件を考えると素材的に耐えられるのはレンガしかないと思われていたようです。我々としては現場に行きなるほどなあと思い、あとはどう料理するか、という状態でした。レンガ以上に説得力のある素材が見つからず、確かにレンガがいいと思ったのは西諸戸邸のレンガ蔵が思った以上にいい感じで、いずれ公開されたらわかりますけど敷地内にあるレンガの水路も大変にいいものです。また引き込みのための水路施設もいいものです。ということから最終的にレンガに決めたわけです。

レンガについては以前、先生・南雲さんと一緒にやった千葉県浦安市境川整備で使用したレンガと同じもので、これは常滑のレンガ屋さんのものです。実はこのあたりで採った土で作られていたらしいのです。幸いだったのは、西諸戸邸のレンガ蔵のものととても表情が似ていたものですから、これをベースに使おうと。ということで、もちろん千葉県とこちらでは場所が全然違うのでレンガの仕上げから配合比率まで浦安のものとは変えましたが、基本的な考え方としては良かったため、かなりトントン拍子に材料選定ができました。

私はレンガについてはどちらかというと得意としているほうなので扱いには苦労しませんでしたが、現場の職人さんは苦労されたと思います。注文が細かいですし変わった積み方を要求しましたから。目地はうるさく言いますしね。

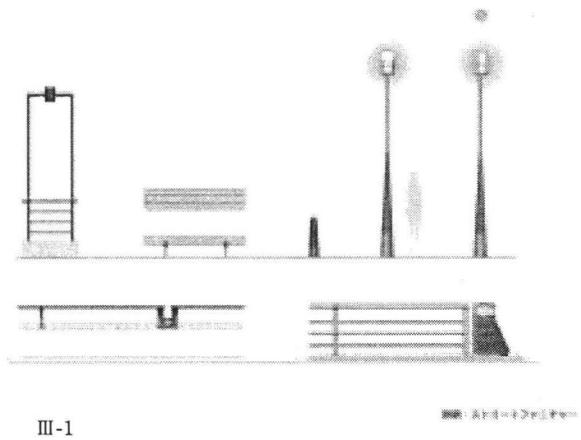
それより問題は船を係留するための係船金物を取り付けなければならないことでした。それは当初計画ではコンクリート護岸にアルミのフェンスがあって、途中々でフェンスが切れ、そこにロープを通し裏の係船金物に固定するという簡単なものでした。話を良く聞くと船というものは複数のロープで完全に安定するまで縛って固定されるということがわかり、もし波が立って船が揺れたら、アルミフェンスなんか壊れてしまうのではないかと思いました。また満潮の時は喫水線が上にあがり、ロープは下や前後左右だけでなく上に跳ね上がろうとする力も働くのではないか、そんな暴れるロープをいかにおさめるかという要求もありました。どうやっておさめるか、これは南雲さんが係船金物を考案してくれたのですけども、鋳物で解決しようと。なぜ鋳物なのかと言うと桑名は鋳物の町だからだと。それとその係船金物の形が鋳物でないととても作れない造形物だったのでこれはちょうどいいなと。どうせだったら防護柵、照明柱、ブラケットライトまで全部鋳物で作ろうということになりました。

私や南雲さんは通常東京で仕事をしていて、鋳物の仕事をするときは先ほどご発言いただいた伊藤鉄工さんにお願いすることが多いのです。伊藤鉄工さんにお願いすると製作品が原寸だろうが十分の一だろうが、また現場で寸法を測って作るとか、細かく対応していただけるので何の心配もないのです。

ところが桑名というところは鋳物の町とはいえ、大型の製品はやったことがないと。関西は薄物、関東は厚物と言うそうですが、関西の鋳物は要するに鍋、釜の世界で手に持てるぐらいのもの。最大でもマンホールの蓋ぐらいなのです。一方関東は機械鋳金なども平気で作る。大きな照明柱、今回は3．5mぐらいありますが伊藤鉄工なら一発で作るわけですね。ところが桑名にはそういう設備がない。メーカーの現場に入って面食らったのが製作図を描けない、ということなのですね。もともと大手メーカーが製作図を作成し、それをもとに木型を組んで製品を鋳造するという流れであったため、製作図を作る必要がなかったのです。それで今回、鋳物の技術があるというだけでチャレンジをしたわけです。で、結論から申し上げますと「良くやりました」と。良くやったといっても、途中では手探り状態で大変苦労しました。結果的に出来上がりはしましたが問題もありました。そのあたり、じゃあだめだったのか、という話では終わりたくないと思っていますし、そこに希望もあるということを先に申し述べておきたいと思います。

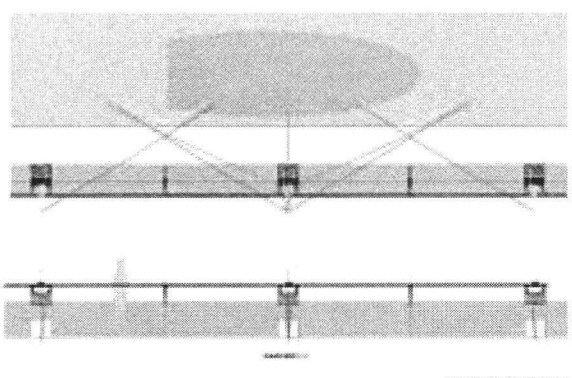
プロセスの話をする前に、まず係船金物とか照明柱がどういう意図でデザインされたのか、南雲さんに説明をいただきたいと思います。

南雲氏　それではその鋳物の話をいたします。最初の条件として桑名の鋳物を使ってくださいということがありました。これはほぼ絶対条件だったのですが、私自身鋳物は好きですし使いたいほうなので、ほとんど気にしていなかったのですが、やっていくに従って先ほどの話にもありましたようにいろいろオチや問題もありました。とにかくスタートは意気揚々と希望に燃えて始まりました。



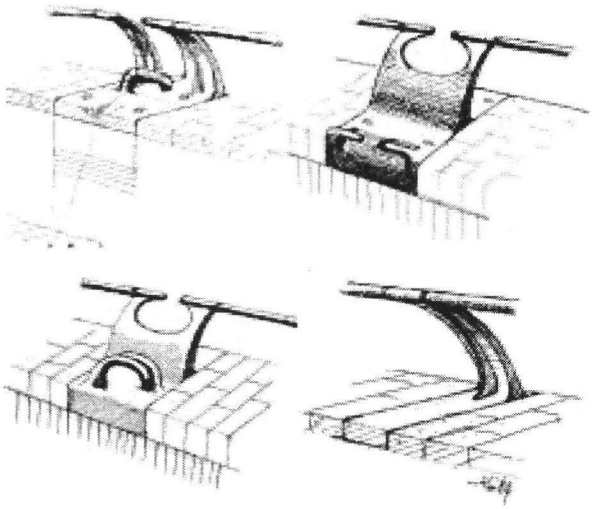
Ⅲ-1

これ最初にお見せしますが(Ⅲ-1)、住吉入江に整備された一連のデザインです。さきほど小野寺さんのほうから話がありましたが、係船金物の機能としてなのですけども、これは平面図です(Ⅲ-2)。これが護岸で、これに対してフェンスがあって係船金物がついています。



Ⅲ-2

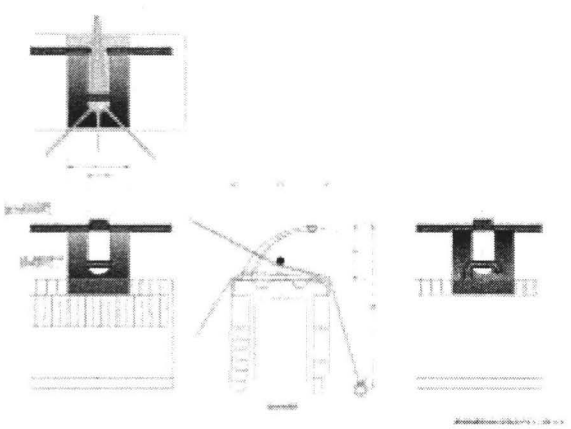
一隻の船に対して3ヶ所固定しないといけないとか、あるいは水位によって船の上端が高いところまで来るなど、ロープは必ずしも下方向ばかりではなく上のほうにも引っ張られていくという条件をクリアする必要がありました。いったいこの金物、どうやったらいいのかなということが最初のチャレンジでした。ただこの部分を装置として作って、フェンスは別に作って、というのはこの水辺全体のなかではありえないだろう、と初めから考えとしてありましたので、これをどうやって一体化していくか考えると面白いし、そのほうがここの風景の一部となりうるのではないか、またそれがうまくいけば桑名の鋳物であるというオリジナリティが出せるのではと考えました。そこで作業としてはこの係



Ⅲ-3

船金物をまとめることからスタートすることにしました。

これは(Ⅲ-3)ほぼ最終のスケッチなのですけど、いろいろと考えていました。これはそのうちの2つぐらいですけど。ロープが下に引っ張られたとき痛まないことを考えて丸くしてあります。ところがあわてた時にロープが通しづらく、船主さんが難しすぎると言われたりしました。これはロープが下に引っ張られた時のことしか考えていなかったのですね。船は実は上にいくこともあるということで、上から引っ張られるとロープが抜けてしまうと。と、いろんなことを検討しましてこれが(Ⅲ-4)たどり着いた案です。緊急時にもロープを通しやすく、またロープが上にい

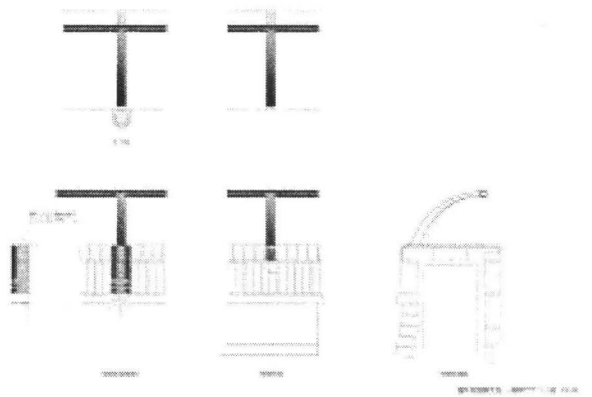


Ⅲ-4

っても曲がった金具で抑えられるようになっています。これはご覧のように非常に三次元で複雑な形をしているので、私のいままでの経験を通して見てもうまくいくのかな、という不安が

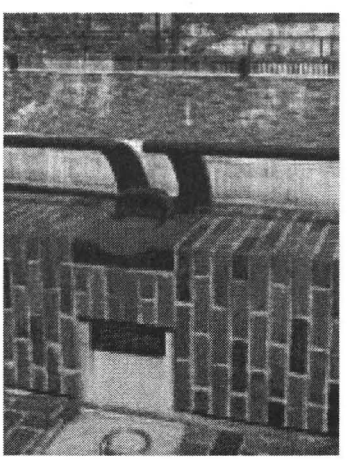
ありました。ところがあまり経験したことがないというのが幸いしたのか、桑名の鋳物屋さんはこれを見てもあまり驚かないのですね。「できますよ」という感じだったのです。この一声に安心していたのですが、そのあといろいろと待っていました。

これはきちんと寸法を追って図面化したものです。こ



Ⅲ-5

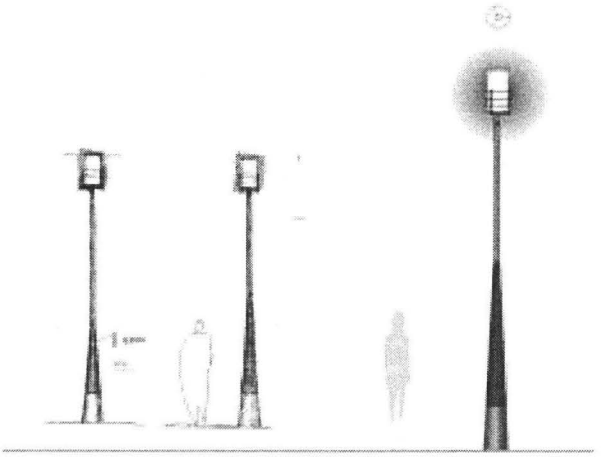
れは(Ⅲ-5)係船金物と次の係船金物の中間に配置される、フェンスの支柱という機能を持ったものです。支柱という機能とともに照明も設けました。そして照明の下には小野寺さんのほうでレンガにテクスチャーをつけてもらい、少し色を変えることでポイント的に処理しています。おそらく昼間はここに照明が入っていることはわからないと思いますが、そこが夜、実は水面を照らす照明になるというのが一つの狙いでした。



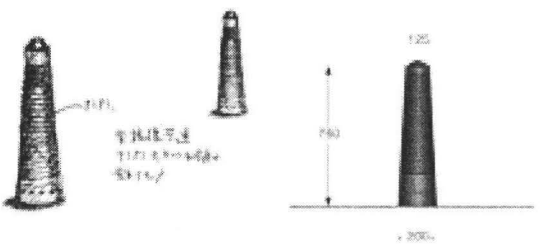
Ⅲ-6

これは(Ⅲ-6)完成した部分ですね。鋳物は力強くてがっちりしているのはもちろんなのですが、その中に機能を隠しながら美しいバランスを実現したかったので、最近では、これはいい形かなと思うようになりました。

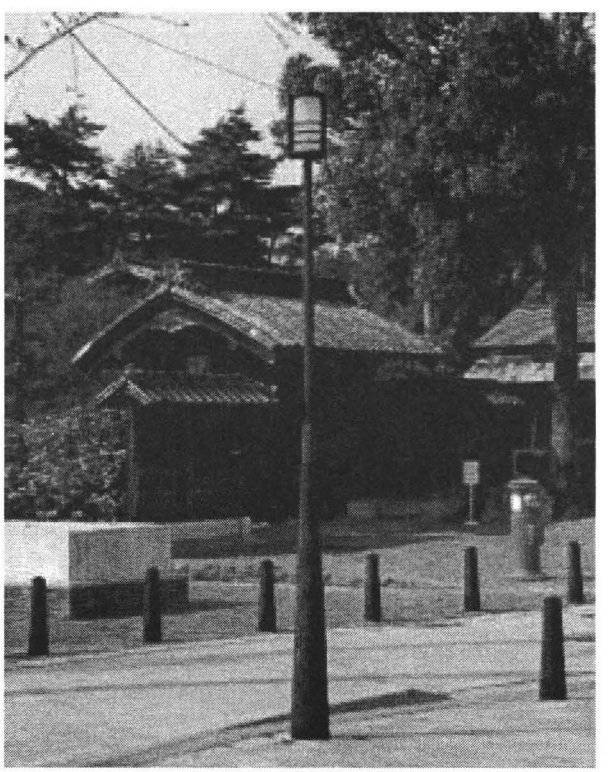
これは照明です(Ⅲ-7)。同じく鋳物で製作、できるだけボリューム感を持たせつつしかもコントラストを付け、シャープな部分と力強い部分を分けることに狙いをもってきました。柱の下あたりは300mm



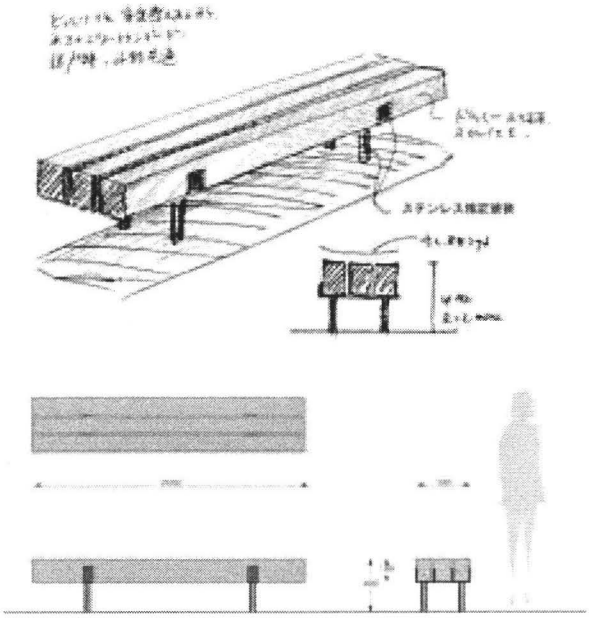
Ⅲ-7



Ⅲ-8



西諸戸邸前にて



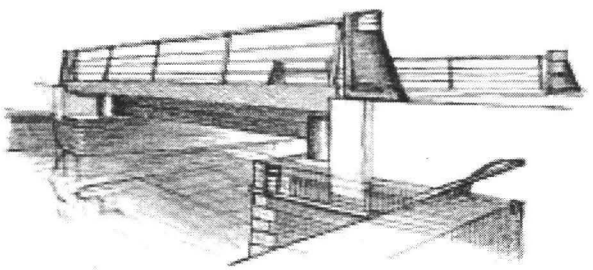
Ⅲ-9



ちょっとあったと思いますが、かなり太い径です。ところが上のほうになってくると70とか75mmなのですね。すごく差がきついテーパーになっています。普通は使わないような線なのですが、鋳物の力強さとスリムな線を使うことでコントラストを表現できないかな、ということを考えました。最終的にはレンガ護岸や西諸戸邸などがありますので、要はそのような風景に対して鋳物を使い、いかに似合う造形をつくりだせるかということが基本的な考えでした。

同じようにボラードですね(Ⅲ-8)。鋳物の表情を出しながら味わいも出し、そしてあまりダサくないスマートな形は他のアイテムと共通にまとめています。

あとベンチですが(Ⅲ-9)、完全な無垢の木を使い素材感を生かしたものにしました。これが完成した部分ですね。こうやってみると、結構気持ちよく西諸戸邸となじんでいるかな、という感じがします。





Ⅲ-10

これは玉重橋ですね(Ⅲ-10)。施工的な問題もありまして、最初はここから始まったのだと思います。これは上下する橋でして、当時も上部工は既に完成していました。船が通るときに

エレベーター式に上がります。特殊な橋ということで既に構造は決定しており変更はできませんでした。それで上の部分(高欄・親柱)を考えたというものです。

このあたり、レンガと石の組み合わせを小野寺さんのほうでやっていただき、それとの兼ね合いとかバランスとか考えながら、力強さと繊細さの組み合わせみたいな親柱、それに照明を組み合わせて親しみの持てるような形にしました。手摺に関しては鋳物だけでは硬いので、優しさを加えるということで無垢の木の使用を考えました。これが出来上がりですね。この横のマンションがすごくイヤですよね。西諸戸邸をバックで見る場合と、マンションをバックで見る場合では橋も違って見えますから。



Ⅲ-11

これは最後の絵ですが(Ⅲ-11)、夜景です。昼間はよくわからないと思いますが、夜は隠された光が水に映りこんで幻想的な感じになると思います。夜はちょっとした散歩とかデートスポットみたいないい感じになったのではと思います。照明というものは光が、大体のものは目立つものですけど、やはり昼のさりげなさと夜の情緒的なバランスが、難しくて面白いものではないかなと思います。全体のデザインの考え方はこのようなところです。

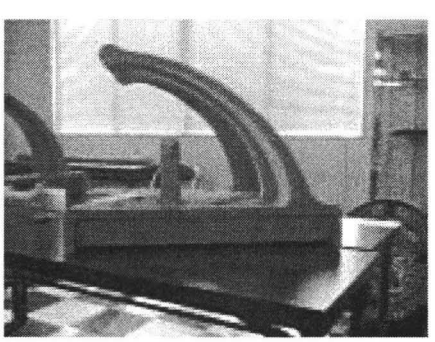
小野寺氏　では準備をしている間、少し補足をしておきます。桑名で鋳物をやろうといったとき、我々は桑名の鋳物屋さんと付き合ったことがないので、鋳物組合にお願いをしました。しかし地元としてもやったことがないわけですから、年配の方はちょっと二の足を踏むわけです。それで若い人に、「お前たちがやってみろ」ということで話が行って、若いといっても我々とあまり変わらないくらいの人たちですが、職人さんがやってきて話が始まりました。それが逆に幸いしたのかもしれませんが、すごく前向きに「やりましょう」と。ただ、先ほど南雲さんも言われたとおり「大丈夫っすよ」という気楽な'ノリ'があって、思い出すとあの時もう少し慎重にやるべきだったかなとも思います。そのあたりも踏まえて説明いたします。

これは打ち合わせ開始の場面です(Ⅲ-12)。何となく暗いのは事情がわかり始めてきたからです。ただ、何回目かのときに鋳物屋さんのほうから発泡スチロールで模型を作ってきてくれたのですね。ここからやっと話が動き出したという状況でした。



Ⅲ-12

発泡スチロールで検討し、形をどう詰めるかずいぶん検討しました。原寸大のこの模型はテクスチャーもついており実際に置いてみて雰囲気見たりもしました。問題は桑名というところは薄物の世界ですから一発で作れないのですね。関東では灯具と支柱に分けて作るのですけど、ここでは支柱一本ができない。細い部分と太い部分を分割して最後に継ぐということをしています。

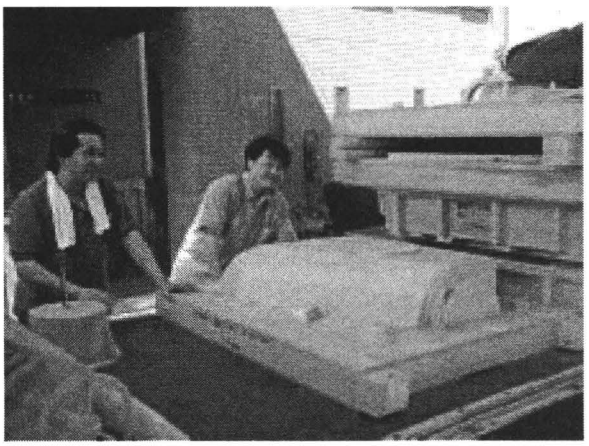


Ⅲ-13

発泡スチロールによる検討です(Ⅲ-13)。係船金物ですね。南雲さんがカッターで模型を削ったりして形を作っ

ていったという状況でした。ですから本当に手探りですよ。図面がないままこれで話が進んでいきました。途中で製作図もあがってきたのですけど、あまりよくなかったのです。

そうしているうちに木型があがったという連絡が入りました。びっくりしてしまいました。次の写真です(Ⅲ-14)。できているのです。これが。普通は製作図を見て何回か修正して初めて木型を作るものですけど。伊藤鉄工さんなら2～3回突っ返されるのですよ。南雲さんへ。いきなり木型ができたので見てくださいということで、半分あきれながら見に行くとこれが良かったのです。びっくりしているところです。木型が良かったら一旦はほっとするんですよね。木型職人さん腕は本当に良かったですね。最後に木型屋さんには、木型を作るときに作成する木型図と同じ要領で製作図も作成してもらいました。

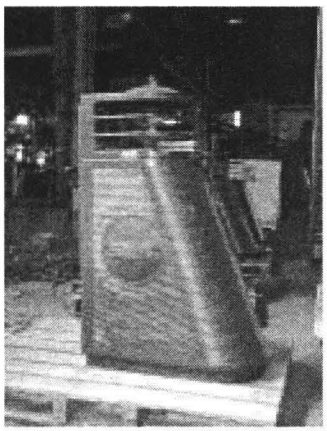

Ⅲ-14

次にだんだん形になっていくのですが例えばヒンジのところはどうしようとか、波々のテクスチャーの具合はどうだとか、ずいぶん検討しました。初めてやるものですから欠けが出たりしていろんなことがありました。波々のテクスチャーは昔チャレンジしていて、浦安の境川に使用したのですけど、川口の伊藤鉄工さんでも何度泣いたことか。それを初めての鋳物屋さんがやったのですけど意外にできているんですよね。粗いなりにある程度は。

南雲氏　指定したサイズより大きいんですけどね。

小野寺氏　勝手に大きくしたみたいです。そういう'ノリ'なんです。

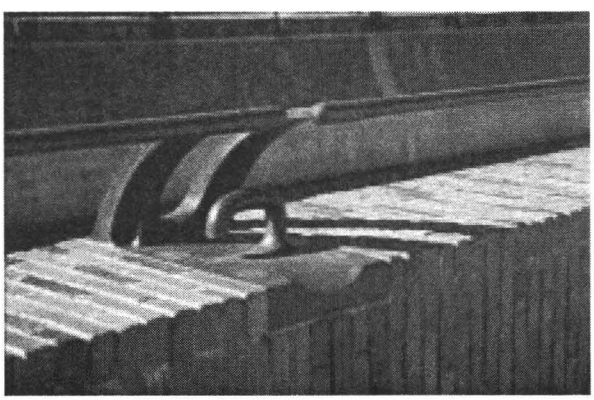
これは玉重橋の親柱です(Ⅲ-15)。裏話をすると、これを見たときに私と南雲さんは一瞬息を呑みました。というかびっくりしました。粗くて。関東の鋳物は本当にデリケートにできるのですけど、これはザックリした感じなんですよね。どうしようかとも思いましたが良く考えてみたら鋳物というものは、例えば郵便ポストも鋳物ですから。そういう質感なのです。ここまできたらこれをベースにやるしかない、ということで部分的に削ったりして修正を加えました。そして現場に据えてみるとこれがまたいいのですよ。その話もあとでします。


Ⅲ-15

南雲氏　今の話でね、とにかく塗装がピカピカの艶ありなんですね。僕のいままでの経験で艶ありの塗装なんてやったことがなくて、今回は指定していないのにピカピカなんですよね。これはびっくりして言葉がでないのですよ。困ったなぁと思っていたら「全部できていますよ」と。勢いだけは本当にすごい。

小野寺氏　押されっぱなしでした。

現場に据えたところです(Ⅲ-16)。据えた感じでは、頑張ってやっただけあっていい感じでした。三次元の極致のような複雑な形もうまい具合に脱型してくれましたし。特殊なワックスなど特別な方法は採らす、うまく木型を作ってもらったおかげでした。


Ⅲ-16

南雲氏　でも木型の分割数は相当多かったようです。10分割ぐらいだったか。

小野寺氏　これは係船金物ですね。ここにフットライトがあって、これは夜間雰囲気を出すと同時に、緊急時はロープを縛るための手元灯りにもなるわけです。

親柱もブラケットライトがついています。置いてみると、後ろにある西諸戸邸が渋い建物なので、このザックリとした鋳物の質感が風景に合う。こういった風景の中に納まったときにやっぱり地元でやってよかったなあ、と思いました。もしかすると川口で作ったらもっとシャープで綺麗に仕上がったかもしれませんが、これはこれで正解だったのではないかと思っています。とても味わいのある造形物になりました。



Ⅲ-17

また、照明柱(Ⅲ-17)をツインで建てて、一番最後を飾ろうとしてうまくいったのは、鋳物にある程度力があったからだと思います。

全体の風景です(Ⅲ-18)。夜になると灯りが点いてカーブしている護岸に照明の光を落とすというデザインになっています。やっぱり人間がいてこそという場所なので、もっともっと使ってもらいたいなあと思います。



Ⅲ-18

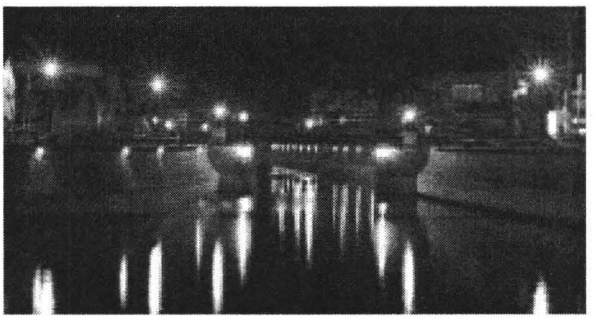
私のほうは鋳物の話ばかりではなく、他にいろんなことをやってきたわけですが、例えばここに(Ⅲ-19)親柱が二基、玉重橋の親柱だったものです。そして対岸にも二基飾ってあります。これはもともとあった親柱が造形的に面白く捨てるのが惜しいので、残そうということになったものです。まるでお地蔵さんのように座っているという感じですね。で、私思うのですけど、でき上がった親柱なり係船金物なりがもし将来朽ちて捨てるというときに、こういう風に扱ってくれたらうれしいなあって思うのですよ。そのような造形物のレベルに、南雲さんも頑張ってくれたので、何とかそうなるかもしれないと思っています。今、西諸戸邸の前に赤い郵便ポストがあります。昔の古いやつですね。あれ今は作ってないんですよ。みんな機能的な四角いポストになっていますね。でもあのポストは私、とても好きで、単純に使いにくいから捨ててしまうのはもったいないなと思っています。桑名のこの場所の中に力として込められたとしたら、プロジェクトとして一つ成果があったと思います。



Ⅲ-19

これが夜景ですね(Ⅲ-20)。夜はこのような感じになっています。とてもうまくいったかなあと、雰囲気がでたなあと思っています。皆さんもしこのシンポジウムが終わって夕暮れに、ライトが点いた頃歩かれるとそのような感じがおわかりになると思います。

以上、ポイントとしましては現場をご覧になっておわかりの通り、実は問題もあります。例えば錆が結構でています。腐食が


Ⅲ-20

激しいのですね。これはどういうことかといいますと下地の処理が甘かった。亜鉛は溶射にしましたが、やっぱりドブ漬けにするべきだったし、溶射しか方法がなかったとしても仕様を相当詰める必要があったなあと思います。それば最大の反省点です。

なぜそのようになったかと申しますと、我々のほうにミスがあって例えば東京で製作するときは伊藤鉄工さんやヨシモトポールさんなどメーカー側から問題を指摘してもらえるなど、やりとりのなかで解決しものづくりをしているのですが、やはり我々はメーカーさんにある意味いつまでも頼っているところがあったのではないのかな、と今回切実に感じました。逆にいえばそのようなキャッチボールがなく、もちろん桑名の鋳物屋さんは初めてやるものですからノウハウを出しようがない。しょうがないのですけど、我々としてもいままでメーカーさんの力を借りてものづくりをしてきたんだということを再認識させられたプロジェクトでもありました。

いつもはメーカーさんには厳しい注文をつけていますが、今回は少しおだててみようかなって思いました。いつもご協力いただいているメーカーさん、本当にありがとうございます。大変助かっております。いい成果を得られているのは、いつも思いますけれどわれわれ設計者だけでは絶対にできません。メーカーさんと一緒にやっているのですよね。計画の初期段階から「これどう作る？」という話を詰めていって積み上げて、現場まで入って作っていくのがいままでのプロセスですから。だから我々だけで作っているなんでおこがましくてとても言えません。メーカーさん及び現場の職人さんの力がないとできませんし、発注者の理解もないとできない。関係者すべての協力なくしてはできないのが土木、公共事業だと思います。確かに桑名は形になりました。そして問題点も残しました。初めてやったということで大目にみてやれよ、ということもあるかもしれません。ただし問題点は問題点としてちゃんと指摘して次に繋げていく必要もあると思います。

ぜひ錆びているものは軽油をかけて早急に処置をして、すぐ錆びたからあれはダメだというのではなく長持ちさせる方向で大事に使っていってほしいと思います。できあがったものは絶対に悪くないですから。資産として残るものです。ぜひ大事にして、後世に残るようなかたちで我々も努力したいと思っています。

南雲氏　最後に一言申し上げますが、鋳物についていろいろ失敗したところもあるという話がありましたが、要は僕らと鋳物屋さんがやりとりさえしたらいいものができるという話だけではないのですね。もちろんレベルの問題もありますが、やはり職人さんが、あるいは工場の人間が気持ちよく盛り上がってものを作ろうという意識になるかどうかというところが問題なのであって、そのためには、今回なら発注者である桑名市が市民も含めて一緒になって作っているんだという意識を持続させることが重要なのですね。今回も一時的に盛り上がって「一生懸命つくろう」という時期はあったのですが、結局いろいろ発注の問題とか市とメーカーとの関係とかでトーンダウンしてしまい、意気消沈してしまう。そうすると物を作っていく意識自体が下がってしまうのですね。やはり気持ちを高めて盛り上げていくことが非常に重要で、そういう意味では人と人の関係がスムーズでないといけない。今回は少しギクシャクしたところも感じましたが、結局ものづくりは人と人のいい関係が基本だと思いました。

篠原氏　ひとまずどうもありがとうございました。あの、非常に熱を込めて語っていただいたので、その雰囲気はわかっていただいたのではと思います。私も横でずっと一緒にやっていましたから。ただ小野寺さんにさっき言ったのですけど、素材としてのレンガをめぐる論争だけはちょっと補足しておいてください。

小野寺氏　レンガはですね、篠原先生の頭の中ではレンガはいけそうだ、ということになっていたことはお話したとおりですが、そんなに簡単なことではなかったのですね。なんでレンガ

なのだ、という話なのです。外堀でしょ。江戸期の外堀ですよ。なぜそこにレンガなのかという話になるのです。委員会では地元の歴史家や地権者などいろいろ来ていただいてみんなで考えたのですけど、まずなぜレンガだと。レンガのお堀なんて見たことないしおかしいと。でも、もともとそこは土羽だったのですよ。土羽に戻したら文化的には意味ないですよね。では何だったらいいのか。「石だったらいい」というんですけど、石もおかしい。とにかく土羽だったんですから。だからそこは相当議論をしました。西諸戸邸のレンガ蔵のレンガを持ち出し、ここは機能から考えると石を積むなら貼り物にしかならないし歴史的にも石積みであったことはない。敢えて石貼りにして嘘っぽい風景を作っても何の脈絡もないでしょうと。レンガであれば機能的で今後の時間の流れに耐える可能性もある、という話をさせていただきました。なるほど、と一旦はまとまったのですが、次は諸戸のレンガ蔵はイギリス積みだからこれにしてくれと。ところがですね、これはできないのですよ。なぜかというとコンクリートの護岸の表面にレンガを積んでいるわけですから。貼っているというより実際に鉄筋を組んで裏止めして、ちゃんと積んでいるわけです。だからレンガを挿せないのです。イギリス積みというのは横積みの次に縦積みで交互にクロスするので、平たい面の次には小口面がくるのです。それで安定するんですね。裏に何もないからできるのです。仮にそういうふうに見せかけるようなことをすると今度は目地が多くなってしまう。弱点になるわけですよ。構造的には。ここは避難港であって係留時には船がガンガン当たるわけです。機能が要求される場所に敢えて弱点を作ることは土木的に意味がない、という話をさせていただいて単純な布積みにしました。これについてもずいぶん議論がありました。まあ、まだ納得されていない方もいらっしゃるかもしれませんが、要はとても議論を重ねてレンガになったということは申しあげておきます。

篠原氏　工場に行って三種類ぐらいレンガを焼いてもらって、それで現場に並べて皆さんに見ていただいて。まあそれで決まったわけですけど、我々の考え方としては昔の復帰をするのではないと。レンガはもともと土で自然の材料ですからね、それを焼いたものが非常に優しい感じがするので、そういうことで平成のレンガ積みですと。昔の復元をしているわけではありません、ということです。

さて時間がだいぶん過ぎました。何かご質問はございますか。どうですか。鋳物組合の方が来ていただいていたら面白かった、面白かったといったら語弊がありますが、いろいろ議論があったということがよくわかったのではないかと思います。何事にも初対面でやるというのは難しいですよね。僕もいろんなところで仕事をやっていますけど、初対面だとしゃべってもお互いの本当の気持ちはわからないし、それまでの経緯がわからないからまあ2年ぐらいやってあぁ、そういう感じなのか、というのがわかってくるので、そういう意味ではちょっとしんどかったでしょうね。最初はね。お互いに。あなたがたも地元の人も。

小野寺氏　本当はここから始まりで、次にどうするかという積み重ねをやったときに初めて信頼関係が本物になって繋がっていくのではないかなと思うのですが、今現在そのモチベーションが下降気味であることは間違いないです。だから今、残念な状況にあるんです。何とかしたいなあ、ということでこのシンポジウムは期待するところがあります。先ほどの講演でヨシモトポールさんは2年前から木柱をやっていた、という話がありましたけれど、あれはですね本当に信頼関係がないとやってくれないわけで、はっきり申し上げて私とか南雲さんと一緒に組んだ場合、メーカーさんは儲かってないでしょうね。まず。持ち出しばかりで。ただ、できあがったものが次の技術に繋がるとかですね。特に南雲さんの場合鋳物の限界を超えるような提案が次から次へときますので。ありえない細さとかね、平気で言ってきますし。それで鍛えられているところもあって、その積み重ねが信頼関係に繋がって試作品も作ってくれる。時間はかかりますが。

篠原氏　そろそろ終わりにしなければならないので、もっと話したいのですけど終わりにします。今日皆さん見ていただいたとおりですけど、外堀を掘り返して、住吉入江もそうですけど、新しく整備して船も泊められる装置があって、そこにはたぶん日本中探しても無いような難しい形の鋳物の金具があって、照明も桑名でしかないようなものがついて、先ほど商店街の方とも話しましたけどだいぶん姿が見えてきたので地元のかたはずいぶん喜んでくれていて、それはそうですよね、他にないのですから。私どもとしても非常にうれしい。小野寺さんも言って

いますがそれが原点ですかね。地元は地元なりに苦労があり我々のような外人部隊にも苦労はありますが。またプランニングをやっている人の苦労もありますし、製作している人の苦労もある。でも一生懸命一緒にやっていいものができてよかったなあと。街がだんだん変わってくる予感がするという、それが楽しみでやっているものだという気がしますね。

これをバネに桑名も、それからいろんなところから来られていますが、私のところでもちょっとやってみようという元気の元になれば、と思います。どうもありがとうございました。

（文中写真・資料は南雲氏、小野寺氏提供）

閉会挨拶

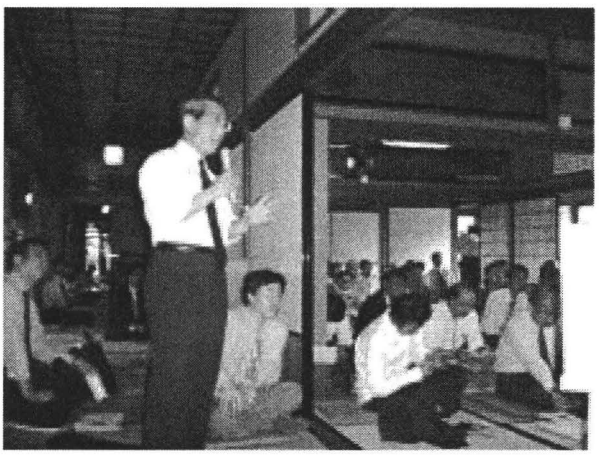
景観材料推進協議会 地域事業推進委員会
委員長
伊藤　貞二

長時間本当にどうもありがとうございました。10時30分から現地を見られて、それからこのようなシンポジウムに参加され、ものづくりの経緯やどういう人たちがどういうふうにかかわったのかいろいろ出てまいりました。シンポジウムはこれで三回目なのですけれども、いみじくも最後に篠原先生をおっしゃられました通り、ものづくりにかかわる人はもっと元気になれ、と。これが私も一番いいたいところでございまして、何かヒントを持ってお帰りになっていただいて、明日からでも実行できるものがあるのではないかということです。これは第一回目、第二回目の聴講者の方からも聞きました。

地元の鋳物屋の若い社長さんで非常に面白い考え方をもっている方がおられ、中国という大きなマーケットにも製造工場を持って頑張っておられる方が実は今日、講演に来ていただく予定だったのですが、この方が言われたのは「地元の炉の火は消しません」ということでした。なぜかというと、消すとものづくりを忘れてしまうと。これは非常に重要だなと思いました。残念ながら急用で本日は出ていただくことができなかったのですが、違った角度で、そしていままで経験されたことのないものづくりを半ば強引にデザイナーの方から押し付けられたということに対して、どういうふうに対応して、そのあとはどうなったのか聞きたかったのですけど、それはそれでお聞きになられたい方がおられたらアンケート用紙に書いていただければ、協議会のほうで調べてまいります。

そんなことでまた次のシンポジウムをいろいろ考えながらやっていきたいと思いますので、ここに来られた方はそれぞれの会社に戻られてぜひ創造的なことにトライしていただけたら、と思います。

それでは本日ご参加いただいた皆様、それからご講演いただいた方々にお礼を申し上げます。また桑名市役所の方々、大変なご好意でこの会場を貸していただきましたが、この建物は明治時代のものです。今回はその建物の中でやっていることと自体が大きな話題だったと思います。今日は長時間本当にありがとうございました。



2003

第三回地域事業推進委員会シンポジウム 報告書

シンポジウム運営スタッフ

景観材料推進協議会　地域事業推進委員会

委員長　伊藤　貞二（株式会社 INAX）

東海地区部会

部会長　喜多　宏太郎（株式会社 住軽日軽エンジニアリング）
委　員　藤村　圭一　（株式会社 住軽日軽エンジニアリング）
委　員　杉村　吉夫　（株式会社 中部コーポレーション）
委　員　大熊　憲行　（株式会社 中部コーポレーション）
委　員　三瓶　真澄　（丸栄コンクリート工業株式会社）
委　員　坂井　日佐男（株式会社 INAX）
委　員　大森　伸宏　（積水樹脂株式会社）
委　員　浅野　貴之　（積水樹脂株式会社）

景観材料推進協議会　（シンポジウム報告書編集・作成）

事務局　渡部　昇

この事業は、財団法人トステム建材産業振興財団の助成を受けて実施したものです。

【ご注意】文中の写真・資料は桑名市およびご講演者よりお借りしたものです。複製・転用はご遠慮ください。

社団法人 日本建材産業協会 ・ 景観材料推進協議会
東京都中央区日本橋浜町2－17－8（浜町花長ビル）〒103-0007
tel : 03(5640)0903　fax : 03(5640)0905
http://www.jkiss.or.jp

2003/10 印刷

2003/10 景観材料推進協議会

第４部　研究発表会・シンポジウム
4-1 公開シンポジウム：シックハウス問題の現在 ～室内環境の実態と防除対策～

（財）トステム建材産業振興財団より助成を受けたシックハウス防止対策研究会の公開シンポジウム「シックハウス問題の現在～室内環境の実態と防除対策～」が、平成15年8月25日（月）午後13:30～17:30、ハーネル仙台松島Bホールにて開催された。なお、本シンポジウムは、（社）住まいと環境 東北フォーラム、（社）空気調和衛生工学会東北支部、（社）日本建築学会東北支部環境工学部会、（社）建築設備技術者協会東北支部の共催で開催された。

シンポジウムでは、代表 吉野 博（東北大学大学院 教授）による主旨説明の後、林 基哉（宮城学院女子大学 教授）、石川 哲（北里研究所病院 臨床環境医学センター長）、角田 和彦（宮城厚生協会坂総合病院 小児科医長）、天野 健太郎（東北大学大学院 大学院生）、北條 祥子（尚絅女学院短期大学 教授）、吉野 博、野﨑 淳夫（東北文化学園大学 教授）の各氏がそれぞれの分野での講演を行い、最後に吉野 博がコーディネーターとなりパネルディスカッションを実施した。

開催プログラム、内容については添付資料のとおり。

添付資料

- 資料1　開催プログラム（案内）
- 資料2　シンポジウム講演資料
- 資料3　パネルディスカッション議事録



写真1　講演の様子



写真2　パネルディスカッション

資料1

公開シンポジウム

（住まいと環境　東北フォーラム第44回公開シンポジウム・第42回東北環境設備研究会）

シックハウス問題の現在
～室内環境の実態と防除対策～

いわゆる「シックハウス」問題が顕在化してから約10年が経過します。この間、産官学の各分野での対応が急速に進められ、室内濃度指針値の策定や建築基準法の改正等、防除対策が実施さされつつありますが、健康被害に関する報告は年々増加する傾向にあるのが実情です。

本シンポジウムは、平成12年度から開始された厚生科学研究費補助金生活安全総合研究事業「シックハウス症候群の病態解明、診断治療法に関する研究」のワーキンググループとして組織されたシックハウス防止対策研究会（委員長 吉野博）の活動研究「室内空気中の化学物質汚染に関する研究－シックハウスにおける化学物質汚染の実態調査－」の成果をもとに、建築学、医学、疫学分野における研究者による最新の研究データを公開し、健康住宅実現のために意見交換し、室内空気汚染問題を様々な角度から総合的に考えるものです。各研究分野の問題や課題に対して議論を深め、健康住宅の実現に向けた今後の研究および対策の方向性を提示します。

皆さまお誘いあわせのうえお申し込みください。

■ 主　催：東北大学大学院工学研究科　都市・建築学専攻　シックハウス防止研究会
■ 共　催：住まいと環境　東北フォーラム、空気調和・衛生工学会東北支部、日本建築学会東北支部環境工学部会、建築設備技術者協会東北支部
■ 日　時：平成15年8月25日（月）　13:30～17:30
■ 場　所：ハーネル仙台 2F 松島 B　URL：http://www.heanel.com/
（仙台市青葉区本町 2-12-7 TEL 022-222-1121　FAX 022-222-1126）
■ 参加費：無料
■ 定　員：100名
■ 〆切り：8月15日（金）　ただし定員になり次第〆切り
■ 申込方法：はがき、FAX、Eメールのいずれかで、「8/25公開シンポシックハウス問題の現在申込」と明記し、氏名、所属、郵便番号、住所、連絡先の電話番号・FAX番号などを併記の上、下記宛までお申し込みください。
■ 申込先：〒980-0821 宮城県仙台市青葉区春日町3－8　春日町ファインビル4階
住まいと環境　東北フォーラム
TEL022 (221) 9042　FAX022 (221) 9243　E-mail　htoenv@rio.odn.ne.jp

■このシンポジウムに関するお問合せ先：
東北大学大学院工学研究科　都市・建築学専攻　建築環境工学研究室　TEL 022-217-7885

《講師（出演順）》 プログラムは裏ページをご参照ください。

林　基哉氏（宮城学院女子大学　教授）
石川　哲氏（北里研究所病院　臨床環境医学センター長）
角田　和彦氏（宮城厚生協会坂総合病院　小児科医長）
天野　健太郎氏（東北大学大学院）
北條　祥子氏（尚絅女学院短期大学　教授）
吉野　博氏（東北大学大学院　教授）
野崎　淳夫氏（東北文化学園大学　教授）

－このシンポジウムは（財）トステム建材産業振興財団第11回（平成14年度）助成金を受けています－

資料1

ープ ロ グ ラ ムー

○受付開始　13:00～

1.　13:30-13:35　開会の挨拶
2.　13:35-13:40　主旨説明　　吉野　博(東北大学大学院　教授)
3.　基調報告　(タイトル予定)

①13:40-14:00　シックハウス問題発生の経緯と展開　　林　基哉(宮城学院女子大学　教授)

②14:00-14:20　シックハウス症候群・化学物質過敏症の病態、診断治療法
石川　哲(北里研究所病院　臨床環境医学センター長)

③14:20-14:40　化学物質の人体影響について～アレルギー学的視点から～
角田　和彦(宮城厚生協会坂総合病院　小児科医長)

④14:40-15:00　シックハウス症候群患者宅の住環境の実態　　天野健太郎(東北大学大学院)

○休　憩　15:00-15:10(時間調整あり)

⑤15:10-15:30　シックハウスの疫学調査　　北條　祥子(尚絅女学院短期大学　教授)

⑥15:30-15:50　住宅の気密化と換気システムについて　　吉野　博(東北大学大学院　教授)

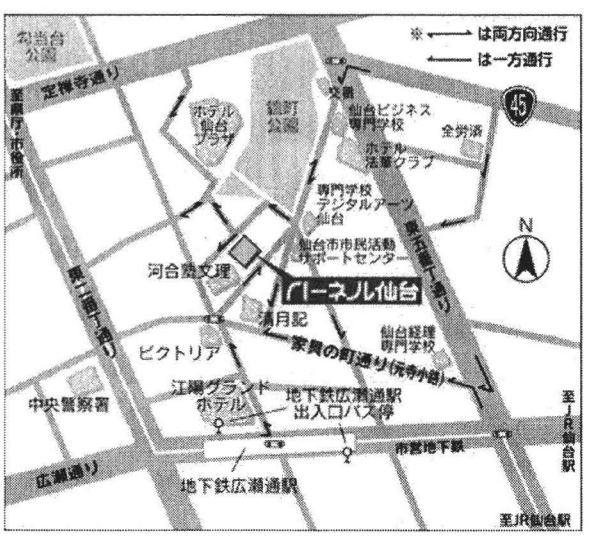
⑦15:50-16:10　建材等からの化学物質発生量の実態と空気汚染防除対策
野﨑　淳夫(東北文化学園大学　教授)

4.　16:10-17:25　パネルディスカッション
5.　17:25-17:30　閉会の挨拶

○終了

※時間配分や講演タイトルは予定です。場合により変更になることもありますのでご了承ください。

《会場案内図》



JR 仙台駅	----------	徒歩　約 7 分
JR 仙石線青葉通駅	----------	徒歩　約 5 分
市営地下鉄広瀬通駅	----------	徒歩　約 3 分
市営地下鉄勾当台公園駅	----------	徒歩　約 5 分
市営バス広瀬通バス停留所	----------	徒歩　約 3 分

施設周辺は民間有料駐車場がございますので、
必要に応じてそちらをご利用ください。

資料2

公開シンポジウム
（住まいと環境 東北フォーラム第44回公開シンポジウム・第42回東北環境設備研究会）

シックハウス問題の現在
～室内環境の実態と防除対策～

2003年8月25日

シックハウス防止対策研究会

資料2

主催

東北大学大学院工学研究科　都市・建築学専攻　シックハウス防止研究会

共催

住まいと環境　東北フォーラム
空気調和・衛生工学会東北支部
日本建築学会東北支部環境工学部会
建築設備技術者協会東北支部

－本シンポジウムは（財）トステム建材産業振興財団第11回（平成14年度）助成を受けています－

目　次

1. シックハウス問題発生の経緯と展開……1
宮城学院女子大学　林　基哉

2. シックハウス症候群と健康安全……7
北里研究所病院臨床環境医学センター　石川　哲

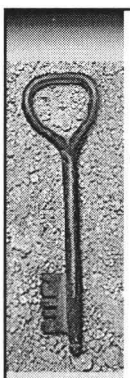
3. 化学物質の人体影響について－アレルギー学的視点から－……9
宮城厚生協会坂総合病院　角田　和彦

4. シックハウス症候群患者宅の住環境の実態……15
東北大学大学院　天野　健太郎

5. 子供の健康と居住環境……25
尚絅学院大学　北條　祥子

6. 住宅の気密化と換気システムについて……31
東北大学大学院　吉野　博

7. 最新のシックハウス防止対策
日用品による室内化学物質汚染低減対策……43
東北文化学園大学大学院　野﨑　淳夫



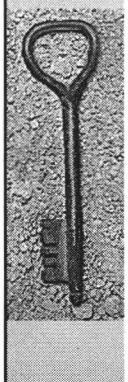
シックハウス問題発生の経緯と展開

林　基哉（宮城学院女子大学　教授）

●「シックハウス：Sick House」
・居住者の健康を阻害する要因を持つ住宅を示す。
・湿気や空気汚染等が要因として挙げられる。

●「ヘルシーハウス：Healthy House」
・居住者の健康を増進する要素を持つ住宅。
・日本では、「健康住宅」という言葉が使われるが、シックハウスでは無い住宅として捕らえられる場合が多い。

1



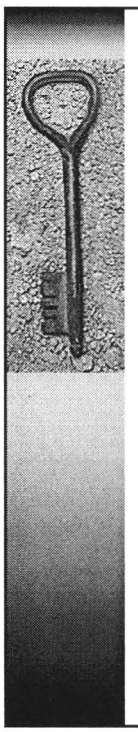
問題の顕在化は、1995年頃~

●**阪神淡路大震災後の新築ラッシュの中で注目**
「仮設住宅から新築に越した後に、喉と目の痛み、アトピー性皮炎の悪化等の健康影響が多発した。」

●**RCマンション**
「新築マンションに越してきたところ、目が痛くなった。初日に夕食を外でとって帰ってくるとペットのモルモットが死んでいた。その後、マンションに入ることが出来ない。」

●**一戸建て住宅**
「新築した住宅に入居して数週間で子供の喘息がひどくなり、前の家に戻ると直った。何度か入居を試みたが１年たってもまだ新しい家に入居できない。」

2



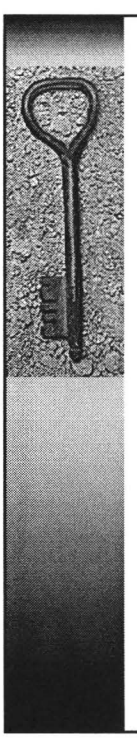
欧米では、1970年代~

●欧米におけるシックビルディング（Sick Building）
米国でオイルショックの後、省エネルギーのために換気量を１/３にした処、頭痛吐気など様々な症状が現れた。このような建物をシックビルと呼んだ。
日本では、ビル管理法（炭酸ガス１０００ppm以下）が適応されていたため、換気量が確保され大きな問題が起きなかった。

●ホルムアルデヒド
建材･家具で使われている接着剤に含まれており、建物内で空気中に長期的に放散する。

●VOC（Volatile Organic Compounds）
トルエン・キシレン等の揮発性有機化合物の総称で、合板、接着剤、壁紙、塗料、木材保存剤や殺虫剤、衣服、新聞など生活を取巻く多くの物から発生する。

3

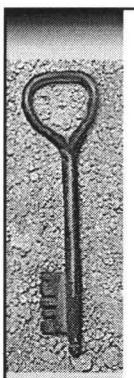


室内化学物質汚染の要因は？

◎化学物質の発生源が増えた
・建材、家具、家庭用品の変化
ホルムアルデヒドやVOCを発生する工業化製品の普及
・住宅工法の変化
熟練工不足で、接着工法が普及（気密工法の導入も拍車）

◎建物の換気量が減った
・住宅の気密化
快適性向上、省エネルギーのための気密化の普及（気密サッシや防湿気密フィルム・・・）
・換気習慣（窓開け）の衰退
冷房の普及、外部環境の悪化（騒音、排気ガス、花粉）、共働き・塾等で外出時間が増加

4



問題顕在化までの経緯は、

1960年代　洋風生活の導入期・経済成長
化学工業の発展（化学繊維、プラスチック製品）
家事省力化のための家電機器の進歩と普及開始

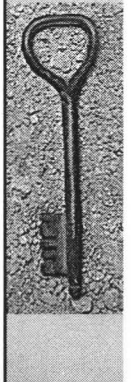
1970年代　洋風生活の一般化（1973年　オイルショック）
工業化住宅、工業化部品、建材の普及
1979年　旧省エネルギー告示

1980年代　快適性重視の時代
個人の嗜好性の多様化、エアコンの普及

1990年代　健康志向の時代
高齢問題・空気清浄機，浄水器の普及
1991年　新省エネルギー告示
北海道に気密住宅、北東北に気密住宅推奨

◎シックハウス問題顕在化

5



対策の始まりは、

◎シックハウス問題顕在化

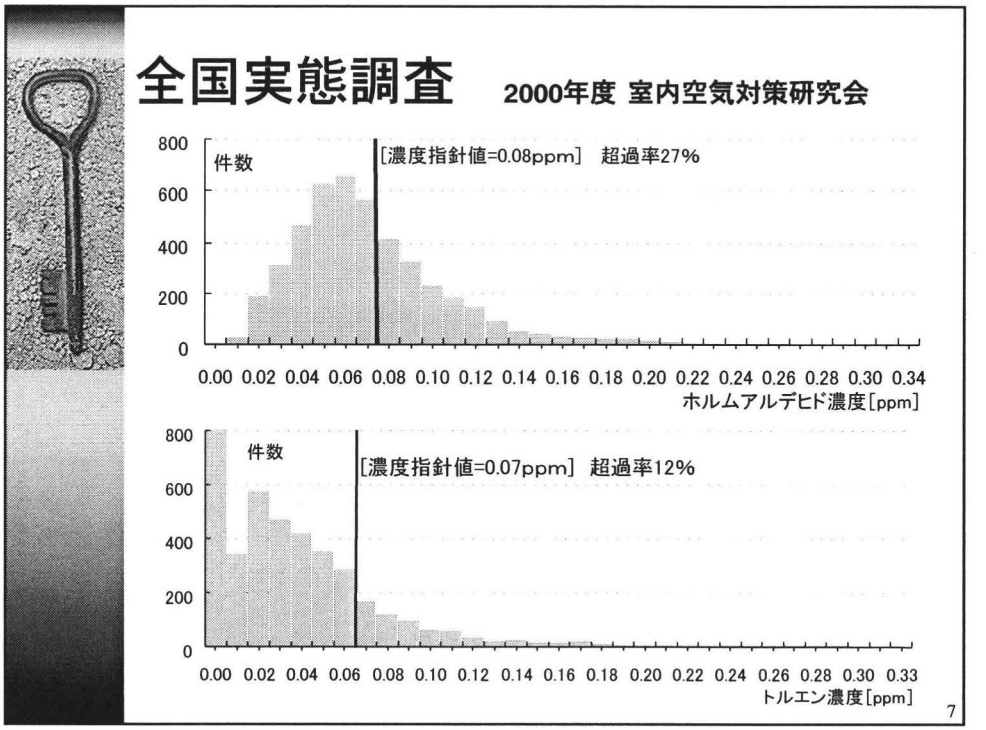
1995年　健康住宅研究会（建設省他）
1996年　ホルムアルデヒド指針値発表（厚生省）
「健康的な居住環境形成技術の開発（建設省他）」
1997年　「室内化学物質空気汚染の解明と健康・衛生居住環境の開発」（科学技術庁）
1998年　次世代省エネルギー告示
全国に気密住宅（沖縄を除く）

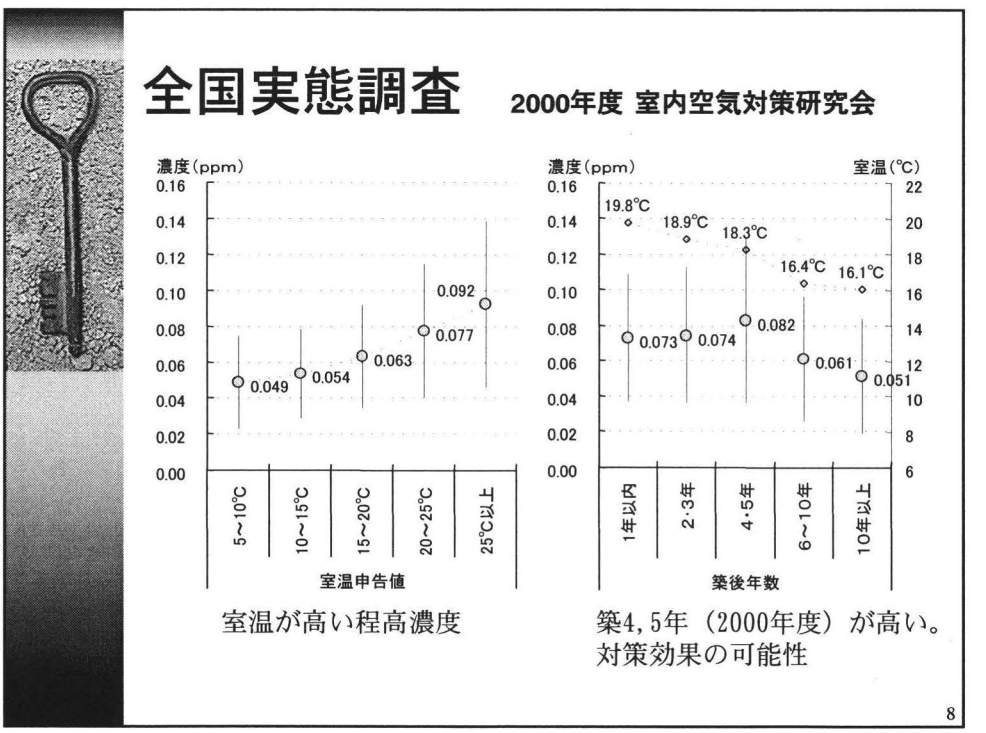
2000年　トルエン・キシレン・パラジクロロベンゼン指針値
⇒以後13物質に
（ ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、パラジクロロベンゼン、エチルベンゼン、スチレン、クロルピリホス、フタル酸-2-ブチル、テトラデカン、フタル酸-2-エチルヘキシル、ダイアジノン、アセトアルデヒド、フェノブカルブ ）

2000年　室内空気対策研究会（厚生労働省、国土交通省等）
2000年　総プロ「シックハウス対策技術の開発」（国土交通省）
2000年　厚生科学研究「シックハウス対策研究調整会議」

2003年　建築基準法の改正

6



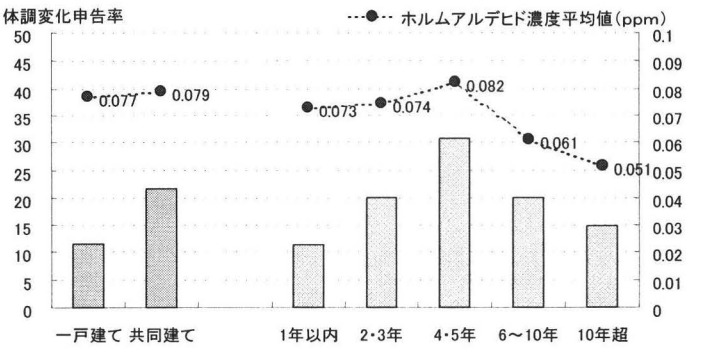


室温が高い程高濃度

築4,5年（2000年度）が高い。
対策効果の可能性

全国実態調査

2000年度 室内空気対策研究会



共同建ての方が体調変化申告率が高い。
ホルムアルデヒド濃度と体調変化申告率に関係が見られる。

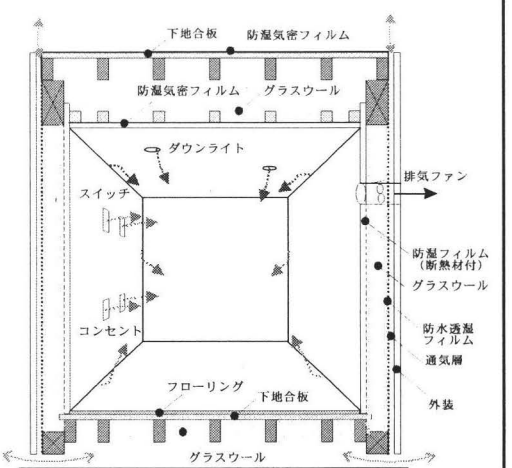
9

内部建材の室内影響

国土交通省総合技術開発プロジェクト「シックハウス対策技術の開発」

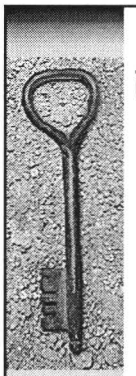
天井懐等（天井懐、床下や壁体内）の内部建材（木質建材、断熱材、接着剤等）からも化学物質が室内に侵入する。





集合住宅、戸建住宅や実験室、数値実験で検証された。

10



改正建築基準法　2003年7月

（国土交通省住宅局ホームページより）

(1) 規制対象の化学物質
クロルピリホス及びホルムアルデヒドとする。

(2) クロルピリホスに関する規制
居室を有する建築物には、クロルピリホスを添加した建材の使用を禁止。

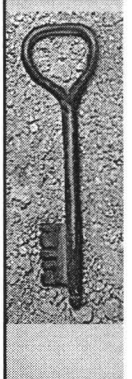
(3) ホルムアルデヒドに関する規制

① 内装の仕上げの制限
居室の種類及び換気回数に応じて、内装仕上げに使用するホルムアルデヒドを発散する建材の面積制限を行う。

② 換気設備の義務付け
ホルムアルデヒドを発散する建材を使用しない場合でも、家具からの発散があるため、原則として全ての建築物に機械換気設備の設置を義務付ける。

③ 天井裏等の制限
天井裏等は、下地材をホルムアルデヒドの発散の少ない建材とするか、機械換気設備を天井裏等も換気できる構造とする。

11



解決のための課題

●健康影響・被害のメカニズム？⇒医学・・
「被害がでている住宅の屋内空気の汚染濃度は必ずしも高くない。」
「住宅のみが原因なのか。」
「完治すことが出来るのか。」
「潜在的な被害がどの程度あるのか。」

●住宅の化学物質汚染のメカニズム？⇒材料・化学・・
「どこからどんな化学物質がどれくらい出てくるのか。」
「どのような経路で人体に入っていくのか。例えば内部に使う建材は。」

●改善する方法は？家を建てる方法は？⇒建築・設備・・
「どこをどのように直せばよいのか。」
「改善すべきものをどのように探すのか。」
「材料は、換気設備は、どのようにすればよいか。」

12

シックハウス症候群と健康安全

石川　哲　（北里研究所病院臨床環境医学センター　センター長）

研究目的

今回の講演はシックハウス症候群（Sick House Syndrome：SHS 以下本症と略）の病態、診断・治療・予防法に関するこれまでの研究を紹介する。研究は平成 12 年から 14 年まで、厚生労働省の健康科学総合研究事業の援助で行なわれたものである。研究班では医師のみではなく多領域の専門家により研究がなされたのが特徴である。特に医学、工学、化学がその中核を成している。1980 年代欧州では Sick Building Syndrome が提唱され、主に volatile organic compounds（VOC）による生体への影響が研究された。本症は自律神経系を中心とする不定愁訴所謂 hazardous effect で、日本ではビルではなく、家を中心に発生した患者をシックハウス症候群と呼んでいる。本症は化学物質過敏症と明確に区別することは不可能である。要は、低容量環境化学物質曝露により生じた生体の反応である。この問題に深く突っ込んだ学際的研究は今回の研究班のそれが、初めてである。これらの成果は”2003 Symposium on Indoor Air Quality and Health Hazards”のタイトルで平成 15 年 1 月 8～11 日までには米国政府健康研究所（National Institute of Health, National Institute of Environmental Health and Sciences）と国土交通省を中心とする国の援助で国際学会が行なわれた。建築・医学の研究者が合同で始めてこの題で日本で国際会議が開催された。米国から NIH を中心に約 20 名、欧州からも著名な学者も数名加わって最初の 2 日間はクローズド、次の 2 日間はオープンで盛大に研究発表と熱心な討議が行われた。学会終了後の世界の学者の評価では、我々の日本での研究は既に世界の研究の先端を行っていることが明らかであったとされた。

本邦では平成 15 年 7 月には建築基準法の改正が施行され、フォルムアルデヒドと有機燐殺虫剤クロルピリフォスが規制される事となった。

シックハウス症候群研究を医学面で大きく分けると、1.米国では疫学・アレルギー学、実験動物学、遺伝学が中心で、2.欧州は内科的側面からとくに神経免疫、内分泌の面から患者を診る報告が多く、3.日本は最も重要な診断面からの研究特に患者の異常の有無を他覚的検査法で証明する方法が盛んで、この面では圧倒的に他の国の研究より勝っていた。国の援助で建設された、患者診断用のクリーンルーム利用による化学物質の微量負荷試験、さらに診断補助としての神経学的アプローチが最も正確、かつ再現性のある結果を示し、従来単なる精神的異常として片付けらた面を覆す証拠がいくつか示された。他の諸国にはこれら研究はなく、日本が最も進んでいる点であると判定された。

化学物質による今後の重要な問題として、家のみにとどまらず学校の新築・改築による生徒への問題も極めて大きい。現代の小児の発育がとくに知能面、高度の精神的判断力などで劣っている例があること、それが、遺伝、生活環境以外に化学物質による影響があるのではないか、という疑問が世界の先進国からすこしずつ示された。わが国もこの面でさらなる研究が強く望まれる。

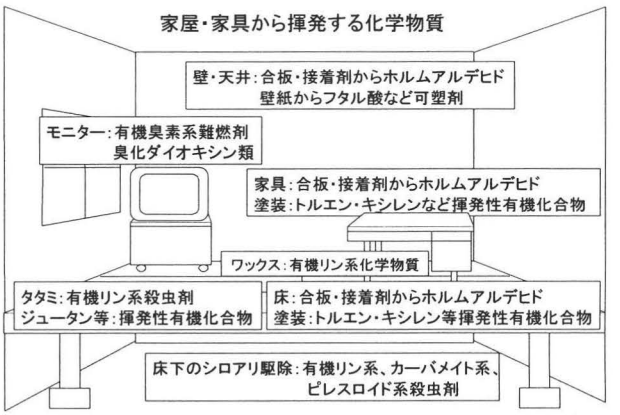
化学物質の人体影響について－アレルギー学的視点から－

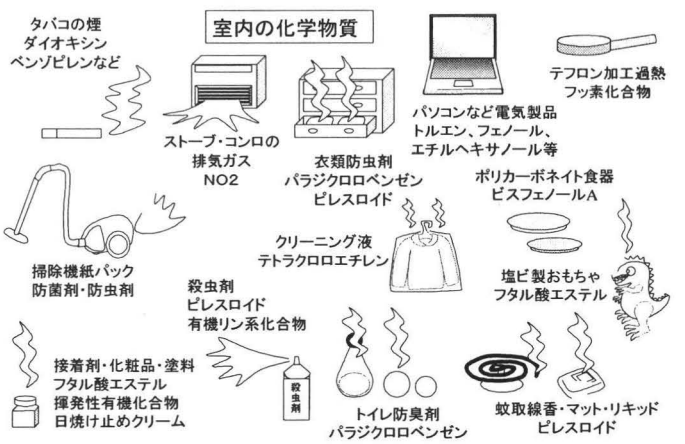
角田　和彦　（坂総合病院小児科　科長）

はじめに

現在、私たちの生活の中にはさまざまな化学物質があふれています。これらの化学物質は、さまざまな効果を期待して開発されましたが、使用による環境への影響に対する配慮、とくにヒトも含めた自然界の生物への影響が充分に考えられていたわけではありませんでした。最近の家屋は、家屋内の温度を少ない燃料で調節できるように断熱化が進みましたが、換気が充分に考慮されないままに気密化されてしまいました。さらには、さまざまな合成樹脂や塗料、防腐剤、防虫剤などが多用されたため、室内の空気はこれらから発生する化学物質によって汚染が進行し、シックビルディング症候群、シックハウス症候群、シックスクール症候群、化学物質過敏症などの新たな症候群を生み出しました。一方、アレルギー反応が調節できずにアレルギー性疾患（気管支喘息、アトピー性皮膚炎、アレルギー性鼻炎、アレルギー性結膜炎、じんましん、花粉症、食物アレルギーなど）を発病する子供たちが増加してきており、これらの増加と化学物質との関連が疑われています。とくに、最近ではアレルギー性疾患を発病する年齢が低下する傾向が著明であり、胎児期または乳児期からの環境汚染化学物質への曝露が問題になってきています。

人が一日に摂取する物質の重量比をみると、約80％は周囲の空気です。もし、吸い込む空気が汚染されている場合には、大きな影響を受けることになります。



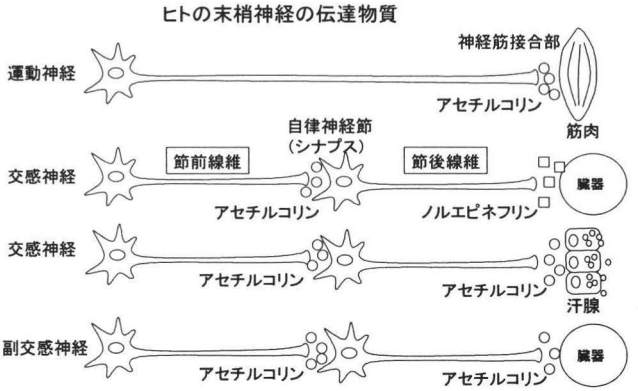


有機リン系殺虫剤・有機塩素系殺虫剤・ピレスロイド系殺虫剤の影響

有機リン系殺虫剤

神経系は細胞膜が興奮していくことで電気信号を神経細胞内で伝達します。神経細胞と神経細胞間の電気信号伝達は、神経伝達化学物質を神経末端から放出して、接触している次の神経細胞を興奮させることでおこないます（1）。

運動神経の神経筋接合部や交感神経の自律神経節・汗腺にいく交感神経末端・副交感神経ではアセチルコリンが神経末端から放出されます。放出されたアセチルコリンは細胞膜（シナプス後膜）にある受容体と結合して次の神経細胞の興奮を引き起こし、電気信号を伝達します。余ったアセチルコリンはコリンエステラーゼによって分解され、過



剰な神経興奮が起こることを防ぎます。有機リン系殺虫剤はコリンエステラーゼと結合してその働きを低下させてしまいます。結果として、交感神経や副交感神経、筋肉が異常な興奮を起こしやすくなり正常な働きができなくなります。

その他の有機リン化合物

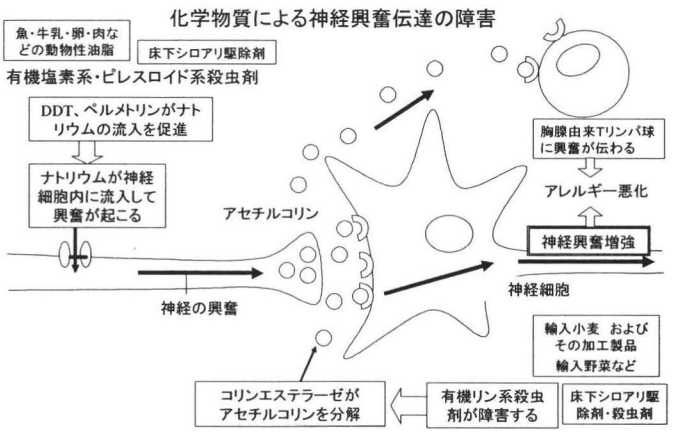
殺虫剤以外では、ウレタンホーム、エポキシ樹脂、アクリル樹脂など合成樹脂に難燃剤として有機リン剤が使われています。

DDTとピレスロイド

神経細胞膜の興奮は、細胞膜にあるナトリウムチャネルが開いてナトリウムが細胞外から細胞内に流入することではじまります。DDTなどの有機塩素系殺虫剤やピレスロイド系殺虫剤は、神経細胞が刺激されたとき、神経細胞内へのカリウムの流入、あるいは、ナトリウムの流出を抑制し、正常な神経興奮とは関係なく、神経細胞を常に興奮状態にさせてしまいます（1）。その結果、神経細胞は正常な働きができなくなります。

異常な神経興奮は過剰なアレルギー反応を引き起こす

化学物質によって引き起こされた異常な神経の興奮は、神経からサブスタンスPなどの神経ペプチドの放出を引き起こし、神経ペプチドは免疫細胞に作用して過剰なアレルギー反応を起こす可能性があります。最近の研究では、リンパ球（特に胸腺由来のTリンパ球）にはアセチルコリンの受容体があることがわかっています（2、3、4、5）。自律神経から放出されたアセチルコリンは、アレルギー反応の働きを担っているリンパ球に信号を伝え、その働きを調節している可能性があるわけです。つまり、自律神経の不安定な状態はアレルギー反応の不安定な状態を導き、アレルギー性疾患を引き起こすことが考えられます。



スギ花粉によってアレルギー性結膜炎を起こすモルモットを使った実験では、投与した有機リン系殺虫剤トリクロロフォンの濃度が高くなるとアレルギー性結膜炎の程度が激しくなることが報告されています（6、7、8）。

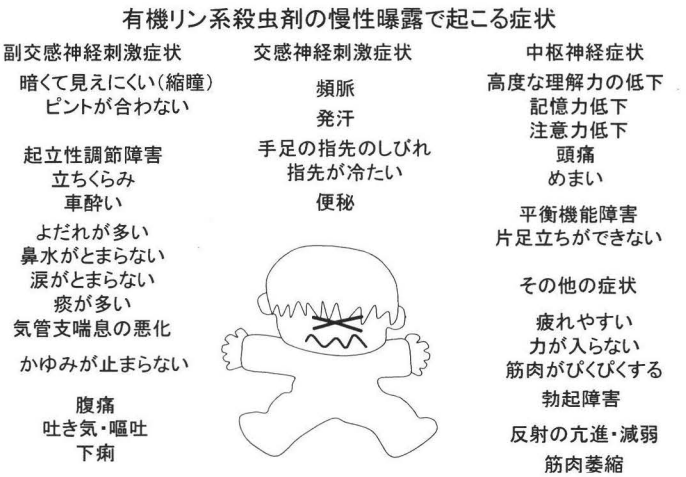
有機リン系殺虫剤の体内への侵入経路

有機リン系殺虫剤の体内への侵入経路は、①輸入小麦の残留、②屋外での水田や住宅地・庭での散布、③有機リン系殺虫剤を使用した観賞用植物の室内への持込、④床下の白蟻駆除剤使用、⑤畳に使われた防虫シートからの揮発、⑥ワックスに含まれる有機リン化合物、⑦合成樹脂に難燃剤として使われた有機リン剤などが考えられます。

小麦が輸入されるとき、収穫後の玄麦に有機リン系殺虫剤が散布・混入されるため、玄麦の外殻に近い場所からとれる2等粉には有機リン系殺虫剤の残留があります。輸入小麦二等粉は学校給食のパンに使用され、このパンからは 5～30ppb 程度の残留がみつかっています。その他、市販のパンや小麦粉(一等粉)にも学校給食のパンの3分の1程度残留のあるものがあります。農民連の調査では、ファーストフード店のハンバーガーのパンや小麦を使ったベビーフードから学校給食並みの残留が見つかっています。国産小麦を使用した製品には残留がありません。

防虫畳には有機リン系殺虫剤フェニトロチオン 1.5g/m^2、またはフェンチオン 1g/m^{2}を含んだ防虫シートが2～3枚敷きこまれています。この上で生活することで、慢性の有機リン系殺虫剤をあびることになり、アレルギー性疾患の悪化や、化学物質過敏症を発病してしまいます。ときに、乳幼児では畳の上で生活する時間が長いため、大きな影響がでます。

ワックスには、可塑剤としてトリブトキシエチルフォスヘート（TBXP：リン酸トリエステルの一種）を含む製品があります。学校や家屋の床での使用が問題になります。ワックスを使う場合は、天然素材だけを使った製品を選ぶ必要があります。



有機リン系化合物の解毒能力は個人差、年齢差がある

有機リン系化合物の解毒能力（解毒酵素paraoxonase活性）には遺伝子レベルで個人差があり、「安全」と思われてきた有機リン系殺虫剤でも、ある人にとっては強い毒性を持つことがわかってきました。また、その解毒能力は年齢の小さな子供では弱いこともわかってきています。

2000年7月、有機リン系殺虫剤クロルピリホスは、アメリカにおいて完全に規制され購入ができなくなりました。日本では、母ラット曝露における新生児の神経発達への影響及び新生児脳への形態学的影響から、1μg/m^3（0.07ppm）、ただし、発達過程にある小児の場合には、その影響の強さを考慮して10分の1である0.1μg/m^3（0.007ppm）という室内濃度指針値が厚生労働省から出されました。

検査方法

コリンエステラーゼの値を検査することで有機リン化合物の影響を調べることができます。コリンエステラーゼは生体内に2種類存在します。1つは神経細胞膜（シナプス後膜）や赤血球にある真性コリンエステラーゼ（赤血球コリンエステラーゼ）でアセチルコリンを分解します。もうひとつは、血液中や肝臓などに存在し、偽コリンエステラーゼ（血清コリンエステラーゼ）と呼ばれ、まだ生理的な働きはよくわかっていません。急性の有機リン中毒では真性・偽コリンエステラーゼとも低下し、慢性有機リン中毒の場合は偽コリンエステラーゼが上昇し、真性コリンエステラーゼが低下します。赤血球コリンエステラーゼはいったん低下するとなかなか回復しません。臨床的には有機リン系化合物に接触してから、約1ヵ月程度は低下しています。血液中のコリンエステラーゼは肝臓でつくられるため、1～4週間ほどで回復します。

赤血球コリンエステラーゼの正常値はアメリカで1.8－2.2単位ですが、日本人では、SRL（株）が1.2－2.0単位としています。日本の正常値は1988年に測定され、有機リン系殺虫剤を使用した防虫畳や白蟻駆除剤を床下に使用した人たちのデータが元になっていますので、実際の正常値はもっと高いと思われます。実際の症例では1.6単位以下になると症状が現れる場合が多くみられます。

有機リン剤による多動障害

有機リン剤によって、1～3週間後に起こる遅発性神経毒性は、神経毒エステラーゼ又は神経障害標的エステラーゼと呼ばれる酵素の活性変化によるものであると考えられてきました。今までの説によると、遅発性神経毒性は、神経毒エステラーゼのセリン残基が有機リンによるリン酸化で阻害を受け、酵素活性が70-90%阻害された時に、酵素は更に有毒な「老化」した酵素に変化するために遅発性神経障害が起こると考えられていました。しかし、2003年3月、Winrowらの報告では（9）、この酵素が減少するだけで異常を引き起こすことが分かりました。神経毒エステラーゼ活性が遺伝的に少ないマウスは、有機リン剤に敏感に反応し、多動性障害を起こすことが報告されました。

人間では、神経毒エステラーゼ活性に個人差があるため、有機リン剤に対する感受性は個人差があると思われます（10）。

現在、多動性障害を示す子供・大人が増加しています。このような人たちは、神経毒エステラーゼ阻害剤に敏感である可能性があり、有機リン剤のような化学物質は避ける必要があります。

神経毒エステラーゼ活性を落とす化学物質は有機リン系殺虫剤（トリクロルホン、クロルピリホス、ジクロルボス、マラソンなど）、有機リン系殺菌剤・除草剤・工業用有機リン剤・カーバメイト剤などがあります（1）。

参考文献
1）内藤裕史：中毒百科、改定2版、南江堂、2001
2）安保徹：未来免疫学、インターメディカル、1997

3）S.Tanabe et al: Identification of nicotinic acetylcholine receptors on lymphocytes in the periphery as well as thymus in mice, Immunology 92:201-205,1997 石川哲・宮田幹夫：化学物質過敏症 - ここまできた診断・治療・予防法、かもがわ出版、1999
4）S.Suzuki et al: Circadian rhythm of leucocytes and lymphocyte subsets and its possible correlation with the function of the autonomic nervous system. Clin Exp Immunol 110:500-508,1997
5）安保徹：複雑系としての免疫系、医学のあゆみ 197：829-832,2001
6）石川哲・宮田幹夫：化学物質過敏症 - ここまできた診断・治療・予防法、かもがわ出版、1999
7）石川哲・宮田幹夫：あなたも化学物質過敏症？－暮らしにひそむ環境汚染、農文協、1993
8）石川哲：化学物質過敏症、アレルギー50：361-364,2001
9）Winrow CJ, Hemming ML, Allen DM, Quistad GB, Casida JE, Barlow C: Loss of neuropathy target esterase in mice links organophosphate exposure to hyperactivity. Nature genetics 33(4): 477 - 485 ,2003
10) Mutch E, Blain PG, Williams FM, Interindividual variations in enzymes controlling organophosphate toxicity in man. Hum Exp Toxicol 11(2):109-116 ,1992

化学物質によるアレルギー・神経への影響

アレルギー性疾患を有し、転居前後の経過を観察できた小児23例（男15例、女8例、最終観察時点での罹患疾患は気管支喘息20例、アトピー性皮膚炎17例、アレルギー性鼻炎12例、アレルギー性結膜炎7例、じんましん2例、アナフィラキシー1例（重複あり））が居住する14家庭で、室内化学物質測定を2000年5月から9月に施行しました。その結果、室内汚染化学物質は、神経原性炎症を介してアレルギー性疾患増悪を引き起こしている可能性が示唆されました。新築家屋から発生する化学物質の影響は低年齢では気道や皮膚の症状が中心に現れ、年長児では神経系の症状となって発現しました。

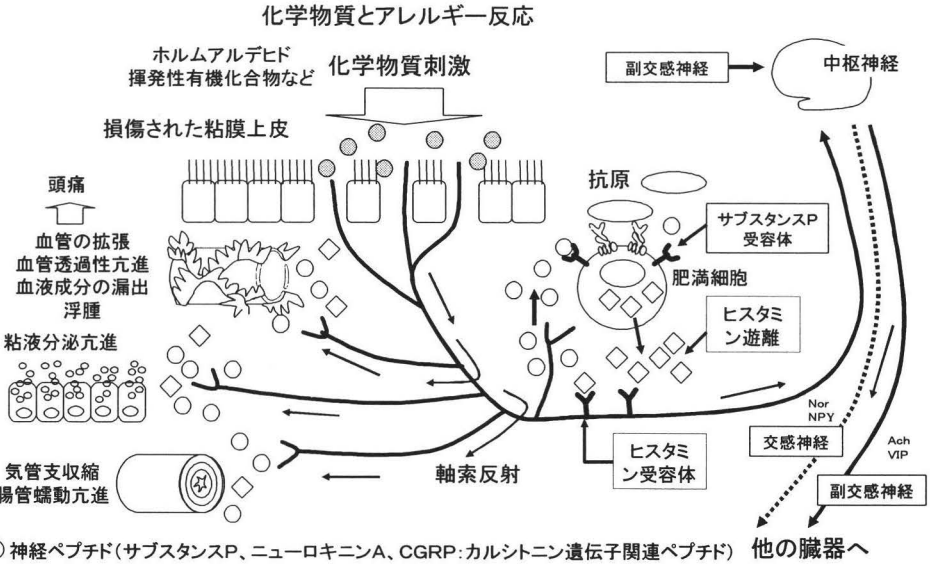
転居後の悪化症状と年齢（総数23例）

	3歳未満	3－6歳未満	6－10歳未満	10歳以上	計
気管支喘息様症状	■■■■	■■■□□	■■□	□□	■■■■■■■■□□□□□
アトピー性皮膚炎	●●	●	●	●	●●●●●
頭痛など神経系症状			▲	△△	▲△△
変化なし	×	×	××	×	×××××

■●▲ 持続性悪化　□△ 一過性悪化

微生物の感染やアレルギー性炎症、物理的刺激などによって損傷された粘膜上皮において、露出した知覚神経C繊維末端に化学物質が作用すると、物理的吸収、化学的な膜の変化などにより知覚刺激受容体の過敏性が活性化され、知覚神経の興奮が生じます。神経興奮は軸索を求心性に伝導しますが、一部は軸索反射によって遠心性に進み、血管・腺組織・気管支・腸管などの各臓器で反応を起こしさまざまな症状を引き起こします（1）。一方、神経刺激によって神経組織から分泌したサブスタンスPは、肥満細胞の細胞膜上にあるサブスタンスP受容体に結合し肥満細胞からヒスタミンなどの化学伝達物質を放出させ、アレルギー反応を生じさせます。また、さまざまな免疫細胞からもサブスタンスPは放出され、神経原性炎症と免疫系の活性化が拡大していきます（2）。

化学物質とアレルギー反応



William J. Meggs: Mechanisms of allergy and chemical sensitivity.Toxicology and Industrial Health 15:331-338,1999
Rebecca Bascom, William J. Meggs, Mark Frampton, Kenneth Hudnell, Kaye Killuburn, Gerd , Michelle Medinsky, and William Rea: Neurogenic Inflammation-With Additional Discussion of Central and Perceptual Integration of Inflammation, Environmental Health Perspectives105: 531-537, 1997

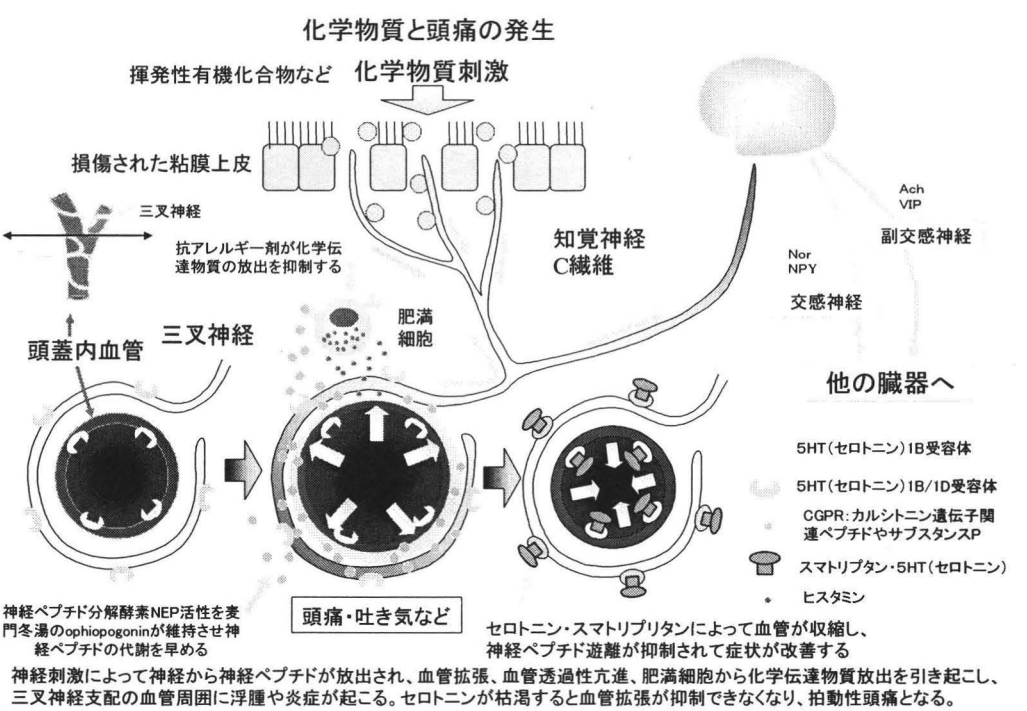
頭蓋内血管でも同様な状態が起こると思われます。化学物質による刺激によって神経から神経ペプチドが放出され、血管拡張、血管透過性亢進が生じます。神経ペプチドは肥満細胞から化学伝達物質放出を引き起こし、三叉神経支配の血管周囲に浮腫や炎症が起こり、頭痛が起こると考えられます。

化学物質過敏症症状（頭痛、吐き気、立ちくらみなど）の急性増悪時におけるセロトニン受容体（5-HT1B/1D）の選択的作動薬であるスマトリプタンの皮下注射の効果は即効的で、注射後約 20－30 分程度化学物質によって、頭痛、立ちくらみ、発疹などの症状が改善します。同時に、スマトリプタン皮下注射は起立時の脳内血流の自己調節力を回復させます（3)。スマトリプタンによって脳内血管の収縮調節力が増強され、即効的に臨床症状が改善したと考えられます（4)。また、スマトリプタンが有する神経ペプチドの遊離抑制作用も症状改善に寄与していると思われます。スマトリプタンはセロトニン受容体（5-HT1B/1D）の選択的作動薬であるため、シックハウス症候群や化学物質過敏症の病態にセロトニンの関与が示唆されます。

以上の神経原性炎症の発生機序とスマトリプタンの効果から考えると、次のようなメカニズムが推測できます。粘膜表面に露出した知覚神経が化学物質によって刺激されて、神経細胞から脳内血管周囲に神経ペプチドが放出されます。血管は拡張しようとしますが、分泌されたセロトニンによって異常な拡張が抑制されます。しかし、シックハウス症候群・化学物質過敏症患者ではセロトニンの過剰な分泌が起こり、血管が収縮しすぎてしまいます。この状態が続くとセロトニンは枯渇し、血管収縮の調節ができなくなり血管は拡張し、頭痛などの症状が誘発されます。セロトニンが枯渇またはそれに近い状態では、起立時に脳内の血流量を調節できなくなります。セロトニンの枯渇により神経ペプチドの放出も抑制できなくなり、症状が悪化していくことになります。

さらに、症例のなかには、選択的セロトニン再吸収阻害剤 SSRI（selective serotonin reuptake inhibitor）であるマレイン酸フラボキサミン投与によって、長期にわたって患児を悩ませていた神経症状が改善される例がいます。SSRI は偏頭痛の予防に有効であったという報告(5)があります。一方、化学物質過敏症に投与してその臨床症状が改善されたという報告もみられます（6、7)。SSRI は化学物質過敏症の類縁疾患である慢性疲労症候群患者の多くの例で疲労感の改善に有効であることが報告されています（8)。SSRI は神経細胞内へのセロトニン再取り込みを抑制し、脳内細胞外液中のセロトニン濃度を増加させます。その結果、脳内のセロトニン利用率が増大し、セロトニン神経伝達が促進され、抗不安作用を起こさせることが示唆されています(9)。症例での使用経験から推測すると、シックハウス症候群や化学物質過敏症の一部の症例では、SSRI によってセロトニン受容体（5-HT1B/1D）を介した血管収縮作用や神経ペプチド遊離抑制作用などを増強させることで、症状改善を期待できる可能性が示唆されました。

また、漢方薬の麦門冬湯（有効成分：ophiopogonin）投与が症状改善に効果的な症例が多く見られます。Ophiopogonin は炎症を起こした気道粘膜で分泌されたサブスタンスPなどの神経ペプチドを分解する neutral endopeptidase（NEP）活性を低下させない作用があり、シックハウス症候群や化学物質過敏症の病態に即した治療法として効果が期待できると思われます(10)。



参考文献
1) Bascom R, Meggs WJ, et al: Neurogenic Inflammation-With Additional Discussion of Central and Perceptual Integration of Nonneurogenic Inflammation, Environmental Health Perspectives105: 531-537, 1997
2) Meggs WJ: Mechanisms of allergy and chemical sensitivity, Toxicology and Industrial Health15:331-338, 1999
3) 角田和彦、吉野博、天野健太郎、北條祥子、武田篤、石川哲：近赤外線脳内酸素モニターによるシックハウス症候群の診断－ポリ袋を用いた化学物質の短時間吸入負荷試験と吸入負荷前後の起立試験－．臨床環境医学（印刷中）、2003
4) Moskowitz MA: Neurogenic versus Vascular mechanisms of sumatriptan and ergot alkaloids in migraine. TiPS13:307-311, 1992
5) Bank J: A comparative study of amitriptyline and fluvoxamine in migraine prophylaxis. Headache 34:476-478, 1994
6) Stenn P, Binkley K: Successful outcome in a patient with chemical sensitivity. Treatment with psychological desensitization and selective serotonin reuptake inhibitor. Psychosomatics39:547-550, 1998
7) Andine P, Ronnback L, Jarvholm B: Successful use of a selective serotonin reuptake inhibitor in a patient with multiple chemical sensitivities. Acta Psychiatr Scand 96:82-83, 1997
8) Okudo N: Serotonin and chronic fatigue syndrome. Jounal of Clinical and Experimental Medicine 204: 330-333, 2003
岡戸信夫：セロトニンと慢性疲労症候群．医学のあゆみ 204:330-333、2003
9) Hashimoto S: Anxiolytic effects of serotonin reuptake inhibitors and their mechanism of action. Hokkaido Igaku Zasshi 75:421-436, 2000
橋本伸二：セロトニン再取り込み阻害薬の抗不安作用とそのメカニズム．北海道医誌 75：421-436、2000
10) Miyata T, Takahama K, Kai H, Isohama Y: Molecular Pharmacology of Kampo-Medicine (Mai-Men-Dong-Tang) as an Antitussive-Expectorant for Chronic Inflammatory Airway Diseases. Kampo & Newest Therapy 6:223-231, 1997
宮田健、高濱和夫、甲斐広文、礒濱洋一郎：鎮咳・去痰の漢方治療の分子薬理学．漢方と最新治療 6：223-231、1997

シックハウス症候群患者宅の住環境の実態

天野　健太郎　（東北大学大学院工学研究科）

1. はじめに

「シックハウス」あるいは「シックハウス症候群」という言葉が、ここ数年の間に広く認知されるようになった。シックハウスとは「化学物質による室内空気汚染等により健康被害の原因となる住宅」という捉え方で大まかに定義されている。

シックハウス問題が起こった背景としては、①省エネルギーの社会的要請から暖冷房負荷を削減するために住宅が気密になり、自然換気量が少なくなってきたこと、②様々な化学物質が建材、設備、家具、什器、日用品、防虫・防蟻剤など、住環境に使用されるようになったことが挙げられる。この住環境における健康被害の問題は徐々に波紋を広げ、平成8年に国会で採り上げられたのを皮切りに、現在までに各方面で対策に向けた様々な動きが進められてきた。これまでのシックハウス対策関連の動きを年表（表 1）にまとめたので参考にされたい。主なものを列挙すれば、以下の通りである。

1）厚生労働省シックハウス検討会において、ホルムアルデヒドの室内濃度指針値が平成9年に公表された後、平成14年1月までに13物質の室内濃度指針値とTVOC濃度の暫定目標値が定められた。
2）住宅性能表示基準・評価方法基準が平成12年に制定され、ホルムアルデヒド対策として内装に使用する合板の等級や全般換気対策について表示すべきこと、平成13年には室内空気中の化学物質濃度などの測定値を表示すべきことが定められた。
3）シックハウス対策を義務とした建築基準法が平成14年7月に改正され、クロルピリホスを添加した建築材料の全面使用禁止、ホルムアルデヒドを放散する内装建材の使用面積の制限、機械換気設備設置の義務化等が盛り込まれた技術基準の制令・告示が平成15年7月1日より施行された。
4）建築基準法の改正を受けて、平成15年1月に化学物質濃度の測定法に関するJISが制定され、平成15年3月にはホルムアルデヒドに関する規定を盛り込んだ建材関連（内装材、塗料、接着剤、断熱材等）のJISが制定・改正された。また、ホルムアルデヒド放散建築材料については、JIS、JASの統一表記化が告示された。

これらシックハウス問題に対する行政の対応は異例の早さといえるが、それだけ事態は深刻であり、社会的緊急性が高く求められていることを示している。

さて、このように各業界で対策が生み出されているにもかかわらず、健康被害を訴える声は依然として存在し、後を絶たない。その原因としては、学術研究の遅れがあり、対策の根拠となる健康被害の詳細なデータが不十分な状態で、対応が後追いになっている、もしくは見切り発車的に実施に移されているという実情がある。

そこで筆者等は、健康被害の生じた住宅の室内空気環境（化学物質濃度、換気量、気密性能等）ならびに居住者の健康状態について詳細調査を実施し、シックハウスの実態把握を試みている。本稿ではそれらの測定結果を示して参考に供するとともに、シックハウス問題の今後の課題について考察する。

表１　シックハウス問題と対策関連の動き

1973 年（S48）　・*第１次石油危機*
1979 年（S54）　・*第２次石油危機*
1980 年（S55）　・*住宅の省エネルギー基準告示*
1992 年（H 4）　・*住宅の新省エネルギー基準告示（北海道に気密住宅、北東北に気密住宅推奨）*
○シックハウス問題顕在化
1996 年（H 8）　・シックハウス症候群に関して衆議院で質問趣意書
・**「健康住宅研究会」（建設省他）－1997 年まで**
→設計・施工ガイドライン、ユーザーズ・マニュアル（1998 年）
1997 年（H 9）　・*COP3（気候変動枠組条約締約国会議）京都会議*
・ホルムアルデヒド濃度指針値公表（厚生省）
・**「健康的な居住環境形成技術の開発」（建設省他）－1999 年まで**
→ユーザーズガイド、設計施工ガイド、現場測定法（2000 年）
1998 年（H10）　・**「室内化学物質空気汚染の解明と健康・衛生居住環境の開発」**
（建築学会、科学技術庁から委託）－2000 年まで
1999 年（H11）　・*住宅の次世代省エネルギー基準告示（全国に気密住宅）*
2000 年（H12）　・**「室内空気対策研究会」（建設省他）－2002 年まで**
・JAS（日本農林規格）ホルムアルデヒド放散量の規格改正（農林水産省）
・トルエン、クロルピリホスなど 7 物質の濃度指針値と TVOC の暫定目標値公表
（厚生労働省）
・住宅の品質確保の促進等に関する法律（1999 年）に基づいた日本住宅性能基準、
評価方法基準告示（建設省）
2001 年（H13）　・**「シックハウス対策技術の開発」（総プロ・国土交通省）**
・テトラデカンなど３物質の濃度指針値公表（厚生労働省）
・日本住宅性能基準、評価方法基準一部変更
（室内空気中の化学物質の濃度などの測定追加）（国土交通省）
2002 年（H14）　・アセトアルデヒドなど 2 物質の濃度指針値公表（厚生労働省）
・社会資本審議会答申→シックハウス対策として建築基準法の改正
（国土交通省）
2003 年（H15）　・建材関連、建築材料からの放散量測定法の JIS 制定（経済産業省）
・**7 月 1 日 改正建築基準法施行**

2. シックハウスにおける化学物質汚染の実態

2. 1 調査期間ならびに調査対象住宅

シックハウスの実態を把握することを目的に、宮城県内の健康被害が生じた住宅（その症状や発症の経緯からシックハウス症候群が疑われた方の住まい）を対象として、住環境と居住者の健康状態に関する調査を行った。調査期間は平成 12 年から平成 14 年の 3 年間で、夏期を中心に調査を実施し、これまでに延べ 68 軒、100 人以上のシックハウス症候群の症例を収集している。

2. 2 調査方法

（1）室内環境の測定 室内環境の測定項目は①化学物質の気中濃度（カルボニル化合物（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド等）、VOC（トルエン、キシレン、p-ジクロロベンゼン等））、②住宅の換気性状（気密性能、換気量）、③温湿度である。化学物質の濃度は、住宅毎に室内 2～3 箇所（居間、寝室、その他 1 室）と住宅周辺外気の計 3～4 箇所で測定した。試料空気のサンプリングは居住状態で実施したが、危険の状況を再現するために窓等の外部開口部は一日を通して、長時間にわたり閉鎖することを条件とした。カルボニル化合物は DNPH カートリッジ（Waters 社製、Sep-pak DNPH-Silica Cartridge）を用いて 24 時間パッシブサンプリングし、アセトニトリル溶媒で抽出後、高速液体クロマトグラフにより定性・定量分析を行った。VOC は粒状活性炭（柴田化学機械工業株式会社製、Charcoal Tube Jumbo）にポンプを用い、24 時間アクティブサンプリングし、二硫化炭素溶媒に抽出後、ガスクロマトグラフ（により定性・定量分析を行った（写真 1）。住宅の換気量測定に関しては、一定濃度法によって各室の外気導入量を測定した。

（2）住環境に関するアンケート調査 建物構造や建材、設備仕様、室内の使用状況等、住環境の基礎的な情報を得るために、アンケート調査を実施した。

（3）健康状態に関するアンケート調査 居住者の健康状態、ならびに化学物質に対する過敏性等に関する情報を得るために、QEESI（Quick Environmental Exposure and Sensitivity Inventory）問診票を用いたアンケート調査を実施した。これはテキサス大学の Miller らが考案し [1]、アメリカのマサチューセッツ工科大学、テキサス大、アリゾナ大学医学部等で使用されている質問票を北里研究所病院環境医学センター・センター長・石川哲先生が日本人向けに改訂を加えたものである [2]。

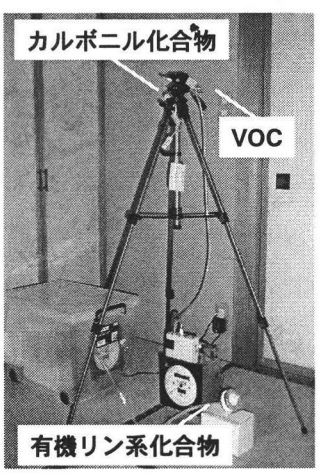


写真 1 測定の様子

表 2 QEESI 問診票の内容

質問項目	内容
1.化学物質暴露による反応	殺虫剤、ペンキ等の化学物質に対する不耐性（0～100）
2.その他の化学物質暴露による反応	花粉等の化学物質以外の物質に対する不耐性（0～100）
3.症状	気管粘膜、頭部、皮膚等における症状の程度（0～100）
4.日常生活の障害の程度	暮らしとの関係（0～100）
5.マスキング	症状の隠れ、症状の偽装（0～10）

（質問 1～4：0；なし、50；中程度、100；重症）

2. 3 調査結果

①室内空気中の化学物質濃度

全調査対象住宅の化学物質濃度測定値の集計結果を表3に示す。表中の化学物質は検出頻度が50%を越えたものである。またホルムアルデヒドとTVOCの累積頻度分布を図1、図2に示す。トルエン、アセトアルデヒド、ホルムアルデヒド、キシレン、p-ジクロロベンゼン、n-デカンは測定箇所の3/4（75%）以上で検出され、広く使用されていることが判明した。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、TVOCの濃度については、いずれも平均値、中央値ともに厚生労働省による室内濃度指針値、暫定目標値をそれぞれ上回り、指針値を上回った割合（超過率）をみると、ホルムアルデヒド濃度68.9%、アセトアルデヒド濃度85.8%、TVOC濃度62%と非常に高かった。なお、ホルムアルデヒドの指針値超過率は、国土交通省が主導する室内空気対策研究会※が平成12年度秋に全国4500戸の住宅を対象に実施した調査結果（指針値超過率27.3%）、ならびに当研究室が平成12年夏期に東北地方の一般戸建住宅（健康被害を訴える者がいない住宅）を対象として行った調査結果（指針値超過率34.0%）の倍以上の値であった。またTVOCについては暫定目標値の10倍以上を超える住宅もみられた。その他の指針値対象物質については、トルエンが築2年未満の比較的新しい住宅、p-ジクロロベンゼンが防虫剤や芳香剤の使用が認められた住宅の一部でそれぞれ指針値を上回ったが、エチルベンゼンとキシレンについては全住宅で各指針値を下回った。

表3 主な化学物質の濃度測定結果

物質名	全調査対象住宅※1								築1年未満新築住宅	
	ｻﾝﾌﾟﾙ数※2	平均値	中央値	最大値	検出頻度	指針値超過数/率		厚労省指針値	ｻﾝﾌﾟﾙ数※2	平均値
	n	ppm	ppm	ppm	%	n	%	ppm	n	ppm
ホルムアルデヒド	135	0.12	0.11	0.32	*95.6*	93	*68.9*	0.08	26	0.09
アセトアルデヒド	127	0.13	0.11	0.44	*96.1*	109	*85.8*	0.03	26	0.11
	n	μg/m³	μg/m³	μg/m³	%	n	%	μg/m³	n	μg/m³
n-オクタン	137	15.6	10.4	188.0	*71.5*			—	26	12.1
n-ノナン	134	17.7	4.0	382.0	*61.2*			—	26	16.4
n-デカン	137	24.1	3.9	309.0	*75.2*			—	26	41.6
n-ドデカン	137	9.1	2.8	124.8	*61.3*			—	26	19.7
トルエン	137	110.1	37.7	2530.0	*99.0*	12	*8.8*	260	26	337.0
エチルベンゼン	137	12.2	5.6	140.0	*63.5*	0	*0.0*	3800	26	15.9
キシレン	137	23.8	12.8	196.1	*76.6*	0	*0.0*	870	26	39.0
1,2,3-ﾄﾘﾒﾁﾙﾍﾞﾝｾﾞﾝ	137	21.2	7.3	189.0	*73.0*			—	26	30.7
p-ジクロロベンゼン	137	346.0	41.1	16065	*75.2*	19	*13.9*	240	26	84.2
2-ピネン	137	180.8	11.6	3350.0	*68.6*			—	26	470.2
酢酸ブチル	137	24.3	12.2	296.0	*58.4*			—	26	29.3
アセトン	125	36.0	18.9	445	*71.2*			—	26	57.5
脂肪族炭化水素合計	137	99.9	48.2	1144.9	*90.5*			—	26	137.7
芳香族炭化水素合計	137	214.8	117.4	2769.8	*100*			—	26	509.1
ﾊﾛｹﾞﾝ化炭化水素合計	137	397.1	48.8	16065	*75.2*			—	26	328.0
TVOC	137	1267.1	559.8	16177	*100*	85	*62.0*	400	26	2060.2

※1：複数回調査を実施した住宅は初回調査時のデータを使用した　※2：一つの住宅で複数箇所測定したデータを含む

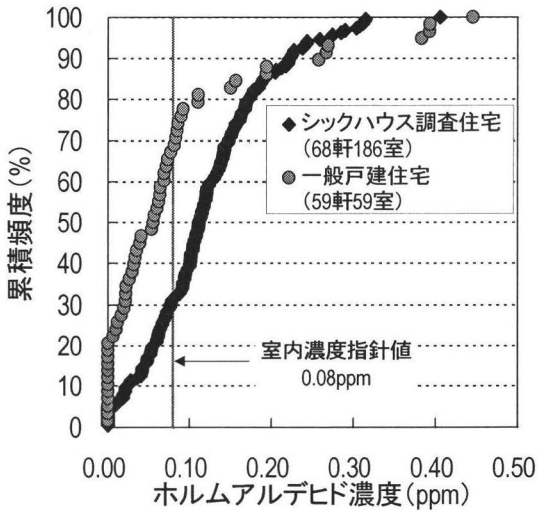


図1　ホルムアルデヒド濃度の累積頻度分布

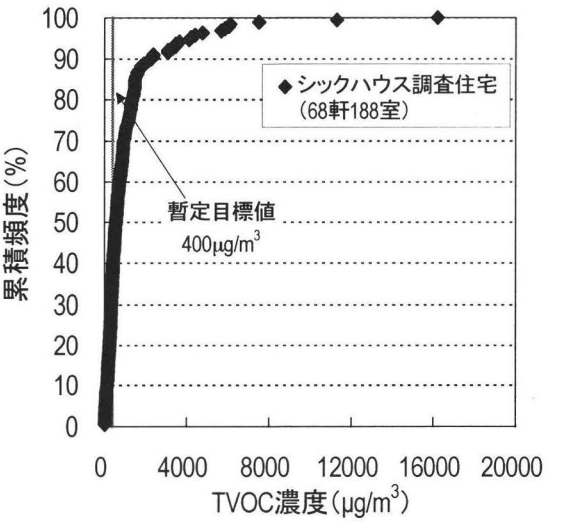


図2　TVOC 濃度の累積頻度分布

②築年数と化学物質濃度

追跡調査事例 15 軒における、化学物質濃度の推移（統計）を図 3 に、全調査対象住宅の化学物質と築年数の関係をプロットしたものを図 4、図 5 に示す。築年数と化学物質濃度の間には興味深い関係が示された。化学物質の放散は、経年とともに減少する傾向が一般的であるが、トルエン等の VOC では、経年に伴う減衰が確認された一方で、ホルムアルデヒド等のカルボニル化合物では、減衰が認められなかった。

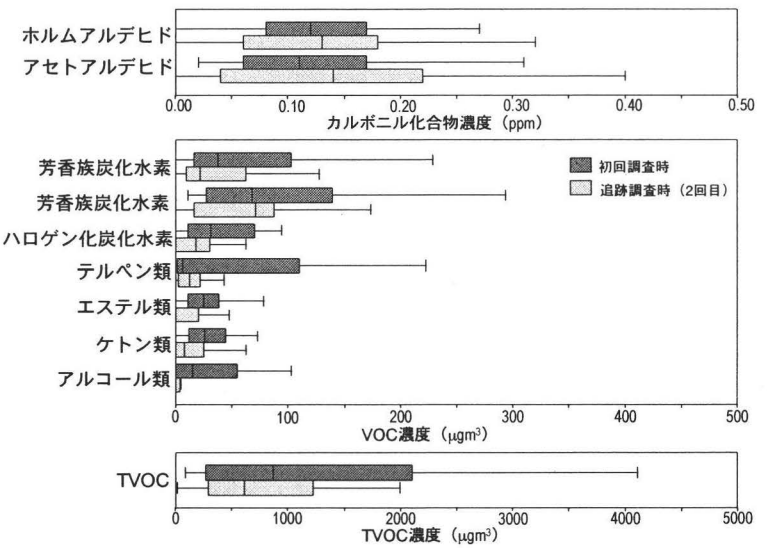


図3　追跡調査事例 15 軒（33 室）における化学物質濃度の推移

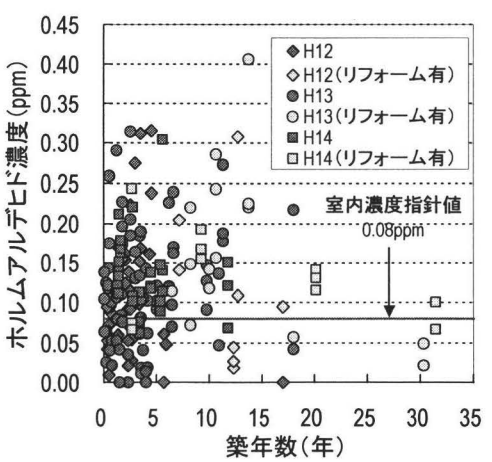


図4　築年数とホルムアルデヒド濃度の関係

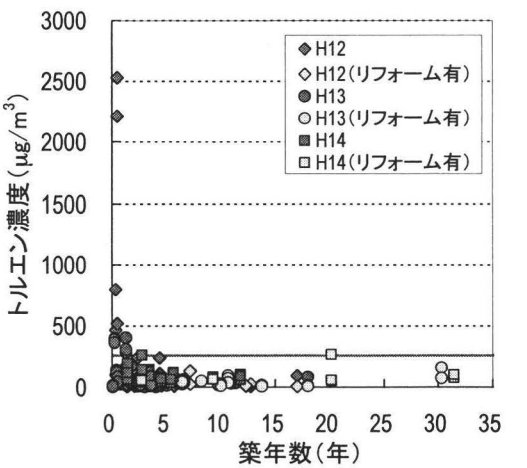


図5　築年数とトルエン濃度の関係

この原因として、ホルムアルデヒドについては、樹脂系接着剤として使用されることが多く、一度硬化した接着剤（樹脂）自体が、室内中および木材中の水分が影響して、徐々に加水分解されてホルムアルデヒドを遊離・放散するため、長年にわたり出てくるという説が有力である。

③換気性状と化学物質濃度

換気性状とホルムアルデヒド濃度の関係を図 6 に示す。隙間相当開口面積の小さい高気密住宅で濃度が高い値を示すケースがみられが、24 時間機械換気システム設置の有無による明確な差はみられなかった。換気システムが設置されている住宅のうち 9 軒において換気量の測定を実施したが、このうち 4 軒の住宅では、換気回数が設計値 0.5 回/h を下回っていた。よって、換気システムが設置されていても、実際には所期の性能を満たしておらず、換気が不十分な住宅が存在していることが明らかとなった。換気量が不足していた住宅では、相対的に濃度が高い傾向にあった。

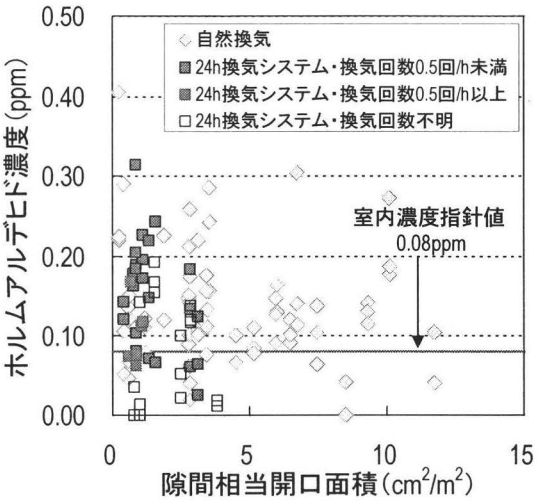


図 6　換気性状とホルムアルデヒド濃度の関係

④居住者の自覚症状

症状の発現状況と当該住宅との間に、特に関連性があると疑われた居住者のうち、アンケートの回答を得た 69 名の自覚症状について図 7 に示す。罹患率は、咳や、鼻水、眼の痛みといった気管粘膜症状が 84%と最も高く、次いで、発疹やアトピー性皮膚炎の悪化等の皮膚症状、吐き気や腹痛等の消化器症状、情緒障害や認識障害が高かった。また、69 名中 62 名が複数の症状を有していた。

化学物質の被爆量と症状の関係は明確ではなく、比較的低濃度な場合でも症状を訴えている患者がみられた。

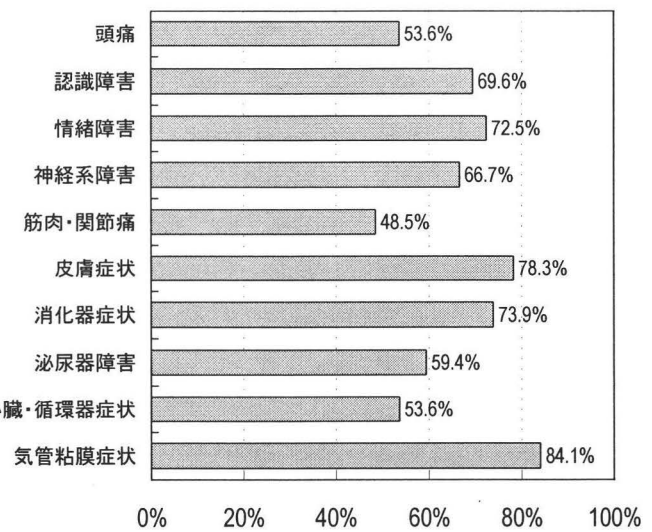


図 7　居住者の自覚症状の有訴率

3　シックハウスの事例

複数年にわたり調査を継続し、経過を観察できた 4 つの事例について以下に紹介する。

事例 1：環境改善に伴う症状改善例

平成 10 年 3 月に竣工した木造枠組壁工法の戸建住宅で、全室 24 時間機械換気（セントラル排気）システムを採用している。壁紙はノンホルマリン系の接着剤で施工し、床材には当時の F1 規格の合板を使用している。平成 10 年 3 月、竣工直後の新築住宅に入居後より、40 歳代女性に様々な不定愁訴（眼精疲労、肩こり、倦怠感等）が生じた。10 歳未満男児は、平成 11 年 9 月、平成 12 年 9 月に大きな喘息発作を起こし、入院や加療を必要とした。

平成 12 年 7 月（入居 2 年 4 ヶ月後）より調査を実施。初回調査時には、ホルムアルデヒド濃度が 1F 居間、1F 和室で厚生労働省による指針値 0.08ppm を上回った。VOC では、和室の p-ジクロロベンゼン濃度が 725.0mg/m^3 と指針値 240mg/m^3 を超過した。TVOC 値は 1F 居間 881.7mg/m^3、2F 寝室 3635.7mg/m^3 と暫定目標値 400mg/m^3 を大きく上回り、新築当初は更に高濃度であった可能性が考えられた。初回調査後、換気の励行と衣類用防虫剤の使用制限に努め、その後の調査では VOC は徐々に減衰し、3 回目（平成 14 年 8 月）の調査時には、TVOC 値は暫定目標値以下に下がっていることが確認されたが、カルボニル化合物については濃度の低減は認められなかった（図 8）。また、床下で、有機リン系化合物のクロルピリホスが 0.3mg/m^3 で検出された。換気量を測定した結果、住宅全体の換気回数は 0.3 回/h であり、通常使用時の換気設備の運転状況では、換気量が不十分であることが確認された。臨床検査では、40 歳代女性に中枢神経系の機能障害が認められた。

以上、発症の経緯等から、新築時の高濃度の化学物質への曝露が健康に影響を及ぼした可能性があり、シックハウス症候群が疑われた。子供の喘息症状に関しても、入居後著しく悪化したことから同様の疑いが持たれた。換気の励行と食事療法に努めた結果、両者とも現在の症状は落ち着いており、室内空気質の改善に伴う症状の軽減・消失が観察された。

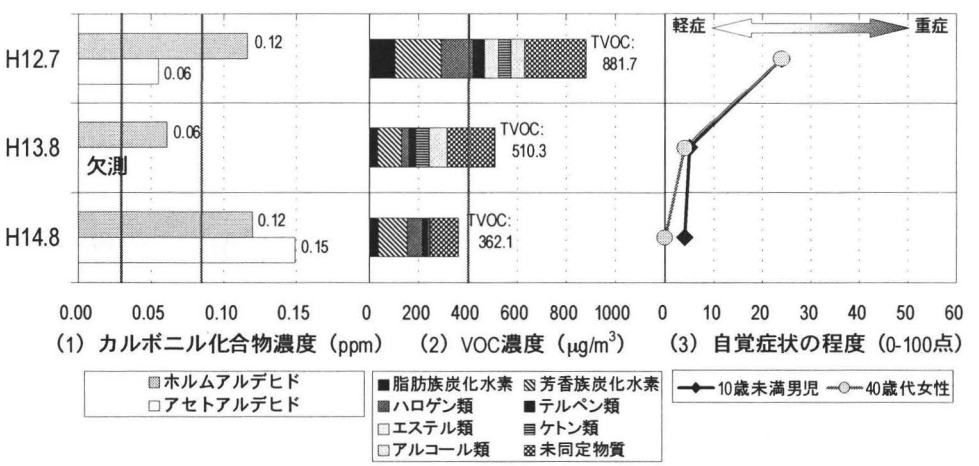


図 8　化学物質濃度と症状の推移（事例 1）

事例2：長期曝露による中枢神経系症状持続例

平成5年7月に竣工した木造枠組壁工法の戸建住宅で、全室24時間機械換気（セントラル給排気）システムを採用している。建設当初から化学物質による健康影響を懸念し、接着剤や畳の防虫剤、防蟻剤には配慮して建設した。しかし、新築入居後より、40歳代男性に頭痛、苛立ち、目の痛み等の症状が生じ、子供らにもアレルギー症状の悪化や視力減退等の諸症状がみられた。原因として空気汚染を疑い、居住者自身で簡易測定を実施した結果、ホルムアルデヒドが高濃度（0.5ppm）であったため、平成9年に2F子供部屋の壁紙と床仕上合板使用箇所の無垢材への張替、汚染発生源と疑われる家具の廃棄もしくは化学物質の放散を抑える薬剤の塗布等の対策を講じた。しかし、改修後も症状が改善しなかったため、当研究室に詳細調査を依頼。平成13年9月には化学物質の吸着除去効果を狙い、居室壁面に多孔質セラミックタイルを設置した。

平成12年8月（入居7年後）の初回調査では、築年数がある程度経過し、シックハウス対策の改修を実施していたにもかかわらず、ホルムアルデヒド濃度が1F居間で0.14ppm、2F子供部屋で0.20ppmと厚生労働省の指針値0.08ppmを上回っていた。アセトアルデヒド濃度についても0.13～0.18ppmと指針値の4倍以上の高い値で検出された。VOCは指針値を超えた物質はなかったが、検出物質数が多く、TVOC値は厚生労働省の暫定目標値400mg/m^{3}を上回った。その後、継続して調査を行い、TVOC値は暫定目標値前後にまで下がったが、カルボニル化合物については低減が認められなかった（図9）。換気量測定の結果、住宅全体での換気回数が0.2回/h（1F 0.27回/h、2F 0.15回/h）と非常に小さく、換気設備が所期の性能をほとんど満たしていなかったことが判明した。臨床検査により、40歳代男性には、中枢神経系の異常所見が認められた。

以上より換気設備の機能不足により換気量が十分に確保されず、長期間高濃度（特にホルムアルデヒド）環境下で生活、曝露したことによるシックハウス症候群が疑われた。症状の経過をみると、40歳代男性は、気管粘膜系症状は良化したが、頭痛、筋肉痛、認識等の症状は持続。子供ら（特に10歳未満男性）の症状は全体として悪化の傾向がみられている。

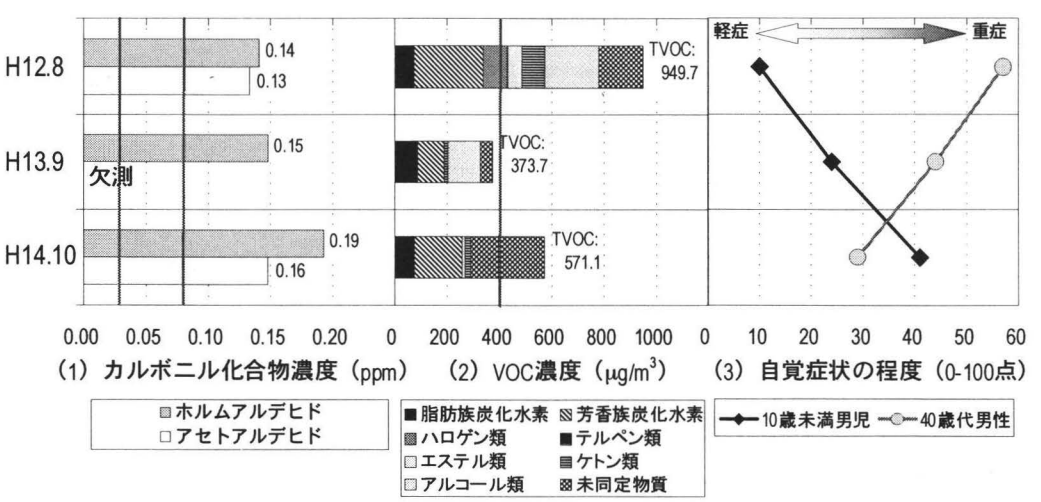


図9　化学物質濃度と症状の推移（事例2）

事例3：リフォームによる症状改善例

平成12年2月に竣工した木質パネル工法の戸建住宅。転居直後より当時5歳の男児に発疹や体調不良症状が発現。母親、姉にも眠気、目の刺激、頭痛等の訴えがあった。当該住宅を離れると症状は改善するため、シックハウスを疑い調査を依頼。

同年5月に実施した調査の結果、トルエンの濃度が居間で792mg/m^3、寝室で466mg/m^3（指針値260mg/m^3）と高値で検出された。特に症状が強く現れる居間では、TVOCが10000 mg/m^3（暫定目標値400mg/m^3）を越えており、非常に高濃度の化学物質に曝露されたことが発症者の健康状態の悪化に影響したと考えられた。また、24時間機械換気（セントラル給排気）システムが設置されているにもかかわらず、住宅全体の換気回数が0.3回/hと少なく、換気量の不足が高濃度となった要因の一つであると推察された。

以後、窓開けによる換気に努め、平成14年9月には壁・天井をクロスからシックハウス対策用の左官材へリフォームを実施。同年10月の調査ではおおよその化学物質の濃度の減衰が確認され、臨床症状も改善された。

事例4：室内化学物質曝露による化学物質過敏症発症例

平成9年1月に竣工した在来木造軸組工法の戸建住宅。同年9月に転居直後より、10歳代男児に頭痛・吐気・めまい、立ちくらみ、動揺感等の神経系の症状が繰り返し発現。また、視力の低下が急に進行した。気温が低くなり、窓開けによる換気頻度が減少するとこれらの病状は悪化した。その後、学校では、女子生徒が使用した化粧品や制汗剤等の臭いにより諸症状が誘発される等、身の回りの様々な化学物質にも過敏性を示すようになった。

転居10ヶ月後に実施したガス検知管によるホルムアルデヒド濃度測定では、寝室で0.6ppmとかなり高い値を示した。平成12年7月に詳細調査を実施。居間と洋室のホルムアルデヒド濃度がそれぞれ0.17ppm、0.31ppm（指針値0.08ppm）、アセトアルデヒド濃度がそれぞれ0.15ppm、0.16ppm（指針値 0.03ppm）で、いずれも厚生労働省の指針値を超えていた。その他、個々のVOCについては、指針値以下であったが、TVOCは居間で約1300 mg/m^{3}であり暫定目標値400 mg/m^{3}を超えていた。一般に、VOCの濃度は1～2年で大きく低減するため、転居直後はかなりの高濃度であったと思われた。臨床検査を実施した医師の診察結果によると、ホルムアルデヒド・トルエン・キシレンのガス吸入負荷試験では、各物質により脳血流量の変動がみられ、頭痛等の症状が誘発された。また、瞳孔面積が正常値よりも小さく、副交感神経優位の所見があり、床下の有機リン系白蟻駆除剤の影響も考えられた。

以上より、室内の高濃度ホルムアルデヒド、VOC等の曝露により神経系の症状を中心としたシックハウス症候群となり、その後、低濃度の化学物質に反応するようになったことから化学物質過敏症へ移行した可能性が考えられた。充分な換気、環境抗原に対する環境整備、化学物質と食物抗原に対する食事療法を行い、一定の改善をみたが、現在でも症状は持続している。

これらの事例からも分かるように、シックハウスの実態は様々だが、全体としてみると、建材または生活に由来すると思われる汚染化学物質の発生と換気が不十分な状況が見受けられる。症状には個人差があり、反応する化学物質の濃度には大きな幅があることが、症状を誘発する物質の特定や因果関係の解明を難しくしており、特に、新築時の建材等に由来する高濃度化学物質に曝露し、過敏性を獲得（感作）し、低濃度の化学物質が原因となって症状が誘発されるケースを考えると、現在の汚染状況のみならず、過去の汚染状況をできるだけ把握しておくことが、病態解明・原因究明のために重要であるといえる。

4. 今後の課題

シックハウス問題は、社会的関心が高く、その対応には緊急性が高く求められている。産官学民が一体となって解決に向けて取り組み、建築基準法が改正されるに至ったことの意味は非常に大きいが、その内容は不十分な点も多い。また、未だ解決されない多くの課題が残されている。例えば、防蟻剤として使用されるクロルピリホス等の各種薬剤や可塑剤として使用されるフタル酸エステル類等の揮発しにくい物質については測定例も少なく、汚染の実態もわかっていない。加えて、オゾンによる酸化物質（二次発生）の汚染問題等も懸念されている。医学的な発症メカニズムの解明ならびに診断・治療法の開発が急務であるが、各種化学物質の人体に対する長期的影響については未解明な部分が多く、更に、複数の化学物質による複合影響については殆ど議論されていない。13 種類の化学物質の濃度指針値と TVOC 濃度の暫定目標値が厚生労働省から既に公表されているが、指針値は健康な人が一生にわたって曝されても問題とはならないという値であり、シックハウス症候群、あるいは化学物質過敏症に罹った人に対しては適用できない。これらの患者が居住する室内の汚染濃度はどこまで許容されるのかということは大きな課題である。

快適性や利便性の追求は、一方で地球環境を破壊し、人間の健康に害をもたらすことがある。やみくもな快適性や利便性の追求がもたらす弊害がいかに大きいか、シックハウス問題を通して今一度考えるべきではないだろうか。現実問題としてシックハウスのために健康を損ねている多くの生活者が存在することを考えると、今後とも産官学民の協力のもとに、国民全体がこれらの問題に継続的且つ集中的に取り組み、一歩でも解決への道に近づくことを願ってやまない。

［参考文献］

1) Miller CS、Prihoda TJ：The Environmental Exposure and Sensitivity Inventory (EESI)、a standardized approach for measuring chemical intolerances for research and clinical applications. Toxicology and Industrial Health15、pp.370-385, 1999

2) 石川哲、宮田幹夫：化学物質過敏症－診断基準・診断に必要な検査法、アレルギー・免疫 6、pp.990- 998、1999

子供の健康と居住環境

北條　祥子　（尚絅学院大学生活創造学科　教授）

１．健康と疾病の概念

（１）健康とは？

ＷＨＯ（世界保健機構）の健康の定義

「健康とは、肉体的、精神的、ならびに社会的に完全に良好な状態であって、単に疾病や虚弱でないというだけではない」

（２）疾病予防の概念

予防を拡大解釈して、「悪化を防ぐ」という意味で考えると健康から疾病までの段階のすべてに悪化防止の努力があるべきで、この立場から予防を考えると以下のような３段階に分類される。

① 第１次予防：健康な段階で行う予防で、健康増進（運動、栄養改善、環境改善、食品の監視、健康相談など）と特異的予防（予防接種、患者の隔離、抗体検査、発ガン物質の除去）
② 第２次予防：疾病が潜在的で不顕在な段階で行う予防で、集団検診、抗血清の接種、新生児および乳児マススクリーニングなど）
③ 第３次予防:疾病が顕在化している段階でそれ以上悪化させないような予防対策である。

（３）ホメオスタシス（恒常性）

ホメオスタシス（恒常性）とは、外部環境や内部環境の生理的変化に対応しながら、生体の化学的物理的状態を一定の幅に維持することをいい、それによって生命の保持を行っている。健康とはホメオスタシスが維持できるような状態をいい、病気とはホメオスタシスが維持できなくなった状態だと言える。ホメオスタシスを維持しているのは３大ネットワーク（神経系、ホルモン系、免疫系）。

２．環境要因と健康

（１）環境因子に対する生体の反応

ヒトを取り巻く外的諸条件を構成する諸因子を環境と称し、ヒトは、その環境因子に対応し、健康を維持していく能力、すなわちホメオスタシスを有する。それを適応と呼ぶ。

３．化学物質過敏症は化学物質に対する生体の不適応である

化学物質過敏症を最初に提唱したのは、シカゴ大学のアレルギーの専門医のRandolph 博士であり、1956 年のことである。彼は、この疾患の原因を“20 世紀に合成された化学物質に対する生体の不適応である”と提唱した。

４．今、微量化学物質による３大ネットワーク（神経系、内分泌系、免疫系）への影響が問題となっている

シックハウス症候群（Sick House Syndrome）
シックスクール症候群（ Sick School Syndrome）
化学物質過敏症（Multiple Chemical Sensitivity , ＭＣＳ）
内分泌かく乱作用（環境ホルモン作用）
アレルギー
自己免疫疾患

５．室内空気汚染物質は健康影響が大きい

ヒトは一日に１５～２０キログラムの空気を摂取し、これは食物や水の約 10 倍量に相当する。東京大学の村上周三教授と加藤教授の試算によると、ヒトが外界から摂取する物質の約６割は室内空気である。

室内空気の中でも床付近の空気を多く吸い、立っているときはその約５０％ 寝ている時は、その７３％が床付近の空気を吸っていると試算されている。したがって、室内空気汚染物質、ことに床付近の汚染物質の健康影響は大きい。背が低い子供は室内空気汚染物質を取り込みやすいので注意を要する。

６．“身の回りは化学物質で一杯

７．化学物質に対する高感受性群の存在

最近、世界的に化学物質のヒトへの健康影響を考えるとき、化学物質の健康影響を受けやすい人（**高感受性群**）の存在を考慮しなければいけないという動きが欧米中心に主張され始めた。“高感受性群”という用語には、生理的な脆弱性と個体差という２つの意味がある。

生理的な脆弱者の代表は、（１）子供（乳児、幼児、児童）、（２）妊婦（胎児）、（３）高齢者である。また、個体差の部分では、最近クローズアップされているのが、解毒機構（肝臓の解毒酵素、メタロチオネインなど）の遺伝子多型との関係である。

８．子供は小さな大人ではない（子どもは高感受性群の代表である）

近年、生理的な脆弱性の代表である子供を基準にして、化学物質の安全評価を行うべきだという考えが欧米の先進国では強調され始めた。

例えば、１９９７年に米国のマイアミで開催された G8（先進８カ国）環境大臣会議に提出された「子供の健康に関する G８環境大臣宣言（通称マイアミ宣言）」の中には、“環境中に存在する化学物質のリスク評価を検討するときには、子どもの健康保全を最優先しなければいけない”と明記された。

そして、その精神は、2002 年の「ヨハネスブルグ・サミットに向けたＧ８閣僚宣言」の中にも盛り込まれている。米国環境保健局（EPA）や G8 環境大臣会合では、化学物質の高感受性群の毒性に関して、子供と成人の間に以下のような量的および質的な違いがあることが強調されている。

(1) 子どもは大人と比べ、体重１キログラム当たりの水分、食物、空気の摂取量が多い。アメリカの調査では、1~５才の子どもは成人の３～４倍の食物を摂取することや幼児は大人の２倍の空気を吸い込むことが報告されている。また、実際に食品中の残留農薬量を実測し、そのデータを子供が多く摂取する食品に当てはめて試算すると、子供は大人よりかなり多くの農薬類を摂取する可能性が高いと報告している。

(2) 子どもの生活・行動は環境中の汚染物質を取り込みやすい。例えば、子どもは手から直接口にもっていく習性があるため、土壌や水質中の環境汚染物質の影響を受けやすい。

(3) 子どもの代謝系や解毒機構は成長途上にあるため、大人より有害物質の解毒や排出がうまくいかない。子どもは大人より急性毒性を示しやすい。また、子どもの成長や発達は急速であり、成長の盛んな時期に有害物質を取り込むと、その影響が大きい。

(4) 子どもの神経系、免疫系、生殖系の発達には臨界期がある。臨界期に受けた影響は一生涯残る。ことに胎児期、乳幼児期の神経系の発達段階では、脳の保護機構である血液脳関門が形成されていない。そのため有害物質（鉛、水銀、農薬類）に曝露されると、それらはすべて脳まで達してしまうため、脳の構造異常、また、神経系のネットワーク形成障害による行動異常などの原因となる可能性が高い。

(5) 子どもは大人より長生きする。早い時期に環境中の有害物質に曝露されたことが引き金になって起こるような慢性疾患は時間をかけて重症化する可能性がある。例えば、ベンゼンで誘発される白血病、DDT で誘発される乳がん、農薬類で誘発される可能性があるパーキンソン病などの慢性疾患などではそのことが指摘されている。これらの病気の多くは、ごく初期の有害物質曝露が引き金になるが、実際の兆候を現すまでには長い年月を要すると考えられている。結果として、人生の初期に受けたある種の発ガン物質や毒性物質曝露の方がある年齢以降に曝露された有害物質の影響より大きいと考えられている。

9．化学物質の高感受性群に対する日本の取り組み

日本の環境省は、前述した「子供の健康に関するG８環境大臣宣言（通称マイアミ宣言）」を受け、1998年より、環境省は、学識経験者で構成される「化学物質による高感受性群へのリスク調査検討委員会」を発足させた。そして、その委員会の調査研究結果を基に、ダイオキシンなどの一部化学物質で子供を考慮した規制措置がなされ始めている。この委員会は３年間の調査研究結果をまとめている13)。さらに、2002年から５ヵ年計画で、13名の学識経験者からなる新たな「小児等の環境保健に関する調査検討委員会」を発足し、新たな取り組みが始まった。この新たな検討委員会では、小児等の脆弱性を考慮して、わが国における化学物質のリスク評価を検討するための以下のような方向性が確認されている。なお、筆者は上記検討委員の一人である。

化学物質過敏症やシックスクールに関しても、子どもの脆弱性を考慮して対策を講ずる必要があるだろう。ことにシックスクール問題は、単に学校の建築上の問題として矮小的に捉えるのではなく、時代を担う子どもを取り巻く生活環境全体の問題として、社会全体で最優先で真剣に取り組むべき課題だと筆者は考える。

１０．化学物質に対する反応性の個体差と解毒酵素の遺伝子多型

従来から医療の現場では、薬物の代謝能力の個体差と遺伝的多型についてはよく知られており、投薬の際には気をつけて処方されている。例えば、抗うつ薬であるノルトリプチンを263名のうつ病患者に投与した際に得られる血液中の薬物濃度のヒストグラムを示した４)。これを見ると、同量の薬物を投与しているにもかかわらず、得られる血漿中濃度は100倍以上の差が認められる。薬物代謝能力に個体差が存在する原因は、肝臓の薬物代謝酵素が、遺伝、年齢、性、妊娠、病態、環境因子などによって影響を受けるためと考えられている。特にこれらの因子の中で最も重要なのが遺伝要因である。実験動物と異なり、ヒトは遺伝的に不均一な集団であり、各個体のもつ遺伝的背景はさまざまである。さらに、薬物代謝にかかわる酵素は、多くの場合遺伝的多型を示す。

例えば解毒酵素の遺伝多型と化学物質に対する過敏反応の事例として、古くからよく知られている事例は、アルコールの解毒酵素であるアセトアルデヒド脱水素酵素には遺伝子多型があり、アセトアルデヒド脱水素酵素２型タイプの遺伝子欠損者がアルコール過敏反応を起こすことだろう。

このような肝臓の解毒酵素の遺伝子多型は人種によっても大きな差が認められている。前述のアセトアルデヒド脱水素酵素２型タイプの遺伝子欠損者は東洋人に多いことはよく知られている。

シロアリ駆除に多用された有機リン系（クロルピリフォスなど）殺虫剤の解毒酵素の一種である、パラオキソナーゼ I 型（PON1）が先天的に欠損した人が、有機リン

系殺虫剤の有害な中間代謝物であるパラオキソンを代謝できないため、有機リン殺虫剤に曝露したときに激しい反応性を示す事例も報告されている。シックハウス症候群患者と PON１の関係は東海大学医学部分子生命科学の木村穣教授により研究がなされている。

米国で解毒酵素系の未発達な子供は全てこのPON1が欠損しているという報告が出され、この報告を重視した米国環境保護局（EPA）は、有機リン系の殺虫剤の安全基準を大人と子供で区別して、子供の基準値を大人の 10 分の１という厳しい値に設定したことに注目すべきだと筆者は考える。

１１．化学物質過敏症患者は酸化ストレス状態？

もう一つ化学物質過敏症の個体差を考える上で興味ある知見は、ドイツのプラング12）らによって報告された論文である。この論文の中では、多種類化学物質過敏症または慢性疲労症候群の患者は酸化的ストレス状態にあること、それは体内の過酸化物を処理する解毒酵素の一種であるグルタチオンーS-転移解毒や N-アセチル転移酵素の遺伝子多型と関係があるという大変興味深い説が展開されている。具体的にはMCSの患者を発症原因別に、殺虫剤群、重金属群、不明群の３つの分け、酵素系を解析した結果、対照群と比べ、活性酸素を解毒するグルタチオンーS-転移解毒やN-アセチル転移酵素活性が低い人が多かったというのである。つまり酸化ストレス状態になりやすい人がMCS を発症しやすい傾向があることを示唆した結果である。

北里研究所病院臨床環境センターでは、患者の治療に過酸化物の解毒促進のために、ビタミン C、E、亜鉛、マグネシュウム、セレニウムなどの多い食物の摂取を勧めている。

１２．子どもの健康を守ることを最優先する社会にしましょう！

先日の国際シンポジウムで米国代表のテキサス大学助教授 Miller 博士は、センサーのような敏感な感覚をもつ MCS 患者のことを“大事にしなければならない敏感な女王様”と表現して、医学者はMCS 患者から謙虚に教えを請いながらMCS の病因、診断治療法の研究を行わなければならないと訴えた。

日本の化学物質過敏症患者の手記の中も“自分たちは炭鉱のカナリアのような存在です。”という言葉と共通したものがある。

１３．健康で過ごすための生活スタイルとは？

子どもが健康でくらせる生活環境では、大人も健康でくらせる利便性より安心・安全・健康を優先した生活

(1) 日ごろから丈夫な身体をつくっておこう！

免疫力のアップ：規則正しい生活
バランスがよい食事
適度な運動、
ストレスをためない
十分な睡眠

(2) できるだけ化学物質曝露の少ない生活（シンプルライフ）をしよう！

農薬や添加物の少ない食品を摂取
受動喫煙は子どもの健康影響が大きい
防虫剤・芳香剤などの過剰使用は控えよう

(3) 身体に入ってきた有害物質を早く身体から出そう！

運動して汗をかく、入浴、低温サウナで吸入した有害物質を早く排出しよう
繊維性食品を摂取して脂溶性の有害物質を早く排出しよう

(4) 部屋の換気をよくしよう!

室内の有害物質を吸収させよう!
（観葉植物、炭や活性炭・茶殻の利用）

何よりも、子どもの健康を守ることを最優先して、シックハウス対策を考えましょう！

住宅の気密化と換気システムについて

吉野　博　（東北大学大学院工学研究科　教授）

１．はじめに

換気は、室内で発生する各種の汚染物質、臭い、湿気、熱などを希釈・排出することを目的としており、在室者にとって健康な室内環境を維持していく上で極めて重要である。また、省エネルギーの社会的な要請や快適性向上のニーズの観点より、近年、住宅が気密化されてきている。一方で様々な化学物質が使用されてきたため、シックハウス症候群が大きな社会問題として取り上げられ、平成 14 年 7 月にはシックハウス防除のために建築基準法の一部が改正され、それを受けて平成 15 年 7 月に建築基準法に関係するシックハウス対策の技術的基準が公布された。今後は原則として全ての居室に機械換気設備の設置が義務付けられるようになった。従って、換気計画に当たっては、建築基準法に則って設計する必要があるが、それと同時に換気に伴うエネルギー消費量をいかに削減するかも大きな課題である。

ここでは改正建築基準法の概要と気密住宅における換気システムの研究成果の一部について述べる。

２．改正建築基準法について

(1) 建築基準法改正の背景

シックハウス症候群の発生要因として、以下の３点が主として挙げられる。

① 住宅に使用されている建材、家具、日用品等から様々な化学物質が発散するようになった。
② 住宅の気密性が高くなった。
③ 冷房の使用が増えて換気が不足しがちである。

又、シックハウス症候群対策として、以下の２点が主として挙げられる。

① 建材や家具、日用品等から発散する化学物質を減らす。
② 換気設備をつけて室内の空気を清浄に維持する。

以上の観点からシックハウス対策のために建築基準法が改正された。

(2) 改正建築基準法に基づくシックハウス対策の概要

ｉ）規制対象とする物質

クロルピリホス及びホルムアルデヒドとする。

ii）クロルピリホスに関する規制

居室を有する建築物には、クロルピリホスを添加した建材の使用を禁止する。

iii）ホルムアルデヒドに関する規制

一戸建て住宅と共同住宅の住戸について対応方法を図 1、2 にそれぞれまとめる。

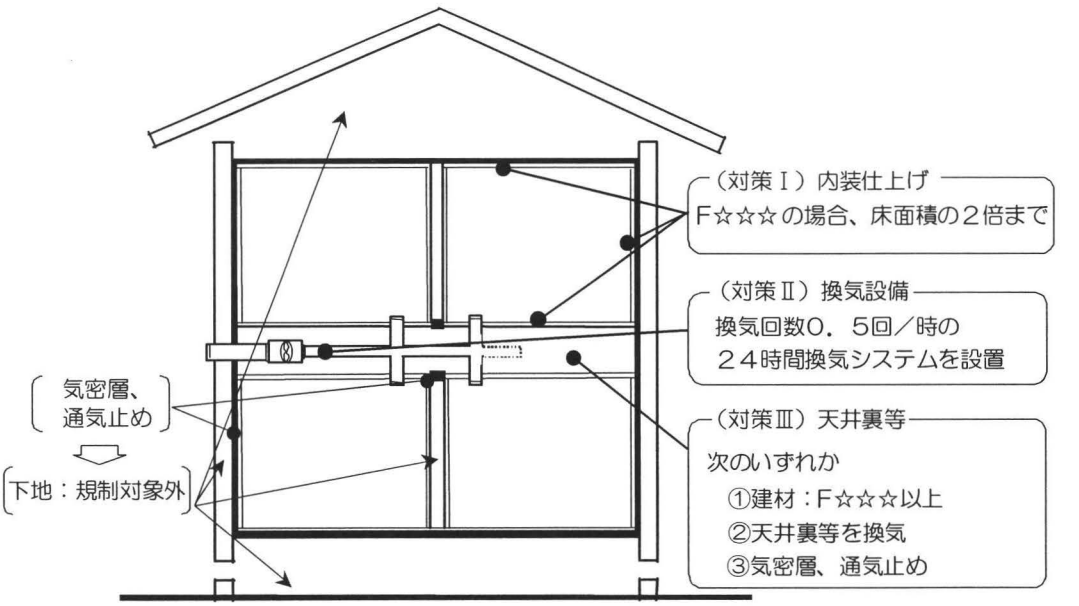


図１　一戸建て住宅におけるホルムアルデヒド対策[1)]

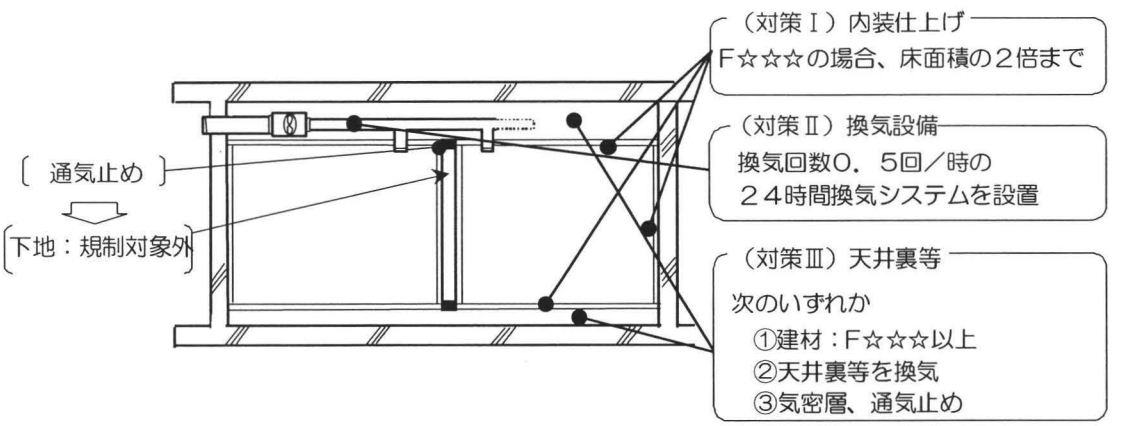


図２　共同住宅におけるホルムアルデヒド対策[1)]

以下にホルムアルデヒド対策に関する対応方法の詳細について示す。

（対策Ⅰ）内装の仕上げの制限

居室の種類及び換気回数に応じて、内装仕上げに使用するホルムアルデヒドを発散する建材の面積制限を行う（表 1)。

（対策Ⅱ）換気設備の義務付け

ホルムアルデヒドを発散する建材を使用しない場合でも、家具からの発散があるため、原則として全ての建築物に機械換気設備の設置を義務付ける（表 2)。

表１　建築材料の区分・内装仕上げの制限

ホルムアルデヒドの発散速度（※１）	告示で定める建築材料		大臣認定を受けた建築材料	内装の仕上げの制限
	名称	対応する規格		
0.12mg/m^{2}h超	第1種ホルムアルデヒド発散建築材料	JIS,JASの旧E_2,F_{C2}相当、無等級		使用禁止
0.02mg/m^{2}h超 0．12mg/m^{2}h以下	第2種ホルムアルデヒド発散建築材料	JIS,JASのF☆☆	第20条の5第2項の認定（第2種ホルムアルデヒド発散建築材料とみなす）	使用面積を制限
0.005mg/m^{2}h超 0.02mg/m^{2}h以下	第3種ホルムアルデヒド発散建築材料	JIS,JASのF☆☆☆	第20条の5第3項の認定（第3種ホルムアルデヒド発散建築材料とみなす）	
0.005mg/m^{2}h以下		JIS,JASのF☆☆☆☆	第20条の5第4項の認定	制限なし

※１　測定条件：温度28℃、相対湿度50％、ホルムアルデヒド濃度0.1mg/m^3（=指針値）

※２　建築物の部分に使用して５年経過したものについては、制限なし。

表２　換気設備設置の義務付け

次のいずれかの換気設備の設置を義務付け。

a	b	c
機械換気設備（b以外）	空気を浄化して供給する方式の機械換気設備	中央管理方式の空気調和設備
○機械換気設備の一般的な技術的基準（令第129条の２の６第２項）に適合すること		○中央管理方式の空気調和設備の一般的な技術的基準（令第129条の２の６第３項）に適合すること
○住宅等の居室で換気回数0.5回/h以上、その他の居室で換気回数0.3回/h以上の換気が確保できる有効換気量を有すること。	○住宅等の居室で換気回数0.5回/h以上、その他の居室で換気回数0.3回/h以上の有効換気量を有することについて、告示基準に適合するもの又は大臣認定を受けたものとすること。	○原則として、次の式によって計算した数値以上の有効換気量を換気する能力を有するものであること（式省略）。
○給気機又は排気機は、原則として、換気経路の全圧力損失を考慮した計算により確かめられた必要な能力を有するものであること。		
○居室の通常使用時に、作動等の状態の保持に支障が生じないものであること		

※１　1つの機械換気設備が2以上の居室に係る場合の有効換気量は、それぞれの居室に必要な有効換気量の合計以上とすること。

※２　非常用エレベーターの設置が必要な建築物等に設ける機械換気設備（1の居室のみに係るものを除く。）又は中央管理方式の空気調和設備の制御及び作動状況の監視は中央管理室においてできること。

（対策Ⅲ）天井裏の制限

機械換気設備又は中央管理方式の空気調和設備を設ける場合には、天井裏等（天井裏、小屋裏、床裏、壁、物置その他これらに類する部分）から居室へのホルムアルデヒドの流入を抑制するため、以下のいずれかの措置が講じられていること。

１．下地材、断熱材その他これらに類する面材について、次に掲げる材料を使用しないことにより、天井裏等におけるホルムアルデヒドの発散を抑制し、ひいては居室へのホルムアルデヒドの流入を抑制すること。

２．気密層又は通気止めにより、居室へのホルムアルデヒドの流入を抑制すること。

３．１または２の対策を講じていない天井裏等の部分について、居室の空気圧が当該天井裏等の部分の空気圧以上となるよう機械換気設備等による措置を講じ、空気圧により居室へのホルムアルデヒドの流入を抑制すること。

３．気密住宅における換気システムの研究

3.1　研究の背景

気密住宅においては、機械換気設備を設置し、常時運転して室内空気環境を清浄に維持する必要がある。しかしながら、ファンを常時運転することに対する居住者の抵抗や自然エネルギーを積極的に利用すべきであるという社会的ニーズから、自然換気の駆動力である温度差と風圧力を可能な限り利用し、ファンを補助的に利用するハイブリッド換気システムが注目されるようになってきた。建築基準法では、機械換気が義務付けられているが、ハイブリッド換気システムは条件によっては採用することができる。今回取り上げるハイブリッド換気システムは、パッシブ換気システムに補助ファンとダンパーを組み込んで、温度差が大きすぎるときには換気量を押えるためにダンパーで排気量を低減させ、温度差が不足するときは補助ファンを運転して換気量をある範囲まで増加させるというものである。

3.2　実験棟における換気システムの性能評価実験

(1)　実験棟の概要

写真１に実験家屋の外観を示す。2 階建ての実験家屋の延べ床面積は 78.9m^2、室容積は 163.9m^3 である。床面積当たりの相当隙間面積は約 2.6cm^2/m^2 で、熱交換器付きハイブリッド換気システムの実験時には、気密化工事を行い、約 1.0cm^2/m^2 まで気密性能を高めている。相当隙間面積の測定は、気密測定器（㈱コーナー札幌製）を用い加圧法で行った。廊下を除く各部屋にはルームエアコンが設置されており、室温調節が可能となっている。また、各部屋には 2 つの間仕切扉があり、各扉には 10cm 角の通気口が 2 つ設けられている。



写真１　実験棟の外観

(2) 換気システムの概要

① ハイブリッド換気システム（図3の(1)）

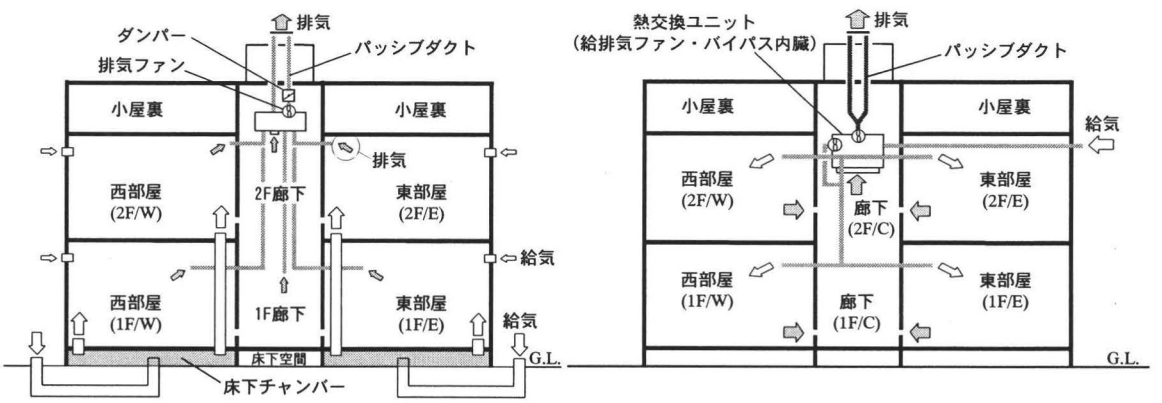
2本の排気用立てダクト、チャンバー、並びにチャンバーと各室をつなぐダクトからなる。立てダクトの直径は150mmで、排気筒の高さは地上9mである。1本の立てダクトとチャンバーの間には電動ダンパーと排気用の小型補助ファンが設置されている。排気用補助ファンの能力は最大風量が170m³/h、最大静圧が1.9mmAq、消費電力が5Wである。排気ファンとダンパーは自動制御されており、排気ファンは内外温度差が10℃以下となる場合に運転され、ダンパーは内外温度差が20℃以上になると閉じるように設定されている。排気ファンを運転しなければ、パッシブ換気システムとなる。

また、床下チャンバーと1階と2階の各部屋をつなぐダクトを利用することによって、床下チャンバーから直接各部屋へ給気することが可能である。各チャンバーには小型ファンヒーター（600W）が設置され、各部屋に給気される外気の予熱が可能である。

② 熱交換器付きハイブリッド換気システム（図3の(2)）

2階南外壁面の給気口から取り入れられた外気は熱交換ユニットで熱交換され、給気ダクトを通って各部屋に給気される。各部屋の空気は間仕切扉の通気口から廊下へと移動し、2階廊下上部の熱交換ユニットを介して2本のパッシブダクトにより屋外へ排出される。この際、1階の空気は廊下の南部分にある吹き抜けを通って2階へ上がる。

熱交換ユニットには給排気ファンとバイパスが内蔵されており、気候条件に応じて運転条件の変更が可能となっている。



(1) ハイブリッド換気システム　　(2) 熱交換器付きハイブリッドシステム

図3 換気システムの概要

(3) 性能評価実験の概要

① 実験の条件

表1に実験の条件を示す。実験は全て冬期に行われたものである。

Case1は排気用補助ファンを自動制御し、2階の自然換気口のみを開として2階から排気する条件である。

Case2はダンパーを自動制御し、全ての自然換気口を開として1階と2階の廊下から排気する条件（Case2-1）、全ての自然換気口を開として各室から排気する条件（Case2-2）で測定した。

Case3は床下給気方式のハイブリッド排気システムに関する実験である。Case3-3・Case3-4の床下暖房では、1階給気口の温度が室温と同じ位になるように出力を調節した。また、Case3-2・Case3-3の1階給気口の開口面積が1/6の条件では、開口部をテープで部分的にシールした。

Case4は、熱交換ユニット内に内蔵された給気ファンと排気ファンのON・OFFを組み合わせた4条件で行った。給排気ファンはいずれも強運転とし、給気ファンは、それぞれの部屋での給気量が20～25m³/h（実験家屋全体で約80m³/h、換気回数では約0.5回/hである。）になるようにスライダックで電圧を調節した。排気ファンは、給気ファンと同じ電圧で調節している。

表1 実験の条件

Case		測定期間	換気方式	給気場所（ホールは除く）	自然換気口の条件	排気場所	室内温度の設定（℃）	備考
1		00.1.5～7	ハイブリッド排気	2階各室	2階だけ開	2階各室	16	ファンの自動制御
2	2-1	00.1.7～9	ハイブリッド排気	全室	全開	廊下	26	ダンパーの自動制御
	2-2	00.2.7～13				全室		
3	3-1	01.1.15～17	床下給気＋ハイブリット排気	全室	全閉	全室	25	床下非暖房（1階給気口全開）
	3-2	00.12.16～18						床下非暖房（1階給気口1/6）
	3-3	00.12.29～30						床下暖房（温度調節）（1階給気口1/6）
	3-4	01.1.17～19						床下暖房（温度調節）（1階給気口全開）
4	4-1	01.12.30～31	熱交換器付きハイブリッド換気	全室	全閉	2階廊下	25	給気ファンOFF・排気ファンOFF
	4-2	02.1.6～9						給気ファンON・排気ファンON
	4-3	02.1.17～20						給気ファンON・排気ファンOFF
	4-4	01.1.29～31						給気ファンOFF・排気ファンON

② 換気量および温度の測定方法

各室に対する外気導入量と排気ダクトからの排気量を以下の方法で測定した。各室の外気導入量はマルチガスモニター（B&K社製、タイプ1302）と2台のマルチポイントサンプラードーザ（B&K社製、タイプ1303）を用い室内のトレーサーガス濃度が一定となるよう発生量を制御して測定した。また、排気ダクトからの排気量は、排気ダクト内でトレーサーガスを発生させ、その濃度を計測することによって求めた。トレーサーガスはSF_6あるいはCO_2を用いた。

温度は、各室および外気で1点ずつ測定を行っている。床下給気方式では、給気口出口での測定も行っている。熱交換器付き換気システムの実験時には、熱交換の状況を把握するために、給気経路と排気経路共に熱交換部への入口と熱交換部からの出口の各2点の計4点（換気経路順にOA、SA、RA、EAと表す）で温度を測定している。

(4) 性能評価実験の結果

① Case1（排気用補助ファンの自動制御）の結果

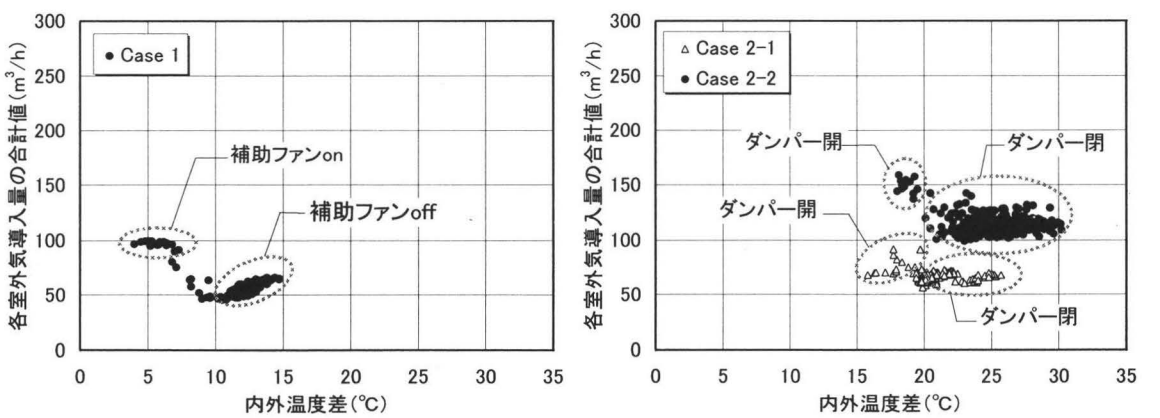
図 4 (1)に、各室における外気導入量の合計値と内外温度差との関係を示す。ファンを運転していない場合、内外温度差が 10℃の時に外気導入量が 50m³/h まで低下している。しかし、ファンを運転すると、内外温度差が 10℃以下になった場合でも外気導入量が 100m³/h 前後に維持されていた。

図 5 に、各条件の平均外気導入量と各室の割合を示す。排気ファンが運転されている場合、ファンが停止している場合よりも中性帯が上へ移動し、2 階の外気導入量が増え、1 階と 2 階への外気導入量の割合が同じ程度となっている。また、平均外気導入量はファンが停止している場合より多く、100m³/h まで増加している。

② Case2（ダンパーの自動制御）の結果

図 4 (2)に、各室における外気導入量の合計値と内外温度差との関係を示す。内外温度差が 20℃以上のとき、ダンパーが閉まることによって、外気導入量が抑えられている。また、廊下のみから排気する Case 2-1 より、全室排気を行う Case 2-2 での外気導入量の方が多い。

図 5 に、各条件の平均外気導入量と各室の割合を示す。Case 2-1 の場合、ダンパーが閉の場合と開の場合の割合が同じであり、ダンパー制御による外気導入量の割合の変化は見られない。また、平均外気導入量はダンパー開よりダンパー閉の場合で少なくなっている。一方、Case 2-2 のダンパー開の場合、Case 2-1 よりも 2 階の外気導入量の割合が小さくなっている。また、ダンパー閉の場合、ダンパーが閉まることによって中性帯が下がり、2 階の外気導入量の割合は更に小さくなっている。



(1) Case2（ファンの自動制御）　　(2) Case3（ダンパーの自動制御）

図 4 外気導入量と内外温度差の関係（Case1・2）

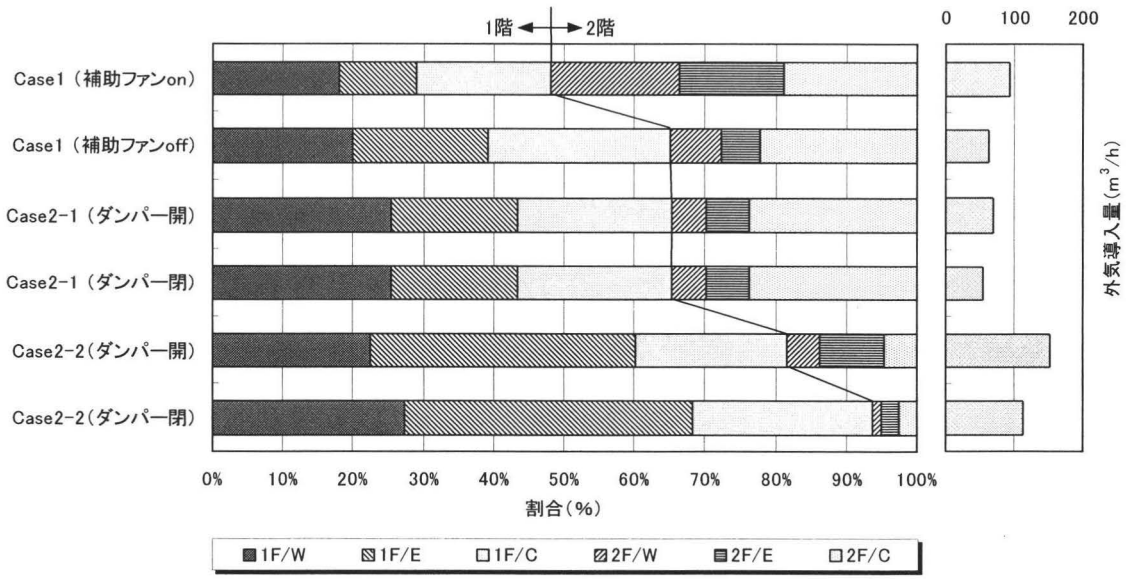


図5　平均外気導入量と各室の割合（Case1・2）

③　Case3（床下給気方式ハイブリッド換気システム）の結果

図6に、例としてCase3-1・Case3-3における外気導入量と1階給気口の出口温度の時間変化を示す。床下暖房なしの条件（Case3-1）では、給気系の抵抗が小さい1階各室への外気導入量が多くなっている。床下暖房を開始すると（Case3-3）、1階の外気導入量は徐々に少なくなり、2階では増加する。床下温度が室温（25℃）近くになると、1階と2階への外気導入量は床下暖房がない時と逆の傾向を示す。床下温度の変化を見ると、暖房開始直後の約1℃から約22℃まで上昇するが、5～10℃の間で、各室への外気導入量がほぼ等しくなっている。

図7に、各条件における外気導入量と各室の割合を示す。1) Case3-1：1階と2階の間に大きな差が生じ、2階の外気導入量が極めて少ない。これは、2階給気ダクトが長く抵抗が大きいことが原因である。2) Case3-2：床下暖房なしで1階給気口を1/6にすると、Case3-1とは異なり、1階と2階の外気導入量は同様の値となった。給気口の開口面積を減らしたため、抵抗が大きくなったことが原因である。3) Case3-3：1階給気口を1/6にして床下暖房を行うと、2階の外気導入量の割合が大きくなり、1階の方は極めて小さくなる。4) Case3-4：1階給気口を全開にして床下暖房を行った。1階の外気導入量が若干増えたものの、1階と2階との差が大きい。

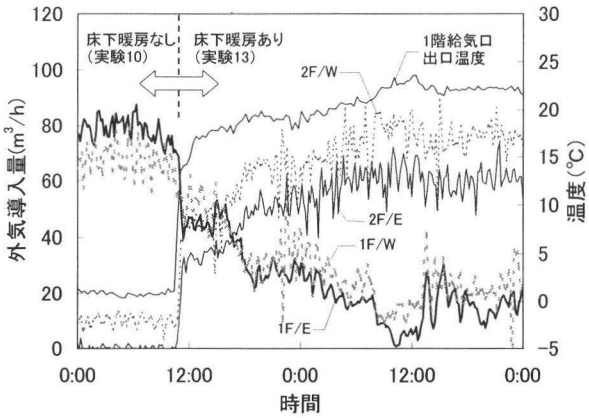


図6　各室の外気導入量と1階給気口出口温度の変動（Case3-1・Case3-3）

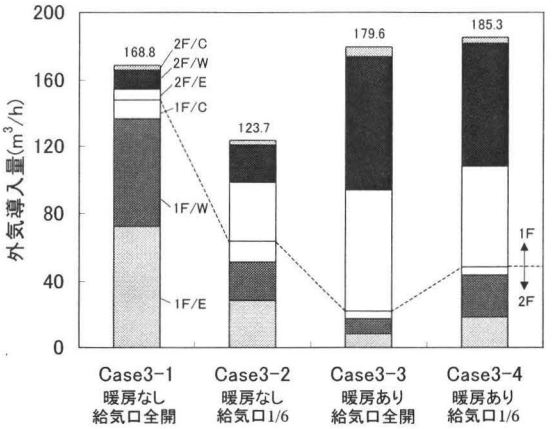


図7　外気導入量と各室の割合（Case3）

④　Case4（熱交換器付きハイブリッド換気システム）の結果

図8にCase4-1の温度変動を示す。暖房室の温度は25℃前後である。非暖房室の廊下は15～20℃で、外気温の影響を受けている。熱交換器周辺の温度を見ると、OAが2F/Cの温度まで上昇しているが、これは暖められた室内空気が給気ダクトから排気されるためであり、SAが20℃付近まで上昇していることもこれに起因すると考えられる。OAの急激な低下は外気がダクトを通じて給気される場合であり、全体的には逆流している時間の方が長い。すなわち、内外温度差や風圧力のみでは、計画通りの換気経路が確保されないことが分かる。

図9に、各実験における平均外気導入量と排気量を示す。Case4-1・Case4-3・Case4-4における平均外気導入量が約70～80m³/h（換気回数約0.45～0.5回/h）に対して、給排気ファンを運転したCase4-2では142.0m³/h（換気回数約0.9回/h）であり、外気導入量が大きいことが分かる。すなわち、給気ファン・排気ファンの運転を行っていないCase4-1の外気導入量は、給気ファンか排気ファンのどちらかを運転したCase4-3・Case4-4とほぼ同じである。2階両室における外気導入量は、給気ファンを運転していないCase4-1・Case4-4で少なくなっている。各実験における平均排気量を見ると、Case4-1・Case4-2では外気導入量と同じ程度だが、Case4-3では外気導入量を下回り、Case4-4では上回っている。Case4-3は給気ファンのみを運転させた場合で、換気システムを通しての排気量が減少した分、隙間からの排気量が増加していると考えられる。また、外気導入量より排気量が大きくなることはありえないが、現在のところ、この原因は不明であり、更なる検討が必要である。

図10に、熱交換による回収熱量とファンによる消費熱量を示す。Case4-1は給気ダクト内で逆流があったため、Case4-4は熱交換部の給排気間の漏気量が多かったため、算出できなかった。算出可能だったCase4-2とCase4-3では、熱交換による回収熱量がファンによる消費熱量を上回っており、その差の分だけ、エネルギー負荷を低減できたことになる。

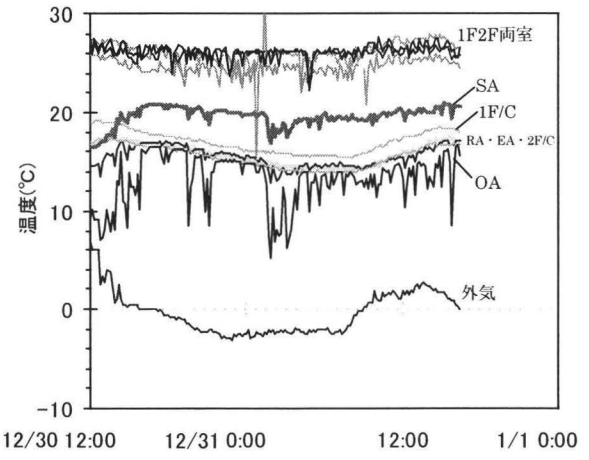


図 8　温度変動（Case4-1）

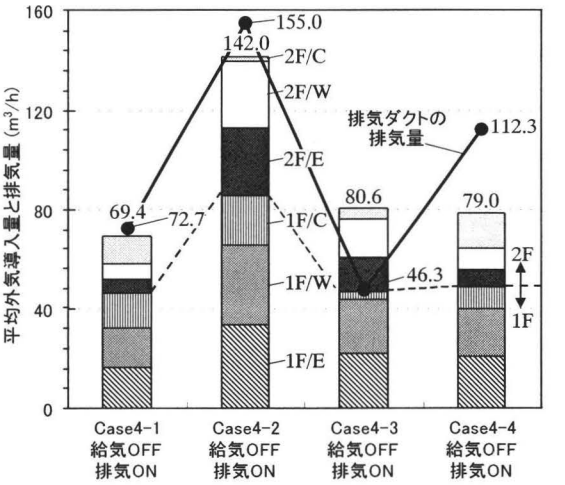


図 9　外気導入量と各室の割合（Case4）

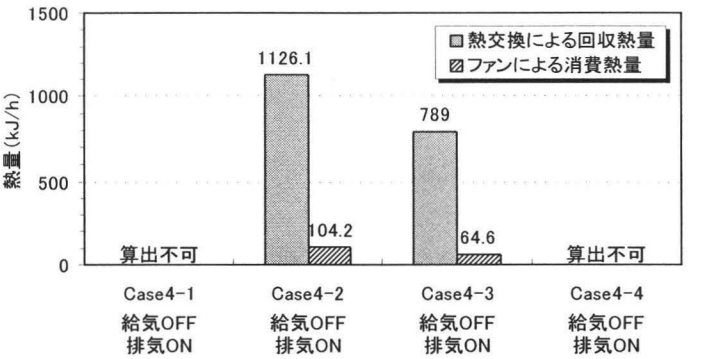


図 10　熱交換による回収熱量とファンによる回収熱量

3.3　まとめ

(1)　ハイブリッド換気システム

①　排気用補助ファンの運転を行うことによって、内外温度差が小さい時でも外気導入量を設定値以上まで増やすことが可能であった（Case1）。また、ダンパーの制御を行うことによって、内外温度差が大きい場合に外気導入量を一定範囲内に収めることができた（Case2）。

②　2 階における外気導入量の割合が 1 階よりも小さかった。補助ファンの運転で 2 階の割合が大きくなったり（Case1）、ダンパーが閉まることによって 2 階の割合が小さくなったりする（Case 2-2）現状が見られたが、その効果は大きくなかった。

③　床下給気方式ハイブリッド排気システムでは，床下給気口の面積や床下暖房を適切に調節することによって，1 階と 2 階の外気導入量を所要の値に確保できると推察された。

(2)　熱交換器付きハイブリッド換気システム

①　給気ファン・排気ファンを両方とも運転しない場合、給気ダクト内において逆流が見られた。

②　2 階両室における外気導入量は、給気ファン・排気ファンを両方とも運転しない場合や給気

ファンを運転しない場合に少なくなる。

③　給気ファン・排気ファンを運転した場合、各室の換気回数は約 0.8～1.0 回/h であり、その他の場合の換気回数は 0.45～0.5 回/h であった。

【参考文献】

1）(財) 日本建築センター，建築基準法の改正に対応した建築物のシックハウス対策マニュアル－建築基準法・住宅性能表示制度の解説及び設計施工マニュアル－，2003.5

2）国土交通省ホームページ　http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/sick.html

3）吉野　博，劉　京，李　重勲，和田　淳：換気実験棟の概要，並びに実験と計算による基礎的検討　－ 住宅用ハイブリッド換気システムの性能評価に関する研究　その１　－，日本建築学会計画系論文集，2003.4

4）李　重勲，吉野　博，和田　淳：換気実験棟を用いた各種換気システムの性能評価，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，2001.9

5）Hiroshi Yoshino, Joonghoon Lee and Jun Wada : PERFORMANCE EVALUATION ON VENTILATION SYSTEMS WITH FULL-SCALE TEST HOUSE, Proceedings of the 8th International Conference on Air Distribution in Rooms (ROOMVENT 2002)，2002.9

6）李重勲，吉野博，林基哉，高木理恵，田村一美，丹羽清美：熱交換器付きハイブリッド換気システムの性能評価に関する研究　その 1 システム概要と基本的性能の把握，日本建築学会大会学術講演梗概集，2002.8

7）高木理恵，吉野博，林基哉，李重勲，田村一美，丹羽清美：熱交換器付きハイブリッド換気システムの性能評価に関する研究　その 2 一定濃度法によるシステム性能実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，2002.8

公開シンポジウム『シックハウス問題の現在～室内環境の実態と防除対策～』



写真１　講演の様子１

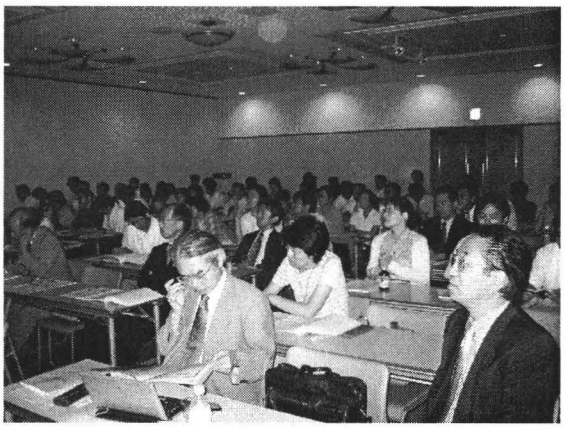


写真２　講演の様子２



写真３　パネルディスカッション１



写真４　パネルディスカッション２

最新のシックハウス防止対策

野﨑　淳夫　（東北文化学園大学大学院健康社会システム研究科　教授）

室内化学物質汚染防止対策への取り組み

2003年7月にシックハウスによる健康被害の防止を意図して、建築基準法が改定されます。

シックハウスの防止には、ホルムアルデヒドやVOC 等の室内化学物質濃度を低く保つ必要があります。このため、国土交通省、経済産業省、厚生労働省等によるの研究プロジェクト「室内空気対策研究会」や国土交通省の「シックハウス総プロ」が組織され、社会的な注目を集めております。

筆者は、上記の研究委員会において、主として測定技術、対策技術について担当しており、ここではこれまでに明らかになっている最新の対策技術の基本や特性についてご紹介するものである。

対策の基本

新築の場合には、以下の対策上の基本があります。

1）化学物質の発生を抑制した建築材料を使用する。
2）塗料や接着剤の使用量を抑制する。
3）計画換気量を十分に確保する。

しかし、既存の住宅ではこれらの事項はすでに決定してしまっており、室内濃度が異常に高い住宅も見られます。このような場合、居住者の行える身近な対策としては、以下の対策が考えられております。

1）化学物質を多量に発生する日用品や生活用品を持ち込まない。
2）身近な発生源を除去する。
3）積極的な換気行為を行う。
4）ベイクアウトを実施する。
5）空気清浄機を使用する。
6）日用対策品（炭製品など）を設置する。

ここでは注目されている・ベイクアウト、・空気清浄機、・日用対策品について、解説するものといたします。

(1) ベイクアウト

建材、塗料、接着剤、家具などから発生するVOCやホルムアルデヒドによる汚染防止対策が急務となっておりますが、欧米では汚染緩和措置としてBake-out が、しばしば行われています。Bake-out は、「ベークアウト」などと呼ばれたこともありますが、学術的に正しくは「ベイクアウト」と定義されております。[4)]

ストーブなどの加熱装置を用いて、室内温度を上昇させ、建材等に含まれる揮発性有機化合物やホルムアルデヒドを吐出させるものであります。室内温度を30～40℃に数日間保つことが、効果を得る上でのポイントとなります。

当初、ベイクアウトを扱った科学的研究例は少なく、その具体的な実施方法や定量的汚染低減効果については、不明でした。

今日では、加熱条件と化学物質発生量の低減性も徐々に解明され、一つの低減対策と位置づけられております。

中でも、旧建設省が行った官民共同研究「健康的な居住環境形成技術の開発」や室内空気対策研究会改修対策技術分科会では、仕上げ仕様によって異なるベイクアウト効果を明らかにするために、建材部位別のベイクアウト実験を行っております。すなわち、床、壁、天井といった構成部分を環境制御チェンバーに挿入して、部材レベルのベイクアウト効果を明らかにしております。この大規模な実験室実験により、部位毎のしかも仕上げ仕様が異なる建材についてのベイクアウトによる汚染低減効果が明らかになりました。[5)、6),7)]

以下に明らかになった点を述べます。

図-1は、建材部位別のベイクアウトによる低減化を求めた実験結果の一例です。低ホルマリン仕様の壁面におけるベイクアウト前後のVOC濃度の推移と試験期間中における建材の履歴による濃度の推移を示しております。

室温度を38℃まで上昇させ、72時間保持する部材毎のベイクアウト実験により、ベイクアウト効果が明らかになりました。一般的な集合住宅に用いられる各種の仕様において、壁部8.69～12.1%、天井部7.40～24.5%、床部19.1～22.1%のVOC発生量の低減化が明らかにされております。

ホルムアルデヒドにおいても、壁部 20.1％（平均値）、天井部 46.0％、床部 16.2％の発生量の低減化が示されております。(尚、本実験時の環境条件は、温度:38(℃)、相対湿度:40(％)、気流:0.3-0.4(m/s)、換気回数:0.46(1/h)である。)

これ以外の研究でも、壁、天井材はベイクアウトによる低減効果が大きく、多量に含まれるトルエンを有効に除去できることが明らかになっております。

ただし、複合フローリングの床材に関しては、表面の化学物質除去には適しているものの、内部に含浸した化学物質の除去には有効な対策とはなり得ません。[7]

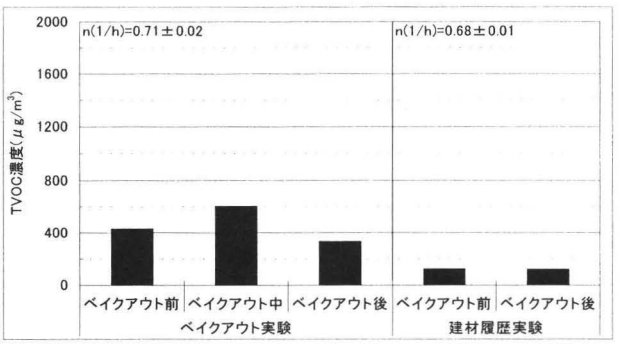


図-1　ベイクアウトによる VOC 低減効果
（壁部の試験片を実験室実験により測定）

また、戸建住宅や集合住宅建設時の現場における制限を考慮したベイクアウト手法[8),9)]も提案されております。

ベイクアウトを実施する上での注意点を以下に述べます。

ベイクアウト実施上の留意点

1）特定の部分を加熱することは、火災や損傷をまねく危険性があります。
（なるべく、室全体をまんべんなく加熱しましょう。）

2）温度を上げすぎることによる建具などの損傷に留意する必要があります。
（特に、表と裏の仕上げが違うドアは、温度変化により反りが生じ易いものです。）

3）開放型ストーブを用いて行う場合には、酸欠によるすすの発生に注意しましょう。
（窓を数センチ開けながら行いましょう。）

4）加熱中の室内濃度は、とても高くなることが報告されています。加熱中の室内滞在は危険です。また、ベイクアウト実施後に、一次的に濃度の高くなるケースがありますので、加熱後は窓を充分に窓を開けて、室（建物）の換気と冷却をはかってください。

(2) 空気清浄機

近年、家庭用空気清浄機の普及はめざましく、その効果も徐々に解明されてきております。当初、家庭用空気清浄機は、タバコの煙などの粒子状物質に主眼をおいて開発されましたが、近年、ホルムアルデヒドなどのガス状物質を対象に開発された機種が発売されております。

家庭用の空気清浄機が、ホルムアルデヒドや揮発性有機化合物を効率よく除去してくれれば、なかなか有効な低減対策となります。

１９９５年頃に発売された家庭用空気清浄機のホルムアルデヒドに対する除去性能（相当換気量 Qeq）は、0～2.47(m³/h)とほとんど期待できなかったことが報告されております。[10)]

（相当換気量（Qeq）については、注を参照のこと。）

ところが、２０００年以降に販売された空気清浄機に関する最新の研究[10)]では、フィルター濾過式の空気清浄機の相当換気量 Qeq が、8.10～19.9(m³/h)であり、室内濃度低減効果を期待できるものであることが示されております。ただし、静電集塵（イオン）式の空気清浄機に関しては、相当換気量 Qeq はゼロに等しく、除去効果は認められないことも報告されております。(図-2,3、表-1,2,3 参照)

注）相当換気量（Qeq）とは：空気清浄機における対象汚染物の除去効果を現す指標であり、除去効果を室換気量に相当させたものである。例えば、設置する空気清浄機のホルムアルデヒドの Qeq が 1 である場合は、室内に毎時１立方メートルのホルムアルデヒドを含まない新鮮空気がもたらされることを意味する。すなわち室換気量と同等の意味合いを持つものである。[10)]

現状の研究成果を総合すると、次のようになります。
1)家庭用空気清浄機にはある一定の効果が期待されるものの、除去効果を過信してはいけない。
2)器具性能はフィルターの交換等により発揮されるもので、定期的なメンテナンスが必要である。

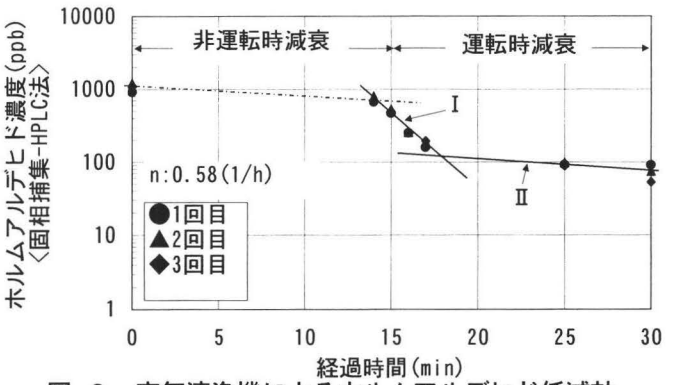


図-２　空気清浄機によるホルムアルデヒド低減効果の一例(フィルター濾過式器具)

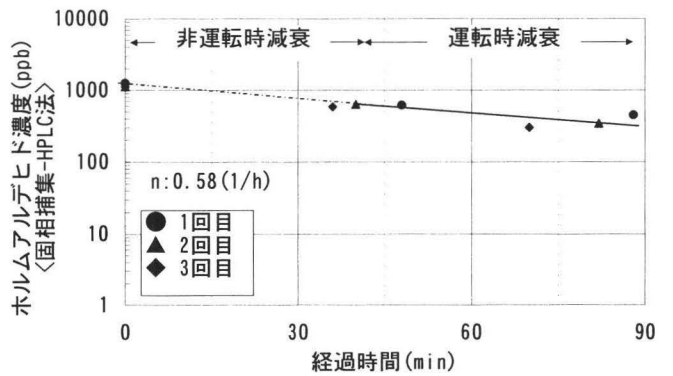


図-３　空気清浄機によるホルムアルデヒド低減効果の一例(静電集塵（イオン）式器具)

表-２ 旧タイプの空気清浄機のホルムアルデヒド除去性能

機器	50Hz時の風量(m^3/min)	フィルタの構造	製造(年)	相当換気回数 N(1/h)	相当換気量 Q_{eq}(m^3/h)
AC6	2.3	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ+静電フィルタ	1995	-	-
AC7	1.2	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ	1995	0.07	0.37
AC8	1.9	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ	1995	0.28	1.47
AC9	3	プレフィルタ+脱臭フィルタ+活性炭フィルタ	1995	0.47	2.47
AC10	-	静電フィルタ	1995	0.06	0.31

表-３ 新タイプの空気清浄機のホルムアルデヒド除去性能

機器	相当換気量 Q_{eq}(m^3/h)			
	1回目	2回目	3回目	平均値
AC1	18.7	19.0	15.9	17.8
AC2	14.6	16.3	13.4	14.8
AC3	-	0.01	0.05	0.03
AC4	6.67	9.09	8.54	8.10
AC5	18.9	22.0	18.9	19.9

(3) 日用対策品

日用対策品としては、炭、吸着シート、吸着ペイント等があります。室内化学物質汚染を低減するために、いくつかの市販品があります。これらの対策品がどの程度の効果を発揮するかといった研究は始まったばかりであります。研究成果に期待がかかりますが、効能がメーカーの説明書等に記載されている場合もあります。これらを参考に使用してみる価値はありそうです。

引用文献

1) 健康な住まいづくりのためのユーザーズガイド、建築環境・エネルギー機構、２００１年４月

2) 健康な住まいづくりのための設計施工ガイド、建築環境・エネルギー機構、２００１年４月

3)Girman, J. et al.:Bake-out of an Office Building, Proc. of the 4th International Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Vol. 1, pp.22-26, 1987

4)野崎淳夫他：室内化学物質汚染低減化としてのベイクアウトの効果（その１）、室内 VOC、ホルムアルデヒド汚染に関する研究（その２）、日本建築学会計画系論文集、pp.61-66, 2000 年４月

5) 健康的な居住環境形成技術の開発「対策実験WG報告書」、2000 年４月

6)室内空気対策研究会改修対策技術分科会報告書、2001 年４月

7) 野崎淳夫、飯倉一雄、坊垣和明、吉澤　晋：室内化学物質汚染低減化としてのベイクアウトの効果（その２）、日本建築学会計画系論文集、No.557, pp.73-79, 7002 年７月

8)駒野清治、荒川琢也、佐藤：戸建住宅におけるベイクアウト方法の検討、「健康的な居住環境形成技術の開発」最終報告書、pp.210～216、2000 年 10 月

9)熊野康子、村江行忠、牧野真之、須藤、薬袋寿紹：集合住宅におけるベイクアウト方法の検討、健康的な居住環境形成技術の開発、最終報告書、pp.208～210、2000 年 10 月

10)野崎淳夫、飯倉一雄、大澤元毅、吉澤　晋：家庭用空気清浄機のガス状物質除去特性に関する研究(その 1)、ホルムアルデヒドに対する除去効果、日本建築学会計画系論文集、No.554, pp.35-40, 2002 年４月

表-1 実験で性能が確認された最新の空気清浄機

機器	対象汚染物質	50HZ時の風量(m^3/min)		フィルタの構造	主な除去方式
		強	弱		
AC1	浮遊粒子状物質、VOC、HCHO、NO_X、臭気	3.1	1	プレフィルタ+活性炭フィルタ+ULPAフィルタ*1	フィルタ濾過
AC2	浮遊粒子状物質、HCHO、NO_X、臭気	3.4	0.6	プレフィルタ+静電集塵フィルタ+ULPAフィルタ*1	フィルタ濾過
AC3	浮遊粒子状物質	-	-	静電集塵フィルタ	静電集塵
AC4	浮遊粒子状物質、HCHO、NO_X、臭気	3	0.5	プレフィルタ+抗菌フィルタ+HEPAフィルタ*2	フィルタ濾過
AC5	浮遊粒子状物質、HCHO、NO_X、臭気	3	0.5	プレフィルタ+HEPAフィルタ*2+脱臭フィルタ+抗菌フィルタ	フィルタ濾過

*1:Ultra low penetration air filter, *2:High efficiency particulate air filter

日用品による室内化学物質汚染低減対策

野﨑　淳夫　（東北文化学園大学大学院健康社会システム研究科　教授）

1. はじめに

２００３年７月にシックハウス防止の観点から、建築基準法が改正され、建築物に使用される建材が規制されるようになった。これにより室内ホルムアルデヒド汚染の軽減が期待されているが、シックハウスの撲滅にはつながらないと思われる。その理由としては、今回の規制化学物質が限られている点と室内には別の発生源が存在するからである。

家具などの日用品・生活用品も室内化学物質発生源として、軽視できない場合が多々ある。

このような背景から、化学物質濃度の低減を意図した日用汚染低減対策製品が手軽に購入できるようになっている。また、これらの製品は汚染低減対策技術の一つとしても注目されている。

しかしながら、これらの化学物質除去効果とその限界については、不明な点が多く、また適切な性能試験法が確立されていない現状にある。

そこで、本研究では生活用品からのVOC発生、及び日用汚染低減対策品の化学物質除去性能試験法について、報告するものである。

2. 日用汚染低減対策品の化学物質除去性能試験法ついて

2.1　背景と目的

シックハウス症候群を引き起こす原因化学物質の除去対策技術のうち、日用汚染低減対策品は、その原理や効果が不明な部分が多いことから、補助的手段と位置づけられている。[文献3)]

建材（汚染低減建材）の化学物質除去性能に関わる試験法[文献4),5)]が確立されており、評価業務が開始され、社会的ニードに応えている。

しかし、本評価法にはいくつかの問題点も指摘でき、また、日用汚染低減対策品にも適応できる試験評価手法の確立が求められている。

そこで、本研究では既往の評価法の問題点を検討・整理し、新たな用件に対応できる試験評価法を提案し、これを用いて日用汚染低減対策品の実験的検証を行うものである。

2.2　日用汚染低減対策品の化学物質除去試験評価法に関する新たな提案

2.2.1　既往試験法の問題点と課題

汚染低減建材の試験評価法に関わる問題点と課題は、以下のようにまとめられる。

①測定期間が長期（最低８日）に及ぶこと。

②数ヶ月から数年の単位における効果持続性に関する定量値が得られないこと。

③室内に存在する化学物質うち、限定された数種の物質（ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチレンベンゼン、スチレン）のみにしか対応していないこと。

④オゾン、光触媒利用技術等の新しい低減化技術に対処できないこと。

⑤日射の影響を測定・評価できないこと。

⑥費用を含めた評価をしていないこと。

⑦製品の利用により生ずる新たな室内空気汚染問題（二次生成物質の発生）に対応してないこと。

現在、多くの日用汚染低減対策品が市販されており、本手法による評価値と比較可能な性能評価法が求められている。

3. 新たな試験・評価法の提案

そこで前項の問題を改善するため、スクリーニング試験と精密試験を組み合わせた評価方法を提案する。スクリーニング試験は短期間（１日）で、

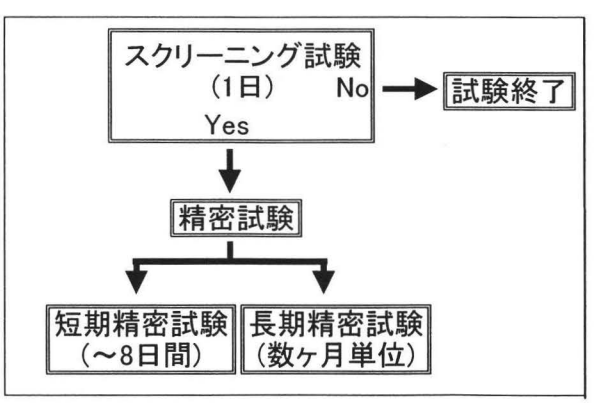


図-1　汚染低減対策品の化学物質除去性能評価方法

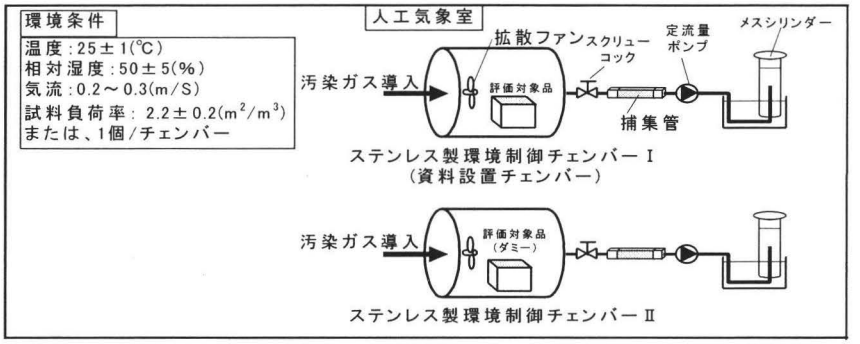


図-2　スクリーン試験装置の概要図

①化学物質を除去する能力の有無、②汚染低減対策品からの発生状況、③オプションで分解生成物の傾向を把握できるものとする。

精密試験については，比較的短期間で実施できる既往の手法に準じた試験（短期精密試験）と、汚染低減対策品の長期にわたる効果を測定する試験（長期精密試験）を実施する必要があると思われる。

本報ではスクリーニング試験についての具体的提案を行うものである。

日用汚染低減対策品を設置した試験チェンバー内に汚染ガス（ホルムアルデヒドと多成分VOC混合ガス）を導入し5時間放置後、チェンバー内の対象汚染物質濃度を測定する。なお、同時に汚染低減対策品を設置しない同条件のチェンバーを用意し、等量の汚染ガスを導入し対照とする。

3.1　試験条件

試験チェンバーは温度 25±1℃、相対湿度 50±5%に制御する。

3.2 試験体

試験対象汚染低減対策品は指定された使用方法に従って試験する。平面の製品については、例えば試料負荷率 2.2±0.2m²/m³ になるように試料を準備する。

4. スクリーニング試験の実験的検証

4.1　測定対象日用汚染低減対策品

表-1 に示す量販店で購入した日用汚染低減対策品（11 種）および臭気対策品（3 種）を試験対象とした。

4.2　捕集・分析法

固体吸着加熱脱着/GC/MS法により分析を行った。

4.3　スクリーニング試験結果

試験結果からVOC濃度変化率(%)を算出し、図-3に示した。

4.5 スクリーニング試験の有効性

実験的検証の結果、提案したスクリーニング試験方法が有効であることが示された。また、表-2に示す判定基準により、日用汚染低減対策品の効果の判定を行った（表-3）。

表-1　試験対象の汚染低減対策品

分類	製品仕様・用途	低減・除去原理	試験対象商品数
日用汚染低減対策品	塗壁材	吸着	2
	壁用塗料	吸着？/ 光触媒・分解？	3
	吸着剤(活性炭)	吸着	1
	吸着シート	吸着	2
	エアコン用外付フィルター	マイナスイオン？	1
	ゼリー状脱臭剤	吸着	2
臭気対策品	ゼリー状脱臭剤	吸着、生物分解？	2
	エアコン用外付フィルター	吸着 （備長炭）	1

※「？」は、商品説明・カタログ記載事項等からの推測に基づく。

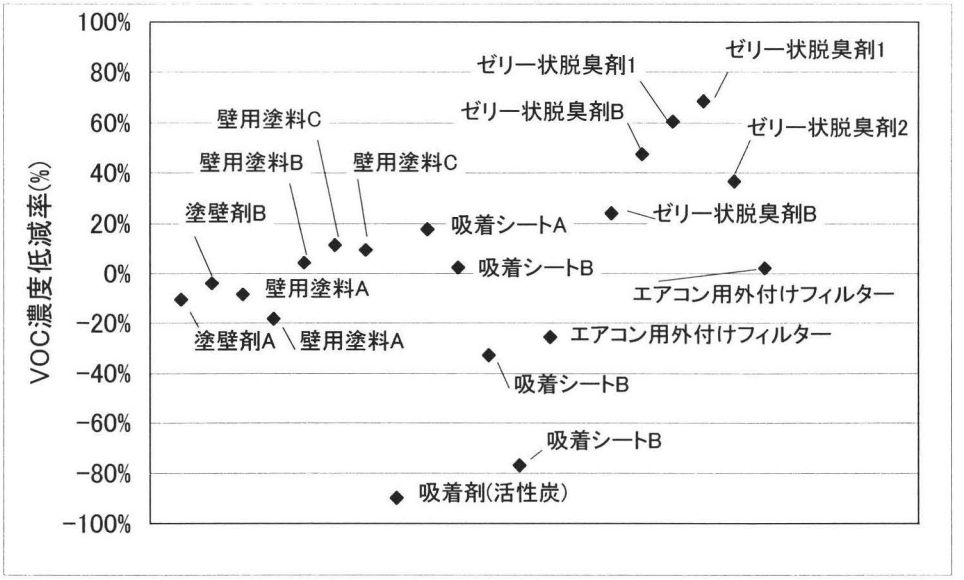


図-3　スクリーニング試験結果（VOC 濃度低減率）

4.6 日用汚染低減対策の除去性能

前述の判断基準を用いて判定した結果、日用汚染低減対策品、臭気対策品から VOC が発生している例がみられる。特に、全てのゼリー状脱臭剤において VOC の発生が示された。明らかな VOC 低減効果が判定できない日用汚染低減対策品が多く、塗料・塗壁剤は全てこの範疇に属した。全般に炭利用製品では比較的顕著な低減効果の認められるものが多かった。

日用汚染低減対策品と臭気対策品の導入時には、商品の性能を確かめた上で導入する必要がある。

4.7 スクリーニング試験に関わる今後の課題

(1)試験条件の検討：①温度・湿度条件、②汚染ガス濃度、③放置時間などについて検討を進める必要がある。特に温度は28±1℃の条件も検討する。

(2)判定基準の作成:今回は暫定的に判定基準を定めたが、今後更にデータを蓄積すると共に，精密試験の結果と併せて検討し，試験結果の判定について明確な判定基準を作成する。

(3)アルデヒド類への対応:今回対象としなかったアルデヒド類についても試験方法を確立する。

(4)製品形態・原理に適応した試験方法の提案：エアコン用フィルター，光触媒利用製品など，今回のスクリーニング試験方法では本来の使用方法では試験できない製品，本来の性能が発揮できない製品があった。これらの多様な製品への対応が必要である。

表-2　スクリーニング試験結果の判定基準

VOC変化率	内容	記号
20%を超える	試料からVOCが発生している	×
±20%以内	試料がVOC濃度を低減しているか判定不能。	－
－20%を超え－80%未満	試料がVOC除去能力を有している。	○
－80%以上	本試験条件ではVOCを強力に除去出来る。	◎

謝辞

本研究の一部は、厚生労働省厚生労働科学研究費(「生活用品、対策品からの化学物質の発生と除去特性に関する研究」、研究代表者：野﨑淳夫)の活動として行われた。関係各位に謝意を表する。

参考文献

1)鈴木昭人、野﨑淳夫：住設機器からの発生するアルデヒド類と VOC に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、2003 年発表予定
2)野﨑淳夫：生活用品、対策品からの化学物質の発生と除去特性に関する（課題番号：H13 -生活-018)、平成 14 年度厚生労働省厚生科学研究費補助金、食品・化学物質安全総合研究事業研究成果報告書、pp.45～54、平成 15 年 3 月
3)健康な住まいづくりのためのユーザーズガイド、(財）建築環境・省エネルギー機構、平成 12 年 10 月
4)室内空気中の揮発性有機化合物汚染低減建材認定基準，（財）日本建築センター:、2001 年 3 月 6 日
5) 化学物質放散量低減材料・気中濃度低減対策機材性能証明試験要領 ver 2、財）ベターリビング、2002 年 9 月

表－3　日用汚染低減対策品および臭気対策品の除去性能

分類	用途	低減・除去原理	商品名	低減効果[%]	判定
日用汚染低減対策品	塗壁剤	吸着	塗壁剤A	-11	―
			塗壁剤B	-4	―
	壁用塗料	吸着／光触媒・分解	壁用塗料A	-8	―
				-18	―
			壁用塗料B	4	―
			壁用塗料C	12	―
				10	―
	吸着剤	吸着	吸着剤(活性炭)	-90	◎
	吸着シート	吸着	吸着シートA	18	―
				2	―
			吸着シートB	-33	○
				-77	◎
	エアコン用外付けフィルタ	マイナスイオン	エアコン用外付けフィルタA	-26	○
	ゼリー状脱臭剤	吸着	ゼリー状脱臭剤A	93	×
				43	×
			ゼリー状脱臭剤B	24	×
				47	×
臭気対策品	ゼリー状脱臭剤	吸着・生物分解	ゼリー状脱臭剤1	61	×
				69	×
			ゼリー状脱臭剤2	37	×
	エアコン用外付けフィルタ	吸着	エアコン用外付けフィルタ1	2	―

公開シンポジウム
「シックハウス問題の現在～室内環境の実態と防除対策～」

2003 年 8 月

編集発行　東北大学大学院工学研究科　都市・建築学専攻　シックハウス防止研究会

〒980-8579　仙台市青葉区荒巻字青葉 06
TEL（022）-217-7885
FAX（022）-217-7886

資料3

公開シンポジウム：シックハウス問題の現在～室内環境の実態と防除対策
パネルディスカッション議事録

パネルディスカッションは聴講者からの質問に基づき、講演者7名がパネラーとなり行われた。

日時：平成15年8月25日（月）16：10-17：25
場所：ハーネル仙台2F松島（仙台市青葉区本町2-12-7）
司会：吉野　博（東北大学大学院　教授）
パネリスト：林　基哉（宮城学院女子大学　教授）
石川　哲（北里研究所病院　臨床環境医学センター長）
角田　和彦（宮城厚生協会坂総合病院　小児科医長）
天野　健太郎（東北大学大学院）
北條　祥子（尚絅女学院短期大学　教授）
野﨑　淳夫（東北文化学園大学　教授）　〈敬称略〉

Q. 林先生の講演内容の全国実態調査に関して、化学物質の放散を考えると、新築時が最もホルムアルデヒドの濃度が高くなると思われるが、資料では築後4、5年の住宅で濃度が最も高くなっている（レジュメp.4-5参照）。これにはどのような原因・要因が考えられるのか？（空調設備会社勤務）

林：実態調査が実施されたのは2000年であり、その当時に築4、5年の住宅は厚生労働省によるホルムアルデヒドの室内濃度指針値策定の直前に建設された住宅である。それ以後の住宅はホルムアルデヒド対策が徐々に浸透したために濃度が低い住宅もあり、平均の濃度は築4、5年の住宅が最も高くなったと思われる。

Q. 林先生の講演内容の全国実態調査に関して、一戸建てと共同建てのホルムアルデヒド濃度はほとんど変わらないが、体調変化の申告率は共同建ての方が約2倍高い。これにはどのような原因が考えられるのか？（空調設備会社勤務）

林：原因ははっきりわからない。ただし、共同建ての居住者が近隣住民との関係等で心理的ストレスを抱えやすいということも考えられる。

Q. ホルムアルデヒドやVOCは空気よりも重いのか？また、室内で測定した場合、室の上・中・下で濃度に差があるのか？（建設会社勤務）

天野：問題とされている化学物質の比重は空気より重い。室の上・中・下の濃度分布に関しては、そのような測定は行っていないのでデータは保有していないが、室の濃度分布をシミュレーションした研究がある。それによると床面付近での濃度が高くなりやすい。また、水平面に関しても室の中心から同一円周上にサンプラーを設置し、化学物質濃度を測定した研究があるが、それによると場所により20%位の濃度差が生じることが報告されている。

林：測定はデジタル式のVOC計を用いた簡易的なものだが、1室において多点測定をしたところ、フローリングが主発生源の場合には、床上1.2mの位置よりも床面では濃度は桁違いに高くなった。

吉野：どのように濃度が分布するかは、給気口の位置や排気口の位置による空気の流れに影響される。

Q.（上記討論に関連して）天井に換気設備を設ける場合、ショートサーキットが生じることはないのか？（建設会社勤務）

林：冬季は室内外温度差により天井に換気設備が設けられている場合でも効率よく換気が行われる。しかし、夏季はショートサーキットが生じる可能性が確かに考えられる。ショートサーキットが起こるかどうかは、季節や温度差、吹き出し風向等による。

Q.（上記討論に関連して）垂直方向のみならず、水平方向でもショートサーキットが生じることも考えられるが、空気の流れはどのようになり、汚染はどのように分布しているのか？（設計会社勤務）

角田：天井に給排気口を設けた病院の診察室で、スモークをはって行った実験では、給気をある程度流速をつけて行い、排気量も多くすれば、新鮮空気が床面まで到達し床面付近の汚染源、つまり患者さんから発生する汚染がうまく排気されるという実験結果がある。

Q. 床下防蟻剤のクロルピリホスは規制対象となっているが、その他の物質、例えばクレオソートや防腐剤などの薬剤について調査は行っているのか？（設計会社勤務）

天野：測定は行っているが、防蟻剤等に含まれる有機リン系化合物は、測定時に空気を多く捕集しなければならない等の理由により居住環境では測定が難しい。今までクロルピリホス、ダイアジノン等検出された例はあるが、いずれも微量で指針値以下の濃度であった。

角田：臨床では、血液中のコリンエステラーゼ値により有機リンへの曝露量がわかる。防虫剤や防蟻剤を使用した住宅の患者のコリンエステラーゼ値は実際に低い。

石川：有機リンの環境測定はやはり非常に難しい。しかし、人間の場合は有機リン特有の症状があるので、臨床症状から有機リンによる曝露影響を把握することができる。赤血球中のコリンエステラーゼ値は1.8～2.2が国際基準では正常値とされているが、日本は国際基準に対して正常値が低く設定されている。コリンエステラーゼ値が1.7以下であれば、有機リンの曝露影響を受けていると考えて良い。サリン事件の患者で最も低い患者は1.2であった。今後、医学面においては、有機リンの影響はNTE（neuropathy target esterase）の測定に移行するものと考えられる。

野﨑：床下ならびに居住空間で測定を行っており、床下から室内への侵入の検討やビニルクロスに使用される可塑剤の影響の検討を行っている。また、シロアリ駆除剤のチェンバー実験も行っている。木材防腐剤として広く使用されているクレオソート油には0.5%クロルピリホスが含有されており、法律で使用禁止とされたが今後も在庫処理等で販売される可能性があるので注意が必要である。

Q. 空気汚染と食物汚染の複合影響に関しての今後の方向性は？（設計会社勤務）

北條：基本的に食物から摂取されたものは、小腸で吸収されて肝臓で解毒される。しかし、空気汚染は直接血液中に取り込まれる。ヒトの解毒作用には個人差や遺伝的要素がある。また、人間の体は古くからあるものに対しては適応し、解毒をすることができるが、人工物質に対して適応できない。化学物質が体内に取り込まれる経路が異なるが空気汚染と食物汚染の複合影響はあると考えられる。

石川：化学物質を吸引した場合（空気汚染）と飲んだ場合（食物汚染）の健康影響に関するそれぞれの研究はあるが、複合した研究はなされておらず、データがないので回答は難しい。ただ、今後は日常生活に近いレベルの微量有機リンの毒性影響について考えていかなければならない。

角田：吸引により反応が起こる物質を患者さんが食物から摂取した時に症状が出ることがある。例えば、床下に防蟻剤を散布したために喘息症状が悪化した患者さんが、有機リン農薬を使用して栽培された小麦のパンを食べたら喘息の発作を起こしてしまった例がある。また、有機塩素系の薬剤 DDT は使用禁止になったはずだが、魚には含まれることがあり、そのような魚を摂取したと思われるお母さんの母乳から DDT が検出されるため、注意が必要である。吸引、摂取によらず体に取り込む総量を少なくする努力をしなければならない。

北條：食物繊維をとり、排泄により体に取り込まれた化学物質を体外に排出したり、運動やサウナにより汗とともに化学物質を体外に排出し、体内に化学物質を溜め込まないことも重要である。

Q. 有機リンが体内に取り込まれてから代謝されるまでにどれくらい時間がかかるのか？（公務員）

石川：人によって酵素の量が異なるため代謝にかかる時間も人によって違う。3、4 日で代謝してしまう人もいれば、1〜2 年も体内に残ってしまう場合がある。ただし、有機リンに関しては、コリンエステラーゼ値をみれば曝露したか否かが分かるため、有機リン中毒は治療しやすく、治癒した場合にはコリンエステラーゼ値は正常値に戻る。しかし、ホルムアルデヒドやトルエンに関しては、曝露影響を直接測る指標がないため現在のところ解毒剤もないため治療が非常に難しい。

Q. 仙台市では 100 人に 1〜2 人という割合で自閉症が増えていると言われているが、このことに室内空気汚染が影響しているのか？（主婦業）

石川：今年 1 月に東京で開催された国際会議で「関係がある」と報告されている。今後、自閉症と化学物質関係についてもっと研究が行われていくものと思われる。

角田：アメリカのスライマック氏は、自閉症の患者に食事療法のみを施した場合には効果がなく、同時にクリーンルームで 5 週間ほど生活した場合に症状が改善したと報告している。臨床からも、自閉症患者は幼い頃、あるいは胎児の頃から何らかの化学物質の影響を受けていると考えられている。しかし、自閉症患者は環境改善に取り組むこと自体が困難である場合が多いのが実状である。　また、日本では予防接種の薬剤の中に有機水銀が含まれており、

この影響も大きいのではないだろうか。

Q. 化学物質過敏症の潜在患者がいるとすれば、どのような診断名がつけられ、治療が施されているのか？（主婦業）

北條：更年期障害、自律神経失調症、うつ病、各種アレルギー等だと思われる。

石川：医者が化学物質過敏症を知らなければ診断はできず、今挙げられたような病名がつけられる。しかし、現在、医師や病院で化学物質過敏症に対するネットワークが構築さつつあるため、今後は診断がきちんとなされるようになるだろう。

Q. 電磁波過敏症と化学物質過敏症の関連性はあるのでしょうか?（主婦業）

石川：現時点では、証明することができないため「わからない」ということしか言えない。ただし、「関係がない」ことはないと思われる。実際に、化学物質過敏症患者にコイルの入った首輪をつけてもらい、患者に分からないようにごく微量の電磁波をランダムに流して患者の脳内の血流状態の変化をみる実験を行ったが、電磁波による反応が出る人がいれば出ない人もいた。

角田：携帯電話は通話中には電子レンジくらいの電磁波流れるので注意が必要である。

Q. 高感受性群とはどれくらいの割合で存在するのか？（主婦業）

北條：このことに関しては、まだこれからの研究ということで詳しいことは分からない。子供は高感受性群の代表であり、今後は子供を基準にしてこれらの研究を進めていくことが必要だと考える。

Q. 具体的に有効な換気の目安は？（生活協同組合）

吉野：必要換気量は、濃度、水蒸気、温度の状況により決まる量である。そして、濃度は物質の発生量と換気量によって決まるので、どのくらいが有効かという具体的な値は条件により異なる。目安は 0.5 回/h とされているが、例えば暖房時に開放型の燃焼器具を使用していればもっと多くの換気が必要となる。

Q. 改正された建築基準法では換気システムの設置が義務づけられているが、ハイブリット換気システムは基準法をクリアすることができるのか？今後、自然換気の家はなくなってしまうのか?（公務員）

林：建築基準法では、「ある性能を満たす設備があること」と定められている。よって自然換気を行う時期があってもよいが、設備は基本的には設置が義務となる。

吉野：特認を受けることができれば換気設備のない自然換気の家も建てることができる。また、自然換気が良いという要望を出し働きかけていけば、自然換気の家も今後認められていくようになることは考えられる。

Q. 野崎先生の発表の中で、活性炭の吸着効果が大きいという説明があったが、持続性はどのくらいなのか?（不動産鑑定業）

野﨑：活性炭の吸着容量がどれくらいなのかという実態はよく分かっていないため、今後の研究課題である。企業等では、再生活性炭という何度でも繰り返し使用が可能な活性炭を発売する動きがある。

Q. 20 年前に建てた事務所に住宅部分の増築を 8 年前に行ったところ、今年の 3 月、換気扇を強運転にしたところ台所付近からにおいがするようになり、それ以後化学物質のにおいがして気分が悪くなるという相談を受けたが、どういったメカニズムが考えられるか?（設計会社勤務）

林：換気扇を運転させて室内が負圧になったときに汚染が発生していることから、化学物質の発生源が天井裏や壁体内にあることが考えられる。そういった箇所から室内に化学物質を引き込んでしまった可能性がある。発生源としては、例えば、断熱材や配管の接着剤等が原因という可能性がある。

今後の研究方針や展望についてパネラーより一言

北條：化学物質にできるかぎり曝露しないよう、自衛することも重要である。

野﨑：空気清浄機は機種や性能原理により室内の汚染化学物質除去に効果があるものとないものとがあるので必要なものを選択しなければならない。そのためには性能評価法を統一させる必要がある。

角田：乳幼児などの小さい子供の化学物質曝露への影響を診断する方法がなく、今後必要である。

天野：シックハウス対策がなされるようになったが、今後本当に被害が少なくなっていくのか経過を追うことが必要である。規制対象となる物質を除去しても他の代替品による被害がでないようにしていかなければならない。

石川：さらなる追跡調査が必要である。今後の方針として、①シックハウス症候群の認定、また、微量化学物質に反応する患者の救済、②小児の化学物質曝露の問題、③電磁波過敏症の問題、に重点をおき研究を進めていく。

林：総合的な室内環境の改善が必要となる。

禁 無 断 転 載

第 11 回（平成 14 年度）研究助成成果報告書

2005 年 3 月吉日

発　行　　財団法人トステム建材産業振興財団
〒136-8535　東京都江東区大島２丁目１番１号
トステムショウルーム東京７階
電　話　　０３－５６２６－１００８
ＦＡＸ　　０３－５６２６－１０３３