2001

第10回（平成13年度）
研究助成成果報告書

2004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15年度までの助成実績は、延べ300件、3億3,478万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10回（平成13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

2001

はじめに

第１部　調査研究

１－１　戸建住宅のアプローチのあり方に関する調査研究
(00-01)
滋賀県立大学 人間文化学部　講師　宮本　雅子 …… 1

１－２　建設廃材の多孔質材料化とその機能性の向上に関する研究
(00-03)
山形大学 工学部　教授　多賀谷英幸 …… 13

１－３　住宅適用型マイクロジェネ組込み吸着ヒートポンプシステムの構築
(00-06)
名古屋大学大学院 工学研究科　助手　渡辺　藤雄 …… 25

１－４　住宅における自然エネルギーハイブリッド発電システムの最適構成と運転法に関する研究
(00-09)
琉球大学 工学部 電気電子工学科　助教授　千住　智信 …… 57

１－５　シックハウス症候群の原因となるホルムアルデヒドを除去するための光分解材料に関する研究
(00-10)
埼玉工業大学　講師　有谷　博文 …… 73

１－６　雨水等による外壁汚れのモデル化に関する研究
(00-12)
東京大学大学院 工学系研究科　助教授　野口　貴文 …… 87

１－７　有毒ガスを除去する建材コーティング技術の開発
(00-15)
慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科　助教授　白鳥　世明 …… 95

１－８　北陸地方の伝統的民家における温熱環境制御手法の実測的研究
(00-20)
東京大学生産技術所・福井大学工学部　助教授　大岡　龍三 …… 97

１－９　出入口まわりの構法に関する研究
(00-23)
東京理科大学 工学部 建築学科　教授　真鍋　恒博 …… 103

１－10　アルミニウム建材における新しい熱処理技術の探索
(01-01)
山梨大学 工学部 機械システム工学科　助教授　中山　栄浩 …… 133

１－11　日射熱利用・排湿・冷却・全熱回収を考慮した多機能通気外壁の最適化に関する研究
(01-04)
岐阜工業高等専門学校 建築学科　教授　大澤　徹夫 …… 149

１－12　住宅のヘルスモニタリングのための高精度な構造同定手法の開発
(01-05)
香川大学工学部安全システム建設工学科　教授　野田　茂 …… 161

1－13 通風利用による省エネルギー性の検討を目的とした集合住宅の通風量予測法の開発 (01-07)
大阪大学 大学院工学研究科　助手　甲谷　寿史 …… 173

1－14 グリーン・ビル設計代替案の合理的意志決定法および支援コンピュータ・ツールの開発 (01-08)
九州大学大学院 総合理工学研究院　助教授　谷本　潤 …… 195

1－15 地震時における土塗り壁の耐荷機構に関する研究 (01-09)
横浜国立大学大学院 工学研究院　教授　山崎　裕 …… 207

1－16 密集市街地における住宅の耐震性が周辺環境の防災安全性に与える影響 (01-10)
東京大学大学院 社会基盤工学専攻工学系研究科　助手　宇治田　和 …… 219

1－17 建築解体木材の構造用材的再利用システムの構築に関する研究 (01-12)
名古屋大学大学院 生命農学研究科　助教授　佐々木康寿 …… 229

1－18 住宅における建材リサイクルのためのエネルギー消費に関する調査研究 (01-13)
北九州市立大学 国際環境工学部　助教授　高　偉俊 …… 255

1－19 建物周辺微気象の変動に応じた通風制御のためのインテリジェントウィンドウの試作 (01-04)
東北大学大学院 工学研究科　助教授　持田　灯 …… 265

1－20 室内熱空気環境から見た冬期の居住性能に関する地域特性の 20 年間の変化 (01-16)
東北工業大学 工業意匠科　教授　石川　善美 …… 277

1－21 病院建築におけるカビの実態調査と防止策に関する研究 (01-18)
お茶の水女子大学 生活科学部　教授・工学博士　田中　辰明 …… 301

1－22 半導体ガスセンサによるシロアリ代謝ガス検出を用いたシロアリ被害の非破壊診断 (01-20)
京都大学大学院 農学研究科　助手　簗瀬　佳之 …… 393

1－23 自然エネルギーと燃料電池の複合利用を考慮した住宅用エネルギーシステムの開発 (01-21)
北海道大学大学院 工学研究科　教授　窪田　英樹 …… 411

1－24 変動気流の有効性の検証とその応用 (01-22)
東京大学大学院 工学系研究科　教授・工学博士　鎌田　元康 …… 433

1－25 実験室における床衝撃音レベル低減量の測定方法に関する研究(未解明部分の検証について) (01-23)
財団法人建材試験センター中央試験音響グループ　統括リーダー　米澤　房雄 …… 481

1－26 木質建築廃材を微生物担体に用いる有機廃棄物の資源化システムの改良 (01-24)
秋田県立大学 木材高度加工研究所　流動研究員　堀澤　栄 …… 493

第２部　人材育成・論文

２－１　木造軸住宅における生産と構造の合理化を指向した構法開発に関する研究
(01-26)
秋田県立大学 木材高度加工研究所　　流動研究員　川鍋亜衣子 …… 497

２－２　第四回全国高等専門学校建築シンポジウム
(01-27)
呉工業高等専門学校 建築学科　　教授　西村　光正 …… 509

第４部　研究発表会・シンポジウム

４－１　公開シンポジウム：21 世紀に求められる寒冷地の住宅性能～断熱気密化と健康性・省エネルギー性～
(01-28)
住まいと環境 東北フォーラム　　理事　吉野　　博 …… 547

４－２　景観材料普及促進シンポジュウム「景観材料と環境の調和」
(00-25)
(01-29)
景観材料推進協議会　　審議役　森田　　博 …… 559

第１部 調査研究
1-1 戸建住宅のアプローチのあり方に関する調査研究

滋賀県立大学人間文化学部
講師 宮 本 雅 子

１．研究の背景と目的

滋賀県内の小規模住宅改造助成事業の調査から、要介護高齢者のための住宅改造の中でアプローチの改造は 3.4 %とかなり低いことがわかっている。また、実際に住宅改造を行った住宅への訪問調査からアプローチの改造が行われていない住宅では高齢者はデイサービス利用時以外ほとんど戸外に出ず、住居内で過ごしていることが明らかとなった。このように、住居内から戸外へのアプローチに障害があれば介護者の負担が重くなり、外出を控えてしまうと考えられる。建築時に簡単な改造で段差が解消できるような配慮がされていれば屋外との接点が生まれ外出もしやすくなる。

そこで本研究では、まずアプローチの現状を把握するとともに、居住者のアプローチに対する意識を探り、今後のアプローチの在り方を提案することを目的とした。

２．研究方法

2.1 対象地域

アプローチは、住宅地の建ぺい率、容積率、敷地面積、玄関の向きなどにより制限されると考えられることから、敷地面積に余裕のある農村地、低層住居専用地域（建ぺい率４０%程度の地域）、中高層住居専用地域・住居地域など建ぺい率６０%程度の地域、商業地域など市街地にある住宅地および旧市街地の５地域を対象とした。

2.2 調査対象

戸建て住宅１２２戸の実測、アンケート調査および住宅改造をされた住宅２０戸でのアプローチの状況調査を行った。

調査対象住戸の地域ごとの戸数は、農村地４０（状況調査のみ９）戸、新興住宅地５９（１０）戸、旧市街地２８（１）戸、商業地１５戸である。

2.3 調査方法

実測調査には電子レベル（TOPCON　DL-103A）およびメジャーを使用し、ある程度敷地の形を捉えるため、住宅の間口寸法、道路から玄関までの高低差の測定および各部の段差や距離、玄関内の有効寸法と段差の実測を行った。また、各アプローチの現状を記録するためデジタルカメラで撮影を行った。それぞれの住居の居住者に対しては、高齢になって歩行器や車椅子が必要になった場合のアプローチについての考え方や、家族の状況、住宅の構造や面積、敷地面積、近隣

とのつながり、近隣の生活環境についての意識をアンケートにより調査した。

２つの調査より得られた結果から、各地域共通の問題点や改善点を検討すると共に、それぞれの地域の特徴を把握し、これからのアプローチの在り方について検討を行った。

2.4　計測データのデータベース化

得られた実測データをもとに、ＣＡＤソフトを利用し、各戸のアプローチの３次元データを図面化した。これらをカテゴリー分けし、デジタルカメラで撮った画像データとまとめ、データベース化を図った。

３．意識調査結果

3.1　調査対象の属性

農村地では、築２０年以上の住宅が約７割５分であるが、新興住宅地では２割弱であった。家族形態では農村地は、新興住宅地に比べ３世代家族が多いこと、単身ないしは夫婦のみの世帯が多いことが特徴である。農村地では、３世代家族が多く、家族の介護が得られやすい反面、単身者、夫婦のみの世帯も多いことから，老々介護の問題やそれまで住み慣れた住宅から転居せざるを得ないという問題が考えられる。旧市街地では、築４０年を超える建物が多く、道幅も狭い。また、５地域の中で最も夫婦のみの世帯や単身世帯が多く、さらには居住者の最低年齢が５０歳以上の家庭が多く居住者が高齢化していることが分かる。今後近い将来、介護に直面する家庭が増えると考えられる。

3.2　近所づきあいについて

農村地では、近所付き合いが頻繁に行われている。介護が必要になったときでも現在のように近所づきあいをしたいと考えている割合が１００％である。普段からの近所づきあいの程度により、介護が必要になったときの近所づきあいへの希望に差が出ている。

3.3　近隣設備の充実度について

道路の状況については、旧市街地では道路幅員が２m強しかないことから半数近くが道路の整備について悪いと感じている。道路が狭いことや空地が少ないことからタクシーなどの車両が入りずらいため、外出するときには大通りまで出てから車に乗り込まなければならないということであった。各種サービスを受けるにしても、車が入りづらい状態ではサービス提供者側の負担にもなる。

公園などの屋外の憩いの場の整備については市街地に位置する旧市街地や商業地域では、悪いという評価が他地域に比べ多い。屋外でのんびりくつろげるスペースが少なく、介護が必要になった場合に気分転換ができるような場所の確保が必要ではと考えられる。

3.4　アプローチに対する満足度

アプローチに対する不満については、農村地で、実際には新興住宅地に比べ段数が少ないにも関わらず、段が多いという意見が多く見られた。これは、１段の段差が他地域に比べ大きいことが要因としてあげられる。また、新興住宅地では床材として主にタイルが使用されていることか

ら、床材が滑りやすいという回答が多く見られた。また、旧市街地では、玄関から道路までの距離が短いこと、比較的高低差が少ないことから負担に感じる割合が低いと思われる。また、高齢者が多く、長年住み慣れた住宅であるため、特に不満を感じていないことが要因としてあげられる。

年齢別に玄関アプローチで危険・負担に感じる点について検討したところ、老化を意識し始めると考えられる５０歳代で最も危険・負担に感じている割合が高い。危険・負担に感じていない人の割合は５０歳代を底に年齢が上がるとともに増加している。

3.5　アプローチの改造について

将来アプローチの改造が必要かどうかについては、新興住宅地に対して農村地での玄関手すりの設置の要望が少ない。逆に、農村地では玄関の床面までの高低差大きいことから式台の設置要望が高い。農村地では、特に玄関は住宅の顔であり、客を向かい入れる場としての機能が大きく家族は玄関を使用せず勝手口を使用することが多いことから玄関の改造に関してはあまり積極的ではないと考えられる。

調査協力者の年齢とアプローチの改造要望についてみると、式台の設置に関してはほぼ年齢が上がるごとに、設置要望が高くなる。実際に設置されている割合は６０歳代で最も多く、老化が進みつつあり、自立に対する意識が高いことが考えられる。８０歳代では今は必要と考えていないが必要に迫られないと分からないという答えがあり、改造希望が少なかった。手すりの設置については、年齢による違いはほとんど見られず、どの年代でも改造したいと考えている人の割合が高い。

すでに設置している者を除いた設置要望率を見ると、手すりの設置、スロープの設置、式台の設置の順に設置要望が高い。スロープの設置については、設置したいが経済的に無理と回答している者が多く、現状のアプローチでスロープを設置しようとするとかなり大がかりな工事になってしまうと感じているようである。手すりや式台については現状で設置している者はそれぞれ12.4 %、23.4 %とそれほど多くはないが設置要望が高いことから、必要になったらすぐに対応できると考えていると推測できる。引き戸への変更については、現状で引き戸である住宅が約 41 %あるが、現在引き戸ではない者の改造希望は約30 %とさほど多くはない。

アプローチを改造するとしたら何を重視するかという質問に対して、ほぼ４分の３の人が安全性を重視すると答えているが、年齢によって重視する項目に若干の違いがある。３０歳代までの人は他の年齢層に比べて美観を重視するという割合が高い。７０歳代以上では美観を重視すると回答した者はいなかった。周囲との調和については５０歳代で重視するという回答が他の年齢層に比べ多い。しかし、どの年代でも約１割から３割の人が周囲との調和を重視すると回答している。

4　実測結果

道路から住宅内床面までの距離は平均約８．３ｍであったが、最小値は約１．２ｍでほとんど道路に接して玄関がある。特に旧市街地では、間口が狭く前庭を設けることなく道に接して玄関のある家が多く見られる。商業地域では、家族用の玄関が店の脇に設けられており、細長い通路を通って家に上がる。１階に玄関のある家はコンクリートのベタ基礎になっているところが多く、

比較的床面までの高低差が小さい。また、２階に玄関がある家も見られ、高低差の平均値が高くなっている。

農村地では敷地に余裕があるため、道路から床面までの距離が比較的長く、道路面との高低差も比較的小さい。

比較的古い新興住宅地（低層）では、敷地が道路よりも高くなっているところが多く、高低差の平均値が約１．２ｍある。この地域では、新しく建てられつつある建物も、盛り土をした上に建てられており、周りの景観との調和や居住性を考えると周囲と高さを合わせざるを得ない現状があるようだ。

実測調査を行った住宅の中で、玄関ポーチおよび段が木製で将来の改造に対してもかなり柔軟に対応できる例があった。材質的にも自然素材であり環境に優しく、緑とよく調和していた。

比較的古い住宅団地では、盛り土をして家が建てられてきたため、現在建て替えや新規分譲している土地も周りに合わせて盛り土がされている。そのため、比較的新しい住宅でも、高低差が大きく、玄関に入るまでに段が多い。

新しい住宅団地では、ほとんど盛り土がされず、雨水処理のための勾配をつける程度であるため比較的高低差が小さい。また、段の付け方も、ゆとりをもった奥行きで一段の段差も小さく、移動しやすいものとなっている。また、これまでのように塀やブロックで敷地を完全に囲ってしまうことなくアプローチ周りがかなり開放的になっている。

５　住宅改造した住宅の玄関アプローチの状況

介護保険および滋賀県高齢者住宅小規模改造助成事業を利用して住宅改造を行った２０軒の住宅での訪問調査結果を示す。

介護保険利用者は、段差を少しでも解消し、段が解消できない場合には手すりなどの利用によりできるだけ自立した生活ができるような改修を行っている。また、介護保険施行前の調査ではアプローチの改修は３．４％と低かったが介護保険施行後の調査では１５．４％と大幅に増えている。

本調査からアプローチの改修には問題のある点も見られた。道路から玄関まで約９ｍある住宅で玄関の開き戸を開けるとすぐにスロープ状になっておりそれが直線で道路まで続いているケースがあった。現状では特にトラブルはないようであるが、かなり危険性をはらんでいると考えられる。まず、玄関を出てすぐに平らな部分がない点、玄関から道路まですべてスロープ状になっており一部雨よけ等もない点などである。特に彦根という土地柄、冬には雪が降ったり路面が凍ったりすることもあり、できるだけ長い直線で道路面に直接出るスロープは避けた方が望ましい。

敷地が道路面からかなり高い位置にある場合、スロープでは対処できないため、昇降機を設置しているケースがあった。このケースの場合、駐車場として使っていたスペースを利用して昇降機を設置しており、住宅内からスムーズに屋外に出られるように考えられている。しかし本来の駐車場としての機能は果たせなくなっている。

また、屋内から屋外に出るために玄関の床面から戸外に簡易スロープを渡し、車椅子を利用して外出するという住宅が３戸見られた。簡易スロープは、２本に分かれており、取り外しが容易

なため使い勝手はよいが、介護時の姿勢が不安定なため、介護者の身体能力の程度によっては危険な場合もある。

写真の例は介護者が若く、身体的な不安がないため使い勝手がよいと評価されている簡易スロープの例である。木製で玄関の寸法に合わせて作ったものであるが、玄関の奥行きが長く、玄関ポーチも広いため無理な斜度にはなっていない。

6　今後の玄関アプローチについての提案

まず、道路から住宅内床面までの高低差については、現状の土地では将来もほとんど変わらないと考えなければならない。

新しい住宅地については、高低差が小さく、アプローチ空間の新しい形ができつつあるようであるが、既存の住宅や、既存の住宅団地に今後建て替えられる住宅については不安を残す。

また、現状では車椅子利用者の外出については介護者が同伴することを前提の改造をされているところが多く、要介護者が自分の意志で外出または屋外に出ることは考えられていない。現在、バリアフリーの道づくりがすすめられており、今後車椅子利用者が外出しやすい環境が整ってくると考えられ、住宅のアプローチでもいろいろな選択肢が可能な計画が必要になる。

そこで以下のような提案をしたい。

玄関部分の段差を解消するためには玄関の面積を十分にとる必要があるが、現実的には難しい。そこで、玄関部分の段差はできるだけ少なくし、スロープで処理できる程度とし、外部空間で高低差の処理をするのが有効である。その選択肢として階段の設置、スロープの設置、昇降機の設置などがある。

まず階段についてはできるだけ１段の段差を小さくし踏面も大きくとり、手すりが設置できるようにする。

スロープを長くする場合、玄関から道路までの一直線としない。玄関を出てすぐにスロープ状にしないでポーチ部分は平らにする。天候の不安定な地域（雨や雪が降りやすい）では、スロープ部分に庇を設ける。また、現在は高齢者や障害者のための改造としてコンクリートスロープを設置している例が多いが、今後はアプローチ計画の一要素として景観や美観にも配慮していくことが望ましいと考える。

昇降機は必要に応じて設置場所を確保しておく。高低差が大きい場合は、スロープではかえって危険になる場合や、スロープのためのスペースが十分確保できない場合がある。特に、高低差が大きく、玄関から道路までの距離の短いところでは昇降機は有効である。昇降機も景観にはそぐわない場合が多いため、植栽などをうまく利用して設置できるようなスペースを考えるとよい。現在の昇降機では高さ１ｍまでしか対応していないものが多いため、高低差がそれ以上になる場合は階段昇降機やエレベーター、ストレーターなどの設置が有効になる。いずれにしても大きな費用負担になる。傾斜地に建築された住宅や２階に玄関がある住宅では高低差が大きいため、高齢になると外出が負担になる。調査した住宅の中でも実際に、負担が大きいために転居するという方がおられた。高齢になってそれまで住み慣れた地域から離れることは難しいが転居を考えることも一つの手段ではある。

7．総括

本研究では、玄関アプローチの現状と居住者の意識との関係についてとらえることができた。危険・負担に感じる点として「段差」と回答している者が多いことから、段差に対する改造要望も高いという結果となった。よって今後、住宅計画において玄関アプローチを合わせて計画していくことの必要性が確認できた。

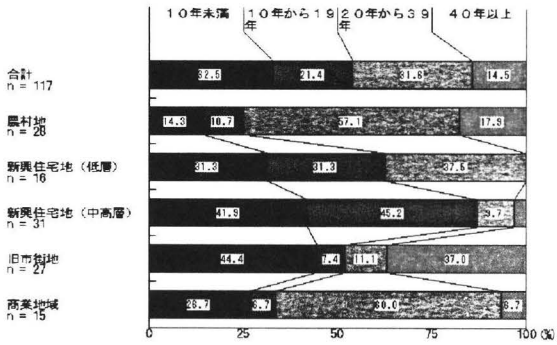
今回調査した、住宅の玄関アプローチをＣＡＤデータとして保存した。これらのデータが、今後のアプローチ計画をする上で何らかの役に立てばと考える。

文　献

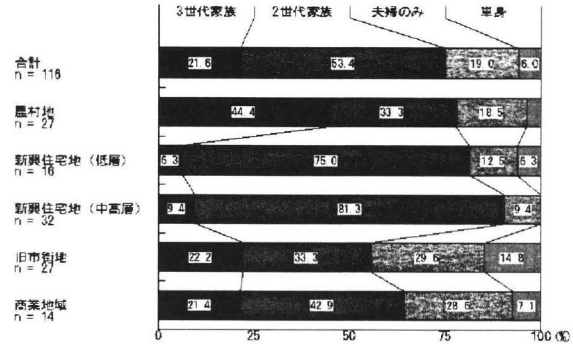
1）宮本雅子：滋賀県における老人小規模住宅改造助成事業の実態、日本建築学会近畿支部研究報告集第39号計画系、1999

2）2003年度版バリアフリーデザインガイドブック、三和書籍、2002

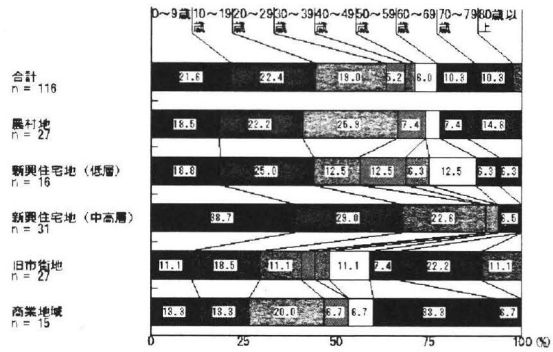
3）新日軽21エクステリア会編：高齢者と家族のためのユニバーサルエクステリア、広葉書林、2000



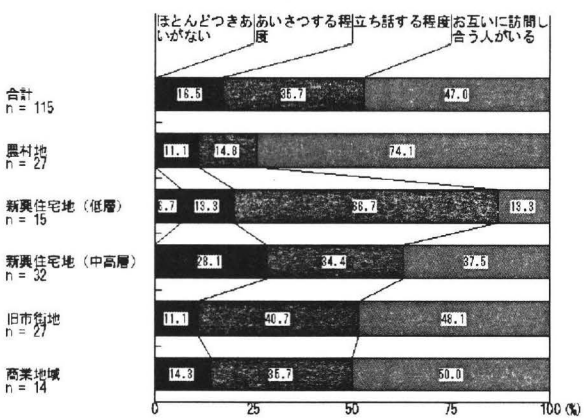
地域×築年数



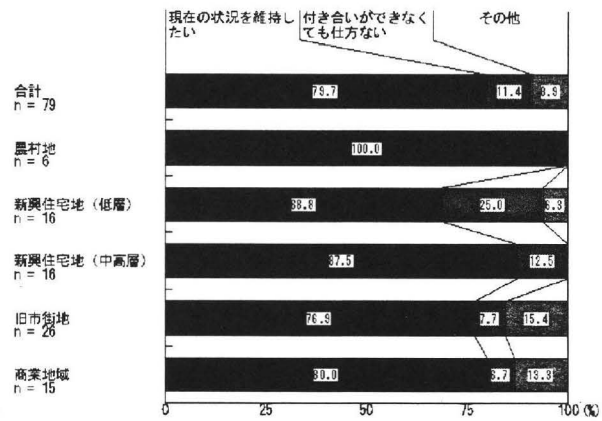
地域×家族構成



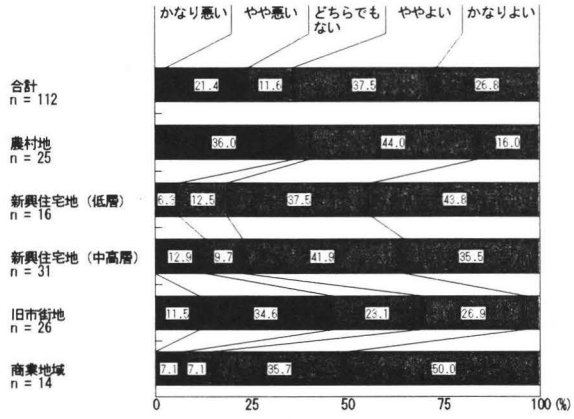
地域×最少年齢



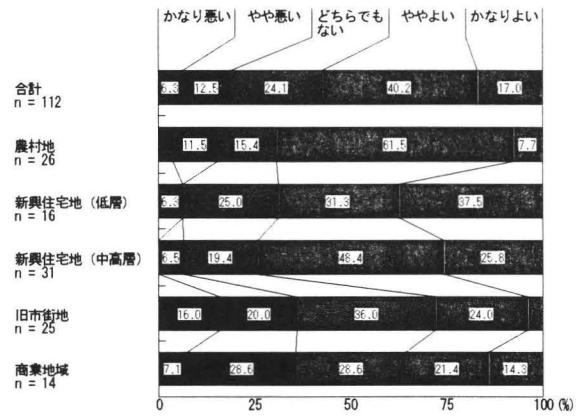
地域×近所づきあい



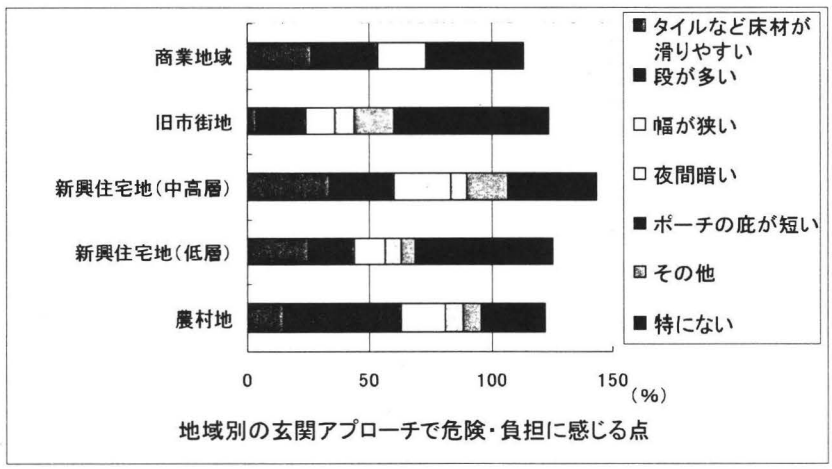
地域×介護必要時の近所づきあい



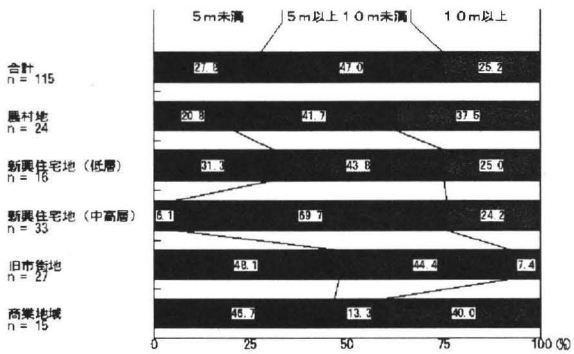
地域×道路の整備



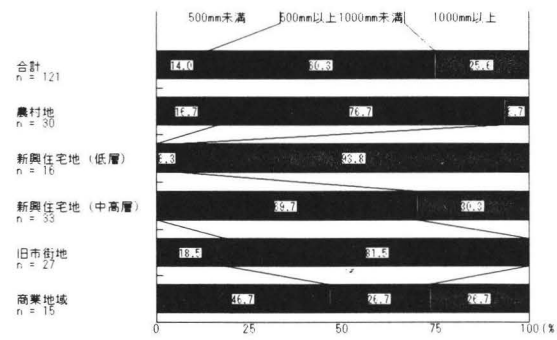
地域×公園など屋外の憩いの場



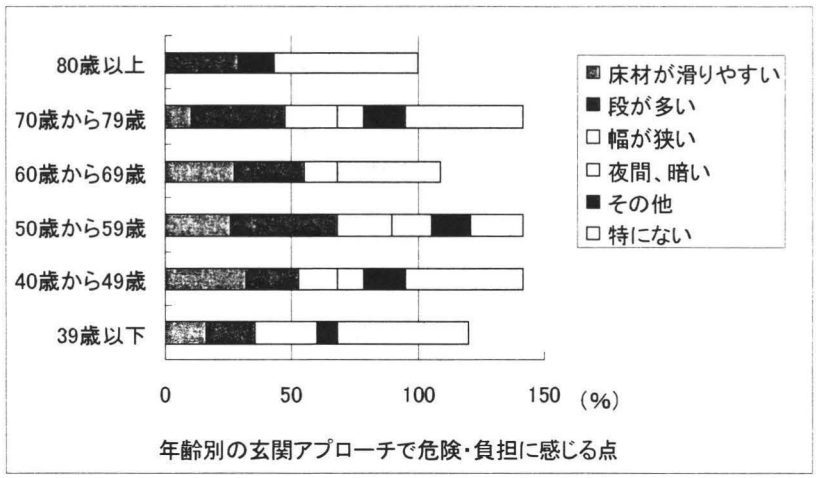
地域別の玄関アプローチで危険・負担に感じる点



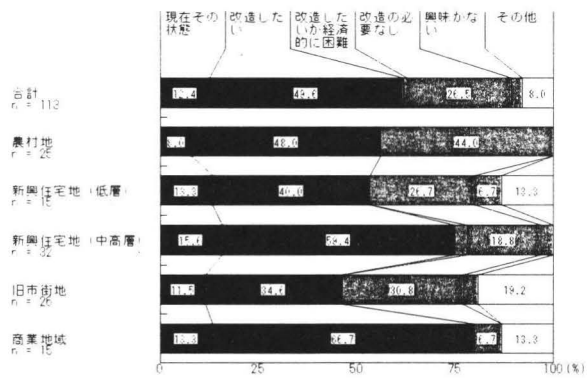
地域×道路から床面までの距離



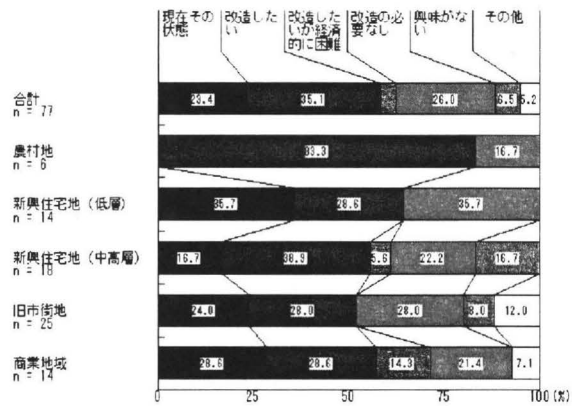
地域×高低差



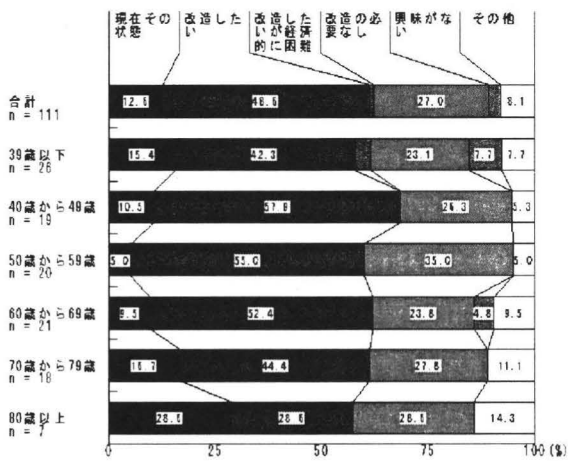
年齢別の玄関アプローチで危険・負担に感じる点



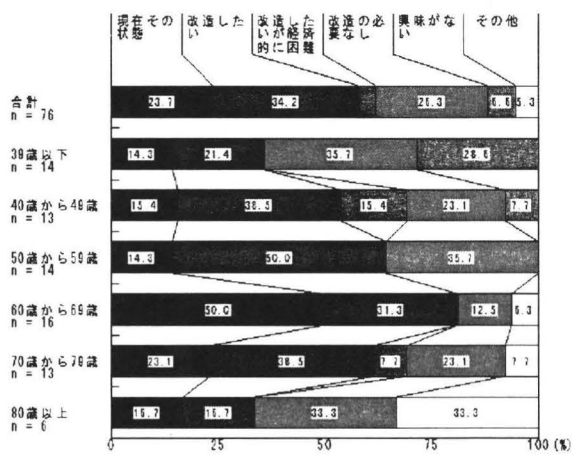
地域×手すりの設置



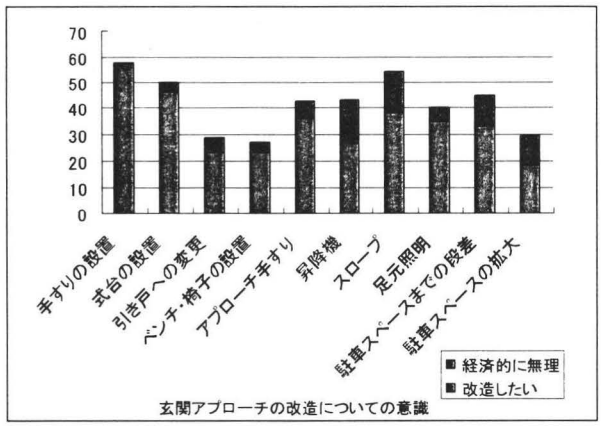
地域×式台の設置



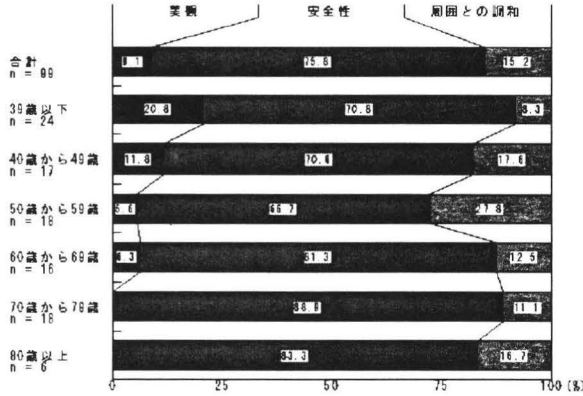
年齢×手すりの設置



年齢×式台の設置



玄関アプローチの改造についての意識



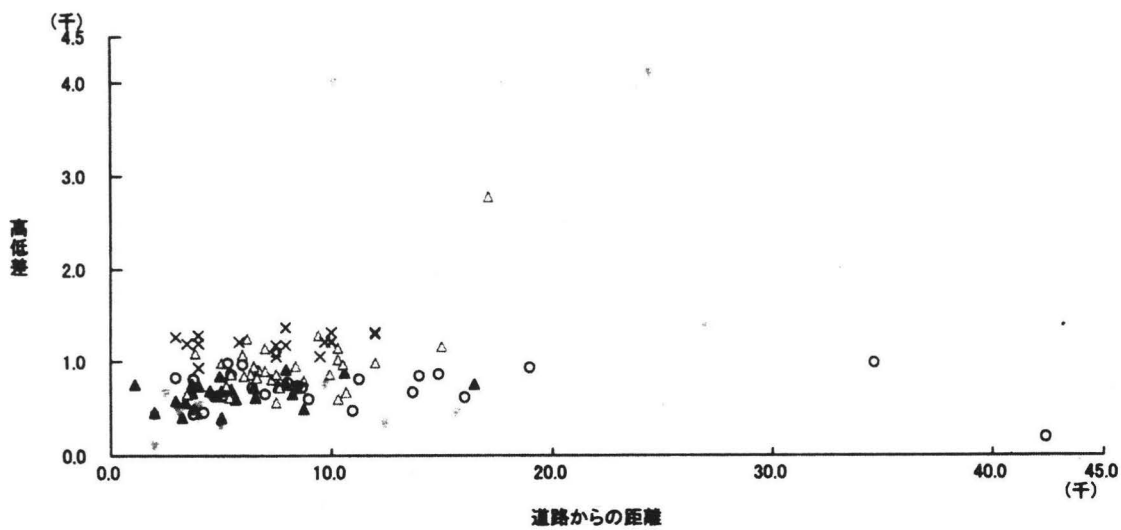
年齢×改造時重視する点

道路から床面までの距離と高低差

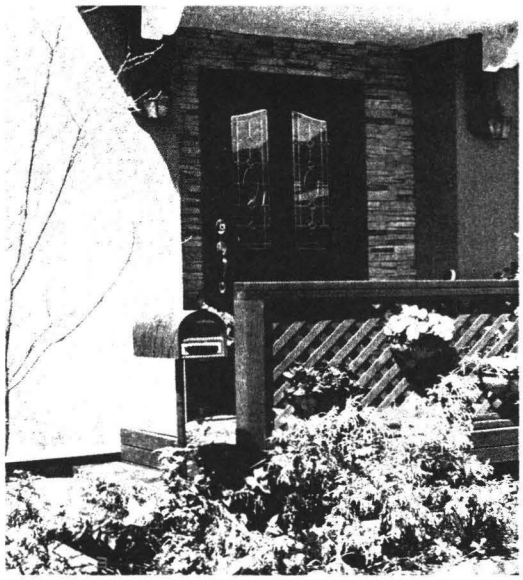
	平均	標準偏差	最小値	最大値
距離(mm)	8277	6010	1170	42370
高低差(mm)	903	606	97	4084

地域別実測値平均

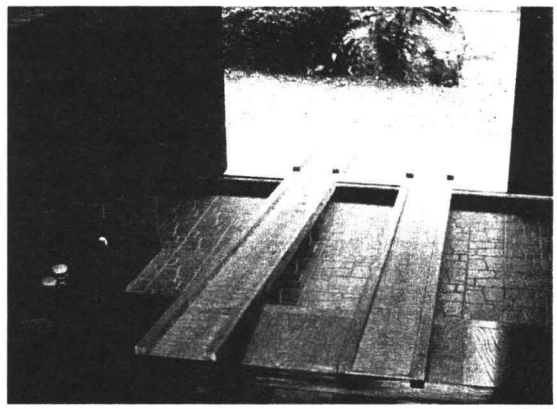
	距離平均値	高低差平均値
○農村地	11359	711
×新興住宅地(低層)	7406	1198
△新興住宅地(中高層)	7958	956
▲旧市街地	5768	649
▼商業地域	9623	1221



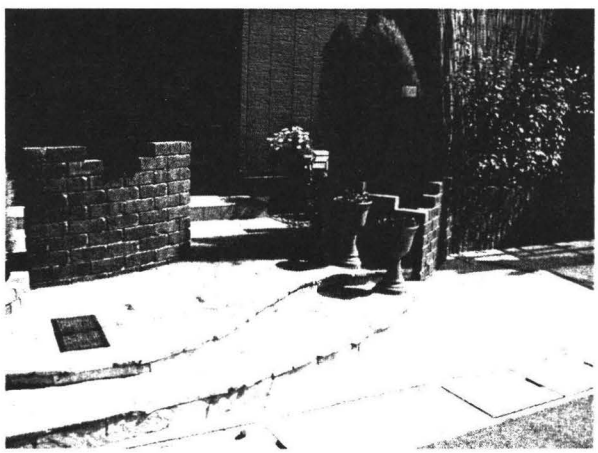
地域別の道路から床面までの距離と高低差との関係



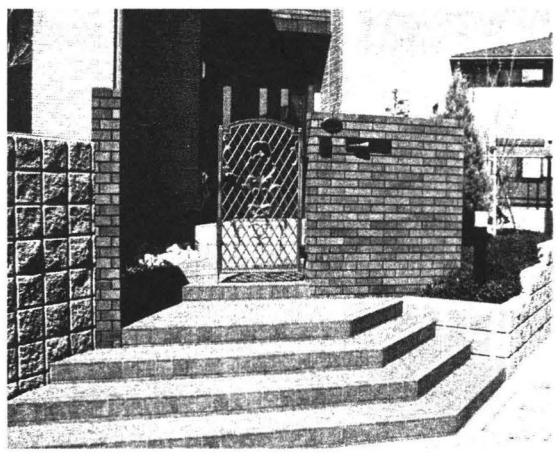
アプローチ例１



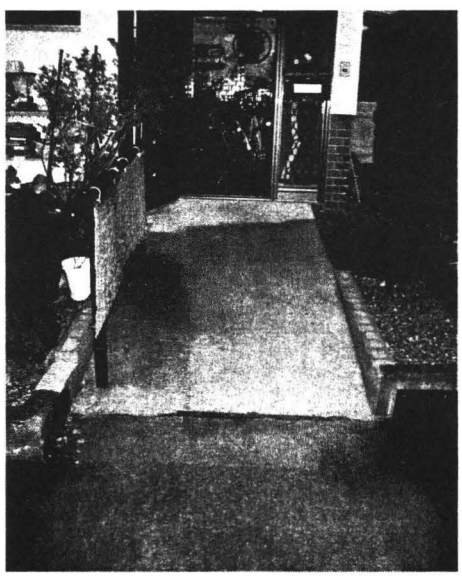
簡易スロープの設置例



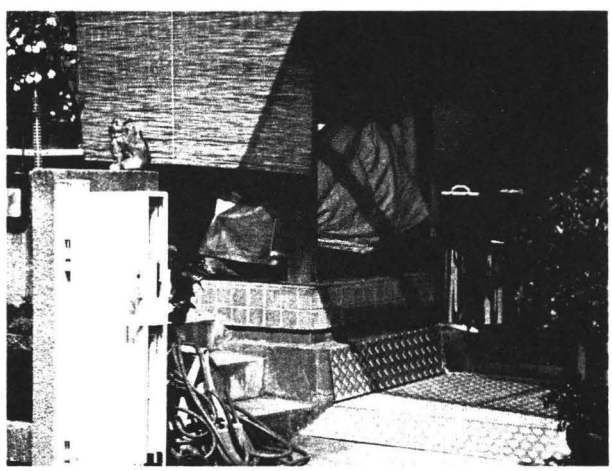
新しい住宅団地のアプローチ例



約２５年前に開発された住宅団地のアプローチ例



アプローチスロープの例



昇降機の設置例

1-2 建設廃材の多孔質材料化とその機能性の向上に関する研究

山形大学工学部　物質化学工学科　教授　多賀谷英幸

１．本研究の背景

産業廃棄物の排出量増大は最終処分場の逼迫をもたらし、リサイクルによる廃棄物排出量削減の重要性が、社会的に強く認識されるようになった。一方、大量に排出される建設廃材は、木材やプラスチックを主体とする貴重な有機炭素資源であり、その有効利用が切望されている。現在まで、

(1) ボードやパネルなどの原料として再利用
(2) 土壌改良剤や水分調整剤などへの利用
(3) 固体のままあるいは液体やガスに変換して燃料として利用

などが考えられているが、近年、

(4) 炭化による多孔質材料への転換とその機能的利用

が注目されるようになった。大きな表面積を有する炭は、既に水や有機化学物質の吸着剤として市販されている。しかし、それら炭化材料の機能は、表面積や表面の化学的官能基の種類や量など、表面特性に強く依存しており、用途や目的に合わせた表面の特性制御法はいまだ充分には確立されていない。このように炭化材料は潜在的に大きな可能性を秘めた材料であり、炭化材料の表面制御による機能化発現法の確立への社会的要請は大きい。

２．目的および期待される成果

２．１　本研究の目的

本研究は上記のような現状を背景とし、建設廃材の有効利用を念頭において、機能性を有する炭化材料の開発を目的とするものであり、具体的には、炭素表面の化学官能基の種類と量を制御することで、多彩でかつ一連の機能を持つ炭素材料を開発することを目的とする。

２．２　本研究で期待される成果

本研究は有機資源化合物を炭化によって機能性化合物として有効利用するというものであり、木屑やプラスチックさらにはそれらの複合体まで多様な建設廃材への適用が可能であり、廃棄物の排出量減少に大きな寄与が期待できる。本法では、疎水性や親水性など炭素材料の表面特性の制御を可能としており、得られた炭化材料は、気体や液体成分について大きな吸着性能を有しているため、調湿材料や脱臭剤のみならず水処理材などとしての用途が期待される。例えば、水分の吸着能力を制御された材料を一般家屋内で使用した場合、湿度の高低

など部屋の必要状況に合わせて異なった表面修飾炭を使用することで、より高い調湿材としての機能し、快適な生活空間への貢献が期待できる。さらに、表面修飾や金属担持によって多様な揮発性有機化合物の吸着と分解能力をも合わせ持たせることが可能であり、健康的な生活空間の創造が期待できる。

３．本研究のこれまでの実施内容

３．１　活性炭の改質反応

３．１．１　炭化材料のキャラクタリザーション

炭化材料の表面の特性を明らかにする目的で、そのモデル化合物である活性炭のＥＳＣＡ測定を試みた。図１の「１」に示すように、炭素の主ピークの結合エネルギーは 284.45eV であった。一方、284.45eV の主ピークに対し、「２」のように 285.80eV にショルダーピークが観察され、異なった状態の炭素の存在が明らかになった。また、熱分析を行ったところ、600℃まででで 4.3%の重量減少があった。ＩＲ測定結果などを考え合わせ、表面水酸基の存在が示唆された。

３．１．２　活性炭の表面修飾反応

ＥＳＣＡにより表面水酸基の存在が示唆されたことから、表面水酸基の修飾を目的に、有機化合物との反応による表面改質を試みた。60℃で４時間または８時間の条件で反応を試みた。その結果、活性炭とカプロン酸およびカプロン酸クロリドとの反応は確認できなかった。一方、シリル化剤である HMDS（hexamethyldisilazane）との反応を試みたところ、図２に示すようにＩＲ測定で 1300cm^{-1} 付近と 1720cm^{-1} に新規なピークが現れ、シリルエステル結合の生成が確認された。

以上のように活性炭にも表面修飾反応が可能であることがわかった。しかしながら、HMDS は高価であり、反応で得られた修飾体の量が限られていたことから、機能評価（気体分離実験）は行えなかった。

３．２　活性炭の酸化反応

３．２．１　表面修飾反応

活性炭の表面修飾反応においては、可能な試薬が HMDS など、限定的であった。そのため、活性炭の表面を酸化することにより、反応サイトを増やすことを試みた。具体的には硝酸による表面酸化反応を試みた。

酸化反応は、0.36M、3.6M 及び 10M の硝酸中、90℃で１時間行い、反応終了後に洗浄した。

３．２．２　硝酸反応活性炭のキャラクタリザーション

硝酸と反応させた活性炭についてＩＲ測定を行った。その結果、図３に示すように 0.36M の硝酸で活性炭を処理してもＩＲスペクトルに変化は確認されなかった。

一方、3.6M および 10M の硝酸と反応させた活性炭では、1718cm^{-1} に新規のピークが確認さ

れた。また3.6Mおよび10Mの硝酸と反応させた活性炭では、図４に示すように、酸化反応後に重量減少が大きくなった。

これらのことから3.6Mおよび10Mの硝酸と反応させた活性炭では、水酸基やカルボキシル基などの官能基が導入されていることが確認された。

３．３　表面酸化活性炭の改質反応

３．３．１　表面酸化活性炭の反応

3.6M の硝酸で表面酸化した活性炭について、図５に示すような改質反応を、アルコール、アミンおよびカルボン酸を用い、80℃で８時間の条件で行った。

活性炭の改質反応に用いた有機試薬は、ポリエチレングリコール、n－オクチルアミン、パルミチン酸、カプロン酸、カプロン酸クロリド、ポリビニルアルコールおよびアルギン酸である。

３．３．２　ポリエチレングリコールと表面酸化活性炭との反応で得られた生成物のキャラクタリゼーション

ポリエチレングリコールとの反応によって得られた生成物のＩＲ測定を行ったところ、図６に示すように 1103cm^{-1}に新規のピークが現れ、また 1718cm^{-1}のピークは 1725cm^{-1}にシフトした。

また熱分析を行ったところ、図７に示すように、ポリエチレングリコールは 300℃以下で重量減少が観察された。しかし、活性炭との反応で得られた生成物の重量減少は、数10℃ほど高温側にシフトしていた。このことから、ポリエチレングリコールは、活性炭と強く相互作用していることが示唆された。

３．３．３　比表面積

ＢＥＴ法によって測定された活性炭の比表面積は表１に示すように 728cm^2/g であった。この活性炭の比表面積は、硝酸酸化反応により、496cm^2/g にまで減少した。さらに、ポリエチレングリコールとの反応により 470cm^2/g にまで小さくなった。

３．３．４　n－オクチルアミン及びパルミチン酸との反応で得られた生成物のキャラクタリゼーション

酸化活性炭とn－オクチルアミンとの反応によって得られた生成物についてＩＲ測定を行ったところ、1718cm^{-1}のピークが小さくなり、1410cm^{-1}、1583cm^{-1}及び 1610cm^{-1}に新たなピークが検出された。これらは、酸アミドを示す新規のピークであり、これらのことから、n－オクチルアミンによって表面が修飾されることが明白になった。

酸化活性炭とパルミチン酸との反応によって得られた生成物についてもＩＲ測定を行ったところ、アミンとの反応と同様に 1718cm^{-1}のピークが小さくなり、1118cm^{-1}に新規のピークが現れた。

以上のように、表面が酸化された活性炭は、アルコールだけでなく、アミンやカルボン酸

などの有機化合物とも反応し、表面が改質されることがわかった。

３．４　機能化炭素材料の評価

３．４．１　気体分離実験

表面を有機化合物で修飾させた活性炭の機能性を評価するため、窒素と二酸化炭素の分離を試みた。反応器に未改質活性炭や酸化活性炭および表面修飾活性炭などの吸着剤を１グラム仕込み、脱気処理の後、窒素と二酸化炭素の混合気体22ｍｌを導入した。吸着後の気体量やその組成から、吸着量及び選択的に吸着された気体の量をガスクロマトグラフィーによって定量した。

その結果、図８に示すように、導入直後にも選択性が見られるが、15分位までの処理によって吸着量は増加し、60分以降の変化はほとんどなかった。

そのため、以後の実験では吸着時間は60分とした。

３．４．２　未改質活性炭への気体の吸着

未改質活性炭に窒素及び二酸化炭素の混合気体を吸着させたところ、図９に示すように、窒素及び二酸化炭素は、それぞれ1.40 ml/g および4.14 ml/g が吸着された。この際、吸着された二酸化炭素／窒素比は、2.96となり、二酸化炭素の方がより多く吸着された。

二酸化炭素の分子サイズは0.33nmであるのに対し、窒素の分子サイズは0.364nmであり、サイズの小さい二酸化炭素の方がより吸着されたか、または二酸化炭素には僅かながら分極があり、活性炭表面との親和性が高くなったことも考えられる。

３．４．３　機能性炭素材料への気体の吸着

表面を酸化させた活性炭に窒素及び二酸化炭素の混合気体を吸着させたところ、窒素及び二酸化炭素は、それぞれ0.66 ml/g および3.72 ml/g が吸着された。吸着量は未酸化活性炭のおよそ75%に減少した。

これは、酸化反応によって細孔の一部が欠落し、吸着サイトが減少したことが考えられる。実際、比表面積は酸化処理によって減少しており、気体吸着量の減少とも一致する。

しかしながら、吸着された二酸化炭素／窒素比は、5.64となり、表面酸化により、二酸化炭素吸着の選択性がかなり大きくなった。

３．４．４　表面修飾炭素材料への気体の吸着

表面をポリエチレングリコールで修飾した活性炭に窒素及び二酸化炭素の混合気体を吸着させたところ、窒素及び二酸化炭素は、それぞれ0.14 ml/g および3.18 ml/g が吸着された。

このように気体吸着量は、未酸化活性炭のおよそ 57%に減少した。しかし吸着された二酸化炭素／窒素比は、22.7となり、二酸化炭素吸着の選択性はさらに大きくなった。

なお、ポリエチレングリコールそのものへの吸着量は窒素及び二酸化炭素が、それぞれ0.38 ml/g および0.08 ml/g とかなり小さく、窒素のほうが吸着しやすい。これらのことから、表面修飾炭素材料への選択的吸着は、ポリエチレングリコールによるものでなく、活性炭の三次元構造そのものが重要であり、表面修飾している有機化合物は、吸着の際に、物理的に空

間利用の制限などに寄与しているものと考えられる。

４．まとめと今後の展望

本研究によって、これまで次の点が明らかになった。

（１）活性炭の改質反応

活性炭表面における水酸基の存在が示唆され、HMDS による表面修飾反応が可能であることがわかった。

（２）活性炭の酸化反応

硝酸との反応により、活性炭表面に官能基が導入されることが確認された。

（３）表面酸化活性炭の改質反応

酸化活性炭はアルコール、アミン、カルボン酸などと反応し表面修飾が可能であることが分かった。しかしながら、表面修飾によって比表面積の減少が確認された。

（４）機能化炭素材料としての評価

表面修飾活性炭への窒素／二酸化炭素混合気体の吸着を試みたところ、表面修飾によって二酸化炭素吸着量が格段に高くなることが分かった。

以上のように、炭化材料の表面制御が可能であり、更にそのことによって吸着能力などの諸特性を制御できることが明らかとなったが、それらは図１０に示すような機構で説明することができる。

本報告では、気体のみを対象としたが、液体の吸着などへの応用も考えられる。選択性や吸着量および吸着速度を大きくすることが今後の基礎的課題であり、吸着材料としての形態や繰り返し使用などが今後の応用面での課題として考えられる。

５．研究発表実績および予定

・H. Muramatsu, M. Karasu, J. Kadokawa, H. Tagaya,
ACS 219th National Meeting at San Francisco, 2000.3.26-30

・H. Muramatsu, J. Kadokawa, M. Karasum H, Tagaya
Trans. Mater. Res. Soc. Jpn., 25, 1107-1110 (2000).

・村松、鈴木、門川、多賀谷
第12回日本MRS学術シンポジウム、B1-P12-M（神奈川サイエンスパーク）2001.12

・O. Saber, H. Tagaya, Journal of Inclusion Phenomena, 45, pp. 109 (2003).

・O. Saber, H. Tagaya, Journal of Porous Materials 10, pp. 83 (2003).

・O. Saber, B. Hatano, H. Tagaya, Journal of Inclusion Phenomena, in press.

【謝辞】

本研究にご理解、ご助成賜りました(財)トステム建材産業振興財団に対し厚く御礼申し上げます。

表１　活性炭の比表面積

活性炭	比表面積（cm^2/g）
活性炭	７２８
酸化活性炭	４９６
ポリエチレングリコール修飾活性炭	４７０

表２　活性炭および表面改質活性炭への窒素／二酸化炭素混合気体の吸着

（吸着量：　ml/g）

吸着剤	窒素吸着量	二酸化炭素吸着量
未改質活性炭	1.40	4.14
硝酸処理活性炭	0.66	3.72
ポリエチレングリコール改質活性炭	0.14	3.18
ポリエチレングリコール	0.30	0.08
アルギン酸（反応量小）改質活性炭	0.81	3.36
アルギン酸（反応量大）改質活性炭	1.01	3.22
パルミチン酸改質活性炭	0.38	1.22

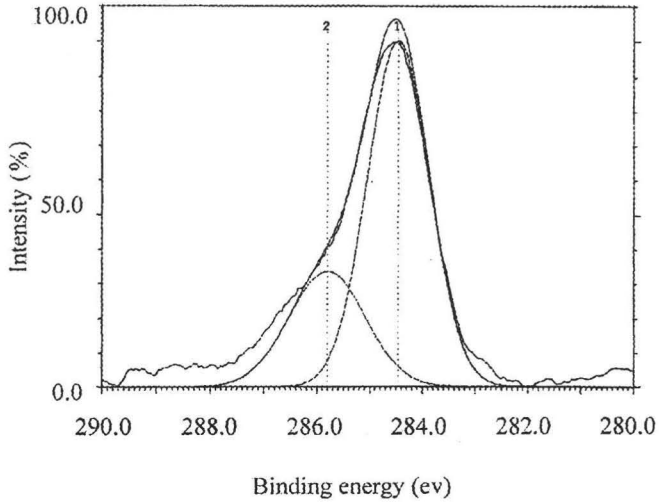


図１　活性炭のＥＳＣＡスペクトル

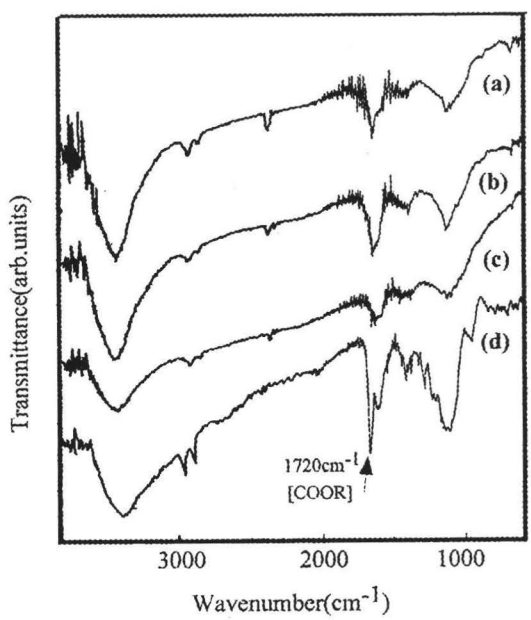


図２　活性炭と有機化合物との反応生成物のＩＲスペクトル

（ａ）活性炭

（ｂ）活性炭とカプロン酸との反応生成物

（ｃ）活性炭とカプロン酸クロリドとの反応生成物

（ｄ）活性炭と HMDS との反応生成物

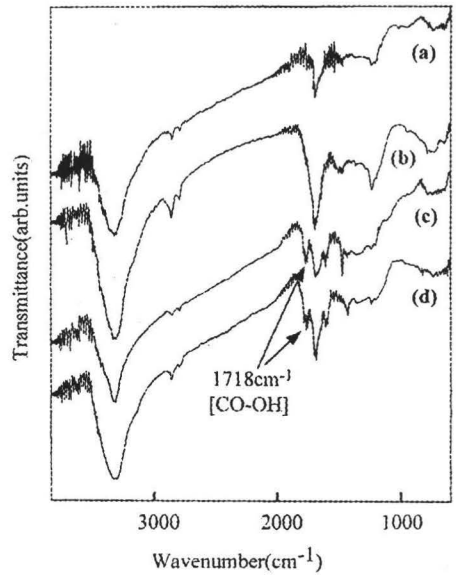


図３　活性炭と硝酸との反応生成物のＩＲスペクトル

（ａ）活性炭

（ｂ）活性炭と 0.36M 硝酸との反応生成物

（ｃ）活性炭と 3.6M 硝酸との反応生成物

（ｄ）活性炭と 10M 硝酸との反応生成物

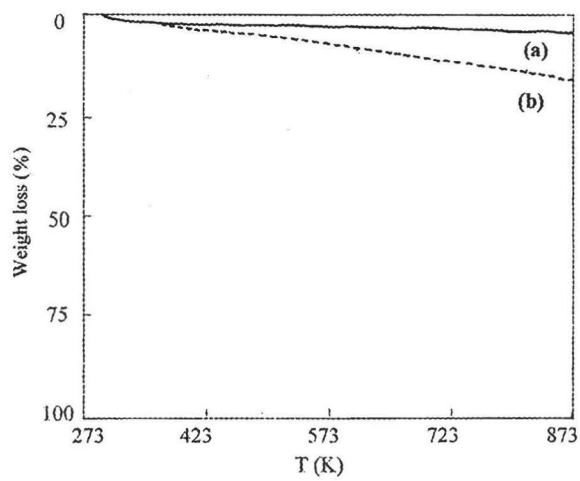


図４　活性炭および活性炭と硝酸との反応生成物のＴＧプロフィールによる重量減少

（ａ）活性炭

（ｂ）活性炭と 3.6M 硝酸との反応生成物

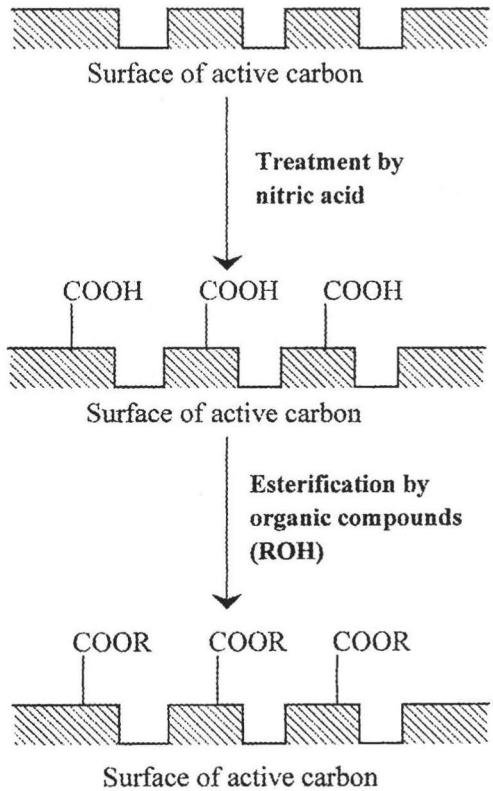


図５　活性炭の硝酸酸化および表面修飾反応

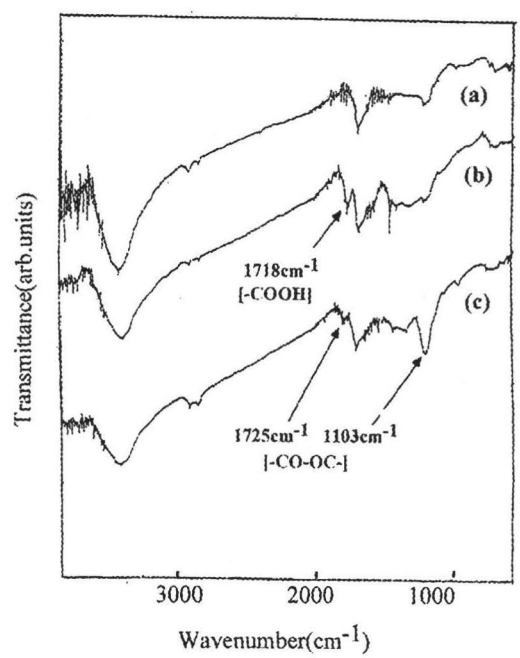


図６　表面修飾活性炭のＩＲスペクトル

（ａ）活性炭、（ｂ）表面酸化活性炭、（ｃ）ポリエチレングリコールとの反応生成物

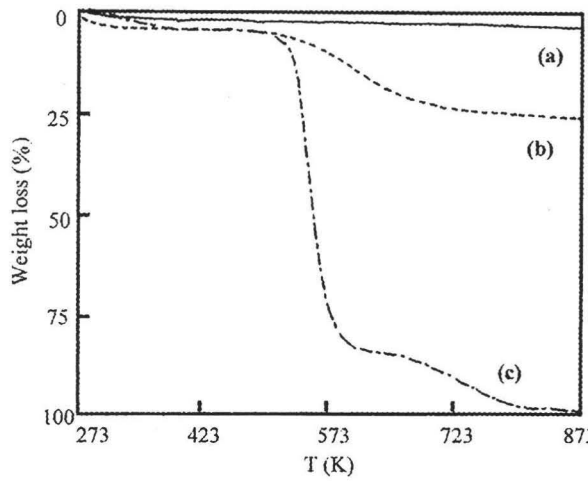


図７　表面修飾活性炭のＴＧプロフィール
（ａ）活性炭、（ｂ）表面酸化活性炭、（ｃ）ポリエチレングリコール

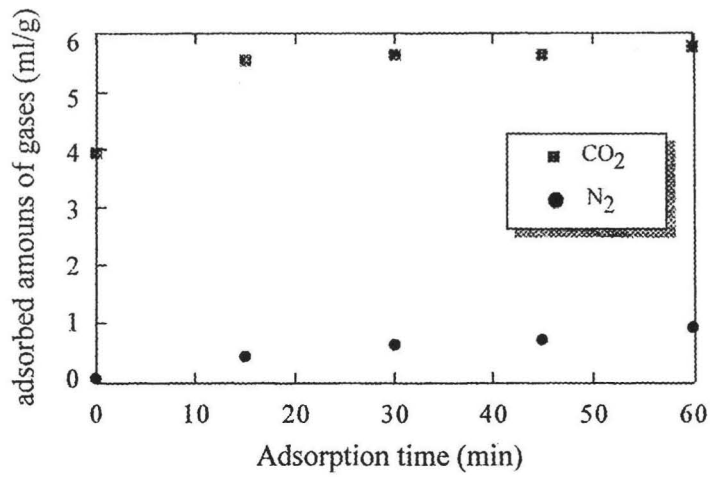


図８　表面修飾された活性炭への窒素／二酸化炭素混合気体の吸着

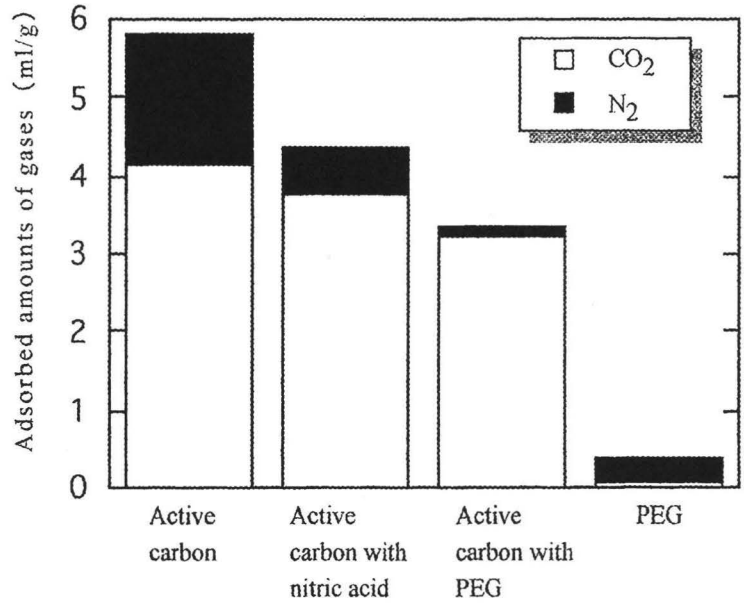


図９　活性炭や改質活性炭への窒素／二酸化炭素混合気体の吸着

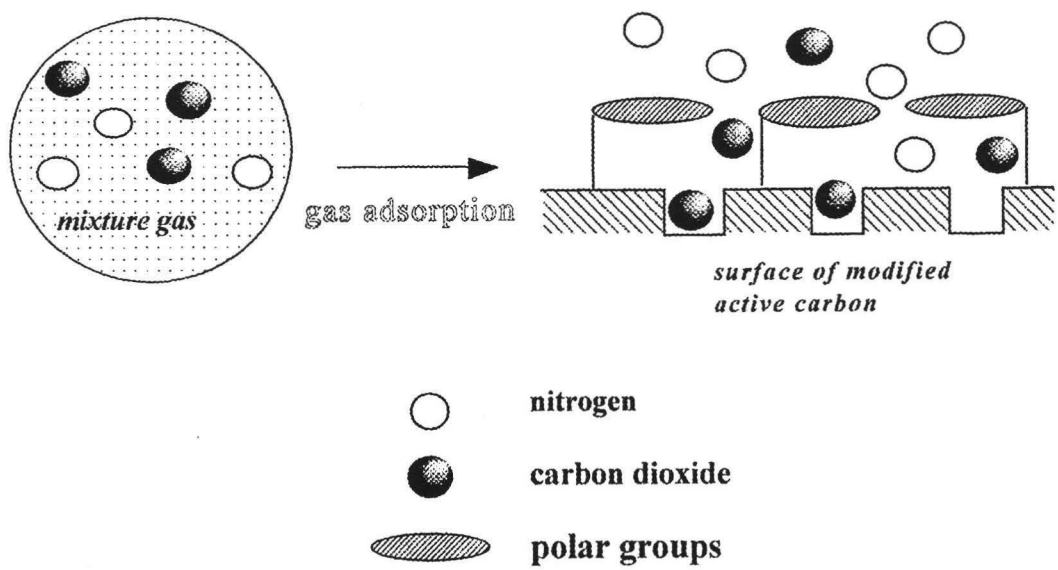


図１０　表面修飾活性炭への混合気体の吸着機構

1-3 住宅適用型マイクロジェネ組込み吸着ヒートポンプシステムの構築

名古屋大学大学院 工学研究科
助手 渡辺 藤雄

地球温暖化問題に対する京都議定書の合意を受け、新エネ法、省エネ法、代エネ法、地球温暖化対策法が制定された。この中ではエネルギー消費量が、CO2 排出量同時削減の観点から熱電併給システム CGS(Co-Generation System)の導入が大きく謳われている。我が国の CGS の現状は原動機として各種の内燃機関、燃料電池を用いて発電し、各機器の排熱の温度レベルに応じて熱回収・供給を行っているが、ほとんどは暖房需要のための温熱回収であり、一部の大規模 CGS で吸収式冷凍機による冷熱生成が採用されているに過ぎない。またこの吸収冷凍機の作動温度の下限は 80℃程度である。このため、我が国では冷房需要が大きく温水需要が少ない特に夏場においては 80℃以下の低温熱エネルギーが利用されないままに排熱として環境に捨てられることになる。これが CGS の総合効率を引き下げる一因であり、現行の大規模 CGS システム（～数 MW）においてさえも通常のシステムでは 60～80%LHV 程度の総合効率になっている。小規模 CGS の総合はさらに低くなる。しかし、各種の CGS システムの中で、燃料電池システムは、燃料電池自信が発電規模によらず高い発電効率を発揮する優れた特徴があり、CGS の市場規模の拡大に伴い将来的には燃料電池 CGS システムが中心になると考えられる。

以上の背景から、現在、燃料電池の開発が精力的に行われている。CGS 用としてはすでにリン酸型燃料電池が実用化され、集合住宅、ホテルなど小・中規模 CGS の原動機として導入が始まっている。さらに固体高分子方燃料電池（PEFC）は住宅用マイクロ CGS の原動機としての運用が非常に有望視されており、平成１７年度の市場導入が見込まれるなど極めて実用化に近い。

特に、燃料電池を利用した CGS システムでは、80℃以下の低温排熱の有効利用を含めたトータルシステムの開発が不可欠である。仮に、80℃以下の排熱を利用した冷熱生成が可能となれば、CGS の総合効率の向上が持たされると共に、冷熱供給に対して高い自由度を有するエネルギーシステムとなり、日本における燃料電池－CGS の導入促進に大きく寄与すると考えられる。

上記の背景に鑑み、本研究では住宅適用方高効率マイクロコジェネシステム（M-CGS）の構築をめざし、この低温排熱利用技術を確立することを目的として、中心技術となる吸着ヒートポンプの超コンパクト・高性能化開発研究を行った。

吸着ヒートポンプ（AHP）は、唯一 80℃以下の熱エネルギーを冷熱変換できる熱機関に位置付けられ、すでに 50USRT 以上の規模を中心として市販されているが、現段階では同出力の吸収式冷凍機の 4～7 倍容積を有していることが CGS への導入を極端に遅らせている。その理由として、1）現下の吸着剤の吸着能力が低いこと、2）吸着材吸着現象がいわゆる固気反応でありかつ、吸・脱着を伴うために吸着剤層の速やかな除熱・吸熱が不可欠となるが、この除熱・吸熱の速度が制限されること、の２点が挙げられる。

本研究では水蒸気を作動媒体とする AHP を対象とし、具体的に上記の２点に関して、

1) AHP の操作蒸気圧範囲で水蒸気吸着量が現存の吸着剤の２倍以上を有する高性能吸着剤の開発、

2）高速吸脱着モジュールの開発、

3）２　の吸着剤モジュール充填吸着器で構成される超コンパクト AHP の試作および性能評価

について検討を行った。

Ⅰ.AHP 用高性能吸着材の開発

AHP 用吸着材の高性能化に関して本研究では以下の 2 項目の提案を行い、その高性能化開発の検討を行った。

1) 活性炭の高相対圧域での大容量吸着性とシリカゲルの低相対圧域での吸着性の 2 特性を利用する活性炭細孔内表面シリカ膜形成吸着剤の製造法

2) プラスチックを原料とする高性能活性炭の製造法

を提案し、水蒸気吸着系 AHP の操作相対圧力範囲 0.15～0.4 で通常の吸着材の水蒸気吸着容量（0.2kg-H2O/kg-吸着材）の 2 倍以上の性能を有する吸着剤を開発する。なお、評価方法として製造した活性炭の 303K における水蒸気吸着平衡と水蒸気吸着速度を全自動ガス吸着測定装置(Belsorp18、㈱日本ベル)により容量法で測定した。水蒸気導入後の水蒸気圧の変化とその変化が認められなくなった時点の水蒸気圧を測定し前者の変化を吸着速度データ、後者を吸着平衡データとした。

1) 活性炭細孔内表面シリカ膜形成吸着剤の製造

1-1) 実験方法

Fig.1-1 に本研究で用いた活性炭細孔内表面シリカ添着法のフローチャートを示す。実験は、一般的なシリカゲルの製造法と同様の手法を用いたが、硫酸により中和した時点で低分子状態の珪酸が可溶化し活性炭より溶出するのを防ぐために、珪酸ナトリウムの中和行程は、珪酸ナトリウムの含侵と硫酸による pH 調整の 2 段に分けて行い、あらかじめ珪酸ナトリウムを十分に含侵後一旦濾過、乾燥させ、その後に硫酸を加える操作を行った。珪酸ナトリウムと硫酸は次式で示される反応によりケイ酸モノマーを形成する。

$$N_2O \cdot 3.3SiO_2 + H_2SO_4 + 5.6H_2O \rightarrow 3.3Si(OH)_4 + NaSO_4$$

その後の加熱熟成により、

$$2Si(OH)_4 \rightarrow (OH)_3Si\text{-}O\text{-}Si(OH)_3 + H_2O$$

による脱水縮合反応が起き、活性炭細孔内表面上にシリカ層が形成される。珪酸ナトリウム水溶液には 0.1、1、9wt%の異なる 3 種類を使用した。添着行程は同一濃度での一回および 2 回の繰り返し、もしくは溶液濃度を一回目と 2 回目で変化させた。なお、珪酸ナトリウムの含浸は予め活性炭を 350K、2 時間の真空脱気後 45 時間行った。この含浸時間は珪酸ナトリウム濃度が粒子内一様になると考えられる時間の約 2 倍に相当する。硫酸酸性保持時間についても、その濃度が粒子内で均一になる 24 時間とした。他の時間設定は一般のシリカゲル製造に準じて行った。なお、本実験では被添着材料として、椰子殻粒状活性炭（活性炭 AC）（(株) 太陽化学)、及び 2 種のフェノール樹脂系粒状活性炭（活性炭 AB および BG）（(株) 鐘紡;AB10-4,BG12-1）を用いた。使用に当たって AC は粒径 1mm 以下に調整した。AB は粒径約 0.3mm である。BG は粒径約 10μm の活性炭を粒径 1mm に造粒したものである。各活性炭の諸物性値を Table 1-1 に示す。

1-2) 実験結果及び考察

Figs.1-2～4 に、各原料活性炭およびシリカ添着活性炭の 303K における水蒸気吸着等温線を示す。なお、同一実験条件による試作を 3 回行い、各試料の吸着等温線を測定した結果、それらはい

ずれも大差なく、提案のシリカ添着法による結果の再現性が確認された。

P/Ps=1 における吸着量、並びに等温線は全て S 字型となるのでここでは吸着側等温線の変曲点の P/Ps 値を求め、これらおよび比表面積、細孔容積を実験条件と併せて Table1-1 に示す。また、オープン系、クローズド系の吸着ヒートポンプ用として要求される P/Ps=0.3～0.6 および P/Ps=0.1～0.35 の範囲の吸着等温線の吸着量差 Δq_{AIR}、Δq_{AHP} を求め、Table.1-1 に併記した。表中の C=1+0.1 などの表記は初回に C=1wt%、2 回目に 0.1wt%の珪酸濃度で添着を行ったことを示す。この吸着量差は、吸着剤の実使用を考慮して高相対圧側、低相対圧側の P/Ps 値に対して吸着側及び脱着側の等温線における吸着量を用いて算出した。さらにシリカゲル添着法について現在重量に対する割合を併記した。これらの図表から各活性炭について以下のことがわかる。

活性炭 **AC**;原炭に比べシリカ添着活性炭は 1)珪酸ナトリウム濃度 C の増大に伴って、P/Ps=1 での吸着量が 13～19%減少する。2)変極点の P/Ps 値が低相対圧側へシフトする。シフトの割合は C=1wt%で最大となる。3)Δq_{AIR} 値、Δq_{AHP} 値は C=1wt%で最大となり、それぞれ原炭の 10 倍以上および、2.5 倍になる。5)等温線におけるヒステリシスの大きさに変化は無い。6)原料重量に対するシリカ添着量は C の増大に伴って大きくなる。

活性炭 **AB**;シリカ添着活性炭は、活性炭 AC の 1)、2)および 5)、6)と同様の結果のほか、1)Δq_{AIR} 値は C=1wt%で最大となるものの、原炭の 20wt%程度の増加に滞まる。2)q_{AHP} 値は、C=1wt%で原炭の 4 倍になる。3)活性炭 AC に比べてシリカ添着量が少ない。

活性炭 **BG**;原炭に比べてシリカ添着活性炭は活性炭 AC の 2)、5)、6)と同様の結果のほか、1)珪酸ナトリウム濃度 C の増大に伴う P/Ps=1 での吸着量の減少は見られない。2)Δq_{AIR} 値、Δq_{AHP} 値は C=1wt%で最大となり、それぞれ原炭の 3 倍以上および 1.2 倍になる。3)珪酸ナトリウム濃度 C の増大に伴いヒステリシスが小さくなる。

以上の結果から、まず、提案した活性炭へのシリカ添着法により大きな吸着容量の減少を伴うことなく、等温線を低相対圧側にシフトさせることが可能であるということ、すなわち提案の方法が活性炭の親水性化法として有効に機能することが明らかになった。また Δq_{AIR} 値の最大値は活性炭 AB の C=1wt%で通常のシリカゲルの 3 倍以上を示し、実験範囲内ではこの活性炭がオープン系吸着ヒートポンプシステムへの適用材料として最も有効と考えられる。他の活性炭 AC、BG についても C=1wt%もしくは C=1+0.1wt%で Δq_{AIR} 値が最大になることはシリカ添着に最適な珪酸濃度が存在することを示唆している。一方の Δq_{AHP} 値は活性炭 AB の C=1wt%で最大 4 倍程度になるが、シリカゲルの Δq_{AHP} 値より低く、吸着ヒートポンプ用としては充分でなく、さらなる検討が必要となる。なお、活性炭 AB のシリカ添着量が少ないのは原炭がミクロ孔を主として有する粒子であることによる。

1-3）結言

水蒸気吸着用高性能吸着剤の開発を目的として活性炭細孔内のシリカ添着法による検討を行った結果、本実験範囲内で以下の結論を得た。

シリカ添着活性炭は原炭と比べ P/Ps=1 における吸着容量の大きな減少を伴うことなく水蒸気吸着等温泉の変極点の位置が低相対圧側に移動する。

Δq_{AIR} 値、Δq_{AHP} 値の結果より、本法によりオープン系の吸着ヒートポンプシステムに適用可能な材料が得られることが明らかになった。また、本実験範囲内では C=1wt%もしくは C=1+1.0wt%添加の活性炭が最も大きな性能を持つ。

以上より、本法が活性炭の親水性化に対して有効な機能を有することが明らかとなった。しかしながら、水蒸気吸着系 AHP の操作相対圧力範囲 0.15～0.4 で通常の吸着材の水蒸気吸着容量（0.2kg-H2O/kg-吸着材）の２倍以上の性能を有する吸着剤を開発することは本実験範囲内では達成することができなかった。

2）プラスチック原料とする高性能活性炭の製造法

既往の研究によりプラスチックを原料とする活性炭が比較的小孔径の細孔がシャープに分布すること、KOH の低温賦活がプラスチックのカーボン基質を損なうことなく小孔径の細孔を増大させうると考えられること、の 2 点に着目し、プラスチックを原料とした低温 KOH 賦活法による AHP 用高性能活性炭製造を試み、試作した活性炭の水蒸気吸着特性に基づく AHP 用活性炭としての性能評価を行った。具体的には以下の検討を行った。

本研究ではプラスチック原料に 8 種の熱可塑性樹脂、3 種の熱硬化性樹脂を用い、まずこれらの熱分解残留炭素の生成を確認し、残留炭素分の多い樹脂について種々の条件下で KOH 賦活を行い活性炭を得た。ついで得られた活性炭について水蒸気吸着の平衡特性および速度特性を明らかにするとともにこれらを既存の吸着材の結果と比較して本法で得られた活性炭の有効性の評価を行った。

2-1)実験

2-1-1)熱重量分析

重量分析実験に用いた 11 種類のプラスチック試料を Table.1-2 に示す。試料の形状はポリエステル(PE)、ポリアクリロニトリル(PAN)は直径がそれぞれ約 0.1mm、0.2mm の繊維であり、ポリイミド(PI)は直径 1.5mm の中空糸、そのほかは粒状である。平均粒径はポリカーボネート(PC)、ナイロン(NY)、ポリエチレン(PETY)、ポリアセタール(PAC)、ABS、ポリスチレン(PS)、メラミン樹脂(ME)、フェノール樹脂(PH)、の順に 1.2mm、2.3mm、3.4mm、2.8mm、2.6mm、1.0mm、1.5mm、80μm である。

熱分解残留炭素の存在の有無を確認するため、各試料の熱重量分析を行った。実験には熱天秤(TGA 50　島津製作所)を使用し、約 10mg の試料を窒素気流中、昇温速度 2K/min で加熱し重量減少挙動を観察した。

2-1-2)KOH 賦活

熱重量分析で炭素の残留を確認したプラスチックについて KOH 賦活を行った。KOH 賦活に使用した実験装置の概略を Fig.1-5 に示す。装置は内径 55mm のステンレス管を電気炉内に設置したもので、管内にガスを導入することができる。

実験に用いたプラスチック試料は熱重量分析で使用したものと同じものである。プラスチックを一定量(2g)秤量し、これに KOH の飽和水溶液を KOH/原料プラスチック比 R を 3.2 で混合してステンレス製ボートに入れて賦活炉に挿入し、昇温速度 2K/min、賦活温度 773K に 60 分間保持の条件で賦活した。昇温を開始してから炉内が室温まで冷却されるまで管内には窒素を流した。得られた炭化物を蒸留水で pH が 7 となるまで洗浄し、乾燥して活性炭を得た。

2-2)結果および考察

2-2-1)熱分解残留炭素

Figs.1-6、1-7 に各プラスチック原料の熱重量分析の実験結果を示す。Fig.1-6 は熱可塑性樹脂、Fig.1-7 は熱硬化性樹脂についての実験結果である。熱分解による重量減少は試料により様々である。熱可塑性樹脂では PAN は 550K 付近で熱分解が始まり 700K 以降で緩やかに重量が減少する。他はいずれも 600～700K で分解が始まり、700～750K でほぼ終了する。熱硬化性樹脂の PI は 673K、PH、ME は 373K 付近から重量減少が開始し、緩やかに進行する。これら以外の 5 種の熱可塑性樹脂は 773K 以下でいずれもほぼ完全に熱分解し、残留炭素を確認できなかった。本実験で使用したプラスチックの熱分解挙動は既往の研究結果と比較的よく一致している。

Table 1-2 に熱可塑性、熱硬化性樹脂のそれぞれについて 850K および 1073K における収率(Y)を示す。また Fig.1-8 に炭素残留を確認した熱分解物質の水蒸気吸着平衡の測定結果を示す。図中の ϕ=0.1、0.35 の破線は水蒸気を作動媒体とする AHP の操作が高温熱源温度 348K、環境温度 303K、低温熱源温度 286K で行われることを想定した場合の吸着等温線基準の操作範囲である。この間の吸着量差 $\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ に水の蒸発潜熱を乗じた値が AHP の汲み上げ熱量であり、吸着材の性能を表す。したがって Fig.1-8 から得られるこの値を収率とともに Table 1-2 に示した。

炭素収率は熱可塑性樹脂の PAN で 50%以上を示すが、他は 25%以下の低収率となる。熱硬化性樹脂では ME を除いて 60%以上となる。水蒸気吸着等温線の形状は材料によって異なり PAN、ME は低相対圧域($\phi \leqq 0.25$)、PI、PH は中相対圧域($0.25 \leqq \phi \leqq 0.6$)、他は高相対圧域($\phi > 0.6$)での吸着性を示す。しかし $\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ 値はいずれも極めて小さく、AHP 用としては不向きである。そこで以下では炭素残留を確認したプラスチックについて低温(Ta=673~873K)KOH 賦活を試みた。

2-2-2)KOH 賦活炭の水蒸気吸着平衡

熱重量分析で残留炭素が存在した 3 種の熱可塑性樹脂と 3 種の熱硬化性樹脂について、KOH/原料の比 R を 3.2、賦活温度 773K の条件で賦活を行って得られた活性炭の水蒸気吸着平衡の測定結果を Figs.1-9、1-10 に示す。比較のため熱分解残留炭素が確認できなかったナイロン(NY)についても同条件で賦活を行った結果と市販のシリカゲルの結果を併示した。Table 1-3 には熱分解炭素と同様の吸着等温線から得られる $\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ 値、賦活の収率を実験条件と併せて示した。

PAN、NY を原料とする活性炭と比較して他の 4 種はいずれも類似の吸着等温線を示し、ϕ=0～0.5 間の ϕ の増大に伴う吸着量の比較的大きな傾きの直線的増大とそれ以降の ϕ>0.5 における緩やかな増大の傾向を示す。また、それら 4 種の水蒸気吸着量が ϕ の全域で熱分解残留炭素のそれよりも大きくこれに対応して $\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ 値の最大値はシリカゲルの約 2 倍となること、収率が 40%以上と比較的高いこと、熱硬化性樹脂に比べて熱可塑性樹脂の $\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ 値は 1 割程度大きいこと、が認められる。また、特に優れた水蒸気吸着特性を示した PE および PC の見かけ密度(ρ)の評価を行い、AHP の小型化を図る上で極めて重要な特性である体積基準の吸着量差（$\Delta q_{0.1\text{-}0.35} \times \rho$）をシリカゲルと比較した結果、PE 活性炭は約 2/3 となるが PC 活性炭はシリカゲルの約 1.5 倍であることが Table1-4 より明らかとなった。したがって本実験範囲内ではこれら 4 種のプラスチックは KOH 賦活により AHP 用高性能活性炭となると考えられる。

一方 PAN、NY は$\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$値、$Y$値が小さいことから AHP 用には不向きである。これらの値が上記 4 種と比較して小さいことは、定性的には上記 4 種のプラスチックの構造の中にフェニル基が存在し、それを 1 基含む PE、PI、PH、2 基含む PC でそれぞれ Y値が 40～45%、および 60%となるのに対して PAN、NY にはフェニル基が存在せず Y値が小さいことと相関づけられるが、その詳細は検討を必要とする。また、NY の KOH 賦活により少量の活性炭の生成が確認されたことは同様の熱分解特性を示す他の熱可塑性樹脂の活性炭化の可能性を表していると考えられる。

2-2-3)KOH 賦活炭の水蒸気吸着速度

R=3.2、T_a=773K の条件にて生成されたポリエステル活性炭について、AHP への適用性のもう一つの指標となる水蒸気吸着速度の測定結果の一例を Fig.1-11 に示す。図中の実線は、吸着速度が吸着材固体内物質移動律速とし、その物質移動が拡散支配であり、拡散係数(D_s)が一定、ならびに吸着材の球形粒子、等温、吸着場での吸着平衡の成立を仮定したこれまでの解析と同様の理論的取扱いの結果として与えられる本系と最適合のD_s値条件下の吸着速度の計算結果である。

吸着速度の実測値と計算結果は比較的よく一致しており、KOH 賦活炭においても、シリカゲル、活性炭 SAC における水蒸気吸着と同様の取扱いができる。この計算結果との一致の傾向は$\Delta q_{0.1\sim0.35}$値が大きいポリカーボネート、フェノールにおいても同様に確認されたので、材料ごとの初期および平衡吸着圧力、(Pw,initial および Pw,equiliblia)、粒子径(r_p)とともに、得られた D_s値をシリカゲルとの比較で、実験条件とともに Table.1-5 に示す。

本表より、3 種の KOH 賦活炭の D_s値はシリカゲルのそれに比べてやや小さい程度であり、本実験で得られた活性炭が既往の吸着材に比べても吸着速度的に充分な性能を有していることがわかる。

2-3)結言

各種プラスチックの低温 KOH 薬品賦活炭の製造を試み、これらの水蒸気吸着ヒートポンプ用材料としての評価を行い、以下の結果を得た。

1)熱分解残渣炭素が確認できたプラスチックの中で、熱可塑性樹脂ではポリエステル、ポリカーボネートが、熱硬化性樹脂ではフェノール、ポリイミドが、それぞれ優れた水蒸気吸着平衡特性を示し、いずれも AHP 用としてシリカゲルの 2 倍程度の汲み上げ熱量を有する。特にポリカーネートは最大の 2.2 倍の汲み上げ熱量を有した。

得られた活性炭の吸着速度はシリカゲルと同程度である。

以上 より、シリカゲルの２倍程度の汲み上げ熱量を有する吸着剤を開発できた。

Ⅱ.AHP 組み込みに最適な熱伝達・物質移動促進モジュールの開発

既往の研究では、特にシリカゲル/水蒸気系吸着ヒートポンプに関して、高出力達成のため吸着器内における熱および物質移動促進の観点から吸着材のモジュール化の検討を行ってきた。その結果フィン付き吸着材熱交換モジュール（FST モジュール）の使用による出力の向上が示唆された。しかし、そのフィンピッチ、フィン長さを考慮にいれた最適モジュール構造については十分検討されていない。そこで、さらなる吸着器性能の向上を目指し、今回は特に最適 FST モジュール構造について実験結果の整合性に基づくフィンピッチ、フィン長さの最適化の理論的検討を行った。

Fig.2-1 に FST モジュールを示した。本図は内径=16mm、外径=18mm、全長=500mm（フィン装着部=400mm）の銅管から厚さ 0.48mm のスパイラルフィンが転造加工されたフィン付き銅製熱交換パイプであり、その周囲を 100 メッシュのステンレス網で覆い、ピッチ間にシリカゲルを充填したものである。なお本図に示した銅製熱交換パイプは銅管とフィンが一体型であり、その部位の接触熱抵抗が極めて小さいため優れた伝熱性能を有している。ここで、数値解析は以下のように行った。

1）理論解析

上記の FST モジュールを装填した吸着器で構成される AHP の性能解析をするにあたり、吸着器内の吸・脱着はどの FST モジュールにおいても等しく進行し、その一本のモジュールの任意の要素に関して Fig.2-2 の模式図に示される熱・物質移動モデルが適用できるものとする。すなわち、使用した FST モジュールはスパイラルフィン形状であるが、ここではフィンがフィンと同素材の銅製伝熱管(内半径 $r=Ri$,外半径 $r=Rm$)に同心円状($v=R_0$)に付着され、このピッチ幅間($x=2Xf$)にシリカゲル粒子が充填された構造で表されるとする。そこで、銅製伝熱管内を熱交換流体が流れ、シリカゲル層外表面が低水蒸気圧雰囲気にある本吸着系で、シリカゲル粒子保持のために使用されるステンレス製の重量は吸着材質量に比べて小さくその熱容量は無視できる。この網を通過する吸着質蒸気の移動抵抗はない。吸着器内モジュール充填空間の蒸気圧は一様である。などに加え既往の理論解析で用いた以下の仮定および FST モジュールにおける熱・物質移動を表す基礎式を用い理論解析を行った。

仮定

1、熱交換流体は非圧縮性で、流体流れは詮流で温度上昇による膨張は無視できる。

2、吸着材層は球状吸着材の集合体である。

3、吸着器内 FST モジュール充填空間は一様に低圧であり、モジュール外表面からの熱損失は無視できる。

4、熱物性値は一定とする。

5、吸着材粒子内の物質移動は表面拡散支配である。

6、シリカゲル粒子保持のために使用されるステンレス網の質量は吸着材質量に比べて小さくその熱容量は無視できる。

7、ステンレス網を通過する吸着質蒸気の移動抵抗は無視できる。

上記の仮定のもとで、FST モジュールにおける熱・物質移動を表す基礎式は付録 A のように与えられる。

計算は、式（1）～（6）を前進差分法により式（7）～（18）の条件下で解き、FST モジュールの半径方および軸方向の任意の点の温度分布および吸着量の経時変化を求めた。なお、計算では、実験における吸着器内水蒸気圧は吸着過程、脱着過程とも時間とともに変化したので、この実測値を代入した。また、吸着器に循環させる熱交換流体は実験で外部に付設された温度調節器の容量が比較的小さく吸着の発熱、脱着の吸熱によって吸着過程、脱着過程で吸着器入口温度が変化してしまったためこの温度にも実測値を用いた。同様に、充填シリカゲル層の熱伝導度、空隙率にも実測値を使用した。吸着平衡関係は相対蒸気圧 $\phi(T)$に対して吸着量 q が曲線で表されるので、これをい

くつかの直線で近似した。吸着熱 ΔH、拡散係数 Dp は既報の値を採用し、温度の関数として与えた。また、モジュール内シリカゲル―伝熱管・フィン外壁および伝熱管内壁―熱交換流体の両間に熱抵抗が存在するとし、それぞれを $1/h_c$、$1/h_w$ とした。

本検討の実験条件

高温水温度	T_H	(=High)	=80 ℃
冷却水温度	T_M	(=Middle)	=30 ℃
冷水温度	T_L	(=Low)	=15 ℃
シリカゲル粒子径	d_p		=200 μm
シリカゲル充填密度	ρ_L		=640 kg/m^3
吸着器内熱交換流体管内流速	d_p		=200 μm
サイクル運転時間	τ_{cycle}		=10 min

上記条件において、高温水温度 T_H は、シリカゲルの脱着再生熱源温度であり、脱着過程における吸着器内熱交換流体温度である。冷却水温度 T_M は、工業排水、地下水、河川水などの環境中から得られる 20～30℃の熱源温度を想定しており、吸着過程における吸着器および両過程における凝縮器内熱交換流体温度である。冷水温度 T_L は、冷房使用時の戻り水温度を想定しており、両過程における蒸発器内熱交換流体温度である。サイクル運転時間 τ_{cycle} は、AHP 操作における吸着過程・脱着過程の切り換え運転時間である。

2）結果および考察

2-1 最適フィンピッチの検討

Fig.2-3 にフィン長さを 10mm と一定とし、フィンピッチをパラメーターとした場合のそれぞれのフィンピッチにおけるシリカゲル単位重量当たりの水蒸気吸着量差 q_1[kg/kg]および単一モジュールに充填可能なシリカゲル重量 W_s[kg]を示した。本図よりフィンピッチ間が広がるほど q_1[kg/kg]は減少する傾向にある。これはフィンによる熱交換流体からの伝熱性能の低下により、シリカゲルの水蒸気吸・脱着の阻害となる発・吸熱の伝熱が行われにくくなるためである。一方の W_s[kg]は銅管フィン装着部に挿入されるフィン数の減少により増加する傾向にある。Fig.2-4 にこれらの値の積 $q_1 \times W_s$[kg]を他のフィン長さと併せて示した。$q_1 \times W_s$[kg]は単一モジュール当たりの水蒸気吸着量差を表しており、この値の最大値となるフィンピッチ間が最適値となる。以上の結果より、最適フィンピッチは 2.5mm～3.5mm 程度であることが明らかとなった。

2-2 最適フィン長さの検討

本検討を行うにあたっての吸着器モデルを Fig.2-5 に示した。今回のモデルは吸着器にモジュールを格子状に挿入するものとし、単一モジュール当たりの占有面積を S[m^2]とした。Fig.2-6 にフィンピッチを 2.5mm と一定とし、フィン長さをパラメーターとした場合のそれぞれのフィン長さにおけるシリカゲル単一モジュール当たりの水蒸気吸着量差 q_2[kg/module]および単一モジュール当たりの占有面積の逆数 $1/S$[module/m^2]を示した。本図よりフィン長さの増大に伴い q_2[kg/module]は増加する傾向にある。これはフィン長さの増大によりモジュール半径方向への水蒸気移動が阻害され、シリカゲル単位重量当たりの水蒸気吸着量差は減少するが、その一方でフィン長さの増大による単

一モジュール当たりのシリカゲル充填量増加の効果により、単一モジュール当たりの水蒸気吸着量差 q_2[kg/module]としては、増加する傾向にある。また同様にフィン長さの増大により S[m^2]は増大するので、その逆数 1/S[module/m^2]は減少する傾向にある。Fig.2-7 にこれらの値の $q_2 \times 1/S$[kg/m^2]を他のフィンピッチと併せて示した。$q_2 \times 1/S$[kg/m^2]は単位吸着器面積当たりの水蒸気吸着量差を表しており、この値の最大値となるフィン長さが最適値となる。以上の結果より、最適長さは 14mm～20mm 程度であることが明らかとなった。

3） 結言

フィンピッチ、フィン長さの最適化の理論的検討を行い、以下の結果を得た。

最適フィンピッチは 2.5mm～3.5mm

最適長さは 14mm～20mm

本最適設計により既存 FST モジュール組み込み吸着器に比べコンパクト化が達成されることが示唆された。

Ⅲ.コンパクト・高性能 AHP の開発

1） AHP の構造と操作条件

AHP システムの高出力化を目指し、Ⅱの結果より、市販品の中から本構造に一番近いフィンピッチ＝2.32mm、フィン長さ＝11mm の FST モジュールを選択、使用した Fig.3-1 に示す吸着器の試作およびそれを組み込んだ 0.5 冷凍トン級 AHP の作動特性評価を行った。本吸着器は 2 器の吸着器で構成されており、各吸着器には上記の FST モジュールをそれぞれ 36 本ずつ組み込んだ。なお、熱源流体の流量を確保するため、それぞれの吸着器内 FST モジュールは 3 並列 12 直列で連結した。Fig.3-2 に本 AHP の外観写真を、Fig.3-3 にシステムフロー図を示した。本図より本 AHP は、2 器の吸着器、1 器の凝縮器、蒸発器およびそれらをつなぐ配管とエアーバルブから構成されており、各吸着器内の FST モジュールに充填されたシリカゲルが冷媒である水蒸気の吸・脱着を交互に行うことにより、蒸発器から連続的に冷房用の冷熱を取り出すことが可能である。また本装置は吸・脱着過程切り換え時に両吸着器内熱交換流体流路の接続による熱回収が可能である。これは排熱に制限がある場合に非常に有効な運転モードであり、成績係数（COP）の向上にもつながると考えられる。駆動熱源（高温水 T_H、冷却水 T_M、冷水 T_L）の制御はリン酸型燃料電池（PAFC）の排熱およびチラー、クーリングタワーを用いて行った。なお本装置ではそれぞれの位置における圧力、温度、熱交換流体の流量の測定が可能である。

AHP の性能へ及ぼす影響因子として、様々な運転条件が考えられる。特に今回は、本 AHP の作動特性評価を行うにあたり以下のような条件で検討を行った。

本検討の実験条件

高温水　T_H　　= 70 ℃

冷却水　T_M　　= 30 ℃

冷水　　T_L　　= 14 ℃

サイクル時間　　τ_{cycle}　= 8 min

熱回収時間　　$\tau_{recovery}$　= 0 min

吸着器内熱交換流体流速　　$F_{ads.}$　= 2.4 m^3/h

蒸発器内熱交換流体流速　　$F_{des.}$　= 0.6 m^3/h

2）結果および考察

本 AHP 操作は吸着過程と脱着過程が交互に繰り返して行われる。本実験では繰り返し吸・脱着操作を行った結果、測定された温度、圧力の経時変化は 10 サイクル以降同傾向を示していたので、結果の一例として定常サイクル運転時の吸着器 1、凝縮器、蒸発器の熱交換流体の入口、出口温度および圧力の経時変化をそれぞれ Fig.3-4, Fig.3-5 に示した。Fig.3-4 より両過程共に凝縮器、蒸発器にはそれぞれ所定温度の冷却水 T_M、冷水 T_L、吸着器には吸・脱着過程それぞれにおいて冷却水 T_M および高温水 T_H が流れている。またそれぞれの熱交換流体の出口温度は水蒸気の吸・脱着による発・吸熱により温度が上昇・下降している。なおこの時の蒸発器出口温度を冷房用の冷熱として利用することを目的とし、冷熱出力を基準とする本 AHP 評価を後述する。Fig.3-5 より吸着器は吸・脱着過程についてそれぞれ蒸発器、凝縮器と連結されており、温度変化による圧力差を推進力として水蒸気の吸・脱着が行われる。本図より吸・脱着切り換え時に凝縮器および蒸発器内の圧力が上昇および下降し、その後、熱交換流体との熱交換により冷却水および冷水入口温度における飽和水蒸気圧まで回復し、安定していることが分かる。これは凝縮器内での水蒸気の凝縮による温度上昇、蒸発器内での水蒸気の蒸発による温度降下の影響が大きく支配していると考えられる。

以上のことから本条件下における本 AHP の性能評価について蒸発器の熱交換流体入口、出口の平均温度差 ΔT_{ave} および冷熱出力 Q は、以下のようになった。

ΔT_{ave}　= 3.1℃

Q　= 2.1 kW

3)結論

最適 FST モジュールを組み込んだ 0.5 冷凍トン級 AHP の作動特性評価を行い、以下の結果を得た。

・本条件下において 11℃程度の冷熱が得られる。

・蒸発器内の熱交換流体の流量を低下させることにより更なる低温度の冷水を得ることが可能。

・冷熱出力は、設計した 0.5 冷凍トン（1.7 kW）より優れた性能が得られた。

これらより、従来の AHP に比べ 1/3 程度までコンパクト化を達成した。

Table 1-1 Experimental condition and results

material	C [wt%]	ρ [kg・m^{-3}]	S × 10^{-3} [m^2・kg^{-1}]	V_{total} × 10^3 [m^3・kg^{-1}]	Amount adsorbed at P/Ps=1 [kg・kg^{-1}]	Inflection point of adsorption isotherm[−]	Δq_{AIR} [kg・m^{-3}]	Δq_{AHP} [kg・m^{-3}]	Amount silica [%]
AC	0	765	1390	2.61	0.52	0.68	15.3	15.3	0
	0.1	767	1200	1.57	0.45	0.60	107	38.3	0.27
	1	783	1180	1.30	0.47	0.5	160	38.3	2.45
	9	862	1060	2.44	0.41	0.61	90.3	7.65	12.7
	9+9	937	847	2.57	−	−	−	−	22.5
BG	0	1150	1080	0.416	0.36	0.59	230	11.5	0
	0.1	1150	−	−	−	−	−	−	0.069
	1	1150	606	0.377	0.33	0.42	276	46.3	0.42
	9	1190	402	0.344	0.29	0.43	249	47.6	3.49
BG	0	1000	1200	0.589	0.38	0.57	50.0	10.	0
	0.1	1000	851	0.467	0.38	0.7	189	78.0	0.94
	1+0.1	1000	−	1.25	0.38	0.41	209	90.0	2.10
	9	−	834	1.26	0.38	0.36	120	89.8	−
silica gel	−	820	650	0.37	0.37	−	82.0	98.3	−

Table1-2 Yield and water vapor adsorption ability for residual carbons

Raw material	$\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ [kg/kg]	Y[%]
Thermoplastics resin		
Polyethylene (PETY)	-	0 (850K)
Polyester (PE)	0.003	15 (850K)
ABS	-	0 (850K)
Polyacetal (PAC)	-	0 (850K)
Nylon (NY)	-	0 (850K)
Polystyrene (PS)	-	0 (850K)
Polyacrylonitrile (PAN)	0.033	54 (850K)
Polycarbonate (PC)	0.003	26 (850K)
Thermosetting resin		
Phenol resin (PH)	0.006	59 (1073K)
Polyimide (PI)	0.10	60 (1073K)
Melamine resin (ME)	0.03	15 (1073K)

Table 1-3 Properties of activated carbons

Sample	T_a[K]	R[-]	$\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ [kg/kg]	Y[%]
Polyester	673	4	0.05	25
	773	0.8	0.06	5
	773	1.6	0.05	15
	773	3.2	0.20	42
	773	4	0.12	22
	873	4	0.05	19
Polycarbonate	773	3.2	0.21	60
Polyacrylonitrile	773	3.2	0.09	10
Nylon	773	3.2	0.12	6
Polyimide	773	3.2	0.17	40
Phenol resin	773	3.2	0.18	45
Silica gel			0.12	

Table 1-4 Capability of activated carbons for silica gel

Sample	$\Delta q_{0.1\text{-}0.35}$ [kg/kg]	ρ_a[kg/m^3]	$\Delta q_{0.1\text{-}0.35} \times \rho_a$[kg/m^3]
Polyester	0.20	290	59
Polycarbonate	0.21	700	150
Silica gel	0.12	770	92

Table1-5 Diffusion coefficients of activated carbons and silica gel

Sample	P_w [kPa]		$r_p \times 10^6$ [m]	$D_S \times 10^{13}$ [m$^2 \cdot$s^{-1}]
	initial	equilibrium		
Polyester	5.5	0.26	150	4.2
Polycarbonate	5.5	0.50	150	2.2
Phenol resin	5.5	0.04	150	3.2
Silica gel	5.5	0.22	150	5.3

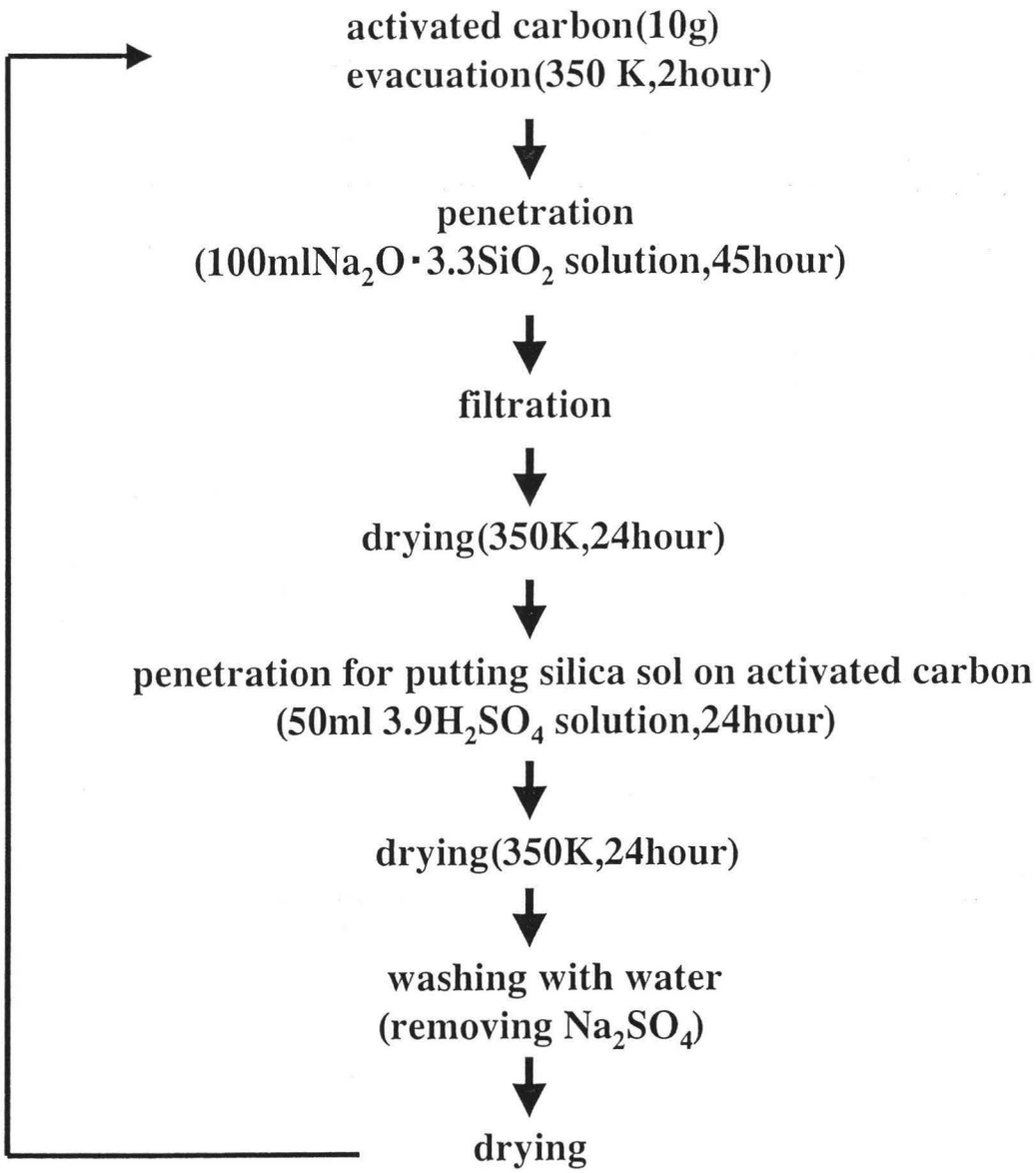


Fig.1-1 Scheme of adhering hydrophilic silica process

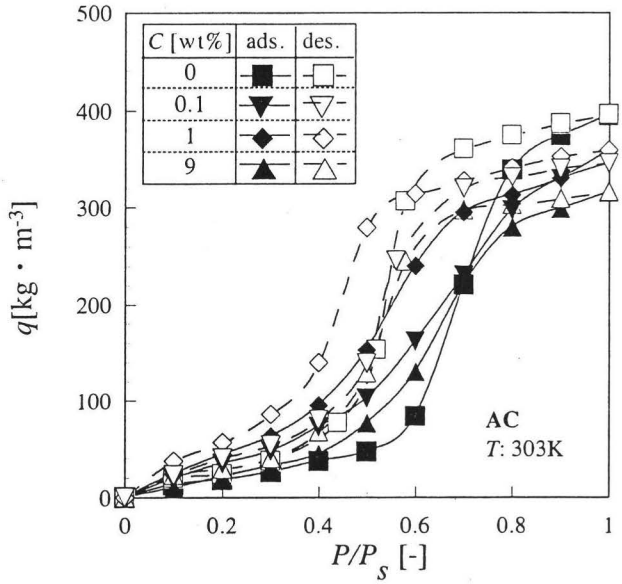


Fig.1-2 Adsorption isotherms of water vapor for AC at 303K

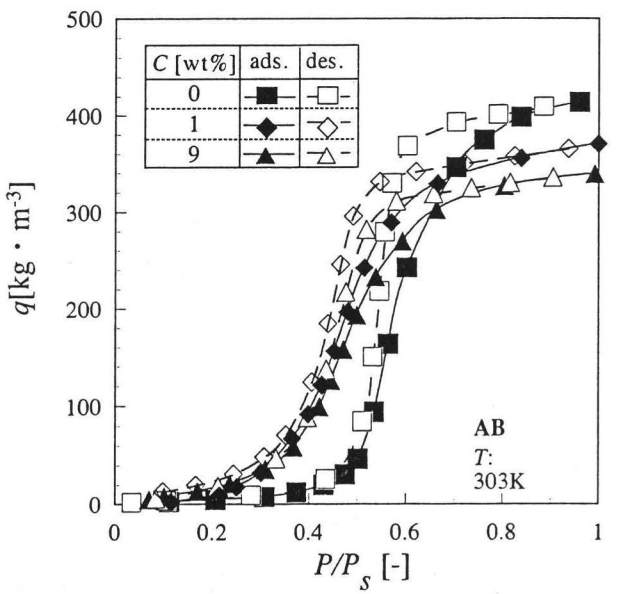


Fig.1-3 Adsorption isotherms of water vapor for AB at 303K

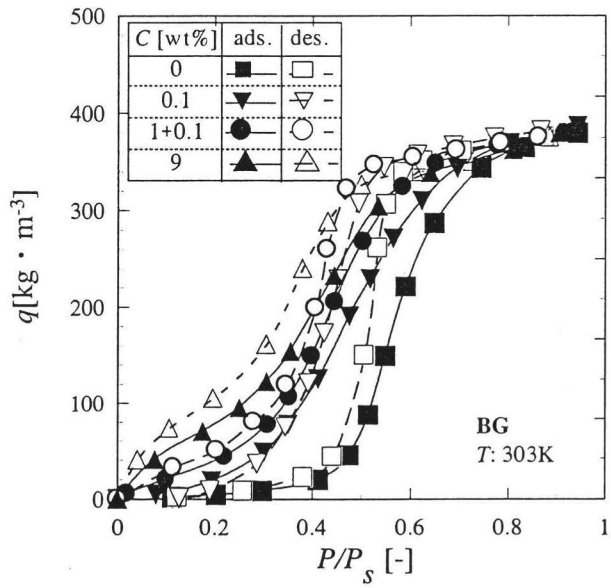


Fig.1-4 Adsorption isotherms of water vapor for BG at 303K

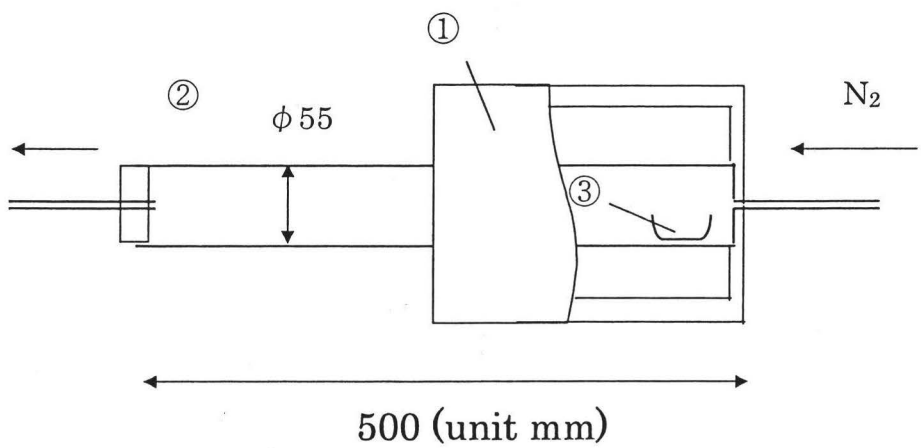


Fig.1-5 Schematic drawing of experimental apparatus

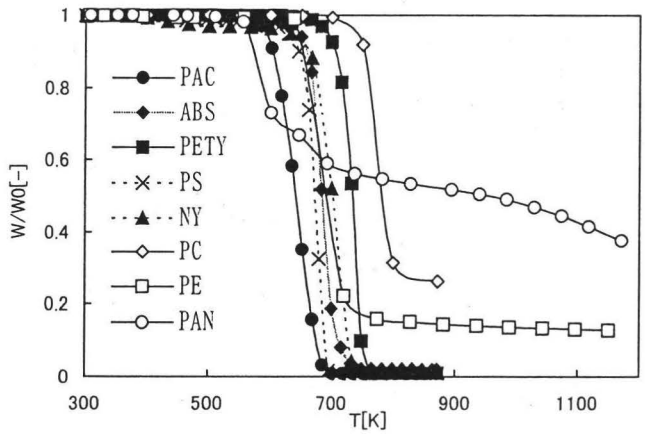


Fig.1-6 Pyrolysis curves of thermoplastics resins

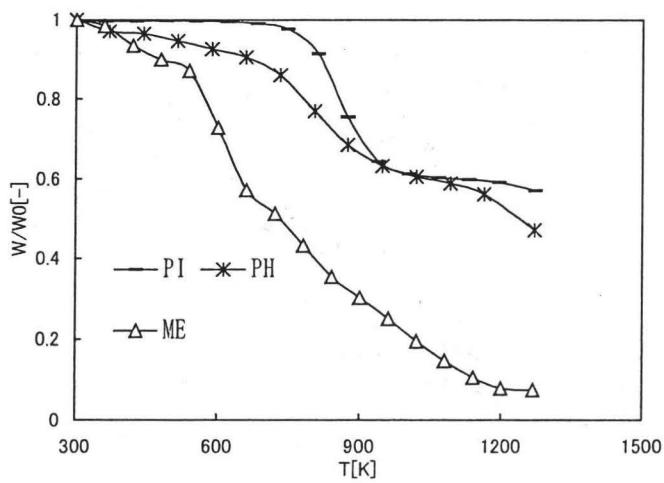


Fig.1-7 Pyrolysis curves of thermosetting resins

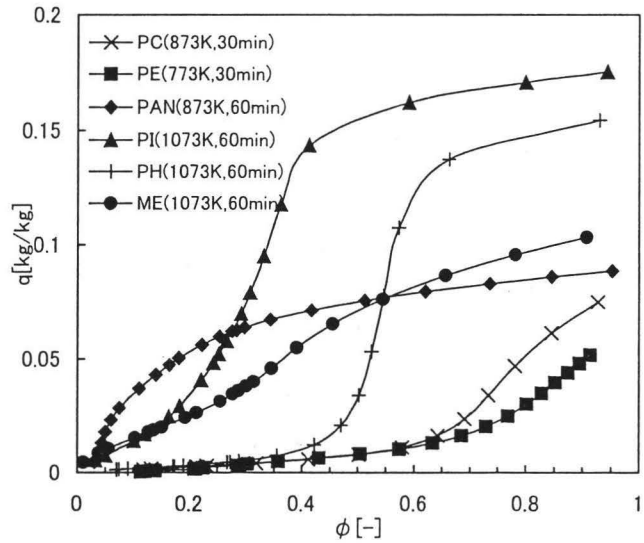


Fig.1-8 Adsorption equilibria of water vapor on carbonized plastics (303K)

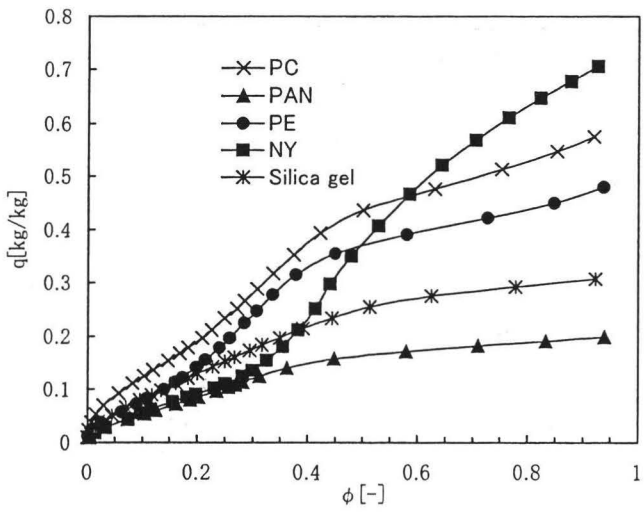


Fig.1-9 Adsorption equilibria of water vapor on activated carbons from thermoplastic resins (303K) (R=3.2、Ta=773K)

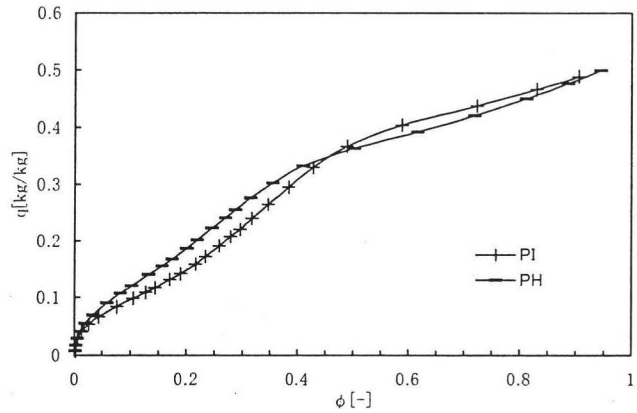


Fig.1-10 Adsorption equilibria of water vapor on activated carbons from thermosetting resins (303K) (R=3.2、Ta=773K)

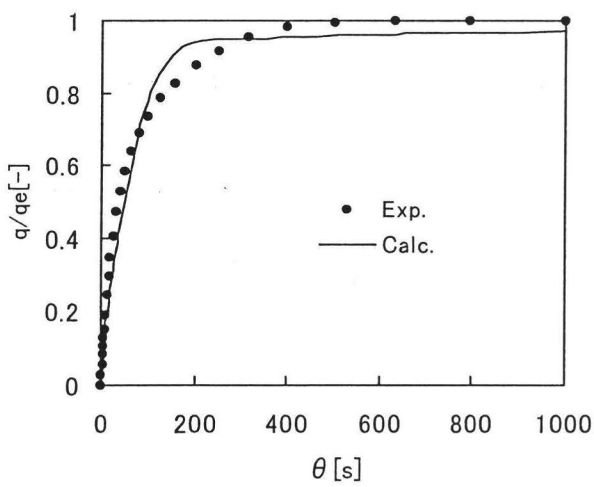


Fig.1-11 Adsorption rate of activated carbon from polyester at 303K(R=3.2、Ta=773K)

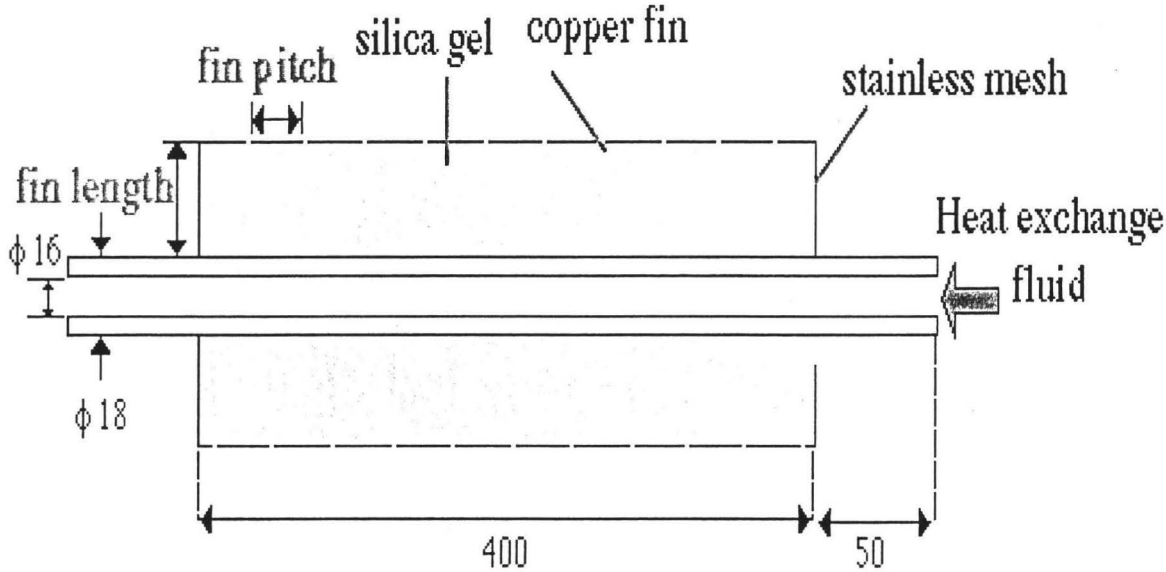


Fig.2-1 Schematic drawing of FST-module

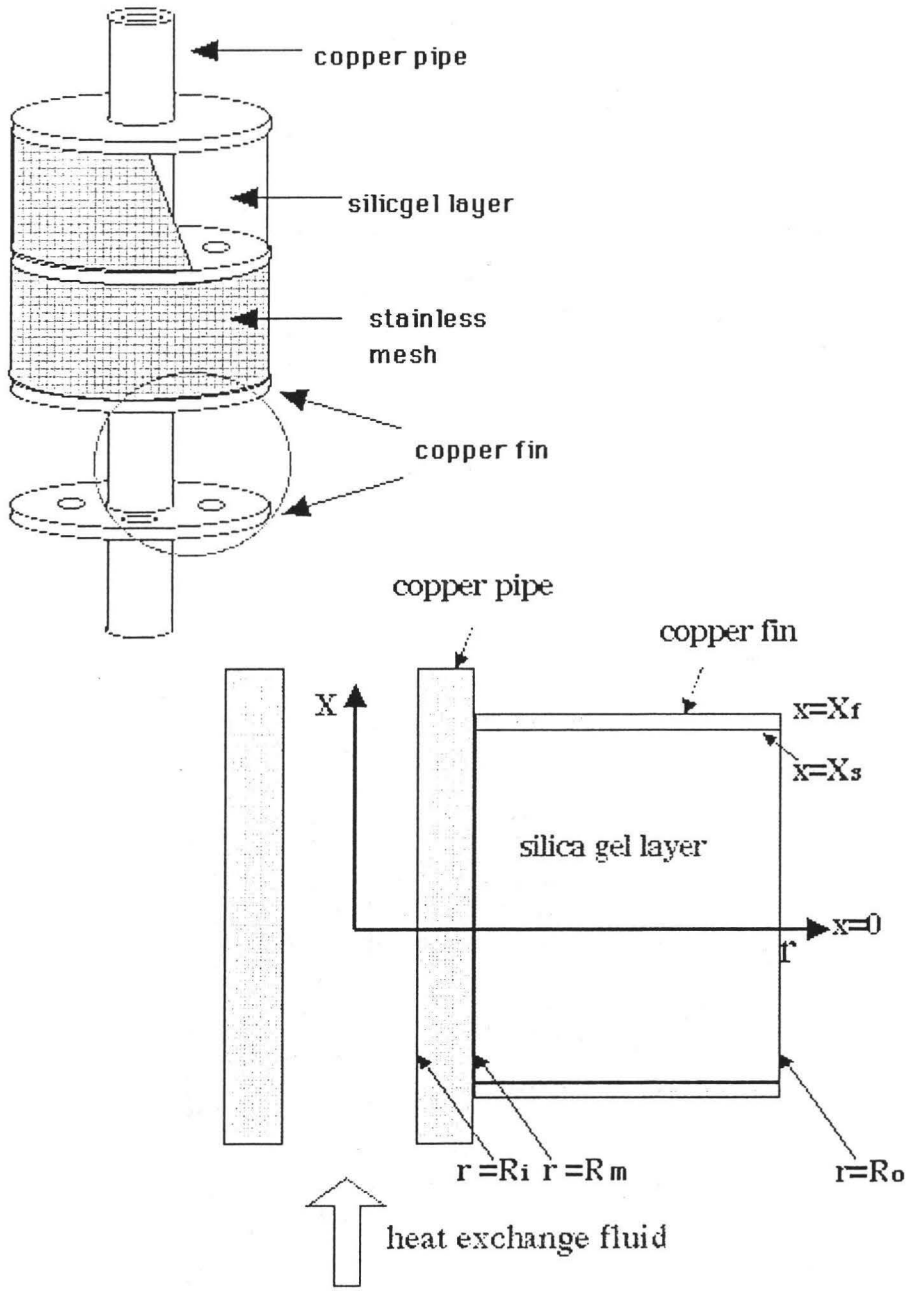


Fig.2-2 Numerical analysis model of the FST-module adsorber

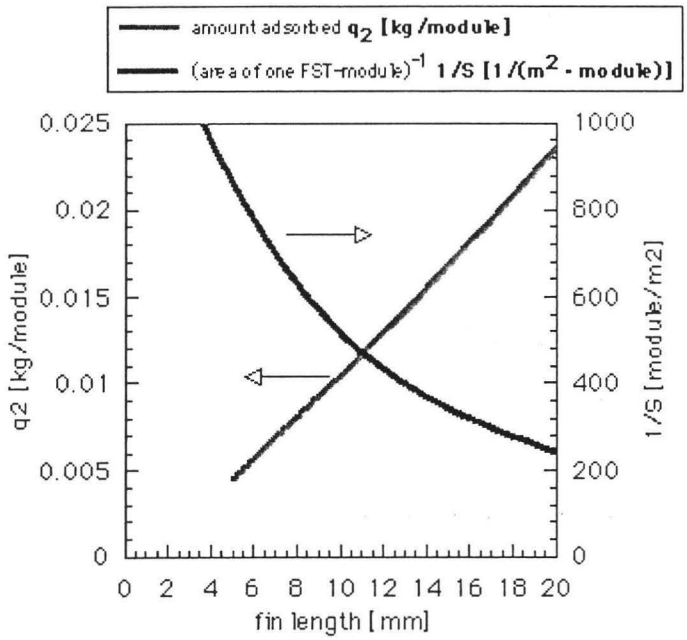


Fig.2-3 Numerical results of amount adsorbed and weight of silica gel on fin length=10mm

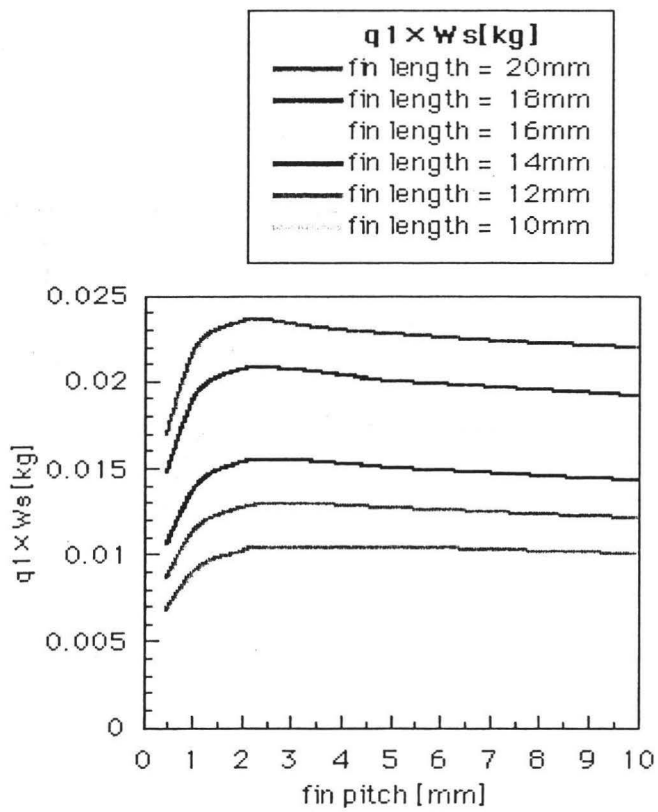


Fig.2-4 Optimum fin pitch

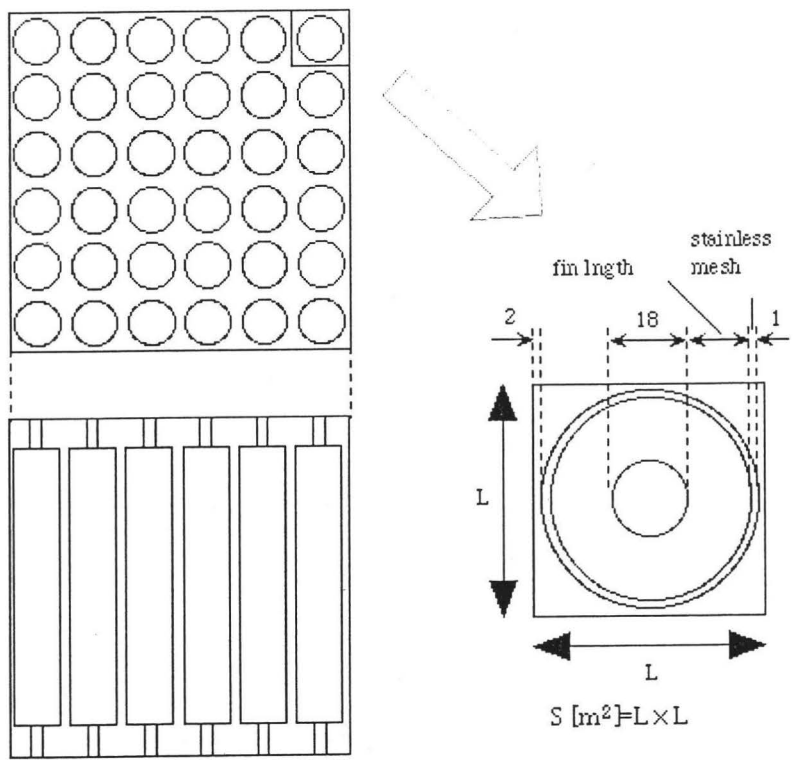


Fig.2-5 Schematic drawing of necessary area for one FST-module

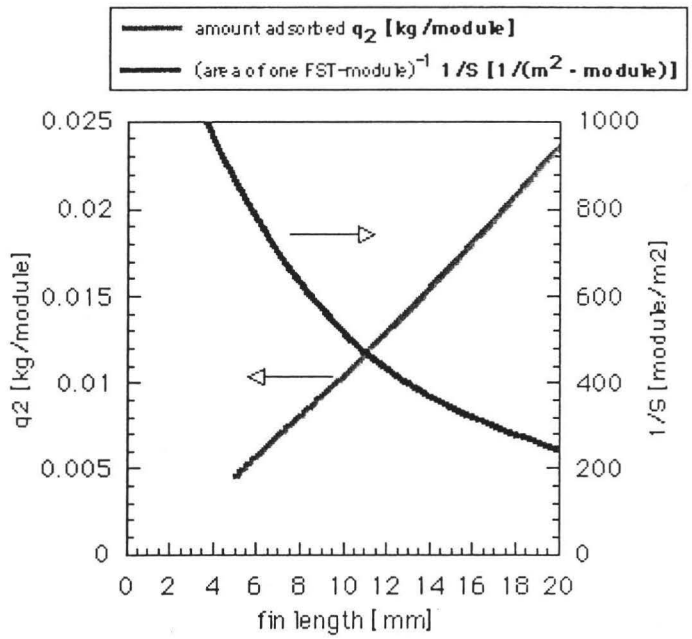


Fig.2-6 Numerical results of amount adsorbed and necessary area for module on fin pitch=10mm

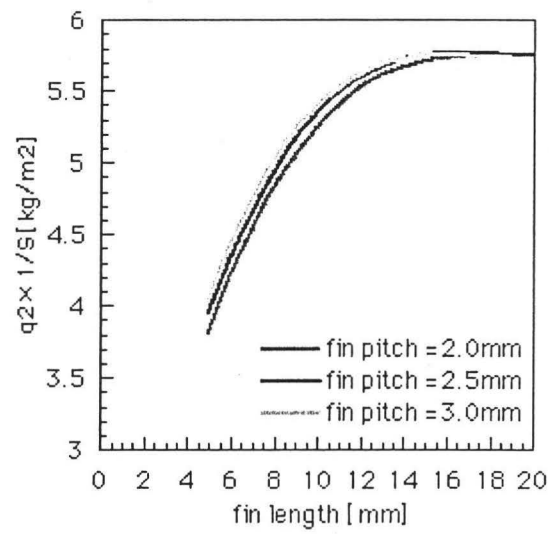


Fig.2-7 Optimum fin length

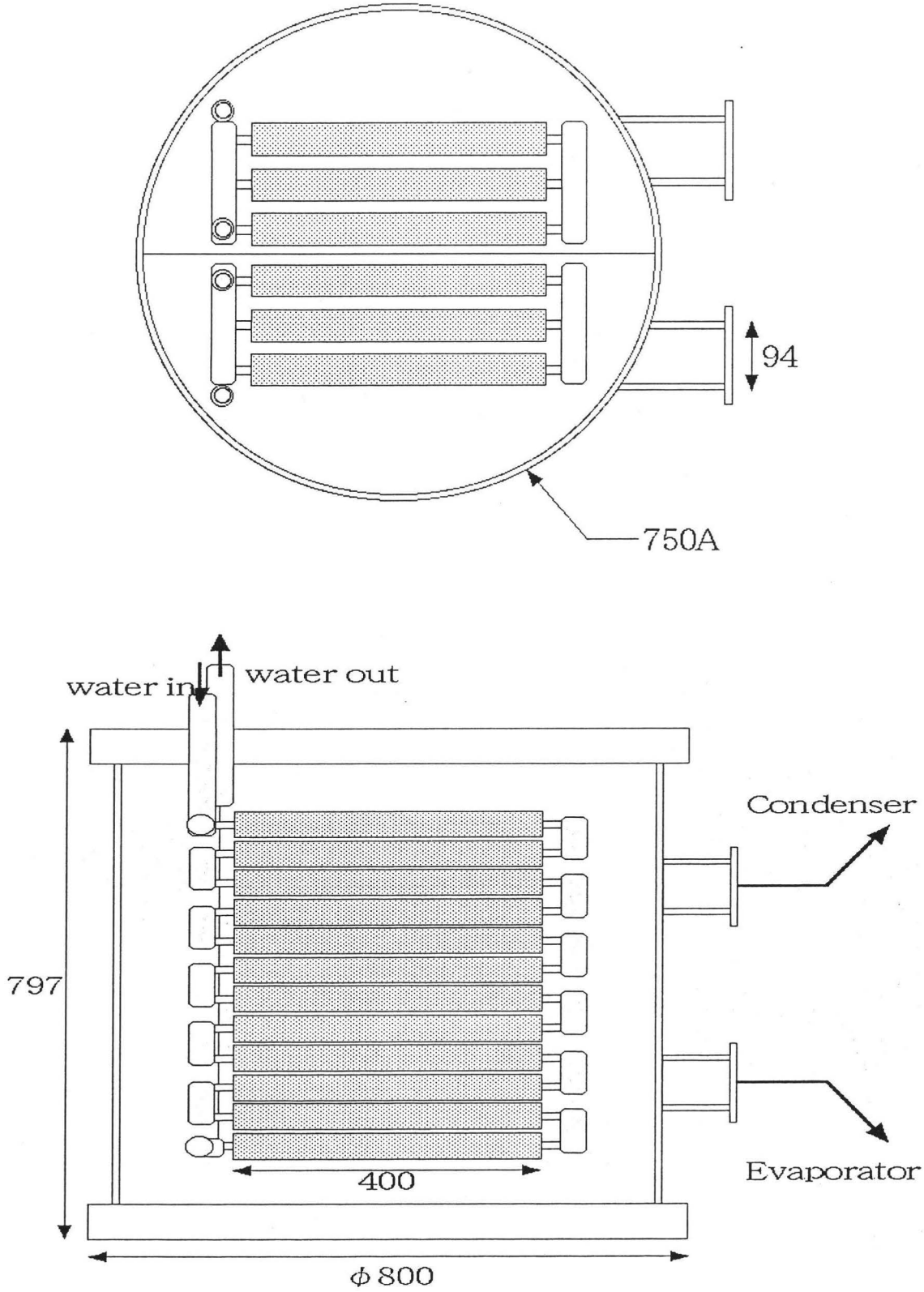
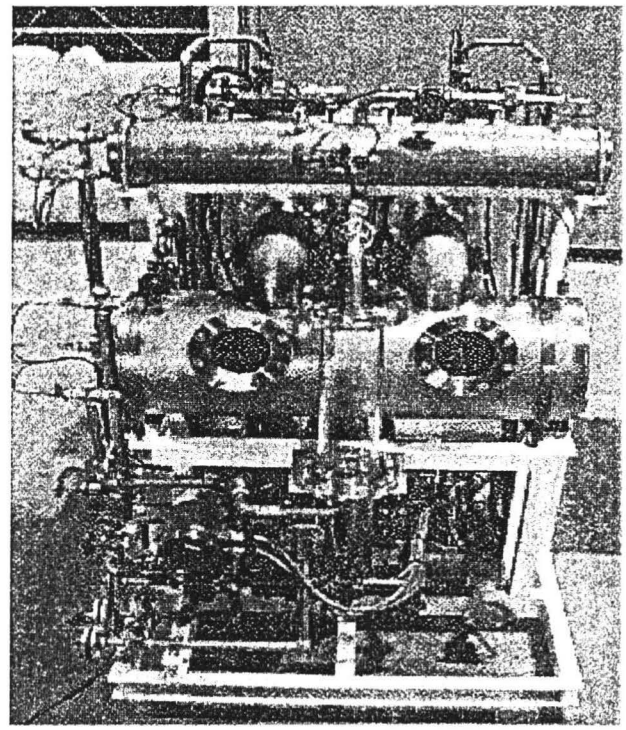


Fig.3-1 Schematic drawing of adsorber



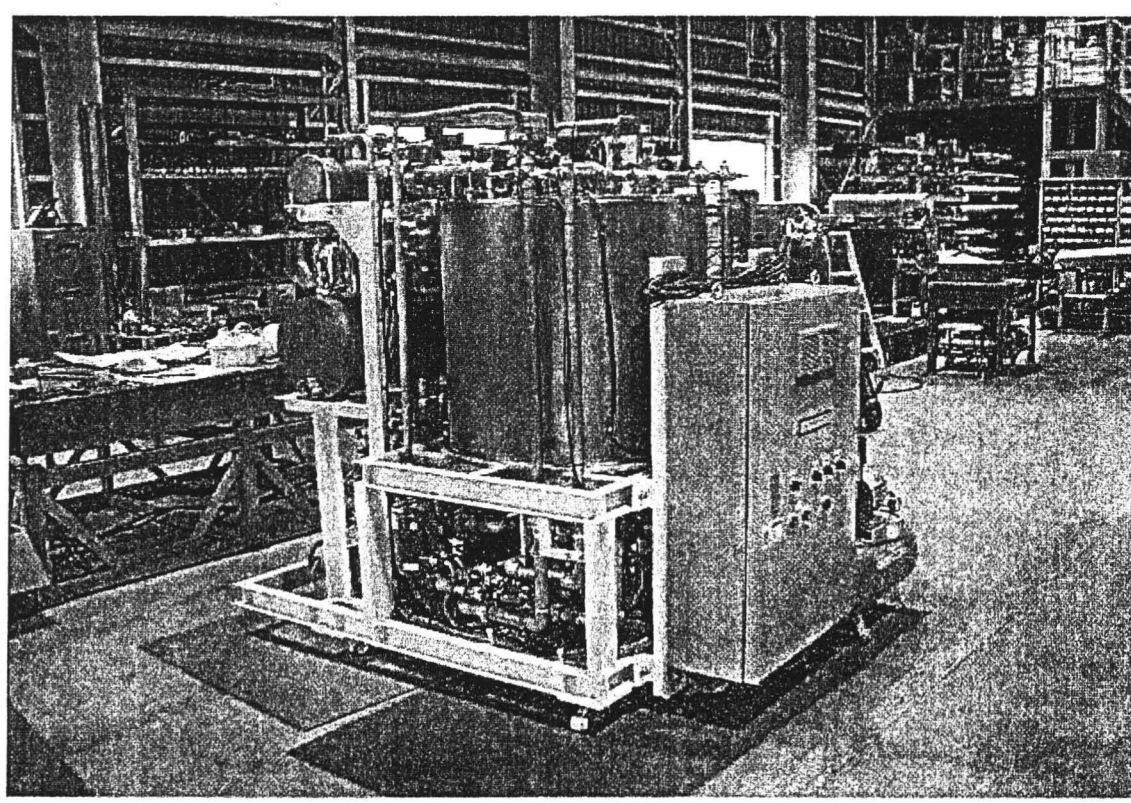


Fig.3-1 Picture of 0.5USRT-Adsorption Heat Pump

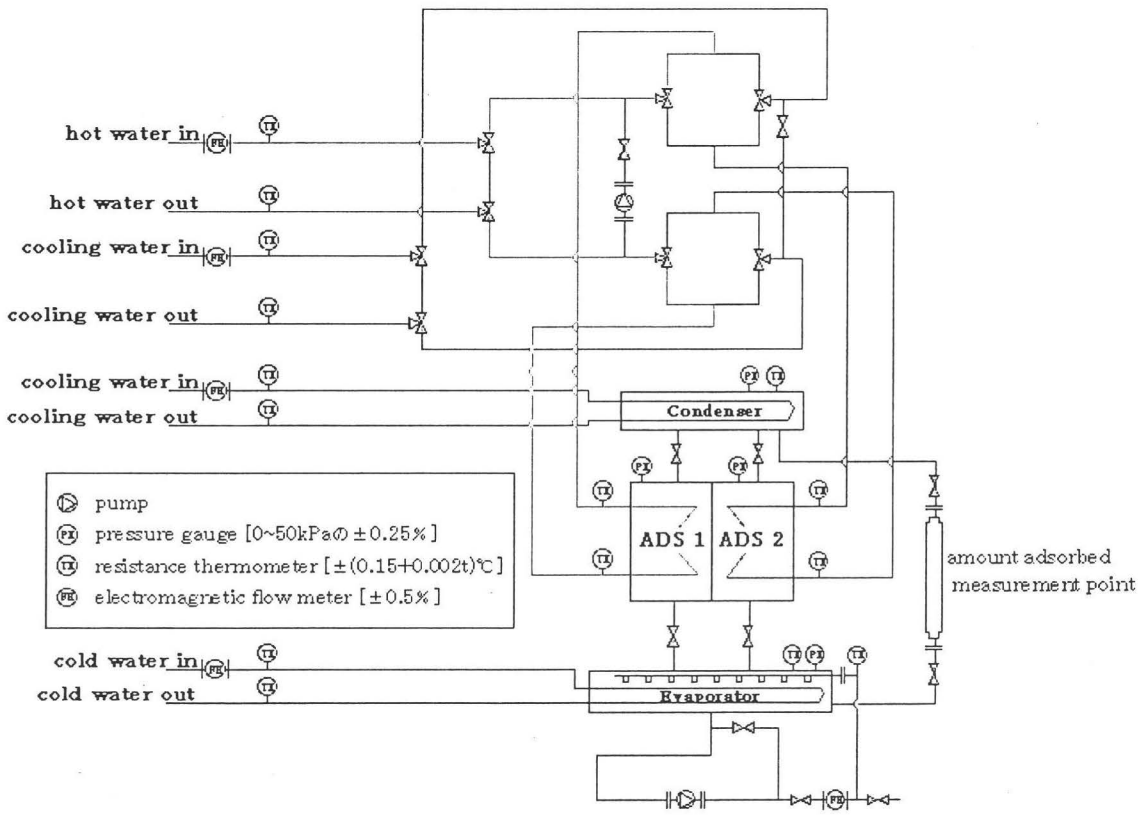


Fig.3-2 Schematic drawing of system flow
of 0.5USRT-Adsorption Heat Pump

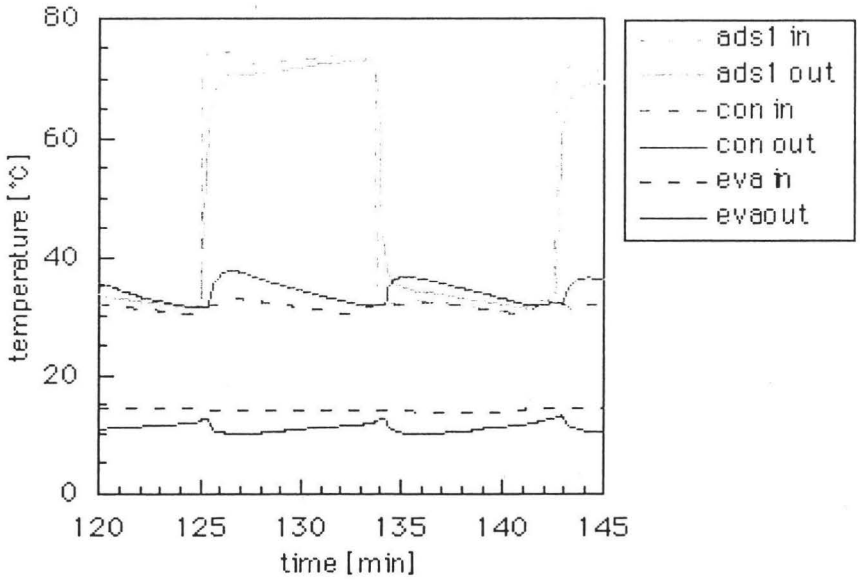


Fig.3-3 Experimental results of temperature profile cycle time

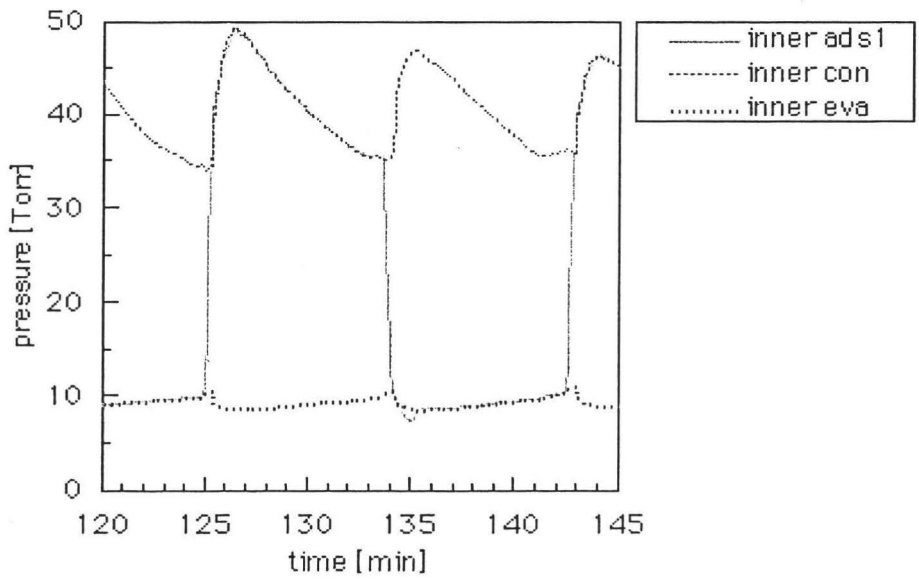


Fig.3-4 Experimental results of pressure profile on cycle time

付録A

基礎式

吸着材層の熱収支式

$$(1-\varepsilon_B)C_S\rho_S\frac{\partial T_S}{\partial\theta}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda_S r\frac{\partial T_S}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_S\frac{\partial T_S}{\partial x}\right)+(1-\varepsilon_B)\rho_S\Delta H\frac{\partial\bar{q}}{\partial\theta} \quad (1)$$

$$C_S=C_S+\bar{q}C_{S,H_2O} \quad (2)$$

伝熱管およびフィンの熱収支式

$$C_C\rho_C\frac{\partial T_C}{\partial\theta}=\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\lambda_C r\frac{\partial T_C}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_C\frac{\partial T_C}{\partial x}\right) \quad (3)$$

熱交換流体の熱収支式

$$C_w\rho_w\frac{\partial T_w}{\partial\theta}+C_w\rho_w u_w\frac{\partial T_w}{\partial x}=\frac{4}{D}h\left[T_{C,r=R_i}-T_C\right]+\lambda_w\left(\frac{\partial^2 T_w}{\partial r^2}\right) \quad (4)$$

吸着材粒子内の物質移動

$$\frac{\partial q}{\partial\theta}=\frac{1}{r_A^2}\frac{\partial}{\partial r_A}\left(D_P r_A^2\frac{\partial q}{\partial r_A}\right) \quad (5)$$

$$\bar{q}=\frac{3}{R_A^3}\int_0^{R_A}r_A^2 q\,dr_A \quad (6)$$

吸着平衡

$$q=\phi(T) \quad (7)$$

初期条件および境界条件

$\theta=0$ ，$0\le r\le R_0$ ，$0\le x\le X_f$ ；

$$T_w=T_C=T_S=T_0 \quad (8)$$

$$R_m\le r\le R_0\ ;\ q=q_{initial} \quad (9)$$

ただし、T_0 ，$q_{initial}$ は吸着過程・脱着過程で異なり、

$$q_{initial}=q_{ads,i} \quad (10)$$

$$q_{initial}=q_{des,i} \quad (11)$$

モジュールの境界条件

$$x=0\ ,\ x=X_f\ ,\ 0\le r\le R_0\ ;\frac{\partial T_w}{\partial x}=\frac{\partial T_C}{\partial x}=\frac{\partial T_S}{\partial x}=0 \qquad (12)$$

$$x=X_S\ ,\ R_m\le r\le R_O\ ;\ \lambda_C\frac{\partial T_C}{\partial x}=\frac{\partial T}{1/h_c}=\lambda_S\frac{\partial T_S}{\partial x} \qquad (13)$$

$$r=R_i\ ,\ 0\le x\le X_f\ ;\ h\left(T_C-T_w\right)=\lambda_C\frac{\partial T_C}{\partial r} \qquad (14)$$

$$r=R_m\ ,\ 0\le x\le X_S\ ;\ \lambda_C\frac{\partial T_C}{\partial r}=\frac{\partial T}{1/h_C}\lambda s\frac{\partial Ts}{\partial r} \qquad (15)$$

$$r=R_O\ ,\ 0\le x\le X_f\ ;\ \frac{\partial T_s}{\partial r}=0 \qquad (16)$$

吸着材粒子の境界条件

$$r_A=0\ ;\ \frac{\partial q}{\partial r_A}=0 \qquad (17)$$

$$r_A=R_A\ ;\ q\ =\ q_s\left(\phi\right) \qquad (18)$$

Nomenclature

q	= amount adsorbed	[kg · kg^{-1}]
P	= pressure	[Torr]
T	= temperature	[K]
ρ	= density	[kg · m^{-3}]
Δ P	= pressure difference	[Torr]
Δ q	= amount adsorbed difference	[kg · kg^{-1}]
ϕ	= relative vapor pressure	[-]
Q	= cold heat output	[W]
λ	= thermal conductivity	[W · m^{-1} · K^{-1}]
W	= weight of adsorbent	[kg]
θ	= time	[min,s]
ε_B	= void fraction of FST-module	[-]
C	= specific heat capacity	[kJ · kg^{-1} · K^{-1}]
r	= distance of r direction of FST-module	[m]
x	= distance of x direction of FST-module	[m]
Δ H	= heat of adsorption	[kJ · kg^{-1}]
$\bar{q}$	= mean amount adsorbed in adsorbent particle	[kg · kg^{-1}]
R_A	= radius of silica gel particle	[m]
R	= radius of FST-module	[m]
X	= length of FST-module	[m]
$1/h_C$	= contact heat resistance	[W · m^{-2} · K^{-1}]
$1/h_W$	= heat resistance between water and pipe	[W · m^{-2} · K^{-1}]
μ	= viscosity of water vapor	[Pa · s]
D_P	= intraparticle diffusivity	[m^{-2} · s^{-1}]
τ	= time of cycle	[s]
F	= flow rate of fluid	[m^3 · s^{-1}]
S	= area of one FST module	[m^3]
Y	= yield	[%]

Subscripts

s	= saturation
H	= high
M	= middle
L	= low
ads.	= adsorber,adsorption
des.	= desorption
W	= water
S	= silica gel, silica gel layer
A	= adsorbent
C	= copper
0,i,initial	= initial condition
f	= fin
ave	= average

1-4 住宅における自然エネルギーハイブリッド発電システムの最的構成と運転法に関する研究

千住 智信 (琉球大学)

1. まえがき

近年，一般家庭における電力需要はますます増加の傾向にある．それにともなって，一般家庭における電気料金の高額化が問題となっている．一方で，化石燃料の枯渇問題や環境に及ぼす影響に社会的な関心が集まっており，その対策も重要な課題である．これらの問題の解決策として，風力発電や太陽光発電などの無尽蔵でクリーンなエネルギーの導入，また夜間電力の有効利用などがあげられる．また最近では住宅用の自然エネルギー発電設備の導入例も多く報告され，各電力会社において負荷平準化のために夜間の電力を昼間の電力より安くし，一般の顧客によるエネルギーの有効利用を進めている．しかし自然エネルギー発電設備は，風力や日射量などの気象条件の変動に伴い出力が変動し，また設備のイニシャルコストが高額でありメンテナンスコストがかかるなどのデメリットがある．

現在までに住宅用自然エネルギー発電設備の最適設備構成について多くの研究結果が報告されている[1-3]．それらの研究は風速，日射量および需要電力の一年間を通して一時間ごとに平均したデータを使用したものがほとんどである．またそれらの研究において，最適な発電容量と蓄電容量の決定法に反復法などが用いられている．しかしその方法では計算時間が大きく，対象となる負荷，風速，日射量および発電設備の定格，価格などのデータが変化した場合に柔軟に対応することが困難である．

そこで本研究では一時間ごとの実際のデータを使用して，住宅用の風力発電設備，太陽光パネルおよび蓄電設備を設置した場合の通年の電力供給シミュレーションを行い，電気料金の観点から住宅用自然エネルギー発電設備の最適な設備設置数を GA[4,5] により決定する手法を提案する．ここでの住宅とは，沖縄電力管内である沖縄本島におけるごく一般的な家庭を想定している．またここでの目的関数は設備コスト，運用コストおよびメンテナンスコストの和である総コストとする．この総コストを最小化することにより，一般家庭における電気料金の低減化が実現できる．本研究の特徴は, メンテナンスコストを考慮していること, 安価な夜間電力を考慮に入れていることなどが挙げられる．

2. 一般家庭における問題設定

本章では本研究で対象とする一般家庭における自然エネルギーを用いたハイブリッド発電システムの問題設定を行う．ここで，風力と日射量のデータは 1993 年の沖縄本島のデータを用いる．一般家庭の需要電力は沖縄本島と一般家庭の 1 年間の需要電力を比較してその比で沖縄本島の需要電力データを縮小した．また，各設備のコストや耐用年数，最大設置数を表 1 に示す．

2.1 問題の定式化

総コスト T_c は設備コスト T_{ic}，運用コスト T_a およびメンテナンスコスト T_{mc} の和となり次式に示す．なお，本研究で用いる各発電設備の変数詳細については表 2 に示す．

$$T_c = T_{ic} + T_a + T_{mc} \tag{1}$$

ただし, 買値を正, 売電を負とする. イニシャルコストの関係を次式に示す.

$$T_{ic} = S_{ic} + W_{ic} + B_{ic} \tag{2}$$

需要電力 P_l, 電力会社と売買した電力量 P_t の関係は次式で示される.

$$P_t = P_l - (S_p + W_p + B_p) \tag{3}$$

ここで,B_p が正の場合は放電, 負の場合は充電とする. 各発電設備の発電出力と設備コストは次のように示される.

(1) 太陽光発電設備

太陽光パネル 1 枚の発電出力は次式で示される.

$$S_p = \eta S_{pe} A_s I \tag{4}$$

設備コストはパネル面積に比例する.

$$S_{ic} = S_c S_n / S_y \tag{5}$$

(2) 風力発電設備

風力発電設備はカットイン風速 W_{in}, カットアウト風速 W_{out} を考慮する必要がある. 風力発電設備はカットイン風速より発電し, 風速が定格風速 W_{rs} で出力が最大となり, カットアウト風速以上になると設備が遮断される. 風力発電設備の出力特性を図 1 に示す.

$$\left.\begin{array}{ll} W_p = 0 & (W_s < W_{in}, W_s > W_{out}) \\ W_p = \xi(W_s - W_{in}) & (W_{in} < W_s < W_{rs}) \\ W_p = W_{mp} & (W_{rs} < W_s < W_{out}) \end{array}\right\} \tag{6}$$

設備コストは設備数に比例する.

$$W_{ic} = W_c W_n / W_y \tag{7}$$

(3) 蓄電設備

蓄電設備の設備コストは (8) 式で表される.

$$B_{ic} = B_{co} B_n / B_y \tag{8}$$

(4) 運用コスト

運用コスト T_a について以下の 3 つのケースが考えられる.

(i) 蓄電池の残存容量と自然エネルギーからの余剰電力 P の和が蓄電池の容量を上回る場合 $(P + B_c > B_{max})$ は, 蓄電池に蓄えることのできない余剰電力 P_t は電力会社に売電する.

$$T_a = C_s P_t t \tag{9}$$

(ii) 需要電力が自然エネルギーからの供給電力と, 蓄電池の残存容量との和を上回る場合は, 蓄電池からはインバータ容量を考慮して放電し, それでも不足する電力量 P_t だけ電力会社から買電する, また, 蓄電池の残存容量が 50%以下の場合も, 自然エネルギーの供給電力だけでは不足する電力量 P_t だけ電力会社から買電する.

$$T_a = C_b P_t t \tag{10}$$

(iii) 自然エネルギーにより発電される電力が需要電力と等しい場合 $(S_p + W_p = P_l)$, 需要電力が自然エネルギーと蓄電池からの供給電力でまかなえる場合, そして, 自然エネルギーからの余剰電力がすべて蓄電池に充電できる場合は電力の売買はない.

(5) メンテナンスコスト

メンテナンスコスト T_{mc} の関係を次式に示す.

$$T_{mc} = M_s + M_w + M_b \tag{11}$$

太陽光発パネル 1 枚当りのメンテナンスコストを次式に示す．また, この関係を図 2 に示す.

$$M_s/S_n = S_{ic}(1-\lambda_s)S_n/S_y \tag{12}$$

従って, 太陽光発電設備のメンテナンスコスト M_s は次式となる．また, この関係を図 3 に示す.

$$M_s = S_{ic}(1-\lambda_s){S_n}^2/S_y \tag{13}$$

同様に風力発電設備, 蓄電設備のメンテナンスコスト M_w,M_b は次式となる.

$$M_w = W_{ic}(1-\lambda_w){W_n}^2/W_y \tag{14}$$

$$M_b = B_{ic}(1-\lambda_b){B_n}^2/B_y \tag{15}$$

以上の (1)〜(5) の内容を考慮して，総コスト T_c が最小となるように自然エネルギーの設備数を GA により決定する.

3. 電力料金

現在沖縄電力では, 負荷平準化を行うために, 一般的な契約である「従量電灯」契約のほかに,「時間帯別電灯」契約がある．ここで,「時間帯別電灯」契約の料金表を表 3 に示す．表 3 から分かるように,「時間帯別電灯」契約は, 夜間電力を昼間電力の約 4 分の 1 の値段で買電することができる．ここでいう夜間電力とは, 23 時から次の日の 7 時までの 8 時間のことをいい, 昼間電力とは, 7 時から 23 時までの 16 時間のことをいう．次に逆潮流について説明する．現在沖縄電力では, 太陽光発電または事業目的でない風力発電設備を設置する家庭において, 余剰電力を買い取っている．この買い取り価格は契約によって異なる．ここで,「時間帯別電灯」契約における買い取り価格を表 3 に示す．ここに示す価格は, 自然エネルギーからの余剰電力が従量電灯の電力であると認められた場合の買い取り価格である.

本研究では,「時間帯別電灯」契約において,「時間帯別電灯」契約の場合の昼間電力の買電電力料金を 1kWh あたり 28 円 00 銭一律としてシミュレーションを行う.

4. オペレーションの方法

これまでに説明した問題の定式化および電気料金を用いて 1 年間を通してシミュレーションを実行する．ここで太陽光発電や風力発電の自然エネルギー発電による運用コストは燃料費を使用しないために考慮しない．本研究では, ハイブリッド発電設備に蓄電池を用いた場合と, ハイブリッド発電設備に蓄電池を用いて夜間電力を蓄電池に蓄電する場合の 2 つのオペレーションを導入する．また, それぞれについて逆潮流を行うか否かも考慮し, 全部で 4 種類のシミュレーションについて実行する.

4.1 ハイブリッド発電設備に蓄電池を導入した場合

本節では, ハイブリッド発電設備に蓄電池を用いた場合のオペレーションについて説明する．オペレーションのフローチャートを図 4 示す．このオペレーションは, 自然エネルギー発電設備からの余剰電力を蓄電池に蓄電し, 自然エネルギー発電設備からの供給電力だけでは不足するときに, 蓄電池から放電して需要電力を補う．このオペレーションの流れを以下に説明する.

STEP1 :自然エネルギーにより発電された電力が需要電力を下回る場合 ($S_p+W_p < P_l$) は STEP2 へ．自然エネルギーにより発電された電力が需要電力を上回る場合 ($S_p+W_p \geq P_l$) は STEP3 へ.

STEP2 :蓄電池の残存容量が50 %以下であればSTEP4へ. 蓄電池の残存容量が50 %以上であればSTEP5へ.

STEP3 :自然エネルギーにより発生した余剰電力 P がインバータ容量 B_i 以下の場合 ($P<B_i$) はSTEP6へ. 自然エネルギーにより発生した余剰電力 P がインバータ容量 B_i 以上の場合 ($P \geq B_i$) はSTEP7へ.

STEP4 :この場合は蓄電池から放電できないので, 自然エネルギーによる供給電力だけでは不足する電力量 P だけ電力会社から買電してSTEP8へ.

STEP5 :自然エネルギーによる供給電力だけでは不足する電力量 P がインバータ容量 B_i 以下の場合 ($P<B_i$) は, 蓄電池から不足分の電力を蓄電池から放電しSTEP8へ. 自然エネルギーによる供給電力だけでは不足する電力量 P がインバータ容量 B_i 以上の場合 ($P \geq B_i$) は, 蓄電池からはインバータ容量 B_i だけ放電し, それでも不足する電力 P_t は電力会社から買電しSTEP8へ.

STEP6 :自然エネルギーにより発生した余剰電力 P をすべて蓄電池に蓄電してSTEP8へ.

STEP7 :インバータ容量 B_i と蓄電池の残存容量 B_c の和が蓄電池の最大容量 B_{max} を下回る場合 ($B_i+B_c<B_{max}$) は蓄電池にインバータ容量 B_i だけ蓄電し, 残りの電力 $P_t(=P-B_i)$ は電力会社に売電してSTEP8へ. インバータ容量 B_i と蓄電池の残存容量 B_c の和が蓄電池の最大容量 B_{max} を上回る場合 ($B_i+B_c \geq B_{max}$) は蓄電池が最大容量 B_{max} になるまで蓄電し, 残りの電力 P_t は電力会社に売電してSTEP8へ.

STEP8 :時間 t を $t=t+1$ して, その t が終了条件を満たしていれば終了. そうでなければSTEP1へ.

4.2 ハイブリッド発電設備に蓄電池を導入し, 夜間電力を蓄電池に蓄電する場合

本節では, ハイブリッド発電設備に蓄電池を用いて夜間電力を蓄電池に蓄電する場合について説明する. オペレーションのフローチャートを図5示す.

このオペレーションは, 昼間時間には, 自然エネルギー発電設備からの余剰電力を蓄電池に蓄電し, 自然エネルギー発電設備からの供給電力だけでは不足するときに, 蓄電池から放電して需要電力を補う. 夜間時間には, 夜間電力を蓄電池に蓄電し, その電力を昼間に放電し使用する. 基本的に夜間は買電のみ行い, 売電は行わない. しかし, 自然エネルギー発電設備からの余剰電力を蓄電池に蓄電しきれない場合においては売電を行う.

ここで, 昼間のオペレーションは, 前節で述べたハイブリッド発電設備に蓄電池を用いた場合のオペレーションと同じなので省略する. 従って, 以下に夜間のオペレーションの流れを以下に説明する.

STEP1 :自然エネルギーにより発電された電力が需要電力を上回る場合 ($S_p+W_p \geq P_l$) はSTEP2へ. 自然エネルギーにより発電された電力が需要電力を下回る場合 ($S_p+W_p < P_l$) はSTEP3へ.

STEP2 :自然エネルギーにより発生した余剰電力がインバータ容量 B_i 以上の場合 ($P \geq B_i$) はSTEP4へ. 自然エネルギーにより発生した余剰電力がインバータ容量以下の場合 ($P<B_i$) はSTEP5へ.

STEP3 :自然エネルギーによる供給電力だけでは不足する電力量 P を電力会社から買電する. それに加えて, インバータ容量と蓄電池の残存容量 B_c の和が蓄電池の最大容量 B_{max} を下回る場合 ($B_i+B_c<B_{max}$) は, さらにインバータ容量分を電力会社から買電し, その買電電力を蓄電池に蓄電してSTEP8へ. 逆に, インバータ容量と蓄電池の残存容量の和が蓄電池の最大容量を上回る場合 ($B_i+B_c \geq B_{max}$) は, 蓄電池が最大容量になる分だけさらに電力会社から買電し, その買電電力を蓄電池に蓄電してSTEP8へ.

STEP4 :インバータ容量と蓄電池の残存容量の和が蓄電池の最大容量を下回る場合 (B_i+B_c<B_{max}) は, 蓄電池にインバータ容量だけ蓄電し, 残りの電力は電力会社に売電して STEP8 へ. インバータ容量と蓄電池の残存容量の和が蓄電池の最大容量を上回る場合 (B_i+B_c≥B_{max}) は蓄電池の最大容量まで蓄電し, 残りの電力は電力会社に売電して STEP8 へ.

STEP5 :自然エネルギーにより発生した余剰電力と蓄電池の残存容量の和が蓄電池の最大容量を下回る場合 (P+B_c<B_{max}) は, STEP6 へ. 自然エネルギーにより発生した余剰電力と蓄電池の残存容量の和が蓄電池の最大容量を上回る場合 (P+B_c≥B_{max}) は STEP7 へ.

STEP6 :インバータ容量と蓄電池の残存容量の和が蓄電池の最大容量を下回る場合 (B_i+B_c<B_{max}) は, 自然エネルギーにより発生した余剰電力をすべて蓄電池に蓄電し, さらに 1 時間の蓄電量がインバータ容量になるように, 電力会社から買電して STEP8 へ. 蓄電池の残存容量の和が蓄電池の最大容量を上回る場合 (B_i+B_c≥B_{max}) は自然エネルギーにより発生した余剰電力をすべて蓄電池に蓄電し, さらに蓄電池が最大容量になる分だけ電力会社から買電し, その買電電力を蓄電池に蓄電して STEP8 へ.

STEP7 :蓄電池が最大容量になるまで蓄電し, 残りの電力は電力会社に売電して STEP8 へ.

STEP8 :時間 t を t=t+1 して, その t が終了条件を満たしていれば終了. そうでなければ STEP1 へ.

5. シミュレーション結果及び考察

5.1 最適設備構成のシミュレーション

本研究のシミュレーションのプログラムの流れを以下にし, フローチャートを図 6 に示す.

STEP1 : 負荷・日射量・風力データをとりこみ, 設備配置の初期設定をランダムに決定する.

STEP2 : 1 年間運用して, 運用コストを計算する.

STEP3 : 1 年間の運用コストに 1 年分のイニシャルコストを加え, 1 年間のトータルコストとする.

STEP4 : GA を用いて設備配置を決める. このときトータルコストが適応度となる.

STEP5 : 終了条件を満たしていれば終了し, このときトータルコストが最小となる個体が最適解となる. そうでなければ STEP2 へ.

5.2 GA による一般家庭の最適設備構成

前節で述べた最適設備構成のシミュレーションを, 種々の条件で実行する. その条件を図 7 に示す. 条件は全部で 4 つである. 「時間帯別電灯」で, 逆潮流を行う場合 (条件 A), 「時間帯別電灯」で, 逆潮流を行わない場合 (条件 B), 「時間帯別電灯」で, 夜間電力を蓄電し逆潮流を行う場合 (条件 C), 「時間帯別電灯」で, 夜間電力を蓄電し逆潮流を行わない場合 (条件 D) の 4 つである.

図 8 は「時間帯別電灯」で, 逆潮流を行う場合の総コストの推移を示している. ここで横軸が世代数, 縦軸が総コストである. 図 9 は設備数の推移を示している. ここで, 横軸が世代数, 縦軸が設置数である. もちろん図 9 は GA における個体でもっとも適応度関数 (総コスト) が小さい個体の設置数を示している. 同様に,「時間帯別電灯」で, 逆潮流を行わない場合の総コストと設備数の推移を図 10, 図 11 に, 「時間帯別電灯」で, 夜間電力を蓄電し逆潮流を行う場合の総コストと設備数の推移を図 12, 図 13 に, 「時間帯別電灯」で, 夜間電力を蓄電し逆潮流を行わない場合の総コストと設備数の推移を図 14, 図 15 に示す.

4 つの条件のシミュレーション結果を表 4 に示す. このシミュレーション結果より, 買

電のみで運用した場合の総コストと提案するGAにより最適化したハイブリッドシステムで運用した場合の総コストを比較すると1年間において,「時間帯別電灯」において逆潮流を行う場合は1,490円,「時間帯別電灯」において逆潮流を行わない場合は1,260円,夜間電力を蓄電し逆潮流を行う場合は2,930円,夜間電力を蓄電し逆潮流を行わない場合は2,840円のコスト削減が可能である.夜間電力を蓄電池に蓄電しない場合には,蓄電池の設置数は0基となっている.それに対して,夜間電力を蓄電池に蓄電する場合には蓄電池が設置され,蓄電池の設置が有効であることが確認できる.

ここで,現在設定している太陽光発電,風力発電設備および蓄電設備の設備コストを85 %,70 %まで下げた場合のシミュレーションを行った.「時間帯別電灯」において逆潮流を行う場合を表5に,「時間帯別電灯」において逆潮流を行わない場合を表6に,「時間帯別電灯」において夜間電力を蓄電し逆潮流を行う場合を表7に,「時間帯別電灯」において夜間電力を蓄電し逆潮流を行わない場合を表8に示す.これらのシミュレーション結果より,「時間帯別電灯」において逆潮流を行う場合は,自然エネルギー発電設備のコストを下げると自然エネルギー発電設備の設置数は増えている.それに対して,「時間帯別電灯」において逆潮流を行わない場合は,自然エネルギー発電設備設備のコストを下げても各発電設備の設置数が抑えられる.この理由として,逆潮流を行わないために余剰電力が発生しても余剰電力を電力会社に売電しないので,設置数を増やしたぶんだけイニシャルコストがかかってしまうためだと考えられる.ここで,蓄電設備の設置数は逆潮流の有無にかかわらず0基とないっている.この理由としては,単に蓄電設備のイニシャルコストが高いことがあげられる.「時間帯別電灯」において,夜間電力を蓄電する条件における逆潮流ありの場合にも同様に,自然エネルギー発電設備と蓄電設備のコストを下げると自然エネルギー発電設備と蓄電設備の設置数は増えている.しかし,自然エネルギー発電設備の両方のコストが85 %未満になると,蓄電設備が設置されないことが多い.これは,自然エネルギー発電設備からの供給電力で需要電力をまかなえているので,蓄電設備の必要がないためだと考えられる.逆に「時間帯別電灯」において,夜間電力を蓄電する条件における逆潮流なしの場合は,自然エネルギー発電設備と蓄電設備のコストが下がるにしたがって蓄電設備の設置数が増えている.この理由として,逆潮流を行わないために,自然エネルギー発電設備から発生する余剰電力を蓄えるのに蓄電池が有効であるためだと考えられる.さらに,逆潮流ありのときに比べて風力発電設備の設置数が少ないのは,電力を多く必要とする昼間に多く発電する太陽光発電設備のほうが風力発電設備にくらべて有効であるためだと考えられる.つまり,逆潮流なしの場合にはなるべく余剰電力を発生させたくないので,電気料金の高い昼間に電力を多く発電する太陽光発電設備が有効であると考えられる.

5.3 最適設備による運用

GAにより決定した最適設備構成で運用した場合の需要電力と供給電力を冬(1月1日(日)〜1月7日(土):7日間)と夏(7月1日(木)〜7月7日(水):7日間)における1週間のオペレーションについてそれぞれ示す.図16から図23の(a),(b),(c),(d),(e)は次の変化をそれぞれ示している.

(a) 需要電力(P_l)と供給電力(P_s)
(b) 設備ごとの供給電力
(c) 電力会社との売買電力量(P_t)
(d) 蓄電池の残存容量
(e) 蓄電池の充放電電力

($B_p > 0$：放電，$B_p < 0$：充電)

図 16, 図 17 は条件 A における 1 月と 7 月のシミュレーション結果を示している．これらより,1 月よりも 7 月の需要電力のほうが高くなっていることが確認できる．図 (a) より，自然エネルギーの供給電力が需要電力を上回るところがある．これは図 (b) に示すように，風速の強い時間に風力発電設備の発電電力が高くなったためである．図 (c) より，自然エネルギーからの供給電力が多いときには電力
会社から買電する電力が少なくなっていることが確認でき，自然エネルギーからの供給電力が需要電力を上回る場合には，余剰電力を電力会社に売電していることが確認できる．ここで売買電力量 P_t は，正が買電，負が売電である．

図 18, 図 19 に条件 B における 1 月と 7 月のシミュレーション結果を示している．図 (a) より，自然エネルギーからの供給電力が需要電力をわずかに上回る場合が存在するが，この場合は逆潮流を行わないために電力会社に売電していない．このことが図 (c) より確認できる．

図 20, 図 22 に条件 C における 1 月と 7 月のシミュレーション結果を示している．図 (a) より，供給電力が需要電力を主に夜間時間に上回っている．これは，昼間時間に比べて安い夜間時間の電力を余分に買電し，蓄電池に蓄電しているためである．また図 (d), 図 (e) より，蓄電池は主に夜間に蓄電し，昼間に放電していることが確認できる．また図 (b), 図 (c) より，自然エネルギーからの供給電力が多いときや蓄電池からの供給があるときには，電力会社から買電する電力が少なくなっていることが確認でる．

図 22, 図 23 に条件 D における 1 月と 7 月のシミュレーション結果を示している．これらも条件 C の場合同様のことが言える．

6. むすび

本研究では GA を適用した住宅用自然エネルギー発電システムの最適設備構成を提案した。提案手法により太陽光発電，風力発電および蓄電池の最適設置数を決定できる．GA により決定した設備構成で運用することで総コストの低減化を実現できる．また，シミュレーションにより総コストの低減化が可能であることを確認した．さらに条件やデータを変更した場合でも GA は柔軟に対応できることが大きなメリットである．したがって，本論文の考えは他の設備構成最適化問題へも応用可能である．また，本研究では各オペレーション条件を固定しているが，将来を予測したオペレーションの適応的最適化 (例えば，蓄電地の充放電率を可変とする) が必要であると考える．

最後に，本研究を進めるにあたり多大なる御協力頂いた財団法人トステム建材産業振興財団の方々に深く感謝いたします．

文 献

[1] Bogdon S. Borowy, Ziyad M. Salmeh ：“Methodology for Optimally Sizing the Combination of Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System”，IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, pp. 367-375, 1996.

[2] Raid Chadid, Saifur Rahman ：“Unit Sizing and Control of Hybrid Wind-Solar Power System”，IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, pp. 79-84, 1997.

[3] W. K. Kellogg, M. H. Nehrir, G. Venkataramanan,and V. Gerez ：“Generation Unit Sizing And Cost Analysis for Stand-Alone Wind,Photovoltaic, and Hybrid Wind/PV System”，IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, pp. 70-75, 1998.

[4] 荻原 将文：「ニューロ・ファジィー・遺伝アルゴリズム」産業図書1994

[5] 三宮 信夫，喜多 一，玉置 久，岩本 貴司：「遺伝アルゴリズムと最適化」，朝倉書店1998

表 1 設備データ
Table 1. Equipment data.

太陽光発電設備 (US-64)	
日射量 1MJ/m^2 当りの発電出力	130W/m^2
設備の耐用年数	25 年
太陽エネルギー変換効率	16 %
設備の最大設置数	31 枚
設備の信頼度	0.95
設備のコスト	65,000 円/m^2
風力発電設備 (AIR403 Land)	
カットイン風速	2.5m
カットアウト風速	20m
定格風速	12.5m
最大出力	550W
設備の耐用年数	13 年
設備の最大設置数	15 基
設備の信頼度	0.9
設備のコスト (1 基あたり)	120,000 円
蓄電設備 (GPL-31)	
最大容量	1,200W
設備の耐用年数	10 年
設備の最大設置数	7 基
設備の信頼度	0.98
設備のコスト (1 台あたり)	55,000 円
運用コスト	
(時間帯別契約)	
電力の買価 (昼間電力)	28.00 円/kWh
電力の買価 (夜間電力)	6.70 円/kWh
電力の売価	27.84 円/kWh
買電力のみのコスト	84,000 円/年

表 2 設備パラメータ
Table 2. Equipment parameter.

太陽光発電設備

S_p:太陽光発電の発電出力, S_y:設備の耐用年数
S_{ic}:太陽光発電設備のイニシャルコスト,
S_{pe}:日射量 1MJ/m^2 当りに対する 1m^2 当たりの出力特性
η:太陽エネルギーの変換効率, I:日射量,
A_s:パネルの面積 (出力発電量), S_n:パネルの枚数,
S_c:1m^2 あたりのコスト, λ_s:設備の信頼度

風力発電設備

W_p:風力発電の発電出力, W_y:設備の耐用年数
W_{ic}:風力発電設備のイニシャルコスト,
W_{in}:カットイン風速, W_{out}:カットアウト風速,
W_{mp}:風力発電機の最大出力, W_{rs}:定格風速,
W_n:風力発電設備の数, ξ:出力係数,
W_c:風力発電 1 機あたりのコスト, λ_w:設備の信頼度

蓄電設備

B_p:蓄電池の供給電力, B_y:設備の耐用年数,
B_{ic}:蓄電設備のイニシャルコスト, B_{max}:蓄電設備の最大容量,
B_n:蓄電設備の数, B_c:蓄電設備の残存容量,
B_{co}:蓄電設備 1 基のコスト, λ_b:設備の信頼度

運用コストの変数

T_c:総コスト, T_{ic}:設備コスト, T_a:運用コスト
C_s:電力 1kWh あたりの売価, C_b:電力 1kWh あたりの買価,
P_t:電力会社から供給される単位時間当たりの電力量
P_l:単位時間あたりの需要電力, t:電力会社からの供給時間

表 3 時間帯別電灯契約の料金表
Table 3. Table of a price of electric charges.

料金の種類	電力量	単位	料金単価
最低料金	基本料金	1 契約	780 円 00 銭
買電料金 (昼間電力)	最初の 90kWh まで	1kWh	21 円 21 銭
	90kWh をこえ 230kWh まで	1kWh	27 円 84 銭
	230kWh をこえる部分	1kWh	30 円 26 銭
買電料金 (夜間電力)	夜間電力の時間帯の使用電力すべて	1kWh	6 円 70 銭
売電料金	使用電力すべて	1kWh	27 円 84 銭

表 4 シミュレーション結果
Table 4. Simulation results.

シミューションの条件	条件 A	条件 B	条件 C	条件 D
太陽光発電設備	2m^2	2m^2	2m^2	2m^2
風力発電設備	2 基	1 基	1 基	1 基
蓄電設備	0 基	0 基	1 基	1 基
総コスト	82,510 円	82,740 円	81,070 円	81,160 円
買電のみのコスト	84,000 円	85,000 円	84,000 円	84,000 円
買電のみのコストと総コストの差	1,490 円	1,260 円	2,930 円	2,840 円

表 5 シミュレーション結果 (条件 A)
Table 5. Simulation result(Condition A).

コストの割合 (太陽光:風力:蓄電池)	太陽光 発電設備	風力 発電設備	蓄電設備	総コスト
100%:100%:100%	$2m^2$	2 基	0 基	82,510 円
100%:100%: 85%	$2m^2$	2 基	0 基	82,510 円
100%:100%: 70%	$2m^2$	2 基	0 基	82,510 円
100%: 85%:100%	$2m^2$	3 基	0 基	78,360 円
100%: 85%: 85%	$2m^2$	3 基	0 基	78,360 円
100%: 85%: 70%	$2m^2$	3 基	0 基	78,360 円
100%: 70%:100%	$2m^2$	5 基	0 基	70,380 円
100%: 70%: 85%	$2m^2$	5 基	0 基	70,380 円
100%: 70%: 70%	$2m^2$	5 基	0 基	70,380 円
85%:100%:100%	$4m^2$	2 基	0 基	81,240 円
85%:100%: 85%	$4m^2$	2 基	0 基	81,240 円
85%:100%: 70%	$4m^2$	2 基	0 基	81,240 円
85%: 85%:100%	$4m^2$	3 基	0 基	77,090 円
85%: 85%: 85%	$4m^2$	3 基	0 基	77,090 円
85%: 85%: 70%	$4m^2$	3 基	0 基	77,090 円
85%: 70%:100%	$4m^2$	5 基	0 基	69,110 円
85%: 70%: 85%	$4m^2$	5 基	0 基	69,110 円
85%: 70%: 70%	$4m^2$	5 基	0 基	69,110 円
70%:100%:100%	$7m^2$	2 基	0 基	78,590 円
70%:100%: 85%	$7m^2$	2 基	0 基	78,590 円
70%:100%: 70%	$7m^2$	2 基	0 基	78,590 円
70%: 85%:100%	$7m^2$	3 基	0 基	74,450 円
70%: 85%: 85%	$7m^2$	3 基	0 基	74,450 円
70%: 85%: 70%	$7m^2$	3 基	0 基	74,450 円
70%: 70%:100%	$7m^2$	5 基	0 基	66,470 円
70%: 70%: 85%	$7m^2$	5 基	0 基	66,470 円
70%: 70%: 70%	$7m^2$	5 基	0 基	66,470 円

表 6 シミュレーション結果 (条件 B)
Table 6. Simulation result(Condition B).

コストの割合 (太陽光:風力:蓄電池)	太陽光 発電設備	風力 発電設備	蓄電設備	総コスト
100%:100%:100%	$2m^2$	1 基	0 基	82,740 円
100%:100%: 85%	$2m^2$	1 基	0 基	82,740 円
100%:100%: 70%	$2m^2$	1 基	0 基	82,740 円
100%: 85%:100%	$2m^2$	1 基	0 基	81,220 円
100%: 85%: 85%	$2m^2$	1 基	0 基	81,220 円
100%: 85%: 70%	$2m^2$	1 基	0 基	81,220 円
100%: 70%:100%	$1m^2$	2 基	0 基	79,230 円
100%: 70%: 85%	$1m^2$	2 基	0 基	79,230 円
100%: 70%: 70%	$1m^2$	2 基	0 基	79,230 円
85%:100%:100%	$3m^2$	1 基	0 基	81,630 円
85%:100%: 85%	$3m^2$	1 基	0 基	81,630 円
85%:100%: 70%	$3m^2$	1 基	0 基	81,630 円
85%: 85%:100%	$3m^2$	1 基	0 基	80,110 円
85%: 85%: 85%	$3m^2$	1 基	0 基	80,110 円
85%: 85%: 70%	$3m^2$	1 基	0 基	80,110 円
85%: 70%:100%	$2m^2$	2 基	0 基	78,570 円
85%: 70%: 85%	$2m^2$	2 基	0 基	78,570 円
85%: 70%: 70%	$2m^2$	2 基	0 基	78,570 円
70%:100%:100%	$5m^2$	1 基	0 基	79,500 円
70%:100%: 85%	$5m^2$	1 基	0 基	79,500 円
70%:100%: 70%	$5m^2$	1 基	0 基	79,500 円
70%: 85%:100%	$5m^2$	1 基	0 基	77,980 円
70%: 85%: 85%	$5m^2$	1 基	0 基	77,980 円
70%: 85%: 70%	$5m^2$	1 基	0 基	77,980 円
70%: 70%:100%	$5m^2$	1 基	0 基	76,450 円
70%: 70%: 85%	$5m^2$	1 基	0 基	76,450 円
70%: 70%: 70%	$5m^2$	1 基	0 基	76,450 円

表 7 シミュレーション結果 (条件 C)
Table 7. Simulation result(Condition C).

コストの割合 (太陽光:風力:蓄電池)	太陽光 発電設備	風力 発電設備	蓄電設備	総コスト
100%:100%:100%	$2m^2$	1 基	1 基	81,070 円
100%:100%: 85%	$1m^2$	1 基	4 基	79,780 円
100%:100%: 70%	$1m^2$	0 基	7 基	74,630 円
100%: 85%:100%	$2m^2$	3 基	0 基	78,360 円
100%: 85%: 85%	$1m^2$	1 基	4 基	78,280 円
100%: 85%: 70%	$1m^2$	1 基	6 基	73,320 円
100%: 70%:100%	$2m^2$	5 基	0 基	70,380 円
100%: 70%: 85%	$2m^2$	5 基	0 基	70,380 円
100%: 70%: 70%	$2m^2$	5 基	0 基	70,380 円
85%:100%:100%	$3m^2$	1 基	1 基	80,070 円
85%:100%: 85%	$3m^2$	1 基	4 基	78,780 円
85%:100%: 70%	$4m^2$	0 基	7 基	73,510 円
85%: 85%:100%	$4m^2$	3 基	0 基	77,090 円
85%: 85%: 85%	$4m^2$	3 基	0 基	77,090 円
85%: 85%: 70%	$3m^2$	1 基	6 基	72,860 円
85%: 70%:100%	$4m^2$	5 基	0 基	69,110 円
85%: 70%: 85%	$4m^2$	5 基	0 基	69,110 円
85%: 70%: 70%	$4m^2$	5 基	0 基	79,110 円
70%:100%:100%	$5m^2$	1 基	1 基	78,230 円
70%:100%: 85%	$6m^2$	1 基	5 基	72,860 円
70%:100%: 70%	$5m^2$	0 基	7 基	71,530 円
70%: 85%:100%	$7m^2$	3 基	0 基	74,450 円
70%: 85%: 85%	$7m^2$	3 基	0 基	74,450 円
70%: 85%: 70%	$5m^2$	1 基	5 基	71,250 円
70%: 70%:100%	$7m^2$	5 基	0 基	66,470 円
70%: 70%: 85%	$7m^2$	5 基	0 基	66,470 円
70%: 70%: 70%	$7m^2$	5 基	0 基	66,470 円

表 8 シミュレーション結果 (条件 D)
Table 8. Simulation result(Condition D).

コストの割合 (太陽光:風力:蓄電池)	太陽光 発電設備	風力 発電設備	蓄電設備	総コスト
100%:100%:100%	$2m^2$	1 基	1 基	81,160 円
100%:100%: 85%	$1m^2$	1 基	4 基	79,860 円
100%:100%: 70%	$1m^2$	0 基	7 基	74,570 円
100%: 85%:100%	$2m^2$	1 基	1 基	79,640 円
100%: 85%: 85%	$1m^2$	1 基	4 基	78,340 円
100%: 85%: 70%	$1m^2$	1 基	6 基	73,450 円
100%: 70%:100%	$1m^2$	2 基	1 基	77,480 円
100%: 70%: 85%	$1m^2$	2 基	2 基	76,600 円
100%: 70%: 70%	$1m^2$	1 基	6 基	71,900 円
85%:100%:100%	$3m^2$	1 基	1 基	80,110 円
85%:100%: 85%	$3m^2$	1 基	4 基	78,790 円
85%:100%: 70%	$4m^2$	0 基	7 基	73,470 円
85%: 85%:100%	$3m^2$	1 基	1 基	78,580 円
85%: 85%: 85%	$3m^2$	1 基	4 基	77,270 円
85%: 85%: 70%	$3m^2$	1 基	6 基	72,890 円
85%: 70%:100%	$3m^2$	2 基	1 基	76,790 円
85%: 70%: 85%	$3m^2$	1 基	4 基	75,750 円
85%: 70%: 70%	$3m^2$	1 基	6 基	71,360 円
70%:100%:100%	$6m^2$	1 基	1 基	78,020 円
70%:100%: 85%	$6m^2$	1 基	4 基	76,790 円
70%:100%: 70%	$5m^2$	0 基	7 基	71,470 円
70%: 85%:100%	$6m^2$	1 基	1 基	76,500 円
70%: 85%: 85%	$6m^2$	1 基	4 基	75,050 円
70%: 85%: 70%	$5m^2$	1 基	5 基	71,100 円
70%: 70%:100%	$6m^2$	1 基	1 基	74,970 円
70%: 70%: 85%	$6m^2$	1 基	4 基	73,520 円
70%: 70%: 70%	$5m^2$	1 基	5 基	69,580 円

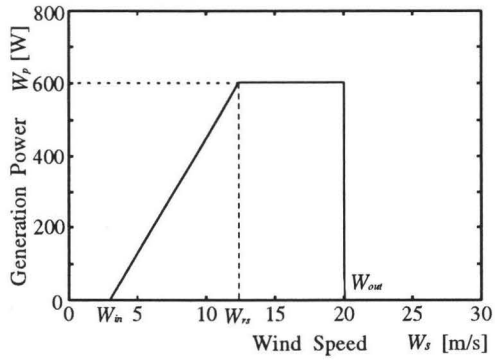


図 1 風力発電設備の出力特性
Fig. 1. Characteristic of output power of wind generator.

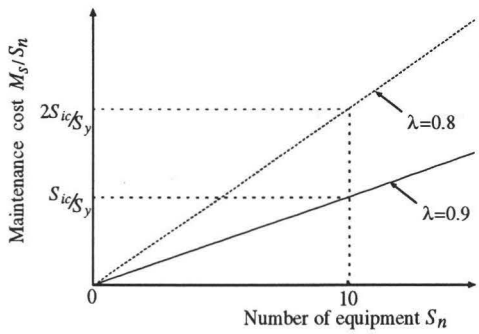


図 2 設備 1 基あたりのメンテナンスコスト
Fig. 2. Maintenance cost of equipment.

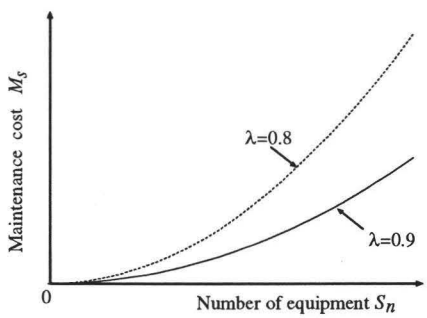


図 3 設備のメンテナンスコスト
Fig. 3. Maintenance cost of equipment.

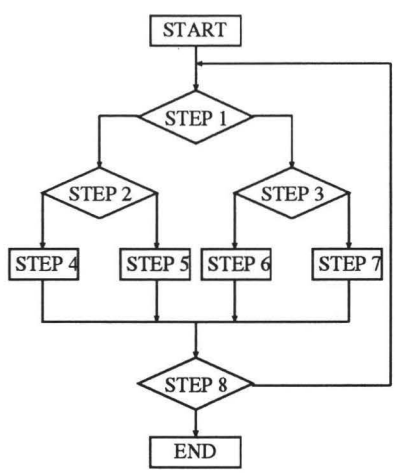


図 4 昼間のオペレーションのフローチャート
Fig. 4. Flow chart in daytime.

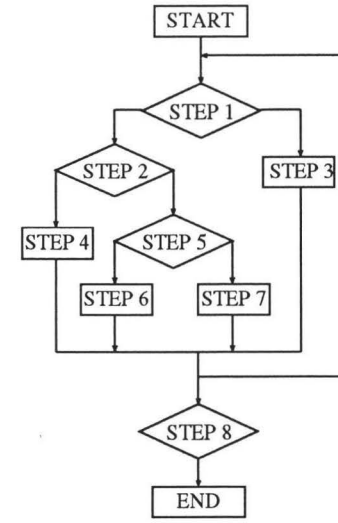


図 5 夜間のオペレーションのフローチャート
Fig. 5. Flow chart in nighttime.

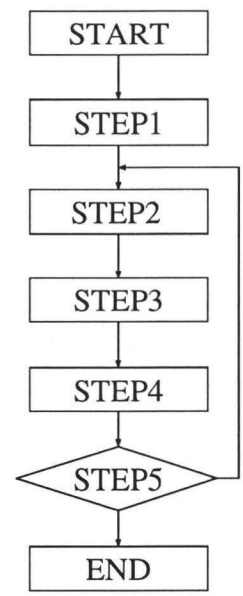


図 6 運用シミュレーションのフローチャート
Fig. 6. Operation flow chart.

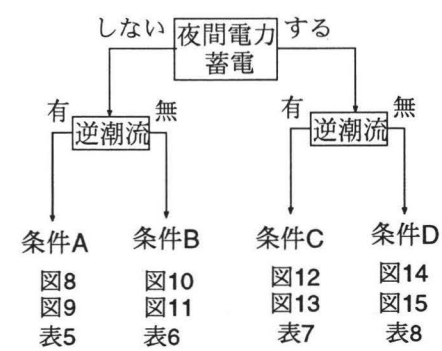


図 7 シミュレーション条件
Fig. 7. Simulation condition.

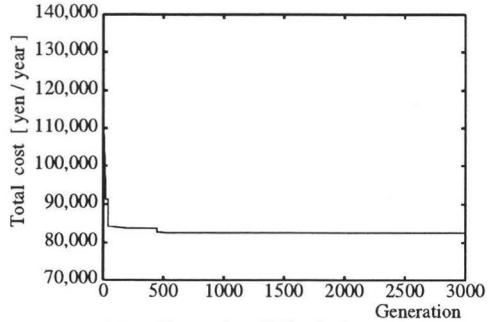


図 8 総コストの推移 (条件 A)
Fig. 8. Total cost (Condition A).

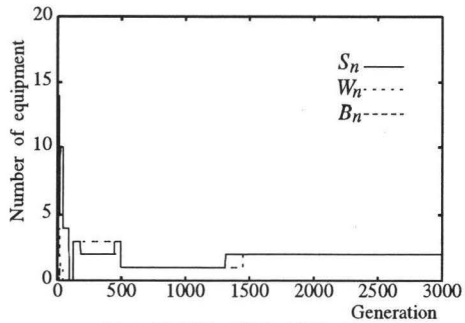


図 9 設備数の推移 (条件 A)
Fig. 9. Optimal number of facility (Condition A).

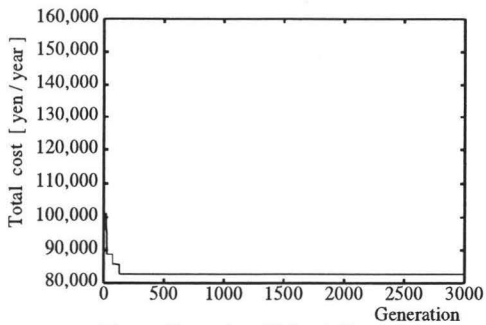


図 10 総コストの推移 (条件 B)
Fig. 10. Total cost (Condition B).

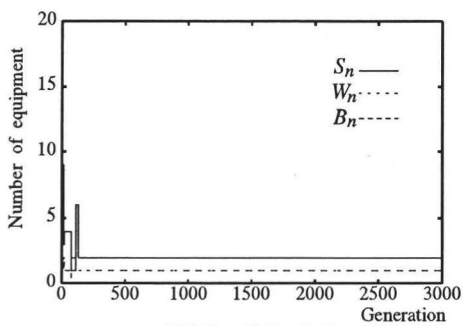


図 11 設備数の推移 (条件 B)
Fig. 11. Optimal number of facility (Condition B).

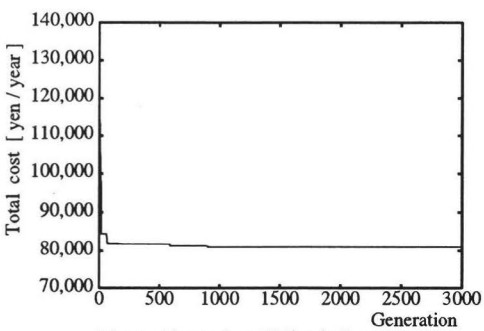


図 12 総コストの推移 (条件 C)
Fig. 12. Total cost (Condition C).

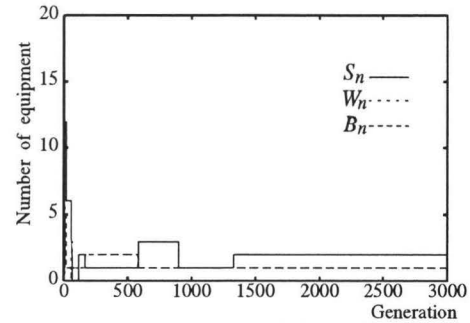


図 13 設備数の推移 (条件 C)
Fig. 13. Optimal number of facility (Condition C).

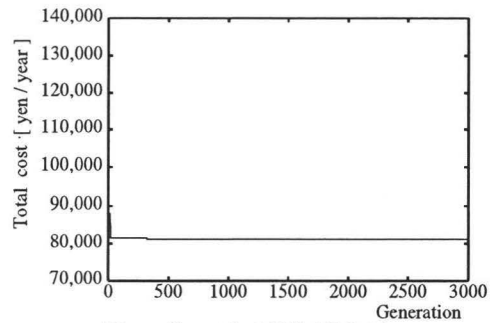


図 14 総コストの推移 (条件 D)
Fig. 14. Total cost (Condition D).

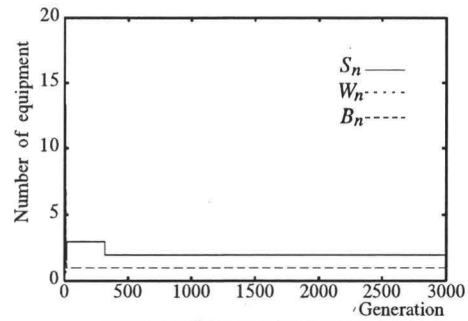
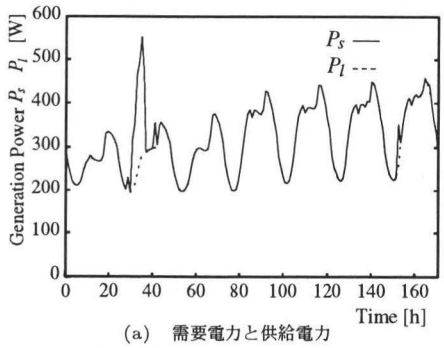
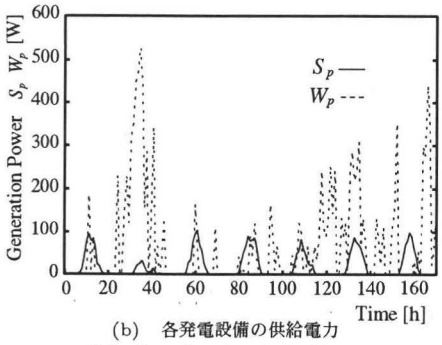


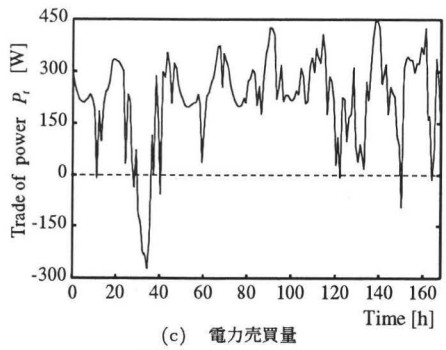
図 15 設備数の推移 (条件 D)
Fig. 15. Optimal number of facility (Condition D).



(a) 需要電力と供給電力
(a) Demand and Supply.

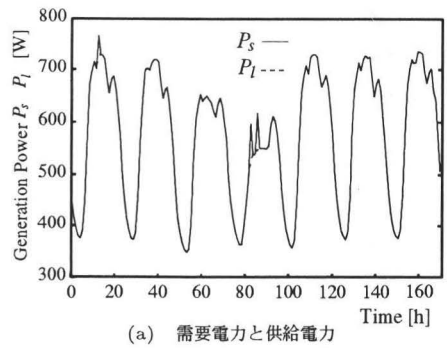


(b) 各発電設備の供給電力
(b) Supply of each facility.

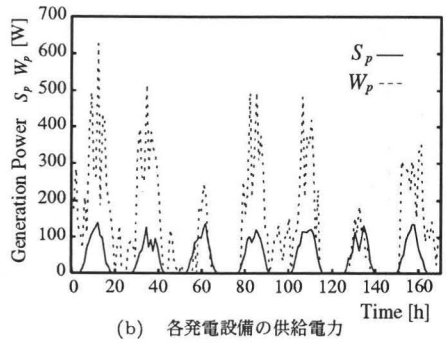


(c) 電力売買量
(c) Trade power.

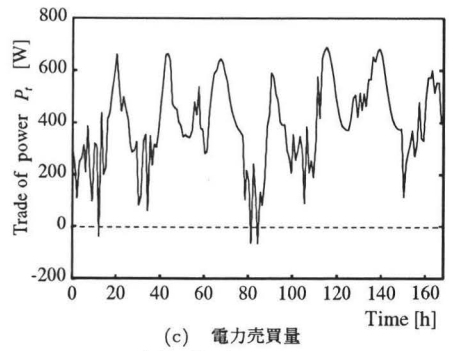
図 16 条件 A における 1 月のオペレーション
Fig. 16. Operation in Condition A in Jan.1993.



(a) 需要電力と供給電力
(a) Demand and Supply.

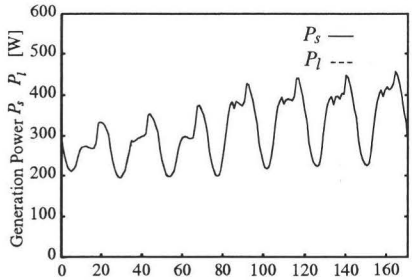


(b) 各発電設備の供給電力
(b) Supply of each facility.



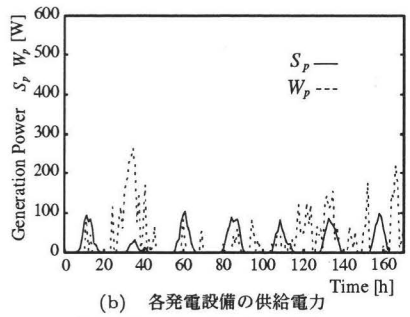
(c) 電力売買量
(c) Trade power.

図 17 条件 A における 7 月のオペレーション
Fig. 17. Operation in Condition A in Jul.1993.



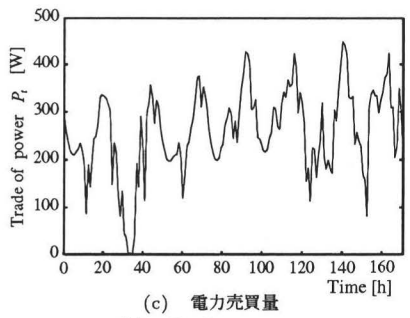
(a) 需要電力と供給電力

(a) Demand and Supply.



(b) 各発電設備の供給電力

(b) Supply of each facility.

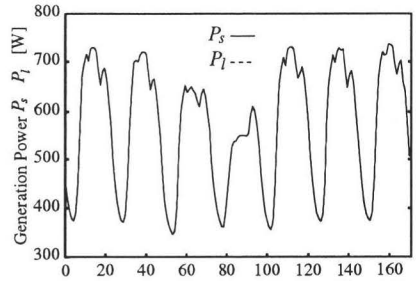


(c) 電力売買量

(c) Trade power.

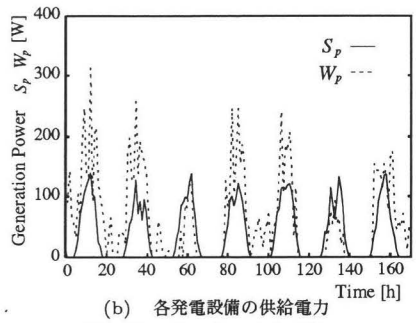
図 18 条件 B における 1 月のオペレーション

Fig. 18. Operation in Condition B in Jan.1993.



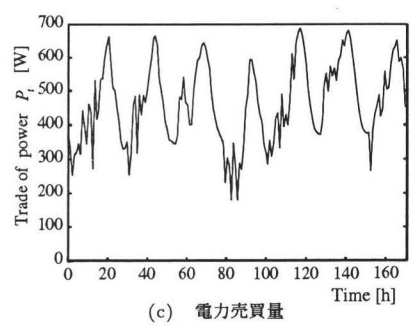
(a) 需要電力と供給電力

(a) Demand and Supply.



(b) 各発電設備の供給電力

(b) Supply of each facility.

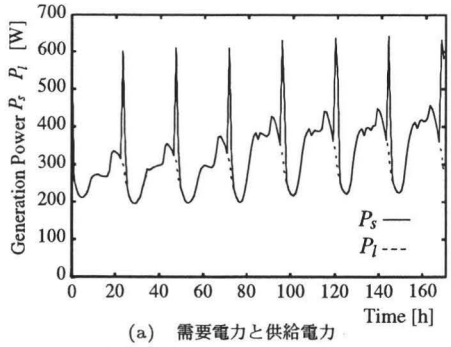


(c) 電力売買量

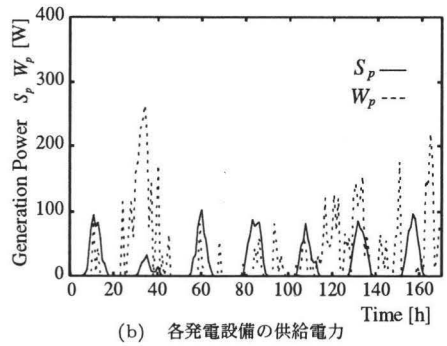
(c) Trade power.

図 19 条件 B における 7 月のオペレーション

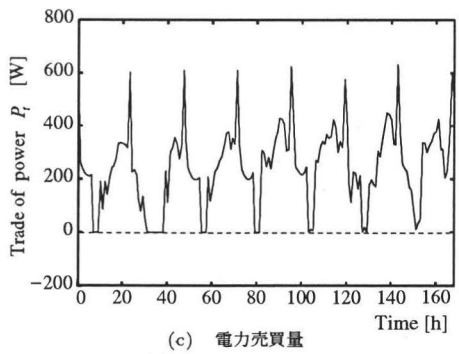
Fig. 19. Operation in Condition B in Jul.1993.



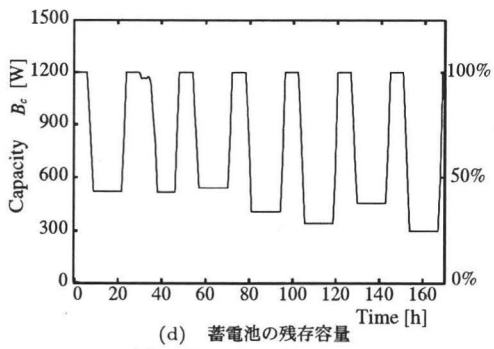
(a) 需要電力と供給電力
(a) Demand and Supply.



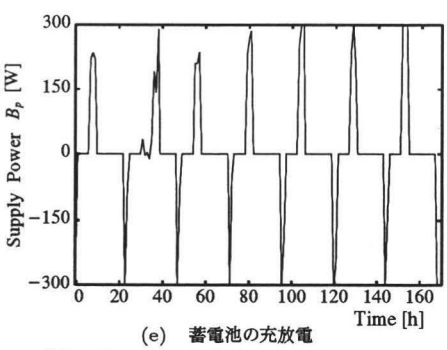
(b) 各発電設備の供給電力
(b) Supply of each facility.



(c) 電力売買量
(c) Trade power.

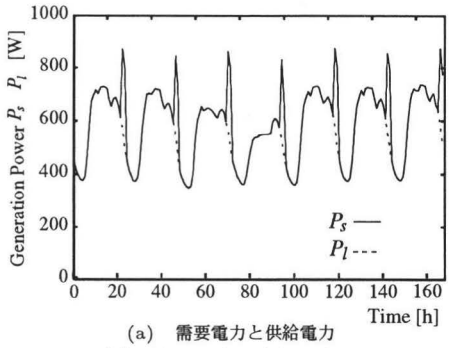


(d) 蓄電池の残存容量
(d) Capacity of battery.

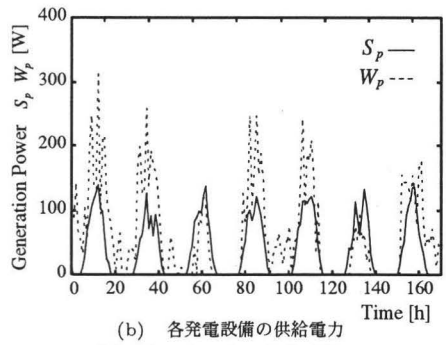


(e) 蓄電池の充放電
(e) Charge and discharge of battery.

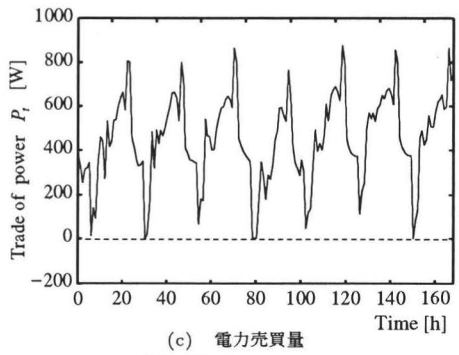
図 20 条件 C における 1 月のオペレーション
Fig. 20. Operation in Condition C in Jan.1993.



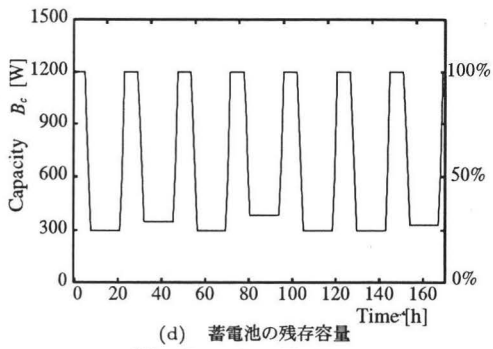
(a) 需要電力と供給電力
(a) Demand and Supply.



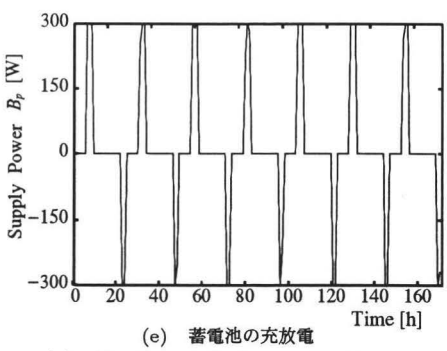
(b) 各発電設備の供給電力
(b) Supply of each facility.



(c) 電力売買量
(c) Trade power.

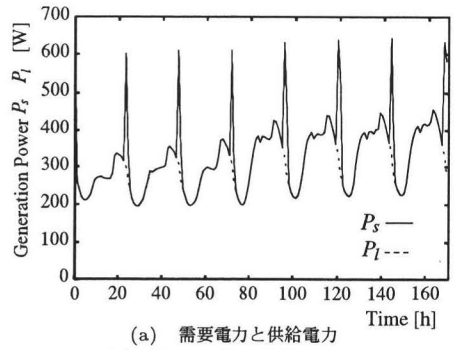


(d) 蓄電池の残存容量
(d) Capacity of battery.

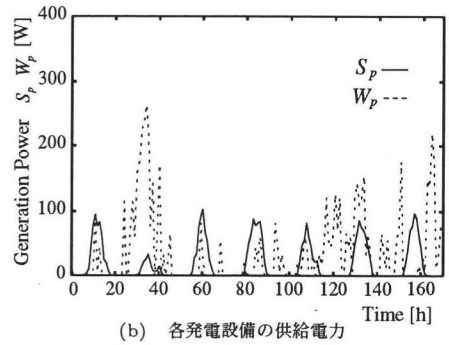


(e) 蓄電池の充放電
(e) Charge and discharge of battery.

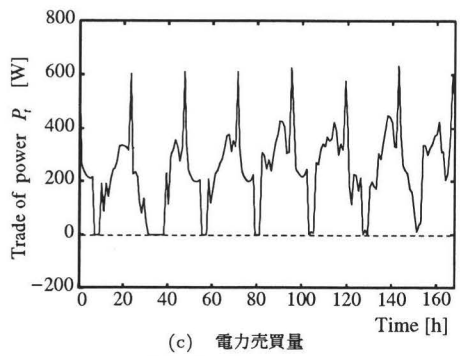
図 21 条件 C における 7 月のオペレーション
Fig. 21. Operation in Condition C in Jul.1993.



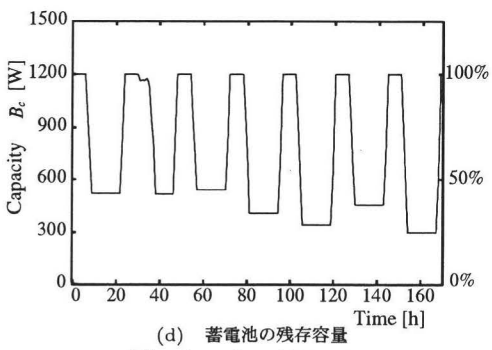
(a) 需要電力と供給電力
(a) Demand and Supply.



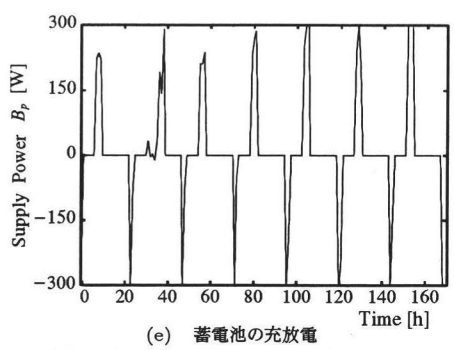
(b) 各発電設備の供給電力
(b) Supply of each facility.



(c) 電力売買量
(c) Trade power.

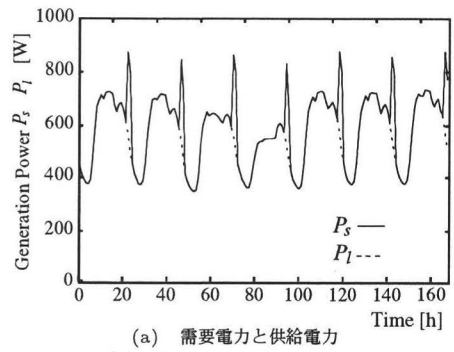


(d) 蓄電池の残存容量
(d) Capacity of battery.

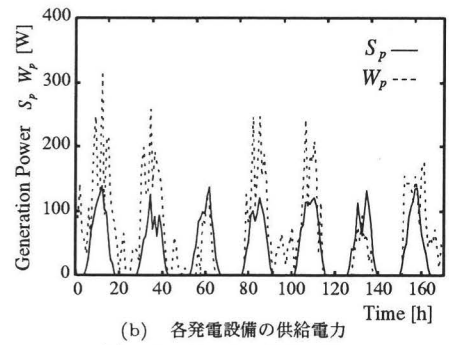


(e) 蓄電池の充放電
(e) Charge and discharge of battery.

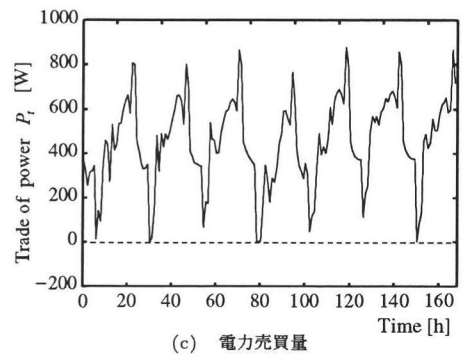
図 22 条件 D における 1 月のオペレーション
Fig. 22. Operation in Condition D in Jan.1993.



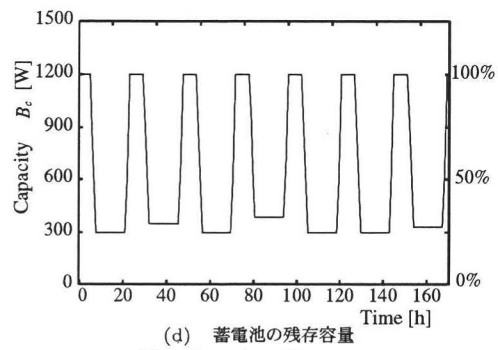
(a) 需要電力と供給電力
(a) Demand and Supply.



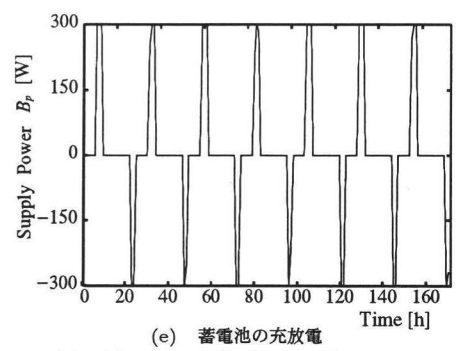
(b) 各発電設備の供給電力
(b) Supply of each facility.



(c) 電力売買量
(c) Trade power.



(d) 蓄電池の残存容量
(d) Capacity of battery.



(e) 蓄電池の充放電
(e) Charge and discharge of battery.

図 23 条件 D における 7 月のオペレーション
Fig. 23. Operation in Condition D in Jul.1993.

1-5 シックハウス症候群の原因となるホルムアルデヒドを除去するための光分解材料に関する研究

埼玉工業大学
講師 有谷 博文

1．はじめに

室温、大気下で光エネルギーを利用した機能を発現する酸化チタン（TiO_2）は、多くの環境浄化材料としての用途が開発されている。この基となる光機能は、主に紫外線照射による酸化チタン上での正孔ー電子の対の形成、これに伴う活性酸素の形成による。この活性酸素を酸化剤とした有機汚染物質の抗菌、汚染防止などへの応用は現在も盛んに開発が進められている。この光機能は、酸化チタンへの光照射で生じる正孔が強力な酸化力を有するためで、このサイトにおける活性酸素種の形成が重要な機能因子である[1]ことが以前から指摘されている。酸化チタン光触媒材料は、室温下でも光照射によって活性を示すこと、非破壊的で半永久的に使用可能であること、無害で環境に与える影響がないこと、比較的安価で加工が容易であることなど、とくに建築面からの高い長所を有した機能性材料であると言える[2]。とくに、本材料の壁面への塗布、ガラスなどへの複合、ブラインド等への表面加工など、生活環境下で長時間太陽光や照明光源からの光の当たる場所に設置し、空気中の酸素を酸化剤として光照射下での機能を発現させることにより、高い実用性、汎用性を供することが可能である[3]。一般に酸化チタン光触媒は高い結晶性と広い表面積を有する場合に高い光活性を示すことから、蒸着法やコロイド固定化などによるアナターゼ酸化チタン微粒子が広く用いられる。しかし、酸化チタン光触媒材料を実用に供する上で解決すべき大きな問題として、耐水・耐水蒸気性と可視光化の二点が挙げられる。酸化チタンは元来疎水性材料であるが、光照射下では超親水性を示し、表面に活性な水酸基を形成し機能を発現する[4]。しかし過剰の水分が存在すると半導体を失う光溶解現象が起こり、活性成分とともに構造の崩壊を引き起こす。そのため、水存在下でも長時間の光照射によっても安定な構造を有することが条件としてあげられる。一方、アナターゼ型酸化チタンのバンドギャップ（正孔ー電子間のエネルギー差）は3.0eVであることから、380nmよりも短波長の紫外光が光活性化に必要とされている[1]。しかし太陽光や照明用光源からの光はこの波長領域の光の割合は非常に小さく、対して380nmより長波長の可視光域の光が我々の生活環境では豊富に存在する。従ってより長波長側の光でも光励起し活性を示すことが出来る光機能、いわゆる可視光化が求められる。そのため、アナターゼ酸化チタンをベースをし、これを耐水化・可視光化などの高機能化を施すことが要求される。

本研究では、シックハウス症候群の原因として社会問題ともなっている室内発散型揮発性有機物質（VOC）、中でも最も有害性が高くその除去法が早急に求められているホルムアルデヒド（HCHO）を光分解除去するための酸化チタン系光材料の開発を目的とし、その高機能化のための構造的および物性的条件を検討した。とくに、ホルムアルデヒドの生活環境下での高効率的光分解除去を目的としていることから、酸化チタン材料の光活性は水中にて行い、

かつ高濃度（5000．10000ppm）のホルムアルデヒド含有量にて活性試験を行った。加えて、光源には高圧ランプを用いず、広く用いられている市販の光源（250W水銀ランプおよび500Wハロゲンランプ）を用いた。よって、上記の条件によって得られた活性評価は日常生活レベルでの揮発性有機物質存在量に対して十分なものであり、実用のための利用条件を満たしていると言える。とくに本研究では、酸化チタンの相構造や微粒子化、ガラス成分であるシリカ（SiO_2）との複合効果など物性的影響、貴金属添加による高活性化を施し、高活性を示す材料の創製のための条件を検討した。

2．実　験

基材となる酸化チタンとして、ルチルおよびアナターゼ型酸化チタン（Aldrich）、および市販の高活性酸化チタンであるP-25（Degussa）、AMT-100（テイカ）の４種を用いた。うち、P-25はルチルとアナターゼの混在相を有し、アナターゼ／ルチル相混在比は概ね３である[5]。またAMT-100はアナターゼ型酸化チタンの微粒子で、粒子径は概ね6 μmである。

シリカ（SiO_2）と複合した酸化チタンは、シリカ表面への酸化チタン修飾（TiO_2/SiO_2）法として含浸法を、またシリカ内部への酸化チタンの複合化（TiO_2-SiO_2）合成法としてゾル．ゲル法を用いた。含浸法によるTiO_2/SiO_2試料は、シリカ粉末（和光）を担体として、これをチタンテトライソプロポキシド（$Ti(OC_3H_7)_4$）を含んだ２．プロパノール溶液中にて浸漬、減圧乾燥後、450℃にて３時間の焼成によって得た。またゾル．ゲル法によるTiO_2-SiO_2試料は、チタンテトライソプロポキシドとオルト珪酸テトラエチル（$Si(OC_2H_5)_4$）の混合溶液を２．プロパノールにて希釈後、約50℃加熱下にてゆっくり水滴を加えて加水分解した。これにより得たゲルを減圧乾燥後、450℃にて３時間焼成することにより得た。

各金属の酸化チタン系試料への修飾は、いずれも含浸法によって行った。例えば白金修飾は、塩化白金酸水溶液に担体を含浸、減圧乾燥後、450℃にて３時間焼成することにより得た。他の金属修飾についても、含浸液に各金属塩を用いることにより同様の手順で行った。

ホルムアルデヒド（HCHO）光分解活性試験は、以下の手順にて行った。まず、石英製試験管に5000ppmまたは10000ppmのホルムアルデヒド水溶液25mlを入れ、これに上記の酸化チタン系試料0.25gを加えて懸濁させた後、スターラーにて撹拌し試験管全体に懸濁させた。これに酸素ガスをバブリングさせて気相酸素を供給後コルク栓にて封じ、250W水銀ランプまたは500Wハロゲンランプを照射して光分解反応を室温にて行った。水銀ランプ光源には、レフ型HRF-250（岩崎電機）を、ハロゲンランプ光源にはネオハロクールH-500W（東芝ライテック）を用いた。なお、各ランプの分光波長特性より、水銀ランプ光では波長220．300nmの紫外光を含み、ハロゲンランプ光では300nm以下の紫外光を含まないことが大きな違いである。反応中は光照射時の温度上昇を抑えるため、常時空冷を行った。90分間の反応後、光照射を停止し、反応溶液を遠心分離して溶液と酸化チタン懸濁を分離後、溶液中のホルムアルデヒド含有量をGC（TCD型ガスクロマトグラフ、島津GC-3BTおよびGC-6B：Porapak-Tカラム3m、140℃）を用いて定量した。ホルムアルデヒドは光励起酸化チタン上で酸素との反応により、$HCHO + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$（$\Delta H$ = -563.7 kJ/mol）の反応が進行し二酸化炭素と水に分解される。従ってGC分析結果より、分解除去されたホルムアルデヒドの転化率（分解率）を

算出した。

活性評価と並行して、酸化チタン活性種の吸光特性からの構造評価のため、紫外可視分光測定を行った。測定には紫外可視分光光度計（島津UV-2400）を用い、積分球光計を用いた拡散反射法にて、波長220．800nmの範囲で室温測定した。またバルク結晶性の評価に用いたX線回折(XRD)測定は、理学電機RINT-2300を用い、Cu Kα線源により室温にて測定した。

3．結果と考察

3．1．酸化チタン単独での光分解活性

まず、酸化チタン単独の場合でのホルムアルデヒド光分解活性を、アナターゼ・ルチル・P-25（アナターゼ＋ルチル）・AMT-100（アナターゼ微粒子）の４種を用いて検討した。反応溶液が5000ppmの場合における水銀ランプ照射下での反応結果をTable 1-1に、ハロゲンランプ照射下での反応結果をTable 1-2に示す。TiO_2単独の場合では、ハロゲンランプでの光活性に構造の違いはほとんど認められなかったのに対し、水銀ランプでは活性の差が認められ、アナターゼ型およびP-25で分解率30%を超える活性を示した。この結果は、一般に酸化チタン光触媒材料で言われているアナターゼ型高活性の傾向であり、本反応系でもその傾向が顕著であった。しかし広範囲に高活性を示す光触媒とみなされているAMT-100（微粒子アナターゼ）では本反応において相対的に低い活性を示した。この原因は、本反応が水中での光反応であることにより、微粒子では表面積が大きい反面光溶解性を抑制することが難しいことに起因すると考えられる。

シリカと酸化チタンとの複合化は、表面積に限界のある酸化チタンを広表面積化させることだけでなく、酸化チタンのシリカ内複合による微粒子化、シリカの高い撥水性を利用した酸化チタン材料全体の耐水性の向上など、大きな意味を有する。また実用材料でも、ガラスやミラー表面などへの加工、一般的な壁面への塗布、照明等光源外部への修飾など、多方面への応用法がある。そのため、以下にシリカとの複合化（ゾル．ゲル法）および表面修飾（含浸法）による修飾を行った場合の光活性を検討した。シリカと複合した酸化チタンにおける光反応は、含浸法により調製したTiO_2/SiO_2担持酸化物ではTiO_2含有量80wt%(Ti/Si=3)、57wt%(Ti/Si=1)および31wt%(Ti/Si=1/3)の３種、ゾル．ゲル法により調製したTiO_2-SiO_2複合酸化物では80・57・31および25wt%(Ti/Si=1/4)の３種を反応に供じた。水銀ランプ照射下での反応結果はTable 2-1に、またハロゲンランプ照射下での反応結果はTable 2-2に示すように、いずれの場合も酸化チタン含有量の違いから先の酸化チタン単独の場合に比べ低活性となった。これらを相対的に比較すると、水銀ランプ照射下ではTiO_2-SiO_2複合酸化物における活性は含有酸化チタン量との関係が示唆されたのに対し、TiO_2/SiO_2担持酸化物ではTiO_2担持量31wt%の場合を活性の極大とした。ハロゲンランプ照射の場合も同様に、担持酸化物では31wt%担持時を活性の極大とし、これは複合酸化物でも同様の傾向を示した。この傾向は、酸化チタン含有量31wt%(Ti/Si=1/3)組成時に何らかの要因で相対的に高い可視光活性を示し、この傾向は担持酸化物でも水銀ランプ照射時に紫外線照射下でも同様の傾向を示したことが推論された。

これら酸化チタンの高活性化のため、種々の金属イオンを添加した酸化チタンを含浸法にて調製し、酸化チタン単独の場合からの高活性化を図った。数種の遷移金属を含浸添加した酸化チタンにおける水銀ランプ照射下での試験反応の結果より、少量(1wt%)のAg、Pd、Ptの添加がホルムアルデヒド光分解に優れた高活性を与えることが分かった。しかしこれら３種金属において、ハロゲンランプによる反応を行った結果、Pt修飾した場合のみ高い活性を示し、他の金属修飾ではほとんど活性を示さないことがわかった。このことより、酸化チタンへの白金(Pt)修飾が紫外光のみならず可視光でも高い活性を示したことが示唆され、本研究の目的に最も適した効果を与えることが推論された。そこで、本研究では酸化チタン光活性の増大のための白金(Pt)修飾効果に焦点を絞り、その添加による光活性への影響とその因子の検討を以下に行った。

３．２．白金修飾酸化チタンでの水銀ランプ照射による光分解活性

まず、酸化チタン単独の担体の場合の白金添加によるホルムアルデヒド光分解活性への効果を調べた。酸化チタン単独の場合に最も高い光分解活性を示したP-25、および微粒子アナターゼであるAMT-100をそれぞれ担体とした白金修飾酸化チタンによるホルムアルデヒド光分解の結果をTable 3に示す。P-25を担体とした場合、白金修飾の低濃度側では2wt%の担持量で活性の極大（HCHO転化率97.1%）を示し、さらに高濃度側では8wt%以上の高濃度担持で100%の完全分解に達した。この傾向は、高濃度白金修飾による高活性化を示唆し、低濃度域ではアナターゼ相への白金修飾効果、高濃度ではルチル相への修飾効果も発現したために高活性を示したことが考えられる。これに対し、アナターゼ単一相のAMT-100を担体とした場合は、1wt%の低濃度担持から高活性化の効果が大きく、担持量4wt%を活性の極大（HCHO転化率100%）とした。高濃度側での光活性の低下は、Pt過剰によるTiO_2露出表面積の低下によるものと考えることが出来る。この結果より、アナターゼ単独では低濃度Pt修飾が有効であり、ルチルとの混在相ではより高濃度側で高活性が発現することが考察された。

上記の反応条件(HCHO 5000ppm)ではHCHO転化率が100%に近い値を示したことから、さらに高濃度のホルムアルデヒド水溶液(10000ppm)を反応溶液とした光分解活性評価を試みた。Table 4に、反応溶液を10000ppmとした場合のPt(8wt%)/AMT-100およびPt/P-25の光反応結果を示す。反応溶液が高濃度では、AMT-100担体で見掛けの分解活性が（5000ppmの場合と比べ）半分程度にまで低下したのに対し、P-25担体では高濃度条件でも転化率87%の高い光分解活性を示した。この違いは、AMT-100アナターゼ微粒子における高表面積の利点を耐水性の低下が抑制したと考えられるのに対し、P-25では耐水性の高いルチル相内に凝集的に分散したアナターゼ相がある程度の大きさの粒子として表面に露出し、これはPt修飾を受けて高い活性を示したことが考察された。

次に、ゾル．ゲル法で調製したTiO_2-SiO_2複合酸化物、または含浸法により調製したTiO_2/SiO_2担持酸化物にPt修飾した場合の光分解活性の変化を調べた。Table 4に、Pt(8wt%)を担持した酸化チタンのシリカ複合酸化物および担持酸化物の光反応結果を示す。いずれの場合もPtを修飾しない場合は非常に低い活性（Table 2）であるが、Pt修飾により複合酸化物・担持酸化物のどの組成の場合でも高活性化が顕著であった。複合酸化物担体の場合、TiO_2組成比(=Ti/Si)

が1/3の低濃度の場合に最も高い光分解活性(87.2%)を示した。これは酸化チタンが低組成であってもシリカ内への混合によって高分散に存在し、これが高い耐水性を示した上でPt修飾を受けて非常に高い活性を示したことが推論された。一方、TiO_2含有比が１の場合では非常に低活性を示した(Table 4)ことは、シリカ内に混合した酸化チタンの凝集が進んだ場合には活性が低下することを示唆した。これに対しTiO_2含有比が３の高組成では、分解率は64.9%に再び増大を示した。この結果は、酸化チタン含有量の増大によりシリカの存在しない酸化チタンに白金修飾した場合と近い活性を示したためと考察され、表面チタン濃度の増大により活性の増大を示したためと考えることが出来る。しかしこの組成での光活性は、TiO_2組成比が1/3の低濃度の場合と比べて低い活性であったこと、また酸化チタン単独の場合と比較した場合でもTiO_2組成比1/3の低濃度では特に高活性であった結果から、シリカ内の高分散酸化チタンが白金修飾により、既存にない特異的な高活性を与えたことが結論づけられた。この結果に対し、含浸法により調製したTiO_2/SiO_2担持酸化物にPt修飾した場合では(Table 4)、TiO_2組成比が１の場合を活性の極大とする傾向が認められた。さらにこの組成比１のときの分解率は95.4%を示し、10000ppmのホルムアルデヒド光分解活性において最も高い活性を示した。この結果は、シリカ担体上に酸化チタンを含浸担持してTiO_2層を形成させた材料の場合、ある一定の厚さの層が形成された場合に高い活性を示したことが推論される。すなわち、TiO_2低濃度担持ではSiO_2上に点在、それより高濃度になるとTiO_2薄層に近い構造となることが知られているが、本研究の結果で高活性が認められた組成比１の状態ではTiO_2は薄層ではなくサブミクロンオーダーの厚さを有する層を形成していると考えることが出来る。この場合、シリカによる耐水性の向上は期待できないものの、酸化チタンの物性を変えることによる高活性化が期待できる。本研究で得られた$Pt/TiO_2/SiO_2$(Ti/Si=1)における特異的に高い活性は、この組成で形成されたTiO_2構造の特異性、おるいはPt修飾によって与えられた独自の高活性化能が付与されたことが考察された。この結果より、後述のUV-Vis吸収特性からの検討と行いその因子の解明を行った。

３．３．白金修飾酸化チタンでのハロゲンランプ照射による光分解活性

一般に酸化チタンを光活性化する水銀ランプによる紫外線照射下の反応に対し、300nm以下の紫外光を含まないハロゲンランプによる可視光域光源下での光反応活性を以下に検討し、その高活性条件および水銀ランプ照射下での光活性との違いについて調べた。

まず、酸化チタン単独の担体（AMT-100・P-25）の場合の白金添加によるホルムアルデヒド光分解活性への効果を調べた。Table 5に、白金修飾した各酸化チタンのハロゲンランプ照射下でのホルムアルデヒド(5000ppm)光分解におけるPt担持量依存性の結果を示す。AMT-100およびP-25のいずれの場合でもPt未修飾(Table 2)の場合に対し顕著な活性の増大が認められた。その光分解活性は、AMT-100・P-25のいずれの場合でもPt担持量8wt%の場合を活性の極大とし、これより高濃度では活性の低下が見られた。とくにこの担持量の条件では、Pt/AMT-100の場合で76.5%、Pt/P-25でも73.2%の極めて高い光分解活性を示したことから、可視光照射下での本Pt/TiO_2系の光分解材料としての有用性が認められた。加えて、光活性のPt担持量依存性が水銀ランプの場合と明らかに異なる傾向であったこと、また8wt%のPt担持量

の時にいずれの酸化チタン担体でも高活性を与えたことが注目され、この担持条件でのPt修飾が酸化チタン担体に与えた影響についての検討を要することが指摘された。

次に、シリカとの複合酸化物およびシリカ上への担持酸化物における光分解活性を同様に検討した。Table 6に、Pt(8wt%)を担持した複合酸化物（Pt/TiO_2-SiO_2）および担持酸化物（$Pt/TiO_2/SiO_2$）のホルムアルデヒド高濃度条件(10000ppm)での光分解反応の結果を示す。この反応条件では、水銀ランプ照射下の場合と異なりPt/AMT-100の分解活性（分解率47.3%）はPt/P-25の活性（28.8%）を上回ったことから、アナターゼ微粒子の可視光下での高い光活性の発現が示唆された。Pt修飾複合酸化物（Pt/TiO_2-SiO_2）では、いずれの組成でも分解率は30%前後を示しており、水銀ランプ照射下の場合と異なりハロゲンランプ照射下では高い光活性を示さないことがわかった。これに対し、Pt修飾担持酸化物（$Pt/TiO_2/SiO_2$）では、水銀ランプ照射下の場合と同様にTiO_2組成比(=Ti/Si)が１の場合を活性の極大とする傾向が認められた。この組成におけるホルムアルデヒド光分解率（76.4%）は、今回の研究におけるハロゲンランプ照射下での光活性において最大の活性を示した。これらの結果は、複合酸化物におけるシリカとの複合酸化チタンでは可視光域での光活性に乏しい一方、シリカ上の酸化チタン層は紫外光・可視光の双方において高い光活性を発現することが出来、シリカ上に担持されることにより酸化チタン単独の場合と比べ高い光活性を示したことが結論づけられた。

以上の結果より、水銀ランプ照射下で最も高い光活性を示した$Pt(8wt\%)/TiO_2/SiO_2$(Ti/Si=1)は、ハロゲンランプ照射下でもその８割程度の光活性を発現する優れた光分解材料となることを見出した。

３．４．白金修飾酸化チタン系材料のXRDによるバルク構造解析

本研究で用いた酸化チタンおよびそのPt修飾試料のバルク構造の評価をXRDにより評価した。その結果はFig. 1に示すように、P-25はルチルとアナターゼの混在相、AMT-100は結晶性の低いアナターゼ単独相に基づく回折線が確認された。これら二つの酸化チタンにPt担持を行った試料では、P-25の場合では8wt%のPt修飾によるアナターゼ相の結晶性低下、また16wt%のPt修飾ではさらにその結晶性低下が進行することがわかった。一方、アナターゼ微粒子であるMT-100へのPt修飾では、16wt%までの担持量でいずれもAMT-100独自の結晶相を維持していることがわかった。この結果より、P-25中に含まれるアナターゼ相はPt担持による結晶性低下を伴う構造変化を受けるが、AMT-100ではそれが起こらないことが結論づけられた。

さらに、本研究で合成した担持および複合酸化物のXRDパターン(Fig. 1)より、TiO_2-SiO_2複合酸化物ではいずれの組成（Ti/Si=1/3・1・3）においても明確な酸化チタンの結晶性は確認されず、わずかにアナターゼ相に基づく結晶性の低い相が確認されたのみであった。この結果は、酸化チタンとシリカとのバルク相に渡る複合化がいずれの組成でも進行し、酸化チタンの非晶質化を与えていることを示唆する。その一方で、Ti/Si=1/3の酸化チタン低組成の場合でのみ、白金金属に起因する明確な回折線が認められた。通常、塩化白金酸などの白金塩はシリカなど相互作用の弱い担体上では熱処理により容易に金属に還元される特徴を有する。従って、シリカ含有比の高い本組成では、焼成時の熱処理による金属白金の形成が容易に起こり、逆に酸化チタン含有比の高い複合酸化物ではこの現象が起こりにくいことが示された。

これに対し、Pt修飾したTiO_2/SiO_2(Ti/Si=1)担持酸化物のXRD結果から、明確なアナターゼ相の形成、および金属白金の形成が顕著であった。この結果は、同組成比の複合酸化物とは明らかに異なり、シリカ上への酸化チタンの担持により明らかな結晶構造の形成が起こることから、この違いが前節で示した活性の大きな違い、すなわち担持酸化物で認められた水銀およびハロゲンランプ照射下での高いホルムアルデヒド光分解活性に起因していることが推論された。このようなバルク構造が、吸光特性にどのような影響を与えるかについて、紫外可視分光法を用いて次節にて検討を行った。

3．5．白金修飾酸化チタン系材料の紫外可視分光測定による吸光特性

酸化チタン系材料の紫外可視(UV-Vis)分光による検討は、光活性とその波長依存性の基礎的な検討方法として広く用いられているが、一般に高活性とされているアナターゼ型のUV-Vis吸収はFig. 2（上段）に示すように370nm付近にCT(charge-transfer)バンドに起因する吸収端をもち、これより短波長側の紫外光によって光活性を示すが可視光域での光活性に乏しい。またこれより長波長側の410nmに吸収端をもつルチル型は一般に光活性が低く実用への供用が難しい。アナターゼ型の光活性を維持し、より長波長の光を吸収して高活性化・可視光化することが望まれる。なお、Fig. 1で示すように本研究で用いた酸化チタン担体であるAMT-100はアナターゼの吸収バンドをわずかに短波長側にシフトした吸収を示し、またアナターゼとルチルの混在相であるP-25はAMT-100と同様のアナターゼ微粒子に基づく吸収に加え、370．400nmの間にルチル成分に基づく長波長側の吸収も示した。

本研究で合成したシリカとの複合酸化物およびシリカ上への担持酸化物のUV-Vis吸収もFig. 2（中・下段）に示した。TiO_2-SiO_2複合酸化物の場合、酸化チタン低組成(Ti/Si=1/3)ではアナターゼ単独の場合と類似した吸収を示したことからシリカ内への低結晶性アナターゼ種としての存在を支持した。しかし組成比１の場合では、これより高組成(Ti/Si=3)、あるいは低組成の場合と異なり、アナターゼと比較して短波長側に吸収がシフトする傾向が観測された。これはシリカとの複合化による４面体（Ti-O_4 ４配位）構造の形成を示しており、この組成ではアナターゼ構造よりもむしろ、シリカの構造内に取り込まれて同型置換したシリケート４面体類似の構造を主として有することがわかった。これに対し、TiO_2/SiO_2担持酸化物では、TiO_2担持量の最も少ないTi/Si=1/4の組成比で４面体構造の存在を示唆する短波長域の吸収を示した。これより高担持では、組成比1/3および１の場合でアナターゼに類似した吸収バンド、最も高担持である組成比３の場合ではさらに長波長域に吸収がシフトする傾向が認められた。このような特徴は、低濃度担持におけるシリカ表面での分散的酸化チタン種（４配位）からの担持量増大に従ったアナターゼ的６配位種の形成、さらにその高濃度化によるチタン酸類似の凝集種の形成への一連の担持量依存性に基づくものと考えることが出来、既存の多くの研究に沿った傾向であると言える。

これら酸化チタン、およびシリカへの複合および担持酸化チタンにおける白金添加による吸収特性への影響を次に検討した。白金添加により光分解の高活性化が顕著であったP-25担体におけるPt担持量を変化させた場合のUV-Vis吸収の変化をFig. 3（上段）に示す。ここで、Ptは担持後に白色の酸化チタンを灰色．薄褐色に着色するが、これは白金金属微粒子あるい

は白金酸由来の酸化種によるものであり、300nmよりも長波長側に幅広い吸収を示す。従って白金修飾後の酸化チタン系の試料のUV-Vis吸収は、上記の酸化チタンによるCT吸収と白金由来の幅広い吸収が重畳した吸収スペクトルとして現れる。しかし、白金由来の吸収は酸化チタンの光活性とは直接的には無関係なものであるため、光活性との関連を調べるためには酸化チタン種のCT吸収に着目しなくてはならない。そこで、各吸収スペクトルについて酸化チタンのCT吸収の極大部（概ね300．380nm）の範囲を拡大して各図に添えた。この拡大部分のCT吸収に相当する成分の波長比較を行うことにより、白金添加による酸化チタン光活性の吸収波長への影響を検討した。Pt/P-25におけるUV-Vis吸収の結果より、P-25単独の場合と比べ4wt%のPt担持によりCT吸収が長波長側にシフトする傾向が明らかに見られた。さらに、8wt%のPt担持でも同様のシフトが認められたことから、Pt担持によりTiO_2自身の高活性化（光照射で形成される正孔．電子の再結合の抑制効果）のみならず、可視光域へのCT吸収帯のシフトを与え、可視光化の傾向を示すことが明らかとなった。これに対し、16wt%のPt担持ではこれより低担持の場合と比較して長波長側へのシフトは小さく、担持効果が異なることがわかった。これは高濃度のPtによる凝集相分離の傾向が考えられ、また400nmより長波長側に見られるPt由来の吸収が他と比べ相対強度が大であることからも支持される。この結果から、Pt/P-25における高活性(Table 3・5)は、8wt%までのPt担持による光活性に有効な酸化チタン活性種の高活性化に起因した水銀ランプ照射下での高活性、および同時に発現するCT吸収の可視光域への長波長化によるハロゲンランプ照射下での高活性が与えられたためと推論した。

シリカとの複合酸化物へのPt修飾では、Fig. 3（中段）に示すように、いずれの組成比の場合でもPt未担持（Fig. 2）の場合と比べわずかに長波長域へのシフトが推定された。これに対し、シリカへの担持酸化物へのPt修飾では、Fig. 3（下段）に示したCT吸収の極大部の比較より、とくにTiO_2組成比の高い場合に吸収の長波長化の傾向が顕著であり、Ti/Si=1の場合で最も可視光化が進んだことがわかった。この条件において、本研究のホルムアルデヒド光分解活性の最大を示したことから、この因子の光活性への寄与が示唆された。これらの違いを明確にするため、Ti/Si=1の場合の複合酸化物および担持酸化物における、Pt担持前後のUV-Vis吸収の違いをFig. 4に示した。先述の通り、複合酸化物ではPt担持前は４面体配位に基づく短波長側のCT吸収が、Pt修飾により長波長化していることがわかる。これに対し、担持酸化物ではPt担持前のアナターゼ類似のCT吸収がPt修飾によりさらに長波長化され、複合酸化物の場合と比較しても明らかに可視光化されたことが示された。よって、担持酸化物の本組成条件での高活性化因子として、Pt修飾によって長波長側にCT吸収波長をシフトさせたことが結論づけられる。UV-Visでは同様の傾向を示したP-25担体では担持酸化物担体に比べ相対的に低い活性となった原因はXRDによるPtの金属種の形成の有無と関連づけられ、担持酸化物担体へのPt修飾はPtの容易な金属種形成を促進し、これが高活性化に寄与したこともあわせて高活性化の要因として挙げられる。

なお、本研究では酸化チタンの耐水性の変化、およびシリカへの修飾による撥水性の賦活など、水中での光反応を安定に進行させるための要因についても検討を加えた。これについては現在研究途上であり、現段階で明確な結論を得ていないため本稿からは割愛した。

4．まとめ

本研究では、酸化チタンの相構造や微粒子化、シリカとの複合や担持による効果など物性的影響、貴金属添加による高活性化を施し、シックハウス症候群の原因成分として最も重要なホルムアルデヒドの室温光分解に高活性を示す材料の創製のための条件を検討した。その結果、金属添加では白金添加による酸化チタンの光活性化の向上がいずれの場合でも顕著であった。また酸化チタン担体では一般に考えられているアナターゼの光高活性が本研究でも認められたが、担持酸化物における$Pt(8wt\%)/TiO_2/SiO_2(Ti/Si=1)$の条件で特記すべき高い光分解活性を示すことを見出した。この要因として、Pt修飾により金属種の形成と同時に付与される酸化チタン種のCT吸収の可視光域への長波長化の双方が高活性要因として形成されたためであると結論づけられた。この活性条件を制御することにより、さらに高い活性を示す酸化チタン系光材料の創製が今後期待される。本研究もその一助となることを期待する。

謝　辞

本研究は、(財)トステム建材産業振興財団からの研究助成のもと、京都工芸繊維大学工芸学部、中平敦助教授との共同研究で行った。また、本研究の遂行中に申請者の異動（旧所属・京都工芸繊維大学工芸学部）があったにも関わらず、本研究の助成を継続頂いた(財)トステム建材産業振興財団に謹んで謝意を表する。

文　献

1) 窪川裕、本多健一、斉藤泰和著「光触媒」、朝倉書店 (1988).

2) 垰田博史著「光触媒の本」、日刊工業新聞社 (2002).

3) 石灰洋一, PETEROTECH, 22(5), 378 (1999).

4) 藤嶋昭、橋本和仁、渡部俊也、「光触媒のしくみ」、日本実業出版社 (2000).

5) T. Ohno, K. Sarukawa, K. Tokieda, M. Matsumurta, *J. Catal.*, 203, 82 (2001).

Table 1-1 Photo-decomposition of HCHO (5000ppm) over TiO_2 catalysts under photo-irradiation of 250W Hg lamp for 90 min.

Catalyst	HCHO conversion (%)
Anatase	25.6
Rutile	31.4
P-25	33.6
AMT-100	23.6

Table 1-2 Photo-decomposition of HCHO (5000ppm) over TiO_2 catalysts under irradiation of 500W halogen lamp for 90 min.

Catalyst	HCHO conversion (%)
Anatase	14.1
Rutile	14.1
P-25	13.9
AMT-100	14.1

Table 2-1 Photo-decomposition of HCHO (5000ppm) over TiO_2 under irradiation of 250 W Hg lamp for 90 min.

Catalyst	TiO_2 content (wt%)	HCHO conversion (%)
TiO_2-SiO_2 (sol-gel)	80	7.4
	57	4.1
	31	4.1
TiO_2/SiO_2 (impregnated)	80	2.8
	57	5.6
	31	11.4
	25	4.3

Table 2-2 Photo-decomposition of HCHO (5000ppm) over TiO_2 under irradiation of 500 W halogen lamp for 90 min.

Catalyst	TiO_2 content (wt%)	HCHO conversion (%)
TiO_2-SiO_2 (sol-gel)	80	6.8
	57	7.8
	31	1.5
TiO_2/SiO_2 (impregnated)	80	2.8
	57	1.8
	31	6.6
	25	5.7

Table 3 Photo-decomposition of HCHO (5000ppm) over Pt/TiO_2 under irradiation of 250W Hg lamp for 90 min.

Catalyst	Pt content (wt%)	HCHO conversion (%)
Pt/P-25	1	63.1
	2	97.1
	4	63.0
	8	100.0
	16	100.0
Pt/AMT-100	1	98.5
	2	96.9
	4	100.0
	8	91.7
	16	87.3

Table 4 Photo-decomposition of HCHO (10000ppm) over 8wt% Pt/TiO_2-SiO_2 under irradiation of 250W Hg lamp for 90 min.

Catalyst	HCHO conversion (%)
P-25	18.2
AMT-100	17.0
Pt/P-25	87.4
Pt/AMT-100	34.0
Pt/TiO_2-SiO_2 (Ti/Si=1/3)	87.2
Pt/TiO_2-SiO_2 (Ti/Si=1)	15.8
Pt/TiO_2-SiO_2 (Ti/Si=3)	64.9
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=1/4)	15.7
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=1/3)	65.4
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=1)	95.4
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=3)	25.9

Table 5 Photo-decomposition of HCHO (5000ppm) over Pt/TiO_2 under irradiation of 500W halogen lamp for 90 min.

Catalyst	Pt content (wt%)	HCHO conversion (%)
Pt/P-25	1	31.5
	2	45.8
	4	57.9
	8	73.2
	16	59.0
Pt/AMT-100	1	38.8
	2	33.5
	4	45.4
	8	76.5
	16	73.0

Table 6 Photo-decomposition of HCHO (10000ppm) over 8wt% Pt/TiO_2-SiO_2 under irradiation of 500W halogen lamp for 90 min.

Catalyst	HCHO conversion (%)
P-25	12.2
AMT-100	4.1
Pt/P-25	28.8
Pt/AMT-100	47.3
Pt/TiO_2-SiO_2 (Ti/Si=1/3)	30.1
Pt/TiO_2-SiO_2 (Ti/Si=1)	33.1
Pt/TiO_2-SiO_2 (Ti/Si=3)	24.5
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=1/4)	13.7
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=1/3)	50.0
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=1)	76.4
$Pt/TiO_2/SiO_2$ (Ti/Si=3)	10.9

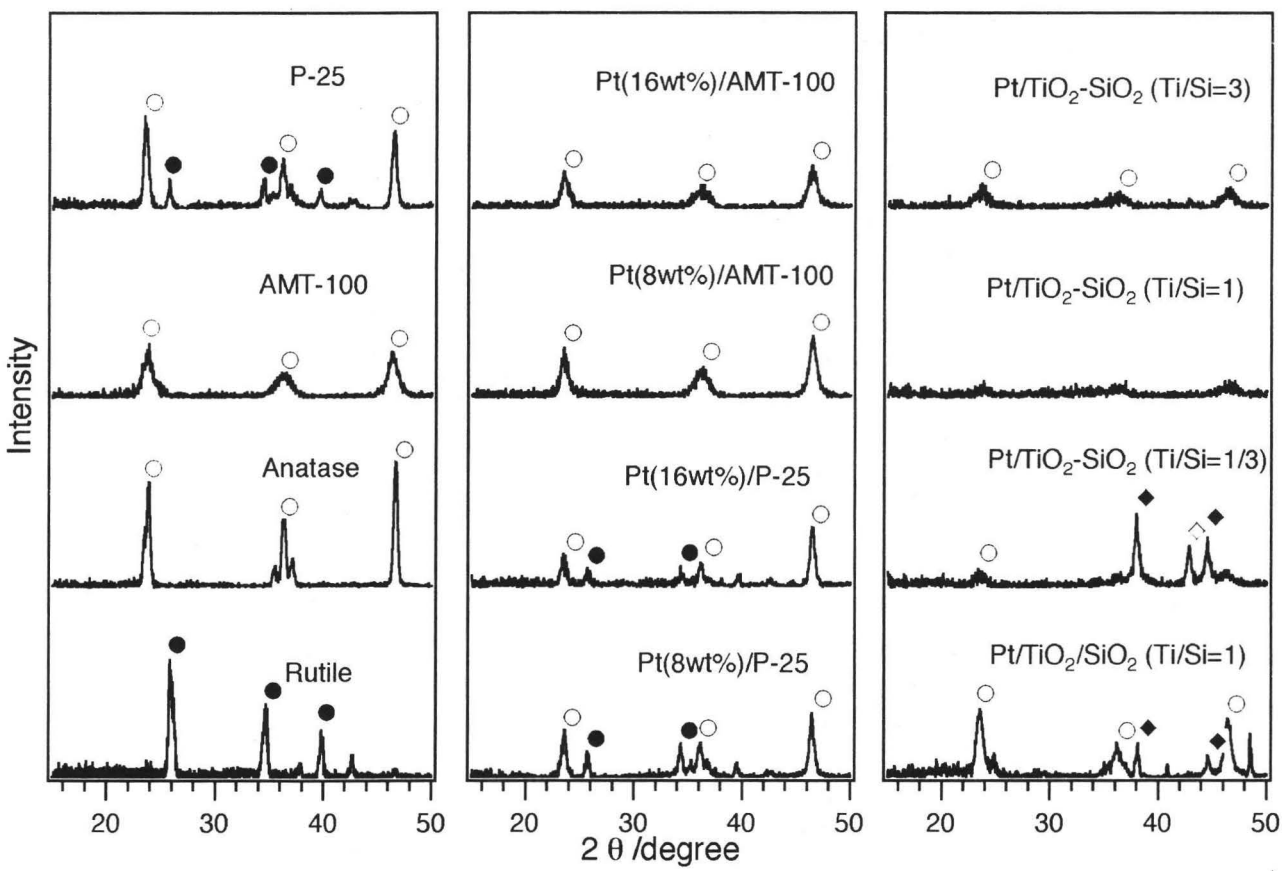


Fig. 1 XRD patterns of TiO_2 (left), Pt/TiO_2 (center), and Pt/TiO_2-SiO_2 (right).

○Anatase ●Rutile ◆Pt(metal) ◇$Pt_{12}Si_5$

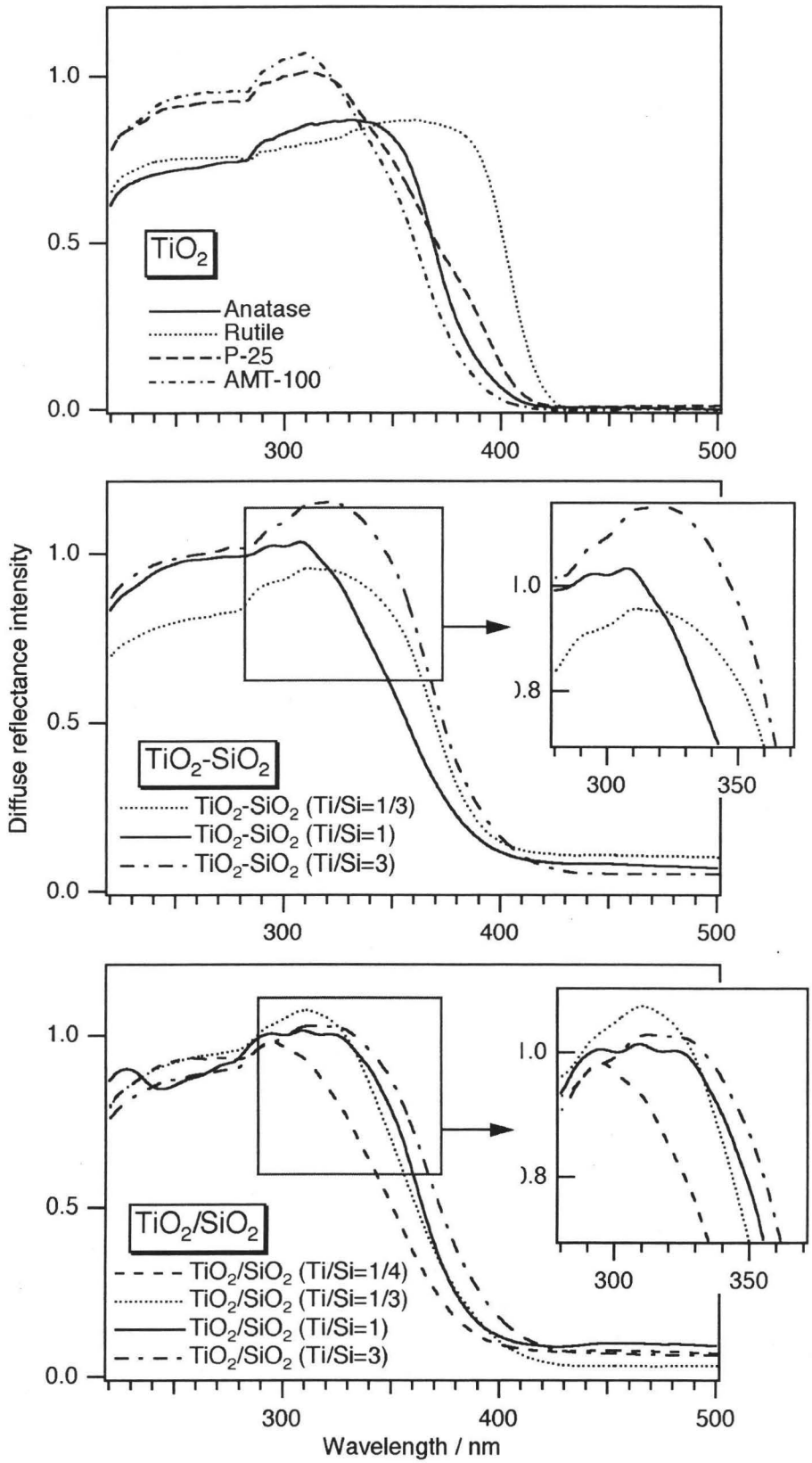


Fig. 2 Diffuse reflectance UV-Vis spectra of TiO_2 (top), TiO_2-SiO_2 (middle), and TiO_2/SiO_2 (bottom) photocatalysts.

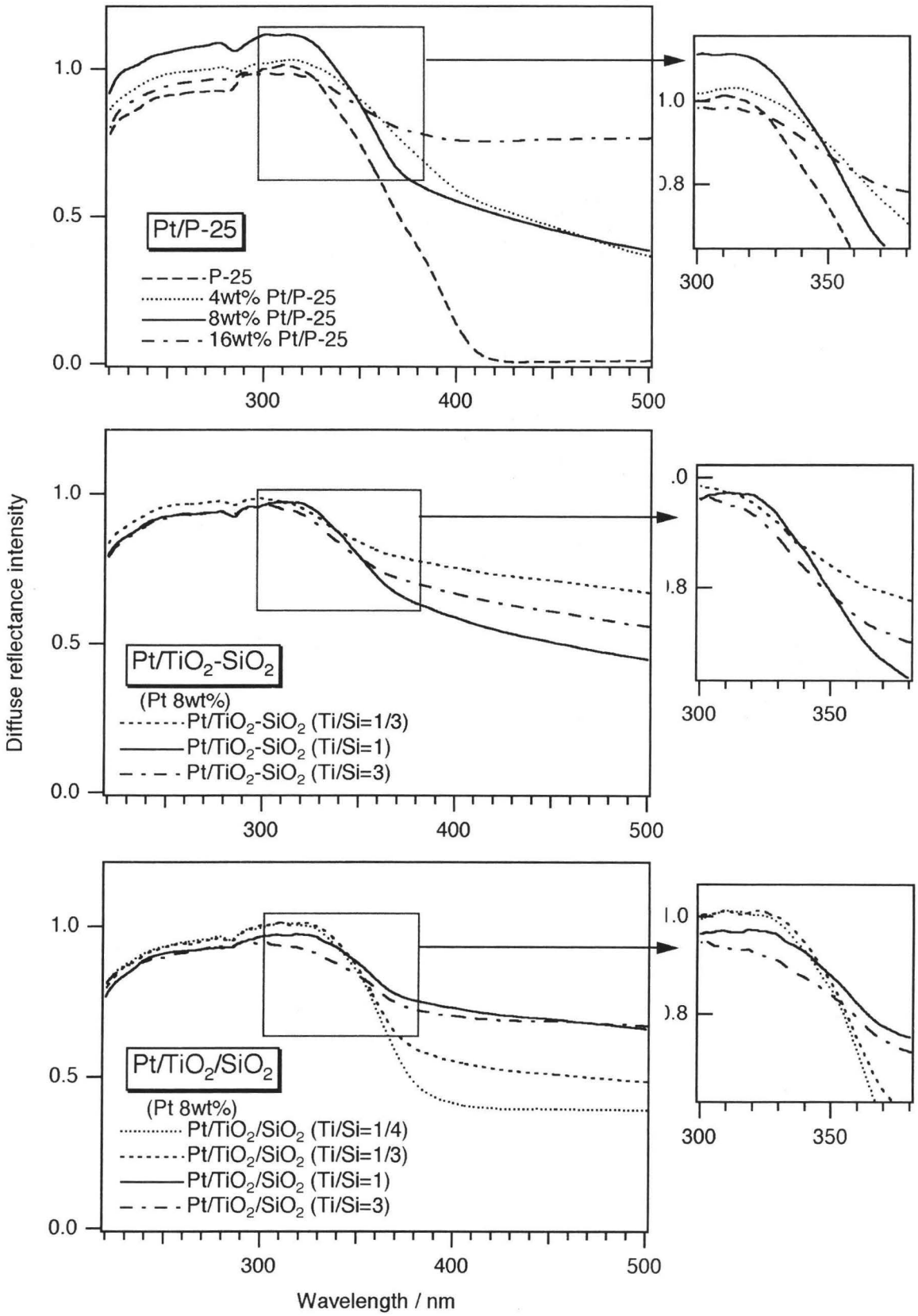


Fig. 3 Diffuse reflectance UV-Vis spectra of Pt/P-25 (top), Pt(8wt%)/TiO_2-SiO_2 (middle), and Pt(8wt%)/TiO_2/SiO_2 (bottom) photocatalysts.

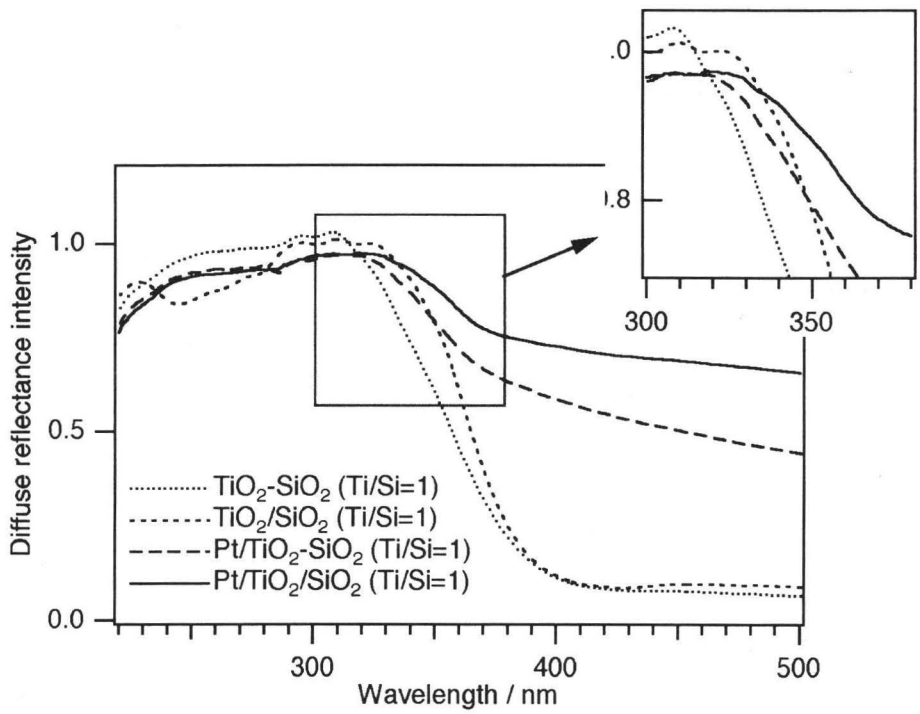


Fig. 4 Diffuse reflectance UV-Vis spectra of Pt-doped TiO_2-SiO_2, TiO_2/SiO_2, and non-doped ones.

1-6 雨水等による外壁汚れのモデル化に関する研究

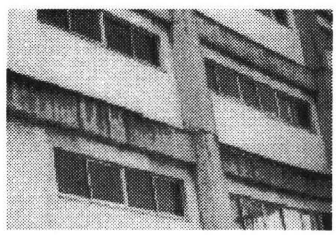
東京大学大学院　工学系研究科　建築学専攻
役職 助教授　野口　貴文　兼松　学　丸山一平　藤本郷史

1．本研究の背景と目的

全ての建築物の外壁は時間とともに汚れていくため、定期的な清掃や塗り替えなどを必要とする。現在、通常の環境下では、年1～2回外壁清掃を行うのが一般的であり、建築のライフサイクルコストに占めるメンテナンス費用の割合は、建築物の寿命を40年とした試算で3割にも及ぶ。一方、外壁仕上げ材料・工法が多様化した近年では経験則による汚れ予測が困難となってきており、理論に基づいた外装面「汚れ」の予測・制御技術の確立が重要かつ緊急な課題となっている。汚れに関する研究例の多くは実態調査や評価手法といった内容にとどまり、建材を物性から解析して「汚れ」を予測・制御しようとする研究例は見られない。このような背景の基に、本研究は、汚れ発生の媒体である雨水の移動に着目して汚れの発生機構をモデル化しようとするものである。

2. 本研究の対象

建築物外壁面の視覚的変化（簡便のため以後必要に応じて「汚れ」と表記する）は、エフロレッセンス、錆びの溶出、塗料・タイルの剥離や剥落、コンクリートのひび割れなど化学変化や破壊など材料の変化を伴う内因性の「汚れ」と煤塵の付着、黒かびの生物の発生などの建築材料自身の物性の変化を伴わない外因性の「汚れ」に分類できる。内因性の「汚れ」の予測は、町並みの価値への寄与、メンテナンス性の向上による資産価値の維持、ライフサイクルコストの低減による地球環境保全への寄与など社会的な耐久性向上の観点から重要な技術である。本研究では、建築物に建築材料由来でない物質が付着・移動・発生・集中して生じる内因性の視覚的変化を対象とした。



本研究の対象となる汚れの例

3. 予測モデル

予測モデルは建材スケールと外壁面スケールから構成される。（図参照）建材スケールでは、外壁（固体）、大気（気体）、液体（雨水）の混相流を流体力学的作用とぬれ性現象を物理学的特性に即した形で解析を行い、水の留まりやすさ、水の広がりやすさ、流れる方向、吸水特性等の付着物質の移動に関する特性と表面形状、表面粗さ、ぬれ性などの物性との対応関係が示される。建築物外壁スケールでは、それらの対応関係を元に、建築物外壁の断面形状を二次元グリッド平面に投射し対応する物性を与えた。

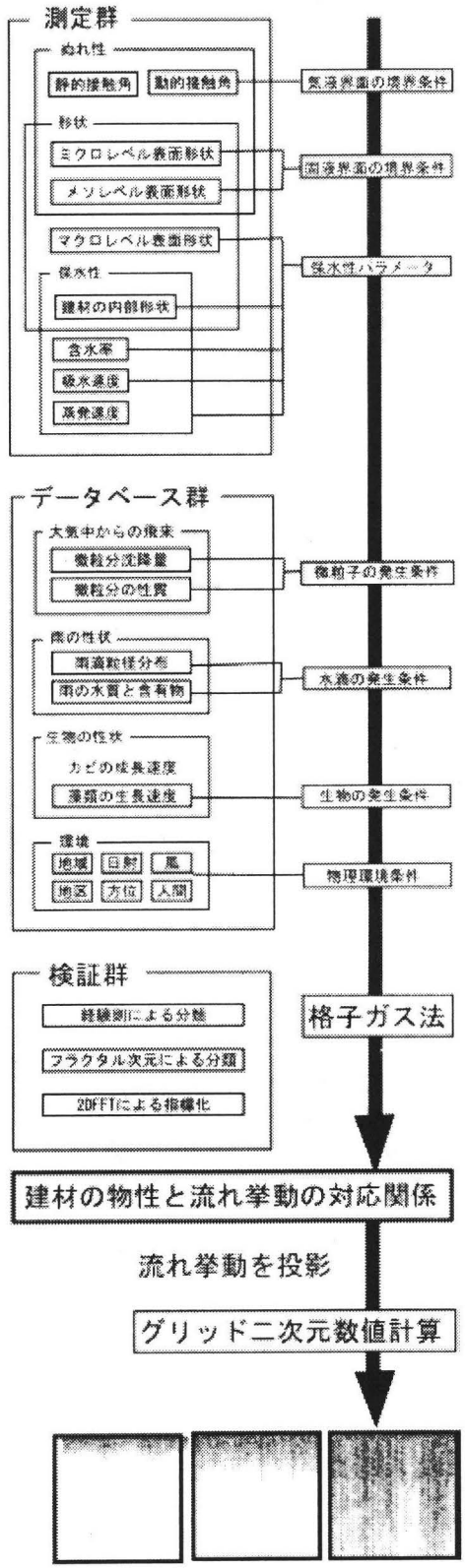

測定群
ぬれ性
静的接触角
動的接触角
形状
ミクロレベル表面形状
メソレベル表面形状
マクロレベル表面形状
保水性
建材の内部形状
含水率
吸水速度
蒸発速度
気液界面の境界条件
固液界面の境界条件
保水性パラメータ
データベース群
大気中からの飛来
微粒分沈降量
微粒分の性質
降の性状
雨滴粒径分布
雨の水質と含有物
生物の性状
カビの成長速度
藻類の生長速度
環境
地域
日射
風
地区
方位
人間
微粒子の発生条件
水滴の発生条件
生物の発生条件
物理環境条件
検証群
経験則による分類
フラクタル次元による分類
2DFFTによる指標化
格子ガス法
建材の物性と流れ挙動の対応関係
流れ挙動を投影
グリッド二次元数値計算

図-4 予測モデルの概要

4. ミクロ機構論的な流体数値計算手法の導入

計算機を用いて流れの数値解析を行う場合、一般的には、ナビエ・ストークス方程式を差分化する手法が用いられる。このような手法は、単成分で単純な境界条件の流れについては非常に高い成果をあげている。しかし、建築材料スケールでモデル化の対象となっている外壁材料表面の雨滴流れは境界でのぬれ性、吸水、複雑な形状の境界条件などを考慮する必要があり、従来の手法では、数値安定性やぬれ性の問題から解析が非常に困難である。建築材料スケールモデルでは、分子間相互作用の影響の大きい複雑流れを解析するために近年急速に発達しつつある格子ガス法を導入し、外壁材料上を流れる雨水の流れ挙動を解析し、流れを決定する表面形状やぬれ性などの物性や環境条件との対応を理論面から検討した。

5. 格子ガス法

本研究では、流れ挙動の数値解析手法として FHP-III モデル[1]、Surface Tracking Algorithm[7]、実数型格子ガス法[3,4]を導入した。格子ガス法は以下のような共通の特徴を持つアルゴリズムであり、質量、運動量保存した回転操作はマクロに方程式と対応していることが示されている。[8]ルールには以下のような特徴がある。

- 粒子はベクトル量
- 離散的な空間（三角格子または、正方格子）
- 併進則：粒子はで速度分移動
- 衝突則：同一セル上の粒子に回転操作
- 但し、回転操作は質量、運動量を保存

Surface Tracking Algorithm は分子間相互作用を擬似的な表面張力を界面をトレーサで追うことで実現し、実数型格子ガス法では色付きモデル[6]を基礎とした混相モデルである。本研究では、計算負荷の観点から二次元の断面性状の検討にはを用いた。また、形状、温度、次元、物理的整合性などの再現性においてより有利な混相モデルの実数型格子ガス法を建材スケールの三次元解析手法としてモデルを構築した。

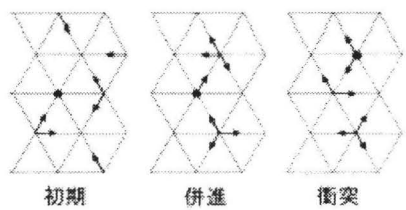


図2 格子ガス法の衝突

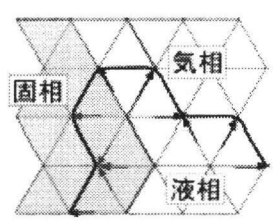


図3 Surface Tracking Algorithm[7]

6. 実数型格子ガス法

物理量との対応

抽象化されたミクロ機構論的なモデルではミクロなダイナミクスの粗視化処理を施してマクロな物理量を恣意的に導出する必要がある。実数型格子ガス法では平衡状態におけるエネルギー分布が Maxwell-Boltzmann 分布に従うことから熱輸送を伴う流体を表現可能である。系の温度は

$$T^* = \begin{cases} (v^2/2) & 2\text{次元の場合} \\ (2/3)(v^2/2) & 3\text{次元の場合} \end{cases}$$

表される。但し、

$$T^* = \lambda T$$

であり、平衡状態での速度確率分布が分布に従うことより導かれる。動粘性係数は、ランダムな回転角による衝突アルゴリズムの場合、平均粒子密度とすると

$$\nu = \frac{1}{12} + T^* \frac{\rho + 1 - \epsilon^2}{2(\rho - 1 + \epsilon^2)}$$

である。

ぬれ性

実数型格子ガス法では、色付きモデルによりぬれ性が実装されラプラス則によって表面張力が決定される。色付きモデルでは、一つの流体に一つの色がついていると考えて色の重みを粒子属性として与える。流体が二相の場合（仮に青と赤の流体とする）と、

$$\chi_n = \begin{cases} +1 & \text{if red} \\ -1 & \text{if blue} \end{cases}$$

という重みを与えることができる。まず、平均流速との差分の色で重み付けされた運動量ベクトルをとり、

$$\mathbf{q} = \sum \chi_i (\mathbf{v} - \mathbf{V})$$

カラーフラックス q と呼ぶ。これは赤粒子が多く向かう方向を指す係数である。

ここでセル x とその i 方向の近傍セル Xi を、とし、x から xi への相対位置ベクトルを Ci とすると、隣接格子を含む色の場カラーフィールドを以下のように定義できる。

$$\mathbf{f} = \sum_i \frac{\delta_i \mathbf{c}_i}{|\mathbf{c}_i|^2}$$

但し、δi は青粒子と赤粒子のセル xi における差であり、

$$\delta_i = \sum_n \chi_n$$

と表される。ここで、

$$\frac{\mathbf{f}}{|\mathbf{f}|} = \omega^* \frac{\mathbf{q}}{|\mathbf{q}|}$$

を満たす回転マトリクスωを考える。これは回転後のカラーフラックス

$$q'(=\omega q)$$

とカラーフィールドｆの間に働く仕事を最小にする。この行列は実装上、カラーフラックスとカラーフィールドの両方が存在する場合、すなわち相界面において適用する。特に恒温壁境界条件においては、色重み付けを壁セルの属性とすることによってぬれ性という物性を再現できる。例えば、

$$\sigma_{wall} < \sigma_{liq}$$

なら赤にぬれ易く、逆ならぬれにくい物性を設定できる。一方、表面緩和や吸着が平衡状態にあることを仮定して以下の条件で接触角の測定を行った。多孔質材料については吸水するので平衡は仮定できないので、滴下後の時間をそろえ、動的接触角を測定することでぬれ性を評価した。実際上、多孔質材料に関しては、流れ挙動に対してぬれ性よりも吸水性が十分支配的だと考えることができるため、同時に測定可能な吸水速度のみで十分評価が可能である。

7．境界条件

建築材料スケールモデルでは建築材料の表面形状を三つに分類した。スケールの凹凸、幅以上の凸凹、吸水に影響を与える内部構造である。スケールの凹凸はぬれ性に含まれているものと考えた。即ちの式実際の表面積見かけの表面積）　を仮定して微細な粗さを表面緩和の一環だと考えて評価している。その上で図のような高低値を境界条件として与え、大き目の凹凸が与える影響を解析した。吸水は毛細管を模擬した穴を図のような測定値と合うように適宜与えてモデル化している。マクロな表面形状は表の条件で測定した。

	条件
測定装置	Data physics OCA15
温度	20 C°
相対湿度	20%
測定	滴下 0.1 秒後

表 1: 接触角の測定条件

	条件
測定装置	Roland PICZA 30
測定面	縦 20mm 横 20mm
ピッチ	0.2mm, 0.05mm

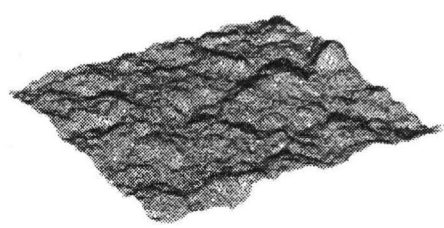


図 5: 境界条件

8．付着物の組成

付着物の物性は数多く存在する暴露試験体や実在建築物から採取測定可能である。しかしながら、標準的な促進試験、暴露法が確立していない原状では定量的に測定したとしてもそれらがどのように周囲の環境と対応しているか明らかでなくそれらが一般の実在建築物に適用できる可能性は低い。設計レベルでの知見とするには、広範囲にわたって定量的に測定され広く提供されている公共のデータベースと対応が取れる形で視覚的経年変化の予測に関する知見が得られればより有用であるだろう。そこで、本論では、定性的研究を参照して由来を仮定し、その由来を元にして付着物の物性を推定し、国立環境研究所のデータベース及び拡張アメダスデータベースを基にして実際の環境下における付着物の濃度を推定した。本研究では、建築物への水平面に塵埃や排気ガス粒子の建築物外壁水平部分への堆積を、低レイノルズ数における沈降評価式である Stokes 則を用いて評価した。即ち、終末沈降速度は、直径、密度の球形粒子が、粘度、密度の流体中で重力重力を受けて沈降速度であるとき、（但し、は抗力係数）と表せるので、経過時間のとき T が堆積厚さ となる。

$$v = \sqrt{\frac{4}{3}\frac{\rho_p - \rho}{\rho} g C_{DAVG}}$$

stokes 則

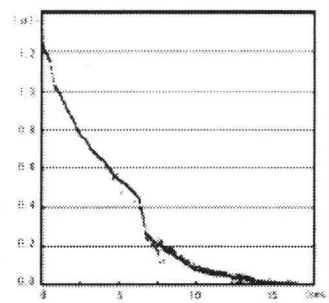


図 吸水特性

9. 外壁スケールのモデル

以上のようにして構築された流体シミュレータを用いて、建築材料表面における雨滴の流れ特性、付着物の移動特性が求められる。特性は、セルラオートマタに模した「流れ落ちる」「斜めに方向を変える」「ぬれ広がる」「水を保持する」という簡単なルールに置き換えられる。この時、境界条件の形状が主要因となる流れの方向や付着性は表面の高さ画像をパワースペクトル、凹面容積の算出によって導出される。さらに、パラペットや庇、看板などのマクロな突起物は水平面を持つので堆積厚さ分の付着物があらかじめ堆積していると仮定している。（図参照）以上のような簡単なモデルによる計算結果を図に示す。多孔質材料のような吸水性の卓越した材料では、水平面より下へ一様な黒ずみが広がり、ぬれ性も吸水性も低い金属のような材料ではたれが目立つのが再現できた。また、水切りに欠けがあったり看板など一部分のみの突起など一部分のみに水平面がある場合にはいわゆる「くさび状」に紋様ができる。

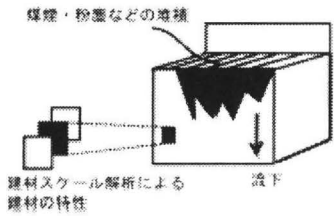


図7. 外壁スケールのモデルの概念

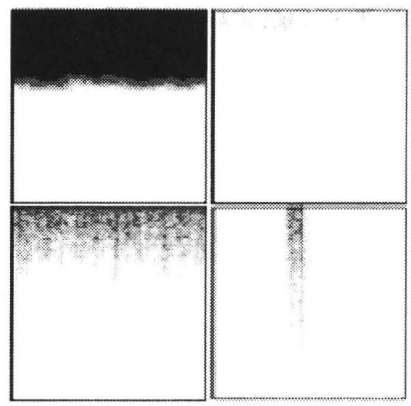


図8. 出力例

吸水性・ぬれ性も高い	吸水性・ぬれ性が低い
吸水性高・ぬれ性低	水切り不備等

図9. 画像の配置と説明

結論

建築物上の雨滴流れの挙動と建築外壁材料の物性との対応関係を再現する建築材料スケールモデルを構築した。これを簡便な建築外壁面スケールモデルと組み合わせ、建築物外壁面の視覚的経年変化予測モデルを構築した。ミクロな物性に基づいて「汚れ」発生メカニズムを解明しモデル化するための端緒を開き、簡便なモデルによっても視覚的経年変化が適切に記述できる可能性を示した。出力の客観的評価手法、手法のスケーラビリティーが今後の課題である

参考文献

[1]U.Frisch, B. Hasslacher, Y. POmeau,Lattice gas Automata for the Navier-Stokes equation, Phys. Rev. Lett. 56(1986)1505.

[2] 藤本郷史,丸山一平,兼松学,野口貴文, 格子ガス法および法を用いた建築物外壁面の「汚れ」シミュレーション日本建築学会梗概集

[3]橋本康弘実数型格子ガス法を用いた三次元混相流 解析東京大学

[4]Shingo Tsunoda, Yu Chen, Hirotada Ohashi, Anew surface algorithm for lattice gas automata, Computer Physics Communications 129(2000)138-139

[5] Bastien Chopard, Michel Droz, Cellular Automata Modeling of Physical Systems, Cambridge University Press

[6]小原誠折笠彌関根俊久外壁の改修と保全設計 彰国社

,

1-7 有毒ガスを除去する建材コーティング技術の開発

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科
助教授 白鳥 世明

ナノテクノロジーの重要性が世界的にも認識されはじめている。原子、分子を超高真空で扱う技術は良く知られているものの、装置も高価で、量産性も困難などの指摘もされている。研究者らはウェットプロセス交互積層法により、常温、常圧で薄膜のナノ構造制御を行ってきた。本研究では、この技術を基に、超高比表面積材料の開発を行う。通常の平面シートより２桁高い表面積のシートを作製することにより、化学吸着、物理吸着力ともに優れた高機能ケミカルフィルタへの応用を図る。この技術を用いれば住宅に使われている建材から発するアンモニアやホルムアルデヒドガスなど複数の有害ガス吸着が可能になる。具体的にはロール式交互積層膜作製装置を導入し、天然素材と水をベースにしたナノ構造制御による大面積コーティング法を確立する。この手法により、従来のドライプロセスによる薄膜作製より、２桁のコストダウンが期待される。また、表面積の増大により、ガス除去性能を改善し、人と環境にやさしいナノコーティング技術を構築する。

高い多孔性を持つ微粒子混合膜を坦持したフィルタ表面に低分子量化合物を担持することにより、アセトアルデヒド除去性能を持つフィルタを作製した。これと基材、微粒子混合膜のみ担持したもの、低分子量化合物のみ担持したもの、また、対象比較用として同かさ体積の粒状活性炭について脱臭性能を評価した。密閉系における脱臭試験において、チタニア微粒子混合膜とリン酸ヒドロキシルアミン（Hydroxylamine Phosphate：HAP）の組み合わせにより、その他の評価フィルタに比べ、高いアセトアルデヒド除去性能を示した。

作製した微粒子混合膜はアセトアルデヒドに対して充分な活性を示さなかったことから、アミノ基を持つ低分子量化合物であるヒドロキシルアミンを用いて脱臭性能の改善を試みた。ヒドロキシルアミン自体は不安定であり、空気中で容易にアンモニアと水に分解してしまうため、安定な状態で担持するために、そのリン酸塩であるリン酸ヒドロキシルアミンを担持することにより試料を作製した。

基材、酸化チタン微粒子混合膜担持基材、HAP 浸漬基材、HAP 浸漬酸化チタン微粒子混合膜担持基材及び同かさ体積の粒状活性炭についてまずはシックハウスの原因であるアセトアルデヒド単ガスについて脱臭試験を行った。

研究者らは、酸化チタン微粒子混合膜及び酸化マグネシウム微粒子混合膜を担持したフィルタについてそれぞれタバコ煙に対する脱臭性能を試験し、アンモニア、アセトアルデヒド、酢酸に対する脱臭性能を同かさ体積の粒状活性炭（Wako）と比較・評価した。
評価の結果から、アンモニアに対しては酸化チタン微粒子混合膜を用いたフィルタが即効性、吸着性能共に最も高いことがわかり、酢酸についても酸化マグネシウム微粒子混合膜を担持したフィルタにおいて高い即効性、吸着性能を示した。その一方でアセトアルデヒドに対しては酸化チタン微粒子混合膜、酸化マグネシウム微粒子混合膜共に充分な脱臭性能が得られておらず、同かさ体積の粒状活性炭に比べ、充分な脱臭性能が得られていないことがわかる。

図１に密閉系におけるアセトアルデヒドの脱臭試験の結果を示す。この結果より,酸化チタン微粒子混合膜担持ハニカム、HAP 浸漬ハニカムに比べ、その両者を組み合わせたフィルタは即効性・除去率共に大きく向上していることが分かり、また、同かさ体積の粒状活性炭に比べて高い脱臭性能を持つことが分かる。
これは、HAP 担持により基材より即効性が改善され、酸化チタン微粒子混合膜担持では脱臭性能が低下していることから、高比表面積性を持つ酸化チタン微粒子の表面に HAP が担持されたことにより、対象ガスと反応できる面積が大幅に増えたことによるものと考えられる。

微粒子混合膜を担持することにより、アンモニア、酢酸に対して有効な混合膜中にアミノ基を持つ低分子量化合物を取り込むことにより、アセトアルデヒドに対し除去性能を付与することがケミカルフィルタを作製することができた。また、微粒子できた。

このガス吸着特性をアセテートなどの生分解性発泡剤へ用い、皮過特性評価・リサイクル性の評価・検討を行う。

これらの実験結果を元に複数種のガスをさらに強力吸着するハイブリッドフィルター、ハイブリッド建材の開発を目指す。

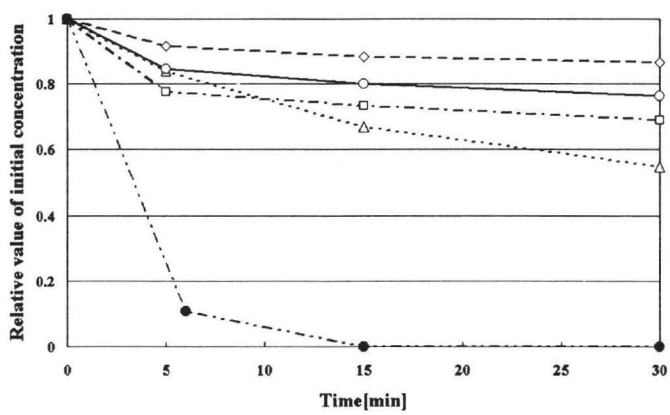


図.アセトアルデヒド脱臭性能

○アルミナハニカム基材, □ HAP 浸漬ハニカム
◇ 酸化チタン微粒子混合膜担持ハニカム
● HAP 浸漬酸化チタン微粒子混合膜担持ハニカム
△ 粒状活性炭

1-8 北陸地方の伝統的民家における温熱環境制御手法の実測的研究

東京大学生産技術所・福井大学工学部
助教授　大岡 龍三

1．序文

伝統的民家の建築的形態や細部の工夫は、巧緻な自然エネルギー利用手法に富んだものが多い。これら伝統的民家が有する種々の自然エネルギー利用方法を建築環境工学の立場から評価し、現代建築への適用を図ることは、安易な化石エネルギーへの依存を極力削減する可能性を含んでいる。

伝統的民家の温熱環境の優れた実測例は、花岡らをはじめ、山田、古川、木村らによるものなど数多く存在するが、民家が有すべき空気や熱の流れに着目した実測例は少ない。また、当時の生活状態を出来るだけ忠実に再現し、総合的な温熱環境評価指標を用いて居住環境を評価した例はほとんどない。更に、福井県での測定例は少なく、現存する少数の民家も移築されるなど、当時の形態を維持しているものは年々減少している。福井県の少数の伝統的民家が現存するうちに、その温熱環境制御手法を解明し、その設計手法を明らかにすることは、建築環境工学の立場からのみならず、歴史・社会・文化的な立場からも非常に有意義と考えられる。

本研究では、福井県の伝統的民家について、夏季と冬季に分けてその温熱環境制御手法を検討するべく、特に外界との気象条件との関連を考慮に入れて、空気や熱の流れに着目して実測を行った。更に、総合的な温熱環境評価指数である PMV (Predicted Mean Vote) [文1)注1)] を用いて、居住環境を評価した。また、伝統的民家における当時の熱環境の調整手法の代表としてイロリを取り上げ、出来る限り当時の利用状況を再現し、冬季のイロリの室内温熱環境形成効果について詳細に検討を行った。

2．実測概要

2．1　実測対象　本研究で対象とする伝統的民家は福井県坂井郡丸岡町上竹田の「坪川家住宅」(国重要文化財) である。当家は建築年代を示す文献資料を伝えていないが、17 世紀中ごろまでさかのぼると考えられる。当住宅は福井県に残る民家の中では最も古く、全国的にも貴重な古民家の一つである。図 1 に坪川家住宅の平面図・断面図・立面図を示す。

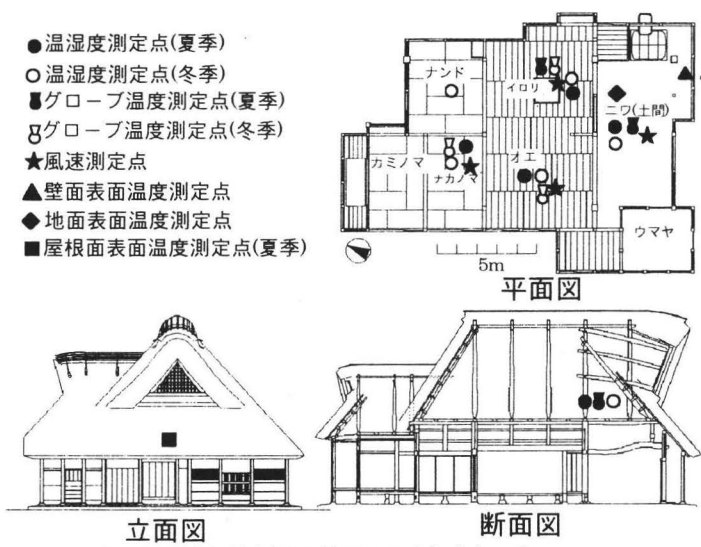


図 1　実測対象図並びに測定点個所

2．2　実測期間

（夏季実測）2000年8月22日～8月27日、（冬季実測）2000年12月5日～12月7日

2．3　測定項目

表1に測定項目ならびに使用した測定機器を示す。建築室内温熱環境の測定点を図1に示す。気温測定は立位を想定し床上1.1m高さとしているが、イロリ付近のみ座位を想定し0.6m高さとした。

表1　測定項目並びに使用した測定機器

測定位置	測定項目	測定装置	測定点数	
			夏季	冬季
外部気象	風向・風速（高さ6m）	矢羽型風向計、3杯式風速計	1	1
	全天日射量	全天日射計	1	1
	気温・湿度	アスマン風速乾湿計	1	1
対象建物	気温・湿度（高さ1.1m	温湿度測定記録器	5	5
	壁面表面温度	CC型熱伝対	2	2
	地面表面温度	CC型熱伝対	1	1
	屋根面表面温度	CC型熱伝対	2	0
	熱流量	熱流計	1	1
	温度（高さ1.1m）	グローブ温度計	3	3
	風速（高さ1.1m）	簡易風速計	4	3
	気流の可視化		○	○
	換気量	CO_2濃度測定器	×	○

3．夏季実測結果

3．1　外部気象　図2に全天日射量の時間変化を示す。実測期間中、晴天が続き全天日射量は連日正午近くには900W/㎡程度にまで達した。

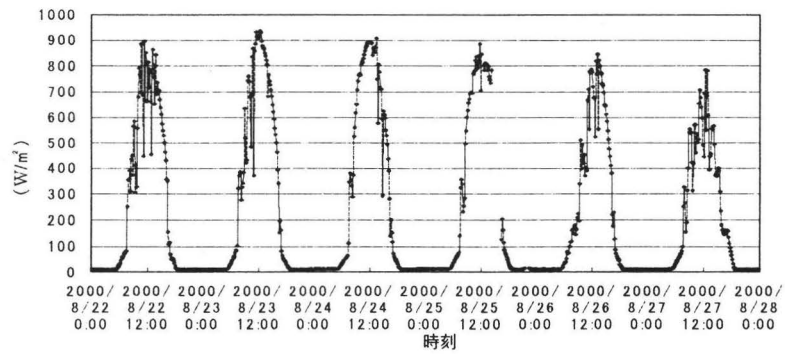


図2　全天日射量

3．2　室内気温　図3に室内と外部の気温の時間変化を示す。小屋裏以外の室内の測定点は同じような推移をした。また、室内の各測定点とも昼間は外気温より低く、夜間は高めとなり、外部より安定した推移を示した。これは、建物躯体の蓄熱作用のためと考えられる。小屋裏の測定点が最も安定していたのは、周囲の茅葺き屋根によって、外気からの影響を受けにくいためと考えられる。

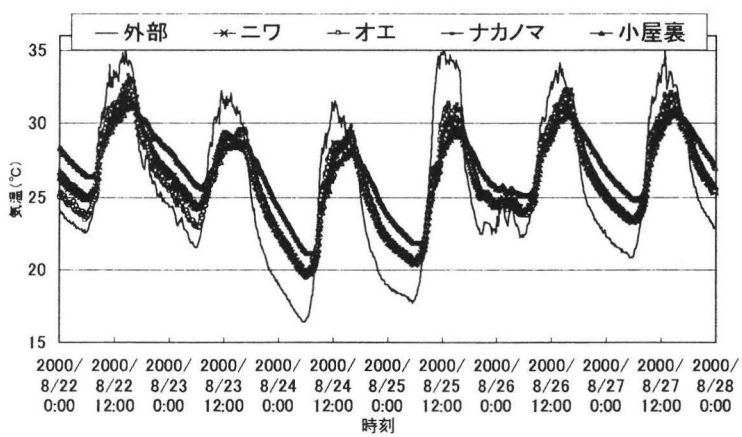


図3　室内気温

３．３　屋根面表面温度

図４に屋根面の表裏の表面温度の時間変化を示す。

屋根外面温度は最高 70℃まで達する。一方、屋根内面温度は 27～30℃の範囲で安定した推移を示し、屋根内外面温度差は 40℃程度となり、茅葺き屋根の断熱効果が確認された。

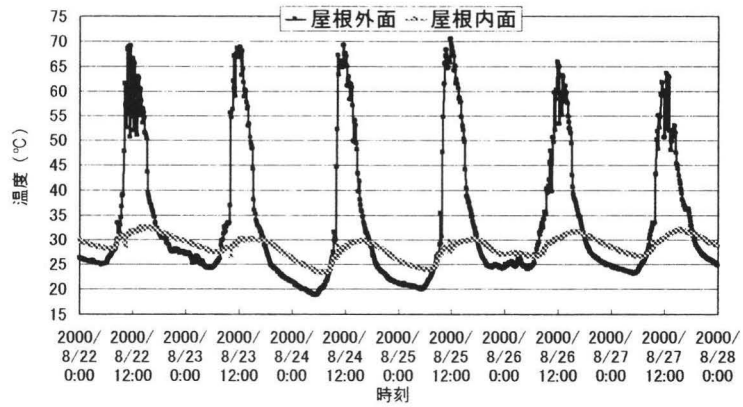


図４　屋根面表面温度

４．冬季実測結果

12 月 6 日にイロリを出来る限り当時の利用状況に近づけ、イロリの室内環境形成効果について検討を行った。具体的には、早朝 8:00 より 19:00 までに本住宅に滞在し、通常の採暖以外に朝・昼・夕の調理の時間には火力を強めた。イロリにおける木材の消費量は 12 月 6 日において 26.4kg (2.4kg/h) であった。

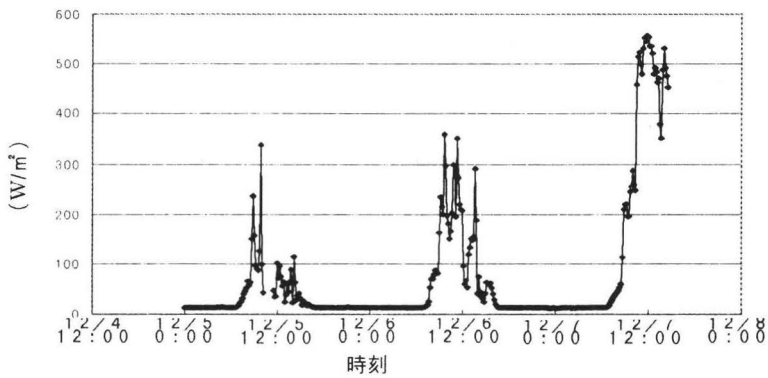


図５　全天日射量

４．１　外部気象

図５に全天日射量の時間変化を示す。実測期間中は曇天や雨天が続き、期間中の最大日射量でも 12 月 7 日 12:00 付近の 550W/㎡であった。

４．２　室内気温

図６に室内と外部の気温の時間変化を示す。イロリ使用時には、イロリ近くの気温は他の測定点よりも高い。小屋裏の気温がイロリ近くの気温と似た推移を示しているのは、イロリで暖められた空気が上部の小屋裏へ上昇しているためであると考えられる。イロリの影響を受けにくいオエ、ニワ、ナカノマの気温は同じ値を示している。

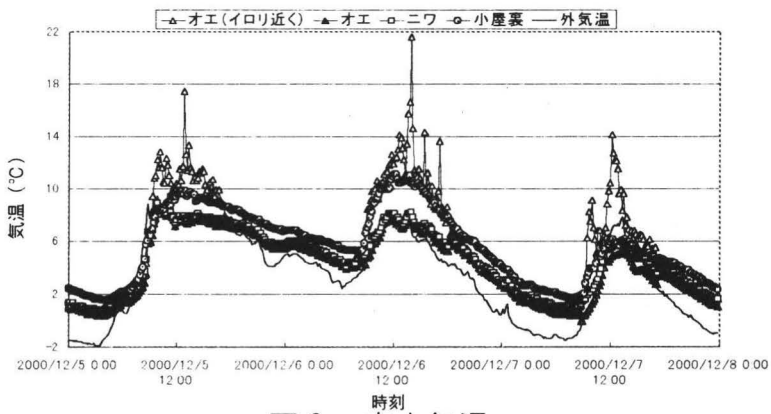


図６　室内気温

4．3　グローブ温度

図7にグローブ温度の時間変化を示す。オエ、ナカノマは実測期間中ほぼ同じ推移を示す。各測定点とも気温より 3℃ほど高い。またイロリ使用時にはイロリ付近でグローブ温度が外気温より 10℃以上高い結果となった。日中、イロリ使用時にはイロリ付近とその他の測定点では15℃を超えるグローブ温度差が現れた。これはイロリ周辺がイロリの放射熱の影響を多大に受けていることを示している。

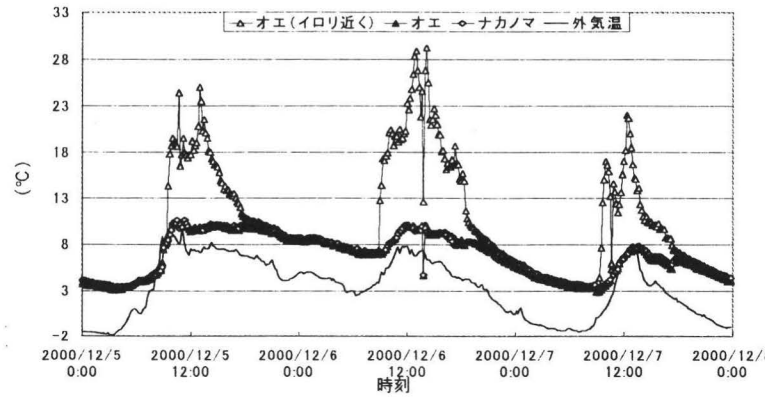


図7　グローブ温度

4．4　PMVの比較とイロリの温熱環境

図8にPMVの時間変化を示す。case1はイロリ付近のPMVであり、case2は同じオエでもイロリから離れた点(図1参照)のPMVである。case3はcase2のうち気温のみイロリ付近の値を利用している。イロリの温熱環境形成効果は大きく、イロリによる気温上昇効果とイロリからの放射熱の発散効果に分けることが出来る。従ってcase3はcase2に比べ、イロリによる気温上昇効果を、case1はcase3に比べ、イロリによる放射熱の効果を反映していることになる。イロリから離れた点のPMV(case2)は−3以下と非常に小さく温熱環境としては劣悪である。また、イロリ付近の気温を用いたcase3でも殆ど改善されない。一方、イロリ付近のPMV（case1）では−1.3以上と温熱環境は大幅に改善されている。このことはイロリの温熱環境形成効果のうち気温上昇による効果は極めてわずかであり、放射熱の発散による効果が大きな割合を占めていることを示している。

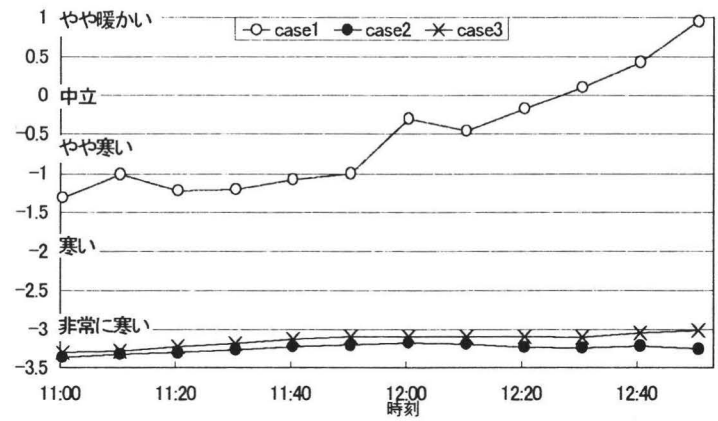


図8　PMV時間変化

5．まとめ

1）伝統的民家（坪川家）において、温熱環境の実測を夏季と冬季に分けて行った。

2）夏季実測で得られた結果より、建物躯体の蓄熱作用、茅葺き屋根の断熱効果を確認することができた。

3）冬季実測の結果より、イロリの温熱環境改善効果のうち、その多くの部分は放射熱の発散による効果である。

謝辞　本研究の実測対象選定に対し、福井大学工学部福井宇洋先生の、実測の実施に際し、山川任俊君（当時福井大学大学院生)、志田早智子君（当時福井大学４年生）並びに本住宅の当主である坪川氏の御協力を頂きました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

注１）冬季のPMVの計算は1.2clo（一般的な冬服)、1.0Met（静穏時）を使用した。

文１）P.O.Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press (1970)

*東京大学生産技術研究所　助教授　博士(工)　　Associate Professor, Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Ph.D.

1-9 出入口まわりの構法に関する研究

東京理科大学 工学部 建築学科
教授 真鍋 恒博

第１章研究の概要

１－１．研究の背景

①様々な要素が絡む出入口まわりの設計

建物の出入口は建物の室内外の接点であり、人の出入りとともに物品や雨水・風・音等さまざまなものが出入りし、様々な要素の複雑に絡んだ要求があり、設計においてはそれらに対応する手法が存在すると考えられる。

そこで出入口まわりに発生する要求とその対応手法を体系的に整理する必要がある。

②出入口まわりについての総合的な研究の必要性

出入口まわりの設計には様々な要素が絡んでくるが、それらを考慮して総合的・総論的視点からの研究はこれまでほとんど行なわれていない。出入口まわりで特に、玄関まわりに関する過去の研究については、年代や地域、建築種を限定した建築計画・建築史の観点からの研究であった。

③構法計画学的視点からの研究の必要性

真鍋研究室で過去に行なってきた「手法の体系化」を出入口まわりという空間に応用させ、実例の詳細な分析を通して、実際の設計の際により有用な設計支援ツールを作成する。

④明確な整理体系のないディテール設計手法の現状とディテール理解の必要性

これまでディテールの設計は伝統や経験に頼るものとされ、その具体的な設計手法に関する論理的な分析については、明確な整理体系が示されていない。また、近年、設計実務の専門分化などにより、設計者が最終的なディテールまで理解することが少なくなっていると言われている。しかし、普通のものを合理的につくり出す場合を除き、予期せぬ故障事態に対応しなくてはいけない場合や新機構を開発する場合など、設計者はディテールを詳細まで理解している必要性があり、論理的・体系的なディテール把握の必要性がある。

１－２．研究の目的

①出入口まわりに生ずる要求とそれに対応した設計手法の体系的整理

出入口まわりに生ずる現象とその現象に対する要求を抽出し、その要求に対応した設計手法を体系的に整理・把握する。

②出入口まわりの設計例の詳細な分析と理解

出入口まわりの設計例である実例の詳細図を詳細に分析することで、出入口まわりの設計に対し理解を深め、そこから手法を帰納的に抽出する。

③設計の段階で参考となる資料の作成

体系的に整理されたマトリクスと、実例及び各種文献から抽出した手法を結びつ

けることで、出入口まわりの実際の設計に参考となる体系的かつ基本的な資料を作成する。

④出入口まわりの部位・部材の納まりの把握

出入口まわりにおける部位・部材の納まりについて、モデル化を行ない、パターンに分類することで把握し、納まりの原理を見出すことを目的とする。

要求およびそれに対応する手法からの分析を行なうことで、パターンのバリエーションを導出し、それを体系的に整理することで、ディテール設計の際に活用されうる、納まりの基礎的参考資料の作成を目標とする。

1－3．研究対象

本研究では「出入口まわり」を研究対象とした。

①人が出入りする開口部である出入口

建築内外を出入りするものは人以外にも風・水などの各種作用因子や車など様々なものがあり、それらのための出入口が存在する。人の出入りのための出入口を本研究の対象とした。出入口は玄関、エントランス、勝手口、通用口、昇降口、裏口など様々なものがある。

②建物の内部と外部をつなぐ出入口

空間の仕切りとしての概念的な出入口ではなく、建物の内部と外部をつなぐ出入口を対象とした。建物内部での空間の仕切りとしての出入口は対象外とした

③出入口まわりの各部位

前述のように、内外を仕切り繋ぐ出入口およびその周辺部を研究対象とした。具体的には、玄関・勝手口・風除室等で、部位としては、戸・枠等の建具、床、天井等である。

1－4．対象とした資料・実例

「ディテール」誌等の各種文献から、出入口まわりの納まり・材質・形状・寸法等を読み取ることが可能な実例の詳細図及び関連する記述・写真等の資料を収集した。

収集した実例約100件について、要求およびそれに対する手法、納まり等の詳細な分析を行なった。

第2章出入口まわりの構法の分類

2－1．概要

各種資料・文献などを参考に、「建具の開閉方式」、「出入口まわりの形状」、「出入り制限の方法」等の様々な分類観点から、出入口まわりの基本的な構法を整理した。

2－2．分類観点

分類観点として、以下の項目を挙げて整理した。

・出入り口種
・出入りする人（主として出入りする人・年齢・身体状態・状態）
・出入りするもの（人が運搬するもの・風が運搬するもの・各種作用因子）
・出入制限（料金支払いの有無・特定のキー所持）

・出入り口まわりの形状（断面形状・戸の枚数・建具開閉方式・風除室の有無・建具構法・床段差）
・ 建具金物

第３章出入口まわりに生ずる現象と要求

３－１．概要

出入口まわりに関する要求を把握するために、出入口まわりに生ずる現象を抽出した。出入口まわりに影響を及ぼす作用因子の現象のうち主なものを抽出し、人の行動と人以外の各種作用因子の挙動現象に分け、それらを詳細に検討・整理した。さらに現象ごとに対する要求を抽出した。

３－２．出入り口まわりに生ずる現象の抽出

現象は捉える観点により様々な分類の仕方がある。以下に真鍋研究室における過去の分類観点を示すが、本研究ではこれらの観点を適宜引用し、対象とする現象を絞り込んだ（表－１、２）。

１）時系列からの観点

建築において生じている現象は、時系列的な段階に着目すれば以下の２種類がある。

①供用段階に生ずる現象

出来上がった建物において生ずる現象。

②生産段階に生ずる現象

建物の建設過程において生ずる現象。

２）現象の内容からの観点

作用因子(ＡＦ)の側面から現象を捉える見方と作用を受ける側から捉える見方の違いにより、現象は以下の３種類がある。

①作用因子の挙動現象

作用因子と建物もしくは人間との間に生ずる現象。

②建物の性状変化現象

作用因子の作用ににによって建物の性状が変化ずる現象。

③人間の性状変化現象

作用因子の作用によって人間の肉体的性状が変わる現象。

第４章制御原理の抽出と手法の体系的整理

４－１．概要

出入口まわりにおける人間とその他の作用因子に関する要求を満たす手法を整理するため、「構法レベル・構成要素」という「もの」の分類と、人間やその他の作用因子に関する現象を分析して抽出した「制御原理」の２つの軸により、手法の体系化を行なった。

４－２．構法レベルと構成要素の設定

出入口まわりの手法を体系的に整理するため、出入口が内部と外部を分ける境界であるという観点から、出入口まわりの構成要素を室空間、部位レベルとして外部・開口部・内部に分類し、それぞれを以下のように細分化した(表－３)。

４－３．出入口まわりの分析対象の抽出・整理

制御原理の抽出に先立ち、出入口まわりにおける現象及びそれに対する要求について、以下の観点から分析対象を決定した(表－４)。４－４においては、ここで示す分析対象について、制御原理の抽出及び分析を行う。

１）出入口まわりを計画する際に考慮すべき要求

第３章では人間とその他の作用因子に関する現象及び現象及び要求を排他的かつ網羅的に抽出したが、実際の設計段階においては優先される要求が存在している。

そこで本研究では出入口まわりの設計において、建築種に関係なく、考慮されるべき観点から手法の体系化を行なうこととした。

２）実際の手法に関係の深い要求

文献等から収集する手法に対応している要求は、実際に計画をする際に重要と思われるため、実際に文献も参照して分析対象を選択した。

４－４．各種観点からの設計手法の体系化（制御原理の抽出と手法の整理）

４－４－１．概要

４－３．で設定した分析対象に対して、別紙に例示するような分析を行った。まず、「制御原理」を抽出し、次にそれに対応する建築的手法を体系的に整理した。なお、手法の整理に当たっては、４－２で述べた「構法レベル・構成要素」を用いている。

４－４－２．制御原理の抽出

各種の要求を満足させるための「制御原理」を分析するため、真鍋研究室の過去の諸論文を参考に、各要求ごとに４段階の作業を以下の順序で行なった（表－５）。

１）定義

前述した分析対象の定義を行なう。

２）対象とする現象

分析対象に関係の深い現象を列挙する。

３）現象の分析過程

現象が発生するための物理的条件を明確にするために、発生のプロセスに沿って「現象」を細分化し、細分化された現象ごとに、真鍋研究室の過去の諸論文及び各種文献を参考に現象の成立条件を抽出し、説明を行なう。

４）制御原理の抽出

以下の様な手順により制御原理を抽出する。

①制御項目の抽出

細分化した各現象ごとに「時系列による分類」・「発生源による分類」等により、更に細分化し、「操作対象」となる項目を抽出する。そして、操作の方法を具体的

に示した「制御項目」を求める。

②制御原理の抽出

各制御項目を要求に対応させ、具体的な操作方法を表す「制御原理」を抽出する。

③制御原理軸の設定

内容が類似する制御原理についてはある程度まとめて、体系的整理の際の軸となる「制御原理軸」として簡略化する。

4－4－3．手法の体系的整理

本研究では、「手法の体系化論」を応用し、「制御原理」×「構成要素」のマトリクスを作成し、手法を配することで、手法の体系的整理を行なった（表－6）。

4－2－5．手法カードによる整理

実例から収集した手法の、手法カードを作成し、マトリクス上の手法と対応するように配置した。手法カードから、手法概要、分析項目、分析対象、要求、制御原理、写真・図等、出典名、出典頁が分かるようにした（表－7）。

第5章複数の要求と対応手法の分析

5－1．概要

第4章では一つの現象及び要求からそれぞれに対応する制御原理を抽出し、それに対応する手法を導出した。しかし、現実には様々な現象が同時に生ずる場合もある。

そこで本章では、特に別の二つ以上の同時に生じている現象を明らかにし、その対応手法を分析することを目的とした。

5－2．複数の要求への対応原理

5－2－1．複数の要求のパターン

「作用因子の挙動現象」について、実際には複数の現象が同時に生ずる場合が多く、相互に矛盾する要求も生ずる。この様な要求は、時系列的な観点を加えれば、以下のような2通りの捉え方が出来る。

①同時に複数の要求が存在する場合(「同時複要求」と呼ぶことにする)

②一つの要求が時間とともに変化する場合(「要求の変化」)

本研究では特に①の「同時複要求」に対応する手法を導き出す。

5－2－2．複数の要求への対応原理

真鍋研の過去の諸論文を参考にして、複数の要求が同時に存在する場合の対応原理は以下のように5つのパターンが挙げられた。

Ⅰ一方選択

Ⅱ中間選択

Ⅲ特性差利用

Ⅳ併用

Ⅴ時間差利用

5－2－2．重複現象の抽出

重複的現象の要求とそれらの対応手法を抽出するために「転倒や衝突等の回避」と「雨水・汚水の侵入」を例にとり、分析を行った。

第６章対応手法に関する考察

６－１．概要

第４章において、分析対象ごとに、出入口まわりにおける要求に対する手法の体系的整理を行ったが、本章では、マトリクスを分析し、異なる条件による分布の差、要求による手法例の分布の違い、また出入口まわりの手法の共通点・比較点等を考察する。

６－２．マトリクスの考察

６－２－１．分析対象毎の考察

１）歩行の安全性について

・「凹凸の無い形状」に手法の実例多数

躓きを原因とする事故を回避するためには、必然的に床の凹凸をなくすなどの手法が必然的に多くなると考えられる。

・「明るさの確保」、「見通しの確保」、「注意の喚起」の手法の実例多数

転倒等の事故は、基本的には、人間側が注意することによって生ずることが無くなるので、事故の原因となる突出や段差等に人間が気付くように、建築的に操作する必要がある。

・バリアフリーとして「寸法の確保」と「補助的支持」の設置に実例あり

特に、車椅子での移動を考慮してスペースを確保したり、手摺やプラットホームリフト等補助的支持を設置した例が多く見られた。

２）防音・遮音性について

・「戸当りゴム」に関する手法及び実例多数

戸の閉時の発音に対しては「H-04柔らかい材質」の制御原理で、隙間からの外部騒音の侵入や内部騒音の漏音に対しては「H-07隙間をなくす」の制御原理で、２つの制御原理に対応した手法である。

３）防犯について

・「監視体制の強化」に手法及び実例が多数

来訪者の識別が要求として多いことが分かる。同様に、「E-07見通しの確保」の実例が比較的多く見れたことも、戸を開く前の来訪者の識別のためと考えられる。

４）雨仕舞について

・「排水による水の除去」に手法及びその実例が多数

代表的な手法としては、グレーチングや排水マット等の排水システムによる雨水の除去と、水切りによる雨水の伝達経路遮断・雨水除去、があった。

・出入口まわりでは隙間の対策が重要

例としては、ゴム質のもの、ピンチブロック、エアタイト金物などで、戸と枠とに生ずる隙間からの風雨の侵入に対するものが多い。

５）動作と空間について

・「動作空間」に関してはG-01空間寸法の確保に手法及び実例多数

出入口まわりの動作として、衣服・履き物の着脱や傘の開閉動作など、実際に適度な広さが必要なことが、理由の一つとして考えられる。

・「動作空間確保」に関して床と附属物に手法が集中

床に関しては、上がり框を腰掛スペースに活用する等の手法が多く、附属物に関しては手摺等の補助的支持物が多く存在した。

6）風対策について

・「隙間をなくす」に手法及び実例多数

出入口は可動部位であり、完全に隙間をなくすことは難しく、それゆえに多くの工夫が考えられているのであろう。

7） 清掃性について

・「汚染原因物質の除去」に手法及び実例多数

汚れを発生させないためには、汚れの原因を建物内に侵入させなければよいため、この原理の適用が有効であるというのが理由の一つとして考えられる。

8）採光について

・「採光しやすい位置」の実例多数

出入口まわりの採光は、防犯との兼ね合いが強く、防犯を考慮した上での採光確保の必要があるので、上述の制御原理による対応がとられることが理由として考えられる。

また採光の確保と同時に通風・換気を確保する手法の実例も多数見られた。

9）視線

・「出入口として分かりやすくする」に手法が集中

出入口の位置を分かりやすくしたいという要求が強く存在するためと考えられる。扉を大きくしたり、デザインを工夫することによって、それを強調し視線を集めることで、出入口として存在感を出していると考えられる。

10）熱の出入りについて

・戸に手法が集中

出入りにともなって熱の出入りを防止するためであることが理由の一つとして考えられる。また、可動部として不可避な隙間の存在への対策も、手法が多く存在することの理由として考えられる。 なお、断熱戸や二重サッシ等製品化した戸が多く存在した。

第7章部位別の納まりのバターンの分類・分析

7－1．概要

本章では、出入口まわりにおける各部位の納まりについて把握するために、まず部材どうしの納まりの形状をモデル化し、設定した観点に基づいて部位の納まりのパターンを網羅的に導出し、納まりのパターンの分類を行なった。さらに、導出した各納まりのパターンと実例とを対応させ、各パターンの特徴を分析した。

７－２．部位別の納まりのパターンの分類・分析の方法

７－２－１．分類・分析の流れ

部位別の納まりのパターンの分類・分析を以下の方法で行なった。

１）実例から対象部位の抽出

雑誌等から出入口まわりに関する実例を収集して作成した「実例解読シート」を用いて詳細図の解読を行ない、ある２つ以上の部材の接点の部位(戸と下枠・床など)の納まりに着目した。その中から、部位の納まりの実例を抽出した。

２）部位の納まりのモデル化

抽出した納まりの実例について、部位・部材で納まりを理解しやすい単純な形に簡略化し、部位の納まりのモデル化を行なった。

３）部位の納まりの分析

モデル化によって簡略化した実例の納まりについて、実例どうしを比較・分析を行ない、納まりに違いが生ずる要因について探り、帰納的に考案した。

４）分類観点の設定

帰納的に考案したものを基に、納まりのパターンを分類する上での分類観点を設定した。

５）納まりのパターンの分類

設定した分類観点を基に、各部位の納まりのパターンの分類表を作成した。

６）納まりのパターンと実例との対応

各納まりのパターンについて実例と対応させ、対応する実例の部分詳細図を示した。

７）納まりのパターンと実例の対応の分析

対応する実例の比較により、各納まりのパターンの特徴を分析した。

７－２－２．対象とする部位の納まりの設定

出入口まわりのディテールにおいて重要と考えられる部位は多くあるが、戸と枠は可動部位であり、可動性ゆえの様々な要求が関わるため、それらを解決するための納まりが多数存在すると考えられ、戸と枠については特に重要と考えられる。本研究では戸と枠・壁との納まりに着目し、以下の部位の納まりを対象とした。

①戸と下枠・床

②戸と上枠・天井

③戸当り部

④戸の召し合わせ部

各部位の納まりについて、設定した分類観点を基に、納まりのパターンの分類表を作成した（表－８、９（①②のみ抜粋））。

第８章納まりのパターンの考察

８－１．概要

第７章で分類した部位別の納まりのパターンについて、各納まりのパターンの要求に対する評価を行なった。本章では、分類観点の設定等の納まりのパターンの導出過程、パターンと実例との対応の比較などの観点から、納まりのパターンに関する考察を行なった。

なお、ここでは紙面の都合上、開き戸と下枠・床の納まり、引き戸と下枠・床の納まりについて、結果を紹介する。

９－２．納まりのパターンについての考察

１）開き戸と下枠・床の納まり

・No.１-１-１の実例が多数集まった

下枠・沓摺がなく、フラットな床にできるので、「歩行の安全性」の観点上、有効であることが理由の一つであると考えられる。特に、不特定多数の出入りが考えられる建物で、フロアヒンジを用いた開閉機構のものが多く見られた。

このパターンでは、気密性や雨水の侵入への対策が必要であるが、モヘアやエアタイトブラシ、排水マット等による手法が見られた。

・No.１-１-20の実例が比較的に多く集まった

見られた実例は住宅が殆どであり、雨水の侵入に対する要求の高さが伺える。凸部下で水勾配を付けているものが多く、このパターンの納まりが雨仕舞の要求に対する手法上、有効であると言える。

２）引戸と下枠・床の納まり

・No.１-２-６とNo.１-２-60に実例が多く見られた

引戸と下枠・床の納まりについては、64パターンに分類できたが、２つのパターンに多くの実例が見られた。

・No.１-２-６の実例が特に多数収集できた

このパターンの実例の多くは吊り戸であり、戸の下端にガイドローラーが付き、枠の凹みはガイドレールになっていて、上吊り戸の振れ止めの納まりになっているものであった。

・戸車レールの突出

凹なしでレールがある場合(例：１-２-11･26･27･28)、レールが突出する。レールの突出は躓きの原因となる可能性があるので、このパターンは、歩行の安全性上、考慮が必要である。対処例がフラッターレールやＶ字レールの使用（例：１-２-７･24･39…etc.)、または凹部にレールを納める(例:1-2-32)であろう。

第１０章研究の成果と課題

１０－１成果

１０－１－１．手法の収集・分析

出入口まわりの構法を把握するため、「ディテール」誌等の各種文献から、材質・

形状・寸法・納まり等を読み取ることが可能な実例及び出入口まわりに関する写真・記述等を収集した。これらの収集した実例の約100件について、設計の内容、設計意図、関連する要求、部位の納まり等を各種観点から詳細に分析した。また、収集した資料及び実例から出入口まわりにおける様々な現象および要求に対応する建築的手法を抽出し、「手法リスト」として、データベースに入力した。これらの手法は、手法カードを作成することで、マトリクスからの検索によって、具体的な手法の内容を原理に基づいて理解可能となった。

１０－１－２．設計手法の体系化

１）現象・要求の整理

真鍋研究室における過去の構法計画の研究を参考に、出入口まわりに生ずる現象を、人の動作に関する現象、人以外の作用因子の挙動現象、に大別した。これらの現象それぞれについて、促進・抑制等の観点から要求を整理した。

２）構成要素の設定

真鍋研究室の過去の諸研究における「構法レベル」の概念に基づいて「構成要素」を設定した。室空間レベル、部位レベル、の二つに大別し、開口部については手法が手中して見られることを予想して、これらを更に細分化し、出入口まわりに生ずる現象に対応する手法を整理するための軸とした。このように過去の「構法レベル」の概念を「構成要素」として部材レベルで細分化することによって、より細かく手法を整理することができた。

３）出入口まわりの分析対象の抽出・整理

実際の設計においては優先される要求が存在しているので、本研究では、出入口まわりの設計の観点から手法の体系的整理を行なうこととした。文献等から収集する手法によって対応されている要求は、実際に計画をする際に重要であると考えられ、文献なども参考にして、①歩行の安全性、②戸の開閉性、③防音性・遮音性、④防犯、⑤雨仕舞、⑥動作と空間の確保、⑦風対策、⑧清掃性、⑨動物・害虫の出入り対策、⑩採光確保、⑪視線制御、⑫熱の出入り制御、⑬防火・耐火性、の要求を分析対象とし、手法の体系的整理を行なった。

４）制御原理の抽出と手法の体系化

出入口まわりの設計において、13の要求ごとに、「制御原理」を抽出した。手法整理の軸として、「制御原理」を簡略化して整理した軸と、出入口まわりの構成要素の軸により、「制御原理」×「構成要素」のマトリクスを、13の要求に対してそれぞれ作成した。マトリクスに基づいて、あり得る手法を演繹的に抽出し、さらに資料及び実例から抽出した手法を対応させることで体系的に整理し、出入口まわりにおける設計手法の全体像を把握できた。あり得る手法を演繹的に抽出・整理することで、設計のアイディアのソースとして活用しうる基礎的資料とすることができた。

５）複数の要求に対応する手法の分析

実際の建築においては、様々な現象が同時に生じ、それに対応する複数の要求

が生じている。個々の現象に対応する制御原理及び手法が相互に矛盾する場合もある。本研究においては、一部ではあるが、矛盾の見られる制御原理について、主として作用因子の属性の違いを利用することによる手法を求めることで、複数の要求に対応する手法の分析の試行とすることができた。

6）対応手法に関する考察

個々の要求に対して求めたマトリクスを分析し、またそれらを相互に比較することで、それぞれの現象でどの様な分布が見られ、また、現象ごとに分布に違いが生ずる理由等を分析することができた。

10－1－3．納まりのパターンの分類・分析

1）部位のモデル化

収集した実例から、ある2つ以上の部材が接する部位(戸と下枠・床など)の納まりに着目し、部位の納まりの実例を多数抽出した。それらの納まりを理解しやすくするために、構成する部材を簡略化し、①開き戸と下枠・床の納まり、②引戸と下枠・床の納まり、③開き戸と上枠・天井の納まり、④引戸(吊り戸、振れ止めあり)と上枠・天井の納まり、⑤開き戸の戸当り部の納まり、⑥両開き戸の召し合わせ部の納まり、についてモデル化を行なった。

2）納まりのパターンの分類

モデル化によって簡略化した実例の納まりについて、実例どうしを比較・分析することで、帰納的に分類観点を求めた。設定した観点を基に、①～⑥の部位の納まりについて、部材どうしの納まり方のパターンを導出した。これにより、ディテール把握のための構法側からのアプローチとして、納まりのパターンを網羅的に把握することができた。

3）納まりのパターンと実例の対応・分析

導出した各納まりのパターンにディテールの実例を対応させ、パターンの特徴と実例における設計上の工夫及び要求等について分析した。

論理的に整理したパターン及びそのバリエーションに対応する実際の納まりを詳細図で示すことにより、ディテール設計者のための基礎的資料を作成することができた。

10－2．課題

今後の課題としては、今回導出・整理して示した納まりのパターン及びそのバリエーションについて、現実と同様に複数の要求が関わった場合の、その納まりの有効性に関する評価方法の検討及びその分析が必要であると思われる。そうすることで、実際の設計における設計者の選択の基準となり、より有用な基礎資料とすることが可能となるであろう。

▼表－1　人の行動及び要求の一覧(1/3)

主ＡＦ	現象粗分類		現象詳細	副次的現象	副ＡＦ	関連部位	要求	対象	備考
人(一般)	出入り	歩く	歩行全般			床	●歩行の安全性(転倒等の事故の防止) ●非常時の安全避難		
				足音の発生		床	▲足音を小さくさせたい		
			開口部の通過			出入口	●開口部を確実に通過出来ること、 ●安全性(転倒等の事故の防止)		
		転倒等の事故	躓く			床、枠	▲躓きの防止・回避		
			滑る			床	▲滑りの防止・回避		
			転倒する			床	▲転倒の防止・回避		
		靴の履き替え	靴の履き替え			上がり框	●適度な広さ、楽に履き替えたい		
				座る/立上がる		上がり框	●スムーズな動作		
				姿勢安定のために掴まる		上がり框、手摺	●楽な姿勢、確実につかまる		
				立上がるために掴まる		上がり框、手摺	●楽な姿勢、確実につかまる		
		傘の開閉	傘を開閉する	－		ポーチ	●雨に濡れずに傘を開閉したい		
				傘の一時的収納		床、傘立て	●十分な収納量 ●傘の盗難防止		
				雨水の侵入		床	▲雨水の処理、床を濡らしたくない		
	戸の開閉	開閉	開閉する			出入口、戸	●楽に戸を開閉したい、 ●物を持ったまま戸の開閉を行ないたい、 ●常時は人の通れる幅だけ開きたい、 ●開いた戸の占有空間を小さくしたい		
			開いた状態を保つ(開閉位置調整)			出入口、戸	●戸を開いた状態でも付加機能を失わない		
		人が戸に衝突・接触する、挟まれる	戸に衝突する			出入口、戸	▲開きかけたドアへの衝突防止、		
			戸に接触する			出入口、戸	▲手や肘を擦らない ▲衣服や体の一部を引っ掛けない		
			戸に挟まれる			出入口、戸・枠	▲挟まれ防止		
		施錠・解錠	鍵を用いた施錠解錠			錠	●楽に施錠・解錠したい		
			ドアチェーン等の簡易的な施錠・解錠			戸、錠	●確実に施錠・解錠したい		
		枠及び他の部位への戸の衝突	枠及び他の部位への戸の衝突			出入口、戸	▲枠や他の部位への戸の衝突の防止		
				戸の衝突による音の発生	音	出入口、戸	▲音の発生の抑制		
				戸自体の変形・破壊		出入口、戸	▲戸自体が変形・破壊されない ▲変形しても戸が開く		
				戸に対する部位の変形・破壊		壁、枠	▲他の部位が変形・破壊されない、 ▲変形しても戸が開く		

●：行動を促進する要求、▲：行動を抑制する要求、△：第４章で対象外とする現象

▼表－1　人の行動及び要求一覧(2/3)

主AF	現象粗分類		現象詳細 副次的現象	副AF	関連部位	要求	対象	備考
人 (一般)	戸の開閉	石のくわえ込み	石のくわえ込み	物品(石等)	戸、床	▲石をくわえ込まないようにする ▲石のくわえ込みによる床の傷つき防止		
		音の発生	戸が振動などにより音を発する	音	戸	▲戸の振動音をなくす		
		人以外の各種作用因子の出入り	開閉に伴う雨水の出入り	雨水	戸、枠、床	▲雨水の侵入阻止 ●入ってきた雨水の排出		
			開閉に伴う空気の出入り	空気	戸、枠	▲空気の侵入阻止 ▲空気の流出阻止		
			開閉に伴う熱の出入り	熱	戸	▲冬場は熱を逃さない、 ▲夏場は外部の熱の流入を避ける		
			開閉に伴う音の出入り	音	戸	▲外の騒音を中に伝えない		
	物の搬出入	出し入れする	室内で使用する物の出し入れ	物品(家具等)	出入口	●確実に通過できる開口寸法、 ●物を持った状態で開閉したい、 ●常時は人の通る幅だけ開くようにしたい		
			玄関内で保管・収納する物の出し入れ	物品	出入口	●雨水・汚水などを持込まない		
			汚水・汚れの持込み	物品、雨水・汚水	出入口、床	▲雨水・汚水等を持込ませない、 ▲持込んだ雨水・汚水の処理		
		持込んだ物の収納	室内で使用する物の収納	物品	収納	●十分な収納スペースの確保 ●盗難防止		
			外部で使用する物の収納	物品、雨水・汚水	収納	●十分な収納スペースの確保、 ●雨水・汚水の排出		
			その他の一時保管	物品	収納	●来客から見えない位置		
	見る	眺める	内から外を眺める	情報光・視線	開口部	●眺望の確保		
			外から全体(外観)を眺める	情報光・視線	外観	●玄関として分かりやすい		
		覗く	外から内を覗く	情報光・視線	開口部			
			内から外を覗く	情報光・視線	開口部、ドアアイ	●外から見られずに外の様子を伺える		
		情報の認識	表示・掲示物を見る	情報光・視線	壁面等	●表示・掲示物を認識しやすい		

●：行動を促進する要求、▲：行動を抑制する要求、△：第4章で対象外とする現象

▼表－1　人の行動及び要求一覧(3/3)

主ＡＦ	現象粗分類		現象詳細 副次的現象	副ＡＦ	関連部位	要求	対象	備考
来客	来訪の通達		インターホーンを押す	音	設備機器(インターホーン等)	●押しやすい(分かりやすい)位置	△	
			戸をノックする	音	戸	●音を伝えやすい	△	
			声に出して呼びだす	音		●声を伝えやすい	△	
家人	防犯	来客チェック	ＴＶカメラ等を用いて	情報光･視線	設備機器(カメラ等)	●外の様子を伺いたい ●不法侵入を予防したい		
			ドアアイや小窓を用いて	情報光･視線	開口部、ドアアイ等	●外から見られずに外の様子を伺いたい		
		破錠・破壊・侵入の予防	破錠・破壊・侵入の予防		錠、建具等	▲破錠・破壊・侵入作業をしにくくしたい		「泥棒」の行動の抑制
	表示・掲示		情報の表示・掲示		壁面等	●目立つ、見える位置		
			花や物を飾る	物品(花、置物等)	壁面、台等	●飾るためのスペースの確保 ●飾ったものが見える		
	建物の性能維持		掃除する			●掃除しやすい仕上げ		
			水を流す	水	床	●水を流せる床、流した水の処理		
			メンテナンスをする		出入口、設備機器	●メンテナンスの際に通行できる		
家人と来客	送迎		迎え入れる	来客	出入口、式台	●玄関土間・ホールの広さ ●目線の高低差、空間としての格式	△	
			送り出す	来客	出入口、式台	●玄関土間・ホールの広さ ●目線の高低差、空間としての格式	△	
			入れない、追い返す	他人、無用の者	出入口	●戸を開けずに来訪者の確認をしたい ●入れたくない人を入れさせない		
	物品の受け渡しけ渡し		来客が家人に物品を受け渡す	物品	出入口	●戸を全部開けずに受け渡しをしたい、 ●人を出入りさせずに物品を授受したい		
			来客が家人に物を預ける、来客の物を一時保管する	物品	収納	●一時保管のためのスペース		
			サインする、はんこを押す	物品(筆記具等)	台等	●(台等を使って)安定した状態で行ないたい		
			はんこや筆記用具を収納する	物品(筆記具等)	収納	●収納するためのスペース ●収納が目立たない		
無用の者	侵入	破壊	戸自体や開口部・壁を破壊する		建具、開口部・壁	▲破壊予防・防止 ▲破壊されない強度・機構		
			錠を物理的に破壊する		錠	▲錠を物理的に破壊されないようにしたい		
			鍵をつかわずに破錠する		錠	▲錠を破られないような機構にしたい		
		侵入	侵入する			▲無用の者の侵入を制御したい		

●：行動を促進する要求、▲：行動を抑制する要求、△：第４章で対象外とする現象

▼表－２　人以外の作用因子の挙動現象及び要求一覧(1/2)

ＡＦ	ＡＦ詳細	現象粗分類	現象詳細	副次的現象	副ＡＦ	関連部位	要求	対象	備考
動物	小動物・害虫	出入り	動物・害虫の侵入			出入口、戸	▲入れさせたくない		
			ペットの出入り			出入口、戸	●ペットだけ出入りできる大きさの出入口 ▲他の動物を入れたくない		主に勝手口であり、玄関では少ない
水	降水（雨水・雪）	降る	降る			庇、床	▲降った雨水・雪の処理		
		吹込み	部位・人にかかる			庇、床	▲部位・人にかからないようにしたい		
			開口部から侵入する			開口部、出入口	▲開口部から吹込ませない		
	雨水・汚水	移動	落水			庇	▲落水が人にかからないようにしたい		
			部位を伝って移動			庇、天井、壁面	▲汚水の到達を阻止したい		
		侵入	上部の隙間から侵入する			戸、枠	▲上部の隙間からの侵入を阻止したい ▲侵入した水の処理		
			床との隙間から侵入する			戸、下枠	▲床との隙間からの侵入を阻止したい ▲侵入した水の処理		
			人に（物に付随して）運ばれて侵入する		人、物品	床	▲雨水・汚水を持込ませない ▲持込まれた雨水・汚水の処理		
	溜水	存在	存在する			床	▲溜めたくない		
				滑りの原因となる		床	▲溜めたくない		
		流出	掃除等による室内からの水の流出			床	●室内で流した水の処理		
	雪	積雪	積もる			床、屋根・庇	▲積雪による障害を無くしたい ▲長期にわたる積雪を無くしたい		
				通行を阻害する	人	床	▲雪が積もって通れなくならない		
				戸の開閉の邪魔になる		床、戸	▲積もった雪で扉が開かなくなることが無いようにしたい		
			屋根や庇に積もった雪が落下する			屋根・庇	▲人の通るところに落とさない ▲落下による建築部位の破損等の防止		
空気		出入り	換気する			開口部、出入口	●通風を確保したい ●換気しながら防犯を確保したい		
			戸の開閉に伴って出入りする			出入口	▲空気の出入りを少なくしたい		
			隙間風の出入り			戸、枠	▲隙間風を防ぎたい		

●：現象を促進する要求、▲：現象を抑制する要求、△：第４章で対象外とする現象

▼表－２　人以外の作用因子の挙動現象及び要求一覧(2/2)

ＡＦ	ＡＦ詳細	現象粗分類	現象詳細 / 副次的現象	副ＡＦ	関連部位	要求	対象	備考
音	空気音	伝達	外部で発生した音の侵入		出入口、壁面	▲騒音の伝達防止 ●発生音を伝えたい		
			内部で発生した音の漏出		出入口、壁面	▲騒音の伝達防止		
	固体音	発生	足音等の衝突音の発生		床、出入口	▲衝突音の発生を防ぎたい		
			来客のノック音の発生		戸、床	●大きなノック音を発生させたい	△	
		伝達	足音等の衝突音の伝達		床、出入口	▲衝突音の伝達を抑えたい		
明るさとしての光	天然光	採光	開口部の透過		開口部	●明るい玄関 ●光を多く取入れたい		
			到達		開口部	●明るい玄関 ●光を多く取入れたい		
	人工光	照明	照明		照明設備	●明るい玄関	△	対象外
情報光・視線	視線	眺望	開口部からの眺望		開口部	●眺望を確保したい		「人の行動」で扱う
		覗き	外部からの覗き・覗かれ		開口部、ドアアイ	▲外部からの覗きを防止したい ▲プライバシーを確保したい		「人の行動」で扱う
熱	外気による熱	出入り	対流による伝熱		出入口	●溜まった ▲戸の開閉に伴う熱の流出を防ぎたい		
			伝導による伝熱(熱貫流)		開口部	▲熱の流出を防ぎたい		
			輻射による伝熱		開口部	▲熱の流出を防ぎたい		
火	－	火災	延焼する		開口部、壁面	▲外部からの延焼の阻止 ▲外部への延焼の阻止		

●：現象を促進する要求、▲：現象を抑制する要求、△：第４章対象外とする現象

▼表－３　出入口まわりの構成要素

構成要素				内容説明	具体例
室空間部位	外部			出入口まわりにおける外部空間	
	中間			出入口の内と外の境界	風除室
	内部			出入口まわりにおける内部空間	
	外部	壁		外部壁、外面壁	
		床		外部床	ポーチ床、
		天井		外部天井	キャノピー、庇
		附属物		設備、家具、物品等	ポスト、表札
	開口部	出入口	枠	戸の枠	
			戸	戸自体	
			附属物	接続物、附属物	ドアアイ、ドアクローザー
		窓		出入口戸以外の開口部	トップライト、欄間
	内部	壁		内部壁(間仕切壁)、内面壁	間仕切壁
		床		屋内床	土間、上がり框
		天井		屋内天井	
		附属物		設備、家具、物品等	靴箱、傘立て

参照：建築構法計画講義

▼表－4　出入口まわりの分析対象(1/2)

分析対象	対象とする関連現象
歩行の安全性	出入口通過の歩行全般現象 出入口通過の歩行の際に生ずる事故 戸の開閉時の事故も含む
戸の開閉	①戸の開閉操作、開閉位置調整 ②建具の耐久性
遮音性・防音性	①戸からの発音防止 　戸の開閉動作音、風等を原因とするがたつき音 ②遮音 　出入口まわりの歩行に伴う音の発生 　外部騒音の侵入、内部騒音の漏出・流出
防犯	無用の者の侵入(阻止) 来訪者の確認 建具・建具金物・その他の部位の破錠・破壊(防止、予防)
雨仕舞	開閉に伴う雨水の出入り 隙間からの雨水の侵入 建物内に持ち込まれる物に付着しての雨水・汚水の侵入 建物内に侵入した雨水の排出 清掃等による流水(処理)
動作と空間	①出入口まわりで空間における各種動作 ②収納に関する空間確保、収納効率 ③視覚的に広く見せる
風対策	①防風・気密 　戸と枠の隙間からの空気の出入り 　開放時の戸からの空気の出入り ②通風・換気 　開口部からの空気の出入り 　新鮮な外気の取り込み
清掃性	汚れ・汚染原因物質の到達・侵入(防止) 清掃しやすさ 汚れを目立たせない 交換、補修等
動物・害虫の出入り	①動物・害虫の侵入阻止 　動物・害虫の侵入(阻止・予防) ②ペット等の通過 　ペット等の動物の出入り

▼表－４　出入口まわりの分析対象(2/2)

分析対象	対象とする現象
採光	開口部からの採光
	照明による採光
視線	情報の認識
	情報の非公開
	出入口としての分かりやすさ
	眺望の確保
熱の出入り	開口部での熱の出入り
	日射熱取得防止
	採熱
	結露対策
防火・耐火性	開口部からの炎の延焼・拡大阻止・防止
	設備による消火
	火災の早期発見
	火災発生後の避難

▼表－5　制御原理の抽出方法

制御項目の抽出	制御原理	制御原理軸	具体的手法
汚れ ├原因の除去 ─┬発生防止 ─ 現象全般 → 制御対象外 │　　└物質除去 ─┬履き物の土砂 ─ 靴底清浄化 │　　└空気中の塵埃 ─┬空気の浄化 │　　└汚染空気の排出 └部位への到達 ─┬空気による到達 ─┬気流の衝突 ─ 当てない │　　└温度差 ─ 温度差による汚れの差 └人体の接触による汚れ ─┬人間の行為全般 └操作部分	土砂を落とす 空気を浄化する 自然換気・強制換気する 吹出しを部位に当てない 断熱性向上 行為を制限する スイッチ類の非接触化	I-01 汚染原因物質の除去 I-02 部位への到達防止	靴拭きマット 手摺の設置 防雨型の器具 水切庇の設置

制御項目：現象を制御して要求を満たすための操作対象

制御原理：制御項目の具体的な制御方法

共通番号：同一の原理によって整理可能なものを整理した

制御原理軸：手法の体系的整理の際にマトリクスの軸となる制御原理を示した

具体的手法例：制御原理に基づいた実際の手法を示

▼表－6　手法の体系的整理の方法

構成要素
出入口まわりにおける手法を室空間・部位レベルで分類する構法レベルを示す。

制御原理軸
抽出した制御原理軸をまとめた制御原理軸を示す。

構成要素 → / 制御原理	部位							
	外部				開口部			
	壁	床	天井	附属物	出入口			窓
					枠	戸	附属物	
I-01汚染原因物質の除去		●沓摺等を長く敷設する［173］/○透水性舗装［259］/●床暖房［151］	●雨だれを防ぐ［304］	●車椅子洗浄装置［172］●靴洗い場［157］○金属製の泥落し	●エアタイト金物／●ピンチブロック／●ボトムパッキン／●気密テープ	○回転ドア○自動ドア○エアドア	●エアカーテン［181］	●気密サッシュ●雨戸
I-02部位への到達防止			異なるものの設計手法を同様の原理で整理する			○滑らかなステンレス仕上げ	○握り玉にカバーを付ける	●雨戸
I-03平滑な表面性状		○平滑な床仕上げ	構成要素ごとに様々な手法を整理する		○細かな部材の隠蔽	●横羽目の目地を下向きにカットする［067］●角を丸くする［163］		○ブラインド封入二重窓
I-04粘着性をなくす	●防汚技術「マイクロガード」［229］							

凡例
凡例を以下のように分類した
●実例あり
○実例なし

具体例
収集した手法を分析結果に基づき帰納的に配置した。またマトリクスに基づき演繹的にも抽出した。

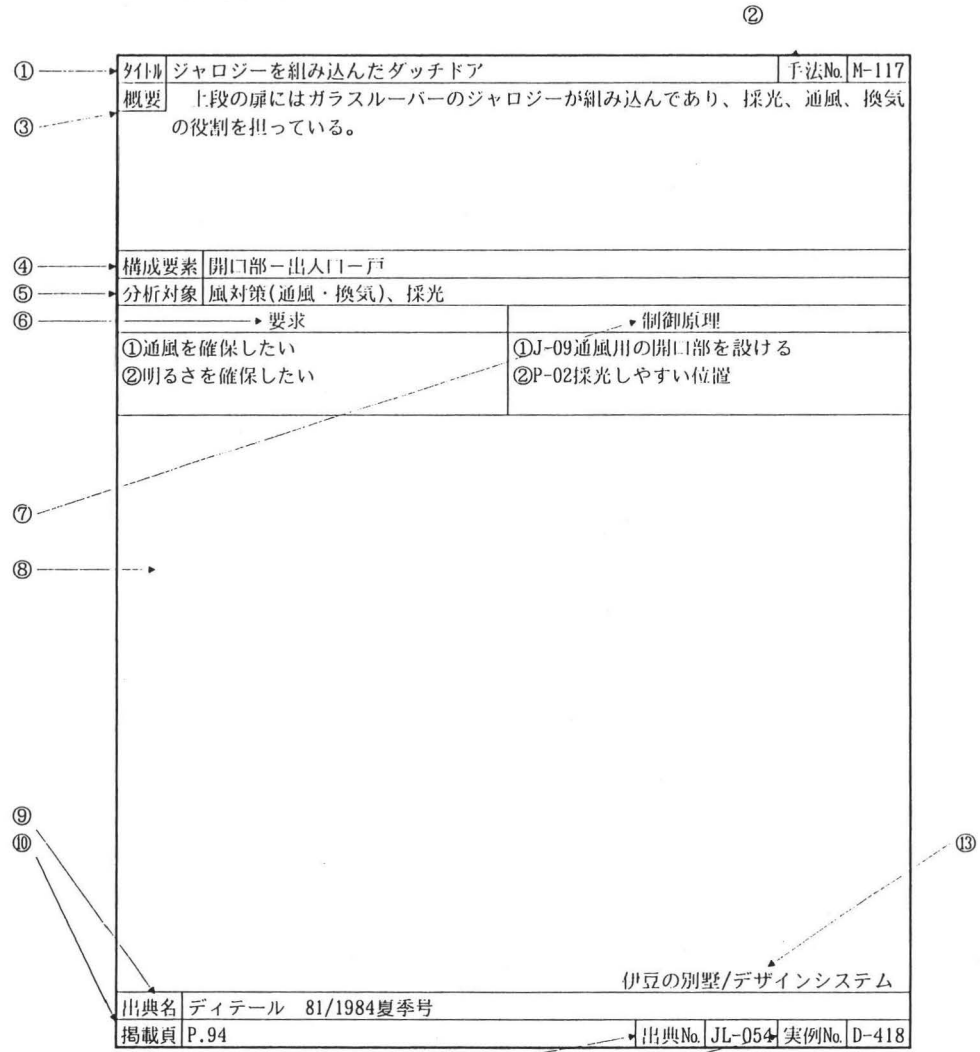
手法No.［***］
手法カードの番号を示す

手法なし
理論上有りえない部分は傍線(－)を引いて示した

凡例

①タイトル
　その手法のキーワードが分かるような手法のタイトルを示す。
②手法ナンバー
　手法カードの番号。マトリクス上の番号と対応する。
③概要
　その手法の構法・効果等、実例の主な特徴を表す概要を示す。
④構成要素
　出入口まわりの構成要素の中で操作対象となる室空間レベル・部位レベルを示す。
⑤分析項目
　本研究で分析対象とした観点の中で、どの対象に該当するかを示す。
⑥要求
　この手法がどの要求から抽出されたものであるかを示す。
⑦制御原理
　この手法がどの制御原理に対応するものであるかを示す。
⑧図面・写真等
　文献・雑誌から複写した手法の写真・図面等を示す。文献に写真・図面等がない場合には、スケッチを描いた。
⑨出典名
　その手法が掲載されている文献・資料名を示す。
⑩掲載頁
　出典における手法の掲載頁を示す。
⑪出典No.
　「JL-***」は資料番号、「BL-***」は文献番号。
⑫実例番号
　実例リストの番号を示す。
⑬物件名/設計
　その手法が使用されている物件名及びその設計。分かるもののみ記載した。

▼表－7手法カード



▲図4－2－3　手法カードの見方

▼表－８　開き戸と下枠・床の納まりのパターン分類(1/2)

基本形状	戸当り形状	戸との位置関係	戸の形状	枠材の有無	パターン形状	パターンNo	対応実例No	備考
<A>：フラット				無し		1-1-1	D-003,D-008,D-024,D-030,D-057,D-061,D-062,D-303,D-305 D-310,D-407,D-449,D-459,D-471,D-492,D-503,D-507,D-510	
				有り		1-1-2	D-056,D-434,D-458	
<B>：凸部あり	ピース（平面図）	戸が凸部の横		無し		1-1-3		
				有り		1-1-4		
				無し		1-1-5		
				有り		1-1-6		
		戸が凸部の上		無し		1-1-7	D-432	
				有り		1-1-8	D-019,D-031	
	ロング（平面図）	戸が凸部の横		無し		1-1-9	D-007,D-035,D-054,D-058,D-059	
				有り		1-1-10	D-317,D-406	
				無し		1-1-11	D-053	
				有り		1-1-12	D-052	

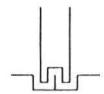
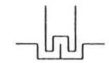
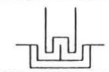
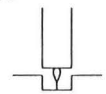
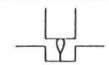
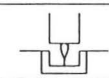
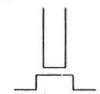
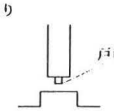
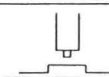
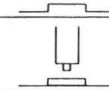
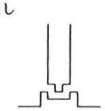
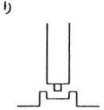
▼表－8　開き戸と下枠・床の納まりのパターン分類(2/2)

基本形状	戸当り形状	戸との位置関係	戸の形状	枠材の有無	パターン形状	パターンNo	対応実例No	備考
<C>：凸部の上に更に凸	ピース（平面図）	戸が凸部の上		無し		1-1-13		
				有り		1-1-14		
				無し		1-1-15		
				有り		1-1-16		
		戸が凸部の横		無し		1-1-17		
				有り		1-1-18		
	ロング（平面図）	戸が凸部の上		無し		1-1-19		
				有り		1-1-20	D-013,D-022,D-031,D-323,D-405,D-418,D-489	
				無し		1-1-21		
				有り		1-1-22	D-478	
		戸が凸部の横		無し		1-1-23		
				有り		1-1-24		

▼表－９　引戸と下枠・床の納まりのパターン分類(1/6)

基本形状	戸との位置関係	レールの有無	戸車の有無	枠材の有無	パターン形状	パターンNo	対応実例No	備考
<A>：フラット		無し	無し	無し		1-2-1		
				有り	枠材	1-2-2		
			有り	無し		1-2-3		
			戸車	有り		1-2-4		
		無し(凹あり)	無し	無し		1-2-5		
				有り		1-2-6	D-002,D-004,D-033,D-046,D-048,D-051,D-062,D-063 D-306,D-307,D-310,D-312,D-314,D-414,D-415	
			有り	無し		1-2-7	D-030	
				有り		1-2-8	D-062	
		有り	無し	無し		1-2-9		
		レール		有り		1-2-10		
			有り	無し		1-2-11	D-029,D-478	
			戸車	有り		1-2-12		

▼表－9　引戸と下枠・床の納まりのパターン分類(2/6)

基本形状	戸との位置関係	レールの有無	戸車の有無	枠材の有無	パターン形状	パターンNo	対応実例No	備考
<A>：フラット		有り(凹あり) 	無し 	無し		1-2-13		
				有り		1-2-14		
			有り 	無し		1-2-15	D-313	
				有り		1-2-16		
<B>：凸部あり	戸が凸部の上 	無し 	無し 	無し		1-2-17		
				有り		1-2-18		
			有り  戸車	無し		1-2-19		
				有り		1-2-20		
		無し(凹あり)	無し 	無し		1-2-21		
				有り		1-2-22		
			有り 	無し		1-2-23	D-490	
				有り		1-2-24	D-055	

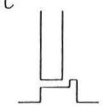
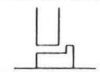
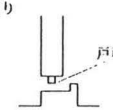
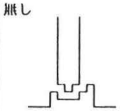
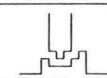
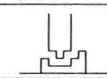
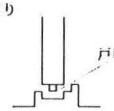
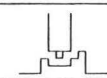
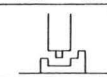
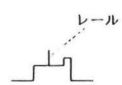
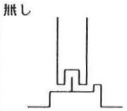
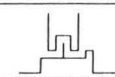
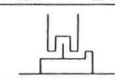
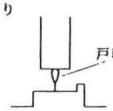
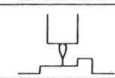
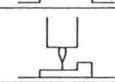
▼表－９　引戸と下枠・床の納まりのバターン分類(3/6)

基本形状	戸との位置関係	レールの有無	戸車の有無	枠材の有無	バターン形状	バターンNo	対応実例No	備考
<B>：凸部あり	戸が凸部の上	有り(凹あり) レール	無し	無し		1-2-25		
				有り		1-2-26	D-015,D-408	
			有り 戸車	無し		1-2-27	D-064	
				有り		1-2-28	D-016	
		有り(凹あり) レール	無し	無し		1-2-29		
				有り		1-2-30		
			有り	無し		1-2-31		
				有り		1-2-32	D-025	
	戸が凸部の横	無し	無し	無し		1-2-33		
				有り		1-2-34		
			有り 戸車	無し		1-2-35		
				有り		1-2-36		

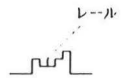
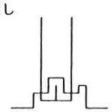
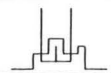
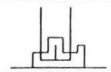
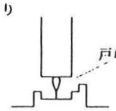
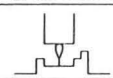
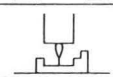
▼表－９　引戸と下枠・床の納まりのパターン分類(4/6)

基本形状	戸との位置関係	レールの有無	戸車の有無	枠材の有無	パターン形状	パターンNo	対応実例No	備考
<B>：凸部あり	戸が凸部の横	無し(凹あり)	無し	無し		1-2-37		
				有り		1-2-38		
			有り（戸車）	無し		1-2-39	D-322	
				有り		1-2-40		
		有り（レール）	無し	無し		1-2-41		
				有り		1-2-42		
			有り（戸車）	無し		1-2-43		
				有り		1-2-44		
		有り(凹あり)	無し	無し		1-2-45		
				有り		1-2-46		
			有り（戸車）	無し		1-2-47		
				有り		1-2-48		

▼表－９　引戸と下枠・床の納まりのハターン分類(5/6)

基本形状	戸との位置関係	レールの有無	戸車の有無	枠材の有無	パターン形状	パターンNo	対応実例No	備考
<凹>：凹部の上に更に凸 	戸が凸部の上 	無し 	無し 	無し		1-2-49		
				有り		1-2-50		
			有り 戸車 	無し		1-2-51		
				有り		1-2-52		
		無し(凹あり) 	無し 	無し		1-2-53		
				有り		1-2-54		
			有り 戸車 	無し		1-2-55		
				有り		1-2-56		
		有り レール 	無し 	無し		1-2-57	D-021	
				有り		1-2-58	D-325	
			有り 戸車 	無し		1-2-59		
				有り		1-2-60	D-302,D-308,D-404,D-480	

▼表－９　引戸と下枠・床の納まりのパターン分類(6/6)

基本形状	戸との位置関係	レールの有無	戸車の有無	枠材の有無	パターン形状	パターンNo	対応実例No	備考
<C>：凸部の上に更に凸 	戸が凸部の上 	有り(凹あり) 	無し 	無し		1-2-61		
				有り		1-2-62		
			有り 	無し		1-2-63		
				有り		1-2-64		

1-10 アルミニウム建材における新しい熱処理技術の探索

助教授　中山　栄浩

1.　本研究の背景と目的

住宅建材用のアルミニウム合金は窓枠や門扉などを中心に使用されてきたが，近年，住宅の構造部材に適用することが話題となっている．従来の鉄鋼，木材およびコンクリートと比較して，アルミニウム合金を構造材に使用した場合には次の点で有益な効果が期待できる．①耐久性の向上，②耐震性の向上，③高機能化の実現，および④資源循環型社会への寄与などである．アルミニウム合金は特別な処理を施さなくても優れた耐食性を有し，アルマイト処理を施すことで耐食性は一段と向上するのみならず多彩な色彩を得ることが可能である．密度が小さく適度な強度が得られ比強度に優れるので，住宅の重量を軽減することが可能となり，耐震性に対しても有利である．押出し加工により，複雑な断面形状を有する構造材を容易に成形することが可能なので，構造材の高機能化が達成できる．また，新地金を精錬する場合と比較して，リサイクル時には非常に少ないエネルギ（約３％）で再生地金を製造することが可能なので，アルミニウム廃材を有効利用することは資源循環型社会の構築に対する寄与度が大きい．また，アルミニウムの回収を効率的に行うシステムが既に構築されていることも有利である．アルミニウム合金が住宅構造材に適用されると，需要が増大することが予想されるので，大量のアルミニウムを効率的に生産するシステムの構築が重要となる．前述のように，主要構造材は押出し加工により製造される可能性が高いので，アルミニウム合金の中でも押出し性に優れた Al-Mg-Si 系合金が候補材として挙げられる．Al-Mg-Si 系合金は熱処理型合金に分類され，溶体化処理，急冷および時効処理の３つの熱処理行程を経て強度を高めた後に実用に供される．熱処理型合金の強度を改善あるいは熱処理効率を飛躍的に高めるためには，大胆な発想に基づき，従来とは異なる新しい熱処理方法を検討することも重要と思われる．そこで本研究では，強度あるいは熱処理効率の飛躍的な改善を実現する新たな熱処理方法の可能性について検討した．

2.　研究の方法

本研究では，次に述べる２つの検討を通じて，強度あるいは熱処理効率を飛躍的に高める熱処理技術の検証を計画した．具体的には，①時効温度変化の影響，および②塑性変形の影響である．

最初に，①について述べる．析出状況と時効温度の関係を模式的に表すと図１(a)のようになる．析出物の成長速度 G のピーク温度と比較して析出核の発生頻度 N のピーク温度が低温側に存在するので，析出物の形成速度（or 析出速度：P=G×N）は両者の中間温度で最大となる．強度と靭性に優れた材料特性を得るためには，微細で数密度の高い析出状態が必要となるため，核発生頻度が高い低温での時効処理が望ましいが，析出物の成長に長い時間が必要となる欠点を有する．そこで現実の熱処理では，生産性を重視して適度な析出速度が得られる比較的高温で時効処理が行われている．

図１(b)に示すように，通常の時効処理では一定温度での保持が基本であるが，室温で放置したのち高温で時効することにより，一定温度での時効処理と比較して強度が変化する場合があり，強度が向上する場合は２段時効処理に伴う正の効果として知られている．室温での時効により発生した数密度の高い析出核が，引き続く高温での時効により適宜成長し，微細で高密度な析出状態が得られる場合には正の効果が現れると考えられている．２段時効における正の効果と図１(a)に示した析出状況を考慮すれば，同様の析出状態は時効処理過程において処理温度を連続的に上昇させる（以下，昇温時効処理）ことによっても実現可能であると考えられる．つまり，低温・長時間の時効処理で得られる理想に近い析出状態が，短時間の昇温時効処理で達成できる可能性があり，従来の時効処理方法と比較して，強度の更なる向上あるいは時効処理の効率化が実現できると考えられる．

次に，②について述べる．ある種の時効硬化型アルミニウム合金では，溶体化処理を施したのち塑性変形を加えその後時効処理を施すいわゆる加工熱処理が施され，通常の熱処理と比較して強度が向上することが知られている．加工熱処理は，塑性変形により導入された転位と時効処理により形成される微細析出物との相互作用により強度が向上すると考えられている．本研究では，加工熱処理の現象に着目し，新しい熱処理技術を提案する．従来の加工熱処理では，溶体化処理，急冷，塑性変形および時効処理という独立した４つのプロセスが必要となるが，時効処理の過程において塑性加工を施すことにより，塑性変形と時効処理の２つのプロセスをひとつに集約しようとする熱処理が本研究で提案する時効処理（以下，塑性時効処理）である．従来の加工熱処理と提案する塑性時効処理において大きく異なる点は，析出物形成の際に転位が移動しない加工熱処理に対して，塑性時効処理では転位の移動および増殖と同時に析出物の形成が行われることであり，この方法により従来とは全く異なる析出状況が発現することが期待される．

3.　研究の計画と進捗状況

以上に述べた昇温時効処理と塑性時効処理に関して具体的な検討を進めるが，これら２つの検討と関連する他の研究の進捗状況や実験の準備状況などを総合的に考慮した結果，最初に昇温時効処理に関する研究を進めることとした．以下では，昇温時効処理について述べる．

本研究では，Al-Mg-Si 系合金の中でもアルミニウムサッシなどの建材に多用されている

6063 合金を実験試料に選んだ．実験試料はトステム株式会社にご提供頂いた．供試材の化学成分を表１に示す．昇温時効処理に関する実験を進める上で，また昇温時効処理の有用性を確認するためにも，従来の時効処理による供試材の時効硬化挙動を確認する必要がある．そこで最初に，6063 合金の時効硬化挙動を調査した．本研究では，時効処理時間を一定（3.0ks(50min.)）にして，時効処理温度が時効硬化挙動に与える影響について実験を行い，最良の時効硬化性が得られる時効処理温度とその条件における材料特性を求め，この材料特性と比較する形で昇温時効処理の有効性を評価した．昇温時効処理の検討では昇温開始温度と昇温終了温度の２つが重要なパラメターになるが，本研究では昇温終了温度を一定とした場合に関して，昇温開始温度が時効硬化特性に及ぼす影響を実験的に調査した．初期の検討では昇温割合を一定としたが，更なる強度上昇を目指し，最良の結果が得られた昇温開始ならびに終了温度条件に関して昇温パターンが時効硬化性に及ぼす影響についても一部検討した．

4.　今までに得られた成果

従来の一定温度保持による時効処理で得られた時効硬化特性を図２に示す．時効処理温度の上昇に伴い硬さは増加し，493K の時効処理温度で最大値（約 52Hv）を示した後，時効温度の上昇に伴い減少した．これらの試料に関して電気比抵抗を測定したところ，図３に示す結果が得られた．図に示した結果から明らかなように，時効処理温度の上昇に伴い比抵抗値は単調に減少することから，母相中の固溶濃度が低下している状況が伺える．すなわち，時効処理温度の上昇に伴い，亜時効状態からピーク時効状態，更に過時効状態への析出状況の変化に伴い硬さが増減したと考えられる．つまり，従来法の時効処理を施した場合，3.0ks の時効処理時間で達成可能な最大硬さは 52Hv であると結論できる．この値を昇温時効処理を評価する際の指標として用いる．

昇温時効処理の実施にあたり，予備実験の結果を参照して昇温終了温度を 553K に固定した．この検討では，昇温開始温度から昇温終了温度までを 3.0ks の時間で直線的に昇温したので，各条件により昇温割合が実質的に異なる．昇温開始温度が硬さに及ぼす影響を図４に示す．図中の波線は，従来法による時効処理で得られた硬さの最大値（52Hv）を示す．昇温開始温度の上昇に伴い硬さは急激に増大し，373K で最大値を示した後，低下した．373K で得られた硬さは約 70Hv で従来法による硬さと比較して 40%程度の大幅な向上が確認された．また，353～493K の広い昇温開始温度範囲で，昇温時効処理後の硬さが 52Hv を超えた．図５にこれらの試料に関する比抵抗を示す．比抵抗の変化から，373K 以下の昇温開始温度では亜時効状態，373K でピーク時効状態，および 373K 以上で過時効状態であることが理解できる．前述した従来法による時効処理で最大硬さ 52Hv が得られた時効状態での比抵抗が 32.5nΩm であるのに対して，昇温時効処理でピーク硬さ 70Hv を示した試料の比抵抗は 33.5nΩm 程度と大きな値を示す．このことは，析出物の析出総量は少ないものの，転位運動を効

果的に抑止する微細な析出物が昇温時効処理の適用により形成されたことを示唆する.

参考までに，シャルピー衝撃破断試験による最大荷重を測定したところ，図６に示す結果が得られた．従来の時効処理による最大荷重の最大値が 3.9kN であるのに対して，昇温時効処理により得られた最大荷重のピーク値は 4.2kN であり，10%弱の改善がみられた．硬さと比較してシャルピー試験による最大荷重の増加割合は小さいが，最大荷重には試料の加工硬化の影響が重複するためと考えられる.

以上の検討により，昇温開始温度が 373 で昇温終了温度が 553K の昇温時効処理により，硬さが飛躍的に改善することが確認された．この昇温時効処理では，373～553K の温度範囲を 3.0ks の時間を費やして直線的に昇温したが，析出状態に影響する特定の温度で昇温割合を変化させることにより，更なる強度向上が期待できる可能性がある．そこで次に，特定温度を境に昇温割合を変化させた場合について検討を進めた.

373～553K を 3.0ks で昇温した場合の平均昇温割合は 3.6K/min なので，溶体化処理を施した供試材についてこの昇温割合で熱分析を行ったところ，図７に示す結果が得られた．熱分析曲線中のβ”相で示される準安定析出物の析出状態が，供試材の析出強化を実質的に支配することが知られている．β”相の析出に対応する発熱反応のピーク温度は，この昇温割合で昇温時効処理を施した場合における実質的なβ”相の析出ピーク温度に相当すると考えられるので，β”相の核発生頻度のピークはこの温度より低温に位置すると思われる．つまり，β”相の高密度化を達成するためには，時効処理によりβ”相の核をより多く発生させる必要があるので，低温での時効処理が重要となる．本研究では，β”相の析出を表す発熱反応の開始温度とピーク温度の中間温度（511K）を臨界温度とした．すなわち，臨界温度より低温ではβ”相の核発生頻度が高く，臨界温度より高温ではβ”相の成長速度が速いと考えた．そこで，図８に示すように臨界温度までの昇温時間を種々変化させた場合について実験を進めた.

511K までの昇温時間を横軸にとり，縦軸に硬さをプロットすると図９に示す結果が得られた．昇温時間の延長に伴い硬さはピーク値を示す形で変化した．これらの試料の比抵抗を測定した図 10 の結果から明らかなように，昇温時間の延長に伴う硬さの変化は，過時効段階から亜時効段階へ至る一連の析出状態を表していることが理解できる. なお, 373 から 553K の温度範囲を一定の割合（3.6K/min）で昇温した通常の昇温時効処理（図中，縦の２重線）は，臨界温度までの昇温時間が 2300ks の場合に相当するが，この条件付近で最大硬さが得られることから，臨界温度に基づく昇温割合が硬さの最大値に及ぼす影響は少ないと考えられる.

5.　これから期待される成果

本研究では，6063 合金を実験試料に選び昇温時効処理による強度向上を検証したが，昇温時効処理の基本概念は相分解の温度依存性に基づいているので，他の時効析出型合金にお

いても適用可能であると考えられる．また，昇温時効処理の適用により 40%程度の高強度化が達成可能であるため，強度向上に適した熱処理方法と考えられる．加えて，従来の時効処理と同等な強度が短時間の昇温時効処理で達成可能なことからも，熱処理の効率化も実現可能であると思われる．

6. 残る問題点と対策

本研究では，昇温時効処理による強度向上の可能性を硬さ試験の観点から検証したが，今後は引張特性の測定やミクロ組織の観察などにより，昇温時効処理の有効性を多方面から確認する必要があると思われる．また，今回は実施に至らなかった塑性時効処理についても，その効果を検証する必要がある．

7. 研究発表の実績および予定

追加実験や再実験を実施し詳細に検討を行ったのちに，口述発表や研究論文として投稿する予定である．

8. 実用化計画

現時点では，昇温時効処理を用いた高強度化あるいは熱処理の効率化を実現するための具体的な検討を行っていないが，研究結果を十分に精査した上で，昇温時効処理の実用化に向けた検討を進める予定である．

最後に，本研究の実施に際して研究資金を助成して頂いた財団法人トステム建材産業振興財団，および実験試料の提供などでサポートして頂いたトステム株式会社の皆様に深く感謝申し上げます．

表 1　供試材（6063 合金）の化学組成(mass%)

Si	Mg	Fe	Ti	Cu	Mn	Zn	Cr	Na	Al	Mg_2Si
0.468	0.480	0.162	0.015	0.010	0.014	0.011	0.005	-	Bal.	0.756

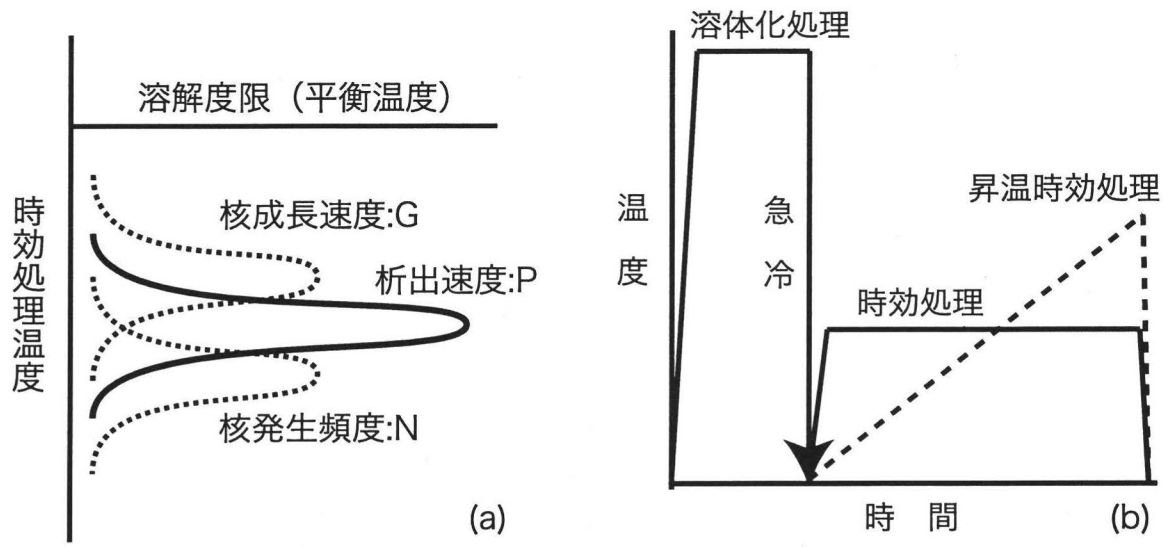


図1　析出理論に基づく析出状況と時効処理温度の関係(a)，熱処理の概念図(b)

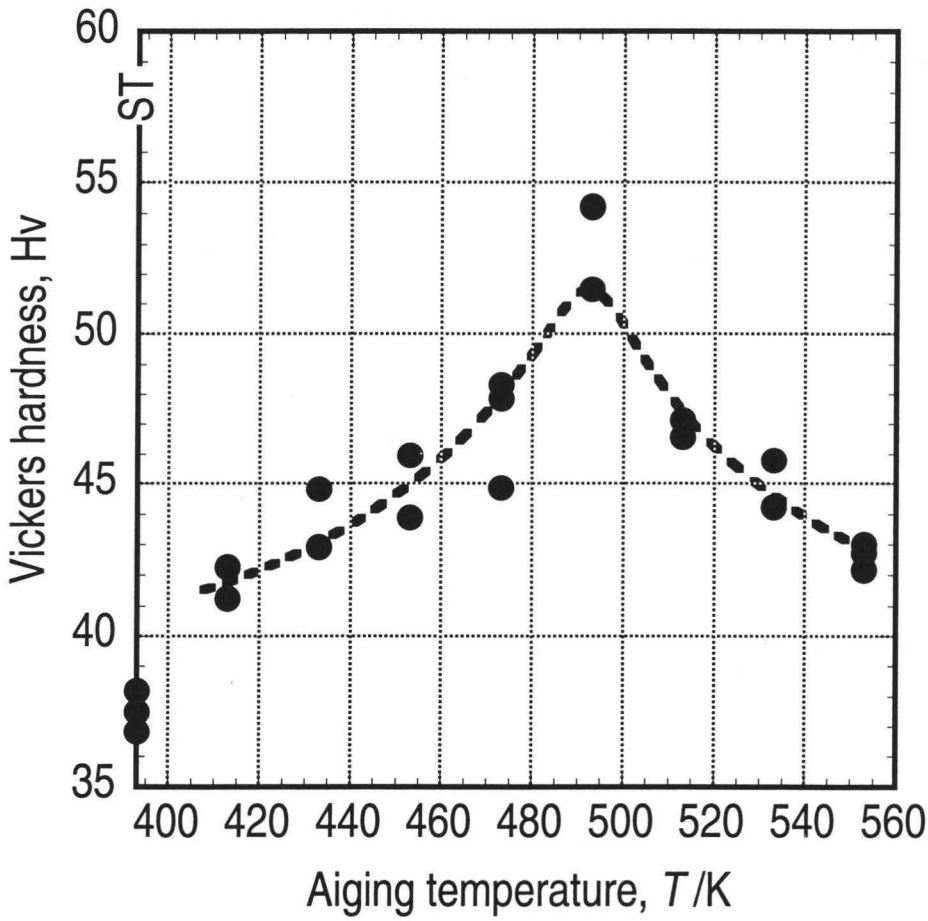


図２　時効温度が硬さに及ぼす影響（従来の時効処理）

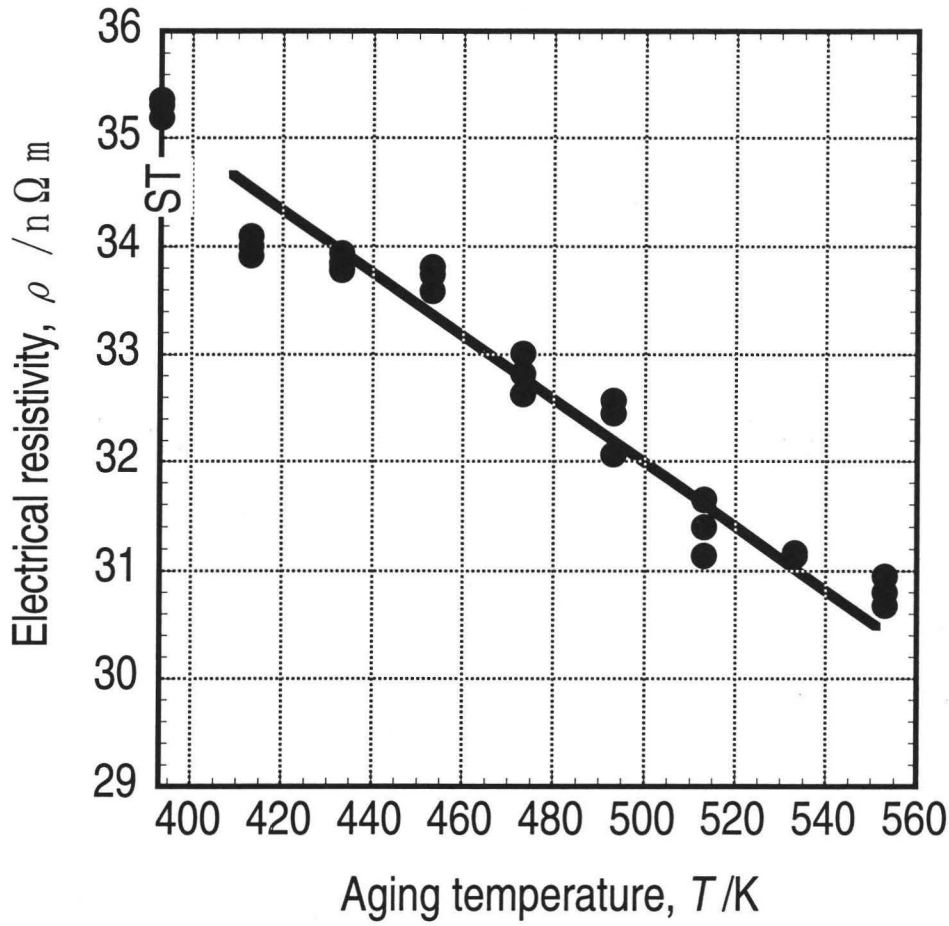


図３　時効温度が電気比抵抗に及ぼす影響（従来の時効処理）

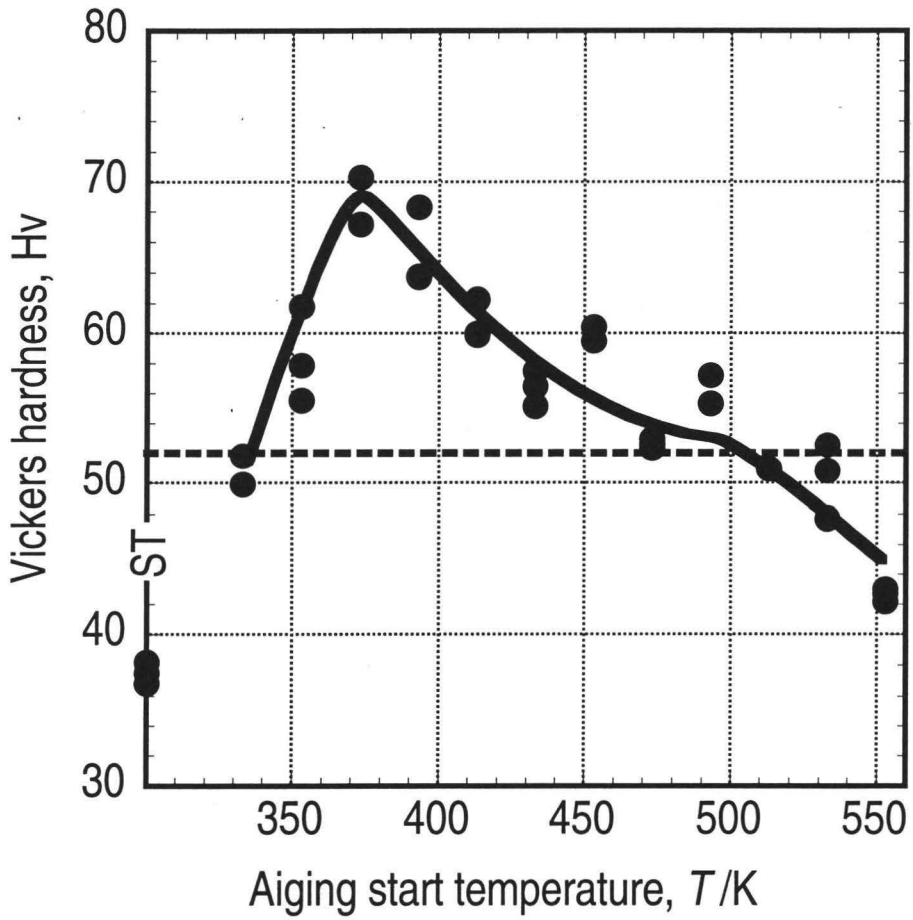


図4　時効開始温度が硬さに及ぼす影響（昇温時効処理）

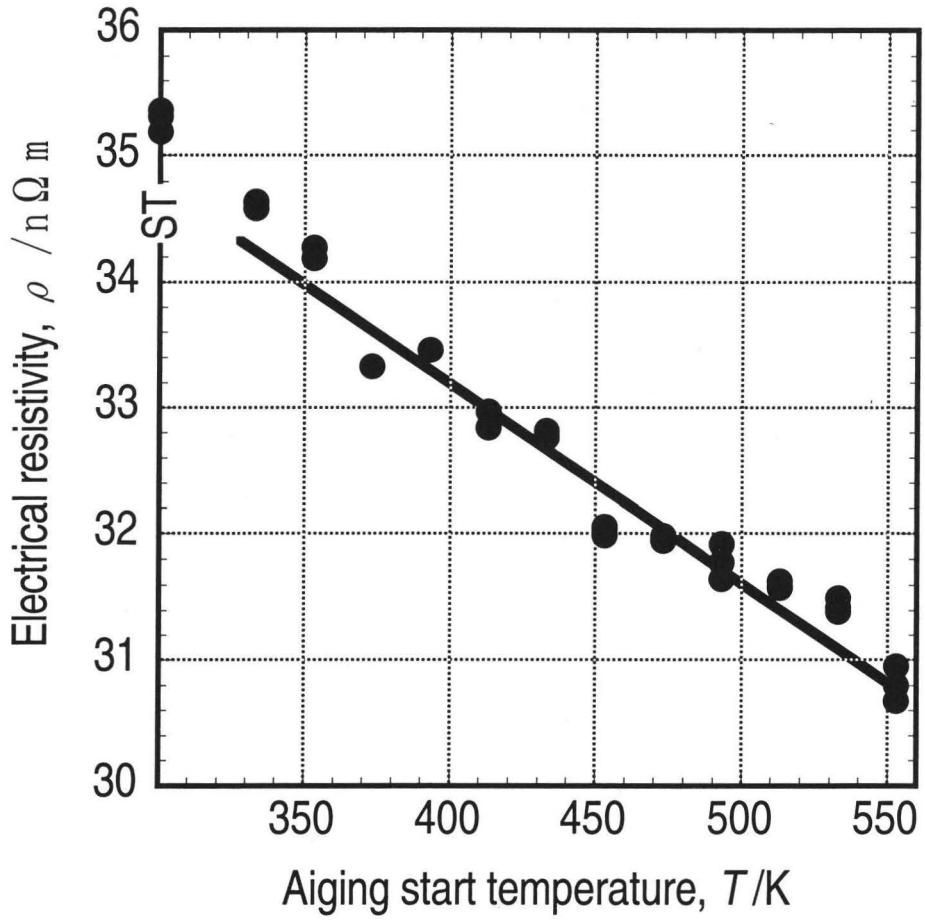


図5　時効開始温度が電気比抵抗に及ぼす影響（昇温時効処理）

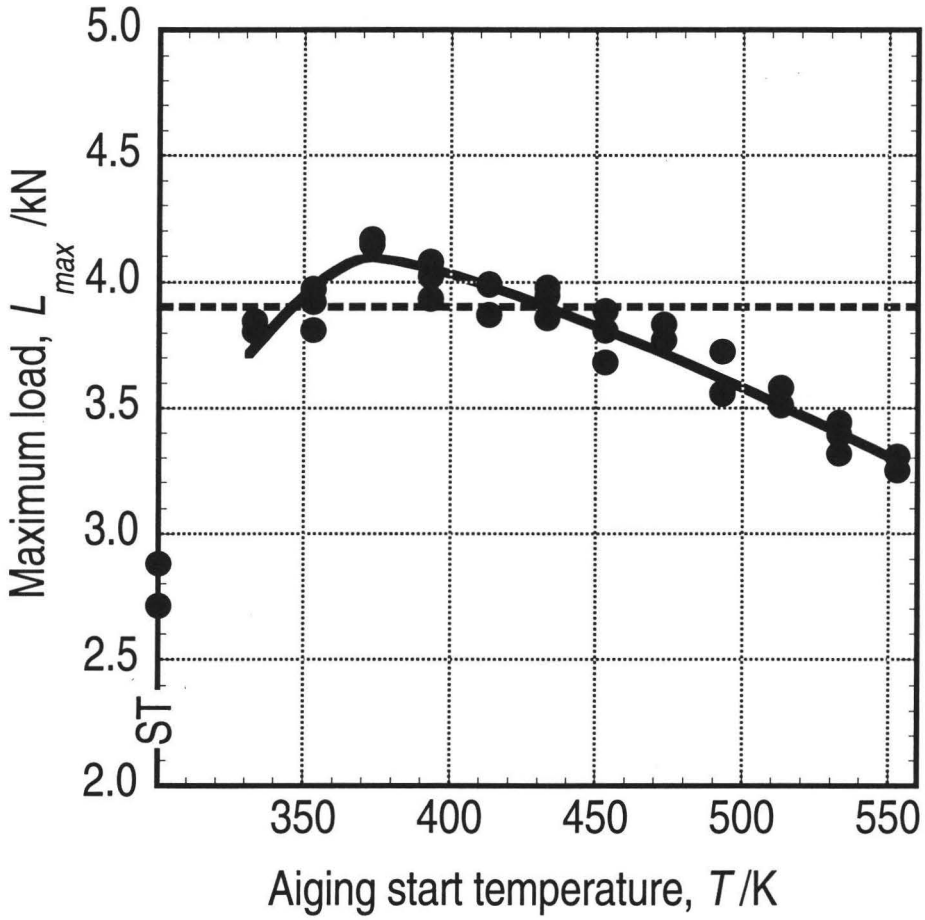


図6　時効開始温度が最大荷重に及ぼす影響（昇温時効処理）

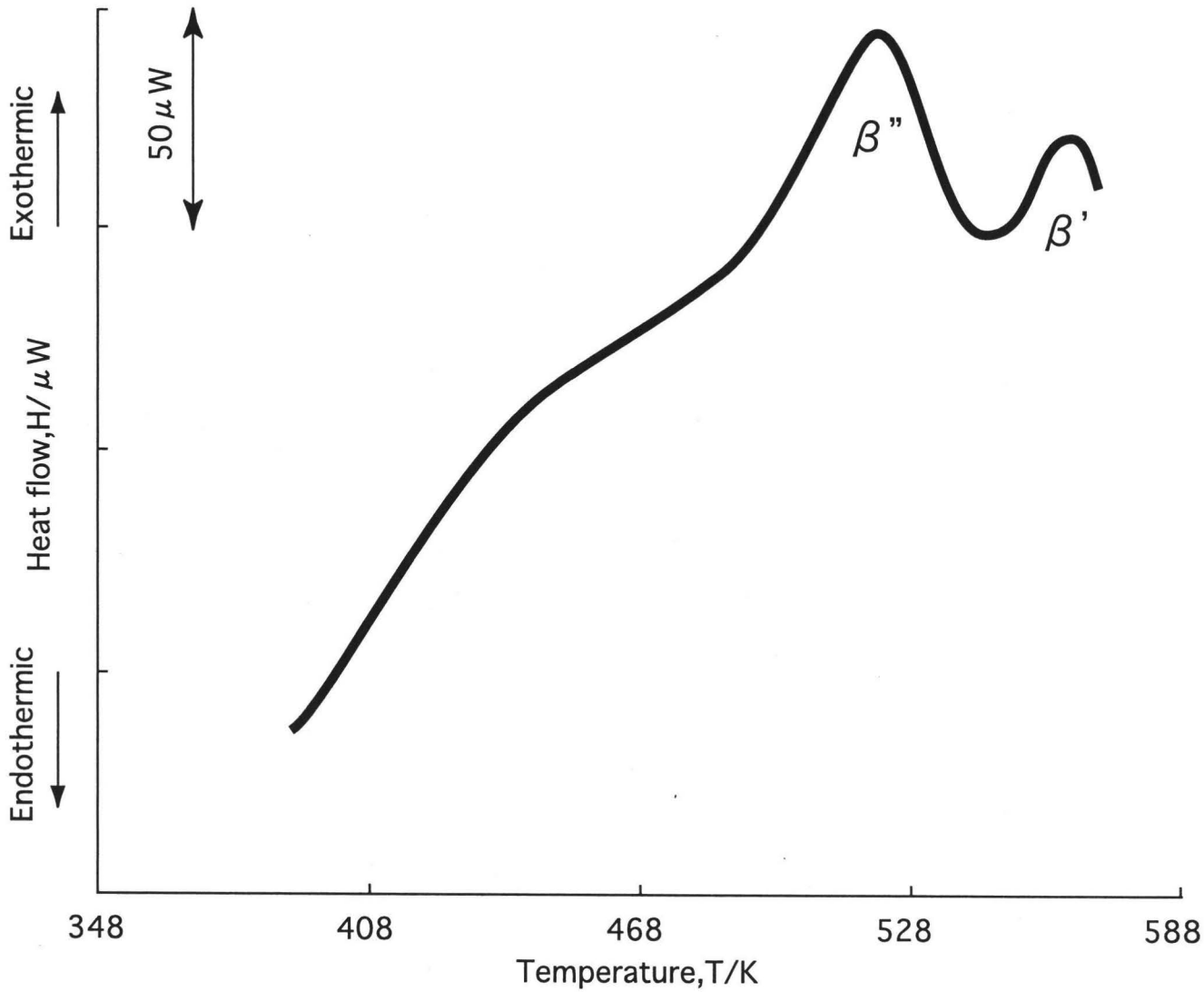


図7　溶体化処理材のDSC曲線（昇温割合：3.6K/min）

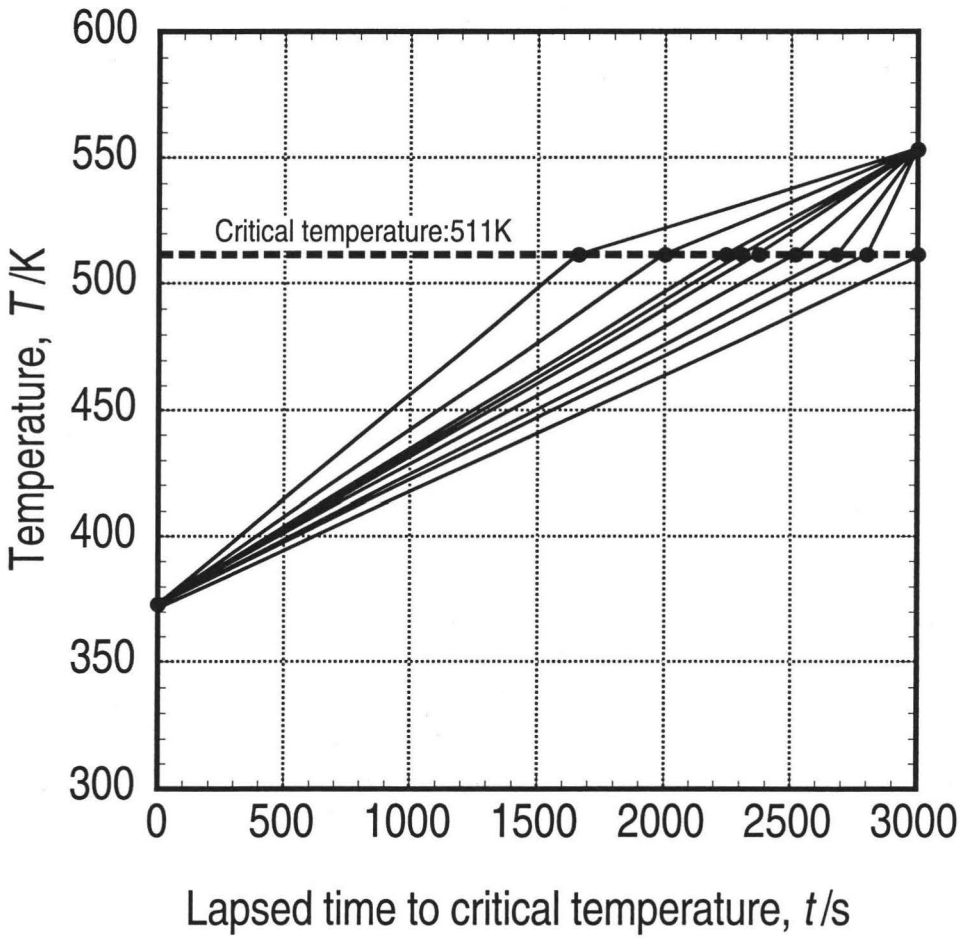


図8　昇温時効処理における昇温パターン

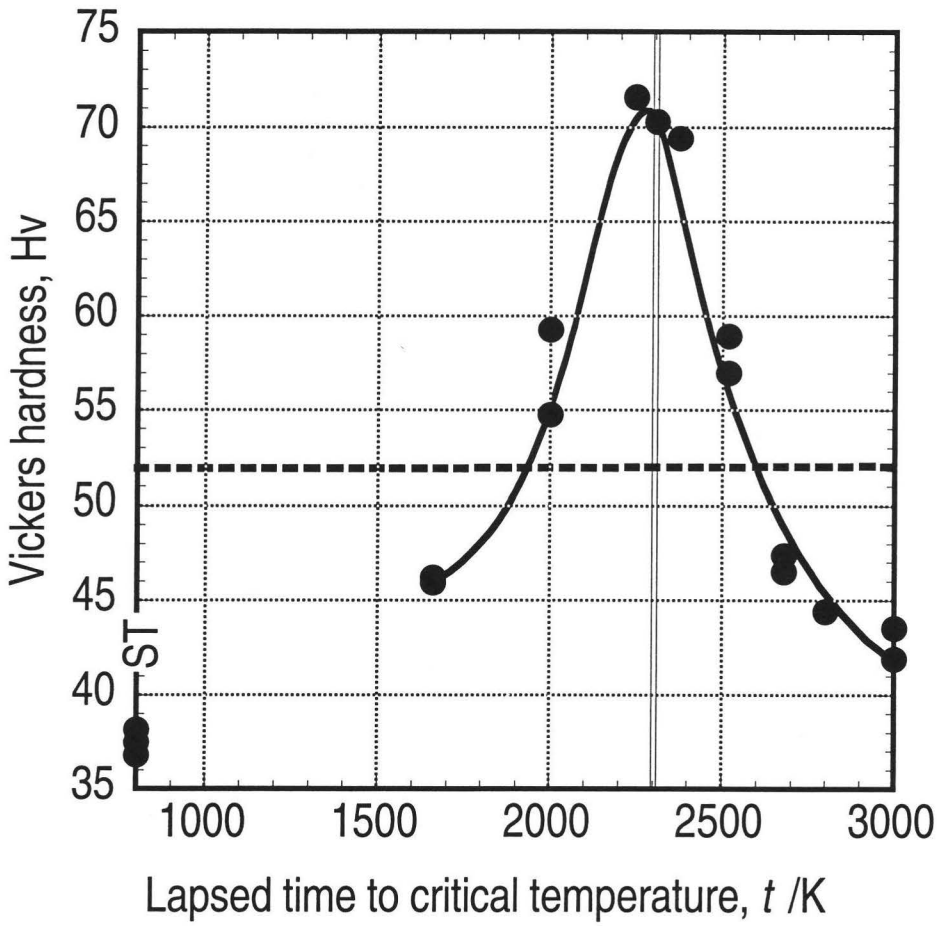


図9　昇温パターンが硬さに及ぼす影響（昇温時効処理）

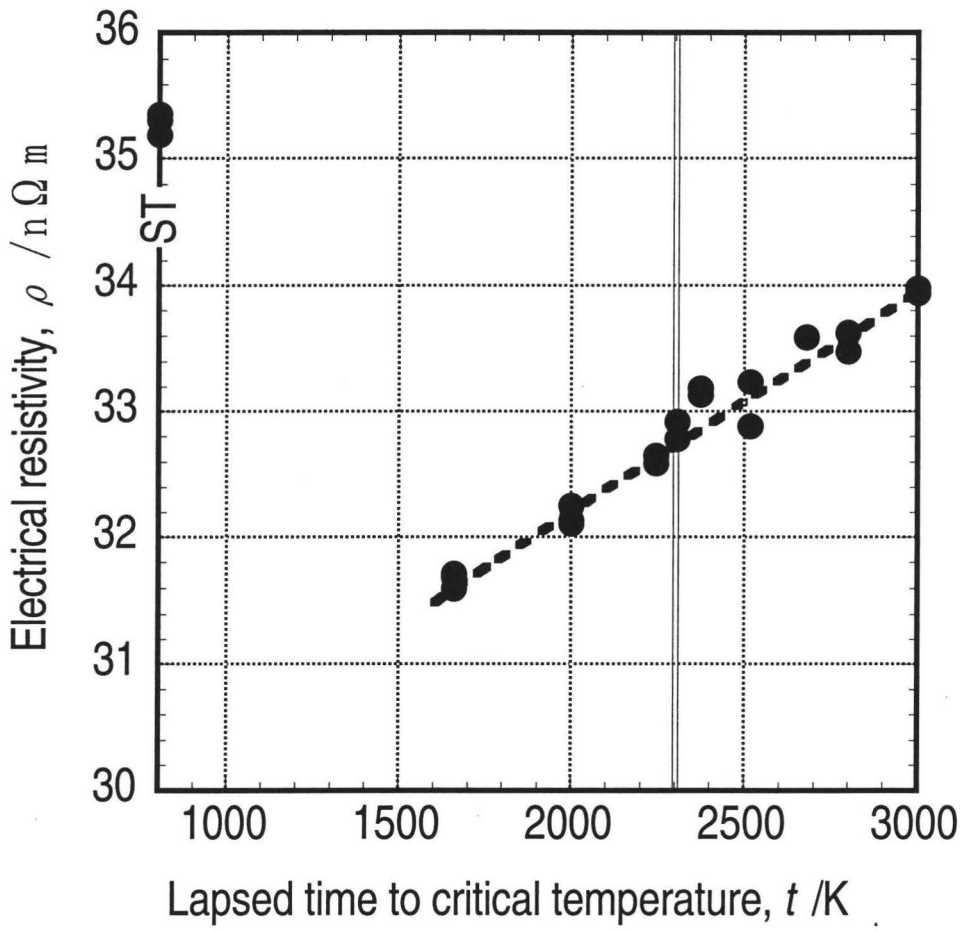


図10　昇温パターンが電気比抵抗に及ぼす影響（昇温時効処理）

1-11 日射熱利用・排湿・冷却・全熱回収を考慮した多機能通気外壁の最適化に関する研究

岐阜工業高等専門学校　建築学科
教授　大澤　徹夫

1. 本研究の目的・背景

地球環境の悪化を受け、①自然エネルギー利用、②省エネ技術（熱回収・断熱・遮熱）の促進が求められている。しかしそれに伴う新たな課題として、壁内結露及び外装材の高温劣化問題が発生している。これらの総合的に対応する試みが重要と考えられる。

外壁への通気工法の採用は、これまで排湿・遮熱・太陽熱利用それぞれの単独目的にのみ検討されてきた。通気工法による排湿・遮熱・太陽熱利用は、基本的には空気の密度差を原動力とする空気流動を利用するために機械力が必要の無いいわゆるﾊﾟｯｼﾌﾞ技術であり、どの建物にも利用可能な親和性の高い技術である。本研究においてはこれらを総合的に取り扱うことを第一義的な目的としている。また熱交換換気機能を研究対象に挙げ、通気工法との融合の可能性検討を行う。

2. 研究方法と計画

①遮熱数値実験：

外壁中の垂直通気層が上下に開口を有しており、密度差換気が行われる場合を想定し、二次元数値計算から、夏期遮熱を中心とした温度・熱流計算を行う。検討用のプログラムとして定常計算では現有のﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑを使用し、通気壁の熱的な特性についてパラメトリックスタディーを行う。また非定常計算プログラムを今回の研究により新たに開発し、より現実に近い場合として、アメダス気象データを使用した日本各都市での通気壁の冷却効果について検討を行う。

②二重通気壁による熱回収換気可能性検討：

換気と熱回収の両立を目指す二重通気壁パネル（二重通気層を有する壁）を用いた室内実験データより、各種条件・換気量・熱回収効率についてデータを得る。またこれに関してシミュレーションの検討を開始する。

③通気壁室内実験：

室内実験用通気壁ﾓﾃﾞﾙを作成し、日射熱入射を発熱体によりシミュレートした実験を行う。その際の各部温度変化から、通気層厚・発熱量・上下開口率と冷却効果（熱収集率）の関係を定量的に得る。また、本データは上述の数値実験との比較データとなる。

④データまとめと学会発表：

上記データをまとめ、建築学会・空気調和衛生工学会において研究発表を行う。

３．研究成果

３－１　遮熱数値実験

今回作成を行った二次元非定常熱流計算プログラムを使用して、日本の代表的位置にある都市の気象データを入力し、冷房期間を中心に計算を実行した。その結果から、温度変動・熱流の両面から、壁本体がRCである壁に通気層を設置した場合の冷却効果について検討を行った。

計算方法

計算対象とした壁本体構造はＲＣ壁150ｍｍ厚で壁の高さ方向の寸法は3000mmとした。通気層を構成するための二重外皮としての日射遮熱板は黒色鋼板0.3mm厚（便宜上、日射吸収率１とした）を仮定し、70mm厚の通気層を構成することとした。流路抵抗の代替としての上下開口率は自由に設定できるようになっている。

壁の固体部分（日射遮蔽板・壁本体）の二次元熱流計算法[3)]のモデルを図１に、基本的な計算フローを図２に示す。計算アルゴリズムとしては、日射遮蔽板と壁本体表面間の放射熱伝達を含め、3.6秒間隔で差分法（時間は中央差分）による二次元非定常固体熱伝導計算を行った。この時、室内側表面の熱伝達率は９W/㎡Kに、日射遮蔽板外側表面の熱伝達率は23W/㎡Kを採用した。それに通気層内一次元気流計算を連成し、通気壁全体の温度・熱流計算を可能としている。通気層を形成する両側表面は幅方向に1mを仮定し、放射熱計算に有限面間の面々形態係数を用いた。気流計算は一次元であり、日射遮蔽板及び壁本体の通気層側表面温度と流入空気である外気温度が入力である。気流速度は、層内空気温度上昇に伴う浮力が上下開口部での流出入損失及び通気層側壁と層内空気との摩擦損失とバランスする状態をその都度に求めた。また計算中、気流速度と平均温度の変化が各々の値の1/1000以下となった時をもって収束とみなした。

計算に使用した物性値を表１に示す。外気象条件は日本建築学会編集の拡張アメダス気象データに拠った。また室温は終日26℃一定とした。その他の条件として、壁方位は西面、流路障害の代替である通気層上下開口率は40%とした。計算は日本の代表的位置にある都市として札幌、仙台、東京、名古屋、神戸、高知、鹿児島、沖縄の８都市を選択した。計算実行期間は３月～１０月までの８ヶ月間で、その中の７月２１日から９月１０日までの５２日間の冷房期間を検討対象とした。

温度冷却効果について

全国８都市の計算結果から東京及び南北の代表的な都市として札幌、鹿児島の３都市を抽出し、終日の貫流熱合計の最大日として、札幌、東京、鹿児島の順に８月３日、８月５日、７月２７日の一日の温度推移を図３に示す。同図は通気層を除く壁本体（ＲＣ造）の高さ方向中央の表裏の表面温度・外気温度と室内流入熱の時刻変動である。冷却効果比較用に通常壁（通気層無し：図中は中空層と表記）の計算結果を併記した。

同図より、通気層設置による壁本体の温度上昇抑制効果について述べる。同図a)の札幌の場合、室内側表面の最高温度は通気層の設置により6.5℃低下した。同様に東京では6.3℃、鹿児島では5.9℃と、最高温度の低下がみられた。また図示していない他都市の最高温の低下は4.8～6.8℃の範囲だった。またﾋﾟｰｸ発生時刻は通常壁が１６時前後なのに対し、１９時前後と顕著な遅れが見られた。ここで当然ながら、通気層設置よりも断熱材設置のほうが効果的

な温度低下が達成できる訳だが、断熱材設置壁の冷却に対しても本通気層は有効であることは確認できている[3)]。本報告の主な目的は、通気RC壁への各都市の気象条件入力時の冷却程度の確認で、通気層の断熱性能については”見かけの熱伝導率”、”貫流熱の減少率”などの形で表現する必要があると考えている。

図３の比較日において、札幌と東京の鹿児島共に終日日射量はほぼ同程度であるが、外気温変動は明確な差異がある。これらの影響について述べる。

外気温は日射量の大きい12時から16時の時間帯は札幌、東京、鹿児島の各都市とも31℃程度でほぼ同一だが、札幌では特に０時から12時の時間帯で、他都市と比較して３～５℃低くなっている。また東京は外気温が26℃から下がらない熱帯夜である。その為、26℃一定という室温条件の一律な適用が妥当であるかどうかも含め、判断する必要がある。

<u>夏期貫流熱削減効果</u>

以下では主に、前述の温度冷却効果検討時の同一計算データを用い、通気壁を用いた場合の貫流熱削減効果について抽出し、日最大貫流熱、期間貫流熱負荷等の負荷削減傾向に関して結果を整理した。

日最大貫流熱：　札幌、東京、鹿児島の３都市における一日の貫流熱合計がそれぞれ最大を示した日の貫流熱推移を図４に示す。同図の熱流は、壁の高さ方向（３０００ｍｍ）について平均化した値であり、図中には通気層（図中中空層と表記）が無い場合（通常壁）の計算結果を併記した。同図より、札幌の計算結果について（８月３日）、通常壁の場合に17時に最大値90.6W/㎡であった日最大貫流熱は通気層設置により30.5W/㎡となり、約1/3の水準に低下するとともに、ピーク発生時刻は１時間強遅れ18～19時となった。同様に東京の場合（８月５日）では日最大貫流熱92W/㎡が34W/㎡に、鹿児島の場合（７月２７日）では約96W/㎡が37W/㎡と大幅な削減が認められた。計算を行った他の５都市（仙台・名古屋・神戸・高知・沖縄）においても同様に大幅な日最大貫流熱の削減（最大で48.5～62.3W/㎡）が確認できた。

表２は、各都市の通常壁における日最大貫流熱を大きいものから５時刻分と同時刻の通気壁のそれを示したものである。同表より、今回の計算対象都市の全てに対し、日最大貫流熱を約60%程度削減でき、その削減量は40～60W/㎡（RC壁無断熱）であることが判った。

一日の貫流熱：　気象入力条件としての日射量（西面：終日）は、三都市ともほぼ同一値（札幌、東京、鹿児島の順に、3902, 3861, 3841Wh/㎡）だった。その為、西面に関する日射量の影響を受ける時間帯（12時～24時）における通気壁と通常壁の貫流熱の差は札幌、東京、鹿児島の順に、361.1, 361.6, 385.9Wh/㎡とほぼ同様の数値だった。しかし西面にとって直射日射の無い０～１２時の時間帯は各都市の気候条件の影響が顕著だった。特に札幌は外気温が低い為、この時間帯で室温設定上(26℃終日一定）の理由もあって、負の熱流（室内から室外への流出熱）が発生した。

期間貫流熱：　検討対象期間である７月２１日から９月１０日までの５２日間の期間貫流熱について、通気壁による削減量及びその傾向について検討を行った（表３）。同表では通気壁及び通常壁の期間貫流熱と共に、通気壁のそれの通常壁のそれに対する比（以下、熱流比と表現）を示す。また期間貫流熱算出時に期間中の負の貫流熱は合計値からは除き、正の値のみ加算した。

表３において高緯度都市ほど熱流比が小さい（貫流熱削減率が大）傾向が現れた。他の都市

のそれが0.5を超える値だったのに対し、札幌と仙台では0.4を下回る値となった。この理由として他都市と比較して外気温が低いことが挙げられる。内外気温差に起因する貫流熱削減に対して通気層は効果を持たないため、相対的に日射貫流熱の占める割合が大である高緯度都市で熱流比が小さく算出されたものと推測される。

図５は、横軸に通常壁の期間貫流熱、縦軸には熱流比（通気壁の負荷率）をとった。同図中には前述の都市に東海地方の５都市（岐阜・津・静岡・豊橋・高山）を加えた１３都市分のデータをプロットした。同図よりこれらの間に高い相関が認められ、期間貫流熱が大の場合に熱流比が大であることが統計的にも確認できた。今後、より多くのデータ収集の必要性はあるが、RC壁を本体とする西面通気壁の期間貫流熱削減効果は概ね40～70%の範囲と推定される。

このように、 わが国の代表的な都市の気象条件を用い、RC壁が本体の西面通気壁の非定常熱負荷計算を行い、通常壁との比較から夏期冷却効果について考察した。その結果、通気壁は壁の室内側表面温度を４～７℃程度低下させること夏期期間貫流熱を30～60%に低減させる結果が得られた。また日最大貫流熱を約40%に低減でき、これは地理的条件にさほど関係しないことも判った。

３－２　二重通気壁による熱回収換気可能性検討

省エネルギー政策で、住宅の高断熱高気密化進み、付随的に室内空気質問題が深刻化しつつある。この問題解決に有用なのが換気促進装置で、なかでも熱交換換気装置は省エネとの両立を可能とする有望な解決策である。そこで本研究では初期コストはともかく、少なくとも熱交換・換気に投入する動力エネルギーが不要であるパッシブ熱交換換気システムを提案した。

以下では計算によって同通気層の熱回収効果予測を行うために、顕熱交換型二重通気層を用いた実験結果をシミュレートする為の第一段階として重要な要素である流路抵抗の推定を行った。加えて同壁のシミュレーションプログラムの基礎となる伝熱計算部分について、その計算アルゴリズムをまとめた。

<u>二重通気層について</u>

仮定として、断熱・気密が十分になされ上下方向温度差が小さい居室に対して、気密面で隔絶された低温の居室もしくは外部が隣接していると考える。両方の室間を隔てる要素に、本研究対象の、開口部高さに差のある二重通気層を有する建具もしくは外壁が用いられているとする（図６）。室内が完全気密・断熱で、内外温度差が存在する場合に二重通気層を有する建具より、両空間の温度差を原動力とする熱交換換気が起こる。その際、二重通気層の隔壁（熱交換板）を介した熱交換が起こり、高温側の居室からの視点では換気と熱回収が同時に達成可能である。この隔壁に透湿性材料を用いると全熱交換、非透湿性だと顕熱交換の通気層になる。

その後、各々の通気層を上昇した気流は、上部流出口では互いに反対方向に流出する為、図７に示す上部流出口の内気と外気が直接混合することを避けるような仕組みが必須となる。このようなメカニズムで熱回収換気を行う二重通気層であるが、基本的には高温側から低温側の熱移動への熱移動がその原動力である為、温度・熱流条件、流路抵抗、幾何的条件等多くのパラメータが関わり、簡単な予測は難しい。

実験について

実験装置は図８及び９に示すように、加熱箱，恒温恒湿室，試料取付枠，湿度測定器，電力測定器，定電圧電源によって構成されている。同装置を用いて、各部温度，換気量，投入熱量の測定を行った。得られた実験結果を今回の計算に利用した。

通気層内流路抵抗値の推定

計算式：　本節では、式1に示すベルヌーイの式を用い、実験時に得られた各部温度から求めた二重通気層の浮力が、流路での摩擦損失及び、断面縮小拡大、曲路・流出入損失とバランスすると考え、流速に実験値を与えることで流路抵抗を同定することとした。式２は局所抵抗部の損失である。その内訳としては、式３に示す流出部損失、式４に示す曲路部損失、式5に示す断面縮小拡大部損失となる。式６は摩擦抵抗でMoody線図から算出する。

抵抗係数推定結果：　実験時の流速を用い、式7に示す浮力と全局所抵抗，直線通気層の摩擦抵抗を総和した層内全抵抗(式８)がバランスするとして、既存の資料からは算出の困難な2ヶ所の流入部抵抗の合計値を推定した。これを表４及び図１０に示す。

これより、流入側温度25℃，内外温度差15℃の実験で得られた風速と最も近い値を示したのは、入口抵抗係数が40〔ND〕の場合だった。但し、5mm層厚の場合は通気層表面の粘性抵抗の占める割合が高くなる為か、誤差が大きくなった。次に、同条件での二重通気層内の流路抵抗に占める各要素の割合を表５に示す。これより二重通気層内流路抵抗の大半は流出入部で占められていることが判った。その割合は90%程度である。又、 層内気流のRe数の最大は、温度差15℃，層厚50mmの時の664.42〔ND〕と比較的小さく、自然対流であることを考え合わせると層流域に属していると推定される。

二重通気層の伝熱計算方法

二重通気層の伝熱計算は以下の仮定を用い、計算アルゴリズムを検討した。

1)　定常状態を仮定した。

2)　気流計算，固体部分の伝熱計算は、１次元計算とした。この時、固体部分は材厚が十分薄いと考え、上下方向の熱伝導は無視。その結果、上下方向の熱移動は気流と放射のみとなる。

但し、今回の計算では、放射伝熱部分の組み込みは未だ終了していない為、その意味からは、完全なシミュレーションは行っていない。

図１１に計算のモデル図を示す。同図中には上下方向に複数の層に分割された、1つの層壁が抜き出してある。各層壁に接する両側空気温度が決まっている場合を考える。式９，１０に示すように隔壁表面温度（T_{10}, T_{11}）は隔壁の両側空気温度であるT_0, T_1と、その各区間抵抗r_1, r_2, r_3で決まる。これより、隔壁表面温度が計算される。隔壁B,Cも同様に表面温度を求める。この計算への放射熱の組み込みに関しては、相当外気温と同様の取り扱いをし、壁2から壁1への放射熱量Qr_{21}については、便宜上T_1の温度が上昇したと考え、各部温度の計算へ反映させる。1次元気流計算については、こうして求まった対流各垂直層毎の各壁表面温度を用いて、適当な熱伝達率を与えた上で、気流，温度，流速を計算する。これらの計算を繰り返し行い、収束値を求めることで温度，気流が得られる。　計算アルゴリズムの有効性については、通気壁の煙突効果を利用した冷却効果について既に検証済みであり、垂直方向の固体部伝導熱が水平方向熱流と比べて十分小さい場合には、前述の仮定で計算しても差し支えないとの結果を得ていることから、今回の二重通気層に適用することとした。

３－３　通気壁加熱実験装置

発熱板により発熱量を制御可能な通気壁実験装置を作成した。この装置によって、より進んだ通気層の利用法の可能性を探ることが可能である。例えば、層内伝熱促進の為に気流攪乱器具を取り付けた場合、あるいは放射伝熱抑制の為の光沢板の取り付けなどである。今回は、時間的な問題もあり、装置の基本製作を主とした。

装置構造

壁本体はフォームポリスチレン厚50mmを二枚の合板12mmで挟んだサンドイッチ構造である。外気側の遮熱板側は合板12mmが本体であり、それに加熱板を取り付けた。計測用に、装置主要位置４５点にT-Cc熱電対を組み込んだ。

実験手順

スライダックによって日射遮蔽側の発熱量を10～120W/㎡のある値に保ち、かつ、上下開口率を20、40、100%に変化させた場合の各部温度計測及び主要点の風速測定を行った。

計測結果(予備)

発熱量120W/㎡の場合に、加熱開始後約１２０分で定常状態となった。また上部位置ほど温度が高くなっており、通気による熱の上部への移動が認められた。

４．研究成果

本研究の遂行によって、汎用二次元通気壁伝熱計算プログラムを作成することができた。それによる計算結果によって、通気層の遮熱効果の大略を示すことができた。また二重通気層による熱回収換気効果を詳細に把握するための足がかりとなる流路抵抗値の推定を行い、今後のシミュレーションプログラム作成に弾みがついた。またより進んだ通気層の利用法検討に向けた室内実験装置を製作した。

５．今後について

現段階で残っている仕事は、①通気壁冷却効果計算の全国都市への展開、②二重通気層伝熱計算プログラム作成とそれによる検討、③通気層のより先進的な使用方法の提案である。

６．研究成果

①角舎、本間、大澤、青山、横山：　通気壁の遮熱性能に関する解析的研究　２次元汎用ﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑによる非定常計算結果、日本建築学会東海支部研究報告集、2003、Vol.41、p.525-528
②横山、角舎、大澤：　通気壁の遮熱性能に関する解析的研究　－東海地方に対する熱負荷計算結果－、空気調和衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、2003、第４号、p.79-82
③山崎、大澤、角舎、土川：　熱交換型パッシブ二重通気層による熱回収換気効果の予測計算について、空気調和衛生工学会中部支部学術研究発表会論文集、2003、第４号、p.87-90

表－１　計算に使用した物性値

共通条件	外気側熱伝達率	23W/㎡K
	室内側熱伝達率	9W/㎡K
	壁外側日射吸収率	1
	中空層側壁吸収率(長波)	0.9　(左右共)
	外気温度	アメダスデータ
	室内温度	26℃
	日射量	アメダスデータ
	日射遮蔽板　薄板鋼板	0.3mm
	k=45W/㎡K, C=437J/kgK, ρ=7830Kg/m³	

壁の種類	壁構成・熱物性値
RC壁	RC150mm RCの物性 K=1.4W/㎡K, C=880J/kgK, ρ=2200Kg/m³

注：K=熱伝導率　C=比熱　ρ＝密度

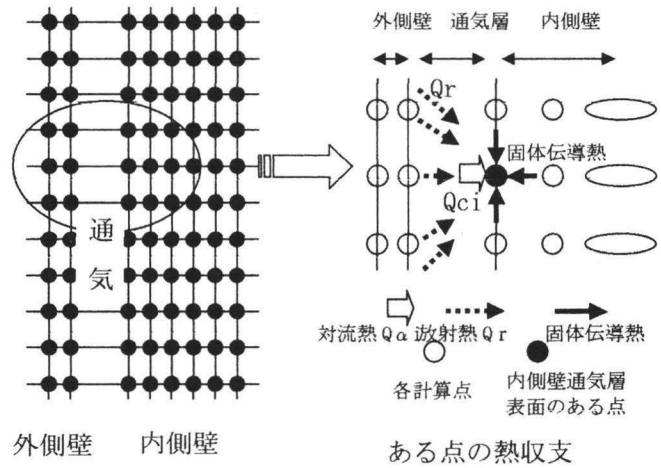


図１　２次元計算モデル

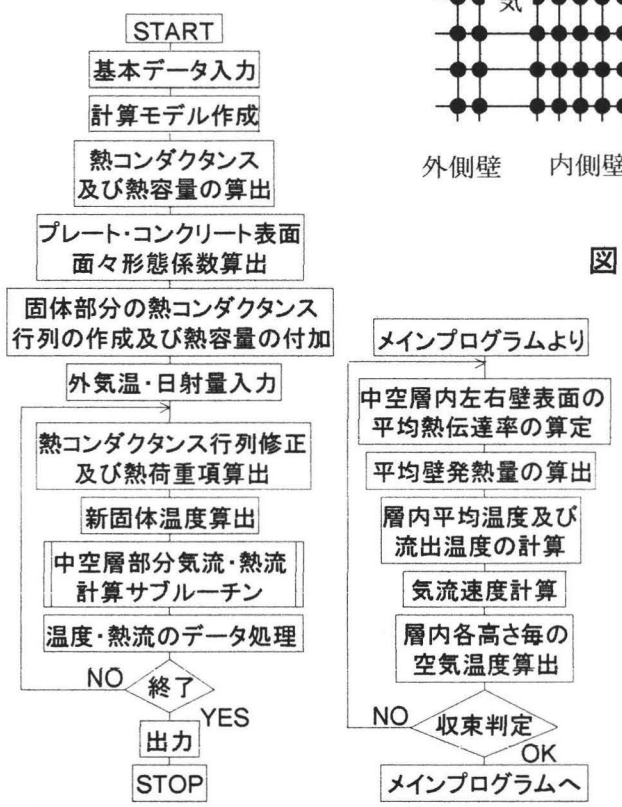


図２　通気壁の温度・熱流計算フロー

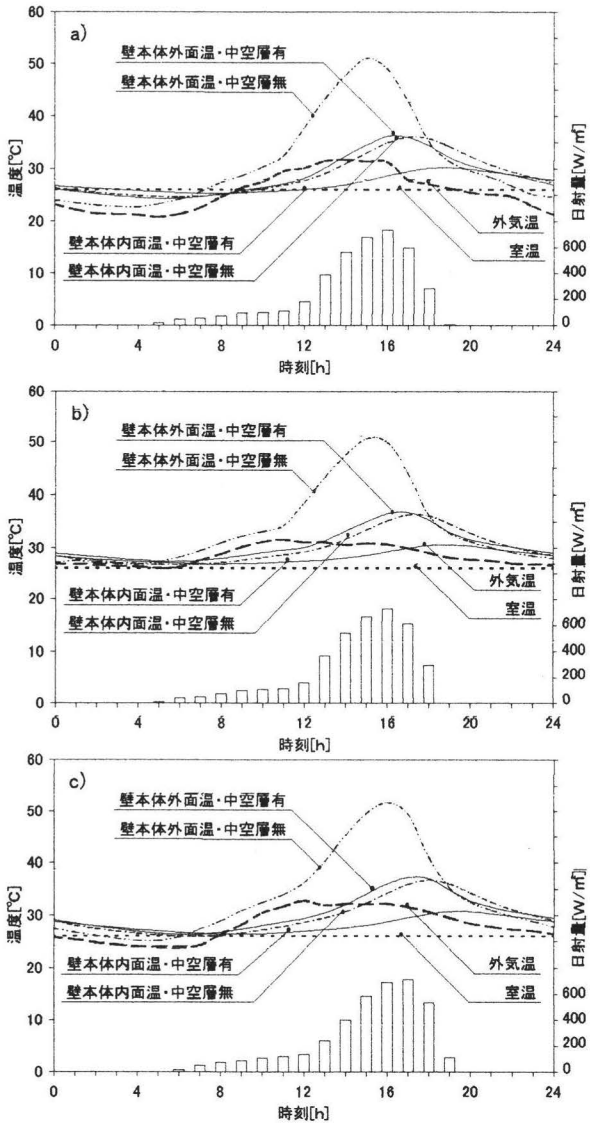


図３　通気壁の温度推移（貫流熱最大日）
a）札幌　b）東京　c）鹿児島

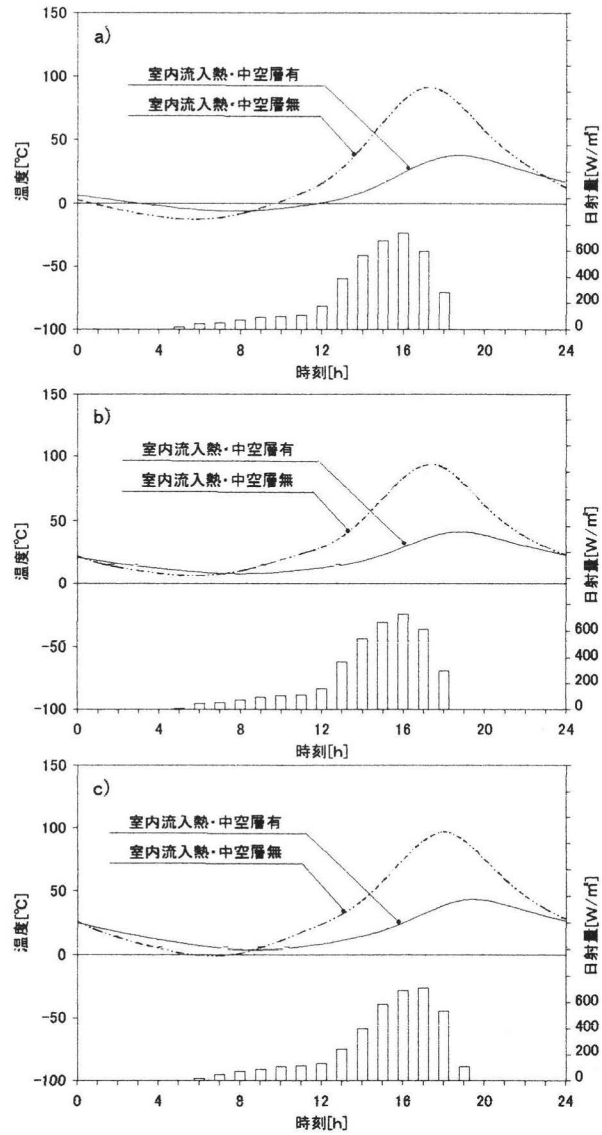


図４　貫流熱推移（貫流熱最大日）
a）札幌　b）東京　c）鹿児島

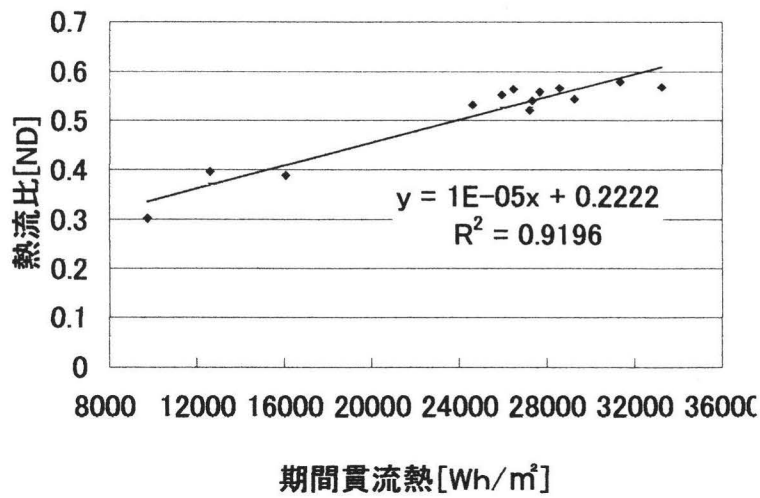


図５　夏期期間貫流熱と熱流比

表２　日最大貫流熱の削減効果

場所		日付	時刻 [時]	ピーク(通気壁) [W/㎡]	ピーク(通常壁) [W/㎡]	削減量 [W/㎡]
札幌	1	8月3日	17	30.468	90.623	60.155
	2	8月3日	18	35.480	87.720	52.241
	3	8月17日	17	24.935	86.688	61.753
	4	8月17日	18	30.718	84.117	53.399
	5	8月3日	16	22.985	81.009	58.024
仙台	1	8月11日	17	21.793	70.334	48.542
	2	9月1日	17	26.218	68.482	42.264
	3	8月11日	18	25.840	67.222	41.382
	4	9月8日	17	21.498	66.716	45.218
	5	9月1日	16	22.329	66.517	44.188
東京	1	8月5日	17	34.496	92.505	58.008
	2	8月8日	17	34.212	91.947	57.735
	3	8月5日	18	39.105	91.219	52.113
	4	8月8日	18	38.812	90.213	51.401
	5	8月1日	17	32.949	89.674	56.725
名古屋	1	8月17日	17	40.592	102.900	62.308
	2	8月17日	18	44.432	100.322	55.891
	3	8月21日	17	40.925	99.989	59.064
	4	8月26日	17	40.219	97.700	57.481
	5	7月19日	17	40.930	96.821	55.892
神戸	1	8月11日	18	38.108	93.850	55.742
	2	8月11日	17	32.389	91.945	59.556
	3	8月29日	17	34.551	91.084	56.533
	4	8月3日	18	34.799	91.053	56.254
	5	7月30日	18	39.671	90.494	50.822
高知	1	7月28日	17	32.396	88.136	55.740
	2	8月18日	17	34.990	87.069	52.079
	3	7月29日	17	34.209	86.811	52.601
	4	8月2日	18	37.171	84.828	47.657
	5	8月2日	17	32.999	84.716	51.718
鹿児島	1	7月27日	18	37.430	96.520	59.090
	2	7月26日	18	37.083	94.866	57.782
	3	7月23日	18	38.871	93.386	54.515
	4	7月27日	19	41.518	89.940	48.422
	5	7月27日	17	31.034	89.346	58.311
沖縄	1	8月22日	18	38.842	94.058	55.216
	2	8月25日	18	36.980	93.601	56.621
	3	8月21日	18	38.157	92.420	54.263
	4	8月10日	18	35.256	92.222	56.967
	5	8月27日	18	36.805	91.829	55.025

表３　　夏期期間貫流熱削減効果

場所	熱量(通気壁) [Wh/㎡]	熱量(通常壁) [Wh/㎡]	熱流比
札幌	2943.116	9736.677	0.302
仙台	4993.699	12600.571	0.396
東京	14923.277	26475.396	0.564
名古屋	15444.921	27667.620	0.558
神戸	15929.758	29257.058	0.544
高知	14324.328	25940.616	0.552
鹿児島	18160.461	31357.646	0.579
沖縄	18915.098	33243.752	0.569

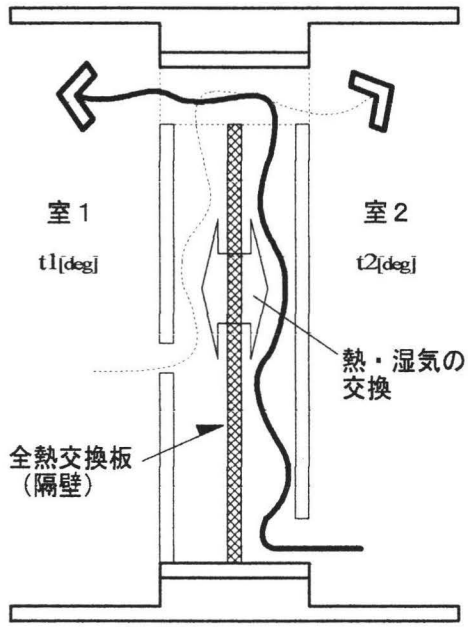


図６　二重通気層熱交換の概要

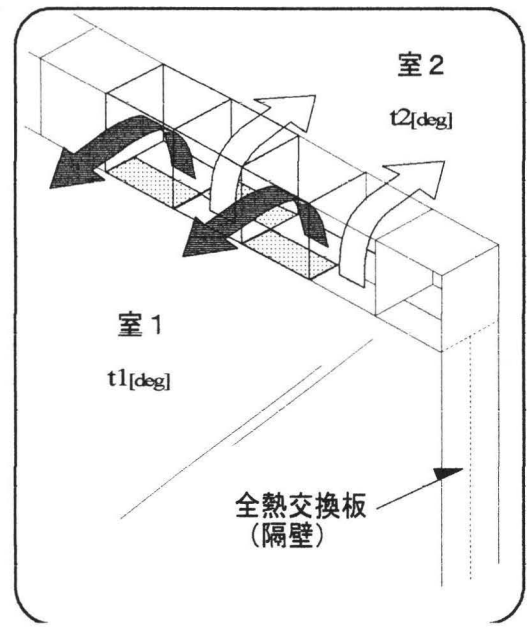


図７　二重通気層の上部機構

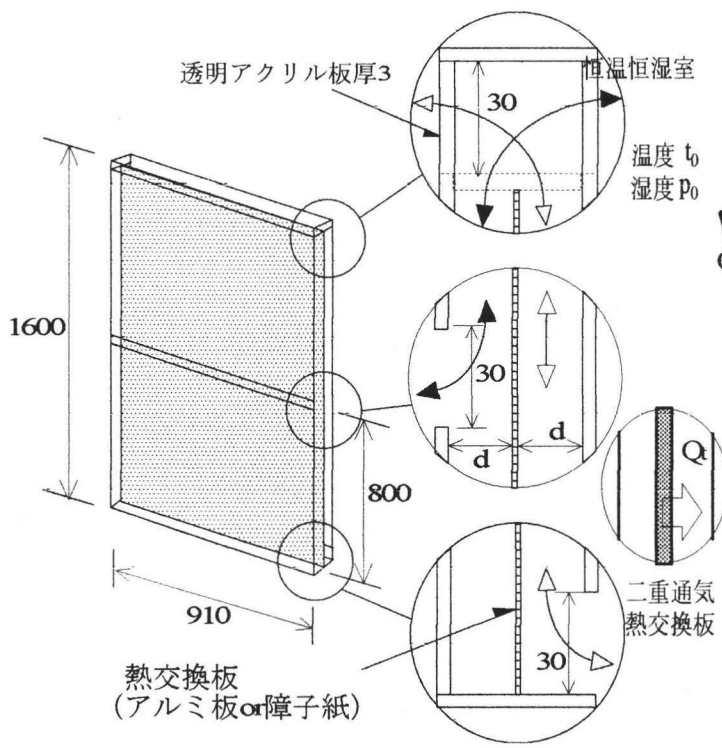


図８　二重通気層のディテール

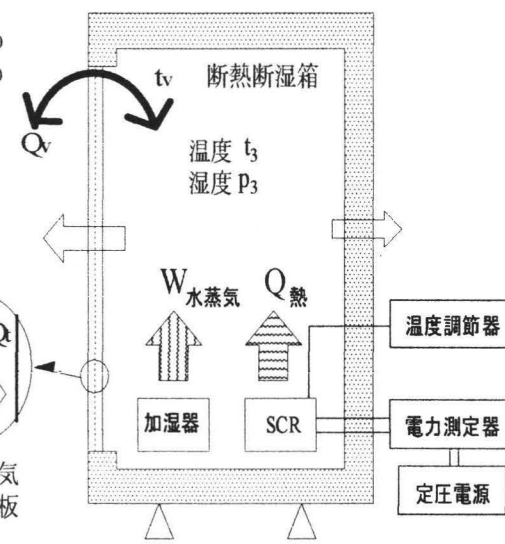


図９　実験装置の構成

表４　温度差15℃の層内平均風速

温度差15℃の場合の層内平均風速(m/s)	通気層厚(mm)		
	5	30	50
実験値	0.025425	0.042298	0.041732
流入部抵抗係数1	0.097404	0.11413	0.116294
流入部抵抗係数10	0.066777	0.07186	0.072435
流入部抵抗係数40	0.040286	0.041449	0.041572
流入部抵抗係数100	0.026769	0.027138	0.027177
流入部抵抗係数150	0.022121	0.022339	0.022361

二重通気層の圧力バランス式

$$p_1+\frac{\gamma}{2g}v_1^{\,2}=p^2+\frac{\gamma}{2g}v_2^{\,2}-(\gamma_0-\gamma)(h_2-h_1)+p_r \quad \cdots(1)$$

$$\Delta p_d=\sum_{n=1}^{3}\xi\frac{v^2}{2g}\gamma=\sum_{n=1}^{3}\xi\left(\frac{v}{4.04}\right)^2 \quad \cdots(2)$$

$$\xi_1=\xi_0\left(\frac{d}{d_0}\right)^4 \quad \cdots(3)$$

$$\xi_2=k\sin^2\left(\frac{\theta}{4}\right) \quad \cdots(4)$$

$$\xi_3=\left(\frac{A_2}{A_c}-1\right)^2=\left(\frac{1}{C_c}-1\right)^2 \quad \cdots(5)$$

$$\Delta p_f=\left[0.0055\left\{1+\left(20000\frac{\varepsilon}{d}+\frac{10^6}{\mathrm{Re}}\right)^{\frac{1}{3}}\right\}\right]\frac{l}{d}\cdot\frac{v^2}{2g}\gamma \quad \cdots(6)$$

$$F=(\gamma_0-\gamma)(h_2-h_1) \quad \cdots(7)$$

$$\Delta p=\Delta p_d+\Delta p_f \quad \cdots(8)$$

ここで、
p:圧力〔kgf/㎡〕　γ:室内空気比重〔kgf/m³〕
γ_0:外気空気比重〔kgf/m³〕　g:重力加速度〔m/s²〕
P_r:圧力損失〔kgf/㎡〕　h_1:外側通気層の高さ〔m〕
h_2:内側通気層の高さ〔m〕　Δp_d:局部抵抗〔mmAq〕
ξ:局部抵抗係数〔ND〕　ξ_0:1〔ND〕 参考文献5) 参照
d:通気層幅〔m〕　d_0:出口部層幅〔m〕　k:9.98〔ND〕
θ:エルボ角度〔度〕　A_2:変化後の断面積〔㎡〕
A_c:急縮小時の断面積〔㎡〕　C_c:収縮係数〔ND〕
Δp_f:直線通気層抵抗〔mmAq〕　ε:等価粗さ〔m〕
Re:レイノルズ数〔ND〕　l:通気層長〔m〕
F:浮力〔mmAq〕 Δp:層内抵抗〔mmAq〕 v:風速〔m/s〕

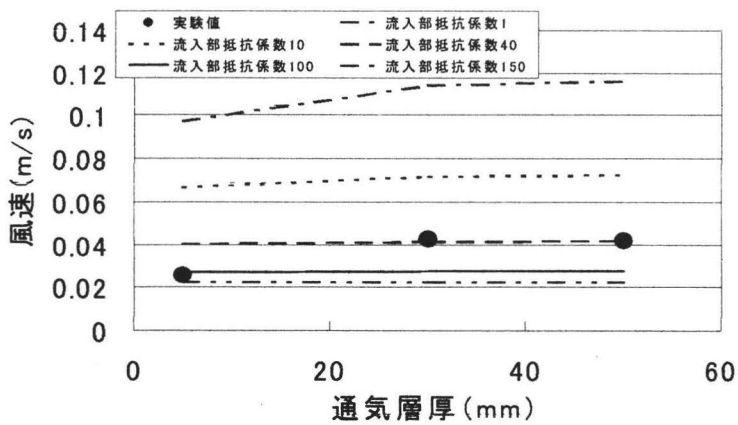
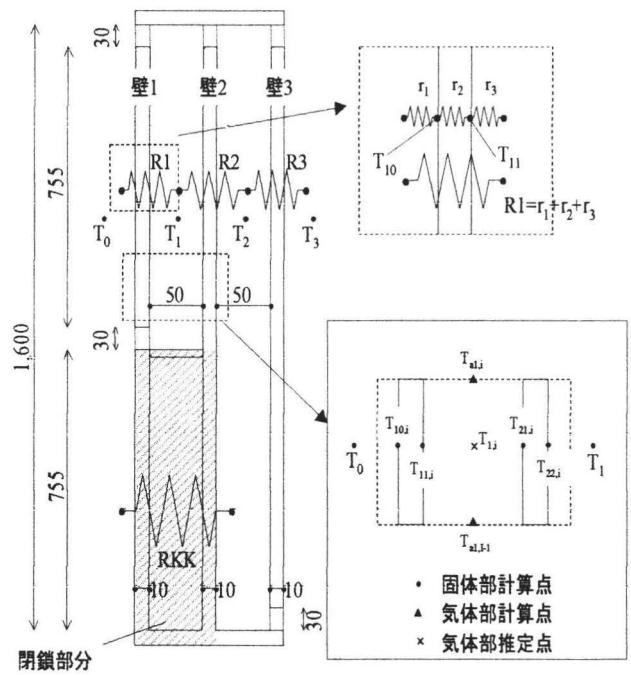


図１０　入口抵抗係数による風速の変化

表５　二重通気層内抵抗割合（%）

			直路摩擦	流出入	曲路	上部クロス
室内温度（30℃）	通気層厚（mm）	10	5.23	87.72	6.26	0.80
		20	3.02	89.76	6.40	0.82
		30	2.19	90.53	6.46	0.83
		40	1.74	90.94	6.49	0.83
		50	1.46	91.21	6.50	0.83
室内温度（32.5℃）	通気層厚（mm）	10	4.45	88.43	6.31	0.81
		20	2.57	90.17	6.43	0.82
		30	1.86	90.83	6.48	0.83
		40	1.48	91.18	6.50	0.83
		50	1.24	91.41	6.52	0.83
室内温度（35℃）	通気層厚（mm）	10	4.18	88.68	6.32	0.81
		20	2.41	90.32	6.44	0.82
		30	1.75	90.94	6.49	0.83
		40	1.39	91.27	6.51	0.83
		50	1.16	91.48	6.52	0.84
室内温度（37.5℃）	通気層厚（mm）	10	4.02	88.83	6.34	0.81
		20	2.32	90.41	6.45	0.83
		30	1.68	91.00	6.49	0.83
		40	1.34	91.32	6.51	0.83
		50	1.12	91.52	6.53	0.84
室内温度（40℃）	通気層厚（mm）	10	3.91	88.93	6.34	0.81
		20	2.26	90.47	6.45	0.83
		30	1.63	91.04	6.49	0.83
		40	1.30	91.35	6.51	0.83
		50	1.09	91.55	6.53	0.83



$$T_{10} = T_0 + \left[\left(T_1 - T_0 + \frac{Q_{r21}}{\alpha_{11}}\right) \times \left(\frac{1}{\alpha_{10} \cdot R}\right)\right] \quad \cdots (9)$$

$$T_{11} = T_0 + \left[\left(T_1 - T_0 + \frac{Q_{r21}}{\alpha_{11}}\right) \times \left\{\frac{1}{(\alpha_{10} + \lambda_1) \cdot R}\right\}\right] \quad \cdots (10)$$

$$T_1 = \frac{\alpha_{11} \times (T_{11} - T_{10}) \times A \times t}{\rho \cdot c \cdot V} \quad \cdots (11)$$

α：熱伝達率〔w/㎡·K〕　　A：対象となる壁面積〔㎡〕
c：空気比熱〔J/kg·K〕　　V：対象となる空気体積〔m^3〕
t：通過時間〔s〕　　R：熱貫流抵抗〔㎡·K /w〕
ρ：空気密度〔kg/m^3〕　　T：固体部温度〔K〕

図１１　二重通気層伝熱計算モデル

1-12 住宅のヘルスモニタリングのための高精度な構造同定手法の開発

香川大学工学部安全システム建設工学科

教授 野田 茂

1．はじめに

戦後の復興期に建設された多くの構造物は耐用年数を迎える時期にきている．一方では，メインテナンスフリーと考えられていた構造物にも環境条件の変化や要求レベルの向上と相まって，何らかの対策を講じる必要性が出てきている．これらの構造物の維持・管理に関しても，色々な意味でこれまで経験したことのない問題が生じている．例えば，鉄道・道路などの交通・輸送システム，水道・電力・ガスといったライフラインシステムなどの基幹構造物や施設は，たとえ短期間の使用停止であっても，社会活動や市民生活に多大な影響を及ぼすので，容易に更新できない状態にある．近い将来，1980年代の高度成長期に建設された膨大な建造物や施設も耐用年数に至り，我が国は建設大国から修繕大国になるのが避けられない状況である．

このような状況を改善する対策として，次の方法が考えられる．まず，新設構造物については，耐久性に優れた機能性の高い構造物を建設することである．一方，既設構造物については，リハビリテーションを含む適切な維持・管理を行い，長寿命化を図ることである．ここで，リハビリテーションとは「劣化した部材・構造などの性能（強度・機能）を，補修・補強・改修などにより当初の供用水準以上に回復させること」を意味する．

構造物や施設に要求される性能としては，大きく分けて，耐荷，たわみ，耐震，耐疲労，水密性，安全性，美観などが考えられる．リハビリテーションに当たっては，構造物・施設に要求される，このような機能・性能に応じた判定結果を受け，残存供用期間に対して合理的な対策が講じられなければならない．そのためには，判定のためのデータを適切に与える方策が必要である．すなわち，点検時と詳細調査段階での非破壊検査を含むヘルスモニタリング（健全度診断）の役割が極めて重要となる．

ヘルスモニタリングの役割は人間に対する健康診断や検査と類似である．人間の場合には，問診や簡単な検査による健康診断が，何らかの異常が認められれば，各種の精密検査が行われることになる．場合に応じて，事後の観察や投薬，手術などの処置が講じられる．その幅は非常に広く，的確な判断が要求される．そのためには，患者の病歴を正確に記録したカルテが重要である．構造物・施設のヘルスモニタリングにおいても同様に，データベース化された記録が極めて重要となる．

構造物には，地震などの外力を受けると被害が生ずるとともに，老朽化に伴う損傷が経時変化によって累積する．従って，直接目視で観察できない対象構造物の異常や損傷を把握することが必要不可欠となる．適切な維持・管理を行うためにはヘルスモニタリングを合理的

に行わなければならない.

構造物のヘルスモニタリングは主に以下の手順によって実行される.

1) 構造物などの対象物にセンサを設置して音や振動などの物理量を観測する.

2) 観測値をさまざまな信号処理手法により分析する.

3) 損傷の程度を把握し，健全性を判定する.

ヘルスモニタリングの実現に当たっては，構造動特性を捉えるため，これまで種々の分野でシステム同定が用いられてきた．土木・建築分野では，主に設計段階で仮定した動特性を確認するため，あるいは今後の設計資料としてあるいは耐震診断の一手法として利用するため，同定手法が適用されている．近年増えている免震，制震構造物においては，通常の構造物以上に剛性や減衰の設定・評価を厳密に行わなければならない．このような構造物の動特性評価方法として，システム同定は極めて重要である．このため，同定手法としてはこれまでカルマンフィルターを用いることが多かった（例えば文献 1）参照).

ウェーブレットは時間・周波数領域において局在した関数である．このため，地震動のように振動数特性が時間的に変動する非定常なデータに対しては，その変化に追随した解析が可能となる．ウェーブレットは，構造系の動特性同定問題に適用されてきたが，その多くは線形構造系あるいはバイリニア系のような単純な非線形復元力特性を有する構造系に限定されている [2) 3)]．そこで本研究では，多面型履歴復元力特性を有するせん断型非線形構造物を対象に，ウェーブレット変換によって構造物の線形系パラメータおよび非線形系パラメータを同定する手法を提案する.

2．ウェーブレット変換

関数 $f(t)$のウェーブレット変換は，ウェーブレット関数$\psi(t)$ を用いて，次式のように定義される [4)].

$$(W_{\psi}\ f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} f(t)\overline{\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)}\,dt \tag{1}$$

ここに，$a \neq 0$，b はともに実数で，それぞれスケール変換と時間シフト変換を表すパラメータである．$\overline{\psi(t)}$ は$\psi(t)$ の複素共役を意味する.

時間と周波数のパラメータを変化させることにより，連続ウェーブレット変換では時系列データの特定時間においてスケールの変化を連続的に捉えることができるようになる.

式(1)に示す実数値関数$\psi(t)$ が次の条件

$$C_{\psi} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|}\,d\omega < \infty \tag{2}$$

を満たすとき，$\psi(t)$ はアナライジングウェーブレット（基本ウェーブレット関数）と呼ばれる．ただし，$\hat{\psi}(\omega)$ は $\psi(t)$ のフーリエ変換を表す．

3．同定アルゴリズムの定式化

3.1　運動方程式と観測方程式

n 自由度非線形構造モデルにおける質点 i の運動方程式は次式で与えられる．

$$m_i\ddot{x}_i + c_i\dot{u}_i + z_i - (1-\delta_{in})(c_{i+1}\dot{u}_{i+1} + z_{i+1}) = -m_i\ddot{x}_g \tag{3}$$

ここに，m_i，c_i（i=1～n）は，それぞれ，質点 i の質量，減衰係数である．$\ddot{x}_g$ は入力地震加速度，x_i は地面に対する質点 i の相対変位，z_i は復元力を意味する．u_i は質点 i と質点$(i-1)$間の層間変位であり，$u_i = x_i - x_{i-1}$ $(x_0 = 0)$ で表される．δ_{in} はクロネッカーデルタ記号である．

非線形挙動を忠実に追跡するためには復元力モデル自体が柔軟性に富み，かつ比較的多くの非線形挙動を表現できる方がよい．そこで本研究では，Bouc によって提案された次式の多面型万能復元力モデルを用いることにより，復元力を表すことにする．

$$\dot{z}_i = k_i\dot{u}_i - \alpha_i|\dot{u}_i||z_i|^{n_i-1}z_i - \beta_i\dot{u}_i|z_i|^{n_i} \tag{4}$$

ここに，k_i（i=1～n）は質点 i の初期剛性，α_i，β_i，n_i は履歴復元力モデルの形状を支配するパラメータである．このモデルを採用すれば，復元力特性を複雑に制御する必要がなく，パラメータの与え方によって履歴性状を容易に表現できることになる．

本研究では，m_i，n_i（i=1～n）を既知とした上で，線形系パラメータ c_i，k_i，非線形系パラメータ α_i，β_i の同定を試みる．

式(3)の運動方程式，式(4)の多面型万能復元力モデルを用いると，次の状態方程式が成り立つ．状態量 $\boldsymbol{x}$ は，相対変位 x_i，相対速度 $\dot{x}_i$，復元力 z_i（i=1～n）よりなるベクトルである．

$$\frac{d}{dx}\boldsymbol{x}(t) = \frac{d}{dx}\begin{Bmatrix}\vdots\\ x_i\\ \dot{x}_i\\ z_i\\ \vdots\end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix}\vdots\\ \dot{x}_i\\ -\dfrac{1}{m_i}(c_i\dot{u}_i + z_i) + \dfrac{1}{m_i}(1-\delta_{in})(c_{i+1}\dot{u}_{i+1} + z_{i+1}) - \ddot{x}_g\\ k_i\dot{u}_i - \alpha_i|\dot{u}_i||z_i|^{n_i-1}z_i - \beta_i\dot{u}_i|z_i|^{n_i}\\ \vdots\end{Bmatrix}$$

(5)

観測方程式は一般的に次式で表せる．

$$y = Hf(x, \theta) + v \tag{6}$$

ここに，yは観測量ベクトル，xは式(5)で示されるシステムの状態量ベクトル，θは構造動特性を規定するパラメータベクトル$(\cdots\ c_i\ \ k_i\ \ \alpha_i\ \ \beta_i \cdots)^T$，$v$は観測ノイズベクトル，$H$は観測行列，$f$は状態量と観測量を結びつけるベクトルである．

各質点の相対変位，相対速度が観測されると仮定すると，式(6)の観測行列は次式のようになる．この場合には，状態量ベクトルxを用いると，$f(x, \theta) = x$で表せる．

$$H = \begin{bmatrix} D & & 0 \\ & D & \\ 0 & & D \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$D = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \tag{8}$$

3.2 ウェーブレット変換の適用

式(3)の運動方程式の両辺を離散ウェーブレット変換すると，次のようになる．

$$m_i \left\langle \ddot{x}_i, \psi_{j,k} \right\rangle + c_i \left\langle \dot{u}_i, \psi_{j,k} \right\rangle + \left\langle z_i, \psi_{j,k} \right\rangle + (1 - \delta_{in}) \cdot \left(c_{i+1} \left\langle \dot{u}_{i+1}, \psi_{j,k} \right\rangle + \left\langle z_{i+1}, \psi_{j,k} \right\rangle \right) = -m_i \left\langle \ddot{x}_g, \psi_{j,k} \right\rangle \tag{9}$$

ここに，$a(t)$のウェーブレット変換は，$a(t)$とアナライジングウェーブレット$\psi_{j,k}$の内積で表されるので，次式のようになる．計算に当たっては，$a(t)$として，$\ddot{x}_i(t)$，$\dot{u}_i(t)$，$z_i(t)$ $(i=1\sim n)$，$\ddot{x}_g(t)$を用いればよい．

$$\left\langle a, \psi_{j,k} \right\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} a(t)\, \overline{\psi_{j,k}(t)}\, dt \tag{10}$$

ここに，スケールパラメータjと時間シフトパラメータkより，次式が与えられる．

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k) \tag{11}$$

本研究では，ウェーブレット変換におけるアナライジングウェーブレットとして，次式で与えられるメキシカンハット

$$\psi\ (t)\ =\ (1\ -\ t^{2})\exp\ \left(-\ \frac{t^{2}}{2}\right) \tag{12}$$

を用いる．このアナライジングウェーブレットは時間・周波数空間でともに局在する関数である．

以上のことより，式(6)の観測方程式のウェーブレット変換は次式で表される．

$$y_{j,k}\ =\ H\ f\ (x_{j,k},\ \theta)\ +\ v_{j,k} \tag{13}$$

式(13)における $y_{j,k}$ は観測量ベクトル，$x_{j,k}$ は状態量ベクトル，$v_{j,k}$ は観測ノイズベクトルのウェーブレット変換である．$x_{j,k}$ は式(5)の両辺をウェーブレット変換し，ルンゲ・クッタ・ギル法などの数値積分を用いて解くことで容易に算定可能である．

3.3 最適化のための評価関数

観測ノイズを含む実観測データベクトル $\tilde{y}$ のウェーブレット変換 $\tilde{y}_{j,k}$ に対して，次式で与えられる評価関数を定義し，

$$F(\theta)=\sum_{j}\sum_{k}\{\tilde{y}_{j,k}-Hf(x_{j,k},\theta)\}^{T}\{\tilde{y}_{j,k}-Hf(x_{j,k},\theta)\} \tag{14}$$

この評価関数の最小化問題を考える．ここでは，評価関数の最小化に当たり，改訂準ニュートン法を用いる．

反復計算過程におけるパラメータ変化ベクトルのノルムがある収束判定値以下になれば，評価関数を最小にする最適パラメータが求められたと考える．すなわち，変数ベクトルを θ_m と置くと，$||\theta_{m+1}-\theta_m|| \leqq \max(1,||\theta_m||)\cdot\varepsilon$ （$\varepsilon=2\sqrt{u}$，u は評価関数の丸め誤差の単位）を満足する反復ベクトル θ_{m+1} が最適解 $\hat{\theta}$ になる．これより，最適パラメータ $\hat{\theta}=(\cdots\hat{c}_i\ \hat{k}_i\ \hat{\alpha}_i\ \hat{\beta}_i\ \cdots)^{T}$ が得られることになる．

ウェーブレット変換を適用した同定アルゴリズムの計算フローをまとめると，Fig. 1 のようになる．多面型万能履歴復元力モデルを有する多自由度構造系のパラメータ同定計算に当たっては，ルンゲ・クッタ・ギル法，高速フーリエ変換（FFT），改訂準ニュートン法を併用している．

関数 $x(t)$，ウェーブレット関数 $\psi(t)$ のフーリエ変換をそれぞれ $X(\omega)$，$\psi(\omega)$ とすると，式(1)は次式のように表せる．

$$(W_{\psi}x)(b,a)=\frac{1}{\sqrt{|a|}}\int_{-\infty}^{\infty}\Psi(-a\omega)e^{-ib\omega}X(-\omega)d\omega \tag{15}$$

ここに，iは虚数単位である．上式はフーリエ逆変換の関係式となっている．

式(1)の畳み込み積分の計算には長時間を要する．しかし，式(15)のようにフーリエ変換，フーリエ逆変換の原理を用いてFFTを施せば，ウェーブレット変換を容易に行うことができる．上式よりわかるように，ウェーブレット変換は，フーリエ変換と同様に，物理的には時間領域から時間・周波数平面への変換となる特徴を有する．

4．数値解析による検証

4.1　前提条件

提案した動特性同定手法の有効性を検討するため，3自由度非線形構造系を対象とした数値シミュレーションを行い，線形系パラメータおよび非線形系パラメータの同定を試みる．さらに，最適同定パラメータを用いて非線形挙動を再現し，計算応答量と真の挙動，パラメータの同定値と真値を比較することで，提案手法の妥当性を明らかにする．

応答計算のため，入力地震動としては2001年3月24日15時28分に発生した芸予地震の地震観測記録を用いた．同地震の発生位置は北緯34.123°，東経132.701°，震源深さは48km，マグニチュードは6.7である．用いた入力加速度波形は，独立行政法人防災科学技術研究所が運用しているK-netのデータで，広島県三原市（観測点コードHRS017）で観測された記録（Fig. 2）である．時間刻みは0.02sec，継続時間は60sec，最大加速度は652galである．

4.2　応答量の計算

応答量の計算に用いるパラメータは，系の等価減衰定数（$h_i = c_i / 2\sqrt{m_i k_i}$）が2%，等価固有周期（$T_i = 2\pi\sqrt{m_i / k_i}$）が下層から0.45，0.50，0.60となるように決めた．これらは，各層を単独に取り出して1自由度系と見なしたときの微小振動時における動特性である．このため，多自由度系の振動モードに対応するものではないことに留意されたい．設定パラメータは，質量 $m_1=m_2=m_3=0.125$ (kgf･sec²/cm)，粘性減衰係数 $c_1=0.07$, $c_2=0.06$, $c_3=0.05$ (kgf･sec/cm)，初期剛性 $k_1=24.5$，$k_2=19.7$，$k_3=13.7$ (kgf/cm)，非線形パラメータ $\alpha=0.2$，$\beta=0.2$，$n=1$としている．

真のパラメータを用いて求めた速度応答，変位応答，履歴曲線はFig. 3のようになる．応答波形からわかるように，上層ほどよく揺れており，最終的には残留変位が発生している．上層ほど等価固有周期を大きく，すなわち初期剛性を小さくしているため，上層になるほど長周期成分が卓越する．初動部は短周期の揺れが卓越しているが，非線形性が強くなって剛性が変化すると，コーダにはやや長周期の揺れが支配的となる．履歴曲線を見るとわかるように，低層ほど履歴面積すなわち履歴エネルギーが大きくなっている．

4.3　パラメータ同定結果および考察

変位応答および速度応答が観測されるとき，評価関数を最小化することで最適パラメータを同定することができる．この場合，式(14)に示すように，ノイズを含む観測応答量と計算応答量の差のウェーブレット変換が評価関数となる．そこで，変位応答と速度応答にホワイトノイズを付加することにより，観測データを作成した．観測ノイズは周波数帯域0.1～10Hzの有帯域ホワイトノイズである．そのパワースペクトルは変位および速度応答エネルギーの

1%に相当するように定めた．

変位応答，速度応答にホワイトノイズを付加して観測応答量を求め，各質点における線形系パラメータ，非線形系パラメータの同定を試みた．未知パラメータの初期値をランダムに変化させて，評価関数が最小になるようにした．そのときの初期値は $c_1=c_2=c_3=0.05$（kgf・sec/cm），$k_1=20.0$，$k_2=15.0$，$k_3=10.0$（kgf/cm），$\alpha=0.3$，$\beta=0.1$ である．求められた最適同定パラメータを用いて速度応答，変位応答，履歴曲線を再現すると，Fig. 4 のようになる．Fig. 5 には反復計算過程におけるパラメータの収束状況の一例（k と β）を示す．

非線形系パラメータに比し，線形系パラメータである初期剛性 k，粘性減衰係数 c は非常に高い精度で同定された．減衰定数は下層から 1.7%，1.8%，1.5%，固有周期は 0.45，0.50，0.60 である．減衰定数については精度が若干低いものの，固有周期については真値とほぼ同等値となっている．質点 1，3 における β の同定値と真値の比は 1.29，1.23 であり，同定精度はよくない．しかし，履歴曲線は全体的に真の挙動をよく再現していると言える．最適パラメータに対する応答波形も真の波形とほぼ一致している．このことは，提案手法の有効性を示唆するものである．

Fig. 5 の収束過程よりわかるように，初期剛性 k は早い段階で真値に収束している．その他パラメータについては繰り返し回数 13 回，27 回付近で，同定値が急変していた．その傾向は Fig. 5 に見るように，パラメータ β において特に顕著であった．求められたパラメータは反復過程で局所的最小に至っていることが理解できる．

パラメータの同定精度は初期値に依存すると考えられる．そこで局所解に陥り，同定精度が低いとき，応答がどのような挙動を示すのか，具体的に調べる．得られた同定パラメータ（減衰定数は下層から 2.3%，0.4%，1.7%，固有周期は 0.45，0.51，0.62）による履歴曲線の一例を示すと，Fig. 6 のようになる．この場合，各質点の変位応答には残留変位が見られ，それに併せて履歴状態は Fig. 3 と大きく異なっている．構造物は地震入力を受けた後，ピサの斜塔のように傾いたままになる．Fig. 3 に比して履歴面積は大きくないので，地震入力エネルギーは小さくなっているが，塑性変形が特に質点 1 において極立っている．

5．おわりに

本研究では，多面型万能履歴復元力モデルを有する非線形構造系を対象に，ウェーブレット変換の適用によってその動特性を同定するアルゴリズムを提案した．同定の基本は，入力地震加速度，ノイズを含む観測応答量，パラメータに依存して計算される応答量にウェーブレット変換を適用し，評価関数を定義した上で，改訂準ニュートン法による繰り返し計算によって評価関数の最小解を得ることにある．応答計算にはルンゲ・クッタ・ギル法を，ウェーブレット変換の計算には FFT を用いた．数値シミュレーションを行い，同定パラメータ，応答の再現性などを検討し，提案手法の有効性を検証した．

得られた結果をまとめると，次のようになる．

1) 粘性減衰や初期剛性を表すパラメータ，特に初期剛性についてはかなり高い精度で同定された．カルマンフィルターなどの既往手法によれば，減衰を表すパラメータの同定に困難を伴っていたが，ウェーブレットによる同定解析は有効であった．

2) 復元力の履歴を表すパラメータについては初期剛性のパラメータよりもオーダーが小さく，応答に及ぼす影響が鈍感なため，同定精度は若干低下する．非線形パラメータ α よりもパラメータ β の同定が特に難しい．

3) 最適同定パラメータを用いて非線形応答を求めた結果，真の挙動をほぼ再現できることがわかった．非線形パラメータの同定精度の低下が応答波形や履歴復元力特性に及ぼす影響は顕著でなかった．この事実は従来手法の場合と同様である．同定精度，計算の効率性から判断すると，提案手法は妥当だと言える．

多自由度非線形構造系の動特性同定手法として，これまではカルマンフィルターなどのアルゴリズムが多用されてきた．しかし，既往の方法には計算プログラムの複雑さ，前提条件の設定の困難さなど，最適解を求める上で改良の余地があった．本提案手法では非定常解析に有効なウェーブレット変換を用いているので，同定アルゴリズムが単純なため，従来法に比べてメリットを有する．同定結果の検討から，本手法の有効性が理解できる．

本アルゴリズムにおいても従来法と同様に，同定に当たってはパラメータの初期値設定が極めて重要となる（文献 1）参照）．初期値の与え方次第では局所解に陥り，全域解に達しないことがある．同定精度の向上のためには評価関数の最小化に GA のような考え方を導入し，初期値設定に任意性を残さないような工夫が必要である．

参考文献

1) 野田茂，久保田秀樹：非線形履歴劣化多自由度系の震動特性の同定，第 3 回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集，pp.195-209，1993 年 12 月．

2) 来田義弘：ウェーブレットによる非線形構造システムの同定，日本建築学会構造系論文集，No.504，pp.43-48，1998 年 2 月．

3) 曽根彰，山本鎮男，増田新：入出力のウェーブレット変換を用いた多自由度系のパラメトリックなシステム同定， 日本建築学会構造系論文集，No.512，pp.61-66，1998 年 10 月．

4) 榊原進：ウェーブレットビギナーズガイド，東京電機大学出版局，1995 年 5 月．

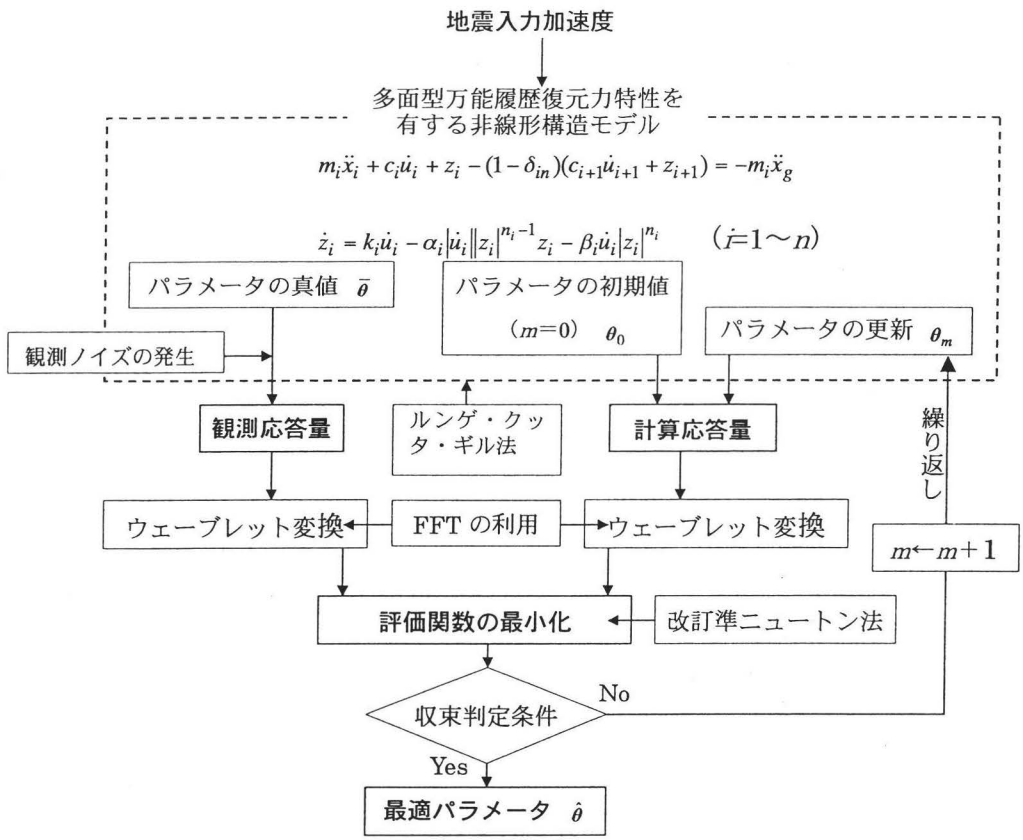


Fig. 1 Flow chart of the proposed identification algorithm

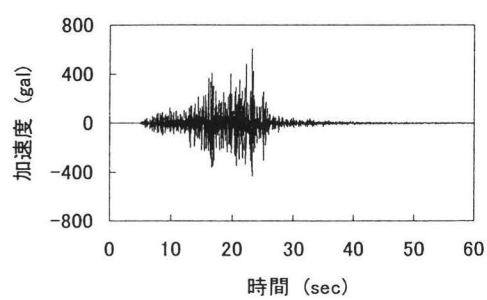


Fig. 2 Input ground motion

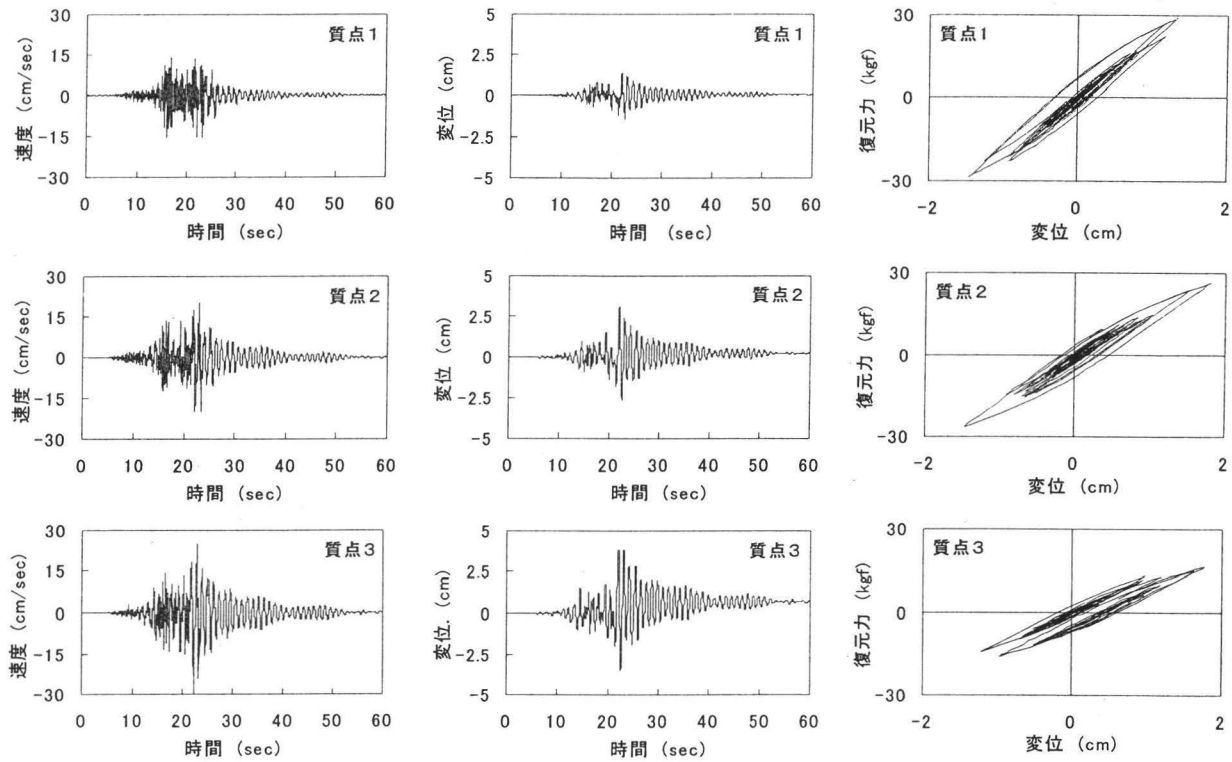


Fig. 3 Structural response and hysteresis loop of 3 DOF system

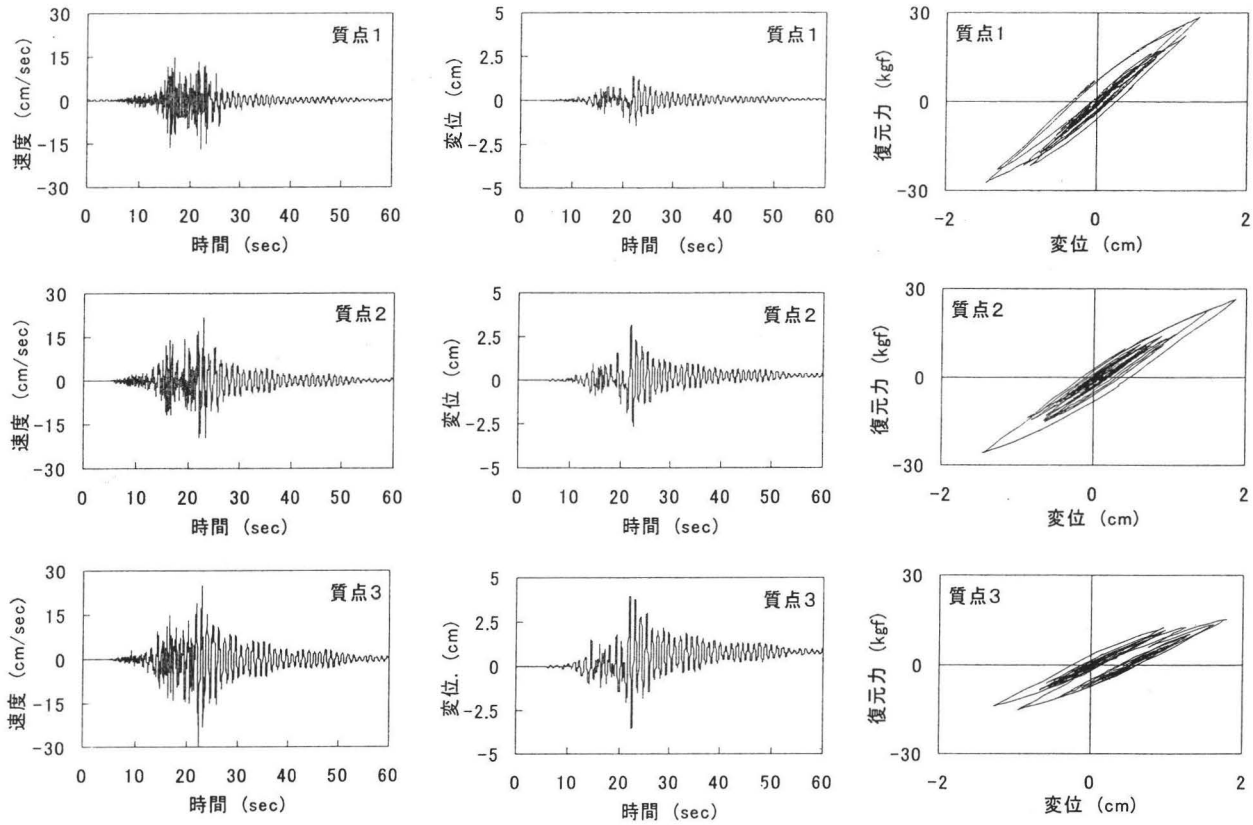


Fig. 4 Structural response and hysteresis loop computed by using identified parameters

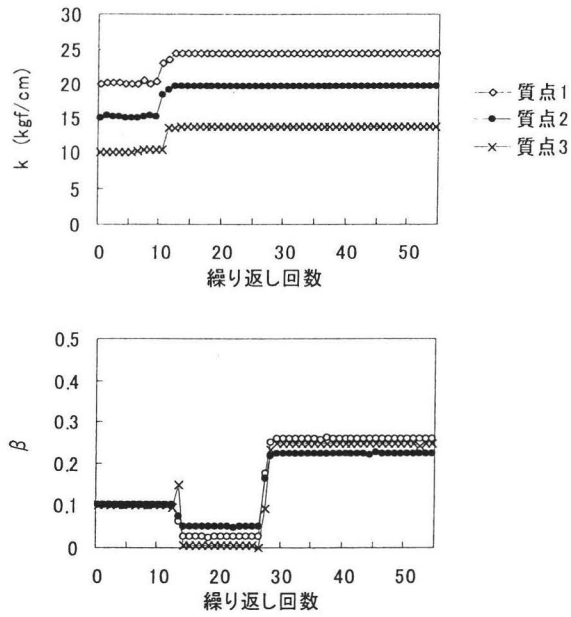


Fig. 5 Examples of identifing process

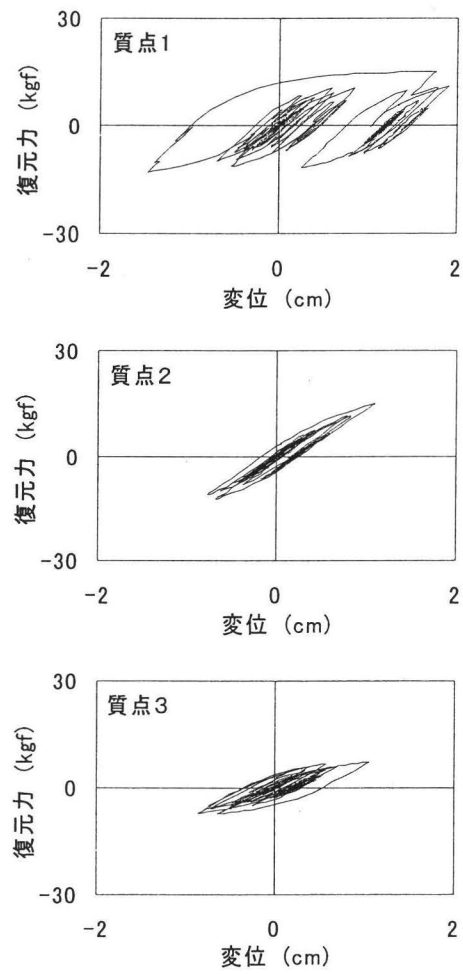


Fig. 6 Hysteresis loop computed by using bad parameters

1-13 通風利用による省エネルギー性の検討を目的とした集合住宅の通風量予測法の開発

大阪大学大学院工学研究科
助手　甲谷寿史

1．本研究の背景と目的

室内温熱環境・空気質の改善を行う際、大開口換気＝いわゆる通風は、省エネルギーの点から有効な手段であるにもかかわらず、建築環境工学の換気理論の分野では未だ簡易な通風量予測法は確立しているとは言い難い。特に住宅における実際の生活では、居住者の窓開放行動が行われている現状がありながらも、窓設計に際して通風量の定量的な把握がなされていないことにより、通風による室内環境改善が可能な立地・季節であっても有効に利用されていない例が多々見られ、通風量の定量的な把握により、立地に会わせた建物方位の検討や、窓配置の検討を可能にする必要があると考える。特に一般的な片廊下式の集合住宅においては、玄関側とバルコニー側の２面に開口を配置することが可能で、またこの２面は風上と風下側になる可能性が高く、通風利用に適した住戸形態であり、積極的な通風利用が可能と考える。この問題意識の下で、本研究は窓の設計時に利用可能なレベルの簡易通風量予測法として、

（１）建物壁面近傍流の性状に基づく開口部への流入風向予測
（２）外部風による壁面風圧係数及び壁面近傍風速予測
（３）流入気流の室内での通風輪道の形成による圧力損失低下を組み込んだ通風量予測

の３者を組み合わせた通風量予測法を開発することを目的とする。

具体的には、壁面風圧係数と開口部抵抗係数を用いる現在の簡易な通風量計算法は、大開口換気＝通風現象が発生するときに誤差が大きくなることが古くから知られているにも関わらず、工学的に十分な精度を持って確立されている換気計算法の中で残された対象の一つであった。昨今の CFD 解析の発展により場を解くことは可能になりつつありながらも、年間の出現確率等の統計値に基づく換気計算は、建築設計の初期段階で必要であり、また住宅の省エネルギーが問題となっていることに鑑みると、住宅の通風設計を対象とする意味は大きい。本研究の結果は換気設計法の欠落している部分を埋める意味で学術的に有用で、かつ実務を念頭に置いた工学的処理法であることから、その結果は実務設計に十分に供するものと考えている。

2．研究の方法

（１）建物壁面近傍流の性状に基づく開口部への流入風向予測

壁面に開口が存在した場合の開口への流入風向（入射角）を、開口に対して直交方向成分（壁面風圧差から算出される成分）と平行方向（壁面近傍流）の風速ベクトルの合成によって予測する手法を提案する。本予測法の検証は、既往の風洞実験により開口への流入風向測定データを整理することによる。

（2）外部風による壁面風圧係数及び壁面近傍風速の予測

山中による壁面風圧係数の簡易予測法[1]を採用するが、これは建物幅：高さが1：2～1：4の形状の主に塔状建物に対するものであり、一般的な片廊下式の集合住宅を想定した板状建物に関しては、検討が不十分である。本研究は、特に実際の建物への適用を目的として、バルコニー設置の有無まで含めて、集合住宅の壁面風圧係数を風洞実験により把握し、その検討を行う。

なお風洞実験では、同時に（1）での検討に資するために、バルコニーが設置された集合住宅の壁面近傍風速に関する検討も行う。

（3）通風輪道の形成による圧力損失低下を組み込んだ通風量予測

室内での圧力損失の低下を流入流出開口の相互干渉であると見なす石原による「干渉係数」の概念[2]を導入し、これまで行ってきた開口寸法、室寸法、流入風向をパラメータとした資料整備に続き、開口配置をパラメータとした追加実験を行う。ただし開口配置には、2開口の寸法が異なる条件を含んでおり、干渉係数は複数の開口面積が同じ場合には非常に有効であるが、風上・風下の開口面積が異なる場合には定義されていないため、本研究では通風経路全体の圧力損失を風上側開口内の速度圧によって無次元化した総合抵抗係数による整理を行う。総合抵抗係数はチャンバー法により算出し、風洞で測定した壁面風圧を用いて通風量を算出する。算出結果の予測精度検討は、風洞での通風量測定結果との比較によるが、既往研究で各種パラメータに対して十分な精度で予測可能であることがわかっており、本追加実験では、総合抵抗係数の資料整備のみを行うものとする。

参考文献

1）山中俊夫：風の乱れを考慮した風力換気計画法に関する研究、大阪大学学位論文、1994

2）石原正雄：建築換気設計、朝倉書店、pp.213-215、1979

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、既往実験データの整理を含めて以下の手順で行い、本年度中に全ての検討を終了した。

(1) 既往実験データの整理に基づく建物壁面近傍流の性状に基づく開口部への流入風向予測法の提案

(2) チャンバー法を用いた、開口配置をパラメータとした干渉係数の測定

(3) バルコニーを有する集合住宅を対象とした壁面風圧係数及び壁面近傍風速測定のための風洞実験

(4) 通風量予測法としての取りまとめ

4．今までに得られた成果

（1）建物壁面近傍流の性状に基づく開口部への流入風向予測

建物壁面には一般に壁面に沿う流れが形成され、本研究ではこの壁面近傍風を用いて流入風向･通風量の予測を行う。図1.1に示す通り開口面に対して水平な壁面近傍風速成分と、開口面に対して垂直な流入風速成分のベクトル合成を行って流入風向及び風速を得る手法で、

壁面近傍風速は無開口時の建物模型から得られたデータを用い、流入風速成分は換気の式より求めた通風量を開口面積で除して求める。ただし、総合抵抗係数は流入風向の関数であるため実際には収束計算が必要となる。外部風向･風速等の入力条件及び室の形状等の設計条件から通風量予測を行う流れを図1.2に示す。

実験は、測定洞長さ9.5m、幅1.8m、高さ1.8mの風洞を使用し、格子とラフネスを用いて風洞内にべき指数α=1/5の風速分布を有する境界層を作成した。模型は、各住戸一室のみで対向壁面に開口を有する集合住宅を想定し、図1.3に示す直方体の模型箱（6mm厚アクリル製）に、室模型（角柱状の模型箱（6mm厚アクリル製）に開口（0.8mm厚真鍮製）を取り付けたもの）を設置する形式になっている。室数は縦３室×横３室の計９室で、図1.3中の番号で示す。各位置に順次室模型を設置して開口部での流入風向・風速の測定を行った。測定点は風上側開口部の中央一点で、スプリットフィルムプローブ(1288型 TSI社)を用いて、サンプリング周波数100Hzで30秒間測定し時間平均した。水平面と鉛直面のそれぞれの風速成分（図1.4）を測定するため、センサーロッドの向きが異なる２通りの設置を行った（図1.5）。なお、スプリットフィルムプローブの角度測定精度については、±60°を超えると誤差が大きくなり、風向が算出不能となる場合も出現する（図1.6）。実験条件を表1.1に示す。

開口部における流入気流の可視化結果の一例を図1.7,図1.8に示す。図1.7は外部風向0°の室４，５，６の水平面の流入風向を、図1.8は外部風向0°の室２，５，８の鉛直面の流入風向を示している。図中黒い部分が流入気流を表現し、図中では３室ずつを並べて表現しているが、3室同時の測定によるものではなく１開口ずつ開放した条件下での測定である。測定時は他の開口は全て閉じた状態である。図1.7から、室の位置が中心から外れると水平面での風向が23～25°偏向し、図1.8から、室の位置が上下に違うと鉛直面において風向が大きく異なることがわかる。これらの図と同様にして全実験条件について流入風向の特定を行った。

図1.9に各室の水平面内の流入風速ベクトルを示す。図中では３室ずつ並べて表現しているが、３室同時の測定ではなく、１開口毎に開放した条件下での測定値である。また、流入風向が大きいためプローブの精度上風向を特定できなかった風速ベクトルのスカラーを、ベクトルの代わりに実線で描いている。全室で外部風向が大きいほど流入風向は大きい傾向が見られる。外部風向80°の風上側の3室(室３、６、９)の流入風向が小さいが、これは、模型風上側で剥離が起こり風上側の開口が剥離領域内にあったためと考えられる。また、上下の室における水平面の風速ベクトルはほぼ同じ傾向を示しており、外部風向0°においては、中央の３室(室2,5,8)ではほぼ0で、左右の室では対称の角度で流入している。これは中央から左右に流れる壁面近傍風の影響と考えられる。また、外部風向22.5°において、風下側の室ほど流入風向は大きいが、これは風下側ほど壁面近傍風が加速するためと考えられる。

図1.10に各室の鉛直面内における流入風速ベクトルを示す。外部風向が大きくなるほど各室の流入風向は0°（水平)に近づく。これは、外部風向が大きいほど水平方向の壁面近傍風速成分が卓越するためと考えられる。室位置の違いについては、同じ高さの室ではほぼ同じ傾向を示しており、建物上部の３室(室１，２，３)では上向き、中央の３室(室４，５，６)では下向き、下部の３室(室７，８，９)では最も下向きの風向であることが分かる。これは

上部の室と中央の室の間に澱み点があることを示唆している。

流入風向を開口面の法線に対する角度とし、水平面と鉛直面の流入風向測定値の結果を用いて算出した（図1.11）。各室の外部風向と流入風向の関係を図1.12に示す。図中のプロットは測定値を、実線とプロットは既往研究での予測値を示す。測定値のプロットが無い風向は、水平面で風向が特定できなかった条件である。風上側の3室(室３，６，９)の外部風向80°において、流入風向の予測値に対して測定値が極端に小さくなっている。これは剥離領域内にあり、開口面近くでの壁面近傍風速が入力した風速測定値よりもかなり小さい値であったと考えられる。この条件を除けば、風上側の3室において外部風向22.5°で流入風向が低下する傾向も予測できておりおおむね良く一致しているということが言える。

以上、壁面近傍風を入力とした流入風向予測法が妥当であることが確認できた。

（２）外部風による壁面風圧係数及び壁面近傍風速の予測

（１）で、開口部位置（開口部がない状態）での壁面近傍風速と通風時の開口部面風速とのベクトル合成によって流入角度を予測する手法を提案し、その有効性を確認した。この手法で風上側開口での流入角度を求めるためには、壁面近傍風速の予測が不可欠であり、壁面風圧係数と同様に建物形状・風向別による壁面近傍風速のデータベースが必要である。この壁面近傍風速に関して既往の測定はあるものの、バルコニーを有する建物に対する系統的なデータは少ない。故に本研究では、一般的な形状のバルコニー或いは共用廊下を有する集合住宅を対象として、その壁面風圧係数及び壁面近傍風速の資料整備を目的とした風洞実験を行った。

測定胴長さ9.5m、幅1.8m、高さ1.5mの回流式風洞を使用し、図2.1のように模型を風洞中央に設置した。格子とラフネスを用いて風洞内にべき指数α=1/5の風速分布を有する境界層を作成した。模型は各階10室、5階建てで構成された集合住宅を想定し、パラメータは外部風向、バルコニーの有無、手すり形状とした。使用する模型及び測定点を図2.2に示す。建物壁面に対して熱線が常に直角になる様、I 型熱線風速計を設置し、サンプリング周波数100Hz、平均化時間30秒で壁面近傍風速の測定を行った。なお、測定点は壁面の法線方向の風速分布の測定により、壁面から5mmを超えると境界層の外に位置することを確認した上で壁面から5mmと決定している。また、壁面風圧は風速と同様の測定点を用い、微差圧計を用いてサンプリング周波数100Hz、平均化時間30秒で測定した。なお、測定した風圧を建物模型の軒高風速を用いた速度圧で基準化して風圧係数を算出し、壁面近傍風速は測定した風速を建物模型の軒高風速で基準化した。実験条件を表2.1に示す。外部風向は0°，45°，67.5°とし、手すりは板状、柵状の2種類用いた。また住戸境の仕切りが無いものを「片廊下型」、仕切りが有るものを「バルコニー型」としている。測定位置は各測定点で壁面から5mmの点（図2.2）としている。

風圧係数と壁面近傍風速の分布測定結果を、それぞれ図2.3、図2.4に示す。なお結果は、建物の正面から見た鉛直壁面における等値線で示し、風向45°，67.5°においては、図の右側が風上側である。それぞれの等値線の外枠（黒線）は建物模型の外寸、等値線内の白線は横線がバルコニー、縦線が仕切りを示している。

風圧係数分布（図2.3）に関して、外部風向0°ではバルコニー型とバルコニー無しで風圧係数分布に違いはあまり見られない。これは、巨視的にバルコニー型がバルコニー無しとして見なせることを示しており、外部風向が変化してもほぼ同様の傾向が見られる。また、風向0°では手すりが柵の方が板の場合と比べて、淀み点の位置が上昇している傾向が見られた。風向45°，67.5°では各条件による風圧係数分布に大きな差異は無く、どれもほぼ同じ傾向を示している。しかしながら、風向67.5°の「バルコニー型」では風上側で風圧係数が負を示している部分があり、気流が剥離していると推測される。また、外部風向の角度が大きくなるにつれ、全体的に風圧係数が低下し、風向67.5°では0°の条件に対して約5分の1になる。

壁面近傍風速分布（図2.4）に関して、外部風向0°では手すりが板状の時のみ地面付近で風速が低くなっている。外部風向45°，67.5°では、仕切りを入れることで外部風向の影響は小さくなって全体的に一様な分布になっており、風速は5分の1程度まで低下している。また、壁面風圧係数分布と比較すると、バルコニー型を除いて、風圧の高い部分で壁面近傍風速が小さく、風圧の低い部分で風速が高くなっており、ベルヌーイの式が成り立っていることが示唆される。一方、バルコニー型ではあまりその傾向が見られない。これは気流が剥離しているためと推測される。

以上まとめると、以下の知見が得られた。

1）壁面風圧係数分布は手すり形状による影響が小さく、外部風向の影響が最も強い。また、「バルコニー型」「バルコニー無し」の差異はほとんど無い。

2）壁面近傍風速分布は外部風向による影響が大きく、手すり形状による差異は風向0°で顕著に現れている。また、仕切りを入れることで風速分布がある程度均一になり、風速は約5分の1になる。

3）壁面近傍風速が大きい箇所では壁面風圧が小さくなる傾向がバルコニー無しと片廊下型で見られるが、バルコニー型では仕切りによって壁面近傍風速が低下することにより、その傾向は見られなくなる。

（3）流入気流の室内での通風輪道の形成による圧力損失低下を組み込んだ通風量予測

室内に通風輪道が形成されるような室において通風量を算定する上で、開口が大きく室内で動圧が解消しない場合、室全体の総合抵抗係数ξは開口単一の抵抗係数を結合した値$\zeta_1+\zeta_2$よりも小さい値となり、$\zeta_1+\zeta_2$を用いると、通風量を正しく予測することができない（図3.1）。この問題に対して、石原はこの抵抗係数の低下を開口相互の干渉として捉え、その程度を示す「干渉係数m」を通常の換気の式に用いて予測を行う考え方を提案しており、この手法は資料整備さえ行えば非常に有用である。本研究は、この考え方を基にした精度の良い予測法の開発を目的とし、既往研究では、チャンバーを用いた実験により開口寸法、奥行き、窓面からの流入風向が室全体の総合抵抗係数に与える影響について検討を行うとともに、その結果を用いて通風量を予測すると十分精度の良い予測が行えることを風洞実験によって確認した。しかし、既往研究の資料のみでは、開口位置や開口形状等が多様な実際の室の通風量予測を行うことは困難である。そこで、様々な室に対応した総合抵抗係数の資料作

成が求められる。多数室が直列配置された場合については、単室の抵抗を開口の前後で分割し、足しあわせることによって求める事が可能と考えられる（図3.2）。本研究では、このような抵抗係数の算定に必要な単室の総合抵抗係数の更なる資料作成を目的とし、本研究では新たに2開口が偏心して配置された場合、2開口の大きさが異なる場合、2開口が隣接面に配置された場合の総合抵抗係数について検討を行った。

室模型は、角柱状の模型箱（6mm厚アクリル製）に開口板（0.8mm厚真鍮）を2枚取り付けたものを使用した(図3.3)。既往研究で使用した2開口の大きさが等しく、2開口が対向面に配置されている模型を基本模型とし、2開口が対向面に配置されて2開口の大きさが異なる模型（以下、「寸法相違」）、2開口が対向面に配置されて1開口が開口面の中心に無い開口が偏心した模型（以下、「偏心」）、2開口が隣接面に配置された模型（以下、「隣接面配置」）の3種類の模型を用いた。

図3.4のように気密なチャンバーに室模型を設置して、室模型風上側開口部に室模型への流入風向を制御するためのガイド（スチレンボード製）を設置した。測定は、ファンによる強制排気を行い、風上側開口部とチャンバー内の全圧差の測定を行った。流量はバルブによって制御し、オリフィス流量計により測定した。チャンバー内の全圧は、チャンバー内で動圧が解消されるため、チャンバー内の静圧と等しく、風上側の全圧は風上側開口直前のガイド壁面静圧と、そこでの風速から求め動圧を足しあわせることにより求め、風上側開口部とチャンバー内の全圧差Δpを算出した。今回の実験では測定により図3.5左のζ_{RL}が得られ、室全体の総合抵抗係数ξ（図3.5右）と比較すると風上側開口部での形状抵抗ζ_Uが含まれていない値となる。

実験条件を表3.1に示す。「寸法相違」の条件は、開口条件については表3.2に示す通りである。奥行きは180mmに固定し、流入風向を4条件設定した。「偏心」の開口条件は、開口寸法を45mmに固定し、風上側開口は開口面中央に配置し、風下側開口位置を変化させた。風下側開口位置が中央の状態を「ずれ0（基本）」、風下側開口位置が端の状態を「ずれ2」、風下側開口位置が「ずれ0」と「ずれ2」の間の状態を「ずれ1」とする。奥行きは3 通り、流入風向は9通り変化させた。「隣接面配置」の条件は、開口寸法を45mmに固定し、風上側開口は開口面中央に配置し、風下側開口を隣接面の前、中、後の3通り設定した。奥行きは180mmに固定し、流入風向は9条件設定した。ここでの流入風向は入射角を指し、開口に対する法線の角度を0°とする。入射角の正負については、図3.6に示すように風下側開口に向かう方向を正の方向、逆の方向を負の方向とする。

測定結果から、Q^2–Δpの関係式を回帰し、より抵抗係数ζ_{RL}を算出した。開口面積Aには、流入風向が変化する場合はガイドの断面積（=風上側開口面積×流入風向の余弦）や、2開口の大きさが異なる場合は、風下側の開口面積を用いる事も考えられるが、一律に模型風上側開口面積を用いて抵抗係数ζ_{RL}の算出を行った。これは、全圧損失を風上側開口面における法線方向の動圧で基準化していることに等しい。

1）「寸法相違」の条件における風下側開口寸法及び風上側開口寸法が抵抗係数ζ_{RL}に及ぼす影響について

図3.7に風上側開口寸法45mmの時の、風下側開口寸法と抵抗係数ζ_{RL}との関係を、図3.8に

風下側開口寸法45mmの時の、風上側開口寸法と抵抗係数$\zeta_{RI.}$との関係を示す。抵抗係数の変化が大きいため、図中の縦軸は、対数軸を取っている。図3.7より、風下側開口寸法が大きくなるほど、抵抗係数は小さくなる。これは、抵抗係数算出の際、一律に風上側開口寸法を用いて算出するため、風上側に対して風下側開口寸法が大きくなると、風下側開口で実際よりも小さい開口面積を用いることになり、風下側開口部の抵抗係数は低下すると考えられる。また、風下側開口が大きくなるほど、気流の動圧が解消しにくくなるため、さらに抵抗は低下すると考えられる。図3.8より、風上側開口寸法が大きくなるほど抵抗係数は小さくなるが、同様に、風下側に対して風上側開口寸法が大きくなると、抵抗係数算出の際に風下側開口部で実際よりも大きい開口面積を用いることとなり抵抗係数は増加すると考えられ、さらに、風下側開口で流管が狭められるため、抵抗は増加すると考えられる。このことから、風上側開口面積と風下側開口面積の関係が、抵抗係数に影響を与えると考えられる。

2）「偏心」の条件における入射角が抵抗係数$\zeta_{RI.}$に及ぼす影響について

図3.9～図3.11に入射角と抵抗係数$\zeta_{RI.}$との関係を示す。図中の縦軸は、対数軸を取っている。ここで、風上側開口面の法線と2開口を結ぶ直線とのなす角を開口間角度と定義し、この開口間角度を用いて、以下考察を行う。図3.9より、ずれ0（基本）では、入射角の正負に関わらず入射角が大きくなるほど、抵抗係数は増加している。これは、入射角が大きくなるとガイド断面積は小さくなり、風速は大きくなるが、抵抗係数算出の際、開口面積を用いるため風速を小さく見積もることとなり、抵抗係数は増加すると考えられる。ずれ1では、ずれ0と比較して、入射角22.5°付近で抵抗係数は低下している。これは、入射角と開口間角度が近くなり、気流が流出しやすくなったためと考えられる。ずれ2でも、入射角が開口間角度と近くなる22.5°と45°付近で抵抗係数が低下している傾向が見られる。図3.10及び図3.11でも、開口間角度が小さい場合は、ずれ0と同様の傾向を示すが、開口間角度と入射角が近くなると抵抗は低下する傾向が見られる。

3）「隣接面配置」の条件における入射角が抵抗係数$\zeta_{RI.}$に及ぼす影響について

図3.12に入射角と抵抗係数$\zeta_{RI.}$との関係を示す。図中の縦軸は、対数軸を取っている。開口位置-前及び中では、入射角が開口間角度に近づく時、抵抗係数が低下している。これも同様に気流が流出しやすいためと考えられる。開口位置-後では、入射角が負の条件で抵抗係数が低下しているが、これは、入射角が負の条件の方が正の条件よりも、風下側開口で気流が流出しやすいためと考えられる。

以上、チャンバー法を用いて、様々な室模型についてパラメータを変化させ、抵抗係数の測定を行い、パラメータが抵抗係数に及ぼす影響を検討した結果、既往研究と同様に入射角が抵抗係数に及ぼす影響は大きいことが分かり、また開口間角度を用いた資料整理が可能であることが示唆された。

以上、（1）～（3）により、通風量予測法の各段階での課題を解決し、又必要な資料整備を行った上で、これらを組み合わせたものを通風量予測法として取りまとめた。

5．これから期待される成果

提案した通風量予測法を用いることにより、自然風データを入力した年間計算を行うことが可能となり、例えば住宅設計時に前もって年間の通風利用可能日数の計算を行うことによって、通風利用による省エネルギー性の検討を行うことができ、住宅設計に非常に有用なツールとなることが期待される。本ツールは非常に簡易な計算法に基づいているので、個別の住宅設計に対してのみならず、このツールを用いることにより、各地での通風量計算を前もって行い、設計用資料を作成することも可能である。

なお、得られた個別の研究成果を見ても、特に壁面風圧係数に関する結果は、通風＝大開口換気の計算に用いるだけでなく、一般の換気・漏気計算に用いることが可能であり、非常に汎用性の高いものであり、既往研究で提案されている予測法への組み込みにより、学術的に非常に有用な成果が得られると期待できる。

近年、建築研究所グループ、倉渕隆・大場正昭、国際エネルギー機構の Hybrid Ventilation プロジェクトなどにおいて、同様の検討が行われており、今後これらの研究成果との組み合わせや部分的な利用も可能であり、これらのグループと協力することによる成果も期待でき、学術的に重要な成果が得られたと考えている。

また、学術的な意味だけでなく、これまでの通風設計は一般には定性的にしか行われていなかったが、定量的なデータ提示が可能になることにより、住宅設計における通風の重要性を啓蒙することにも寄与できるといった社会的な貢献にも繋がると期待できる。

6．残る問題点と対策

研究全体を通して残っている課題として、各段階で得た成果の適用範囲は各実験条件内であることであり、物理的に意味のあるパラメータを導入することにより、適用範囲をより明確にし、適用範囲の拡張を念頭に置いた検討が必要である。場合によって追加実験を行うことによって対応する、

また、抵抗係数もしくは圧力損失係数、干渉係数、総合抵抗係数などの用語に関するコンセンサスが得られていないことが挙げられる。今後、学会等の同一分野内での用語の統一に関する検討が必要である。

（1）建物壁面近傍流の性状に基づく開口部への流入風向予測に関して

風速測定にスプリットフィルムプローブを用いたことに起因する欠測があるものの、全体を通してみて予測法の精度検証には問題はないと判断している。レーザードップラー風速計や PIV 風速計を用いた精密な風速測定が可能になれば、欠測条件に関する追加測定を行うことで対応できる。LES などの高次のモデルを用いた CFD（計算流体力学）による検証も考えられる。

（2）外部風による壁面風圧係数及び壁面近傍風速予測に関して

山中による高次関数を用いた風圧係数の予測式が存在しているが、本研究ではその適用にまで至っていない。結果の傾向からは適用が可能と判断しているが、同一パラメータを用いて関数表現して、予測式にまで発展させる必要がある。

壁面近傍風速は、既往研究にもその予測式は見られないものの、バルコニーのない建物に

対しては、予想通り壁面風圧係数の高い箇所では壁面近傍風速が低いというベルヌーイの式が成立している可能性が高いことが分かり、風圧係数の予測式を用いて壁面近傍風速の予測式を作成することが可能である。

バルコニーの設置による影響に関しては、分布形状が異なる条件も見られ、バルコニーのない条件での予測式にある割合を乗じることを当初想定したものの、困難と考えられる。対策として、バルコニーの影響を表現したパラメータを導入した予測式へ発展させていくことを考えている。

（3）流入気流の室内での通風輪道の形成による圧力損失低下を組み込んだ通風量予測

抵抗係数の取り扱いに関して、当初、石原の干渉係数の適用を念頭に置いていたが、開口面積が異なる際には定義できないため、室全体の総合抵抗係数で表現しており、多少理解のしにくさが残るものの、全ての資料を総合抵抗係数で整理することにより、利用可能と考える。現時点での資料をそのまま使うことも可能であるが、入射角と開口配置を統一した物理的に意味のあるパラメータを導入してまとめることも考えられる。開口から流入した噴流の展開角内に流出開口が存在している場合抵抗は小さくなり、噴流の軸から外れるに従い抵抗が大きくなるため、本研究の継続研究として、入射角と開口間軸がなす角度をパラメータとして導入した資料整理に取りかかっている。

7．研究発表の実績及び予定

本研究成果は、以下で公表した。

・越智景子、山中俊夫、甲谷寿史：直列配置された複数開口を持つ建物における通風量算定法に関する基礎研究(その7）風上側開口における流入風向の予測法、日本建築学会近畿支部研究報告集、環境系、第42号、pp.81-84、2002.6
・越智景子、山中俊夫、甲谷寿史：直列配置された複数開口を持つ建物における通風量算定法に関する基礎研究（その8）風上側開口における流入風向・通風量の予測法、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp.711-712、2002.8
・越智景子、山中俊夫、甲谷寿史、中森卓也：全圧損失係数を用いた通風量算出における干渉係数の適用（その4）多数室間の通風経路を考慮した全圧損失係数の算出、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、pp.7-10、2003.3
・中森卓也、山中俊夫、甲谷寿史：直列配置された複数開口を持つ建物における通風量算定法に関する基礎研究(その9）様々な通風経路を考慮した総合抵抗係数に関する検討、日本建築学会近畿支部研究報告集、環境系、第43号、掲載予定、2003.6
・中森卓也、山中俊夫、甲谷寿史：直列配置された複数開口を持つ建物における通風量算定法に関する基礎研究（その10）バルコニーを有する集合住宅における壁面近傍風速および壁面風圧係数に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、掲載予定、2003.9

8．実用化計画

6で述べた通り、風圧係数及び壁面近傍風速の予測式を作成、また総合抵抗係数の資料整備に関する追加検討を行った上で、予測法全てを組み込んだアプリケーションを作成する。

風圧係数の予測式に関しては、既に一部アプリケーション化している。

また。5で述べた通り、住宅設計における通風の重要性を啓蒙することにも寄与できるといった社会的な貢献のためにも利用したく、インターネットでの公開を念頭に置いて、対話型の簡易なアプリケーションを計画している。

入力となる自然風データに関しては、自然風の変動周期は非常に短いため、時定数の短いデータを要するが、時定数が計算結果に及ぼす影響を検討した上で、計算精度を明示した上でアメダスデータ及び拡張アメダスデータを利用することとする。

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。

また、風洞実験にあたり多大なるご尽力を賜った大阪大学技官 五十嵐一孝氏に感謝いたします。

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	博士前期課程2年	越智景子
大阪大学工学部地球総合工学科（研究当時）	4年	永井賢一郎
大阪大学工学部地球総合工学科	4年	中森卓也

以上

図表（１）建物壁面近傍流の性状に基づく開口部への流入風向

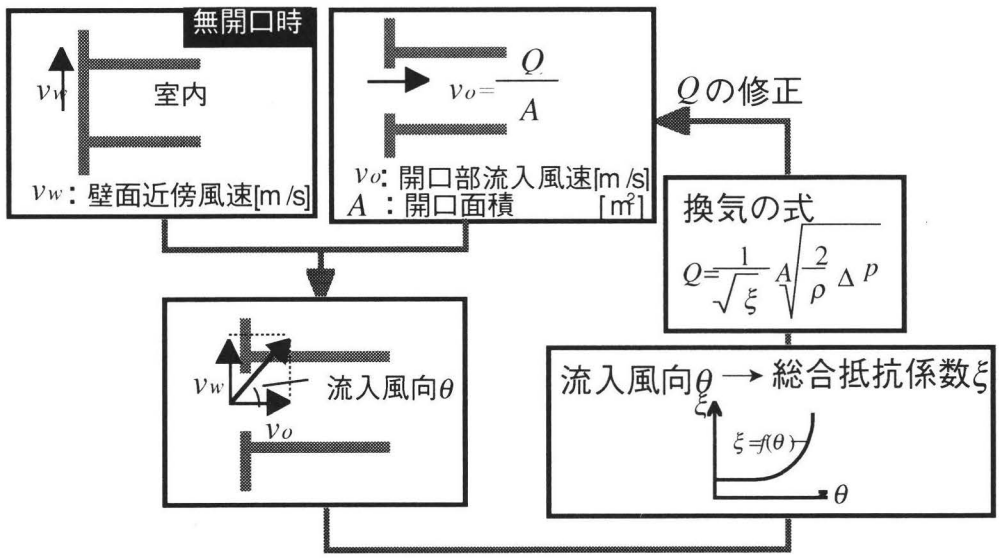


図 1.1　流入風向及び通風量予測法の流れ

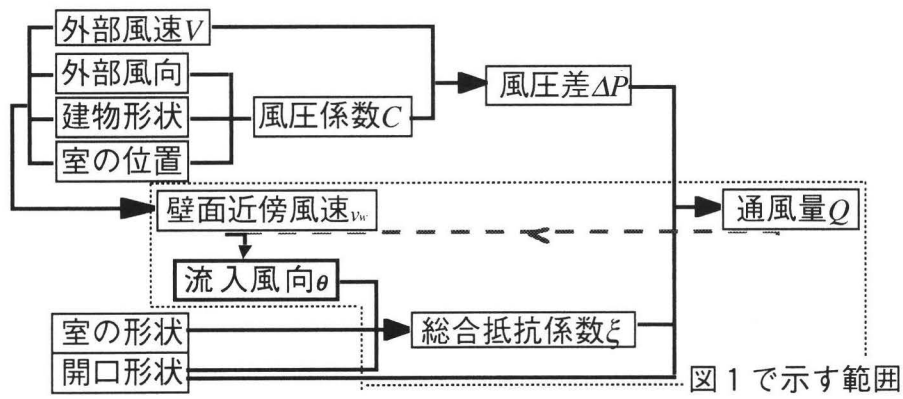


図 1.2　通風量予測法

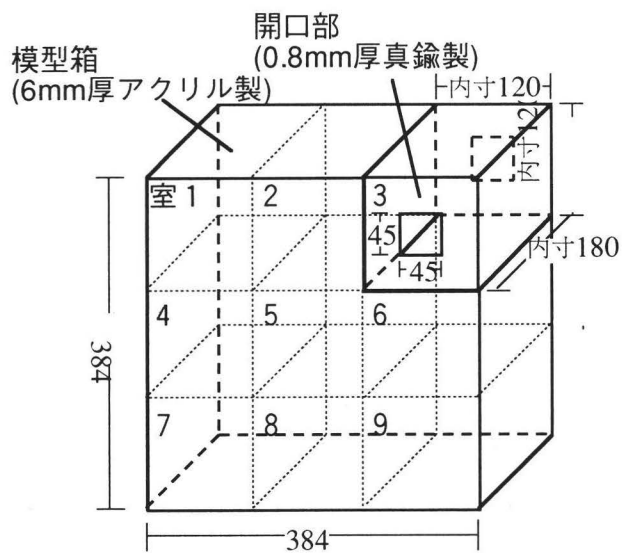


図 1.3　建物模型図

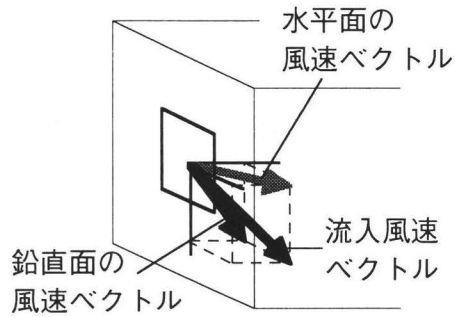


図 1.4　風速ベクトル

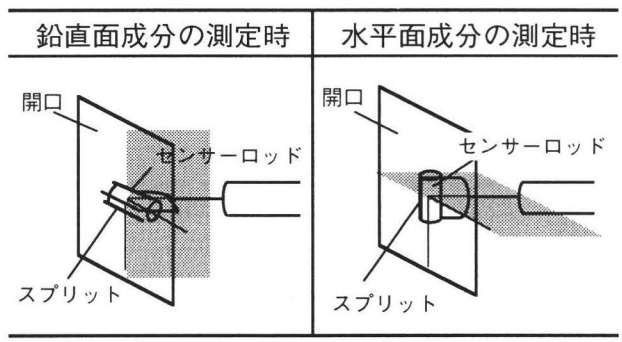


図 1.5　プローブの設置方法

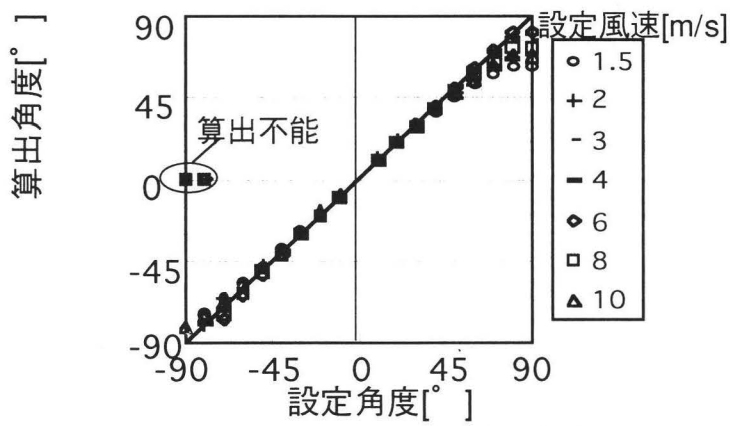


図 1.6　プローブの較正精度

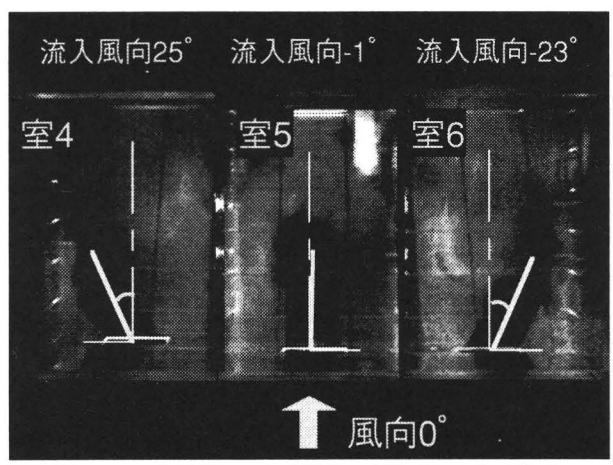


図 1.7　水平面の可視化（外部風向 0°）

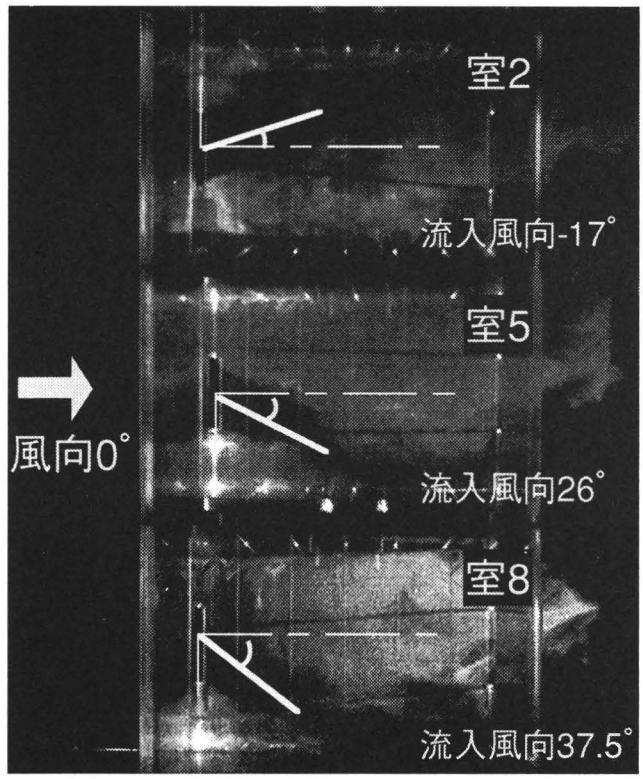


図 1.8　鉛直面の可視化（外部風向 0°）

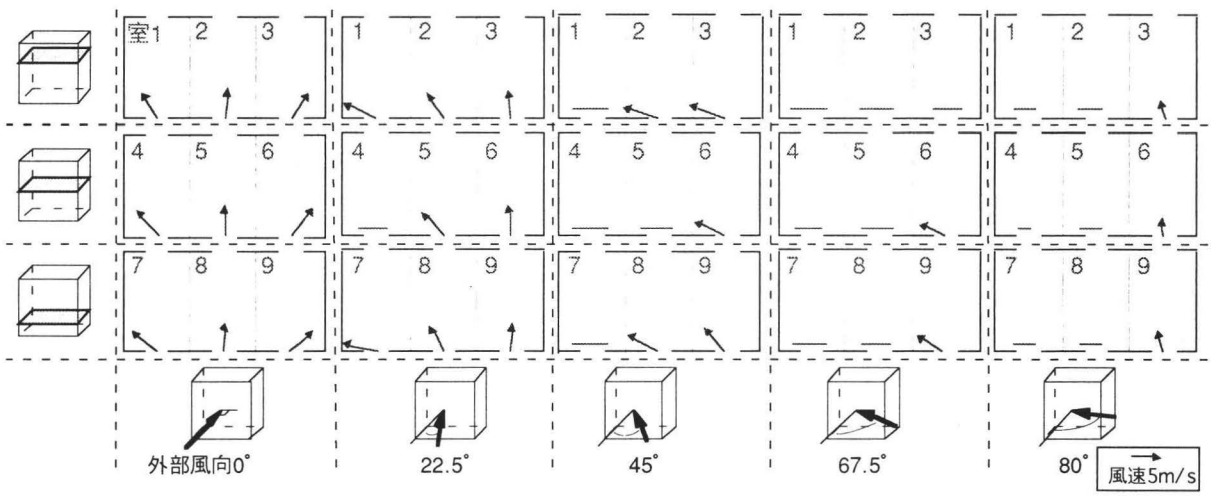


図 1.9　水平面内の風速ベクトル

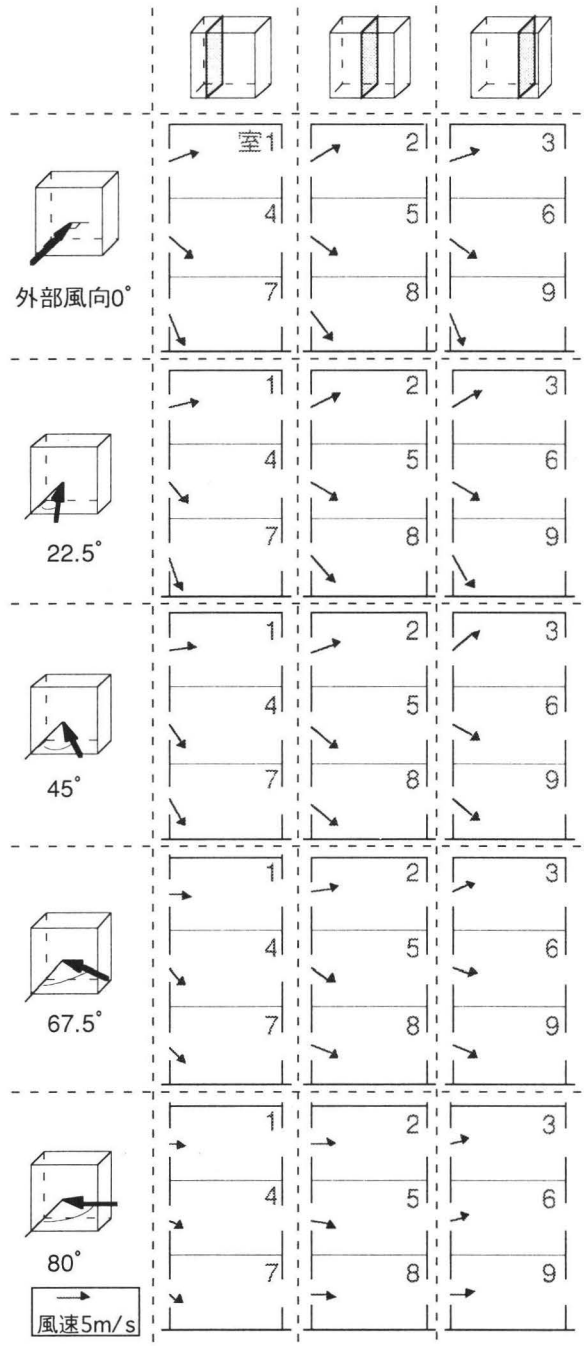


図 1.10　鉛直面内の風速ベクトル

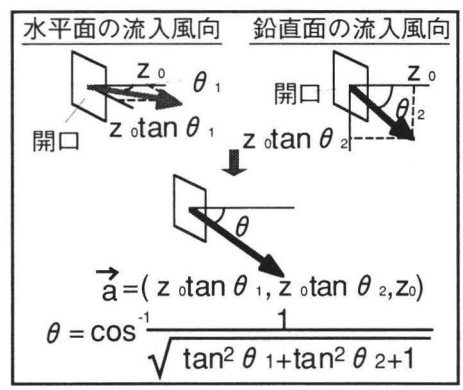


図1.11　開口面の法線に対する流入風向の算出

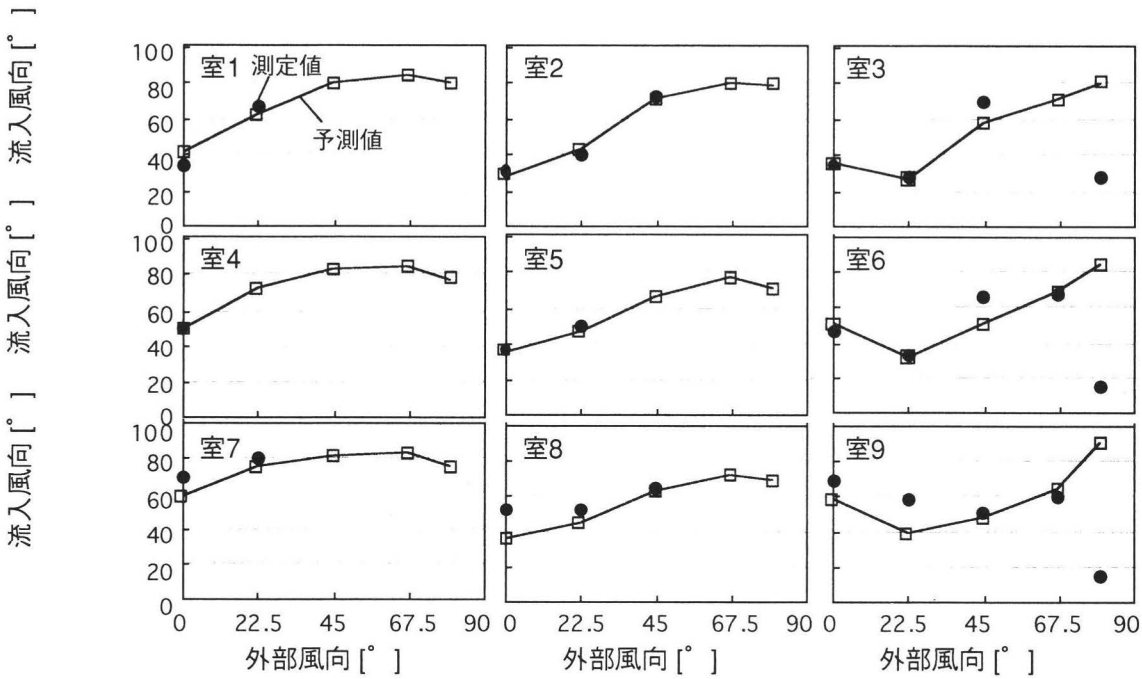


図 1.12　外部風向と流入風向との関係

表 1.1　実験条件

室条件	1 ,2 ,3 ,4 ,5 ,6 ,7 ,8 ,9
外部風向	0° ,22.5° ,45° ,67.5° ,80 °

図表（２）外部風による壁面風圧係数及び壁面近傍風速の予測

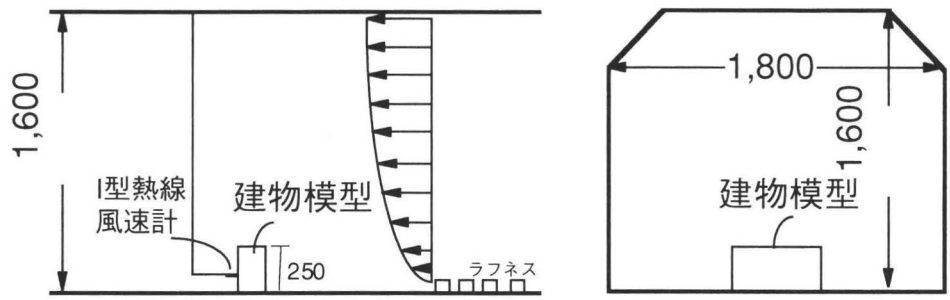


図 2.1　風洞断面図

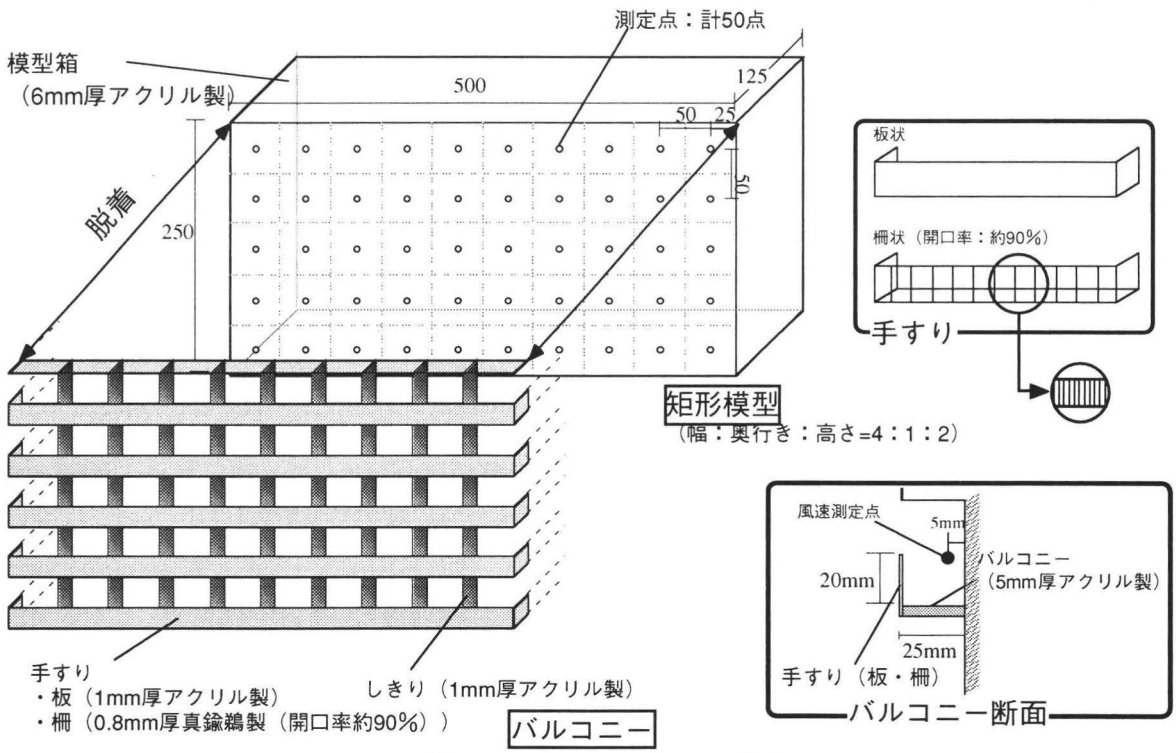


図 2.2　実験用模型・測定点

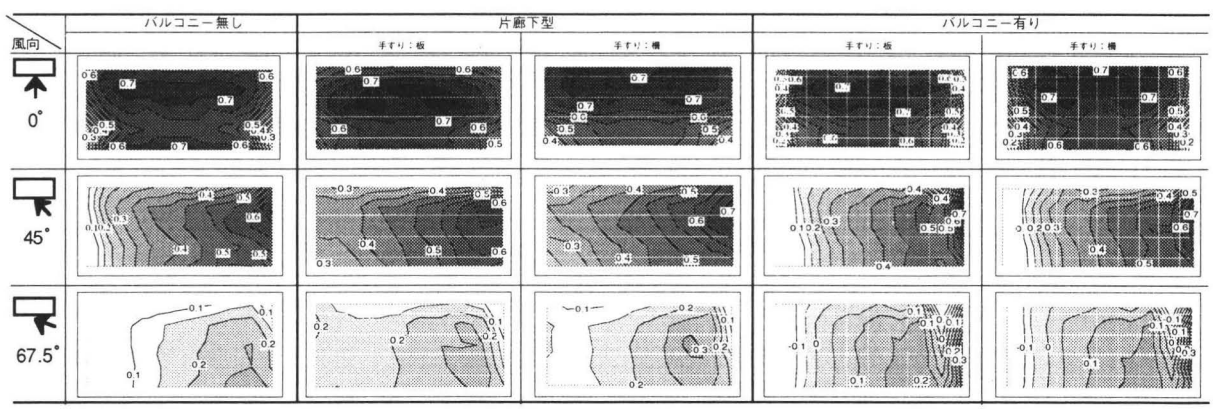


図 2.3　風圧係数分布（軒高の速度圧で基準化）

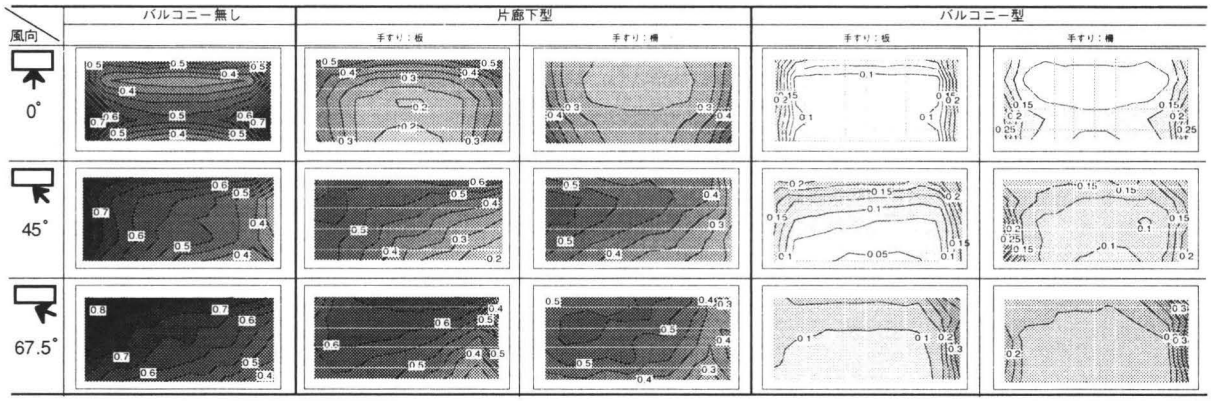
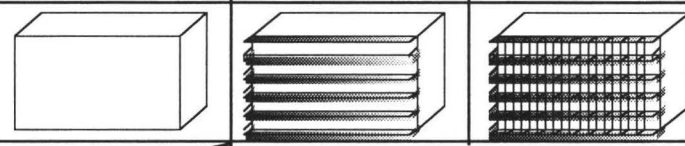
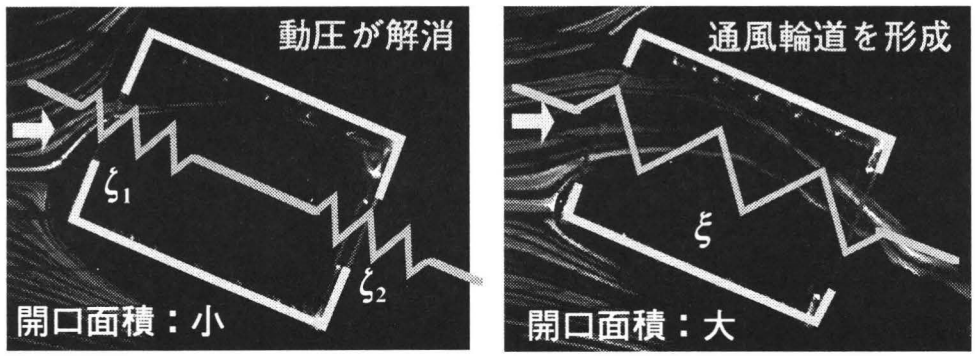


図 2.4　壁面近傍風速分布（軒高の風速で基準化）

表 2.1　実験条件

バルコニーの有無	バルコニー無し	バルコニー有り	
		片廊下型	バルコニー型
模型外観			
手すり形状		板状、柵状	
外部風向	0°，45°，67.5°		

図表（3）通気輪道の形成による圧力損失低下を組み込んだ通風量予測



室全体の抵抗係数　$\zeta_1 + \zeta_2$　　ξ　$(< \zeta_1 + \zeta_2)$

干渉係数　$m = \dfrac{\xi}{\zeta_1 + \zeta_2} = \dfrac{\xi}{\Sigma\zeta}$

図 3.1　干渉係数

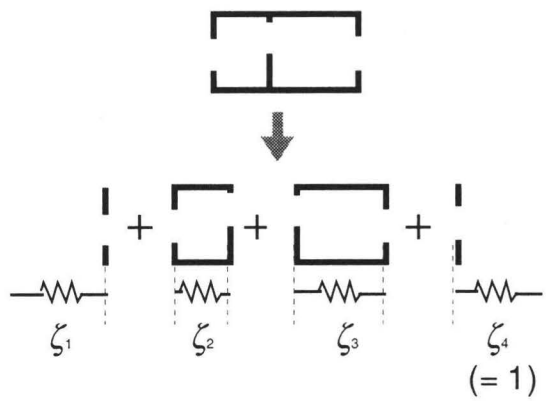
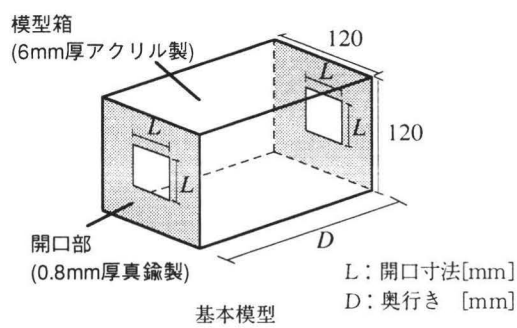


図 3.2　多数室の抵抗係数の算出法



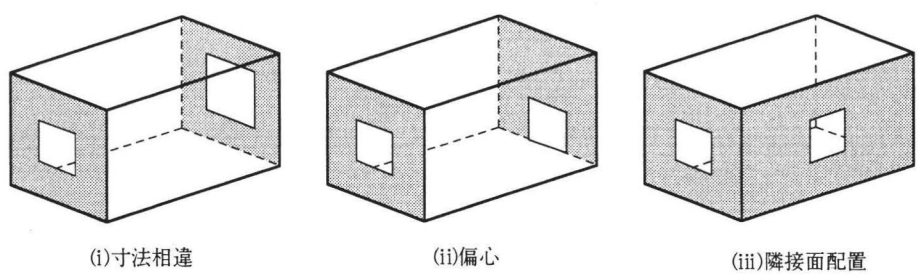


図 3.3　模型図

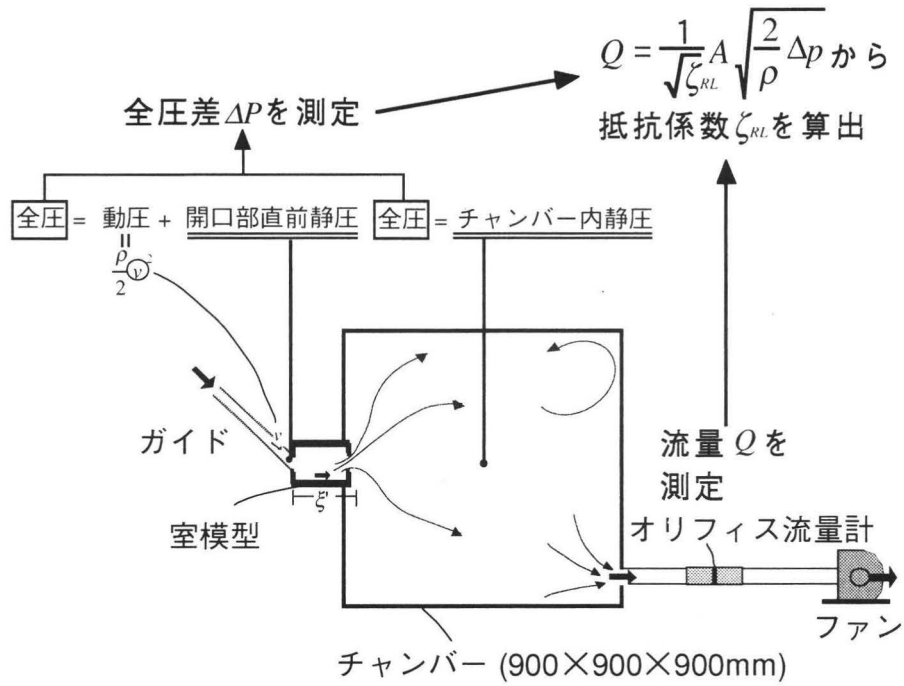


図 3.4　チャンバー実験概要

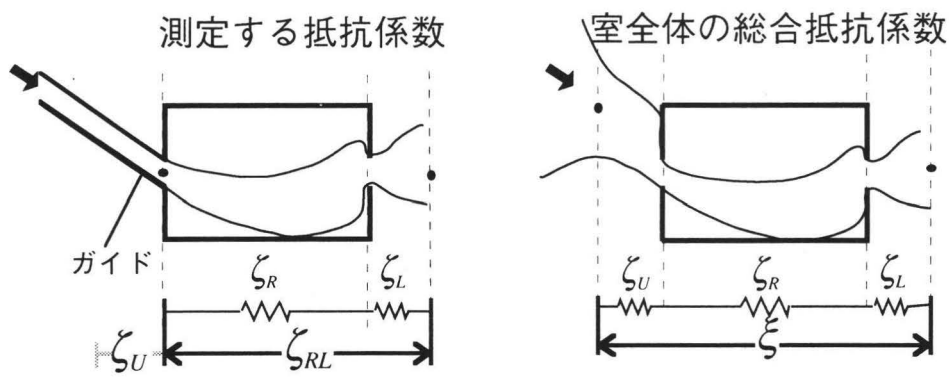


図 3.5　抵抗係数測定値ζ_{RL}

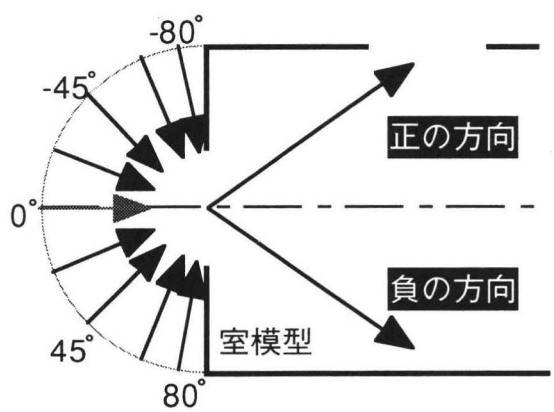


図 3.6　入射角の設定

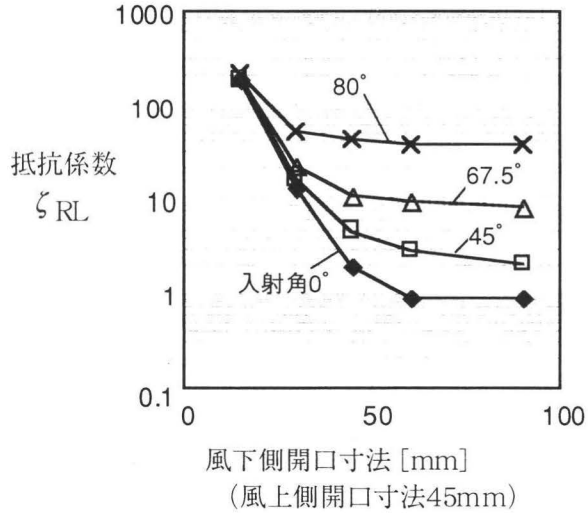


図 3.7　風下側開口寸法と抵抗係数ζ_{RL}との関係

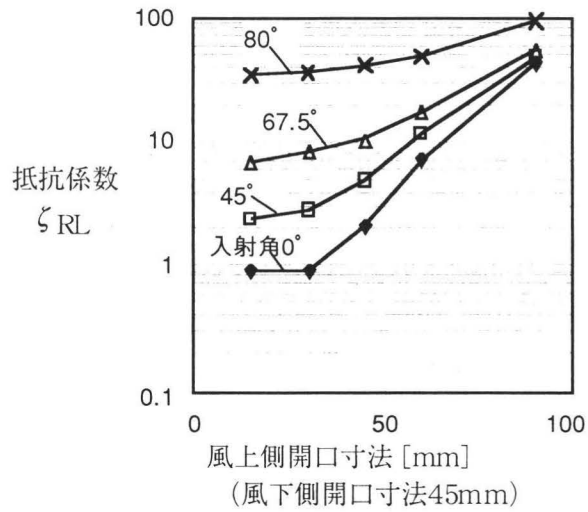
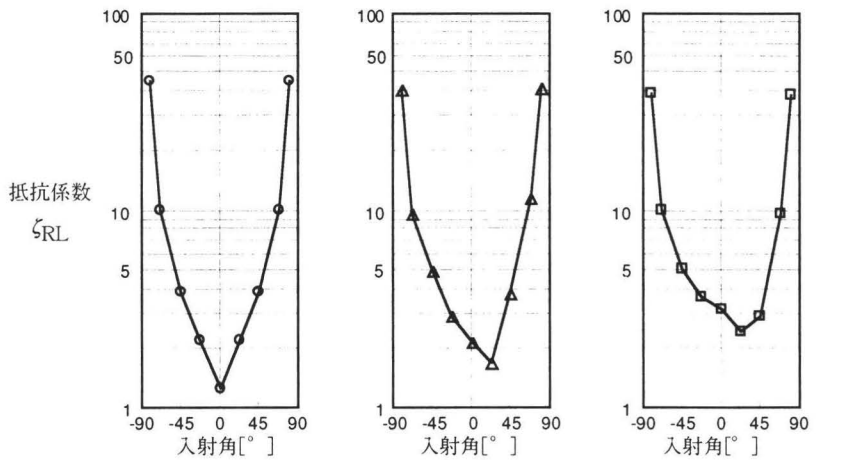
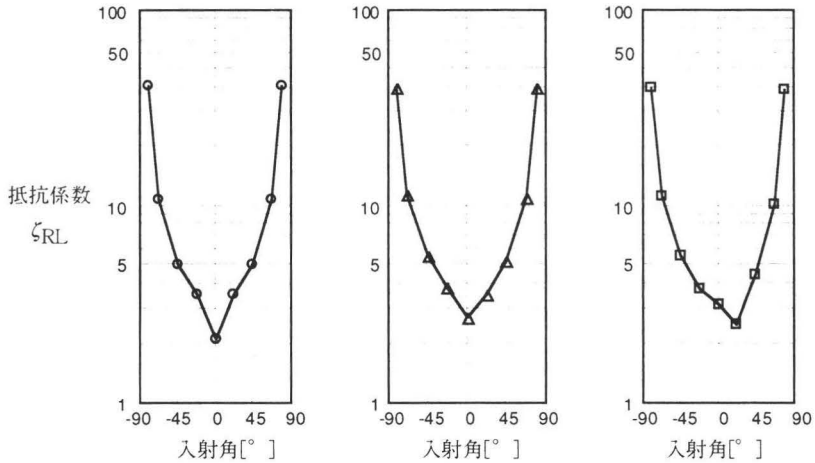


図 3.8　風上側開口寸法と抵抗係数ζ_{RL}との関係



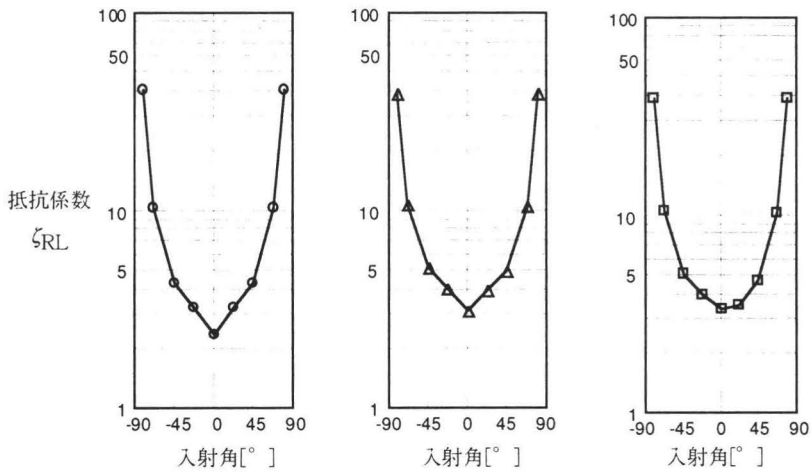
図

3.9　偏心の条件における入射角と抵抗係数ζ_{RL}との関係（条件：奥行き 60mm）



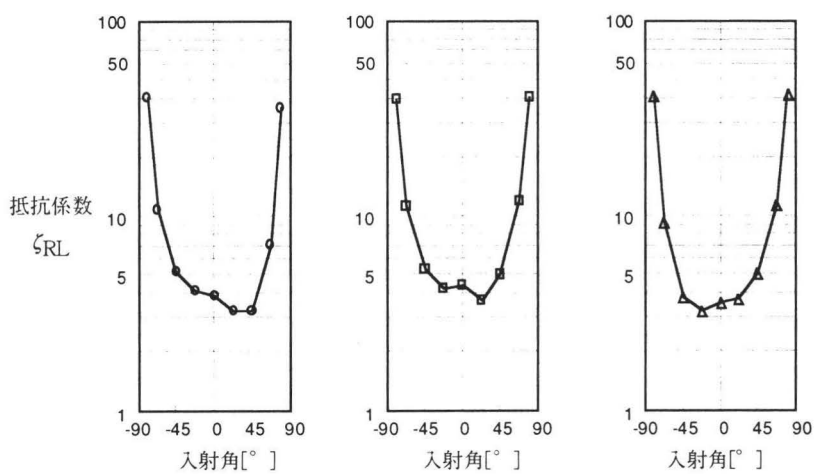
(a)ずれ 0 (開口間角度：0°)　(b)ずれ 1 (開口間角度：5.9°)　(c)ずれ 2 (開口間角度：11.8°)

図 3.10　偏心の条件における入射角と抵抗係数ζ_{RL}との関係（条件：奥行き 180mm）



(a)ずれ 0 (開口間角度：0°)　(b)ずれ 1 (開口間角度：3.0°)　(c)ずれ 2 (開口間角度：5.9°)

図 3.11　偏心の条件における入射角と抵抗係数ζ_{RL}との関係（条件：奥行き 360mm）



(a)開口位置：前 (開口間角度：69.4°)　(b)開口位置：中 (開口間角度：33.7°)　(c)開口位置：後 (開口間角度：20.9°)

図 3.12　隣接面配置の条件における入射角と抵抗係数ζ_{RL}との関係（条件：奥行き 360mm）

表 3.1　実験条件

		寸法相違	偏心	隣接面配置
開口条件	開口寸法[mm]	表2	45	45
	開口位置		ずれ0, ずれ 1 , ずれ 2	前・中・後
奥行き[mm]		180	60,180,360	180
流入風向（入射角）[°]		0,45,67.5,80	0,±22.5,±45,±67.5,±80	

表 3.2　開口条件（条件：寸法相違）

風下側開口寸法[mm]

風上側開口寸法[mm]

	15	30	45	60	90
15			○		
30			○		
45	○	○	○	○	○
60			○		
90			○		

1-14 グリーン・ビル設計代替案の合理的意志決定法および支援コンピュータ・ツールの開発

九州大学大学院総合理工学研究院

助教授 谷本 潤

1．はじめに

地球環境問題との関わりの中で、建築物の環境負荷をどのように低減するかが危急の課題となっている。日本建築学会では、COP3を受けて、1997年「我が国の建物の耐用年数を3倍、新築建物のライフサイクルCO_2（$LCCO_2$）30%削減」の会長声明を発表し、現今、産学官を挙げて建築物の環境負荷軽減への取り組みが進められているのは周知の通りである。

このような地球環境問題の顕在化とその問題意識の高まりとともに、建築計画における設計者の環境意識の程度や設計プロセスの妥当性、将来的な建物の改修や解体・廃棄時における環境的配慮などの定性的な事項を含めて多角的に建築の環境性能を評価することの必要性が認識されてきた。これに対して、建築物の環境負荷を評価するフレームとして、$LCCO_2$や建物環境性能に関する評価手法としてのLEED（米）あるいはBREEAM（英）など様々な既往研究が精力的に行われている[1]。中でも、カナダを中心とする国際共同研究Green Building Challenge(GBC)の枠組みで開発されてきた総合的な環境性能評価ツールであるGBToolは、本邦において特に広く知られており、設計案に対する評価事例も多数報告されている[2]-[5]。GBCでは、各評価項目の得点に重み係数をかけ合わせて合計し、最終的には単一の総合得点として建物の環境性能の評価を行う。これにより従来まで、情緒的に評価される傾向にあった建物の環境性能の客観的評価が行われるようになっている。

しかし、GBCをはじめとした現在の評価フレームには次の2点で限界がある。即ち、第1は多数の評価項目、例えば、エネルギー、CO_2、水質汚染、廃棄物、室内環境などを定量化して、評価計算を行うのは、多量の作業や予算が必要となるため、環境配慮を設計当初から意識した話題性の高い建物以外での適用は期待しにくい点であり、第2はある程度設計が終了していないと総合評価の計算ができないため、評価して設計を修正するというフィードバックが困難な点である。

そのため、建築物の環境負荷低減を、より広範に達成するには、通常の設計階段において環境性能に配慮した合理的な意思決定を行うための枠組みが期待される。

このような背景のもと、筆者らは、設計者が邂逅するコストパフォーマンス、資源性、環境負荷、室内環境の質さらには意匠性など一面で背反するおそれのある各評価スケールを包括して、最終的な意志決定を行う上での合理的方法論MCDM（Multi-Criteria Decision Making）の構築を行った[6]。MCDMは、既往の設計終了後の評価スキームとは異なり、設計段階で、設計者が、対象設計プロジェクトの仕様に応じる幾つかの選択肢（設計案）を比較検討し、その中から最も望ましい案を選定するための方法論である。手法としては、複雑多岐にわたる評価項目を俯瞰し、対象を単一の値に集約して評価するものであり、既往の建物評価フレーム、特にGBCの基本思想と通底するものといえる。建物の話題性、用途、規模に関わらず、設計者・クライアントがこのMCDM方法論を実際に使用するためには、簡便性、汎用性を兼ね備えた、いわば、「電卓のようなツール」が不可欠であるため、MCDMの一連の計算をWindows上で完全にサポートするコンピュータツールMCDM-23の開発を併せて行っている[注1] [7]。MCDMの目的および特徴をGBC2000と比較して表1に示す。

本稿では、MCDM方法論および、それを実現するために一体不離のコンピュータツールMCDM-23の特徴について述べる。尚、以上のMCDMおよびMCDM-23の開発は、国際共同プロジェクトとして、IEA（International Energy Agency） SH&C Task23のSubtask Cの枠組の中で行われた[注2]。

2. 方法論 MCDM およびコンピュータツール MCDM-23

2.1 概要

MCDM では、設計時に建物設計案の選択肢が複数存在し、中から、コスト、 資源性、環境性等の多目的評価項目を考慮しながら、最も望ましい設計案を決定する場面を適用対象としている。このような場面では、代替案中の客観的な比較が行い得れば十分であり、一連の思考プロセス、合意形成プロセスで on-site に使用できる軽快な比較評価フレームが望まれる。

設計プロセスにおける MCDM、MCDM-23 の位置づけを図 1 に示す。実際の設計時には、①設計ターゲット、 評価項目の設定(or 見直し) ②複数の設計代替案を上げる ③評価の上、最良案を決定、なるルーチンをサークル状に繰り返すことで、最終的設計案に至る場合が多い。図中の内側のサークルが前述の①から③に対応した MCDM におけるプロセス、外側のサークルがその MCDM のプロセスに応じた MCDM-23 における処理内容である。

MCDM-23 開発上の留意点としては、いわゆる、GUI(Graphical User Interface)に配慮した構成をとっている点が挙げられる。ここでいう GUI とは、図的表示によるユーザーフレンドリーな入出力機能という意味にとどまらず、あらゆるダイアログでデフォルト値を用意し、懇切丁寧な Help 機能を付加することを含み、これらにより、初体験ユーザーでも無理なく使えるように配慮している。

2.2 評価項目および評価基準の設定方法

評価項目は、大段階である Criteria とその下部階層の小段階である Sub-criteria の 2 つの階層から成る。表 2 は MCDM-23 におけるデフォルトの Criteria、Sub-criteria であり、IEA SH&C Task23 の各国代表委員の承認のもとに採択された推奨項目である。なお、GBTool とは異なり、実際のプロジェクトの内容や検討する代替案の内容に応じて Criteria、Sub-criteria は柔軟に変更できるものである。人間の評価プロセスや比較能力からして、 MCDM-23 では、 Criteria、Sub-criteria 各々について 8 項目を上限としている。

意思決定プロセスの参加者である設計者、クライアント、使用者など様々なバックグランドを持った人々が容易に評価できるように、Sub-criteriaごとの評価の結果は、最終的に 4～10 点の定量的相対値である Score で表現される。

デザインの良し悪し、建築的機能の質などの定性的評価項目については、意志決定プロセス参加者はその立場や主観に応じて、直接評点(Score)を決める。図 2 に MCDM-23 における定性的評価項目に関する評点入力の画面を示す。利用者は、4～10 点の Score、ないしは Score と対応付けられる Verbal scale で表された Judgement を付けばよい。

一方、エネルギー消費やコストなど、通常、定量的にその性能を評価する項目については、それら単位をもつ実値(以下、Value とする)と Score との対応関係、すなわち評価基準を参照して決定する。この Value と Score の対応関係を MCDM では Value Table と呼び、各プロジェクトごとに事前に設定しておく必要がある。MCDM では当該プロジェクトにおける各代替案の比較が目的であるから、Value Table の定義に普遍的基準は特に設けていない。

Value Table 定義の目安としては、Score=4 は建築コードなどで要求される最低限の基準、Score=10 は、例えば、世界的な高性能基準を想定すればよい。Value Table の定義は最終的な評価値を左右するため、その設定には細心の注意を要する。Value Table では Score と Value の関係に非線形性も許容している。年間エネルギー消費量に関する Value Table を例に、Value=130kW/m^2 が、Score=7.5 に変換される様子を図 3 に示す。

2.3 重みの決定方法

Criteria間の重みであるWeight、Sub-criteria間の重みであるSub-weightの決定方法としては、AHPプロセスとGradingプロセスの2手法が想定されている。

AHP、すなわち階層分析法(Analytic Hierarchy Process)とは、一連の一対比較申告結果から、その主観申告の矛盾程度に配慮しつつ、巧みなベクトルマトリクス演算を通じて、申告の背後にある項目間の重要度を客観的に抽出する手法である[8]。AHPによる重みの算出は次式で表現される。

$$A \cdot w = \lambda \cdot w \qquad \cdots(1)$$

$$A = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} A_1 & A_2 & \cdots & A_n \end{array} \\ \begin{vmatrix} a_1/a_1 & a_1/a_2 & \cdots & a_1/a_n \\ a_2/a_1 & a_2/a_2 & \cdots & a_2/a_n \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_n/a_1 & a_n/a_2 & \cdots & a_n/a_n \end{vmatrix} \end{array} \quad \cdots(2)$$

$$w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad \cdots(3)$$

$A_1, A_2, \ldots A_n$ ：項目、$a_1, a_2, \ldots a_n$ ：重要度（1～9の尺度で定義され、1=同じぐらいの重要度、9=極めて重要を意味する）、w は正規化個有ベクトル（$w_1, w_2, \ldots w_n$ ：各項目に対する重み、ただし $\Sigma w_i=1$）、λ ：最大固有値

n 項目間の重みを決める際に、$n \cdot (n-1)/2$ 回の項目間の重要度の比較を行った結果得られるマトリックス A を(1)式に代入して、求められる w が、各項目に対する重みとなる。MCDM-23では、図4に示すダイアログによって(2)式における重要度の比 a_1/a_7 (もしくは a_7/a_1)を設定している。AHPプロセスは、計算の過程で算出される C.I.(Consistency Index)によって比較申告の内包する矛盾を排除することができるという利点を有するが、多数回の一対比較を行う必要があるため利用者のロードがやや過大となる。

対して、Grading プロセスとは、$(n-1)$回の単純一対比較により重みを決定する方法である。実際には、Criteria、Sub-criteria 間で最も重要な項目を 10 とし、表 3 の Verbal scale に基づき、それとの一対相対比較を行うことで各項目の重要度を決める。(4)式に Grading プロセスによる重みの算出方法を示す。

$$W_i = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^{m} I_i} \quad \cdots(4)$$

$W_1, W_2, \ldots W_m$ ：各項目の重み、$I_1, I_2, \ldots I_m$ ： 重要度、m ： 項目数

MCDM-23 では、項目間の一対相対比較を行うために、図 5 に示すダイアログを用意している。

なお、最終的重みの決定に際しては、複数の設計者やクライアントの個別の意向を反映することが可能である。図 6 は、MCDM-23 において Mr.Default、Mr.A、Mr.B の 3 者の重み候補値の算術平均値“Average”が採用されている状態である。

2.4 最終的評価の方法

各代替案の最終的評価値(以下、Overall Score とする)から最適な案を決定する。Overall Score は、Criteria ごとに Sub-weight と Score の積和をとって得られる Weighted Score(図 7 における Main criteria scores)を更に Weight と積和計算することで算出する。Score の下限値、上限値をそれぞれ 4、10 としているため、Overall Score の最低値、最高値もそれぞれ 4、10 となる。

なお、MCDM-23 では、計算結果は Worksheet（図 7）。Star Chart（図 8）、Stacked Bar Graph（図 9）など理解容易な形で出力される。

Star Chartは各CriteriaごとのMain Criteria Scoresをもとに、各設計代替案の長短所をレーダーチャート状に示したもので、内円は全てのCriteriaで評点最低となる状態を、最外の正多角形は全てのCriteriaで最高評点となる理想的プロジェクトのパフォーマンスを示す。

Stacked Bar Graphは全ての代替案の Weighted Main ScoreとOverall Scoreを一括して図示したものである[9]。図8の例ではScheme Aが最も評点が高い案である。

これらをもとに、設計者は設計案の見直しを図るなり、評価項目の練り直しを行い、それに応じて図1における「(1)評価項目の設定」以降のプロセスを繰り返すことになる。

以上のインタラクションにより、設計チームは、最終的な設計案を意志決定することが出来る。

3. まとめ

設計代替案の合理的意志決定手法 Multi-Criteria Decision Making Method、 MCDM およびその支援ツール MCDM-23 について、既往の評価スキームと比較しつつ、その特徴に論究した。

MCDM は、設計段階で設計者が多数の設計代替案の中から、最適な案を決定するための意思決定手法である。その手法に沿って、実際に使われるコンピュータツール MCDM-23 が開発された。

MCDM、MCDM-23 は、2002 年のタスク終了後、全ての成果は IEA SH&C Executive Commitee での承認を経て、出版公開される。MCDM-23 についてはソースコードを含めたプログラムの全面的公開が予定されている。

MCDM-23 の試用について、興味のある読者諸兄は、*tanimoto@ cm.kyushu-u.ac.jp* まで連絡を頂きたい。

【謝辞】

IEA SH&C Task23 における本研究に関しては、工学院大学教授・宇田川光弘先生に多くの援助、指導を得た。記して謝意を表する。

【注記】

注1） MCDM-23は、Windows95/98を基本動作環境とする。プログラムについては、本体部分のソースコードはVisual Basic 6.0、固有値計算のソルバーはFortranで、ヘルプはRoboHelpにより作成した。

注 2） 参加 12 カ国は、Austria,Canada,Denmark,Finland,Germany,Japan , Netherlands,Norway,Spain,Sweden,Switzerland,USA。日本代表委員は、工学院大学・宇田川光弘教授と谷本。また、Balcomb はアメリカ代表委員である。

【付録】 MCDM-23におけるValue Tableの設定方法

1. LCC以外のCriteriaの場合

初期画面のValue Tableメニューから設定したいCriteriaを選択すると、Value Tableの設定画面が表示される。Resource UseについてのValue Tableの設定画面の例を付図1に示す。

デフォルトでは、LCCを除く、全てのSub-criteriaは定性的評価項目として設定されている。定量的評価項目については、“Quantitative scale”のチェックボクスをクリックすると、Value Tableの記入欄が有効になる。

各Sub-criteriaごとに設けられたLinear fill機能を用いると、Score=10、Score=4に対応するValueを入力するだけで、途中の値が線形補間される。なお、Scoreに対応したJudgementは各Sub-criteriaごとにその文言の表現を変えることができる。

また、ダイアログ中のボタンをクリックすることにより、ValueとScoreの関係をグラフで確認することができる。図からわかるように、Value-Score関係には、所謂、非線形の効用関数が許容されている。

2. CriteriaがLCCの場合

LCCに関しては、Sub-criteriaごとに Value Tableを定義するのではなく、別途用意されたLCC計算機能を用いて、CriteriaであるLCCとScoreとの対応関係を定義する。

初期画面のValue Tableメニューにあ るLCCを選択すると、まず、LCC計算プロセスを起動するか否かをダイアログで聞いてくる。“Yes”を選択すると、LCC計算ダイアログ（付図2）が表示される（“No”を選択すると付図1と同様のダイアログが示される）。付図2のダイアログで10のパラメータを入力し（デフォルト値あり）、Calculationボタンをクリックすると、LCC計算式（A1）における建設コスト、年間運転コスト、年間管理コストに乗じる係数Coefficient of construction cost (***a***)、energy cost (***b***)、maintenance cost (***c***)が算出される。

$$LCC = a^{*}(\text{Construction cost}) + b^{*}(\text{Annual operation cost})$$

$+c^*$(Annual maintenance cost)　　…(A1)

なお、この3つの係数a、b、cは、LCCを構成する3つのSub-criteriaに対するSub-weightに一致するため、このプロセスを経た場合は、当該Sub-weightを定める必要はなくなる。

"Next"ボタンをクリックすると、付図3に示すLCCのValue Tableが現れる。ここで、ユーザーは、ダイアログ左側のValue欄にあるテキストボックスに値を代入することにより、LCC(Monetary Unit)とScoreとの対応関係を定義する。上述したLinear fill機能、Graph機能のオプションに加えて、LCCダイアログでは、LCC計算のための電卓機能が用意されている。これは、ダイアログ右側下にあるテキストボックスにSub-criteriaである3つのコストを代入するとLCCが表示されるというもので、Score=10、 Score=4に対応するLCCの上下限を定めるに当たって有用である。

【参考文献】

[1]全貞ユン、倉科大地、田村明弘:海外の Green Building 評価ツールに関する動向調査、日本建築学会技術報告集 第 11 号、p.161-164、 2000.12

[2]岡建雄、横尾昇剛:Green Building Challenge 2000 その 1 環境共生評価手法に関する国内外の取り組み、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、p.965-966、2001.9

[3]横尾昇剛、半澤久、岡建雄:Green Building Challenge 2000 その 2 GBTool 2000 の概要、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、p.967-968、2001.9

[4]福永和弘、水野里絵、高草木明:建築基本設計のためのグリーン設計評価手法、日本建築学会技術報告集 第 12 号、p.139-144、2001.1

[5]横尾昇剛、岡建雄:総合的な建築物の環境性能評価手法に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)、p.923-924、 2000.9

[6] Doug Balcomb、Inger Andresen:Proposal for Multi-Criteria Decision- Making Method 4th version、 IEA SH&C Task23 closed document、 2000.9

[7]谷本潤、片山忠久、萩島理、Douglas Balcomb:Computer program MCDM-23 Multi-Criteria Decision-Making Tool の概要、日本建築学会九州支部研究報告 第 39 号、p.89-92、2000.3

[8]木下栄蔵:意志決定論入門、啓学出版、 1992

[9] Inger Andresen:A Multi-Criteria Decision-Making Method for Solar Building Design、Norwegian University of Science and Technology、 p.154、2000.2

表 1　GBC と MCDM との主な違い

GBC2000／GBTool	MCDM／MCDM-23
①事後評価のためのフレーム	①設計代替案選定のためのフレーム
②評価構造(Issues/ Categories)の各項目は固定的である。	②評価構造(Criteria/Sub- criteria)の各項目は自由に変えられる。設計プロジェクト毎に異なってよい。
③同用途のプロジェクトの地域・国際間の比較が目的である。	③最終的評価により、対象設計プロジェクト内の設計代替案の比較を行うことが目的である。
④その地域での標準的な建物(Reference Building)との相対比較を通じて環境性能を評価する。比較結果は普遍的である。	④対象プロジェクト毎に比較の基準が異なってよい。
⑤数多くの項目にわたって評価する作業が多量である。	⑤設計業務の中で行う程度の作業である。

表 2　Criteria，Sub-criteria のデフォルト

Life cycle cost	Construction cost
	Annual operation cost
	Annual maintenance cost
Resource use	Annual electricity
	Annual fuels
	Annual water
	Construction materials
	Land
Environmental loading	CO_2-emission from construction
	Annual CO_2-emission from operation
	SO_2-emission from construction
	Annual SO_2-emission from operation
	NO_x-emission from construction
	Annual NO_x-emission from operation
Architectural quality	Identity
	Scale/proportion
	Integrity/coherence
	Integration in urban context
Indoor quality	Air quality
	Lighting quality
	Thermal quality
	Acoustic quality
Functionality	Functionality
	Flexibility
	Maintainability
	Public relations value

表 3 Grading プロセスの重みスケール

重要度	Relative Importance,compared with most important criteria
10	Of equal importance
9	
8	Somewhat less important
7	
6	Significantly less important
5	
4	Much less important

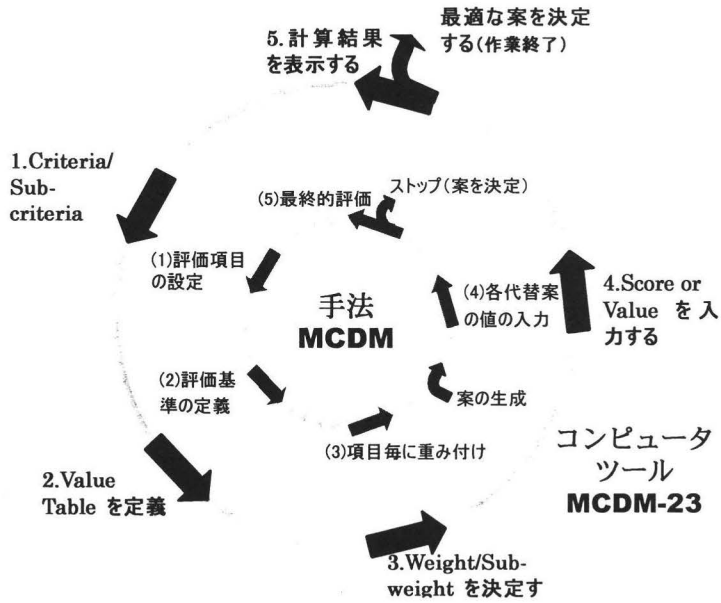


図 1　MCDM および MCDM-23 の流れ

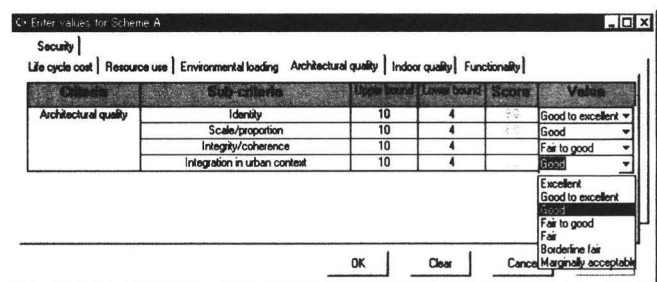


図 2　定性的評価項目に関する評点入力ダイアログ

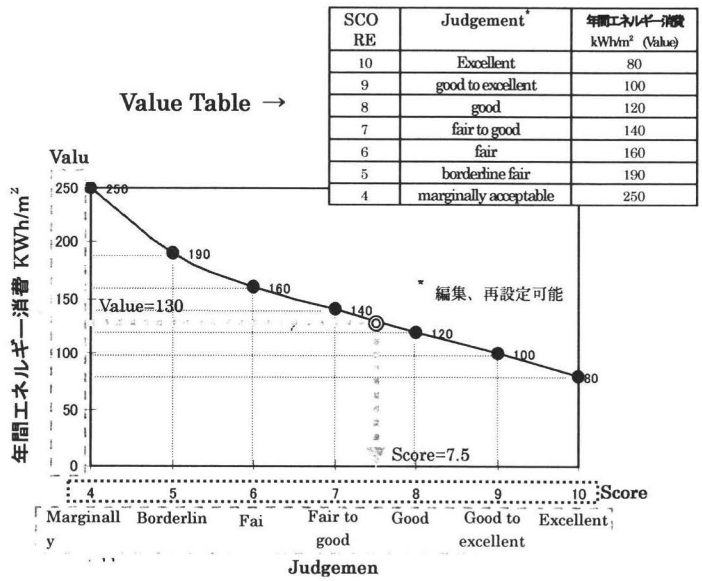


図 3　Value と Score との対応関係 - Value Table

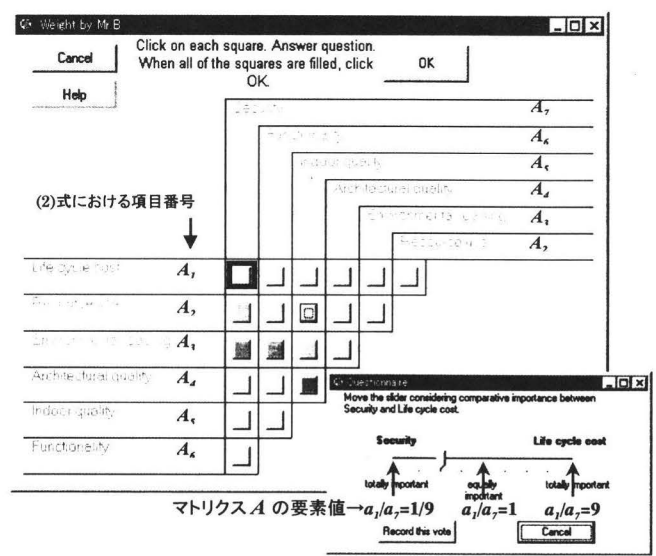


図 4　AHP プロセスのダイアログ

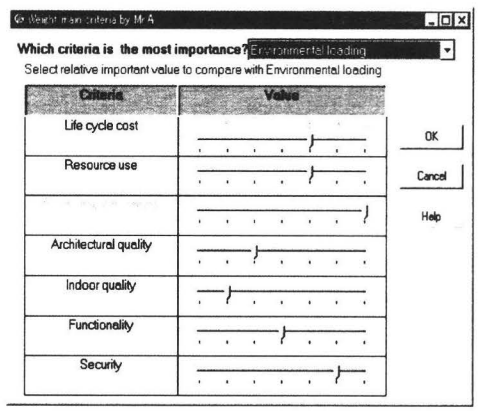


図 5　Grading プロセスのダイアログ

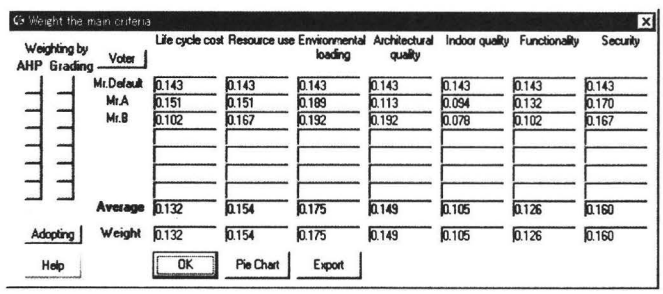


図 6　重み決定のダイアログ

MCDM-23 Worksheet for Scheme A

Main criteria	Sub-criteria	Sub-criteria Weights	Sub-criteria Values	Sub-criteria Scores	Main criteria scores	Main criteria Weights	Weighted Main scores
Life cycle cost	Construction cost	0.68	1500.0		8.78	0.132	1.16
	Annual energy cost	19.40	60.0				
	Annual maintenance cost	19.40	50.0				
Resource use	Annual electricity (kWh/m2)	0.20	120.0	7.3	7.00	0.154	1.08
	Annual fuels (kWh/m2)	0.20	80.0	6.3			
	Annual water (m3)	0.20	8000.0	7.0			
	Construction materials (Tons)	0.20	15.0	7.5			
	Land (hectare)	0.20	1.1	6.9			
Environmental loading	CO2-emissions from construction (ppm)	0.17	2.0	9.1	8.34	0.175	1.45
	Annual CO2-emissions from operation (ppm)	0.17	1.2	7.4			
	SO2-emissions from construction (ppm)	0.17	0.8	9.4			
	Annual SO2-emissions from operation (ppm)	0.17	2.1	7.5			
	NOx-emissions from construction (ppm)	0.17	1.2	7.6			
	Annual NOx-emissions from operation (ppm)	0.17	2.0	9.0			
Architectural quality	Identity	0.35	9.0	9.0	8.35	0.149	1.25
	Scale/proportion	0.25	8.0	8.0			
	Integrity/coherence	0.20	7.0	7.0			
	Integration in urban context	0.20	9.0	9.0			
Indoor quality	Air quality	0.25	9.0	9.0	7.50	0.105	0.79
	Lighting quality	0.25	7.0	7.0			
	Thermal quality	0.25	8.0	8.0			
	Acoustic quality	0.25	6.0	6.0			
Functionality	Functionality	0.45	9.0	9.0	9.00	0.126	1.13
	Flexibility	0.15	10.0	10.0			
	Maintainability	0.25	9.0	9.0			
	Public relations value	0.15	8.0	8.0			
Security			8.0		8.0	0.160	1.28

W_{si}, S_{si}, $\sum_{i=1}^{5} W_{si} S_{si} = S_{m2}$

OK | Print | Star Chart | Help | Export

Overall score : $\sum_{j=1}^{7} W_j S_{mj}$

図 7　Worksheet

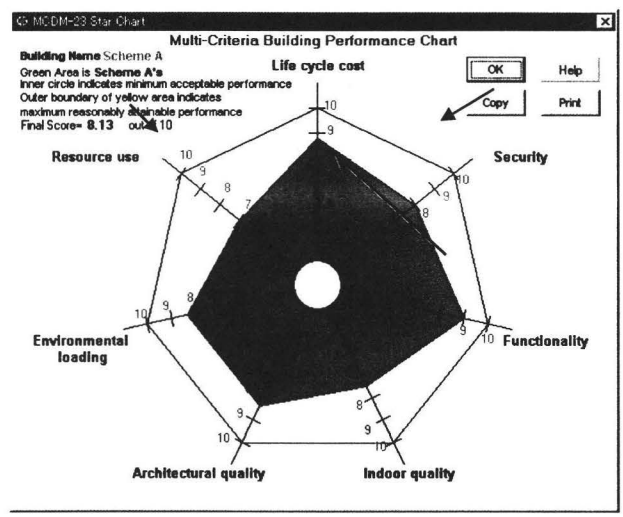


図 8　Star chart

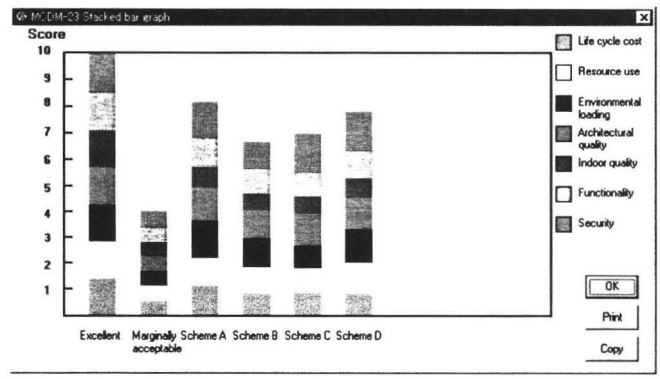
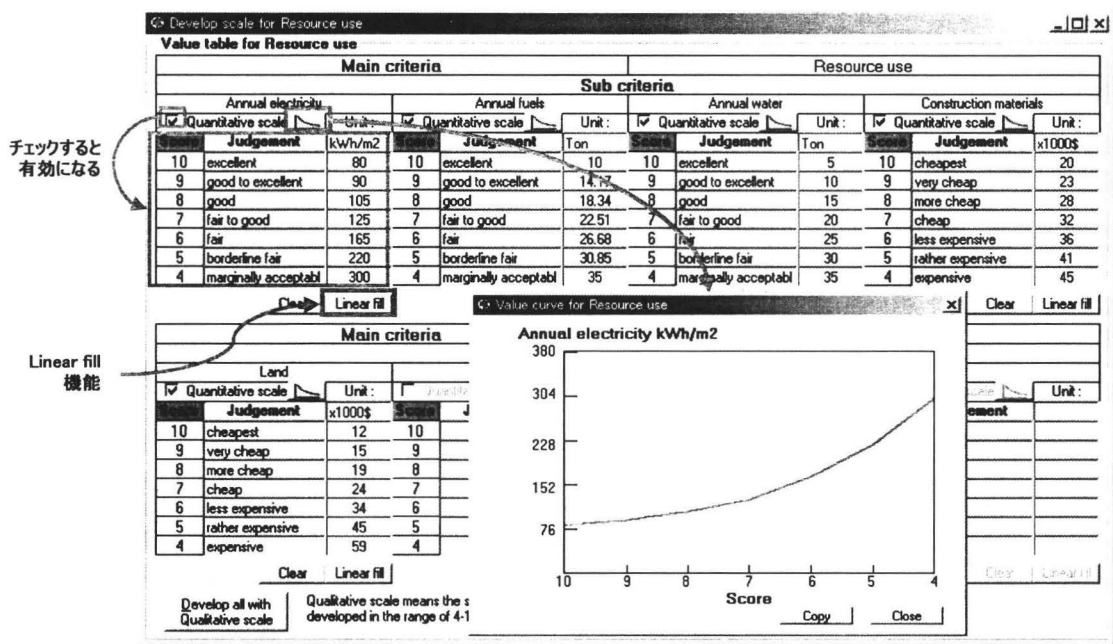
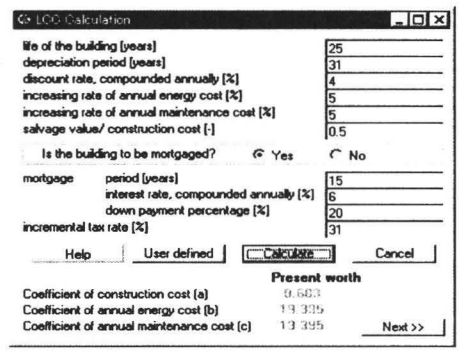


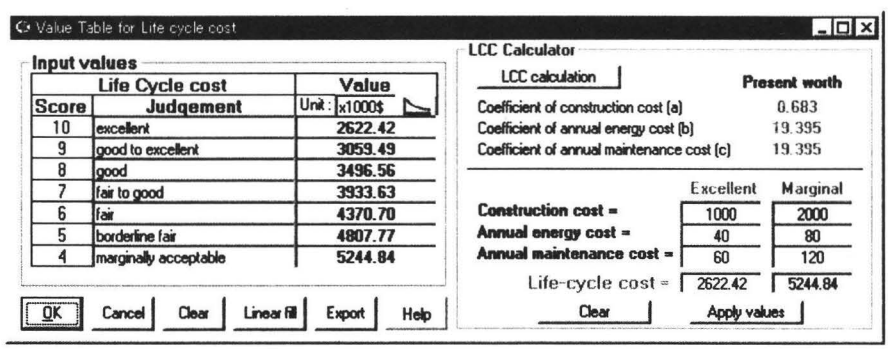
図 9 Stacked bar graph



付図 1 Resource Use の各 Sub-criteria の Value Table を設定した状態



付図 2　LCC 計算ダイアログ



付図 3　Life Cycle Cost の Value Table

1-15 地震時における土塗り壁の耐荷機構に関する研究

横浜国立大学大学院工学研究院

教授　山崎　裕

1．はじめに

土塗り壁は，伝統的構法における主な耐震要素で，古くから日本の住宅の壁として用いられてきた。筆者らにより，古民家の耐震性能を解析的に検討した結果 [1]，小変形時には，水平力の約 70%を土塗り壁で負担していることが分かった。

しかし，土塗り壁の耐震性能は，塗り土の力学的特性や施工法に大きく依存し，現在でもその性能を一般的に評価するには至っておらず，建築基準法施行令第 46 条に規定された土塗り壁の壁倍率は 0.5 に設定されたままである。

近年では，住宅の高断熱，高気密化さらに低コスト化とともに，土塗り壁は衰退しつつあるが，人体に有害となる化学物質を使用せず，また施工時や取り壊し時の環境への負荷が少ないということから，土塗り壁を見直す動きもある。また，工法によっては，壁倍率 0.5 よりはるかに高い性能を発揮する場合があることも，近年の実験研究 [2]により報告されており，耐震性能を正当に評価することができれば，土塗り壁が見直されるきっかけとなるのではないかと考える。

そこで本研究では，塗り土の力学的特性は，土塗り壁の耐震性能を左右する大きな要因の一つであると考え，塗り土の一軸圧縮試験および土塗り壁のせん断加力実験を行い，両者の関係を比較した。 また，土塗り壁の変形性状や，塗り土の力学的特性についても併せて検討した。

2．試験体の概要

2．1　せん断加力試験用土塗り壁試験体

土塗り壁のせん断加力試験の試験体を図 1 に示す。ここでは，土塗り壁の基本的な破壊性状を把握するため，横貫はほぼ等間隔に配置した。図は，枠組に横貫および縦貫を配し，竹の小舞下地を掻いたものであり，その後，図 2 に示すように，土や砂，わらスサなどの分量が異なる荒壁土，中付け土および中塗り土を塗り重ねる。試験体構成は，各層の負担せん断力を比較するため，表 1 に示すような全 3 体とした。

2．2　塗り土の一軸圧縮試験用供試体

材料の力学的特性を評価する手段のうち，最も簡便な方法の一つとして，一軸圧縮試験がある。本研究では，荒壁土，中付け土および中塗り土のそれぞれに対して， JIS A1216（土の一軸圧縮試験方法）に準拠し，変位制御の万能試験機（容量：20kN）で一軸圧縮試験を行った。各塗り土の供試体数は，ばらつきを考慮して 5 体を 1 セットとした。供試体は，内径 50mm，高さ 100mm のボール紙製の筒を型枠に用いて製作し，塗

り土の乾燥後に脱型して，試験日まで土塗り壁試験体と同条件で養生した。試験は，せっこうでキャッピングを行った後，土塗り壁試験体のせん断加力試験に合わせて実施した。

２．３　試験体の製作

荒木田土に水およびわらスサを練り合わせた後，80 日程度寝かせたものを荒壁土とし，B1, B2 試験体に施工した。施工直後の塗り厚は，30mm 程度であった。さらに約 50 日後，残りの荒壁土に水，砂およびわらスサを混ぜたものを中付け土および中塗り土とし，中付けは午前中に，中塗りは同日の午後 B2 試験体に施工した。練り合わせの分量およびスランプ値は表 2 に示す。中付けは，荒壁と中塗りとの付着をよくし，中塗りの表面に乾燥ひび割れが発生しにくくするための工程である。B2 における中付けの施工の際には，貫位置での乾燥ひび割れを防ぐため，長さ約 20cm のしゅろを貫と直角方向に塗り込んだ。

また，小舞竹には幅が 20mm で厚さが 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。

なお，試験体は，通風を妨げないようにシートで覆った後，屋外にて養生した。

３．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 3)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。加力フレームに土台を固定した後，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，ある程度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。変位の計測位置は図 3 に示す。

４．実験結果の概要

土塗り壁のせん断加力試験および塗り土の圧縮試験は，中塗り終了後約 8 ヶ月で実施した。

４．１　土塗り壁試験体の破壊性状

荒壁試験体 B1 では，加力中に表面の細かな土の粒が落ちることはあっても，土の塊が小舞下地から剥がれ落ちてしまうことはなかった。中塗り仕上げの試験体 B2 では，小変形時から横貫および縦貫に沿ってひび割れが発生し，変形角 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。1/15rad 時には，試験体中央付近の土が荒壁ごと小舞下地からはがれ落ちた。破壊は中段部に集中し，1 段目の貫より下と，2 段目の貫より上の部分での破壊は軽微であった。B2 のひび割れ状況は図 4 に示す。なお，荒壁試験体 B1 では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。

４．２　耐力性状

図 5 に各試験体の荷重－変形関係を示す。B0 や B1 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。B0 と B1 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。B2 試験体は 1/30rad で最大耐力を迎え，それ以降はやや

低下したが，急激に低下することはなかった。これらの比較より，本研究における土塗り壁試験体では，小変形時においては主に中付けおよび中塗り層により，大変形時には軸組および荒壁層によりせん断力を負担していることが分かる。

表 3 に各試験体の壁倍率を示す。壁倍率は次式で算定した。

$$\text{壁倍率} = \min\begin{pmatrix} Py \\ 0.2Pu/Ds \\ \frac{2}{3}P\max \\ P_{(120)} \end{pmatrix} / 1.82 / 1.96 \qquad (1)$$

中塗り試験体 B2 では，建築基準法施行令で定められた土塗り壁の壁倍率 0.5 を十分上回っている。本試験体は，ちり回りの処理は行わず，荒壁塗りとその裏返し塗り，また，中付けと中塗りをそれぞれ同日に行うなど，必要最低限の手間で製作されたが，この程度の簡略化された工法でも，中塗りまで行えば，基準法施行令の壁倍率 0.5 を十分上回る結果が得られることが分かる。

4．3　各部の変形性状

(1) 柱脚および柱頭の回転角

図 6 に柱脚の回転および計測の状態を示す。柱脚および柱頭の回転角 θ は，測定値である鉛直方向変位から，隅角部は桁や土台と接しているとして換算したが，実験時においても柱頭や柱脚の浮き上がりは観察されなかった。図 7 には，このようにして得られた，正加力時の柱脚および柱頭の回転角の推移を示す。

ホールダウン金物に引張力が作用する箇所では，試験体により差はあるが，変形角が 1/50rad 以降はほぼ横ばいである。ホールダウン金物が働かない箇所の回転角は，試験体全体の変形に比例するように増加しており，柱頭および柱脚の隅角部を中心に回転している様子が分かる。なお，柱頭と柱脚では同程度の回転角であった。

(2) 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 8 に示す。柱頭および柱脚は桁と土台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。試験体間では，中塗り試験体 B2 で最も大きく，枠のみの試験体 B0 と荒壁試験体 B1 では同程度であった。

(3) 全体の変形性状

枠組に取り付けた各変位計の測定値から，試験体全体のせん断変形角に対する各部のせん断変形角の割合を算定し，図 9 に示した。いずれの試験体も，中段部の変形が他の部分より 20%程度大きい。これは，1 段目貫より下と 2 段目貫より上では，ホールダウン金物に引張力が作用する側の柱脚および柱頭が，ホールダウン金物の拘束により回転しにくいためである。中塗り試験体 B2 では，小変形時は 2 段目貫から桁の部分も大きく変形したが，変形が進み中塗り層の破壊が顕著になるにつれて，枠のみの試験体 B0 や荒壁試験体 B1 と同様の傾向になった。中段部の変形量が大きいことは，図 4 に示したように，中段部に破壊が集中し，最下段および最上段での破壊が軽微なことと対応する。

(4) 柱の曲率分布

図 10 に，柱に貼付したひずみゲージの測定値から求めた曲率分布を示す。枠のみの B0 と荒壁塗りの B1 では同様の曲率分布であり，ホールダウン金物に引張力が作用している箇所での曲率が大きい。中塗りまで施工した B2 では，中塗り土の剛性が高いため，その反力で柱の曲率分布が B0 や B1 とは異なっている。

こうした変形性状の測定結果より，土塗り壁は，拘束している枠組みのせん断変形とともに，内部の塗り土でせん断抵抗力が発揮されていることが分かる。

4．4　圧縮試験結果

塗り土の圧縮試験は，土塗り壁試験体のせん断加力試験日に合わせて実施した。試験前には，各供試体の寸法および重量を測定し，密度を求めた。図 11 に試験結果を示す。荒壁土では，中塗り土に比べてかなり圧縮が進んでから最大値を示し，その後は緩やかに低下した。中付け土や中塗り土では，圧縮ひずみが 2%程度で最大値を示し，その後急激に低下した。

各供試体について，弾性係数は，JIS A1216（土の一軸圧縮試験方法）に準拠し，原点と圧縮強度の 50%の点とを通る直線の傾きとした。塗り土の 1 セット毎の弾性係数と圧縮強度の評価としては， 5 体の供試体のうち，最大値と最小値を除外した 3 体の平均値とした。図 11 中には，このようにして得られた 1 セット毎の平均値を示す直線も併記した。さらに，圧縮強度以降の平均値を表す直線の勾配は，荒壁土では低下が緩やかであることから傾きは 0 とし，中付け土および中塗り土では，第 1 勾配と同様に，圧縮強度から 50%低下した点を通る直線の傾きの平均値とした。

図 12(a)に供試体の密度と圧縮強度との関係を示す。中塗り土および中付け土では，荒壁土に比べて密度が 40%程度高かったが，圧縮強度との相関は高くない。図 12(b)に，圧縮強度と弾性係数との関係を示す。ややばらつきはあるものの，相関係数は 0.742 であり，両者に相関関係が認められる。

5．土塗り壁の耐力性状と塗り土の圧縮性状との比較

図 11 に示したバイリニア化された塗り土の応力－ひずみ関係を用い，次式により算定した Q_{cal} を図 13 に示す。なお，土塗り壁試験体の耐力から枠組みのみの試験体の耐力を差し引いた Q_{exp} も併記した。なお，横軸の圧縮ひずみと変形角は 1:1 に，縦軸の Q_{exp} と Q_{cal} は 1:4 に対応させて表示した。

$$Q_{cal} = \sigma_1 t_1 l_1 + \sigma_2 t_2 l_2 + \sigma_3 t_3 l_3 \qquad (2)$$

σ_1，σ_2，σ_3：一軸圧縮試験における荒壁土，中付け土および中塗り土の同一圧縮ひずみにおける圧縮応力

t_1，t_2，t_3，l_1，l_2，l_3：土塗り壁試験体における荒壁，中付け，中塗りの厚さおよび長さ

このとき，t_2，t_3 は，図 14 に示す乾燥後に実測した値を，l_2，l_3 は柱の中心間距離（1820mm）を用いた。荒壁については，表面に無数の乾燥ひび割れがあり，実測した

壁厚全ては応力の伝達に寄与しないこと，壁長の約 50%は小舞竹が占めていることを考慮し，t_1は縦と横の小舞竹の厚さの和である 10mm とし，l_1は小舞竹の間にある土だけを勘定して 910mm として算定した。

図 13 によると，塗り土の圧縮試験から算定した値 Q_{cal} と実際に土塗り壁試験体の塗り土が負担しているせん断力 Q_{exp} とは同様に推移しており，土塗り壁のせん断性状は，そこに使われている塗り土の一軸圧縮性状との関係が深いと考えられる。ここでは，荒壁層における表面の乾燥ひび割れや小舞竹の影響は前述のように仮定し，貫の影響は考慮しなかったが，その妥当性の検討はさらに今後の課題である。

また，図 15 に示すように，A シリーズ（試験体高さが 2730mm）[4]においても同様の結果が得られたことから，本実験結果をみる限りでは，試験体の高さは土塗り壁の耐震性能には影響しないといえる。

6．まとめ

土塗り壁の耐震性能を評価するため，そのせん断加力試験とともに，塗り土の一軸圧縮試験を行い，それらの関係性の評価を行った。

せん断抵抗機構は解明されていないものの，土塗り壁のせん断および変形性状は，その塗り土の一軸圧縮性状が大きな要因であることが分かった。また，中塗りまで行った試験体 B2 では，壁倍率は 1.0 程度となった。既往の実験では，これを上回る結果がほとんどであり，本試験体のように簡略化した工法でも，基準法施行令の壁倍率 0.5 を十分上回ることが分かった。

参考文献

1) 古谷方人，中島文子，山崎裕：古民家の耐震性に関する研究（その 1 モデル化の手法，その 2 解析結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.165－168，2001 年
2) 例えば，鈴木祥之，中治弘行：木造住宅土塗り壁の実大実験による耐震性能の再検討，日本建築学会構造系論文集，第 515 号，pp.115-122，1999.1
3) （財）日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計，2001.12
4) 中尾方人，山崎裕：土塗り壁の耐力および変形性能の推定に関する実験的研究（その 1　2Px3P の場合），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.275－276，2002 年

表1　試験体構成および各部材断面

試験体名	仕上げの状態
B0	枠のみ
B1	小舞下地+荒壁
B2	小舞下地+荒壁+中塗り

壁長x高さ 1820mmx1820mm

部材断面
柱(スギ):105x105
土台(スギ):105x135
桁(ベイマツ):105x180
貫(スギ):15x105
柱頭・柱脚:短ほぞ差し+S-HD10
柱・貫仕口:通し貫+楔

単位:mm

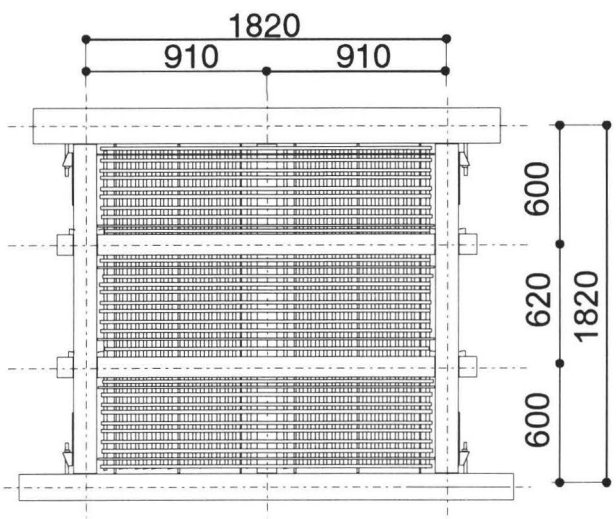


図1　試験体図(単位：mm)

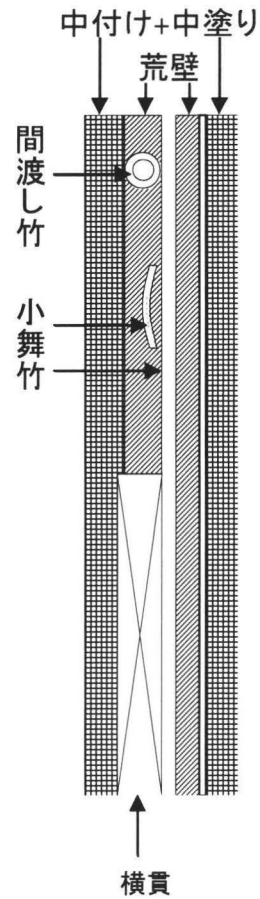


図2　試験体断面図

表2　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(長)(kg)	スランプ値(cm)
荒壁土	964.3	−	340.5	9.8	19.6(11.1)

	荒壁土(kg)	砂(kg)	水	スサ(短)(kg)	スランプ値(cm)
中付け土	125.8	131.6	適量	0.504	14.6
中塗り土	35.3	97.8		0.258	16.7

スサ(長):約70mm　スサ(短):約25mm
( )内のスランプ値は施工時の値。荒壁土以外は、練り混ぜ後すぐに施工した。
スランプ試験は、JIS A1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準拠した。

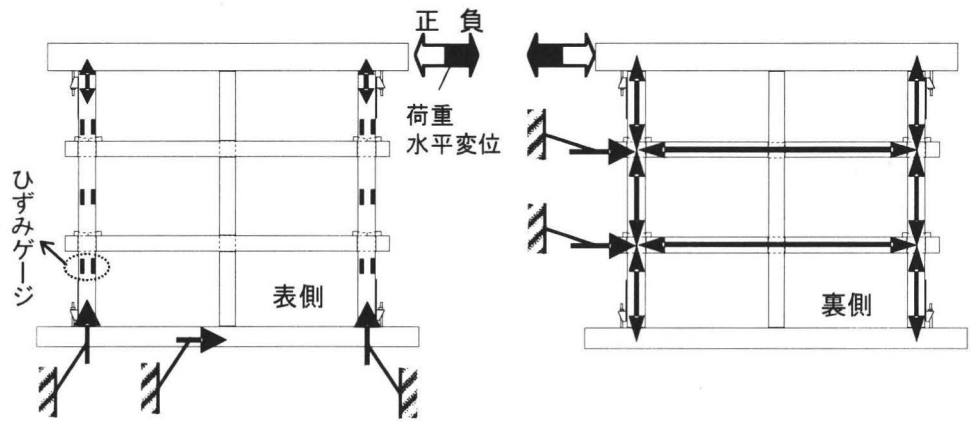


図3　変位計測位置

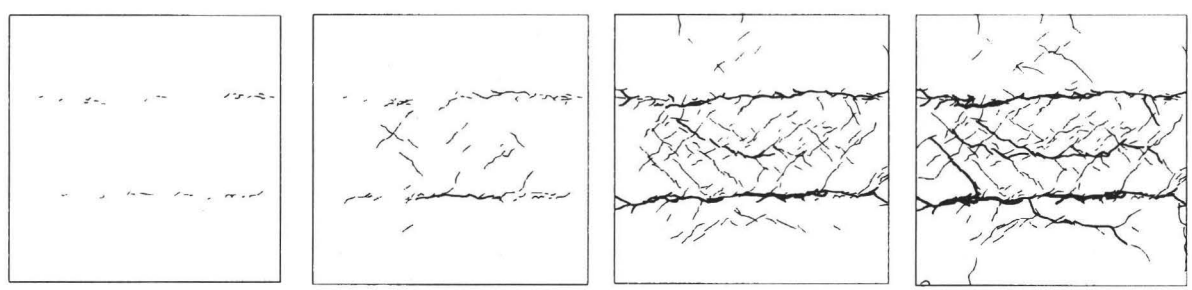


図4　ひび割れ状況(B2)

表3　壁倍率の算定

試験体名	B0			B1			B2		
加力方向	(+)	(−)	平均	(+)	(−)	平均	(+)	(−)	平均
Pmax[kN]	5.15	4.90	5.03	5.83	5.80	5.82	7.88	7.08	7.48
$\gamma_{(Pmax)}$[x10^{-3}rad]	66.9	66.7	66.8	66.6	66.0	66.3	33.4	19.9	26.7
γy [x10^{-3}rad]	25.7	30.1	27.9	24.8	24.2	24.5	5.4	4.1	4.8
Py [kN]	2.31	2.56	2.44	3.00	2.90	2.95	4.97	4.37	4.67
K [kN/rad]	89.9	85.0	87.2	121.0	119.8	120.4	920.4	1065.9	983.2
γu [x10^{-3}rad]	66.9	66.7	66.8	66.9	66.0	66.5	66.6	67.0	66.8
γv[x10^{-3}rad]	53.8	56.4	55.1	42.6	43.6	43.1	7.7	6.2	7.0
Pu [kN]	4.85	4.80	4.83	5.15	5.15	5.15	7.06	6.12	6.59
μ	1.24	1.18	1.21	1.57	1.51	1.54	8.65	10.81	9.61
Ds	0.820	0.856	0.838	0.683	0.702	0.693	0.248	0.220	0.234
0.2Pu/Ds	1.18	1.12	1.15	1.51	1.47	1.49	5.70	5.56	5.63
2/3・Pmax [kN]	3.43	3.27	3.35	3.89	3.87	3.88	5.25	4.72	4.99
$P_{(120)}$ [kN]	1.04	1.17	1.11	1.38	1.43	1.41	5.74	6.10	5.92
最小値	1.04	1.12	1.11	1.38	1.43	1.41	4.97	4.37	4.67
壁倍率	0.29	0.31	0.31	0.39	0.40	0.39	1.39	1.23	1.31

Pmax:最大耐力，γ(Pmax):最大耐力時の変形角，γy:降伏時の変形角，Py降伏耐力，
K:初期剛性，γu:終局時の変形角，γv: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法は，文献3)に従った。
最小値とは，Py，0.2Pu/Ds，2/3・Pmax，P(120)の最小値を指す。

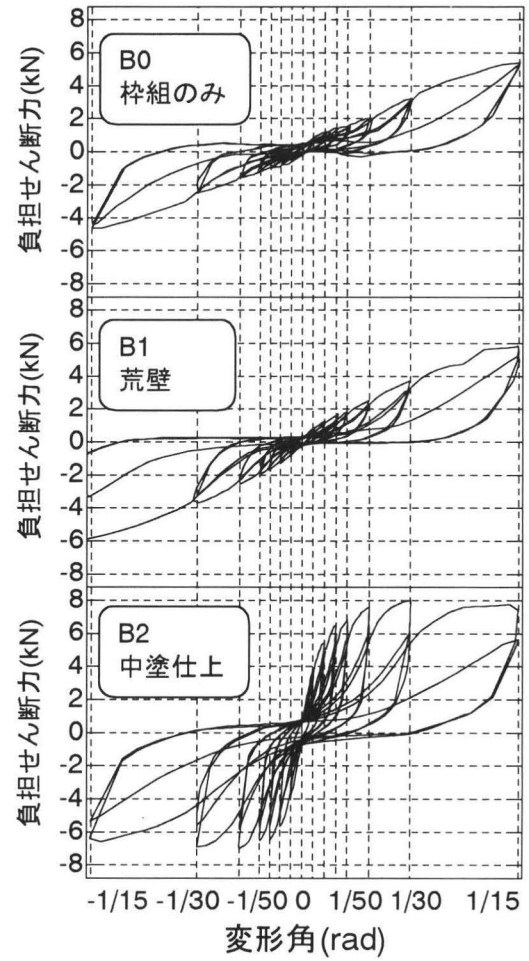


図5　荷重－変形関係

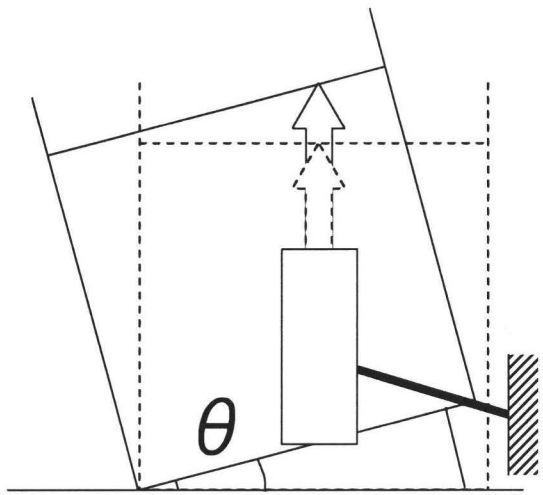


図6　柱脚部の回転の様子

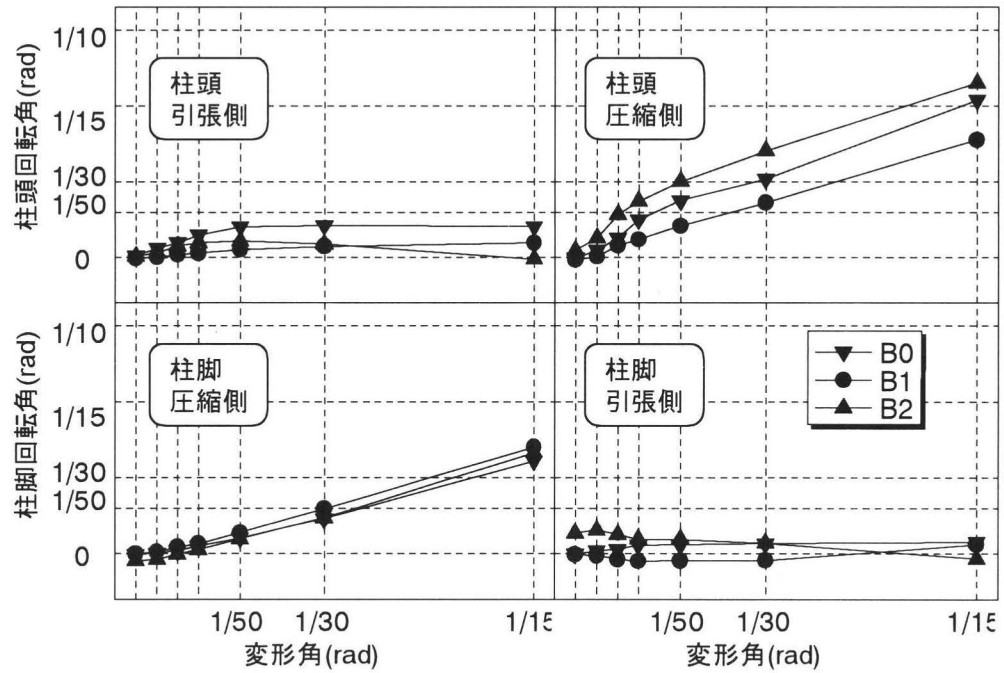


図7　柱脚および柱頭の回転角

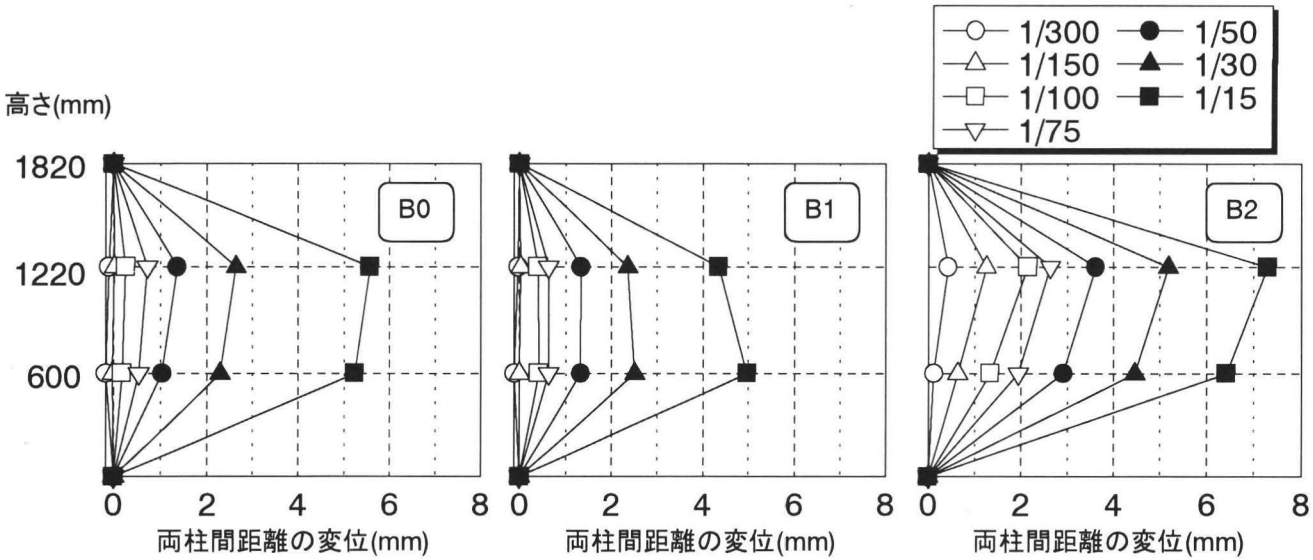


図8　面内横はらみ量

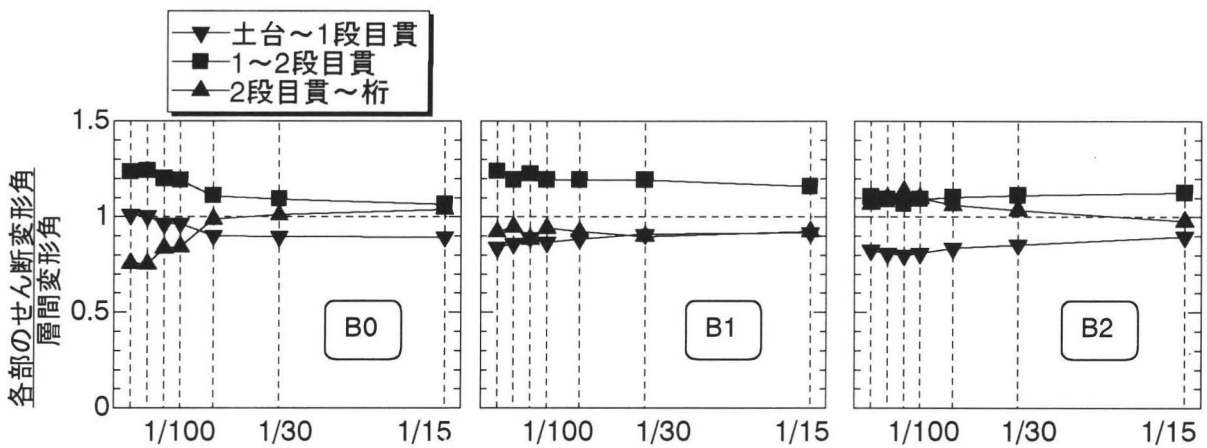


図9　各部のせん断変形の割合

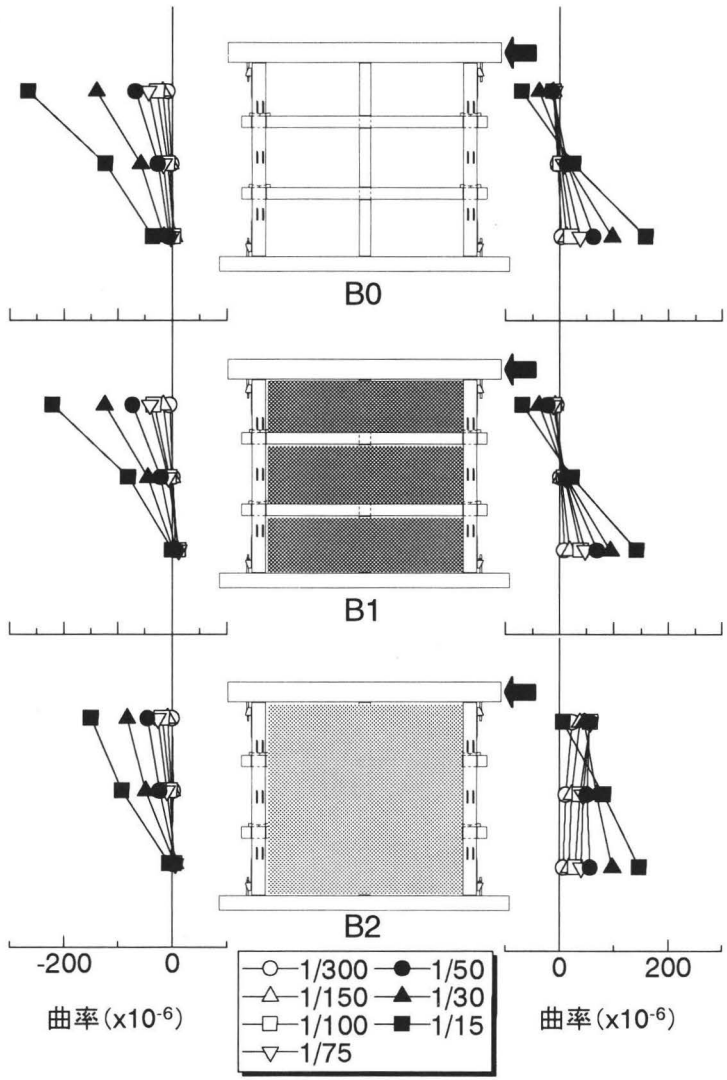


図10　柱の曲率分布

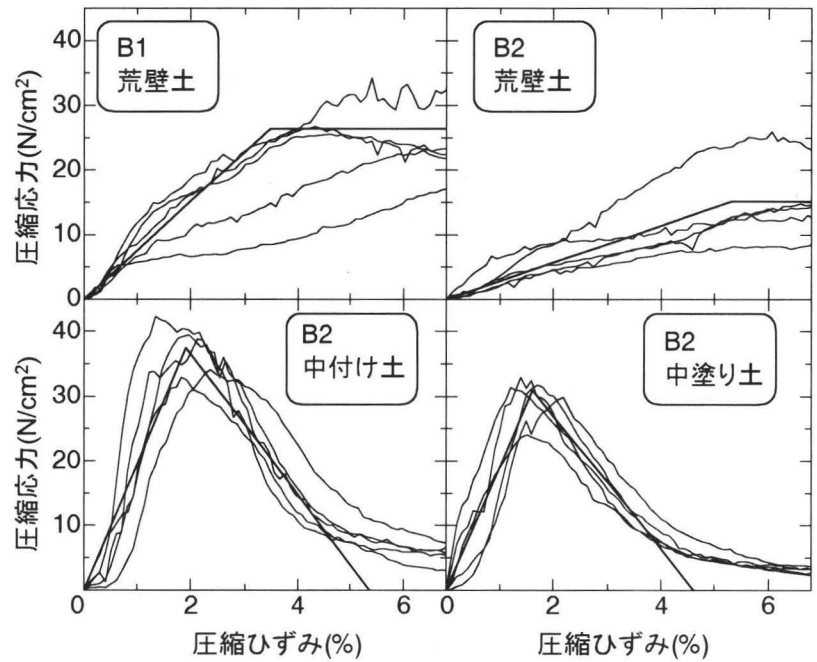
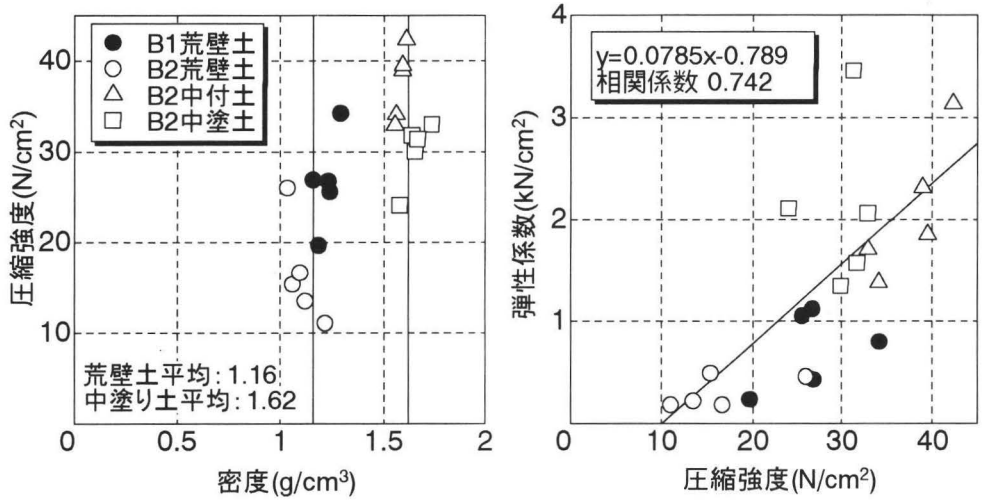


図11　塗り土の一軸圧縮試験結果



(a) 密度と圧縮強度の関係　　(b) 圧縮強度と弾性係数の関係

図12　塗り土の力学的特性

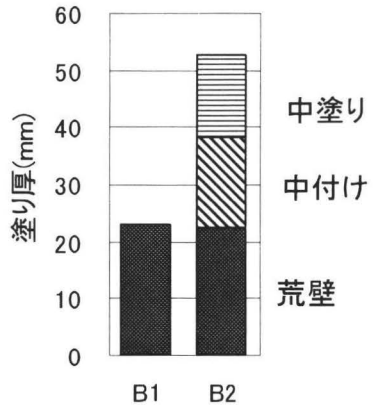


図14　各層の厚さ

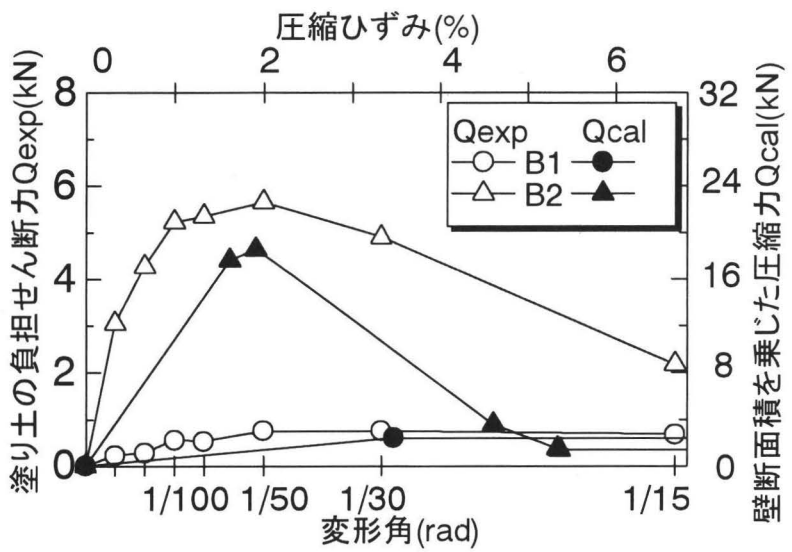


図13　塗り土の負担せん断力と圧縮試験結果との比較

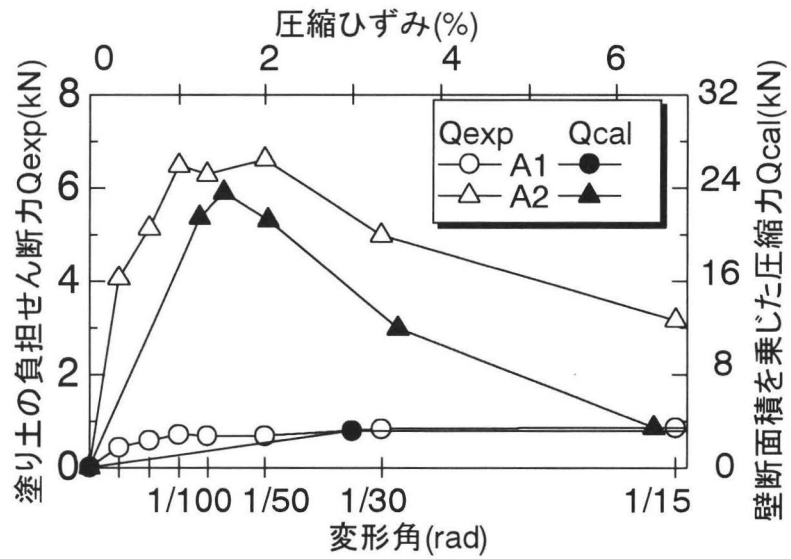


図15　Aシリーズにおける塗り土の負担せん断力と圧縮試験結果との比較

1-16 密集市街地における住宅の耐震性が周辺環境の防災安全性に与える影響

東京大学大学院工学系研究科　助手
現　ランドブレイン株式会社
宇治田　和

1. 本研究の背景と目的

(1)　研究の背景

災害に強い都市づくりの指標や，震災対策事業を優先的に実施する地域を選択する際の参考に実施されている地震危険度評価は，データおよび算定技術の精度や，評価結果の公開に伴う弊害をおそれる事情などから，数百メートルメッシュ表示などおおまかな単位により評価・表現されるものが多かった．一方，大都市内の老朽木造住宅が密集している地区をはじめとして，実際に行われている防災対策は，住民や地権者など関係者の連携・協働を最重要視することから，権利調整が難航している．従って，区画整理など大規模な施策を行うことは難しく，建築物の共同建て替えや建て替え時のセットバック，写真1に示すようなポケットパークの設置，街路の行き止まりの解消，細街路の交差点の隅切りなど家レベルや街区レベルでの小さな規模による施策に終始している．しかし，これらの施策が地区の防災性にどれほど寄与しているのかを知ることは，現状の被害想定や危険度評価手法の評価単位の大きさでは困難であり，具体的にある街区のどの家屋の地震時倒壊危険性が高いのか，その街路の特にどの箇所がブロック塀や建築物の倒壊により閉塞する危険性があるのか，といったような小さなレベルの防災性の評価に反映できるミクロなレベルでの評価方法の構築が求められている．

ここで，こうした地震災害時の危険性をミクロなレベルで検討する際，住民の防災コミュニティ活動の効果を考慮することが必要である．阪神・淡路大震災ではとりわけ古い木造住宅の建て込んだ密集市街地において，家屋倒壊や火災が多く発生し，大きな被害が発生した．震災直後，3万～4万人が倒壊した家屋のガレキの生き埋めになった．これらの人々に対し，救急隊員，自衛隊員，海外からの救援要員などによる救助が行われたが，震災直後の幹線道路の交通混雑，住宅地内の街路閉塞，電話回線の輻輳，同時多発被害による対応能力不足などにより迅速な対応ができなかった．実際，震災直後倒壊した建物の下敷きになった人々のうち，2万～3万人は一般市民の協力により救助されたと言われている[1]．

防災まちづくりのための地震時被害と緊急活動への影響の評価に関しては，現在，国土交通省が地区の防災性評価手法を，緊急活動の必要性・容易性・困難性を評価項目として開発中[2]であるが，地区内の住民の防災活動による影響は考慮されていない．阪神・淡路大震災では，直接犠牲者のうち9割以上は倒壊した建物による圧死であり、発災から5分以内で亡くなった場合がほとんどであ

り，救出されなかったために亡くなった事例は比較的少なかった．しかし，通常，発災直後は建物倒壊などにより建物から脱出できず安否が確認できない人々が多い．それに加え，大地震災害では同時多発的に広範囲にわたって被害が発生するため，消防隊員や救急隊員らによる緊急活動も通常時より大幅に遅れると予測される．したがって，捜索・救助活動を迅速かつ効率よくに進めるためには，近隣住民同士の安否確認も重要である．

(2) 研究の目的

そこで本研究では，防災対策としてどのような施策がその地域にとって効果があり得るかを検討すべく，個別世帯ごとの危険度診断や災害時のイメージ想起も兼ねながら，地震災害時の人々の協働活動を含めた多様な行動・状態を考慮した上で，地区の状況を建築物・街路・住民ごとにミクロな視点で表現できるシミュレータを開発した．そして，実際の木造密集市街地に適用し，詳細な人的・物的被害状況および，災害時に有効なオープンスペースとして期待されているポケットパークへの到達可能性などについて，倒壊建築物がもたらす街路閉塞および，建築物が密集することによる閉塞危険性の増大など，密集住宅地の災害時の外部性を考慮して分析した．

2. 研究の方法と進捗（災害時の被災状況の記述とシミュレータの開発）

(1) 災害時の被災状況の記述

本研究のシミュレータが取り扱う対象は、密集市街地における大地震発生直後から数時間程度までの被害発生と拡大である。物的被害としては、建築物の損壊（全壊・半壊など）、街路付属物の損壊（電柱などの倒壊）とそれに伴う街路閉塞現象としての街路の被災、さらに出火・延焼などの火災被害である。また、人的被害としては、屋内の人々の状態（健常・軽傷・重傷・圧死・焼死）と安否確認行動（倒壊家屋からの脱出、身の回りの人々の安否確認・救出、初期消火など）、およびポケットパークでの一時的な情報収集のための移動、一時集合場所としての小学校への移動を考えることとする。消防・救急活動など地域外からの緊急活動は取り込んでいない。

図１は大地震発生による物的被害と人的被害、および人々の緊急行動の連関を示したものである。これを見てもわかるように、災害時の建築物・街路・人それぞれの被災状態と被害の拡大、人々の行動にはインタラクションが生じる。例えば、倒壊建築物の下敷きになっている人が他の人に救助されたり、安否が確認されず下敷きのままの人へ火災延焼が迫ったり、辻広場などへの一時的な情報収集のための移動が街路閉塞により阻まれたりする様子などであるが、開発したシミュレータではこうした「密集」による被害連関・拡大現象が表現できる。

地震動から構造被害、出火・延焼、人々の被災など図１において矢印で結ばれたそれぞれの連関については、原則として既往の研究実績を利用することとし、既往の研究がない場合や本研究への適用が困難なものについては被害の因果関係に基づいて適切な仮定をおいた。また、被害状況が複数考えられる場合には、それぞれの結果に対して確率を用いて表現した。

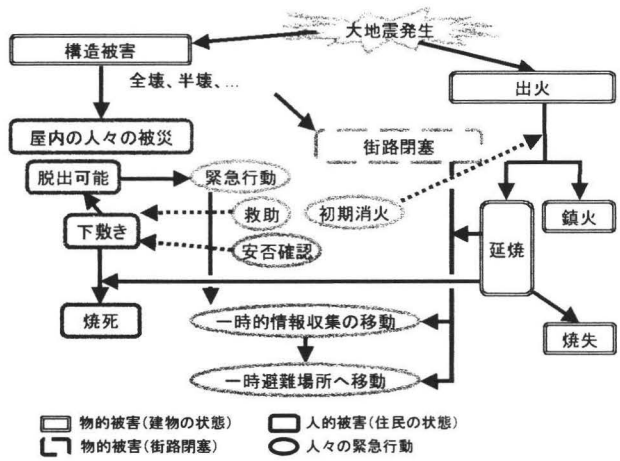


図1　地震発生直後の各被害発生とその連関

(2) 地区の被災状況の推定

①地震の強さに応じた建築物の被害

地震の強さと建築物の被害の程度との関係については非常に多くの研究があるが、本研究では岡田・高井の研究[3]を適用した。これは表1に示すように、建築物被害の程度について、「全壊」、「半壊」などといった構造被害の程度からの視点だけでなく、居住空間の損傷量にも着目しながら、複数のランクで表現している点に特徴がある。本研究では、地震後の人々の行動を扱うことから、建築物の被害の程度だけでなく、居住空間の損傷による建築物内の人々の状態や行動への影響も考慮する必要があることから、建築物の構造別に被害レベルを細かく設定して提案されている被害尺度関数を使用した。

表1　建築物の被害の類型（岡田・高井の研究[3]）

被害レベル		建築物の被災状況
無被害	D0	
一部損壊	D1	壁面の亀裂及び外装材の若干の剥落
	D2	屋根瓦・壁面のモルタルなどの大幅な剥落
半壊	D3	構造被害あり: 柱・梁・壁の一部が破壊しているが、 内部空間を欠損するような被害は生じていない
全壊	D4	構造被害あり: 柱・梁の破壊により内部空間が欠損
	D5(−)	構造被害あり: 居住空間が著しく損なわれる
	D5(+)	構造被害あり: 2階の屋根が接地しているか接地しそうである、 もしくは完全にがれき化している

②建築物の倒壊による街路閉塞

街路閉塞現象は、阪神・淡路大震災で明らかになったように、避難行動、救助活動、消火活動、救援活動など大地震発生後の緊急行動に大きな支障を及ぼす[4]。大地震による街路閉塞現象の予測や影響に関する研究は、家田らがこれまでに、地区全体としての建築物の老朽度や平均階数などから前面道路へ流出するがれき発生量を求め、閉塞確率を高精度で算出するモデルなど[5][6]が開発されてきた。本研究では建築物1棟ごとの倒壊現象を取り扱うので、分析地区全体の平均的なデータを入力とすることはできないが、ここでは分析対象地区を1地区1棟の地区の集合ととらえ、各建

築物とそれに面した街路ごとに家田らの研究を適用した。

③地震による出火と延焼について

地震による火災の発生は、地震による揺れと建築物内の人々の火気使用状況、すなわち季節と時刻に依存する。また、延焼方向と速度は建築物の外壁の材質や隣棟間隔、風向・風力、湿度に依存する。ここでは、地震火災の発生状況は神奈川県の方法を各建築物ごとに出火確率として与え、延焼状況の記述は東京消防庁が 1997 年に開発した算定式を用いることとした。

(3) 人々の被災状況・緊急行動の推定

①地震による人的被害

地震による人的被害は、地震の揺れそのものが原因ではなく、損壊した構造物の下敷きや火災延焼などによって生じる。本研究では、人々は地震発生時には全員が各自の家にいるものとし、当面、屋外の落下物や火災・延焼による被害は考慮に入れていない。構造物の損壊による内部の人々の影響については、死者発生については塩野らが提案した建物倒壊率と死者率の関係[7]を、負傷者の発生については、住家被害率と負傷者発生率の関係[8]を適用した。ここで住家被害率とは、全壊率と半壊率に重み付けをして算出された指標である。なお、これらについては建築物被害の記述同様、個別建物単位で表現する必要があるが、適用可能な既往研究がなく、かつ死傷者発生についての妥当な設定をおくのが非常に難しいことから、建築物内部の人々の死傷確率としてこれらのマクロ的な指標を便宜的に用いた。

②大地震後の安否確認行動

構造物にも被害が顕著に現れるほどの大地震が発生した場合、状況にもよるが、人々は各自の負傷および、各自の部屋での家具や同室者など身の回りの状況の確認やけが人の救助を行う。必要に応じて初期消火や周辺家屋の被害状況や人々の安否の確認を行い、さらに近隣のポケットパーク、児童遊園や一時避難場所などでさらなる情報収集を行うと考えられる。これらの安否確認・情報収集行動は、地区外からの本格的な救助活動が開始される前の段階であり、地震による火災の集団での初期消火や、地区外部からの救助活動の円滑な開始にもつながる重要な行動である。

図 2 は、地震発生からの時間経過により人々の行動の種類や、安否状況が変化する様子を示したものである。実際には、大きな揺れに伴うパニックなどもその後の行動に大きく影響すると考えられるが、ここでは心理的な影響については省略した。シミュレーションの終了時点での人々の状態は、(i)ポケットパークなど一時的な情報収集の場に移動中・到着した人、(ii)各家屋に残る人、(iii)安否がわからない人、に分かれることとなる。ここで、(ii)については、被害は少なく周辺状況の一時的な情報収集の必要はないと自ら判断して家屋に残る健常者・軽傷者、周りの人々に救助されたが自力で動けない重傷者、亡くなった人の 3 通りある。また、(iii)は、家から出られない（下敷きの）人々であり、負傷の程度によらず、たとえ健常であっても周辺の人々に発見されない人々のことである。なお、人々の状態が(i)、(ii)、(iii)それぞれに収束する時間はシミュレーション実施回により異なる。

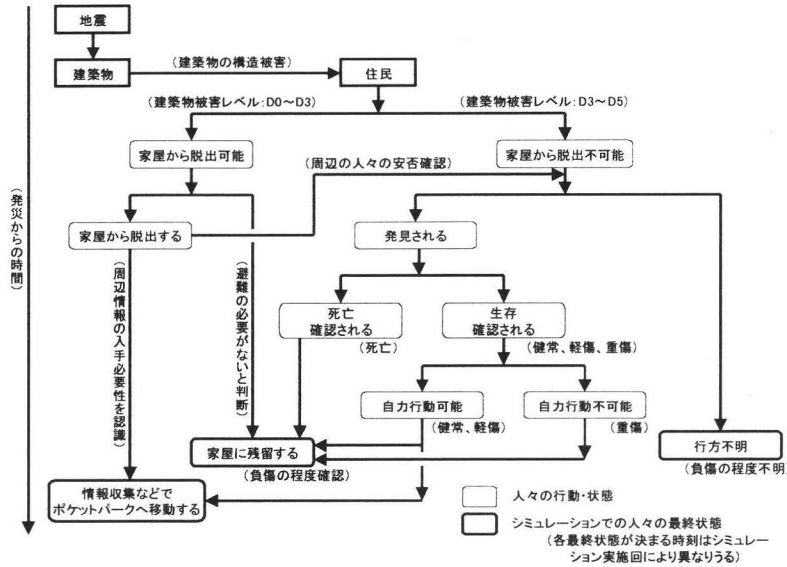


図２　人々の緊急行動・安否状況の時間変化の概略

(a)家屋からの脱出可能性

大地震が発生した時点で重傷または死亡した場合は建築物の被害レベルによらず自力行動ができないものと設定した。健常または軽傷の場合、自力行動ができるにもかかわらず、居住空間の損傷量により建築物から脱出できる場合と、脱出できない場合が考えられる。そこで、室崎の阪神・淡路大震災後のアンケート調査[9]における「生き埋め・閉じこめの際に、自力で脱出できた人」(35%)を参考に、各人がいる建築物の被害レベルがD0～D2の時は自力脱出可能、D3の時は35%の確率で自力脱出可能、D4～D5の時は自力脱出が不可能と設定した。

(b)安否確認行動

室崎による上述の調査での「家族による生き埋め救助者の割合」(32%)を、本研究における「健常者・軽傷者が被災時にいた建築物内での他の人々の安否確認を行う確率」として解釈した。同様に、避難のための移動経路上における「周辺建築物内での他の人々の安否確認を行う確率」については、同調査における「友人・隣人による生き埋め救助者の割合」(28%)を用いることにした。

(c)避難行動（一時的な情報収集行動と一時避難場所への移動）

大地震発生直後は、住民のみならず、消防・救急活動従事者、行政担当者を含めてほぼ全員が被災すると予想される。防災関係機関は大地震後、非常招集体制を敷き災害対策業務に当たるが、本研究で取り扱っている災害発生直後の時点では、こうした機関や職員自体も被災し、非常時体制を構えることに手間取ることが想像できる。したがって、住民の一時避難など緊急行動に対する防災関係者の率先的な行動を見込むことはできず、住宅地内では住民の自主的な行動が後の諸活動に影響する可能性が高い。

しかし、実際に住民それぞれが家屋からポケットパークや一時避難場所などへ情報収集に行くべきか否かの判断に当たっては、各戸の被災状況やライフラインの支障状況や、周辺家屋の被災状況、火災や延焼の危険性、周りの人々の行動、ラジオなどでの報道などにも左右されうる。本研究では、

人々の災害直後の行動選択に関するデータの制約から、各自が住まう建築物の被害レベルのみを一時的な情報収集のための避難行動選択の条件とした。建築物の被害がD0～D2レベルの場合は生活上支障がないと考えられるため、発災直後すぐには避難することはないものとした。また、D3～D5レベルの場合は、居住空間にも損傷が発生し、その建築物内で生活を続けることが困難になると考えられることから避難を行うものと設定した。ここで、大地震直後は停電することが容易に想像できるが、本シミュレーションでは現段階では昼間を想定し、阪神・淡路大震災直後のような無照明下での行動は想定しなかった。なお、避難行動を行う際には、まず最寄りのオープンスペースへ最短経路で移動し、続いて一時避難場所へ移動するよう設定した。移動に際して街路閉塞箇所では迂回を行うこととした。ここで、人々の歩行速度は、ジョン・J・フルーインの研究[10]をもとに性別、年齢層ごとに分けた。

(4) シミュレータの制作と入出力データについて

以上に述べたような、地区の建築物・街路の被災状況、人々の死傷・行動選択の条件をもとにシミュレータを制作した。計算機画面上にて地震強度として震度を入力すると各建築物の被害レベルと建築物内の人々の状態が色別に示される。健常者あるいは軽傷者で建築物から脱出することができた人々は、周辺状況を確認しながらポケットパークや一時避難場所へ移動する様子を表現できる。

ここで、シミュレータの入力データとして必要な情報は、まず建築物についてはそれぞれについて、構造、建築年代、階層、形状、出口位置などである。街路については幅員が、住民については居住建築物（世帯人数）、年齢と性別である。街路付属物は電柱の倒壊を扱うことからその位置の情報が必要である。本研究ではこれらを地図判読、住民基本台帳、現地調査などから得た。

一方、シミュレーション対象地区における防災性能としての出力は、地図上での被害表示と集計値によって示される。建築物被害については構造被害別に地図上で色表示され、火災の発生・延焼状況、倒壊により発生したガレキと街路閉塞箇所もあわせて表示される。住民個々の被災状況は、建築物被害同様、負傷程度別に地図上に色別に表示される。また、建築物の構造被害と人々の負傷程度、辻広場や一時避難場所までの到達人数などは分析対象地区全体での集計として表示される。図4に本研究にて開発されたシミュレーション画面の一例を示す。

3. 得られた成果（シミュレータを用いた密集市街地の防災施策評価）

開発したシミュレータを実際の木造密集市街地に適用し、現状で大地震時に起こりうる被害の発生特性と防災面での地区内の弱点を把握し、この地区においてコンセプトの異なる2通りの防災対策を行った際に被害が軽減される効果を分析した。

(1) 分析対象地区について

詳細な被害状況の分析対象地区として、図3に示す東京都内のある老朽木造密集市街地の数区画（面積約1ha、建築物109棟、人口310）を取り上げた。ここで人々は地区内のまちづくり広場、あるいは隣接した区画の辻広場に一時的な情報収集として向かい、その後2段階目の避難行動として一時避難場所と定められている小学校へ移動する。本拡張シミュレータは一時避難場所までの移動支障も取り扱うため、街路閉塞を引き起こす可能性のある小学校までの移動経路沿道の建築物・

電柱も被害発生の対象とした。

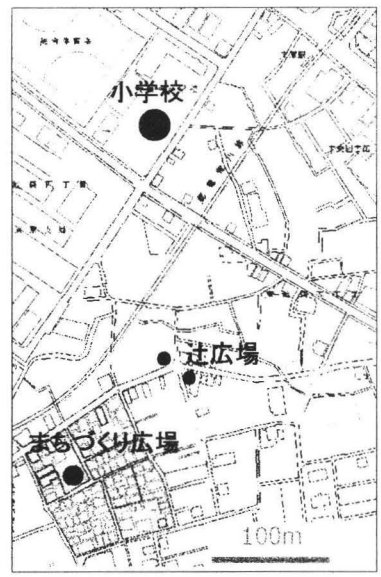


図3　詳細分析対象地区（水色部）と一時避難経路（赤線）

(2)現状での大地震時被災状況の特性についての試算

図4は現状での環境で震度6強の大地震が発生した際の被害状況の一例を示したものである。シミュレーションを複数回繰り返し実行した結果、地図上での被害発生状況の特性として以下の2点を見いだした。

①分析対象地区内には老朽木造集合住宅が多く、1棟の倒壊により同時に多数の人々が下敷きとなり、早期の安否確認に支障をきたすだけでなく、火災延焼時の危険性が懸念されること（図4の赤丸印で示した建築物）。

②一時避難場所までの経路は分析対象地区と同様の住宅密集地区を通過する必要があり、これらの経路が倒壊建築物により閉塞されることが多く、小学校まで到達できない場合が多いこと。

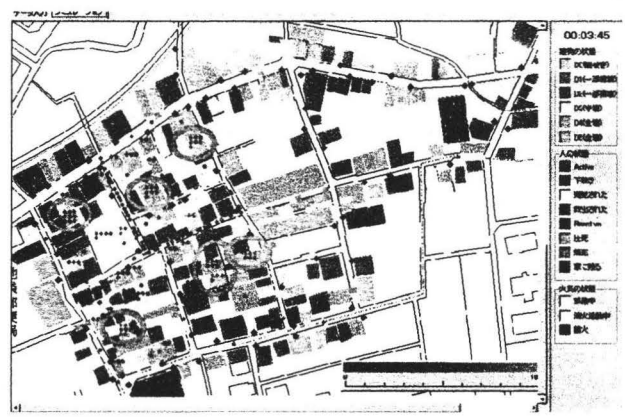


図4　現状での大地震時の被害発生状況の一例

(3)防災まちづくりによる被害軽減効果の試算

(2)で指摘した被害発生状況の特徴をもとに、分析対象地区における防災施策として、①街路整備を中心とした施策と、②建築物補強を中心とした施策の2通りについて被害発生状況を試算し、長所・短所を分析した。

①街路整備を中心とした施策

この施策は近隣の小学校までの避難経路としての防災道路の位置づけとして、図5に示すように地区内の街路とまちづくり広場に接続する幅員6m（現状では幅員2～3m）とするものである。ここでは簡単のため、街路拡幅は片側のみに拡大し、沿道の建築物は街路拡幅分だけ削られることとした。

20回のシミュレーションの結果、表2に示すように、一時避難場所まで到達できる人数は現状の2倍に増え、街路閉塞による移動支障が改善されたことがわかる。

しかし、街路が拡幅されたのは2本分のみであり、沿道老朽建築物については対策がとられていないため、街路閉塞の発生要因の一つである建築物倒壊の問題は改善できてはいない。実際、建築物の倒壊により下敷きとなり、周囲の人々に安否が確認されない人数は現状と比べほとんど変化しておらず、人的被害の本質的な軽減にはほど遠い状況であると考えられる。

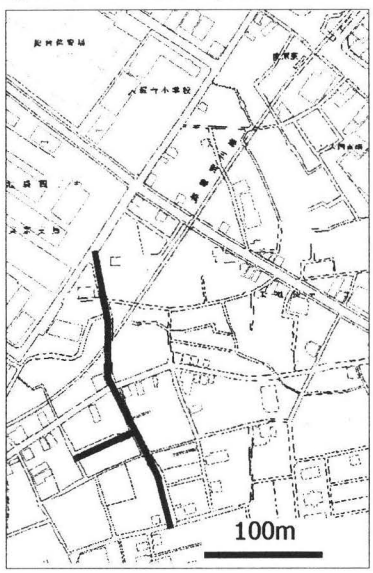


図5　防災施策①における街路拡幅箇所（青太線部分）

表2　各施策による人的被害状況の比較　（20回のシミュレーションの平均値、単位：人）

	現状	施策①	施策②
焼死	4.1	1.3	1.5
行方不明	133.3	121.2	74.5
辻広場に到達できなかった人	33.5	22.8	10.7
辻広場には到達できたが、小学校には到達できなかった人	70.5	61.5	32.6
小学校まで到達できた人	21.1	42.4	110.6
家に残留した人	31.3	33.5	64.0

②建築物補強を中心とした施策

これは分析対象地区での被害発生特性に注目した施策である。大地震後に下敷きの人々が同時多発する集合住宅に注目し、老朽木造住宅はRC造に建て替え、さらに街路閉塞による避難支障を改

善するために沿道の旧耐震木造建築物（1981年以前の建築物）は耐震補強を行うこととする。

①と同様に20回のシミュレーションの結果、表1に示すように、建て替え前には壊滅状態であった集合住宅での人的被害が大幅に改善され、地区全体としてみても倒壊建築物の下敷きにより行方不明になる人数がほぼ半減した。また、一時避難場所まで到達できる人数も施策①の約2.5倍、現状で想定される被害と比べると約5倍となった。さらに、震度6強の地震にも関わらず、周辺の被害状況を考慮して避難行動の必要がないと判断する人数も約2倍に達するなど、人的被害だけを見ても大幅に改善されることがわかる。

しかし、街路拡幅を行わず、建築物の建て替えもほとんど行わないため、建築物の隣棟間隔は変わらない。地震火災で初期消火を行わなかった場合や失敗した場合には、大規模延焼を招きうる危険があることには留意する必要がある。

4. 本研究の成果と課題

(1) 本研究の成果

本研究では，地震災害時の人々の協働活動を含めた多様な行動・状態を考慮した上で，大地震時の地区の状況を建築物・街路・住民ごとにミクロな視点で表現できるシミュレータを開発した．そして，実際の木造密集市街地に適用し，詳細な人的・物的被害状況を得た．

建築物個々の耐震性の低さがもたらす物的被害・人的被害の他，ある建築物の耐震性が良くても他の耐震性が低い建築物が密集することにより避難路が閉塞すること，およびその場所や影響など，密集市街地の地震災害時の外部性を分析することができた．また、これまで見いだせなかった防災まちづくり施策の複数の案について、効果の利点、欠点を分析することが可能となった。これにより、地区によって異なる特性をシミュレーションによって把握し、それを元に対策を立てる必要のあることを見いだした。

(2) 今後の課題・実用化へ向けて

今後，データの制約などからシミュレーションに取り込まなかった建築物の老朽度や，建築物の不整形による耐震性の違い，電柱やブロック塀，建築物に付属した落下物など街路閉塞を起こしうる工作物，路上駐車，地震による出火や延焼，消防水利の立地を加味した消火活動の影響などを取り込み，分析精度を上げる必要がある．またその際，地震の発生からの時間経過による被害波及の順序やそれに伴う人々の行動など，時間的な要素に対し留意することがより求められる．

これにより，建築物の不燃化・耐震化・セットバック，狭あい街路の交差点の隅切り化，小公園の設置，街路の拡幅・新設，電線地中化，消防水利の設置などのハード的な防災対策の他，周辺住民どうしの安否確認行動の変化（防災コミュニティ活動の活性化）といったような住民への防災啓蒙活動などに見られるソフト的な施策など，密集市街地での防災まちづくり事業でのさまざまな施策の効果の分析が可能となる．究極的には，このツールを防災まちづくりの施策立案に使用することにより，地域特性によってかわりうる防災対策として，どのような施策がその地域にとって効果があり得るかなどの検討が，個別世帯ごとの危険度診断や災害時のイメージ想起も兼ねながら可能になると考えている．

さらに今後、このシミュレータを用いて、防災まちづくりの様々な施策の効果の詳細検討や、地

震時の被害状況のデモによる住民の防災意識やまちづくりへの取り組みの変化などを調査・分析していく予定である。

【参考資料】

1)人命救助 48 時間が勝負・急がれる広域防災体制の整備：平成 13 年 1 月 17 日朝日新聞朝刊
2) 国土交通省建築研究所・国土交通省土木研究所・財団法人国土技術研究センター：防災まちづくりにおける防災性能評価手法の基本フレームと防災対策推進方策に関する調査報告書, pp.121-162, 2001.3
3)岡田成幸・高井伸雄：地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集第 524 号, pp.65-72, 1999.10
4)家田仁・上西周子・猪俣隆行・鈴木忠徳：阪神大震災における「街路閉塞現象」に着目した街路網の機能的障害とその影響, 土木学会論文集 No.576/IV-37, pp.69-82, 1997.10
5)家田仁・望月拓郎・上西周子：地震時に建築物の倒壊等によって生じる街路閉塞の危険度評価法, IATSS Review, Vol.23, No.3, pp.6-13, 1998.2
6)国際交通安全学会：阪神・淡路大震災の実態調査に基づいた震災時の道路交通マネージメントの研究, pp.272-293, 1998.3
7)塩野計司・村上ひとみ・太田裕：地震による死者数の略算式―国・地域凡庸モデルの開発―, 東濃地震科学研究所報告 3, pp.79-90, 1999
8)塩野計司・小坂俊吉：地震による死者・負傷者の予測, 地震時死傷問題に関する学際シンポジウム報告書, 人的被害研究会, pp.113-126, 1997.3
9)室崎益輝：阪神・淡路大震災における負傷と医療, 地震時死傷問題に関する学際シンポジウム報告書, 人的被害研究会, pp.77-82, 1997.3
10)ジョン・J・フルーイン,長島正充訳：歩行者の空間, 鹿島出版会, 1974.1

【本研究助成による発表論文】

UJITA, N., IEDA, H., OIKAWA, J., and Edy, P., : Development of Microscopic-Simulator of Earthquake Disaster And Related Activities of Residents in A Densely Inhabited Area & Its Effect to Urban Planning, Proceedings of 7th U.S./Japan Workshop on Urban Earthquake Hazard Reduction, 2003.3

1-17 建築解体木材の構造用材的再利用システムの構築に関する研究

名古屋大学大学院生命農学研究科
助教授　佐々木康寿

1．本研究の背景と目的

土木・建築における解体木材の多くは小片化してパルプやボード類の用材として使用されていたに過ぎず，木質系廃棄物は焼却，野積みおよび埋立投棄されてきたのが現状である。環境負荷低減型材料としての木材の特徴的機能を活かすためには，最終的焼却処分に至るまでの可使時間を可能な限り長くすることが重要である。すなわち，解体木材をいきなり小片化してパルプやボード類の用材とするのではなく，排出する解体木材の質に応じた用途に振り向け，まず，そのままの形で構造材として再利用できるようなシステムを構築することが望まれる。

この研究は，解体木材の材質や強度的性能および残存耐力を把握・評価し，質に応じた資源循環型の再生利用システム構築を提案するための基礎研究として位置づけている。そこで，解体木材の中でも（古寺院などの梁や柱として使用されていた）比較的断面の大きいものを対象に実大レベルの強度性能・残存耐力を把握し，切り欠き等の断面欠損を含む丸太・角材状態での再利用の可能性を明らかにする。次いで，材質の経年変化や材中埋没金属片等による加工上の障害を明らかにする。これと並行して解体材の小試片による強度試験を行い，強度性能を明らかにする。一方，丸太・角材状態での再利用の次のステップとして，これらの解体材より縦継ぎラミナを製造し，それぞれの性能把握と集成材化の可能性を明らかにする。最終的には，解体物件に関する情報ネットワークおよび解体材流通システムに関する調査を行い，解体木材の構造用材としての再利用システム構築の提案までを行うのが目標である。

地球温暖化防止の観点より約 20 年ほど前から森林が地球環境に果たす役割や各種材料の製造エネルギーとの関連において木材利用と地球環境保全の相互関係が世界的に論じられてきた。このような流れの中で木質構造材のリサイクル・リユースに関する認識は高まり，例えば米合衆国では軍関係の木造施設の改築にあたり解体木材の性能把握に関する研究が，米マジソンの農務省林産物研究所で開始されている。廃木材のうち最も大きなウェイトを占めている建築解体木材は一般には角材や丸太として十分再利用可能な材料になり得ると考えられ，我が国では 20 年以上前からソフト・ハード両面にわたる研究が行われているが，種々の問題から木材としての再利用が経済的にもうまくいかず，あまり行われていない。これに関する問題点の一つとして，再利用のシステム化を考える上で，例えば解体木材の（経年変化等による）材料としての性能や品質が正確に把握されていないことが挙げられる。すなわち研究例は少なく，基礎的な強度データも十分とは言い難い。本研究は，解体木材の丸太・角材状態での材質と性能，加工時における障害など個々の問題を詳細かつ正確に把握しつつ全体を統合的に理解することによって，これらの問題解決を図ろうとするものである。

取り組むべき課題は多く，計画した研究項目の幾つかはなお継続中であるが，与えられた研究期間の最終年度にあたるのでこれまでの成果をとりあえず整理することにした。

2．研究の方法

このようなシステム化を考える上で，まずは解体木材の材料としての性能や品質を把握しておく必要がある。しかし，これに関する研究例は少なく，解体木材の基礎的強度データも十分とは言いがたい。そこで，「建築解体木材のリユースシステム構築」の第一段階として，解体木材が未使用新材に比べてどの程度の強度的性質を保有しているか，実験的に確認する。本研究ではこのような目的に従い，次のような研究計画を立てた。

2．1　解体木材の実大強度試験

柱・梁として使用されていた比較的断面の大きい材を対象にして実大曲げ試験を行い，残存耐力を調べる。これより曲げ強度と曲げヤング率を求める。これらと未使用新材のデータ

（文献値）や機械的等級区分に対する構造用針葉樹材の Fb 値（建築基準法告示第 1452 号）とを比較し，解体木材のリユースをシステム化する際の建築基準法適用の可能性を調べる。

２．２　解体木材および未使用新材の無欠点小試片による強度試験

上記２．１の材料より損傷を受けていない部分より無欠点小試片を採取し，JIS に準ずる方法により引張，圧縮，曲げ，せん断，衝撃曲げ，硬さの各試験を行う。これにより得られる解体木材の強度について，統計学的手法により未使用新材との比較を行う。この場合，パラメータとして密度を基準とした比較を行う。

２．３　解体木材を利用した集成材用再生ラミナの製造と引張強度試験

解体木材の再生利用の一方法として集成材化することが考えられる。そこで，解体木材よりラミナを製造し，ラミナのヤング率と母材の強度特性との関連を検討する。次にフィンガージョイントによる縦継ぎラミナを製造し，これの引張試験を行う。これは，既に開始している一部の結果によれば，解体木材は引張に対して強度低下を起こしていると考えられるからである。

２．４　解体古材のＡＥ特性と強度予測

上記２．１～２．３で無欠点小試片による衝撃曲げ試験を除く全ての強度試験においてアコースティック・エミッション（ＡＥ）を測定する。これまでに行った結果によれば，解体木材と未使用新材のＡＥ発生特性は，解体木材の方がＡＥ発生数が多いなど，明らかに異なっている。ＡＥ発生特性を利用した強度予測の可能性について検討する。

２．５　研究組織

上記の研究計画を遂行するために次のような研究組織とした。

研究代表者：佐々木康寿（名古屋大学大学院生命農学研究科・助教授）
共同研究者：平嶋　義彦（名古屋大学大学院生命農学研究科・教授）
山崎真理子（元学振特別研究員(PD)，現阪大院基礎工・助手）
安藤　幸世（名古屋大学大学院生命農学研究科・助手）
杉原　未奈（同上・院生）
近藤　和幸（愛知県林業センター・主任研究員）
豊嶋　　勲（同上・主任研究員）
高橋　賢二（(株) 中村建築研究所・代表取締役所長）
住岡　雅将（同上・主任研究員）

３．解体物件

本研究の解体物件は以下に示す岐阜県と長野県の５寺院である。解体の様子の一例を写真3.1に示す。

智通寺（岐阜県養老郡養老町，築後約 70 年経過）
庫裏（鴨居材１本），樹種（つが）
普光寺（長野県上水内郡牧野島，築後 125 年経過）
本堂（小屋梁５本，柱２本，大引き２本），樹種（からまつ，すぎ）
長昌禅寺（長野県上田市，築後 255 年経過）
本堂（柱２本，小屋梁２本，大引き１本），樹種（からまつ，けやき）
法雲寺（長野県上伊那郡辰野町，築後 280 年経過）
本堂（柱 12 本，梁２本，根太１本，大引き１本），樹種（あかまつ）
東光寺（長野県長野市若穂町，築後 269 年経過）
本堂（梁５本，柱７本），樹種（あかまつ）

4．実大曲げ試験

4．1　供試材

実大材の曲げ試験に供した材は，上記4寺院の本堂・庫裏の解体材である。樹種はあかまつ，からまつ，けやき，すぎであり，部位は梁，柱，大引である。供試体数は 25 体であるが，それらの寸法および形状は一定ではない。加えて，ほぞ穴・貫穴・切欠き等の欠点を含んでいる。これらの実大試験体の性状を表 4.1 にまとめて示す。

4．2　曲げ試験

曲げ試験は電気油圧サーボ式の実大強度試験機（島津製作所製，容量 500kN）およびアムスラー型実大万能材料試験機（前川試験機製，容量 1000kN）を用いて，ISO に準じた方法（4点負荷法，ただし一部は中央集中負荷法）により行った。スパンは試験体梁せいの 9～17 倍（平均 14.3 倍）である。なお，切欠き等の欠点は引張側に，ほぞ穴・貫穴等は負荷方向に平行に配置した。また，外見上明らかな腐朽がある場合は，スパン外に配置するよう配慮した。

4．3　結果と考察

4. 3. 1　MOR と MOE の関係

Fig. 4.1 に曲げ強度（MOR）と曲げヤング率（MOE）の関係を示す。梁材を○（破壊）および●（破壊せず）で，柱材を□で，また大引材を△で示した。また，図中には未使用新材（あかまつ，からまつ，えぞまつ，すぎ）の強度性能に関するデータベース [1]および機械的等級区分に対する構造用針葉樹材の基準強度 Fb 値（建築基準法告示第 1452 号，全樹種グループの最小値を採用）も併せて示した。これによれば，解体木材における曲げ強度と曲げヤング率の関係は，特に梁材と柱材の約半数が未使用新材実験値の回帰直線を下回った。しかし，その強度は（梁材の1体を除いて）Fb 値の最小値を上回っており，これより建築基準法を概ね満足するものであることがわかった。（なお，Fb 値を下回った梁材の1体は，負荷点近傍の上下面に切欠きがあり，しかも同場所に上下に貫通するほぞ穴があったため，極端に性能が劣ったものと考えられる。）

解体木材のリユースをシステム化するためには，その材料強度を適当な方法で保証する必要があるが，Fig. 4.1 によれば，現行の建築基準法を適用することも可能であるように思われた。すなわち，何らかの方法によって MOE を知ることができれば，図中の Fb 値を保証強度としてリユースすることが可能であろう。

4. 3. 2　欠点を含む解体木材の曲げ強度の評価

次に，解体材の実大曲げ強度の評価について検討した。解体木材は断面形状が一定ではなく，また切欠き等の欠点を含んでいるのが一般的である。このような材の曲げ強度の評価は難しい。ここでは，杉山の提案式 [2]と木質構造設計基準 [3]の計算式を参考に，供試実大材より採取した小試験片の曲げ強度（MOR_{sc}）を基に検討した。

杉山は切欠きを引張側に含む材の曲げ強度（MOR_n）評価式として次式（1）を提案している。

$$MOR_n = M_{max} / 0.6 Z_0 \qquad \cdots\cdots \qquad (1)$$

ただし，Z_0 は切欠き部の正味断面係数である。また，切欠き背 d_n の梁背 h に対する比 K が 1/6～1/4 の範囲では係数 0.6 は過大であるとし，K が 1/4～1/2 の範囲では係数 0.6 の代わりに 0.45 程度が良いとしている。

また，わが国の現行の木質構造設計規準の断面設計用計算式を曲げ強度にまで押し広げて考えれば，次式（2）が得られる。

$$MOR_n / {}_sM_n = 0.6 Z_0 / Z = 0.6 (h-d/h)^2 \qquad \cdots\cdots \qquad (2)$$

ただし，MOR_n は切欠きを含む梁の曲げ強度，${}_sM_n$ は切欠きのない梁の曲げ強度，Z は切欠きのない断面の断面係数（矩形断面の場合，$bh^2/6$），Z_0 は切欠き部の正味断面係数（同じく $b(h-d)^2/6$），d は切欠き深さ。ここでは，切欠きのない梁の曲げ強度 ${}_sM_n$ として，供試実大材より採取した小試験片の曲げ強度（MOR_{sc}）を便宜的に採用した。

Fig. 4.2 は強度比（MOR/MOR_{sc}，MOR_n/MOR_{sc}）と切欠き係数（$(d/h)^2$）の関係について，対象とした5体の結果を示す。図中の実線は式（2）の木質構造設計規準による強度比である。これによれば，ほとんどのプロットが木質構造設計規準による強度比（実線）を下回っており，今回の材料に関する限り，式中の 0.6 は過大であり，0.2～0.3 程度が適当と考えられた。なお，図中で木質構造設計規準による強度比（実線）を大幅に上回るプロットがある。これは，材の断面形状が円形に近かったため円の断面係数を用いているが，横軸の切欠き係数は矩形断面を仮定した（$(d/h)^2$）で算出しているためである。

5．無欠点小試験片を用いた強度試験

5．1　供試材

供試材は，Table 5.1 に示すように，岐阜県および長野県下で解体された 3 寺院（築後年数は約 70，125，250 年）の本堂・庫裏の梁および鴨居より採取した。樹種はつがおよびあかまつである。なお，智通寺材（G）は伊勢湾台風（1959 年）において浸水の履歴を持つ材料である。

強度試験に用いる無欠点小試験片は，これらの材料から節，欠損を除き作製した。なお，普光寺材（F）と長昌禅寺材（C）については，これに先立って行った実大試験に供した試験体の非破壊部分を用いた。試験片の密度および含水率を Table 5.2 に示す。

5．2　試験方法

強度試験として，無欠点小試験片を用いた三点曲げ，圧縮，引張の各試験を行った。試験片の形状および試験方法は JIS Z2101 に準じた。試験片の形状および寸法について，三点曲げ試験では 17.5 (R) x 17.5 (T) x 320 (L) (mm) の角棒状，圧縮試験では 20.0 (R) x 20.0 (T) x 50.0 (L) (mm) の短柱状とした。また，引張試験の試験片は 17.5 (R) x 5.0 (T) x 320 (L) (mm) の角棒状であるが，上下の掴み部分から試験片の中央にかけては長さ 200 mm のテーパーをつけ，その中央部分に長さ 100 mm の平行部分を設けた。さらに，試験片の LT 面（板目面）には，試験機のチャックのつかみ部分に添え木をつけた。各試験に用いた試験片数は20～30 片である。

5．3　解析方法および統計処理

5. 3. 1　モンテカルロシミュレーション

各強度試験より得られた解体木材の力学特性について，統計学的手法により未使用新材との比較を試みた。ここで，未使用新材の強度データとしてある樹種を考えた場合，過去のデータは一部の地域，一部の材料に対するものであり，一般にその樹種を包括するデータは得られない。また，比較しようとする解体木材についても，それが属する樹種の母集団からランダムに抽出したものであるとは言えない。したがって，樹種というカテゴリーによる比較は不可能であると考えられる。そこで，本研究では，パラメータとして密度を考え，これを基準とした比較を行った。まず，比較対象の未使用新材強度値として，日本産主要 35 樹種に関する文献値 [4]を基に，本実験の供試材と同等の密度分布をもつ材の強度分布をモンテカルロシミュレーションにより推定した（試行回数 5000 回）。すなわち，文献値の強度－密度関係に関する回帰直線を用いて，当該密度分布を強度分布として写像した。この際，解析に用いた文献値は 35 樹種を通じてデータの分散が不均一であり，強度－密度関係を単純な回帰直線で示すことができなかった。そこで，各樹種のデータの標準偏差と密度との間に相関関係が認められたことを考慮し，重み付き回帰分析を行った。すなわち，強度データの標準偏差と密度の回帰直線 $s_i = px_i + q$ より分散 s_i^2 を求め，この分散に反比例する重み w_i を導入した（回帰直線を求めるために必要となる，X，Y データの平均値，平方和，積和などのすべてを重み w_i で除する）。

$$w_i = k / s_i^2 \quad (k \text{は定数})$$

また，モンテカルロシミュレーションでは，任意の密度分布を抽出するために，現実の分布（当該密度分布）に類似した密度分布の乱数を発生させる必要がある。一般には，現実の分

布を正規分布等の理論分布で表し，これを用いることが多い。しかし，解体木材を対象とした場合，必ずしもその物性や力学特性値が理論分布で表されるとは限らない。そこで，本研究では，当該密度分布に対して理論分布は用いず，強度試験に用いた試験片の密度分布による累積度数を用いた。

5. 3. 2 Kolmogorov-Smirnov 検定

解体木材の実験値と未使用新材の推定強度分布について，両者間の差異の有無を検討するために，Kolmogorov-Smirnov 検定（KS 検定）を行った。すなわち，帰無仮説「解体木材の実験結果は，未使用新材の推定強度分布からランダムに抽出したものである」が有意水準 1 %または 5 %で棄却されるかどうかを検定した。

5．4 結果と考察

各強度試験の結果得られた力学特性値を Table 5.3 に示す。

これらの結果について前の５．３節で述べた統計解析を行い，未使用新材の強度に対する比較検討を行った。検定結果を Fig. 5.1 および Table 5.4 に示す。Fig. 5.1 では各解体木材の強度（図中のプロット）と未使用新材の推定強度分布（図中の曲線）をあわせて示した。これによれば，圧縮（△），曲げ（○）の各強度に関して，解体木材の強度は未使用新材と同程度であり，むしろ解体木材の方が大きな値（ 1 %有意）を示すものもあった（Fig. 5.1 (c) 中の圧縮および曲げ）。これに対して，引張強度（＋）を見ると，Fig. 5.1 (a)～(c)のいずれの解体木材についても，顕著な強度低下が認められた。さらに，一般に，木材の引張強度は曲げ強度より大きな値となるが，Fig. 5.1 を見ると，解体木材の引張強度は曲げ強度以下の値となっており，低下の著しいことがわかった。これに関して，試験片の破壊形態を整理すると，引張試験の場合には ASTM 等で示されている標準的な破壊形態とは異なる形態が多く見られた。すなわち，Figs. 5.2-5.3 に示すように，繊維方向に対して斜めに脆性的な割裂破断をするものが多く見られた。また，曲げについて調べると，実大材・無欠点小試験片ともに，ほとんどの試験体で引張側のせん断破壊が見られ，反対に圧縮側の座屈破壊はあまり見られなかった（Fig. 5.4)。すなわち，曲げ破壊には引張の影響が比較的強かったことが窺われる。以上より，解体木材は特に引張に対して強度低下を起こしていると考えられる。

一方，引張ヤング率に関して性能の低下は認められず，反対に，圧縮ヤング率において有意な低下が認められた（有意水準 1%)。また，G 材は，他の２材料と異なり，引張強度を除く全ての力学特性値が未使用新材より大きかった。G 材は３材料の中で最も経年履歴が短く，また，他の２材料がアカマツであるのに対して G 材はツガであり，樹種が異なる。しかし，今回の実験結果がこのような経年履歴や樹種の違いによるものであるかどうかは定かでない。

5．5 結論

本章の結果は以下の通りである。

（1）解体木材の引張強度は，未使用新材に比べて低下した。

（2）解体木材の圧縮ヤング率は，G 材を除き低下した。

（3）G 材の力学特性値は，引張強度を除き増大した。

本章では，解体木材の力学特性を評価する際，比較対象である未使用新材の力学特性値において，国産材の広範囲にわたる密度と強度の関係を求め，この関係を用いて，解体木材と同等の密度分布に対する推定強度分布をモンテカルロシミュレーションにより得た。この手法によれば，たとえば，産地，樹種といった木材の力学特性値に影響するさまざまな因子を考慮する必要がなく，解体木材のようにその経歴が不明瞭な材料の力学特性を評価する上で，有効な方法であるといえる。

6．フィンガージョイントによる縦継ぎラミナの引張強度

6．1 供試材

供試材料は東光寺（築後269年経過）の梁材５本（TA～TE，あかまつ），および法雲寺（築後 280 年経過）の梁材２本（HA，HB，あかまつ），柱材２本（H3，H4，あかまつ）より採取した。これらの材から大きな節や虫食いなどの欠点をできるだけ含まないよう，厚さ 20 mm，幅 100 mm，長さ 100 mm の板材（ラミナ）を製材し，166 枚の材を得た。（内訳は，TA 54 枚，TB 32 枚，TC 18 枚，TD 7 枚，TE 28 枚，HA 10 枚，HB 8 枚，H3 5 枚，H4 4 枚であった。）製材の様子を写真 6.1 に示す。これらの材について，打撃（縦振動）法によりヤング係数を測定した。なお，これらは後述（６．４節）するように縦継ぎ用供試材としては材質的に余り良いものではなかった。並行して行った無欠点小試験片による強度試験用材として，多くを廻したためである。

６．２　ジョイントするラミナの組合せ

上で測定したヤング係数をもとにジョイントするラミナの組合せを決定した。既往の研究[5]によれば，ヤング係数の異なる異質材ジョイントの強度特性（ヤング係数，引張強度）の平均値は同質材ジョイントの強度特性の平均値とほぼ同等であり，また，ばらつきの少ないことが報告されている。今回の供試解体材について，実際に構造用材的リユースを考えた場合，切欠き等の欠点が多く，一体の解体材からそれほど多くのラミナを採取することは無理と考えられた。そこで，同質材同士のジョイントよりも異質材同士のジョイントの方が現実的であろうと考え，ここでは，ジョイントする２枚のラミナのヤング係数はランダムに選び，組み合わせた。

６．３　フィンガージョイント

フィンガーの形状および寸法を図 6.1 に示す。使用したカッター（兼房㈱製 E-18.5-0.65）は構造用として一般的に使用されているもので ℓ=18.5mm，p=5mm，tan θ=1/10.28，b=0.65，t=0.75mm である。フィンガー加工機の条件は，主軸回転数 3000rpm，カッターは超硬付刃４枚刃スパイラルセット，送り速度は約 10m/min，垂直型加工（Ｖ型，材幅の広い面に刃型が見えるもの）とした。接合条件は，レゾルシノール樹脂接着剤と硬化剤（15%）（以上松栄化学工業㈱製 SR-160，および NA），片面塗布，エンドプレッシャー6MPa，養生期間は室温で１ヶ月とした。養生後，試験体の両面（材面の広い面）をプレーナーで表面仕上げをした。これにより試験体の最終的寸法は厚さ 19mm，幅 100mm，長さ 1980mm となった。製作した試験体数は 78 体である。

６．４　目視等級区分による試験体の内訳

上で製作した 78 体の試験体を構造用集成材の日本農林規格に従い目視等級区分した結果，１級７体（9%），２級８体（10%），３級９体（11%），４級 14 体（18%），等級外（これを便宜的に５級とする）40 体（52%）であった。このように，今回の実験では低い等級に偏ってしまったが，これは並行して行った無欠点小試験片による強度試験用材として良材を優先的に配分したためである。解体材から得られる材が，必ずしもこのように低い等級の材ばかりではない。

６．５　引張試験

試験は実大引張試験機（島津製作所製 UHG1000kNA-2，容量 300kN）を用いて試験体の長軸方向に引張負荷した。負荷速度は 3mm/min であった。試験体の引張変位は縦継ぎ部の両側面に取り付けた高感度変位計（精度 1/500mm，計測スパン約 90mm）により，また試験機のストローク変位も試験機内臓の高感度変位計によりそれぞれ測定した。負荷は定速変位制御（3mm/min）で行った。負荷開始後，最大荷重到達までに要した時間は約１～３分であった。荷重および変位の測定はデータロガーを用いて行った（サンプリング周期 2Hz）。

６．６　結果と考察

6．6．1　破壊性状

本実験による試験体の破壊性状は 3 種類に大別することができた。これらを写真 6.2(a)～(c)に示す。すなわち，縦継ぎ部のフィンガーで引張破断したもの（写真 6.2(a)），節および節周囲の繊維走向の乱れが原因となって材軸に対し斜めに破断したもの（写真 6.2(b)），節とは関係なく繊維走向の乱れが原因となって材軸に対し斜めに破断したもの（写真 6.2(c)），である。

縦継ぎ部のフィンガーで破断した試験体は 78 体中 21 体（27%）であった。節および節周囲の繊維走向の乱れが原因となって材軸に対し斜めに破断したものは 78 体中 20 体（26%），節とは関係なく繊維走向の乱れが原因となって材軸に対し斜めに破断したものは 37 体（47%）で，これらの引張強さはフィンガーで引張破壊したものに比較して若干劣っていた。なお，目視等級区分により 1～4 級に区分された試験体は 5 級と比べてフィンガーで破断したものが多かった。逆に 5 級のものは節とは関係なく繊維走向の乱れが原因となって材軸に対し斜めに破断したものが多かった。

6. 6. 2 引張強度

表 6.1 に縦継ぎ材 78 体の引張強度を示す。表には本縦継ぎ材と同じ材より採取した無欠点小試験片（JIS に準ずる）による引張強度値も示した。これより明らかなように，本縦継ぎ材の引張強度は無欠点小試片のそれと比較して極めて小さな値となった。縦継ぎ材の材質（節，繊維走向など）の良くなかったことが原因として挙げられる。

図 6.2 に目視等級区分別の引張強度を示す。これより，各等級に区分された縦継ぎ材は JAS 基準平均値および 5%下限値を共に満たさず，辛うじて縦継ぎ材 1 級の平均値が JAS 3 級の基準値を上回る程度であった。また，本縦継ぎ材の引張強度は全体的に低いが，5 級から 1 級に向かって増大する傾向にあり，目視等級区分は解体古材のような材料に対しても有効であると考えられた。

6. 6. 3 引張ヤング係数

表 6.2 に縦継ぎ材の引張ヤング係数を示す。無欠点小試片の値も示した。引張強度と同じように無欠点小試片の引張ヤング係数は一般的な値となっているが，縦継ぎ材では絶対的に小さな値となっている。節，繊維走向など材質的な問題と縦継ぎしたことが原因として考えられる。なお，引張ヤング係数を目視等級区分別に見た場合，引張強度と同じように等級が上がるにつれてヤング係数も増大する傾向にあった。

6. 6. 4 引張強度と引張ヤング係数

図 6.3 に縦継ぎ材の強度とヤング係数の関係を示す。多くの木材に見られるように，両者は良好な直線関係（相関係数 0.87）を示した。これより何らかの方法でヤング係数を知ることができれば引張強度の予測が可能になると考えられる。

図 6.4 には両者の関係を破壊性状別（3 種）に示した。いずれの破壊性状においても両者の関係は良好な直線関係を示す。これによれば，フィンガージョイントで引張破壊したものの強度が若干大きめであった。

7．解体古材のＡＥ特性と強度予測

アコースティック・エミッション（ＡＥ）は固体が変形もしくは破壊するときに発生する超音波であるが，弾性エネルギの解放に伴って発生すると考えられている。このＡＥを計測することにより，強度を予測したり微視的破壊の進行をモニタリングすることが可能である。

木材は複雑な構造を有しているが，木材を構成する組織や細胞の形状・配列には一定の方向性がみられるので，その破壊過程で発生するＡＥには，その組織構造に対応した挙動が観察されることが期待できる。

ここでは，解体古材でのＡＥ測定がこれまで行われていないことを考慮し，その基礎的知見を得ると共に，ＡＥ発生特性を利用した強度予測の可能性について検討した。

7．1　供試材料

上で述べた実大材，無欠点小試片およびフィンガージョイントによる縦継ぎ材とした。

7．2　試験方法

強度試験方法は前項と同様である。ＡＥの測定には島津製作所製 SAE1000A を用いた。ＡＥ変換子には差動型変換子（材料：PZT，島津 S20DSA，共振周波数 200kHz）を用いた。ＡＥ波は，100～500kHz のバンドパスフィルタを通した後，プリアンプ（40dB），メインアンプ（20dB）で増幅し，包絡線検波し，しきい値（41mV）以上の振幅を持つＡＥを計測した。しきい値は，外部雑音を避けるためにブランクテストを行い，その結果より設定した。ＡＥ変換子と試験体との接触については，実大材およびフィンガージョイント材にはシアノアクリレート系接着剤を，無欠点小試片には輪ゴムを，それぞれ用いた。また，ＡＥ変換子と試験体の接触部には音波の伝搬をよくするためにシリコーングリスを塗布した。

7．3　結果と考察

図 7.1 には，無欠点小試片の引張試験で計測された応力－ＡＥ事象総数曲線の典型例を示す。比較のために同一樹種の未使用新材での結果も示した。解体古材の方がＡＥ発生開始が早く，また，最大応力に至るまでに発生するＡＥ数が多い傾向があった。他の負荷方法でも同様の傾向であった。ＡＥは顕微鏡では確認できない微小なクラックを発生源とする場合が多いが，このことから，解体古材には未使用新材と比較して多くの微小なクラックがすでに存在していた，あるいは，小さい負荷により発現するクラックが多かったことが窺える。解体古材においては，永年に渡る乾湿繰り返しあるいは温冷繰り返しを受けながらのクリープ変形のために，木材の微小構造における不連続点（仮道管と放射柔細胞との交差域または仮道管末端など）にクラックが発生しやすくなっていたことが想像できる。

ところで，微小クラックの存在が材料の強度に与える影響については諸説がある。クラックが多く存在しているためそれらが連結して最終破断に至る確率が高くなるため強度が下がるという説と，逆に，応力集中源となるクラックが多く存在するために，応力の再分布を促し易くなり強度が上がるという説である。負荷方法により木材を構成する個々の組織にかかる力の大きさおよび方向が違ってくるので，それぞれの負荷方法によりクラックの影響の現れ方は異なると考えられる。

図 7.2 には，実大材におけるＡＥ50 カウント時の荷重と比例限度荷重との関係を示す。両者の間に高い正の直線関係が認められた。ＡＥは他の検出方法では困難な初期段階での構造変化に敏感に反応して発生するのが大きな特徴である。この場合のＡＥ50 カウント時の荷重は，ほぼ比例限度以下であることを考慮すると，材料に不可逆的な損傷を与えずに比例限度荷重を予想することができる，すなわち，非破壊検査法としてのＡＥ適用の可能性を示唆する結果が得られた。

図 7.3 には，フィンガージョイント材におけるＡＥ100 カウント時の荷重と最大荷重との関係を示す。両者の間に高い正の直線関係が認められた。ＡＥ100 カウント時の荷重は，ほぼ比例限度以下であることを考慮すると，材料に不可逆的な損傷を与えずに最大荷重を予想することができる，すなわち，非破壊検査法としてのＡＥ適用の可能性を示唆する結果が得られた。

8．　解体材の製材時における障害

製材に際して，解体材に埋没した釘等金属片除去のための位置特定は非常に難しかった。また，位置特定ができても除去作業は長時間を要するか，できない場合もあった。特に，築後 100 年以上経た寺院建築の解体材であるため，今日見ることのない特殊な釘等の金属片が，頭なしで途中から折れて材中深く埋没し表面から隠れている場合が多くあり，これらの除去に手間取った。今回 13 本の主に梁材を製材したが，埋没金属片に鋸刃が触れ，刃物先端部の特殊鋼溶接および目立てのため 3 本の帯鋸を交換した。金属片の除去は，製材作業の能率に直接影響する。金属片の探知が作業上の大きな焦点となることは事前に予想されたが，効

率の良い探知方法と除去法の開発は，解体木材のリユースをシステム化する上で，今後大きな課題となろう。

金属片の探知には，金属探知機の導入が有効であると考えられる。金属片除去装置を新しく開発し，探知除去システムの開発が望まれる。

まとめ

土木・建築における木質廃棄物の再利用率は 40%弱と言われており，混合廃棄物や汚泥に次いで木材の再利用率が低い。しかも再利用のほとんどが小片（チップ）化されてパルプやボード類の用材として使用されている。これらについて各種無機・有機物と複合しボード化するなどの研究報告は多い。しかしながら，このような再利用形態は製造に要するエネルギーや再び廃棄物となる時の処理または再々利用を考える場合，必ずしも有効な再利用策とは考えにくい。すなわち，解体材の利用形態は図 9 のように考えることができよう。図の中の流れにおいて，図中の下方に向かう（再構成化に向かう）ほどエントロピーは増大し，環境負荷低減・循環再生の観点からは好ましくない。エントロピーの増大を避けるためには，できるだけ大きい形のままで利用するのが好ましい。これらの問題を解決し，木材の（生産に要するエネルギーが少なく，CO_2 の貯蔵機能も有する）特徴的機能を活かすためには，分別解体の推進とそのための技術開発・普及のもとに最終的焼却処分に至るまでの可使時間を可能な限り長くすることが重要である。

本研究では，解体木材をいきなり小片化してパルプやボード類の用材とするのではなく，まずそのままの形で構造材として再利用できるようなシステムの構築を提案するための基礎資料を得ようとした。その結果，これらの材は何らかの方法（例えば実際に曲げ荷重を負荷するか，振動法など）で MOE を知ることができれば，現行の建築基準法で与えられた機械的等級区分に対する構造用材の基準強度 Fb 値によりその強度を保証することができ，リユースが十分可能となることが示唆された。（あまりに小さい MOE を示す材は別の用途を検討することになろう。）

また，木材が環境負荷低減型かつ循環型の構造材料であることを意識し，排出時そのままの形で利用するという考え方に加え，解体材を原料として再生ラミナを製造し集成材化の可能性を検討しようとした。その結果，今回用いた供試ラミナは材質的にあまり状態の良いものではなかったこともあり，引張強度・引張ヤング係数は全体に小さめに偏ってしまったが，このような問題点は，集成材の断面設計時における工夫や，用途次第で十分再利用が可能となろう。

この過程においては，材中に埋没した金属片の探知・除去という問題は困難を伴うと同時に新技術開発の萌芽を提供した。加えて，埋没金属片にも耐えうる加工機械・加工方法に関する新しい技術開発の芽があると考えられる。

参考文献

1) 森林総研強度性能研究会：「製材品の強度性能に関するデータベース」データ集＜５＞，(2001).
2) 杉山英男，前田一彦：切欠きを持つ製材の曲げ試験資料と設計法についての寸考（第 1 報），木材学会誌，36 (6)，491-496 (1990)
3) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，18-19 (2002)
4) 中井　孝，山井良三郎：日本産主要樹種の性質　日本産主要 35 樹種の強度的性質，林業試験場研究報告，319，13-46(1982).
5) 星　通，林　知行：構造用たてつぎ材の強度特性（第 1 報）スギたてつぎ材の曲げ・引張強度特性，木材学会誌，37 (3)，194-199 (1991)

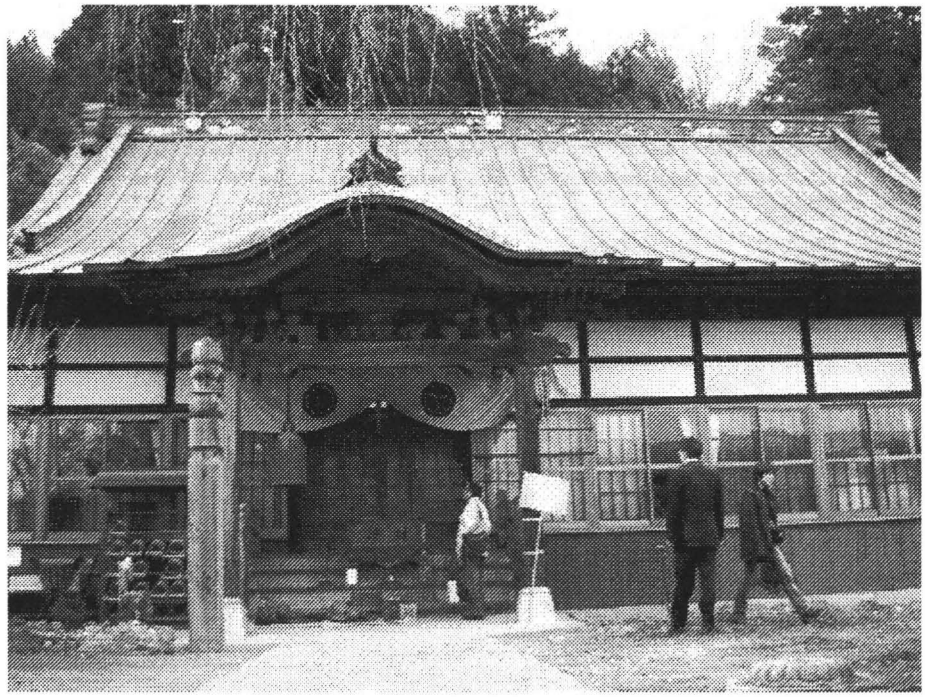




写真 3.1 法雲寺

表 4.1 実大試験体の性状

供試材記号	寺院名称	使用部位	築後年数	樹種名	主な欠点	断面形状	長さ(cm)	断面寸法(cm)	含水率(%)
F1	普光寺	小屋梁	125年	からまつ		○	313	30.8	15.9
FF1		小屋梁		からまつ		○	438	27.0	
(FF1-2)		小屋梁		からまつ		○	438	27.0	
F3-1		小屋梁		からまつ		○	470	32.0	
(F3-3)		小屋梁		からまつ		○	470	32.0	
F4		柱		すぎ		□	470	17.0x17.0	
FF4		柱		すぎ		□	267	16.8x16.8	
F6		大引き		からまつ		□	267	18.0x15.0	
FF6		大引き		からまつ		□	220	17.5x14.5	
C3	長昌禅寺	大引き	255年	からまつ		□	220	19.0x16.0	
C4		小屋梁		からまつ		○	369	23.5	13.2
CC4		小屋梁		からまつ		○	360	25.3	
C2-2		柱		けやき		○	419	25.0	
C6		柱		からまつ		□	412	15.0x15.0	
TA	東光寺	梁	269年	あかまつ	切欠き	□	896	32.7x24.3	19.2
TB		梁		あかまつ	割れ	○	587	28.2x27.7	12.8
TC		梁		あかまつ	ほぞ穴	○	500	25.0x25.0	7.8
TD		梁		あかまつ	ほぞ穴	○	395	24.0x24.5	8.4
TE		梁		あかまつ	節	○	595	33.0x28.5	9.0
T1		柱		あかまつ	貫穴	□	364	14.0x13.9	13.0
T4		柱		あかまつ	割れ	□	337	17.8x17.9	13.0
HA	法雲寺	梁	280年	あかまつ	切欠き	○	668	26.3x27.0	12.0
HB		梁		あかまつ	切欠き	□	538	19.0x17.0	8.0
H3		柱		あかまつ	節	□	381	17.7x18.0	14.5
H8		柱		あかまつ	切欠き	□	343	14.7x14.5	14.0
H10		柱		あかまつ	節	□	274	17.7x17.8	17.0
H12		柱		あかまつ	割れ	□	316	17.3x18.2	15.4

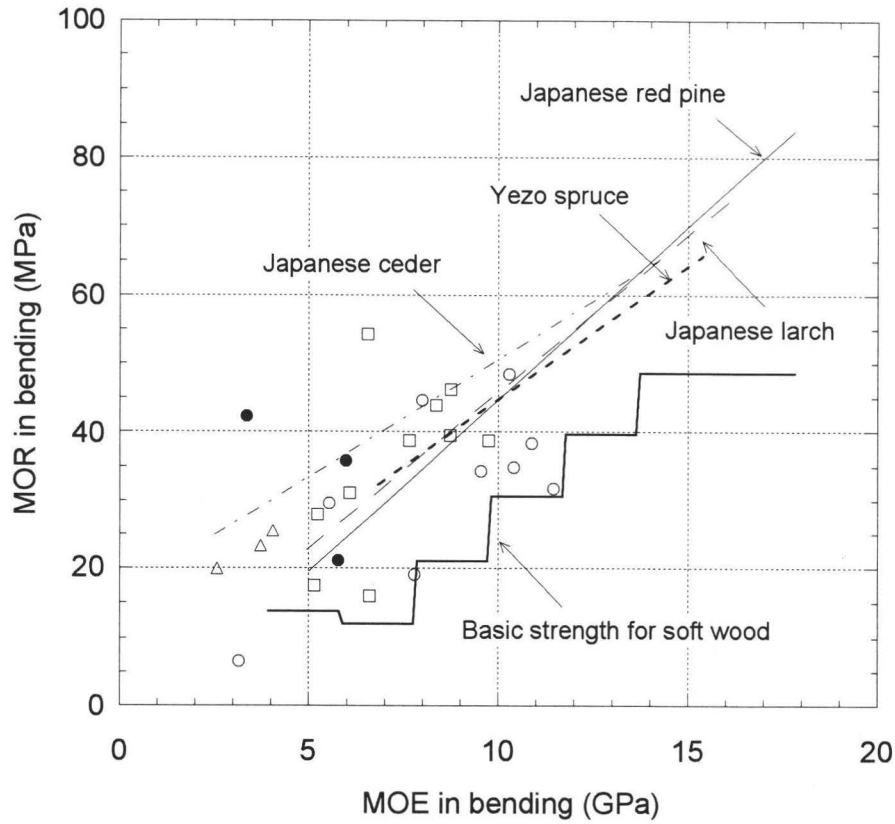


Fig. 4.1 Relationships between MOR and MOE in bending.

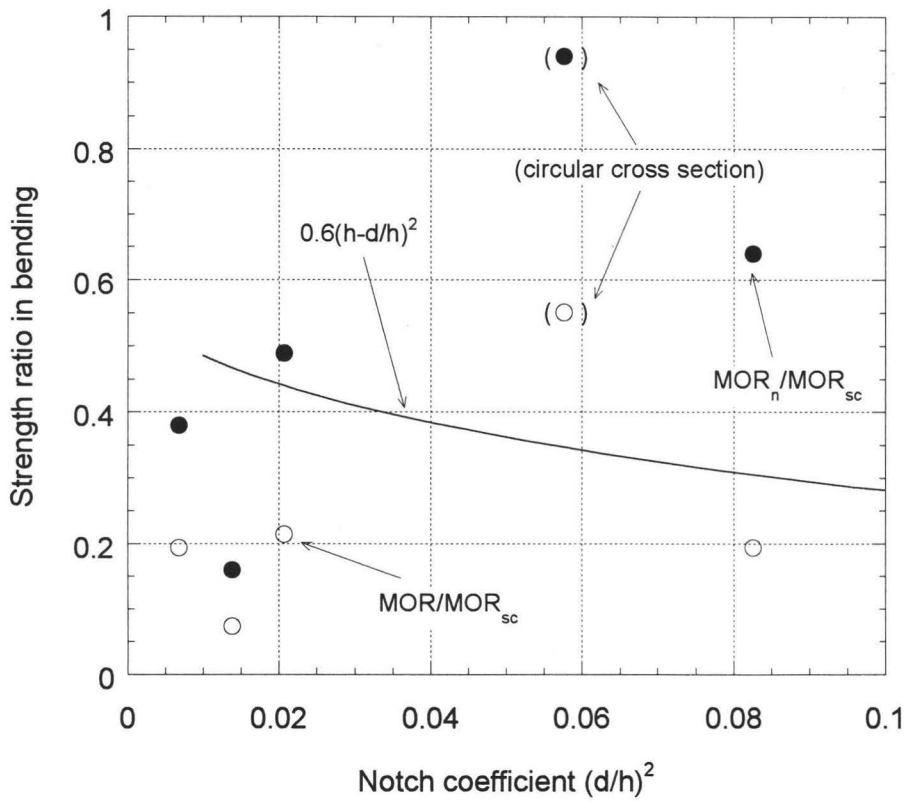


Fig. 4.2 Relationships between strength ratio and notch coefficient.

Table 5. 1 Profiles of materials

No.	Species	Temple names	Building ages	Building types	Member types	Places
F	Red pine	Fukou-ji	125 yrs.	Main Hall	Beam	Kamiminai-gun, Nagano-pre.
C	Red pine	Choushouzen-ji	250 yrs.	Main Hall	Beam	Ueda-city, Nagano-pre.
G	Hemlock	Chituu-ji	70-100 yrs.	Priests' living quarters	Lintel	Yourou-gun, Gifu-pre.

Table 5. 2 Physical properties of specimens

No.		Density (g/cm^3)	Moisture contents (%)	
			After the actual size tests	After the mechanical tests for small spesimens
F	Number of specimens	110	50	50
	Mean	0.55	15.8	9.5
	Standard deviation	0.07	1.7	0.3
	Coefficient of variation	0.12	0.1	0.03
C	Number of specimens	105	50	50
	Mean	0.47	13.1	9.3
	Standard deviation	0.04	3.2	0.2
	Coefficient of variation	0.08	0.2	0.02
G	Number of specimens	101	—	50
	Mean	0.59	—	9.3
	Standard deviation	0.03	—	0.2
	Coefficient of variation	0.05	—	0.02

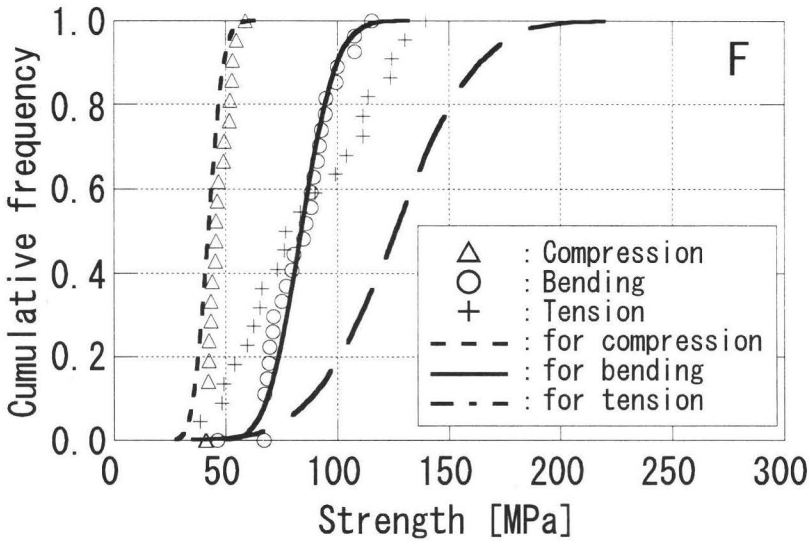
Table 5. 3 Mechanical properties of specimens

No.		Strength σ_L			Young's moduli E_L		
		Bending	Compression	Tension	Bending	Compression	Tension
		MPa			GPa		
F	Number of specimens	21	29	20	21	29	20
	Mean	118.9	67.5	103.0	12.0	14.1	12.6
	Standard deviation	14.9	3.9	17.5	1.1	1.8	1.7
	Coefficient of variation	0.13	0.06	0.17	0.09	0.13	0.13
C	Number of specimens	27	21	22	27	20	22
	Mean	84.2	47.1	86.3	9.6	8.2	10.7
	Standard deviation	15.5	5.0	30.0	2.3	1.1	2.4
	Coefficient of variation	0.18	0.11	0.35	0.24	0.13	0.22
G	Number of specimens	26	22	23	26	22	23
	Mean	72.8	45.8	72.3	9.1	7.4	10.1
	Standard deviation	10.7	5.3	16.4	1.2	1.0	1.3
	Coefficient of variation	0.15	0.12	0.23	0.14	0.14	0.13

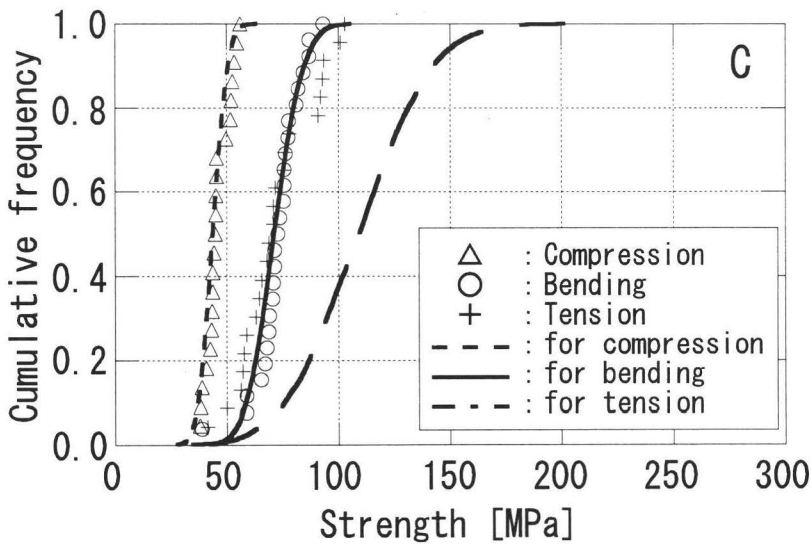
Table 5. 4 Results of statistical tests with Kolmogorov-Smirnov test (Siginificant level = 1%)

	Strength			Young's moduli		
No.	Bending	Compression	Tension	Bending	Compression	Tension
F	NS	NS (High)	Low	NS	Low	NS
C	NS	NS	Low	NS	Low	NS
G	High	High	Low	High	High	High

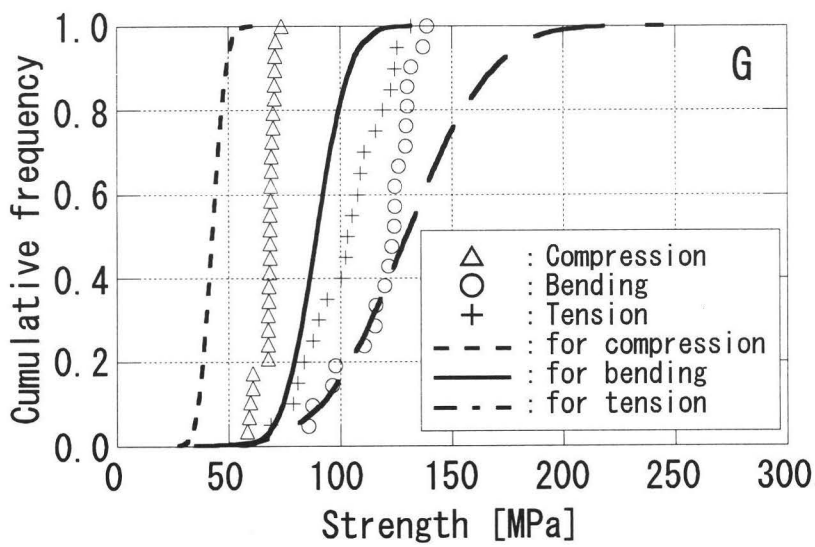
Note: NS: Not signnificant; High: The strength of used wood was siginificantly higher than the simulated strength of new wood; Low: The strength of used wood was significantly lower than the simulated strength of new wood; ( ): Result of 5% significant level.



(a) F (Red pine, 125yrs)



(b) C (Red pine, 250yrs)



(c) G (Japanese hemlock, 100yrs)

Fig. 5.1. Comparison with strength for used wood and the simulated strength of new wood.

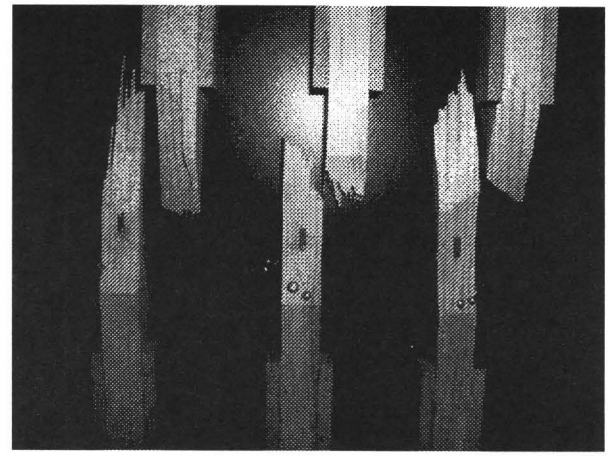


Fig. 5. 2. Typical failure mode of tensile tests.

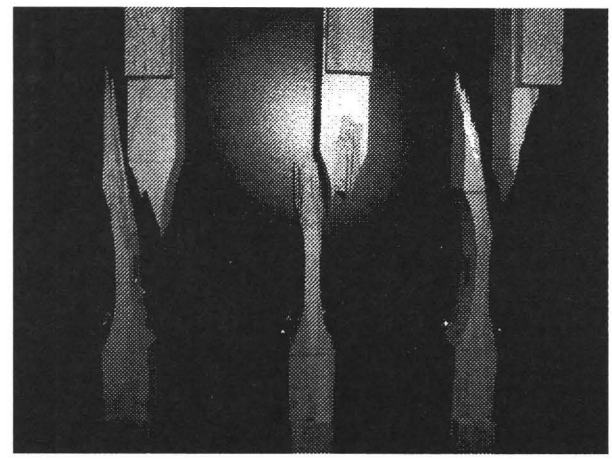


Fig. 5. 3. Typical failure mode of tensile tests.

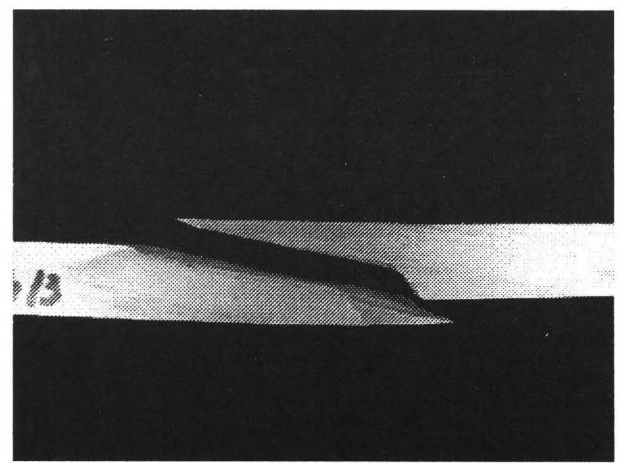


Fig. 5. 4. Typical failure mode of bending tests.



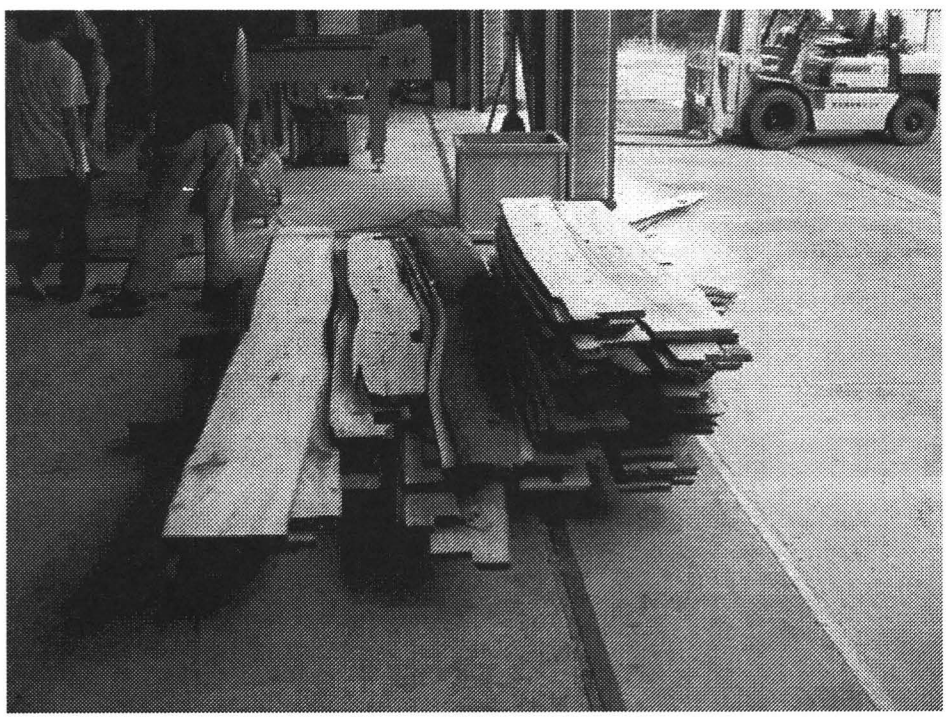
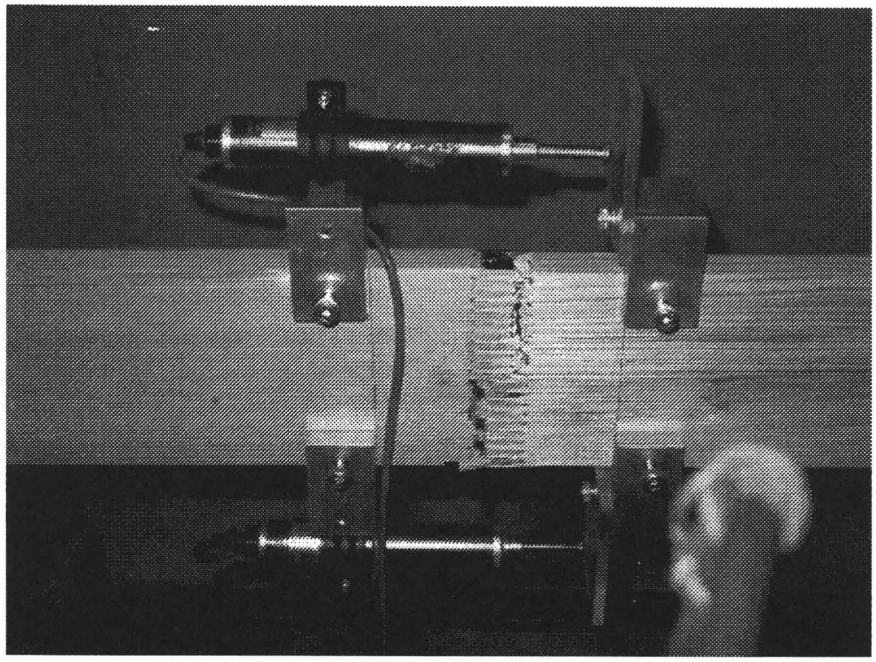
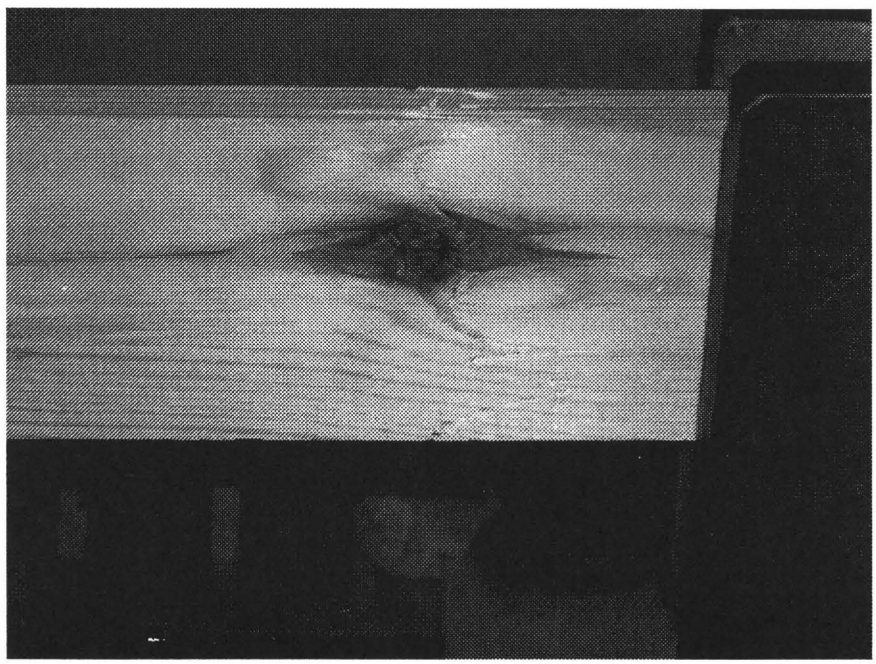


写真 6. 1　製材の様子

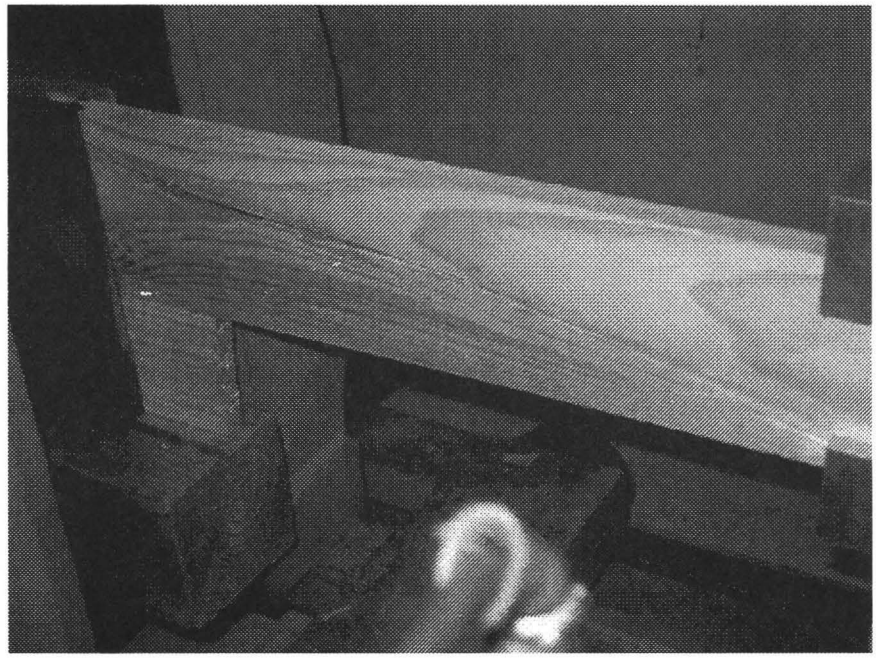


（ａ）フィンガージョイント部の引張破壊



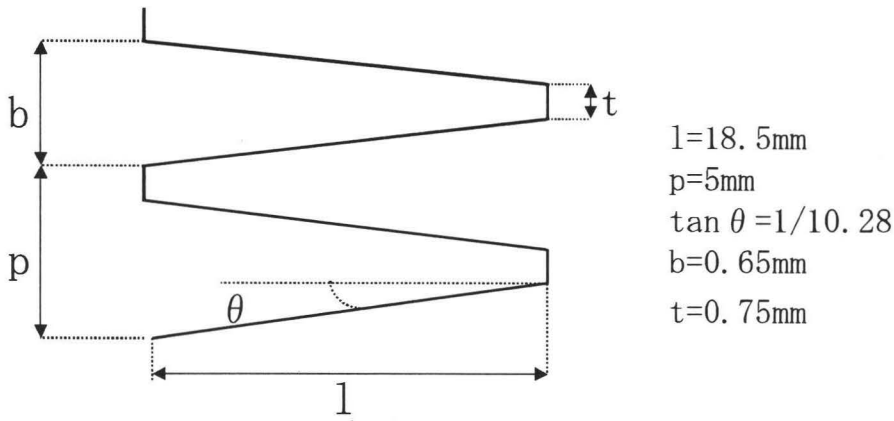
（ｂ）節を要因とする破壊

写真 6. 2　破壊性状



（ｃ）目切れを要因とする破壊

写真 6. 2　破壊性状



l:フィンガー長　p:フィンガーピッチ　tan θ :スカーフ傾斜比
b:フィンガー底部幅　t:フィンガー先端幅

図 6.1.　フィンガーの形状

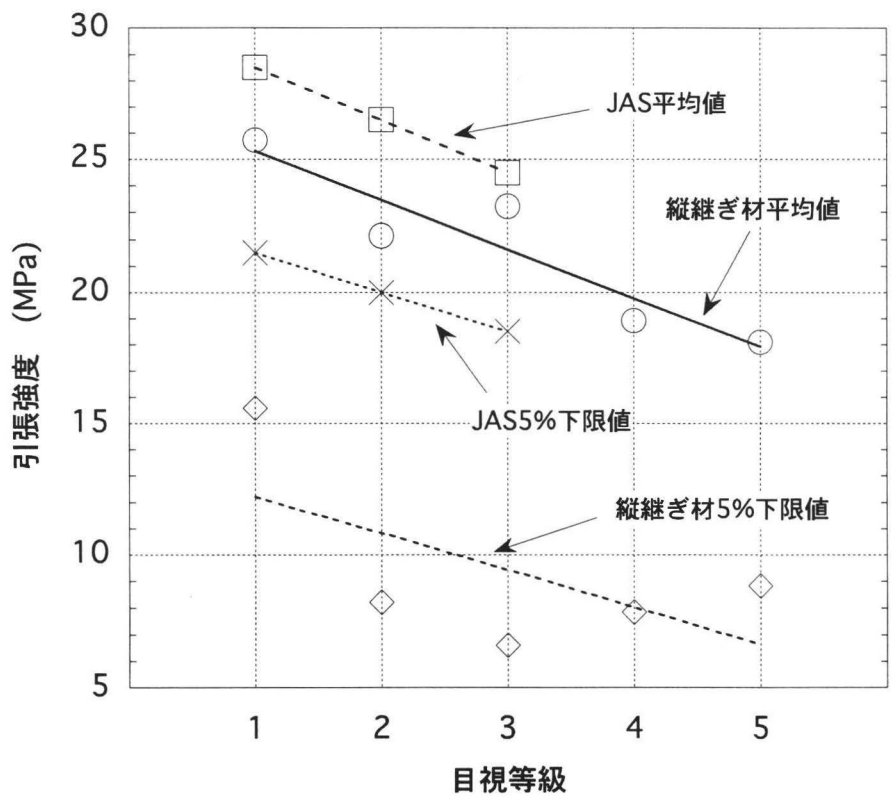


図 6.2.　目視等級区分別の引張強度

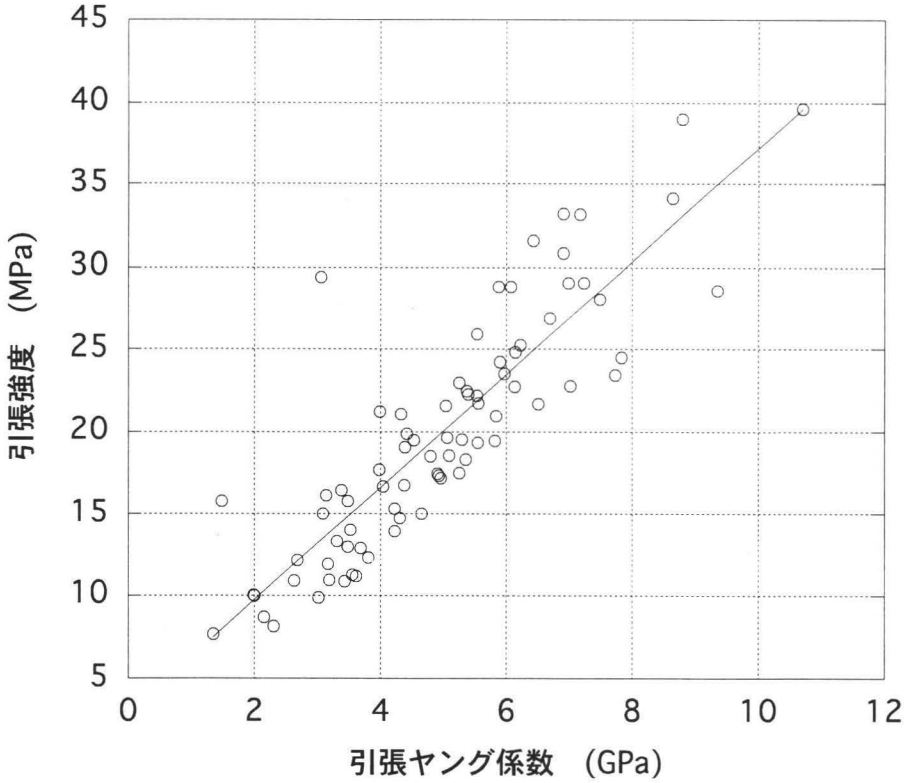


図 6. 3.　引張強度と引張ヤング係数の関係

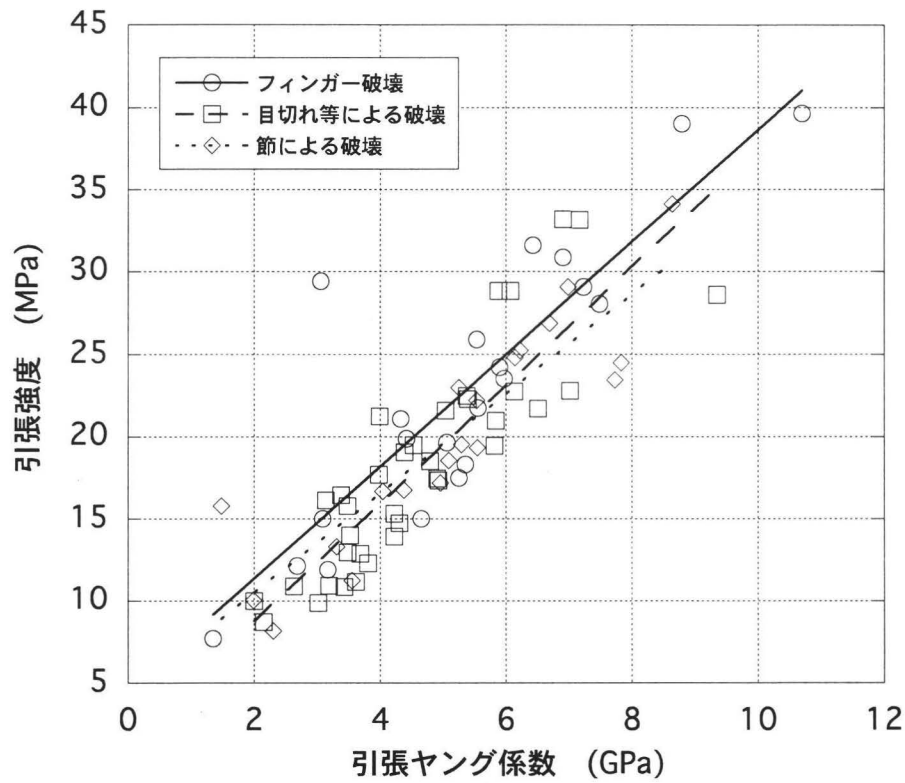


図 6. 4.　破壊性状別の強度とヤング係数の関係

表 6.1　引張強度

	縦継ぎ材	あかまつ古材
試験体数	78	37
最大値(MPa)	39.66	172.40
最小値(MPa)	7.71	38.08
平均値(MPa)	19.94	89.94
標準偏差(MPa)	7.29	28.85
変動係数	0.36	0.32
5%下限値(MPa)	9.27	46.28

表 6.2　引張ヤング係数

	縦継ぎ材	あかまつ古材
試験体数	78	37
最大値(GPa)	10.70	14.90
最小値(GPa)	1.35	6.42
平均値(GPa)	4.96	10.50
標準偏差(GPa)	1.85	2.20
変動係数	0.37	0.20

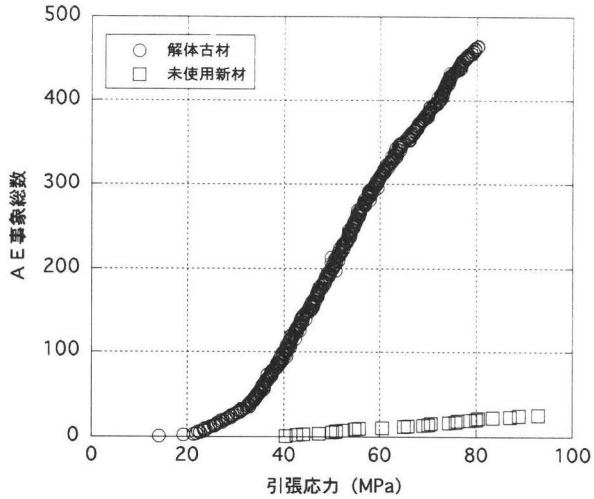


図 7.1　典型的な応力-ＡＥ事象総数曲線
（無欠点小試片）

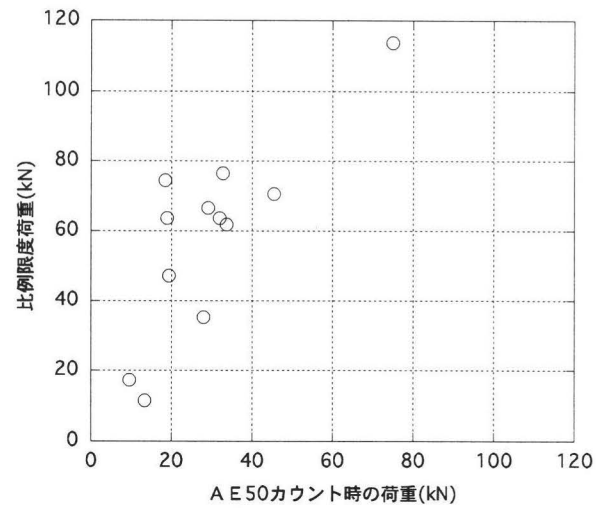


図 7.2　ＡＥ50カウント時の荷重と比例限度荷重の関係
（実大材）

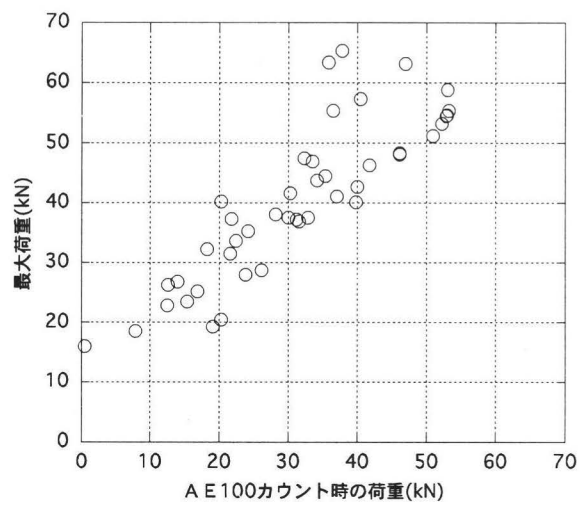


図 7.3　ＡＥ100カウント時の荷重と最大荷重の関係
（フィンガージョイント材）

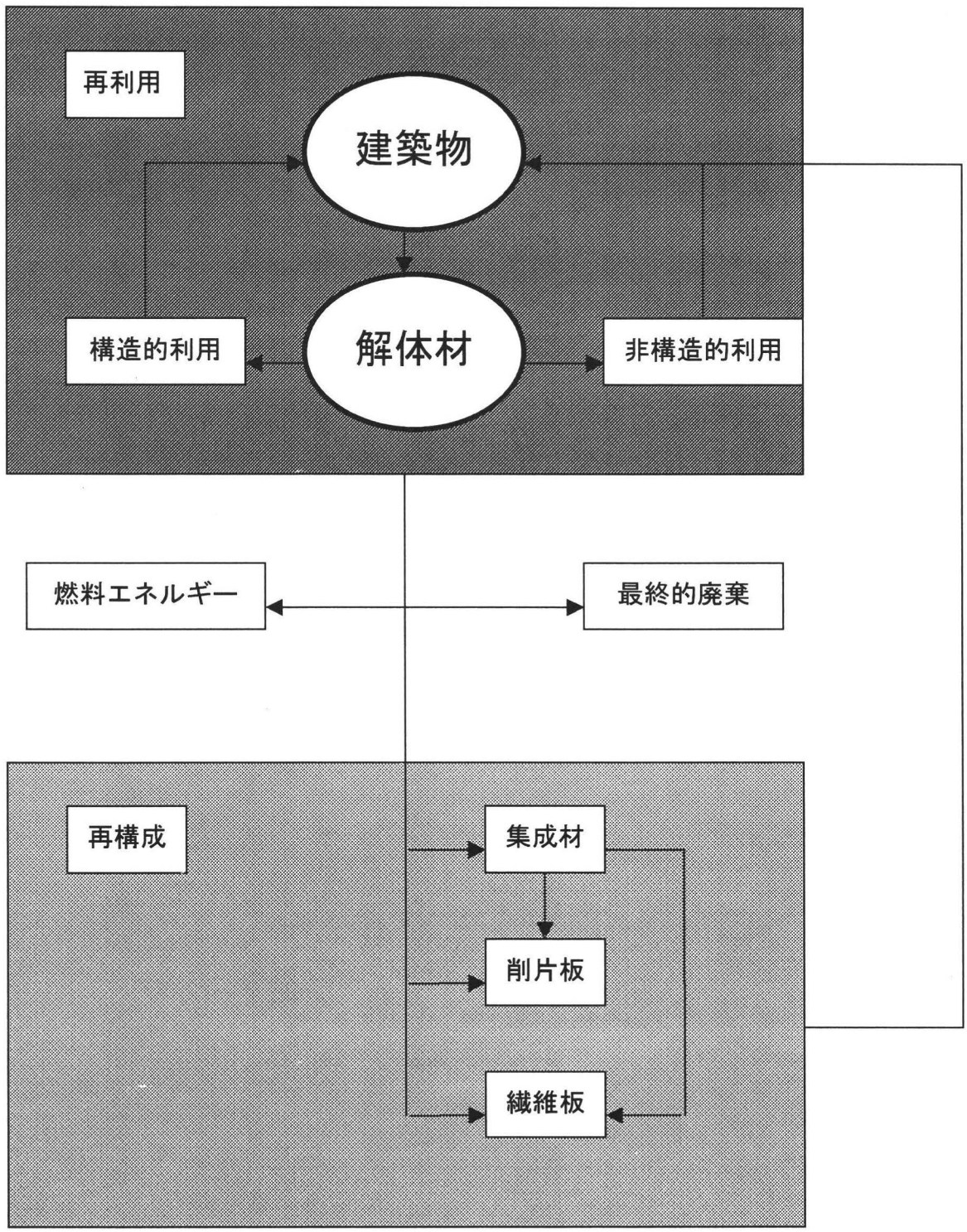


図 9　建築解体材の利用形態

1-18 住宅における建材リサイクルのためのエネルギー消費に関する調査研究

北九州市立大学国際環境工学部

助教授　高　偉俊

1．本研究の背景と目的

現在、解体された建設物から排出される廃棄物のリサイクルが行われつつある。材料によっては、技術的に難しいものもあるが、その解決へむけて研究も積極的に行われている。いずれ解体材を材料とした建築部材が製造されると思われる。

解体材のリサイクルが積極的に行われている背景には、部材によっては新規の製造時よりもリサイクル材の方が安価となるからと思われる。つまり、解体材を利用して製造された建築部材の中には、製造時よりもエネルギー消費量の少ない材がある可能性がある。建設産業は環境に多大な影響を与えており環境負荷の低減の為には、解体材のリサイクルに必要なエネルギー量を把握し、よりエネルギー消費量の少ないリサイクル材の使用することが必要であると考える。

そこで、本研究は解体材を利用して建築部材を製造する時のエネルギー消費量を算定し、リサイクル材を使用する事によって、住宅の部材製造に消費されるエネルギー量が低減できることを実証することを目的とする。

2．研究の方法及び計画

本研究では地球環境の視点から建材リサイクルのためのエネルギー消費を評価基準として選択し、解体材を利用して住宅部材を製造する時のエネルギー消費量を算定する手法について提案することを目的とする。この算定方法を検証するために、中間処理場、再生建材のメーカへヒアリング及びアンケート調査を行い、また実際の住宅についてケーススタディを行い、住宅部材にリサイクル材を使用することによって、削減されるエネルギー消費量や資源量について試算する。具体的に先ず従来研究を行い、解体材を再生するためのエネルギー消費モデルを作成する。再生時に使用する処理機械とその性能を調査し、建材リサイクルのための再生エネルギー消費量の理論計算値を求める。計算値を検証するために解体材の再資源化処理及び再生材料の 2 次加工にかかるエネルギー消費量について中間処理場及び再生部材の製造工場へ調査を行う。その結果に基づいて、検証を行い、住宅における建材リサイクルのためのライフサイクルエネルギー消費の評価手法を確立する。最後にケーススタディを行い、提案された手法による省エネルギー・省資源の効果を評価する。本研究の最終成果は省資源だけではなく、省エネルギー等にも大きな役割を果せる。新たな住宅リサイクル市場の促進に寄与できる。

3．研究内容

3.1.　建設廃棄物のリサイクル現状に関する調査

本研究のテーマとして挙げている「建設廃棄物」は、産業廃棄物に含まれる。その排出量は年間約8,500万トンにも達し、全産業廃棄物の約20%を占める程である。さらに最終処分される廃棄物のうち、44%を建設廃棄物が占めているのも現状で、今後、同じように最終処分される建設廃棄物が発生し続けると、その発生量は平成12年度の段階で約8,500万トンであったのが、平成17年度に1億トンに達する可能性がある。

建設廃棄物をはじめとする産業廃棄物が将来増加することは、もはや確実なものとなっている。このような現状の中、さまざまな企業が産業廃棄物のリサイクル事業を行ない始めた。

産業廃棄物の増加という問題と平衡し、我が国においてはもう1つ大きな問題がある。それは産業廃棄物の不法投棄である。平成12年度の段階で産業廃棄物の不法投棄量は、年間40.3万t4）にも達している。近年は不法投棄件数なども減少傾向にあると考えられるが、平成10年度までは年々その件数も増え続け、廃棄物の処理に関して大きな問題を作ることとなった。産業廃棄物全体における不法投棄の現状は上記のとおりであるが、これらの大量な不法投棄量のうち、その約60%は建設廃棄物である。これらの建設廃棄物は、ほとんどが建設現場あるいは解体現場から排出されたゴミで、処分費のコストダウンを図った一部の業者の悪質な行為が、このような結果をもたらしている。また、建設廃棄物の不法投棄件数に関しては、投棄量の割合を上回るほどで、全体の67%を占めており、建設業界の見直しをせざるを得ない結果となっている。

今日、我が国ではこれらの産業廃棄物をどうリサイクルするかが最重要課題となっており、特に建設関連の廃棄物に関しては、平成14年5月30日に建設リサイクル法も施行された程で、廃棄物のリサイクルが盛んに行われ始めたことを物語っている。これに伴い、建築解体の分野でも解体の手法が大きく変わってきていると考えられる。

3.2.　住宅部材の解体及び再生の現状に関する調査

住宅解体材の現状を把握するためにハウスメーカー3社、中間処理場7社及び再生工場5社へヒアリング調査を行った。ヒアリング調査により判明した現状の問題点は以下のとおりである。

①住宅部材が多種類の材料で構成されること

住宅部材の中には、多種類の材科が組み合わされた部材が多いため、再生時に材科毎に分別することが難しい。これらの部材は、分別の費用が高く、混合廃棄物として処理されている。具体的には、石膏ボードに接着されているビニルクロスがこれにあたる。

②住宅部材のメーカーが再生する義務を負わないこと

建材メーカーは、自社の製品に対する再生義務を負いない。しかし某メーカーによると、今後、「廃プラスチック」、「繊維板」、「塩ビ樹脂」、「ＦＲＰ」で構成される製品については、経済産業省の定めるリサイクル法の対象となる可能性が大きい。

③不透明な排出事業者責任

解体材は、解体業者→中間処理業者→再生工場或いは最終処分へと流れます。解体コス

トは、住宅居住者の負担であり、ハウスメーカーは解体業者に委託しているのが現状である。包装容器のリサイクル法の流れを見ると、製造物責任が原則となっており、建材の製造メーカーと建設業者にそれぞれ責任が分かれると思われる。

しかし、住宅部材は様々なメーカーのものが使用されており、それぞれに責任を負わせるには、デポジット制などの検討が考えられる。住宅居住者は、ハウスメーカーとの契約であるため、解体コストを不満とすると思う。住宅メーカーの競争が激しくなれば、ハウスメーカーの営業マンが「弊杜では、解体コストはサービス科金となっております。」と言うのも十分に考えられる。

解体材は、居住者の私有財産であるため、どのように処理するのかは、ハウスメーカーが委託を受け、決定を下す。解体後の処理方法には、リサイクルから最終処分まで様々な技術があるが、各住宅の立地条件、各解体材の市場によって、最も安価な方法で処理されているのが現状である。

④どの廃棄物をどのように処理すればよいのか？

主な建設廃棄物、汚泥、コンクリートガラ、木くず、金属くずなどは再生可能であり、再生率の目標値が設定されている。一方住宅解体材は、複合材などが多く異物の混入率が大きいため、建築材料メーカーは責任を持って再生するか、最終処分にかかる費用を支払うべき。問題は、解体方法によって分別の難易度、再生率が上下する事である。解体材の適正な処理へ向けて実施するべき事は、①解体方法のマニュアル化、②この解体方法に基づいた場合の混合廃棄物の種類及び発生量、⑧混合廃棄物を構成する住宅部材の量に基づいて、建材メーカーが支払うべき費用を決定すること。

3.3. 再生方法を評価する基準としてエネルギー消費量を選択する理由

○廃棄物は１００％再生すればよいのだろうか？

産業廃棄物の再生を促すために、メーカーは自社製品を全て再生する義務があるという法律を作るのは簡単であるが、問題は、分別の費用を誰が負担するのかということだ。廃棄物を１００％再生するには、経済性を無視した分別費用がかかる。この為、様々な材料を複合した製品の値段が高くなってしまうということが予想される。

○どれくらい再生すればよいのだろうか？

そもそも廃棄物の「適正」な処理とは何だろうか？その「適正」な基準を定めることが必要だ。学術論文としては、廃棄物は１００％再生するという不変不朽の原理原則を述べるべき。しかし、より現実的な意味を持たせるために、本研究では廃棄物を再生する社会を成立させる条件を考え、そのための条件を「適正」な基準として捉える。

○再生方法を評価する基準としてエネルギー消費量を選択する理由

産業廃棄物を再生する社会を成立させるためには、〈再生にかかる費用〉が、〈最終処分＋節約される材料分の経済的価値〉より少なくなることが必須条件であると考える。この場合の評価基準は経済価値である。しかし経済価値を評価基準とすると、経済価値の低い物質については再生しなくてもよいことになる。本研究では、より公平な指標としてエネルギー消費量を選定した。廃棄物の再生にかかるエネルギー消費量は、燃料などの費用に比例し、

消費及び節約される物質はその製造にかかるエネルギー消費量に換算され評価される

3.4. 建築材料の再生方法の設定

新規部材と住宅解体材を利用した再生部材との製造フローに関しては、素材から新規の住宅部材を製造するまでの工程は、一次加工と二次加工とに分けられる。素材を建築材料にする加工を一次加工といい、建築材料から住宅部材にする加工を二次加工という。住宅の再生材料は、住宅を解体してから、再資源化され、住宅部材の材料として再び利用できる材料を指す。解体材から住宅部材を製造することを再生といい、その方法を再生部材までの加工状況によって、再使用、再利用、再生利用の３つに分類した。再使用は、解体された材料の形状・性質を変化させること無く、再び使用する方法を指す。再利用は、解体材を収集・分別した後、建築部材を構成する材料として加工する方法を指す。再生利用は、解体材を収集・分別した後、建築材料を構成する素材として加工する方法を指す。

3.5. 住宅部材の再生エネルギー消費量の算定方法

新規の住宅部材の製造に消費されるエネルギー量は、素材を造るためのエネルギー消費量（Es）、一次加工エネルギー消費量（E1）と二次加工エネルギー消費量（E2）の和として求められる。

解体に必要なエネルギー量は解体エネルギー消費量（Ek）とし、解体材から再生材料までに必要なエネルギーは再資源化エネルギー（Ea）と定義した。再生時の住宅部材に消費されるエネルギー量は、解体エネルギー消費量（Ek）、再資源化エネルギー消費量（Ea）と二次加工のエネルギー消費量（E2）の和となり、これを住宅部材再生エネルギー消費量（Ec）と定義する。

住宅を解体する際には、機械解体と手壊しの二通りがあり、それぞれ労働力と燃料が消費されているが、その正確な値が現状では明らかではないため、機械解体の時に関してはそのエネルギー消費量の値の試算を行った。

解体エネルギー消費量（Ek）は解体時に使用する重機のエネルギー消費量（Ew）と解体材を搬出する時の輸送エネルギー消費量（Et）との和により求める。（財）日本木造総合情報センター「木質系部材等地球環境影響調査報告書」（93 年）では機械解体時に単位床面積あたりの重機のエネルギー消費量は約 28,000MJ/㎡と発表され、本文ではこれを原単位として引用した。従って、重機のエネルギー消費量は

$$Ew = 28{,}000 \times A \quad (MJ) \qquad (1)$$

A ：住宅延べ床面積（㎡）

輸送エネルギー消費量の概算値は床面積あたりの解体材の排出量及び輸送距離から求めた。搬出の輸送距離を 100km と仮定した。従って

$$Et = \frac{Qw \times A}{W} EwL \qquad (MJ) \qquad (2)$$

Qw ：解体材の排出原単位（kg/㎡）
W ：搬出車両の積載量（kg/台）
Ew ：搬出車両のエネルギー消費量（MJ/km）
L ：輸送距離（km）

躯体の再使用時は、全て手壊しにより解体すると仮定し、人力エネルギーは無視した。従って解体エネルギー消費量（Ek）は解体材の総重量が Ma であるときには、

$$Ek = \frac{Ew + Et}{Ma} \qquad (MJ/kg) \qquad (3)$$

再資源化エネルギー消費量（Ea）は、中間処理の機械とその他の処理設備の単位処理能力あたりのエネルギー消費量から求めた。

$$Ea = \Sigma 3.6 \frac{Q}{P} \qquad (MJ/kg) \qquad (4)$$

Q ：機械（設備）の出力 （kWh）
P ：機械（設備）の処理能力（kg）

ただし、鋼材については、産業連関表を参考にして、粗鋼（電気炉）の製造エネルギー消費量を計算した。アルミサッシについては、再生地金の製造エネルギー消費量の値を参考にした。主な解体材を典型な処理手順で再生する場合の再資源化エネルギー消費量は**表３**に示す。例えば、コンクリート再生材料を作るためには、一次破砕装置で破砕して、そして選別を行ない、一定以上の大きさのもの二次破砕装置にかけて再び破砕を行ない、最終的に再生材料として再生粗骨材になる。この工程に必要な機械は一次破砕用のジョークラッシャと二次破砕用のインパクトクラッシャと振動震い機、ベルトコンベア等であり、これらの機械の単位処理能力あたりのエネルギー消費量の総和から再資源化エネルギー消費量を求めた。その他の材料の再資源化エネルギー消費量は、同じ手法で求められる。

再生時の二次加工に消費されるエネルギー量は加工に必要な燃料や電力の使用量及び再生材料の使用量から求める。（財）国土開発技術研究センター「省資源・省エネルギー型国土建設技術の開発」報告書（95 年）では、部材ごとに二次加工の必要な電力、燃料原単位及び各構成材料の使用重量が発表され、本文では、それらをベースに二次加工エネルギー消費量（E_2）を計算した。

従って、住宅再生部材 C の住宅部材再生エネルギー消費量 Ec は以下の式によって求められる。

$$Ec = \Sigma(Es + E_1) \cdot m_b + \Sigma(Ek + Ea) \cdot m_a + E_2 \qquad (MJ/kg) \qquad (5)$$

m_a：１kgの再生部材Ｃに必要な材料ａの重量（kg/kg)

m_b：１kgの再生部材Ｃに必要な材料ｂの重量(kg/kg)

Es：材料ｂに必要な素材をつくる為のエネルギー消費量(MJ/kg)

E_1：素材から新規材料ｂをつくるための一次加工エネルギー消費量(MJ/kg)

Ek：解体エネルギー量(MJ/kg)

Ea：解体材から再生材料ａまでの再資源化エネルギー消費量　(MJ/kg)

E_2：再生部材Ｃの１kgあたりに必要な二次加工エネルギー消費量(MJ/kg)

3.6.　住宅部材の再生エネルギー消費量の算定結果

式(5)を使用して各住宅解体材の再生時のエネルギー消費量を算定した。木材については再使用材についても算定した。鋼材は全て粗鋼(高炉)を材料として製造されたものとして計算している。

その結果として、解体材から木質ボードへの再生利用では、原料となる製材の製造工程が省かれ、再生エネルギー消費量の削減率は集成材の７%からパーティクルボードの32%まで、平均で22%になっている 。逆にコンクリートは、再生エネルギー消費量が5%増加する。石膏ボードについては、解体材を細密な粉状に粉砕するため、新規の製造エネルギー量より48%増加した。鋼材については、再生エネルギー消費量は約40%削減された。アルミニウムは80%強の再生エネルギー消費量が削減された。

3.7.　住宅についてのケーススタディ

（1）　各住宅モデルの設定

異なる工法の住宅について再生部材を可能な限り利用した場合、それらの住宅部材を製造供給するためのエネルギー消費を、木造軸組工法、枠組壁工法、軽量鉄骨造の住宅で比較した。「家庭生活のライフサイクルエネルギー」では木造軸組工法、枠組壁工法、軽量鉄骨造の住宅モデルの仕様を示している。本文では住宅を構成する部材量はそれらを参考とした。

３つの工法の仕上げ材料に大きな差が見られないものの枠組壁構法が 20%軽くなっている。３つの工法の部材使用重量を比較すると、基礎に使用されている部材量が木造軸組では42.5t、枠組壁工法では 24.3t、軽量鉄骨造では 40.8t となっている。その理由としては、枠組壁工法の延べ床面積がその他の工法と比べて少ないため、布基礎に使用されるコンクリートの量が少ないからであると考えられる。

木造軸組工法と軽量鉄骨造については、躯体を再使用し、再生材料を利用したときのエネルギー量についても算定した。各工法に使用する再生部材とその他の新規材の割合を重量比で設定した。木造軸組工法の場合は再生部材のリサイクル率は67%でもっとも高い設定になっている。枠組壁工法と軽量鉄骨造は約56%のリサイクル率となっている。再生部材の利用割合の内訳を見ると、三つケースどちらでもコンクリート部材は高い利用率を示している。木造軸組工法の方では、再使用木材 17%、枠組壁工法の方では石膏ボード 13%、軽量鉄骨造工法では鋼材・鋼板 12%で、コンクリートにつづいて、高い割合になっている。

(2) 各工法における部材製造のエネルギー消費量の比較

解体材を利用した住宅の部材製造時のエネルギー消費量を、前節に得られた建築材料の再生にかかるエネルギー量を用いて計算を行った。

モデル住宅の延べ床面積が異なるため、単位面積当たりのエネルギー消費量として算定した。資源を最大限に再生する条件で計算した。その中に枠組壁工法に関しては、接着剤が多く使うため、再使用しにくいので、新規製造及び再生材料使用の二つケースの計算を行った。結果として、石骨ボードやコンクリートを再生するため、多少エネルギーが増加しているが、住宅全体の製造エネルギーは低減している。木造軸組工法では、外部仕上げ、枠組壁工法と軽量鉄骨造では、外部仕上げと躯体に製造エネルギーが最も顕著な低減を見せている。また、三工法ともアルミサッシ、鉄鋼材等のエネルギー削減率最も高い。

木造軸組工法については削減されたエネルギー量の内、再生利用したパーティクルボードが 5%、建具のアルミサッシが 30%、再利用された建設用金物 12%、再生利用されたハードボードが 8%を占めている。

枠組壁工法については、再利用された建具のアルミサッシが全体の 68%、再生利用された枠組材のウェファーボードやパーティクルボードが 28%を占めている。

軽量鉄骨造については、鋼材が 38%、建設用金物が 72%、ハードボードが 9%、を占めている。

住宅全体の削減率について、木造軸組工法では、再生利用と再利用によるエネルギー量の削減率が約 3%であるが、再生利用、再利用や躯体の再使用をした場合は、部材の製造にかかるエネルギー消費量を 17%削減することができる。枠組壁工法では、再生利用と再利用によるエネルギーの削減率が 10%となっている。軽量鉄骨造では、再生利用と再利用により削減されるエネルギー量が約 13%であり、躯体を再使用しその他の再生材料も利用する場合は、合計約 4 分の 1 にも削減することができる。

再生材料を利用することによって、各住宅の資材量と部材製造エネルギー量がどのように変化するかを調べた。枠組壁工法では、壁パネルを再使用することが不可能であるため、再使用時の値は含まれていない。横軸に単位面積あたりの部材の使用重量をとり、縦軸に単位面積あたりのエネルギー消費量をとっている。3 つの住宅を比較すると、いずれも大きな省資源及び省エネルギー効果が見られるが、軽量鉄骨造の削減率がもっとも高いといえる。

(3) ケーススタディの結果

本研究では、住宅における省資源、省エネルギーの視点から、住宅解体のとき、解体材を再生するためのエネルギー消費量に関する計算方法を提示し、またそれを用いて、3 つのモデル住宅に対し、ケーススタディを行った。結果として、多くの解体材の再生に必要なエネルギー量は新規製造より少ない。その削減度合いはアルミニウム（80%）、鉄鋼材（48%）、木材（7-32%）の順になっている。また、再生材料を使ったモデル住宅における部材製造エネルギーの計算では、大きな省資源及び省エネルギー効果が見られた。木造軸組工法の方では、リサイクル率 67%に対して、約 17%、枠組壁工法の方ではリサイクル率 56%に対して、約 10%の、軽量鉄骨造工法ではリサイクル率 55%に対して、約 25%のエネルギー低減ができる。

４．研究成果

本研究の成果として以下のようにまとめて記す。

①住宅部材の解体及び再生の現状を調査より明らかにすること

我が国ではこれらの産業廃棄物をどうリサイクルするかが最重要課題となっており、特に建設関連の廃棄物に関しては、平成１４年５月 30 日に建設リサイクル法も施行された程で、廃棄物のリサイクルが盛んに行われ始めたことを物語っている。これに伴い、建築解体の分野でも解体の手法が大きく変わってきていると考えられる。

住宅解体材の現状を把握するためにハウスメーカー3 社、中間処理場 7 社及び再生工場 5 社へヒアリング調査を行った。ヒアリング調査により現状の問題点を判明した

②再生方法を評価する基準としてエネルギー消費量を提案したこと

経済価値を評価基準とすると、経済価値の低い物質については再生しなくてもよいことになる。本研究では、より公平な指標としてエネルギー消費量を選定した。廃棄物の再生にかかるエネルギー消費量は、燃料などの費用に比例し、消費及び節約される物質はその製造にかかるエネルギー消費量に換算され評価される。

③建築材料の再生方法を新たに設定したこと

再生方法を再使用、再利用、再生利用の３つに分類し、再生方法を整理した。再使用は、解体された材料の形状・性質を変化させること無く、再び使用する方法を指す。再利用は、解体材を収集・分別した後、建築部材を構成する材料として加工する方法を指す。再生利用は、解体材を収集・分別した後、建築材料を構成する素材として加工する方法を指す。

④住宅部材の再生エネルギー消費量の算定方法を確立したこと

再生時の住宅部材に消費されるエネルギー量は、解体エネルギー消費量、再資源化エネルギー消費量と二次加工のエネルギー消費量の和となり、これを住宅部材再生エネルギー消費量と定義した。

本研究では、解体時に使用する重機のエネルギー消費量と解体材を搬出する時の輸送エネルギー消費量を計算するモデルを提案した。さらに、中間処理の機械とその他の処理設備の単位処理能力あたりのエネルギー消費量から再資源化エネルギー消費量を求める方法を確立した。

⑤住宅リサイクルにおける省資源、省エネルギーの評価手法を提示したこと

異なる工法の住宅について再生部材を可能な限り利用した場合、それらの住宅部材を製造供給するためのエネルギー消費を計算し、省資源、省エネルギーの視点からその総合評価を行った。

５．今後の展望

本研究では、住宅における省資源、省エネルギーの視点から、住宅解体のとき、解体材を再生するためのエネルギー消費量に関する計算方法を提示し、またそれを用いて、実際の住宅に対し、ケーススタディを行った。本研究の最終成果として、建材リサイクルのためのエネルギー消費の評価手法を開発し、今後日本の循環型社会の構築及び建築環境産業の技術開発のための指針と基準になるものと期待できよう。さらに、開発した評価システムをベースにし、さらに多くの民間企業を調査し、実用化及び普及のための技術開発を行うべきだと思う。その効果をケーススタディに通じて実証していく必要性もある。リサイクルを行うことで、省資源だけではなく、省エネルギー等にも大きな役割を果せる。省エネルギーと CO2 の削減効果が大きく期待できると思われる。新たな住宅リサイクル市場の促進に寄与できると思う。

６．研究発表の実績及び予定

一年間の研究は短いではあるが、今後本研究で開発した評価手法及びデータベースを基づき、実用のできるデータベースや評価ソフトを開発し、関係庁省及び建設業界の関係者に配布し、住宅建材リサイクルの推進を力になりたいと思う。

研究成果の一部は現在 2003 年度日本建築学会大会にて発表する予定である。

７．謝辞

財団法人トステム建材産業振興財団は住宅リサイクルの重要性を認め、本研究助成を下さい、一年間充実した研究ができることを感謝する。

住宅解体現場、中間処理場及び再生工場へ調査に出向いた際に、快くご協力頂いた方々、共同研究で色々とアドバイスを頂いた九州産業大学西田先生、北山先生等にも感謝の意を表したいと思う。

1-19 建物周辺微気象の変動に応じた通風制御のためのインテリジェント・ウィンドウの試作

東北大学大学院工学研究科

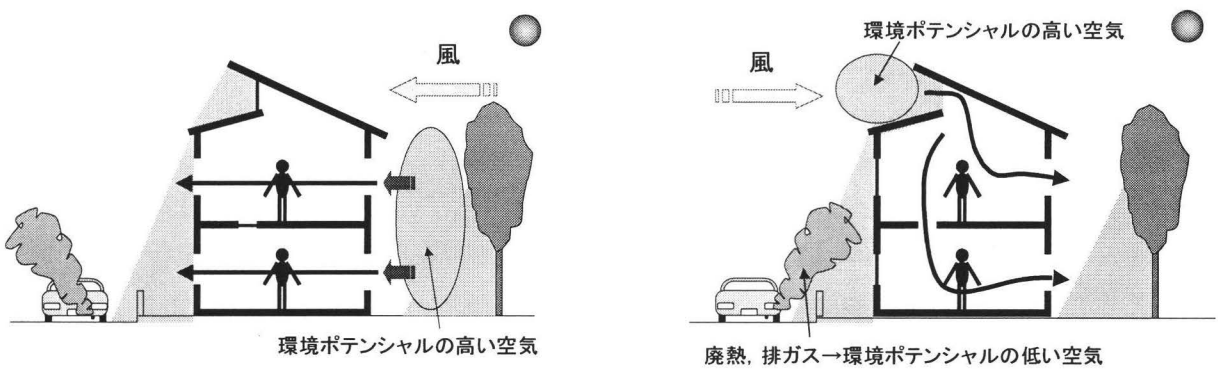
助教授　持田　灯

1．本研究の背景と目的

近年，IT 化等による建物内部発熱の増大により建物の冷房用エネルギー消費は増加の一途をたどっており，自然エネルギー利用への期待はますます高まっている。自然エネルギーを利用する際には，風力発電のようにこれを電力に変換して利用するばかりでなく，そのままの形で直接取り入れ最大限に活用するという視点が重要である。

本研究では，冷房負荷削減に寄与し得る外気のポテンシャルを最大限に活用し，建物の冷房用エネルギー消費を削減するため，外界気象変化に対応して適切に環境ポテンシャル（図 1 参照）の高い外気を導入するインテリジェント・ウィンドウシステムを開発する。

このシステムでは建物内に環境センサーを設置し，人体の快適性を考慮した熱的快適性モデルに基づく制御を行うことにより少ない環境負荷で快適な環境を実現する。



(a)　建物の右側から風が吹いている場合　　(b)　建物の左側から風が吹いている場合

図 1　インテリジェント・ウィンドウの概念

2．研究の方法

通風を効果的に利用し，熱的に快適な室内環境を実現するためには，外界気象の影響を受けやすい通風を室内が熱的に快適になるよう適切に制御することが大切である。さらに，一般に市街地では十分な通風量を得ることが難しい場合が多いので，より多くの風を効率的に室内に導くことも重要となる。

本研究では，

①通風時の建物内外気候の実態調査

東北大学現有の実験用試験家屋を対象として，通風時の建物内外の気流，気温，湿度，日射量，建物壁面温度などの実測を行い，通風時の建物内外気候の実態を調査する。

②インテリジェント・ウィンドウシステムの試作とその検証

温熱環境評価指標 PMV に基づき通風を制御する窓自動開閉システム（インテリジェント・ウィンドウシステム）を試作し，実態調査を行った実験用試験家屋を対象として実測を行い，その効果を検証する。

③CFD 解析による建物内外の気流分布の予測とこれに基づく気流制御手法の検討

CFD 解析により，試験家屋周辺の風速分布と圧力分布を明らかにし，建物内外の環境を十分把握する。さらに，この結果を用いて，窓開口部から多くの外気を導入し，インテリジェント・ウィンドウシステムの効果を最大限に引き出すための開口配置や周辺の樹木配置の方法を検討した。

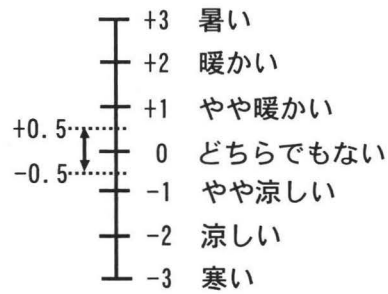
3．今までに得られた成果

3.1 インテリジェント・ウィンドウシステム

3.1.1 はじめに

インテリジェント・ウィンドウシステムは，自然エネルギー(通風)を利用したシステムである。通風の効果は夏季に在室者の体感温度を下げることや，照明などの室内発生熱による室温上昇が抑えられることである。また，現在の冷暖房換気空調システムは，気温のみがモニターされ，それをパラメータとして居住者が快適であるように調節されることが多い。気温は重要な因子であるが，熱的快適性を決定する唯一の因子ではないため，この方法は必ずしも熱的快適性を達成するための効率的な方法ではない。空調システムに必要なエネルギーやコストを効果的に削減するためには，モニターする対象や調節するパラメータを適切に選択することが重要である。

温熱環境要素に対する人体の反応についてはすでに多くの研究がなされており，様々な快適指標によって定量化されている。それらの快適指標は，空調設備の制御ツールとして利用することが可能である。本システムの制御のために用いた PMV(図 2)は，それらの快適指標の 1 つである。



快適範囲：-0.5<PMV<0.5

図 2 PMV の温冷感スケール

3.1.2 インテリジェント・ウィンドウシステムの概要

図 3 に本研究で開発したインテリジェント・ウィンドウシステムのフローチャートを示す。本システムは，室内の温熱環境が快適となるように，温熱快適性指標 PMV(快適範囲：-0.5<PMV<0.5)に基づいて窓の開閉を制御するものである。PMV を決定する要素としては，環境 6 要素である着

衣量，代謝量，室内気温，平均放射温度，気流速度，相対湿度の 6 つがある。まず着衣量，代謝量，PMV の設定をシミュレーションモデルに入力する。そして室内の気温，相対湿度，平均放射温度，気流速度を測定し，そのデータがコンピューターに自動的に入力され PMV を求める。平均放射温度(MRT)はグローブ温度，室温，風速から式(1)により算出される。

$$MRT\text{-}\theta_g=2.37\sqrt{(v)}*(\theta_g-\theta) \qquad (1)$$

ここでθ_g：グローブ温度である。

センサーにより測定された温度，風速，相対湿度は A/D 変換器（ADC-1）を介して制御用コンピューターに入力される。そして，各時間ごとに PMV を計算し，その値により窓を開けるか，閉じるか，そのままとするかを決定する。本研究では PMV>0.1 の時は窓を開け，-0.1<PMV<0.1 の時はそのままの状態を維持，-0.1>PMV の時は窓を閉じるというように制御した。室内の気温，平均輻射温度，気流速度，湿度の測定，PMV の計算を 10 秒毎に行い，これに基づき窓の開閉制御のためのデジタル信号をコンピューターから ADC-1 へ送り，アナログの電圧信号に変換する。電圧の信号はリレーに送られ，リレーが切り替えスイッチとなり，窓を開閉させる。

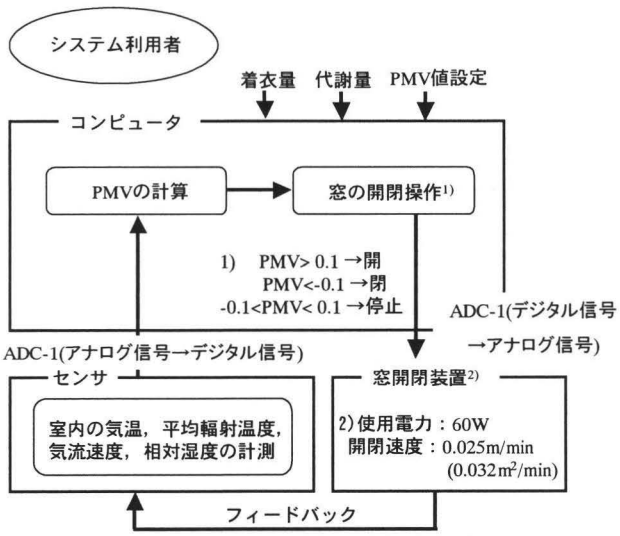


図 3　インテリジェント・ウィンドウシステムの概

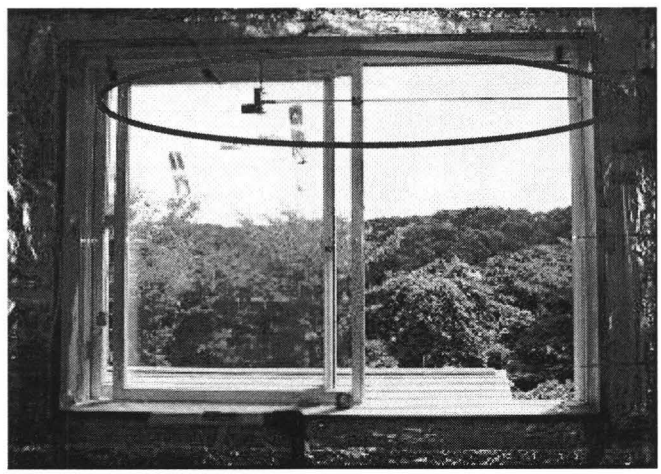


図 5　窓開閉装置

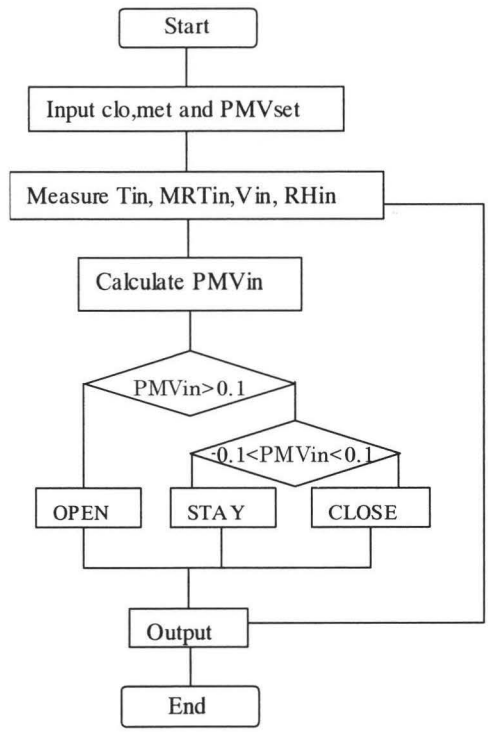


図 4　プログラム概要のフローチャート

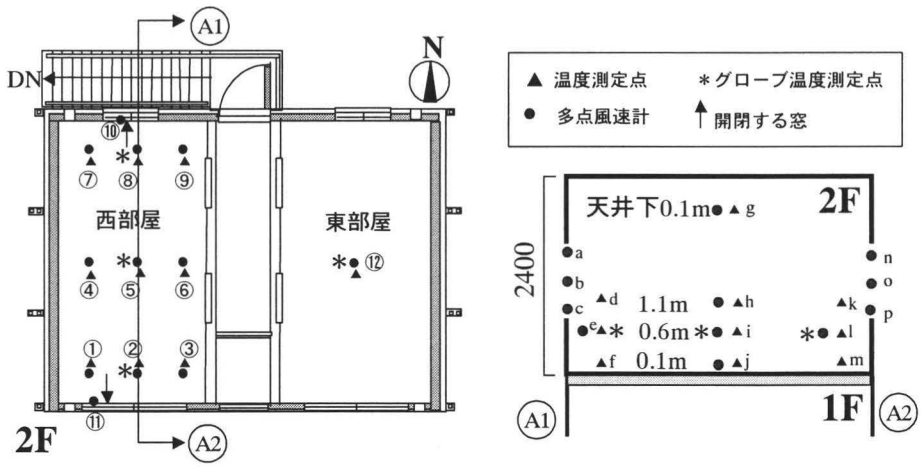
3.1.3 実験の概要

①実験室の概要　実験は東北大学工学部敷地内実大実験室 2F で行った(写真 1，図 6)。

②測定項目　表 1 参照。



写真 1　実験室周辺



(a)　水平分布(床上 0.6m)　　(b)　鉛直分布(A1-A2 断面)

図 6　測定点

表 1　測定項目と測定点

	測定項目	測定装置	測定位置	
			水平分布図(床上0.6m)	鉛直分布図(中心断面)
室内	温度	熱電対	①～⑨, ⑫	d～m
	相対湿度	温湿度センサー付小型データロガー	⑤	g～j
	グローブ温度	熱電対+グローブ温度計(15cm)	②, ⑤, ⑧, ⑫	e, i, l
	風速	①多点風速計(センサー:サーミスタ)	①～⑪	a～c, e, g～j, l, n～p
		②超音波風速温度計	⑤	
		③サーミスタ	⑫	
屋外	気温	温湿度センサー付小型データロガー	百葉箱	
	相対湿度	温湿度センサー付小型データロガー	百葉箱	
	風速・風向	三杯式風速計矢羽式風向計	高さ8m	
	全天日射量	全天日射計	実大実験室の北側の建物の屋上	

③実験条件(表 2)

測定は 2002 年 8/18～8/26 の間行った。実験 1 では，東西両部屋ともに窓を開けた状態，実験 2 では，東西両部屋ともに窓を閉めた状態とし，それぞれの場合の両部屋で室内温熱環境に大きな差のないことを確認する。実験 3 では，西部屋で窓を開けた状態，東部屋で窓を閉めた状態とし，通風の有無による室内温熱環境の違いを調べる。実験 4 では，西部屋でインテリジェント・ウィンドウシステムを用い窓を自動開閉し，東部屋で窓を閉めた状態とし，インテリジェント・ウィンドウシステムの有効性を検証する。

表 2　実験条件

	実験期間	西部屋	東部屋
実験1	8/18	窓閉(×)	窓閉(×)
実験2	8/19	窓開(○)	窓開(○)
実験3	8/20～8/21	窓開(○)	窓閉(×)
実験4	8/25～8/26	窓自動開閉(○)	窓閉(×)

3.1.4　実験結果

①実験 1，2(図 7，8)

東西両部屋の平均気温の差は 0.2～0.3℃，平均風速の差は 0.01m/s と室内環境の違いがほとんど無いことを確認した。

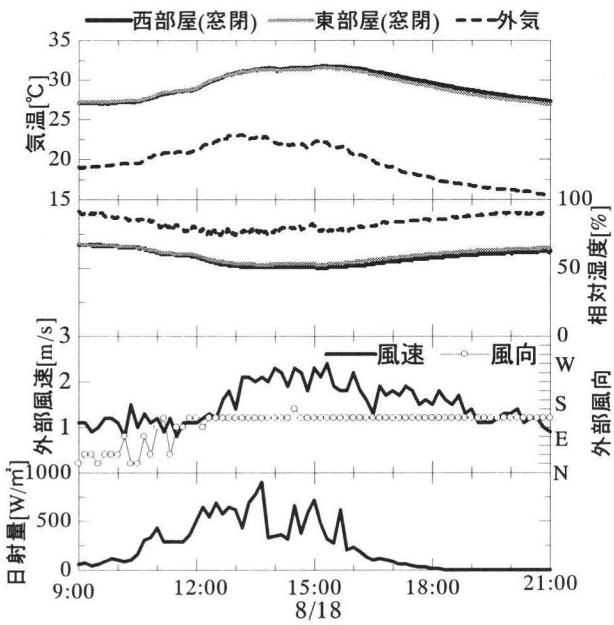


図 7　実験 1
(西部屋→窓閉×　東部屋→窓閉×)

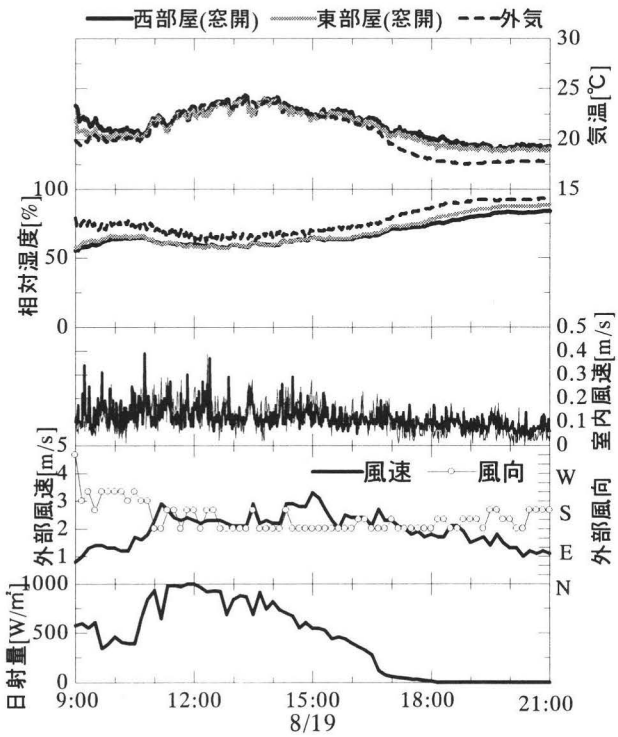


図 8　実験 2
(西部屋→窓開○　東部屋→窓開○)

① 実験 3(図 9)

気温，PMV の日変動は両部屋とも大きく，終日窓を閉じた東部屋に比べ，窓を開けた西部屋の方が，気温で約 3～5℃，PMV で約 2～3 低い値を示した。 実験当日，気温が低かったことと，その日変動が大きいことから，西部屋(窓開)の PMV が実験期間中，快適範囲に入ったのは 3 時間余りで，その他の時間帯は快適範囲を大きく下回っていた。卓越風向は南東であった。

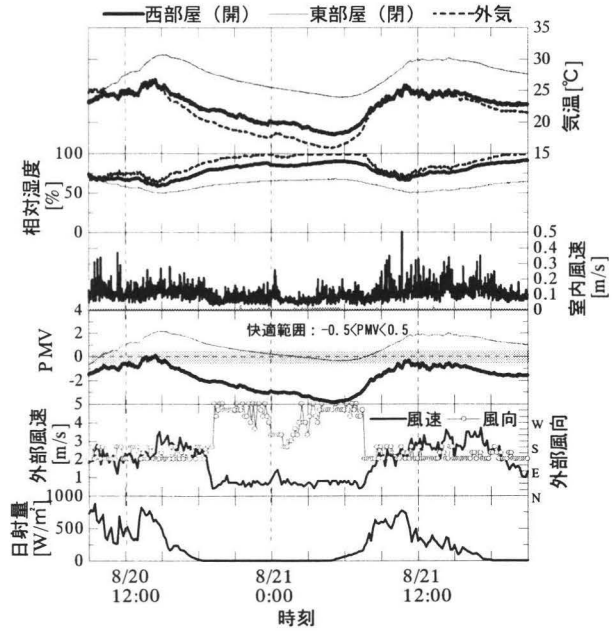


図9　実験3の場合の気温，相対湿度，室内風速，PMV，外部風向風速，日射量の日変化

② 実験 4(図 10,11)

窓を閉じた東部屋の PMV は，2 日間を通し快適範囲の値よりも高くなったが，窓を自動開閉した西部屋の PMV は，日中，8 月 25 日で約 6 時間，8 月 26 日で約 3 時間快適範囲から外れる時があるものの，その他の時間帯では快適範囲を維持することができた。図 11 に 8 月 25 日の室温，室内風速，グローブ温度，PMV の水平分布を示す。外部風速に比べ室内風速がかなり小さいことがわかる。温度，PMV の室内空間分布に関しては，温度，PMV が低い測定点と風速が大きい測定点が一致している。また室西側で風速が大きく，温度，PMV が低くなっている。卓越風向であった南東風の影響で通風輪道が室中央からやや西よりに形成されたと推測される。

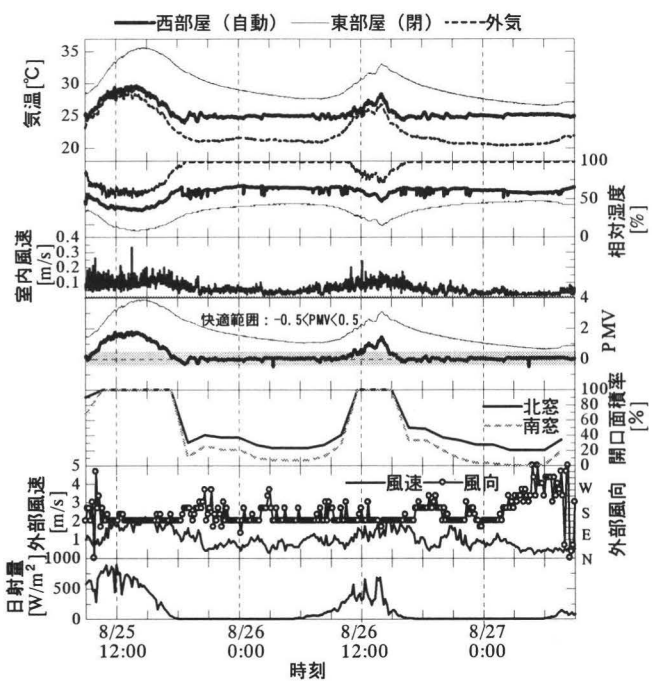


図10　実験4の場合の気温，相対湿度，室内風速，PMV，開口面積率，外部風向風速，日射量の日変化

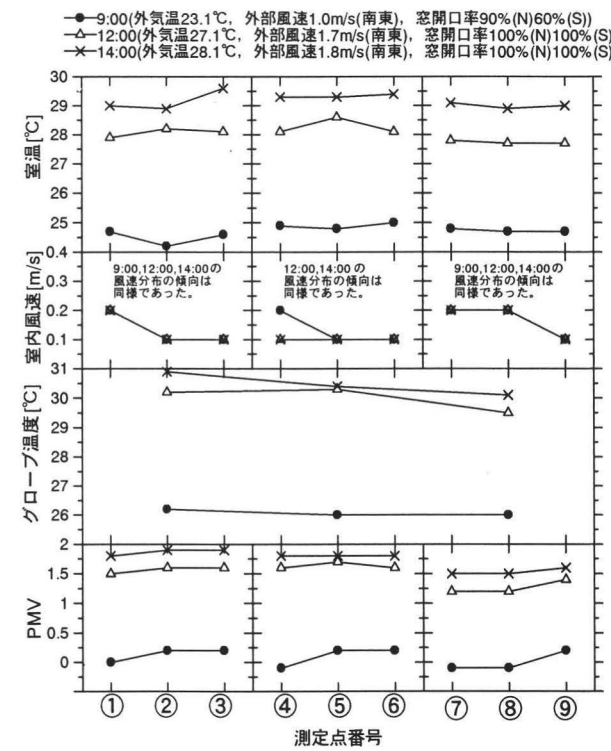


図11　室温，室内風速，グローブ温度，PMVの水平分布（8月25日）(測定点図 6 参照)

3.1.5 実験のまとめ

1)通風を行った部屋では，行わない部屋より PMV の値が約 2～3 減少し，通風の効果が確認できた。

2) インテリジェント・ウィンドウシステムにより窓を自動開閉させた場合，PMV をある程度快適範囲に収めることができた。

3)日中窓の開口率が 100%の時に，PMV の値が快適範囲の上限を超える場合があった。

3.2 CFD に基づく室内外気流分布解析

3.2.1 数値解析の概要(表 3)

実験を行った実大実験室周辺 81m(東西方向)×90m(南北方向)×45m(鉛直方向)の領域を対象とした(写真 1，図 12)。実験 4 で窓自動開閉時に PMV が快適範囲を超えた 8 月 25 日 14 時のデータ(外部風向・風速：南東・高さ 8m で 1.8m/s)を基に崖地形の風速増加[文 1)]を組み込んだ流入境界条件を設定し，樹木の影響[文 2)]を考慮した CFD に基づく室内外同時解析を行い，周辺の樹木配置，開口位置･サイズの変更の室内気流性状への影響を調べた。乱流モデルとしては Durbin 型 k-ε モデル[文 3)]を用いた。

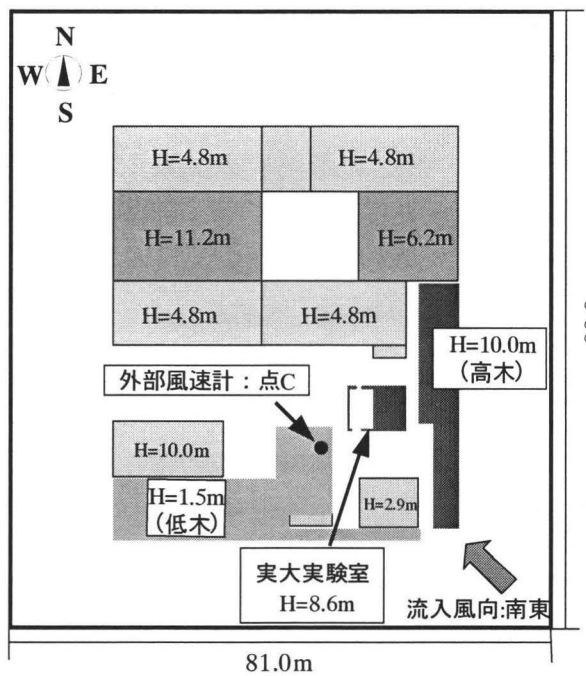


図 12　数値解析対象領域

表 3　数値解析の概要

基礎方程式	Durbin型k-ε モデル[文3)]を用い，等温計算を行った。
解析領域とグリッド分割	81m (x)×90m (y)×45.4m (z) の領域を55 (x)×64 (y)×43 (z) のグリッドに分割した。
スキーム	全ての輸送方程式の移流項にはQUICKスキームを使用。
樹木の取り扱い	文2) のCanopyモデル。
流入面，流出面の境界条件	流入風向は南東。解析領域の南面，東面を流入，北面，西面，上空面を流出，流出面を諸量に関して勾配を0とした。
周辺地形を考慮した流入プロファイル	実験室周辺の山越え地形を考慮し，対数則により求めた風速のプロファイルに，近藤ら[文1)]が提案した山越えによる平均風速の増加率を組み込んだ。
地表面，建物表面の境界条件	一般化対数則を使用。

3.2.2　室内外気流分布解析結果

(1)実測値との比較

現状の樹木配置，開口条件(case1)で室内外気流分布解析を行った。表 4，図 13 に多点風速計測定点(図 14)に対応する計算グリッドにおける，室内風速の数値解析結果と実測値の比較を示す。数値解析結果は流入部付近(測定点⑪，①～④)で実測値とほぼ一致し，その他の点ではやや低い値を示すものの，大小の関係は概ね傾向を捉えている。

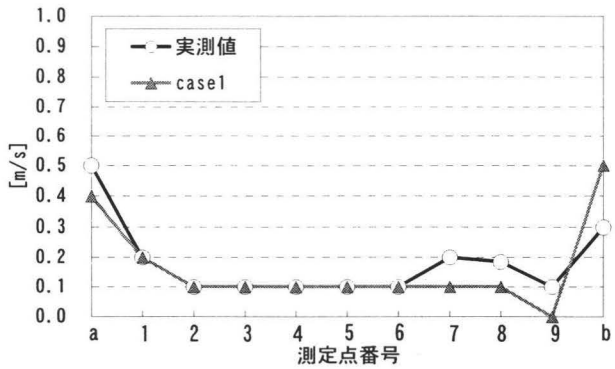


図 13　実測値と数値解析(case1)の風速の比較

（測定点：図 14 参照）

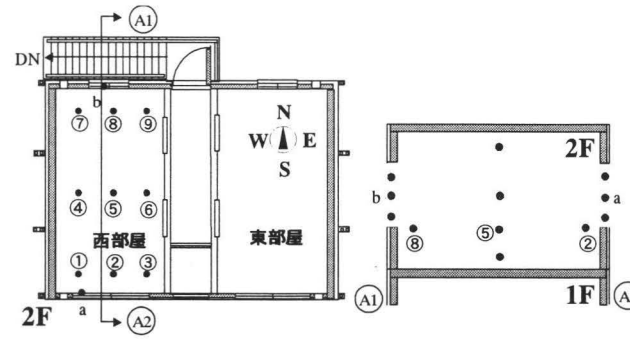


図 14　多点風速計測定点(床上 0.6m)

表 4　実測値と数値解析結果の比較（測定点：図 14 参照）

測定点	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
実測値[m/s]	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3
数値解析[m/s]	0.39	0.16	0.05	0.08	0.09	0.01	0.03	0.04	0.04	0.00	0.54

(2)風速ベクトル，スカラー風速，風圧係数の分布(図 15～18)

建物東側の高木が南東からの風を遮るため，風速が大幅に低下し，室内風速が外部風速に比べ非常に小さくなっており，流入での風速値は 1.6m/s を示すのに対して，室内風速はその 1 割前後となっている(図 15，16，18)。また，建物群北西側においての風圧係数が負となる領域が広がっている(図 17)。

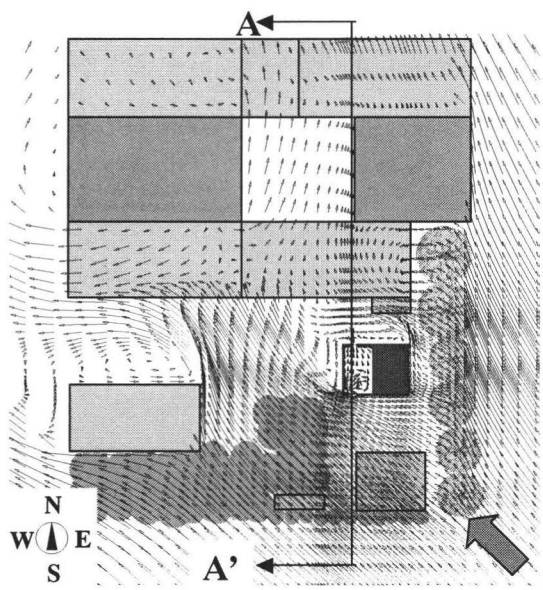


図 15　風速ベクトルの水平分布

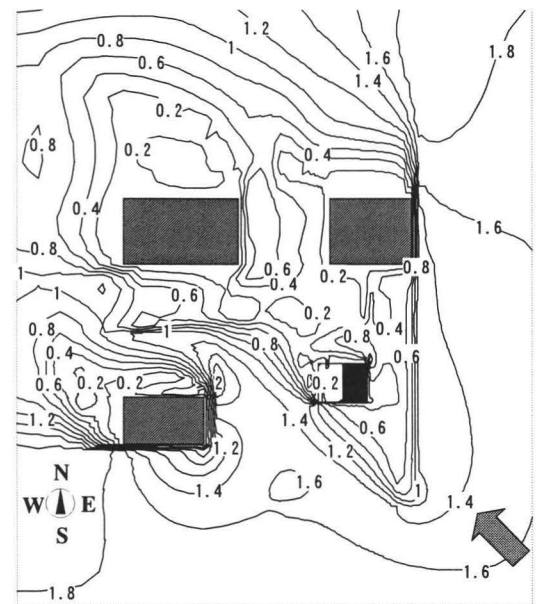


図 16　スカラー風速の水平分布

（解析全領域，高さ 4.5m，外部風向・風速:南東・1.8m/s（点 C(図 12)））

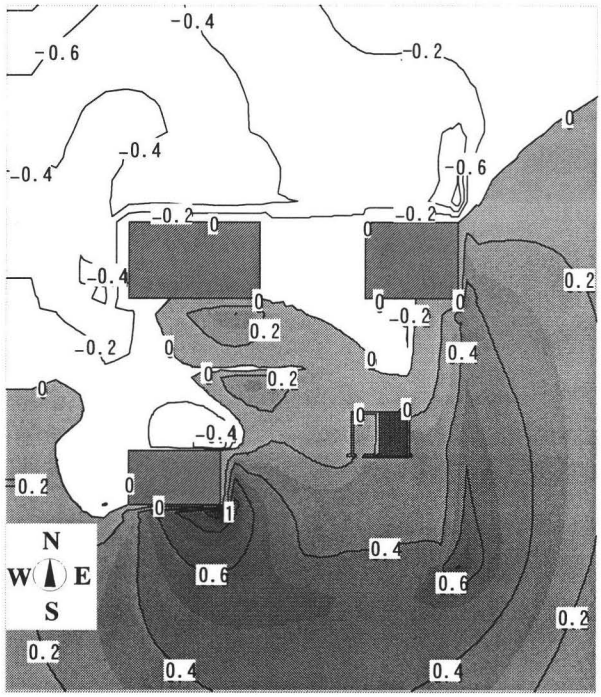


図 17　風圧係数の水平分布

（解析全領域，高さ 4.5m，外部風向・風速:南東・1.8m/s（点 C(図 12)））

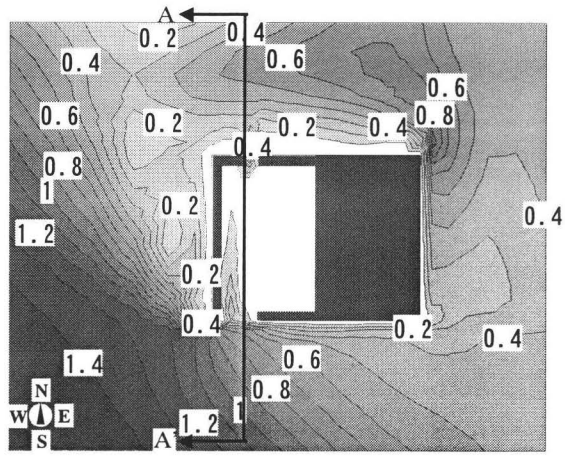


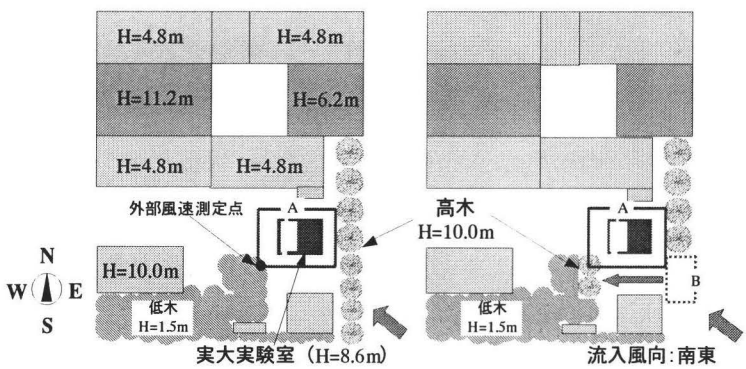
図 18　実験棟周辺のスカラー風速の水平分布

（高さ 4.5m）

3.2.3　樹木配置，開口条件の室内気流分布への影響

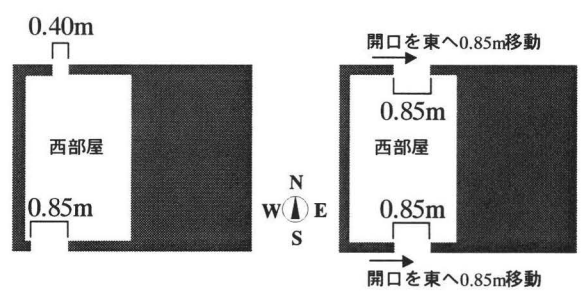
(1)　解析条件(図 19，20，表 5)

case2 は，現状の条件(case1)に対して,図 19(b)に示す樹木 B を実験室南西に移したケースである。また，case3(図 20(b))は，case1 の解析結果(図 18)において通風輪道が室西側に形成されていたことから，室中央の風速を増加させるため，南北開口を東へ 0.85m 移動させ，北側開口の幅を 0.4m から 0.85m に拡げたケースである。



(a)case1　　(b)case2

図 19　解析条件モデル図



(a)case1　　(b)case3

図 20　実大実験室モデル図

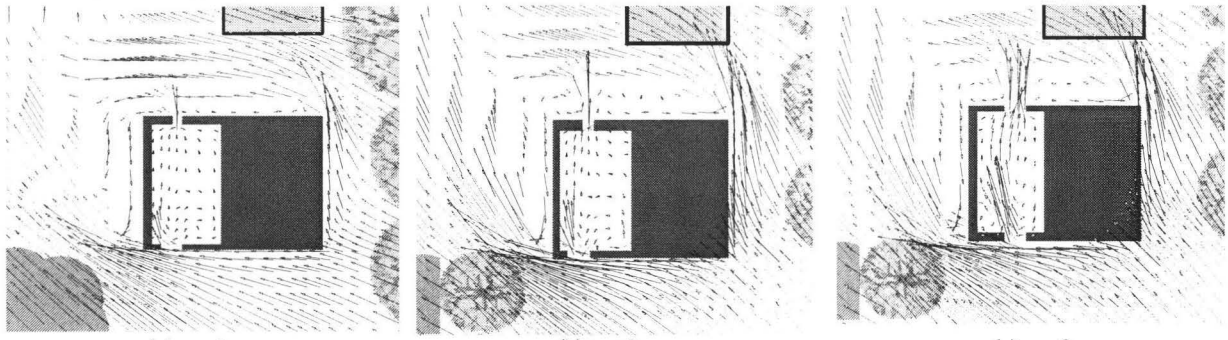
表 5　計算ケース

case1	現状のまま(図19(a)，図20(a))
case2	実験室東側高木一部移動(図19(b))
case3	case2の状態で南北開口を0.85m東にずらし， 北側開口を南側開口と同じ大きさにした(図20(b))

(2) 解析結果

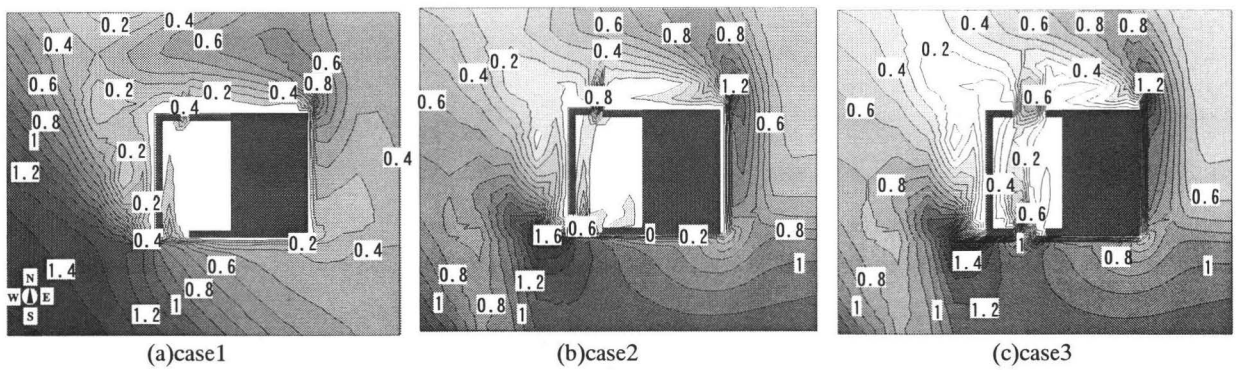
①case2(図 21(b)，図 22(b)) 樹木 B を移動した case2 では，case1 に比べ実験室近傍での風速が大きく増加し，南側窓面での風速は約 1.0m/s に達している。また，通風輪道がはっきりと形成され，室内風速の高い領域が増加している。

②case3(図 21(c)，図 22(c)) 南北開口を東へ 0.85m 移動させ，北側開口の幅を 0.85m に拡げた case3 では，建物周辺の風速分布は case2 とほぼ変わりはないが，室内では通風輪道が室中央を通り，室全体にわたり風速が増加している。



(a)case1　(b)case2　(c)case3

図 21　風速ベクトルの水平分布　(実験室近傍，高さ 4.5m)



(a)case1　(b)case2　(c)case3

図 22　スカラー風速の水平分布　(実験室近傍，高さ 4.5m)

③風速増加の割合　図 23 に多点風速計測定点(図 14)に対応する計算グリッドにおける case2, case3 のスカラー風速を，現状に対応するケースである case1 の結果で除した数値(風速増減比)を示す。case1 に対して他のケースのほとんどの測定点で風速が増加し，樹木配置の変更，開口の移動の効果が確認される。

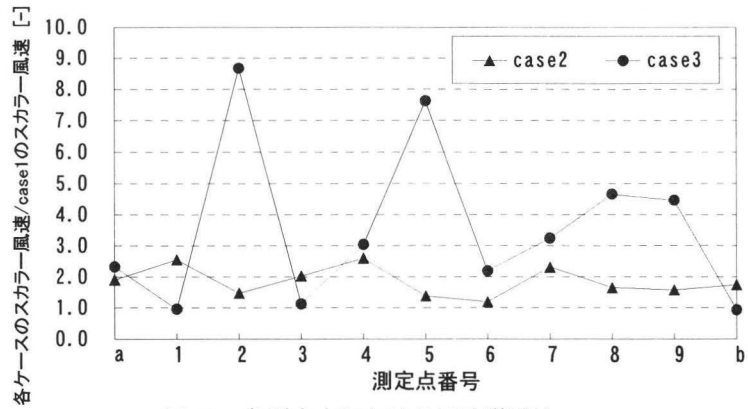


図 23　各測定点における風速増減比

④PMV　実験における実測結果と風速増減比(図 23)を基に，実測値と風速がほぼ一致していた測定点④(図 14)における PMV の日変動を算出した。実験の期間中，数値解析の条件と同様に窓の開口面積率が 100%で，外部風向がほぼ南東であった 8/26 の 11:00～16:00 の結果を図 24 に示す。測定点④において風速増減比が最も大きかった case3 の PMV の値が，現状の条件の case1 に比べて 0.3～0.5 低くなり，最も小さくなった。11:00～16:00 の間に PMV が快適範囲に入った時間は，case1 が 1 時間 51 分，case2 が 3 時間 7 分，case3 が 3 時間 4 分であり，快適範囲に入る時間は case1 に比べ他のケースでは約 1 時間 20 分増加した(表 6)。

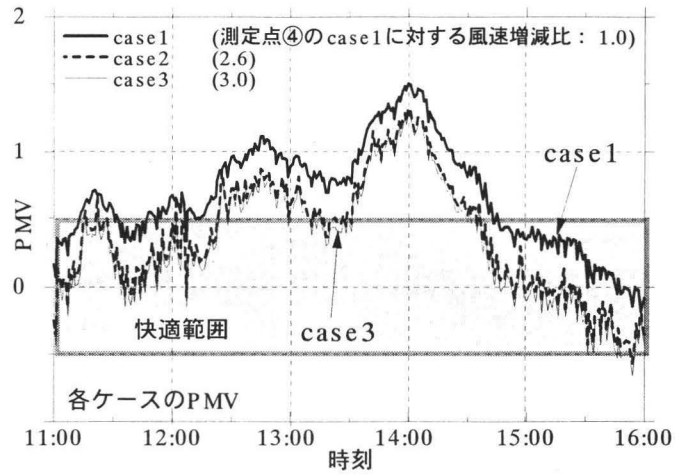


図 24　各ケースの PMV の時間変動(8 月 26 日，測定点④)

表 6　各ケースの PMV が快適範囲に収まる時間

(8 月 26 日 11:00～16:00，測定点④)

	case1	case2	case3
PMVが快適範囲に入る時間	1時間51分	3時間7分	3時間4分

3.2.4　数値解析のまとめ

1) 周辺地形，樹木の影響を考慮した Durbin 型 k-ε モデルによる室内外気流分布解析を行い，室内風速の実測値と比較し，通風時の室内風速分布の傾向を概ね再現していることを確認した。

2)解析により通風時の建物内外の気流性状を詳細に明らかにした。

3)現状に対応するケース(case1)に対して,樹木配置を変更したケース(case2),開口を移動させたケース(case3)　では室内風速が大幅に増加した。

4)適切な樹木配置等により対象建物周辺の風環境を制御するとともに，これを踏まえて大きな外気導入量が期待できる位置に窓開口を配置することにより，通風の効果は格段に大きくなることを確認した。

4．これから期待される成果

1)通風のような自然エネルギーの利用は，安定性に欠ける面から避けられる傾向にある。しかし通風という古典的な暑熱緩和手法を用いてもこれを最新の温熱快適性モデルと組み合わせる事により，安定した室内の快適環境が保たれる事が実証された。今後多くの計画での利用可能性がある。

2)本研究で試作したインテリジェント・ウィンドウシステムは，外気導入量のみでなく流入する空気の質，温湿度まで考慮した制御が出来るため，実用化すれば，市街地における通風利用の可能性が増し，冷房用エネルギーの大幅な削減が期待される。特に，高温多湿のアジア地域に適した省エネ型の環境調整技術であり，この地域の現在の急激な発展を考えると，その社会的意義は大変に大きい。

5．残る問題点と対策

(1)　本研究では室中央に設置されているセンサーの測定結果に基づいて窓開閉制御を行ったが，室内の温熱環境要素には空間分布があることや本システムを実用化することを考えると，センサーの配置に対する検討が不十分である。また，空調設備としての実際の利用を想定すると，このシステムは外界気象変化の影響を大きく受けるため，全ての期間において本システム単独で室内環境を快適範囲に収めることは不可能である事も明らかである。今後エアコンや輻射パネルなどを補助システムとして利用したハイブリッド型システムの検討が必要である。

(2)　CFD を用いた数値解析により，周辺地形や樹木配置の影響も含めた建物周辺風環境の高精度予測を行ったが，等温計算であることや日射の影響，樹木の温熱環境への影響を考慮していないことから，PMV や SET*に基づく定量的な室内温熱環境評価には至っていない。今後は，温度計算及び放射計算を行い，より詳細な室内温熱環境の解析が必要である。

6．研究発表の実績及び予定

竹田智哉，持田灯，吉野博，掛川敏正：室内温熱快適性改善のための建物内外の風環境設計法に関する研究，第17回風工学シンポジウム論文集，pp.83-88，2002.12　に発表。

Akashi Mochida, Hiroshi Yoshino, Tomoya Takeda, Toshimasa Kakegawa : Methods for Controlling Airflow in and around Building under Cross-Ventilation to Improve Indoor Thermal Comfort, 11th International Conference on Wind Engineering 2-5 June 2003, Lubbock Texas, USA に発表予定（採用決定）。

参考文献

文 1)　近藤宏二，河合宏充，川口彰久：小地形周りの風速増加率の評価－2 次元の昇り勾配の崖の場合－，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.105-106，2001

文 2)　加藤敦子，持田灯，吉野博，村上周三：植生 Canopy モデルを組み込んだ k-ε モデルによる単独樹木周辺の風速分布の予測，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp929-930，2001

文 3)　P.A.Durbin : On the k-ε stagnation point anomaly, Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol.17, No.1, pp.89-90,1996-2

1-20 室内熱空気環境から見た冬期の居住性能に関する地域特性の20年間の変化

東北工業大学
教授　石川　善美

1　研究の背景と目的

近年の地球温暖化問題などの環境に対する関心や住宅における室内環境など，快適性への追求に伴い，住宅・建築の省エネルギーに対する意識が高まりつつある。住宅においても，より少ないエネルギーでより快適な室内環境を実現することが必要となってきている。さらに住宅・建築部門でより一層の省エネルギー化が求められていく現在，住宅における室内環境の質を確保することの重要性が増している。住宅の室内環境をより良いものとして普及させていく上で，温熱環境や住宅設備，シェルター性能，エネルギー消費量，居住者特性などの項目について十分に把握しておく必要がある。しかし，住宅の室内環境における現在までの調査結果や問題点についての報告は少なく，不明な点が多い。

特に，東北地方の気候条件は地域によって多様であり，東北地方の冬期の気候特性は太平洋側と日本海側，内陸部と沿岸部など地理的条件によって大きく異なり，東北地方が南北に長いことも相まって，6区分あるいは7区分の分類[1)]がなされている。そのため，熱環境から見た冬期の居住性能も地域によって異なった特徴を有するものと推察される。したがって，熱環境からみた住宅の居住性能の変化や住宅の断熱気密化による室内熱空気環境の特徴やそれに関わる問題について考えていく上で，地域的特徴を十分に把握しておく必要がある。さらに1982年度，1992年度に東北地方を中心とした住宅の室内環境調査を継続して実施されており，熱環境から見た住宅の居住性能の変化や住宅の断熱気密化による室内熱空気環境の特徴やそれに関わる問題についても検討されている。例えば，東北地方都市部の木造独立住宅における熱環境からみた冬期の居住性能に関しては，昭和54年，55年度の冬期に8都市78戸の住宅を対象として詳細な測定を行ったが，対象住戸の数が限られていたため，住宅の断熱気密性能や暖房方法等の今後のあり方を考える上で必要となる地域的特性を明らかにするまでに至らなかった，と報告されている[1)]。また，その地域特性を明らかにすることを主目的とした1982年度調査結果では，ⅰ)比較的札幌に近い青森，秋田。ⅱ)札幌とは対照的であり，府中と同グループと見なせる宮古，福島，いわき。ⅲ)それらの中間に位置し，両者にまたがる八戸，盛岡，横手，山形，酒田，仙台，会津若松の3つのグループに分類できる，と報告されている[2)]。さらにその後多くの研究結果で，東北地方の住宅における居住環境も大きく変化したものと推察され，1992年度調査結果ではa)居住性能が札幌に類似した，青森。b)居住性能が札幌に比較的近い，八戸，秋田，盛岡。c)札幌とは対照的な居住性能を示し，府中と同じグループと見なせる，いわき。d)上記b)，c)の中間に位置し，両者にまたがる，宮古，山形，横手，酒田，福島，会津若松，仙台の概ね4つのグループに類型化できた，と報告されている[3)]。したがって，過去20年間の結果から今後も東北地方都市部の住宅において居住性能における変化が見られると推察される。よって，さらに今後の熱環境からみた東北

地方の住宅における居住性能のあり方を検討する必要があると考えられる。

東北地方都市部を対象とした熱環境からみた冬期の居住性能に関する地域特性[2),3)]についての調査や分析は1982年度，1992年度によって継続して実施されており，10年後にあたる2002年度の熱環境からみた冬期の居住性能に関する地域特性の実態についても十分に把握することはたいへん意義深い。

そこで，本研究では東北地方都市部の住宅における冬期の居住性能を把握するために，10年毎に実施されている東北地方の12都市，及び比較の対象として札幌，府中の計14都市の住戸約1000戸を対象とした熱環境からみた冬期の居住性能の変化についてのアンケート調査及び室温調査を実施した。1982年度，1992年度，2002年度による過去20年間の調査結果を比較することで，現在の東北地方都市部の住宅における冬期の居住性能の実態を明らかにする。また，その得られた調査結果を基に数量化理論等の分析を用いて，居住性能や地域特性を明らかにし，今後において東北地方の住宅における居住性能の変化を整理するための基礎的資料を得ることを目的とする。

なお，今回の調査では，最近の室内空気環境への関心の高まりや問題の顕在化を考慮し，室内化学物質を測定項目に加え，問題がありそうな住宅に関して追加調査を行い，室内空気環境に関する現状の把握やそれに影響を及ぼしている要因について考察を行うことにより，今後の課題を明確にすることとする。

2　研究の方法

本研究では，東北地方都市部の住宅における冬期の居住性能の経年変化を調査・分析するための方法として，①東北地方12都市及び札幌，府中を対象としたアンケート調査及び室温調査についての過去20年間の比較，②数量化理論等による分析，の2つの方法を用い，東北地方の居住性能や地域特性を明らかにする。

3　調査の概要

3.1　対象都市と調査期間

対象都市，調査期間，回収状況，使用データ数，調査期間中の外気温を表3-1に示す。対象都市は1982年度，1992年度の調査と同様の都市を選定し，東北地方12都市と札幌，府中である。室温の調査期間は，原則として2002年2月の連続した1週間であるが，一部の地域に関しては多少のずれがある。これはアンケート調査の依頼を各都市の小学校や高等学校，大学，さらには一般住宅にお願いしたため，調査期間を統一出来なかったためである。外気温は各都市の最寄りの気象観測データを用いた。

また，室内空気質の測定対象は，秋田県(6件)，岩手県(3件)，宮城県(3件)，東京都（1件）の計13件である。

3.2　調査方法

原則として各都市の小学校2校を旧市街地と新興住宅地から各都市の教育委員会からの紹介により選定した。但し，都合により札幌市については北海道工業大学，八戸市については八戸工業大学第一高等学校の2クラス，本荘市においては10年前，20年前の調査では秋田

市が対象都市であったが，依頼が不可能だったため本荘市の小学校 2 校，府中市については市民モニターを募集し，協力可能な住宅を対象とした。5 年生 1 クラスの児童を通して，アンケート調査用紙と液晶温度計を配布し，調査用紙への記入，居住者による居間と寝室温度の読み取りを依頼し，調査終了後学校ごとに回収を依頼した。対象住宅のサンプリングに際して，戸建住宅と集合住宅を区別していないため，両者が含まれている。

室温の測定は 1982 年度，1992 年度の調査と同様に，液晶温度計を床上 1m の柱や壁に貼り付けてもらい，起床時(以後朝と呼ぶ)，日中(昼)，夕食後の団らん時(夜)の 1 日 3 回，1 週間にわたって温度計の読み取りを依頼した。液晶温度計の測定範囲は 0～34℃，目盛りの表示は 1℃刻みである。また，今回は 1992 年度のアンケート調査と同様に，各住戸に 2 枚配布し居間と主寝室における温度を測定した。

室内空気質の測定は，先に実施するアンケート調査により室内空気環境に関連する問題点を指摘している居住者を対象に行った。対象物質はホルムアルデヒド，トルエン，キシレン，エチルベンゼン，スチレンである。測定にはパッシブ型のサンプラーを用い，居間を対象に 24 時間暴露した後に回収し，分析を行った。

3.3　調査内容

アンケート調査の内容を表 3-2 に示す。温熱環境，設備，住まい方，シェルター性能，エネルギー消費量，居住者特性，及び室内空気環境と湿度環境に関わる項目の約 35 項目である。

4　調査結果

4.1　温熱環境に関するアンケート調査結果

アンケート調査の主な結果を図 4-1 に示す。

(1)居住者の特性

家族人数については各都市とも 4～5 人家族で構成されている地域が多い。家族年間総収入については各都市とも 500～750 万円の間が多いが，酒田や宮古では都合によりアンケート調査が出来なかった。世帯主・配偶者の年齢については男性，女性とも大半の地域で 30～40 代の割合が多い。

(2)建物構造の特徴

住宅形式について府中は共同住宅の割合が多く，その他の都市では独立住宅の 2 階建以上の割合が多い。住宅の構造については全体的に木造の在来工法による住宅の割合が多く，RC 造の割合が増加傾向にある。築年数については各都市によってばらばらで地域的な差が現れている。床面積について，全体の平均値は 20 年前より 30m^2，10 年前より 10m^2 増加しており，今回は 131.3m^2 となった。

(3)建物の断熱気密性能

断熱材の使用状況は各都市とも上昇しており，全体の使用率は 10 年前と同様，約 64%である。窓・テラス戸などの構造については山形，仙台以南の都市で 1 重と 1 重＋障子の使用率が 50%以上を占め，逆に札幌や青森など，北東北地域では 2 重の使用率が約 60%以上を占める。床の仕上げについては全体的に地域によってばらつきがあり，様々な床仕上げが施してある。居間の隙間風については各都市とも「全く感じない」「少し感じるときがある」と

答えが多く，全体の50%以上を占めている。冬の日照については各都市とも日照が良いと答えた割合が多く，約70%を占める。一方，日照状況が悪い原因は，隣の家と接近しているが多い。雨戸の使用状況については各都市とも雨戸を使用していない住宅の方が使用している住宅より多く，南下するにつれて使用率が高くなる傾向がある。以上より全体的に断熱気密性能が高い住宅が増加していると考えられる。

(3)居間の暖房環境について

暖房使用器具は各都市における主暖房設備はFF式石油ストーブと石油ファンヒーターの使用率が多い。特に，札幌では10年前と同様，セントラル暖房の使用率が多く，電気こたつや電気カーペット，ルームエアコンは南下するにつれて使用率が上昇している。暖房使用時期については全体的に暖房期間が若干増加した傾向があり，例えば札幌では5ヶ月～8ヶ月で約半月，暖房期間が増加した。暖房器具使用時間のタイプでは札幌，青森，本荘，酒田では終日もしくは起床～就寝時の割合が多く，特に札幌では終日暖房が50%以上を占めている。全体的に暖房時間は10年前より増加している。暖房器具使用による空気汚染とその対策については，各都市とも「時々感じる」「全く感じない」と答えた住宅が多く，特に札幌では「全く感じない」と答えた割合が50%以上を占める。空気の乾燥・加湿の工夫については全体的に「やや乾燥している」「ちょうど良い」と感じている住宅が多く，逆に札幌では「非常に乾燥している」と答えた割合が多い。加湿の工夫では札幌や北東北地域では工夫をしている割合が多く，70%を占める。逆に，その他の都市では特に何もしていないと答えた割合が多い。

(4)居間の結露

結露する部位については居間の場合，札幌や青森では「結露はしない」と答えた割合が50%以上を占め，南下するにつれて「結露はしない」と答えた割合が少なくなっている。逆に，寝室の場合「結露はしない」と答えた割合が少ない。結露する箇所の中で最も多いのは窓・サッシ部分で居間，寝室ともに多い。結露の対策については，各都市とも結露対策をしている割合が多く，年々増加している。その対策の中で「換気に気を付けている」と答えた割合が多い。

(5)その他

各種住宅設備の保有状況については，地域によって住宅設備の保有率が異なり，地域的な差がかなり見られる。着衣量については男性，女性の場合ともにclo値が低い割合が高く，10年前より薄着になっている傾向がある。地域的な差については10年前同様，あまり見られない。

4.2　灯油消費量

(1)東北地方各都市の一冬の灯油消費量(図4-2)

2002年度調査では東北地方各都市における一冬の灯油消費量の平均値は1056リットルであり，1992年度調査では973リットル，1982年度調査では872リットル6)8)と，灯油消費量は年々増加している。また，消費量の分布状況を見ると，1600リットル以上消費する住宅の割合が増加しており，分布範囲が広がっている。この理由の一つとして，10年間で住宅の規模や面積が増大していることが考えられる。

(2)一世帯当たりの灯油消費量過去20年間の推移(図4-3)

図に示す灯油消費量には暖房用が含まれているため，都市毎の差異は暖房環境に対する考え方が反映されるものと推察される。2002 年度調査において，一世帯当たりの灯油消費量における過去 20 年間と比較して増加している地域は，青森，横手，本荘，盛岡，会津若松，仙台である。一方，減少している地域は札幌，福島，府中である。例えば，札幌市は 20 年間で減少傾向にあるが，これは積極的に断熱気密化を行い，暖房用エネルギー消費量の削減が実現しているためと考えられる。それに対して，北東北地域の住宅の消費量は増加傾向を示している。東北地方の住宅の暖房環境は，必要な時間，必要な空間のみを暖める「採暖」により形成されていた為，元々のエネルギー消費量が少ない。このような状況において，暖房環境の質を求めれば当然，消費量は増加してしまう。南東北地域を含め，府中に関しては札幌や北東北地域と違い，気候条件が異なるので居住空間における部分的な暖房形態であるので，住宅の断熱気密機能が向上した分，消費量が減少していると考えられるが，一概には言えない。

4.3　各都市における室温の調査結果

(1)各都市の平均値と分散

各住戸の室温としてある一週間の平均値を用いた。以後，室温とはこの値を示す。各都市における室温の平均値と分散データとグラフを表 4-1，図 4-4，4-5 に示す。また，ここで示す図，表については過去 20 年間の推移を考察するべく，1982 年度(20 年前)，1992 年度(10 年前)のデータも示す。

居間の室温は(図 4-4(a)，(b)，(c))各都市とも朝，昼，夜の順に平均値は高くなり，標準偏差については地域によってばらつきが見られる。全体の平均値及び標準偏差は，朝(平均値：16.6℃，標準偏差：1.7)，昼(平均値：18.9℃，標準偏差：1.5)，夜(平均値：20.1℃，標準偏差：1.5)である。1992 年度(10 年前)のデータは朝(平均値：13.9℃，標準偏差：5.3)，昼(平均値：17.9℃，標準偏差：3.7)，夜(平均値：19.6℃，標準偏差：3.3)であり，1982 年度調査(20 年前)では朝(平均値：10.2℃，標準偏差：5.2)，昼(平均値：16.5℃，標準偏差：4.1)，夜(平均値：17.9℃，標準偏差：4.0)である。平均値については全体的に年々上昇している。特に，朝の室温上昇が大きい。また，標準偏差については全体的に年々小さくなっており，分散が小さくなっている。1992 年度の朝における標準偏差の結果より，暖房している住戸としていない住戸が混在していると考えられていたが，2002 年度の調査結果により，住戸間のばらつきが小さくなる傾向があると予想される。

居間の朝の室温については，平均値が高かったのが札幌や青森，本荘で逆に低かったのは宮古やいわき，府中である。また，昼の室温については平均値が高かったのが札幌，青森，本荘で逆に低かったのは八戸，宮古，福島，いわきである。夜の室温については平均値が高かったのが札幌，青森，本荘で逆に低かったのが会津若松，いわき，府中である。これらの居間の室温結果をもとに都市についてグループ分けをすると，①札幌，青森，本荘，②八戸，盛岡，横手，③山形，酒田，仙台，福島，④宮古，会津若松，いわき，府中に分けられる。これら 4 つのグループは①～④の順に室温が高～低になる。札幌は 1992 年度調査同様，朝，昼，夜を通じて平均値が高く，標準偏差が小さい。これは終日暖房の影響がでているからと考えられる。

寝室の室温は(図 4-5(a), (b), (c))札幌，宮古，福島，いわき，府中を除いて朝，昼，夜の順に平均値が高くなる。札幌，宮古，福島，いわき，府中はどの都市も昼の室温が夜の室温よりも高い平均値を示す。標準偏差については居間と同様，地域によってばらつきが見られる。全体の平均値及び標準偏差は，朝(平均値：12.5℃，標準偏差：1.6)，昼(平均値：14.8℃，標準偏差：1.8)，夜(平均値：15.2℃，標準偏差：1.8)である。1992 年度のデータは朝(平均値：9.0℃，標準偏差：4.8)，昼(平均値：12.6℃，標準偏差：4.5)，夜(平均値：12.8℃，標準偏差：5.3)である。平均値については 1992 年度(10 年前)より上昇し，標準偏差については 1992 年度より小さくなっている。ここで 1992 年度の調査結果では，標準偏差はどの都市も昼が最も小さく，昼に暖房していない住戸が多く，朝，夜には暖房する住宅としない住宅が混在していると考えられていた。しかし，2002 年度調査結果から，標準偏差については地域によって朝，昼，夜でばらつきが見られ，各地域における暖房形態の特徴が変化してきていることが考えられる。

寝室の朝の室温で平均値が高かったのは，札幌，青森，仙台，府中で，逆に低かったのは宮古，本荘，横手，酒田である。また，昼の室温について平均値が高かったのは札幌，青森，八戸，会津若松で，逆に低かったのは本荘，横手，酒田である。夜の室温については平均値が高かったのは札幌，青森，仙台，八戸，盛岡で，逆に低かったのは宮古，本荘，横手である。これらの寝室の室温結果をもとに，居間と同様，都市をグループ分けすると，①札幌，青森，仙台，②八戸，盛岡，山形，府中，③福島，いわき，会津若松，④宮古，本荘，横手，酒田の 4 グループに分けられる。これら 4 つのグループは①～④の順に室温が高～低になる。

各都市の居間と寝室の平均値の差(表 4-1)を朝，昼，夜について比較すれば，全体的に札幌が最も小さい値を示す。その他に府中，八戸，いわき，会津若松が小さい値を示している。逆に，差が最も大きかったのは本荘で，その他に横手，宮古，盛岡，酒田が大きい値を示している。特に，朝の平均値の差については府中が最も小さい値を示し，次いで札幌，会津若松，いわきという順に小さい値を示している。　逆に，差が最も大きい値を示すのは本荘市で，次いで横手，酒田，宮古という順である。昼については，札幌が最も小さい値を示し，次いで八戸，会津若松，いわきという順である。逆に，最も大きい値を示すのは本荘で，次いで酒田，横手，青森という順である。夜については，札幌が最も小さい値を示し，次いで府中，会津若松，八戸という順である。逆に最も大きい値を示すのは本荘で，次いで横手，酒田，福島である。

4.4　室内空気質の測定結果

先のアンケート調査において室内環境に関して何らかの問題点を指摘している住宅を優先的に選択し，室内空気質測定の協力を依頼した。協力が得られた住宅は表 4-2 に示す 13 件である。これらの住宅では，主に結露による問題を指摘している住宅が大半を占めているものの，室内空気環境に対する問題は指摘していない。

表 4-3 に測定結果を示す。大半の住宅は厚生労働省の指針値を下回っているが，住宅 4 でスチレンが指針値の 2 倍の値となっている。住宅 4 は，ある程度の断熱気密化が施されており第 3 種機械換気が設置されているが，ほとんど運転されておらず，換気が十分に行われていない可能性が高い。スチレン濃度のみが高い理由は明確でないため，追跡調査を行う必要

がある。また，測定対象住宅の中にはアトピー性鼻炎や皮膚炎を被っている家族が含まれているため，原因究明のためには室内化学物質のみではなく，ダニ・カビなどのハウスダストによるアレルゲンに着目した調査を実施する必要がある。結露被害に関する目視調査では，壁面のカビ(住宅 1)，天井面のカビ(住宅 4)，押入内のカビ(住宅 6)，壁面・ガラス面のカビ(住宅 12)が確認されている。その他，カビの発生には至らないものの，ガラス面の結露は見られた。カビの発生は健康被害など 2 次的な影響を及ぼすため，何らかの対策が必要である。結露発生の原因には，断熱性が十分確保されていない場合や換気不足が指摘できるが，居住者側の意識も重要であり，換気への配慮が求められる。

5　数量化理論による居住性能に関する分析

5.1　室温に及ぼす因子の影響度

10 年間の居間の室温上昇に及ぼした因子を把握するために，数量化理論 I 類による分析[4]を行った。対象住宅は戸建住宅(独立住宅)とし，目的変数は夜の室温であり，説明変数としては室温と関連が深いと考えられる 18 因子を選んだ。結果を図 5-1 に示す。

重相関係数は 0.66，寄与率は 0.43 である。10 年前(1992 年度調査)のデータによる分析結果は 0.68，0.46 である。また，20 年前(1982 年度調査)のデータによる分析結果は 0.64，0.41 である(過去の調査ともに重相関係数，寄与率の順)。室温への寄与が大きい因子は都市，暖房時間タイプ，こたつ，男性の着衣量などである。逆に，隙間風の感じ方，住宅構造，窓構成，断熱材の有無，家族人数は室温に対する寄与が小さい。10 年前，20 年前のデータと比較すると築年数，日照，雨戸の有無，こたつの有無の寄与が高くなる傾向があり(雨戸の有無については 20 年前の分析項目に存在しない)，逆に都市，隙間風，住宅構造，石油消費量，家族人数，年間収入の寄与は小さくなる傾向がある(住宅構造，石油消費量，家族人数については 20 年前の分析因子に存在しない)。その他の因子については各年度によってばらつきが見られる。室温に対する寄与が大きい因子について見ると以下の通りである。①都市では，札幌，青森，宮古，本荘，府中のウェイトが高く，福島，いわき，会津若松が低い。ウェイトの最大差は 4.2℃であり 10 年前では 3.6℃，20 年前では 4.7 であったことから，都市間での室温の差がまた大きくなったことがわかる。②暖房時間タイプについては，“終日暖房”のウェイトは 10 年前より低く，“夜のみ暖房”が高くなっているが，その他のタイプでは暖房時間の増大に伴いウェイトが高くなる傾向が見られる。ウェイトの最大差は“終日暖房”と“夜のみ暖房(夕食－就寝)”の 1.1℃であり，10 年前では 2.6℃であったことから，暖房時間タイプでの室温の差が小さくなったことがわかる。③こたつについては 10 年前，20 年前のデータと比較すると“使用しない”割合が大きくなり，“使用する”のウェイトが年々小さくなっている。“使用する”と“使用しない”とのウェイト差は 1.2℃であり，10 年前，20 年前では 1.0℃未満であったことから，こたつでの室温の差が大きくなったことがわかる。④着衣量については男性(主人)の場合，“1.25clo 未満”では clo 値の増加に伴ってウェイトが低くなり，逆に“1.25clo 以上”のウェイトは高くなっている。“1.00~1.25clo”と“1.25clo 以上”では 1.6℃のウェイトの差がある。一方，女性(主婦)の場合は男性の場合ほど大きな差は見られないが同様の傾向を示し，“0.75clo 未満”と“1.25clo 以上”との間で 0.7℃の差がある。

5.2　灯油消費量に及ぼす因子の影響度

10年間の灯油消費量の変化に及ぼした因子を把握するために，数量化理論Ⅰ類による分析[4]を行った。対象住宅は戸建住宅(独立住宅)とし，目的変数は一冬の灯油消費量であり，説明変数としては灯油消費量と関連が深いと考えられる23因子を選んだ。結果を図5-2に示す。

重相関係数は0.708，寄与率は0.501である。10年前(1992年度調査)のデータによる分析結果は0.719, 0.517である。また, 20年前(1982年度調査)のデータによる分析結果は0.683, 0.466である(過去の調査ともに重相関係数，寄与率の順)。石油消費量への寄与が大きい因子は都市，築年数，主暖房器具，室温，暖房時間タイプ，石油暖房器具使用の部屋数などである。逆に，窓構成，日照，雨戸の有無，こたつの有無などは石油消費量に対する寄与が小さい。10年前，20年前のデータと比較すると築年数，住宅構造，床構成，断熱材の有無，室温，石油暖房器具使用の部屋数，家族人数，女性(主婦)の着衣量の寄与が高くなる傾向があり(住宅構造，石油暖房器具使用の部屋数，家族人数については20年前の分析項目に存在しない)，逆にこたつの有無の寄与は小さくなる傾向がある。その他の因子については各年度によってばらつきが見られる。室温に対する寄与が大きい因子について見ると以下の通りである。①都市では，青森がウェイトが高い。逆にウェイトが低いのは，八戸，福島である。札幌は-9缶であり，10年前では約23缶，20年前は約50缶であったことから，札幌においては一世帯当たりの冬期の石油消費量が年々減少していることに起因していると考えられ，これは断熱気密化を積極的に行い，石油消費量の削減が実現している為と推察される。ウェイトの最大差は41缶(1缶18リットル)であり，10年前では44缶，20年前は69缶であったことから，都市間での石油消費量の差が小さくなったことがわかる。②築年数については“H(平成)9年未満”では築年数の増加に伴ってウェイトが高くなり，“H9以上”の新しい住戸ではマイナスのウェイトを示す。③主暖房器具については，“開放式ストーブ“の使用住戸が平均値に対して2.3缶多く，それ以外の暖房器具については平均値より低い。“セントラルヒーティング”と“開放式ストーブ”との差は20缶である。　④室温については朝の場合，室温の上昇に伴ってウェイトが高くなる傾向があり，ウェイトの最大差は51缶である。昼の場合，室温の上昇に伴ってウェイトが低くなる傾向が見られ，ウェイトの最大差は51缶である。夜の場合は，“22℃未満”で室温の上昇に伴ってウェイトが高くなる傾向があり，“22℃以上”では室温の上昇に伴ってウェイトが低くなる傾向が見られる。ウェイトの最大差は41缶である。⑤暖房時間タイプについては，暖房時間が短いほどウェイトが低くなる傾向が見られる。また“終日暖房”と“夜のみ暖房”のウェイト差は33缶である。⑥石油暖房器具使用の部屋数については，使用部屋数が“0室”の場合平均値に対して18缶と多く，“1室以上”では部屋数が多くなるほどウェイトが高くなる。使用部屋数が“0室”と“1室”では43缶の差が見られる。

5.3　熱環境からみた居住性能に関する地域特性の分析

居住性能に関する地域特性を総合的に明らかにするために数量化Ⅲ類による分析[4]を行った。使用した因子及びカテゴリーは表5-1に示す19因子83カテゴリーである。

(1)シェルター性能に関する因子を用いた分析

住戸のシェルター性能を示す因子として表5-1の1～8までの因子を用いて分析を行った。計算結果から相関係数の高い順に得られたⅠ(X)軸，Ⅱ(Y)軸に関するカテゴリーの散布図を

図 5-3(a)，各都市の住戸の散布図を図 5-3(b)に示す。

図 5-3(a)によると，Ⅰ軸は正の領域において“隙間風を常に感じる”“築年次が S58 年以前”“断熱材なし”“窓構成が木製 1 重，その他”といったカテゴリーが布置され，負の領域には“隙間風を全く感じない”“断熱材あり”“窓構成が 2 重以上”“築年次が H9 年以後”というカテゴリーが布置され，Ⅰ軸はシェルター性能の優劣に対応している軸と考えられる。年間収入除外データと比較すると，Ⅰ軸において正負の領域に布置されるカテゴリーが逆であり，10 年前の結果とは異なるが 20 年前の結果とは同様のカテゴリーがⅠ軸において布置される。一方，Ⅱ軸については正の領域において“雨戸あり”“日照が良い”“床面積が 140 ㎡未満”“といったカテゴリーが布置され，負の領域については“雨戸なし”“日照が悪い”“床面積が 140 ㎡以上”というカテゴリーが布置される。他のカテゴリーについては一つの因子に対して様々なカテゴリーが同じ領域に布置されるため，はっきりとした特徴は示されていない。以上の結果は 10 年前，20 年前と同じ傾向を示していると言える。ここでⅠ軸，Ⅱ軸についてカテゴリースコアが近い値を示し，関連性が高いと思われるカテゴリーは①“隙間風を全く感じない”“断熱材あり”“窓構成が 2 重以上”“雨戸なし”“築年次が H9 年以後”，②“断熱材なし”“築年次が S58 年以前”“隙間風をしばしば感じる”“窓構成が 1 重＋障子”，③“雨戸あり”“断熱材の使用状況がわからない”“床面積が 60 ㎡未満”，④“窓構成が木製 1 重，その他”“床が畳＋絨毯”“隙間風を風の強い時に感じる”“床面積が 180 ㎡以上”などが挙げられる。また，住戸の布置に影響の高いカテゴリーは“築年次が H9 年以後”“床面積が 60 ㎡未満”“床面積が 140～180 ㎡”“隙間風を常に感じる”“断熱材の使用状況がわからない”“雨戸あり”“窓構成が木製 1 重，その他”“床が畳＋絨毯”などであり，年間収入除外データとあまり変わらないカテゴリーが挙げられる。

次に図 5-3(b)を見ると，年間収入除外データと同様に分析で用いた各都市における反応数の違い等から，各都市における住戸のばらつきは大きく，Ⅰ軸において正の領域に布置される住戸の割合が高い。札幌や青森(＊青森の数件の住戸を除く)以外の都市では都市間の差は小さく，例えば八戸や盛岡，横手，宮古などの北東北地域と福島やいわき，会津若松などといった南東北地域とではⅡ軸において正の領域に布置される住戸のばらつき方が異なる。また，南下するにつれてⅠ，Ⅱ軸において正の領域に属する住戸が多くなる傾向がある。札幌は他の都市に比べてばらつきは小さく，Ⅰ軸においてほとんど負の領域に布置されている。カテゴリーの散布図と対応させると，“隙間風を全く感じない”“断熱材あり”“窓構成が 2 重以上”“雨戸なし”という住戸が多く，シェルター性能が比較的良い領域に布置され，年間収入除外データと同様の結果が得られる。青森については数件の住戸を除外すると比較的札幌と近い形態に布置される。札幌や青森以外の都市ではⅠ軸において正負のどちらの領域にもばらつきが見られ，10 年前よりばらつきが若干小さくなり，Ⅰ軸を境にし平行に多くの住戸が布置される。特に本荘やいわきではⅠ軸において正の領域に多くの住戸が布置されている。カテゴリーの散布図と対応させると，“隙間風を常に感じる”“築年次が S58 年以前”“断熱材なし”などという住戸が多く，札幌や青森とは逆にシェルター性能が比較的良いとは言えない領域に布置されている。府中については年間収入除外データと同様に，住戸のばらつきが小さくⅠ，Ⅱ軸において正の領域に布置される。以上からシェルター性能における地域的な

特徴は府中を除くと，おおまかに 3 グループに分けられる。また 10 年前，20 年前の結果と比較すると，未だに札幌や青森以外の都市のばらつきは大きいが，一部の地域を除く都市では住戸のばらつきが若干小さくなっているので，シェルター性能がさらに向上していると推察される。

(2)暖房形態に関する因子を用いた分析

暖房形態に関する因子として表 5-1 の 9～16 までの因子を用いて分析を行った。カテゴリーの散布図を図 5-4(a)，各都市の住戸の散布図を図 5-4(b)示す。

図 5-4(a)を見ると，Ⅰ軸において正の領域には“セントラルヒーティング”“煙突付ストーブ”“終日暖房”“朝，昼，夜の室温が最も高い範囲”“暖房期間が 7 ヶ月以上”“石油消費量が 2520 リットル以上”が布置され，負の領域には“開放式ストーブ”“朝，昼，夜の室温が最も低い範囲”“暖房期間が 5 ヶ月未満”“石油消費量が 360 リットル未満”“夜に暖房”“朝，夜に暖房”などが布置され，Ⅰ軸は暖房形態の優劣に対応している軸と考えられる。一方，Ⅱ軸については正負のどの領域にも同一の因子によるカテゴリーがばらついているので，特別な特徴は示されていない。特に室温や暖房時間，石油消費量の平均を含むカテゴリーはⅠ軸において 0 付近，Ⅱ軸については負の領域に現れている。また，Ⅰ軸，Ⅱ軸ともに正の領域になるほど相対的に室温が高く，暖房時間が長く，石油消費量が多いというカテゴリーが布置される。一方，Ⅰ軸が負，Ⅱ軸が正の領域では逆である。Ⅰ軸，Ⅱ軸ともに正の領域で，室温が高いというカテゴリーが布置される領域の近くには“セントラルヒーティング”や“煙突付ストーブ”が布置され，Ⅰ軸が負，Ⅱ軸が正の領域である室温が低いというカテゴリーが現れる領域の近くには“開放式ストーブ”や“電気こたつ”が布置されている。住戸の布置に影響が高いと思われるカテゴリーは“朝の室温が 10℃未満や 22℃以上”“昼の室温が 15℃未満や 24℃以上”“夜の室温が 16℃未満や 25℃以上”“石油消費量が 360 リットル未満”“煙突付ストーブ”などが挙げられる。年間収入除外データと同様，これらのカテゴリーから判別できることは暖房時間，室温，石油消費量などの因子はそれらの平均を含むカテゴリーから差が大きくなるほど住戸の布置に強い影響を示している。また，Ⅰ軸，Ⅱ軸について数値が近い値を示し，関連性が高いと思われるカテゴリーは①“室温が最も高い範囲”“煙突付ストーブ”，②“石油消費量が 2520 リットル以上”“終日暖房”“セントラルヒーティング”“暖房期間が 7 ヶ月以上”，③“室温が最も低い範囲”“石油消費量が 360 リットル未満”，④“こたつを使用”“暖房期間が 5 ヶ月未満”“開放式ストーブ”“夜に暖房”などが挙げられる。全体的に年間収入除外データや 10 年前の結果と比べて各カテゴリースコアの符号等は異なるが，傾向としてはあまり変化は見られない。

次に図 5-4(b)を見ると，都市によって次の 4 グループに区別できる。①Ⅰ軸の正の領域にほぼ布置され，分布が右上がりになっているグループ(札幌，青森，本荘，府中)。これらの地域では室温が相対的に高く，セントラルヒーティングや煙突付ストーブを使用している。②上記①と比較的似た形態を示し，Ⅰ軸の正の領域に比較的多くの住戸が布置しているグループ(八戸，盛岡)。これらの住宅では①と比較するとばらつきが大きいものの，①に近い暖房形態の住戸が見られる。③Ⅰ軸の負の領域にほぼ布置され，分布が左上がりになっているグループ(いわき，仙台，福島)。これらの地域では室温が相対的に低く，暖房器具は開放式スト一

ブや電気こたつが中心となる。④上記③に比較的似た形態を示し，Ⅰ軸の負の領域に比較的多くの住戸が布置しているグループ(宮古，横手，山形，会津若松)。これらの住宅では様々な暖房形態が混在し，ばらつきが他の都市に比べて大きい。以上より，10年前，年間収入除外データの結果同様の結果が得られ，各都市による各グループ間での変動が見られる。今回の結果から，さらに東北地方北部の住宅の暖房形態がグループ①に近づいていることが推察される。

(3)熱環境からみた居住性能に関する因子を用いた分析

熱環境からみた居住性能に関する因子として表5-1に示す全ての因子を用いて分析を行った。カテゴリーの散布図を図5-5(a)，各都市の住戸の散布図を図5-5(b)に示す。

図5-5(a)を見ると，暖房形態に関するカテゴリーは，Ⅰ軸，Ⅱ軸がともに正になるほど室温が高く，暖房時間が長く，石油消費量が多いというカテゴリーが見られる。Ⅱ軸についてはシェルター性能を示し，負の領域に性能の良いことを示すカテゴリーが布置される。全体的にⅠ軸が正，Ⅱ軸が負の領域にシェルター性能が良好で室温が高いというカテゴリーが布置される。人間(居住者特性・住まい方)の居住性能に対する影響をみると，着衣量は他のカテゴリーと比べてどのカテゴリーも原点付近に布置され，住戸のばらつきに対する寄与は小さい。住戸の布置に影響の強いカテゴリーはシェルター性能や暖房形態に関する分析に見られたカテゴリーが中心であるとともに，“年間収入が250万円未満”である。

次に図5-5(b)を見ると，次の4グループに分類できる。①Ⅰ軸の正の領域にほぼ布置され，分布が右下がりになっているグループ(札幌，青森)。これらの地域は室温が高く，比較的セントラルヒーティングを使用している住戸が多い。②上記①に比較的似た形態を示し，Ⅰ軸の正の領域に比較的多くの住戸が布置しているグループ(八戸，盛岡)。これらの住宅では①と比較するとばらつきが大きいものの，①に近い暖房形態の住戸が見られる。③Ⅰ軸の負の領域にほぼ布置され，分布が左上がりになっているグループ(福島，いわき，府中)。これらの地域では室温が低く，暖房器具は開放式ストーブが中心となる。④上記③に比較的似た形態を示し，Ⅰ軸の負の領域に比較的多くの住戸が布置しているグループ(宮古，本荘，横手，山形，仙台，会津若松)。これらの住戸では様々な暖房形態が混在し，ばらつきが他の都市に比べて大きい。以上の結果より，暖房形態と比較的似た結果が得られ，年間収入除外データより地域の差が若干見られる。また，青森が札幌の居住性能に近づいたことが判明し，一方，年間収入除外データと同様，反応数が少ない府中と東北地方中・南部の都市との区別が10年前の結果のように明確には現れなかった。全体的に東北地方の住宅の居住性能は程度の差はあるものの10年前と比べて向上しており，さらに札幌の居住性能に近づきつつあることがわかる。

6　今後の展望及び課題

本研究により，東北地方都市部の住宅における居住性能について過去20年間の推移を把握することができた。特に，室内空気の乾燥や結露によるカビの発生に対する指摘が全体の約30%の居住者に見られ，湿度に起因する問題が潜在していることが指摘できた。また，冬期の灯油消費量が増加傾向にあることも示され，住宅の省エネルギー化が必ずしも実現されている訳ではない。本研究により得られた成果は，今後の住環境を改善していく上で貴重な資

料になるものと考えられる。

7　研究発表の実績

1) 長谷川兼一，吉野　博，石川善美，久慈るみ子，三田村輝章，松本真一，源城かほり：積雪寒冷地を対象とした住宅の居住環境に関する調査研究，日本雪工学会大会論文報告集，2002年12月
2) 石川善美，長谷川兼一，吉野　博，久光達也：東北地方の住宅における室内環境とエネルギー消費量の20年間の変化　その1　東北地方12都市を対象とした冬期の居住性能に関するアンケート調査結果，日本建築学会東北支部研究報告会，2003年6月
3) 久光達也，石川善美，長谷川兼一，吉野　博：東北地方の住宅における室内環境とエネルギー消費量の20年間の変化　その2　室温とエネルギー消費量に関する調査結果，日本建築学会東北支部研究報告会，2003年6月
4) 長谷川兼一，石川善美，吉野　博，松本真一，源城かほり：東北地方の住宅における室内環境とエネルギー消費量の20年間の変化　その3　熱環境から見た冬期の居住性能に関する分析，日本建築学会東北支部研究報告会，2003年6月
5) 石川善美，長谷川兼一，吉野　博，久光達也：東北地方の戸建住宅における室内熱環境とエネルギー消費量の動向調査　その1　東北地方12都市を対象としたアンケート調査結果，日本建築学会大会学術講演会，2003年9月
6) 久光達也，石川善美，長谷川兼一，吉野　博：東北地方の戸建住宅における室内熱環境とエネルギー消費量の動向調査　その2　室温とエネルギー消費量に関する調査結果，日本建築学会大会学術講演会，2003年9月
7) 長谷川兼一，石川善美，吉野　博，松本真一，源城かほり：東北地方の戸建住宅における室内熱環境とエネルギー消費量の動向調査　その3　熱環境から見た冬期の居住性能に関する分析，日本建築学会大会学術講演会，2003年9月

参考文献

1) 長谷川　房雄，吉野　博，赤林　伸一：東北地方都市部の木造独立住宅における冬期の温熱環境に関する調査研究，日本建築学会論文報告集，第326号，1983.4
2) 吉野　博，長谷川房雄，沢田紘次，石川善美，赤林伸一，菊田道宣：熱環境からみた冬期の居住性能に関する地域特性の分析，日本建築学会論文報告集，第345号，1984.11
3) 吉野　博，長谷川兼一：熱環境からみた冬期の居住性能に関する地域特性の変化，日本建築学会計画系論文集，第499号，1997.9
4) 管　民朗：多変量解析の実践上・下，現代数学社，1993.12

表 3-1　対象都市と調査期間、回収状況、使用データ数、調査期間中の外気温

対象都市	調査期間	配布数	回収数	灯油消費量で用いたデータ数	調査期間中の外気温
札幌市	1月～3月	23	23	15	-0.7 ℃
青森市	2/4~10	62	60	39	0.8 ℃
八戸市	2/4~10	100	94	57	1.2 ℃
盛岡市	2/5~11	78	76	52	-0.1 ℃
宮古市	2/3~9	45	38	20	2.6 ℃
本荘市	12/26~1/1, 2/6~12	95	92	67	1.0 ℃(2月)
横手市	2/4~10	77	73	54	0.0 ℃
山形市	2/4~10	75	61	30	1.9 ℃
酒田市	2/4~10	83	43	33	3.1 ℃
仙台市	2/4~10	101	59	24	4.0 ℃
福島市	2/4~10	73	69	44	3.9 ℃
会津若松市	2/3~9	71	55	25	1.5 ℃
いわき市	2/5~11	63	62	36	4.1 ℃
府中市	2/4~10	24	20	18	6.2 ℃
合計		970	825	514	

*　府中市を含む東京都区内の大きなエリアで調査依頼を行い，これら多くの地域を含めて府中市と捉えた。以後，これらに相当する地域を府中市とする。

表 3-2　アンケート調査の内容

温熱環境	朝，昼，夜における居間及び寝室の室温
設備	使用暖房器具，保有住宅設備
住まい方	暖房時間，暖房期間，着衣量，結露対策，空気汚染の対策
シェルター性能	建設時期，床面積，構造，断熱材，雨戸・窓・床の構成，日当たり，結露状況，隙間風の感じ方
エネルギー消費量	月毎の電気・ガス・灯油消費量，冬期灯油消費量
居住者特性	家族構成，年齢，年間収入，職業
湿度に関わる項目	湿度感，家族の健康，建物の状況，カビの発生

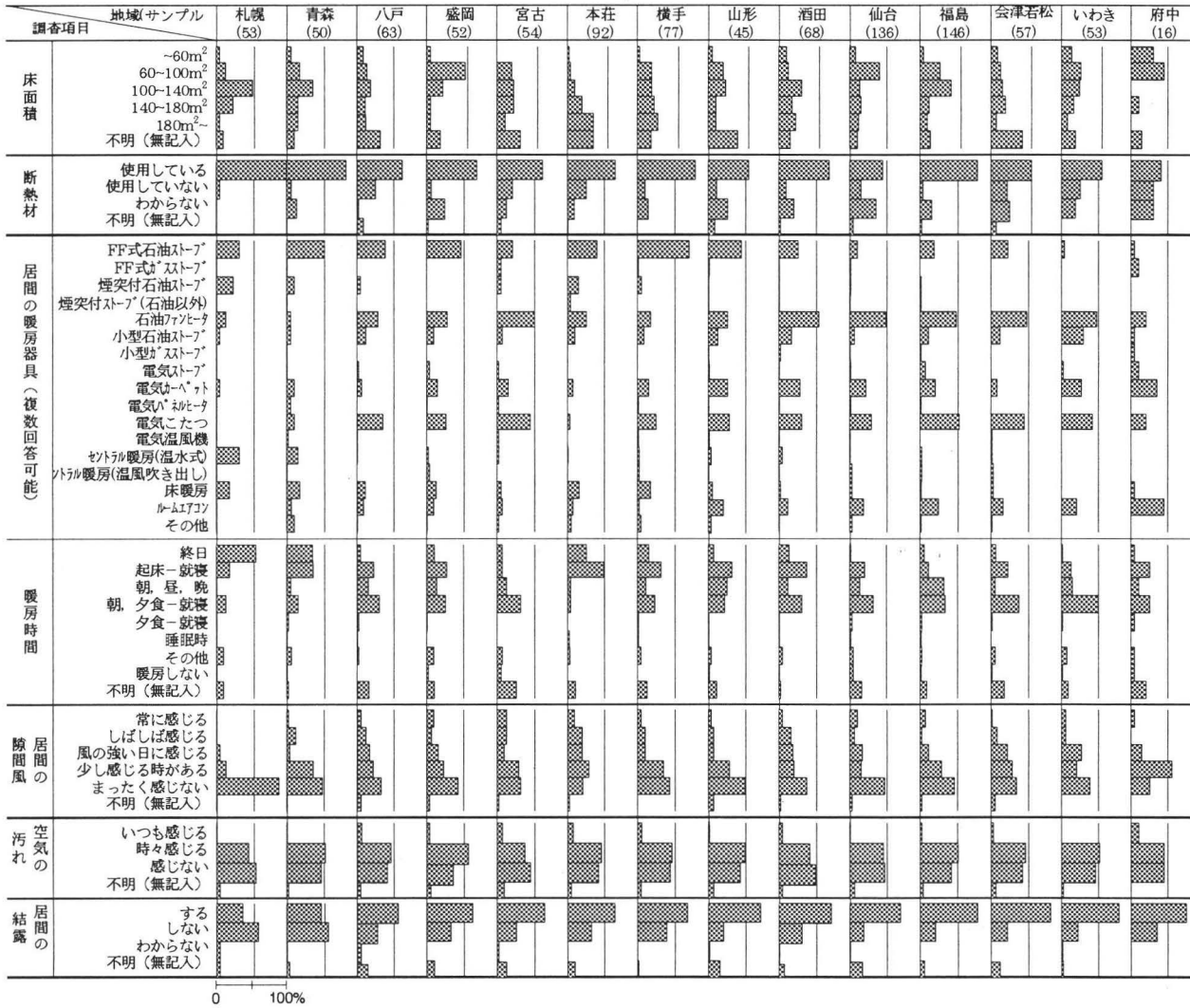


図 4-1　アンケート調査の結果

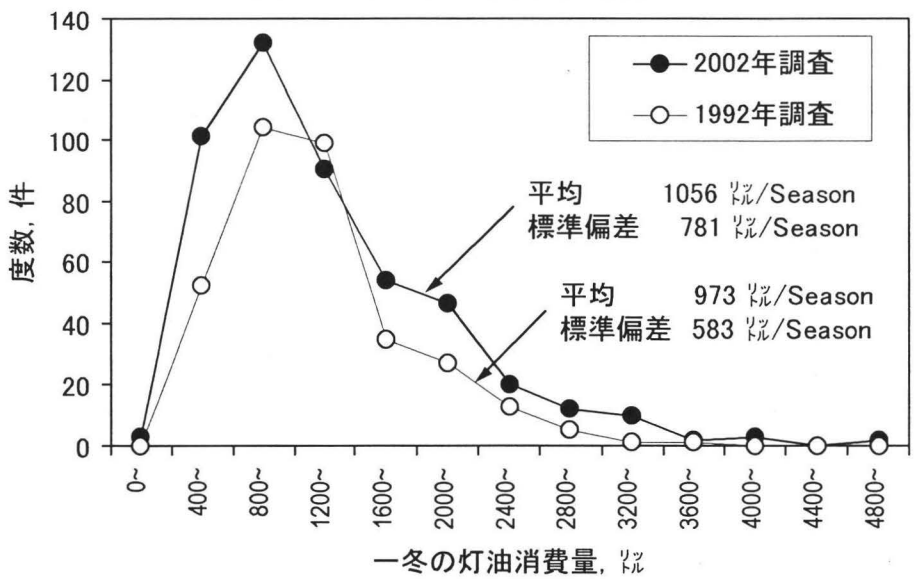


図 4-2　東北地方における戸建住宅の灯油消費量の度数分布

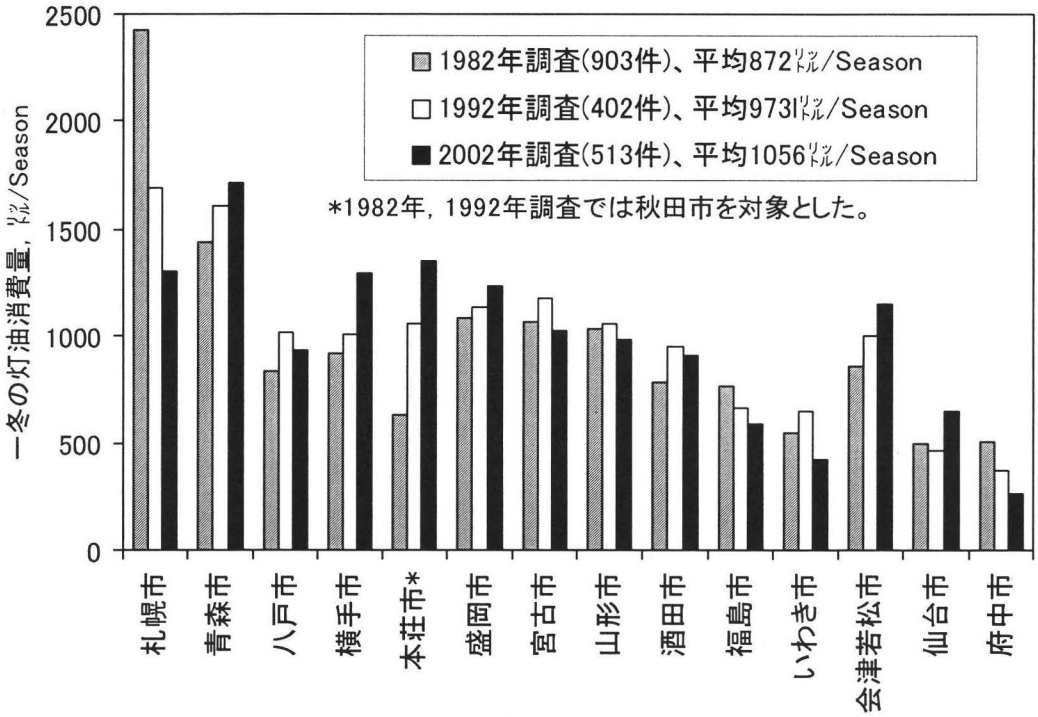


図 4-3　各都市における一世帯当たりの灯油消費量 20 年間の推移

表 4-1　各都市における居間と寝室との温度差

	2002年度	1992年度	2002年度	1992年度	2002年度	1992年度
	朝(℃)		昼(℃)		夜(℃)	
札幌市	1.62	4.06	1.63	4.19	2.31	4.82
青森市	4.09	5.08	4.88	6.84	4.31	6.95
八戸市	4.75	6.26	2.22	6.69	3.93	8.47
横手市	6.64	6.69	6.30	8.48	7.10	8.91
本荘市	7.98	6.94	7.39	9.83	8.42	9.32
盛岡市	4.54	6.15	4.35	6.16	5.02	7.81
宮古市	5.20	3.99	4.20	4.78	5.69	6.12
山形市	3.50	5.59	3.89	6.56	4.70	8.64
酒田市	5.22	5.04	6.69	8.16	6.00	8.68
福島市	4.41	3.74	3.63	3.66	5.86	5.37
いわき市	2.75	3.35	2.50	2.68	4.85	5.26
会津若松市	2.37	5.51	2.49	5.92	3.00	5.84
仙台市	3.01	5.08	3.92	3.96	4.51	6.59
府中市	0.84	1.16	2.88	1.45	2.92	3.49
全体	4.07	4.95	4.07	5.48	4.90	6.84

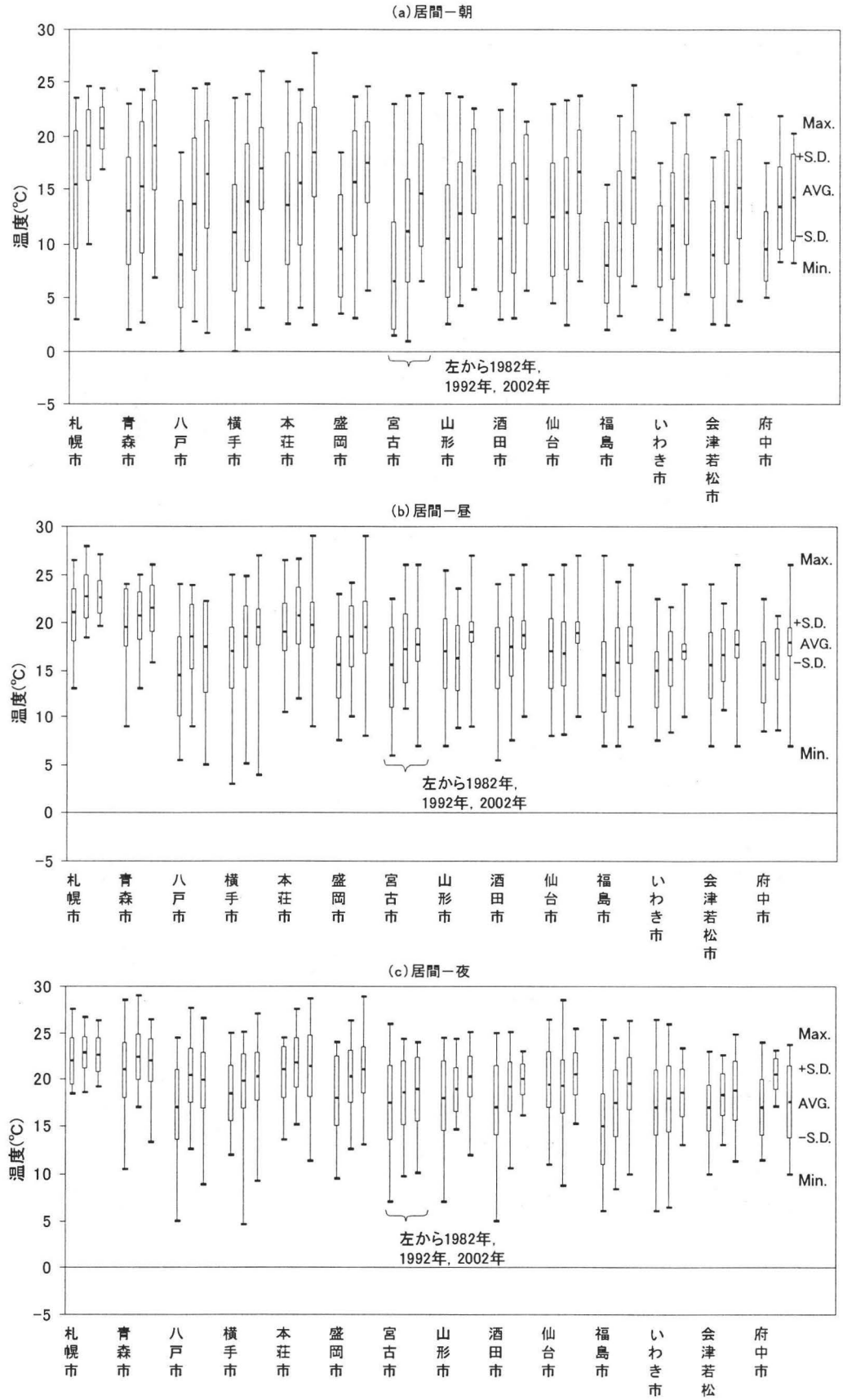


図 4-4　各都市における室温の平均値と分散　－居間（朝・昼・夜）－

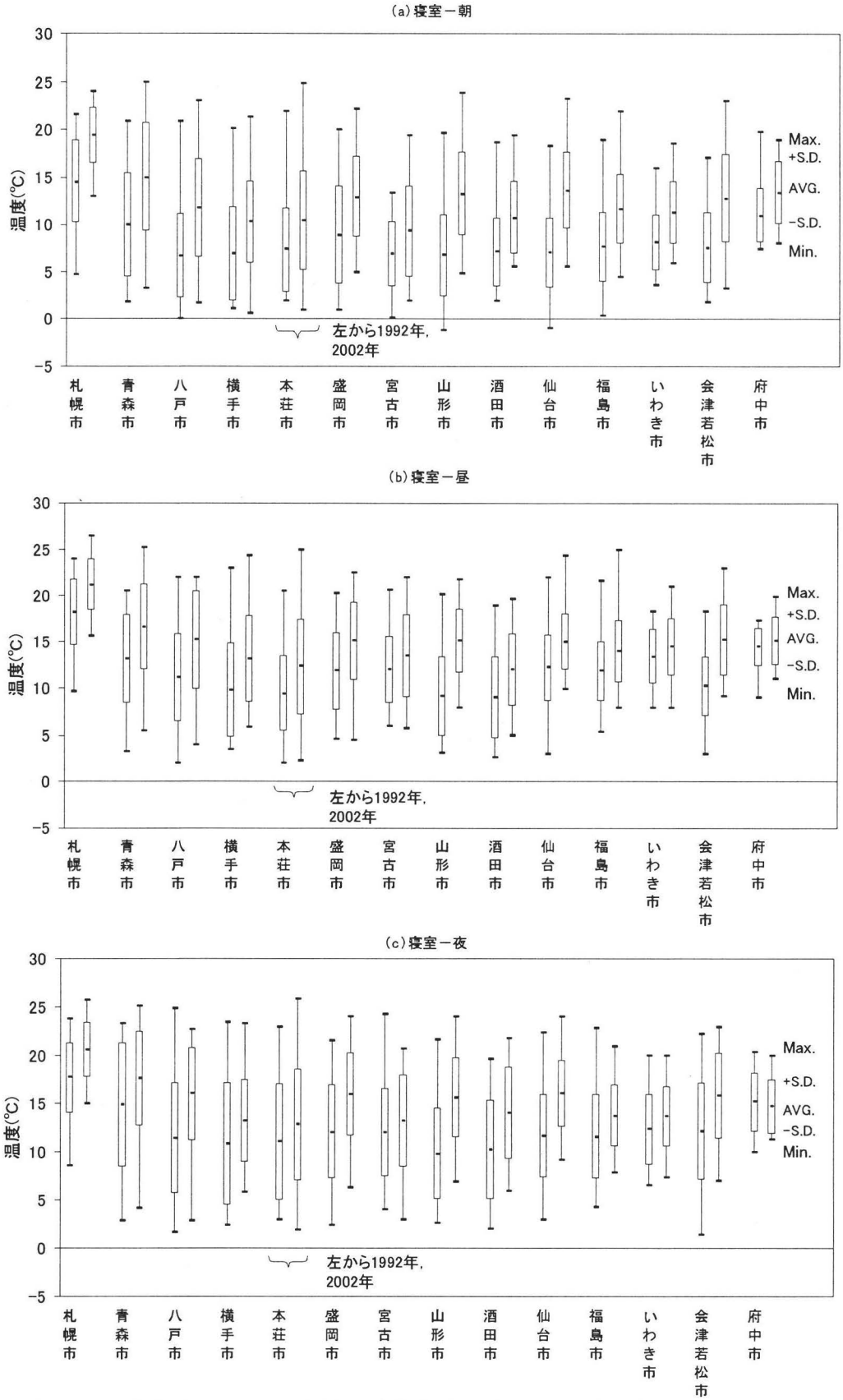


図 4-5　各都市における室温の平均値と分散　－寝室（朝・昼・夜）－

表 4-2　室内空気質の測定対象住宅の概要

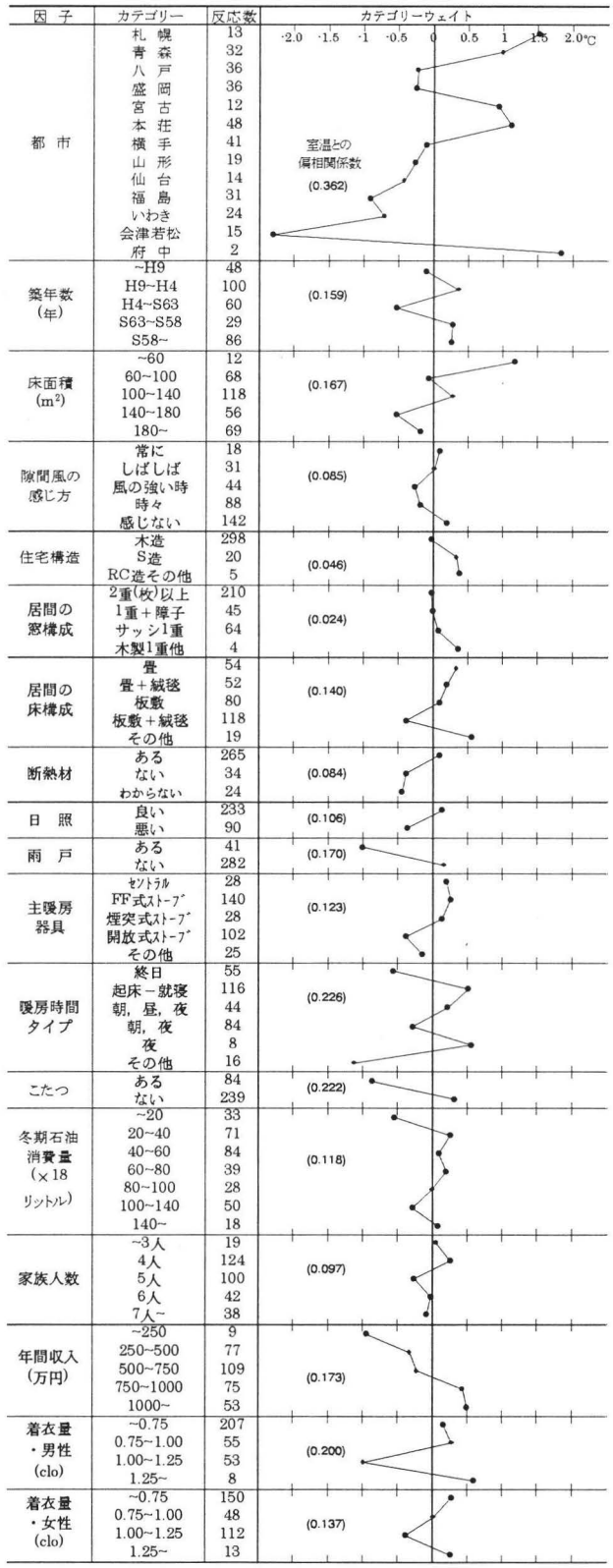
No.	所在地	住戸形態	床面積	暖房設備	換気設備
1	岩手県盛岡市	木造戸建	132	床下温風暖房	換気扇
2	岩手県盛岡市	RC 集合 1 階	90	石油ﾌｧﾝﾋｰﾀ，エアコン	3 種換気
3	岩手県盛岡市	木造戸建	125.4	石油 FF 暖房器	換気扇
4	秋田県横手市	木造戸建	120	石油 FF 暖房機	3 種換気
5	秋田県横手市	木造戸建	198	電気蓄熱暖房機	3 種換気
6	秋田県横手市	木造戸建		石油 FF 暖房器	換気扇
7	秋田県本荘市	木造戸建	247.5	煙突付ｽﾄｰﾌﾞ，石油ﾌｧﾝﾋｰﾀ	なし
8	秋田県本荘市	木造戸建	231	煙突付ｽﾄｰﾌﾞ，石油ﾌｧﾝﾋｰﾀ	なし
9	秋田県本荘市	木造戸建	231	石油 FF 暖房器	なし
10	宮城県仙台市	木造戸建		電気蓄熱暖房機	3 種換気
11	宮城県仙台市	RC 集合 5 階		石油ﾌｧﾝﾋｰﾀ，エアコン	換気扇
12	宮城県仙台市	木造戸建	95.7	石油ﾌｧﾝﾋｰﾀ	換気扇
13	東京都立川市	RC 集合 5 階	60.2	石油ﾌｧﾝﾋｰﾀ，エアコン	換気扇

表 4-3　室内空気質の測定結果

No.	ホルムアルデヒド	トルエン	キシレン	エチルベンゼン	スチレン
1	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
2	0.03	<0.01	0.02	<0.01	<0.01
3	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
4	0.02	<0.01	0.01	<0.01	0.10
5	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
6	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
7	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
8	0.03	<0.01	0.04	0.01	<0.01
9	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
10	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	0.03
11	0.01	-	-	-	-
12	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
13	0.04	0.01	<0.01	<0.01	<0.01

単位：ppm

目的変数　団らん時の室温　　平均　20.6℃
標準偏差 2.7℃
サンプル数　323戸
重相関係数　0.656（寄与率　0.430）



因子	カテゴリー	反応数	偏相関係数
都市	札幌	13	(0.362)
	青森	32	
	八戸	36	
	盛岡	36	
	宮古	12	
	本荘	48	
	横手	41	
	山形	19	
	仙台	14	
	福島	31	
	いわき	24	
	会津若松	15	
	府中	2	
築年数（年）	~H9	48	(0.159)
	H9~H4	100	
	H4~S63	60	
	S63~S58	29	
	S58~	86	
床面積（m^2）	~60	12	(0.167)
	60~100	68	
	100~140	118	
	140~180	56	
	180~	69	
隙間風の感じ方	常に	18	(0.085)
	しばしば	31	
	風の強い時	44	
	時々	88	
	感じない	142	
住宅構造	木造	298	(0.046)
	S造	20	
	RC造その他	5	
居間の窓構成	2重(枚)以上	210	(0.024)
	1重＋障子	45	
	サッシ1重	64	
	木製1重他	4	
居間の床構成	畳	54	(0.140)
	畳＋絨毯	52	
	板敷	80	
	板敷＋絨毯	118	
	その他	19	
断熱材	ある	265	(0.084)
	ない	34	
	わからない	24	
日照	良い	233	(0.106)
	悪い	90	
雨戸	ある	41	(0.170)
	ない	282	
主暖房器具	ｾﾝﾄﾗﾙ	28	(0.123)
	FF式ｽﾄｰﾌﾞ	140	
	煙突式ｽﾄｰﾌﾞ	28	
	開放式ｽﾄｰﾌﾞ	102	
	その他	25	
暖房時間タイプ	終日	55	(0.226)
	起床－就寝	116	
	朝，昼，夜	44	
	朝，夜	84	
	夜	8	
	その他	16	
こたつ	ある	84	(0.222)
	ない	239	
冬期石油消費量（×18リットル）	~20	33	(0.118)
	20~40	71	
	40~60	84	
	60~80	39	
	80~100	28	
	100~140	50	
	140~	18	
家族人数	~3人	19	(0.097)
	4人	124	
	5人	100	
	6人	42	
	7人~	38	
年間収入（万円）	~250	9	(0.173)
	250~500	77	
	500~750	109	
	750~1000	75	
	1000~	53	
着衣量・男性（clo）	~0.75	207	(0.200)
	0.75~1.00	55	
	1.00~1.25	53	
	1.25~	8	
着衣量・女性（clo）	~0.75	150	(0.137)
	0.75~1.00	48	
	1.00~1.25	112	
	1.25~	13	

図 5-1 団欒時における室温の数量化 1 類による分析結果

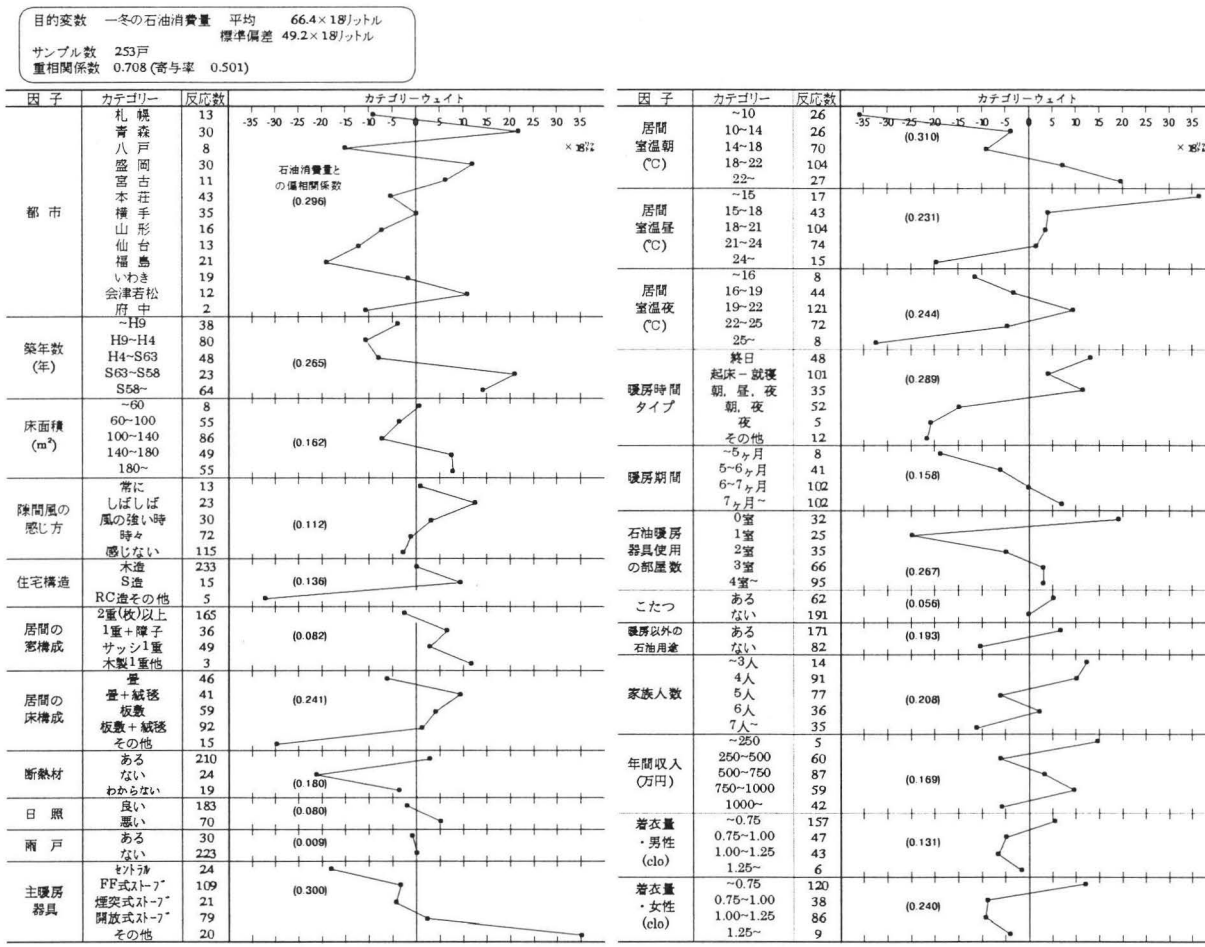
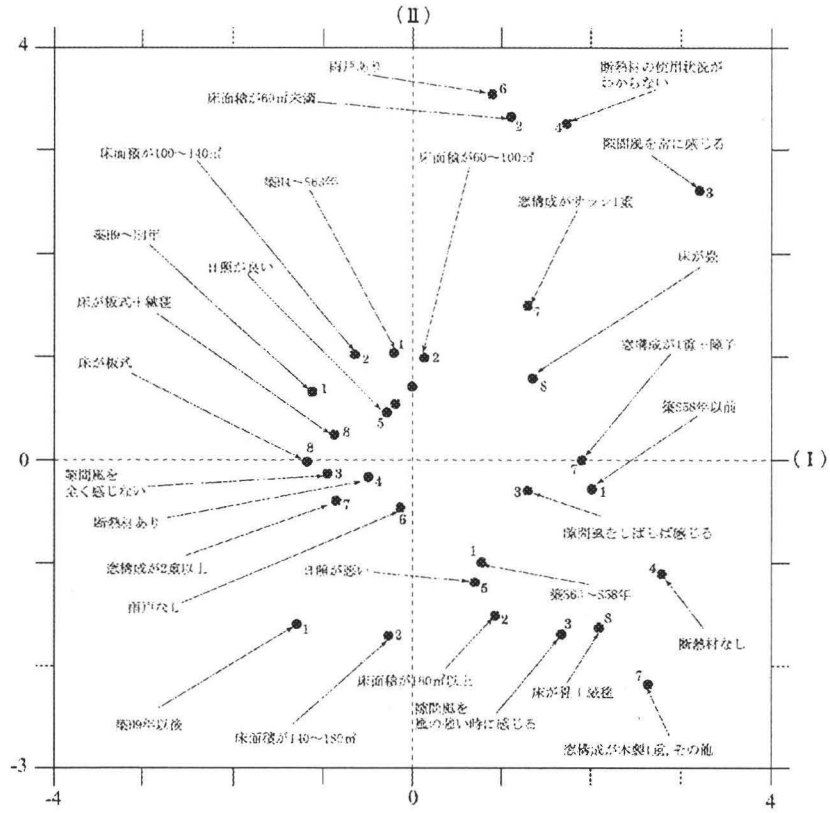


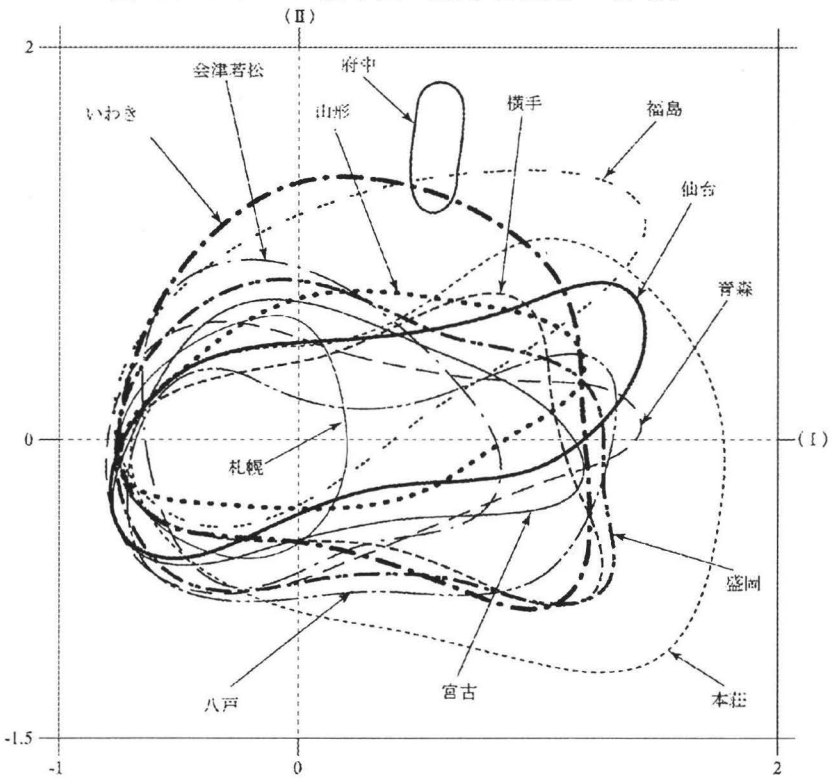
図 5-2 灯油消費量における室温の数量化 1 類による分析結果

表 5-1　数量化理論Ⅲ類で用いた因子

	No.	因子及びカテゴリー数		
シェルター性能	1	築年数	5	シェルター性能
	2	床面積	5	
	3	隙間風の感じ方	5	
	4	断熱材の有無	3	
	5	冬の日照	2	
	6	雨戸の有無	2	
	7	居間の窓構成	4	
	8	居間の床構成	5	
温熱環境	9	朝の室温(居間)	5	暖房形態
	10	昼の室温(居間)	5	
	11	夜の室温(居間)	5	
エネルギー消費量	12	石油消費量	7	
設備	13	主暖房器具	5	
	14	こたつの有無	2	
住まい方	15	暖房時間のタイプ	6	
	16	暖房期間	4	
	17	男性の着衣量	4	人間
	18	女性の着衣量	4	
居住者特性	19	年間収入	5	

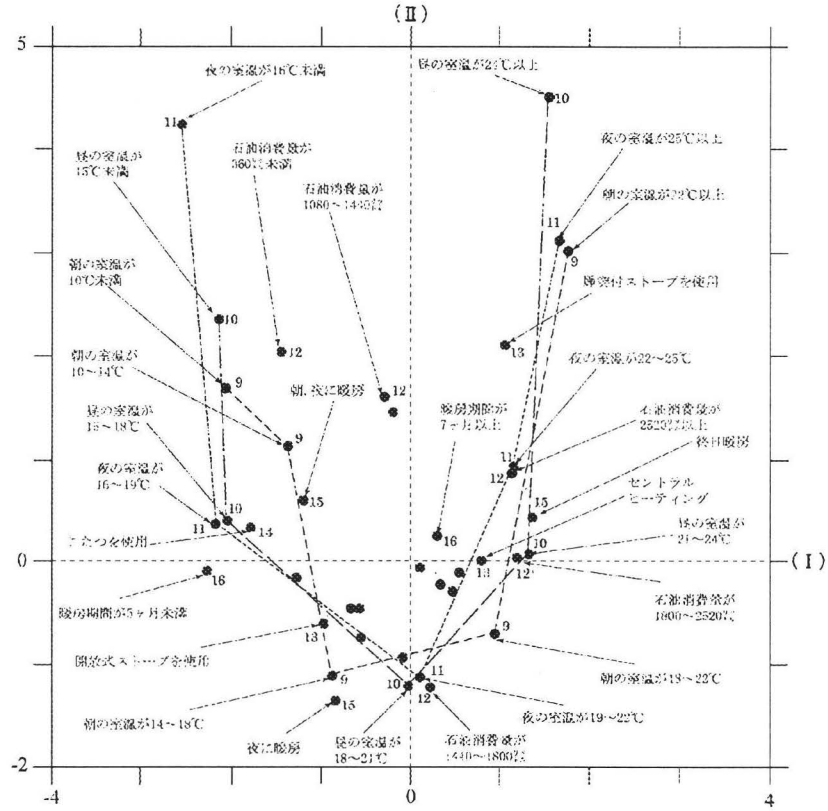


(a)カテゴリーの散布図（数字は因子の番号）

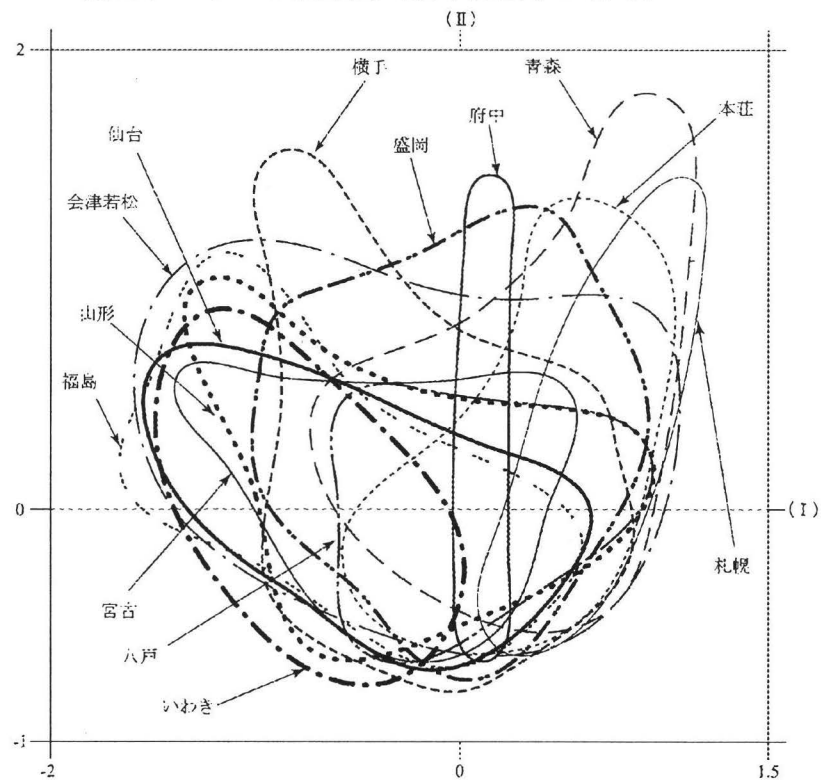


(b) 住戸の散布図から得られた各都市の範囲

図 5-3　シェルター性能に関する数量化Ⅲ類の分析結果

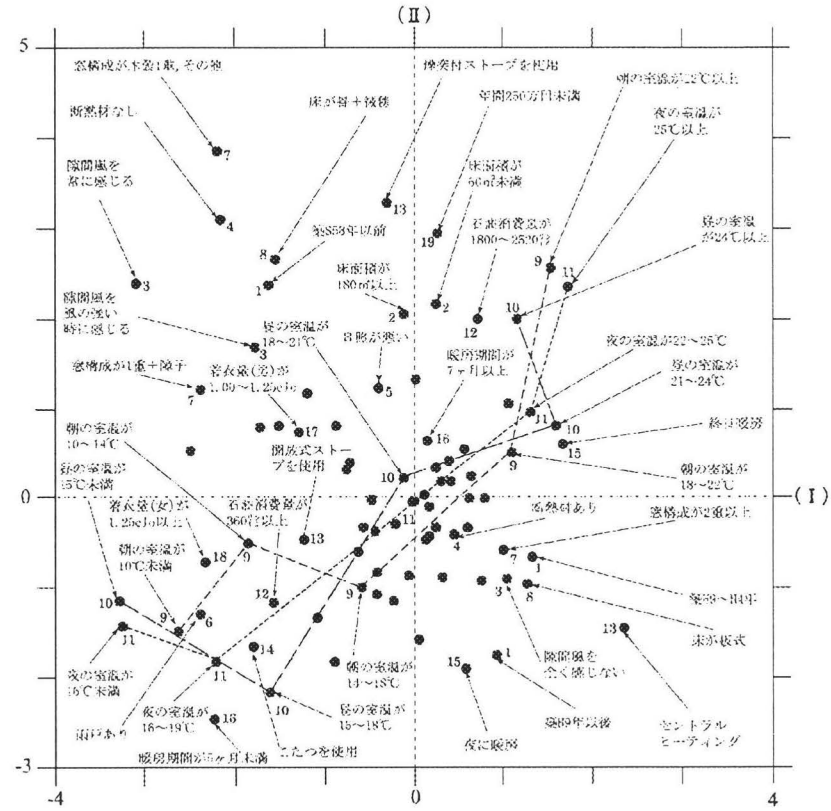


(a)カテゴリーの散布図（数字は因子の番号）

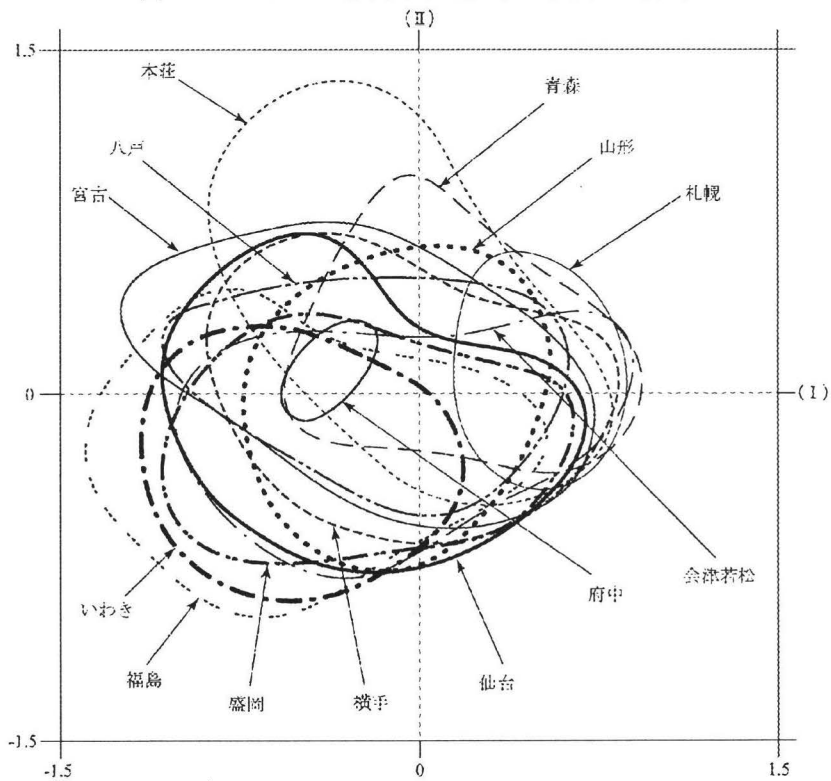


(b)住戸の散布図から得られた各都市の範囲

図 5-4　暖房形態に関する数量化Ⅲ類の分析結果



(a)カテゴリーの散布図（数字は因子の番号）



(b)住戸の散布図から得られた各都市の範囲

図 5-5　居住性能に関する数量化Ⅲ類の分析

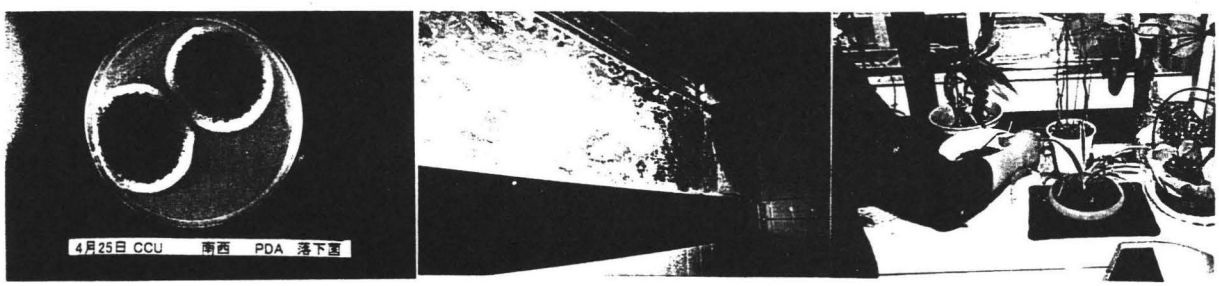
1-21 病院建築におけるカビの実態調査と防止策に関する研究

お茶の水女子大学生活科学部

教授 田 中 辰 明

1. 本研究の背景お目的

申請者は住宅や一般建築でのカビ発生に関し多くの実測調査を行ってきた。近年喘息、皮膚炎、鼻炎といったアレルギー性ー疾患が国民病とも言われるほど多くなり問題視されるようになってきた。それ以外にカビが原因となる肺炎も多く報告されるようになってきた。しかし、どの程度、かつどの種類のカビが存在するとアレルギー性疾患を起こすとか、肺炎症状を起こすかと言った研究ではまだ結論が出ていない。これは花粉の季節になると花粉症を起こす人もいれば、全く発症しない人もいるように、カビの害が日和見感染症であるからである。一般ビルは労働可能な健常人が使用しているものであるので、このような事も言えるが病院はそもそも体力的に弱った方々が集まる所であるので、こういう事も言っておられない。しかし病院建築におけるカビ発生の実態調査は殆ど行われていないのが実情であり、行われていても報告されていない。この間に筆者はいくつかの病院で実測を行った。その結果は想像を絶するものであった。



本来清潔でなければいけないCCUにおける落下菌　介護浴室における天井のカビ　病院の植木鉢からは多くのカビが検出される

申請者による病院でのカビ調査例

心臓専門の集中治療室であるCCUにおいても多くのカビ菌が採取された例もある。極めて高級な医療器具が装備され、一流の医師団が勤務する総合病院であっても建築設計の不備によりこのような事態が起きている。人工的に酸素、栄養も供給され、いざとなれば人工呼吸も施されるCCUにおいては人が亡くなる機会は極めて少ないはずである。しかし実際には「合併症を起こした」「肺炎を併発した」といった理由で多くの方が亡くなっている。これらは真菌（カビ）、細菌の被害に遭われたもので、設計や病院の維持管理が正しければ、その内の多くは防止できたはずである。病院でのカビ調査をお願い

しても多くは拒絶されるもので、申請者による調査例は必ずしも多くない。今後あらゆる努力をし、病院のご協力を得調査例を増やし、病院におけるカビ防止に間するの設計指針、維持管理指針を作成する事を目的とする。本来カビが生息してはいけない場所では使用される建材も制限を受けるものである。しかしカビが生えない建材にはホルムアルデヒドや揮発性有機化学物質を含むものもある。病院では身体的弱者がいる所であるので、当然こういった材料は排除していかなければいけない。

① 実施計画：これまでに石川県と熊本県、札幌の総合病院で実測を行ってきた。これは首都圏の病院で実測の依頼をしても拒絶され、地方では協力が得られたことによるものである。今後さらに依頼を行い調査例を増やしカビ防止指針を作成できるようにする。病院においては外来待合室、外来診察室(内科が望ましい)、条件の良い(南に面する)病室、条件の悪い(北に面する)病室、集中治療室（ICU,CCU)、手術室、デイルーム(患者どうしの懇談や見舞い客との面会に使用される部屋)、介護を必要とする患者の浴室(従来多くのカビが採取された)で落下菌、空中浮遊菌、付着菌を季節を追って年間５回程度実測を行う。空気調和が行われている部屋ではフィルターでの付着菌を採取する。これらを培養し菌数の計測、さらに同定を行う。

② 期待される成果：研究成果を公表する事により、身体的弱者が集まる病院建築の衛生管理に役立ち、特に集中治療室における防カビは本来亡くならなくても済む病人の蘇生と回復に役立ち平均寿命の延長に寄与する事ができる。さらに病院設計では従来単に配置計画のみに重点が置かれ、建築衛生の問題にまで配慮がなされていなかったが、病院建築でこそ必用な建築衛生の指針を確立することができる。

この研究は主に当研究室の松本めぐみさんに担当していただいた。ここでは松本さんが纏めた長野県O病院の結果を中心に報告する。他にも千葉県T病院、熊本県のK病院でも同様調査を行った。これらの結果は纏めて（社）日本建築学会大会、（社）空気調和・衛生工学会大会で報告を行ったので、報告書文末に抜き刷りを添付した。またこの研究は病院の外断熱工法とカビの関係について調査を行った結果を示したが、この結果をドイツの科学雑誌に投稿し、2002 年に 4 報が掲載された。このうち Gesundheits-Ingenieur 誌 123(2002)Heft 6 に掲載された"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）はドイツに半分だけ外断熱を施した病院など存在しないことから、「良い研究材料であえる」として注目され、別刷り請求が多くあった。また２００２年８月 16 日にベルリン工科大学 Hermann Rietschel 研究所の Klaus Fitzner 教授の引退披露講演会に招待され講演を行った際にもこの研究を披露した。（財）トステム建材産業振興財団から研究助成をいただけた結果であり深甚なる謝意を表するものである。

第一章

緒言

第一章　　緒言

１－１　研究の目的

近年、日本の住宅(建築物)は高気密･高断熱化しているが、省エネや快適な室内温熱環境の保持といったプラス効果がある一方、結露発生や室内空気質の悪化が問題視されるようになった。

実際に、空気質の一つである真菌の被害が多く見受けられ、建築物・人体に害をもたらしている。健常人であればたいした問題ではなくても体力の劣った人には軽視できない問題である。このようなカビを増殖させない方法として結露を防ぐ事が有効であり、結露防止のためには断熱工法が必要となる。わが国では内断熱が主流であるが、近年、欧米諸国で広く普及している外断熱が日本でも注目を集めている。しかし、まだまだ歴史が浅く、外断熱の長所は正確に理解されていない。

そこで、長野県の病院が外断熱への改修をおこなうにあたり、改修前後の温熱環境調査、真菌測定を行い、断熱工法の違いがもたらす構造躯体の断熱性、および室内空気環境の実態を把握することを目的とし調査を行った。

第二章

結露と断熱工法

第二章　結露と断熱工法

２－１　結露

昨今の日本の建物は、躯体に生じる結露現象に悩まされている。とりわけ、冬に悩まされる。室内側の壁面、ガラス面などに水滴が付着し、この状態が続くと、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、かびが発生したりする。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。また、結露はその発生状況によって夏期結露と冬期結露に分けられる。

『表面結露』

表面結露は、窓ガラスや壁の内表面温度が室内空気の露点温度以下になると、室内の水蒸気がガラスや壁表面で凝固をして水滴となる現象をいう。
表面結露の起こりやすい部位は、断熱性が悪く、表面温度が周囲より低下する外壁の隅角部や熱橋部、サッシュ回り、窓表面である。

『内部結露』

内部結露とは、室内から外気に向かって水蒸気が流れる途中で、露点温度以下の層に出会うと発生する結露のことである。一般的に、冬の暖房時に室内水蒸気圧が外気より高いときに起こる。

『夏期結露と冬期結露』

夏期結露は、高温多湿の空気が温度の低い空間に流れこみ、湿度が上昇し、これにより結露が促進されるものである。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。

結露の発生は次のような被害を招く。

- 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
- 家具や建物の膨張
- 床の滑り

結露は、建物自体に害をもたらすだけでなく、我々自身の健康にも被害をもたらすこととなる。

昨今の、高気密・高断熱化の流れは、省エネルギーや快適な温熱環境の維持に寄与している一方で、気密になればなるほど、室内で発生した水蒸気は外に排出されにくくなり、結露の発生につながることになる。表面結露は、高断熱にすることで発生を減少できるが、逆に内部結露の発生危険度は高くなる。しかし、建物は断熱材だけで構成されているわけではないので、断熱材を熱伝導率だけで優劣決めずに、他の材料との組み合わせと配列に十分配慮することで内部結露の発生を減少させることができる。

２－２　内断熱工法と外断熱工法

結露防止を断熱材とその他の材料との配列から考えるという点からみると、日本で主流である内断熱工法と、最近注目を集めている外断熱工法の、2 つの工法の比較を挙げることができる。

＜内断熱と外断熱＞

内断熱とは、コンクリートの内側に断熱材を入れる工法であり、外断熱とは建物全体を断熱材ですっぽり包み込む工法のことである。

内断熱では部分的に断熱が切れ、そこがヒートブリッジ（熱橋）になって表面結露を起こす危険性がある。これに対して外断熱はベランダのように外に突き出す部分以外は熱橋にならない。熱橋部分は内断熱、外断熱ともに断熱補強することができるが、内断熱だと内装の施工に影響を与えて面倒が残る。

また、内部結露の点では、内断熱はコンクリートが外気に晒されて冷え込冷え込んでおり、そこに室内の水蒸気が断熱材を透過したり、隙間から侵入すれば、コンクリート表面又は中で結露を起こす。これに対して外断熱の場合はコンクリートの温度は室温に近いところまで暖まっており、コンクリート表面、内部、そして断熱材との接触部でも結露することがない。あるとすれば断熱の内部から通気層までの間だが、その水蒸気は通気層内に放出することができる(通気層のある外断熱の場合)。図 2-1、図 2-2 に内断熱の場合と外断熱の場合の水蒸気圧分布、温度分布を示す。同じ材料で断熱材を内側に入れるのと外側に施工するのでは図のような違いがあり、内断熱の場合に結露発生が起こっているのがわかる。

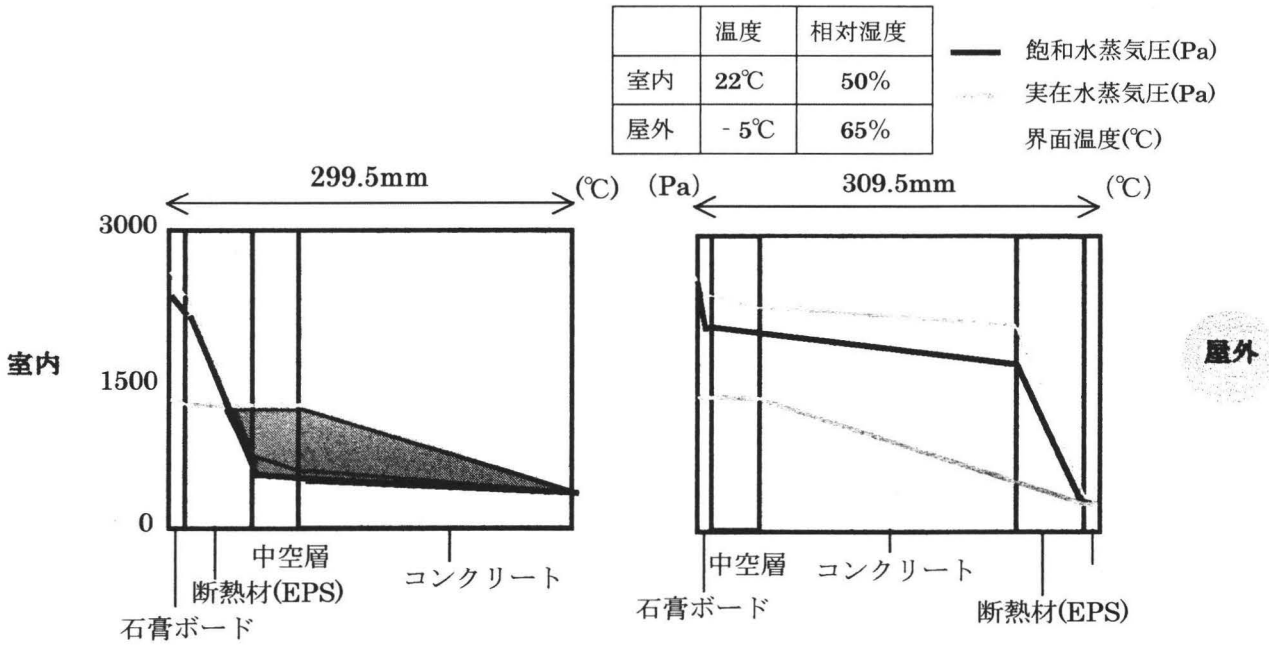


図 2-1　内断熱の水蒸気圧･温度分布　　図 2-2　外断熱の水蒸気圧･温度分布

以下まとめて内断熱と外断熱の違いを示す。

表 2-1　内断熱と外断熱の比較

内断熱	外断熱
① コストが安い	① コストが高い
② 断熱不良箇所が存在	② 断熱不良箇所がない
・ 内部結露の発生	・ 内部結露が発生しにくい
・ ダニ･カビ発生による健康被害	・ ダニ･カビの発生を抑える
・ 建物の耐久性･寿命の低下	・ 建物耐久性の向上･長寿命
・ 地球温暖化などの環境問題を招く	・ 室温安定
③ 断熱改修しにくい	・ 省エネルギー
	③ 既存の建物に断熱改修を行いやすい

表２-１に示したように、外断熱にはさまざま長所がある。すなわち、外断熱工法は、①断熱材が建物躯体の外側にあるので、外気温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ない。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開放される。
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放しのままに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からも開放される。
といった長所が挙げられる。

現在、日本のコンクリート建築物のほぼ100%が無断熱あるいは内断熱で造られている。30年ほど前までは、日本のみならず欧米でも無断熱の建物がほとんどであったが、オイル・ショック(1973年)を契機に、エネルギーの浪費が激しく表面結露が顕著な無断熱は建てられなくなった。その結果、スウェーデンやドイツ、アメリカは外断熱へと移行し(建築物理学を核とした研究の結果)、日本は内断熱へと移行した(熱の理論が独占，コスト・デザイン重視の結果)。現在、環境先進国のスウェーデンでは、快適で安全な建築物を造るためのガイドラインに一番初めの条件として「外断熱に施工すること」と挙げている。また、ドイツにおいても外断熱が当然のこととして考えられている。一方で、内断熱が主流である日本の建築物において高気密高断熱化が進み、結露被害・カビダニ発生による健康被害が増加することにより、内断熱工法を見直そうという人も増えてきた。1999年8月2日には、「マンションの外断熱に関する質問主意書」が、衆議院議員佐藤謙一郎氏により政府に提出され、同年9月7日に政府は答弁を行っている。また、新聞やテレビなどのマスメディアも外断熱に関する内容をとりあげている。そのような流れの中で、住民や建築関係者の関心･注目も集まってきている。

２－３　断熱材の種類

断熱工法において、断熱材をコンクリートの内側に入れるか、外側に施工するかという点で、内断熱工法と外断熱工法について述べたが、建物の断熱化を行うことは快適な温熱環境の獲得(温度の抑制、湿度の抑制、放射熱の抑制)や省エネルギー化、省資源になるため、今日建築において断熱材が使用されるようになった。断熱材も多種あるため、その性能が発揮される設計が必要となる。断熱材に要求される諸条件としては、断熱性、耐水・耐湿、防火、強度、耐候、耐薬品、施工性、経済性などがある。[13]各種断熱材の特性を知り、適材を選択することが建築をよりよいものにするであろう。

図２-３に、断熱材の種類を示した。

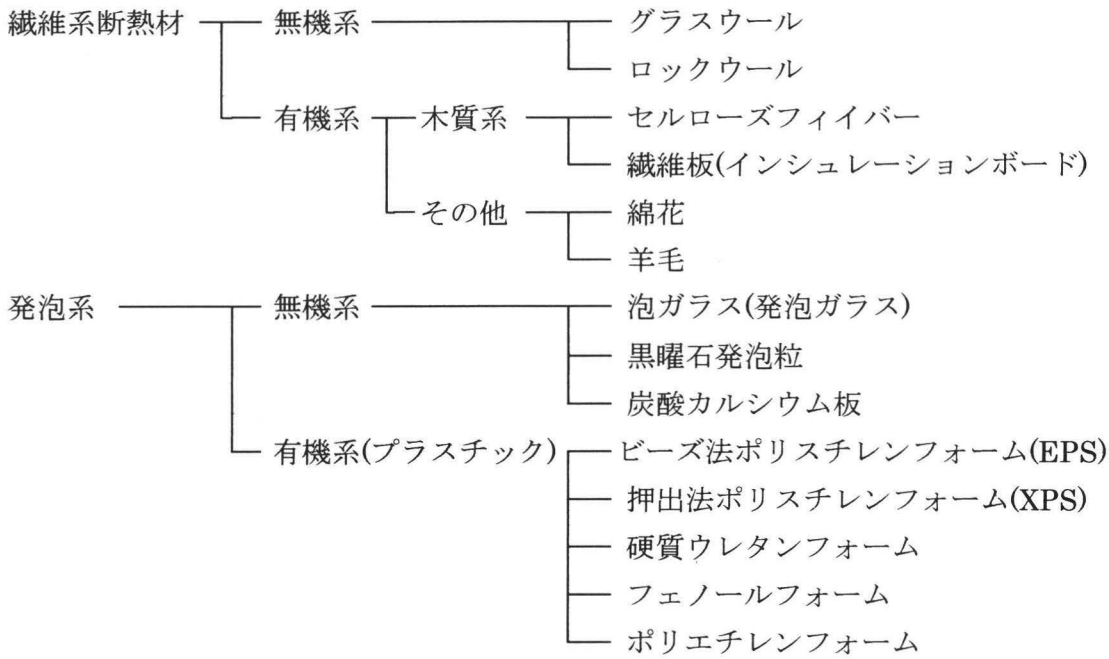


図 2-3　建築用断熱材の種類

表 2-2　断熱材の主原料

	主原料	EPS	ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ樹脂
グラスウール	ｶﾞﾗｽ,ｶﾞﾗｽ原料	XPS	ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ樹脂
ロックウール	高炉スラグ 玄武岩	硬質ウレタンフォーム	ﾎﾟﾘｲｿｼｱﾈｰﾄ及びﾎﾟﾘｵｰﾙ
セルローズフィイバー	パルプ 新聞古紙	フェノールフォーム	ﾌｪﾉｰﾙ樹脂
インシュレーションボード	木材	ポリエチレンフォーム	ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ樹脂

第三章

真菌について

第三章　真菌について

３－１　真菌とは

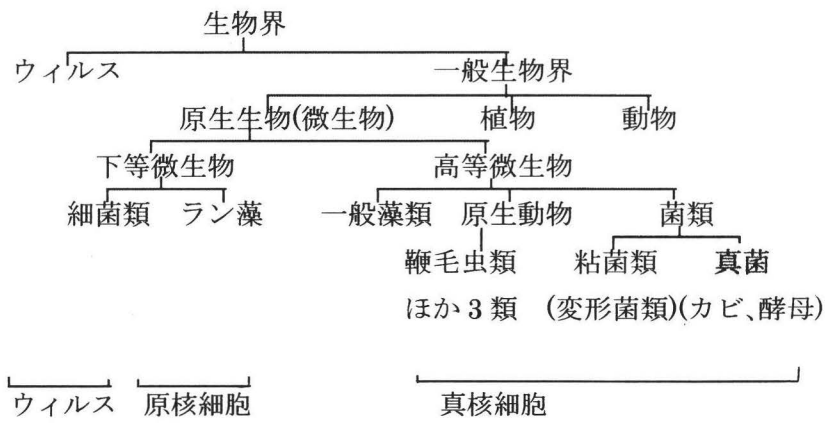


図３　生物界における真菌類（カビ、酵母）の位置

鞭毛菌、接合菌、子嚢菌、担子菌と、有性生殖世代の不明な一群である不完全菌を一括して学問的には真菌と呼ばれ、この真菌は、カビと酵母に分けられる。カビ(糸状菌)は、胞子から菌糸(直径 0.5μm 以下から 100μm 以上)を基質(建材，食品など)中に伸ばし、糸状で盛んに分岐して栄養体を作る。次に，生殖期に入ると気中に菌糸を出し、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。酵母は、円形または楕円形をした単細胞で、かつ真核細胞をもっている。主として発芽によって増殖する。

３－２　真菌の生育条件

真菌の生育条件として、主なものに次に５つが挙げられる。

① 温度
② 湿度・水分活性
③ 酸素
④ 水素イオン濃度
⑤ 栄養

①温度：

真菌が最も生息しやすいのは、20～30℃である。住環境にみる多くの真菌は、30℃を超えると生育活性が低下しがちである。真菌にとって高温維持は、細胞活性を著しく低下させ、経時的に死滅してしまうが、低温では細胞を長期休眠状態に保つことができる。

②湿度・水分活性：

真菌は基質中の栄養分を水に溶けた形で自分の体内に取り込めるように分解し、それをさらに再合成して必要な細胞構成物質を作り出している。そして、その物質を必要な場所に運び菌体を構成することによって、菌糸が生長し続けるのだが、これらの化学反応や作業はすべて水の力を借りて行っている。水分活性(Aw)に 100 を乗じると相対湿度 RH(%)となり、真菌は相対湿度 70%以上で発育可能ということができる。

水分に対する真菌の挙動については、真菌に利用され得る自由水の量を表す水分活性(Aw)を用いており、次式で表される。

$$Aw = P / P_0$$

ここで、Aw：水分活性、P：基質溶液中の水蒸気圧、P_0：純水の水蒸気圧

③空気(酸素)：

真菌にとって酸素は不可欠であり、酸素を欠いた状態では発生しない。

④水素イオン濃度(pH)：

一般に pH 5～6 あたりが細胞活性に適しているとされているが、この pH 域から外れた場合でも、pH 3～10 あたりでは発育可能である。つまり、真菌は広範囲な pH で発育可能といえる。

⑤栄養：

速やかに発育するために十分な栄養を必要とする。栄養源としては、炭素源とする糖質、窒素源とするアミノ酸やタンパク質、さらに無機質や脂質などを菌種により要求する。ただ、栄養過多になると発育は低下する。

３－３　真菌の生物学的特徴、および生態について

本研究では、真菌を好乾性真菌・耐乾性真菌・好湿性真菌・絶対好湿性真菌の4つに分類した。

本研究でみられた主要な真菌について。

好乾性真菌

湿度75～80%の乾いた環境を至適とする。

Eurotium, Wallemia, Aspergillus restrictus など。

・乾燥状態を維持した基質で発育する。さまざまな基質で長期にわたり生存し、適度な条件が加わると緩慢ながら侵入し始める。
・至適温度…20~30℃。30℃を超えると不活化されるようになる。
・有害性…高浸透圧基質に対し劣化をおこすことである。

本菌群は、乾燥に強いことから胞子の状態で生残し続け、Aw=0.65~0.90で発育良好となる。

耐乾性真菌

湿度80～90%の比較的乾いた環境を至適とする。

Aspergillus（コウジカビ）

自然界には普遍的に分布する代表的なカビである。

・やや乾燥気味なところで長期生育でき、やや湿度が高くなり始めると発育をはじめる。
・至適温度…*Aspergillus*の発育は、30℃より高い温度が至適となる。
・有害性…基質劣化、中毒、感染症、アレルギーと深く関わりあう。

Penicillium（アオカビ）

*Aspergillus*同様、自然界で普遍的分布をとる。日本やヨーロッパで多くみられ、住環境のあらゆる場所や空中で認める。

・乾燥に強い
・至適温度…中温性で20~30℃を至適とする種が多い。
・有害性…基質劣化、中毒、感染症、アレルギーと関わる。

Penicillium の性状はほとんどの種で同じであり、発育のための最低水分活性もAw=0.93前後にあり、pH、酸素要求性、汚染性も似ることが多い。

好湿性真菌

湿度90%以上の湿った環境を好む

Aureobasidium(黒色酵母様菌)

・偏性好湿性－水系環境に多く、水がたまりやすい場所にみられる。
・至適温度…中温性。乾燥に弱いが、アルコールにやや耐性である。低温で長期に生残し、冷凍、冷蔵環境から高率に分離される。
・有害性…基質の劣化および感染症で知られ、特に水系環境にあるプラスチック、木材、コンクリート、塩ビ類などに強く侵入し、劣化をおこす。

Cladosporium(クロカビ)

日本のような気候風土に最も普遍的なカビである。特に空中に多く、総カビ数の2～5割を占める。

・通性好湿性真菌－湿性かやや湿性の場所でみられる
・至適温度…中温性で20～30℃を至適とし、温度に対して敏感なカビである。30℃を超えると活性は極端なほど衰えはじめ、35℃以上では逆に死滅しはじめる。
・有害性…劣化とアレルギーに関係する。住環境で黒く汚れてくる場合の多くは*Cladosporium*である。住環境での事故が多いことから*Cladosporium*は、汚染指標カビとなる。人間に対するアレルゲン性が重視され,小児喘息、アトピーなどとの関連性が指摘されている。

Aw=0.95以上で著しく発育する。乾燥や紫外線で死滅しやすい。

Alternaria(ススカビ)

*Cladosporium*の分布する環境に多い。発生すると黒褐色から黒色(スス)を呈す。空中にもやや多い。

・通性好湿性真菌－湿性環境に多く分布する。
・至適温度…中温域でよく発生し、体温の35～37℃でも十分に発芽する。
・有害性…劣化と鼻炎などのアレルギーに関係する。すなわちこのカビの胞子は20～40μmと大きく、空中から吸収されても呼吸器系の入口あたりに付着し、さらに発芽時間の短いことが、アレルギー発症と関わっている。

乾燥には弱いが、薬剤、紫外線、オゾンに対し抵抗性を示す。

絶対好湿性真菌

湿度98%程度の特に湿った環境を好む。

酵母(*Yeasts*)

イースト菌類。中には有用なパン酵母、醸造用酵母、飼料酵母、核酸酵母などがあるが、一方では植物に病原性を示す菌や動物、人の真菌症を起こさせる菌もある。

＝放線菌＝

放線菌は、細胞の構造や大きさは細菌類と似ているが、糸状菌のように菌糸が伸び胞子をつくる微生物で、かびの仲間とも細菌の仲間とも呼びにくい一面を持っている。放線菌は、ヒトや動物の放線菌症の病因菌および植物の病害の病因菌として発見され、取り扱われることに始まった。その後、主に土壌微生物として取り扱われ(土壌1グラム中に、細菌類が1000万、放線菌が100万、カビが1万生息しているといわれる)、抗生物質など(ストレプトマイシンなど)の生産菌として、生産工業上重要な微生物として注目され、急速に多種大量の放線菌が取り扱われるようになった。(治療薬以外には農薬などに利用)

３－４　真菌による害

真菌は人体に対して、アレルギーや感染症の問題を引き起こし、ともに環境による健康上重要な問題がある。アレルギーは特に問題が大きく、住宅が高断熱・高気密化になり、省エネルギー住宅とヒトとの関わりが大きな問題となっている。真菌が多い環境にいることにより、様々な健康被害を被ることとなる。

真菌による人の疾病である真菌感染症(真菌症)は、皮膚を侵す表在性真菌症（皮膚真菌症）と、肺や脳などに感染しておこる深在性真菌症(内臓真菌症)とに大別される。

また、このほかに、空中に浮遊している真菌の胞子を、気道から吸い込んで発生する真菌アレルギー症や、さらに、真菌中毒症と呼ばれる疾患の毒キノコや、真菌がつくる毒素（マイコトキシン）によって汚染されている食物を摂取して起こる急性の真菌性食中毒症などがあげられる。

３－４－１　真菌の病気が起こる背景

真菌は本来それほど強い病原力を持ったものは少ないので、真菌は平素無害菌と言える。私たちの周辺にはつねに真菌が存在しており、常日頃それらと接触する機会を持っている。では、なぜ容易に感染しないのか。

人間が健康で過ごしている間は、生態防御機能、すなわち免疫機能が健全に働いているので、外からのいろいろの外敵による侵害を防いでいる。ところがいったん健康をそこなうと、この機能が減弱してくるために、外からの微生物などの抗原に対して、立ち向かう作用物質(抗体)がほどよくできないか、働かないために、先の平素無害菌の感染を許してしまう。

今日では、真菌に限らず、細菌でも、今までたいした病原菌でなかったものが、各種臓器を侵害するという例が多くなっている。

ある病気にかかって入院加療中に、同室の感染症の患者から二次感染を受けて（院内感染）死亡したり、骨髄移植による治療でも第二次感染の防御が課題となっている。

真菌アレルギーについても同様な真菌を吸引しているのに、特定の人だけがアレルギー症状になっている。真菌や花粉や室内のほこりのような吸引性アレルゲンの場合は、主としてⅠ型（即時型）のIgE抗体によるアレルギーと考えられる。真菌の分生子を吸い込んでいるうちに、体がだんだんとこれを嫌うようになり、再度の侵入に備えて抗体（免疫グロブリンE）をつくるようになる。この状態を感作と呼ぶが、一度この抗体が体内にできると、抗体をつくるリンパ球の記憶作用によりなくすのが難しい。真菌に対する抗体が一定量蓄積されると、真菌の分生子を吸い込むたびにアレルギー(過敏症)が繰り返し起きるようになる。

３－４－２　真菌症

一般に真菌による皮膚疾患（皮膚、粘膜、毛髪、つめなど）は特に直接生命に関係しないけれど、再発を繰り返す、完治しにくい病気である。真菌は、耳、鼻、のどや眼にも感染し、*Candida*、*Aspergillus*、*Fusarium* が感染の主な原因真菌である。

内臓真菌症の主な疾患は、*Candida albicans* とその近縁種による心臓、腹膜、食道、胃などの感染症(深在性カンジタ症)。*Cryptococcus neoformans* による肺、中枢神経系の感染症(クリプトコックス症)。また *Aspergillus fumigatus* などが原因する肺および気管支などの感染症(アスペルギウス症)である。日本における内蔵真菌症のほとんどは、白血病などの悪性腫瘍、臓器移植、AIDS、糖尿病などにかかっている患者に続発的に発生している。

３－４－３　真菌アレルギー症

近年アレルギーの原因物質(アレルゲン)の一つとして真菌が注目されるようになった。環境中には多くの真菌が生息しており、空中に浮遊する頻度の高い菌種がアレルゲンになりやすく、*Cladosporium*、*Aspergillus*、*Penicillium*、*Alternaria*、*Fusarium*、*Aureobasidium* などのほか、キノコ・ホコリタケの胞子などが報告されている。この真菌アレルギー症として、気管支喘息、過敏性肺炎、鼻アレルギー、アトピー性疾患、アレルギー性気管支肺アスペルギウス症、カリニ肺炎、その他がある。気管支喘息は、一般人口の約 200 万人が患っていると言われている。また、近年喘息の原因となる種種のアレルゲンの約 10%はカビであると鳥居博士らは見解を述べている。

第四章

研究対象病院

第四章　研究対象病院

4 - 1　対象病院の概要

長野県大町市にある総合病院。敷地面積 18,658.93m²、西病棟・ラウンジ棟・東病棟・リハビリ棟・伝染病棟から成る。一般病床数は 280 床(人間ドック 6 床)、感染症病床は 4 床である。

今回老朽化の激しい西病棟において外壁改修工事が行われた(1 階外壁は施工範囲外)。工事期間は、2001 年 8 月 19 日から 2002 年 1 月 18 日である。この改修対象の西病棟、および改修対象ではなかった東病棟についての詳細を記す。

表 4　病院の概要

場所	西病棟		東病棟
竣工年	1971 年(昭和 46 年)		1994 年(平成 6 年)改築
構造	鉄筋コンクリート造 5 階建て		鉄骨造 5 階建て
	改修前	改修後	
断熱工法	無断熱	外断熱	内断熱
断熱材（外壁）	なし	EPS(4 号)　55mm	現場発泡ウレタン 30mm
窓　(枠部)	AL	AL+PVC	AL＋AL
窓　(ガラス部)	単板	単板＋真空ﾍﾟｱｶﾞﾗｽ	2 重(単板)
換気	－	全熱交換式換気扇	－
床面積（m²）	9,540.34		411.26(ﾗｳﾝｼﾞ棟含む)

ただし、表中の AL はアルミ、PVC は樹脂を表す。

暖房は、建物全体において蒸気暖房を行っている。蒸気暖房とは、ボイラーで１００℃以上の水蒸気を発生させ、配管を通じて各部屋の放熱器に送り、そこで熱を放出し暖房に利用する方式である。温水暖房と比べると、同規模の場合、設備費が安くなり室内をすぐに暖められるが、温度調整がむずかしく、火を落とすとすぐに冷えてしまう。

病院の外観



Photo.4-1　病院の外観(改修前)



Photo.4-2　病院の外観(改修後)

西病棟改修前後の構造断面図

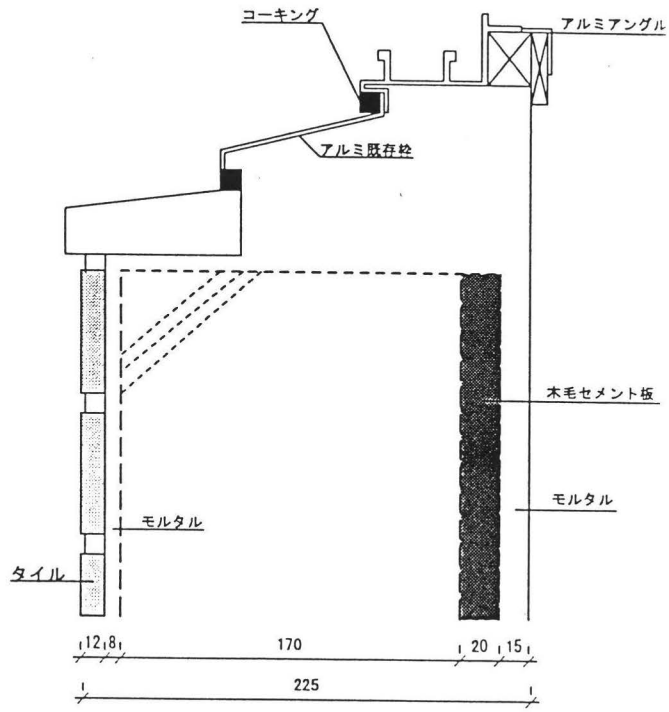


図 4-1　西病棟　改修前の構造断面図

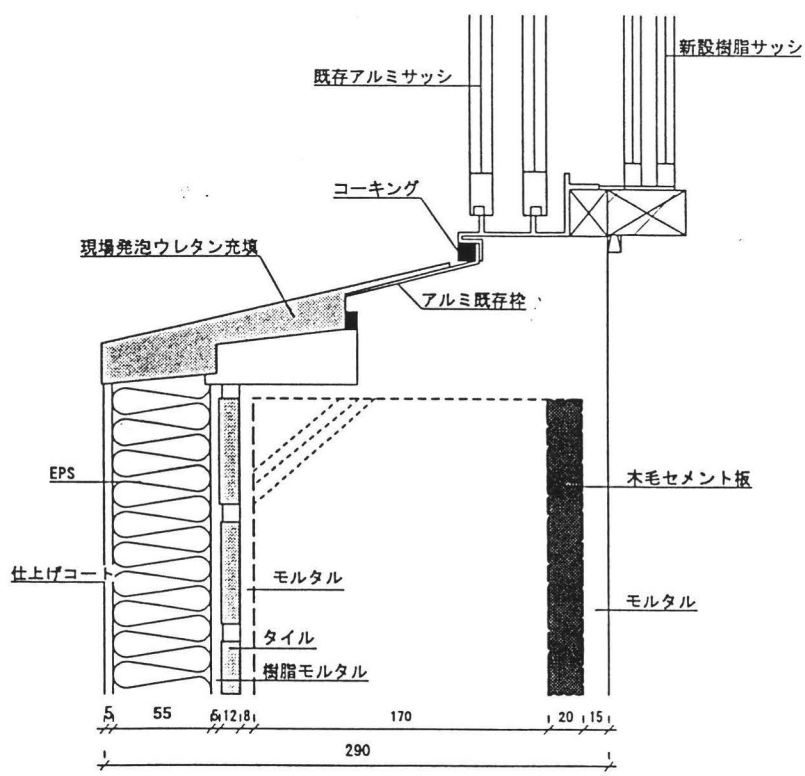


図 4-2　西病棟　改修後の構造断面図

第五章

病院の結露評価

第五章　病院の結露評価

外壁を無断熱から外断熱に改修したことにより、今まで悩まされていた結露発生がなくなることが期待される。外壁構造の材料特性から、熱の移動・湿気の移動をシミュレーションすることにより、結露発生の判定を理論的に行うことができる。

以下、改修前後の結露評価を冬季･夏季の温湿度条件で行う。

５－１　熱と湿気

建築壁体の熱の流れを考えるとき、熱は高温側の空気から熱伝達で壁体内表面へ伝えられ、内表面から材料中を熱伝導で外表面へ、さらに外表面から再び熱伝達で低温側の空気へ伝えられる。このように、一方の空気から壁体を通して他方の空気まで熱が伝わることを熱貫流と呼び、この熱貫流の大小を表す指標として熱貫流率 K[W/(m²･K)]がある。

$$K=\frac{1}{Rt}=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_i}+\Sigma\frac{d}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_o}}$$

Rt：熱貫流抵抗 [(m²･K)/W]
α_i：室内側熱伝達率 [W/(m²･K)]
α_o：外気側熱伝達率 [W/(m²･K)]
d　：建築材料の厚さ [m]
λ　：熱伝導率 [W/(m･K)]

ある建築部材の熱貫流抵抗 Rt[(m²･K)/W]は熱抵抗 R[(m²･K)/W]により計算される。

$$Rt=R_o+R_1+R_2+\cdots+R_n+R_i$$

$R_o=1/\alpha_o$：外気側熱伝達抵抗 [(m²･K)/W]
$R_i=1/\alpha_i$：室内側熱伝達抵抗 [(m²･K)/W]
R_1,R_2：各層の熱抵抗 [(m²･K)/W]

また、材料内の湿気の移動は、水蒸気の形で行われる場合、水蒸気圧の高いほうから低いほうへと移動する。この場合、定常計算として扱うことができる。また、壁体の湿気の移動は熱の移動と同様の形なので、以下のようになる。

$$K'=\frac{1}{\xi_1}=\frac{1}{\frac{1}{\alpha_i'}+\Sigma\frac{d}{\lambda'}+\frac{1}{\alpha_o'}}$$

K'：湿気貫流率［ng/m²·s·Pa］
ξ_1：湿気貫流抵抗［m²·s·Pa/ng］
α_i'：室内側湿気伝達率［ng/m²·s·Pa］
α_o'：外気側湿気伝達率［ng/m²·s·Pa］
d ：建築材料の厚さ［m］
λ'：湿気伝導率または透湿率［ng/m·s·Pa］

湿気貫流抵抗ξ_1[m²·s·Pa/ng]は、次式により計算される。

$$\xi_1=\xi_o+\xi_1+\xi_2+\cdots+\xi_n+\xi_i$$

$\xi_o=1/\alpha_o'$：外気側表面透湿抵抗［m²·s·Pa/ng］
$\xi_i=1/\alpha_i'$：室内側表面透質抵抗［m²·s·Pa/ng］
ξ_1, ξ_2：各層の透湿抵抗［m²·s·Pa/ng］

以上のように、熱移動の推進力は$\triangle\theta$（温度差）であり、透湿の場合$\triangle f$(水蒸気圧差)である。
多層壁の第n層(熱抵抗R(n))を通しての温度低下$\triangle\theta$は、

$$\triangle\theta=\frac{R}{Rt}(\theta_i-\theta_o)$$

で表され、湿気は熱と同じ挙動を示すので
水蒸気分圧低下$\triangle f$は(透湿抵抗ξ,湿気貫流抵抗ξ_1)、

$$\triangle f=\frac{\xi}{\xi_1}(f_i-f_o)$$

で表される。これらから各境界面での温度と実際の水蒸気圧がわかる。また、各境界層における温度からその点での飽和水蒸気圧がわかる。

５－２　結露発生の判定

壁体における各層境界面での実際の水蒸気圧が、各層境界温度に対する飽和水蒸気圧より高い箇所で結露が発生する。

つまり、図５－１に示すように、実際の水蒸気圧＞飽和水蒸気圧となった斜線箇所で結露が発生する。

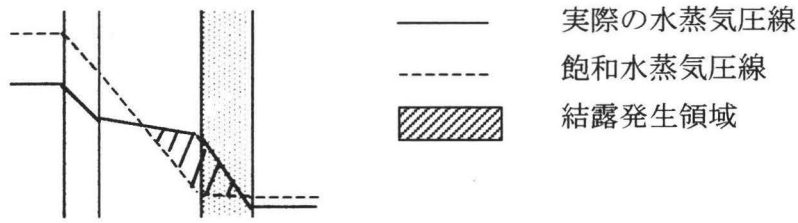


図 5-1　結露発生の判定

５－３　表面境界層

壁表面には壁に接して薄い空気の膜がある。表面層の熱伝達率(抵抗)、透湿係数(抵抗)は表、表に示されるが、通常、室内側・外気側熱伝達抵抗としてR_i=0.11[(m²・K)/W]、R_o=0.04[(m²・K)/W]がとられ、室内側・外気側透湿抵抗としてξ_i=0.024[m²・s・Pa/ng*10⁻³]、ξ_o=0.01[m²・s・Pa/ng*10⁻³]がとられる。よって、本研究でもこの値を引用した。

表 5-1　実用熱伝達率と熱抵抗 [1)]

		熱伝達率		熱抵抗	
		kcal/(m²h℃)	W/(m²・K)	(m²h℃)/ kcal	(m²・K)/W
室内側	垂直面,水平面(熱流上向)	8	9.3	0.125	0.11
	水平面(熱流下向)	6	6.9	0.167	0.14
	全表面一定値を用いるとき	8	9.3	0.125	0.11
外気側	風速　3m/s	20	23.3	0.05	0.04
	風速　6m/s	30	34.9	0.03	0.03

表 5-2　表面層の透湿係数 [2)]

位置		設定条件	透湿係数		透湿抵抗		提出者
			g/m²hmmHg	ng/m²sPa	m²hmmHg/g	m²sPa/ng	
室内側	垂直面	水平湿流	93.1	194000	0.0107	0.005	Billington
	〃	風速 0.3m/s	16.7	35000	0.067	0.029	斎藤
	水平面	上向湿流	20.0	41700	0.050	0.024	〃
	〃	下向湿流	14.0	29200	0.071	0.034	〃
外気側	垂直面	風速 3m/s	50.0	104000	0.020	0.01	斎藤

5－4　条件設定

外気の温湿度は、冬季寒冷となる長野の気候特性を考慮した条件設定を行う。

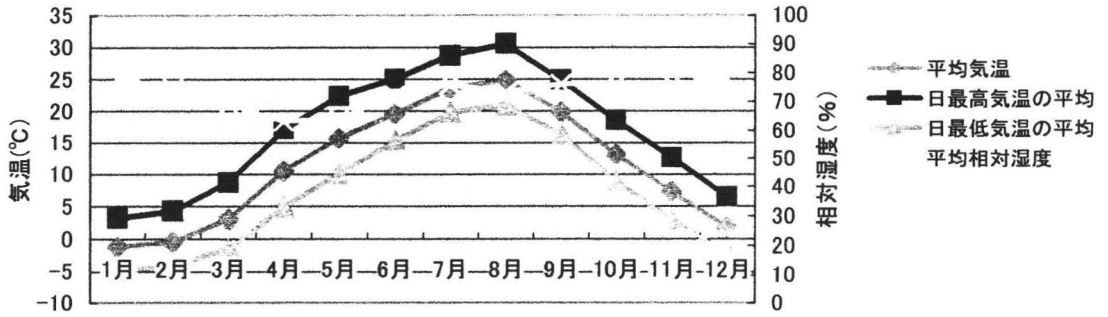


図 5-2　長野市の気温と相対湿度 [3)]

気温は、冬季の - 5℃から夏季の 30℃の間をとっている。相対湿度は、60%～80%の間をとっている。しかし、これはあくまで 1961 年から 1990 年の間での平均であるので実際には日変動がおこっている。

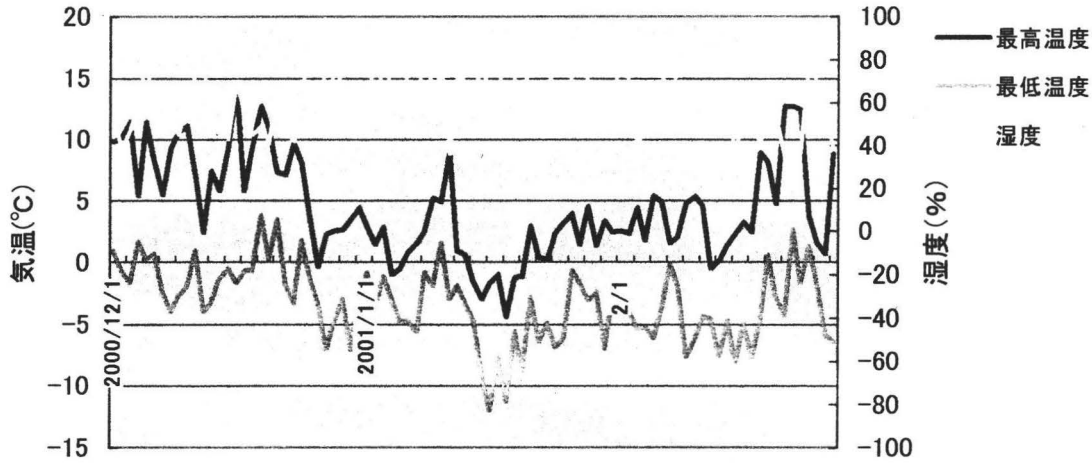


図 5-3　長野における冬期の気温と湿度(2000.12～20001.2)

湿度は日付の午後 3 時、最高気温は午前 0 時～午後 3 時、最低気温は前日の午後 9 時～後前 9 時の間の測定である。図からもわかるように約 - 10℃から約 13℃の間で外気温は終日変動しており、湿度は約 35%から約 90%の間を変動している。

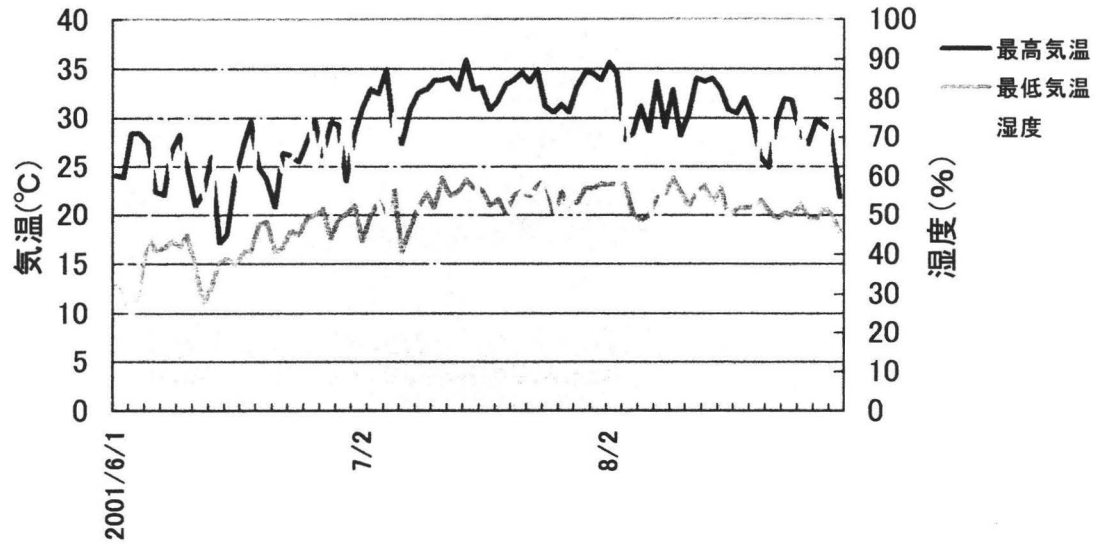


図 5-4　長野における夏期の気温と湿度(2001.6～2001.8)

図より、夏期において外気温は終日約 11℃から約 35℃の変動がみられる。湿度においては、約 30%から約 80%の間を変動している。

室内条件の推奨値として提案されている値は、以下に示すとおりである。

表 5-3　室内条件の推奨値 [4),5)]

	冬	夏	備考
室内温度	18～22℃	24～28℃	乾球温度で室の中心で測定
室内湿度	40～75%	40～75%	
気流	0.2～0.5m/s	0.2～0.5m/s	室内(床上 1.8m以内)で測定

以上を考慮して、次のような条件設定を行った。

表 5-4　温湿度条件

	冬季		夏季	
	室内	外気	室内	外気
温度	22℃	-10℃，0℃	25℃	20℃，35℃
湿度	50%	60%，85%	55%	45%，70%

５－５　壁体構造の設定

結露評価を行う対象は、病院の西病棟改修前と改修後の壁体構造である。(図4-1と図4-2)

表5-5　改修前(無断熱)の壁断面構成と特性値[6)]

材料	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/(m·K))	透湿抵抗 (m^2·s·Pa/ng·10^{-3})
室内			
モルタル	15	1.51	1.17
木毛セメント板	20	0.11	0.52[7)]
コンクリート	170	1.63	57.0
モルタル	8	1.51	6.63
タイル	12	1.28	19.2
屋外			

＊　材料の透湿抵抗は厚みに比例するものとして算出

表5-6　改修後(外断熱)の壁断面構成と特性値

材料	厚さ (mm)	熱伝導率 (W/(m·K))	透湿抵抗 (m^2·s·Pa/ng·10^{-3})
室内			
モルタル	15	1.51	1.17
木毛セメント板	20	0.11	0.52
コンクリート	170	1.63	57.0
モルタル	8	1.51	6.63
タイル	12	1.28	19.2
樹脂モルタル	5	1.51	6.5
EPS（4号）	55	0.045	11.44
仕上げコート	5	0.70	0.1
屋外			

5－6　シミュレーション結果

≪改修前≫

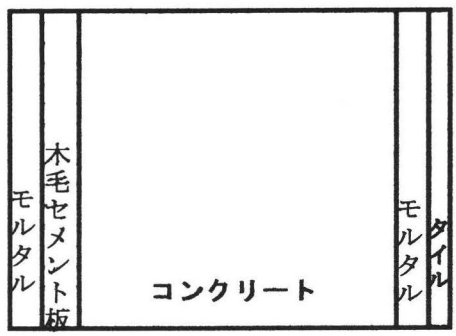


図 5-5　改修前の構造断面

≪改修後≫

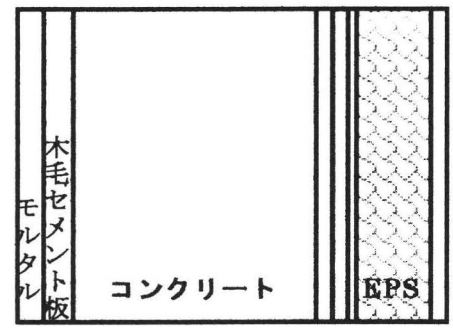
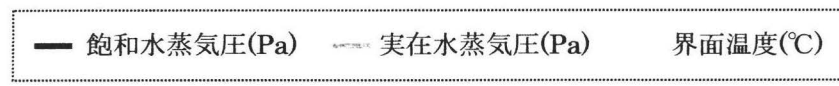
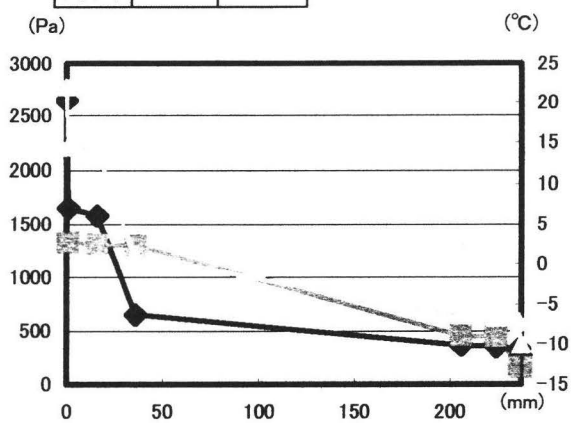


図 5-6　改修後の構造断面

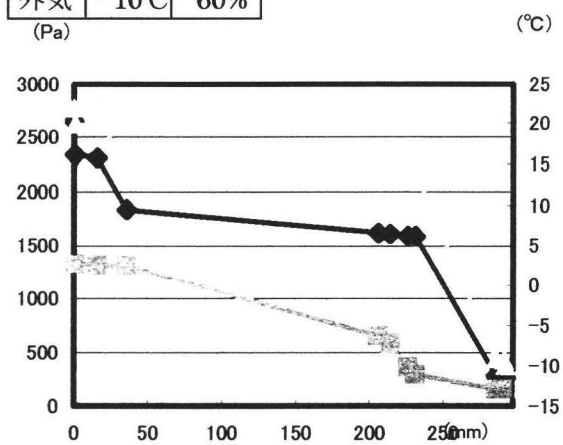
＝冬季＝



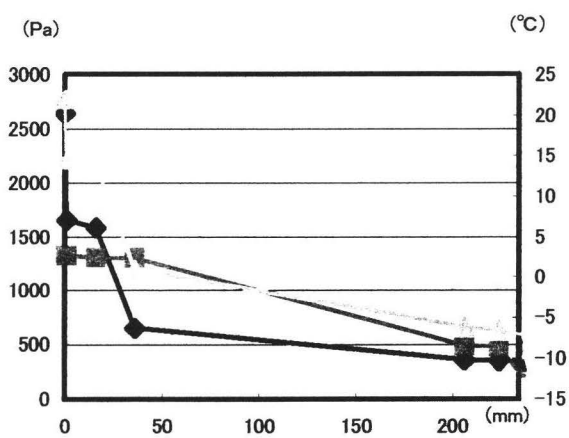
室内	22℃	50%
外気	- 10℃	60%



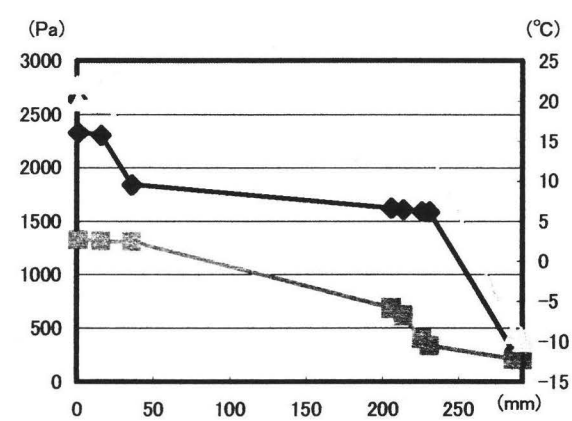
室内	22℃	50%
外気	- 10℃	60%



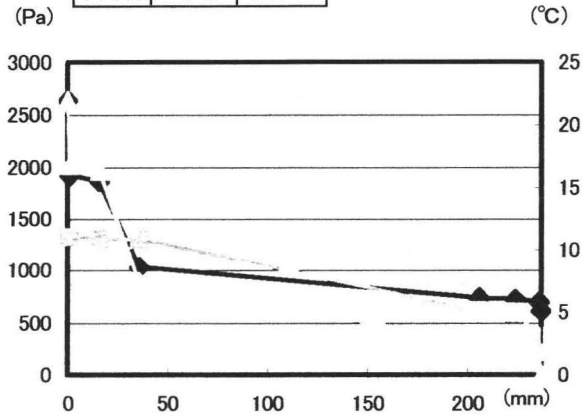
室内	22℃	50%
外気	- 10℃	80%



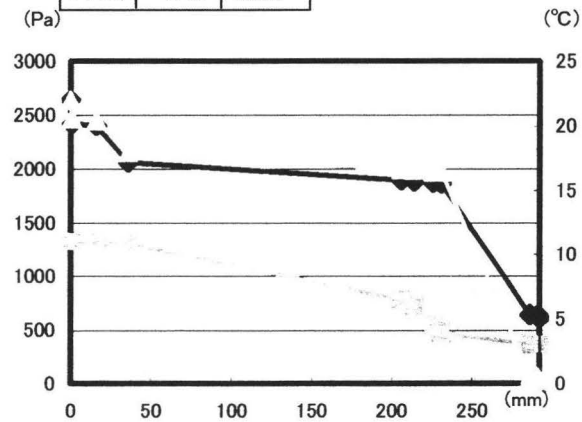
室内	22℃	50%
外気	- 10℃	80%



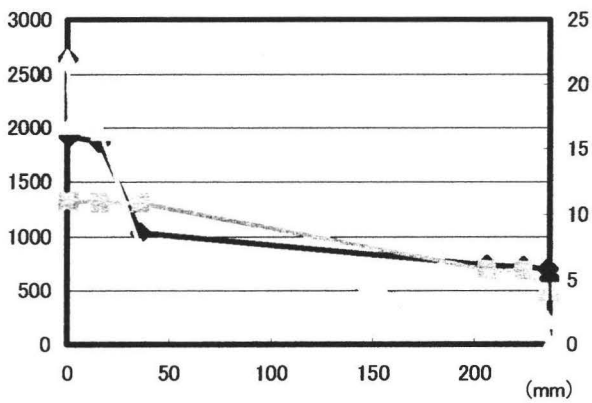
室内	22℃	50%
外気	0℃	60%



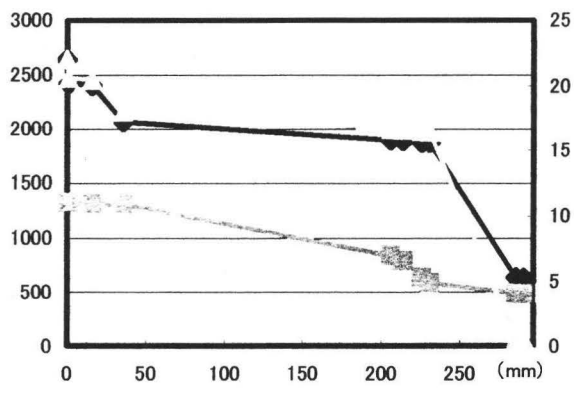
室内	22℃	50%
外気	0℃	60%



室内	22℃	50%
外気	0℃	80%

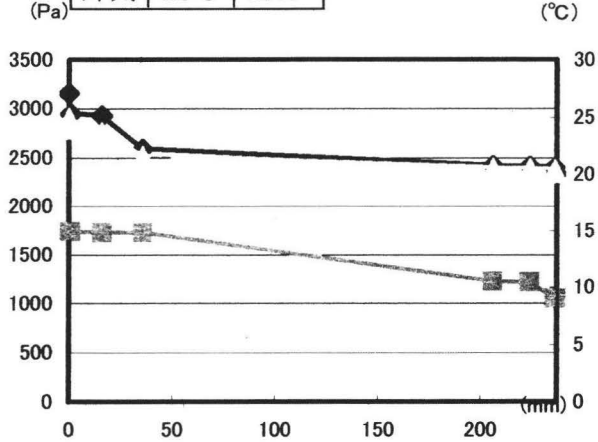


室内	22℃	50%
外気	0℃	80%

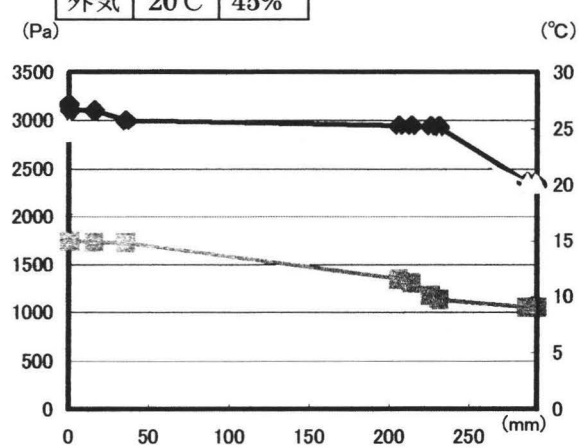


＝夏季＝

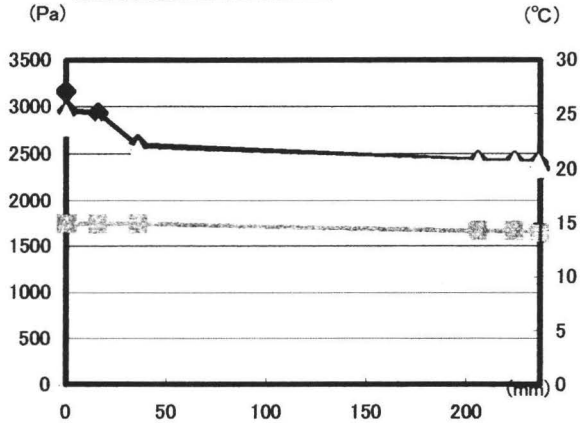
室内	25℃	55%
外気	20℃	45%



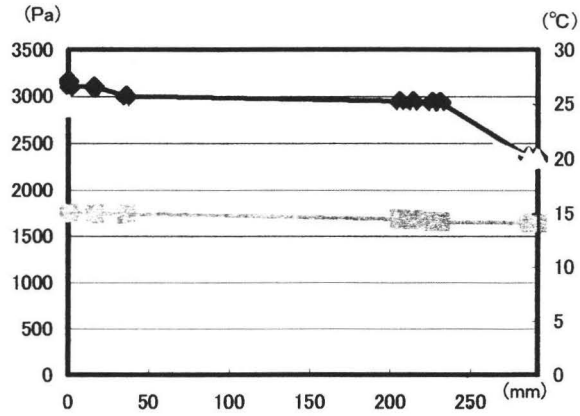
室内	25℃	55%
外気	20℃	45%



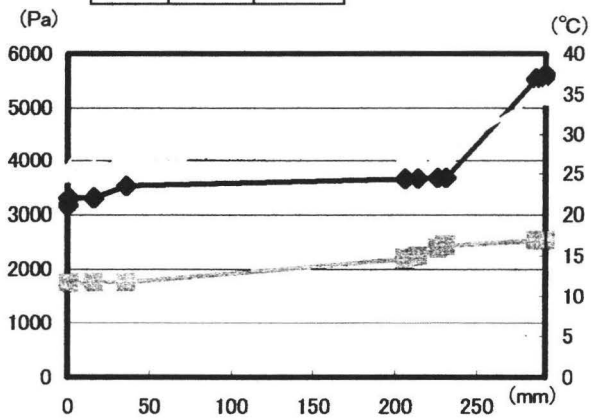
室内	25℃	55%
外気	20℃	70%



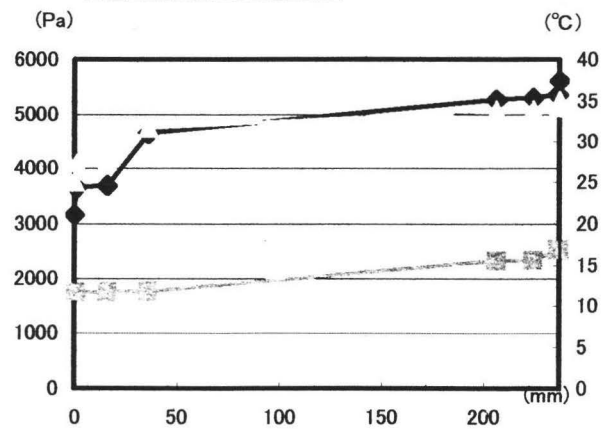
室内	25℃	55%
外気	20℃	70%



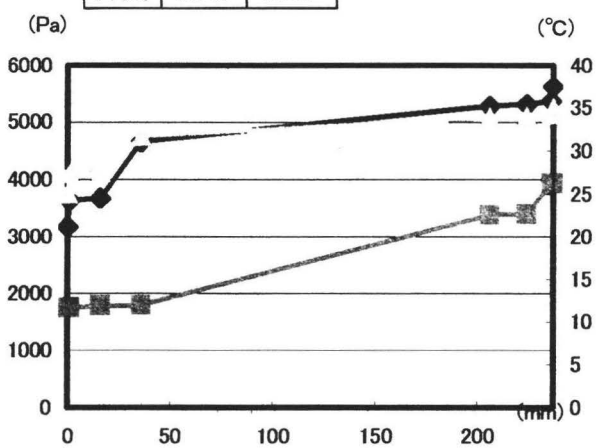
室内	25℃	55%
外気	35℃	45%



室内	25℃	55%
外気	35℃	45%



室内	25℃	55%
外気	35℃	70%



室内	25℃	55%
外気	35℃	70%

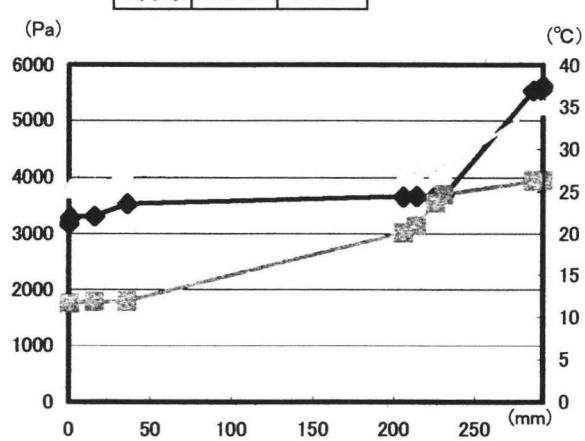


図 5-7　温湿度条件別　結露発生シミュレーション

図5-7より、冬季においては夜間 - 10℃まで外気が冷え込んだとき改修前の無断熱の状態では、木毛セメント板とコンクリートを水蒸気が流れるときに結露を起こすと考えられる。また、0℃でも同様のことが言える。しかし、断熱材(EPS)を躯体外側に施せば、この結露は解消されると考えることができる。冬季零下を記録するような寒冷地において、外断熱工法を取り入れることは結露解消に有効的であると言える。

夏季においては、改修前後で水蒸気の流れにさほど差はみられず、結露の発生も見られない。しかし、外気が35℃、70%以上といった高温高湿になった場合、改修後の外断熱構造において断熱材の裏面付近で結露を起こす可能性があると考えられる。図5−4において、長野の夏季の温湿度は35℃近くの高温時は、湿度が 50%前後といずれの日も高くないので、35℃、70%以上といった高温高湿の状態が長く続くことはないであろう。

以上のように、シミュレーションにおいては、外断熱に改修後結露防止において効果が期待できる。

第六章

熱環境調査(1)

第六章　熱環境調査（1）

６－１　目的

病院の外断熱への外壁改修にともない、室内の温熱環境も変わることが予測される。外気温による影響で室内および室内壁表面、外壁表面の温度がどのように推移しているかを調査し、改修前後の変化と西病棟・東病棟の比較を行い、それぞれの断熱工法での温熱環境の実態を知ることを目的とした。

６－２　調査概要

６－２－１　調査日および調査場所

改修前：

① 西病棟北面 319 号室･･･2001 年 3 月 30 日から 2001 年 4 月 3 日(4 日間)

改修後：

② 西病棟南面 466 号室･･･2002 年 1 月 8 日から 2002 年 1 月 31 日(23 日間)

③ 西病棟 3 階透析センター･･･2002 年 1 月 6 日

④ 東病棟北面 315 号室･･･2002 年 1 月 6 日 - 7 日

⑤ 東病棟南面 306 号室･･･2002 年 1 月 6 日 - 7 日

６－２－２　調査内容

前述①における外気温度、外壁表面温度、内壁表面温度、室内空気温度の測定。②における外気温度、EPS と躯体の間の温度、壁内部の温度、内壁表面温度、室内空気温度の測定。③、④、⑤における外気温度、外壁表面温度、内壁表面温度、室内空気温度の測定を行った。

６－２－３　調査方法

①,②は、データロガー記憶計(佐藤計量器製：SK-L200T)を使用し、センサーを各部位に取り付け実温度を測定した。(測定間隔①は 15 分,②は 1 時間)

③,④,⑤は、サーモレコーダおんどとり(T&D 製：TR-72S)を使用し、センサーを各部位に取り付け温湿度を測定した。(測定間隔 10 分)

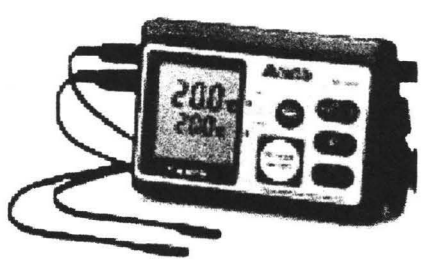


Photo.6-1　データロガー記憶計

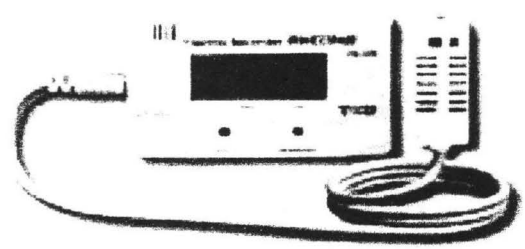


Photo.6-2　おんどとり

６－３　調査結果

６－３－１　改修前の温度推移

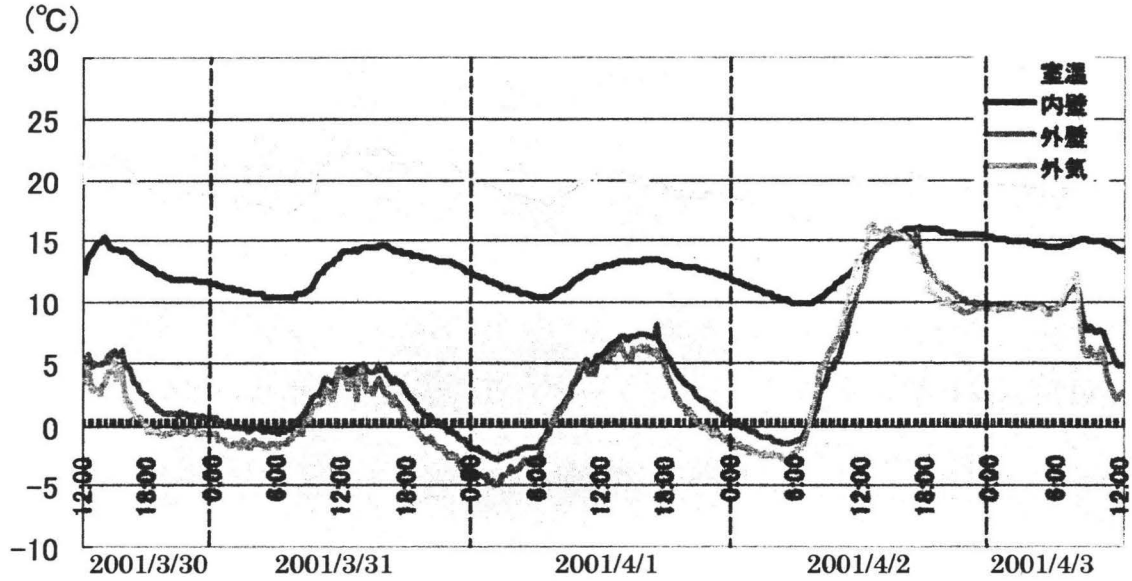


図 6-1　改修前の西病棟北面 319 号室における温度推移(2001/3/30～2001/4/3)

測定(①)を行った 319 号室の室内状況は、室内暖房がスチーム 1 機による自動管理で未使用ということもあり室温は 18℃前後であった。

外気温を内壁表面に連動影響させる時間差は、図 6-1 より平均 2 時間ぐらいで、極度の温度昇降には追従しないものの、外気温度に順応する内壁表面温度の実体が測定値により明らかになった。また、内壁表面温度同様に室内気温も外気温の影響を受けているとみてとれる。

６－３－２　改修後の温湿度推移

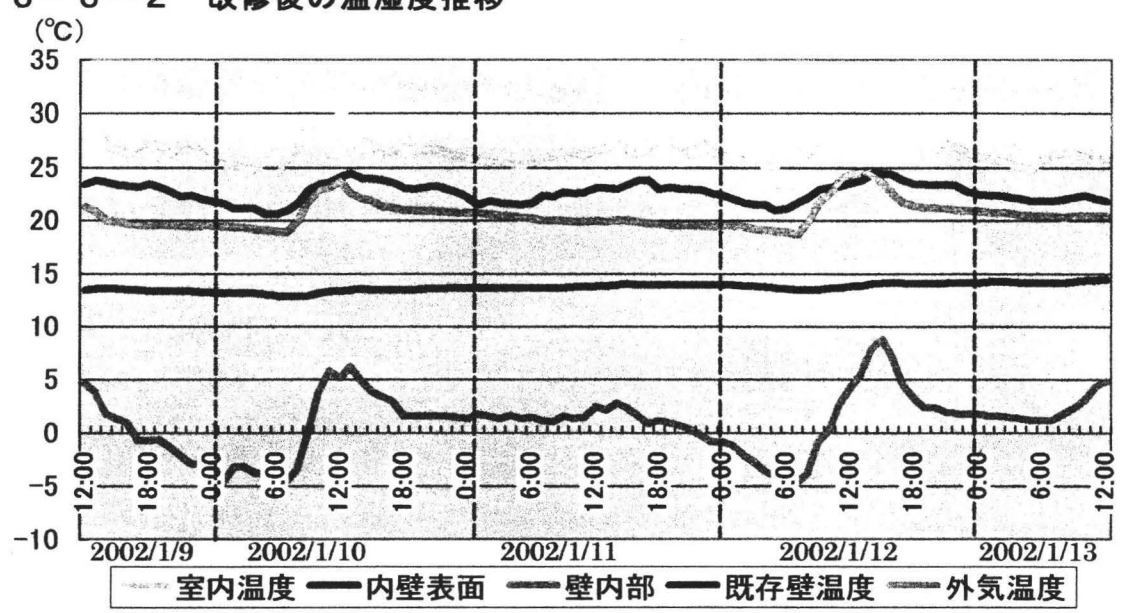


図 6-2　改修後の西病棟南面 4 階における温度推移(2002/1/9～2002/1/13)

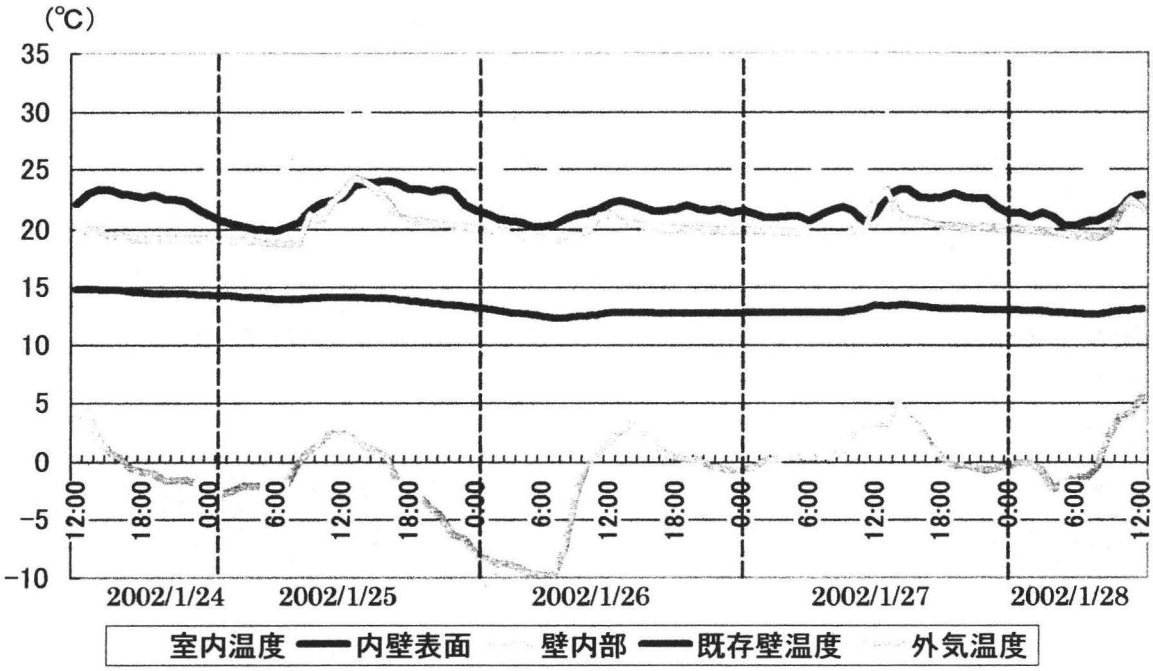


図 6-3　改修後の西病棟南面 4 階における温度推移(2002/1/24～2002/1/28)

改修後の測定(②)は、測定期間中の計 8 日間を抜粋して表示した。既存壁温度とは、EPS と躯体の間に施工中温度センサーを取り付けておいたものである。外気温が夜間から早朝にかけて極度に低下しても、室温および壁の温度はほとんど影響を受けていない。しかし、日中に温度上昇が見られる(図 6-2、図 6-3)。

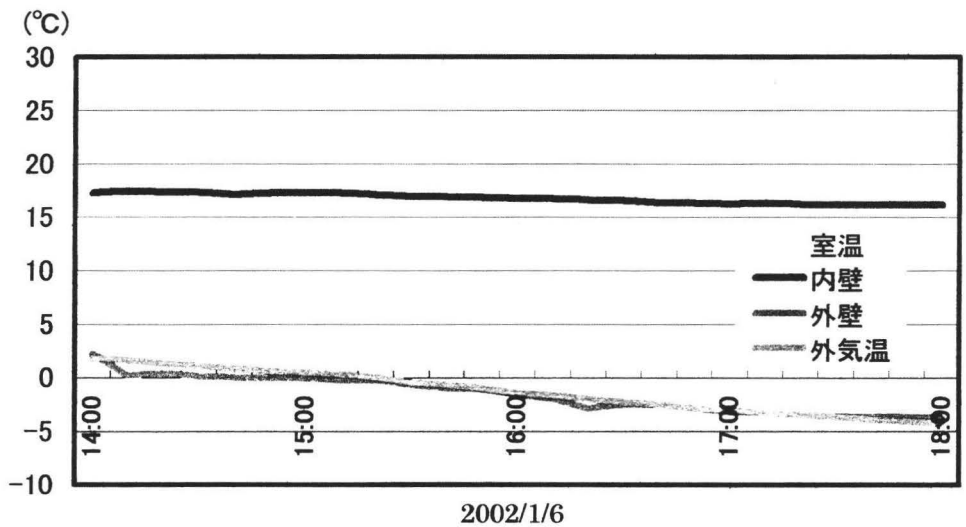


図 6-4　改修後西病棟 3 階透析センター北面における温度推移

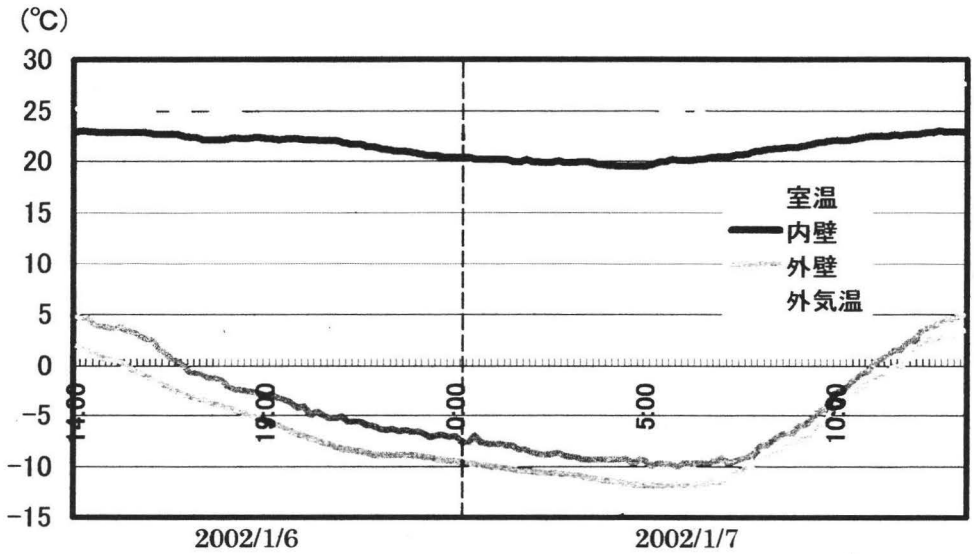


図 6-5　東病棟北面 315 号室における温度推移

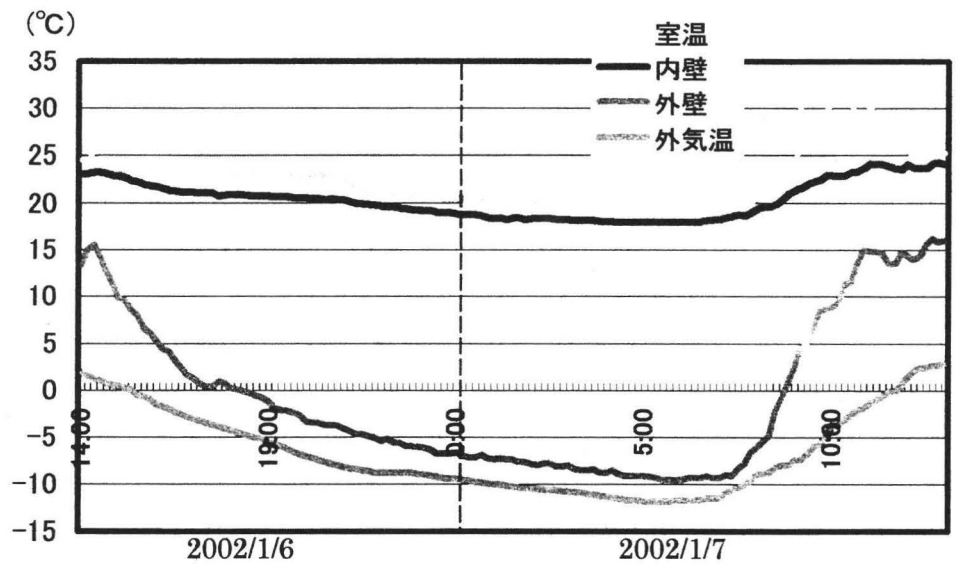


図 6-6　東病棟南面 306 号室における温度推移

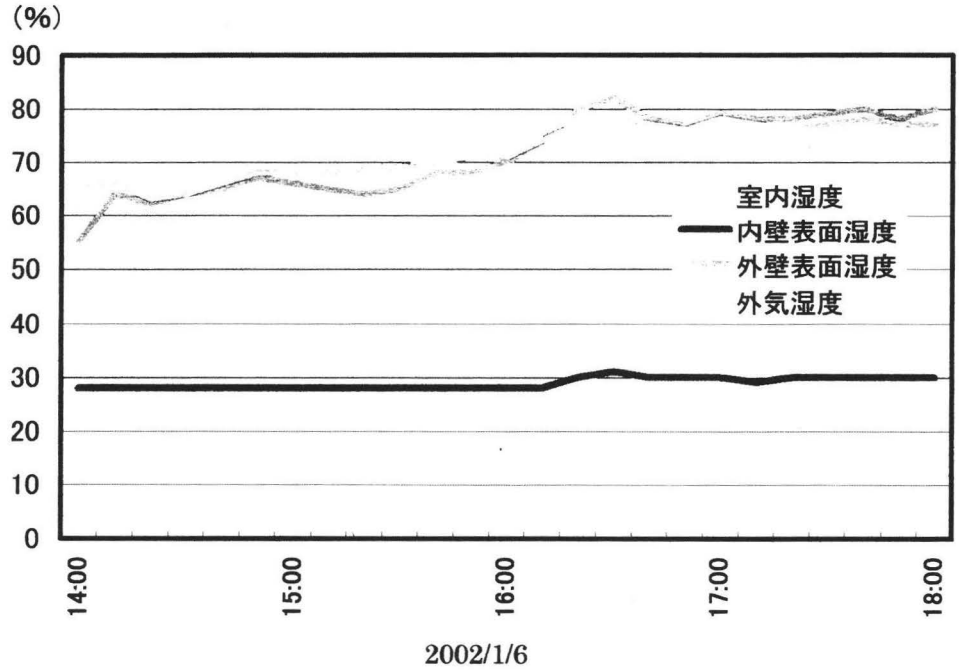
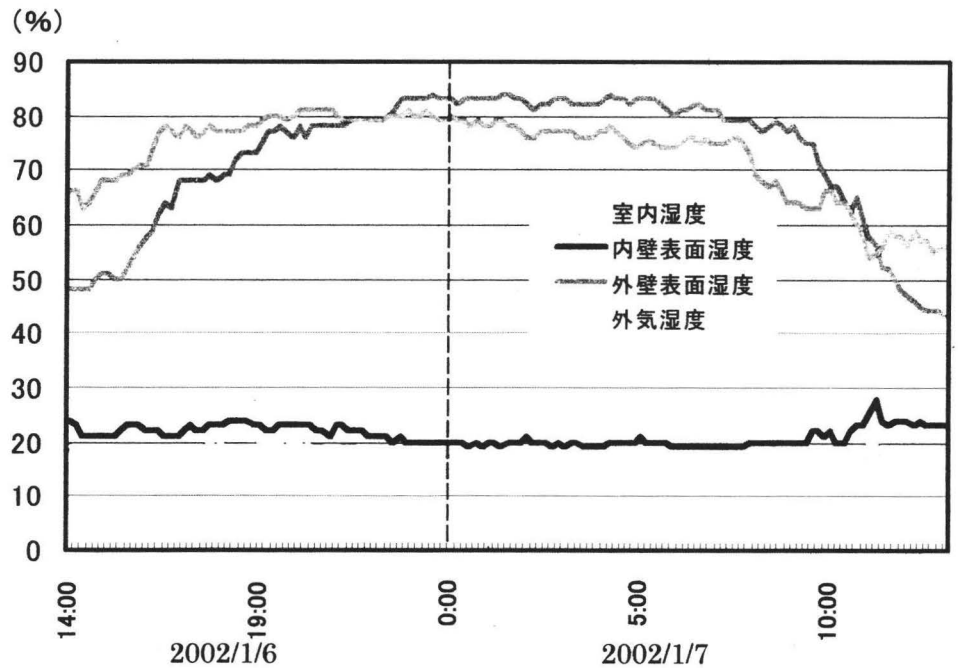


図 6-7　改修後西病棟 3 階透析センター北面における湿度推移

図 6-8　東病棟北面 315 号室における湿度推移



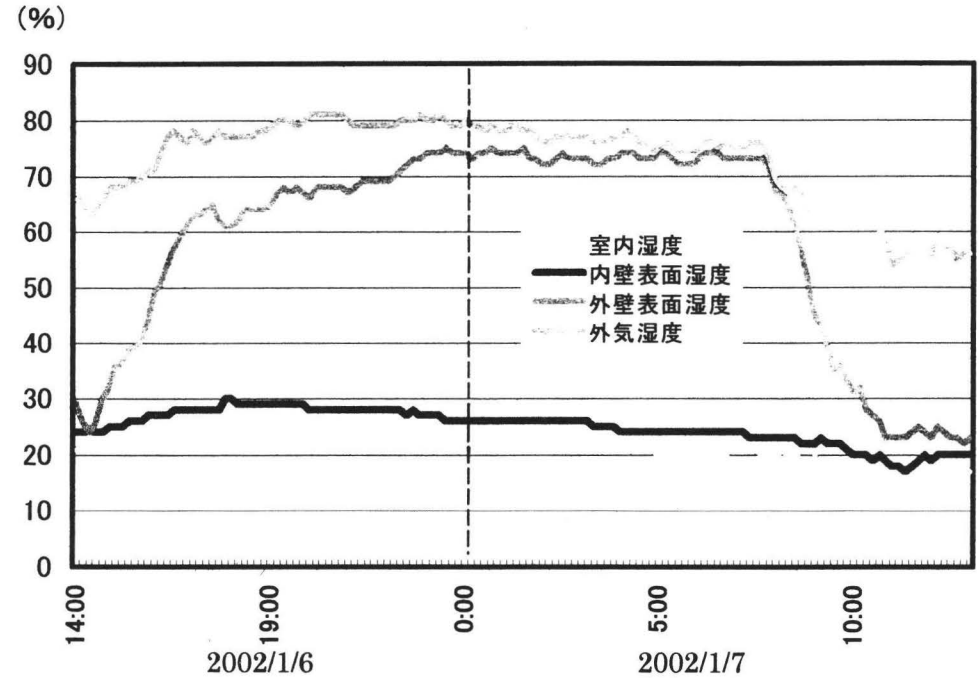


図 6-9　東病棟南面 306 号室における湿度推移

測定(④, ⑥)を行った透析センターと 315 号室は未使用で、306 号室の測定(⑤)は 4 床満室の病室であった。

改修後の西病棟の温熱環境は、外気温の影響を受けず壁内部、室温ともに安定している。東病棟も比較的安定しているものの、夜間から早朝にかけての冷え込みに対しては、室温、内壁表面温度ともにやや低下している。

西病棟改修後において、改修前と同様、室温と内壁表面温度の差が約 6℃あり、外気温と外壁表面温度はほぼ同じ温度で推移している。湿度に関しても室内湿度と内壁表面湿度の差が約 10%もあり、外気湿度と外壁表面湿度はほぼ同じ湿度で推移しているのが特徴的である。逆に、東病棟では、室温と内壁表面温度の差が約 1~2℃で、外気温と外壁表面温度の差も 3~4℃であり、室内湿度と内壁表面湿度の差も同様の傾向にある。

また、東病棟南面の 306 号室外壁温度の朝から昼にかけての急激な増加、および外壁湿度の減少は、南面に照りつける日射の影響であると考えられる。(図 6-6, 図 6-9)

６－４　考察

外壁改修前後での西病棟の温熱環境の変化を、外気温に対する内壁表面温度(改修前北面および改修後南面 1、改修後南面 2)の関係で示した。(図 6-10)
ここで、南面 1 は図 6-2、南面 2 は図 6-3 を表している。

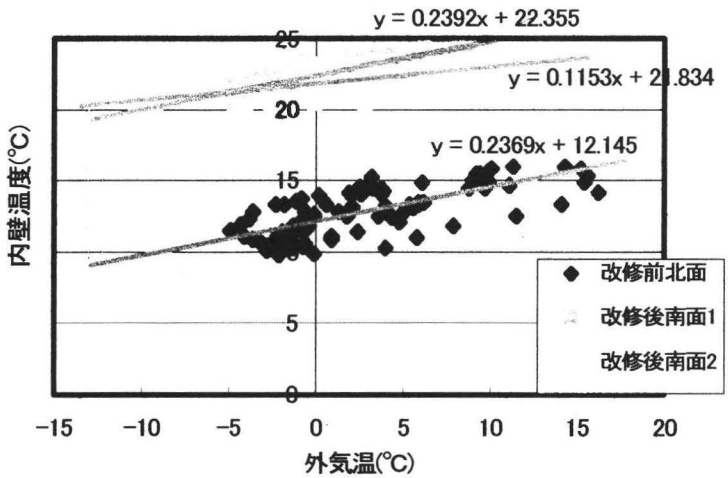


図 6-10　外気温－内壁温度の関係

グラフから、外気温の変動に連動していないと、断熱性が高いと考えられる。図 6-10 では、外気温の変動の影響は改修前後で変化がさほどないが、改修前に比べ改修後は高い温度域で推移している。内壁表面温度の上昇・安定を、室温も同様の傾向にあると考えると、室温が上昇・安定することにより、エネルギー消費量も減少するので暖房にかかる燃料費削減にもつながることになる。

図 6-4 の結果に関して、室温と内壁表面温度の差が約６℃もあった原因は、測定箇所に問題があったと考えられる。つまり、隅各部にセンサーを取り付けたので、壁内部の構造がヒートブリッジをおこしていたとも考えられる。実際には一点のみの測定なので詳しくは議論しがたい。

内壁表面温度からは、西病棟と東病棟の比較を行うことはできないが、外壁表面温度はそれぞれ同じ条件で測定をしているので図6-4から図6-6において比較を行った。(図 6-11)

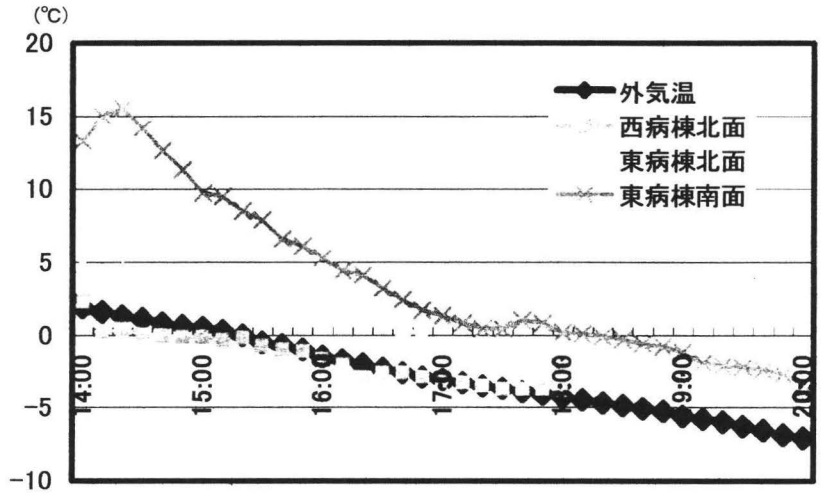


図 6-11　各測定場所における外壁表面温度

西病棟北面の外壁表面温度は外気温とほぼ同じ温度で推移している。東病棟北面は外気温より約 3℃高い温度で推移している。東病棟南面は、日中、日射の影響で外壁表面温度が高くなったと考えられるが、日没後も外気温より約 5℃高い温度で推移している。

日没後も外気温より外壁表面温度が高いのは、室内側の熱が躯体を通して外に逃げようとしていることが原因と考えられる。ゆえに、東病棟の内断熱では断熱性が弱いと考えられる。

第七章

熱環境調査(2)

第七章　熱環境調査(2)

７－１　目的

建築構造、室内隅角部などの熱環境を、サーモグラフィーを用いて測定することにより、断熱性および外壁タイルの浮きや断熱欠損部などを発見し、外部から見ることのできない構造の実状を知ることを目的とする。

７－２　調査概要

７－２－１　調査日

2001年4月5日および2002年1月6日

７－２－２　調査内容

改修前の西病棟において、サーモカメラによる外壁劣化状況の調査を行い、改修後も外壁の熱環境調査を行った。同時に、東病棟の外壁も行った。

院内では、改修前に結露・真菌汚染が見られた介助浴室での測定、また、天井部に欠損があると思われる５階ラウンジ、その対照として４階ラウンジでの測定を行った。

７－２－３　調査方法

サーモカメラ（TVS-100 シリーズ：日本アビオニクス）を使用し、観測対象物の温度を測定し、熱画像として表示した。記録した熱画像は、温度計測ソフト（PicEd Avio Ver4.05：日本アビオニクス）を使用し、パソコン上で解析を行った。

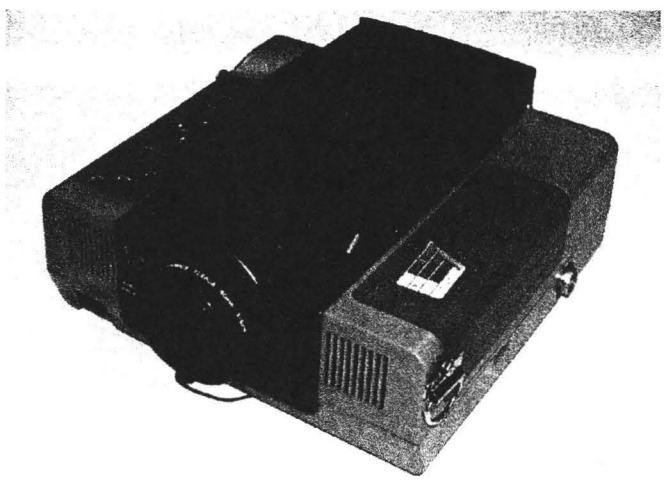


Photo.7-1
サーモカメラ
(赤外線装置)

７－３　調査結果および考察

７－３－１　改修前の結果



Photo7-2　西病棟南面
(その 1)

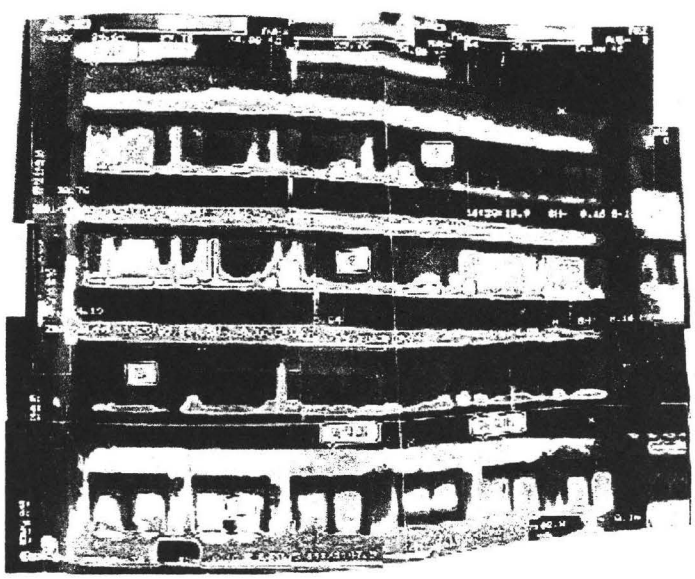


Photo7-2-1
(その 1)の熱画像写真
(温度幅：24.64℃～34.88℃)

- 屋上部分の外壁は、居室部分に比べ建物構造の相違および内蔵蓄熱がないため、全体的に温度が低い。(他の部分に比べて 5℃前後低い)
- 白華現象発生部分、日陰部分の温度が低い。
- 高温部は剥離と推定される。

＊白華･･･セメントや土に含まれる水酸化カルシウムは、水に溶解し、レンガ等の表面に染み出して大気中の炭素と結合し、白い粉状を呈する。この現象を白華（エフロレッセンス）という。

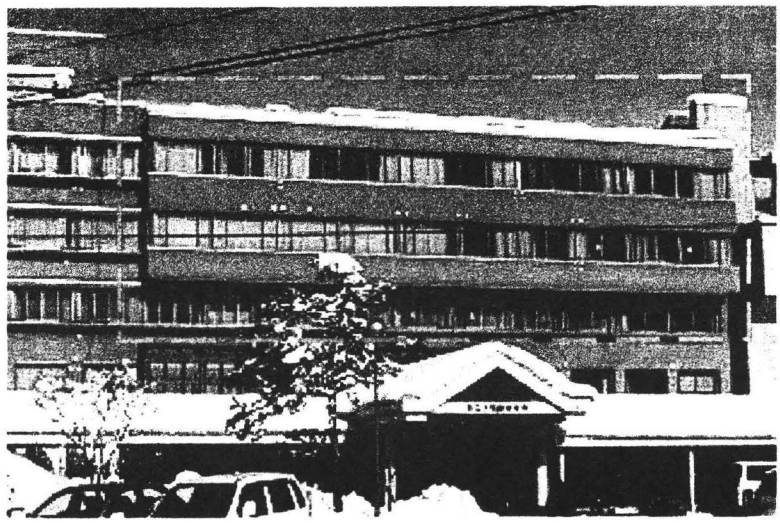


Photo.7-3
西病棟南面(その 2)

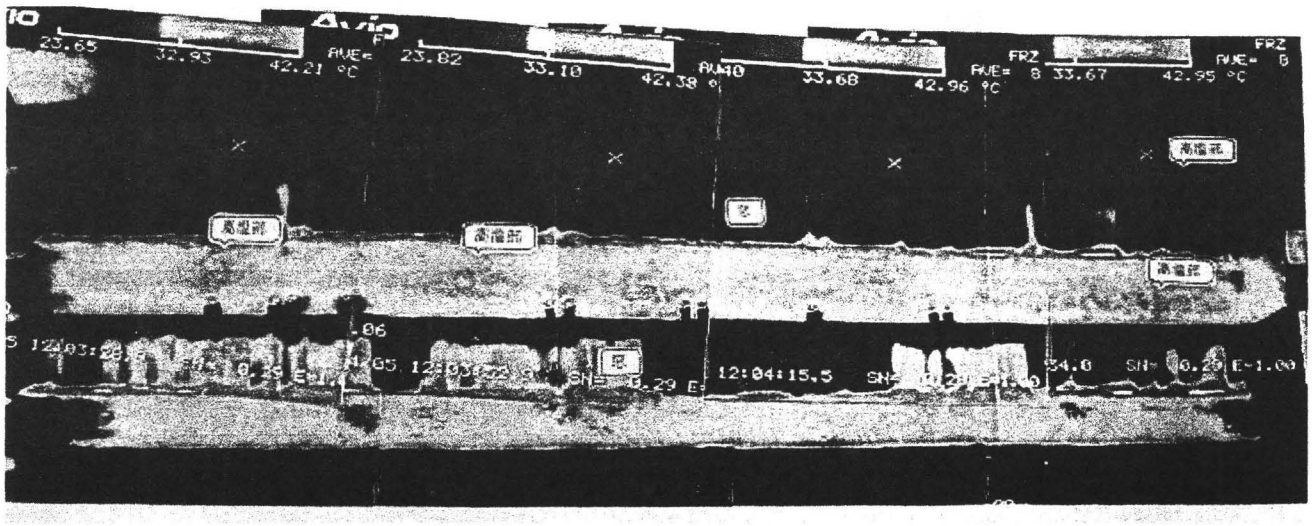


Photo.7-3-1　（その２）の熱画像写真　(温度幅：23.65℃～42.96℃)

- 屋上部分の外壁は、居室部分に比べ建物構造の相違および内蔵蓄熱がないため、全体的に温度が低い。(他の部分に比べて 5℃前後低い)
- 高温部は剥離と推定される。



Photo.7-4
西病棟南面（その３）

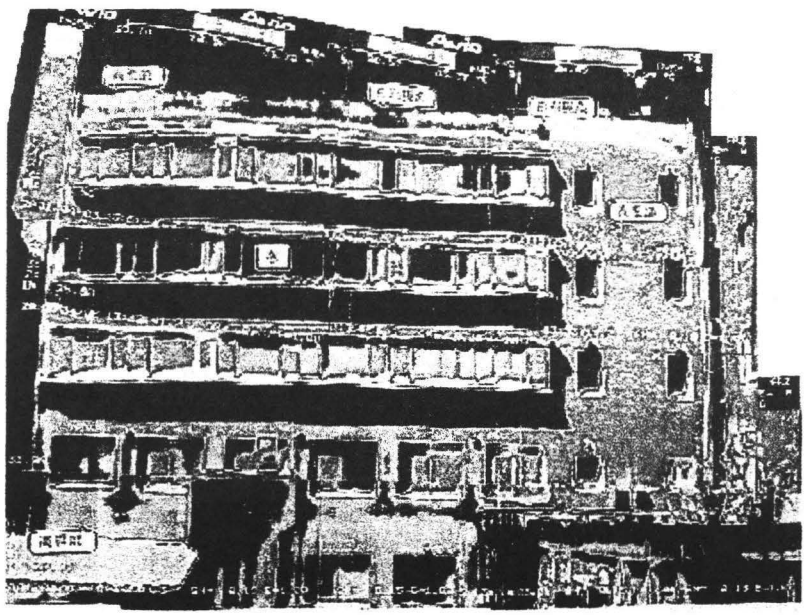


Photo.7-4-1　（その３）の熱画像写真　（温度幅：23.70℃～33.37℃）

- 屋上部分の外壁は、居室部分に比べ建物構造の相違および内蔵蓄熱がないため、全体的に温度が低い。(他の部分に比べて 5℃前後低い)
- 白華現象発生部分は、温度が低い。
- 高温部は剥離と推定される。
- 正面右側高温部は、西壁面に当たった太陽光が反射して高温になったと考えられる。

7－3－2　改修後の結果

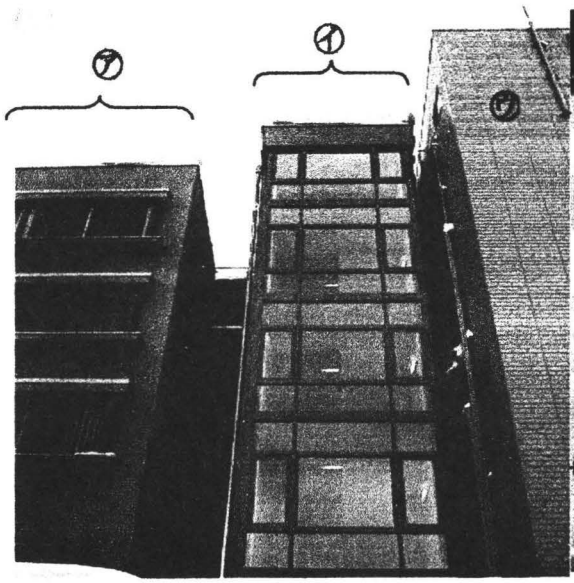


Photo.7-5-1　西病棟北面(その 1)

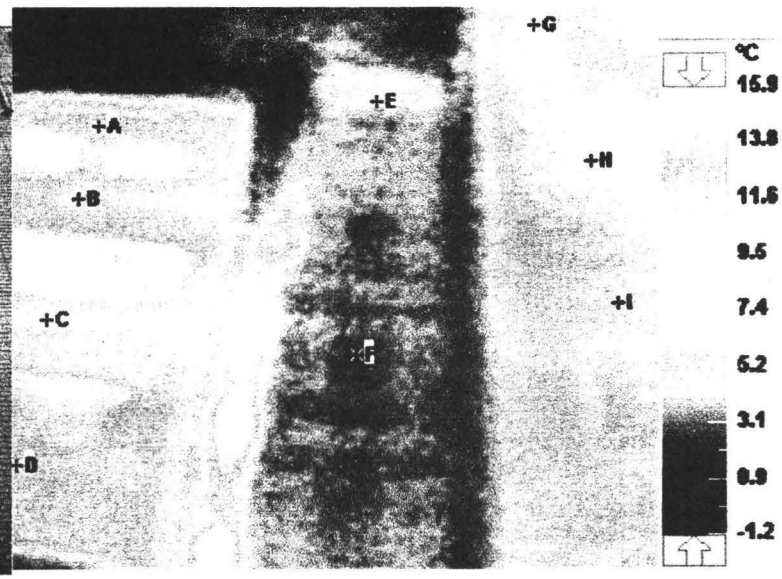


Photo.7-5-2　西病棟北面(その 1)の熱画像写真

A=5.3℃	B=4.4℃	C=4.8℃	D=5.0℃	E=4.0℃
F=2.2℃	G=6.4℃	H=6.6℃	I=5.8℃	

㋐は外壁改修を行った西病棟、㋑は真空ガラスに入替を行った階段部、㋒は施工範囲外の西側病棟である。㋒の外壁温度が㋐の外壁温度より１、２℃高い結果となっている。撮影時の外気温度は 1, 3℃程度であった。Photo. 7-6 は、南面からの画像である。



Photo. 7-6-1　西病棟南面

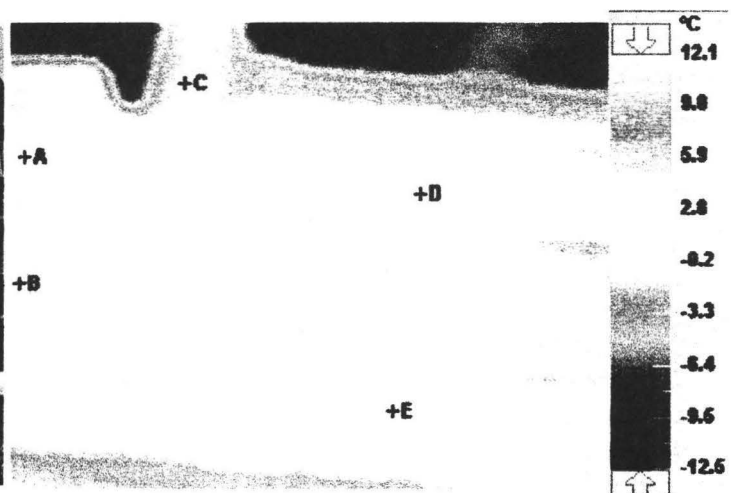


Photo.7-6-2　西病棟南面の熱画像写真

A=1.6℃	B=1.8℃	C=－1.6℃
D=－2.2℃	E=－0.4℃	

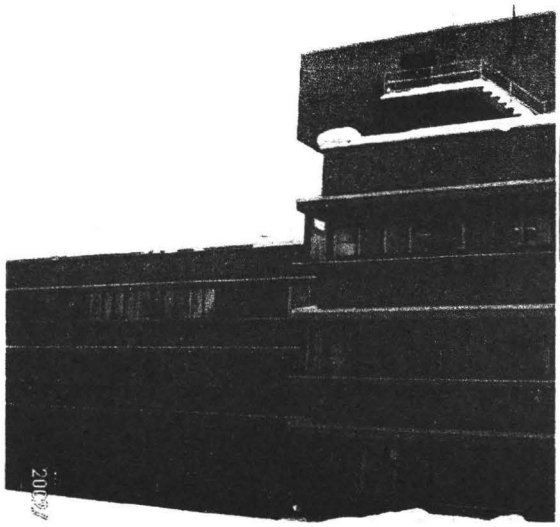


Photo.7-7-1　西病棟北面(その 2)

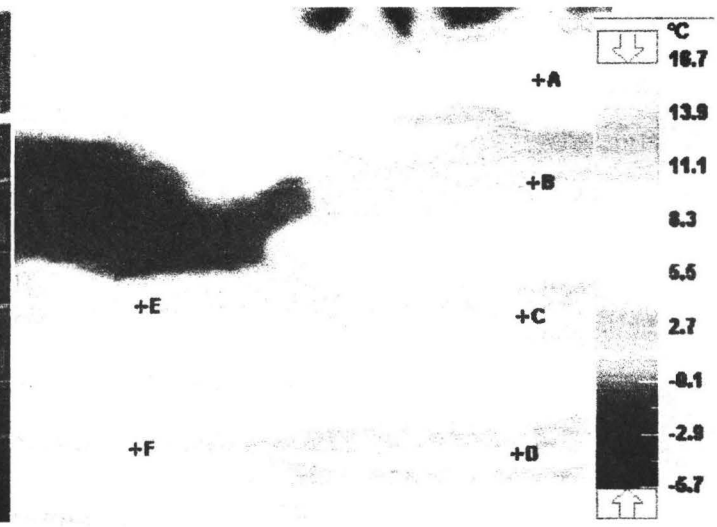


Photo.7-7-2　西病棟北面(その 2)の熱画像写真

A=5.6℃	B=4.2℃	C=4.4℃	D=4.2℃	E=3.6℃	F=3.8℃



Photo.7-8-1　西病棟北面(その 3)

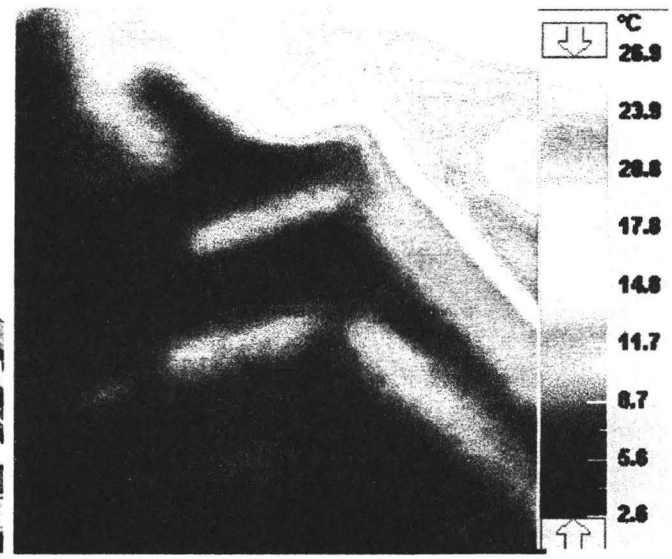


Photo.7-8-2　西病棟北面(その 3)の熱画像写真

改修後の西病棟と東病棟の建物外壁の比較



Photo.7　西病棟南面

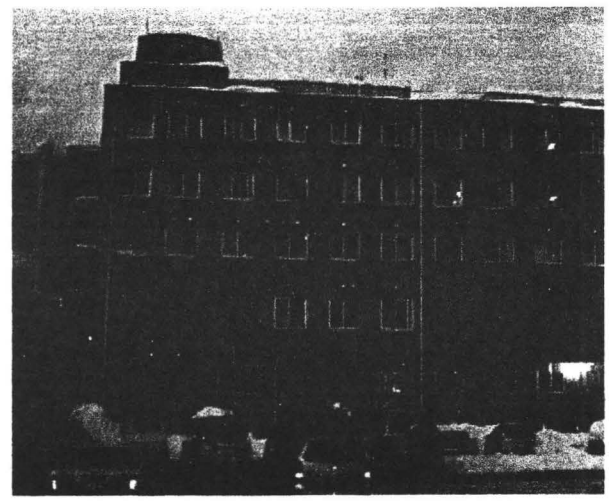
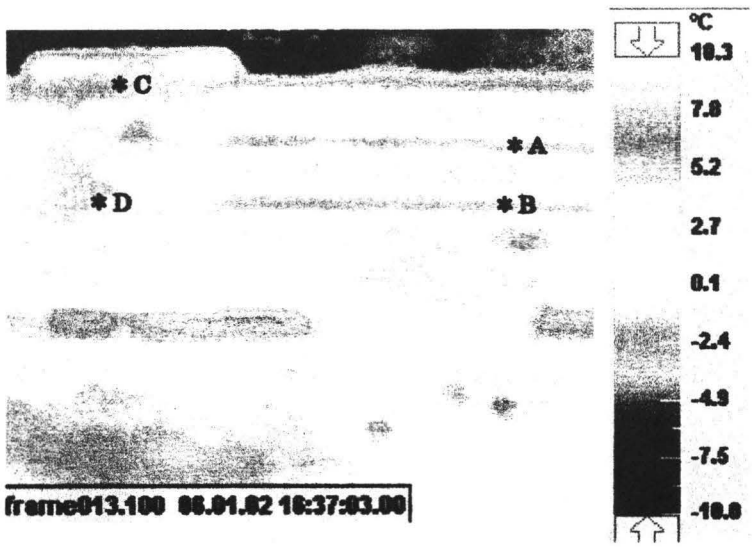
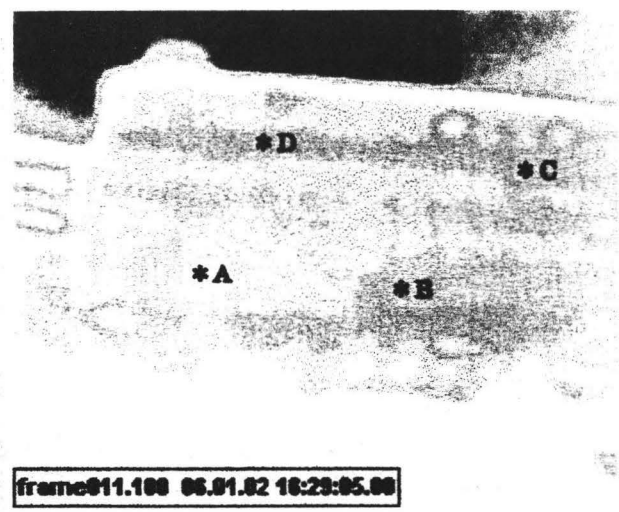


Photo.7　東病棟南面



A= -1.2℃	B= -1.4℃	C= -1.6℃	D= -0.6℃

Photo.7-9-3　西病棟の熱画像写真



A=6.0℃	B=6.6℃	C=7.1℃	D=6.6℃

Photo.7-9-4　東病棟の熱画像写真

西病棟と東病棟では、外壁の表面温度に約 7℃も差がある。Photo.7-9 の測定時刻 14:30 における外気温が - 1.5℃程度であったことから、西病棟は外気温との差がほとんどなく、東病棟の外壁温度が高いことになる。東病棟の外壁では、壁構造を通して熱エネルギーが室内の高温部から外気の低温部に流れていると言える。第六章の図 6-11 からも、西病棟と東病棟の外壁表面温度の温度差は明らかである。

7－3－3　浴室およびラウンジ

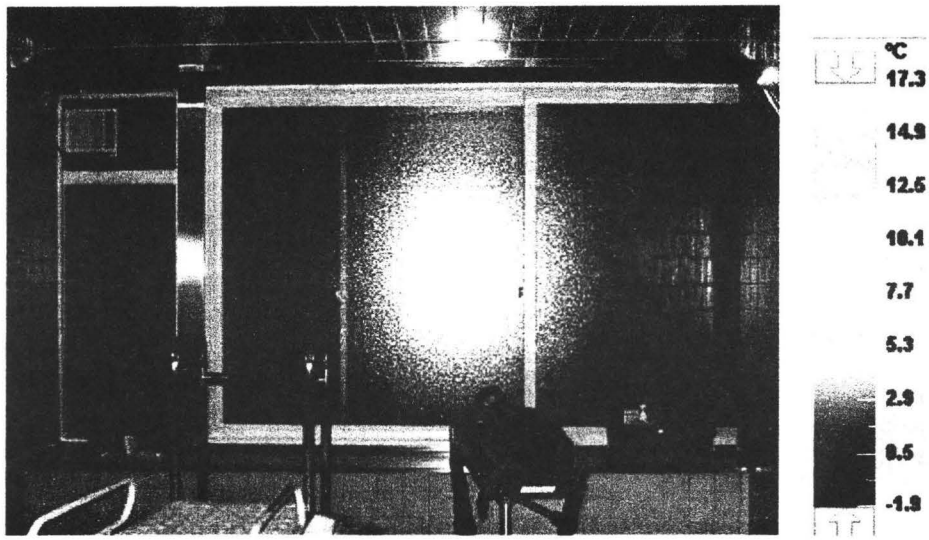


Photo.7-10-1　浴室の窓部分

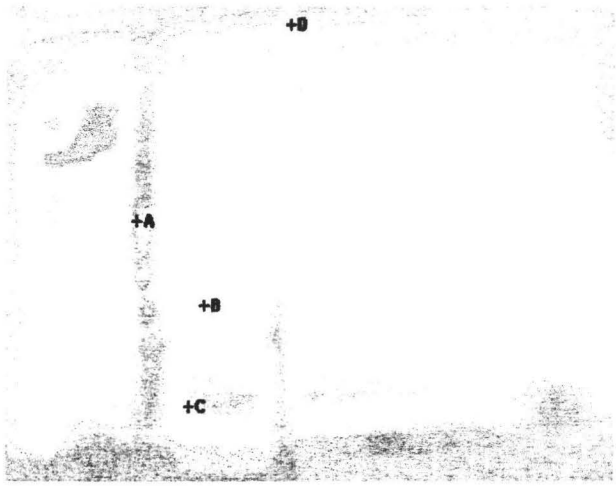


Photo.7-10-2 窓(2 枚閉)の熱画像写真

A=15.4℃	B=7.4℃	C=6.1℃	D=12.3℃

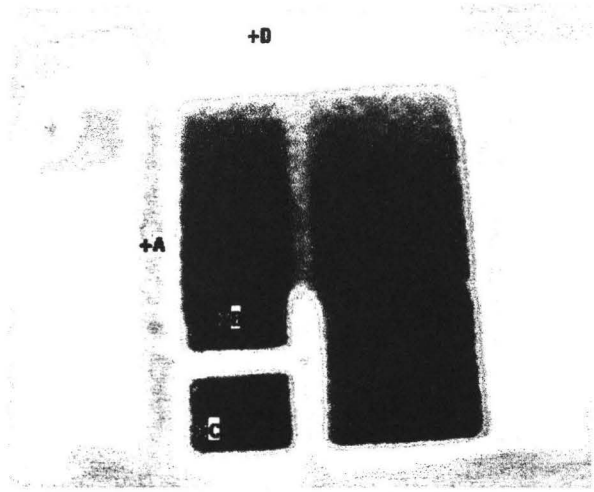


Photo.7-10-3 窓(1 枚開・内側)の熱画像写真

A=15.1℃	B=1.0℃	C=0.2℃	D=9.0℃

浴室において、金属部分、サッシ部分が高めの温度を示しているほか、建物の構造に関してではないが、窓が一枚であるか、二重であるかの差が熱分布に現われた。改修前は、Photo.7-10-3 の窓一枚であったので、点 C の付近に真菌が増殖していた。また、点 D の天井部分にも真菌汚染が認められた。窓を二重にすることで、窓表面温度が低下し、結露の減少、また真菌汚染が軽減すると考えられる。改修直後でもあるので、日をおいて今の状態が維持されているかの確認も必用であろう。

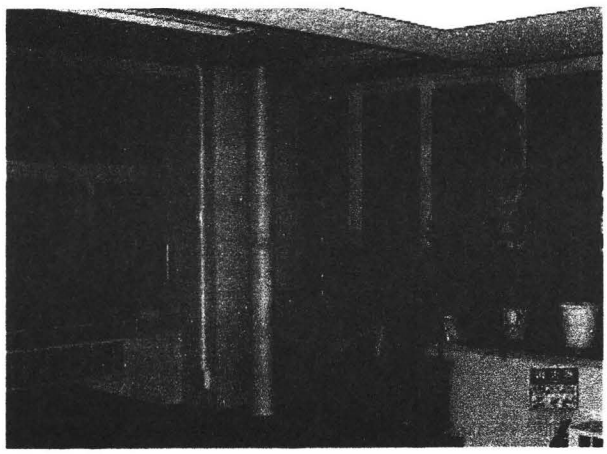


Photo.7-11-1　4階ラウンジ

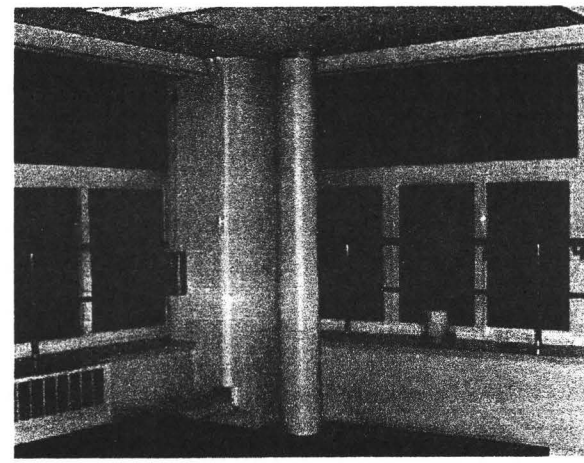


Photo.7-11-2　5階ラウンジ



Photo.7-11-3　4階ラウンジ熱画像写真

A=22.6℃	B=21.0℃	C=19.1℃
D=18.1℃	E=54.0℃	

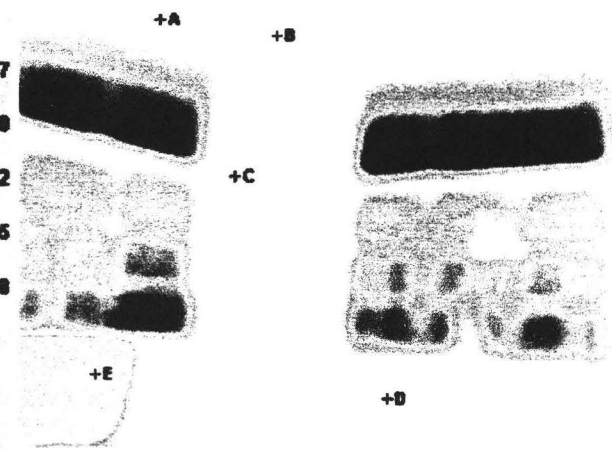


Photo.7-11-4　5階ラウンジ熱画像写真

A=18.5℃	B=16.2℃	C=16.2℃
D=14.8℃	E=48.8℃	

4階ラウンジの天井および隅各部は最上階である5階ラウンジと約4℃の差がある。E部の熱源より部屋を暖めているが、最上階である5階ラウンジの方が、躯体から外気へと熱が逃げているため表面温度も低いと考えられる。しかし、部分的な欠損は見られない。

第八章

病院における真菌実態調査

第八章　病院における真菌実態調査

８－１　目的

昨今、生活環境中における空気環境の質が問題となっている。真菌は空気質汚染の一因であり、建築物、人体に害をもたらす。健常人であればたいした問題ではなくても体力の劣った人には軽視できない問題である。病院建築では、常に衛生的であることが求められるので、衛生的な空気環境の保持の必要性は大きい。今回、研究対象として前述した長野県にある病院が老朽化の激しい西病棟の改修工事を行った。断熱工法を無断熱から外断熱に変えたことで、真菌の発生にどのような影響を及ぼすのか実測し、真菌発生と断熱工法の関連性の評価を行う。

８－２　調査概要

８－２－１　調査対象病院

長野県　O 総合病院　（第五章に詳細を記載）

８－２－２　調査日

・2001 年 5 月 27 日(日)　……西病棟：無断熱，東病棟：内断熱

・2002 年 1 月 6 日（日）,7 日(月)……西病棟：外断熱，東病棟：内断熱

(5 月 27 日，1 月 6 日は休診日)

８－２－３　調査内容

温湿度、空中浮遊菌、空中落下真菌、付着真菌の測定。

８－２－４　測定場所

(西病棟)

・1 階内科診察室（外壁工事範囲外）

・1 階待合室

・3 階透析センター

・4 階ラウンジ

・5 階介助浴室

・5 階病室 551 号室(南向き)

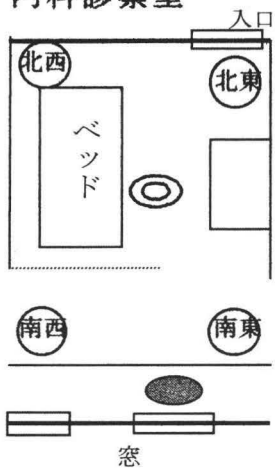
・5 階病室 562 号室(北向き)

(東病棟)

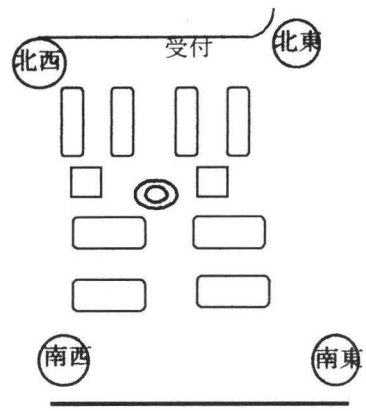
・3 階病室 307 号室(5 月測定)

306 号室(1 月測定)

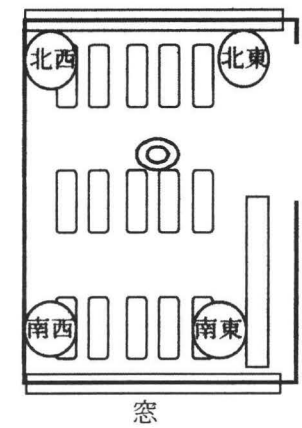
内科診察室



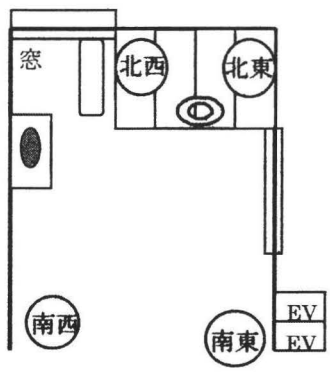
待合室



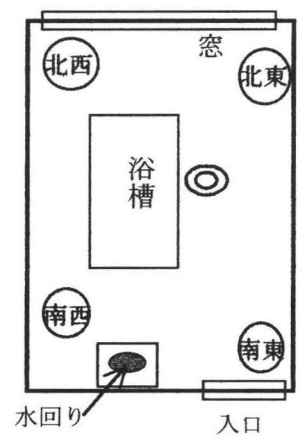
透析センター



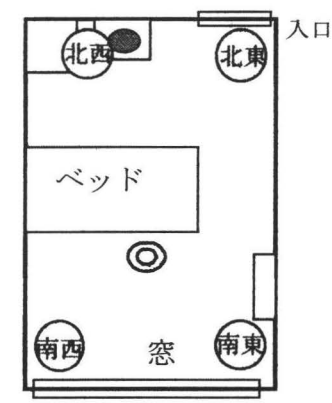
4階ラウンジ



5階介助浴室



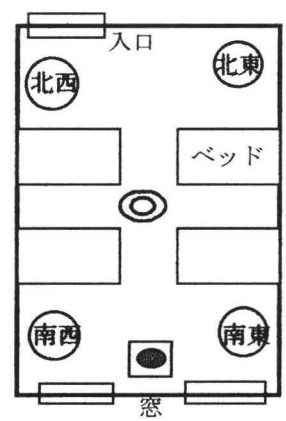
551号室



562号室



307号室・306号室



◯ … 空中落下真菌 （PDA培地、M40Y培地）

◎ … 空中浮遊菌 （MAS式エアーサンプラー、RCS式エアーサンプラー）

図8-1 各部屋の測定場所

８－３　測定方法

以下の方法で、温湿度、空中浮遊菌、空中落下真菌、付着真菌の測定を行った。

８－３－１　温湿度

アスマン式乾湿計(佐藤計量器製作所)により、真菌採取時の部屋の温湿度を部屋中央部で測定した。全室空調 off、窓は閉め切った状態で測定。

８－３－２　空中浮遊菌

空中浮遊菌は、RCS 式エアーサンプラーと MAS 式エアーサンプラーを用いて、各部屋中央部(図参照)で真菌採集を行った。

◇ RCS 式エアーサンプラー ◇ （ドイツ　Biotest 社)

吸引流量 40L/min で、8 分間測定を行った。使用した培地は、酵母・真菌用培地のアガーストリップと、一般細菌用培地のアガーストリップである。測定後、アガーストリップ(酵母・真菌用培地)は恒温器内で 25℃, 7 日間、アガーストリップ(一般細菌用培地)は 34℃, 3 日間培養し、計数を行った。

◇ MAS 式エアーサンプラー ◇ (Merck 社)

吸引流量 100L/min (±2.5%)で、3 分間測定を行った（吸引空気量：320L)。培地はポテトデキストロース寒天平板培地 (PDA、日本製薬 (株)) および M40Y 寒天平板培地 (M40Y) を一般真菌測定用に、NA 培地を細菌測定用に使用した。測定後、PDA 培地、M40Y 培地は恒温器内で 25℃, 5 日間培養、NA 培地は 34℃, 3 日間培養後、計数を行った。PDA 培地、M40Y 培地は計 7 日間培養後、確認の計数を行い、さらに同定を行った。

８－３－３　空中落下真菌

空中落下真菌は、各測定場所 4 ヶ所(図参照)で行った。PDA 培地、M40Y 培地を各 1 枚ずつ 4 ヶ所に置き、静穏な状態で 30 分間シャーレを開放しておいた。採取後、恒温器で 25℃, 5 日間培養し、計数を行った。計 7 日間培養後、確認の計数を行い、さらに同定を行った。

８－３－４　付着真菌

改修前の測定では、診察室窓のガスケット、待合室中央部の柱、透析センター窓、551 号室エアコンフィルター、562 号室壁、浴室窓、5階ラウンジの植木鉢の7ヶ所で付着真菌の測定を行った。測定には、滅菌綿棒を用い採取を行った後、PDA

培地、M40Y 培地に塗抹した。測定後、恒温器で 25℃，7 日間培養し、同定を行った。

改修後の測定でも、一回目と同様滅菌綿棒で採取を行った。しかし、平面での測定は真菌の菌数測定と同定のどちらも行えるぺたんチャック 25(サブロー寒天培地)による採取を行った。

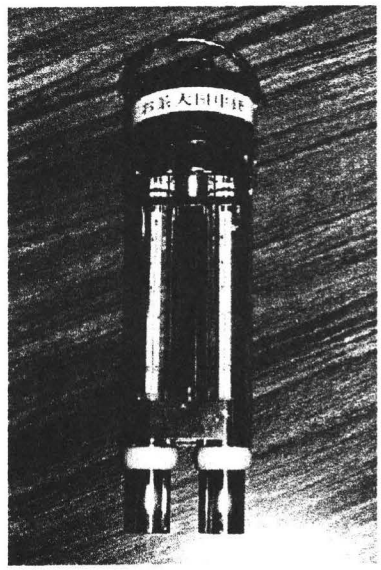


Photo.8-1　アスマン式乾湿計(佐藤計量器製)

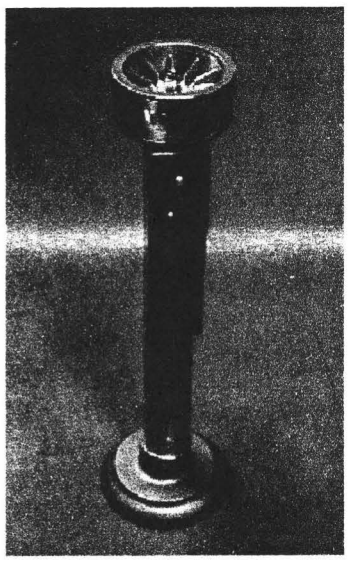


Photo.8-2
RCS 式エアーサンプラー(ドイツ Biotest 社)

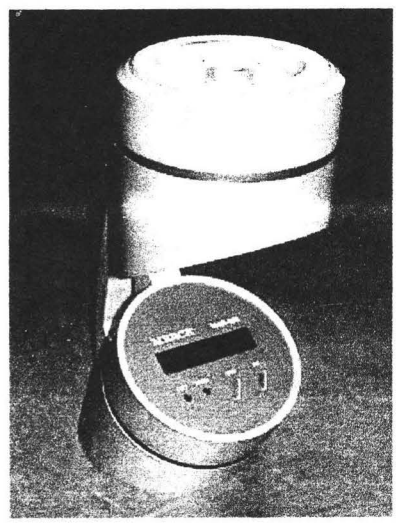


Photo.8-3
MAS 式エアーサンプラー (Merck 社)

８－４　結果および考察

８－４－１　温湿度

各部屋における測定時の温湿度を表 8-1 に示した。改修前(5 月)は、日中、屋外も比較的温暖で、測定時の室温も 25℃前後と安定しており、湿度も 38%から 53%と低めの値を示していた。改修後(1 月)は、外気温が日中でも 0℃程で時間が経つにつれ寒さが際立っていった(18 時では約－5℃)。その影響もあり、夕刻の測定かつ未使用の部屋では室温が低かった。湿度も前回に比べ平均的に下がっていた。通常、水蒸気発生の多い浴室は当日未使用ではあったが、他の場所に比べ湿度が高かった。改修後の測定時、室内湿度が低かった理由として西病棟の病室に、全熱交換式換気扇が取り付けられたことが考えられる。(1 階部分を除く)

表 8-1　温湿度測定結果および測定時の使用状況

	診察室	待合室	透析センター	ラウンジ	浴室	551 号室	562 号室	東病棟 307･306
改修前	23.5℃	23.8℃	26.2℃	24.8℃	24.5℃	25.3℃	24.3℃	26.6℃
改修後	10.5℃	－	22.5℃	21.0℃	18.0℃	23.6℃	22.5℃	23.0℃
改修前	50%	45%	42%	42%	53%	47%	47%	38%
改修後	49%	－	23%	30%	56%	42%	41%	24%
改修前	未使用	人の出入	未使用	人の出入	未使用	未使用	患者 1 名	未使用
改修後	未使用	人の出入	未使用	人の出入	未使用	患者 1 名	患者 1 名	未使用

８－４－２　空中浮遊菌

８－４－２－１　RCS 式エアーサンプラー

空中浮遊真菌の真菌数の結果を図 8-3 に、空中浮遊細菌の一般細菌数を図 8-4 に示した。菌数については、イタリアのイプサラによる No.12 Commission of the European Communities Indoor Pollution Unit.の判断基準(表 8-2)により評価を行った。

真菌数は、改修前の測定では診察室・透析センターが「少ない」に分類され、他の場所は「どちらでもない」に分類された。空気環境としては問題のない範囲ではあるが、改修後の測定では、東病棟の病室が「少ない」に分類された他、西病棟においては全ての場所が「非常に少ないに」分類された。改修前後で全体的に真菌数が減少したものの、西病棟においてその変化が顕著であった。(図 8-2)

一般細菌数についても、改修前に透析センターが「非常に少ない」に分類された他、「どちらでもない」に分類されていた。改修後では、透析センターに加え診察室・西病棟 551 号室が「非常に少ない」に分類され、他の場所は「少ない」に分類された。(図 8-3)

ゆえに、空中浮遊菌の菌数が改修前後において、全ての場所で減少し、室内の空気環境はよりよいものになったと言える。

表 8-2　空中浮遊菌数の判定

真菌数 (CFU/m³)	一般細菌数 (CFU/m³)	
＜25	＜50	非常に少ない
＜100	＜100	少ない
＜500	＜500	どちらでもない
＜2000	＜2000	多い
≧2000	≧2000	非常に多い

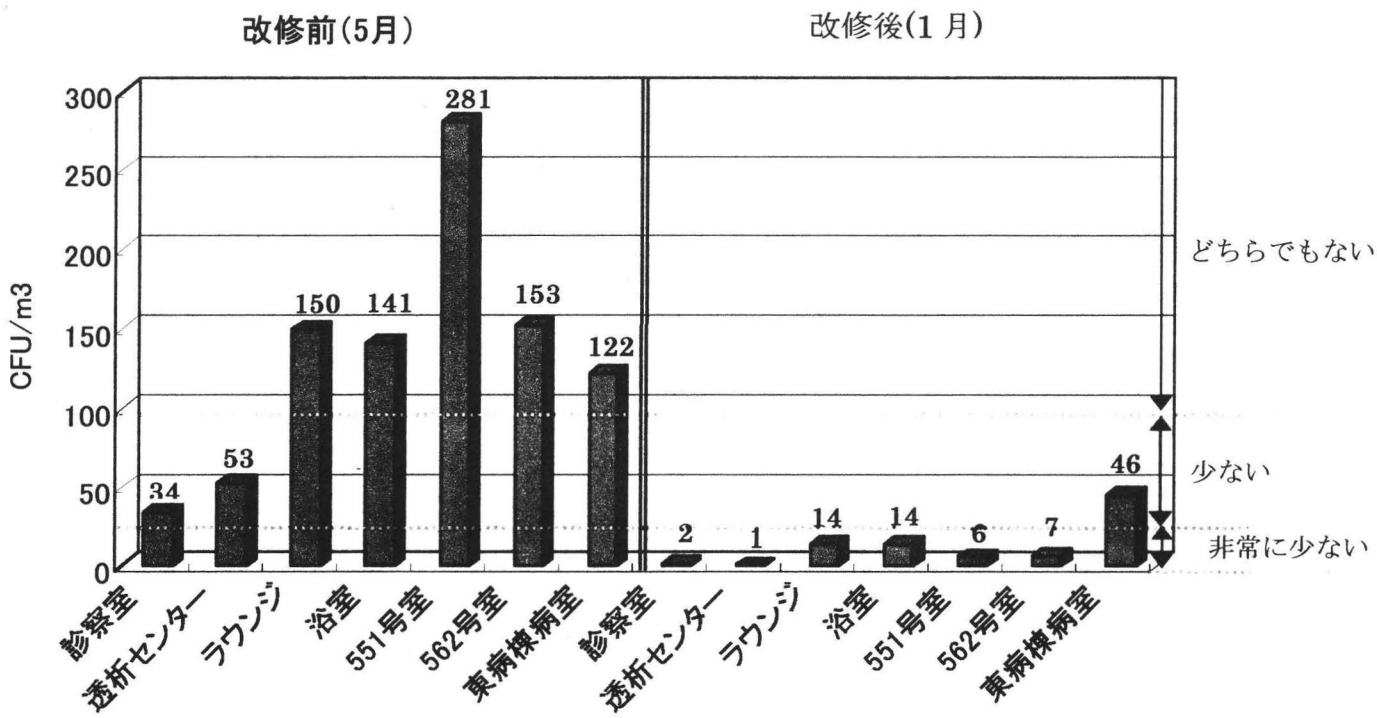


図 8-2　部屋別空中浮遊真菌数の比較(RCS 式エアーサンプラー)

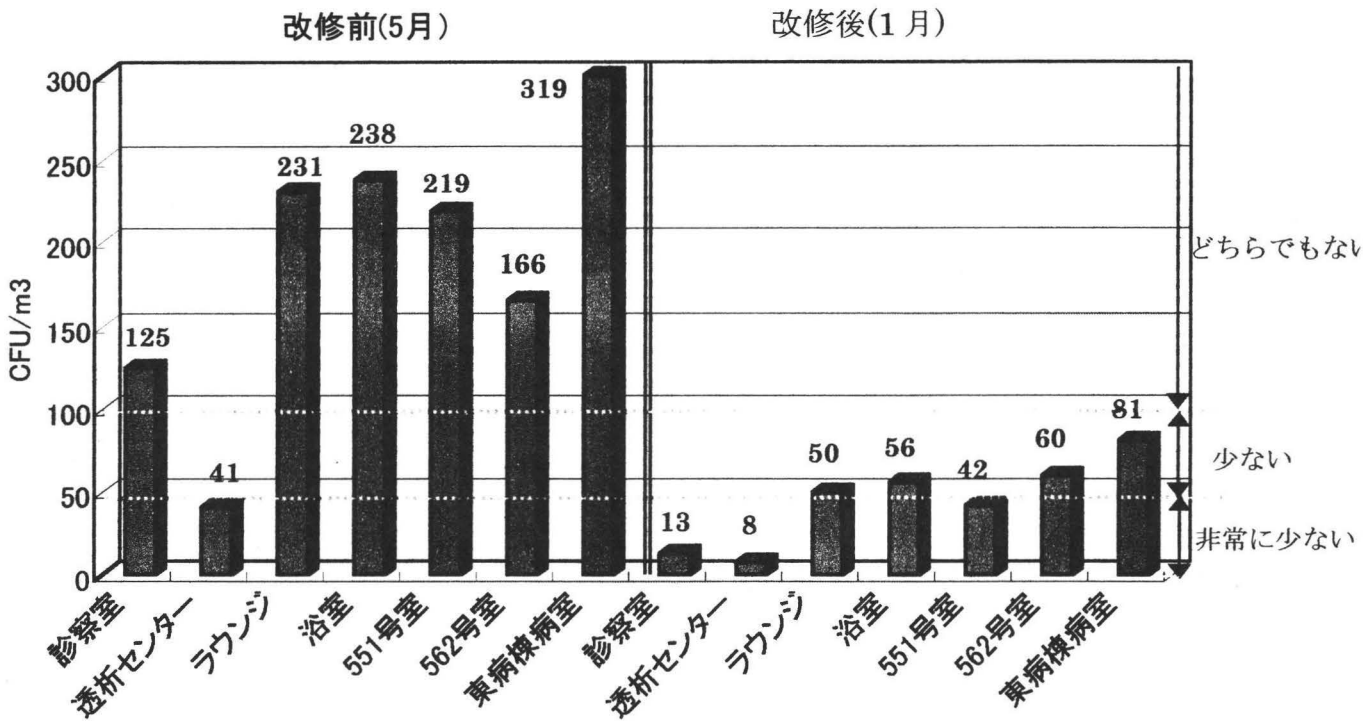


図 8-3　部屋別空中浮遊細菌数の比較(RCS 式エアーサンプラー)

８－４－２－２　MAS 式エアーサンプラー

MAS 式エアーサンプラーでは、真菌の採集を PDA 培地、M40Y 培地を用い、細菌の採集を NA 培地を用いて行った。(一般的に PDA 培地は好湿性真菌の分離、M40Y 培地は好稠性真菌の分離に使用) 図 8-4 は PDA 培地、図 8-5 は M40Y 培地により検出された真菌の菌種と菌数の結果である。

PDA 培地で検出された真菌は、菌数が東病棟の病室を除き、西病棟の全ての部屋で減少した。浴室はほとんど菌数に変化がみられないものの、待合室・ラウンジの変化(減少)が大きい。また、菌種に関して全体的に好湿性真菌(特に *Cladosporium*)の検出が目立った改修前(5 月)に対し、改修後(1 月)はほとんど検出されなかった。この好湿性真菌の減少が全体の真菌数減少に大きく影響している。改修後は、耐乾性真菌(*Penicillium*)や放線菌の検出が見られた。(図 8-4、図 8-6)

M40Y 培地においても、改修前後で真菌数の減少が見られ、PDA 培地と同様な傾向を示している。こちらでもやはり、好湿性真菌の減少が際立っており、

改修後は耐乾性真菌と放線菌の検出が浴室と東病棟病室で検出された。(図 8-5、図 8-6)

全体的に改修前後で菌数の減少と、菌種の変化が見られたのだが、改修後に好湿性真菌がほとんど検出されなかった理由として室内湿度の低下が考えられる。

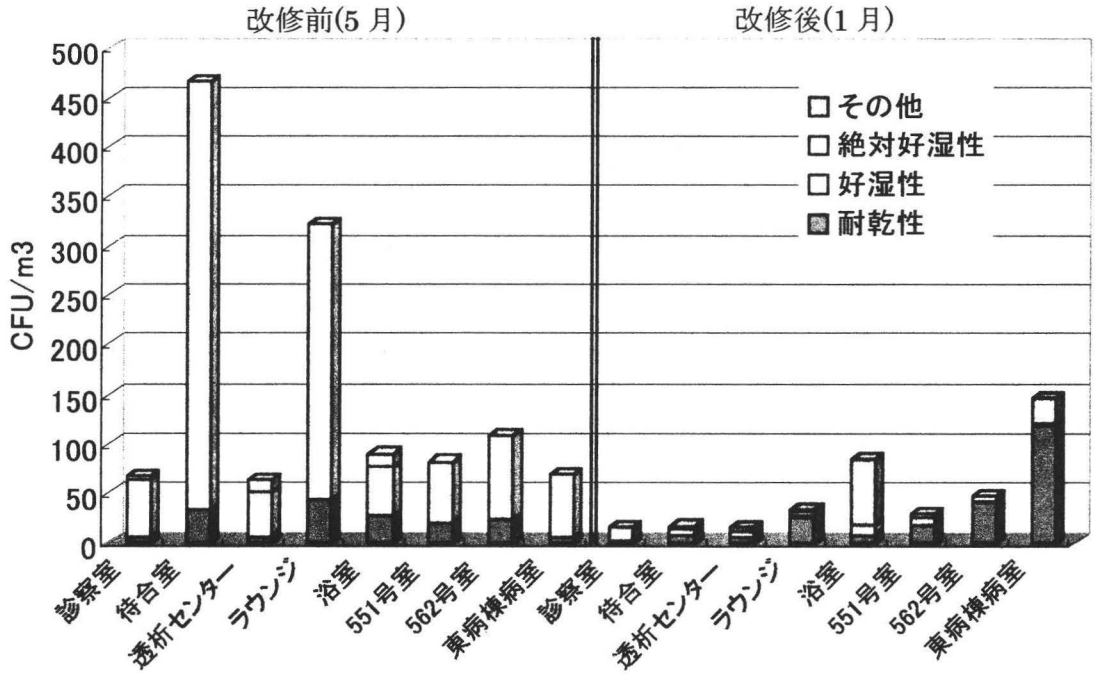


図 8-4　空中浮遊真菌(PDA 培地)の菌数と菌種の比較(MAS 式エアーサンプラー)

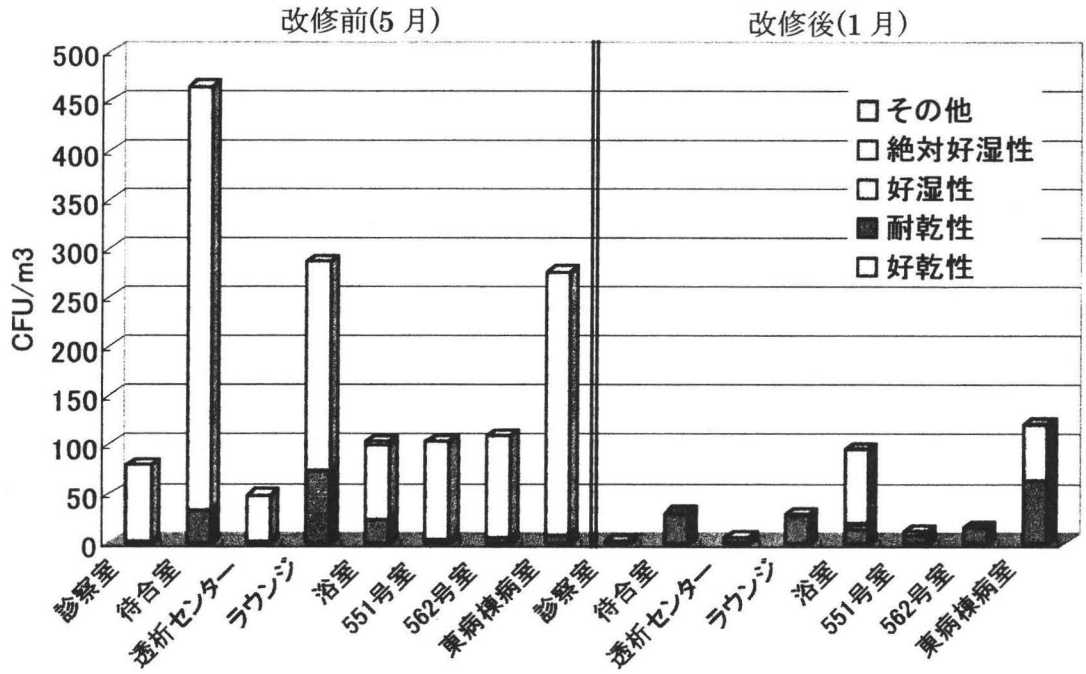


図 8-5　空中浮遊真菌(M40Y 培地)の菌数と菌種の比較(MAS 式エアーサンプラー)

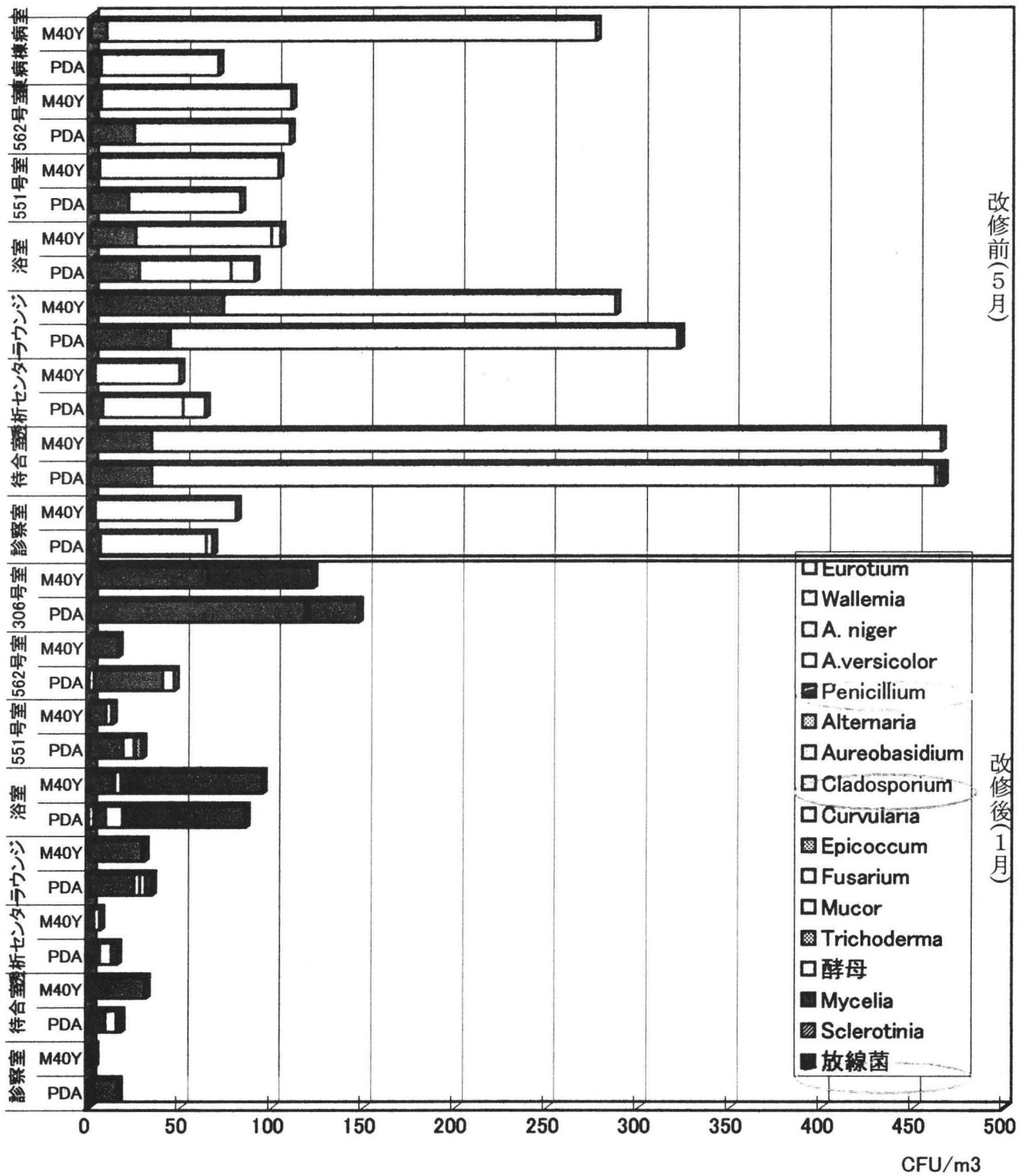


図 8-6　空中浮遊真菌の検出菌種(MAS 式エアーサンプラー)

NA培地では、空中浮遊細菌の採集を行った。細菌数の結果を図8-7に示した。改修前はどの測定場所においても検出数は少なかったのだが、改修後では、東病棟の病室で特に検出が多かった。RCS 式エアーサンプラーでは、改修前後で細菌数が減少していた点では、MAS 式エアーサンプラーでの測定結果と異なるが、改修後東病棟の病室での細菌数が最も多かった点では類似している。(図8-3、図 8-7)

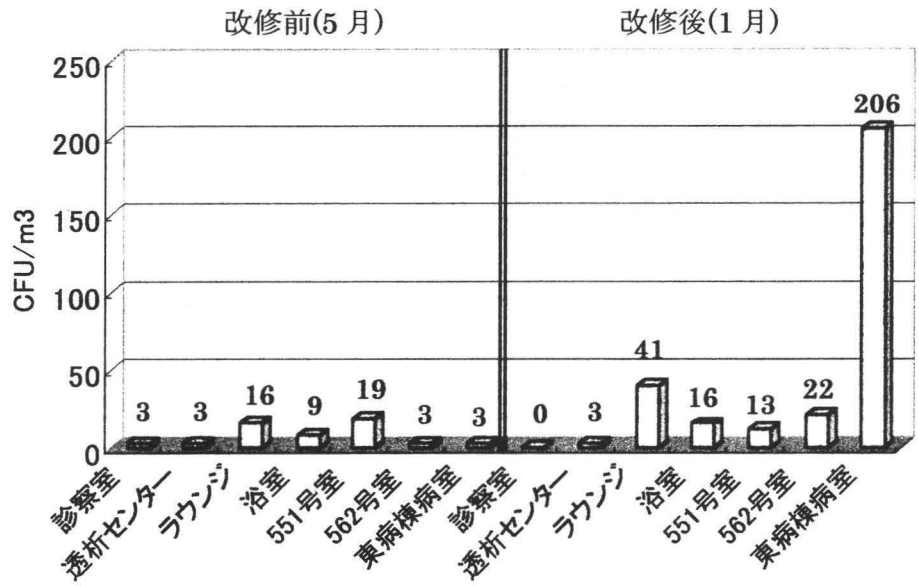


図 8-7　NA 培地における細菌数の比較（MAS 式エアーサンプラー）

８－４－３　空中落下真菌

空中落下真菌も空中浮遊真菌同様に PDA 培地と M40Y 培地の 2 種類の培地を用いて、各部屋４隅にシャーレを開放して静穏な状態で３０分間放置し、自然に落下してくる真菌を採取した。測定結果は図 8-8－図 8-10 に示した。

空中落下真菌も空中浮遊真菌同様に改修前後で減少した。ラウンジにおいてその結果が顕著であり、浴室においても真菌数のみ(放線菌を除く)の比較すると減少が大きい。また、菌数の減少とともに菌種にも変化が見られた。好湿性真菌(*Cladosporium*)および絶対好湿性真菌(酵母)の湿った環境を好む真菌が検出されなくなった。

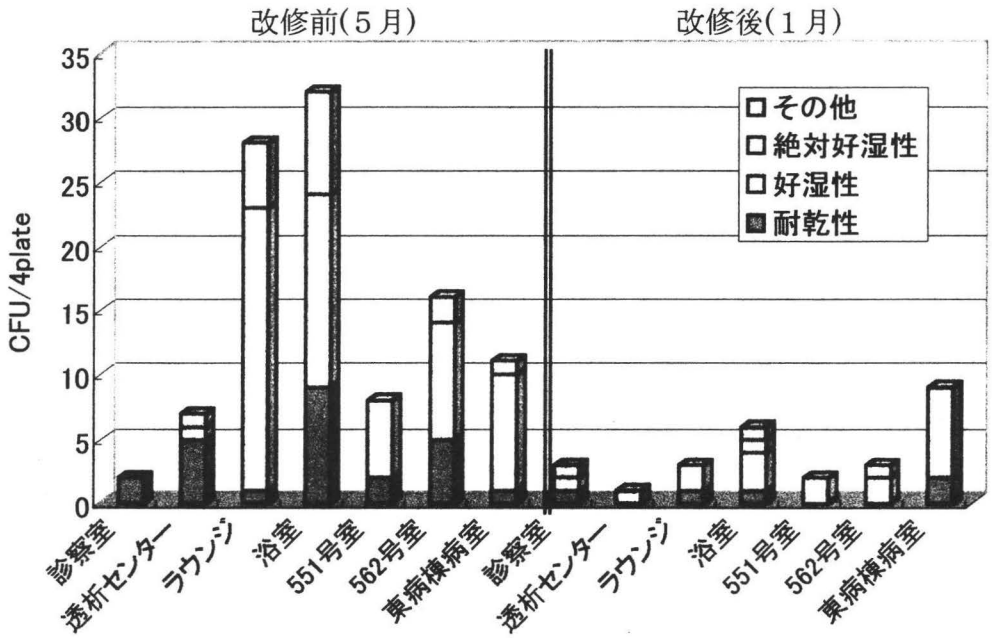


図 8-8　空中落下真菌(PDA 培地)の菌数と菌種の比較

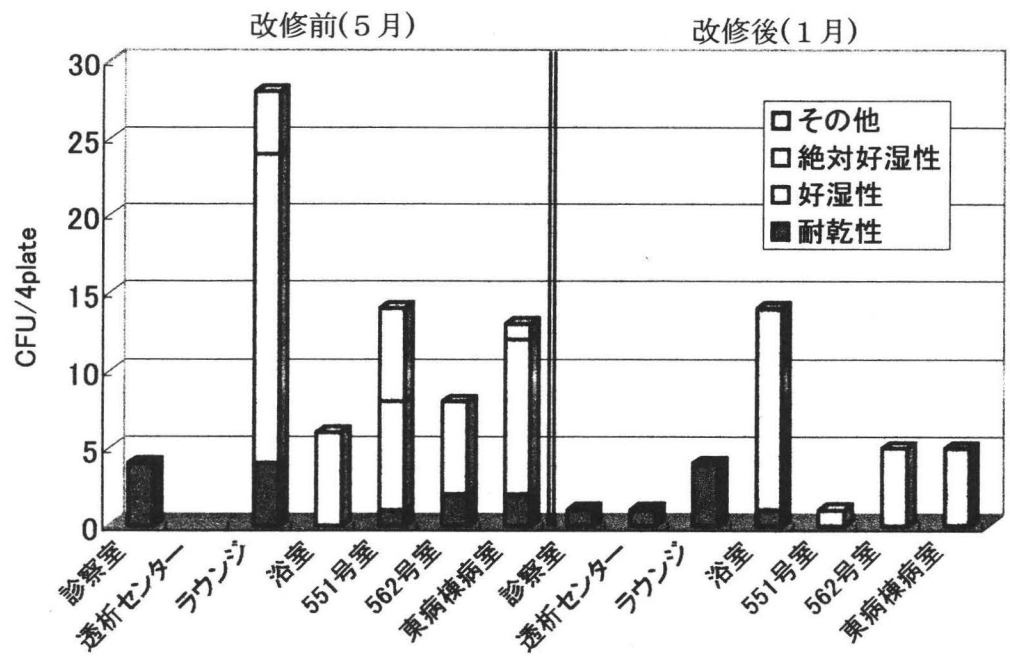


図 8-9　空中落下真菌(M40Y)の菌数と菌種の比較

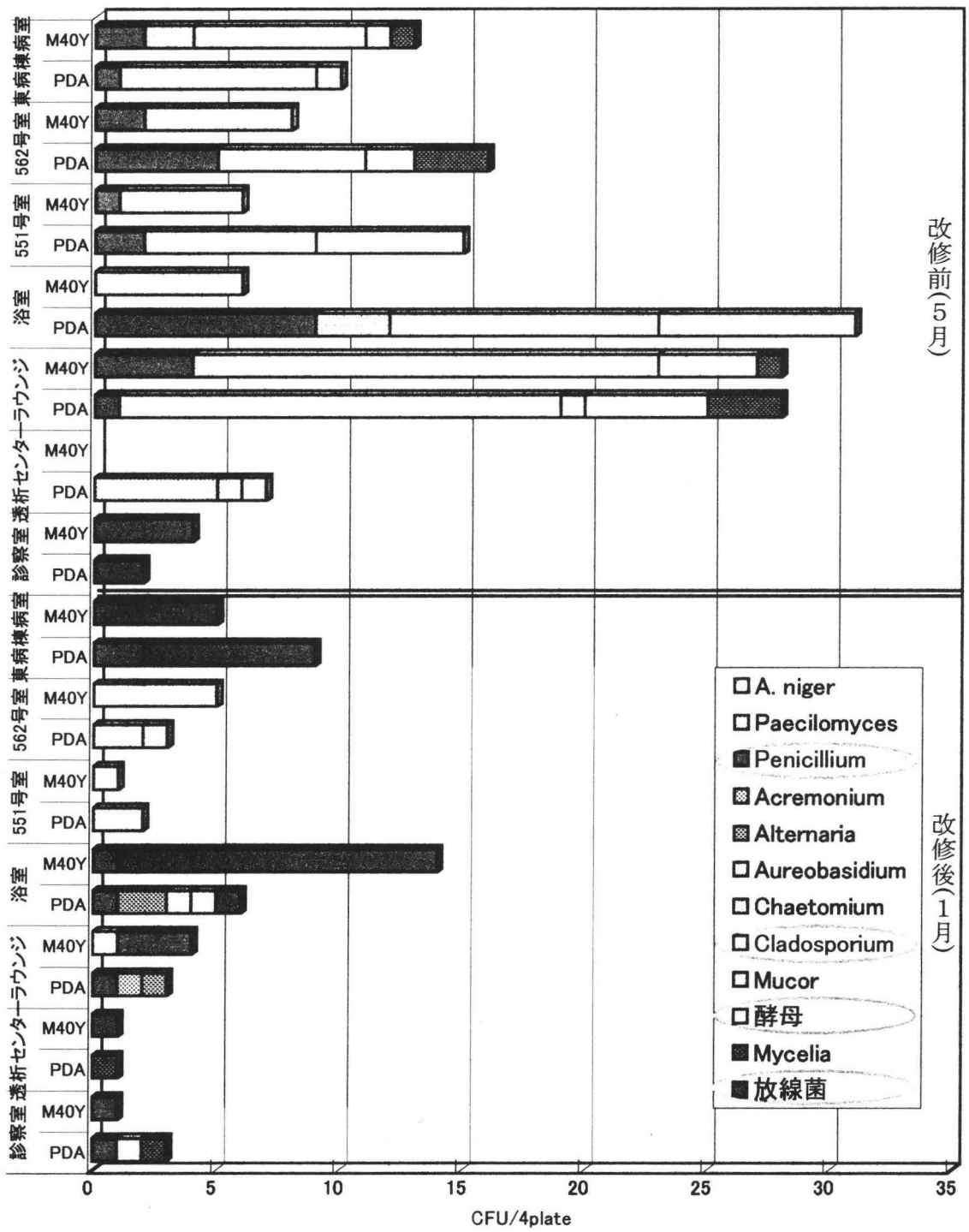


図 8-10　空中落下真菌の検出菌種

８－４－４　付着真菌

表 8-3　部屋別検出付着真菌（左欄：改修前、右欄：改修後）

	診察室		待合室		透析センター		ラウンジ		浴室		551 号室		562 号室		東病棟病室	
	窓サッシ		柱		窓		植木鉢		窓		エアコン		壁		窓	
A. niger	－	－	○	（未測定）	－	－	－	（未測定）	－	－	－	－	－	－	（未測定）	－
Penicillium	－	○	○		－	－	－		○	○(3)	○	－	○	－		○(1)
Alternaria	○	○	－		－	○(1)	－		－	－	○	－	－	－		－
Cladosporium	○	○	－		－	○(1)	－		○	○(1)	－	－	－	－		○(2)
Trichoderma	－	－	－		－	－	○		－	－	－	－	－	－		－
酵母	○	－	－		－	○(1)	－		○	○(1)	－	－	－	－		－

ただし、括弧内の数字は 25cm² あたりの真菌のコロニー数である。

室内空気中で検出が目立った *Penicillium* や *Cladosporium* が、窓や壁から付着真菌として検出された。窓や窓ガスケットといった湿った場所では、酵母の検出も見られた。

浴室の窓や天井部では、目視によって真菌汚染が認められた。窓に関しては、改修と同時にサッシ・ガラスクリーニングを行っており、真菌は駆除されていた。

また、病室のエアコンフィルターは５月の測定時、３月に清掃を行っていたのできれいな状態であった。１月の測定時も、目視において汚れはなかったので、清掃管理が十分なされているものと考えられる。(エアコンは冷房用であり、夏季のみの使用)

ラウンジには植物が多数置かれており、土壌での付着真菌の採取を行ったのだが、*Trichoderma* という土壌中に多く見られる真菌が検出された。この真菌は発育が速やかなため、またたく間に二次汚染する。土壌を介して空中へ、さらにセルロース基質に付着する。一般に多くの真菌が土壌に由来しており、土壌から空気、植物、ヒトなどを介して住宅内に入り込んでくるので、根が生えた植物類を病院内に置くことは望ましくないと言える。改修前には窓際に並べらていた植物も、改修後には取り除かれていた。

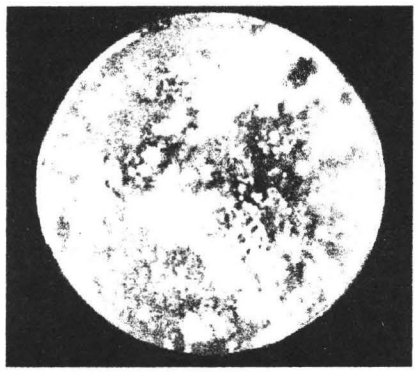


Photo.8-1
植木鉢(土壌)の付着真菌(PDA)

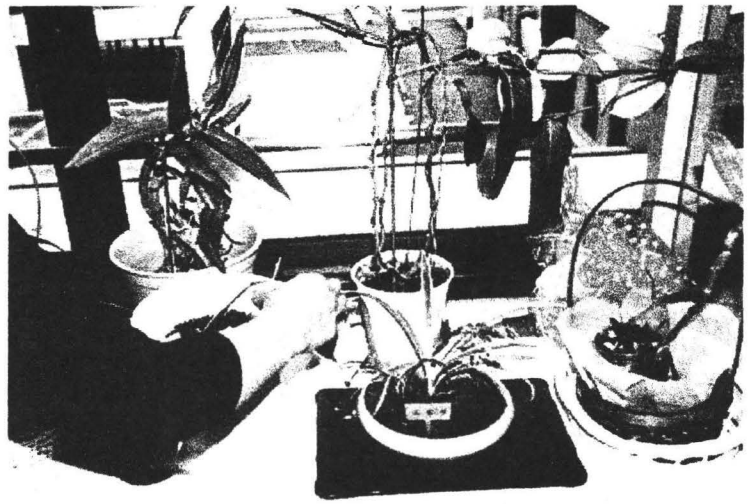


Photo.8-2　植木鉢の付着真菌採取

真菌の実態調査を改修前の 5 月と改修後の 1 月に行ったのだが、今回の調査結果では、真菌数の減少と検出菌種の変化が見られた。真菌の発生には外壁の断熱の有無とその機能のみならず、季節的な影響や周辺環境、暖房と換気設備のレベル、室内温湿度の相対関係など複数の要因があるので一概に断熱工法の違いが真菌数の減少に結びついたとは言いがたい。しかし、前回に比べ菌数が減少していたことは事実であり、微生物汚染の原因となる真菌が減少し、院内の空気環境がよりよくなったと言える。

真菌数の月別推移に関しては、既往研究において[18]夏から秋にかけて増加し、冬に減少する傾向があるという結果がある。また、空中真菌の月別推移に関して、空中真菌は春季(4〜6 月)、秋季(9〜10 月)にピークを示し、高温多湿となる夏季に減少する二峰性があり、土壌と植物と温度、RH が強く影響していると高鳥らが報告している。

８－５　既往研究との比較

これまでに、本研究室では病院および住宅においての真菌実態調査を実施してきた。昨年(2000 年 3 月から 2001 年 1 月)も石川県の病院において、季節を追っての調査研究を行っている。本研究と同様に病院での測定ということで、比較対象として取り上げた。

＝比較対象病院概要＝

石川県 N 総合病院

1999 年竣工、鉄骨鉄筋コンクリート造 7 階建て、病床数：330 床

調査月：3 月、7 月、8 月、11 月、1 月

空中菌数の測定結果：

図 8-11 は、RCS 式エアーサンプラーによる空中浮遊真菌数の変化であるが、8 月の測定時が最も検出菌数が多かった。この結果は、MAS 式エアーサンプラーにおいても、真菌・細菌ともに同様の結果であった。また、空中落下真菌においても同様であった。

菌種に関しては、耐乾性真菌の検出が主だったことが特徴的である。

全体的に、築年数が浅いこともあり、一年を通して菌数が少なかった。

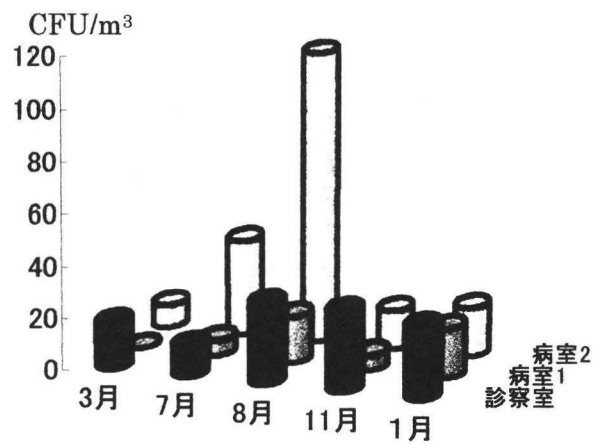


図 8-11　空中浮遊真菌の季節変動 (RCS 式)

＝比較＝

N 病院と本研究対象の O 病院において、春と冬(1 月)での空中浮遊真菌数の比較を行った。図 8-12 は N 病院の 3 月測定結果と O 病院の 5 月の測定結果、図 8-13 は N 病院、O 病院ともに 1 月の測定結果である。N 病院は 5 月に測定を行っておらず、3 月と 7 月の測定であった。7 月は梅雨が真菌数に影響していることも考えられるので、3 月の結果と比較を行った。

RCS 式エアーサンプラーによる比較であるが、3 月は、N 病院の真菌数が少なく、O 病院が多いというわけではないが、1 月の測定では、O 病院の真菌数の減少が目立った。改修対象の西病棟の減少は特に著しい。

＜春季＞

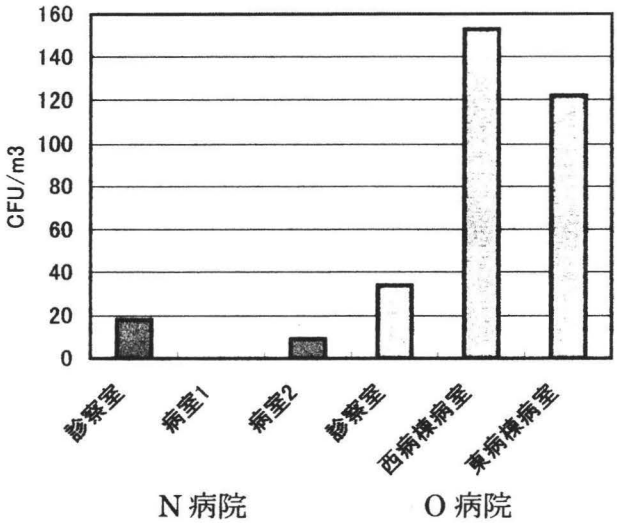


図 8-12 空中浮遊真菌数の比較(RCS)

＜冬季：1 月＞

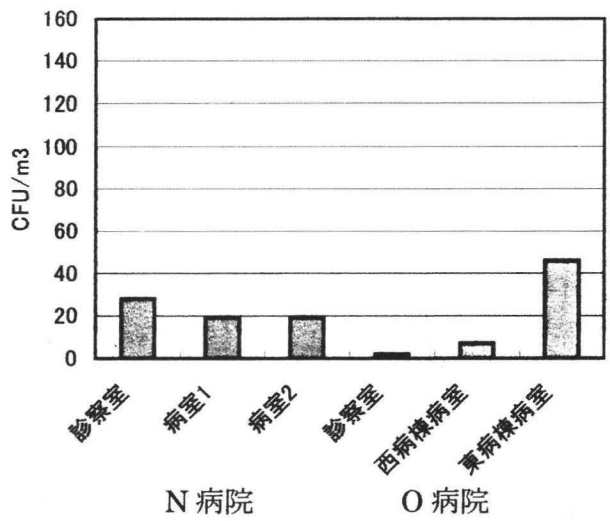


図 8-13 空中浮遊真菌数の比較(RCS)

上記は病院における真菌数の比較であり、使用目的が同じであるため院内の空気環境として同じ視点からの比較を行った。O 病院が外断熱に改修を行ったことのみが真菌数減少の要因ではないが、冬季において内断熱と外断熱では、外断熱の方が真菌の発生が少ないというデータもある。[14)]

2000 年 7 月(夏季)と 2000 年 11 月(冬季)に、内断熱と外断熱の住宅・オフィスにおいて真菌調査をおこなった結果、夏季では内断熱と外断熱では真菌数に大きな相違は見られず、真菌数の大小は生活内での水蒸気発生量が真菌数に影響を与えたと考えられた。しかし、冬季においては、建物により真菌数に明確な差が現れた。結露対策などしていない建物において、外断熱はほとんど真菌は検出されず、内断熱で非常に多くの真菌が検出された。内断熱でも、真菌の検出が少なかった住宅は、全熱交換機を取り付けて温湿度調整を行う、全室暖房を行い部屋間の温度差をなくす、また入居後に窓をペアガラスに替え窓結露を防ぐなどの努力を行っていた。

以上より、外断熱による真菌発生防止の効果は、冬季に大きく現れると考えられる。また、内断熱でも、換気方法や暖房方法を改善することで、カビ・結露発生を軽減することもできる。

第九章

住宅における真菌実態調査

第九章　住宅における真菌実態調査

９－１　目的

近年、住宅の室内空気質の悪化が問題視されるようになった。真菌も空気質汚染の一因であり、建築物や人体へ害を及ぼす。人が真菌の多い環境にいることにより、様々なアレルギーなどの健康被害を被ることとなる。

今回、真菌の害と思われる健康被害を被った方の住宅におけるカビの測定を行う機会を得た。そこで住宅室内環境の実態を知り、快適な生活環境を作るための改善策を検討することを目的とし調査を行った。

９－２ 調査概要

９－２－１　調査日：2001 年 10 月 12 日(金)

９－２－２　調査対象住宅：東京都杉並区　F 邸
1994 年竣工
鉄筋コンクリート造 3 階建て賃貸集合住宅
1 階（1DK）



Photo.9-1 建物の外観

９－２－３ 調査内容

温湿度、空中浮遊菌、空中落下真菌、付着真菌の測定

９－２－４ 測定場所

空中浮遊菌

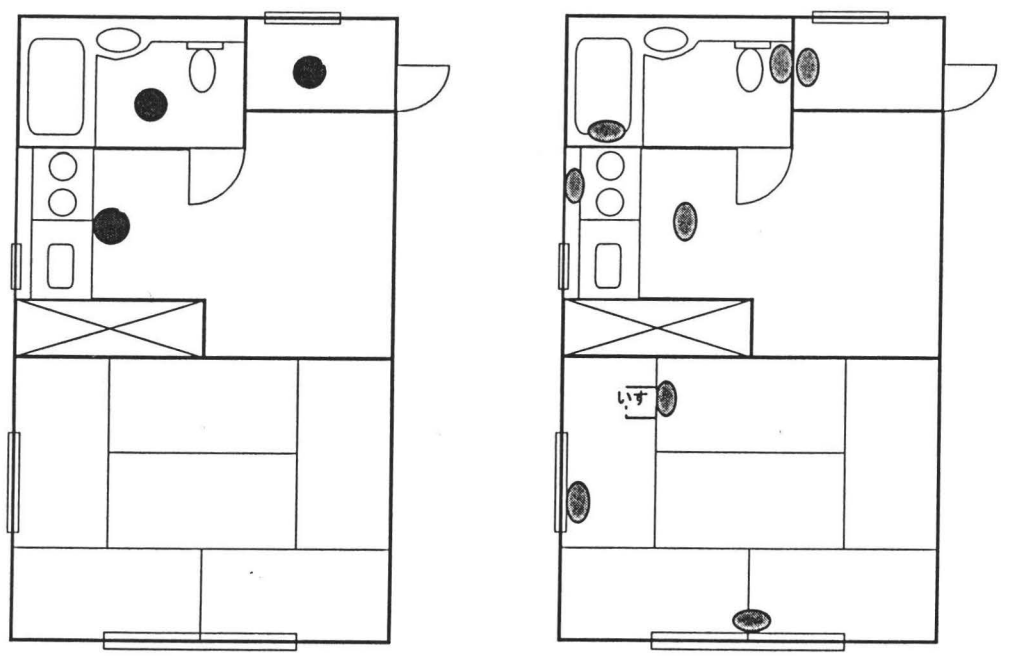
・ 浴室
・ 玄関
・ 台所

空中落下真菌

・浴室
・台所
・和室

付着真菌

・ 浴室―トイレ周りの壁下部分
・ 浴室―浴槽周りの壁
・ 玄関―壁
・ 台所―天井
・台所―換気扇周り
・和室―窓サッシ周り
・和室―畳
・和室―木のいす足部分



● ･･･RCS 式エアーサンプラー
MAS 式エアーサンプラー

⬬ ･･･付着真菌採取箇所

図 9-1 調査住宅間取り図と真菌・細菌測定点

９－３　測定方法

以下の方法で、空中浮遊菌、空中落下真菌、付着真菌を測定した。

９－３－１　空中浮遊菌

空中浮遊菌は、各測定場所中央（図参照）で測定した。器具は、RCS 式エアーサンプラーと MAS 式エアーサンプラーを使用し、前者を同定目的で、後者を定量用として用いた。

・RCS 式エアーサンプラー　（ドイツ　Biotest 社）

吸引流量 40L/min で、4 分間測定を行った。使用した培地は、酵母・真菌用培地のアガーストリップと、一般細菌用培地のアガーストリップである。

測定後、アガーストリップ（酵母・真菌用培地）は恒温器内で 25℃, 7 日間、アガーストリップ（一般細菌用培地）は 34℃, 3 日間培養し、計数を行った。

・MAS 式エアーサンプラー　（Merck 社）

吸引流量 100L/min（±2.5%）で、1.5 分間測定を行った（吸引空気量：160L）。培地は PDA 培地および M40Y 培地を一般真菌測定用に、NA 培地を細菌測定用に使用した。

測定後、PDA 培地、M40Y 培地は恒温器内で 25℃，5 日間培養、NA 培地は 34℃, 3 日間培養後、計数を行った。PDA 培地、M40Y 培地は計 7 日間培養後、確認の計数を行い、さらに同定を行った。

９－３－２　空中落下真菌

空中落下真菌は、各測定場所（図 9-1 参照）で行った。PDA 培地、M40Y 培地を置き、静穏な状態で 30 分間真菌採取を行った。恒温器内で 25℃，5 日間培養後計数を行った。計 7 日間培養後、確認の計数を行い、さらに同定を行った。

９－３－３　付着真菌

浴室のトイレ周り壁下部、浴室の浴槽周りの壁、玄関の壁、台所の天井、台所の換気扇周り、和室の窓、和室の畳、和室のいすの足部分で付着真菌の測定を行った。測定には、ぺたんチェック 25（サブロー寒天培地）を用い、採取後恒温器内で 25℃，2 日間培養し、計数を行った。計 5 日間培養後、確認の計数を行い、さらに同定を行った。

９－４　測定結果

９－４－１　温湿度および状況

室温は全室 23℃前後と安定しているが、相対湿度が全室高めであった。特に浴室に関しては、前日から換気扇を付けていたにも関わらず 92%であり、非常に高かった。

表 9-1　測定時の部屋の温湿度とカビ被害状況

測定場所	測定時刻	室温	湿度	状況
浴室	10:00	22.5℃	92%	壁･床にカビの繁殖
玄関	10:40	22.0℃	80%	カビの発生なし
台所	11:00	23.0℃	70%	天井部にカビ
和室	10:50	23.5℃	77%	家具・押入れ内にカビ

９－４－２　空中浮遊菌

９－４－２－１　RCS 式エアーサンプラー

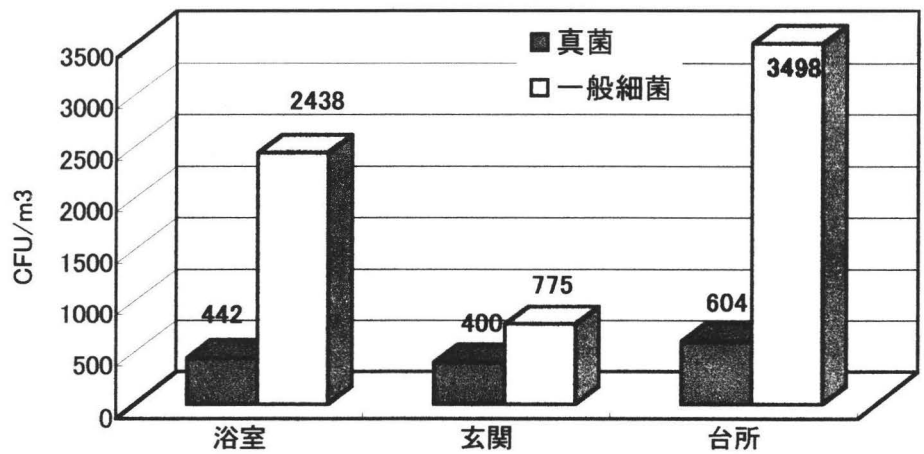


図 9-2　測定場所別空中浮遊菌数 (RCS 式)

RCS 式エアーサンプラーの測定結果(図 9-2)をイタリアのイプサラによる No. 12 Commission of the European Communities Indoor Pollution Unit. の判断基準(表 8-2)により評価した。

真菌数は、浴室、玄関が「どちらでもない」、台所が「多い」に分類された。
一般細菌数は、玄関が「多い」、浴室、台所が「非常に多い」に分類された。

９－４－２－２ MAS 式エアーサンプラー

玄関、台所で多くの空中浮遊菌が検出されたが、それ以上に浴室での菌の検出が顕著であった。菌種も好乾性のものから絶対好湿性のものまで、幅広い湿度範囲で真菌が検出された。特に、好湿性の *Cladosporium* はどの部屋でも検出が目立っていた。また、浴室では *Cladosporium* と同様に *Penicillium* の検出も多かった。

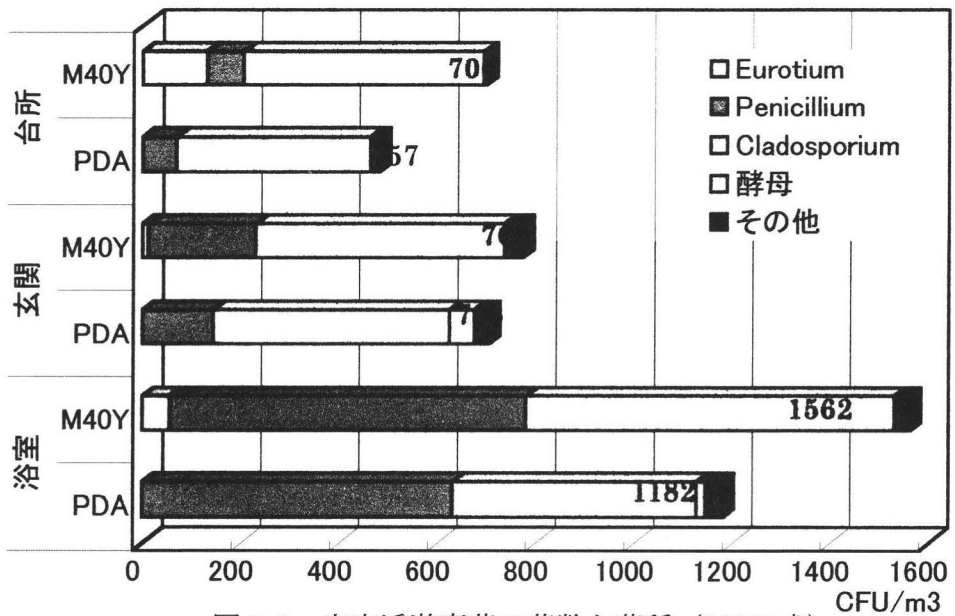


図 9-3　空中浮遊真菌の菌数と菌種（MAS 式）

表 9-2　その他に分類された菌種

	好乾性真菌	耐乾性真菌	好湿性真菌	絶対好湿性真菌
浴室		*A.niger* *A.ochraceus*	*Mucor*	*Trichoderma*
玄関	*Aureobasidium*	*A.niger* *A.ochraceus*	*Mucor* *Epicoccum*	
台所		*Aspergillus* A.niger	*Nigrospora*	

9－4－3　空中落下真菌

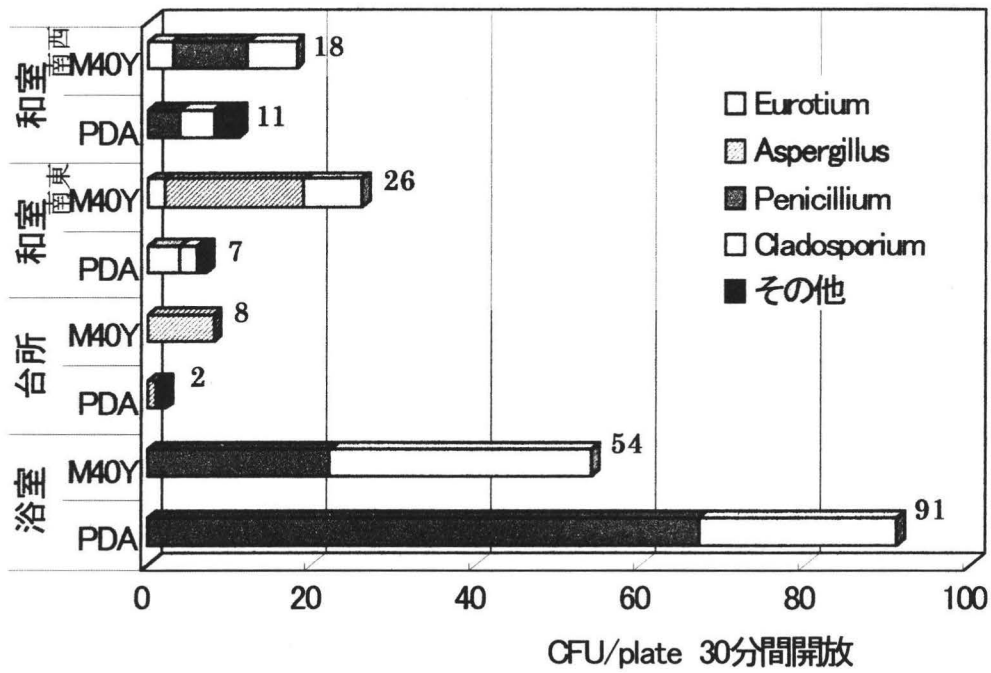


図 9-4　空中落下真菌の菌数と菌種

検出菌種は、耐乾性真菌と好湿性真菌の検出が目立った。浴室は、耐乾性真菌の *Penicillium* と好湿性真菌の *Cladosporium* が、和室では、耐乾性真菌の *Penicillium* と *Aspergillus* が多く検出された。また台所では、*Aspergillus* が多く検出された。

9－4－4　付着真菌

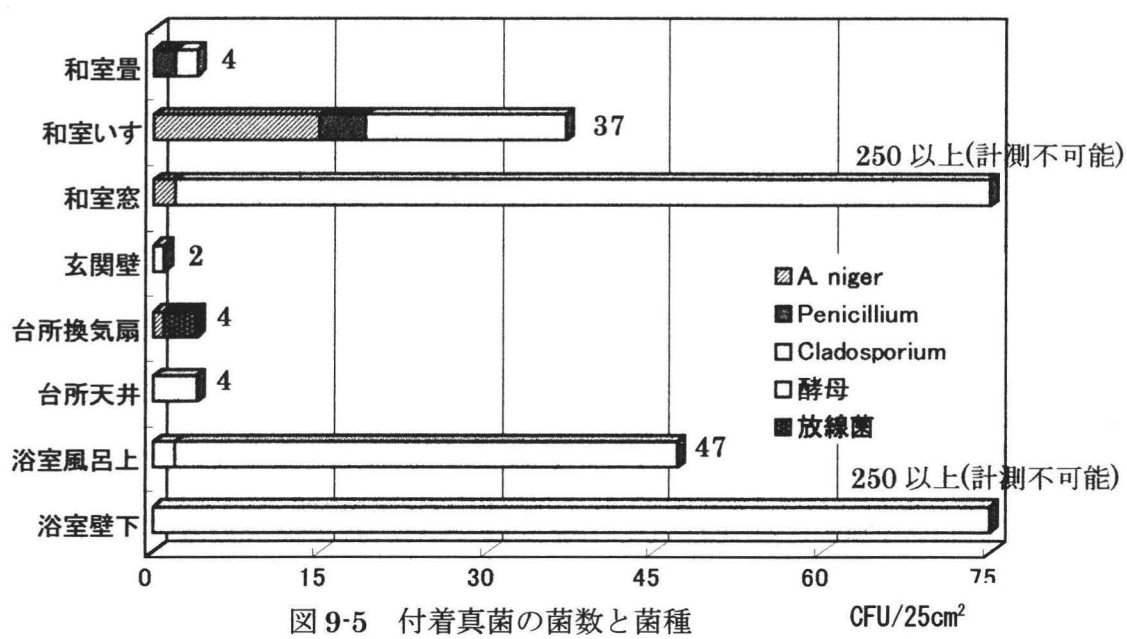


図 9-5　付着真菌の菌数と菌種

付着真菌は、浴室のトイレ周りの壁、和室の窓から非常に多くの菌数が検出された。また、その菌種は *Cladosporium* であった。浴室の浴槽周りの壁からは、酵母の検出が多かった。和室のエアコンフィルターは、菌種の同定のみ行ったのだが、*Aspergillus niger*, *Penicillium*, *Cladosporium* が検出された。

9－5　考察

室内でのかび汚染が、さまざまな箇所で見うけられた。浴室においては、壁や洗面台の裏側にかびが蜜実に生育していた。また、台所天井部では、シミ状に緑色のカビが点在し、壁紙が剥がれている状態であった。和室に置いてあった木の足にもかびが見られた。

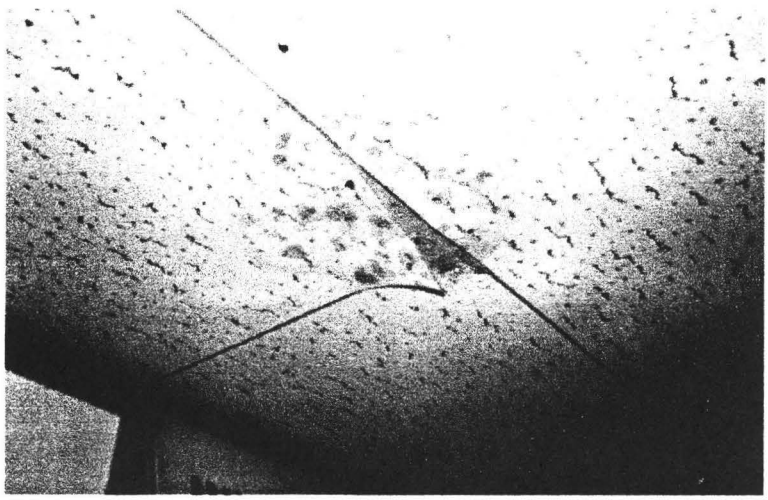


Photo. 9-2 台所天井のカビ

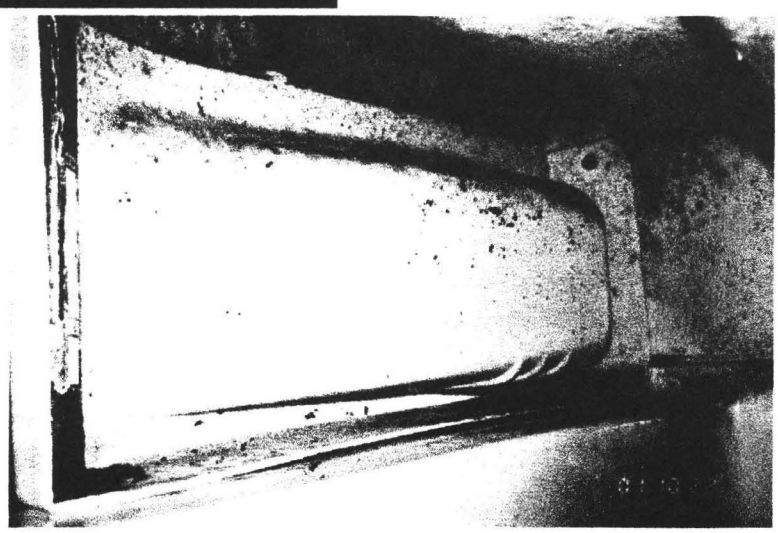


Photo. 9-3　洗面台内側のカビ

今回の測定では、RCS 式エアーサンプラーで捕集された真菌数は、台所で「多い」と評価された。MAS 式エアーサンプラーや空中落下真菌の測定では、浴室の真菌数が著しく多かった。この結果については、正確な評価の判断基準がないため過去の測定結果との比較を図 9-6、図 9-7 に示した。

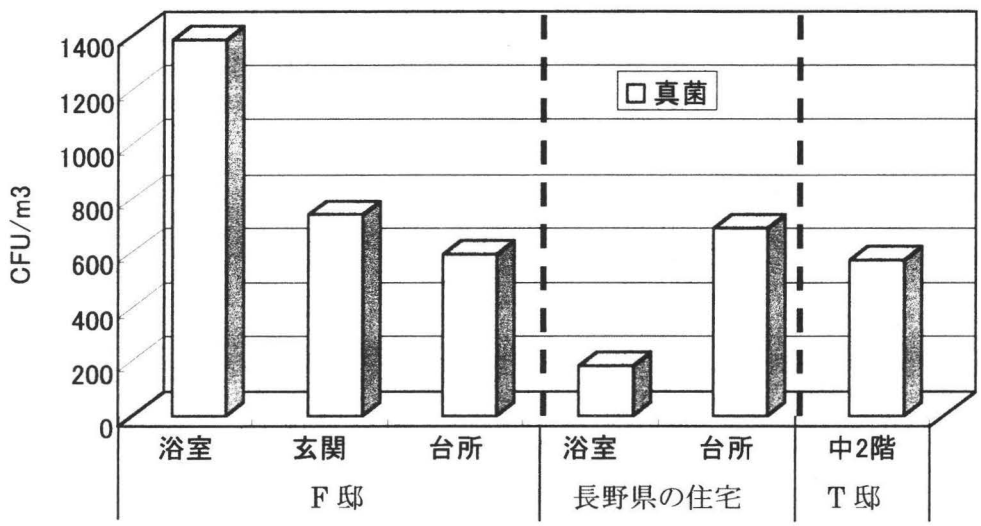


図 9-6　空中浮遊真菌の菌数比較(MAS 式エアーサンプラー)

図 9-6 では、MAS 式エアーサンプラーで測定した空中浮遊真菌の真菌数を、本測定結果と長野の住宅(鉄筋コンクリート造 3 階建て賃貸集合住宅 2 階部分 2000.5.測定)、杉並区のT邸（鉄筋コンクリート造ハイブリッドソーラーハウス 1980 竣工　1999.10 測定）での測定結果で比較した。長野の住宅も住民の方が、カビ汚染、臭気に悩まされていたのだが、この住宅は和室や洋室の畳や壁にカビの被害が見られた。浴室でのカビ汚染は認められなかった。この住宅の浴室の空中浮遊真菌数と比較して、F 邸の浴室の真菌数は明らかに多いことがわかる。

次に、図 9-7 では空中落下真菌の真菌数の比較を示した。

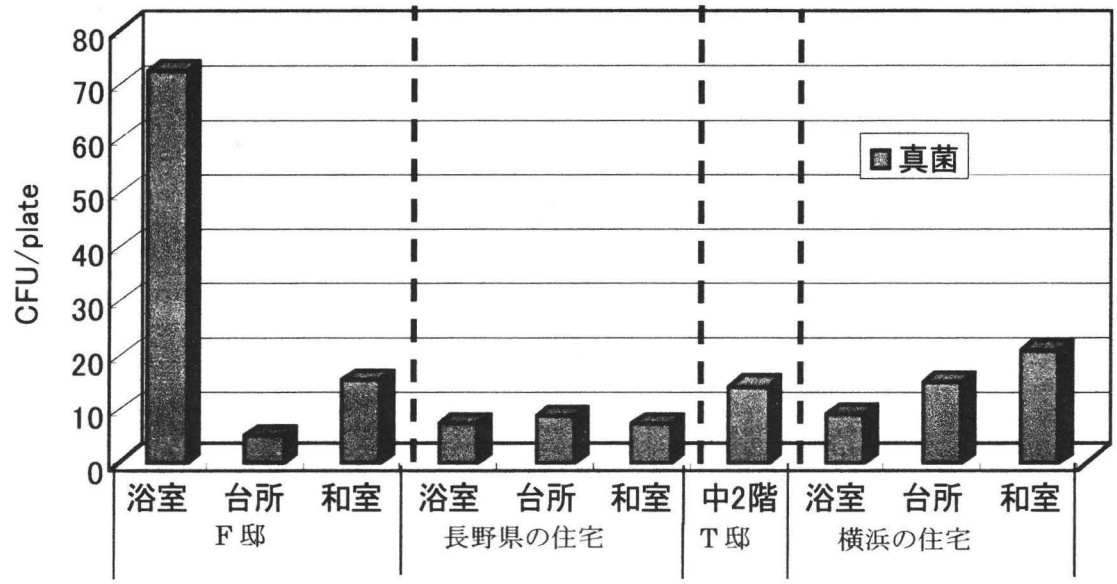


図 9-7　空中落下真菌の菌数比較

空中落下真菌の菌数比較は、図 9-6 同様長野県の住宅とT邸、また横浜の住宅（鉄筋コンクリート造 2 階建て賃貸集合住宅 1 階部分、1987 竣工　1998. 10 測定）において行った。図 9-7 より、F 邸の浴室の菌数が明らかに多い。これは、空中浮遊真菌（MAS による測定）の真菌数の比較（図 9-6 参照）と同様の結果である。

菌種は、*Penicillium*，*Cladosporium* の検出が多かった。一般的に住宅で多く見られる真菌ではあるが、空中に浮遊する頻度の高い菌種がアレルゲンになりやすいとされており、これまでに報告されているものに、*Cladosporium*、*Alternaria*、*Aspergillus*、*Penicillium*、*Fusarium*、*Aureobasidium* が挙げられる。ゆえに、室内に多くの真菌数が生息していれば、人体に対し健康被害を及ぼす可能性は大きいと言える。

室内にかび汚染が見られた原因として考えられるのは、居住者が比較的換気に努力を払っているにも関わらず室内の相対湿度が高めであったことが考えられる。これは一つに建物の床下の防湿・防水工事に問題があると考えられる。床スラブと地盤の間の換気がどのようになっているか、その間に換気口の存在が確認できなかった事も原因であろう。また太陽光線が入りにくい間取りであることも室内の相対湿度を高めており、これが原因となってカビ発生をもたらせているし、使用している浴槽のカバーと浴槽の間に清掃不可能な空間があり、手を入れることで多くのカビ発生が確認できた。清掃のできない構造のバスユニットもカビ発生の原因となっている。居住者は病院での検診の結果ハウスダストがアレルゲンとなっているとの結果を得ている。おそらくこのハウスダストはカビ、さらにこれが原因で集まるダニ（死骸や糞を含む）が居住者の咽喉を狭窄する原因となったのではないかと想像される。

改善策としては室内に水蒸気が発生しないようにすることと、防カビ剤を使用してカビの除去を行うことである。暖房器具は水蒸気発生が無い、電気式にする、厨房も現在はガスの直燃焼のものを使用しているが、電気によるIHクッキングヒーターを使用する事も良いであろう。居住者は入浴後の浴槽の水滴を拭き取ることには努力を払っていた。もちろん換気は必要である。これでも改善されないなら、やはり地下から上昇する水分を疑わざるを得ない。もしそうであれば、これは明らかな設計ミスもしくは施工ミスである。

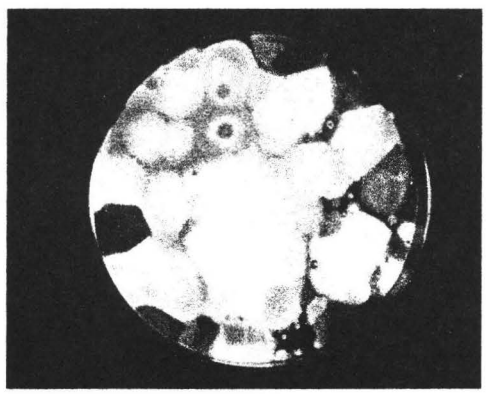


Photo. 9-4　浴室の落下真菌(M40Y)

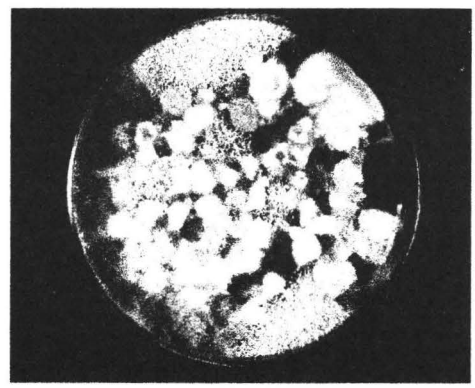


Photo. 9-5 浴室の空中浮遊真菌(M40Y)

第十章

総括

第十章　総括

研究対象となった病院は、昭和46年に竣工し、部分的に老朽化が進んでいた。また、寒地ということでカビの発生も見られた。カビの発生は結露が一要因と考えられる。そこで、結露被害のない外断熱工法での改修工事が行われることとなった。実際には、竣工時に外断熱工法を採用する試みもあったが、予算の点やわが国では殆ど未知の工事であるなど理由から実現しなかったようである。カビの発生は健常人であれば大した問題にならなくとも、体力の劣った人はこれにより肺炎を起こし、命を落とものもある。住宅や病院でのカビの発生は決して軽視できないものである。また、カビはアレルギーの原因となるアレルゲンにもなる。結露に関しても、結露は建物そのものの寿命を大きく縮めてしまう。

本研究では、病院が西病棟の外壁改修工事を行うにあたり、改修前の無断熱、改修後の外断熱、また改修工事対象外の東病棟の内断熱という３つの工法において、温湿度環境・室内空気環境の実測を行い評価・比較を行った。

西病棟の外壁構造において、水蒸気の流れをシミュレーションし、改修前後で結露発生の判定を行った。夜間の冷え込みが厳しい寒冷地では、冬季－10℃を記録することは珍しくない。改修前の無断熱の外壁構造では、外気温が0℃でもコンクリート部分で結露を起こす可能性があると推測される。しかし、改修後は結露が解消されると期待される。外断熱工法では、冬季よりむしろ夏季の夏期結露が心配されるが、実際には結露が発生するほどの高温高湿の状態が気候上発生するとも考えにくい。

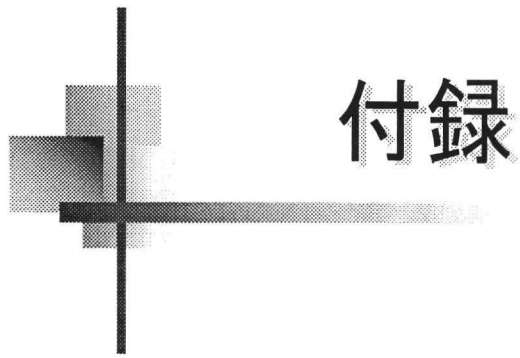
温湿度調査に関して、改修前は外気温の影響と考えられる室温の変動が見られた。日中から室温が下がり始め、早朝には17℃前後になるなど20℃を下回っていた。改修後は外気温が急激に低下しても、室温の変動は2、3℃で早朝でも24℃以上であった。逆に、日中の室温が30℃近くまで上昇して高い温度を推移していた。病院に勤務する看護婦さんやその他の従業員の方からも、以前より暖かくなったとの声が聞かれた。また、建物全体で蒸気暖房を行っているが、断熱改修を行ったことにより、使用する蒸気量が減少すると考えられる。

サーモカメラによる外壁表面温度の測定においても、内断熱の東病棟と比較した場合、西病棟外壁表面温度は外気温とほぼ同調していたものの、東病棟は約7℃高い温度を示した。これは、東病棟では、熱エネルギーが室内の高温部か

ら屋外の低温部に流れているものと考えられる。

室内空気環境調査では、院内の真菌調査を行ったが、改修前後(2001. 5 、2002. 1)で真菌数と菌種に変化が見られた。菌数は、病院内全体で減少しており、特に改修対象の西病棟において顕著であった。菌種は、改修前は好湿性真菌の *Cladosporium* の検出が目立っていたが、改修後の調査では *Cladosporium* はほとんど検出されず、耐乾性真菌の *Penicillium* や放線菌の検出が目立った。

病院が衛生かつ安全で、快適な空間であるためには、病院にたずさわる人たちの意識も大切である。今回の、長野県の病院における外壁改修工事は、寒地での建築をよくするために努力された結果実現したものである。外断熱への改修だけでなく、真空ガラス・樹脂サッシを新たに設置し断熱化を図る、また各部屋に全熱交換式換気扇を設置し、室内湿度を低下させるなどのさまざまな改善を試みている。すべての行為が今回の真菌調査の結果を導いたものと考えられる。今後、追跡調査として 5 月ごろに測定を行うことができれば、改修前後の比較として信頼性のあるデータを得ることができるであろう。



付録

外壁の外断熱改修工事の様子

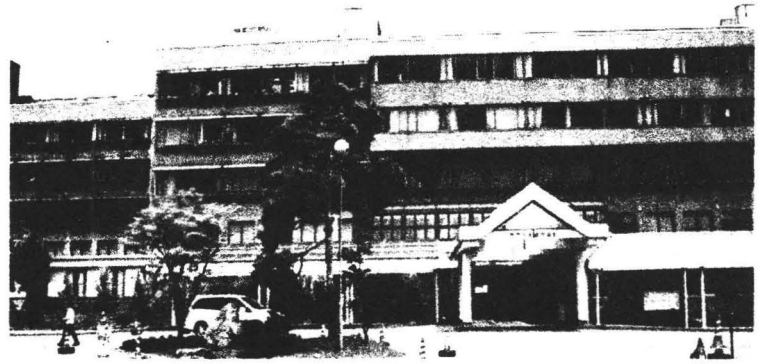


Photo.1　改修前の病院外観

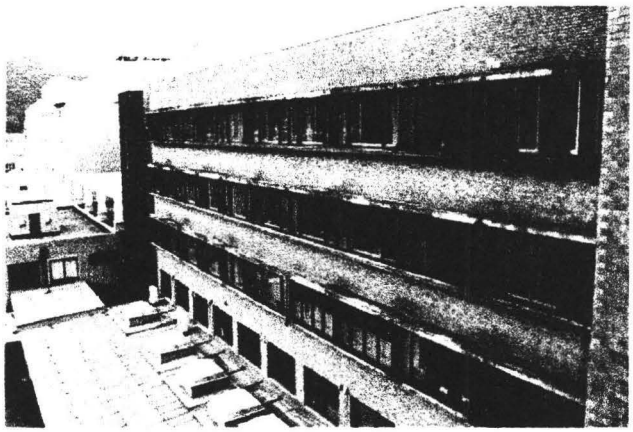


Photo.2　外壁の損傷が著しい部分も見受けられた

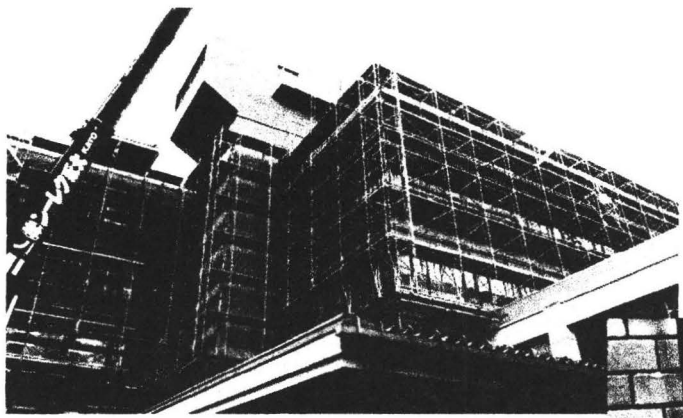


Photo.3　外壁工事



Photo.4　中性化の進んだ部分ではアルカリ性を回復するリフルート工事が行われた。

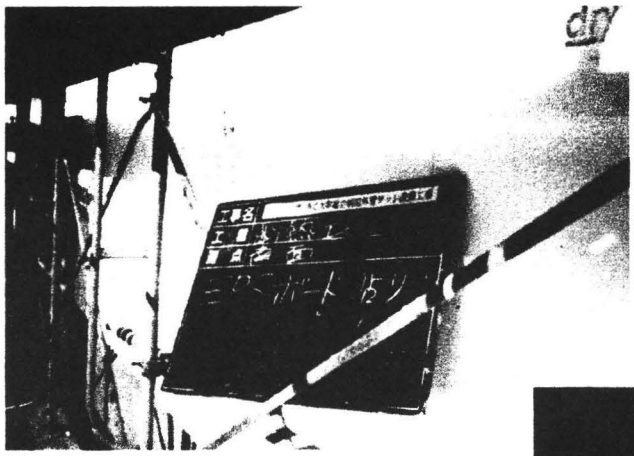


Photo.5　発砲スチレン(EPS)が貼られた

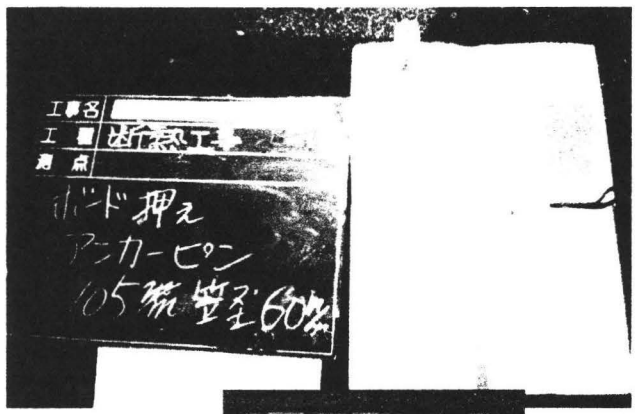
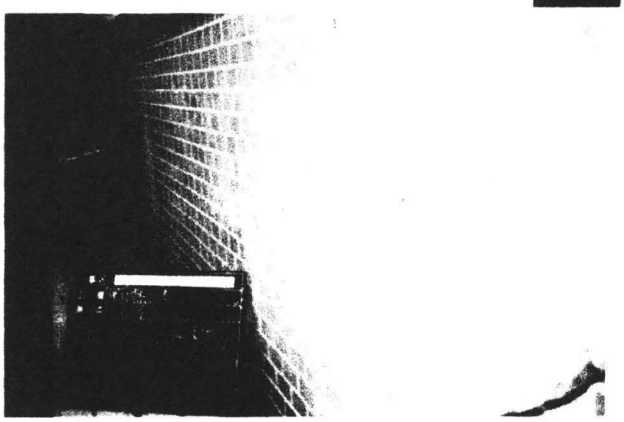


Photo.6　EPS を固定するためにアンカービンが使用された



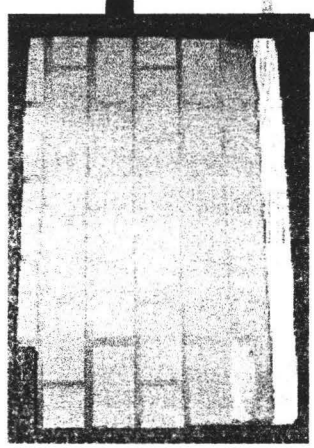


Photo.7　外断熱の上にテンプレートを貼り工事終了　Photo.8　外壁模型

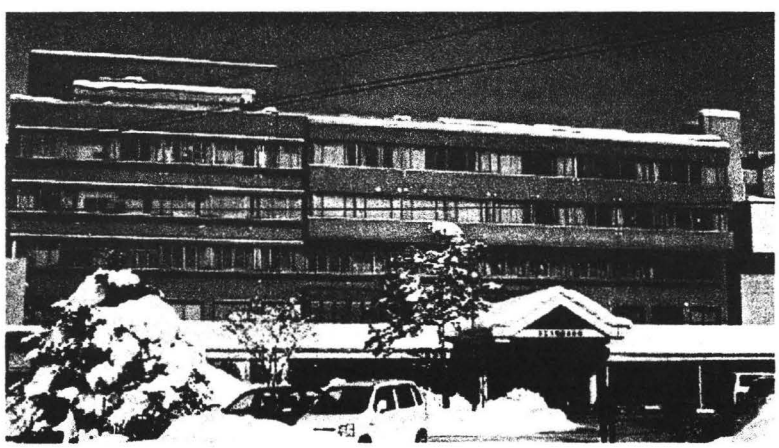


Photo.9　改修後の病院外観

病院の立面図

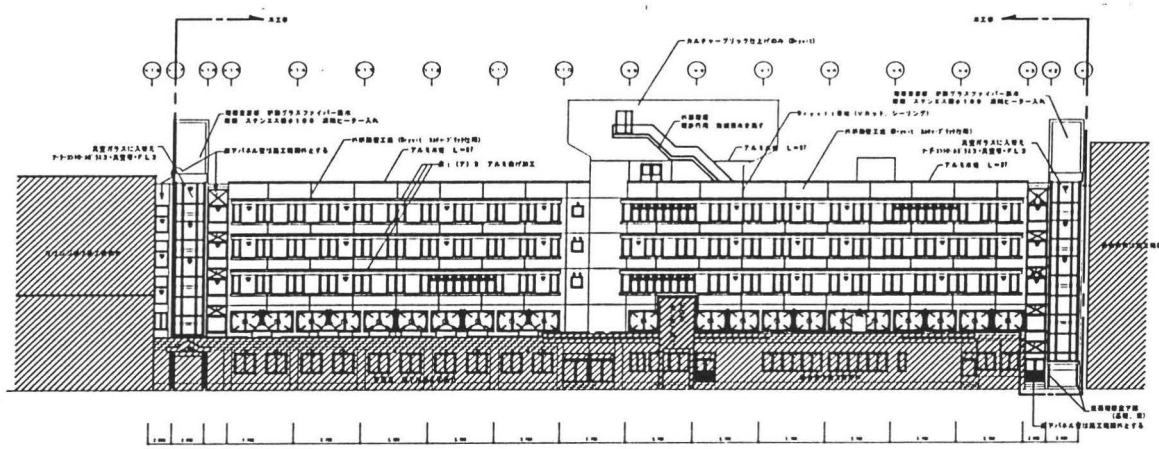


図 1-1　北側立面図

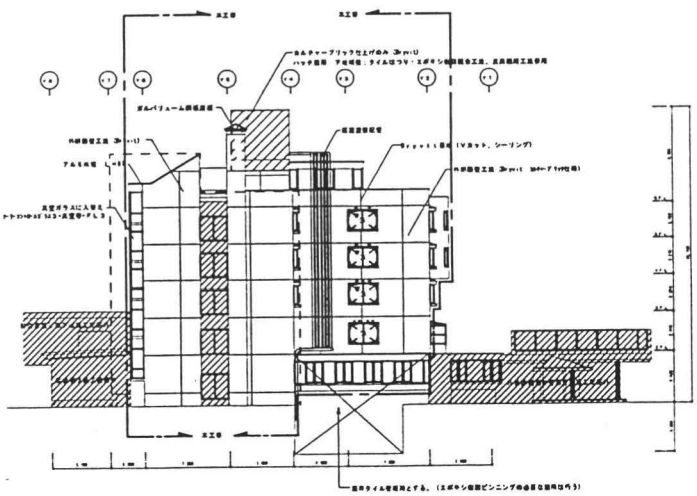


図 1-2　西側立面図

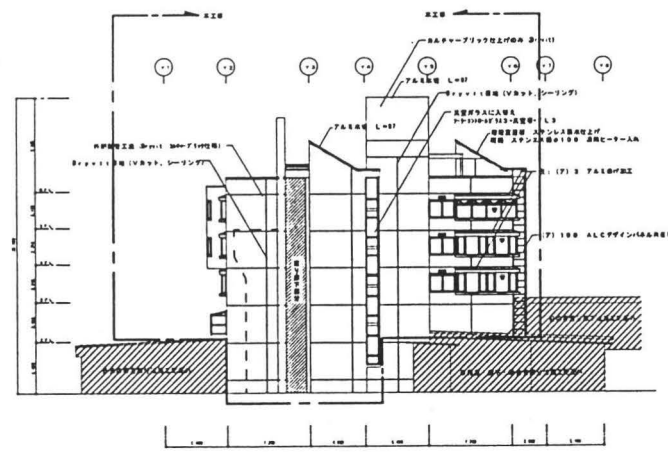


図 1-3　東側立面図

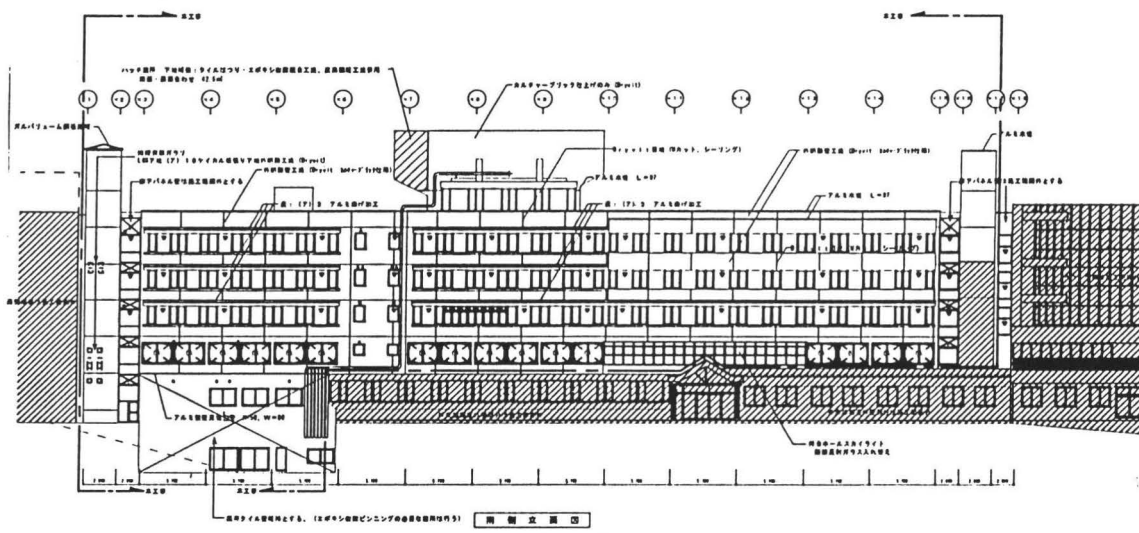


図 1-4　南側立面図

平面図

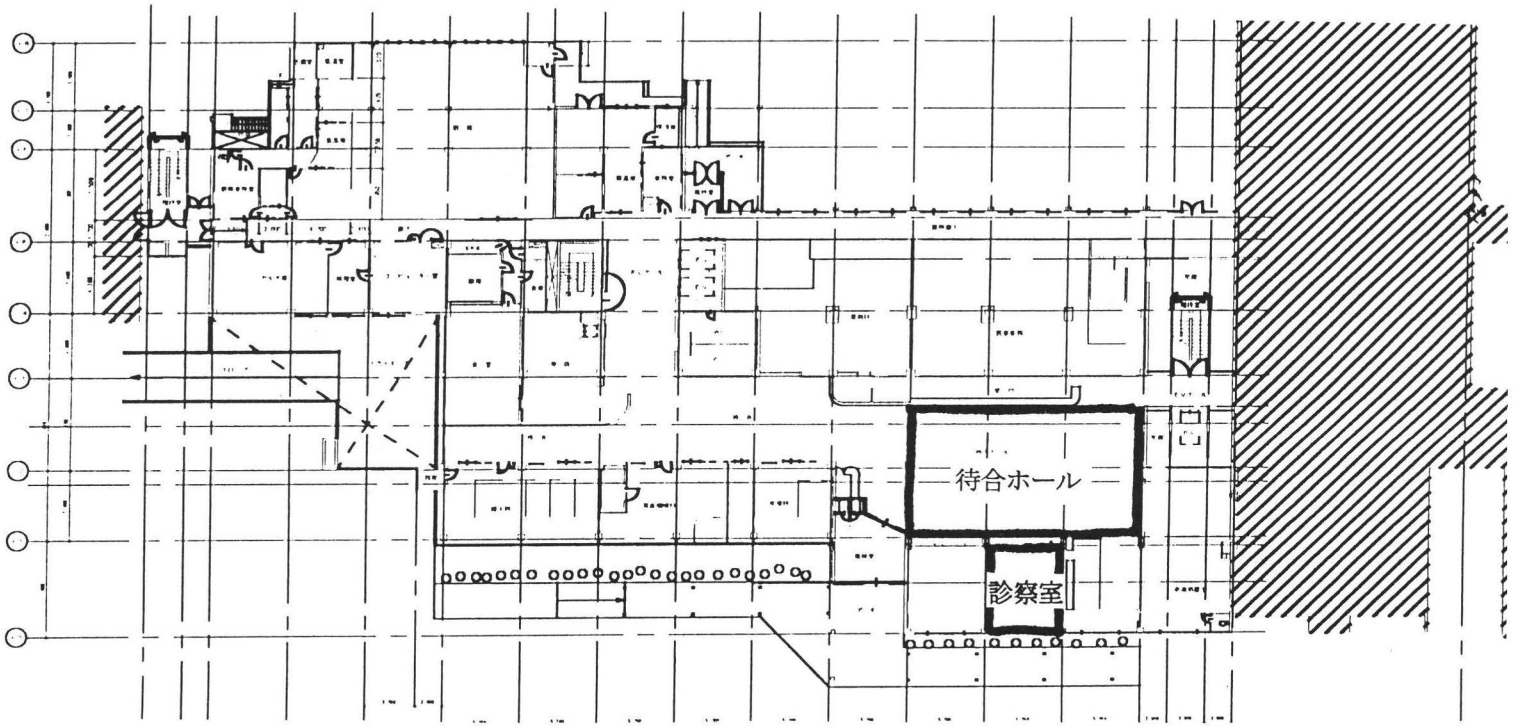


図 2-1　西病棟 1 階平面図

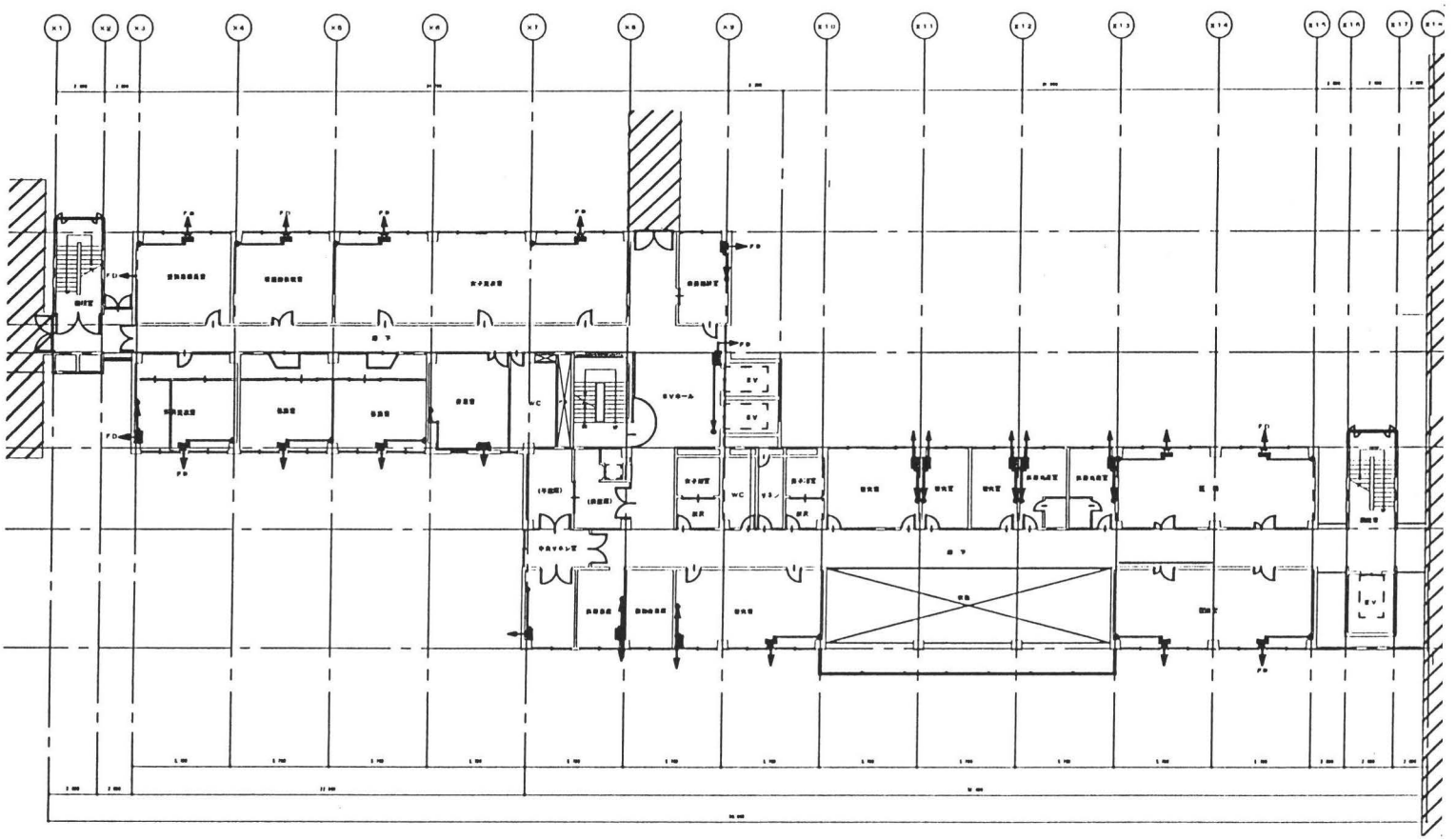


図 2-2　西病棟 2 階平面図及び換気扇設置図

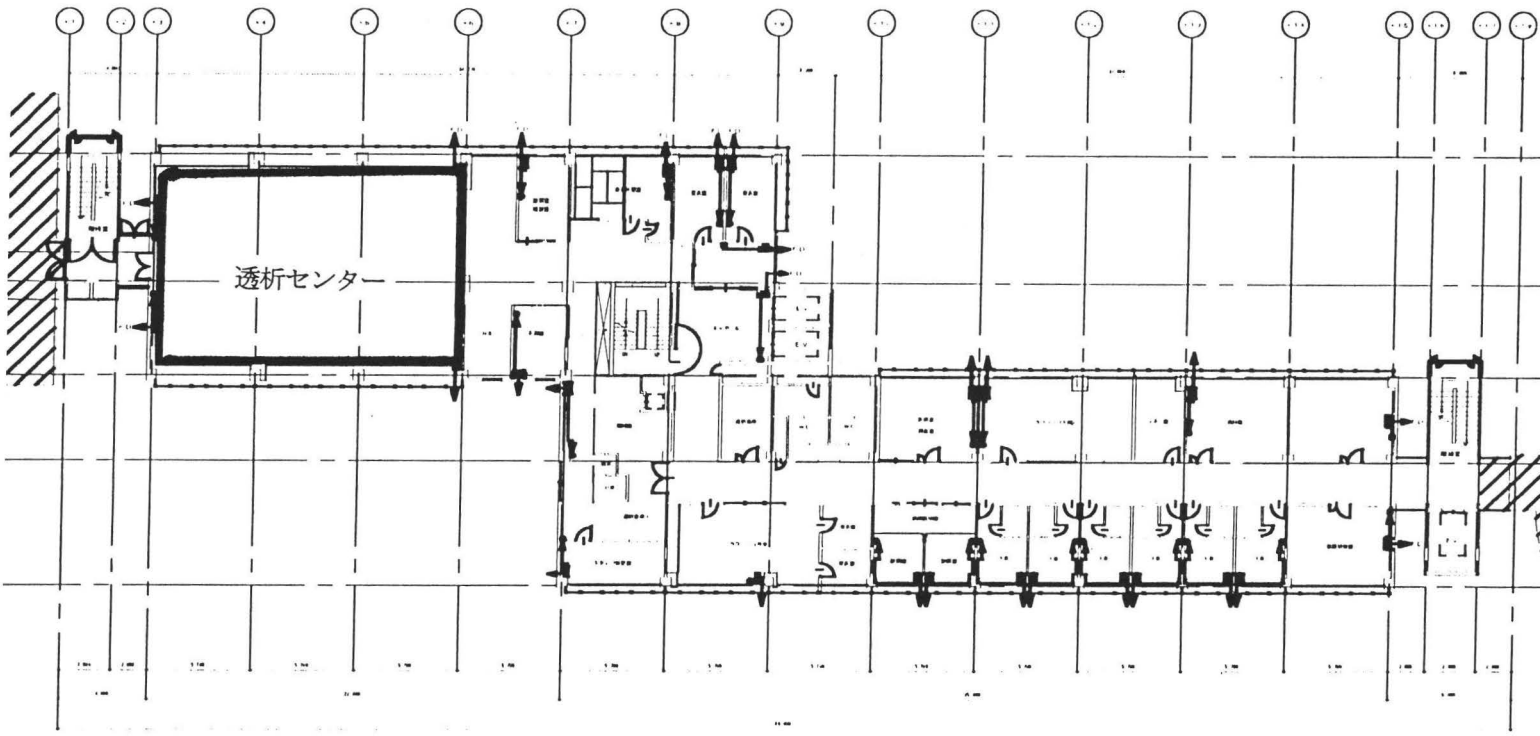


図 2-3　3 階平面図及び換気扇設置図



図 2-4　4 階平面図及び換気扇設置図

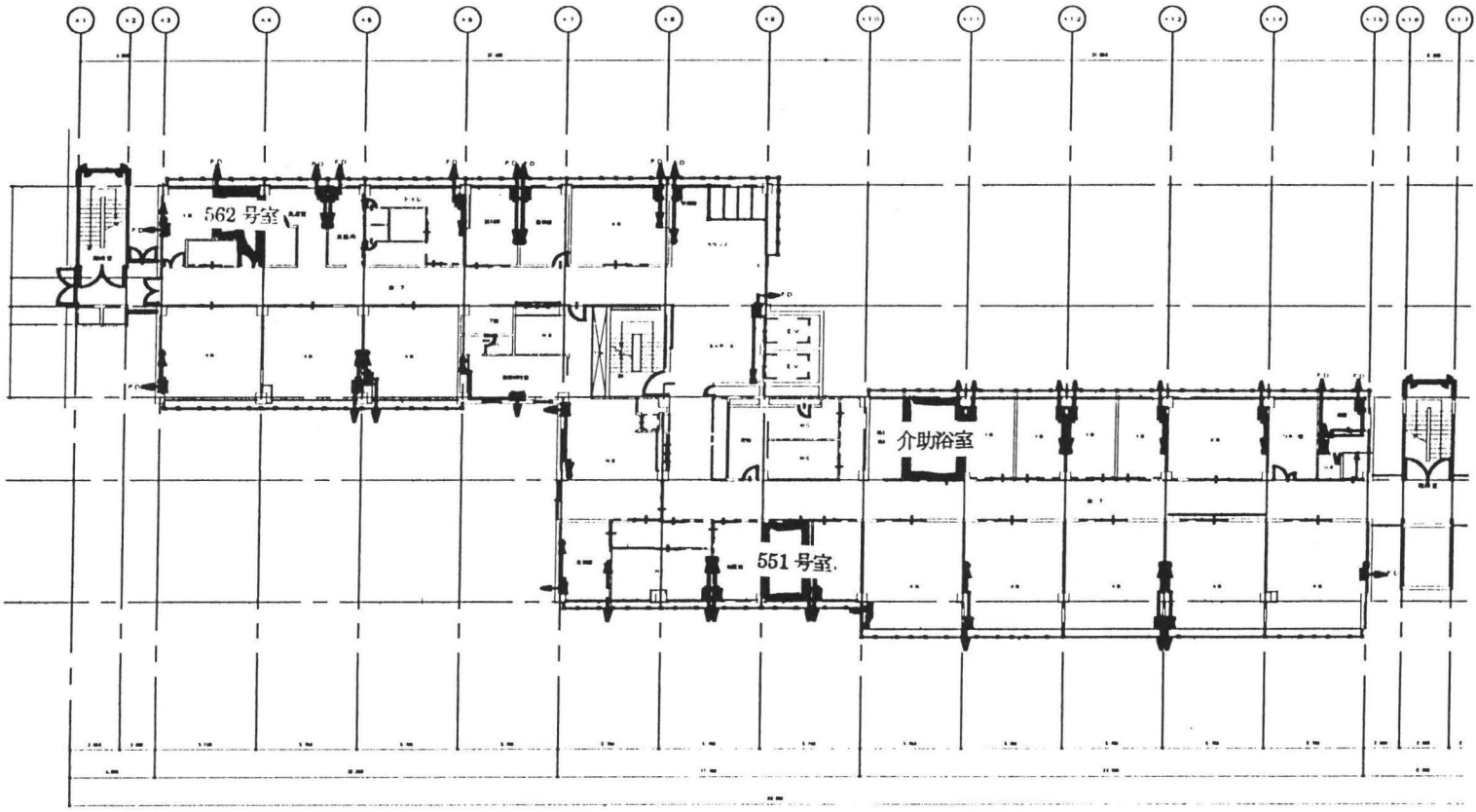


図 2-5　5 階平面図及び換気扇設置図

参考文献

1) 『最新建築環境工学(改訂版)』 (井上書院・1990)

2) 渡辺要編 『建築計画原論Ⅲ』 p.132 (丸善)

3) 国立天文台編 『理科年表 2001』 (丸善・2000)

4) 日本家政学会編 『住まいのデザインと管理』 (朝倉書店)

5) 『建築大辞典』 (彰国社)

6) 『省エネルギーハンドブック'98』 IBEC

7) 山田雅士 『建築の結露』 (井上書院・1996)

8) 吉川翠、倉田浩 『暮らしと体のダニ・カビ撃退法』 (主婦の友社・1990)

9) 吉川翠・芦澤達・山田雅士 『ダニ・カビ・結露』 (井上書院・1989)

10) 宇田川俊一、椿啓介,堀江義一、三浦宏一郎、箕浦久邉兵衛、山崎幹生、横山竜夫、渡辺昌平 『菌類図鑑上・下』 (講談社・1978)

11) 中西礼子 『実験住宅における真菌の動態調査研究』 (お茶の水女子大学卒業論文 1996)

12) 高鳥浩介 『一目でわかる図説かび検査・操作マニュアル』 (テクノシステム・1991)

13) 断熱建材協議会編 『断熱建材ハンドブック』 (養賢堂・1994)

14) 田中由佳 『外断熱住宅の居住性、断熱性および結露発生に関する調査研究』 (お茶の水女子大学卒業論文 2000)

15) 今井綾乃 『病院建築における真菌の動態調査に関する研究』 (お茶の水女子大学卒業論文 2000)

16) 相原真紀 『居住環境における真菌の生態および生物学的特性に関する研究』 (お茶の水女子大学博士論文 2000)

17) 田中辰明 『建築雑誌 Vol.114No.1438 住宅とカビ』 (日本建築学会・1999,5)

18) 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)

19) 鎌田紀彦, 鈴木大隆, 小笠原一隆, 北谷幸恵, 本間義規 『北海道の戸建住宅における断熱改修の応用的研究』 (日本建築学会計画系論文集、第 516 号, 23－30, 1999 年 2 月)

1-22 半導体ガスセンサによるシロアリ代謝ガス検出を用いたシロアリ被害の非破壊診断

京都大学大学院農学研究科
助手　築瀬 佳之

1. 本研究の背景と目的

昨今，中古住宅の流通促進のための政策的措置（国土交通省，アクションプログラムなど）が講じられ，優良な中古住宅のストックとその流通のための基盤が整備されつつある．その一方で，中古住宅の性能や耐久性，安全性や寿命などの判定といった流通上必要不可欠となる項目については，技術的または法制的な背景の整備が不十分で，検査制度が十分整っていない．その結果，管理状態に不安の残る中古住宅を取引せざるを得ない状況にある．またこのことが，中古住宅の流通を阻害している状況にある．

住宅の性能のうち，構造や強度などの項目については，新築住宅を対象とする品確法や性能保証との関連で，検査技術が確立しつつあり，その延長として中古住宅の検査技術が比較的容易に実現できると考えられる．ところが，木質住宅や木製内装部位に見られる腐朽や虫害といった生物劣化については，その有無や程度を客観的，簡便的かつ高信頼性のもとで計測評価する方法は確立されておらず，特に住宅における虫害の代表であるシロアリ被害を非破壊的に検出・評価する方法ついても確立されていない．また，シロアリ防除については，最近，化学薬剤に依存せず，人と環境にやさしい防除技術の開発が大きな課題となっており，これを実現するためには，シロアリの被害を的確にさらには非破壊的に把握する必要がある．

シロアリが生息していそうな場所で，実際にシロアリを探す手段としては，蟻道や蟻土，羽アリの群飛などの発見に基づく方法などによって行われている．特に蟻道についてはシロアリが風や光を嫌うため木材表面，基礎コンクリート，束石などに土のトンネルを作り，その中を移動していくため，この蟻道を追うことによってシロアリの食害範囲がある程度推測できる．さらにシロアリは木材の表面を残し，主に内部を食害していくため，ドライバなどでほじってみると内部にはしっかりと食害痕が残っている．また内部が食害されて空洞化しているため，木材表面をドライバなどでたたくことによって，健全材とは異なった音がする．これらの発見方法はシロアリ防除業者の視覚あるいは聴覚などによるものであり，熟練者とそうでない者とで非常に結果が異なること，シロアリの被害がかなり進行したものでないと発見は困難であるという問題がある．またシロアリの走行音，警戒攻撃音などの可聴音を増幅して検出する方法があり，シロアリの活動を音として知ることはできるが，可聴音領域の様々な雑音の影響を受けやすく，ほとんど利用されていない．

次世代のシロアリ防除では，定期的なシロアリのモニタリングが必要不可欠となるため，それが可能となる手段が今後の探知技術の主流となる．そこでシロアリの活動，特にシロアリの職蟻が木材を摂食する活動を木材の微小な破壊としてとらえ，超音波領域でこれを非破壊検出する新しい手法として，アコースティック・エミッション(AE)によるシロアリ探知がここ10年ほど研究され，実際に検出器も開発され，シロアリ食害の非破壊探知の道具として使われようとしている[1]．ニオイセンサによるシロアリの食害の非破壊検出に関する基礎的，応用的研究は，米国において，木材にあけた穴に閉じ込めたシロアリの代謝ガスを訓練したビーグル犬とニオイセンサで探知させた研究例[2]はあるが，それ以外に代謝ガスの検出でシロアリの探知を行う研究は見られない．代謝ガスの検出によってシロアリを検出する手法は，シロアリの非破壊検出の手法として，また定期的なモニタリングにおいての可能性も期待できる．

本研究では，シロアリの活動によって発生するニオイガス成分やメタン，水素などの代謝

ガスを高感度の半導体ガスセンサによって検出する手法を採用し，シロアリの食害部位を非破壊的に検出する技術の開発を行った．3 種の半導体ガスセンサ（ニオイ，メタン，水素選択性）によって，シロアリから発生する代謝ガスの検出実験を行い，実際の住宅における検出技術の開発を図るための基礎的データを収集するとともに，シロアリの種類，頭数などによる代謝ガス成分および濃度への影響について検討した．基礎データをもとに実際の住宅を対象にしたシロアリ被害の検出実験では，効果的にシロアリ食害材内部から空気を採取し，ガス成分を検出する方法，また木造住宅へのシロアリの侵入を住宅周囲に設置したモニタリング・ステーションで監視し，侵入したステーションにのみ少量の遅効性薬剤を投入して，最終的には巣の駆除を行うベイト工法において，モニタリング・ステーション内へのシロアリの侵入を，ポータブル型ニオイセンサ及び水素センサを用いて，検知する手法についても検討した．

2. 研究の方法

本研究では，主に半導体ガスセンサを用いて，実験室実験での基礎的研究，木造住宅におけるシロアリ食害の検出実験，およびベイトステーション内へのシロアリの侵入のモニタリング試験を中心に行ってきた．

2.1. 半導体ガスセンサの構造と動作原理 [3)]

図 1 に今回使用した 3 種類の半導体ガスセンサ（ニオイ選択性，メタン選択性，水素選択性）の検出部分を示す．この 3 種類の半導体ガスセンサは，センサの形状が 2 種類あり，ニオイセンサは基板型，メタン，水素選択性センサは熱線型の構造を持つ．感応部はどちらも酸化錫であり，検出原理は同じである．酸化錫半導体の結晶表面に存在し，負に帯電した活性な吸着酸素（O_2^-,O^-,O^{2-} 等）がガスの感度を発現させる役割を果たすと考えられている．これらの吸着酸素は空気中に存在する酸素が，金属酸化物半導体の結晶中に存在する伝導電子の一部を捕獲し，負に帯電し吸着したものである．これらの吸着酸素は空気中に還元性ガスが共存すると，それと反応(酸化反応)し，同時に捕獲していた電子を半導体の結晶中へ再び放出する．この結果伝導電子が増加し，半導体の電気伝導度が増加する．これによってセンサの抵抗が変化し，センサの出力電圧として電気信号に変換される．この原理によって，ガス濃度に応じてセンサ出力電圧が変わり，ガス検出が可能になる．

基盤型のニオイセンサはニオイ分子に対し，感度が高く，ニオイの無いあるいは弱い分子に対する感度が低い感度特性，すなわちニオイ分子選択性を持っている．その特徴は，(a)炭素数の増加に伴って感度が増加する．(b)不飽和度（三重結合，二重結合及びその数）の増加に伴って感度が増加する．(c)アルコール類では第三級＜第二級＜第一級の順で感度が増加する．(d)炭素骨格の分岐に伴い感度が減少する．(e)O, S, N 等電気陰性度の高い元素を含む分子に対する感度は高い．(f)官能基（-OH, >C=O, =CHO, -COOH, -SH, -N, -CN 等）を有する分子に対する感度が高い．(g)メチル基(-CH_3)の存在は感度を高める．(h)エステル（果物様ニオイ）に対する感度は高いが，エーテルに対する感度は比較的低い．

熱線型のメタンセンサはメタン，トルエン，水素，一酸化炭素及びエタノールに対する感度が高いが，それぞれの分子に対する感度のセンサ温度依存性が異なり，メタン等飽和炭化水素に対する選択性はセンサの感応部の温度が 450°C で最も高くなる．したがって酸化錫の比表面積が大きく，活性な粉体からなる緻密な焼結層では，450°C では比較的酸化されやすい水素，一酸化炭素，エタノールなどの有機溶媒や不飽和炭化水素は感応部の表面近傍で酸化され，感度を持たない水や二酸化炭素に変換される．一方，比較的安定なメタンやプロパンなどの飽和炭化水素は表層で酸化されずに感応層の中心部の電極近傍に達し，検知される．

熱線型の水素センサでの水素選択性は，酸化錫焼結体の表面とその近傍に「分子ふるい」の効果をもつ化学的に安定なシリカ(SiO_2)の緻密な膜を化学蒸着により形成させて得られる．水素以外の大きなサイズの分子(CO, C_2H_5OH, CH_4, C_4H_{10})はシリカ膜の「分子ふるい」効果による酸化錫焼結層に侵入できない．一方，水素はシリカ膜上で酸化除去されず，また分子サイズが小さいため，容易にシリカ膜を通過し，感応層で検出される．

2.2. 半導体ガスセンサによるシロアリから発生する代謝ガスの検出実験

図 2 のように，あらかじめニオイ選択性センサ，メタン選択性センサおよび水素選択性センサを実験用ポリプロピレン容器（内径 約 54mm，高さ約 80 mm，容積 725ml）の蓋に取り付けた．図 3 に示す 4 条件（(a) 水を含んだろ紙を容器に入れた，(b) 餌として水を含ませたアカマツ試料（30×30×50mm）を容器に入れた，(c) 底を石こうで固めたアクリルパイプにアカマツ試料を置き，容器内の水を含ませた脱脂綿の上に置いた，(d) (c)の条件で，シロアリの摂食活動を活発にさせるため，シロアリを 2 日間水のみを与えて絶食させた．）で，イエシロアリ *Coptotermes formosanus* SHIRAKI（職蟻と兵蟻の構成比が，100:10，200:20，500:50，1000:100）をポリプロピレン容器の中へ封入し，発生する代謝ガスを計測した．また対照実験として，なにも封入しない，水を含ませた濾紙のみ，水を含ませたアカマツ試料（30×30×50mm）のみ，およびイエシロアリの死骸（職蟻：兵蟻，200:20）を入れた容器についても同様の計測を行った．容器は 28°C，70%の恒温恒湿器内に設置し，シロアリを封入した時点からガス濃度計測を開始した．

2.3. 木造住宅におけるシロアリ被害の検出実験

和歌山県那賀郡粉川町の木造住宅において，ポータブル型ニオイセンサを用いて，木材中のシロアリ食害部位のガス計測を行った．本住宅は事前の調査によって，ヤマトシロアリ *Reticulitermes speratus* (COLBE)の被害が発見されており，被害の大きい部位を中心に，すでにシロアリの被害によって開いた穴や，直径 5mm のドリルで穿孔して作った穴に図 4 のようにポータブル型ニオイセンサの吸引チューブを挿入し，空気を引き出すことによって，センサでニオイガス濃度を計測した．各計測は 3 分間行い，ピーク値を記録し，その部位のニオイガス濃度とした．特に今回の検出実験では，実際のシロアリ被害現場においての計測方法，特に空気のサンプリング方法について検討した．

2.4. ガスセンサを用いたベイトステーションでのシロアリ食害のモニタリング試験

試験は岡山県倉敷市児島塩生の木造住宅で行った．本住宅はすでにイエシロアリの被害が深刻であり，目視調査の結果，イエシロアリの本巣が浴室と脱衣所の床下部分にあることが発見されている（図 5）．今回この巣を直接防除するのではなく，ベイト工法によって，少量の薬剤で間接的に巣の活力を衰退させる方法を行った．ベイト工法 [4]とは，現在日本でも広まりつつあるレスケミカル工法の範疇に入るもので，名前の通りシロアリに薬剤の入った毒餌を摂食させて，コロニー全体を駆除することを目的とした工法である．まず，シロアリの活動範囲を調査した上でモニタリング・ステーションと呼ばれるプラスチック製の容器を土中に設置し，モニタリング用餌木をその中に入れる．この餌木を定期的に調査し，シロアリの存在が確認されれば、毒餌が入った容器と餌木を入れ替え，コロニー全体への薬剤の拡散をはかる方法である．通常は防除業者が定期的にステーションの蓋を開けて，ステーション内の餌木の食害状況を目視によって確認するが，蓋を開けることによって，ステーション内に生息していたシロアリが逃げてしまうといった問題が生じる場合がある．そのため，蓋を開けることなく，ステーション内の餌木の状況を確認できる方法が望まれている今回の試験では，蓋の中心に開けた穴から，定期的にステーション内の空気を吸引して，ポータブル型ニオイセンサおよび水素センサでシロアリから発生するニオイガスおよび水素ガスを検出することを試みた（図 6）．シロアリの代謝ガスを検出するのに，ステーション用のプラスチック容器は土中に設置されていることによって，ある程度密閉性が高く，ガス検出を行うのに適していると考えられる．図 7 は，家屋周辺に設置したモニタリング・ステーションの位置を示す．図中の赤丸の部分がステーションの設置位置を示し，それぞれ番号を付けた．シロアリの餌として，アカマツ材をステーション内に詰め込んだ．今回設置したステーション以外のステーションも設置されているが，ガス検出行うのは，10 基に限定した．計測は，2001 年 12 月から 2002 年 12 月の間に約 1 ヶ月から 2 ヶ月間隔で，計 10 回行い，ガス計測後，蓋を開けて，ステーション内の餌木へのシロアリ食害状況を目視によって観察した．ガス計測は各ステーションについて，ニオイセンサおよび水素センサそれぞれ 5 分間行い，ピーク指

示値（ガス濃度の大きさを示す値）を記録した．また床下の巣について，巣に隣接する基礎コンクリートに穴を 2 箇所あけ，その穴から巣の中心部へアルミパイプを挿入し，パイプの口にセンサのチューブを差込み，空気を吸引して，2 種類のガスセンサによって，巣中心部からのガス検出も同時に行った．

3. 結果と考察

3.1. 半導体ガスセンサによるシロアリから発生する代謝ガスの検出実験

計測開始から 3 時間経過したときのそれぞれのセンサで検出されたガス濃度を図 8 に示す．図中の条件 1-4 は，図 3 の 4 条件に対応している．

メタンセンサおよびニオイセンサについては，シロアリを入れない 4 条件（なし，濾紙+水，アカマツ試料，死骸）においても，メタンおよびニオイガスが検出された．とくにメタンセンサでは，全体的に濃度が高く，シロアリの頭数による濃度の差，シロアリの有無による差がほとんど見られず，シロアリを封入した条件よりも高い濃度が検出されることもあった．今回使用したメタンセンサはもともと火力発電所，化学工場，石油プラント等の分野で，メタン，プロパン等の可燃性ガスの確実な漏洩検知を目的に開発されたものであり，図からも 300ppm 以下の低濃度のメタンをはかることができなかったという可能性も考えられる．また，環境中あるいは木材などからもメタンは発生しているということから，シロアリの頭数が 1000 頭を超えるぐらいでないと検出が困難であると考えられる．

ニオイセンサについては，アカマツ試料を入れない条件（条件 1）で極端に低い濃度値が検出され，またシロアリを入れない 3 条件（なし，濾紙+水，死骸）においても，ほとんどニオイガスは検出されなかった．シロアリの頭数が増えることによって，検出ガス濃度も高くなる傾向が見られる条件あったが，職蟻：兵蟻の頭数が 1000：100 については，500：50 の場合と比較できなかったが，100：10 については，最もガス濃度が高くなる条件はなかった．ニオイセンサについて，アカマツのみの場合の濃度が高いことから，一つはシロアリがアカマツ試料を摂食することによって，ニオイの濃度が上がることが考えられ，もう一つはアカマツ試料そのもののニオイが検出されていると推測される．このことについて，建築材料に使用される樹種によっては，非常にニオイがきついものもあり，それらの樹種から発生するニオイをニオイセンサで検出することを行った．吸引式のポータブル型ニオイセンサを使用し，14 樹種の木材試料片（10×35×65mm）の木口面に開けた直径 4mm，深さ 15mm の穴に吸引チューブを挿入して，ニオイガスの検出を行った．木材試料片は，針葉樹（スギ，ヒノキ，アカマツ，カラマツ，ヒバ，ベイツガ，ベイスギ，ベイマツ，ベイヒバ，スプルース）10 種と広葉樹（カツラ，ブナ，ミズメ，ミズナラ）4 種を使用した．10 分間の計測で，それぞれの樹種におけるニオイのピーク指示値（ガス濃度の大きさを示す値）と時間変化を図 9 に示す．針葉樹は，広葉樹に比べて，指示値が 1000 を越すものが多く，特に住宅建材等でよく使用されるアカマツは約 2600 であった．吸引チューブを差し込んでから，指示値が 1000 を越す樹種については，1 分以内にほとんどがピーク値まで到達し，その後低下する傾向が見られたが，それ以外の樹種についてはほぼ一定の指示値を保っていた．この結果より，ニオイセンサはアカマツ等の木材試料から発生するニオイ成分に対して，高い感度を持ち，シロアリの食害による代謝ガス検出の際，大きな影響を受けることが示唆された．

一方，水素センサについては，シロアリを入れない 4 条件（なし，濾紙+水，アカマツ，死骸）では，ほとんど検出されず，シロアリを封入した条件でのみ，水素ガスが検出された．また，条件 3 以外では，シロアリの頭数が増えることによって，水素ガスの検出濃度も大きくなることが確認された．シロアリはセルロースを分解する酵素であるセルラーゼを生成し，消化管内へ分泌している。また，シロアリの腸内には，バクテリア，原生動物，スピロヘータなどの微生物が生息していて，これらの微生物もシロアリの消化管内でセルロースを消化し，代謝物として酢酸塩・二酸化炭素・水素・メタンを生産することは報告されているが，水素が気体として，シロアリの体外に放出されることに関して現在のところ報告されていない．しかし今回の計測で，3 種類のセンサの中ではこの水素選択性のみが，シロアリの存在下でのみ，ガスを検出し，さらにシロアリの頭数が増えると検出ガス濃度が高くなる傾向を

示したため，シロアリ食害検出に有効であるということが示唆された．

「シロアリから水素が発生する」ということが，シロアリ食害検出において有効であると同時に，これまで，このことを確かめた研究も無く，最近話題になっている水素ガスの利用という観点から，本研究では，半導体ガスセンサを搭載した簡易的なガスクロマトグラフを用いて，シロアリの種類，頭数，職蟻と兵蟻の構成頭数比，木材試料の有無等と，検出される水素ガス濃度との関係についても検討した．シロアリを封入した容器から，シリンジで2.5ml 空気を抜取り，簡易ガスクロマトグラフの注入口へ注入する．注入されたガスは，簡易ガスクロマトグラフ内で，活性炭でろ過された環境中の空気をキャリアガスとして，カラムへと送られ，水素の場合約 20 秒で，センサ部で感知される．150 秒でメタンも検出されるが，高濃度のメタンガスでないと検出されないため，今回は水素ガス濃度のみを計測した．得られたチャートの水素のピーク電圧から，水素濃度に換算した（図 10）．供試したシロアリは，日本における防除対象のイエシロアリとヤマトシロアリで，イエシロアリについては職蟻：兵蟻の構成比を 220:0，200:20，110:110，20:200，0:220，ヤマトシロアリについては 220:3 のみを用いた．底を石こうで固めたアクリルパイプにシロアリとアカマツ試料を置き，容積 400ml のポリプロピレン容器内の水を含ませたろ紙の上に置き，シリンジの針を刺すためのゴム栓を取り付けた蓋で密封した．全ての条件について，計測は 3 回繰り返して行った．図 11 はイエシロアリ（職蟻：兵蟻が 200:20）とヤマトシロアリ（職蟻：兵蟻が 200:3）それぞれについて，アカマツ試料片を入れた場合と，入れなかった場合の容器から検出された水素ガス濃度の時間変化を示す．図より，計測開始から 30 時間まではどの条件でも，水素ガス濃度は時間とともに増加する傾向が見られたが，木材片を入れたイエシロアリについては 30 時間経過したあたりから水素濃度が減少する傾向が見られ，これについては検討中である．またイエシロアリとヤマトシロアリを比較した場合，明らかにイエシロアリを入れた容器から発生する水素濃度の方が高く，およそ約 4~5 倍の水素濃度が検出された．イエシロアリはヤマトシロアリに比べ，個体が大きく，木材の摂食量が大きいことが影響していると考えられる．さらに，木材片を入れた場合と，入れなかった場合を比較すると，30 時間までは木材片を入れた場合の方が，どちらのシロアリについても検出水素ガス濃度が高かった．容器内を目視によって観察した結果，職蟻が木材片を摂食している様子が観察されたことから，職蟻の摂食活動によって，より高濃度の水素が検出されることが示唆された．これを確かめるために，イエシロアリの職蟻と兵蟻の頭数構成比を変えたときの，容器内の水素ガス濃度の経時変化を図 12 に示す．どの頭数構成比においても計測開始から検出された水素濃度は時間とともに増加する傾向が見られたが，職蟻と兵蟻の頭数構成比 200:20 と 100:100 については，30 時間後から濃度が減少する傾向が見られた．また職蟻の頭数が多くなるほど水素濃度が高くなる傾向が見られ，木材を直接摂食できる職蟻の活動が水素ガス濃度に大きく影響を及ぼしていることがわかった．ただ，シロアリ食害検出の手法の一つであるアコースティック・エミッション(AE)は，職蟻が木材を摂食する際に発生する微小な振動を検出するため，兵蟻のみが存在する場合には検出不可能であるのに対し，水素センサを使用した場合，兵蟻のみが存在する所からも職蟻のみと比べ，濃度は低いが水素の検出が可能であることがと示唆された．兵蟻からも水素が発生していることについての報告はなく，興味深い結果が得られた．また兵蟻の頭数が多いイエシロアリの巣を，水素センサを利用することで探知できる可能性が考えられる．

本実験室実験の結果，メタン選択性センサは高濃度のメタンの検出用のために，シロアリの頭数が 1000 以上でなければ，検出が困難であり，また木材や周囲環境から発生するメタンの影響も受けることがわかった．ニオイ選択性センサについては，シロアリの頭数が増えることによって，ニオイガス濃度が高くなる傾向がある程度見られたが，木質素材そのものの出すニオイ成分も検出するため，実際の木造住宅の現場においてのシロアリ食害検出は困難であると考えられる．一方，水素選択性センサは，木材や周囲環境から発生するガスの影響をほとんど受けることなく，シロアリ，特に職蟻の摂食活動によって発生する水素ガスを検出することができ，さらにシロアリの頭数が多くなるほど高い濃度を検出することが可能であった．従って，今回の基礎実験においては，水素選択性センサが，最もシロアリ食害探知

に適しているという結果が得られた.

3.2. 木造住宅におけるシロアリ被害の検出実験

表 1 に被害家屋の部材においてポータブル型ニオイセンサを用いて検出したニオイガスのピーク指示値を示す. 計測した部位 10 箇所において, ピーク指示値が 1000 を越える部位が 4 箇所あり, 最大で 1800 を示した部位も存在した. 目視によるシロアリ被害は見られたが, 実際にシロアリの存在は確認できなかった. 木部を穿孔した穴については指示値が高くなる傾向も見られ, 使用されている木質素材のニオイ成分を検出したために高い指示値を示した可能性も考えられ, シロアリの存在によって高い指示値を示したという結論は得られなかった. 被害を受けている部材表面にセンサを近づけても, ニオイガスの検出は困難であり, 今回の計測においても, やはり吸引チューブを挿入してできるだけガスを逃がすことなく, 検出する必要があった. また実験室実験の結果からも, ニオイセンサは木材そのもののニオイも検出することから, 木造住宅におけるシロアリ被害の検出は困難であるため, ポータブル型の水素センサを利用することを検討する必要がある. さらにできるだけ密閉された空間から効率よくガスを検出することを考えた場合, 今回のような計測環境は現実的ではない. 最も現実的なガスセンサの利用方法として, 次で述べる, ベイト工法でのシロアリの侵入を監視するのに利用されるモニタリング. ステーション内でのガス検出が考えられる. この際, 今回使用したポータブル型ニオイセンサのほかに, 木材等の影響を受けにくく, シロアリの代謝によって発生する水素を検出する水素センサを利用した.

3.3. ガスセンサを用いたベイトステーションでのシロアリ食害のモニタリング試験

表 1 は各ステーション内でニオイセンサによって計測した 5 分間でのピーク指示値を示す. 表中の赤色の数字は計測後のステーション内を目視によって観察した結果, シロアリの侵入が確認されたステーションを示している. また表中の赤線を境にステーション内の餌木の食害がひどかったため, 新しい餌木に交換した. 計測開始直後は, 冬の時期であったこともあり, 指示値も低く, 目視によってもシロアリの侵入は確認されなかった. その後 4 月 20 日の計測時にシロアリの侵入が観察され, ステーション 1 以外でシロアリが確認されたステーションについてはニオイのピーク指示値が 100 以上を示した. また 6 月 8 日の計測では全てのステーションでシロアリの侵入が確認され, 指示値も高い値を示し, 最大で 319 の指示値が得られた. この試験家屋では 6 月 12 日前後に羽蟻の群飛が発生し, コロニー全体の活性も高い状態であったと推測される. それに対応して, 6 月 8 日の計測では, 全てのステーションについて, シロアリの生息とともに, 高い指示値がえられた. この計測のあと餌木の被害が激しかったため, ふるい餌木を取り出し, 新しい餌木と交換する作業を行った. その後の計測では, シロアリの侵入が確認されたステーション 1, 2, 10 について, 他のステーションと比べても指示値の差がほとんど認められなかった. 餌木を交換した後は, 目視によってシロアリの侵入が認められたステーションについても, シロアリの頭数が少なく, ある程度の頭数がステーション内で活動していないと, 高いニオイ指示値が得られないと考えられる. このことについては併行して行った AE 計測についても同様の結果であり, 特にシロアリがステーション内に存在することは確認されてはいるが, 実際に AE センサを取り付けている餌木をシロアリが食害していない場合, AE が全く計測されなかった. ニオイセンサについても, ステーション内全体にシロアリが侵入しないとニオイガスを検出することは困難であり, これについてはステーションに使用する容器の大きさを現行のものよりも小さくして, できるだけ頭数の少ない状況でも検出できるようにする予定である. また餌木そのもののニオイや土中に埋めているため土壌成分のニオイなど, シロアリ以外のニオイ成分を検出する可能性が非常に高いと推察される.

次に表 2 は各ステーション内で水素センサによって計測した, 5 分間でのピーク指示値を示す. 水素センサについては, 計測当初から, 吸引チューブをステーションに挿入すると指示値がマイナスになる傾向が見られた. これは水素センサの感度を実験室実験で使用しているものよりも格段に上げているためで, バックグラウンドの雑音であると考えられる. ニオ

イセンサの結果と同様に計測開始直後から，冬の時期はどのセンサもマイナスの指示値を示した．その後 4 月 20 日の計測では，シロアリの侵入が確認されたステーションについては，マイナスの指示値を示すものもあるが前の計測（2 月 26 日）と比べ，明らかに高い指示値を示した．また 6 月 8 日についても全てのステーションでの指示値がプラスを示し，同時にシロアリの侵入も全てのステーションで確認された．しかし，餌木を交換した後の計測で，シロアリの侵入が確認されたステーション 1,2 以外のステーションについても高い値を示し，ステーション内の温度の影響を受けているのではないかと考えたが，同時に計測したステーション内の温度計測の結果から，ステーション内の温度が高いと指示値が高いという傾向があまり見られなかった．また 8 月と 9 月の計測については，シロアリの侵入が確認されたステーション 1, 2, 10 での指示値がマイナスの値を示してはいるが，他のステーションと比べ，明らかに高い値を示すことが確認された．

2002 年 9 月 20 日の計測完了後，薬剤（脱皮阻害剤）を計測用のモニタリング・ステーションステーション１０基とは別に埋設していたステーション 3 箇所に投入し，薬剤の周辺を中心に計測ステーションを 4 箇所変更して，計測を再開した．薬剤投入後の 2 回行った各ステーションにおけるニオイ，水素センサの指示値及び温度計測結果を表 4 に示す．薬剤投入後から約 2 ヶ月半経過しても 4 つのステーションで頭数は少ない（目視によって 1，2 頭が観察された程度）がシロアリの存在（ほとんど食害痕のみ）が確認された．ニオイセンサ及び水素センサともシロアリの有無に対応した指示値は得られなかったが，シロアリの活動自体も非常に弱まっており，評価が困難であった．

床下でガス計測用に穿孔した 2 ヶ所の穴から巣中心部に向けて，一時的にアルミパイプを挿入し，空気のサンプリングを行った．ニオイ，水素センサともに床下における指示値が 0 になるように調整して，計測を行った．表 5 にニオイ，水素センサによるガス検出を行った結果を示す．青線はシロアリの巣からの群飛があった時期（6 日 12 日前後）を示し，赤線は薬剤投入時期（9 月 20 日）の境界を示している．ニオイ，水素センサともに床下環境に比べ，巣内からのガス濃度は高い指示値を示し，ステーション内の計測と異なり，水素センサでも全てプラスの指示値を示した．ニオイセンサでは特に群飛がおこる以前の計測で高い指示値が得られ，群飛後は値が低くなった．また水素センサについては，群飛前後で指示値が高く，ニオイセンサの結果とは異なる傾向が得られた．この結果からも，ニオイセンサについては，巣内でのシロアリの活動が活発である時期と高い指示値を得た時期が一致していると考えられる．

薬剤投入後も計測を行っているが，現時点でもシロアリの生存が確認されていることから，使用した薬剤の効果はえられなかったと判断した．最終的に即効性の薬剤を巣へ直接投入し，短期間に巣の駆除を行う予定である．それによって，ガス検出で巣の死滅を評価し，薬剤の効果を確認するまでを一連の計測とする．

4. おわりに

本研究において，以下のことが明らかとなった．

a) 実験室実験で使用した 3 種類の半導体ガスセンサについて，メタン選択性センサは，環境中あるいは木材などからもメタンは発生しているということから，シロアリの頭数が 1000 頭を超えるぐらいでないと検出が困難であり，ニオイ選択性センサは，シロアリの頭数が増えることによって，検出ガス濃度が高くなる傾向が見られる条件あったが，アカマツ等の木材試料から発生するニオイ成分も検出するため，シロアリの食害による代謝ガス検出の際，大きな影響を受けることが示唆された．一方，水素選択性センサは，木材等の影響を受けず，シロアリの存在下でのみ，水素ガスを検出し，さらにシロアリの頭数が増えると検出ガス濃度が高くなる傾向を示したため，シロアリ食害検出に有効であるということが明らかになった．そして，簡易ガスクロマトグラフを用いて水素の検出を行った結果から，イエシロアリの方がヤマトシロアリに比べ，発生する水素濃度が高くなる傾向が見られたこと，木材を摂食している状況下で高のどの水素が発生する

こと，また職蟻の頭数が多いほどガス濃度も増加することが明らかになった．

b) ポータブル型ニオイセンサを用いて，実際のシロアリ被害家屋での計測を行った結果，すでにシロアリの被害によって開いた穴や，直径 5mm のドリルで穿孔して作った穴に，吸引チューブでガスを抜取る方法では，検出可能な濃度を計測することが困難であり，できるだけ密閉に近い状況を作り上げて，ガス検出を行わなければならないということが示唆された．また穿孔した穴からのガスを計測した場合，木材のニオイ成分の影響で高い指示値を示す傾向を示したため，シロアリ食害の検出には至らなかった．そのため，ポータブルの水素センサを以後の計測では導入する結果となった．

c) ベイト工法におけるモニタリング・ステーションへの半導体ガスセンサの適用に関しては，ニオイセンサ，水素センサとも，ステーション内へのシロアリの侵入をある程度検出することができた．またシロアリの活動が活発になる群飛前後の状況を，ステーション内，および巣の中でのガス計測によって，把握することが可能であることが示唆された．現時点でのガスセンサの適用方法としてはできるだけ密閉された空間からガスを吸引して計測するという観点から，ベイト工法への組み込みが最も現実的であり，今後は，半導体ガスセンサ特に水素選択性センサによるステーション内のモニタリングの自動化について検討していく．

5. 参考文献

1) Yanase Y., Y. Fujii, T. Yoshimura, Y. Imamura, S. Okumura and M. Kozaki: Detection of Acoustic Emission (AE) generated by termite attack in a wooden house. Proc. of ICEUPT'99, Chi-Tou, 21-23, May, 1999, 530-537
2) Lewis V. R., C. F. Fouche and R. L. Lemaster. Evaluation of dog-assisted searches and electronic odor devices for detecting the western subterranean termite. *Forest Prod. J.* 47, 79-84 (1997).
3) (株)ティー・アイ・シー編集部："半導体セラミックス"，(株)ティー・アイ・シー，京都，1999, pp221-237.

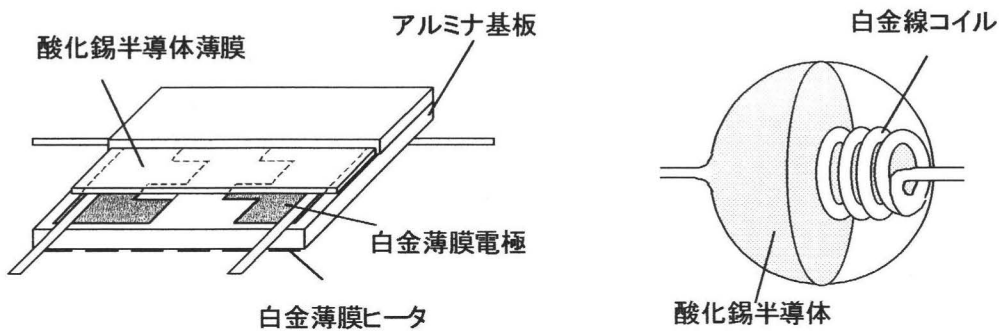


図 1. 3 種類の半導体ガスセンサの構造

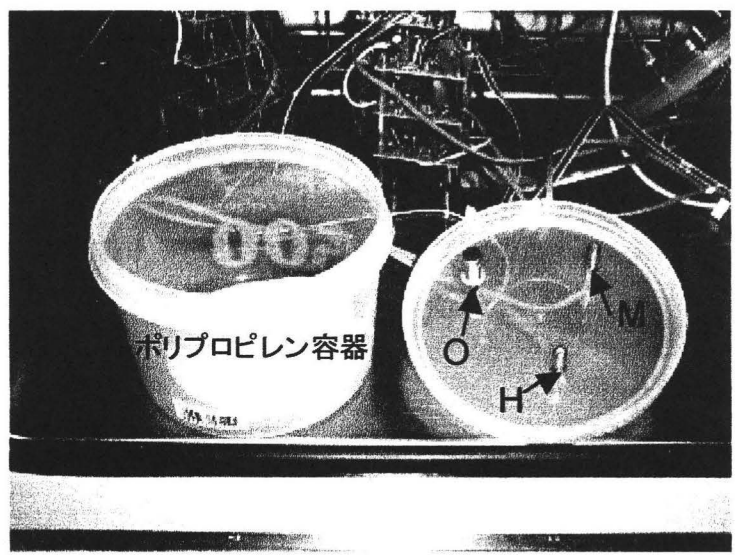


図 2. 実験用容器と各ガスセンサ
O:ニオイセンサ，H:水素センサ，M:メタンセンサ

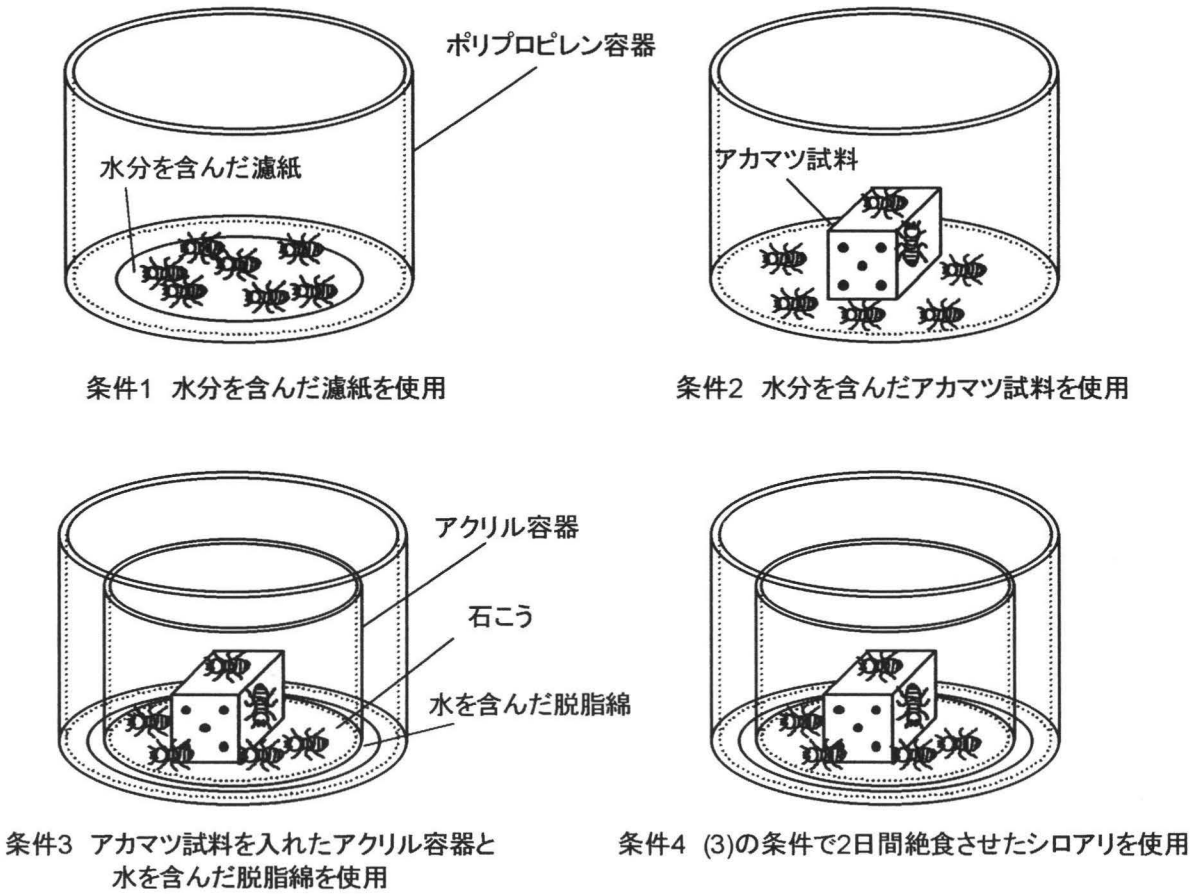


図 3. 半導体ガスセンサを用いたシロアリの代謝ガス検出方法

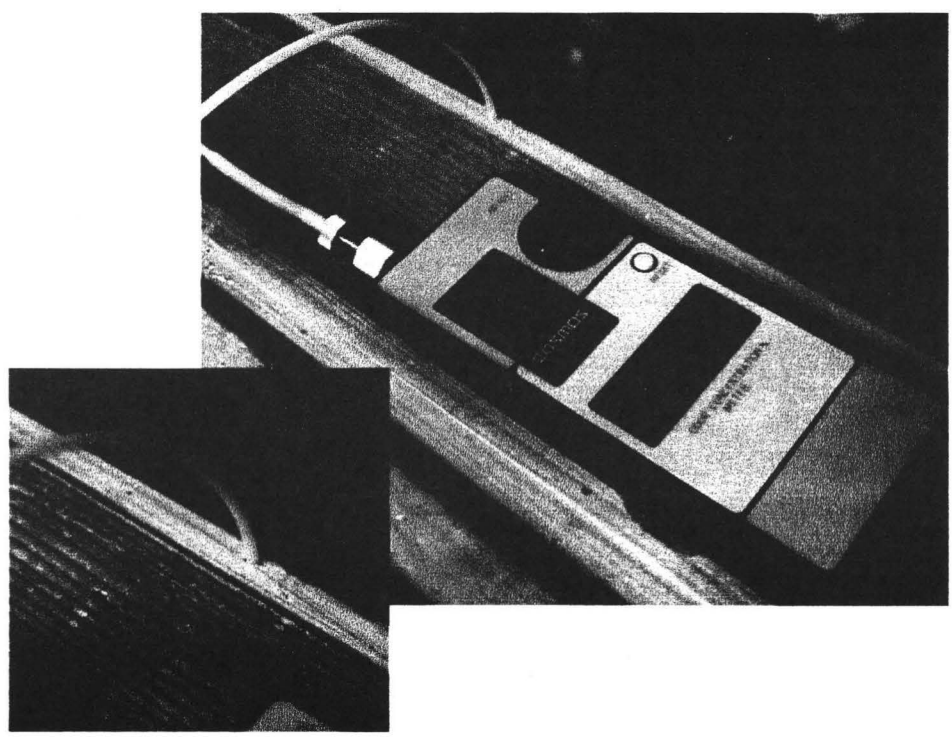


図 4. ポータブル型ニオイセンサの概要

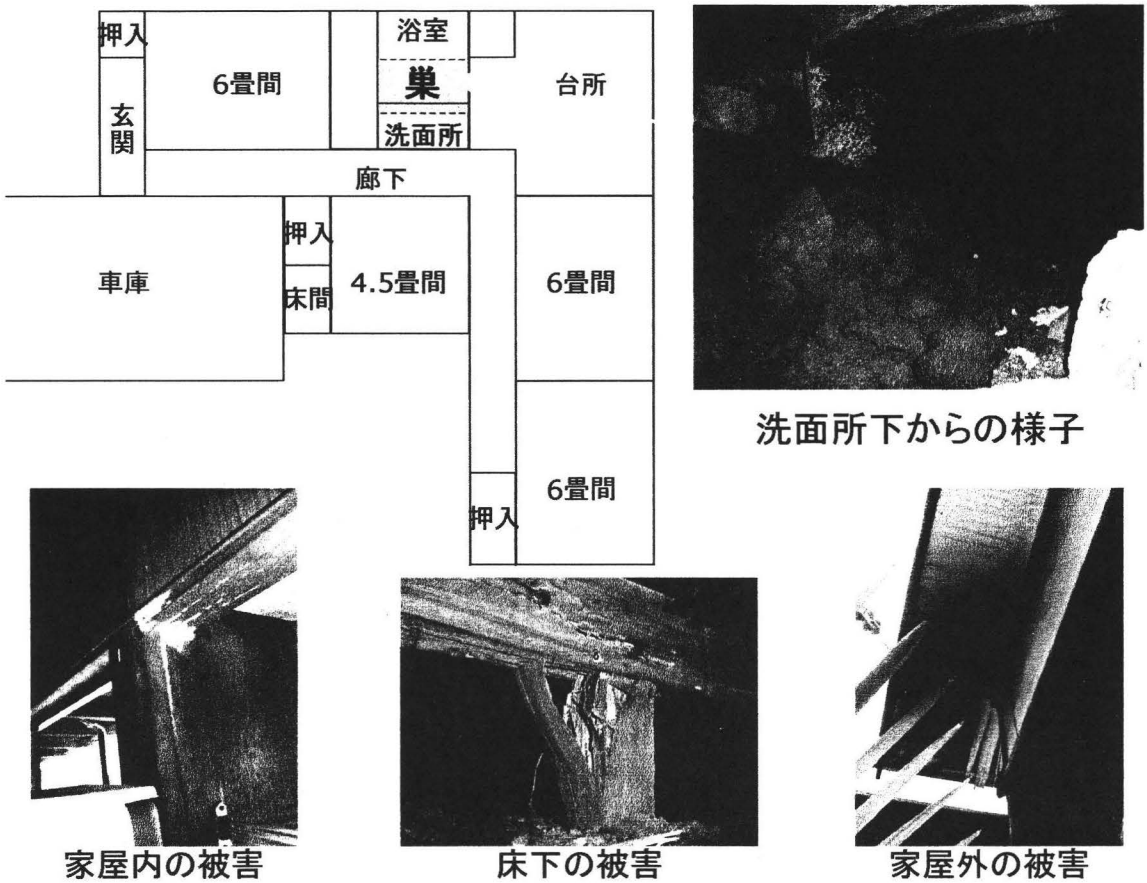


図 5. 試験家屋の概要

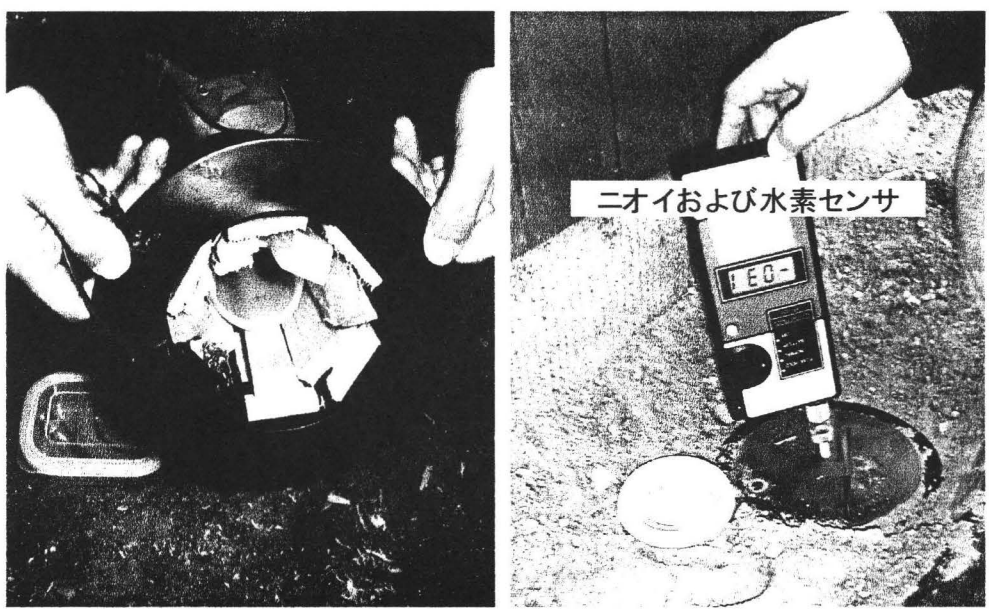


図 6. ベイトステーションの設置とガス検出方法

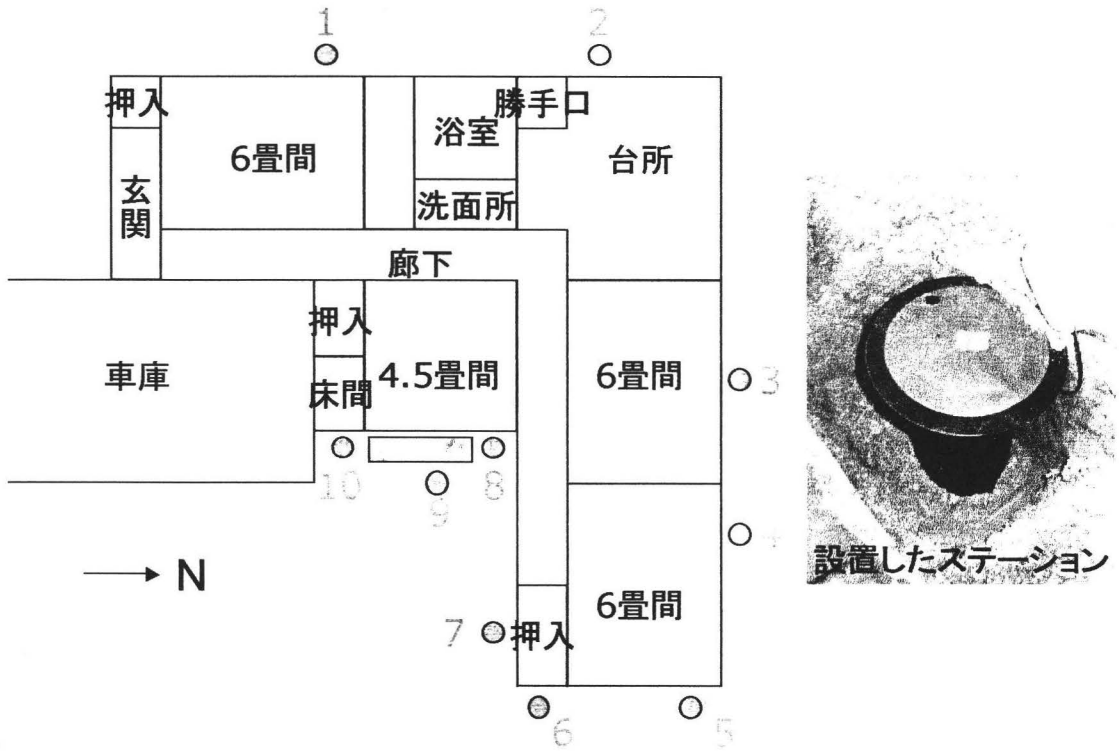
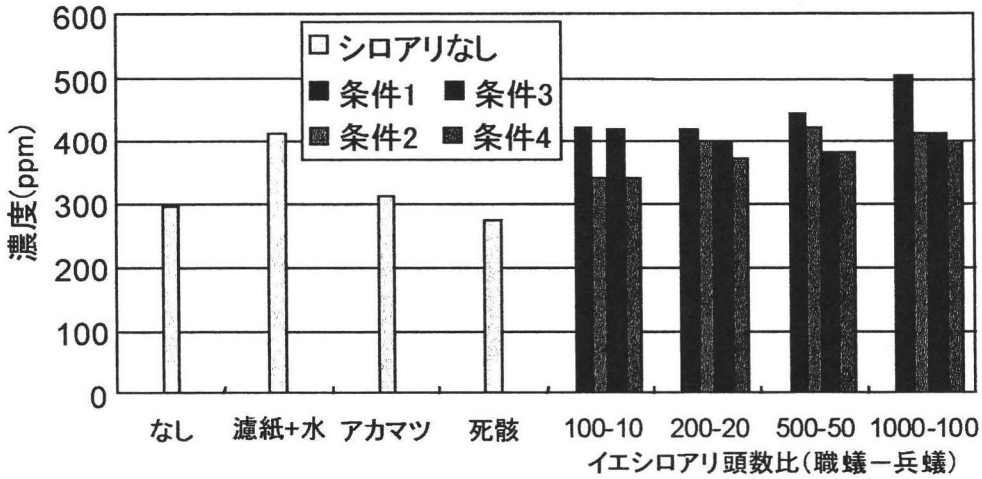
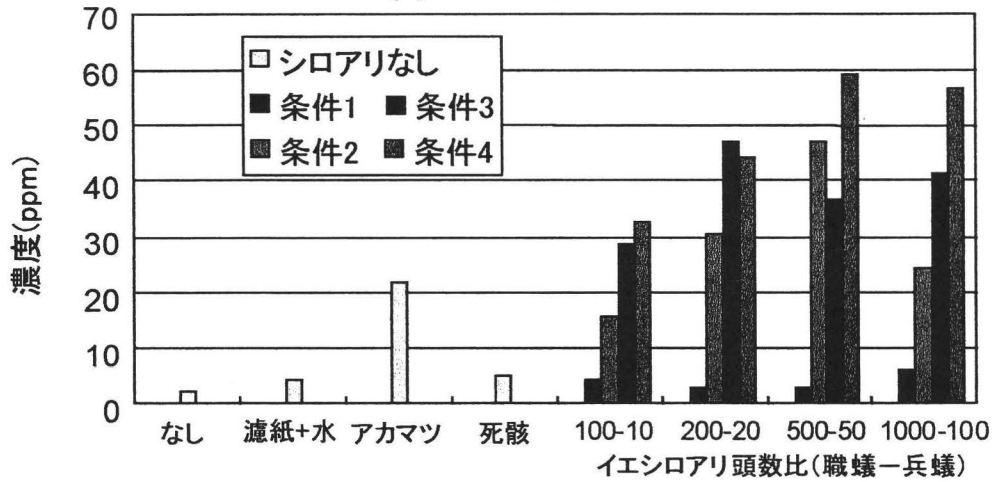


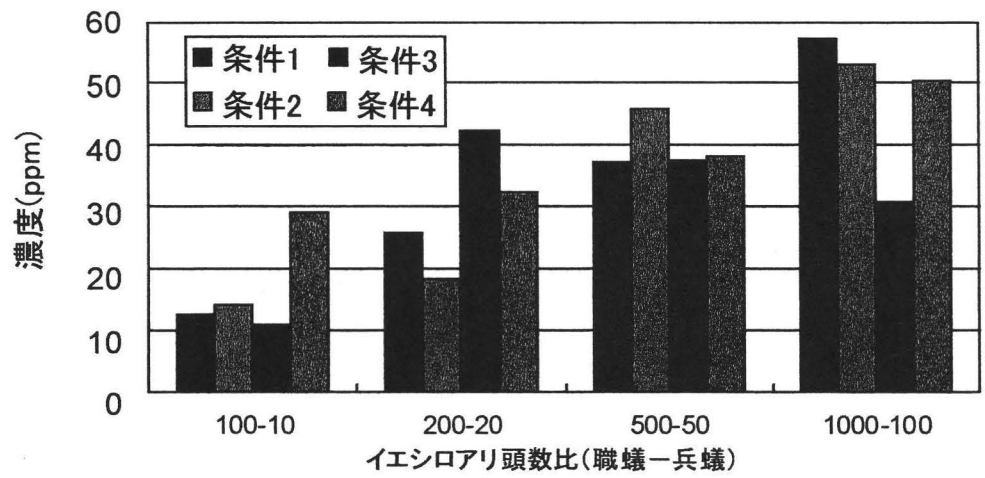
図 7. 家屋周辺のステーション設置場所



(a) メタン選択性センサ

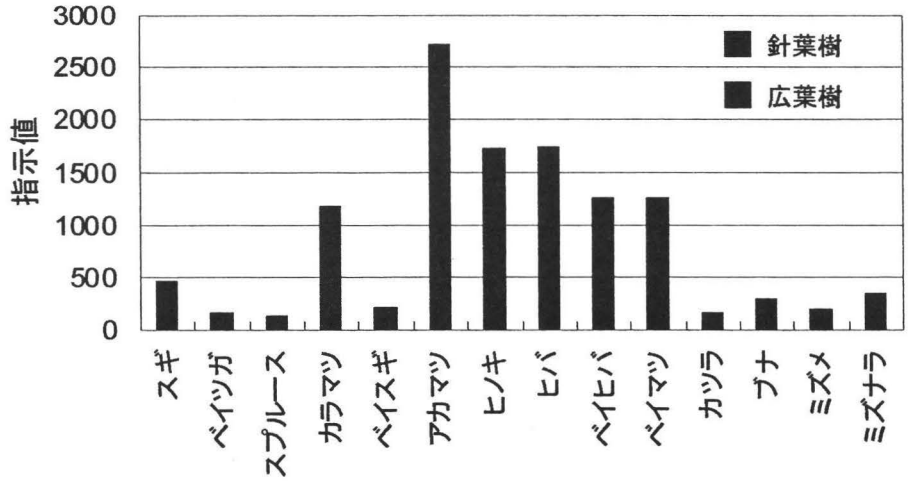


(b) ニオイセンサ

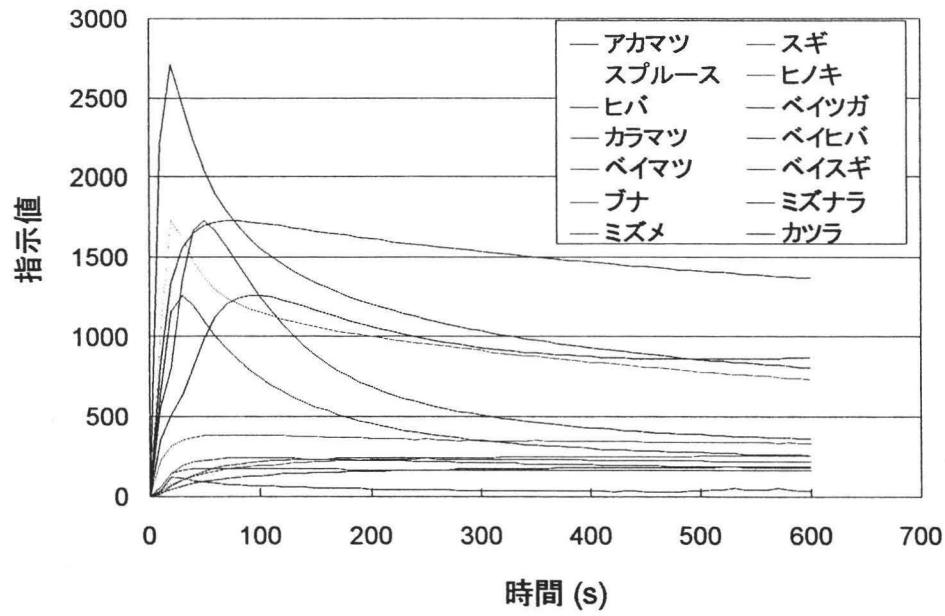


(c) 水素選択性センサ

図 8. 計測開始から 3 時間後の各センサによる検出濃度

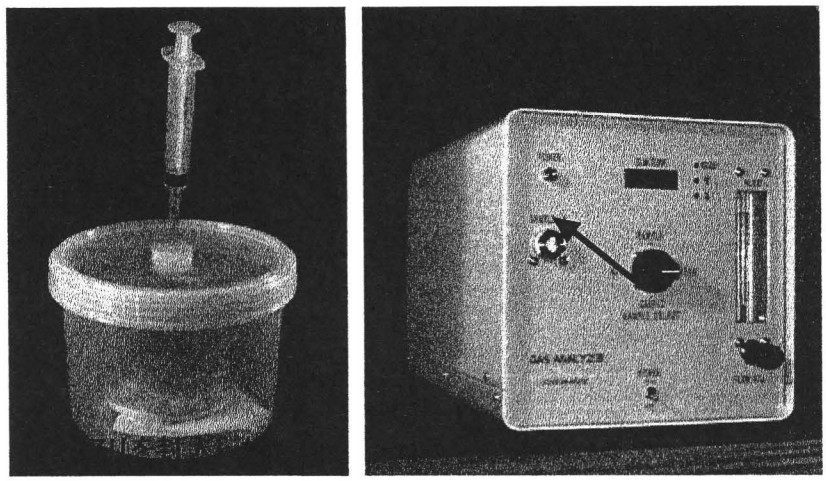


(a) 10分間における各樹種のピークレベル

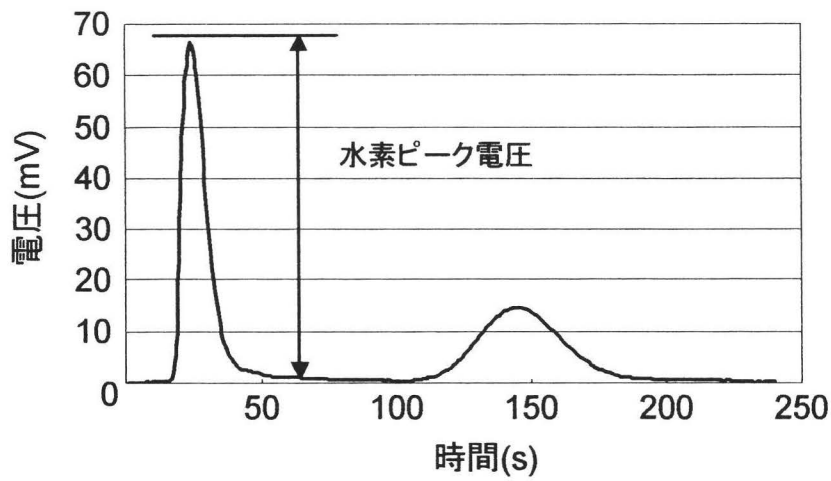


(b) それぞれの樹種のニオイ指示値の時間変化

図 9. 10 分間における各樹種のピークレベルと指示値の時間変化



(a) 実験用容器と簡易ガスクロマトグラフ



(b) 簡易ガスクロマトグラフの検出結果

図 10. 簡易ガスクロマトグラフを用いた水素ガスの検出

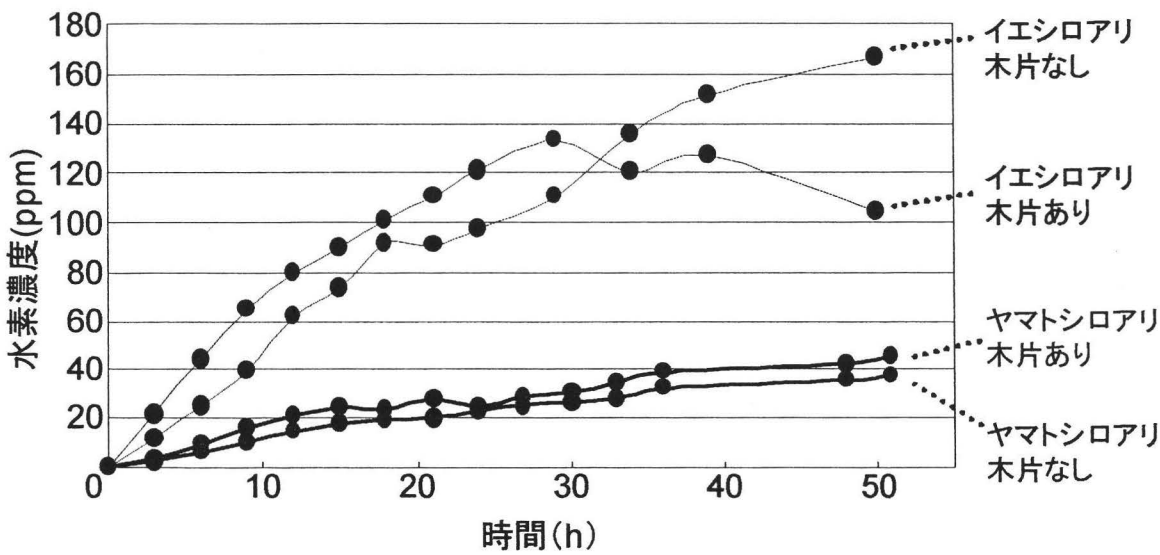


図 11. シロアリの種類と木片の有無による水素濃度の比較

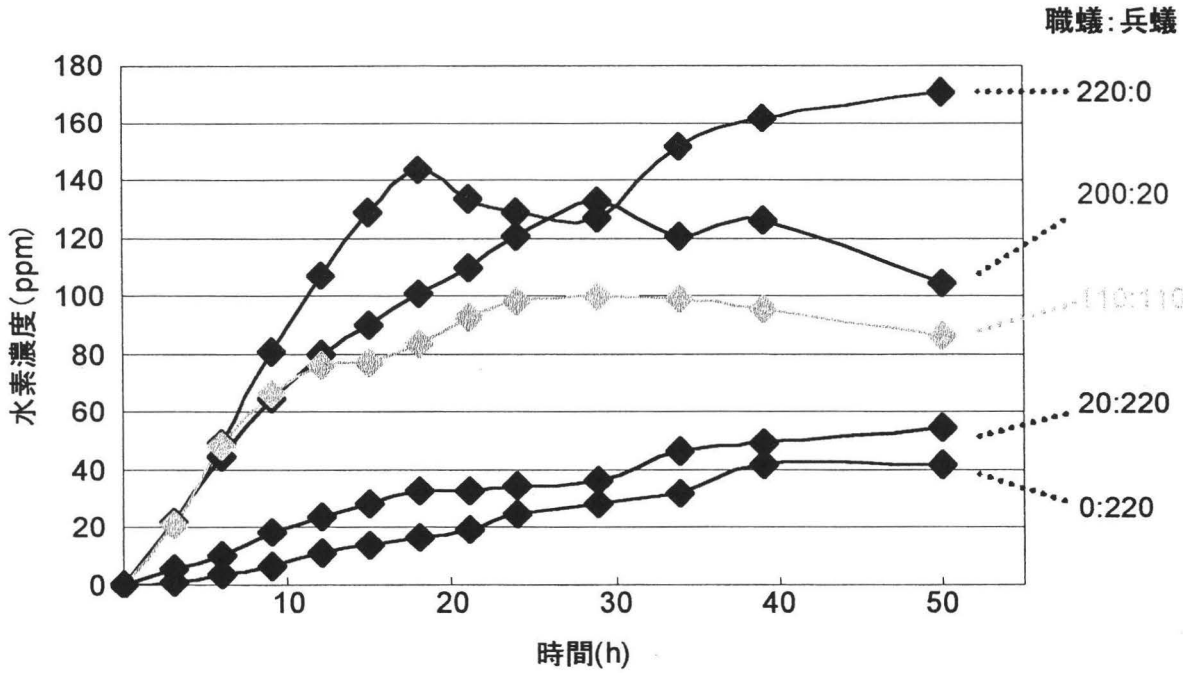


図 12. イエシロアリの頭数比の違いと水素濃度の比較

表 1. ニオイセンサを用いた木造住宅の部材におけるシロアリ被害の検出

検出部位 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ニオイ指示値	23	1400	140	1800	140	40	30	1600	1250	30

表 2. 各ステーション内でのニオイセンサの指示値

ステーション No.	計測日							
	2001. 12.10	2002. 1.21	2.26	4.20	6.8	7.22	8.23	9.20
1	18	55	70	80	108	58	49	31
2	8	84	52	103	133	61	28	26
3	8	59	32	41	142	55	49	51
4	16	53	32	107	157	43	34	41
5	25	103	52	156	312	60	60	62
6	28	46	58	25	86	33	4	14
7	73	77	44	118	87	39	26	27
8	54	58	69	148	162	108	26	24
9	65	80	49	224	177	49	10	26
10	55	128	97	120	319	27	23	28

表 3. 各ステーション内での水素センサの指示値

ステーション No.	計測日							
	2001. 12.10	2002. 1.21	2.26	4.20	6.8	7.22	8.23	9.20
1	-156	-133	-188	1	51	3	-27	-59
2	-154	-136	-150	64	35	71	-39	-34
3	-97	-128	-106	-178	74	127	-83	-78
4	-147	-126	-218	109	300	49	-137	-113
5	-97	-86	-148	111	351	111	-100	-122
6	-68	-88	-150	-135	29	2	-115	-116
7	-36	-67	-154	-69	165	8	-135	-99
8	-25	-81	-178	-66	24	26	-117	-108
9	-60	-92	-209	-60	323	70	-112	-110
10	-63	-78	-169	-69	177	136	-39	-54

表 4. 薬剤投入後の各ステーション内でのニオイ,
水素センサの指示値及び温度計測結果

ステーション No.	2002.10.21(気温 21.2°C)			2002.12.3(気温 12.1°C)		
	ニオイ	水素	温度(°C)	ニオイ	水素	温度(°C)
1	18	-143	19.8	14	-160	9.9
2	17	-39	19.1	14	-109	8.9
3'	36	-14	20.3	43	-34	14.0
4	27	-119	20.9	39	-89	14.7
5	37	-71	20.7	32	-112	13.8
6'	58	142	19.3	17	-23	10.0
7'	15	-52	19.3	5	-72	10.9
8	24	-111	20.6	9	-103	12.3
9'	35	-15	19.9	6	-60	11.0
10	19	-57	21.1	13	-106	11.0

表 5. 巣中心部におけるニオイ, 水素センサによるガス検出結果

	日付	2001. 12.10	2002. 1.21	2.26	4.20	6.8	7.22	8.23	9.20	10.21	12.3
ニオイセンサ	AE 用穴	40	42	28	186	145	36	44	60	75	19
	温度用穴	40	16	33	158		29	21	35	43	15
水素センサ	AE 用穴	48	22	19	88	95	115	103	47	61	58
	温度用穴	33	46	37	81		146	110	93	23	21

群飛
(2002.6.8～6.12)

薬剤投入

1-23 自然エネルギーと燃料電池の複合利用を考慮した住宅用エネルギーシステムの開発

北海道大学大学院工学研究科

教 授　窪田　英樹

はじめに

2000年度における国内の地球温暖化ガス排出量は，二酸化炭素換算で13億3200万トンとなり，1990年度と比較して8%増加した．1997年12月に開催された気候変動枠組条約の第3回締約国会議（COP3）における京都議定書が発効すれば，日本は1990年比6%の削減を義務づけられることになり，2008年から2012年の平均で14%（1億7200万トン）の削減が必要となる．特に，民生部門における2000年度の排出量は，1990年度比で21.3%増加しており，住宅・建物における一層の排出抑制努力が求められている．このような状況の中で，エネルギーの有効利用に資するコージェネレーションシステム（Cogeneration System：CGS）の中でも固体高分子形燃料電池（Polymer Electrolyte Fuel Cell：PEFC，またはProton Exchange Membrane Fuel Cell：PEMFC）の省エネルギー性が注目を集めている．

固体高分子形燃料電池は，低温域での作動，比較的容易な起動・停止，高い総合効率と環境保全性，静音性などの特性を有し，実用化に向けた技術開発が国内外で進められている[1)~7)]．特に，日本ではこれらの技術開発が，国土交通省[8)]，経済産業省[9)]，日本ガス協会[10)]，燃料電池実用化推進協議会（事務局：新エネルギー財団）[11)]などの機関によって推進されている．

住宅用燃料電池の適正な運転形態に関しては，これまで多くの研究例[12)~22)]があり，解析的にはその高い省エネルギー効果が確認されているが，実機の発電・排熱回収特性の詳細な運転実績に基づく導入可能性評価が実施された例は極めて少ないと考えられる．

筆者らの研究室では，これまで自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する一連の研究[23)~25)]を実施してきた．その中で，高断熱・高気密住宅における自然エネルギー利用技術の目標値とその構成を示すとともに，さまざまな組み合わせの実験が行える実大規模の戸建て住宅を北海道大学構内に建設し，年間にわたる運転実績を基にその評価について述べた．また，エネルギー自律型住宅における各種自然エネルギー利用手法の特性とそれらの導入効果に関する数値解析を行い，年間エネルギー収支，他地域への適用可能性について検討するとともに，各種要素技術のペイバックタイム，ライフサイクル分析に基づく総合的な評価を行った．今後，エネルギー自律型住宅の普及に向けては，自然エネルギーの利用基盤を段階的に強化することが不可欠であり，そのために燃料電池によるコージェネレーションシステムに代表される従来型エネルギーの新利用形態と自然エネルギーとの

複合化を展開することが緊急の課題であると考えられる．

本研究は，自然エネルギーと燃料電池を活用した住宅用複合型エネルギーシステムのあり方について検討することを目的としており，実証実験に適用するための固体高分子形燃料電池試験機の性能評価，および自然エネルギーとの複合利用効果に関する検討を実施したものである．まず，発電出力１kW の試験機の仕様と実験装置の概要を示し，定格運転時の発電熱効率と排熱回収熱効率を求める．次いで，部分負荷特性，排熱回収水入口温度の影響，起動および追従性，排ガスに関する環境性について明らかにする．さらに，自然エネルギーと燃料電池の複合利用を考慮した電力・給湯システムの実証実験を行い，その省エネルギー・環境保全・経済性に関する評価を実施する．

１．固体高分子形燃料電池の仕様

今回の実験で用いた燃料電池コージェネレーションシステムの外観，仕様を図-1，表-1 に示す．試験機は E 社製のプロトタイプ１号機で燃料電池の形式は固体高分子形である．燃料電池コージェネレーションユニット本体は，燃料電池スタック以外に燃料改質装置，排熱回収装置，インバータ，系統連系装置，および補機としてポンプ，送風装置が内蔵されたパッケージ型となっている．電気出力は定格運転時にて，交流端で１kW となっており，75%，50%負荷出力での運転も可能である．熱出力は約 60℃の温水として貯湯槽へ供給される．貯湯槽の有効容量は 200 L であり，温度成層型の利用を行う．必要とされるユーティリティは補給水，商用電源（系統連系仕様），原燃料（天然ガス）である．図-2 に燃料電池コージェネレーションシステムの概要を示す．原燃料として使用される天然ガスは起動時に燃料改質装置の加温のため燃焼用として用いられ，燃料改質装置の温度が安定した時点で燃料ガスとして水素に改質され，セルスタックに供給される．水蒸気改質に用いられるプロセス水は，燃料電池スタックで発生する回収水で賄うことができる．スタック，および排ガスからの排熱回収水は貯湯槽下部より燃料電池ユニット内に供給し，熱回収後に，貯湯槽上部へ送水するものとしている．

２．発電・排熱回収特性に関する実験の概要

2.1　実験装置と測定システム

実験装置の系統図を図-3 に，測定項目と測定機器を表-2 に示す．貯湯槽内の水温は屋外に設置した放熱器を用いて制御を行うものとした．燃料電池ユニット内には，ガス流量・温度，発電量（直流発電端・交流インバータ端・交流送電端），排熱回収水循環流量・出入口温度などに関する各種測定機器を内蔵しており，パーソナルコンピュータによって 10 秒間隔で記録した．また，燃料電池ユニットの外部にガス流量計（膜式メータ），電力量計，排熱回収水流量計（羽根車式），熱媒温度センサ（白金測温抵抗体）を設置し，１分間隔にてデータロガによる測定を行った．排水量，排ガス成分については，適宜測定を実施し，各種環境性に関する評価を行った．

2.2　実験条件

実験条件を表-3 に示す．冷機・暖機起動時のそれぞれの一定出力運転（負荷率 50%，75%，100%）時の発電・排熱回収特性の測定，および稼働時における設定出力変更に対する追従特性の評価を行った．排熱回収水入口温度は，約 5～30℃の範囲で設定するものとし，排熱回収水入口温度が発電・排熱回収熱効率に及ぼす影響について検討した．

3．発電・排熱回収特性に関する実験結果と考察

3.1　定格運転

定格運転（冷機起動・排熱回収水入口温度：約 22℃）の代表日として，2001 年 10 月 16 日の発電出力の実績を図-4 に示す．運転時間は 9 時間 12 分であった．起動から発電開始まで原燃料（天然ガス）は，燃料改質装置およびセルスタック加温のため燃焼用として使用される．設定出力に到達して 1 時間経過後以降の直流端発電出力の運転時間平均値は 1475 W であり，直流端発電熱効率（低位発熱量基準）は 42.2%と非常に高い値を示した．また交流インバータ端，交流送電端における発電出力は，それぞれ 1231 W，997 W であり，交流端発電熱効率（低位発熱量基準）は 28.3%であった．図-4 に示されるように，長時間運転を行っても発電熱効率の変化はほとんどなかった．図-5 に同日における排熱回収量および排熱回収水出入口温度の経時変化を示す．設定出力に到達して 1 時間経過後以降の排熱回収水出口温度の運転時間平均値は 61.1℃であり，給湯への適用に十分な温水が得られている．排熱回収量は 1730 W 程度で安定した推移を示した．表-4 に実験期間における定格出力時の運転実績を示す．交流端出力，排熱回収水出口温度の平均値はそれぞれ 999 W，61.2℃であり，ほぼ設計値通りの出力が得られている．また交流端出力の標準偏差は 3.7 と極めて小さく，安定した性能が示された．低位発熱量基準の直流端発電熱効率，排熱回収熱効率はそれぞれ 42.5%，49.2%と極めて高い値を示した．また，交流端における総合熱効率は 77.9%に達した．

3.2　部分負荷特性

発電・排熱回収熱効率に及ぼす負荷率の影響を図-6 に示す．負荷率 50%，75%における交流端出力は設定値より若干大きい値を示しており，それぞれ 538 W，779 W となった．セルスタックの効率は低負荷時の方が優れており，直流端発電熱効率は負荷率が小さい程上昇する結果となった．一方，出力が大きくなる程，燃料改質装置の効率は上昇し，補機使用電力の占める割合が小さくなるため，結果として各負荷率において交流端発電熱効率および排熱回収熱効率で大きな差異はなかった．

3.3　排熱回収水入口温度の影響

定格運転時における発電・排熱回収熱効率に及ぼす排熱回収水入口温度（5～30℃）の影響を図-7 に示す．排熱回収熱効率は排熱回収水入口温度が低い程若干高い値を示しており，10℃と 30℃では 2%程度の違いが見られた．一方，発電熱効率は排熱回収水入口温度に関わらずほぼ一定であった．

3.4　起動および設定出力に対する追従特性

冷機，暖機状態における起動特性を図-8 に示す．起動に要する時間は，燃料改質装置の温

度条件により異なる．冷機起動（運転停止後約 16 時間放置）では約 60 分，暖機起動（運転停止後約 1 分放置）では約 32 分，さらに 1 kW 到達まで約 28 分となった．表-5 に設定出力変更に対する追従特性を示す．出力変動への対応時間は出力を高負荷率に変更する場合に大きくなり，負荷率 50%から 100%の時最大で約 10 分となった．一方，100%から 50%への変更時には 2 分程度という結果となった．

3.5　各種環境性の測定

定格出力（1 kW）時における排ガスに関する測定結果は，窒素酸化物（NO_x），二酸化炭素，酸素濃度が，それぞれ 4.8 ppm，19.1%，4.2%であった．排ガス中の NO_x は極めて低濃度であり，環境性に優れたシステムと言える．

4．太陽エネルギー・燃料電池複合利用システムの解析

4.1　検討対象と計算条件

3．の実測値に基づく熱効率，部分負荷特性を与え，太陽エネルギー・燃料電池複合利用システムの解析を行った．図-9 に自然エネルギー・燃料電池複合利用システムの概念図を示す．太陽光発電，およびソーラーコレクタによってできるだけ自然エネルギー依存率を高め，補助システムとして燃料電池を導入する．このようなシステムの適正な導入規模に関しては，複数世帯の住宅群を擁するコミュニティなどを視野に含め検討する必要があると考えられるが，本解析では北海道大学構内の実験住宅への適用を想定している（計算条件：エネルギー種別熱量換算値：電力 9.887 [MJ/kWh] [26]，天然ガス 41.617 [MJ/m3] [27]，二酸化炭素排出係数：電力 0.131 [kg-C/kWh][26]，天然ガス 0.644 [kg-C/m3] [27]，コスト：電力 22.2 [円/kWh] [28]，天然ガス 155.4 [円/m3] [29]）．従来方式は商用電源，およびガスボイラ（熱効率：0.75[30]，電力消費量 200 W）とした．深夜（23 時～5 時）の燃料電池の運転を避け，検討対象とした運転方式は表-6 に示す 24 種類である．運転方式は，電主熱従，熱主電従のいずれかを考え，逆潮する場合には，電力負荷に近い負荷率で運転し，電力負荷が最低負荷率 50%を下回った場合に燃料電池の運転を停止させる（逆潮（小）），電力負荷が最低負荷率を下回った場合においても負荷率 50%で運転を継続させる（逆潮（中）），常に逆潮するように負荷率を設定する（逆潮（大））の 3 パターンを考慮した．

太陽エネルギー利用設備としては，既報 [23] における単結晶シリコン型太陽電池（24 m^2），多結晶シリコン型太陽電池（14.4 m^2），ソーラーコレクタ（8 m^2）を取り上げた．

なお，解析に用いた電力・給湯需要量には，それぞれ空気調和・衛生工学会空気調和設備委員会の予測プログラム [31]により算出された 4 人家族の電力需要，建築・環境省エネルギー機構 [32]による給湯負荷テストモデル（L モード）を適用している．

4.2　計算結果と考察

太陽光発電と燃料電池（電主熱従）の複合利用（RUN5～12）では，従来方式に対する運用時における年間一次エネルギー，CO2 削減率が 43～66%，35～57%の範囲となった（表-6）．コストについても 22～58%と非常に高い値が得られている．変換効率の高い単結晶シリコン型太陽電池を用いた場合（RUN5～8）の削減率が，多結晶シリコン型（RUN9～12）を大きく上回

っているが，製造段階のエネルギー消費量，CO_2排出量，コストが大きいため，ペイバックタイムは多結晶シリコン型の方が小さくなる．燃料電池の運転を熱主電従とした場合（RUN21～24）との結果の相違は，それほど見られなかった．一方，ソーラーコレクタと燃料電池の複合利用（RUN13～20）では，一次エネルギー，CO2，コストの削減率は，それぞれ26～28%，22～24%，11～24%という結果となった．

5．太陽エネルギー・燃料電池複合利用システムの実験概要

各種運転条件における一次エネルギー削減率の解析結果を参考に，3 種類の条件（燃料電池の逆潮なし）で実規模実験を行った．図-10，表-7 にそれぞれ実験装置系統図，実験条件と実験日程を示す．実験には，多結晶シリコン型太陽電池 14.4 ㎡（最大出力：1.5 kW），平板型集熱器（8 ㎡），固体高分子形燃料電池（交流端最大出力：1 kW）を使用した．貯湯槽はソーラーコレクタ（300 L），燃料電池用（200 L）に独立して設置している．４．における電力需要を模擬的に再現するための電力負荷装置は，0.1～6 kW（0.1 kW 毎）の範囲を最小 15 分毎に設定することが可能であるが，今回は 1 時間毎に変動を与えるものとした．給湯に関しては，テストモデルに従い，電磁弁の開閉を制御し，浴室で出湯を行った．出湯温度が設定値（42℃）以上の場合は等熱量換算水量を出湯し，設定値に達していない場合には，所要水量と温度から追焚熱量を求めるものとした．実験は，表-7 に示す各種導入設備の運転スケジュールで実施した．

6．太陽光発電と燃料電池の複合利用

図-11 に実験 1 における時刻別電力収支の内訳を示す．電力量の正側に住宅内で消費された太陽光発電，燃料電池の交流端出力，商用電力を示し，太陽光発電の逆潮電力は負側とした．実験期間の天候は良好であり，日中の電力需要は太陽光発電で十分賄える結果となった．2 日間合計の太陽光発電量は 53.5 MJ であり，このうち逆潮電力量は 32.6 MJ を占める．17 時以降は，燃料電池から電力を供給し，発電量は 33.8 MJ であった．逆潮を含めない場合の太陽光発電（Photovoltaic：PV）依存率，CGS 依存率は，それぞれ 27.9%，45.4%であった．逆潮を含む場合の PV 依存率は 71.7%に達する．

図-12 に時刻別熱収支の内訳を示す．ここで正側の蓄熱量は，水道水温度基準の積算値であり，負側は給湯に利用した排熱量，および補助加熱量（追焚熱量）を示している．燃料電池の運転時間が短いため，全ての出湯時間帯において補助加熱が必要となった．給湯に関する CGS 依存率は 35.5%であった．

図-13 に逆潮分を含まないエネルギー種別利用量（二次エネルギー換算値）の内訳を示す．全体に占める太陽光発電の割合は 12.6%であった．一方，燃料電池に関しては，電力・熱について，それぞれ 20.5%，19.4%となった．

図-14 に一次エネルギー消費量の比較を示す．従来方式との比較は 4 段階で行った．右端が実際の一次エネルギー消費量であり，削減率は 46.6%となった．また，燃料電池起動時の

エネルギー消費，および待機時電力消費については，今後の改善が必要と考えられることから，実際の消費量からこれらを差し引いた場合についても検討した．二つの要因を除いた場合には削減率は64.4%となった．

7．ソーラーコレクタと燃料電池の複合利用

図-15に実験2における時刻別電力収支の内訳を示す．燃料電池の運転時間は19時から23時までの4時間であり，発電量は15.1 MJであった．CGS依存率は，19.2%という結果となった．商用電力量は64.0 MJであり，このうち太陽熱集熱運転用の搬送ポンプ電力消費量は6.5 MJであった．

図-16 に時刻別熱収支の内訳を示す．午後からの給湯需要に対しては，ソーラーコレクタの出湯でほぼ賄うことができたが，21時の給湯需要に対して補助加熱が必要となった．午前の給湯需要に対しては，燃料電池貯湯槽からの出湯で完全に賄うことができた．また，給湯に関するソーラーコレクタ（Solar Collector：SC）・CGS依存率は，それぞれ75.5%，14.6%という結果となった．

図-17に逆潮分を含まないエネルギー種別利用量（二次エネルギー換算値）の内訳を示す．全体に占めるソーラーコレクタの割合は 42.8%であった．燃料電池に関しては，電力・熱について，それぞれ8.3%，8.3%となった．

図-18に一次エネルギー消費量の比較を示す．右端の実際の一次エネルギー削減率は17.3%，起動・待機時エネルギー消費を除いた場合には37.2%であった．

8．太陽光発電，ソーラーコレクタ，燃料電池の複合利用

図-19に実験3における時刻別電力収支の内訳を示す．太陽光発電量は35.3 MJ，このうち逆潮電力量は12.0 MJを占める．PV依存率は，逆潮を含まない場合29.2%，逆潮を含む場合44.8%であった．

図-20に逆潮分を含まないエネルギー種別利用量（二次エネルギー換算値）の内訳を示す．全体に占める太陽光発電，ソーラーコレクタの割合は，それぞれ12.8%，42.8%であった．

図-21に一次エネルギー消費量の比較を示す．右端の実際の一次エネルギー削減率は44.4%，起動・待機時エネルギー消費を除いた場合には64.2%という結果となった．

以上のように，今回導入した試験機の高い省エネルギー性と環境保全性が確認された．燃料電池は，家電機器メーカ，自動車メーカを中心として技術開発が積極的に推進されており，さらなる性能向上が期待できるが，今回の実験で明らかになった特性から，住宅用エネルギーシステムとして使用する際の今後の課題を以下に示す．

1)　交流端発電熱効率の向上

スタック効率，燃料改質効率の向上に加え，補機・インバータの専用設計により，交流端発電熱効率のさらなる向上が求められる．

2)　運転特性の向上

低負荷での効率低下がないことは電力需要の小さい時間帯が長い住宅用システムとして優れた特性である．一方，起動，および負荷追従に時間を要しており，今後の改善が期待されるとともに，運転方法の最適化について検討する必要がある．

3)　熱利用に関する検討

本システムは，排熱を給湯利用する仕様にて設計されているが，暖房・融雪などにも利用可能なシステムとすることにより，稼働率向上をはかることが望ましい．

4)　耐久性の検証

住宅に適用するには長期の耐久性を有することが求められており，検証を進める必要がある．

まとめ

発電出力1kWの住宅用固体高分子形燃料電池の発電特性と排熱回収特性に関する実験を行い，以下の知見が得られた．

1)　定格出力（1 kW）時の直流端発電熱効率，排熱回収熱効率は，それぞれ42.5%，49.2%（排熱回収水入口温度：約22℃）と極めて高い値を示した．また，総合熱効率（交流端）は77.9%に達した．

2)　電力負荷率50%，75%，100%で部分負荷特性に関する実験を行った結果，負荷率による総合熱効率の相違はほとんど見られなかった．

3)　排熱回収水入口温度を5℃～35℃の範囲で変化させて熱効率の測定を行った．排熱回収熱効率は，排熱回収水入口温度が低いほど若干高い値を示した．一方，発電熱効率については，ほぼ一定の推移を示した．

4)　定格出力（1 kW）に到達するまでに要する時間は，断機起動，冷機起動で，それぞれ約54分，約83分であった．また，設定出力変更に対する追従特性に関しては，負荷率50%から100%への変更時が最大で約10分となった．

5)　定格出力時の排ガス分析を実施した結果，NO_xについては4.8 ppmと極めて低濃度であった．

6)　固体高分子形燃料電池の試験機の熱効率，部分負荷特性の実測値を用い，太陽エネルギー・燃料電池複合利用システムの適正な運転方法について検討した．太陽光発電と燃料電池を併用した場合の年間一次エネルギー削減率の計算値は，43～66%となり，極めて高い値が得られた．一方，ソーラーコレクタについては27%前後であった．

7)　多結晶シリコン型太陽電池，またはソーラーコレクタとの複合システムのペイバックタイムは，エネルギー・CO_2ともに2年以内となったが，コストについては現状では30年を超えており，各種助成制度の適用が必要となると考えられる．

8)　各種運転条件における省エネルギー・環境保全・経済性の解析結果に基づき3種類の実規模実験を行った．太陽光発電・燃料電池の複合利用の実験（実験1）では，電力に関するPV・CGS依存率は，それぞれ27.9%，45.4%という結果となった．また，給湯に関するCGS依存率は35.5%であった．従来方式に対する一次エネルギー削減率は64.4%（起動・待機時の

エネルギー消費を除いた場合）に達した．

9)　ソーラーコレクタと燃料電池の複合利用の実験（実験 2）では，電力に関する CGS 依存率は 19.2%という結果となった．また，給湯に関する SC・CGS 依存率は，それぞれ 75.5%，14.6%であった．従来方式に対する一次エネルギー削減率は 37.2%（起動・待機時のエネルギー消費を除く）であった．

10)　太陽光発電，ソーラーコレクタ，および燃料電池を複合的に利用した場合の実験（実験 3）では，電力に関する PV・CGS 依存率は，それぞれ 29.2%，19.2%という結果となった．また，給湯に関する SC・CGS 依存率は，それぞれ 75.5%，14.6%であった．従来方式に対する一次エネルギー削減率は 64.2%（起動・待機時のエネルギー消費を除く）であった．

終わりに，本研究の遂行にあたり，北海道ガス株式会社，荏原バラード株式会社，および株式会社荏原製作所の関係諸氏に多大なご協力をいただきました．ここに謝意を表します．

参考文献
1) 笠原晃明：燃料電池の現状と将来，DNG Report，23(2000-4)，pp.5～8
2) 東京ガス：都市ガス業界と燃料電池開発，電力と技術，61(2000)，pp.53～57
3) 大阪ガス：家庭用固体高分子型燃料電池コージェネレーションシステムの開発，環境研究，119(2000-9)，pp.41～46
4) 藤生 昭・山本聡史・槇原勝行・畑山龍次・野口博司：1 KW 固体高分子形燃料電池電源，SANYO Technical Review，31-2(1999-11)，pp.107～113
5) 伊藤信久：家庭用小型コージェネシステム，クリーンエネルギー(2000-6)，pp.29～31
6) http://www.e-coop.org
7) http://www.hpower.com
8) 国土交通省：国土交通省重点施策(2002-8)
9) 経済産業省：経済構造改革を巡る諸課題と経済産業政策(2002-5)
10) 伊中秀樹：固体高分子形燃料電池による家庭用コージェネレーション，エネルギー・資源，21-5(2000-9)，pp.47～52
11) 燃料電池実用化推進協議会：OHM，88-5(2001-5)，p.13
12) 平田 賢：21 世紀のエネルギー供給―天然ガスパイプラインと水素供給インフラの展望―，天然ガス高度利用研究会講演資料(2000-3)
13) 太田健一郎：燃料電池の今後，エネルギー・資源，21-5(2000-9)，pp.17～22
14) 市川 勝：新触媒で天然ガスを水素と化学原料に変換，DNG Report，23(2000-4)，pp.1～4
15) 小樋英明・斯波 敬・伊東弘一：太陽電池－PEFC を用いた家庭用コージェネレーションシステムの経済性に関する検討（第１報）蓄電池の経済性，エネルギー・資源学会第２０回研究発表会講演論文集(2001-6)，pp.93～96
16) 杉原英治・河本 純・高尾 良・辻毅一郎：住宅用燃料電池を含む都市エネルギーシステムのトレードオフ分析，エネルギー・資源学会第２０回研究発表会講演論文集(2001-6)，pp.171～176
17) 若園芳嗣・加藤丈佳・横水康伸・岡本達希・鈴置保雄：給湯負荷の変動を考慮した住宅用マイクロコジェネの最適形態，エネルギー・資源学会第１９回研究発表会講演論文集(2000-6)，pp.75～80
18) 江尻健吾・下田吉之・中津浩平・水野 稔：民生用熱源システムの総合評価手法（６）住宅用燃料電池システムの評価例，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2000-9)，pp.993～996
19) 西井洋介・鉾井修一：住宅への燃料電池導入の可能性の検討―コスト・環境負荷の評価―，日本建築学会大会学術講演梗概集(2000-9)，pp.1067～1068
20) 石橋良太郎：田中英紀・奥宮正哉：住宅用コージェネレーションシステムの最適計画に関する研究（第２報）住宅の熱電比による貯湯槽容量とエネルギー性能に関する検討，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9)，pp.229～232
21) 樋口祥明・高橋幹雄・中村 慎・高橋紀行：住宅用コージェネレーションの省エネルギ

ーに関する研究（第１報）帯水層を利用した季間蓄熱による省エネルギー効果の解析評価，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9)，pp. 225～228
22)　小原伸哉・工藤一彦：燃料電池および灯油エンジンを利用した住宅用コージェネレーションシステムの最適運転計画，空気調和・衛生工学会論文集，85(2002-4)，pp. 59～67
23)　濱田靖弘・落藤　澄ら：自然エネルギーをハイブリッドに活用したエネルギー自律型住宅に関する研究（第１～４報），空気調和・衛生工学会論文集(1999～2002)
24)　Y. Hamada, M. Nakamura, K. Ochifuji, K. Nagano and S. Yokoyama : Field performance of a Japanese low energy home relying on renewable energy, Energy and Buildings, 33-8(Oct., 2001), pp. 805～814
25)　Y. Hamada, M. Nakamura, K. Ochifuji, S. Yokoyama and K. Nagano : Development of a database of low energy homes around the world and analyses of their trends, Renewable Energy, 28-2(Feb., 2003), pp. 321～328
26)　北海道電力（株）企画部：ほくでん環境行動レポート（2001-6），〈http://www.hepco.co.jp/kankyou/repo2001.html〉
27)　空気調和・衛生工学会：都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価（1994-6)，丸善
28)　北海道電力（株）：契約種別電力料金，従量電灯Ｂ（2002-4～6 適用）
29)　北海道ガス（株）：家庭用温水式暖房，給湯契約料金「ゆーぬっく 24」(2001-10～2002-3 適用)
30)　空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧，第 12 版 2（1995)，pp. 239～266
31)　空気調和設備委員会　住宅の省エネルギー計算法委員会：住宅のエネルギー計算用設定条件のモデル化（1996-10)，空気調和・衛生工学会
32)　省エネルギーハンドブック編集委員会：省エネルギーハンドブック’98（1998-4)，住宅・建築省エネルギー機構

研究発表

1)　後藤隆一郎・中島祐一・新庄博之・村瀬光則・濱田靖弘・中村真人・伊藤　健・小杉智紀・羽田　豊・横山真太郎・窪田英樹・落藤　澄：燃料電池による住宅用エネルギーシステムの導入可能性評価（第１報）発電・排熱回収特性に関する実験，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9)，pp. 1353～1356

2)　羽田　豊・濱田靖弘・中村真人・小杉智紀・伊藤　健・横山真太郎・窪田英樹・落藤　澄・中島祐一・新庄博之・村瀬光則・後藤隆一郎：燃料電池による住宅用エネルギーシステムの導入可能性評価（第２報）電力・給湯システムに関する実験―，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集(2002-9)，pp. 1357～1360

3)　伊藤　健・濱田靖弘・中村真人・小杉智紀・羽田　豊・横山真太郎・窪田英樹・落藤　澄・中島祐一・山田隆一・村瀬光則・後藤隆一郎：燃料電池活用型戸建て住宅用コージェネレーションシステムの実験と評価，北海道大学衛生工学会第１０回衛生工学シンポジウム論文集(2002-11)，pp. 65～68

4)　小杉智紀・濱田靖弘・中村真人・伊藤　健・羽田　豊・横山真太郎・窪田英樹・落藤　澄・中島祐一・山田隆一・村瀬光則・後藤隆一郎：自然エネルギーと燃料電池の複合利用を考慮した住宅用エネルギーシステムの実験と評価，北海道大学衛生工学会第１０回衛生工学シンポジウム論文集(2002-11)，pp. 69～72

表-1　燃料電池コージェネレーションシステムの仕様

スタック形式	固体高分子形
スタック仕様	加湿装置一体型（膜加湿方式）
ユニット基本寸法	0.9 m (W) ×0.46 m (D) ×1.1 m (H)
原燃料（天然ガス）	最大 10 NL/min (1.47～1.63 kPa)
原燃料供給方式	外部改質方式
補給水	最大 10 NL/min (100～300 kPa)
電気方式	単相三線式 (AC200/100 V, 50/60 Hz)
最大出力	1 kW（交流端）
排熱回収水温度	出口温度 60℃
排熱回収水循環流量	最大 2 L/min
貯湯槽有効容積	200 L

表-2　発電・排熱回収特性に関する測定項目と測定機器

測定項目	測定機器
温度	白金測温抵抗体
温水流量	羽根車式流量計
原燃料消費量	膜式メータ
排水量	メスシリンダ
排ガス (CO)	燃焼器具排ガス測定装置
排ガス (NO_x)	化学発光式窒素酸化物濃度計

表-3　発電・排熱回収特性に関する実験条件

運転方式		負荷率 [%]	排熱回収水設定温度[℃]
一定出力運転	冷機起動	50	15
		75	20
		100	5
			20
			30
	暖機起動	50 → 0 → 50	20
		50 → 0 → 100	20
		75 → 0 → 75	15
		100 → 0 → 50	15
		100 → 0 → 100	10
		100 → 0 → 100	30
設定出力変更		50 → 75 → 100	20
		50 → 100 → 50	20
		100 → 75 → 50	25

表-4　定格出力時の運転実績

運転実績		平均	最大	最小	標準偏差
原燃料消費量	[NL/h]	300.7	302.8	296.7	2.0
直流端出力	[W]	1477.1	1487.2	1462.0	7.6
交流端出力	[W]	998.5	1004.3	989.5	3.7
排熱回収熱出力	[W]	1709.7	1770.5	1590.7	55.1
排熱回収水入口温度	[℃]	22.4	22.7	21.6	0.3
排熱回収水出口温度	[℃]	61.2	62.2	60.6	0.3
排熱回収水出入口温度差	[℃]	38.8	40.0	37.9	0.5
循環流量	[L/min]	0.6	0.7	0.6	0.0
直流端発電熱効率	[%]	42.5	43.0	42.0	0.2
交流端発電熱効率	[%]	28.7	29.0	28.4	0.2
排熱回収熱効率	[%]	49.2	51.5	46.4	1.5
総合熱効率（交流端）	[%]	77.9	80.5	75.4	1.6

注　設定出力到達直後1時間のデータは除外しており，平均値はそれ以降の1時間の平均値を示す．

表-5　設定出力変更に対する追従特性

出力	負荷率［%］		出力変更対応時間
	変更前	変更後	
減少過程	100	75	1分30秒
	75	50	1分10秒
	100	50	2分00秒
増加過程	50	75	3分15秒
	75	100	4分40秒
	50	100	9分30秒

表-6　計算結果

	燃料電池		太陽エネルギー	運用時年間削減率[%]			ペイバックタイム[年]		
	方式	逆潮	利用設備	一次エネルギー	CO_2	コスト	エネルギー	CO_2	コスト
RUN1	電主熱従	逆潮なし	なし	22.18	15.88	17.49	0.50	0.97	26.64
RUN2		逆潮(小)		23.39	16.66	10.65	0.48	0.92	47.03
RUN3		逆潮(中)		22.82	15.24	-0.56	0.49	0.97	−
RUN4		逆潮(大)		22.60	14.69	-3.29	0.49	1.04	−
RUN5		逆潮なし	単結晶シリコン型 (24 m²)	61.99	53.03	57.73	4.39	5.82	39.80
RUN6		逆潮(小)		64.30	55.61	54.36	4.23	5.55	42.27
RUN7		逆潮(中)		65.24	56.30	47.04	4.17	5.48	48.85
RUN8		逆潮(大)		65.49	56.27	42.74	4.16	5.48	53.75
RUN9		逆潮なし	多結晶シリコン型 (144 m²)	43.51	35.88	41.46	1.16	1.72	32.96
RUN10		逆潮(小)		45.74	38.27	37.33	1.10	1.62	36.60
RUN11		逆潮(中)		46.50	38.40	25.78	1.08	1.61	53.01
RUN12		逆潮(大)		46.43	37.96	21.47	1.08	1.63	63.64
RUN13		逆潮なし	ソーラーコレクタ (8 m²)	27.25	23.43	22.13	1.09	1.86	42.88
RUN14		逆潮(小)		27.73	23.78	19.48	1.07	1.83	48.71
RUN15		逆潮(中)		27.55	23.27	13.51	1.08	1.87	70.27
RUN16		逆潮(大)		27.29	22.76	11.50	1.09	1.91	82.53
RUN17	熱主電従	逆潮なし	ソーラーコレクタ (8 m²)	27.25	23.61	23.67	1.09	1.85	40.09
RUN18		逆潮(小)		27.58	23.96	23.32	1.08	1.82	40.70
RUN19		逆潮(中)		26.83	22.80	16.96	1.11	1.91	55.95
RUN20		逆潮(大)		26.67	22.49	15.64	1.12	1.94	60.68
RUN21		逆潮なし	多結晶シリコン型 (144 m²)	44.37	37.05	41.74	1.13	1.67	32.73
RUN22		逆潮(小)		46.59	39.43	37.68	1.08	1.57	36.26
RUN23		逆潮(中)		47.23	39.87	32.12	1.07	1.55	42.55
RUN24		逆潮(大)		47.31	39.60	27.51	1.06	1.56	49.66

表-7　実験条件

実験番号	日程	稼動設備	運転スケジュール																							
			0							6							12						18						24
1	2002年4月26～27日	太陽光発電								※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	
		燃料電池																					100	100	100	75	100	75	
2	2002年8月16～18日	ソーラーコレクタ									※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※							
		燃料電池																							50	75	50	75	
3	2002年8月16～18日	太陽光発電							※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※					
		ソーラーコレクタ									※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※							
		燃料電池																							50	75	50	75	
出湯量(42℃換算) [L]											79.5						15.9						31.8	31.8		19.3	40		

注 ※ 印は稼動時間帯を、数値は燃料電池負荷率[%]を示す

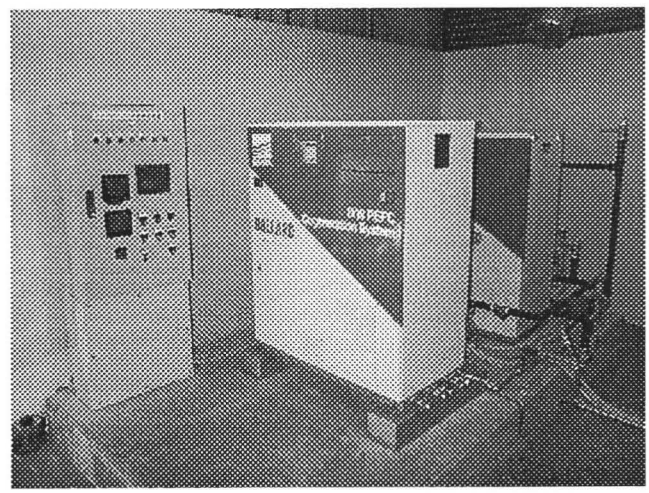


図-1　燃料電池コージェネレーションシステムの外観

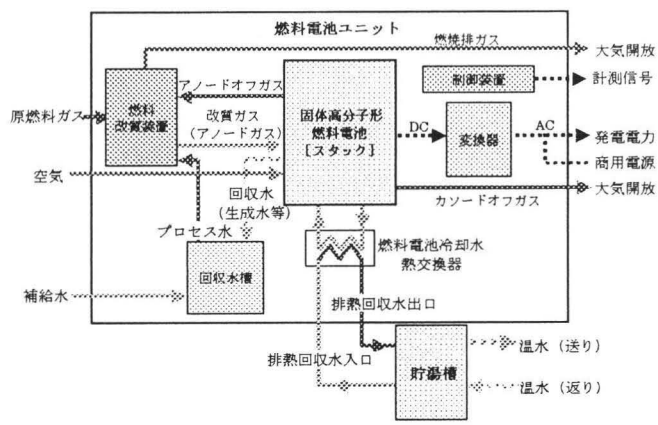


図-2　燃料電池コージェネレーションシステムの概要

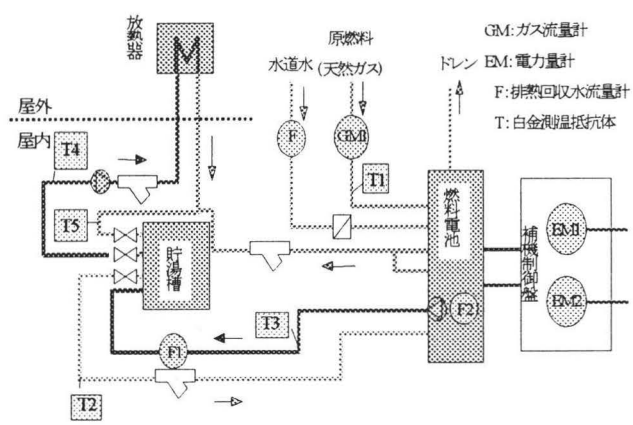


図-3　発電・排熱回収特性に関する実験装置系統図

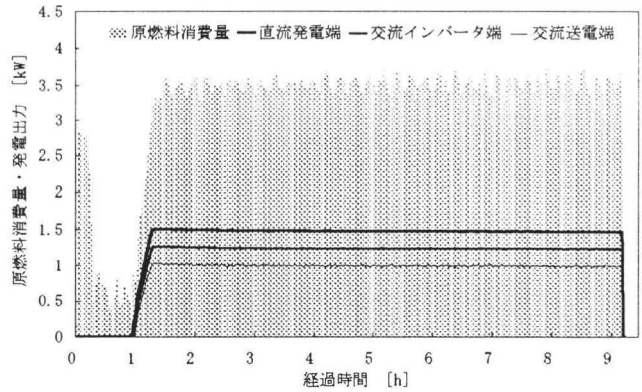


図-4 代表日（2001 年 10 月 16 日：負荷率 100%）における発電出力

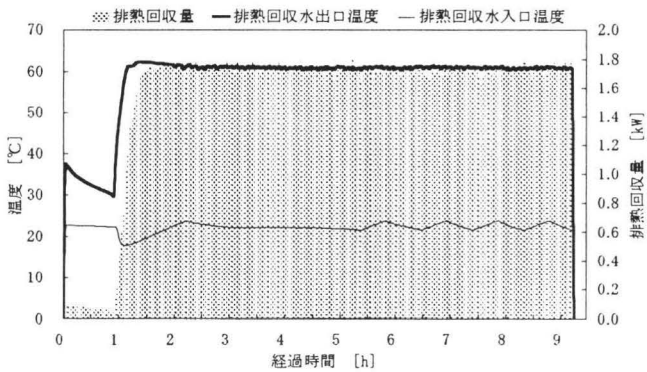


図-5 代表日（2001 年 10 月 16 日：負荷率 100%）における排熱回収量および排熱回収水出入口温度

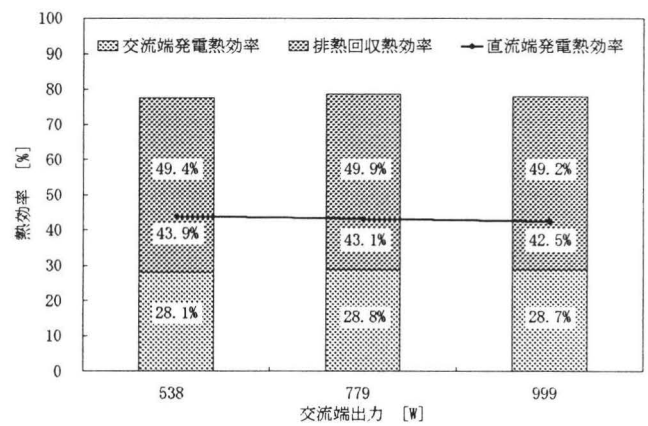


図-6 発電・排熱回収熱効率に及ぼす負荷率の影響

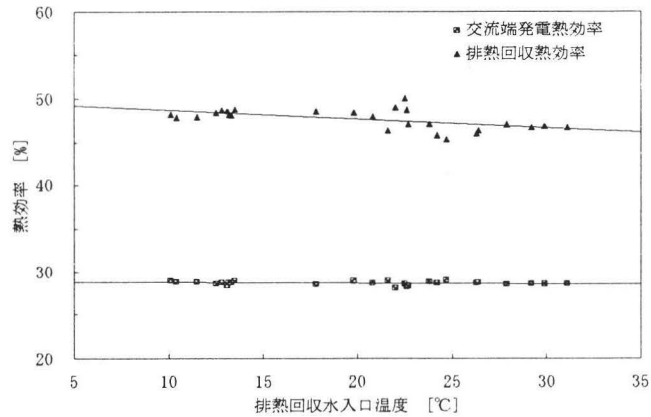


図-7　発電・排熱回収熱効率に及ぼす排熱回収水入口温度の影響（定格運転時）

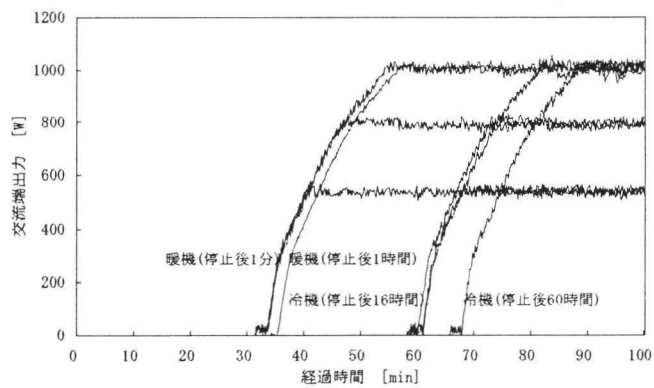


図-8　暖機・冷機状態における起動特性

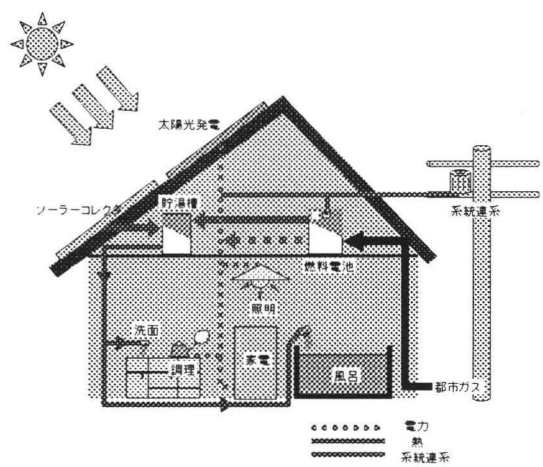


図-9　太陽エネルギー・燃料電池複合利用システム

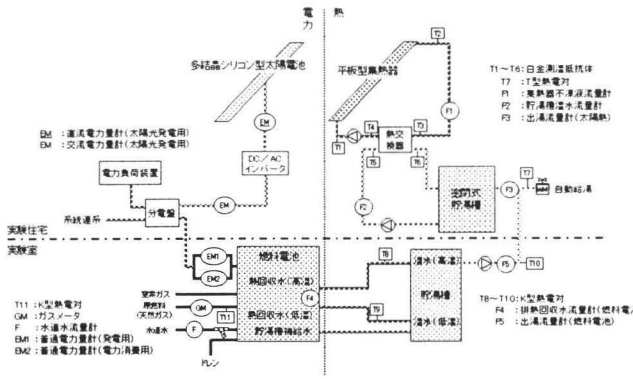


図-10　実験装置系統図

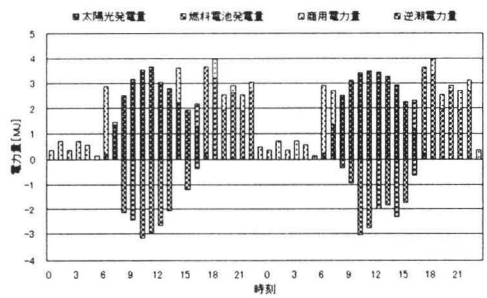


図-11　　時刻別電力収支の内訳（実験 1）

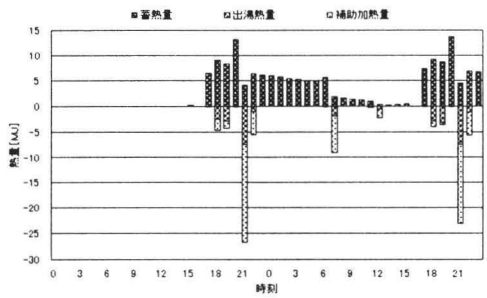


図-12　　時刻別熱収支の内訳（実験 1）

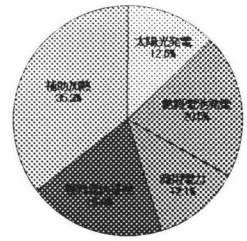


図-13　エネルギー種別利用量の内訳（実験 1）

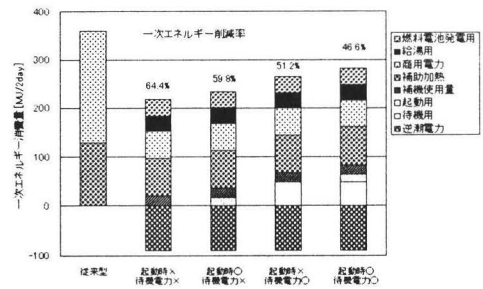


図-14　一次エネルギー消費量の比較（実験 1）

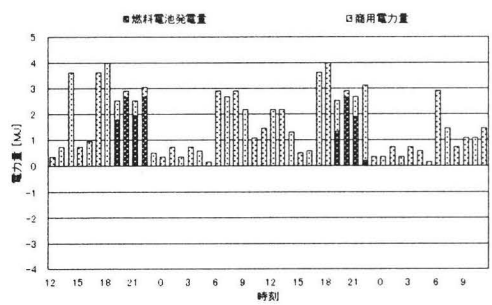


図-15　時刻別電力収支の内訳（実験 2）

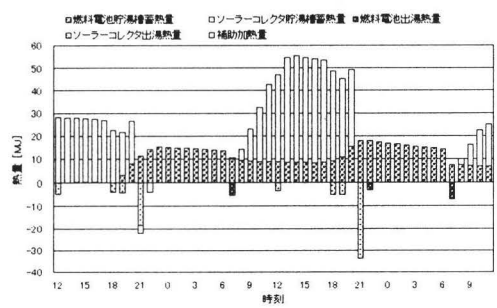


図-16　時刻別熱収支の内訳（実験 2）

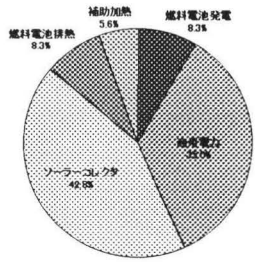


図-17　エネルギー種別利用量の内訳（実験 2）

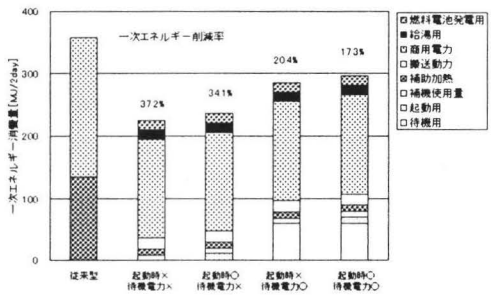


図-18　一次エネルギー消費量の比較（実験 2）

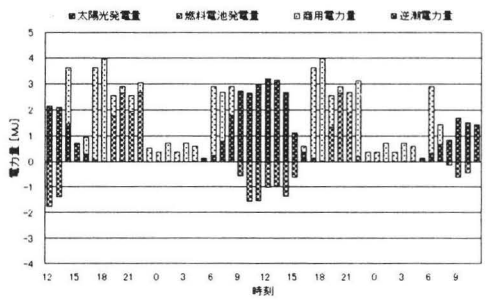


図-19　時刻別電力収支の内訳（実験 3）

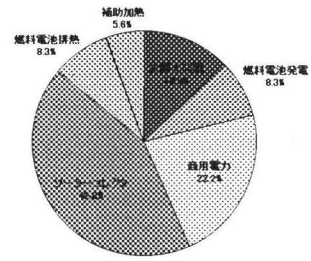


図-20　エネルギー種別利用量の内訳（実験 3）

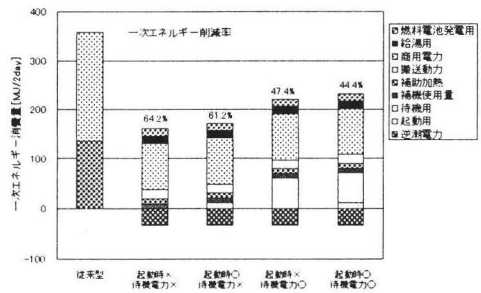


図-21　一次エネルギー消費量の比較（実験 3）

1-24 変動気流の有効性の検証とその応用

東京大学大学院　工学系研究科　建築学専攻

教授　鎌田　元康

1. 本研究の背景と目的

近年の住宅の高気密・高断熱化とともに、空調機器の使用量が増大している。それに伴い、民生用エネルギーに対する空調用エネルギーの割合が年々増大しており、地球環境に対する視点からは重要な問題となっている。そこで、比較的過ごしやすい夏季の早朝や夜間・中間期などに窓を開放し、自然通風を積極的に取り入れることにより、更なる省エネルギー性の向上が望まれている。一方、高齢化社会を迎えるにあたって、快適かつ健康的な環境に対する要求も次第に重要性を増してきている。そこで、これら省エネルギー性と快適性を両立させる手段として、変動気流の有効性とその応用について検討を行う。

これまでにも室内気流変動について、その変動特性や心理的評価などに関する研究は多くなされている。しかし、変動特性に関してはドラフト（局所気流）による不快感に関する研究が多く、夏季における自然通風の活用という視点に立った研究は少ない。そのため、自然通風の活用という視点に立った変動気流の変動特性の解明が求められている。また、心理的評価の一つとして温熱感を取り上げると、これは気流による対流熱伝達率の影響を大きく受けると考えられているが、気流の変動特性と対流熱伝達率の関係に関しても、ほとんど解明されていない。

それらの背景をもとに、本研究では、風洞実験と実大実験から気流の変動特性を把握し、それらが対流熱伝達率にどのような影響を及ぼすかについて、円筒型発熱体を使用した実験により考察を行う。

2. 風洞実験概要

実験概要

実験は東京大学工学部の風環境シミュレーター実験室にある境界層型風洞で行った。実験には実際の戸建て住宅（茨城県つくば市）の 1/30 縮尺模型を使用し、模型高さの 3 倍の乱流境界層を主流風速の鉛直分布が、べき指数 0.20 のべき乗則に従うように作成した。図 1 に周辺状況を、図 2 に風速プロフィルを、図 3 に対象建物平面図と開口部番号を示す。図 1 より建物北側と東側には建物高さと同じくらいの樹木が立ち並び、西側には別の住宅と工場が存在するため、今回実験対象とする風向はこれらの影響の少なく出現頻度の大きい SSE 方向とした。また、これら樹木の再現が難しかったため、今回の実験は周辺模型なしの状態で行った。風速測定には I 型熱線風速計（KANOMAX 社）を 2

台使用し、同時測定を行った。1 台は模型の屋外気流を測定するためにターンテーブルに穴を開け下から挿入した。なお、プローブの向きは気流の流れに対して直角かつ床面に平行に設置した。建物内の測定は風洞内部に備え付けられているトラバース装置に熱線風速計を設置し、気流に影響しないように後流側の開いている窓から挿入した。なお、プローブの向きは床面に対し平行、垂直の両方で測定を行った。

実験パターン

屋外気流測定点は図 3 に示す位置とした。これは実測時（後述）の屋外気流測定点と同一点である。表 1 に測定場所とプローブの挿入場所、表 2 に図 3 における開口部の状況を、表 3 に風洞の設定風速を示す。

解析方法

まず、得られたデータより平均値等の統計量を求める。スペクトル解析は、元のデータから平均値を差し引いたデータを用いるが、この平均値まわりの値に変形した時系列データに必要であれば線形トレンドの除去等の前処理をおこなう。その後、FFT により、フーリエスペクトルからパワースペクトルを求める。さらにパワースペクトルの逆 FFT より自己相関関数を求める。自己相関関数から特徴時間を算出し、さらに渦サイズ・混合距離を算出する。

統計量の定義

ここで、本研究にて使用する特徴時間などの統計量について簡単に説明する。

特徴時間　T^*（characteristic time）・平均渦サイズ　Λ（mean eddy size）

ある一点における、ある時刻の気流の速度はその他の点、その後の時刻の速度と互いに無関係ではない。これは、気流の乱れは渦（eddy）の運動が原因と考えられるためである。同じ渦内において、ある二点を測定してみるとこの二点の速度変動は似ているということになる。この似ていることの一つの統計的な表現方法として相関係数を用いることが有効である。相関係数によって求められる渦の大きさは平均的な渦の大きさということになる。相関係数には空間相関と時間相関の二つが考えられる。以下に、これらによって求められる乱れの時間スケール（特徴時間）・空間スケール（平均渦サイズ）を述べる。

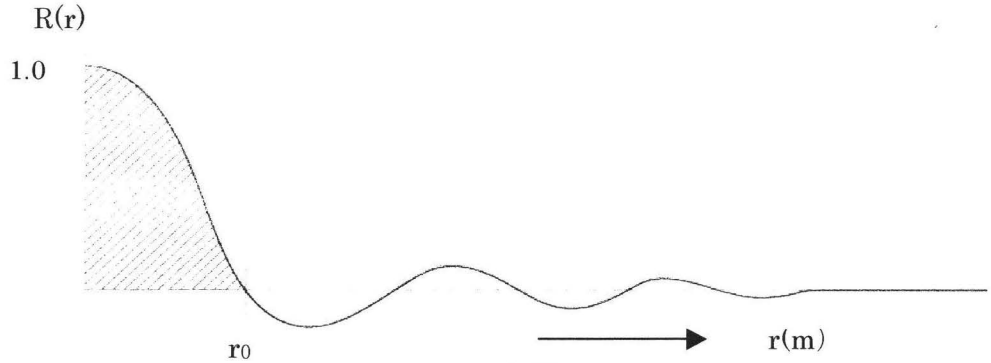
（a）**空間相関**

ある二点で同時刻に測定された速度変動量を u_1、u_2 とし、二点間の距離を r とすると相関係数 R(r)は以下のように定義される。

$$R(r)=\frac{\overline{u_1u_2}}{\sqrt{u_1^{\,2}}\sqrt{u_2^{\,2}}} \qquad R(r)\le 1.0 \qquad (\text{乱れの場が一様のとき } u_1^{\,2}=u_2^{\,2})$$

距離 r が小さく二点が極めて接近している場合には R(r)は 1.0 に近くなり r が大きくなると R(r)は小さくなり最終的には 0 となり両者の相関はなくなる（A 図）。これより、乱流場の特徴的な長さ（characteristic length scale of eddies）として平均渦サイズを以下の式によって求めることができる。

$$\text{平均渦サイズ}\quad \Lambda=\int_0^{r_0} R(r)\,dr$$



A 図

（b）**時間相関**

通常、自己相関係数と呼ばれる R(t)は、ある決まった点の t 時刻における u(t)と t+Δt 時刻における u(t+Δt)との相関を示し、以下の式で定義される。

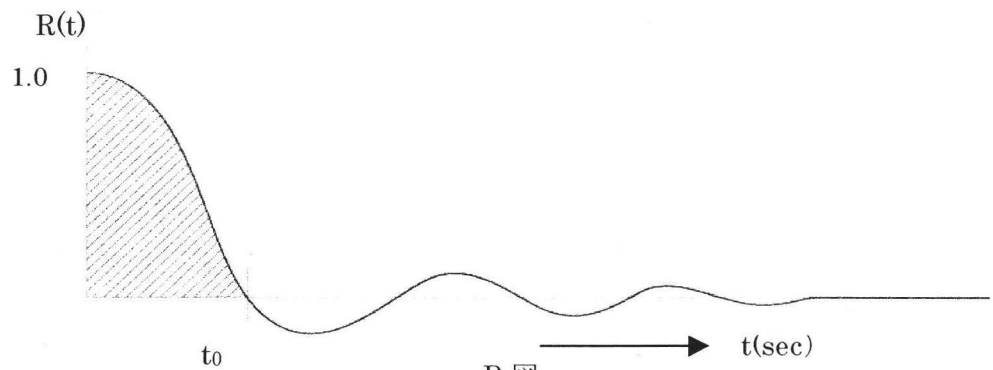
$$R(t)=\frac{\overline{u(t)u(t+\Delta t)}}{\sqrt{u(t)^2}\sqrt{u(t+\Delta t)^2}} \quad R(t)\leq 1.0$$

（定常な場のとき $\sqrt{u(t)^2}=\sqrt{u(t+\Delta t)^2}$ ）

Δt が小さいほど R(t)は 1.0 に近く Δt が大きくなると R(t)は小さくなり最終的には 0 となり相関が無くなる（B 図）。

これより以下の式が定義される。

$$T^{*}=\int_0^{t_0} R(t)dt$$



B 図

T^{*}は特徴時間と呼ばれ、乱れ場を特徴づける時間スケールであり、渦が風速計を通過する時間の平均を表している。渦がある点の平均的な流れと共に運動していると考えると空間相関の距離 r は、r 方向の平均流を $\overline{U_r}$ とすれば $r=\overline{U_r}\times t$ と表され、この関係を用いて $R(t)=R(r)$ となり、以下の式が成り立つ。

$$T^* = \frac{\Lambda}{\overline{U}}$$

これより、特徴時間と平均風速が既知であれば平均渦サイズを以下のように求めることができる。

$$\Lambda = \overline{U} \times T^* = \overline{U} \times \int_0^{t_0} R(t)dt$$

本研究における平均渦サイズは上式によって求めたものである。

混合距離（mixing length） l^*

本論文では混合距離を以下のように定義する。

$$l^* = \sqrt{u^2} \times \int_0^{t_0} R(t)dt = \sqrt{u^2} \times T^* = const$$

このl^*は$\sqrt{u^2}$（乱流速度）とT^*（特徴時間）の積であるから、ある平均的な大きさの渦が風速計を通過する間に動く距離を表している。これは渦の**平均自由行程**に相当する。文献*1によると閉鎖的空間内における混合距離l^*は外部風の影響を受けず、室の大きさに依存する。よって、各測定点における混合距離l^*は以下のように表される。

$$l^* = \sqrt{u^2} \times T^* = const$$

この混合距離l^*はPrandtleにより導入された混合距離に相当する概念を持っているが、厳密には異なっている。Prandtleによる混合距離の概念は、気体分子運動からの類推と言われるが、分子の平均自由行程と異なり、混合距離を平均流の場の速度勾配と結びつけているため、平均流の存在しないような場では定義できず、その有効性が限られている。

文献*1）小林信行、閉鎖的空間の気流性状に関する基礎的研究、東京大学学位論文

3. 風洞実験結果

平均風速比

図4に屋内気流と屋外気流の平均風速の関係を示す。1階、2階共に明確な比例関係が見られる。測定場所別に線形近似した式の係数（表4）を見てみると1階では場所によらず、ほぼ一定となっていることがわかる。その値は1階においては0.2～0.3程度であるのに対し、2階においては窓に近い側(南寄り)ではほぼ1に近い値となり、さらに中に入る（北寄り）と0.5程度になることがわかった。

乱流速度比

図5に屋内気流と屋外気流の乱流速度（標準偏差$\sqrt{\sigma^2}$）の関係を示す。また、各測定

点において線形近似した式の係数をまとめたものを表5に示す。平均風速の係数と比較してみると、乱流速度の係数は2.5～3.0倍程度増加しており、風速は減衰しても気流の乱流成分はあまり減衰していないことが伺える。これから風速の減衰に比べて変動成分の減衰は少ないということが分かる。すなわち、室内に流入した気流は屋外気流に比べ、乱れの強さが大きいといえる。

屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速

図6に屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速の関係を示す。1階、2階ともに比例関係が見られる。比例係数（表5）を見てみると、1階では場所による顕著な違いは見られないが、2階の二つの測定点においては平均風速比と同様に1階と大きく異なる値となっている。ここでプローブの向きによる相違を検討してみる。風洞実験では風向・風速を固定し流入気流の様相をある程度まで固定することができるため、プローブの向きの違いにより水平方向内でのx成分、y成分の気流性状の傾向を伺うことができるのではないかと考えられる。すなわち、プローブの向きが床面に対して垂直になっているときにはx成分とy成分を、プローブの向きが床面に対して平行になっているときにはy成分とz成分をそれぞれ検知すると思われる。風洞内においてはz方向の成分が少ないと考えると、垂直時と平行時の差がx成分によるものではないかと考えることができる。この考えによると、この模型に流入した気流は2階ではx成分の乱流速度がほとんど無いということになる。

屋内気流の特徴時間と屋外気流の平均風速

図7に屋内気流の特徴時間と屋外気流の平均風速の関係を示す。図より屋内気流の特徴時間は屋外気流の平均風速に反比例している傾向が伺える。これは1階・2階共に同じ傾向である。また、場所別に見てみると1階では居間とキッチンの境界での値が他より大きく、玄関前の廊下では他よりも小さくなっている。2階では南寄りよりも北寄りのほうが小さな値を示している。

屋内気流の混合距離と屋外気流の平均風速

図8に屋内気流の混合距離と屋外気流の平均風速の関係を示す。前述したように、混合距離とは渦の平均自由行程に相当するものであり、乱流速度と特徴時間との積により求められる。図より、屋内気流の混合距離は屋外気流の平均風速の影響を受けずにある幅をもった範囲内に収まっている傾向が伺える。混合距離の定義より、上記で求めた乱流速度の近似式と特徴時間の近似式を乗算した結果と図8中の近似式を比較すると、よく対応していることがわかる。既往の研究では、これらの関係は

$$\sqrt{\sigma^2} \propto V_0$$

$$T^* \propto V_0^{-1}$$

$$l^* = const$$

V_0 ： 屋外気流の代表風速

となることが知られており、今回の風洞実験においても同様の傾向を示した。またプローブの向きによる違いを見てみると、1階では居間・キッチン・境界と比較的広い空間を持つ場所においては差が表れている。先に述べた考えによると、この差はx成分によるものであると考えられる。1階は2階に比べて開口部が多く、閉鎖の程度が小さくなっているため、このような結果になったと思われる。玄関前と2階の測定点においてはプローブの向きによる明確な差は見られない。

屋内気流の渦サイズと屋外気流の平均風速

図9に屋内気流の渦サイズと屋外気流の平均風速の関係を示す。図より混合距離と同様に渦サイズもある幅をもった範囲内に収まっているように思われる。しかし、混合距離のようなプローブの向きによる明確な相違は見られない。今回のような風洞実験の場合には屋外気流の風速や風向などが変動しなかったために、このような結果が得られたと思われる。

4. 実大実験概要

実験概要

本節では実際に建つ戸建て住宅において実大実験を行い、得られた気流データより室内気流の変動特性についての検討を試みた。対象建物は前節の風洞実験のモデルとなっているものである。建物外観と周辺状況を図10に示す。また、平面図、開口番号および風速測定位置は図3と同様である。

測定概要

屋内気流と屋外気流の測定には超音波風速計（KAIJO 社製　WA-390 型）を使用し、接近流の風向の判断には屋根上（高さ 1.8［m］）に設置されているプロペラ式風向風速計を使用した。屋内気流測定点は各室の中央において高さ 1.3［m］～1.5［m］の位置とした。屋外気流測定点は建物の南東側の角から南に 4.3［m］、東に 2.0［m］の位置上高さ 1.9［m］の位置とした。なお、キッチンの床は居間や玄関前の廊下よりも約 20［cm］高くなっている。表7、表8に測定位置と開口部状況を示す。

実験結果

今回の解析の対象としたデータは風向が SSE で比較的安定している時の測定である。評価時間を5分間として解析・検討を行う。

平均風速比

図11に屋内気流と屋外気流の平均風速の関係を示す。1階、2階共に比例関係が見られる。風速比を線形近似した式の係数を表9に示す。また、この表には前述の風洞実験の風速比も示してある。図からもわかるように風洞実験のような明確な分布にはなっておらず、多少のばらつきをもっている。また、係数を見ると1階においては風洞実験の値よりも大きめの値を示している。玄関前廊下においては風洞実験と同じような値を示しているが、これはむしろ風洞実験の値が大きくなっていると考えられる。風洞実験では主流方向・風速が決まっているために玄関前の廊下まで気流が確実に届いていると思

われるが、実大実験では風向や風速の変化などにより、玄関前の廊下が気流の輪道外になることがあると思われるからである。また、キッチンの中央で測定した値よりも境界・居間で測定した値のほうが大きく出ていることから、風洞実験・実大実験共にSSE方向から吹いてきた気流が室内に流入した際にはキッチン中央が輪道から多少はずれてしまっている可能性のあることが伺える。2階においては南寄りの位置から北寄りの位置までに減少する傾向は見られるものの、その値は風洞実験と比較すると1/2程度の値である。しかし、2階では1階よりも気流の流入が大きいことがわかる。1階は地表面と近く、建物に衝突した気流の逆流により流入気流が多少減少してしまっているためと思われる。

乱流速度比

図12に屋内気流と屋外気流の乱流速度の関係を示す。比例関係の傾向が伺えるが、風洞実験の時のような明確な傾向は見られない。また、グラフ中に示されている近似曲線の係数と前述の風洞実験における乱流速度の近似曲線の係数を表10に示す。風洞実験同様に平均風速の比例係数よりも大きな値となっている。このことから実大実験においても、平均風速の減衰と比較して乱流速度の減衰は小さいものであることがわかる。また、平均風速の減衰は風洞実験のほうが大きかったのに対し、乱流速度の減衰は実大実験のほうが大きいことがわかる。場所別では平均風速の比例係数の時と同様に玄関前廊下で一番小さな値となっている。これも前出の同様の理由からであると思われる。また、1階では境界における値が一番大きいことがわかる。しかし、境界と2階東部屋南寄りを比較すると平均風速のときに比べ差が大きくなっていることがわかる。2階の部屋の中でも北寄りになると南寄りよりも減少している。図より風洞実験の屋外気流（網掛けの部分）に比べて自然風の屋外気流の乱流速度のほうが大きな値を示すことがわかる。

屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速

図13に屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速の関係を示す。また、表11に図中の近似曲線の係数を風洞実験の結果と共に示す。図より風洞実験ほど明確ではないが概ね比例関係の傾向が見られる。また、表より実大実験においてはこれまでの結果同様に玄関前廊下で一番小さな値となっている。2階東部屋の南寄りでの測定結果と他との差がこれまでの結果と比べて小さくなっていることがわかる。

屋内気流の特徴時間と屋外気流の平均風速

図14に屋内気流の特徴時間と屋外気流の平均風速の関係を示す。風洞実験と記されているグラフは前出した風洞実験のデータの中から屋外気流測定点における平均風速の値が実大実験と近いデータを抜き出したものである。垂直と平行はプローブの設置方向で床面に対してのものである。図より、実大実験においては平均風速の幅が狭いため明確な傾向を伺うことはできないが、風速によらずばらばらに散布されているように見える。風洞実験においては境界と2階東部屋の南寄りの位置で特に大きい値を示している以外はほぼまとまっているがその値は実大実験に比べて小さくなっている。

屋内気流と屋外気流の特徴時間

図15に屋内気流の特徴時間と屋外気流の特徴時間の関係を示す。また、同時に風洞実験における屋内気流の特徴時間と屋外気流の特徴時間の関係も示す。グラフより1階で

は風洞実験とよく対応しているものもあるが、実大実験のほうが大きくなっている場所もある。キッチンにおいては実大実験の値が小さくなっているが、前述したようにこのことからキッチンの風速計が輪道からはずれてしまっているのではないかということが伺える。これらの結果の相違は風洞実験の値が小さすぎるものであるためと思われる。実大実験の結果から屋内気流の特徴時間は屋外気流の特徴時間の影響を強く受けると考えられる。屋外気流の特徴時間は屋外気流のパワースペクトルの低周波成分に大きく依存するのではないかと考えられるため、風洞実験と実大実験における屋外気流の特徴時間とパワースペクトルについて検討してみる。

屋外気流の特徴時間

図 16 に風洞実験と実大実験における屋外気流の特徴時間と平均風速をそれぞれ示す。前述したように、風洞実験においては幅広い範囲の平均風速の場合を測定することができる。そのため、屋外気流の平均風速と特徴時間との間には反比例の傾向が、はっきり伺える。しかも、この値は風速によって決まることはなく、平均風速に対してある上限の値があり、その値以下におさまるように幅をもって散布している。また、実大実験で得られた平均風速の範囲では、反比例とまではいかないまでも右下がりに散布している様子が伺える。特に図中、青丸で囲まれた範囲にある点を除くと風洞実験の結果と良く対応しているように思われる。図中青丸で囲まれた範囲の実大実験では自然環境の屋外気流が持つ『風の息』と言われる、ある特有な長周期成分が含まれているため特徴時間が大きく出ているのではないかと思われる。自然環境下においては、風速の増加と共にこのような長周期成分が多く含まれることがあるが、風洞装置で発生させている気流にはこのような長周期成分は含まれず、常に安定した気流であることが分かる。混合距離の検討の後、これらのことに対してパワースペクトルによる比較・検討を試みる。

屋内気流の混合距離と屋外気流の平均風速

図 17 に実大実験における屋内気流の混合距離と屋外気流の平均風速との関係を示す。風洞実験同様に屋外気流の平均風速によらず、ばらばらに散布しているように思われる。また、分布の幅も風洞実験の結果と近い値となっている。風洞実験同様に実大実験でも乱れの生じやすい境界では 1 階の他の場所よりも大きめの傾向を示し、玄関前廊下においては 1 階の他の場所よりも小さくなる傾向を示すことが分かった。

以下では、風洞内で発生させている気流と自然環境下で発生した気流に関して、パワースペクトルに着目して考察を行っていく。

屋外気流のパワースペクトル

図 18 に風洞実験における屋外気流のパワースペクトルと実大実験における屋外気流のパワースペクトルを示す。なお、グラフ上の実測（実大実験）のデータは先に述べた特徴時間が大きく出たデータ（図 16 青丸で囲まれた部分）の中の 1 つを用い、平均風速の近いデータを使用している。屋外気流のパワースペクトルについて実大実験と風洞を比較してみると、どちらも右下がりの傾向は見られるが、実大実験のほうが低周波成分が多く、高周波成分が少ないということがよくわかる。

屋外気流と屋内気流の累積パワースペクトル

図 18 のパワースペクトルのグラフは縦横ともに対数表示しているため、低い周波数に多くのパワーが集まっている状態を認識するのは難しい。例えば図 18 の実大実験のグラフにおいては、0.01[Hz]の周波数には 1[Hz]の周波数の 1000 倍のパワーが含まれている。そこで次に、それぞれの周波数のエネルギーが全体のエネルギーに対し、どのような割合を占めているかを考察する。方法は、まずパワースペクトルを風速の分散により基準化し、得られた周波数ごとのパワースペクトルを低周波数側から累積をとってゆく。図 19 に、風洞実験における屋内気流（居間）と屋外気流の累積パワースペクトルと実大実験における屋内気流（居間）と屋外気流の累積パワースペクトルを示す。なお、縦軸は%表示としている。図より、実大実験における屋外気流の累積パワースペクトルは最も低い周波数で 90[%]に到達しており、他に比べ低周波に多くのエネルギーを持っていることがわかる。また、風洞で発生させた気流の累積パワースペクトルはどちらも実大実験よりも低く、特に風洞の居間で測定した屋内気流は 0.1[Hz]までに 20[%]程度のエネルギーしか持っていないことがわかる。これらの結果より、実大実験・風洞ともに屋外気流は屋内気流にくらべ低周波成分を多く含むことがわかる。また、風洞で発生させている気流は自然環境の気流に比べて低周波成分が少ないことがわかる。

波数表示

ここで、前述の渦のモデルを思い出すと、渦は平均流に乗って流れていると仮定している。すると、ここまで用いてきた周波数［Hz］は、やはり平均流に乗っているものであると考えられる。すなわち、f［Hz］の成分を持つ波はある一定の大きさをもつ渦が 1 秒間に f 個通過する波であるということになる。従って、平均風速が早い波は遅い波に比べてより多くの渦を通過させることができる。**すなわち、周波数はその中に平均風速の影響も含んでいることになる。**そこで、平均風速の影響を打ち消すために、以下に示す波数を用いての考察を行ってみる。これは、ある大きさを持つ渦が 1［m］あたりに何個並ぶかということを意味する。渦 1 個あたり 2π［rad］の角度を持つとして、波数 k を以下のように定義する。

$$k = \frac{2\pi n}{U} \qquad [\mathrm{rad/m}]$$

n:周波数［Hz］
U:平均風速［m/s］

これを図 19 に示す周波数に対し、変換を行ったグラフを図 20 に示す。縦軸は全パワーに対する割合［%］であり、横軸は波数［rad/m］である。図を見てみると周波数表示のときと明らかに違う点がある。それは、風洞における屋外気流の累積パワースペクトルと実大実験における屋内気流の累積パワースペクトルである。周波数表示で比較をしたときには風洞内の屋外気流のほうが実大実験における屋内気流よりも低周波成分が少なかったが、波数表示にしたときには風洞内の屋外気流のほうが低波数側によっている

結果となった。これは、風洞内の屋外気流の平均風速のほうが実大実験の屋内気流の平均風速よりも大きかったためと思われる。次に風洞内の屋外気流を平均風速別に見てみることとする。図21に風洞内屋外気流の累積パワースペクトルを平均風速別に表したものを示す。また、図22に図21の周波数表示を波数表示にしたものを示す。図21を見てみると、風速の増加に伴ってパワースペクトルの累積度数分布も高周波側に移行していることがわかる。しかし、図22を見てみるとこれらの差はほとんど見られない。これらのことから風洞気流は渦の長さスケールにおいて、一定となるのではないかと考えられる。図23、図24に風洞内屋外気流の平均風速に対する特徴時間と渦サイズの関係を示す。前述したように渦サイズは平均風速によらずある範囲におさまっている。また、平均風速と特徴時間には反比例の傾向が伺える。これは、屋内気流における結果と同じであり、風洞装置で発生させた気流は閉鎖的空間に特有な性質を持っていることがわかる。

これまでの比較・検討の結果を以下に記す。

1.) 風洞実験においては、既往の研究に示すような以下の関係が確認された。

$$\sqrt{\sigma^2} \propto V_0$$

$$T^* \propto V_0^{-1}$$

$$l^* = const$$

V_0 : 屋外気流の代表風速

2.) 風洞装置そのものが閉鎖的空間であるため、そこで発生させた気流は屋内気流と同じような傾向を示す。

3.) 風洞気流は波数領域で相似性が強くなる。

4.) 風洞実験・実大実験ともに乱れの生じやすい居間とキッチンの境界においては混合距離が大きくなる傾向があった。

風洞装置などの人工的に発生させた気流には高周波成分が多く含まれることが分かった。そこで、これら気流の周波数の違いが人体の温熱感覚に大きく関係すると思われる対流熱伝達率に対してどのような影響を及ぼすかについて以降で検討する。

5. 対流熱伝達率測定実験

日本の初夏から夏にかけては“蒸し暑く過ごしにくい”と誰もが感じるところであろう。このような蒸暑環境を緩和する手段として、空調機器による室温・湿度の調整（冷風による冷却、冷房放射パネル等）、換気による外部気流の取り込みなどが考えられる。特に快適性を損なわず、なおかつ短時間で温熱環境を形成することのできる気流は、快適な温熱環境の形成に重要な役割を果たしていると言える。気流が人体の熱的快適性に

及ぼす影響についてはこれまでにも種々の研究がされており、近年、特に省エネルギーや温熱快適性の面で変動気流の有用性が唱えられている。しかし、気流が変動する場合のような非定常状態における人体の熱的快適性については不明な部分が多く、各温熱要素が定常状態である空間に適用されるPMVやSET*のような温熱指標においても適切なものは現在のところ示されていない。また、PMVやSET*は気候・生活習慣・体格などが我々とは異なる地域で作成されており、日本人に対してどの程度の適応があるのかは明らかにされていない。

例えば、最近特に枠組み壁講法などの進歩により洋風の家に居住する人達は多いと思われる。主要な部屋の床がフローリングになり、住宅の中での畳の占める割合が減少している。しかし、生活スタイルの変化がその変化とは対応しておらず、未だに家の中では靴を脱いで生活をしている。従って、欧米人にはそれほど重要視されない床と素足との間での熱伝導などが日本人にとっては無視できなくなってしまっている。にも関わらず、標準の指標として普段我々が使用している指標の中には始めから熱伝導を無視しているものもある。日本で昔から利用されている温度差換気などは冬期においては足下へ曝露される冷たい気流のドラフトによる不快感を発生させている。足下へのドラフトに関する研究は数多くなされているが、未だに明確な指標などもない状態である。よって、近い未来にはこれらのように気流が変動する場合やドラフトが生じる場合における明確な指標が必要とされるであろう。そのためには、まずは人体の熱的快適性に大きな影響を及ぼすと予想される人体各部における対流熱伝達率と気流の変動成分との詳細な相関関係について把握することが求められる。

気流と人体の対流熱伝達率との関係が明らかにされていない最も大きな理由は複雑な人体形状にあると思われる。人体各部位における対流熱伝達量と放射熱伝達量との分離が非常に困難なためである。放射熱伝達量に大きく影響される形態係数の研究も国内では数多く行われているが、体系化されるまでには至っていない。

そこで本研究では、放射温・室温を定常状態にし、放射率が既知（ε=0.95）であり形状も単純な円筒型発熱体に変動気流を曝露することにより、円筒型発熱体の対流熱伝達率の変動を正確に把握することを目的とする。

実験概要

人工環境実験装置　実験は東京大学工学部にある人工環境実験装置を使用して行った。人工環境実験装置は室温、相対湿度を任意に調節可能であり、空調は天井全面吹き出し、壁面の2箇所吸い込み方式である。円筒の場合は潜熱（発汗）による熱損失がないことから湿度は50%とした。今回の測定時における室温平均値と標準偏差を図25、表10に示す。なお、これらの値は測定時の時系列室温データ（Δt=30［s］、YOKOGAWA製Enhanced Loggerで測定）をそのまま計算したものである。平均気温には床上高さ70、90、110、130、150［cm］の5点での測定値の平均値を用いた。放射温度には円筒を設置した際の両側の壁面、天井面、床面、後方の壁面（壁の前に垂らされているカーテン）、前面のメッシュの6ヶ所の表面温度を吸収係数による重み付け平均値した値を用いた。なお、前面メッシュの放射温度は気流温度とした。

変動風発生装置　変動風発生装置(図 26)は、電源供給ユニットと本体とから成り、本体の吸い込み側に 12 個のファンを平面上に配置し（縦 4×横 3)、これに供給する交流電源の周波数を電源供給ユニットのインバータでコントロールすることにより、ファンの回転数を任意に調整して希望する風速の風を発生させる構造となっている。発生させる風速の経時変化を計画した後、それに従って作成したデジタルの風速データをパーソナルコンピュータに入力、これを D/A コンバータを介して電源供給ユニットのインバータに入力し、ファンに供給される交流電源の周波数を制御する事により、任意の経時変化の風速を得る事ができる。吹き出し口は幅 1300［mm］× 高さ 1800［mm］となっている。また本体内部には、メッシュもしくはパンチングメタルを 2 枚まで設置することができ、これらの整流格子を通すことにより、ファンで発生させた変動気流の乱れの減衰の程度を調整することができる。本実験では内部にはファン（図 27）側にパンチングメタルを 1 枚、吹き出し口（図 28）側にメッシュを 1 枚、吹き出し口にメッシュを 2 枚設置した。さらに、吹き出し口から 70［cm］の位置にメッシュを 1 枚設置し、計 5 枚の整流格子を設置した。今回の実験を行った状態での円筒型発熱体位置付近の風速分布（定常気流）を図 29 に示す。

円筒型発熱体　実験に使用した模型は、直径 130［mm］、有効部高さ 750［mm］のアルミ製の円筒であり、内部には全面に面状の発熱体が貼り付けてある。表面には放射率が既知(ε=0.95)の黒色塗料により塗装を施されている。内部の発熱体は、電力の供給により発熱し、その発熱量は SLIDUP を用いて供給電力を調節することで、任意に設定を行うことができる。発熱体の内側の空間には断熱材を内挿しており、模型自身の熱容量を小さくするとともに、内部空気の自然対流による熱移動をなくすようにした。また、円筒の上下端は断熱材を用いた蓋を取り付けることにより密閉し、熱が気流の曝露される側面のみから散逸するようにした。上下端に断熱材を用いたのは、実験・検討の際には理論上、模型のサイズが影響すると考えられるが、円筒高さの影響を考慮する必要をなくすためである。また密閉することで、内部空気の漏洩による熱損失を防止した。さらに、測定を行うために円筒表面に上中下各 8 点ずつの計 24 点に T 型熱電対を取り付けた。熱電対貼り付けによる表面の気流の乱れをなくすため、熱電対は測定部の平らなものを用い、さらに取り付け部の外側にアルミテープを貼ることで、凹凸を最小限に押さえた。塗装はその上に行っている。また、熱電対のケーブルは、測定部の気流に直接影響を及ぼさない位置で円筒を迂回させ、曝露気流への影響の小さい後方でまとめて表に出している。実際に実験に用いた円筒外観の写真を図 30 に、円筒サイズ、および熱電対設置位置を図 31 に示す。

高周波発生装置　高周波発生装置とは変動風発生装置の吹き出し口から 30［cm］離れたところに取り付けてある（図 32）2 列 3 対のドラム状の羽で（図 33）変動風発生装置で発生させた定常風を周期的に攪拌することにより、高周波の変動気流を発生させる。羽の回転数は変動風発生装置とは別にインバータ制御され、回転数によって変動周期を変化させることができる。なお、高周波発生装置から円筒の間にも整流用のメッシュを 1 枚設置し、羽の取り付けられている各シャフト間からメッシュまでにガイドベーンを

設けることにより、気流の乱れを防いでいる。また、回転羽は 1/2 ドラム型の羽と 1/4 ドラム型の羽を使い分けることにより、変動強度を調節する。今回の実験では、高周波発生装置を用いた変動気流を

・変動風発生装置のファンの回転数
・高周波発生装置の羽の回転数
・高周波発生装置の羽の形状

によって制御した。

実験方法

実験は、東京大学工学部の人工環境実験装置内にある変動風発生装置を用いて行った。変動風発生装置の吹き出し口部分に前述の円筒を三脚により設置し、さらに曝露気流に直接影響のないと思われる位置に風速計を設置した。風速計は KAIJO 製 WA-390 型を使用した。円筒の設置位置は、変動風発生装置吹き出し口中央となるように、左右の壁から等しい距離に、上中下 3 段のうちの中段における熱電対高さが吹き出し口の上下のちょうど中央となる高さとした。前後方向は、変動風発生装置吹き出し口から 70［cm］の位置の 5 枚目のメッシュから 60［cm］の位置とした。また、円筒の表面温度が室温の変動による影響を受けないように、円筒と後方の壁面の間に壁の色と同系色のカーテンと断熱材で作成した壁を立てた。また、円筒を囲むように 5 枚目のメッシュから約 2［m］の簡易風洞を作成し、周りを断熱材（スタイロフォーム）で覆った。三脚の下にも厚さ 10［cm］のスタイロフォームを風洞内いっぱいに敷き詰めた。円筒に取り付けてある熱電対からのケーブルは、気流を乱さないように円筒の後方からまとめて引き出したものをデータロガー（メインユニット：DA100、サブユニット：DS600：共に横河電機製）に接続し、さらにそれを RS-232C ケーブルによりパソコンに接続してデータを取得した。また同時に、人工環境実験装置内側の壁 2 点（1 点はカーテン表面）、天井 2 点、変動風発生装置内側の左右の壁 2 点、床 2 点、および高さ別(高さ=170、140、110、85、60、35、10、0［cm］)に気流の温度 8 点をＴ型熱電対により測定した。供給電力は、前述の SLIDUP と円筒の間にパワーメーターを接続し、電流･電圧を測定することにより計測を行った。

検討ケース

円筒を用いた本実験においては、気流の相違による対流熱伝達率の変化をみることを第一の目的としていることから、今回行った実験では室温と発熱量を固定し、変動風発生装置から発生させる気流のみを変化させて行った。室温は 32［℃］、湿度 50［%］とし、これは人工環境実験装置により設定した。発熱量はパワーメーターの測定表示値で約 20［W］とした。円筒表面温度は上記で設定した室温・湿度・無風の状態で約 36［℃］（人体の皮膚温）となる。実験パターンを表 13 に示す

解析方法

以上のようにして得られたデータを、次のような方法･理論を用いて解析を行う。ただし、解析は連続した気流を曝露後、円筒の温度変化の無くなった状態、すなわち熱的な平衡状態に達した状態以降のデータを用いて行った。円筒表面温度に関しては上下で 0.3

～0.5［℃］程度の温度差が確認された。これは表面に起こる自然対流の影響と考えられるが、まずは気流と対流熱伝達率の大きな傾向を把握するために、部位別の計算は行わず全体平均を用いた。対流熱伝達率を求めるにあたり、実験に用いた円筒の上下端は断熱材により形成されていることから、熱伝導は起こらないと考え、熱損失は対流と放射のみによって起こるとした。従って、熱平衡状態では以下の式が成り立つ。

供給熱量 ＝ 対流による損失熱量 Qc ＋ 放射による損失熱量 Qr　…式(a)

対流による損失熱量は、今回行った実験方法では直接計測することができない。そこで、上式(a)を変形し次式により計算を行う。

対流による損失熱量 Qc ＝ 供給熱量 － 放射による損失熱量 Qr　…式(b)

なお、供給熱量（W)は、測定された電流（I)、電圧（V）により求める。

今回の実験では、実験室・変動風発生装置・円筒を面で分割（図 34）して、形態係数 ϕ_{12} を算出し、その形態係数を用い GEBHALT 吸収係数 B_{12} を算出する。解析には吸収係数を使用する。

実験結果

Re-Nu による定常風の比較・検討

図 35 に定常風を曝露したときの Re-Nu を既往の実験と共に示す。

なお、比較に用いた既往実験の式は 4 種類で、以降全て同様のものを使用する。各実験式は次の通り。

$$\text{Hilpert}: \begin{cases} Nu = 0.615 \times Re^{0.466} & (\quad Re < 4\times10^3) \\ Nu = 0.174 \times Re^{0.618} & (4\times10^3 \leqq Re < 4\times10^4) \\ Nu = 0.239 \times Re^{0.805} & (4\times10^4 \leqq Re \quad) \end{cases}$$

$$\text{Richardson}: Nu = 0.373 \times Re^{0.5} + 0.057 \times Re^{2/3}$$

$$\text{McAdams}: Nu = 0.27 \times Re^{0.6} \times 0.71^{1/3}$$

$$\text{Zukauskas}: Nu = 0.26 \times Re^{0.6} \times 0.8855$$

図 35 を見てみると全体として既往の実験データとほぼ同じ傾向を示していることがわかる。特に今後規準としてゆく定常風においては Hilpert と Zukauskas のちょうど中間辺りに位置している。

Re-Nu による変動気流の比較・検討

図 36 から図 38 に変動気流の違いによる Re-Nu のグラフを示す。風速 1.0［m/s］時には、多少ずれるものが見られるが、今回行った実験の結果と既往実験の結果は概ね対応している。既往実験のグラフよりも上にある点は、高周波発生装置を使用している場合であり、高周波成分の影響によるものであると思われる。また、全体的に各風速、各

乱れの強さにおいて、変動気流の周波数の低いものから順に並んでいる傾向があるように思われる。すなわち、変動気流の周波数が高くなると、Re-Nu ともに増加してゆく傾向が見られる。これは、先ほどの定常風の結果を参考にすると、変動気流の周波数が高くなることが、風速の増加に相当しており、変動気流の周波数が対流熱伝達率に影響を与えている可能性を示唆している。また、グラフ間での比較を行ってみると、定常風の場合と同じように、風速の増加に伴って、Re、Nu も増加している。

対流熱伝達率による比較

以下では、対流熱伝達率を用いて直接比較を行ってゆく。図 39 に周期の違いによる対流熱伝達率の比較を示す。横軸は変動気流の周波数で、縦軸が対流熱伝達率である。また、風速が同じで異なる乱れ（10［%］、30［%］）のグラフは重ねて示した。0.3［m/s］では傾向が見られないが、0.65［m/s］と 1.0［m/s］にはある傾向が見て取れる。どちらのグラフも 0.2［Hz］ぐらいまでは多少の増加が見られるが、それ以上の高周波発生装置を使用している部分では、明らかに周波数の増加と共に対流熱伝達率が増加している。なお、0.2［Hz］で測定点が多いのは高周波発生装置を使用した場合と使用していない場合（変動風発生装置のファンの回転のみ）の両方があるためである。今回の実験では円筒周りの温度に分布はなく、また、高周波発生装置で発生させた気流も整流用格子を 1 枚通過させているので、今回は定常状態の計算と同じ方法を用いて行った。また、これらのグラフは多少ではあるが、どれも右上がりの傾向がある。周波数の最も低い状態、すなわち周期∞が定常風であると考えると、これらの対流熱伝達率は定常風時の対流熱伝達率の値に収束するのではないかと考えられる。そこで、各周波数での対流熱伝達率をそれぞれの平均風速と同じ風速の定常風の対流熱伝達率で除したものを図 40 に示す。図からもわかるようにどのグラフも 0.0125[Hz]でほぼ 1 に近い値を示している。次に風速別の比較として、それぞれの風速から乱れの強さ 10［%］のものを抜き出し、図 41 に比較を行う。また、定常風時の対流熱伝達率で基準化した対流熱伝達率を図 42 に示す。横軸は対数表示をしているが、風速 0.65［m/s］と 1.0［m/s］においては線形の傾向が伺える。しかし、高周波発生装置を使用しない 0.2［Hz］までの範囲では、どの風速においても若干の右上がりに見える程度で明確な傾向は伺えない。また、こちらも同様に定常風時の対流熱伝達率で基準化した対流熱伝達率はほぼ 1 に収束している。

総括

1.）風洞実験においては、既往の研究に示すような以下の関係が確認された。

$$\sqrt{\overline{\sigma^2}} \propto V_0$$

$$T^* \propto V_0^{-1}$$

$$l^* = const$$

V_0 ： 屋外気流の代表風速

2.）風洞装置そのものが閉鎖的空間であるため、そこで発生させた気流は屋内気流と同じような傾向を示す。

3.) 風洞気流は波数領域で相似性が強くなる。
4.) 風洞実験・実大実験ともに乱れの生じやすい居間とキッチンの境界においては混合距離が大きくなる傾向があった。
5.) 変動気流の周波数が増加するに伴い対流熱伝達率も増加する。
6.) 乱れの強さ 10[%]と 30[%]の両者間には明確な相違は見られない。
7.) 風速 0.65[m/s]と 1[m/s]の両者において、定常時の対流熱伝達率で基準化した対流熱伝達率比に明確な違いは見られなかった

最後に

今回の一連の研究について、貴財団の助成金を賜りましたことに深く感謝いたします。変動気流というものに重点を置き、推し進めてきました。自然通風時に、これまでの研究成果を適用できないかという思いが強くあり、自然通風時の室内気流の変動特性を捉え、またそれらを風洞装置にて再現してみたいということで、研究の前半部分については、順調に研究を進めることができました。変動気流と人体の対流熱伝達率の実験では、被験者実験を行うことにより、快適性との関連を明らかにしたいという思いを強く持って進めてまいりましたが、実験室のスケジューリングや機器の故障などの諸事情により、十分な成果が得られずに残念でなりません。今回の成果を十分に生かし、今後のさらなる発展を心に誓い、最後とさせていただきます。了。

以下に図表をまとめて記す。

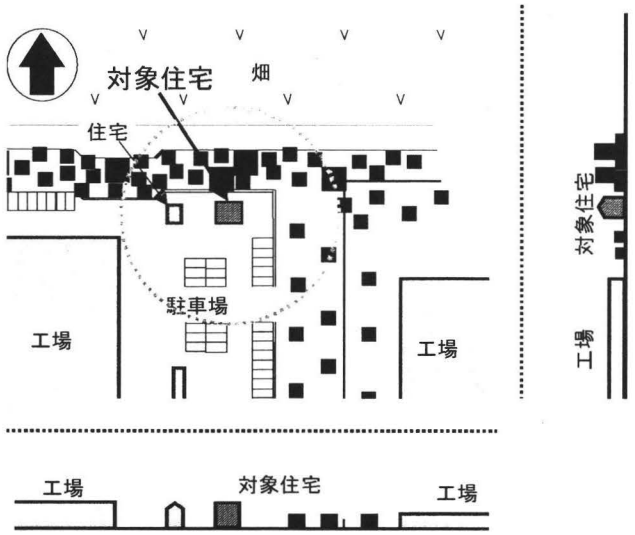


図 1　周辺状況

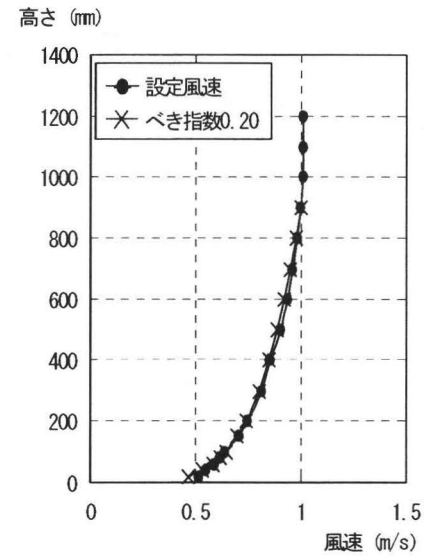


図 2　風速プロフィル

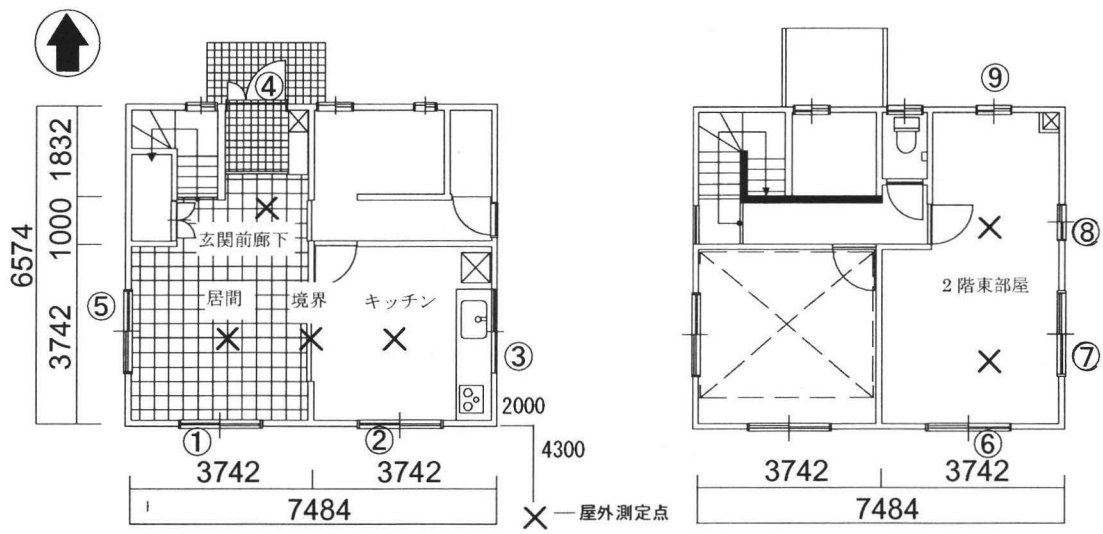


図 3 平面図(左:1 階、右:2 階)

表 1　実測パターン

測定場所	プローブ高さ	プローブ挿入場所	屋外気流測定点
1階　居間中央	床上45mm	⑱	地表高さ63mm
1階　キッチン中央	床上50mm	⑱	地表高さ63mm
1階　居間とキッチンの境界	床上45mm	⑱	地表高さ63mm
1階　玄関前廊下	床上50mm	⑯	地表高さ63mm
2階　東部屋（南寄り）	床上45mm	⑤	地表高さ63mm
2階　東部屋（北寄り）	床上45mm	⑤	地表高さ63mm

表 2　開口部状況

開口部状況								
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
閉	開	開	開	開	閉	閉	閉	閉
⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
開	開	開	開	閉	閉	開	閉	開

表 3　設定風速

位置	ピトー管（設定風速）	屋根	屋外測定点（h=63mm）
風速(m/s)	3.0	2.3	0.7
	4.0	3.0	1
	6.0	4.5	1.6
	8.0	6.1	2.2
	10.0	7.6	2.8

表 4　各測定点における平均風速の近似式の係数

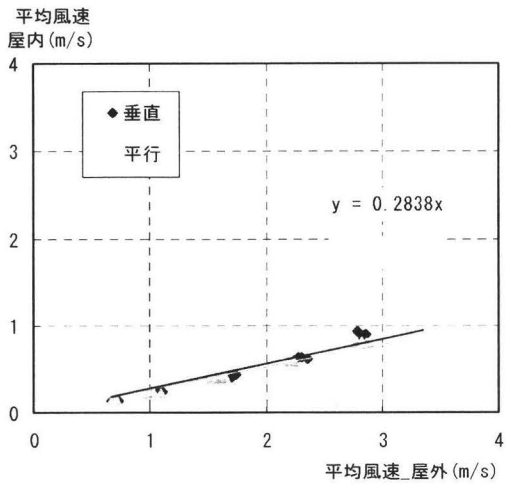
居間		キッチン	
垂直	平行	垂直	平行
0.2838	0.2652	0.2577	0.2484
境界		玄関前廊下	
垂直	平行	垂直	平行
0.2709	0.2253	0.3076	0.2895
2階東部屋北寄り		2階東部屋南寄り	
垂直	平行	垂直	平行
0.5364	0.4878	0.9717	0.9892

表 5　乱流速度の近似式の係数

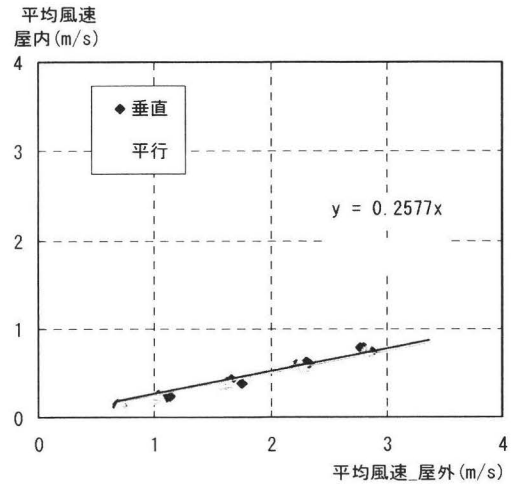
居間		キッチン	
垂直	平行	垂直	平行
0.775	0.5453	0.8738	0.5963
境界		玄関前廊下	
垂直	平行	垂直	平行
0.9321	0.6724	0.7754	0.6485
2階東部屋北寄り		2階東部屋南寄り	
垂直	平行	垂直	平行
1.1443	1.1652	2.0137	2.0923

表 6　屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速の比

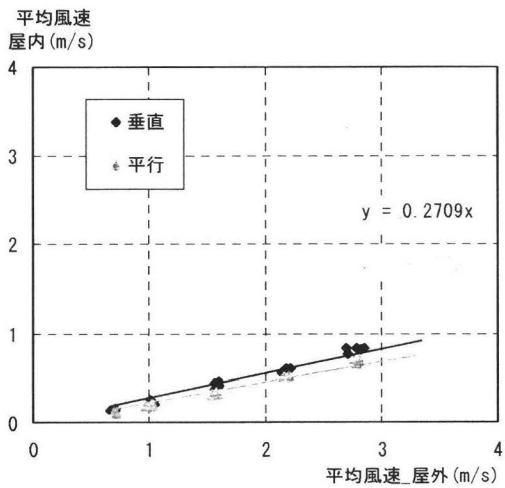
居間		キッチン	
垂直	平行	垂直	平行
0.2171	0.1569	0.2442	0.1708
境界		玄関前廊下	
垂直	平行	垂直	平行
0.2655	0.193	0.2221	0.1852
2階東部屋南寄り		2階東部屋北寄り	
垂直	平行	垂直	平行
0.3289	0.3334	0.5777	0.5954



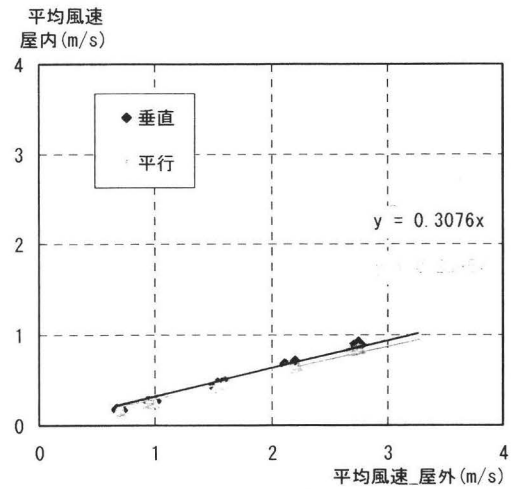
居間



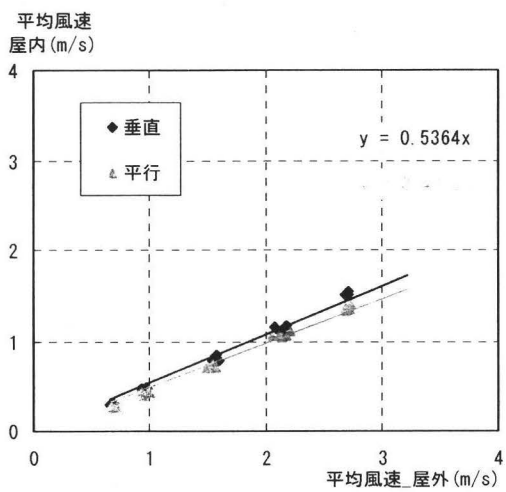
キッチン



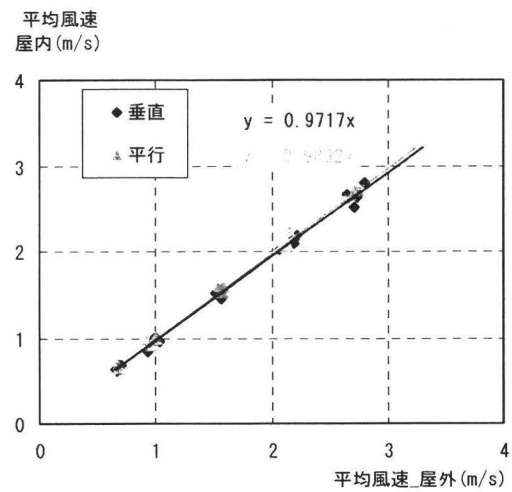
境界



玄関前廊下

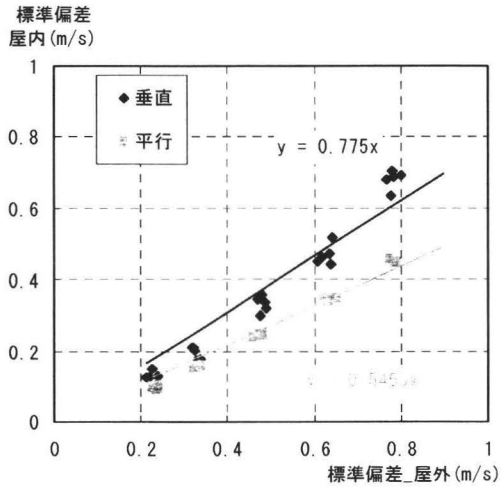


2階東部屋北寄り

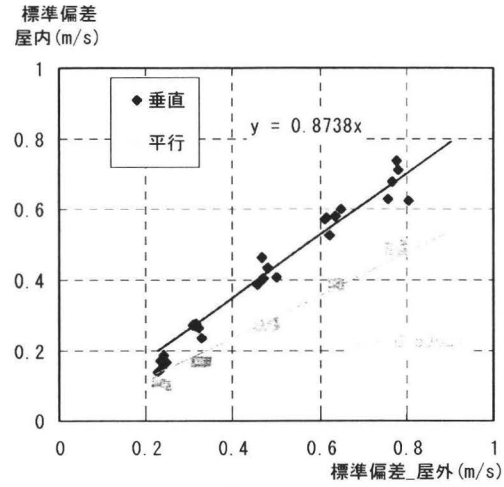


2階東部屋南寄り

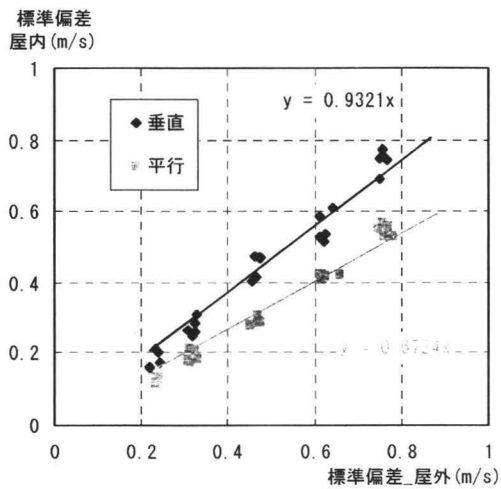
図4　屋内気流と屋外気流の平均風速の関係



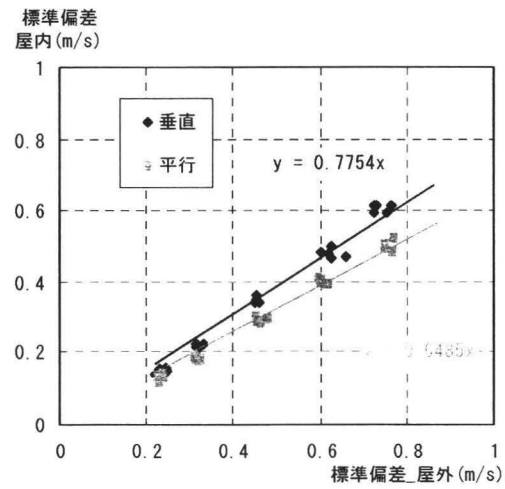
居間



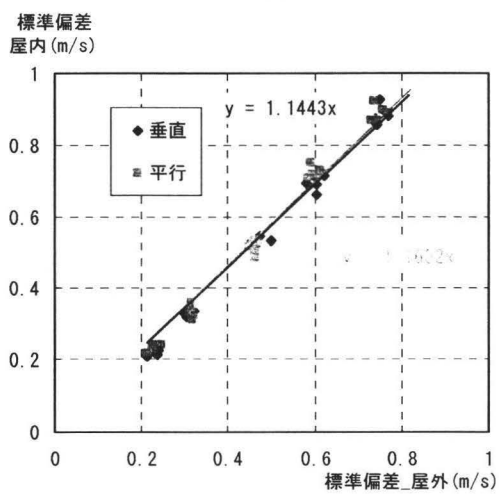
キッチン



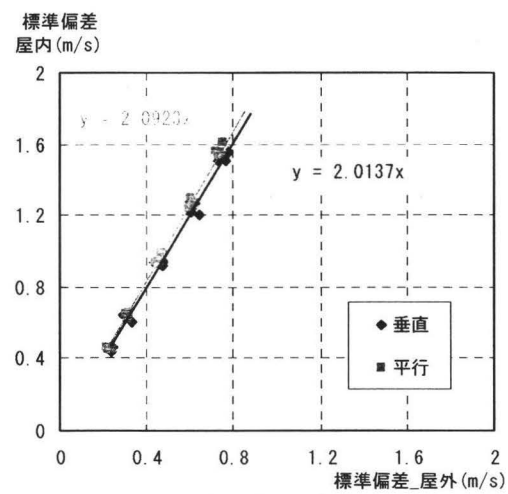
境界



玄関前廊下

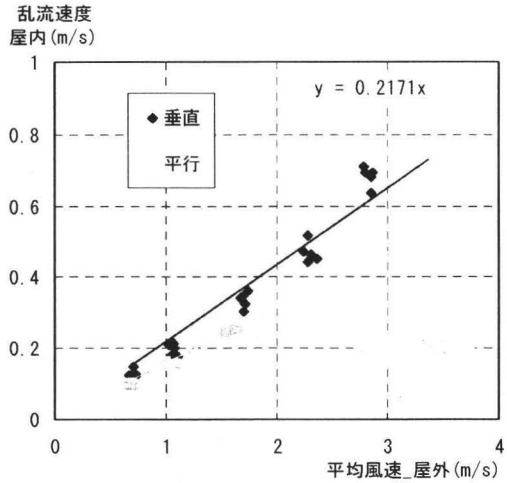


2階東部屋北寄り

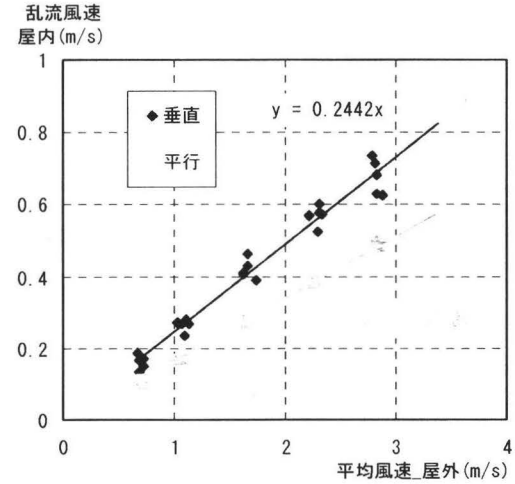


2階東部屋南寄り

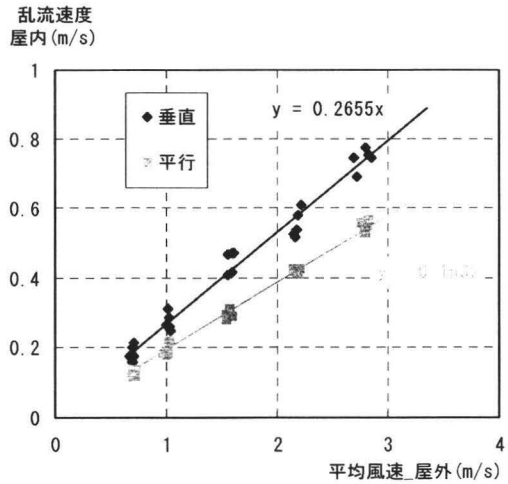
図5　屋内気流と屋外気流の乱流速度の関係



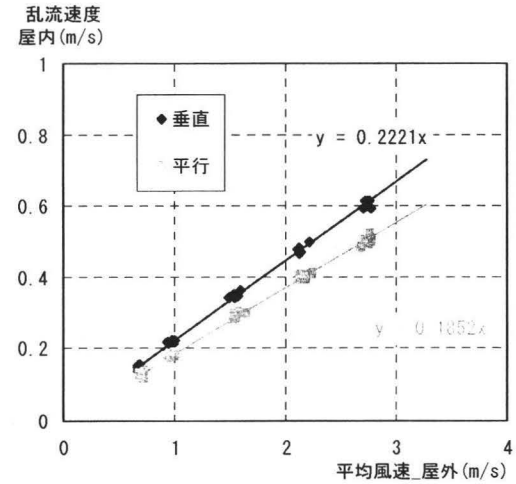
居間



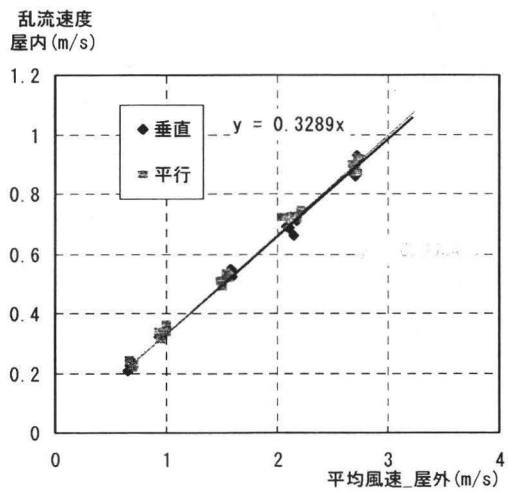
キッチン



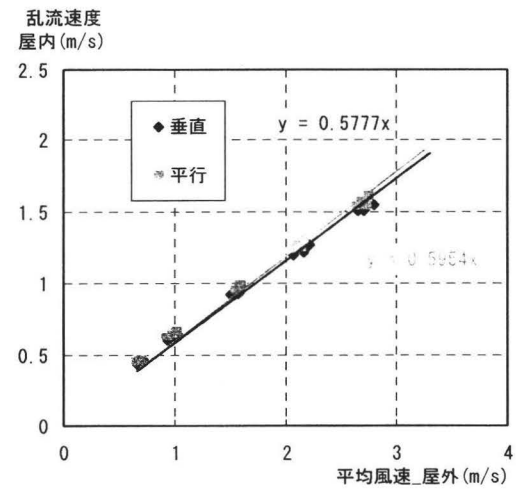
境界



玄関前廊下

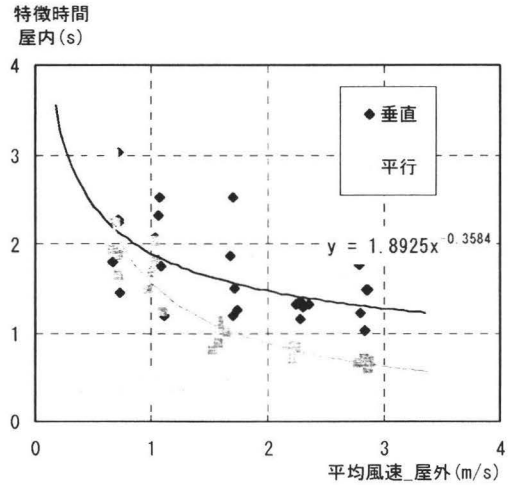


2階東部屋北寄り

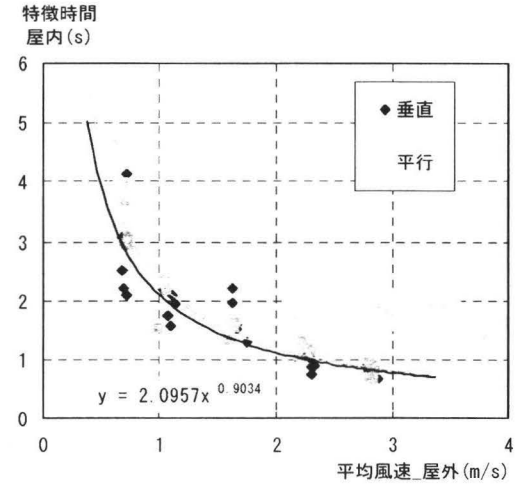


2階東部屋南寄り

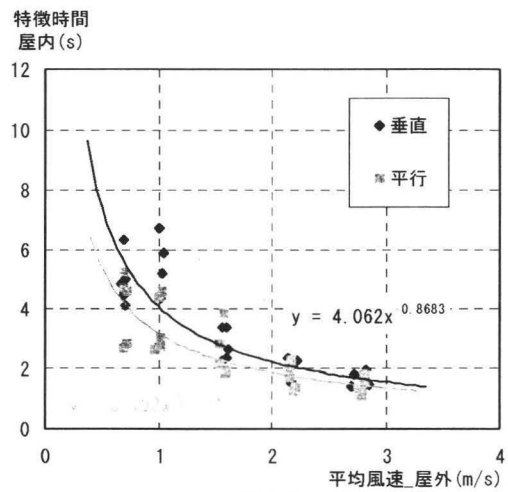
図 6　屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速の関係



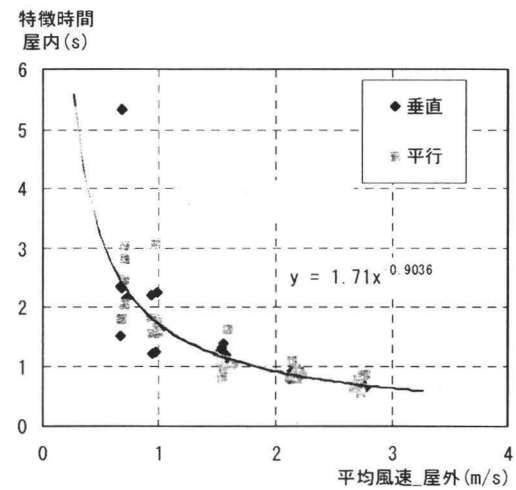
居間



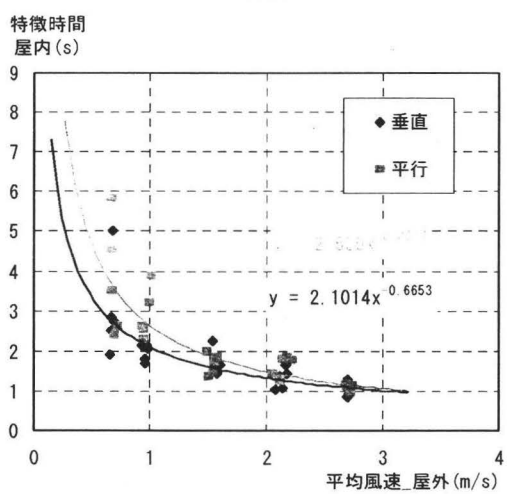
キッチン



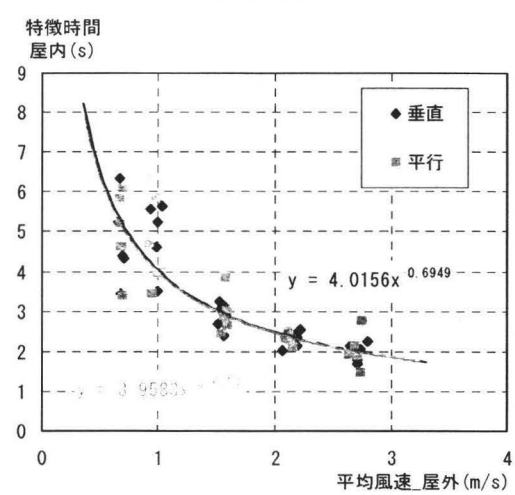
境界



玄関前廊下



2階東部屋北寄り



2階東部屋南寄り

図 7　屋内気流の特徴時間と屋外気流の平均風速の関係

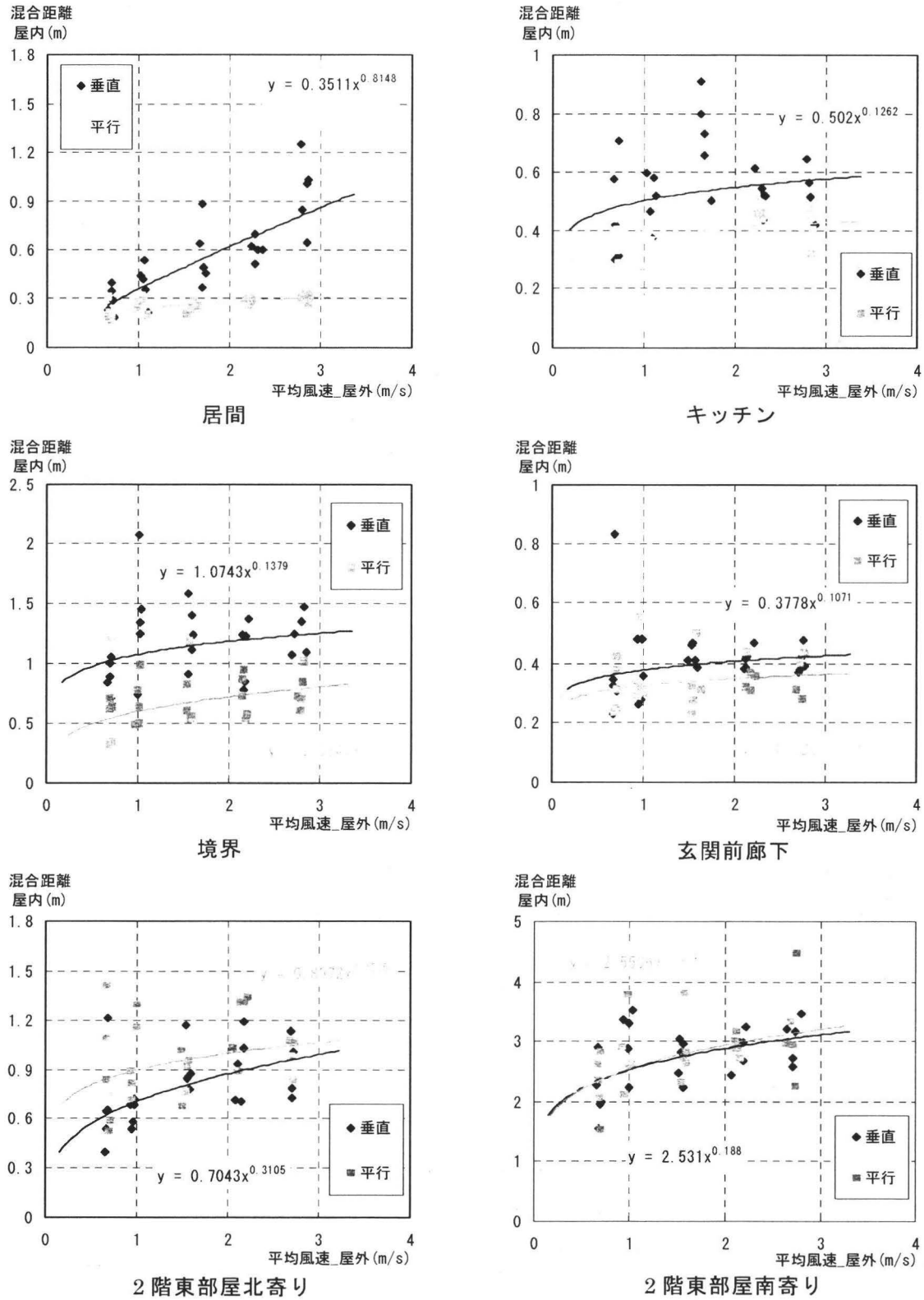
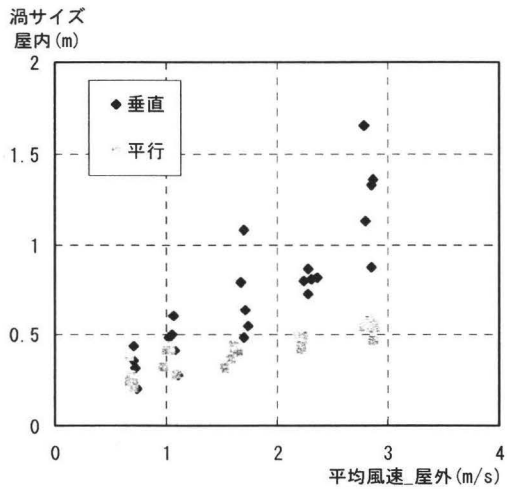
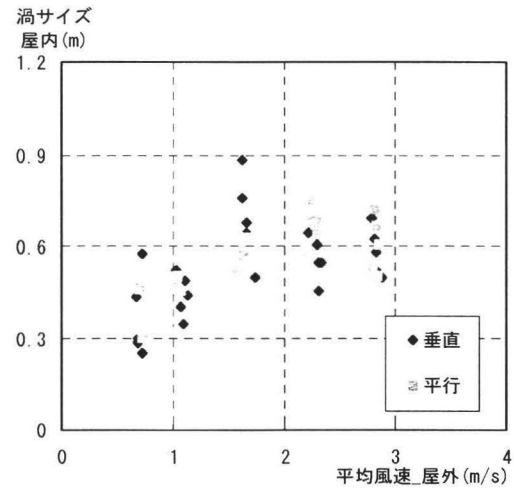


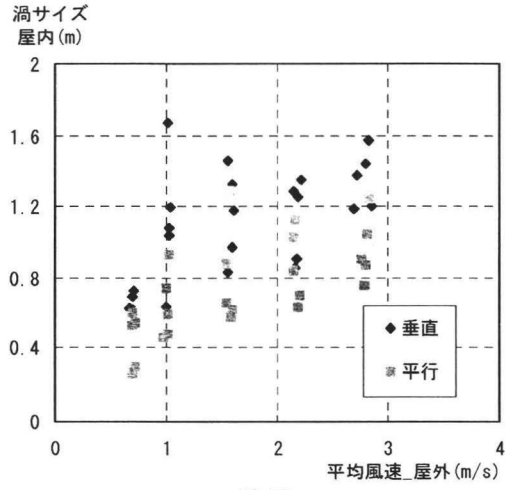
図８　屋内気流の混合距離と屋外気流の平均風速の関係



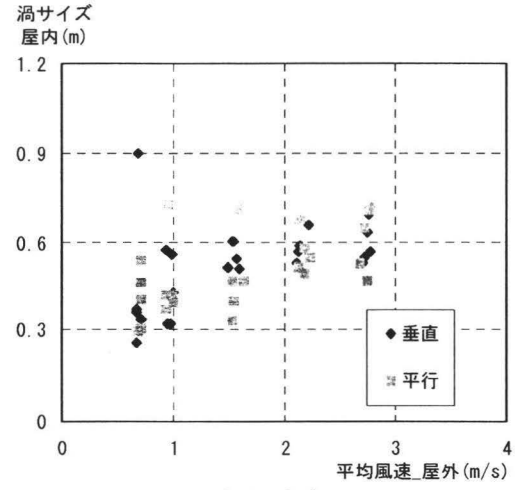
居間



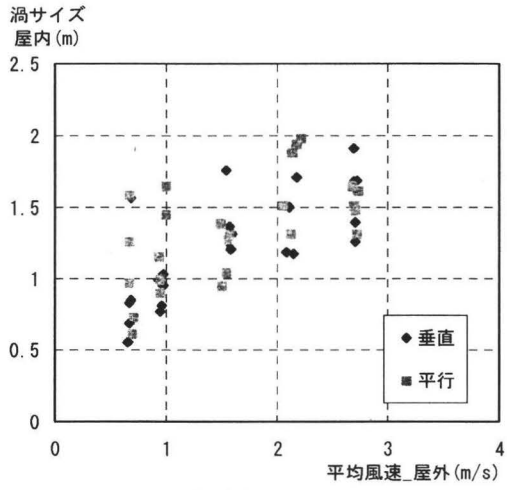
キッチン



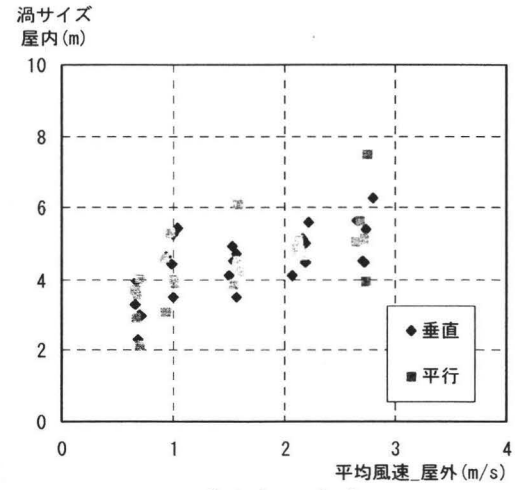
境界



玄関前廊下



2階東部屋北寄り



2階東部屋南寄り

図9　屋内気流の渦サイズと屋外気流の平均風速の関係

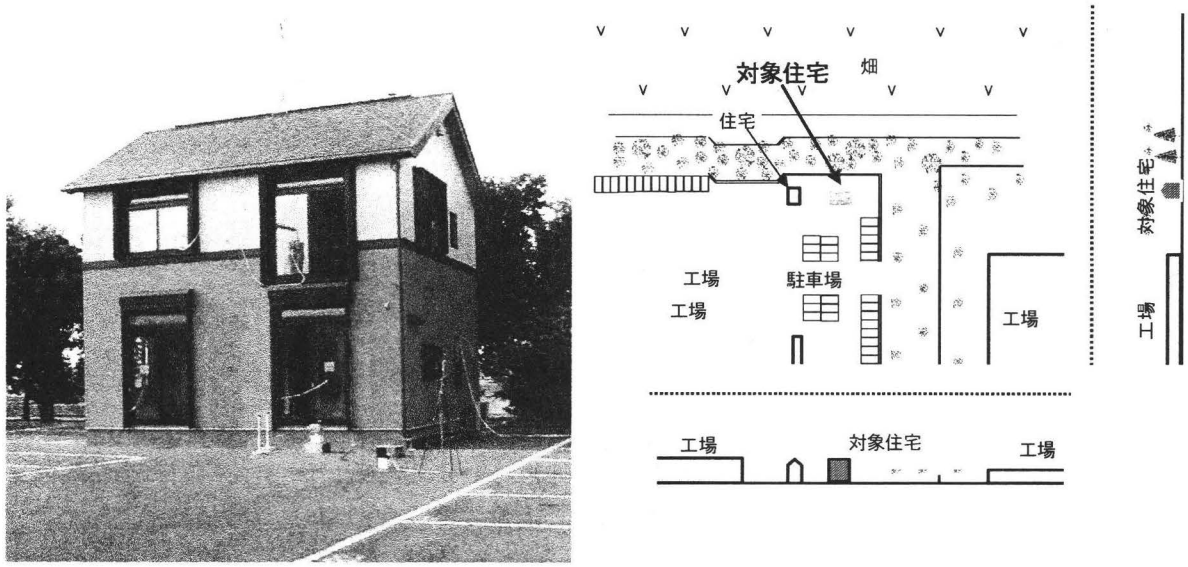


図 10　対象建物と周辺状況

表 7　測定位置

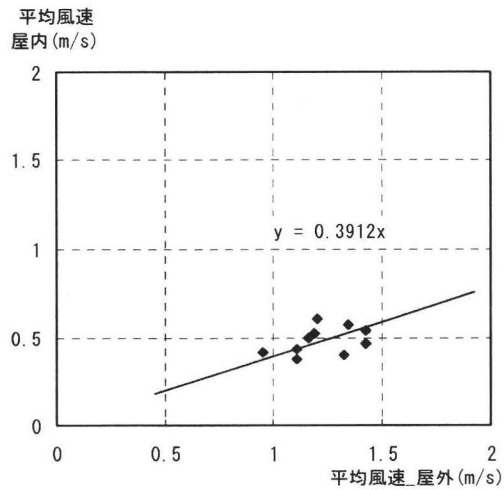
測定場所	風速計高さ	屋外気流測定点
1階　居間中央	床上　1.3［m］	地表高さ　1.9［m］
1階　キッチン中央	床上　1.5［m］	地表高さ　1.9［m］
1階　居間とキッチンの中央	床上　1.3［m］	地表高さ　1.9［m］
1階　玄関前の廊下	床上　1.5［m］	地表高さ　1.9［m］
2階　東部屋（南寄り）	床上　1.5［m］	地表高さ　1.9［m］
2階　東部屋（北寄り）	床上　1.5［m］	地表高さ　1.9［m］

表 8　開口部状況

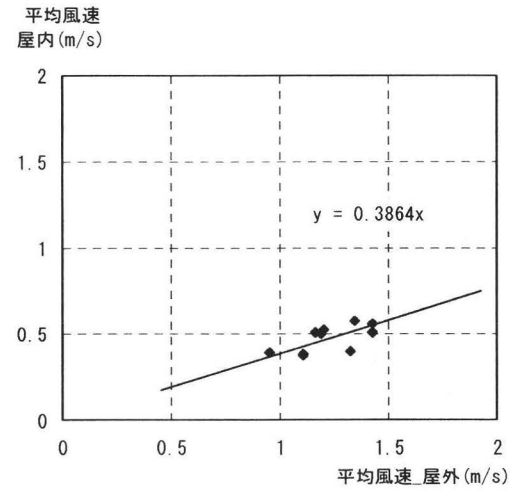
開口部状況								
① 閉	② 開	③ 開	④ 開	⑤ 開	⑥ 閉	⑦ 閉	⑧ 閉	⑨ 閉
⑩ 開	⑪ 開	⑫ 開	⑬ 開	⑭ 閉	⑮ 閉	⑯ 開	⑰ 閉	⑱ 開

表 9　平均風速の近似式の係数

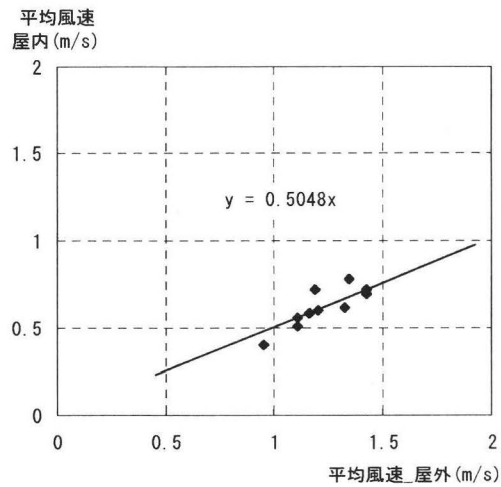
	居間	キッチン	境界
実大実験	0.3912	0.3864	0.5048
風洞（垂直）	0.2838	0.2577	0.2709
風洞（平行）	0.2652	0.2484	0.2253
	玄関前廊下	2階東部屋北寄り	2階東部屋南寄り
実大実験	0.3044	0.3597	0.5307
風洞（垂直）	0.3076	0.5364	0.9717
風洞（平行）	0.2895	0.4878	0.9892



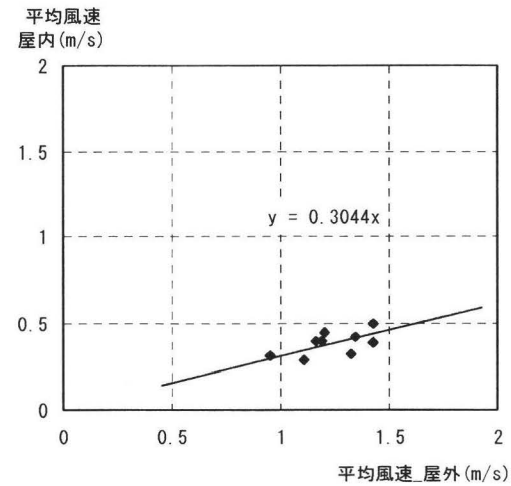
居間



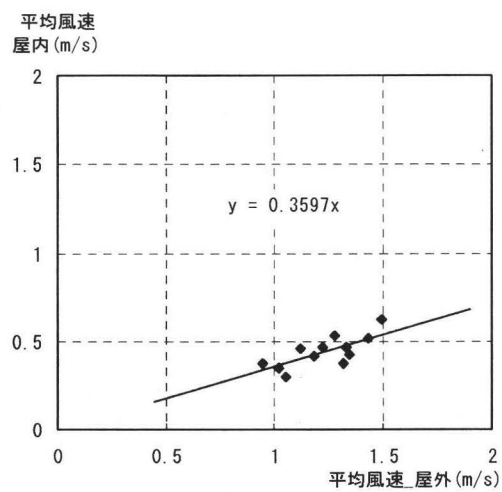
キッチン



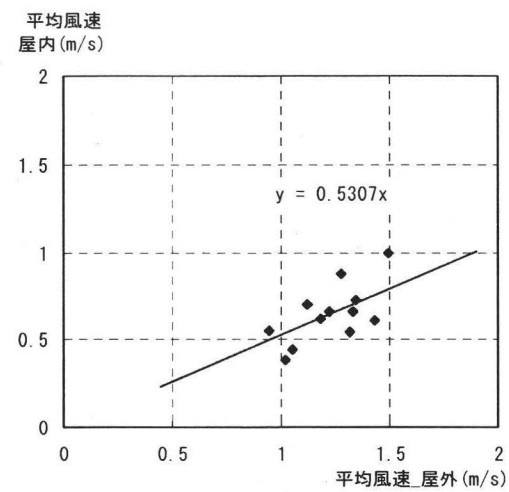
境界



玄関前廊下



2階東部屋北寄り



2階東部屋南寄り

図 11　屋内気流と屋外気流の平均風速の関係

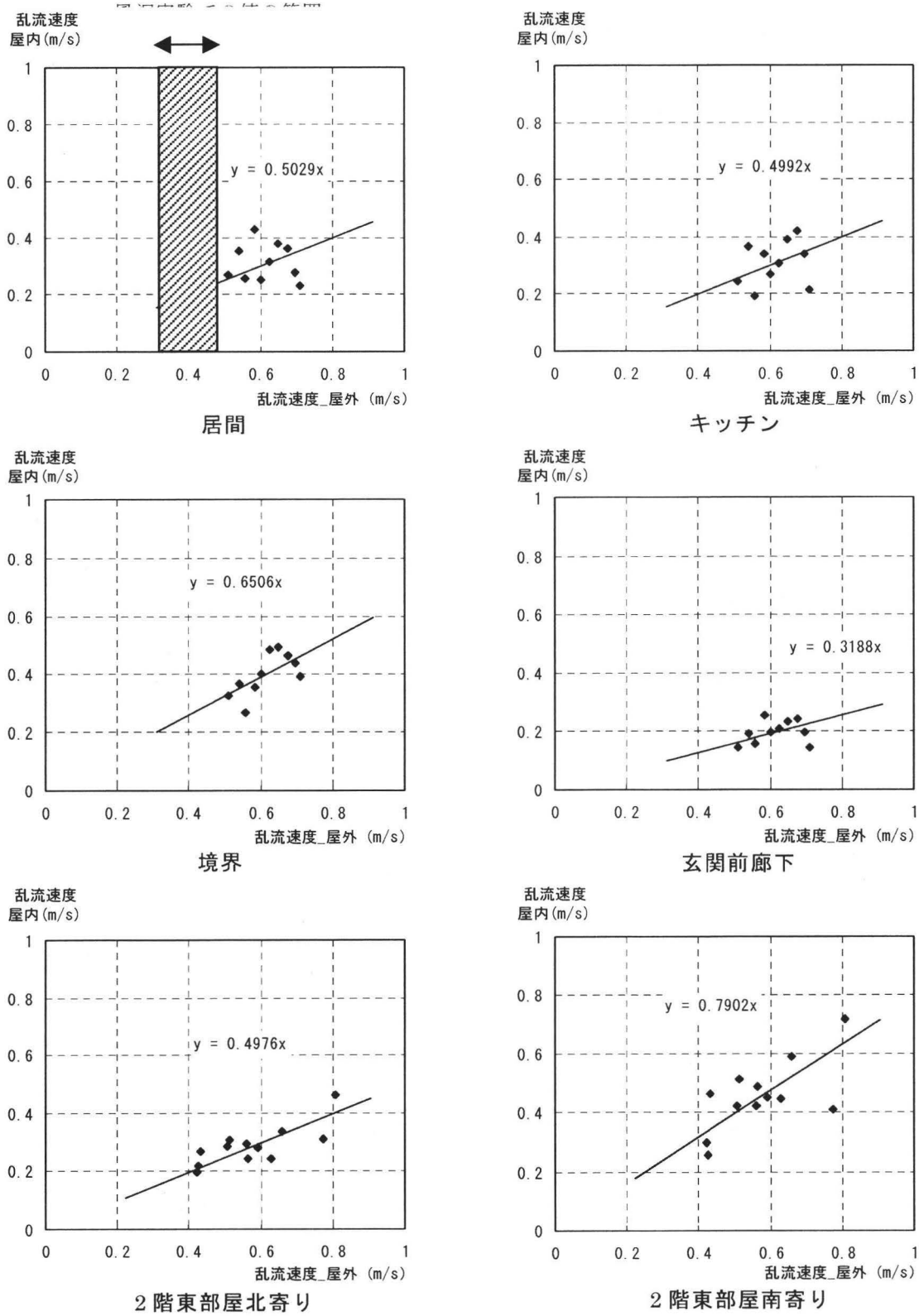


図 12　屋内気流と屋外気流の乱流速度の関係

表 10　乱流速度の近似式の係数

	居間	キッチン	境界
実大実験	0.5092	0.4992	0.6506
風洞（垂直）	0.775	0.8738	0.9321
風洞（平行）	0.5453	0.5963	0.6724
	玄関前廊下	2階東部屋北寄り	2階東部屋南寄り
実大実験	0.3188	0.4976	0.7902
風洞（垂直）	0.7754	1.1443	2.0137
風洞（平行）	0.6485	1.1652	2.0923

表 11　屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速の比例係数

	居間	キッチン	境界
実大実験	0.2544	0.2538	0.3271
風洞（垂直）	0.2171	0.2442	0.2655
風洞（平行）	0.1569	0.1708	0.193
	玄関前廊下	2階東部屋北寄り	2階東部屋南寄り
実大実験	0.1613	0.2342	0.3724
風洞（垂直）	0.2221	0.3289	0.5777
風洞（平行）	0.1852	0.3334	0.5954

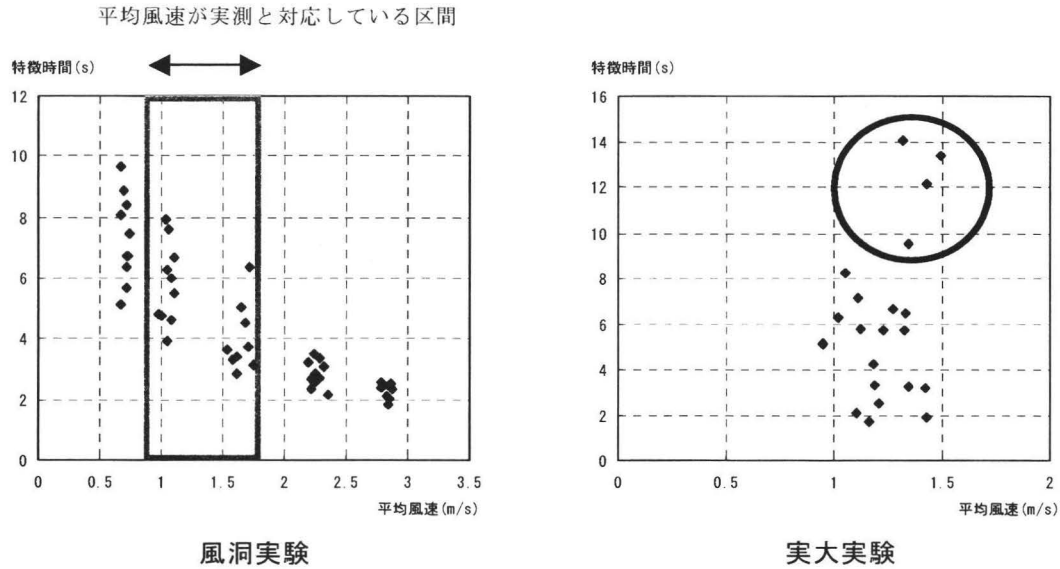
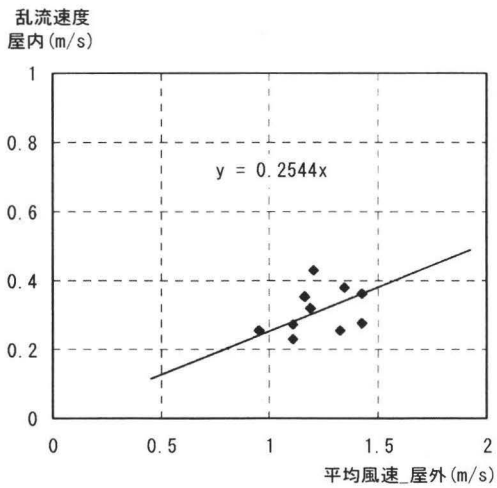
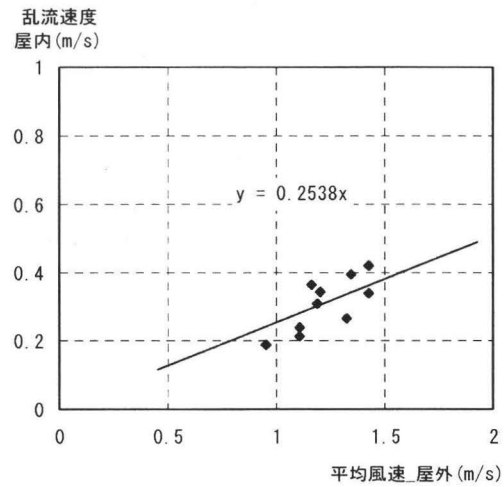


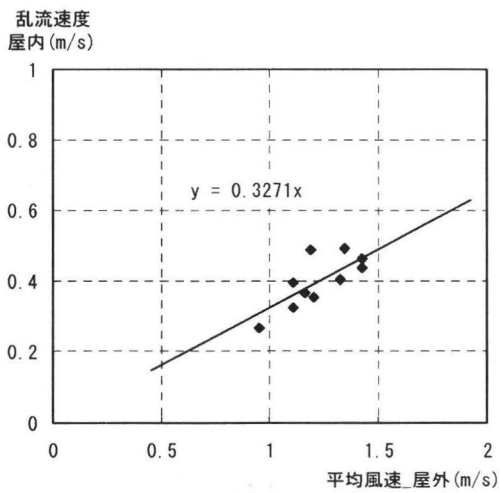
図 16　屋外気流における平均風速と特徴時間の関係



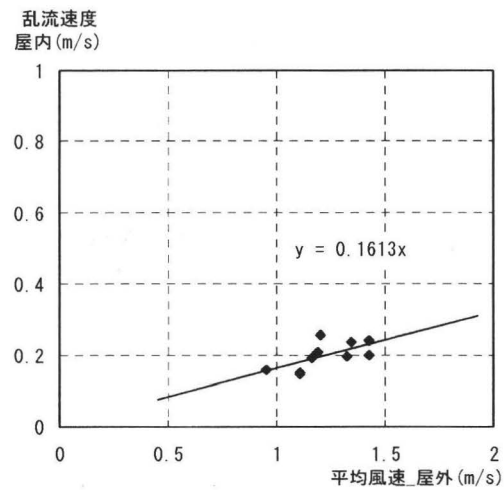
居間



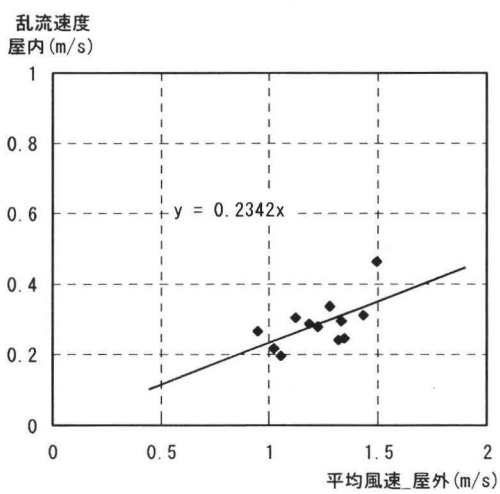
キッチン



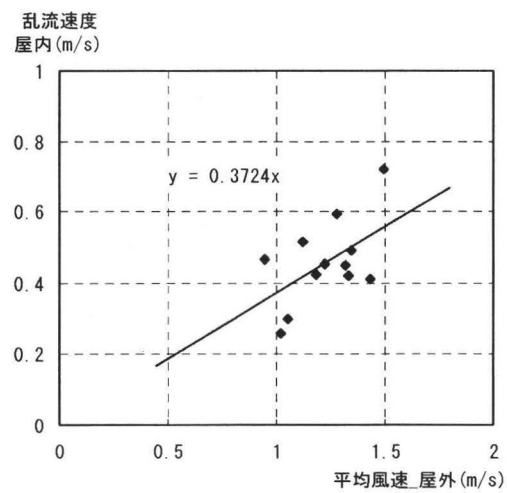
境界



玄関前廊下

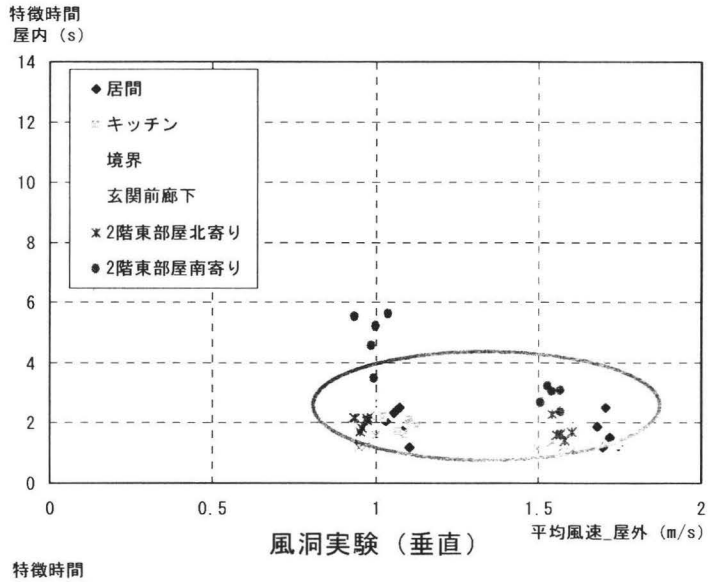


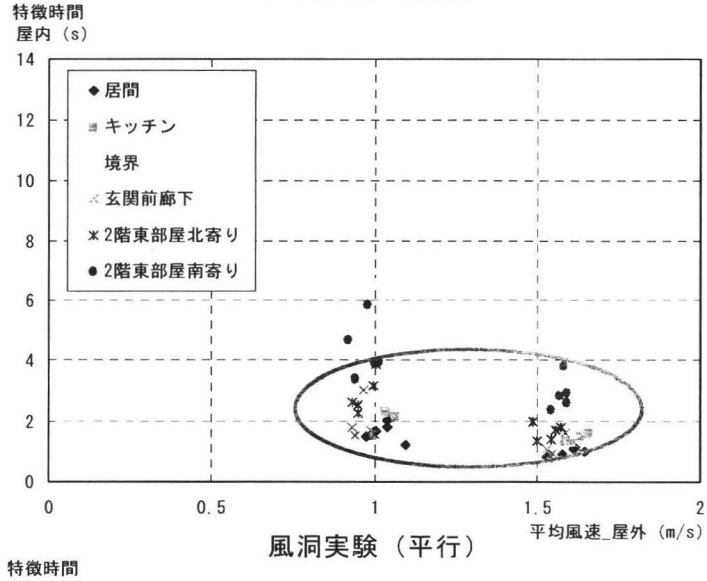
2階東部屋北寄り



2階東部屋南寄り

図 13　屋内気流の乱流速度と屋外気流の平均風速の関係





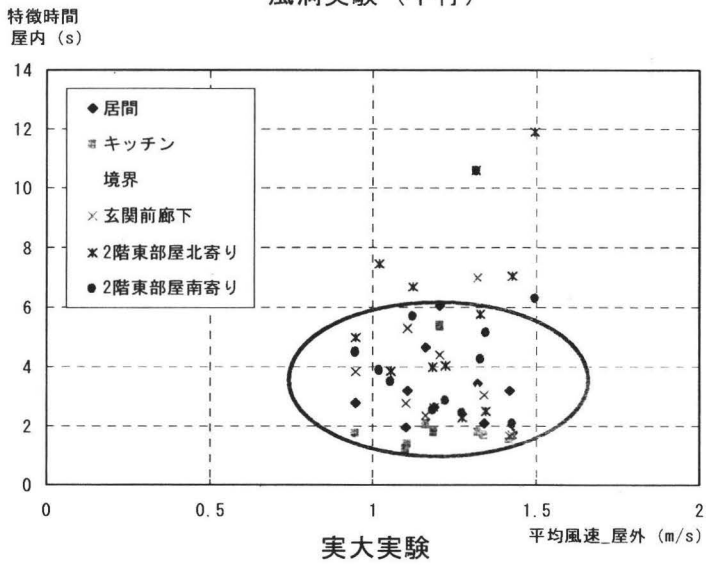
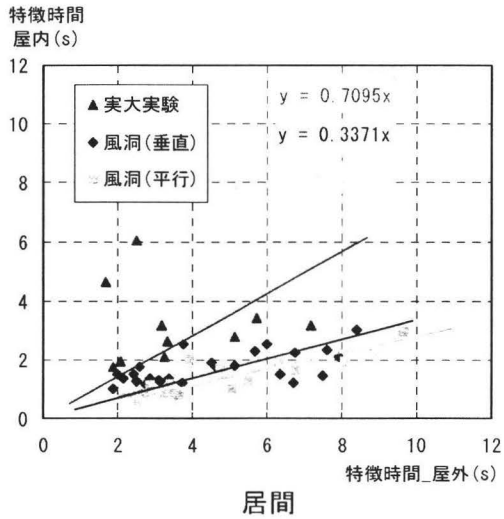
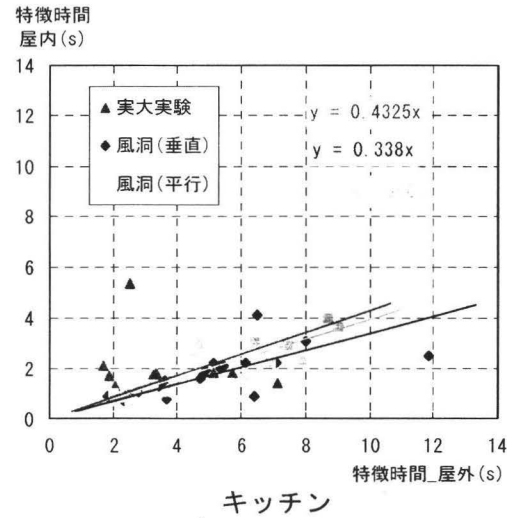


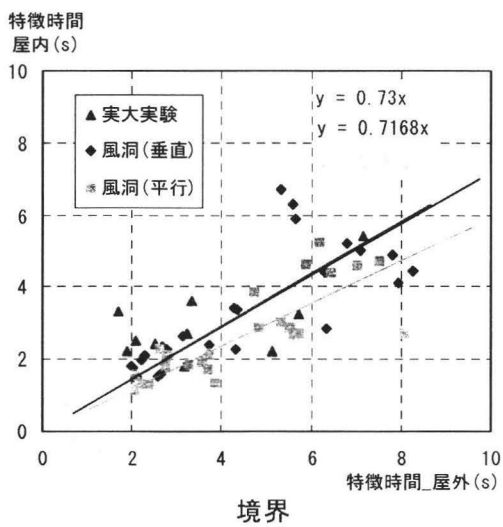
図 14　屋内気流の特徴時間と屋外気流の平均風速の関係



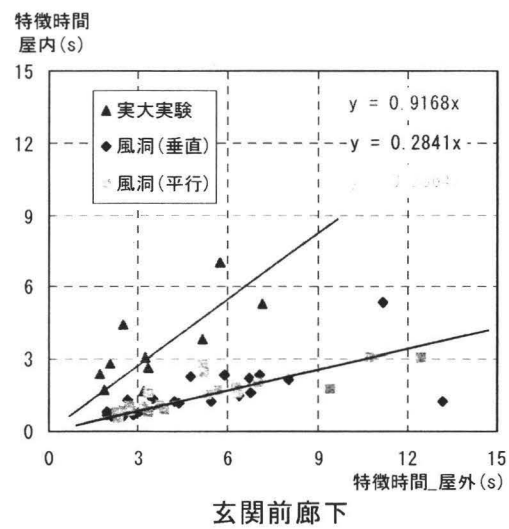
居間



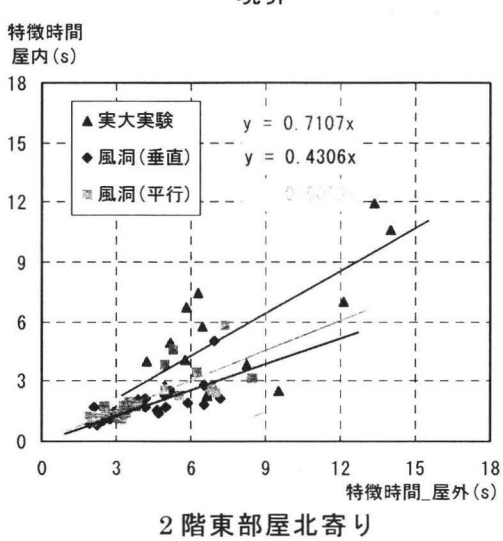
キッチン



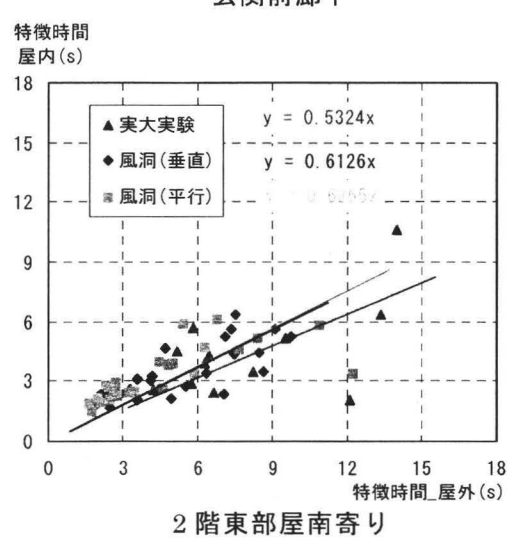
境界



玄関前廊下



2階東部屋北寄り



2階東部屋南寄り

図 15　屋内気流と屋外気流の特徴時間の関係

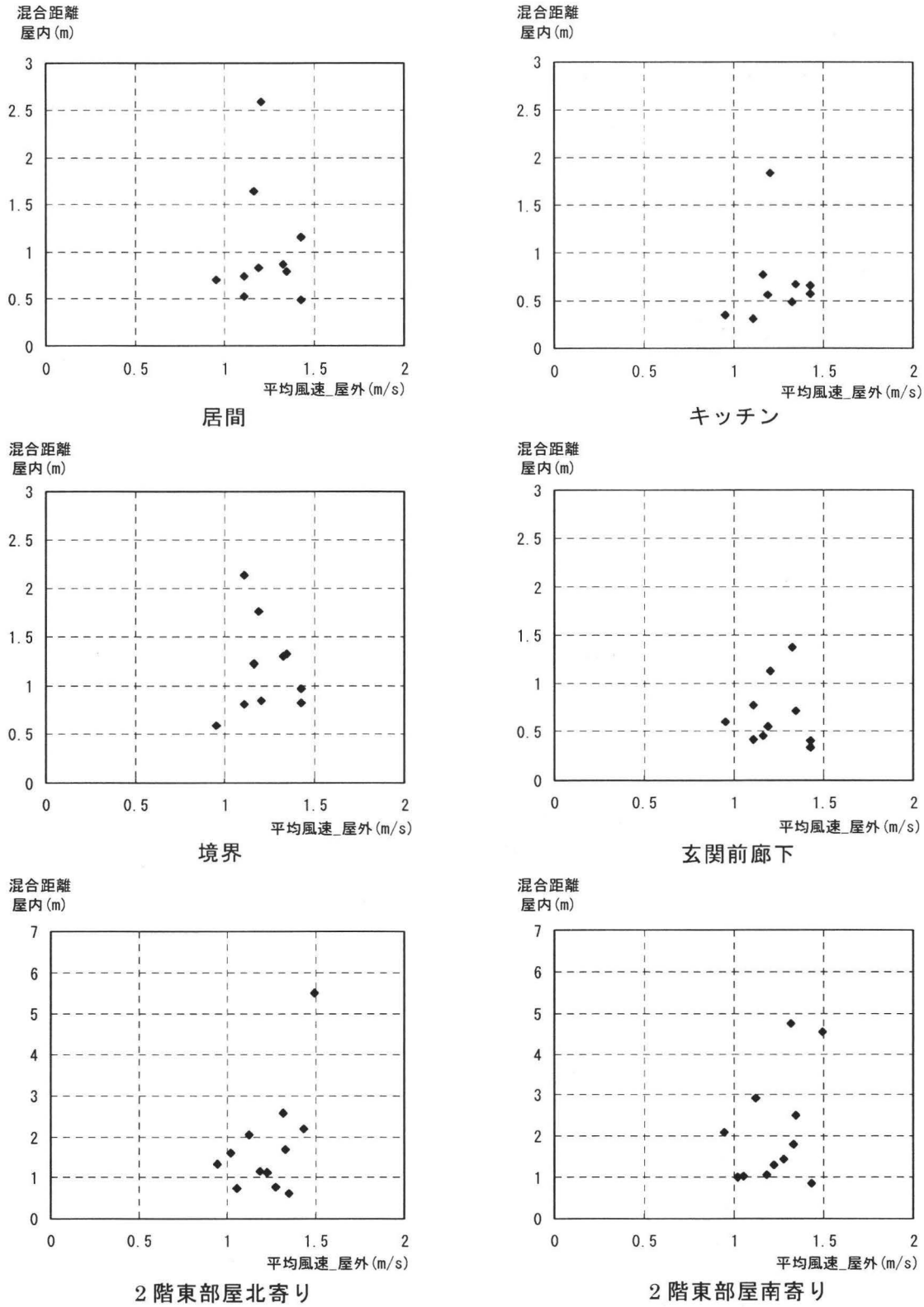


図 17　屋内気流の混合距離と屋外気流の平均風速の関係

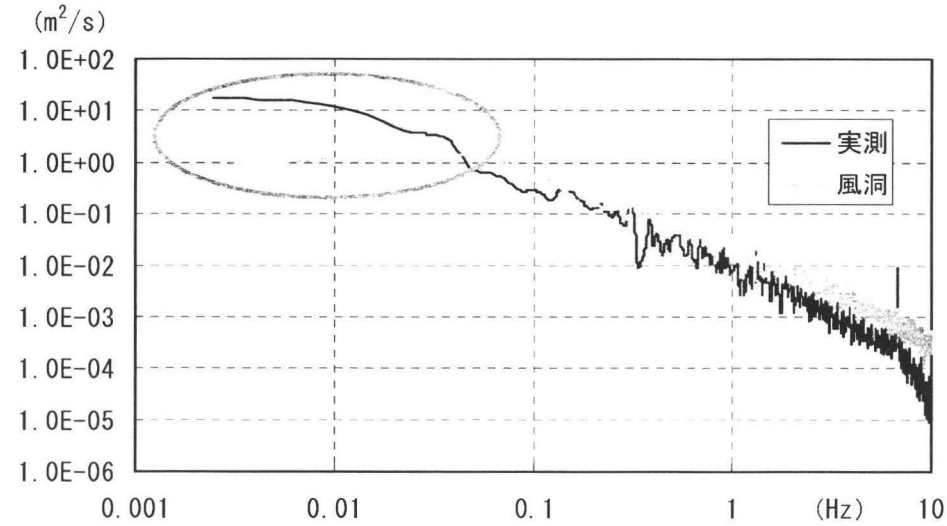


図 18　屋外気流のパワースペクトル

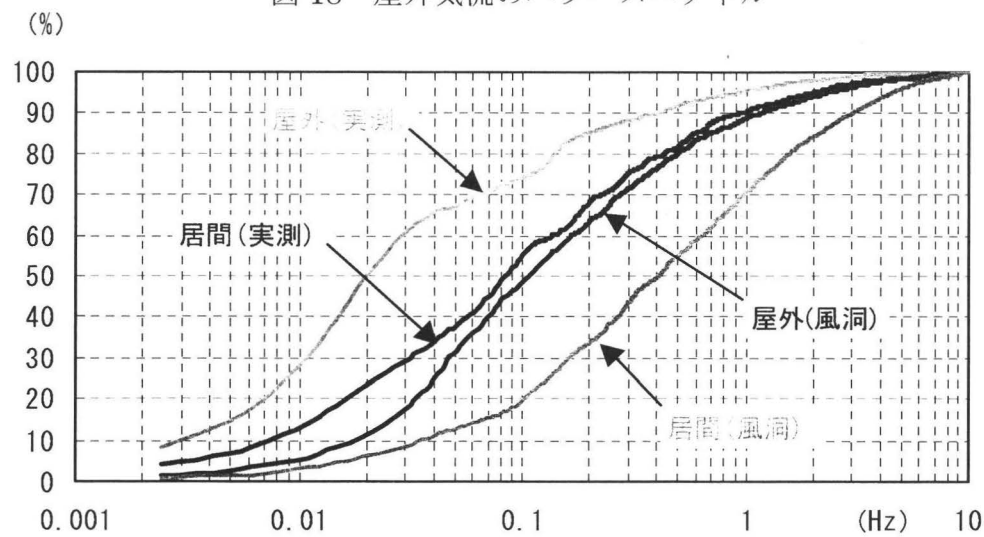


図 19　屋外気流と屋内気流(居間)の累積パワースペクトル

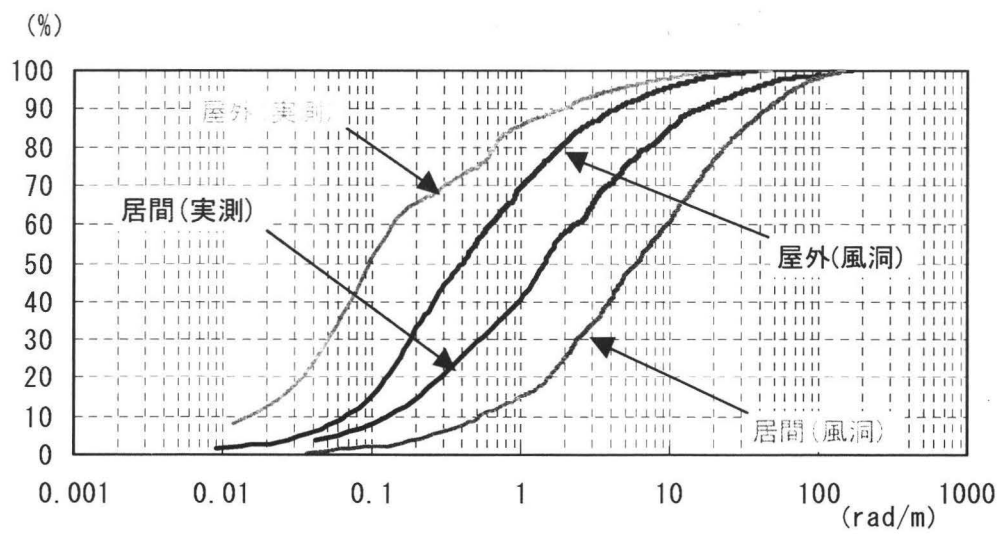


図 20　波数表示による累積パワースペクトル

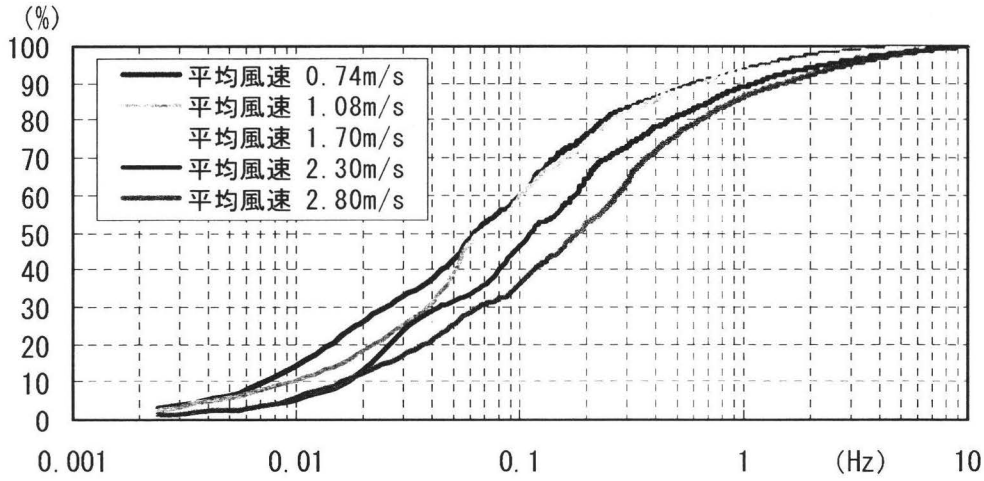


図 21　風洞内屋外気流の累積パワースペクトル（周波数表示）

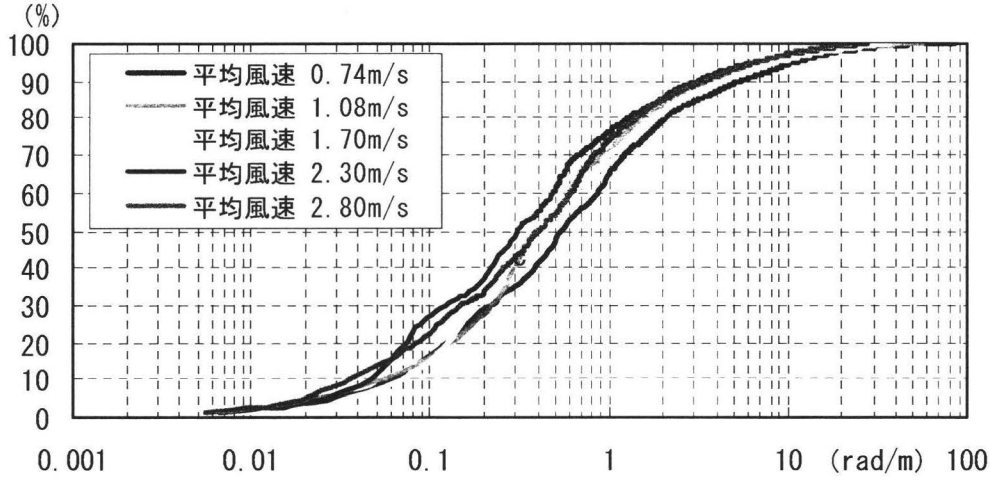


図 22　風洞内屋外気流の累積パワースペクトル（波数表示）

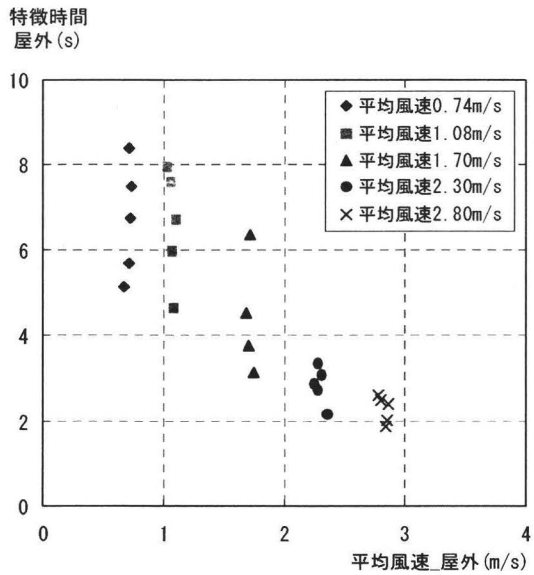


図 23　風洞内屋外気流の
平均風速と特徴時間の関係

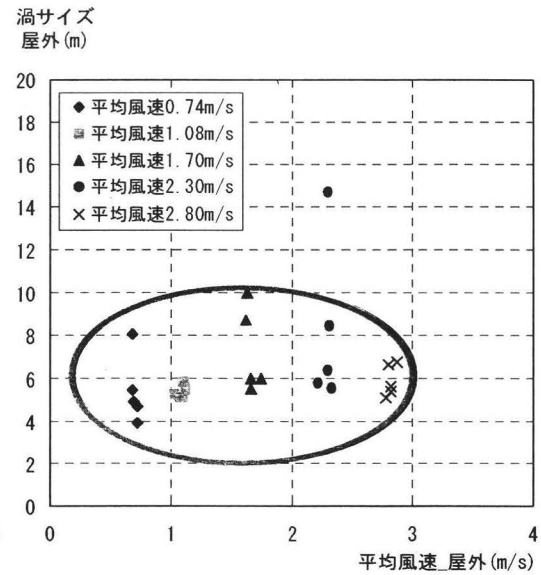


図 24　風洞内屋外気流の
平均風速と渦サイズの関係

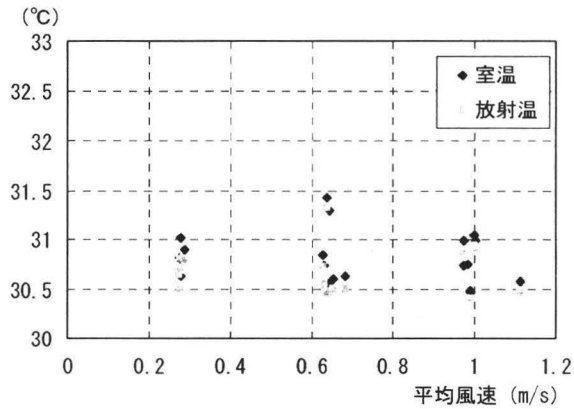


図 25　実験時の室温・放射温

表 12　実験時の室温と放射温の平均値

	室温[℃]
平均	30.804444
標準偏差	0.2540099

	放射温[℃]
平均	30.685062
標準偏差	0.2463769

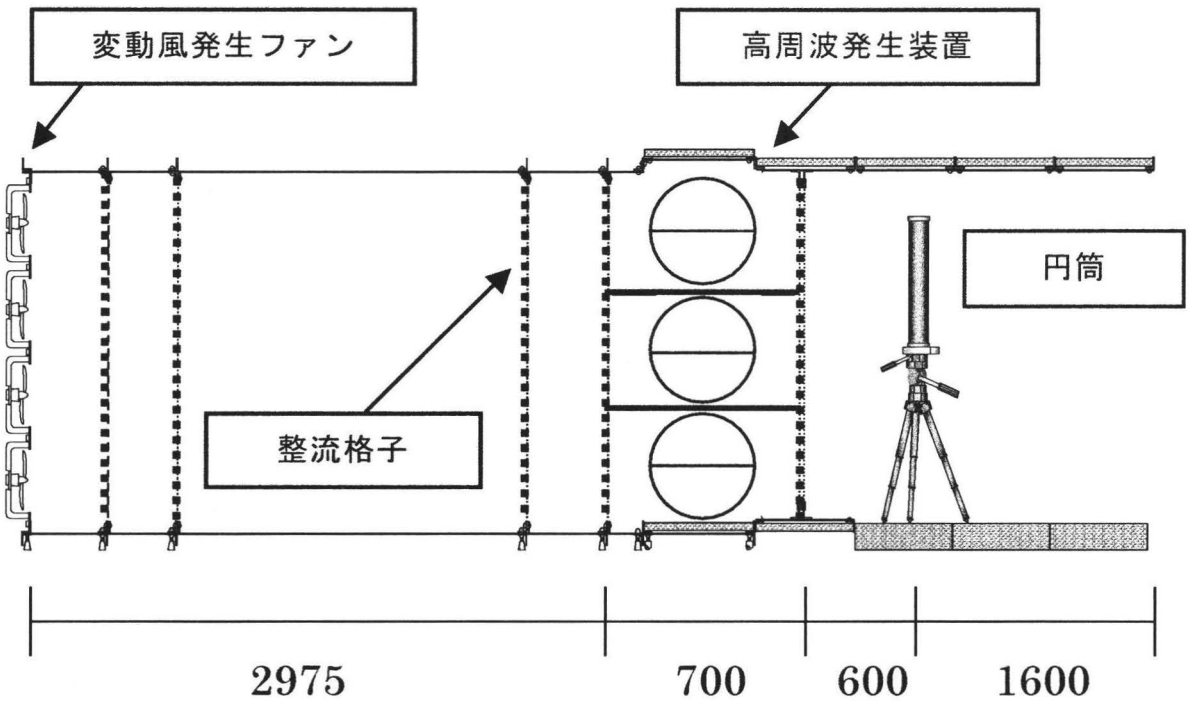


図 26　変動風発生装置

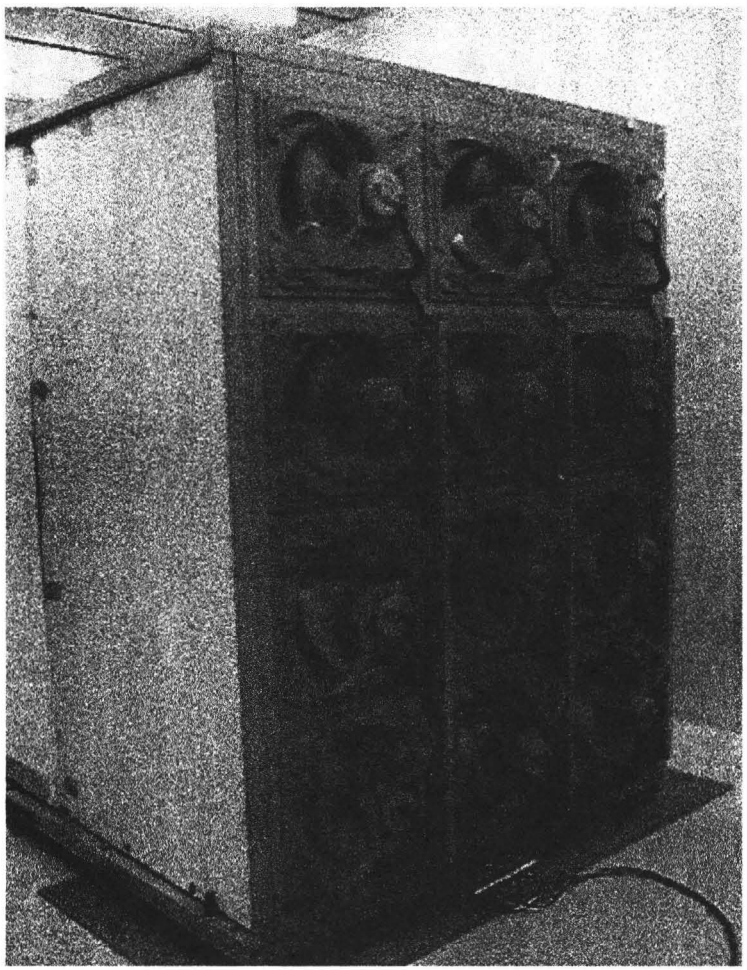


図 27　変動風発生装置ファン部

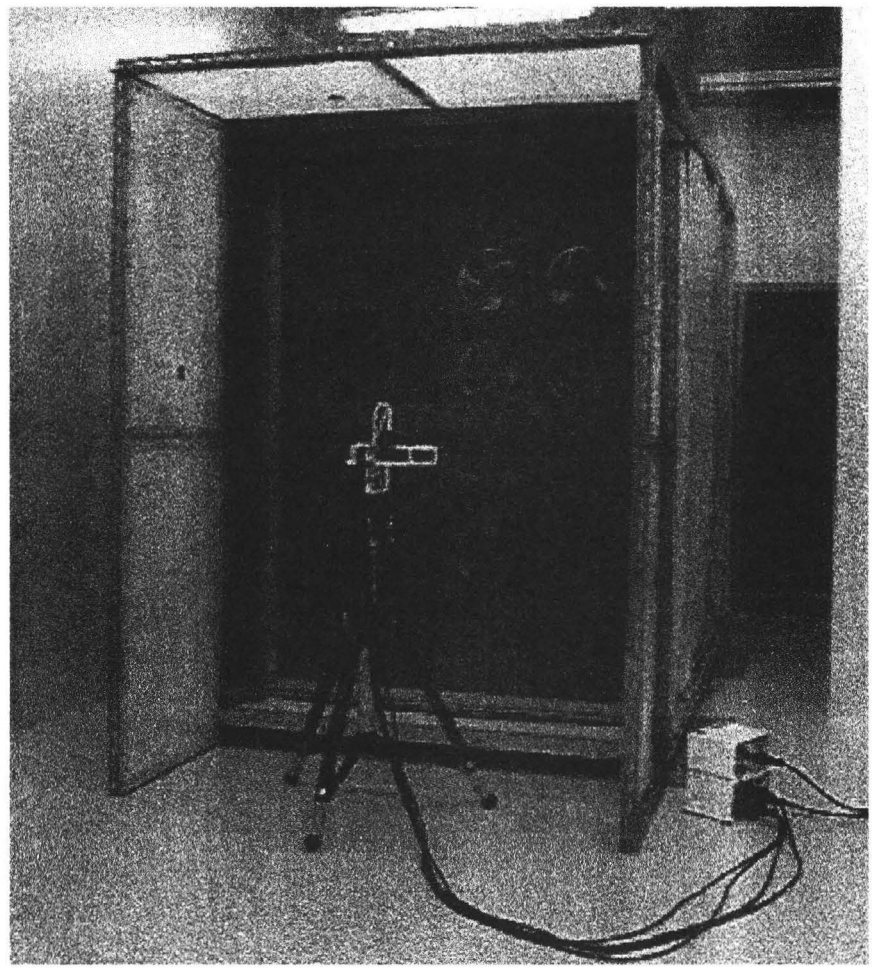


図 28　変動風発生装置吹出し部

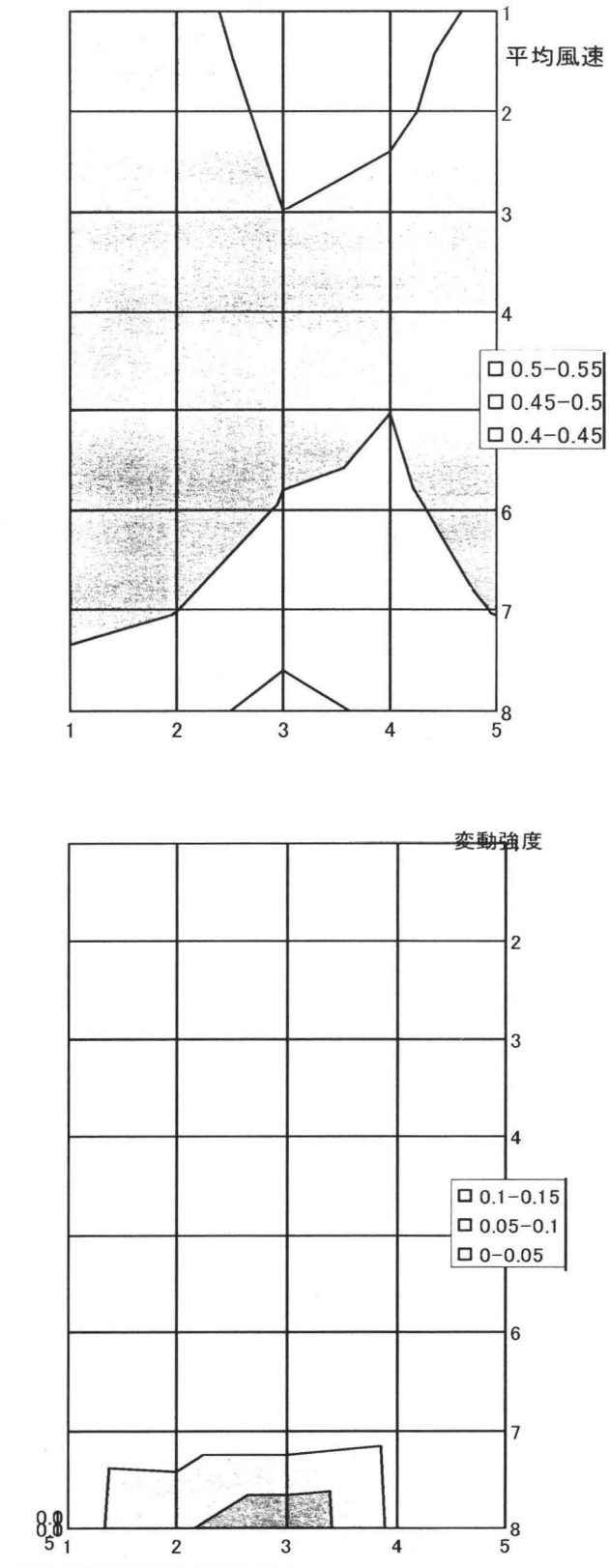


図 29　平均風速と変動強度の分布

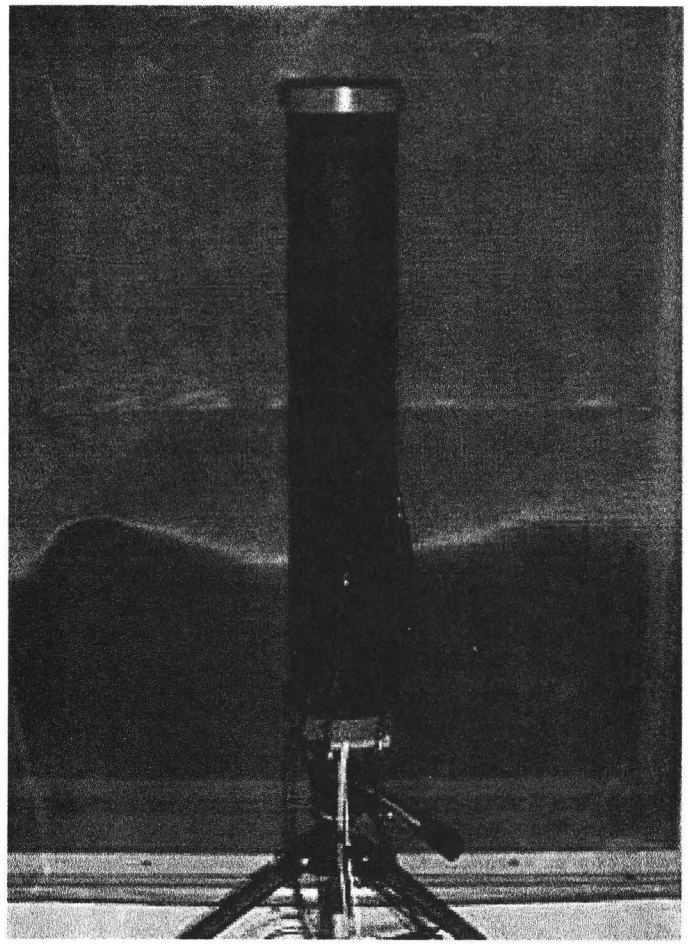


図 30　円筒模型外観(後方)

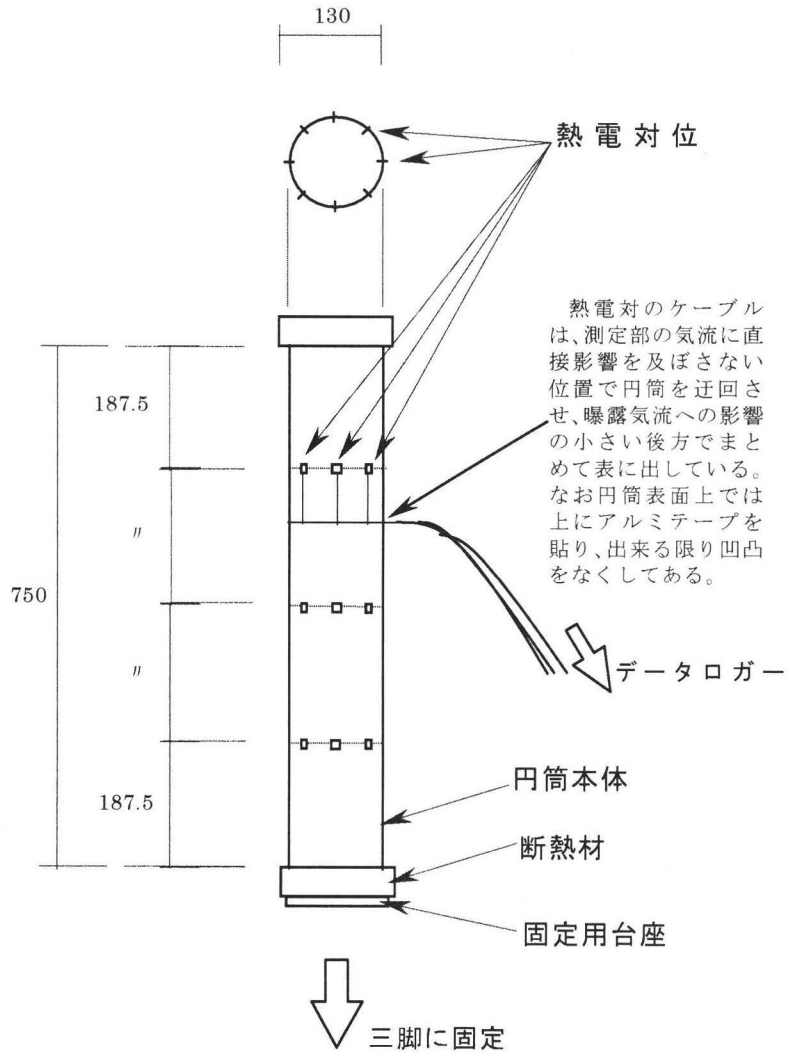


図 31　円筒サイズおよび熱電対設置位置



図 32

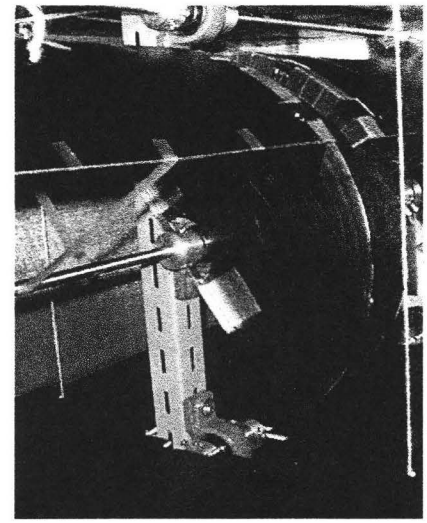


図 33

表 13　実験パターン

定常気流

平均風速[m/s]	0.3、0.5、0.65、1.0、1.4

変動気流

乱れの強さ[%]	10%	30%
平均風速[m/s]	0.3、0.65、1.0	0.3、0.65、1.0
周波数[Hz]	0.0125、0.05、0.2、4	0.0125、0.2

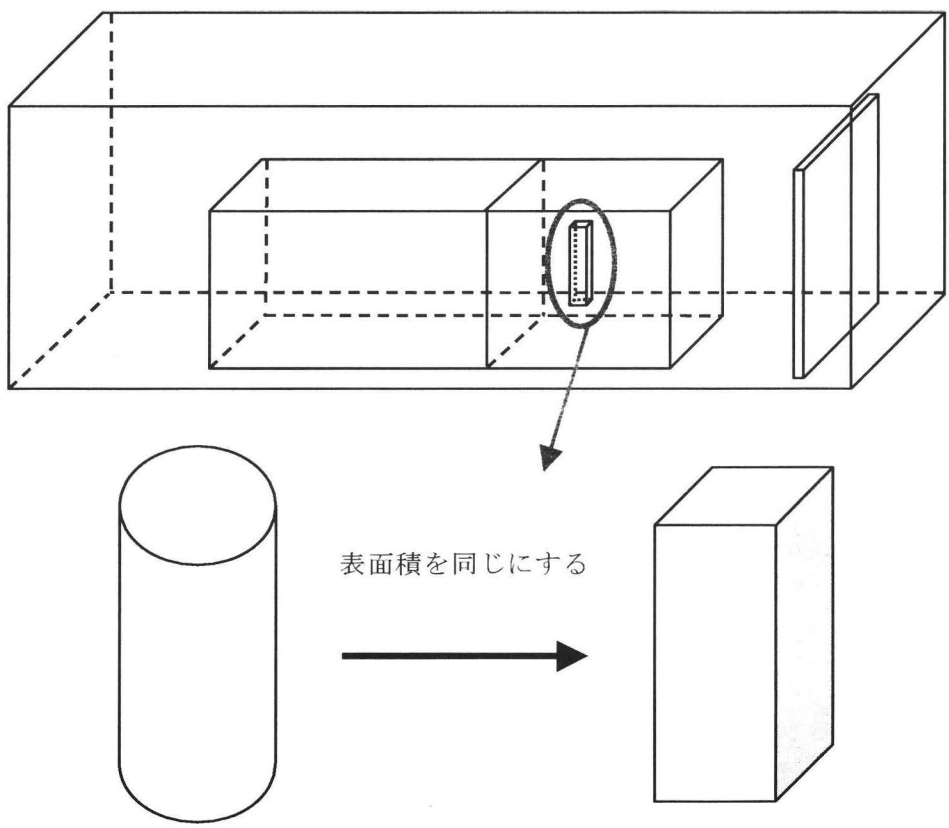


図 34　実験室面分割

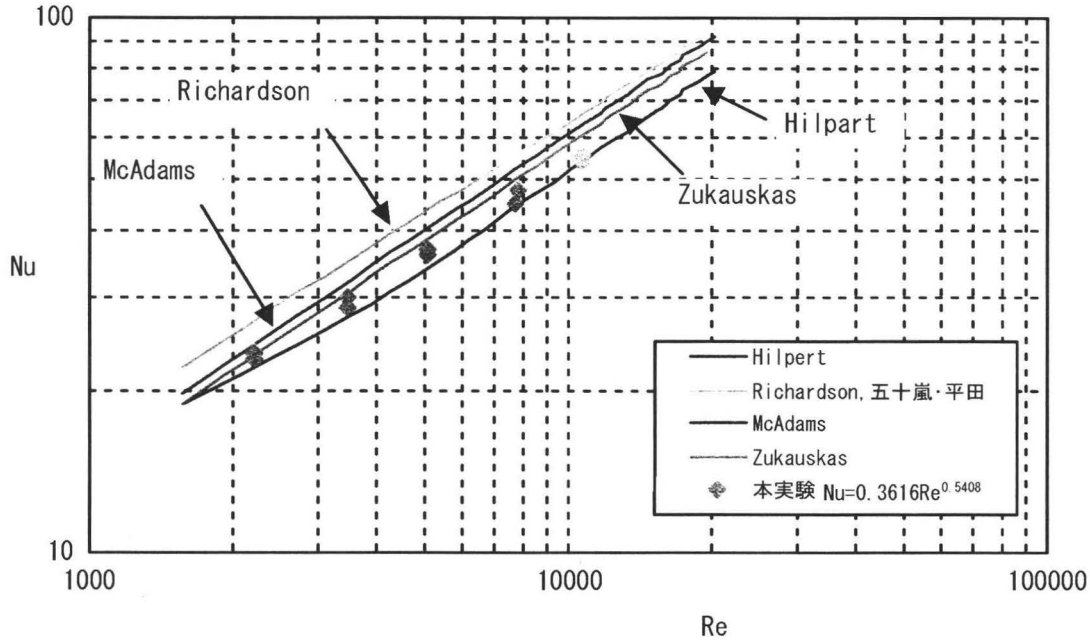
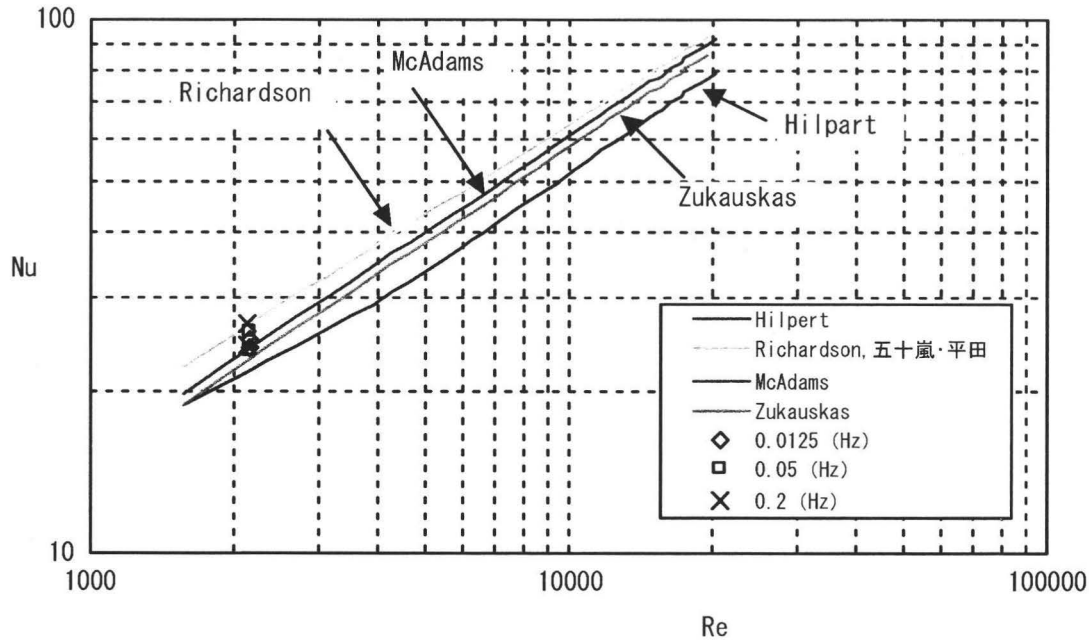
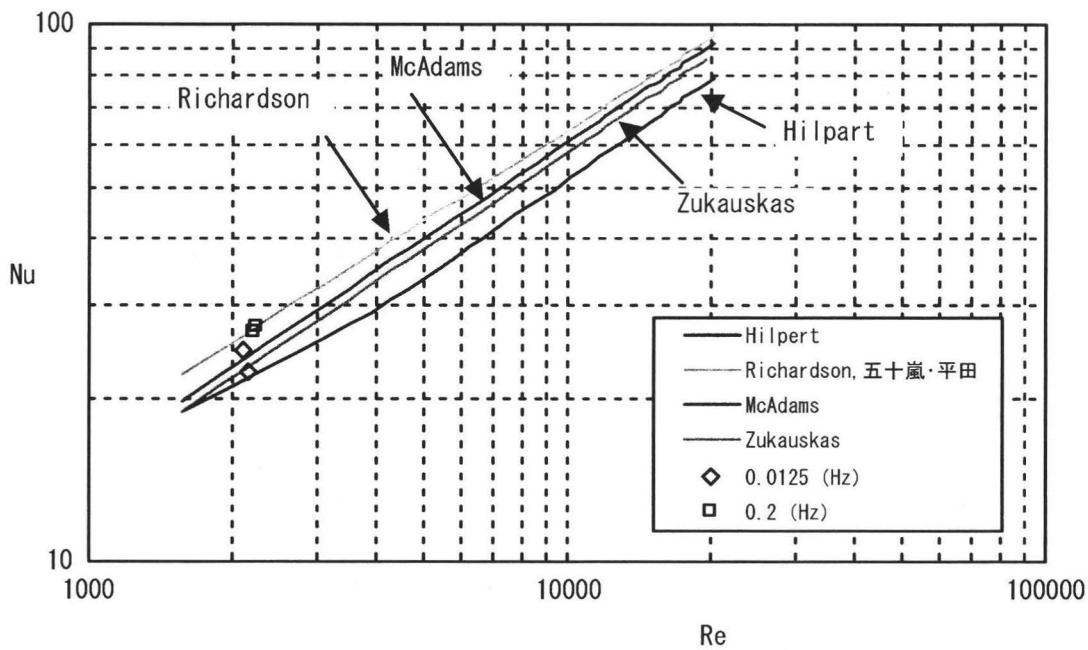


図 35　定常風暴露時の Re-Nu

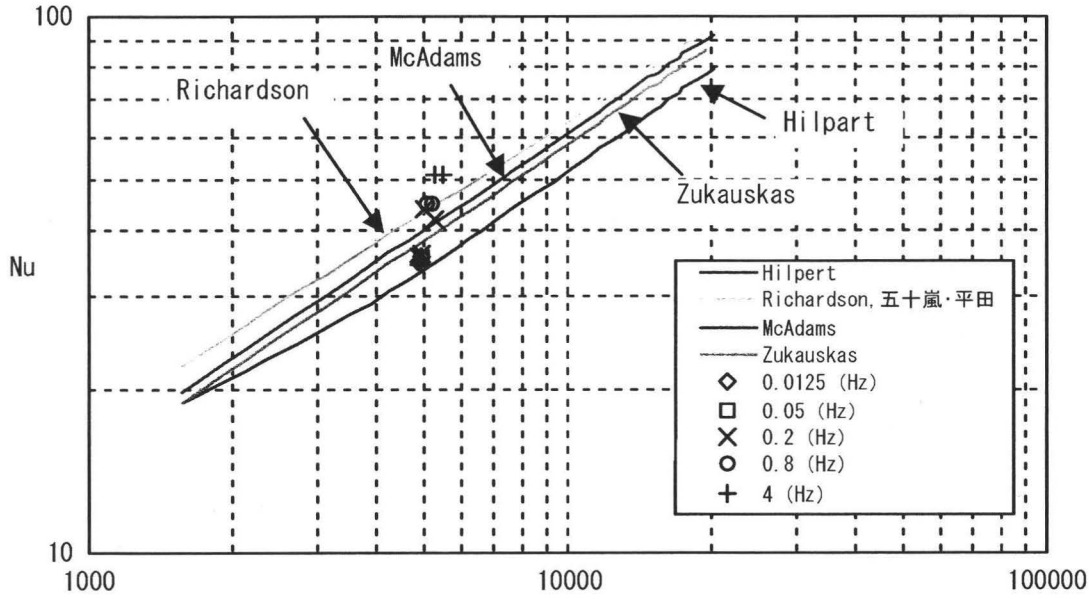


乱れの強さ 10%

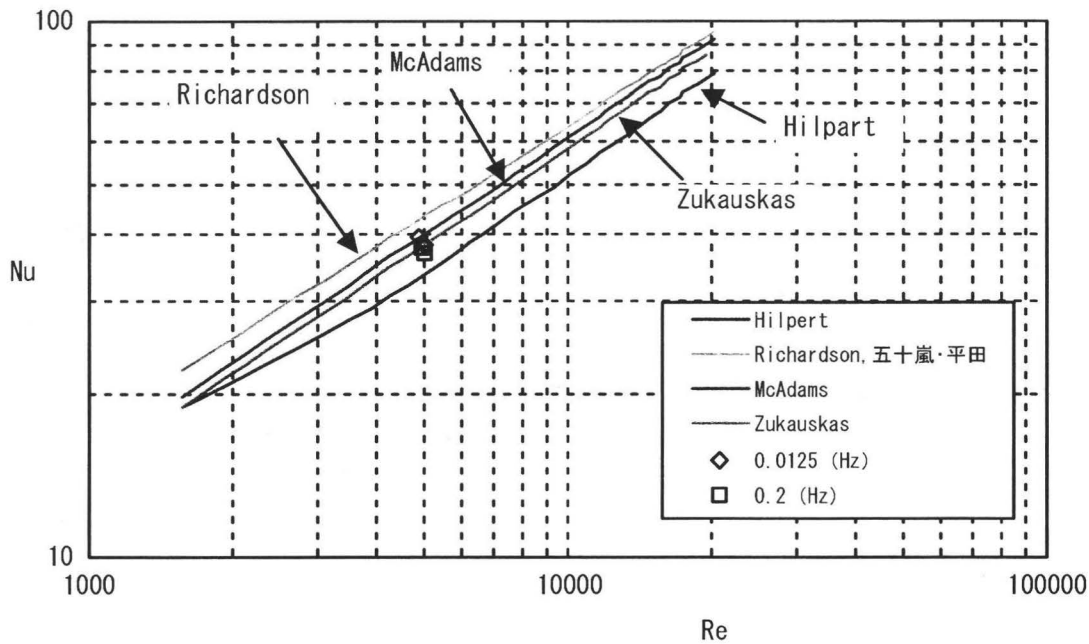


乱れの強さ 30%

図 36　気流の変動周波数による Re-Nu の比較 1（平均風速 0.3m/s）

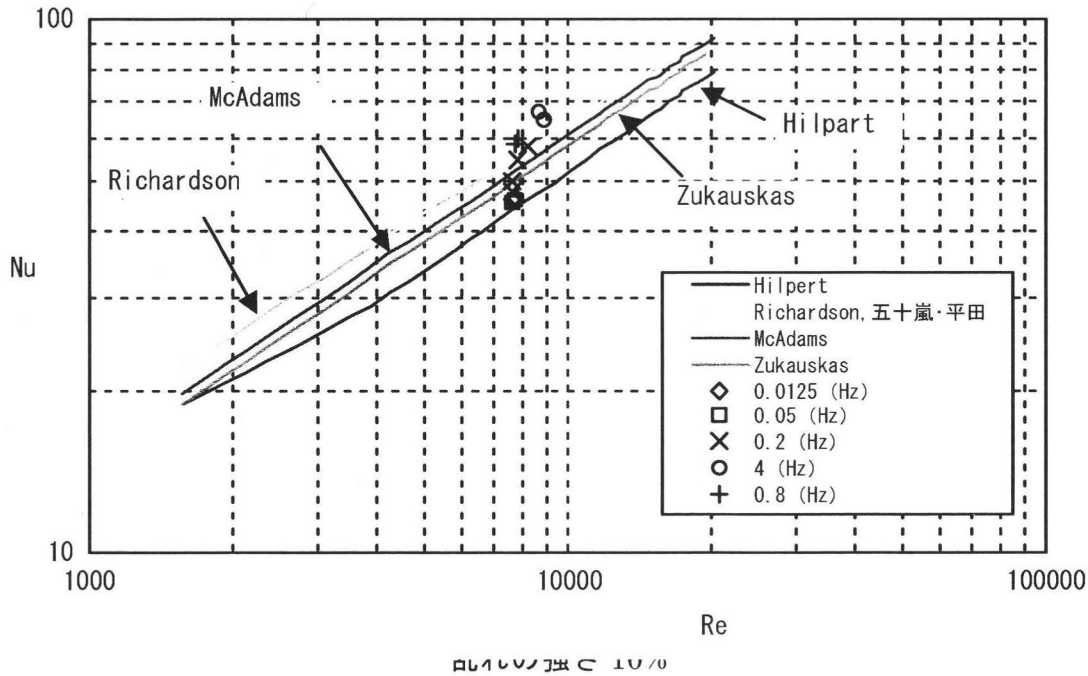


乱れの強さ 10%

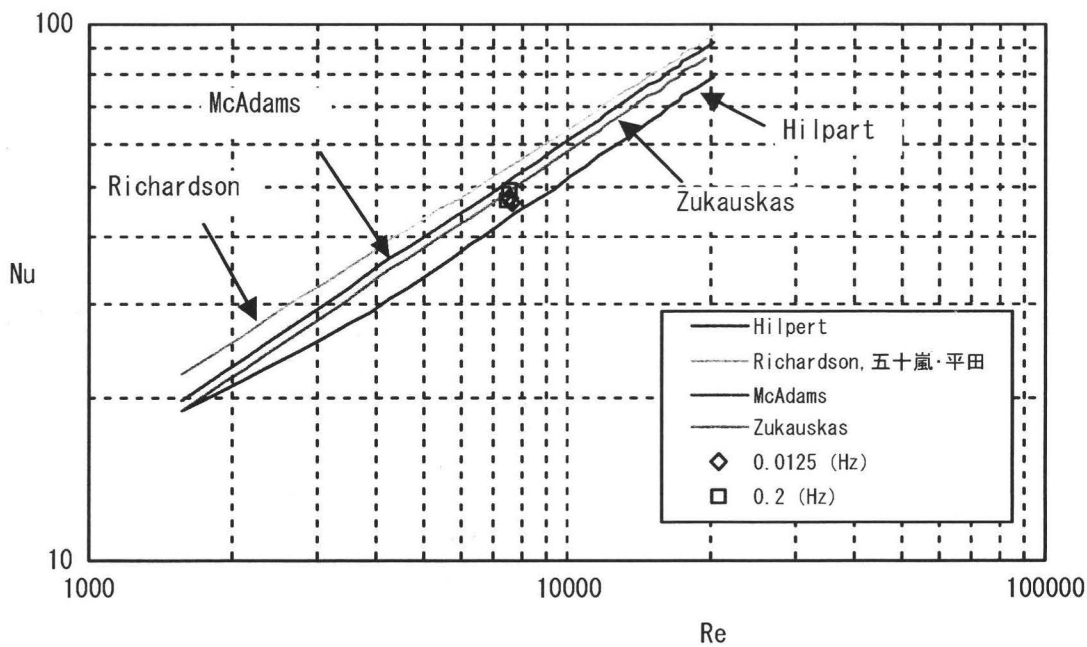


乱れの強さ 30%

図 37　気流の変動周波数による Re-Nu の比較 2（平均風速 0.65m/s）

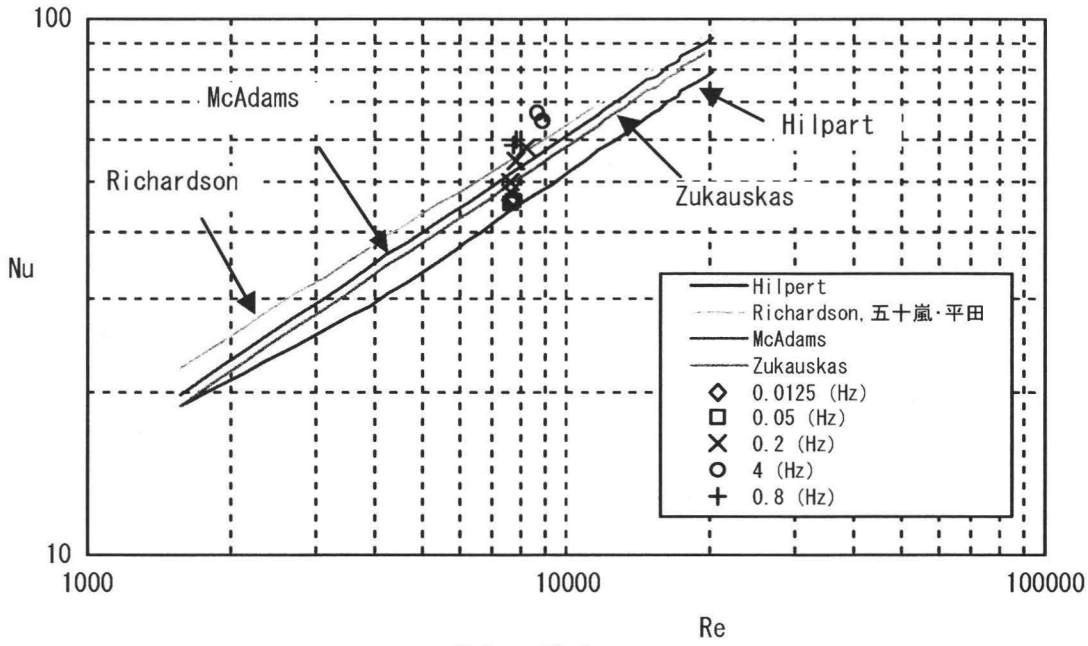


乱れの強さ 10%

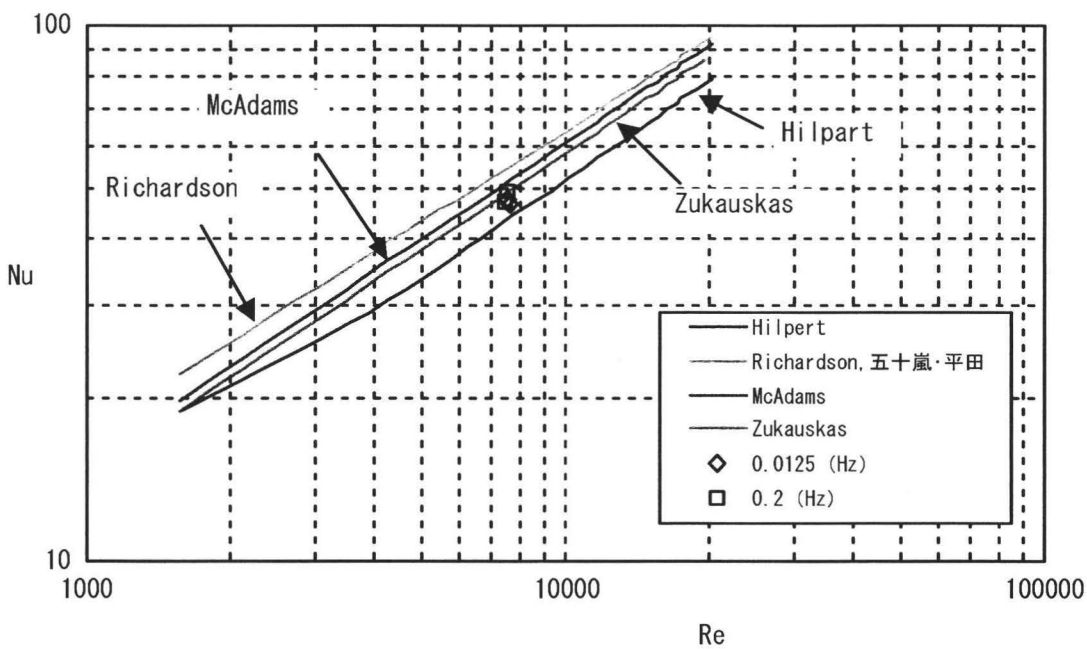


乱れの強さ 30%

図38　気流の変動周波数によるRe-Nuの比較3（平均風速1.0m/s）

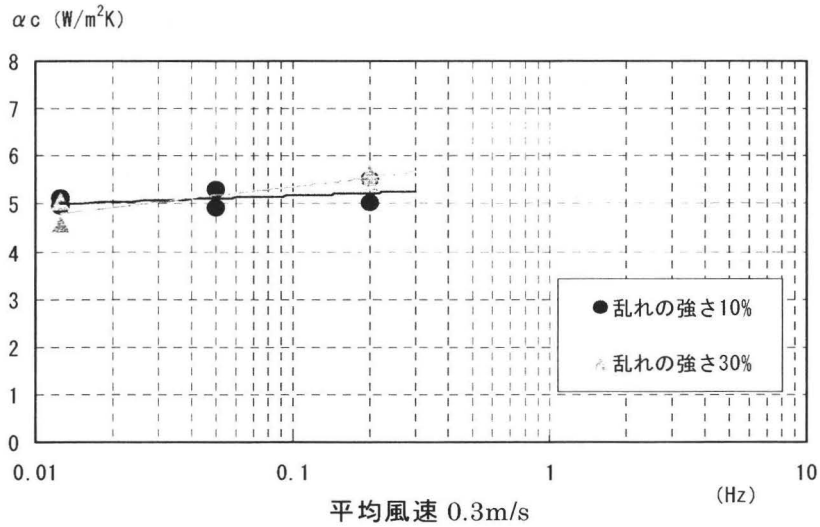


乱れの強さ 10%

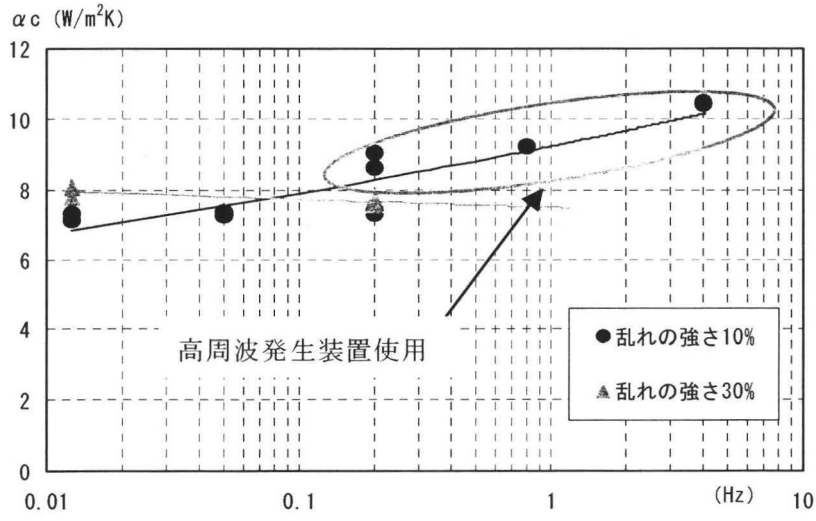


乱れの強さ 30%

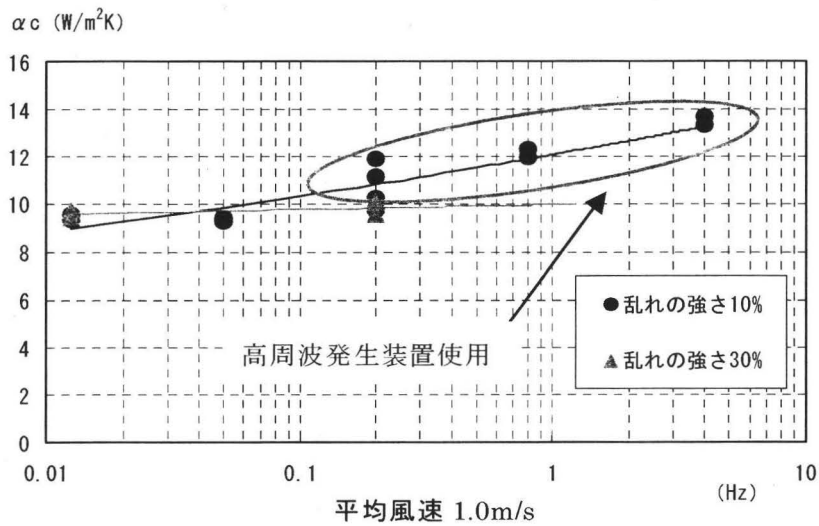
図38　気流の変動周波数によるRe-Nuの比較3（平均風速1.0m/s）



平均風速 0.3m/s

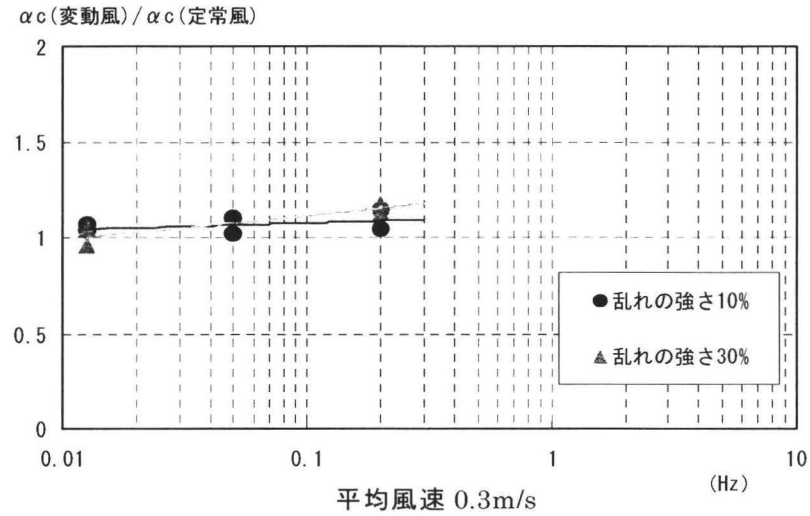


平均風速 0.65m/s

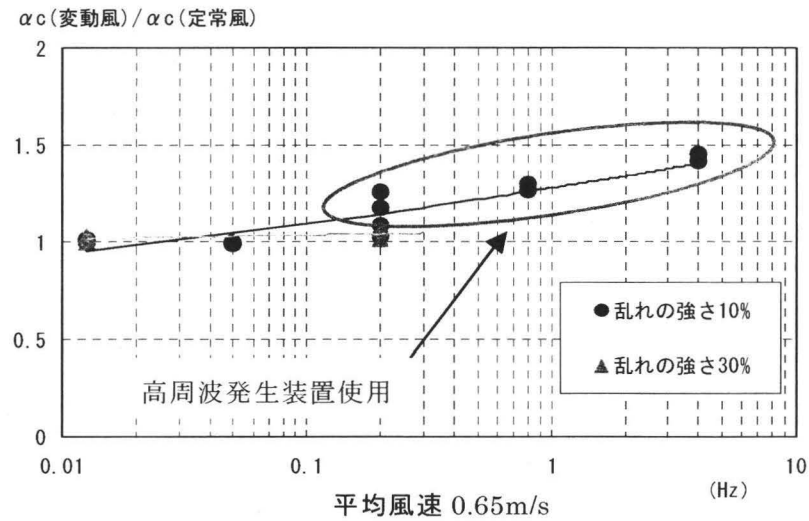


平均風速 1.0m/s

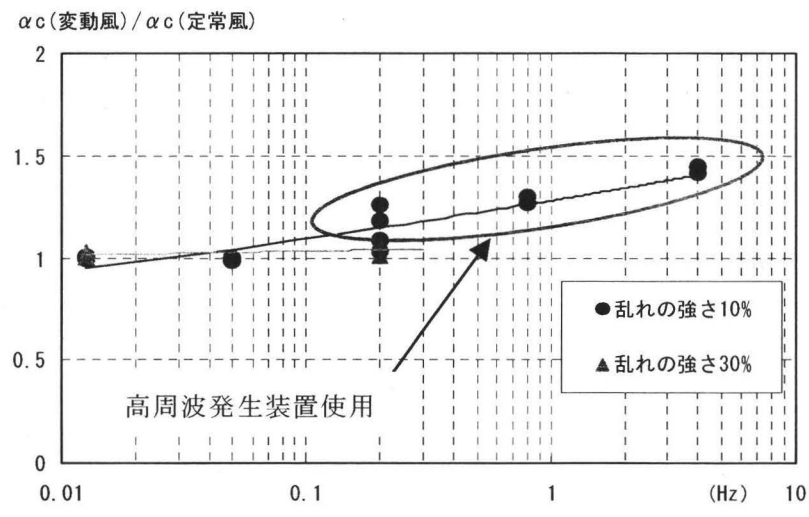
図 39　気流の周波数および乱れの強さによる対流熱伝達率の比較



平均風速 0.3m/s

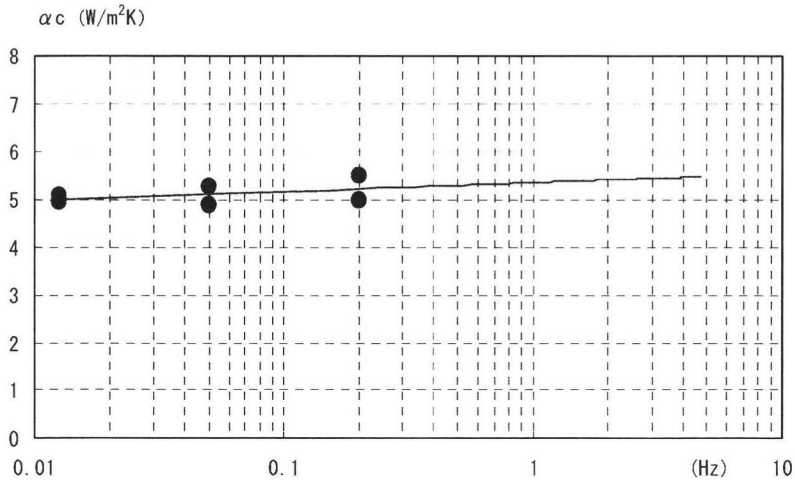


平均風速 0.65m/s

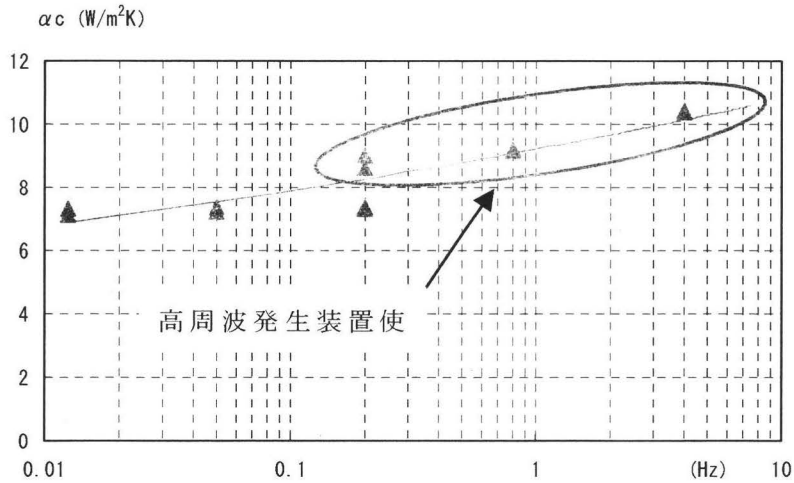


平均風速 1.0m/s

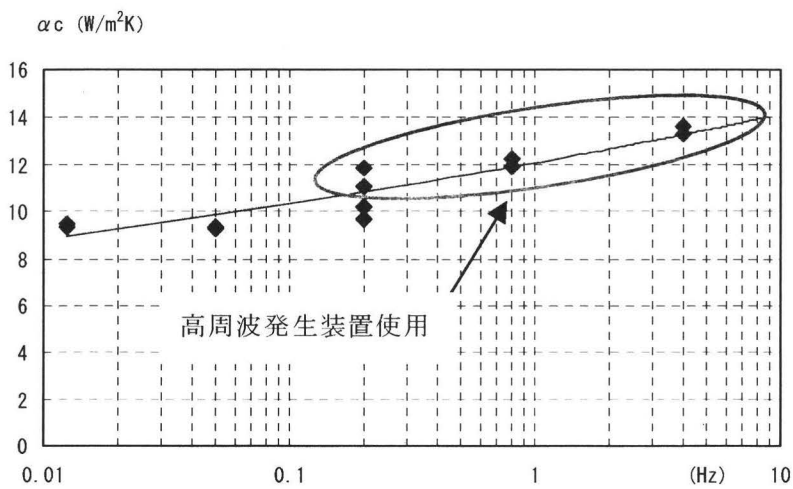
図 40　気流の周波数および乱れの強さによる対流熱伝達率比の比較



風速 0.3m/s

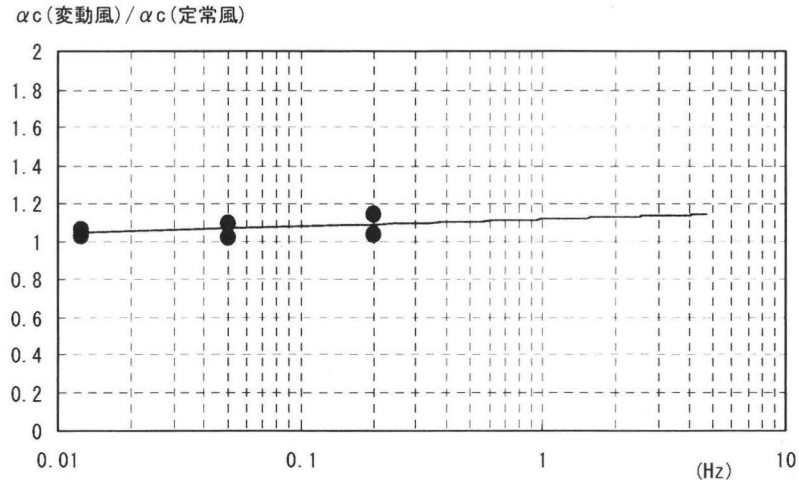


風速 0.65m/s

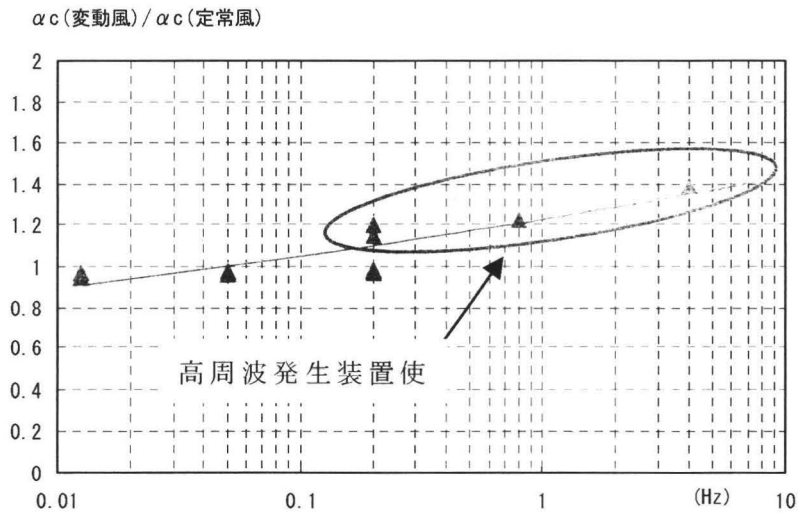


風速 1.0m/s

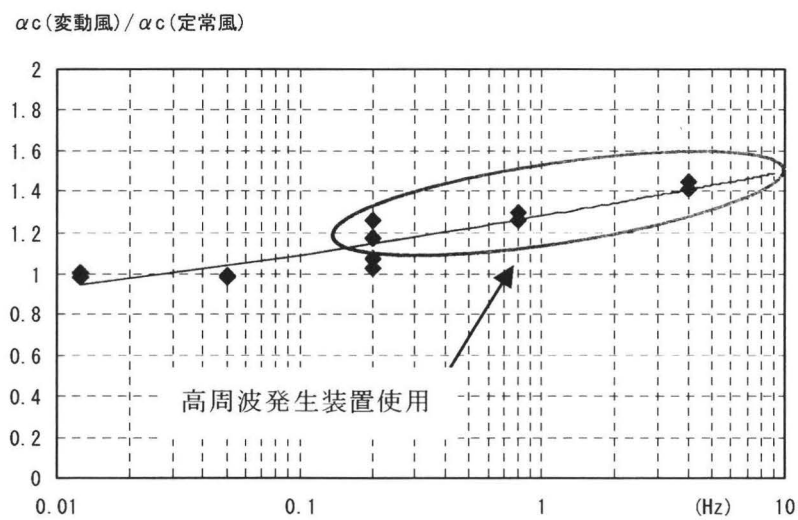
図 41　乱れの強さ 10%における対流熱伝達率



風速 0.3m/s



風速 0.65m/s



風速 1.0m/s

図 42　乱れの強さ 10%における対流熱伝達率（基準化）

C

1-25 実験室における床衝撃音レベル低減量の測定方法に関する研究（未解明部分の検証について）

財団法人建材試験センター品質性能部　音響グループ
主事　阿部　恭子
財団法人建材試験センター品質性能部　音響グループ
上級専門職　片寄　昇
財団法人建材試験センター品質性能部　音響グループ
参与　田中　洪
財団法人建材試験センター品質性能部　音響グループ
統括リーダー　米澤　房雄
日本大学
理工学部教授　井上　勝夫

C

第１章　本研究の背景と目的

平成１１年から平成１２年にかけて、建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法であるJIS　A 1418は、JIS　A　1418-1：標準軽量衝撃源による方法とJIS　A　1418-2：標準重量衝撃源による方法の２つに分けて改正・制定がなされた。しかし、このJIS規格の改正・制定は、国際整合化を受けてはいるものの、JIS規格と国際規格との関係をみると、JIS　A　1418-1：標準軽量衝撃源による方法には、対応する国際規格ISO 140-7があるが、JIS　A　1418-2：標準重量衝撃源による方法には、対応する国際規格が存在せず、国内独自の規格である。

現在、我国が幹事国となり、ISO TC43/SC2/WG22で標準木造床構造を用いた床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の測定法が、ISO/CD 140-11の規格化として検討されている。このISO/CD 140-11規格は、ほぼISO 140-8に一致しており、衝撃源は標準軽量衝撃源（タッピングマシン）のみである。しかし、この規格の検討では、床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の測定に用いる衝撃源として、標準軽量衝撃源（タッピングマシン）に加えて、ボール衝撃源（標準重量衝撃源衝撃力特性II）の必要性が、特に木造住宅の多い北欧を中心に注目されている。これは、建築物の床衝撃音遮断性能を測定する上で、仕上げ材表面の効果を主に評価する標準軽量衝撃源（タッピングマシン）のみでなく、建物の躯体全体を評価するボール衝撃源(標準重量衝撃源衝撃力特性II)も必要であるという理由からである。ボール衝撃源は、JIS改正によりJIS　A　1418-2：標準重量衝撃源による方法の中に、従来のタイヤ（標準重量衝撃源特性Ⅰ）に対して、衝撃力がタイヤの１／３程度で、特に軽量の建物を対象とした衝撃源として新たに加えられたものである。しかし、我が国内においてはまだ、ボール衝撃源自体の浸透性が薄く、更なる実験的検証、標準重量衝撃源の衝撃力特性Ⅰ（タイヤ）と標準重量衝撃源の衝撃力特性II（ボール）の相関性等の検証が必要な状況である。ボールに対する国外からの強い関心が高まっていることにより、ISO/CD 140-11規格への導入も高い割合で実現化に向かっている現状と、JIS　A　1418-2：標準重量衝撃源による方法に対応する国際規格が存在していない現状を視野に入れ、ISO/CD 140-11規格はタッピングマシンだけでなくボールによる測定方法についても、もっと国際的に積極的に提案し、規格化への体制を整えてゆくべき状況と言える。

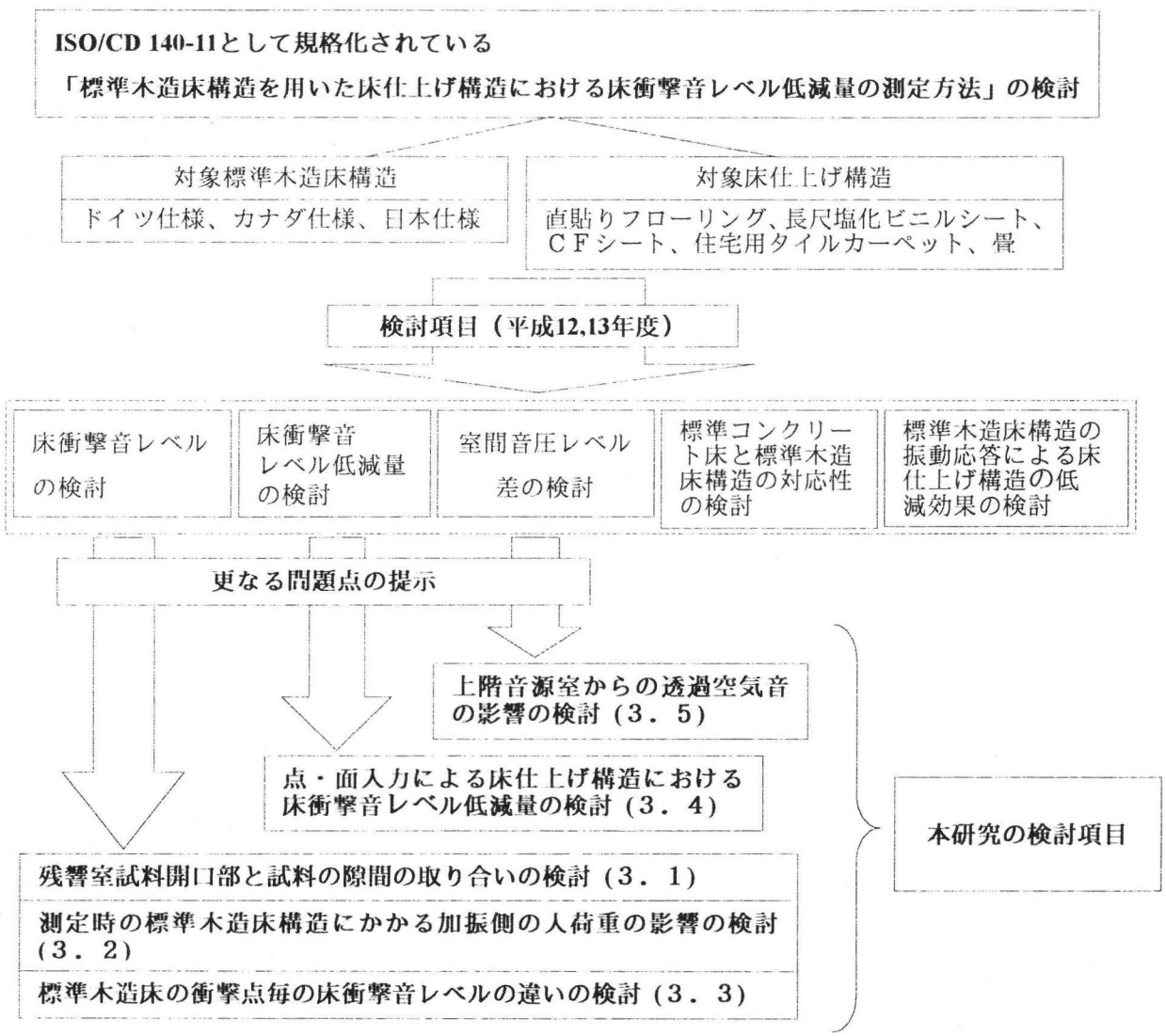
このような状況を踏まえて本研究では、JIS　A　1418-2：標準重量衝撃源の測定方法の国際規格化への提案を意識しつつ、規格検討されているISO/CD 140-11「床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の実験室測定法」に従い、標準木造床構造を用いた床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の測定を行うことで、衝撃源を標準軽量衝撃源（タッピングマシン）のみに限定せず、標準重量衝撃源の特性II（ボール）をも含めてISO/CD 140-11規格（案）の妥当性の検討を行うこととした。

C

第２章　ISO/CD 140-11 の試験方法に関する問題点の定義

ISO/CD 140-11 に提案されている標準木造床構造の３種類（ドイツ仕様、カナダ仕様、日本仕様）全てを検討対象とし、直貼りフローリング床や住宅用タイルカーペット等の木造住宅に用いられる一般的な仕上げ構造について、ISO/CD 140-11 に規定されている実験室測定法に従って、床衝撃音レベル低減量の測定方法（測定の概要を図２．１に、標準木造床構造の仕様を図２．２及び図２．３に、また床仕上げ構造を表２．１に示す）の検討を平成１２年から平成１３年にかけて行ってきた。これにより、ISO/CD 140-11 の規格による測定方法の妥当性は、かなり立証できたと判断される。しかし、検討を進めていた中で、更に多角度から検討すべき事項が提示された。本研究では、この提示された事項について検討を行うこととした。

以下に、平成１２年度から平成１３年度にかけて実施した研究成果の中から、更に検討すべき事項となった項目を、下の図に示す。



＊（３．１）～（３．５）は第３章の検討項目番号を示す。

最後に、平成１２年度から平成１３年度にかけて検討してきた測定結果と共に、今回の検討項目が提示された理由を以下に示す。

ａ）床仕上げ構造における床衝撃音レベルの検討を通し「残響室試料開口部と試料の隙間の取り合いの検討」、「測定時の木造床構造にかかる加振側の人荷重の影響の検討」、「標準木造床の衝撃点毎の床衝撃音レベルの違いの検討」が提示された理由

床仕上げ構造ごとの床衝撃音レベル測定結果を図２．５～図２．１０に示す。床衝撃音レベル絶対値そのものは、それぞれの床構造の違いから、周波数特性の変化が見られる。しかし、タッピングマシンの測定結果は、床仕上げ材の硬さの変化に対応した周波数特性を示し、ボールとタイヤによる測定結果は、薄い仕上げ材では床衝撃音レベルを低減する効果は得られないという結果を示している。このことは、ドイツ仕様、カナダ仕様、日本仕様ともにかなり安定した標準床構造と判断できる立証事項となった。また、標準床作製後一年の期間を置き、開口部への再設置を行って床衝撃音レベルを測定した時の測定結果である図２．５のドイツ仕様①と製作後１年後のドイツ仕様②の結果を見ると、高い周波数帯域での差異が見られる。これは木造床構造だけに避けることのできない、木材の反りや捩れなどの経年変化、開口部への設置条件が大きく関与しているものと思われた。これより、設置方法の規定や経年変化への対処方法、更に、衝撃を加える「人の立つ位置」の検討が提示された。また、標準木造床の衝撃点毎の床衝撃音レベルの測定結果（図２．１１～図２．１３）では、タッピングマシンによる衝撃点毎の床衝撃音レベル差は、ドイツ仕様の場合に１２５Hz 帯域以下で多少ばらつきがある以外は、安定した値を示している。一方、ボール衝撃時においては、特に日本仕様木造床構造において、標準床の中央部加振時において、特異な床衝撃音レベルを示すことが分かった。これは、日本仕様が大引き・根太工法であるため、衝撃点の変化により、床側の曲げ剛性に大きな差があることによると推察される。なお、この傾向は、同様な床構造を有する図２．１１のドイツ仕様の場合も同様である。木造床構造の場合、これらの衝撃点別に床衝撃音レベル差が生じるのは当然のことと言えるが、実状に合わせた試験法を導入する上では、これらの特性をも包含した試験法を考えなければならない。ただし、標準床版としての特性は詳細に把握して置かなければならないものと考えられる。

ｂ）床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量測定結果の検討から「点・面入力による床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の検討」が提示された理由

図２．１４～図２．１８に、床仕上げ構造に対する標準床構造変化時の床衝撃音レベル低減量測定結果を示すが、これらからもわかるように、床衝撃音レベル低減量は、住宅用タイルカーペット等の局部圧縮型の仕上げ材であれば、衝撃源に関係なく良い対応がとれており、ISO/CD 140-11 に規定されている測定方法は、かなり安定した測定が可能であることが分かる。

C

ここで検討した木造住宅の一般仕上げ構造である住宅用タイルカーペットや直張りフローリング床は、各衝撃点に加えられる衝撃力を標準木造床に伝達するまでに、多点に分散させる伝達系を持たず、衝撃点及びその付近のみが関係する局所作用的伝達系である。しかし、床仕上げ構造によっては、仕上げ面がある程度の曲げ剛性を有するものもあるため、床仕上げ材（構造）による衝撃力の伝達系の変化による床衝撃音レベル低減量について検討する必要がある。

ｃ）標準木造床構造の室間音圧レベル差の検討から「上階音源室からの透過空気音の影響の検討」が提示された理由

JIS A 1417に従って測定を行ったドイツ仕様と日本仕様の標準木造床構造の室間音圧レベル差、標準木造床に住宅用タイルカーペット及びＣＦシーを仕上げた時の室間音圧レベル差の検討結果を図２．１９に示す。測定概要を図２．４に示す。特に日本仕様の木造床構造では、２５０Hz帯域付近を中心に遮断性能が低下する傾向にあり、上階音源室からの透過音の影響が心配される。床仕上げ材の変化に対しては、住宅用タイルカーペットで仕上げても室間音圧レベル差は高域で良くなる程度である。これらの測定結果から、衝撃時における音源室側への発生音が透過音として、床衝撃音レベルに影響を及ぼすのではないかと言う問題点が指摘された。

３．１　残響室試料開口部と試料の隙間の取り合いの検討

床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の実験室測定法に関する検討において、標準木造床構造は、木材の乾燥・変形などの経年変化や残響室試料開口部への設置状態によって、床衝撃音特性にかなり変化が発生することが確認されている。そこで、標準木造床構造の残響室試料開口部への設置時における隙間の処理方法について検討することとした。

３．１．１　測定内容

試料開口部に標準木造床を設置した場合、木材の乾燥、部材の変形など経年変化の影響から、開口部の受けの部分と標準木造床の間に生ずる隙間が床衝撃音レベルにどの程度影響するかを検討するために、隙間に処理を施さない場合と、油粘土で隙間処理を行った場合の床衝撃音レベルの違いを検討した。

測定装置の概要と測定方法を、図３．１のダイヤグラムに示す。測定に用いた標準木造床（日本仕様）の詳細は図２．３に示すとおりである。なお、測定に用いた衝撃源は、標準軽量床衝撃源（タッピングマシン）と標準重量衝撃源特性II（以下ボールと云う）の２つである。また、測定対象とした周波数は２５Hz～５０００Hzの周波数領域とした。

３．１．２　測定結果及び検討

開口部とパネル間の隙間に何も処理を施さない場合と、油粘土で隙間処理を行った場合における衝撃点毎の床衝撃音レベルの測定結果を図３．２及び図３．３に示す。また、衝撃点

毎の粘土なしと粘土ありの床衝撃音レベルの差（粘土なしの床衝撃音レベルー粘土ありの床衝撃音レベル）を比較した結果を図３．４に示す。

図３．２及び図３．３から、タッピングマシンによる衝撃点毎の床衝撃音レベルは、開口部の隙間に何も処理を施さない場合も油粘土で隙間処理を行った場合も、衝撃点の位置に関係なく同様な床衝撃音レベルを示している。一方、ボール衝撃による衝撃点毎の床衝撃音レベルは、衝撃点Ｓ３（試料中央）のみが特異な結果を示し、他の衝撃点においては、ほぼ同様に 40Hz，100Hz，315Hz 帯域でピークをもち、高域では（－６～－９dB）／oct の減衰勾配を示している。また、図３．４を見ると、タッピングマシンでもボールでも粘土の有無に対して、衝撃点毎に床衝撃音レベルの差異が見られる。さらに、開口部との隙間に何も処理を施さない場合と、油粘土で隙間処理を行った場合の打撃点５点を平均化した床衝撃音レベルの測定結果の図３．５を見ると、床衝撃音レベルの差異はかなり見られなくなるが、どちらの衝撃源でも６３Hz～２５０Hz 帯域で、粘土処理を行った方が床衝撃音レベルが大きく現れる傾向にある。また、図３．２及び図３．３でボール衝撃源による床衝撃音レベルが、試料中央部（Ｓ３）で特異な結果を示していても、衝撃点５点の床衝撃音レベルを平均すると、その差が明確に現れていない。

以上より、開口部への標準木造床の設置方法については、発生音の安定性を確保する意味で規定しておいた方が良いものと考えられる。

３．２　測定時の標準木造床構造にかかる加振側の人荷重の影響の検討

標準木造床構造を用いた床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の実験室測定において、ボールを衝撃源とした場合、測定時に標準木造床構造にかかる人荷重が与える床衝撃音レベルへの影響を検討した。

３．２．１　測定内容

ISO/CD 140-11 に提案されている標準木造床構造中の日本仕様１種類のみを用いて、JIS　A 1418-2 に規定されている標準重量衝撃源特性II（以下ボールと云う）を衝撃源として、JIS　A 1418-2 に規定されている測定方法に準拠して、人荷重のある場合とない場合の床衝撃音レベルを測定した。測定装置の概要と測定方法を図３．６ダイヤグラムに示す。また、衝撃点位置と人の立つ位置については図３．７に示す。

３．２．２　測定結果及び検討

標準木造床に人の荷重が掛かっていない状態で加振した場合と荷重が掛かった状態で加振した場合の床衝撃音レベルの差（人の荷重なしー人の荷重あり）の比較結果を図３．８～図３．１０に示す。また、同様に「人の立つ位置」（根太・梁の間と根太上の立つ位置の適当性）に関する検討結果を図３．１１に示す。図３．８～図３．１０を見ると、荷重が人の体重程度の静的荷重であるため、Ｐ２点やＰ３点の場合でも、動的にはほとんど影響を無視し得るが、中・高周波数域で若干影響を及ぼすこともあり得ると言える。しかし、ボール衝撃による評価対象周波数を考えると、ほとんど影響しないとして扱い得るものと考えられる。この

問題は、床構造の弾性限界と衝撃力、人の荷重の大きさの関係であり、図２．２、図２．３に示す標準木造床でも、人の荷重程度では影響がないと見る事が出来ると考えて良いであろう。強いて言うなら、図３．１１の検討結果より、根太の上に立って実験を行った方が、より人荷重が床衝撃音レベルに及ぼす影響を軽減できると思われる。

以上より、標準木造床構造を用いた床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の実験室測定において、ボールを衝撃源とした場合は、人の立つ位置（人の荷重位置）については、特別考慮する必要はないものと考えられる。

３．３　標準木造床の衝撃点毎の床衝撃音レベルの違いの検討

ISO/CD 140-11 に提案されている標準木造床構造は、タッピングマシンによる床衝撃音レベルでは、衝撃点の違いによる床衝撃音レベル差が、これまでの検討ではほぼ見られなかった。しかし、ボールによる床衝撃音レベルは、日本仕様やドイツ仕様において、試料中央部で特異な床衝撃音レベルを示すことが、明らかになっている。

床構造全体の評価として捉えるならば、試料の均等５点の平均的な評価で問題はないが、木造床構造は、標準コンクリート床と異なり、梁や根太を持つ均一でない構造のため、部分毎の評価も軽視は出来ない。梁上や根太上、根太と梁間（面）など詳細な部分毎の床衝撃音レベルの検討を行うこととした。

３．３．１　測定内容

ISO/CD 140-11 に提案されている日本仕様の標準木造床構造を用いて、JIS　A 1418-2 に規定されている標準重量衝撃源特性II（以下ボールと云う）を衝撃源として、JIS　A 1418-2 に規定されている測定方法に準拠して床衝撃音レベルを測定した。測定装置の概要と測定方法を図３．６のダイヤグラムに示す。また、衝撃点を図３．１２に示す。測定対象とした周波数は２５Hz～５０００Hz の周波数領域とした。なお、１／３オクターブバンドの測定結果を用いてオクターブバンドの結果を算出した。

３．３．２　測定結果及び検討

試料中央を基準にして梁上方向の位置変化（梁上、そして、梁と根太の交差上）の標準木造床の床衝撃音レベル結果を１／３オクターブバンド周波数帯域とオクターブ周波数帯域の表記にて、図３．１３及び図３．１４に示す。これを見ると梁上では、「中央と梁１」、「梁２」、「梁３と梁４」の３タイプに傾向を分けることが出来る。梁３と梁４は、端部がコンクリート支持のため、拘束の影響により特に低域で、梁２を平行移動するような結果を示している。このように、交差３や梁３付近（端部からの距離が５００mm 以下）になると端部拘束の影響を受けることがわかる。また、梁加振すなわち根太間加振では、合板の根太間共振を励起させる傾向が強く、根太上加振に比べ４００Hz 付近を中心に共振増巾的に床衝撃音レベルの増加が認められる。

また、図３．１５では、Ｓ８（試料均等に５点の測定点を取った時の１点）と比較しながら検討すると、根太上の点（Ｓ４，Ｓ６）よりも、根太と梁の間（Ｓ５，Ｓ７）の方が、比

較的Ｓ８の点の床衝撃音レベルと同様な結果を示すことがわかる。根太上を外し、中央から３００mm程度衝撃点をずらせば、Ｓ８の床衝撃音レベルと同様な特性を示すことがわかる。図３．１３～図３．１５を総合してみると、中央の梁方向と中央３００mm程度付近は梁の影響を強く受け、特異な床衝撃音レベルを示すことを留意しておいた方が良い。

床衝撃音レベルの評価は、試料の均等５点の平均的な評価により、中央部のような特異な床衝撃音レベルの結果が表には現れてこない。しかし、標準コンクリート床との識別と木造床構造の持つ特性としてより認識しておく必要がある。

３．４　点・面入力による床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の検討

梁上や梁間などの衝撃を加える部位によって、床衝撃音レベルに違いが現れる傾向を持つ標準木造床上に、点や面による同時入力系の床仕上げ材を仕上げた場合、床衝撃音レベル低減量にどのような影響を及ぼすか検討を行った。

３．４．１　測定方法

木造床構造上に仕上げる点入力構造として乾式二重床、面入力構造として直貼り床の２種類（１８２０×１８２０mm程度の小さいサンプル，詳細を表３．１に示す。）を、標準木造床構造の中央部や端部に設置し、その時の床衝撃音レベル低減量を検討する。用いた標準木造床構造は、ISO/CD 140-11 に提案されている日本仕様の標準木造床構造である。測定はISO/CD 140-11 に規定する実験室測定法に従った。なお、測定に用いた衝撃源は、標準軽量床衝撃源（タッピングマシン）以外に、JIS　A 1418-2 に規定されている標準重量衝撃源特性II（以下ボールと云う）を用いた。ボール衝撃源による測定は、JIS　A 1418-2 に規定されている測定方法に準拠した。測定装置の概要と測定方法を図３．６ダイヤグラムに示す。また、衝撃点については図３．１６～図３．１９に示す。

３．４．２　結果及び検討

標準木造床，乾式二重床，直張り床における衝撃点毎の床衝撃音レベル測定結果を図３．２０～図３．２４に示す。なお、図３．２４に示される直張り床の衝撃点の面上試料中央Ｓ１は乾式二重床の衝撃点Ｓ１ａに対応する。以下同様に、梁根太上試料中央Ｓ１はＳ１b、面上試料端部Ｓ１はＳ１c、梁根太上試料端部Ｓ１はＳ１ｄに対応する。これを見るとタッピングマシンによる床衝撃音レベルは、標準木造床においても、標準木造床に仕上げを施した場合においても、衝撃点の違いによる床衝撃音レベルの違いは、あまりなく安定している。一方、標準木造床の床衝撃音レベルを、ボール衝撃源で評価すると、衝撃点によって特に２５０Hz帯域以上で大きな差が生じていることがわかる。しかし、乾式二重床と直張り床で仕上げを行った場合の床衝撃音レベルは、衝撃点による床衝撃音レベルにはあまり差はみられない。これは、乾式二重床により多点入力系なっていることや、直張り床の入力系が面入力となっているために伝達系が同様になっていることによると考えられるであろう。

次に乾式二重床と直張り床を木造床の中央部と端部に設置したときの床衝撃音レベル低減量を比較した測定結果を図３．２５～図３．３２に示す。

*C

ここでは標準木造床の中央部と端部において、乾式二重床の支持脚が面（梁と根太の間）上に集中した場合と支持脚が梁と根太の交差上、梁上、根太上に集中した場合とにおいて、床衝撃音レベル低減量に違いが見られるか検討する。

また直張り仕上げ床については、標準木造床の中央部と端部において、衝撃点が面（梁と根太の間）上の場合と梁と根太の交差上近傍における場合の床衝撃音レベル低減量に違いが見られるかを検討する。

まず、仕上げ構造が乾式二重床による場合の軽量床衝撃音レベル低減量については、図３．２５～図３．２７によると支持脚の位置と床構造の梁や根太の位置関係には関り無く、ほぼ同様の低減量が得られている。これは上記の仕上げの無い標準床構造の場合の衝撃点の違いによる床衝撃音レベルの違いがあまりない事（図３．２０参照）と関係しており、乾式二重床による多点入力系になっても安定した低減量が得られることを示している。

次に、仕上げ構造が直張り仕上げの場合の軽量床衝撃音レベル低減量についても、図３．３１によれば、衝撃点の位置に関らず、ほぼ同様の安定した低減量が得られている。このことは面入力であっても、乾式二重床仕上げの場合と同様の理由と考えられる。

しかし、重量床衝撃音レベル低減量の場合は異なり、まず仕上げ構造が乾式二重床の場合、図３．２８～図３．３０によれば、２５０Hz帯域より上音域で差が観測されている。これは、標準床の床衝撃音レベルがそれらの領域で違いが観測されている（図３．２１参照）事の影響によるものである。

仕上げ構造が直張り仕上げの場合でも、図３．３２によれば、重量床衝撃音レベル低減量はやはり、２５０Hz帯域より上音域で差が観測されており、やはり乾式二重床の場合と同様に、標準床の床衝撃音レベルがそれらの領域で違いが観測されている（図３．２１参照）事の影響によるものである。

次に、乾式二重床構造上の衝撃点位置の違い（支持脚近傍や支持脚間、パーティクルボードの継ぎ目）による床衝撃音レベル低減量の違いの検討を行なった。軽量床衝撃音レベル低減量の検討結果を図３．３３と図３．３４に示した。更に、重量床衝撃音レベル低減量の検討では、衝撃点毎に異なる標準木造床の床衝撃音レベル（図３．２１参照）が、影響していることを明らかにするため、それらの床衝撃音レベルの違いを基準化した床衝撃音レベル低減量をも含めて、比較検討を行なった結果を図３．３５と図３．３６に示す。

まず軽量床衝撃音レベル低減量についての図３．３３、図３．３４では、乾式二重床構造上の衝撃点位置の違いによる床衝撃音レベル低減量の違いは見られない。仕上げ構造のない標準木造床において、梁上や梁間などの衝撃を加える部位による床衝撃音レベルの差異がない（図３．２０参照）事と関係しており、多点入力系の床仕上げ材とした場合も、安定した低減量が得られることを示し、支持脚近傍や支持脚間、パーティクルボードの継ぎ目等による乾式二重床構造上の衝撃点位置の違いの影響は無いと云える。

次に重量床衝撃源による測定結果の図３．３５及び図３．３６（ここでは他点に比べ、顕著に床衝撃音レベル低減量の違いが現れている打撃点Ｓ３a、Ｓ３c、Ｓ１b について、標準木造床での床衝撃音レベルの差を基準化した結果を点線で示している。）を見ると、基準化していない場合は、図３．３５のＳ３a、Ｓ３cにおいて違いが見られるが、これは標準木造床

のデータ（図３．３１参照）による違いに影響されたもので、これを基準化した点線で比較すれば、乾式二重床構造上の衝撃点位置の違いによる床衝撃音レベル低減量の違いは、大きくは現れていないと云える。図３．３６のＳ１ｂについても同様の事が云える。よって重量床衝撃源による場合でも支持脚近傍や支持脚間、パーティクルボードの継ぎ目等による乾式二重床構造上の衝撃点位置の違いの影響は大きく無いと云える。

以上により、木造床構造に乾式二重床仕上げをした場合、重量床衝撃源で床衝撃音レベル低減量を測定するためには、標準木造床での衝撃点の位置による床衝撃音レベルの違いが大きく影響するので、低減量の比較は標準木造床での衝撃点の位置による補正が必要と思われる。

乾式二重床と直張り床の床衝撃音レベル低減量の効果を見るために、木造床上の同位置に仕上げ（乾式二重床と直張り床）を設置し、そのときの床衝撃音レベル低減量の効果を検討した検討結果を図３．３７及び図３．３８に示す。軽量衝撃源による床衝撃音レベル低減量の効果は、乾式二重床でも直張り床でもほぼ同程度しか見込めない事がわかった。しかし、重量床衝撃源では、直張り床よりも乾式二重床の方が、決定周波数である２５０Ｈｚや５００Ｈｚにおいて、５ｄＢ以上の低減効果が見込めることがわかった。

最後に図３．３９として、この測定時の受音室の残響時間など測定環境を示す。

３．５　発生音の測定への影響の検討

３．５．１　測定方法

JIS A 1417に基づき標準木造床の上下室間の音圧レベル差を計測しておき、その値を用いて衝撃源加振時の上階残響室の発生音レベルから木造床を透過した受音室における音圧レベルを求め、床衝撃音レベル実測値と比較検討を行った。なお、この検討は、試料開口部に標準木造床構造を設置し、試料開口部との隙間の処理を何も施さない場合と、油粘土で隙間処理を行った場合の床衝撃音レベルについて行った。測定装置の概要と測定方法を図３．１のダイヤグラムに示す。測定に用いた標準木造床構造（日本仕様）の詳細図を図２．３示す。なお、測定に用いた衝撃源は、標準軽量床衝撃源と標準重量衝撃源特性II（以下ボールと云う）の２つの衝撃源である。また、測定対象とした周波数は２５Hz～５０００Hz の周波数領域とした。

３．５．２　測定結果及び検討

上階から空気音として透過した音圧レベル計算値と床衝撃音レベルの測定結果を図３．４０及び図３．４１に示す。これを見ると、標準木造床の支持点における隙間処理の有無による影響は、それ程なく、透過音レベル計算値と床衝撃音レベル実測値は、全周波数域で１０dB以上は得られており、空気音透過による影響は少ない。しかし、５０Hz帯域、１６０Hz～４００Hz帯域において、標準床の透過損失の特性により、透過空気音の影響が心配される状況にある。よって試験装置としての対応案として、上階の音源室における吸音処理を行うべきと考える。

第４章　まとめと今後の課題

現在、ISO/CD 140-11 の規格化が日本主導で進められている。よって、規格化に対して国内では全面的に協力体制を取り、規格原案の検証実験を行うなど、内容の検討を行っている。本研究は同規格原案に対して測定法上の問題点を詰め、検証実験を行った結果に関するものである。以下、本研究のまとめと今後必要な検討内容を示す。

(1)試験用標準パネルの設置方法

標準床構造が木造であるため、乾燥収縮等によるパネル変形に対する対処方法を検討しておかなければならない。特に試験用開口部への設置条件(支持状態)の変化は、パネルの振動状態が不安定になる恐れがあるため、できればこれらの変形を吸収できるような支持条件を示しておく必要がある。本研究で用いたようなコンクリート支持面とすると、パネルの変形が原因となり二次衝撃による発生音の問題、パネルとコンクリート支持点における隙間の発生等が心配される。本研究では、この隙間に油粘土を詰めることによって「隙間の有無」による検討を行った結果、床衝撃音に対して、両者には少なからず差が生じることが示された。よって、この影響は無視できないことが予想されるため、試験装置として、パネルの設置方法を統一した仕様とすべきと考えられる。

(2)試験用標準床パネルの振動特性を考慮した測定方法

標準床構造が木造構造であるため、衝撃点によって駆動点インピーダンスに変化が生じるため、床仕上げ構造施工前後によって標準床への衝撃力伝達系に変化を生じる場合は、床衝撃音レベルに差を生じる恐れがある。よって、この変化量を定量的に把握し、測定法としての適用範囲・適用条件を明示しておくことが必要であると考える。この具体的な床仕上げ構造としては、乾式二重床構造などが挙げられる。

また、標準床そのものが大引根太構造等となるため、場所によるインピーダンス値が変化するので、衝撃点の選定には一定の制約が必要となる可能性が高い。又は衝撃点の設定に関する条件を折り込む必要があろう。これは、測定機関による測定結果の差を最小限とするためや結果の安定性を確保することを目的とするものである。

(3)試験用標準床パネルの遮音性能の問題

試験用標準床が木造構造であるため、床衝撃時において音源室側に放射される音が、標準床を透過し下室へ与える影響が無視できなくなる可能性がある。この原因には、標準床構造の音響透過損失、試験装置全体として見た場合の「迂回路伝搬音」の影響等が考えられ、一般的な床仕上げ材を用いた場合について検証実験を行っておく必要がある。特に、１．で示した標準床設置時の隙間の発生は大きな影響を及ぼす。

本研究で検証した結果では、床仕上げを施さない場合でも、透過音による　　影響はほとんど無視し得ることとなったが、危険な周波数帯域も存在することから、音源室内の吸音処理について規定、若しくは望ましい状態を示しておく必要があろう。また、音源側の空間が

閉空間となっていない場合も考えられるので、下室(受音室)の開口部等についても、同様な条件等を付する必要があるものと考えられる。

(4)床仕上げ構造の変化に対する試験方法の検討

乾式二重床のように面剛性が比較的高くて、床衝撃時における衝撃力の伝達系が分散する床仕上げ構造の場合、仕上げ材の有無による標準床パネルの振動励起方法が異なる。この影響は、特に重量床衝撃源のように単発の衝撃入力時に顕著であり、床衝撃音レベル低減量としてみても差を生じやすい。これは、標準床パネルが振動的に見て不均一なために起こる結果であり、何らかの統一した測定条件を規定する必要がある。故に、今後の研究テーマとして、測定結果の安定性確保のための「床仕上げ構造の設置方法」、「標準床パネルの性能検査方法」、「床仕上げ構造上の衝撃位置の設定方法」等に関する検討を行う必要がある。

今期、標準木造床構造の反り割れなどの経年変化が、測定を行う上での影響を把握することは安易に解明することが出来ず断念している。標準木造床構造は、標準コンクリート床と異なり、温度湿度に影響を受けやすく、反り、割れなどの経年変化から目を背けることは不可能である。今後、反りなどの経年変化に対する測定上の影響の把握は ISO/CD 140-11 の規格化に対して提案してゆくつもりである。

また、標準木造床構造を用いた床仕上げ構造における床衝撃音レベル低減量の測定を行う以上、何度も標準木造床構造上に床仕上げ構造床を「施工しては剥ぐ」といった一連の行程が繰り返され、標準木造床構造表面を傷めることは避けられない。接着剤などの仕様が一般的になっていることも視野に入れ、標準木造床構造の保護方法と利用限度を測定への影響性などを含めて検討してゆきたい。

第５章 研究発表の実績及び予定

研究発表の実績

・木造床構造による床仕上げ材の床衝撃音レベル低減量の実験室測定方法の検討（その２：結果の考察）：片寄、阿部、米澤、井上、橘、安岡、日本建築学会講演梗概集、D-1 分冊、2001.9、P203-204

・標準木造床構造による床仕上げ構造の床衝撃音レベル低減量の測定：井上、片寄、橘、安岡、日本建築学会講演梗概集、D-1 分冊、2002.8、P235-236

研究発表の予定

・標準木造床構造による床仕上げ構造の床衝撃音レベル低減量の実験室測定方法の検討：阿部、片寄、米澤、井上、安岡、2003.9、日本建築学会講演

1-26 木質建築廃材を微生物担体に用いる有機廃棄物の資源化システムの改良

秋田県立大学木材高度加工研究所

流動研究員　堀沢　栄

１．本研究の背景と目的

年間約 800 万ｔ(平成 6 年)にも及ぶ建築解体材や土木現場で発生した木質廃棄物は、不法投棄も絶えず問題となっている。木質廃材はチップや燃料に利用されるがリサイクル率は20%程度と推定されている。このような木質廃材は多様な資源化・再利用により資源として回収・循環させるべきである。一方、廃棄物の脱焼却処理として生ゴミなど易分解性の有機廃棄物を微生物処理が注目され、家庭単位から店舗・ホテル・公共施設などの一括処理まで、様々なスケールで堆肥化やメタン、乳酸などの回収など様々な試みが進められている。有機廃棄物の微生物処理においては、水分や温度などの調整に木材が基材として用いられることが多い。特に自動攪拌型の有機廃棄物分解装置においては、微生物の担体として重要な役目を果たす。しかし、木材の物性を生かして長期間効率よく分解を進める方法が確率されていないため、無機材料や樹脂材料を用いる場合が増えてきた。木質基材を用いての高い分解効率の実現およびその長期間にわたる維持を目指した基材および分解システムの開発が必要である。また、樹種による微生物分解への影響、木質廃材に含まれる接着剤や保存剤など様々な物質の影響も明らかにするべきである。

樹種（特に抗菌性が強いとされる樹種を目的とする）による分解速度への影響分解への影響を明らかにする。また分解槽に形成される菌群の菌数及び菌相を調べ、化学物質の菌群への影響を評価する。

２．研究の方法

３．研究の計画と進捗状況

３．１　研究の計画

①樹種ごとに調製した木質基材を用いた有機廃棄物分解速度の測定

樹種ごと、または含まれる化学物質ごとに木質基材を調製し、モデル装置およびモデルゴミを用いて小規模スケールの分解実験を行い、分解速度及び菌数を測定、菌相を評価する。

②それぞれの基材による有機廃棄物分解中に形成される菌群の計数および菌相の解析

分解実験中の木質基材を経時的に採取し、そこに繁殖している菌群を平板希釈法およびATP濃度によって測定する。培養手法によって菌群の主要種を単離し、同定を行う。また菌群のDNA を抽出し、リボゾーム RNA の配列より菌相のプロファイリングを行い、菌相の変化を調べる。

③基材中の木材抽出成分や添加された化学物質の定量

それぞれの基材に含まれる化学物質の量を測定する。

④基材中に含まれる化学物質が菌群に及ぼす影響の検討

単離された菌株に対して、化学物質がどのように影響を及ぼすか生物検定を行う。菌群と化学物質の関係を経時的に評価し、長期にわたる木質基材の使用方法、また安定した分解挙動が得られる使用方法を提言する。

３．２　進捗状況

３．１の①～④について、日本で流通量の多い針葉樹のうち、スギ、ヒノキ、ヒバ、ベイマツの心材およびスギの心材に対して実験を行い、完了した。

４．今までに得られた成果

①　基材樹種別の分解速度を測定

日本で流通量の多い針葉樹のうち、スギ、ヒノキ、ヒバ、ベイマツの心材およびスギの心材をミルで挽き、微生物を担持させる木質基材とした。分解槽 1000ml の小規模モデル実験装置を用い、装置全体を 30℃の恒温槽内に設置し、通気量、基材水分をそれぞれ 200ml/min、60%に調製し、基材樹ごとに分解速度測定した。分解速度を重量減少率および CO_2 発生率で評価したところ、その平均はそれぞれ 556 mg/g/day、622 mg/g/day であり、関わらず同レベルであった。

②　生菌数の計測及び遺伝子を用いた菌相プロファイリング

それぞれの樹種について、生菌数を測定し、また主要種を単離して種を推定した。実験をはじめる前に、木質基材中にほとんど微生物が生息していないことを確認し、滅菌したモデル廃棄物を用いて実験を行ったところ、環境中から侵入する微生物が増殖した。その微生物数は、樹種に関わらず同レベルの数に至った。しかし初期の増殖において、ベイマツの心材の場合には増殖阻害が観察された。単離した菌を単遡源の資化性に基づいて種を推定したところ、抗菌活性物質が少ないと見られるスギ辺材では、初期に *Bacillus subtilis* が侵入、増殖し、時間が経つに　連れて菌相が変化した。分解速度や槽内状態が安定に入る後期には *Xanthomonas campestris* および *Cellulomonas (Oerskovia) turbata* が優占する菌相を形成した。これは３回の試行でほぼ同様の傾向を示した。スギ、ヒノキ、ヒバの心材では Pseudomonas 属、ベイマツの心材では Burkholderia 属がほぼ 100%の占有率を示した。しかしながら後期にはスギ辺材と同じく、*Xanthomonas campestris* および *Cellulomonas turbata* が高い占有率を示す菌相に至った。

一方、遺伝子を用いた菌相のプロファイリングでは、rDNA のうち変異に富む部位を PCR で増幅し、変性剤勾配ゲル電気泳動（DGGE）法により配列の違い、すなわち種により DNA 断片を分離した。可視化されたバンドの組み合わせにより、菌相を表すことができた。DGGE の結果から、樹種に関わらず共通に見られるバンドがほとんどであるが、樹種に特有に見られるバンドも検出された。

③木質基材中の成分の抽出

粒度 0.5-1.0mm の木粉 40g より、70%エタノール 1500ml によって抽出を行なった。抽出

液はロータリーエバポレータで濃縮し、一部を採取して凍結乾燥させて収率を求めた。スギ辺材、スギ、ヒノキ、ヒバ、ベイマツの心材の70%エタノール抽出物の収率は、それぞれ0.94%, 3.64%, 1.08%, 4.10%, 1.91%であった。

④基材中に含まれる化学物質が菌群に及ぼす影響の検討

収率をもとに木材に含まれる濃度と同等量と 5 倍量の抽出物を含むペーパーディスクを調製した。滅菌水に菌体を懸濁液、トップアガー法により標準寒天培地に混釈した。ペーパーディスクを菌混釈培地状に配置し、30℃で 48 時間培養した後阻止円を観察、測定した。阻止帯の幅が1 mm 未満である分離菌を耐性を有する菌として判定した。

スギ辺材を担体として用いた場合の分離菌はこの樹種の抽出成分から増殖阻害を受けるものはなかった。心材を担体として用いた場合の分離菌のなかでは、初期に分離された株はそれぞれの抽出成分に対して耐性を有し、後期になるにしたがって非耐性菌が増える傾向が見られた。辺材心材・樹種を問わず後期に優占種となる *Xanthomonas campestris* および *Cellulomonas turbata* は、心材樹種の全ての抽出成分について非耐性を示した。

5．これから期待される成果

本研究では、木材の持つ抽出成分の抗菌性と廃棄物分解に関与する微生物の関係について検討したものである。抗菌性を有する木材であるヒノキ、ヒバ、ベイマツを有機廃棄物分解処理に用いる木質基材に用いると、バクテリアに対する増殖阻害を呈する初期においては、抗菌成分に大勢のある微生物が増殖し、徐々に菌相が移行し樹種で差がなくなることを明らかにした。従って、これら抗菌性のある木材であっても有機廃棄物分解処理に用いることができる。

本研究において微生物相の動態解析に培養方法と遺伝子を用いる方法を併用し、より詳しい情報を得ることが出来た。このような方法を用いることで微生物を利用した廃棄物処理や環境浄化などのより詳細な研究が今後進められていくことが期待される。

6．残る問題点と対策

本研究では木材が持つ化学成分についての検討を行ったが、後から添加される化学物質、たとえば接着剤や防腐剤などの検討を今後行っていかなければならない。

7．研究発表の実績および予定

論文発表

1．S. HORISAWA, T. MORISHITA , Y. SAKUMA, S. DOI, M. TERAZAWA (2003) Effect of wood matrix moisture content on the degradation rate and microbial composition in the household garbage automatic decomposer-extinguisher (GADE) machine. Eurasian Journal of Forest Research, (in preess).

口頭発表

1．堀沢　栄，佐久間　洋，澁谷　栄，土居　修一 (2003) 生ゴミ処理機における微生物群

のPCR-DGGEによる構造解析，2003年度日本農芸化学会.
2．堀沢　栄，佐久間　洋，澁谷　栄，土居　修一（2002）小規模モデル装置および家庭用生ゴミ処理機における担体含水率による微生物相の変化，第13回廃棄物学会講演論文集Ⅰ pp.307-309.
3．S. Horisawa, Y. Sakuma, S. Doi, M. Terazawa (2002) The effect of moisture content of a wood matrix on degradation rates and microbial communities in the GADE machine. The Inter National Symposium on Biomass Waste Treatment Using Sawdust as an Artificial Soil Matrix, 4-7 November, Sapporo, Japan.

8．実用化計画

防腐剤が含まれていない木質廃材であれば、すぐに微生物の基材に用いることが可能である。

第２部 人材育成・論文
2-1 木造軸住宅における生産と構造の合理化を指向した構法開発に関する研究

秋田県立大学 木材高度加工研究所
流動研究員 川鍋 亜衣子

1．はじめに

新設住宅の４割弱で用いられている木造軸組構法は、1960-70年代に確立した「在来木造」とも、1970-80年代のプレカットや構造用合板が普及し始めた従来型のものとも、大きく異なってきた。これは、多数の新しい技術や材料を近年の短期間のうちに開発・導入したこと、他の構法や構造の技術・材料を採り入れたことなどが影響している。

この傾向は、(財)日本住宅・木材技術センターによる木造住宅合理化システム認定(1989年～、以下合理化システム)における認定構法によく表れている。その特徴は、外壁や開口部といった部分的な構法や石膏ボードや合板といった材料だけでなく、躯体や接合部などにおいても生産と構造の合理化を指向した新しい提案が行われ、構造体に関わる領域にまで構法の変化が及んできたことである。今日、木造軸組構法は新しい段階に入ろうとしている。

そこで、本報告では、主に合理化システムや首都圏の先進的な工務店での木造軸組構法と、そこで採用されている新しい部材・工法の開発の経緯を調査・分析することから、上記の特徴と動向について具体的に明らかにし、構法開発の指向と木造軸組構法の展開について考察する。

2．木造軸組構法の現状

本章では、木造軸組構法の動向を、まず部位ごとに、次に全体について示す。

2-1．架構

架構には近年ふたつの方向がある。小断面の軸組部材に構造用の面材を打ちつける形式と、大断面の軸組部材を常時応力を負担する金物で接合する形式である。

前者は、壁と軸組を一体化した壁式構造的なものであり、大壁主体の従来型と言える。中には全てを管柱とするツーバイフォー構法に近い架構もある。後者は、がっちりした柱や梁を主体としたラーメン的なものであり、近年増えてきたものである。大径の通し柱や梁による明快な伝統架構を思い起こさせ、軸組部材を露わしとするなど、軸組部材の存在を意識したものが多い。

したがって、前者と後者とでは柱や梁がもつ耐力要素としての意味づけが異なっており、その点で、同じひとつの構法として扱うには構造的な違いは大きい。また、接合部は前者・後者ともできるだけ剛に近づけ、部材や架構の精度を高めていく方向に進んでおり、かつての木造架構にみられた、貫・ほぞ・込栓・めりこみなど多段階の変形によるエネルギー吸収によって架構の剛性や靭性を保持するものとは、根本的な機構が異なる。

2-2．基礎

構造的な強化のためのべた基礎や閉ループの基礎の採用、布基礎幅の拡大、べた基礎と壁組における断熱工法の採用に伴う基礎断熱工法の採用、閉ループの基礎の採用に伴う樹脂製のねこ土台の採用、現場施工の省力化のためのPCa基礎の採用が増えている。だだし、架構や壁組など他の部位に比べると、新しい材料や施工方法の提案の種類は少なく、上記の傾向に収束している。それは、地業工事や木工事など他の手間のかかる部位に比べて元来合理化の対象となりにくかったこと、工程が独立して他の工事との関連が少なく、また分業によって合理化の采配が及びにくいことが要因と考えられる。

2-3．床組

1970年代頃までの長い間、従来の形式、すなわち大引・土台・床梁の上に根太を乗せて荒板を敷く構成が主流で、変化は少なかった。しかし近年、剛性を確保しながら、効果的に省力化を

図る方法として、厚い構造用面材を床梁に直打ちする構成が広く普及してきている。また、I 型梁や鉄骨を組み入れた特殊な梁などの新しい材料が積極的に採り入れられ初めており、近年急に変化を見せている。

2-4. 壁組

壁組は、間柱・筋かい・胴縁・枠材・断熱材など構成部材が多く、その加工・取りつけに大きな手間がかかるため、多くの工夫の対象となってきた。

中でも外壁についてはさまざまな手法が提案されている。その目的は、施工を簡略化しながら構造的な強化を図ることである。主には、従来から続く傾向であるが、構造用の面材を現場で打ち付けるか予め製作したパネルを組み込むことである。近年の新しい傾向としては、壁体内の通気と断熱性を同時に確保するための工夫が目立つ。

一方で、内部の間仕切り壁に関しては、画期的な提案は少ない。間仕切り壁には耐力壁・非耐力壁と大壁・真壁の区別や無数のバリエーションが生じて、元来個別対応であったためと考えられる。

2-5. 小屋組

新たな提案は多くないが、対照的とも言える次の観点からの工夫がみられる。ひとつは、自由な屋根形状に対応するために小部材を組みながらも施工を簡素化し剛性を確保する方法、もうひとつは、パネルや登り梁など大がかりな部材によって構成を簡素化し構造を明確化する方法である。いずれも、部材の種類・点数は以前に比べ淘汰される傾向にある。したがって、何段にも貫を重ねて組んだ蒸篭(せいろ)状の和小屋など、手の込んだものは見られなくなっている。

2-6. 接合部

合理化が必要な部位として、接合部は常に最上位に挙げられてきた。大工職人の加工手間をできるだけ減らし、加工精度を上げることは、長年の大きな課題であった。そうした省力化による構法変化の中で最も特徴的なのは、接合部加工・形状の単純化と構造金物の多用である。

2-7. 全体

木造軸組構法全体としては、以下のような動向にある。

- 現在の木造軸組構法は千差万別であり、伝統構法を起源とすることと、木質の柱と梁を主体とすることの 2 点のみを共通項として、様々な新しい要素技術を採り込みながら変容を続けている。
- こうした現状がもたらされたのは、数万におよぶ事業主体が裾野の広い生産市場を形成し、個々に独自の構法を生みだしたという、木造軸組構法の特殊性に起因している。
- したがって、今日の木造軸組構法は、要素技術の選択と組み合わせが無数であり得るが、実際には、ある程度取捨選択された要素技術の調達・集結として構成されている。

3. 構法開発を押し進めたもの

本章では、構法開発の活発化を進めた主な因子として、行政主導の事業と、他の構法・構造からの技術転用の影響を示す。

3-1. 行政主導の事業

行政主導の様々な事業や施策は、必ずしも強制力はないものの、構法開発の指標や目標として大きな刺激となってきた。それらの多くは、国土交通省(旧建設省)や農林水産省とその所轄法人等によって実施され、特に、いえづくり'85(1983)と木造住宅合理化認定システム事業(1989年～)、建築基準法の改正(2000年施行)が主なものである。

3-2. 他の構法・構造からの技術転用

3-2-1. ツーバイフォー構法

1974(昭和 49)年に告示化された当時、「ツーバイフォーインパクト」と言われたとおり、ツーバイフォー構法が木造軸組構法に与えた影響は極めて大きい。構法や材料面では、人工乾燥材・ディメンションランバー・I 型梁などのエンジヤリングウッド、外壁や屋根のパネルなどを提供した。接合部や接合方法では、簡易な金物・釘・接合具だけで構造体を構成し煩雑な接合部加工を省く方法が、補強金物・接合金物に対する取り組みを啓発した。概念的には、「耐力壁線」「床剛性」「ダイヤフラム」「プラットフォーム」などの新しい用語が提示されたことで、それらを通して、構造に関する新たな考え方を浸透させた。

3-2-2. 木質パネル構法

木質パネル構法の整然とした耐力壁の配置や、部材品質のばらつきが少なく職人の技能に左右されにくいというプレファブ化・パネル化の手法が、木造軸組構法に広く導入された。

3-2-3. ユニット構法

木質ユニット構法の品質の安定を確保する生産・施工方式や、6 面体による構造の把握の考え方、「構造グリッド」「構造ブロック」などの構造的な概念が、木造軸組構法に採り入れられた。

3-2-4. 鉄骨造

鉄骨造の軸組構法は、木造軸組構法に共通する架構形式・接合形式をもっており、接合の考え方や金物・鉄骨など材料そのものを木造軸組構法に導入させた。応用することで、構造的に安定し、かつ架構の自由度の高い木造軸組構法を実現しようという試みにつながっている。

3-2-5. 大断面木造

大断面木造[1]は、エンジニヤリング・ウッドと重厚な金物を使用して、長尺の通し柱による多層の架構や大スパン架構などを実現する。そうした大径の部材と接合部の考え方は、3階建てを中心とした木造軸組構法にも転用されてきた。例えば、ピンの節点にいくらか水平力を負担させて耐力壁を低減した、大断面木造と木造軸組構法の中間的な準ラーメン構造と称するものを登場させた。さらに、製造・寸法・建方・金物や接合部等との設計において、鉄骨と同等以上の厳密さが必要なエンジニヤリング・ウッドが用いられることにより、木造軸組構法の生産に、意識的な変化をもたらした。また、高精度で経年変化の少ないエンジニヤリング・ウッドはパネル化と相性が良く、木造軸組構法のパネル化を後押ししている。

3-2-6. 北米のティンバーフレーミング

1970 年代頃から、アメリカ北東部で北米の旧在来構法である「ティンバーフレーミング」を復活させる取り組みが行われているが、木造の軸組を主体とする構法という共通点から、木造軸組構法においても応用の可能性の高い、大きく肉厚の接合金物と構造用断熱パネルを、日本の市場に採り入れさせた。特に、接合金物は日本独自に改良されて製品化されるなど、木造軸組構法に部分的な技術導入をもたらしている。

4. 新しい要素技術

本章では、近年普及の著しい新しい要素技術の事例と、その開発の経緯を示す。

4-1. 構造用集成材

構造用集成材は、一定の基準に基づいて製造される極めて人為的な建材である。強度・寸法精度・安定性に優れた材料として、建材市場で上向きのもののひとつである。

登場の経緯

構造用集成材による大規模な建築物は、法的な規制や鉄骨造の普及に押されて1960年を境に激減した。しかし、1987 年の基準法改正によって構造用集成材に関する規制が緩和されて、大断面の構造用集成材の生産が再び活気づいた。なお、1986 年と 1997 年に構造用大断面集成材に関するJASが制定されたことも、生産体制の整備を促した。

生産の状況

集成材の生産再開によって、住宅向けの構造用集成材についても生産体制が整った。集成材の国内生産量は、頭打ちの造作用集成材に対し、1996 年からの中小断面の構造用集成材の増加が著しい。新設住宅着工の減少下でのこうした増加は、住宅分野における構造用集成材の採用が増えたためと考えられる。例えば、年間 1 万戸超の木造軸組構法住宅を供給する大手企業では、1993 年以降に構造用集成材の使用量を大きく増やしている。また、1999 年の住宅金融公庫融資の戸建注文住宅では、柱の 3 割に構造用集成材が使用されている。

今後の視点

2000 年 4 月に品確法が施行され、集成材の導入が注目された。さらに、特に兵庫県南部地震後、住宅の品質や性能に対する見方が厳しくなったことに加え、それを評価する制度が整ったことによって、品質・性能の明示された材料の導入が増えると見込まれている。また、最近はプレカット工場も構造用集成材を積極的に扱っており、加工する柱の 10～30%を集成材としている工場が多い。

4-2. 樹脂製のねこ介いもの

「樹脂製のねこ介いもの(図 1)」とは、基礎と土台の間にかませる樹脂製の小さいスペーサーである。従来用いられてきた「ねこ土台」における「ねこ座」に充たる。元来のねこ土台は、基礎と土台との間に石やカシ・クリなどの固い木片を一定間隔で置き、土台と基礎の間に空隙を設けて絶縁し、通気する方法である。樹脂製のこれは、通常、アンカーボルトを通す穴があいており、アンカーボルトとともに基礎に固定するようになっている。呼称としては、商品名に由来する「基礎パッキン」「土台スペーサー」「土台パッキン」「ネコパッキン」「基礎ゴム」などがある。

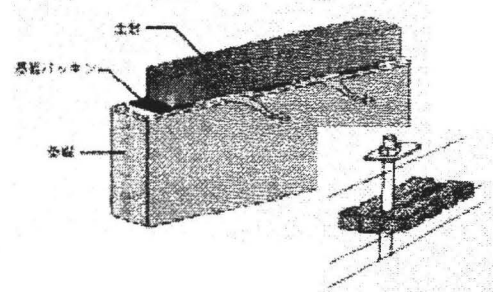


図 1　樹脂製のねこ介いものの例

開発の意図

基礎の換気と言えば、布基礎の一部を大きく欠き込んで換気口を設ける方法が主流であった。しかし、この形式はコンクリートと内部の鉄筋を分断するために、地震時や長期的な地盤の不同沈下の際にひび割れの端緒となるなど、構造的な弱点となっていた。そこで、この点を克服しつつ、いくつかの利点をもたせたものとして考えられたのが、これである。利点とは、コンクリートと木を絶縁することでコンクリートの乾燥を早めて土台材の乾燥状態を保つこと、建物の全周に設けた空隙によって従来の 1.5～2 倍程度の換気量と均一な対流を確保し蟻害を防止すること、換気口を設けるための型枠の設置や背筋を不要とすることなどである。

最初の製品と生産の状況

最初の製品は、(株)城東テクノ社の「基礎パッキン」で、以下のような経緯で開発された。

1974 年：開発を開始
1976 年：モデルハウスに適用
1984 年：「センチュリー・ハウジング・システム認定競技」における木造軸組構法住宅に適用、販売を開始
1989 年：「木造住宅合理化システム」の認定を取得
1991 年：本格的な生産と出荷を開始
1994 年：「JOTO 基礎パッキング工法」として、住宅金融公庫評価承認の第一号となる

生産量は、1999 年秋までの総実績で、戸建住宅に換算すると約 30 万棟分であり、現在は年間約 10 万棟超分の出荷がある。生産量が増加した要因は以下である。
・バブル経済以降、土地神話が崩れて土物価値に対する消費者の意識が高まったために、住宅の耐久性・快適性の向上に対する対策が必要になった。
・1995 年の兵庫県南部地震後の被害調査（自社）において、被害住宅の多くで土台の腐朽・蟻害があったことが判明し、住宅の基礎や脚部の強化の必要性を認識した。
・近年ヤマトシロアリの生息域が北上し、全国的に床下換気の重要性が増したが、最近の環境問題の表出によって、薬剤のみに依存しない土台の腐朽・蟻害対策が必要になった。

動向と方向性
- これまで通りの長さのアンカーボルトでは、ねこかいものの厚さの分、基礎コンクリートへの呑み込みに余裕がない。そのため、長い改良アンカーボルトが登場している。
- 空隙に雨水や鼠等が入り込まないように、水切りや防鼠（ぼうそ）材を同時に設置することが多い。
- 耐久性・耐候性・耐火性の検証が必要である。
- 免震効果を謳っているものがあるが、その検証が必要である。
- 冬季の寒地における断熱性や気密性の確保との整合について検討が必要である。

4-3．樹脂製・金属製の束

「樹脂製・金属製の束（図 2）」とは、木材の束柱（木束）に代わる樹脂製や金属製（鋼製・ステンレス製）の床束で、平滑な面に接着して立てられ、大引や床梁を直接受けるものである。呼称としては、製品名に由来した「プラ束」（樹脂製）、「鋼製束」（金属製）などが用いられている。

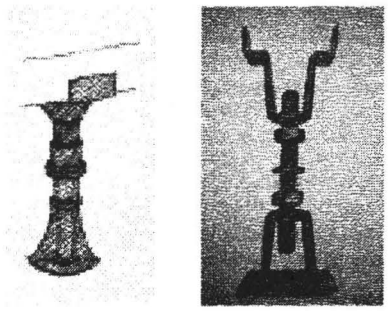


図 2　金属製・樹脂製の束の例

開発の意図

樹脂製・金属製の束は、高さの微調整が可能な点、耐震性・耐候性・防蟻性が高い点、作業性や通風性が良いとして開発された。また、プレカットが普及してこれまで床束や小屋束として利用されてきた端材が現場に産出しなくなったことや、躯体精度が高まったことから、床組における高精度なレベル出しを容易に可能にする方法が求められ、開発された。

最初の製品と生産の状況

樹脂製は、1991 年に販売を開始した集合住宅のシステム床におけるナイロン製の脚を応用したフクビ化学工業（株）の「プラ束」が最初である。これまでに少なくとも 100 万棟で採用された計算になる。

金属製は、タカヤマ金属工業（株）の「TD 鋼製束」が最初である。1986 年のプレハブメーカー向けメンテナンス金具と、その数年後のターンバックル型の改良品に始まる。1996 年に一般に販

路を拡げたのを契機に、1998 年から生産量が急伸している。出荷量は、樹脂製・金属製とも年間十数万棟分を超え、当初は樹脂製が普及していたが、近年は安価な金属製が樹脂製を上回る傾向がある。

動向と方向性

べた基礎や土間コンクリートなどの、設置・接着可能な平面をもつ要素技術の採用が前提であり、その普及に伴って増加すると考えられる。

4-4. 根太レス工法

「根太レス工法(図 3)」は根太なし工法とも呼ばれ、床根太を用いずに厚さ 24・27・28mm などの厚い構造用合板(以下、厚板)を大引や床梁に直打ちすることで、床組を構成するものである。これは、根太の役割である荷重を負担し、大引や床梁などの横架材をつなぎ、面材の受け材となり、床組の不陸を調整するという機能を、厚い板に肩代わりさせている。その呼び方の出所や工法の起始は明らかではないが、合理化システムにおいては、1994 年頃から採用が増えている。

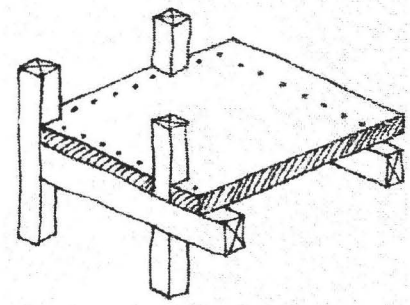


図 3　根太レス工法の例

開発の意図

施工の省力化が求められたこと、水平構面による剛性の確保が重視され始めたことが開発の要因である。

生産の状況

住宅の構造用下地となる針葉樹合板のうち、厚板の生産量が近年急増している。そのことから、統計上これまで「12mm 以上」の枠で設定されていた 24mm や 28mm について、2001 年 1 月から個別に統計が取られ始めた。そのため、長期的な厚板の生産量は不明なものの、24mm の月別生産量は漸次増加しており、2001 年の 12 月分は同年 1 月分の倍増となっている。

動向と方向性

躯体精度が向上して根太による不陸調整が不要になったことにより成立する技術であり、その進行に伴って増加すると考えられる。

4-5. 構造用断熱パネル

「構造用断熱パネル(図 4)」とは、発泡系の成形断熱材の両表面に、OSB やプライウッドなどの構造用面材を接着して一体化した複合板である。構造と断熱の両性能を兼ね備え、軸や枠が不要な面材として、単に断熱材を組み込んだ断熱パネルとは区別される。パネル自体に高い断熱性があるため、構造用面材としての用途のほか、高気密・高断熱を目的とした建物において、外壁や屋根面に利用されている。最も一般的なのは木質系のものであるが、金属や石膏ボードなどを表面材としたものもある。

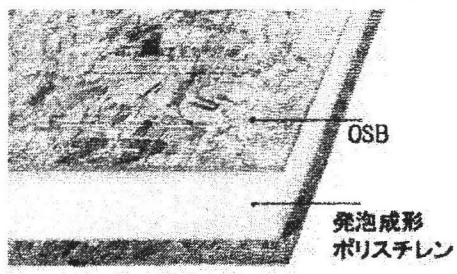


図 4　構造用断熱パネルの例

木造軸組構法においては、内断熱(充填断熱)仕様では真壁式に建て込み、外断熱仕様では柱両面を覆うように利用されるのが一般的である。また、クリープ対策として枠材を入れたものも多く、成形断熱材を枠材間にはめ込んだ一般的なパネルとその発生は異なるものの、できあがったものとしては類似している。

開発の意図

施工の簡易化・部材の点数や材積の削減・部材の軽量化・工期の短縮というパネル化の利点に加え、高断熱・高気密化や、高強度の構面の構成しやすさを意図している。

最初の製品と生産の状況

米国で開発され、SIPs(Structural Insulated Panels)と呼ばれている。それ自体は新しいものではなく、数十年前に冷凍冷蔵用の倉庫で用いられていた断熱壁に始まり、SIPs としては1950~60年代のAPA(アメリカ合板協会)による実験・開発、1950年代のNAHB(全米ホームビルダーズ協会)による実験棟、1960年代の米国の建築法規の適合認定を受けて実用性を高めている。1970 年代に、ティンバーフレーミングの断熱・気密性能の改善のために適用されて生産され、その後、近年になって SIPs が再評価されてここ数年で全米で大きく躍進中の建築部材のひとつになっている。生産量は毎年 2 割以上増え、60 を超える企業が SIPs を生産している。建物のエネルギー効率の改善、高い構造性能、パネル化による施工性の向上などの評価と、熟練職人の不足が深刻な西部においてクレーンで設置可能な大型のパネルが求められていることが、増えている要因である。

日本で一般的な構造用断熱パネルは、発泡ポリスチレンの両表面にOSBを張ったものである。数社が1980年代末から1990年代初頭にかけて米国から輸入したもので、米国内の過半数の生産をもつAFM社が1989年に日本のツーバイフォー住宅メーカーと技術提携を行い、1992年に構造用断熱パネルを用いた住宅の大臣認定(旧 38 条認定)を取得した。また、米国のWinterPanel社が1981年にティンバーフレーミングの外部を覆う形の構造用断熱パネルを開発し、1992 年に日本の大手建材メーカーとライセンス契約を結び、旧 38 条認定を受けて 1995 年春から販売を開始している。また、北米最大の発泡スチレンメーカーで現在、SIPs の対日最大輸出量をもつ米国 PremierBuildingSystems 社は、1991 年に枠組壁工法用・木造軸組構法用の対日輸出を開始した。1999 年頃からは、国産の構造用断熱パネルを製造する建材メーカーも登場している。

動向と方向性

米国では、SIPsを用いた構法はSIP Structure やSIP System と呼ばれて、新たな構法としての位置づけを得ており、ツーバイフォー構法のさらなる合理化を達成するものと注目する人もいる。2002年には、製造企業の団体であるSIPA(Structural Insulated Panel Association)がSIPs の仕様や設計規準に関する統一規格を発表したことにより、設計や現場検査の効率化が進むと予測できる。こうした状況が、日本の住宅市場にも影響を与える可能性がある。

4-6. 構造金物

「構造金物(図 5)」とは、常時応力がかかる形で用いられる接合金物を指している。Z マーク金物に代表される従来の補強金物とは違い、それ自体の形状や強度に頼って木材の接合を行うものである。名称や定義は固定していないが、金物に対しては「構造金物」「接合金物」「接合金具」など、それを用いた接合部に対しては「メタルジョイント」「半剛接合」など、架構や全体構法に対しては「金物工法」「接合金物工法」「準ラーメン構造」などで呼ばれている。

こうした金物や接合部には、比較的軽微なものと、さらに高い応力を負担できる比較的重厚なものがある。本報告では、前者を「在来構法系」の構造金物、後者を「大断面木造系」の構造金物と呼ぶことにする。いずれも、加工機械を用いて材にスリットやボルト穴などを切り、そこに鋼板やドリフトピンなどを組み込むことで木材どうしを接合するものである。すなわち、金物なしでは接合部が成り立たない。また、木材加工の単純さは、従来のプレカットを上回っており、そのことから、従来のプレカットにいずれ置き換わりうるものとして、「ポストプレカット」と表現される場合もある。

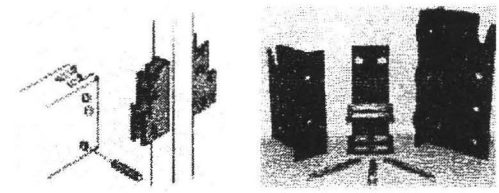


図5 構造金物の例

＜在来構法系＞

開発の意図

接合部の木材加工にプレカットが普及したことで、大幅な省力化が可能になった。しかし、社会的に求められる耐震性能は年々厳しくなり、補強金物でがんじがらめにせざるをえないとの指摘など、接合部には依然課題が多かった。そうしたことから、在来構法へ即応し、かつ高い構造性能を確保する接合方式が、意図された。

最初の製品

在来構法系の最初の製品は、現在もシェアの大きい「クレテック」金物である。これは、沖縄の大工が考案したものを 1988 年に(株)タツミが製造販売権を取得して販売を開始して以後、構造金物の事実上のスタンダードになっている。

生産の状況

オープンに販売されている「クレテック」は、次のように三段階に生産量を増やしながら、既に住宅 10 万棟超分の出荷実績をもつ。生産量が増加した最初の時期は 1989～92 年頃で、木造住宅合理化認定システムを取得したこと、高断熱・高気密人気で部材の納まりに厳しい精度が要求されたこと、断熱材やパネル充填に都合のよい部材内蔵型の金物が注目されたことが、その要因である。次は 1995 年の兵庫県南部地震後で、耐震性能に対する意識向上によって金物全体の生産量が増大し、それに付随した時期である。また近年も、基準法改正と品確法の影響で伸びている。構造金物を利用する方法が広く認知されるようになったのは、1989 年度に始まった木造住宅合理化システム認定事業において、いくつかの金物工法によるシステムが認定された頃からである。金物工法の普及状況は、それ自体に明確な定義がないので正確には分からないが、2002 年上半期の供給戸数が 2600 棟／月との報告から、現在、全国で年間少なくとも 3 万棟は建てられている計算になる。同報告の 1997 年分の統計が 1000 棟／月、2000 年が 1900 棟／月であったことを見ると、年々大きく増加していると考えられる。

＜大断面木造系＞

開発の意図

大断面木造系の構造金物は、大断面木造や北米のティンバーフレーミングにおける金物を住宅向けに応用したもので、在来構法系よりも大きい応力を負担する。接合部は「半剛接合」、架構は「準ラーメン」などとも呼ばれる。この金物は、接合部の施工の簡易化に加えて、金物の強度や耐久性などの信頼性を増すことで、全体構法の強度や剛性を向上しようと意図して開発されたものである。そのため、在来構法系におけるよりも比較的規模の大きい建物で使われることが多い。そうしたことから、形状は在来構法系と類似しているものの、異なる経路から登場した金物と言える。

最初の製品

最初の製品は、(株)シェルターが 1974 年に建てた自社社屋に適用された KES 金物と言われている。これは、1988 年から比較的大規模のものを対象に販売され、現在は小規模なものにも用いられている。ほかに、カトウ産業の 1992 年からのメタルフィット工法や 1997 年からの NCN の SE 構法など、少なくとも 30 数種類以上のもの(在来構法系を含む)が登場している。木造住宅合理化システム認定においても 10 数種が認定を受けており、旧建築基準法 38 条の認定を受けたものもある。

動向と方向性

接合部の強度を全面的に構造金物に依存した架構では、金物の位置ずれやボルト穴の変形があると、所定の耐力が得られないだけでなく、軸組が正しく組み上がらず、また材の乾燥によるガタが加わってクレームにつながる。このため、構造金物を用いる場合は、精密な加工がしやすく、その後狂いが少ない木材でなければならない。そこで、構造用集成材をはじめとする寸法安定性の高いエンジニヤリング・ウッドが不可欠となる。構造金物が、生産が本格的に開始されて 10 数年という短期間に大きく普及したのは、エンジニヤリング・ウッドの強度特性の明確さによって適切な構造計算が可能になること、建方の手順などを従来と大きく変える必要がないこと、エンジニヤリング・ウッドの外観や木肌に人気があること、工学的な技術の信頼性が増して新規の材料や技術に対する抵抗感が薄れてきたことなどが、要因と考えられる。

在来構法系の接合金物は、強度や耐久性よりも生産性・施工性における従来の接合方式に対する優位性を中心に、開発がすすめられた。しかし、多くの接合金物と競合してきた現在、強度や耐久性の向上によって差別化を目指す企業が増え、全般に大断面木造系に近づいてきている。この傾向は、特に兵庫県南部地震後に顕著であり、また、住宅性能評価・表示の申請や構造計算を想定して、架構を含めたシステムとして開発をすすめる傾向が増えている。このような傾向は、壁式構造に近づきつつある木造軸組構法に対して、柱・梁による文字通りの「軸組」架構を実現し、木造軸組構法による住宅への構造計算の導入を促すものとして期待されている。また、SI(サポート/スケルトン・インフィル)の概念に合致することや、鉄骨造の市場を木造によって代替する可能性がある点も、注目される。

5. 構法開発の時期と特徴

本章では、構法開発の時期的・内容的な特徴について、前章での要素技術の事例から述べる。

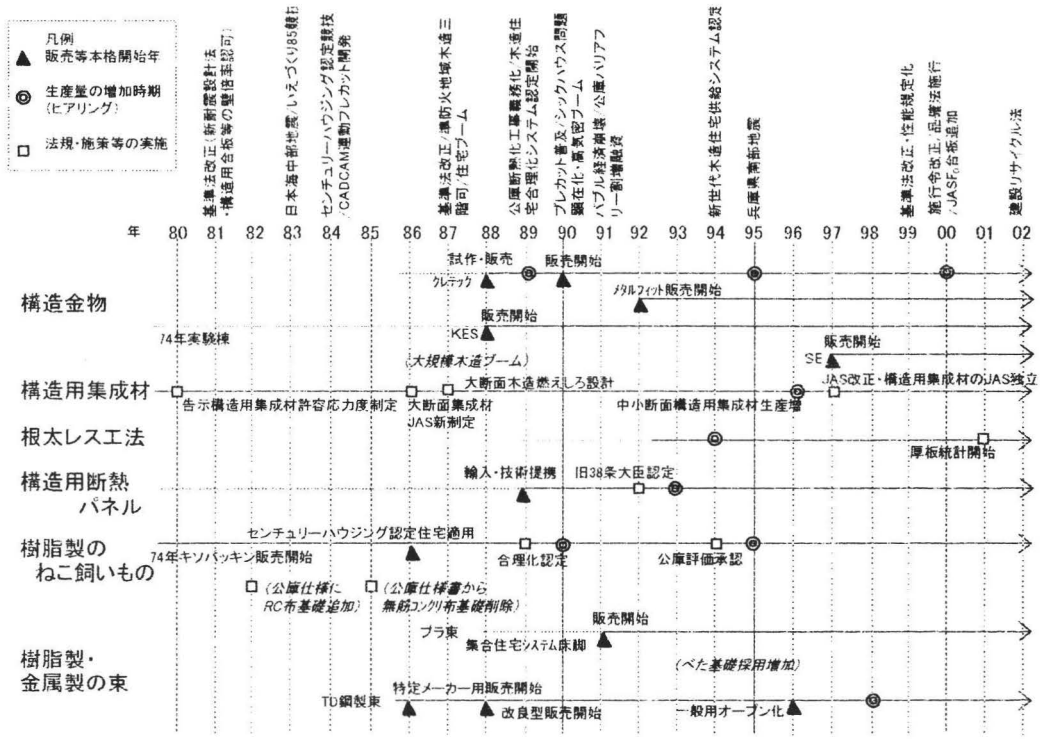
5-1. 1990 年代と構法開発

1990 年代は木造軸組構法の大きな転換期と言える。それは、数多くの新しい要素技術が開発・導入されたためである。そうしたもののうちいくつかは、既に広く知られるようになり、例えば「金物工法」「根太レス工法」「基礎パッキン」といった、十数年前までは全く馴染みのなかった呼称が住宅の生産者のなかに定着している。また、小規模な生産者や異業種が構法開発に参入するようになり、時宜を得て開始された合理化システム認定制度等の後押しで、要素技術の開発が盛んになった。この傾向は 1990 年前後から現在も続いており、今日の改正建築基準法や品確法への対応や、今後進行するであろう性能規定化で求められるものが変われば、活発な構法開発と木造軸組構法の急速な変化が続くと考えられる。そして、将来的な木造軸組構法は、さらに異なったものを意味するようになる可能性が高い。

5-2. 新しい要素技術の開発の系譜

前章で取りあげた近年大きく普及した新しい要素技術は、開発や普及の時期・期間が共通している。つまり、1970 年代から 1980 年代前半の考案・実験、1980 年後半の製品の完成・実用化、1990 年代の本格的な販売・適用開始というように、ほぼ同時代に進行している。表 1 は、それらの販売を開始した年や生産量を増やした時期などを表している。

表 1　新しい要素技術の開発の系譜



5-3．社会的背景と開発の関係

1980 年代以前は、施工性の向上に対するいわゆる「新建材」の開発が中心であって、性能という本質的な課題を残していた。そのため、潜在的に開発の需要や意欲があり、そこに 1980 年代の行政主導の各種の事業が刺激となって、開発を始めるところが増えた。そうした中、1980 年代後半には経済拡張期が大きな後押しとなって、実用化を可能にした。そして、1995 年の兵庫県南部地震を境に新しい要素技術の導入が盛んになり、時勢に適合したものの普及が進んでいる。すなわち、構法開発の進行には時事が大きく影響していると言える。

5-4．開発の特徴

1) 行政主導の各種の事業や施策は、生産社会に技術開発の機会を提供したほか、様々な業種に木造軸組構法を開発の対象として認知させるなど、積極的な役割を果たした。

2) 新しい要素技術が急速に受け入れられえたのは、住宅生産が成長段階から成熟段階へ移行したためである。つまり、木造軸組構法に求められるものが実際に量から質へ転換し、生産者や消費者の認識が変化したことを意味している。

3) 構造体そのものや構造体に関わる領域の開発が活発である。兵庫県南部地震が起きたことにより、構造の見直しが真剣に求められるようになった。そのため、近年は、1970 年代までの仕上げ材を中心とした開発や、施工の省力化を第一の目標とした需要拡大期の開発とは異なって、強度・剛性の向上を優先したものが増えている。そのため、工学的な視点から、構造体そのものや構造体に近い部分に手を加える開発が活発で、全く新しい分野の提案よりも、既存のものの改良や改善が中心となっている。

4) 類似の技術の開発が続いて要素技術の種類が過多な状態になれば、構法選択が煩雑になる。そのため、新しい要素技術を評価する手法や情報の共有と均一性をもちうる体制を整備し、適切な要素技術にある程度収斂させていく必要性が、今後生じてくると考えられる。

5) 今後は、木造住宅関連業種以外をも含む様々な生産主体によって、木造軸組構法を工学的に確立しなおすための技術が開発の中心になると考えられる。また、他の構法・構造では困難

な架構・意匠を指向したものや、環境共生などの時世に対応した開発が増えると考えられる。そのためには、こうした開発の要求に応えうる技術の蓄積や人材の確保が、いっそう必要になる。

6．構法開発の指向と木造軸組構法の展開

本章では、構法開発の指向と木造軸組構法の方向性について述べる。

6-1．構法開発の視点と混乱

兵庫県南部地震以後、木造軸組構法は、厳しい社会要請や他の構法・構造との競合に対し、性能の向上を重点的に図りながら、新しい要素技術を積極的に採り入れ始めている。しかし一方で、そうした柔軟さが類似の製品や技術の氾濫を生み、住宅の長寿命化に向けた構法の標準化や安定を求める時流とは反対のめまぐるしい変化をもたらしている。開発意欲の高まりは、直接的な技術の向上ばかりではなく、縮小する市場における差別化が主眼にあることも否めない。一部に手を加えただけのほとんど差異のない類似の技術や製品の氾濫は、競合による技術の向上に寄与した一方で、次々と登場する新しい要素技術への対応ばかりに生産者を追い込み、無駄の多さや構法選択の煩雑さを招いている。

6-2．構法の境界の消失と木質構法の展望

現在の木造軸組構法は、「柱と梁を有する」という共通項を残すものの、文字通りの「軸組による構法」が想定するものから外れたものも多い。したがって、在来の構法（木造軸組構法）・枠組壁工法（ツーバイフォー構法）・丸太組工法・工業化構法（プレハブ）・鉄骨造・鉄筋コンクリート造・組積造といった分類は、論拠する法律上のものであって、実際の構法や構造は連続しており、明確な境界はすでに消失していると言える。

また、2000年6月の建築基準法の改正によって、施行令第3章3節に性能規定化の考え方が一部盛り込まれたことは、例示仕様以外の構法を可能にするものであり、木造軸組構法の範囲を広げるものと言えよう。そのことから、性能規定化は新しい構法の性能の評価方法の確立に伴って避けられないものであり、どの構法も同じ土俵上で競合するようになれば、仕様規定のみならず構法の分類も不要となり、他の構法・構造の技術と融合したものが大幅に増加すると考えられる。

木造軸組構法は、昭和30-40年代頃の「在来木造」や建築基準法の施行令や住宅金融公庫の共通仕様書に依拠した「施行令木造」や「金融公庫仕様」と呼ばれる形式が事実上の標準仕様として1980年頃まで続いた。そうした経緯はあるものの内容的にはいまだ定まっておらず、合理化構法・新軸組構法・新在来構法などとも呼ばれて、構造的にも大きく二つの方向に変化する過渡期にある。それは、第2章の架構の項で述べたように、ラーメン架構を思わせる「軸組主体の構法」と、外観からはツーバイフォー構法などと見分けのつかないダイヤフラム的な「壁主体の構法」であり、今後しばらくの開発の中心は、これら両極に特化するのではなく、双方の利点を併せ持つことに関するものになると考えられる。

6-3．存在意義の創出

木造軸組構法の存在意義を創出するためには、以下が必要と考える。

1．本来求めるべき性能の見極め

木造住宅には、文化的な要素まで具備するという複雑な側面がある。例えば、旧来ムクの木材が好まれてきたこと、木造住宅が伝統を重んじる人々に特に支持されてきたことなどである。ムクの木材や伝承の巧みな技術による貴重な木造建築は当然あってしかるべきであるが、より広い視野で木造建築を捉えたときに全体として発展するためには、それらのみにこだわっていては大きな発展は見込めない。そうした意味では、木質材料を共通項に、本来求めるべき性能を見極めていくことが重要になるだろう。

2. 工学的な裏づけの重視

今後の木造軸組構法は、工学的な裏づけに立脚させるべきである。これは、工学的な検証の進んだ他の構法・構造と同じ表舞台に上げ、客観的な評価に耐えうる状況をつくり、木造軸組構法も適切なやり方を踏めば十分な性能を持つことを示すことである。

3. 既存技術の有効活用や情報の共有

これまでの木造軸組構法は、別々の生産者によって個々の改良が重ねられていたために、特に構造面や施工面で、他の構法・構造に遅れをとった。また、情報が隅々まで均一に行き渡らず共有が図られていないために、在来の技術の過大評価や過信に加え、性能に大きなばらつきを生じた。今後は、既存の有用な技術を活用し、情報を共有して、木造軸組構法全体の発展という視野をもつ必要がある。

4. 空間特性や意匠的な独自性の表出

木造軸組構法の存在意義を見いだす手段は、空間特性や意匠的な独自性を表すことである。すなわち、壁式の構造にはない、「軸組」の特性を最大限活かした構造的・意匠的な価値を見出すことである。

一方で、木材どうしの接合部においては、木材の繊維の性質上、一点で大きな力を支える手法には限界がある。そうした意味では、小さな接合具を分散して多く使うパネル構法や、多段階でエネルギーを吸収する靭性の高い伝統構法に、秀でた部分があると考える。そこで、木造軸組構法をそれらと対置させるのではなく、利点を合わせ持たせることによって、これまで以上に合理的な架構を確立すべきである。

6-4. 今後の構法開発の重点

1) 木造軸組構法に求められることは、工学的な裏づけに立脚した技術と材料に置き換えることであり、従来のものとの違いを位置づけられる開発を進める必要がある。
2) 木造軸組構法と木質構造の発展のためには、法規上・社会通念上別々の扱いとなっている木質の構法を構造の観点から同じ範疇にとらえ、ひとつの木質構造として扱いながら開発していく必要がある。

参考文献

大橋好光＋川鍋亜衣子、軸組構法の展開　構造と生産の合理化から、建築知識　地震に強い[木造住宅]パーフェクトマニュアル、(株)エクスナレッジ、P.154-181、2003年1月

---

[i] 戸建住宅、集合住宅の合計。

[ii] 用語としては、旧建築基準法施行令第46条第2項の定義は、国土交通大臣の定める品質基準に適合した集成材その他の木材(小径15cm以上で断面積が300cm2以上のもの)である。一般には、集成材を用いた大規模な木構造という意味でも用いられており、「大規模木造」や「集成材構造」など様々な呼び方がある。戦前の一時期や1960年代前後を除いて、法的な規制の強化や鉄骨造の普及などの影響で、ほとんど建設されなくなっていたが、1987年の基準法改正により、散見されるようになってきた。

2-2 第四回 全国高等専門学校建築シンポジウム

呉工業高等専門学校 建築学科
教授　西村　光正

1. 概要

1－1. はじめに

『第4回全国高等専門学校建築シンポジウム』を、本年10月に呉市で開催いたします。このシンポジウムは全国の高等専門学校で建築を学ぶ学生を対象に、その資質向上と学生間の交流を目的として開催するものです。

シンポジウムのこれまでの経過を簡単に紹介しますと、昭和52年に米子高専と明石高専の2校で建築シンポジウムが始められ、その後に呉高専、石川高専が参加し、四高専建築シンポジウムとして平成10年度の第22回まで続きました。平成11年度には新たに設計競技部門が設けられ、全国の高専に参加を呼びかけて『全国高等専門学校建築シンポジウム』として、米子市で開催されました。本年度はその4回目で、呉市で開催することになりました。

このシンポジウムには設計競技部門とプロポーザル部門の二部門があります。設計競技部門は、主にデザイン・計画学的内容について空間の構想力・提案力・実現力を競うものです。まず一次審査において図面の審査を行い、最終審査の場において各自が発表し、それをもとに審査を行います。プロポーザル部門は、主に構造、環境に関わる内容について、あるテーマのもとに発表する部門です。これは各校において予め、校内応募リポートの審査を行い、その代表者がシンポジウムで発表し、討論を行います。

全国の高専で建築を学ぶ学生の集いとして発展してきたこのシンポジウムに、日々の研鑽の成果を応募ください。

1－2. 応募資格

応募時点で高等専門学校に在学する学生(研究生・専攻科生を含む)であること。

1－3. 部門

応募部門

- 設計競技部門
- プロポーザル部門

※両部門にわたる重複応募(発表)は可能です。

1－4. 日程

シンポジウムの日程

- 打合会:10月18日(金)夕刻
- シンポジウム:10月19日(土)
- 懇親会:10月19日(土)夕刻

※シンポジウムについては、大筋では設計競技部門を午前中に、プロポーザル部門を午後になるように計画を進めております。

※それぞれのタイムテーブルについては現在、検討中です。決まり次第、ホームページ上でお知らせいたします。
※各部門とも、前日の夕刻にシンポジウム会場でリハーサルが可能です。
※シンポジウム終了後に、各部門の講評及び、シンポジウムの様子はホームページ上で公開する予定です。

1－5. シンポジウム報告

シンポジウムの内容及び結果は、CD-Rに納めて参加校等に郵送する予定です。

1－6. 会場・宿泊場所等

- 打合会会場:『ビューポートくれ』4F・中ホール
  呉市中通1丁目 1-2／TEL 0823-20-0660 FAX 0823-22-7184
- シンポジウム会場:『呉市広公民館』ホール
  呉市広古新開2丁目 1-4／TEL 0823-71-2151 FAX 0823-73-5034
- 懇親会会場:『シティプラザカンコー』3F・鳳凰の間
  呉市中央3丁目 8-18／TEL 0823-22-2156 FAX 0823-22-1043
- 宿泊場所:『ビューポートくれホテル』(住所等は打合会会場の項を参照下さい。)

1－7. 問い合わせ先

〒737-8506 広島県呉市阿賀南2丁目 2-11
呉工業高等専門学校 建築学科気付
第4回全国高等専門学校建築シンポジウム実行委員会事務局
e-mail:sympo@kure-nct.ac.jp
(総務担当)岡本二郎・冨田英夫

2. 設計競技部門

2－1. 応募要綱

2－1－1. テーマ:『自給自足する家』
2－1－2. 審査員
建築家・村上 徹（むらかみ とおる）氏(村上徹建築設計事務所主宰、広島工業大学教授)
(略歴)
1949　　愛媛県生まれ
1972　　広島工業大学建築学科卒業
1972～75　内井昭蔵建築設計事務所勤務
1976　　村上徹建築設計事務所開設
1984～91　近畿大学工学部非常勤講師
1989　　広島大学工学部非常勤講師
1992～　　広島工業大学工学部非常勤講師
1998～　　広島工業大学環境学部教授

〈受賞〉新建築住宅特集吉岡賞／新日本建築家協会新人賞／日本建築学会賞作品賞／芸術選奨文部大臣新人賞
〈作品〉己斐の家／坂町のアトリエ／中山の家／阿品の家／四季が丘の家／庵治町役場／比治山本町のアトリエ／鶴学園八千代校舎 カンパネルラの館／津山の家IIなど多数

2－1－3.　出題の意図
我々は平穏無事な時代に、少なくとも物質的には豊かな国で生活している。物や情報があふれかえる今、欲しいもののほとんどは簡単に手に入る状況にある。気がつけば我々はもはや、手軽で見栄えの良い既製品の中に完全に埋もれてしまい、巨大な供給システムに頼り切ってしまっているのではないだろうか。
そんな便利な時代の中にあって、あえて労力を注いででも自ら創りだし、自らを満足させるべきものは何か。今の時代、自給自足と聞いてすぐに思いつくのが地球環境やエネルギー問題への配慮であるが、今回の課題は単に物質的な面での自給自足だけをテーマにしているのではない。情報や精神的な自給自足についても充分考察の余地があるはずである。
そして、そのような行為を実現させるための空間を「家」という形式で提案してほしい。自給自足する家が、これからの時代の中で、できるだけ「他人」に頼らず自立したシステムを持つ家として、結果的に社会環境に貢献して行けたらよいと考えている。
場所、規模、住人などの設定は自由とするが、現代の技術でおよそ実現可能な現実の空間を求めている。社会環境に対して受け身でない、積極的な立場をとる家の提案を期待している。

2－1－4.　一次審査
(1) 応募チーム人数
応募は各学生、各チーム１点までとします。チームの場合、最大５名までとし、メンバーの重複はできません。
(2) 提出図面
Ａ１サイズ用紙（594mm×841mm、縦書き横書き自由）一枚に、平面図、立面図、断面図、配置図（縮尺は自由）、透視図、模型写真、ＣＧおよび説明文（200 字以内）　などを収めてください。立体化、パネル化はご遠慮下さい。学校名、個人名を暗示もしくは明示するような表現はさけて下さい。場所、地域を明示することは構いません。
なお、作品にはタイトルを付けて下さい。タイトル名での特殊文字の使用はご遠慮下さい。
(3) 応募方法
「設計競技部門応募カード」に必要事項を記入し、図面の裏側右下に張り付けて送付下さい。応募カード

はホームページからダウンロードできます。

カードの下部は審査の前に事務局が切り離し、応募者情報を管理するとともに、審査の公平を図ります。そのため応募者はカードを切り離さず、上部のみを図面に張り付けて下さい。タイトルは２カ所記入することにご注意下さい。

応募者側でのカードの印刷の状態により、サイズがまちまちになることもありますが、必要事項が記入されていれば問題ありません。およそＡ５サイズになるようにして下さい。必要事項の記入は手書きでも構いません。

(4) 一次審査応募図面締切：9月13日（金）必着

(5) 一次審査結果発表：9月15日（月）ホームページ 上で公開します。(後日、文書でも通知します。)

(6) 郵送先

〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2-2-11

呉工業高等専門学校 建築学科気付

第４回全国高等専門学校建築シンポジウム実行委員会事務局

(7) 審査方法

最終審査発表会で発表する上位約 10 点程度を、審査員が選出します。

(8) 質疑応答

テーマに関する質疑応答は一切、受け付けません。規定外の事項については応募者各自が判断して下さい。

２－１－５. 最終審査

(1) 最終審査発表会での発表方法等

発表方法：共同設計の場合は応募者全員が登壇できます。模型を使って発表することもできます。但し、マイクは１つなので一人ずつ発表することになります。

発表時間：１組あたり６分（発表４分、審査員からの質問２分）

※１次審査通過者の数によっては発表時間の変更もあり得ます。

使用機器等：

1. Windows 2000 が起動するパソコン1機＋Microsoft PowerPoint 2000
   (※Mac は使用できませんのでご注意下さい。)
2. VHS ビデオデッキ1台
3. 液晶プロジェクタ1台＋スクリーン1幕(1 及び 2 の画面を投影します。)
4. レーザポインタ
5. 模型展示用の台
6. マイク1台

図 面：発表時に応募された図面(A1サイズ)を壇上に掲示します。
模 型：模型は展示用の台に置きます。
※図面、模型の掲示方法ついての詳しい内容は、決まり次第、ホームページ上で公開いたします。

(2) 最終審査時の発表用データ等について

1. PowerPoint を使用する場合：データを CD-R に保存し、下記期日までに郵送して下さい。データを予め送っていただくのは、事前に主催者側の機器での動作をチェックし、シンポジウムを円滑に進めるためです。問題発生時には電話で相談いたします。なお、郵送前に十分に動作確認を行って下さい。念のためにコピーを当日、持参願います。データの内容の変更は受け付けません。
   - PowerPoint データ CD-R 郵送締切：10 月 15 日(火)必着
   - 郵送先：一次審査と同様
2. 模型を使用する場合：大きさは 500mm×500mm×500mm 以内で、一作品につき一模型です。当日、各自が持参して下さい(事前の郵送は受け付けません)。

3. ビデオを使用する場合:VHS 方式を使用して下さい。当日、各自が持参して下さい。事前の郵送は受け付けません)。

(3) 最終審査発表会：10 月 19 日（土）

(4) 最終審査の受賞構成

最終審査の受賞構成は、最優秀、二等、三等、佳作とし、その決定は審査員に一任し ます。なお、一次審査通過者には少なくとも佳作を授与いたします。

2－2. 一次審査

2－2－1．学校別応募数

高専名	応募作品数
明石	34
石川	36
大阪府立	1
岐阜	45
呉	47
徳山	6
豊田	9
米子	62
応募総数	240

2－2－2．設計競技部門一次審査結果

1) 一次審査により次の 12 作品が選出されました。(順不同)

作品タイトル	氏名	高専名
REcreating House ～遊ぶ家～	高橋麻衣	明石
emergent space	西村祐人, 小川義郎	明石
Lighting Box ～光の手品～	藤原圭祐	明石
CONCEPT / SURFACE	飯田寿一	石川
Cycle System	木曽敬資, 大沢裕美, 小幡真美, 藤田茉緋	石川
My Life - with Sun -	小森由紀	岐阜
Present from Sun	長谷川知香	岐阜
A Villa of inspiration	天野大輔	呉
self - sufficient in INTERIOR	北美紀	呉
物質から独立した家	シェイダ	呉
Another Suggestion in Biorhythm	山本仁美	呉
plat・home	中谷裕二, 山根憂也, 吉田拓矢	米子

2)一次審査講評

一次審査を終えて　村上徹

今回の「自給自足する家」というテーマは応募者が自由に解釈できるぶん、案をまとめることが難しいとも考えていた。しかし240作品の多数の応募に驚き、また多くの作品が力作で、審査には時間がかかった。作品の中には、住宅としてはおもしろいものや、優れたプレゼンテーションによるものも多かったが、テーマに対して明確な回答が示されていない案は選ばなかった。

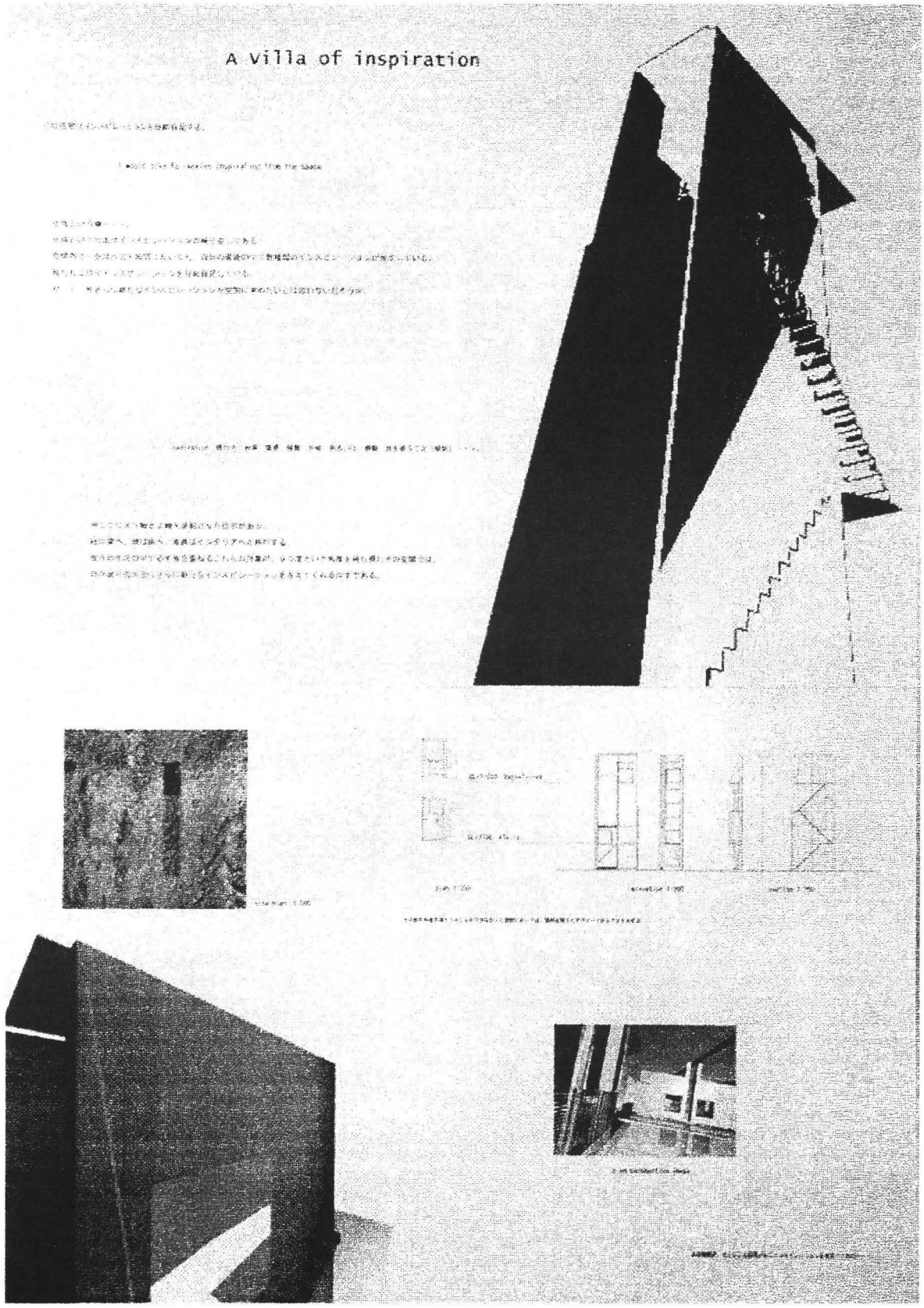
選出の第一段階で20作品を選んだ。この上位20選の案はいずれも甲乙つけがたく、自給自足に対する興味深い作品である。これを約10作品に絞り込まなければならなかったが、優秀な作品が多かったため、2作品をプラスして最終的には12作品を一次審査通過作品とした。12作品の中には完全に理解できていないものもあり、本審査でのプレゼンテーションが楽しみである。一次審査を終えて、建築を志す全国の高専学生のレベルの高さと意欲を痛感した。
(2002年9月14日)



審査風景

2－2－3．　一次審査通過者図面

最優秀賞．　天野大輔『A Villa of inspiration』、呉

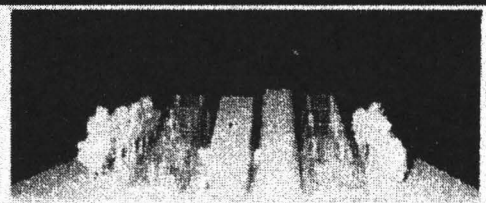


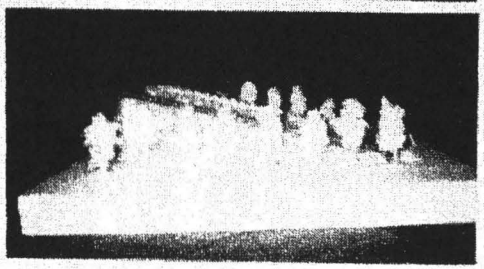
nts from Sun 太陽からのプレゼント

―自給自足の家―

太陽からの光を活かしながら、規模別に４棟が連なっているソーラーハウス。この家では、電気はもちろん飲料水も雨水で自給自足している。

ここにはコンビニのように必要最低限のものしかない。物質的なことだけでなく、生活空間を明暗とわけることで住む人に精神的にも自給自足してもらえると思う。





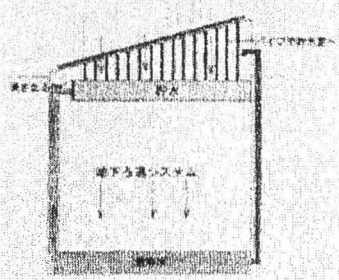
「生活棟１」：RCのかたまりの棟。中には、ドラム缶風の、風呂やトイレがある。暗闇の生活が体験できる。

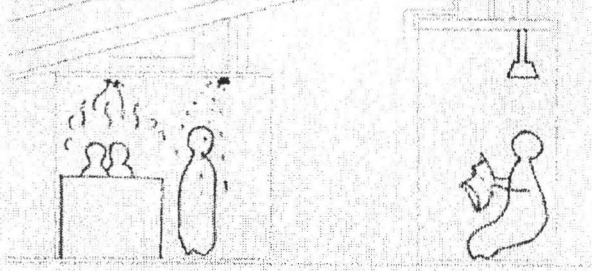
「メカ棟」：屋根一面のソーラーシステムで発電した電気で家中を動かして、快適に寝っている。

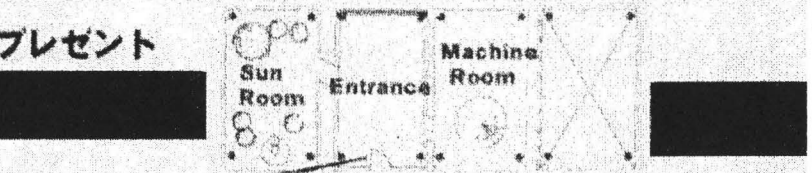


「生活棟２」：１とは対象的に明るいOPENな生活ができる。

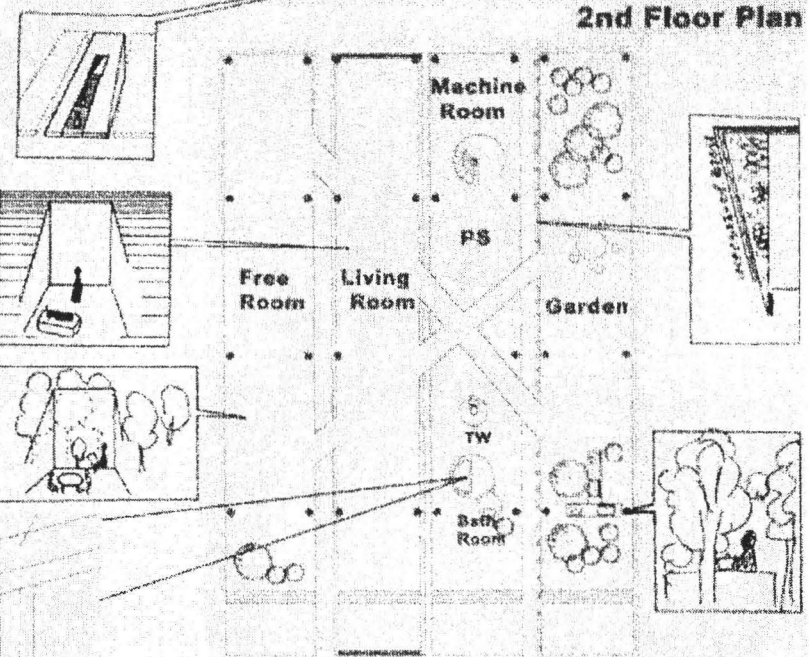
「食物棟」：野菜や果物を栽培している。室内なので温度調整、雨は発電している力を使って行っている。



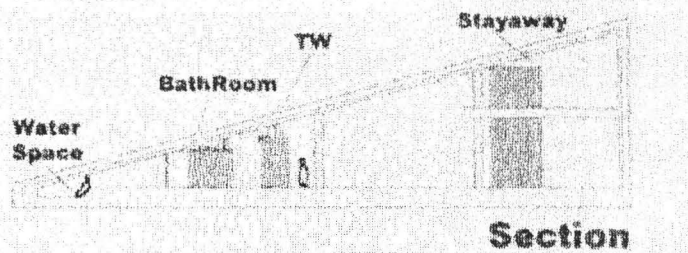




2nd Floor Plan

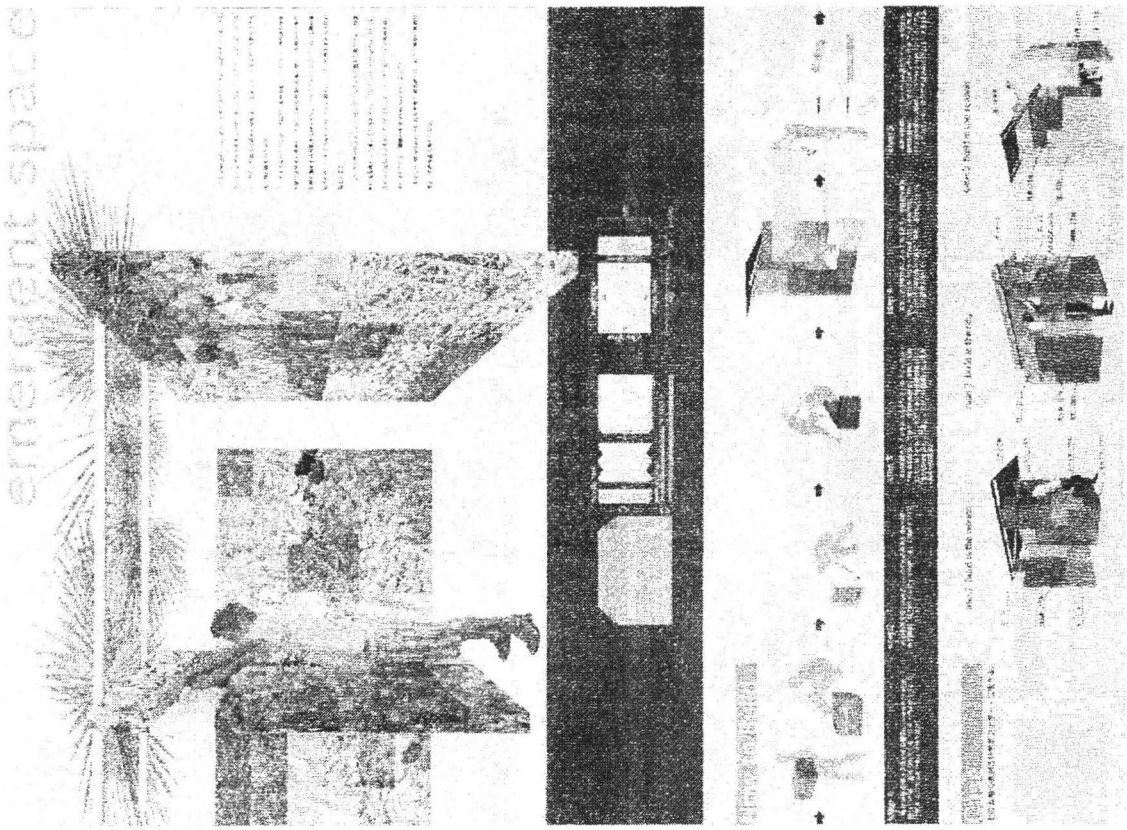


1st Floor Plan

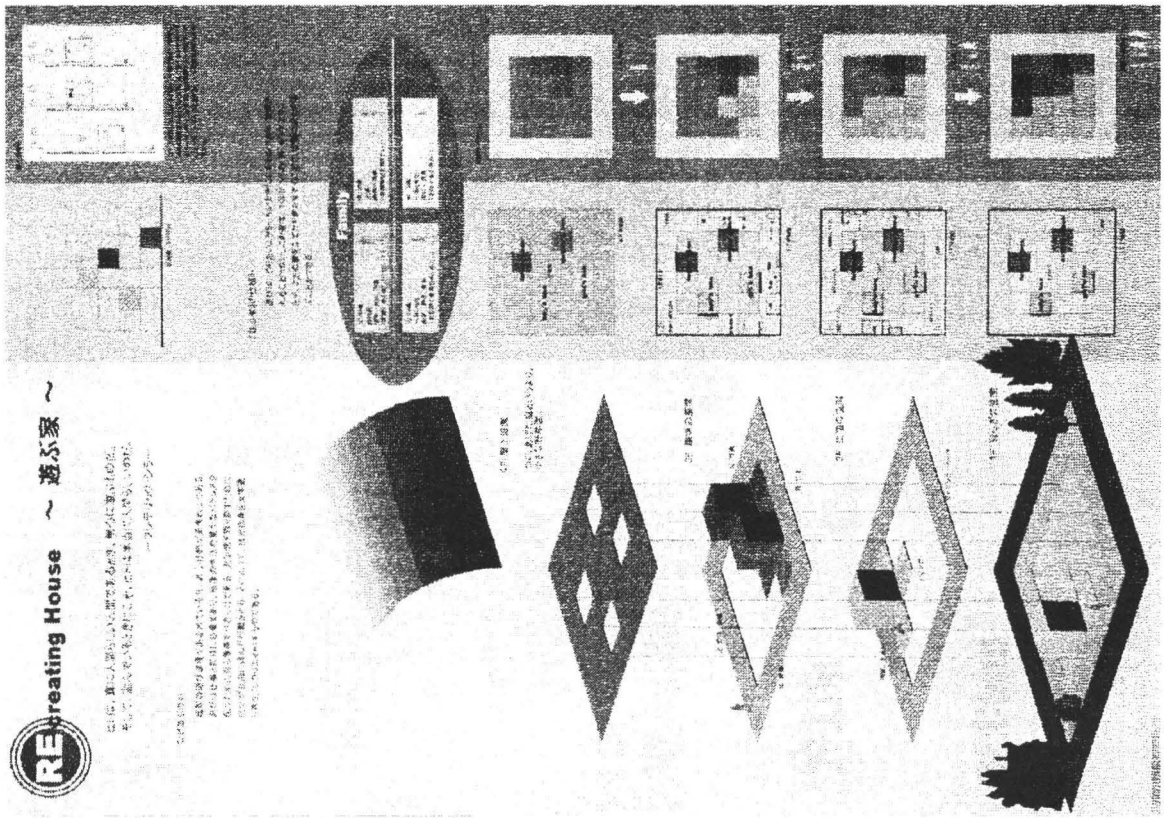


Section

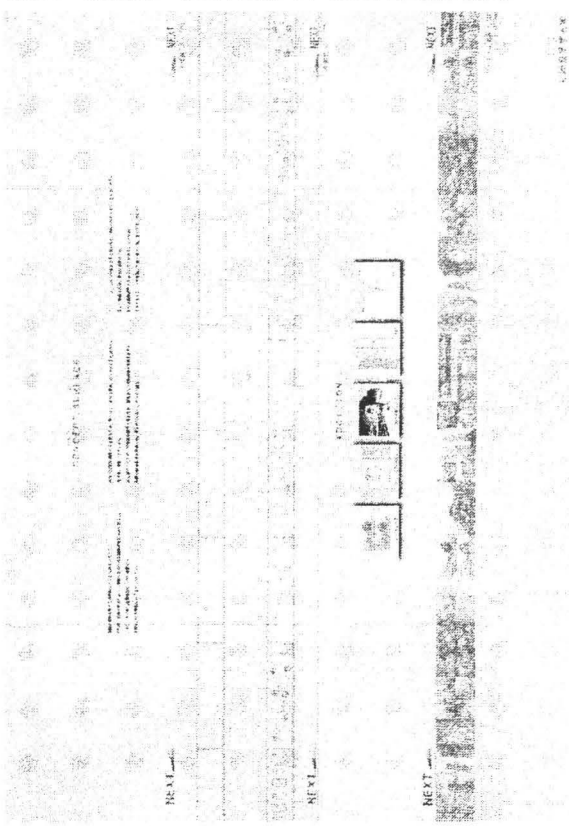
三等賞　西村祐人、小川義郎『emergent space』、明石



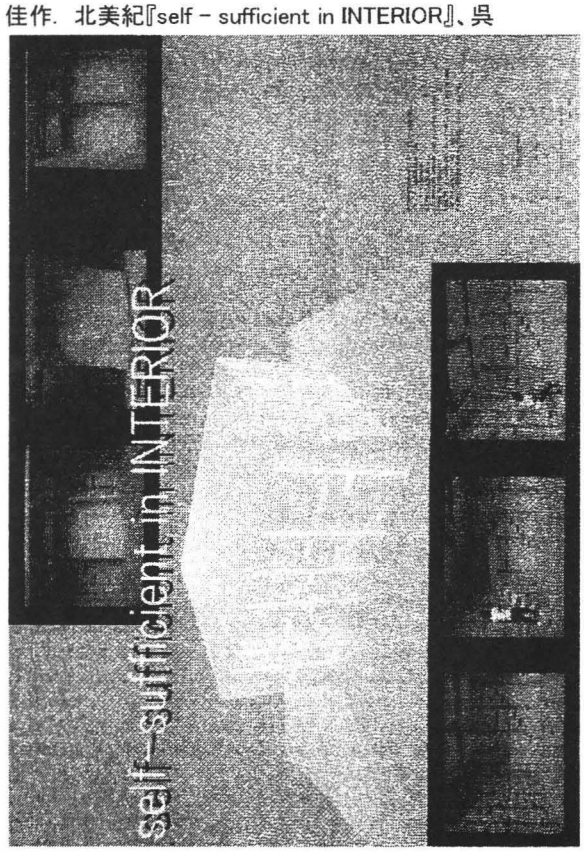
三等賞．高橋麻衣『REcreating House　～遊ぶ家～』、明石



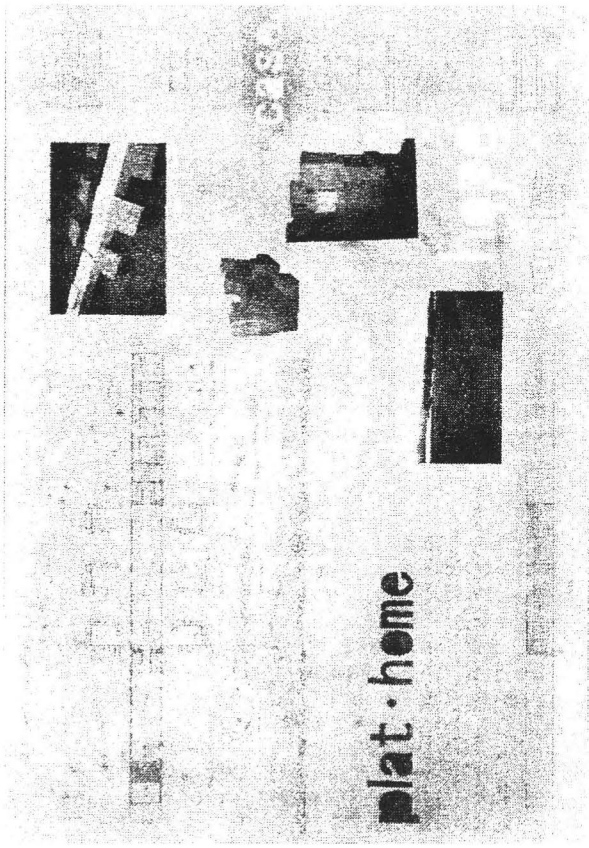
佳作．　飯田寿一『CONCEPT / SURFACE』、石川



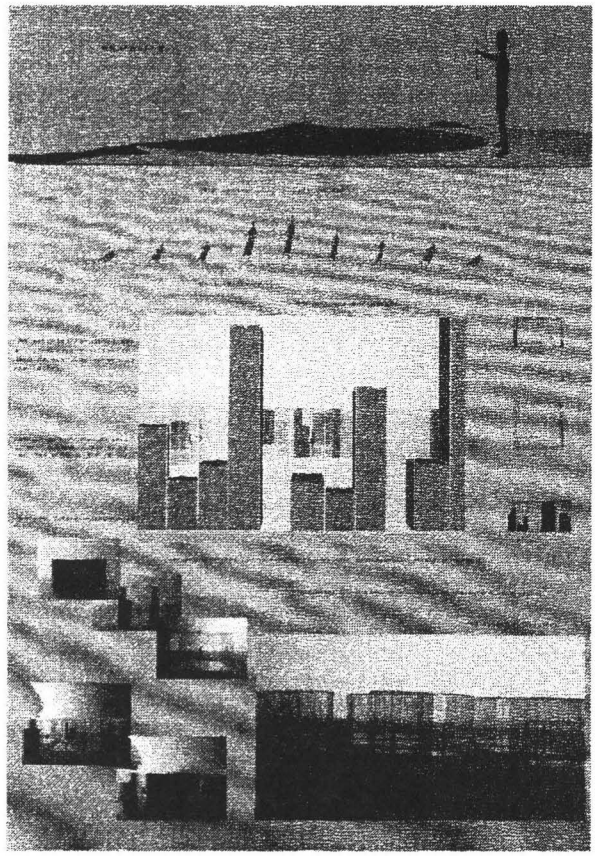
佳作．北美紀『self－sufficient in INTERIOR』、呉



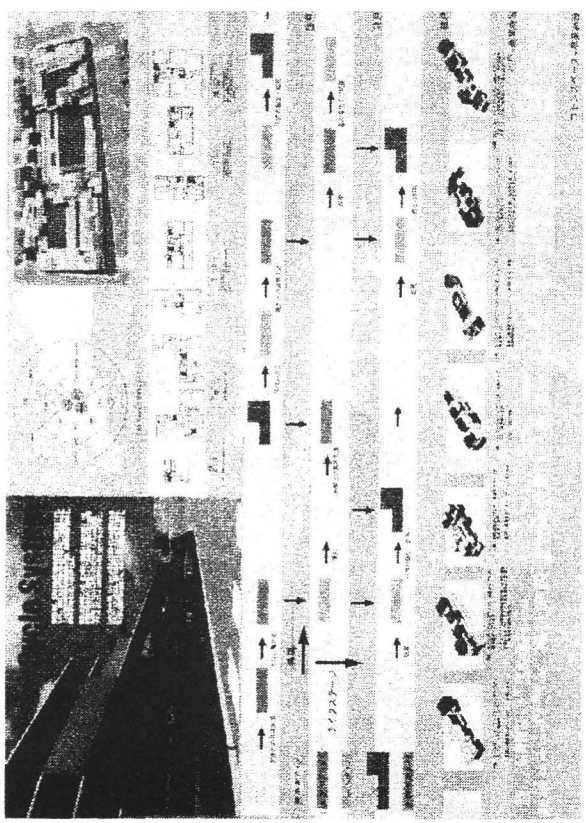
佳作.　中谷裕二, 山根憂也, 吉田拓矢『plat・home』、米子



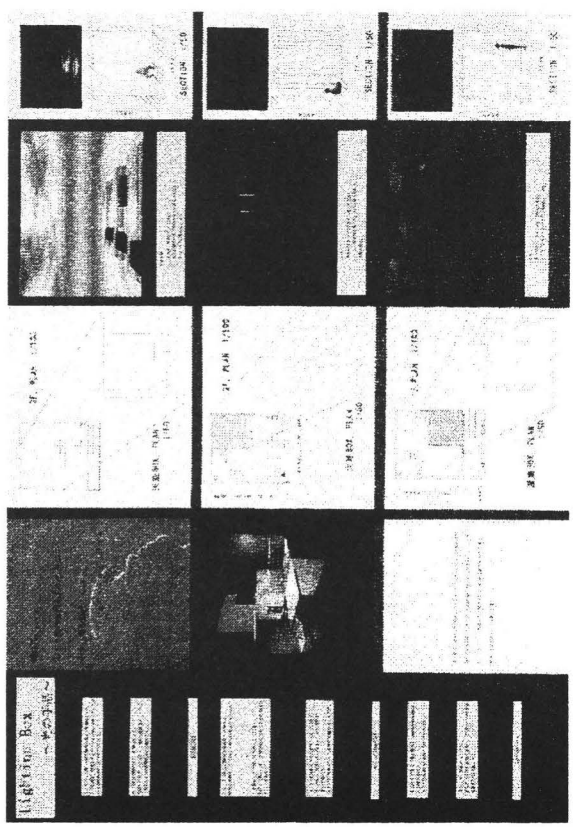
佳作.　シェイダ『物質から独立した家』、呉



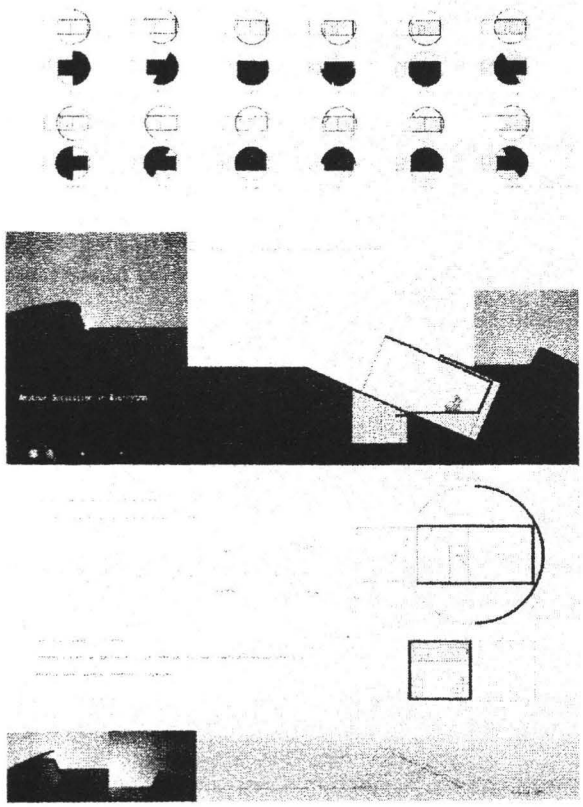
佳作.　木曽敬資, 大沢裕美, 小幡真美, 藤田茉緋
『Cycle System』、石川



佳作.　藤原圭祐『Lighting Box　～光の手品～』、明石



佳作. 山本仁美『Another Suggestion in Biorhythm』、呉



2－2－4. 全応募者リスト

第4回全国高等専門学校建築シンポジウム 設計競技部門応募作品データ（2002年10月19日）

番号	高専名	タイトル	氏名(代表)
1	明石高専	うつしだす家	佐藤 宏彰
2	明石高専	○○村の週末自給自足する家 会員募集	井上 理恵
3	明石高専	家族の家	森川 真嗣
4	明石高専	realize-ミツカルモノ-	竹林 健一
5	明石高専	ふれ is my ハウス	大西 美穂
6	明石高専	自給自足する家	小松原 健治
7	明石高専	emergent space	西村 祐人
8	明石高専	To Make Territories	豊田 俊雅
9	明石高専	籠もりキット	藤原 祐介
10	明石高専	崖と365日の関係	魚井 康生
11	明石高専	Time Box	東 優
12	明石高専	Time For 20 years	松下 高上
13	明石高専	樹と共に育つ	上野 正博
14	明石高専	Recreating House ～遊ぶ家～	高橋 麻衣
15	明石高専	Make Mind Room ～精神不安定者が自給自足するための家～	下崎 倫子
16	明石高専	無限の「箱」そして無限の「可能性」	澤田 由香
17	明石高専	SxS HOUSE	浦野 淳一
18	明石高専	MONO づくりの HOUSE	西垣 猛史
19	明石高専	balloon&growth house	角田 明慧
20	明石高専	Magnetic House	岡崎 まり
21	明石高専	自然に還る	小谷 香織
22	明石高専	自然を取り込んだ家	小山 久美子
23	明石高専	思い出の家	玉谷 浩昇
24	明石高専	Huge Rocks on the Laege Field	内藤 多加志
25	明石高専	プライベートルーム	梅本 敬太
26	明石高専	緑と水の共生	川端 佑樹
27	明石高専	子供の島	島津 麻実歌
28	明石高専	Light Box ～光の手品～	藤原 圭祐
29	明石高専	自給自足する家	徳永 慎也
30	明石高専	蒸気とくらす	久保 英毅
31	明石高専	I'LL ～ここから、歩き出す～	濱田 匡利
32	明石高専	ある画家のための家	伊藤 研二
33	明石高専	growth house	田中 久美子
34	明石高専	Creative House ～アーティストのための家～	金子 由枝
35	大阪府立高専	ALLEY?	甲斐 淳一
36	徳山高専	悟性の自給自足	松本 宏幸
37	徳山高専	pointer	福岡 光
38	徳山高専	senses	山本 展久
39	徳山高専	水に囲まれた家～water house～	石井 健一郎
40	徳山高専	終点	藤井 将平
41	徳山高専	水琴の音を奏でる家	椙山 博美
42	豊田高専	しゃべり場	加藤 一輝

番号	高専名	タイトル	氏名(代表)
43	豊田高専	自己の追求	宮本 和花
44	豊田高専	自給自足する家	江美 慈子
45	豊田高専	高架下住宅	藤田 義徳
46	豊田高専	コトバ	石田 匡一
47	豊田高専	太陽と共に生きる	伊藤 暁弘
48	豊田高専	家に咲いた小宇宙--超解放的異室内外空間--	上道 貴広
49	豊田高専	Communication tube	足立 優子
50	豊田高専	view oneself objectively	吉瀬 一敬
51	米子高専	Daily Life	山本 明日加
52	米子高専	companation room	三原 敦
53	米子高専	The 対称	原田 道則
54	米子高専	石の家	村岡 美奈子
55	米子高専	ココロノアリカ	宮下 香奈
56	米子高専	木づきの場	田川 佳美
57	米子高専	Another Myself	本位田 華加
58	米子高専	してやったり	田鍬 典子
59	米子高専	Free home	門脇 雄一
60	米子高専	ショクエンバコ・・・	山浦 克子
61	米子高専	HEART SCALE	松本 祐実
62	米子高専	message	山本 卓也
63	米子高専	COMIX BOX	石田 祐貴
64	米子高専	NEW STYLE	石田 直貴
65	米子高専	自遊自在	加藤 侑
66	米子高専	Take Athletics!	野田 夏紀
67	米子高専	8畳	景山 圭太
68	米子高専	Pssing Garden--つかの間の庭--	谷本 輝子
69	米子高専	BOOK CHANCERS	畠中 裕平
70	米子高専	時の部屋	三谷 紀人
71	米子高専	サイクル・サークル	水野 太郎
72	米子高専	emotion	田辺 理沙
73	米子高専	Breath in Benefit	石原 薫
74	米子高専	ぼっこ	天野 志満子
75	米子高専	ゆとり	中林 真穂
76	米子高専	fix one's eyes	藤原 大輔
77	米子高専	B・W・C	三鴨 涼子
78	米子高専	GO TO MOVE !	佐々木 聖士
79	米子高専	木漏れ日の下で	足羽 和枝
80	米子高専	Haneycomb	神谷 厚子
81	米子高専	いろんなさんかく	柏木 夏子
82	米子高専	陽のあたる場所	渡辺 綾子
83	米子高専	都会の原始人	柴田 宏司
84	米子高専	子供の森	坂本 篤
85	米子高専	自分色発見空間	小椋 弘佳
86	米子高専	おしくらまんじゅう	太田 泰
87	米子高専	CREATION	山本 樹伯

番号	高専名	タイトル	氏名(代表)
88	米子高専	オトンタ	村上 満子
89	米子高専	SEKOLAH ALAM(自然学校)	株本 俊佑
90	米子高専	滝庵	水田 貴子
91	米子高専	木漏れ日と音	大塚 ゆかり
92	米子高専	リアル、繋ガル	倉本 真衣
93	米子高専	3ショクハウス	徳永 智実
94	米子高専	plat ・home	中谷 裕二
95	米子高専	X-BOX	藤原 研哉
96	米子高専	自求空間	中川 綾子
97	米子高専	Use Your Brain	生田 和香奈
98	米子高専	Look At Me	福田 祥子
99	米子高専	可我見	村竹 香菜
100	米子高専	動写住男	山下 愛子
101	米子高専	ANTENNA HOUSES	長妻 夕起
102	米子高専	The Soil	阿部 マリ
103	米子高専	空想と現実	永島 靖之
104	米子高専	海的快適	中村 憲治
105	米子高専	みんなの家	三浦 寛子
106	米子高専	お宅の公園	猪上 鈴子
107	米子高専	風のきた道	石脇 愛深
108	米子高専	四球自足の家	大月 直美
109	米子高専	深呼吸する壁	精山 由美
110	米子高専	Green Time	須山 美香
111	米子高専	FINAL home	吉岡 敏弘
112	米子高専	SANAGI.P	矢倉 明絵
113	石川高専	Cycle System	木曽敬資
114	石川高専	丘の上のカリヨン	中島弘陽
115	石川高専	color magic	塚本志朗
116	石川高専	Hello Again	横山明菜
117	石川高専	自休自足を自給自足する家	中西昭太
118	石川高専	for long generations	畑沙苗
119	石川高専	ネットランド	佐藤晃菜
120	石川高専	温度の自給自足	栗原正典
121	石川高専	マイ スタイル	中山真紀
122	石川高専	在る物から	西川洋人
123	石川高専	apart void	中薮愛
124	石川高専	own story	野崎美秀
125	石川高専	角築	村山太一
126	石川高専	TATEGU	本田祐一郎
127	石川高専	通	小島可子
128	石川高専	自由自在	林隆三
129	石川高専	斜ウォーール！	北川美菜子
130	石川高専	Nobody can exist without sun.	石岡紘太郎
131	石川高専	2 volume	北村陽子
132	石川高専	CONCEPT/SURFACE	飯田寿一

番号	高専名	タイトル	氏名(代表)
133	石川高専	マルチ	北橋佳世子
134	石川高専	移りゆく家	上野実由紀
135	石川高専	自立する墓	界幸成
136	石川高専	共有する	吉田紗世
137	石川高専	AU	住田薫
138	石川高専	木の中で過ごす	川島亜由美
139	石川高専	自休自息	岩瀬紫乃
140	石川高専	千代野わんぱくニュータウン計画	澤井峰春
141	石川高専	How do you live?	宮越敦史
142	石川高専	Diversity	白尾未来
143	石川高専	『　　』	澤田朋子
144	石川高専	BAKER STUDIO "ENDLESS"	中宮紘也
145	石川高専	Heart Communication	折坂智美
146	石川高専	3空間	高安育美
147	石川高専	cpacity house	多田莉沙子
148	石川高専	WORKERS HOUSE	大熊克和
149	岐阜高専	楓のある家	伊藤孝宗
150	岐阜高専	浄水住宅	河村道広
151	岐阜高専	会話を自給自足する家	高松将広
152	岐阜高専	深呼吸	鷲見銀次郎
153	岐阜高専	Time born	林沙織
154	岐阜高専	無情	纐纈英志
155	岐阜高専	心理⇔空間	大友まどか
156	岐阜高専	明日を生きる自分自身と自給自足する家	鶴田那由加
157	岐阜高専	look for the best space	八田宏昌
158	岐阜高専	水の家	安田愛
159	岐阜高専	SWEET HOUSE	古川隆雅
160	岐阜高専	shine of your life　～やすらぎ～	華井健次
161	岐阜高専	Family	中村倫子
162	岐阜高専	めぐみ	霜出悦生
163	岐阜高専	内側	山口択
164	岐阜高専	十人十色	梅村俊輔
165	岐阜高専	「空間」の自給自足	青木映里香
166	岐阜高専	My Life -with Sun-	小森由紀
167	岐阜高専	光	寺西建範
168	岐阜高専	音を自給自足する家	羽田智恵
169	岐阜高専	an avenue	北倉友佳
170	岐阜高専	自己	樋渡康仁
171	岐阜高専	からくり	村上智絵
172	岐阜高専	人と『ヒト』の community	中村一貴
173	岐阜高専	The dead house/The alive house	福田力大
174	岐阜高専	風と生活する家	田口幸
175	岐阜高専	Present from Sun	長谷川知香
176	岐阜高専	生きがいの自給自足	小川司
177	岐阜高専	室内温度を自給自足する家	安達純也

番号	高専名	タイトル	氏名(代表)
178	岐阜高専	五感～人間が人間らしく生きる～	岩田愛
179	岐阜高専	呼吸・消化・排泄	嵯峨崎千尋
180	岐阜高専	RAIL LIFE	甲木裕子
181	岐阜高専	A CUP OF COFFEE	田中紗和子
182	岐阜高専	美しさの自給自足	野崎優
183	岐阜高専	Light-Drenched House	宮内隆光
184	岐阜高専	Green Life	八田真助
185	岐阜高専	FIELD HOUSE	清水省吾
186	岐阜高専	The fixed house ～不動の家～	渡辺忠雅
187	岐阜高専	生きる	田中宏典
188	岐阜高専	THE STREAM OF TIME　時は流れる	伊藤晶子
189	岐阜高専	ポジティブ精神の自給自足	布川千紘
190	岐阜高専	家の中の外	合田亜由
191	岐阜高専	画家の家	田沢亜希子
192	岐阜高専	Revival	渡辺輝樹
193	岐阜高専	PARASITISM	加藤毅
194	呉高専	Consideration	久保洋志
195	呉高専	Another Suggestion in Biorhythm	山本仁美
196	呉高専	パートナーの自給自足	中塵咲文可
197	呉高専	あなたが作る、あなたのための家	金澤華子
198	呉高専	車いす生活のための家	尾山悠
199	呉高専	CUBE HOUSE	原垣内愛
200	呉高専	仙人の家	小山大輔
201	呉高専	心の自給自足	松谷謙一
202	呉高専	光和陰子	上田理絵
203	呉高専	RUINS TO HOUSE	柳生好美
204	呉高専	Planetarium	吉本綾
205	呉高専	MEMORIE'S	升岡知美
206	呉高専	self-sufficient in INTERIOR	北美紀
207	呉高専	水を自給自足する家	乙益健二
208	呉高専	コミュニケーションを自給自足する家	中原忠亮
209	呉高専	四季一春夏秋冬	福永亮
210	呉高専	和・なごみ	森本智香
211	呉高専	Infinite House	堀内愛里
212	呉高専	遊び心を自給自足する家	佐藤雅則
213	呉高専	てそう	平井佑季
214	呉高専	都市型秘密基地	本田紀子
215	呉高専	思いたったら自給自足	松嶋亜希子
216	呉高専	紙を自給自足する家	沖本千織
217	呉高専	self sufficiency -contempolation	佐本健
218	呉高専	my individuality	貞重亜沙美
219	呉高専	planetarium	森川友紀子
220	呉高専	交流の場を提供する家	鎌田修就
221	呉高専	特技と苦手を自給自足する家	三谷佳代
222	呉高専	木と共に生きる	小坂崇

番号	高専名	タイトル	氏名(代表)
223	呉高専	Maison de creation	田中智世
224	呉高専	家を自給自足すること	平賀慎
225	呉高専	SELF-SUFFICIENT IN MEMORY	森野裕貴
226	呉高専	刻の自給自足	大迫哲
227	呉高専	時間的ゆとりを自給自足する家	大西泰生
228	呉高専	sources of information	高端梨香
229	呉高専	EROOI L"アツサヲジキュウジソクスルイエ"	竹内大樹
230	呉高専	生活は車の中で	阪井憲司
231	呉高専	EVER-HOUSE	藤原篤茂
232	呉高専	五感を満たす家～自休自足の家～	村上幸
233	呉高専	CLOTHING HOUSE	喜田由布子
234	呉高専	sound cleaner	森田綾香
235	呉高専	地球のヒトリゴト	石田さつき
236	呉高専	P.D.I.house	栗原淳
237	呉高専	物質から独立した家	SHAYDA ALSHARIF
238	呉高専	ti ra house	金本真紀
239	呉高専	residential amenities self-sufficiency	田中康介
240	呉高専	A villa of inspiration	天野大輔

2－3. 最終審査発表会

2－3－1. 最終審査発表会プログラム

設計競技部門・最終審査発表会プログラム
(持ち時間9分:発表6分+質疑3分)
司会:堀内 愛里(呉高専学生)

順序	時間	作品タイトル	氏名	高専名
	9:30～	発表方法および発表時間の説明		
1	9:35～	A Villa of inspiration	天野大輔	呉
2	9:45～	REcreating House ～遊ぶ家～	高橋麻衣	明石
3	9:55～	My Life - with Sun -	小森由紀	岐阜
4	10:05～	CONCEPT / SURFACE	飯田寿一	石川
5	10:15～	self - sufficient in INTERIOR	北美紀	呉
6	10:25～	emergent space	西村祐人, 小川義郎	明石
休憩(10:35～10:50)				
7	10:50～	plat・home	中谷裕二, 山根憂也, 吉田拓矢	米子
8	11:00～	物質から独立した家	シェイダ	呉
9	11:10～	Present from Sun	長谷川知香	岐阜
10	11:20～	Cycle System	木曽敬資, 大沢裕美, 小幡真美, 藤田茉緋	石川
11	11:30～	Lighting Box ～光の手品～	藤原圭祐	明石
12	11:40～	Another Suggestion in Biorhythm	山本仁美	呉

発表順は代表者名の五十音順をベースとし高専が重ならないようにしました。

2－4.　最終審査結果と審査員講評

2－4－1.　最終審査結果

最終審査により次の作品の受賞が決定しました。

	作品タイトル	氏名	高専名
最優秀	A Villa of inspiration	天野大輔	呉
二　等	Present from Sun	長谷川知香	岐阜
三　等 (順不同)	REcreating House　～遊ぶ家～	高橋麻衣	明石
	emergent space	西村祐人，小川義郎	明石
佳　作 (順不同)	Lighting Box　～光の手品～	藤原圭祐	明石
	CONCEPT / SURFACE	飯田寿一	石川
	Cycle System	木曽敬資，大沢裕美，小幡真美，藤田茉緋	石川
	My Life - with Sun -	小森由紀	岐阜
	self - sufficient in INTERIOR	北美紀	呉
	物質から独立した家	シェイダ	呉
	Another Suggestion in Biorhythm	山本仁美	呉
	plat・home	中谷裕二，山根憂也，吉田拓矢	米子

2－4--2. 審査員講評

入選された皆さんおめでとうございます。

課題を決めた後に、非常に難しい課題を出してしまったなと思いまして、応募数が例年よりすくないのではないかと心配していました。そういう心配をしたのですが、非常に皆さんがんばって頂いて、240作品という非常に多い応募となりました。それで前回第１次審査で４時間くらいかけて慎重に選ばせていただいたわけです。それで5パーセントにあたる12作品を、予定では10作品を選ぶ予定だったのですが、12作品にしました。

240作品を4時間かけて審査するというのは非常に時間をかけている方です。といいますのはエスパイエル設計競技の審査では、約800から1000作品を2時間で20作品まで選んでしまいます。今回それほど時間がかかったのはですね、やはりいい案が多いというのと、なかなか10から20作品に絞れない、非常に難しいものでありました。

そして今回12作品に最終発表をしていただきましたが、これから最優秀、2等、3等を選ぶのもまた難しい。大まかに2つのグループに分けるのは簡単だと思います。ただその中で順位をつけていくのは難しい。それほどレベルが接近していたというわけです。ほとんどレベルの差はありません。

それで、食事の後に作品の方をすべて最後まで読んだのですが、読んだうえで私の独断と偏見で決定しました。

最優秀になった1番最初に発表して頂いた天野君は、さきほどみんなでエーッとなっていましたけど、これほど下手なプレゼは今まで見たことがない。だけど、案をもう1度改めて見てみるとやはり今回の自給自足というテーマに対して1番的を射た回答をして、その回答が非常に新鮮なのでこれにしました。

それと、さきほどスライドに写したように、私は実際に造る建築家ですから、少し、これが実際に出来た時、アイデアなだけじゃなくてですね、これを実際造った時どうなのか。新鮮さがあるか、それと彼のアイデアの中にしても空間を表現しているものか、リアリティーが無くとも空間性に新しさがあるのか、そういうところを見せて頂きました。それを見ていると、やはり天野さんのインスピレーションを誘発するような家、それは素晴らしいし新しいということを実感しました。それで欲を言えばですね、その水平と垂直じゃなくてですね、斜めになったときに何か装置が動くとか、あるいは斜めになった時でも、非常に面白いインスピレーションが生まれる建築になっていればより良かったです。

2等に選ばれました長谷川さんの、これは今回のテーマをズバリそのまま正当路線で提案した案だと思います。非常に絵が上手い。平面の構成も非常にいい。普通の提案をですね挙げるテーマだったというのが一般的な意見でしょうが、その出題意向、明るい意向、それとエネルギーの意向、これを形式的に並べて等価値においていることが非常に新しいし、新鮮のような気がします。

具体的にはですね、もう少し社会的なというところが要るとか、エネルギーの生産は、いらないだろうといろいろあるのですが、それを崩さない自分の意図的なものをきちっとした形にするところは成功しています。それと斜めの道というところは非常に楽しい、それに彼女の言うような心のゆとりというのもすばらしい。

3等に選ばせてもらいました高橋さんの案はですね。3等は最初に選ばせてもらったのですが非常に甲乙つけがたい、そこで2つに決めさせてもらいました。したがって、この3等の2作品は順不同です。

そこで、最初発表した高橋さんから述べさせていただきます。今日のプレゼで彼女の案ではビデオを見せてもらったのですけど、何か審査員として深読みしていた部分をさらけ出してしまったというような気がします。というのも、家族それぞれに1人ずつ独立する部屋を持たせたのですが、その部屋が単なるエレベーターのように見えたのです。

ですが図面ではですね、やはりもっと面白い住空間が中に重ねられてですね、それがいかに独立するごとにその各階に備え付けられた物に立体的な、非常に魅力的な住空間が出来ると私は思いました。そうすると、結果はエレベーター付近が単に上下するというような回答だったので、あれ？と思ったのです。ですがやはり今回のプレゼを見て改めて図面を見直してみると実に楽しい、タイトルそのものだと思います。アイデアというものはですね、アイデア倒れになってしまう、あるいは、その単なるアイデアの表現だけが出てしまっている案がかなりの中で、これは楽しいと思いました。形がはっきり出ていたようです。模型が素直で、説明的には非常に良かったです。

同じく3等に選ばせていただきました西村君と小川君。これはですねシェイダ・アルシャリフさんの案と似ている。これは、どちらを選んでいいか常に悩みました。結果的にはですね、西村君と小川君の案になったわけですが、実物模型に近いものを持ってこられたという、お客さんの方へのプレゼの上手さ。そして現在、難民の問題、時代的に合っているということで、こちらにさせてもらいました。

それと、もう1つの理由はですね、こういうものを造ることによって光の落ち方、音の伝わりかた、というものが良いのかなと思いました。質問の時にも言いましたけど建築にはですね、壁を囲うというだけではなくて、やはり、どう被うかという屋根の部分をもうひとつ工夫してほしかった。最近のコンペを審査してみて、あるいは審査結果を見ていると若い人は物をフラット、フラットルーフで考える。床は複雑、屋根はすっきりという不思議な現象があります。やはり我が国に限らず、その囲うということと、もうひとつ覆うというものを勉強して頂きたい。私はそれで20数年間苦労しています。

佳作の作品ですけど、さきほどアルシャリフさんの話がでましたけど、この案について申し上げます。この案は非常にきれい。プレゼも綺麗です。これは住空間にはもったいないくらいのオブジェ、砂とガラスがきれいだと思います。表現として砂漠をイメージした案だったと思いますが、あまりにもきれいすぎて現実感が少ないのと、あまりにも平面図を小さく書きすぎているのかな、少しリアリティに欠けるのと、さきほど言った、その見落としがあったら申し訳ないのですが屋根をどう架けることというのが表現されていない。少しわからない。それと、この砂は非常に良いです。だからガラスをどうつくるのかというところを考えるとですね、やはり前者のほうが良いと思いました。

3番目に発表して頂いた小森さんは、光のポケット、引き出しというテーマでですね、非常にユニークな提案です。もう1度図面を見てみるとですね、発表で800mmといわれていたモジュール。このモジュールの取り方にもう少し工夫があってですね、もう少し生活の部分に合わせたら、あるいは生活者の身体空間のような大きさを自分でもう少し詰めて頂ければ、これも十分入選圏内に入れたと考えます。植物を入れた部分そういうこともユニーク、光のポケットというのもユニーク。しかし、その箱が図面をもう1度見ると考え的に少し単調なので、そのへんがすこし惜しいと思います。さらに付け加えるなら、部屋の一部だけでなくてですね、この模型写真を見ると中にも透けるような箱を考えると非常に新しいかなと思います。

4番目に発表された飯田君の案は、この案で彼が1番最初に言った表層ということ、これに私はどうも抵抗があります。やはり建築というのは表層でないと僕は思います。そうじゃなくて、やはりどちらかというと内部であったり、あるいは表面材に光や風がどう関係するかという、そういう所の方が大切だと感じます。それと、今日の説明を聞いてもやは

りですね、その平面図を改めて見ましたけれど、その平面の内部のレイアウトも、どうしても理解できない。ただプレゼはこれが1番上手いと思います。

5番目に発表して頂いた北さんの案ですが、今日は閉じこもりということで発表されていたようですが、図面を見るかぎり、そういうことではないのではないかと思っていたのです。もっと光に満たされた、1日中どこかから光が射していて、その重なり合いがおもしろい建築、BOXだなと思っていました。そのあたりの説明が今日、無かったのですが図面を見るとその点が面白いかと思いました。そのスリットを通してですね、自分の生活感をどう見せるか、垣間見れるようにするか、そういう提案なのに、今日わざわざ質問をしたのに、それに反応をしない、緊張していたのかと思いますが。それが、非常に3等に入れようか迷った点です。

7番目に発表して頂いた中谷さんと山根さんと吉田さんは、ホームレスの提案。これは図面を見ると非常に現実的で以外にしっかりしていて、これは入選に入るだろうと1次審査の時には思っていました。手書きの図面も非常に密度も高くて実直な作品だと思います。今日、見せて頂いたプレゼを見るとですね、少しホームレス個人の空間が、大きすぎる、威張っているという気がしました。この3つ繋いだものに対して、個人のスペースは、もっともっと小さくていいのではないかと思いました。そうしないと、ホームレスじゃなくて、ワンルームマンションというか大学生が住んでいる位になっていて、そういうのも含めて少し規模を縮小して、そのぶんのデザインを考えて頂けたらよいなと思います。非常に実直で素直でいいものです。

10番目に発表して頂いた木曽さん、大沢さん、小幡さん、藤田さんの案。これは集合住宅を提案して頂いた案です。二次審査に何案かありましたけど、これだけが集合住宅でした。ここでは同じ集団の中でですね、ずっと生まれてから死ぬまで住み続けることが出来る集合住宅にすればコミュニティというのが復活する、というのがメリットの住宅です。少しですね、それはわかるのですが。あの図面を見るとですね、どうしても床面積での変化でしか感じられないという気がします。といいますのは、住空間というものは、何層も重ねて積まれているわけですが、住民というのは色々な年齢だけではなくて職業とかあるいは生活の価値観とかいろいろ種類があるわけです。そういう人達に対応しきれるのかという・・・。たしかに人数と床面積を考えれば大丈夫なわけです。ただ、もう1つ個人に対応している住空間だったら非常におもしろい。もし、だから外部空間に対する提案、個人がもてる外部空間、あるいは、個人が持てる室内の吹き抜け空間など、もうすこし立体的に繋げれば非常におもしろかったかなと思います。

11番の藤原君の案。3つの箱、3つの箱の説明は非常に良く分かりました。会場の中から質問がありましたが、その他を今日は透明な枠組で説明をしていましたが、そのあたりどうなっているのかなと、僕も知りたかったのですけど、やはり、その辺をどう対処するかというのが非常におもしろいし、箱の中の室内空間、光でもですね、やはり一度入ってしまうと飽きてしまうのではないかと思うのです。だから大きい箱の中のその3つの箱を除いた部分をですね、もっと大事にしながら空間的に提示して欲しい、そちらの方の提案が欲しいと思いました。

それと、1番最後に発表して頂いた山本さんの案。その太陽の周期と個人の生活の周期、そういうものをいわゆる建築の装置で合わせていこうとする計画。これも、提案としては非常にユニークです。もうすこし、アイデアを生のまま提示するのではなくて、家や住空間になるまで固めて欲しいです。

個人のものは以上です。それで全体で感じたことは、さっき言いましたとおり、甲乙つけがたい、非常にレベルの高いものだったと思います。上位に選ばせて頂いたものは、その中でもアイデアだけを、1つのアイデアだけを上手いプレゼで表現するだけではなくて、今回のテーマにどこまで近づけるか、そのもう1歩上まで詰めなければならない。そういうところを今日は評価しました。ランクを決定しました。

その中の最優秀に選ばせて頂いた、水平で考えた建築を垂直に置き換える。その垂直でも成り立つ。これは、非常に新鮮だ、新しいと思いました。実は、この案はですね、どこかのコンペで見たことがあるのです。ここに出ている案は多かれ少なかれ近いものがあります。ただ、それを上まっているという、今回、非常に気持ちのいい空間が自給自足している場所が完成していると感じました。

今日は、入選した人、本当におめでとうございました。

「シンポジウム当日の講評を書き起こしたものです。」

3. プロポーザル部門

3－1. 応募要綱

3－1－1. テーマ:『夢の建築材料』

3－1－2. 出題の意図

昨年は瀬戸内海西部を震源とした安芸灘地震があり、地盤や建築物にかなりの被害が生じました。また、アメリカの同時多発テロでは、世界中の人がWTCビルの信じ難い崩壊をリアルタイムで目の当たりにしましたし、ニューヨークのスカイラインの変貌振りに愕然としました。その後のアフガニスタンでは、空爆によって多くの人々の住まいが土に返ってしまいました。

焼畑農業、燃料、紙パルプや建材の確保のために世界の森林は減少を続け、自動車の排気ガスや工場の排煙と相まって、CO_2 の増加は地球に温暖化をもたらしています。都会ではヒートアイランド現象が年毎に進行し、新建材が原因のシックハウスも大きな問題として提起されています。

また、人間の活動は地球だけに留まらず宇宙空間にも拡大し、無重力、無酸素の極限環境での宇宙ステーションの建設も進行しつつあります。

建築を志す私達は、地震の脅威、そびえ立つ超高層ビルの脆さや環境破壊に立ち向かい、宇宙開発に目を向ける人もいると思います。

そこで今回の建築シンポジウムでは、構造系や環境系領域からの応募も意識して、「安全」、「快適」、「健康」、「癒し」、「省資源」、「宇宙」等に視点を置いた『夢の建築材料』をプロポーザル部門のテーマとしました。

3－1－3. 応募リポートの内容

発表用リポートの内容は、デザイン系、構造系、環境系を問わず誰でも参加できるように、『夢の建築材料』というテーマに沿った研究成果とします。例えば建築空間構成材料の

1. 耐震、免震、耐久、防火、防錆等の構造安全性に関するもの
2. 断熱、省エネ、遮音、吸音、調湿、光の透過・反射、色彩、空調、照明等の快適性に関するもの
3. 天然素材、健康促進素材、衛生等の健康に関するもの
4. 娯楽、癒し等の心の安らぎに関するもの
5. リサイクル、再生、省資源、耐用期間等の環境負荷や経済性に関するもの
6. 無重力、無酸素環境下での宇宙開発に関するもの
7. その他

に視点を置いたものが考えられますが、上記に当てはまらないものでももちろん構いません。

無限の可能性を秘めた、若くて柔軟な頭で発想していただき、もしそのような材料が実現されれば、建築はこのように変わるであろうという『夢の建築材料』を提案して欲しいと思います。

3－1－4. 応募チーム数

応募は各校1チーム(2名以内)としますので、複数の希望チームがある場合は、校内で選考をお願いします。

3－1－5. リポート作成要領

1. リポートの作成
   - リポートはPDF 形式で作成し、図表、写真も全てデジタル化したものとして下さい。

2. リポートのレイアウト
   - リポートはA4版2枚とし、本文は紙縦置き、横書き2段組とする。
   - 1行文字数:24 字、1ページ行数:41 行
   - 文字は 10 ポイントまたは 10.5 ポイントとする。
   - 中央マージン 10 mm、上下マージン 20 mm、左右マージン 17 mm(文字数、行数、マージンは若干の変更があっても構わない)
3. 記載方法
   - タイトル:リポート1枚目の1行目に、センタリングして強調した文字(14〜12 ポイント)を使って書き、字数が多い場合は2行にわたってもよい。
   - 執筆者名:リポート1枚目の3行目に、センタリングして本文と同じ大きさの文字で学校名、氏名の順で表記し、2名の場合は氏名を連記する。
   - 本 文:リポートの1枚目は、執筆者欄から1行空けて本文を書き始め、2ページ目は1行目から書く。

リポート書式例はホームページに掲載

3−1−6. リポートの送付

e-mail にて PDF 形式のファイルを添付して申し込んで下さい。その際、本文中に「タイトル及び応募者の氏名、所属校名学科名(専攻名)、学年、住所、年齢、連絡先電話番号、メールアドレス」を明記し、リポートを添付下さい。

1. リポート送付締切:10 月 11 日(金)必着
2. メールアドレス:sympo@kure-nct.ac.jp

3−1−7. 発表用データの送付

シンポジウムの運営を円滑に進めるために発表用データを予め送っていただき、使用機器で事前にチェックを行います(問題発生時には電話いたします)。
応募者はリポート作成要領に従って発表用データを作成し、それを保存した CD-R を郵送下さい。
なお、使用機器については、下記の「発表方法等」の項を参照下さい。郵送前に十分に動作確認を行って下さい。また、郵送の際には念のためにコピーを取っておき、発表当日、シンポジウム会場にご持参下さい。データ受付後の内容の変更は受け付けません。
発表用データ送付締切:10 月 15 日(火)必着

3−1−8. 発表方法等

発表は、シンポジウム当日(10 月 19 日(土))に会場で行います。プロポーザル部門は順位は付けず、参加チーム全てに参加賞を差し上げます。発表方法の詳細は以下の通りです。この部門では夢を語り、楽しいものにして欲しいこと、発表後の討論を活発にして欲しいこと、討論の席で実現性について話題をふくらませていけることを期待しています。

1. 発表方法及び発表時間
   - 応募者(2名の場合は2名)が登壇し、応募リポートをもとに発表を行います。討論は応募者及び全出席者で行います。
   - 発表時間は応募数が確定した後に決定し、ホームページ上で公開します。
2. 使用機器等
   0. Windows 2000 が起動するパソコン1台+Microsoft PowerPoint 2000
      (※Mac は使用できませんのでご注意下さい。)

1. VHSビデオデッキ1台
2. 液晶プロジェクタ1台＋スクリーン1枚(1及び2の画面を投影します。)
3. レーザポインタ
4. マイク1台

3－1－9. 質疑応答

テーマに関する質疑応答は一切、受付けません。規定外の事項については応募者各自が判断して下さい。

3－2. 発表会

3－2－1. 発表会プログラム

プロポーザル部門・発表会プログラム

(持ち時間13分:発表9分+質疑4分)
司会:川成 一葉(呉高専学生)

順序	時間	リポートタイトル	氏名	高専名
	13:00～	発表方法および発表時間の説明		
1	13:05～ 13:18	THE UNDER WATER COLONY －循環型共生空間の提案－	村田鉄雄, 河尻大樹	徳山
2	13:19～ 13:32	3R Object	三鴨涼子, 山浦克子	米子
3	13:33～ 13:46	救世コンクリートで亀裂をなくそう！	飛田国人	明石
4	13:47～ 14:00	ArchiBakery	伊勢路真人, 上田麻季	石川
5	14:01～ 14:14	圧力に応じ発光する材『夢の建築材料』	寺西公一, 鶴岡洋一	呉
	14:15～	講評(呉高専教授 正野崎 昭二)		

THE UNDER WATER COLONY

―循環型共生空間の提案―

徳山高専　村田鉄雄　河尻大樹

1．はじめに

我が国は，周辺を海に囲まれた国土でかつ急峻な地形をかかえるため海岸部に人口が集中している．このため，山間地での宅地開発や海岸部の埋め立てにより居住空間を拡張し，居住地域を拡大してきた．しかしながら，山間地の樹木伐採のため保水能力が低下し，また開発のための自然破壊や海洋汚染のために，自然浄化作用が極端に低下している．これらの問題は，我が国に限らず人口増加による地球規模での問題となっている．国連統計によれば地球人口は２０５０年に約９１億人となることが推測されている．これらの回避策として，宇宙空間での居住（space colony）の計画もあるが，地球からの人や物質の輸送には膨大なエネルギーを必要とし，現時点では現実的な解決策ではない．そこで，海中都市（under water colony）を提案し，循環型共生空間の実現の可能性を検討する．

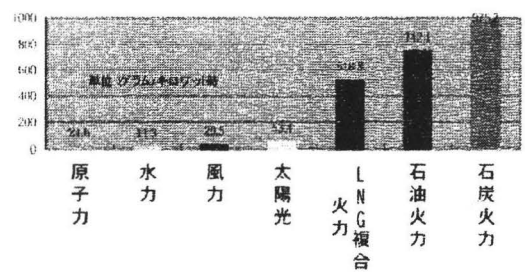
2．現状の居住空間の問題点

2．1　防災上の問題

日本の居住空間における災害には，地震，台風，火災，津波，洪水などがある．地震予知連絡会では東海，東南海を中心に数年以内に駿河湾を震源とする，東海地震や東南海地震が発生すると予想されている．これは過去に起きた阪神大震災よりも大きいと言われている．地震は陸上に住んでいる以上避けることはできない問題である．台風の被害も毎年繰り返され，これも環境の悪化が原因することは少なからず報告されている．数週間前も戦後最大の台風が関東を襲った．火山，津波，洪水も同様に大きな被害が出る可能性がある．このように，多くの自然災害に対して，先人の努力にも関わらず我が国は脆弱であると言わざるを得ない．

2．2　エネルギー問題

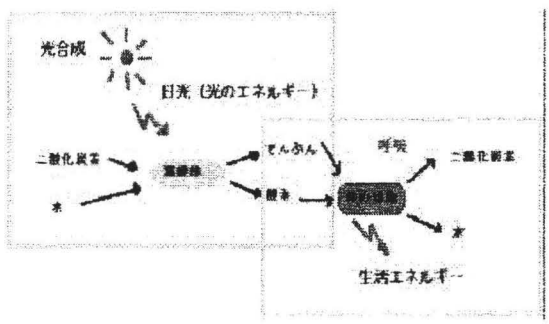
産業革命以来，大量の化石燃料を使いエネルギーの消費で物質的な豊かさを享受してきた．その結果，二酸化炭素などによる大気汚染の問題が生じてきた（図―１参照）．また，大気中の二酸化炭素が主要因と考えられる温暖化が進んでいる．今後温暖化が進み続けると，海水面上昇，異常気象などさまざまな問題が懸念されている．



図―１　CO_2排出量

2．3　環境循環の問題

陸上では人間，動物が酸素を吸って二酸化炭素を出し，植物が二酸化炭素を吸って光合成により酸素を放出して環境循環が成り立っている．しかし，近年，森林伐採などにより環境循環が崩れつつある．図―２は動植物の循環系を示している．近年，この循環系が人類による開発により崩壊し，地球規模の問題で生じていることは周知である．



図―２　呼吸と光合成

3. Under water colony の提案

3．1　概要

2 章で述べた居住空間の問題点から陸以外の居住空間の創出が必要である．そこで水中に都市“under water colony”を創る事を提案する．水中で生活する事は容易でないが，陸上で起こりうる災害を回避することができる．今日，宇宙開発が進んでいるがこれも容易なことではない．水中はいろいろな問題点があるが，宇宙開発よりは現実的である．

3．2　防災上の問題の解決

水中は宇宙と同様に，構造体に対する浮力を利用して，地盤との切り離しが可能である．また，波浪の影響は波長より深い水深であれば問題とはならず，また津波問題も砕波帯より深い海洋上では単純な上下運動のみで問題とはならない．海洋特有の水圧の問題はあるが構造的に対応できることである．

3．3　エネルギー問題の解決

海洋生物は自然エネルギーにはぐくまれて生活している．人類が海洋中に居住するためには，海洋生物以上にエネルギーを必要とする．しかしながら，海洋では未だ開発されていないエネルギーが多く存在するためこれらを積極的に利用する．エネルギー源としての①太陽光（ソーラーパネル，太陽熱）②波力③温度差発電④バイオマス（海草）を利用する．また，日中は太陽エネルギーから電気的に水素を取りだし，夜間は燃料電池の原料として蓄電も可能である．地上以上にエネルギー源は多いと考える．

3．4　環境循環とリサイクルの改善

かつて人類が地上で動植物とともに，循環系の中で文明を発達したように，水中でも可能である．生活のエネルギー（食物・燃料）を確保して海洋動物から他の食物を得ることが出来る．また人類から放出される炭酸ガス・有機物は生物処理し循環させる．また海中での水温はほぼ一定であるので熱源の交換も有効に利用できる．地上で問題となっている多量の炭酸ガスは高圧でゲル化し深層域で時間をかけて自然に循環させることも出来る．

4.　Under water colony 建設材料の開発

水中の建設において必要とされる材料の性質は以下の要件を満たすものでなければならない．

4．1　水圧に耐えるもの

水中では 10m深くなるごとに水圧が 1 気圧高くなる．本計画では 20～30mの水深を想定している．潜水艦の軍事技術を民間用に転用すれば可能である．そこで，外側にステンレス鋼，内側にウレタン層と木材層，芯材にはコンクリートを用いたサンドイッチ構造を提案する．また，構造形式はシェル構造を採用する．内装採光部には酸化チタンなどの光触媒を利用する．

4．2　錆びないもの

海洋構造物の接水面の防錆は様々研究が行われており，ステンレス等の材料やセラミックなど様々な材料が利用できる．酸化の可能性のある金属に関しては電気防食を行なうことができる．

4．3　室内において結露しないもの

外界との温度差があれば，結露の可能性は大きいが，断熱層を設けるなど防止策は可能である．

4．4　その他

その他の要件としては，苔防止の窓，水中で一定の高さを保つ技術，水を通さない（防水）技術などが考えられる．また，海中は密閉空間であり，防臭・雑菌の繁殖などの問題点も考えられるが，酸化チタンタイルと紫外線を利用した対応が可能である．

5．まとめ

提案した海中都市（under water colony）を実現すれば災害問題，エネルギー問題，環境問題など現在ある多くの問題を解決することができる．これから人口増加が進み，いずれは必ず新たな居住空間が必要となるので，今から開発を進める必要がある．しかし，新しい居住空間も，現状の社会環境をそのまま持ちこめば，同様に循環系を乱すことになる．これまでの反省に立って生活様式を見直し海中では自然と共生できる循環型共生空間を形成することが必要である．現在の技術を持ってすれば宇宙都市計画よりも実現性がある．映画のような海中都市は夢物語ではなく実現可能であり，さらに人類，地球環境の危機を救うためにしなくてはならない開発のひとつである．そして，上記の素材，構造の開発を行うことにより新しい空間（under water colony）を形成することが可能である．

「3R Object」

米子工業高等専門学校　三鴨涼子　　山浦克子

1．はじめに

2000年10月6日午後1時30分鳥取県西部でマグニチュード（M）7.3の地震が起こった。日野郡日野町をはじめとする地域で被害がでた。その時多くの建築物が倒壊し，瓦やコンクリートブロックなど大量の瓦礫が発生した。その瓦礫の多さに驚き，その瓦礫はどのように処分されるのかと疑問に思った。



写真1-日野町黒坂の民家

2．鳥取県西部地震における建築廃材処理の現状

実際、個人の敷地内のがれきは個人で対応しなければならず、各市町とも通常は廃棄物扱いで収集しない瓦やブロックも不燃ごみとして収集した。臨時の仮置き場を設けたり特別収集体制をとって対応した。

全半壊144戸の被害が出た境港市では臨時のごみ仮置き場が球場のサブグラウンドに設けられた。ごみはコンクリートブロックと瓦、可燃物、不燃物の3区画に分けられ回収された。5日間で約800トンのごみが持ち込まれた。

3．日本における建築廃材処理の現状

日本の場合、産業廃棄物と一般廃棄物とに分類されている。日本の産業廃棄物の排出量のうち建設業の占める割合は第3位となっている。（図1）

その中で、建築廃材の排出量に毎年大きな変化はなく最終処分場の残存容量は依然として厳しい状態のままである．最近では違法投棄も増え、環境対策が求められている。（図2）

建築廃材問題の解決には

［3R：Reuse・Reduce・Recycle］

1．リユース　；洗ったりなおしたりして何度も使う事

2．リデュース；減らす事

3．リサイクル；エネルギーや別の製品の材料として再利用する事

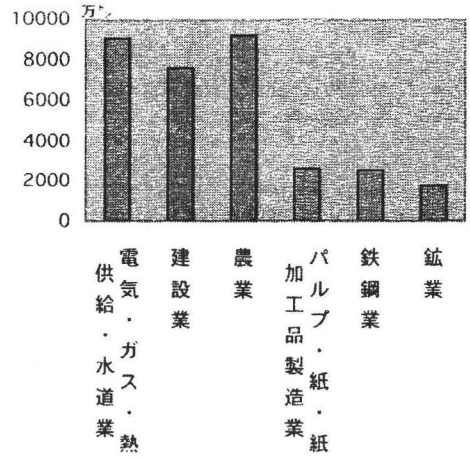


図1－平成11年度業種別産業廃棄物排出量

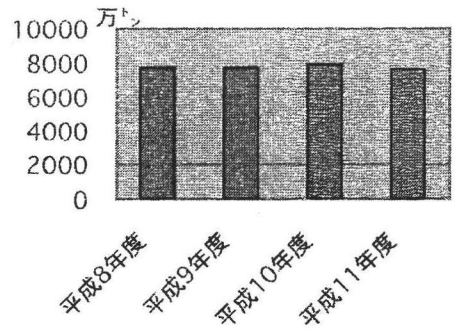


図2-建設業における産業廃棄物の排出量

が必要であると言われている。

しかし今現在、建築廃材の再利用の用途は廃材コンクリートを道路のアスファルトの下にひく砂利の代わりにする等であり、しかもその大半は焼却、破砕、埋め立てといったように処理されている。焼却の際、ダイオキシンなどの有害なガスが発生したり、埋め立てられた廃棄物に含まれる有害物質が土にしみこみ水に溶けだしたりして農家の作物に影響を与えるなど処理場周辺の住民に多大な被害を与えている。

4．提案

多くのプラスチックは加熱によって軟化する熱可塑性樹脂であるが、プラスチックの中には加熱によって硬化する熱硬化性樹脂も存在する。しかし、一定温度を超えると燃焼もしくは分解し有毒ガスを発生する。

これらのことから、夢の建築材料として『常温では固体、低温では液体』という物質を提案する。この物質として２つの種類のタイプを考えた。

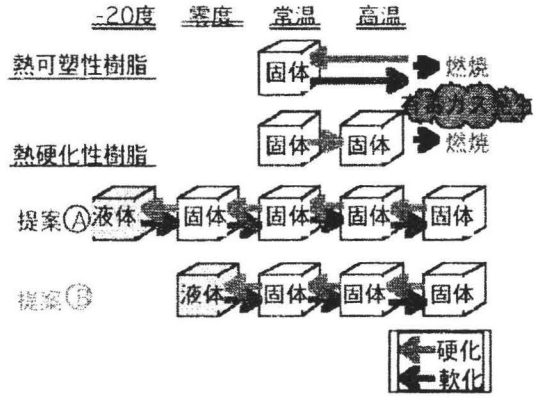


図3-有機物と比較した提案物質の性質

◆ (A) タイプ ◆

マイナス２０度で液体、零度で固体となる。

極端に寒くない一般的な気候の所や、比較的温度の高い地域などで利用できる。気温がマイナス20度以下となるような地域では利用できない。

◆ (B) タイプ ◆

零度で液体、常温で固体となる。

極端に暑い地域や、海の家・日よけ・夏祭りの屋台といった夏限定の建物として利用できる。

(1) 加工方法

巨大な冷凍室のようなところで液体にし、それを低温又は常温で固める。

(2) 用途

造形性に優れているので様々な建築部材（ボード、鉄骨、ガラス、コンクリートなどの代用品）として利用。また、次項（3）の性質から耐火性に優れているので、耐火建築に利用したり、この物質を利用して金庫を製作したりできる。

(3) 特徴

見た目やさわり心地は常温ではロウのようなものであるけれども、温度が高くなるにつれ徐々に硬くなる。そしてこの建物の中に入ってくる光は、この物質で造られた部材を通ることで和らぎ、建物の中にはやわらかな暖かい光が入ってくる。（図4）

(4) 『3R』の実現

この物質で造られた建築物の最もよい点は、不要となっても建築廃材が出ないという点だ。

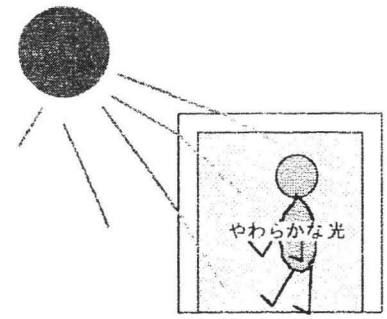


図4-提案物質を用いた建物のイメージ図

◆ (A) タイプ ◆

不要になった建築物は解体され、それを構成していた材料はもう一度液体に戻される。そしてもう一度形付けられ、新たな建築物を構成する建築材料として生まれ変わる。つまりリユースされるので自然にリデュースされることになり、リサイクルの必要はなくなる。

◆ (B) タイプ ◆

この物体は液体の状態で水と混ざると水に完全に溶けてしまい、生分解性となるので、溶けた液体は自然の浄化機能によって処理される。使い捨ての建物が捨てられてもゴミとはならずに処理され、片付けも楽だ。つまり、リユースもリサイクルもされないが、結果的にリデュースされていることになる。

（2）で述べたように造形性に優れ様々な形の部材に加工できるので、ひとつの材料で建物を作り出すことができる。これによって、現在のリサイクルでコストアップの原因となっている細かい分別の必要がなくなる。

つまり、この物体は『3R；Reuse、Reduce、Recycle』を容易に実現することができ、この実現によって建築廃材の廃棄物問題は軽減される。

５。最後に

これからの建築とは、ただ単に見た目、心地よい、過ごしやすいということだけでなくさらに少なくなっていく資源を無駄にせずどれだけ有効に使っていくかという事ではないかと思う。資源を有効に使い自然派志向で生活していくことが結果的に自分たちの暮らしやすい快適な環境を造ることになるのではないだろうか。資源を有効に使える夢の新素材を使った心地よい空間をつくることこそが夢の建築であると思う。

６．参考文献

http://www.env.go.jp/press
http://www.recycle.com/gaiyou/service.html
http://www.reform-net.com

救世コンクリートで亀裂をなくそう！

明石工業高等専門学校　　飛田　国人

1．亀裂が入れば……。

亀裂は以下のような問題を起こします。

① 美観を損ねる
② 気密性を悪化させる
③ 中性化の進行を早くする
④ 鉄筋の腐食
⑤ 構造上の耐力を引き下げる

2．夢のコンクリート……。

こんなにたくさんの問題を引き起こす亀裂を『自己修復能力をもったコンクリート』によって解決することを私は提案します。

3．自己修復はこうして起こる……。

躯体外側に補修材を埋め込んでおき、コンクリートに亀裂が入るとその部分に補修剤が流れ込み、自己修復します。つまりカプセル状の小さな容器に入った、液体状の補修剤を埋め込んでおきます。すると亀裂が生じたときにコンクリートとともにカプセルが割れ、中から出てきた補修剤がその亀裂を塞ぎます。今までの補修工法が外からだったのに対して、この技術は内から栓をしてしまおうというものです。

4．これまでの亀裂対策だと……。

亀裂の原因には、下記のようなものがあります。

① 材料、調合に起因するひび割れ（乾燥収縮、海砂の使用、･･･）
② 構造、建物の形状に起因するひび割れ（大スパン梁、断面・鉄筋の不足、･･･）
③ 温度変化によるひび割れ
④ 不同沈下によるひび割れ
⑤ 地震外力によるひび割れ

以上のように、亀裂の問題はコンクリートの材質・建築計画・意匠・構造設計などに深く関連しています。持ち主にとって亀裂は見逃す事のできない建築技術の欠陥と映る反面、技術者側にとってはコンクリートやモルタルに亀裂ができるのは避けられない宿命的なこととして、なかばあきらめられていました。

現在では、建物の寿命が話題になっていることもあり、場合によってはＰＣによる防止や、目立ったひび割れにはエポキシ樹脂注入による補修が行われていますが、ひび割れを解決しているわけではありません。またひび割れは主に目で確認されていますが、打ち放し仕上げの場合でさえも、じつはそこにできている亀裂の全部を目視できるわけではありません。しかし、たった０．２mmの亀裂からでさえも漏水は起こってしまいます。

亀裂による重大な問題は、亀裂から外気や水分が入ってくるに従い、その部分のコンクリートはアルカリ分を失って中性化が急激に進行することです。そして、外気や水にふれた鉄筋の錆が発生します。錆が促進すると表面は膨らみ、それがコンクリートを押し出し、ひび割れが大きくなります。この悪循環を繰り返してコンクリートと鉄筋は共に本来の強度を失い、構造物の耐久性が損なわれていきます。従来はこれを防ぐために亀裂の早期発見・正確な原因の調査・的確な補修が必要でした。

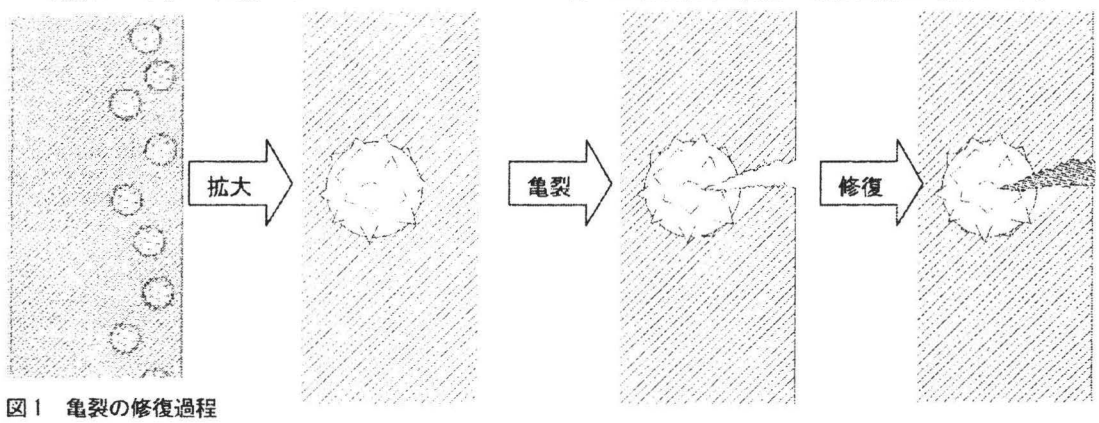


図１　亀裂の修復過程

以上の調査などの作業は、丁寧にやろうとすると大変な労力を要します。でも私が提案する『自己修復するコンクリート』を使えば、今までの労力を大幅に削減できます。

5．このカプセルを使うと……。

① コンクリートにできた亀裂を補修材が自動的に埋める
② 透水しにくくなるので中性化を遅らせる
③ 鉄筋の腐食を防ぐ
④ 構造物の強度を保つ

6．カプセル型補修材とはこんなもの……。

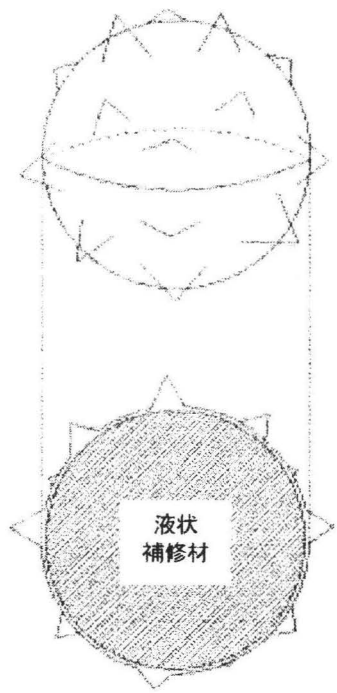


図2　カプセルの断面図

① 大きさは構造上の耐力に影響の出ない大きさ（砂利くらい）
② 圧縮に強く、引っ張りに弱いコンクリートと等しい強度を持ったカプセル
③ 形状はコンクリートとの付着力を増すために凸凹のある形
④ 中には液体の補修材入り
⑤ 補修剤が硬化するのに必要な時間は建物を解体するのに要する時間以上

7．こんな使い方がいい……。

① このカプセル型補修材は、地震や台風の強風などによる外力によって起こるひび割れに対して使用すると非常に有効に機能します。まず応力計算によってどこがもっともひび割れの起きやすいところかをあらかじめ予想しておき、それによって求められた場所にカプセルを集中させて埋め込めば、非常に効果的な工法だと思います。

② タイル貼りなどの、構造物が直に見えない場合の補修は一度タイルをはがさなくてはなりません。しかしカプセル型補修材ならタイルをはがしたりする必要はなく、コンクリートは自動的に修復されます。

8．実現したらこんなにすばらしいことが……。

誰も気付かないような部分や、補修しにくい部分でもこの工法なら自動的に修復することができます。コンクリートの落下だって防ぐことができます。

構造強度が下がるのを防ぐので、安全性の上昇はもちろん、耐用年数も伸びるはずです。資源の枯渇が問題となる今の時代に、このカプセルを用いて建物の寿命を延ばすことができれば環境面・コスト面においても非常に有効です。

9．このカプセルにはさらなる可能性も……。

① 時限式のカプセル
- 乾燥収縮が完全に終了するのはコンクリート打設後2年～3年と言われています。その2年～3年後に中の補修材が出てくるようなカプセルを使用します。

② 中性化によって溶けるカプセル
- 空気中の水分や雨などによって中性化が進行してくると、コンクリートはアルカリ性から中性になります。その性質を利用してカプセルが溶けるようにします。

③ 局所的ゲル化材
- コンクリートにひびが入り、このカプセルが割れると中から液体が出てきます。この液体は一度硬化したコンクリートをもう一度ゲル状に戻し、再度硬化させることでひびを塞ぐ機能を持っています。

ArchBakery

石川工業高等専門学校　伊勢路真人
同　　上田　麻季

1. はじめに

現代の建物は様々な材料で作られています。木材、鋼材、コンクリート、石、土など建材としてはすでに豊富な材料が用意されていると言えます。それらには、それぞれ建材としての長所と短所があることは良く知られているとおりです。

例えばコンクリートの長所は、安価で強度があり設計の自由度が比較的高いのですが、躯体自重が非常に大きくなってしまう、解体するとほとんどが産業廃棄物となってしまう、複雑なデザインの実現に手間がかかる等の短所があります。

そこで、コンクリートの特質を保ったまま、木の性質である"軽さ"を実現できたらどうでしょうか。様々な形や工法に対応できるうえ、軽量であるために構造物としての性能をさらに高めてくれることでしょう。このような観点から、私たちは未来の建築材料を提案していきます。

2. 材料の性質

ここで提案する材料は、幾種類かの粉状の材料から生成されます。それらの粉状物質を水などの液体で練り上げ、ある大きさの塊として抽出します。抽出された材料は、時間経過に伴って膨張しつつ凝固し始め、次第に硬化していきます。硬化前は、自由な変形が容易で、硬化後に木材に近い強度を持った構造材として使えるようになります。

大きな特徴として、この材料は凝固時に体積が増えて内部が「繊維」になります。イメージとしてはまるでパンの様です。生地を作り（材料作成）、形を作り（形成）、醗酵（硬化）させます。通常の使用方法としては、棒状の塊として抽出した材が丸太のような塊となるため、それを自由な形に製材して建築材料として利用することができます。

例えば工場で形成する場合は、型枠を使って色々な形に形成し、現場に運搬して施工します。部材同士の接合にも、この材料を利用してプレキャストコンクリート工法のように接合部を剛接点としたラーメン構造が可能となります。

材料を工場生産する場合には、いくつかの型枠を用意しておけば、様々な形態が可能であり、現在考

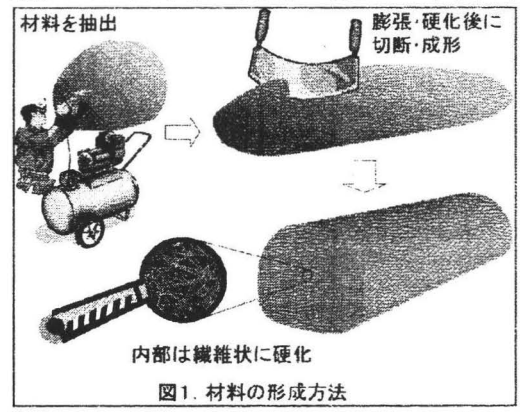


図1. 材料の形成方法

案されている種々の構造形式に対応することができます。一般的なものとしては、

煉瓦型に形成……組積造・アーチ構造
板型に形成……壁式構造・フラットスラブ構造
柱、梁型に形成……ラーメン構造

などが挙げられますが、この他にも薄く引き延ばした材を用いたドーム構造、シェル構造、サスペンション構造、空気膜構造などにも適用できます。このようにデザイン性の富んだ造形も可能です。

3. 材質の調整

本材料はいくつかの粉状物質から生成されますが、それらの１つには凝固に要する時間を調節する働きの添加剤を含んでいるとします。この添加剤は凝固・繊維化を促進する作用があります。添加を少なくすれば遅く固まり、添加を多

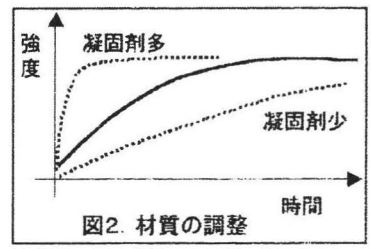


図2. 材質の調整

くすれば早く固まります。この性質を利用し、形が複雑な物を作るときには非常に早い時間で硬化するように添加剤を多くし、逆に添加剤を少量にすれば造形に時間をかけることができるなど、タイミングよく凝固するように成分調整が可能です。このように材料の組成を調節することによって思いどおりの時間に凝固させられます。

また、材料の組成には、パンでいうところのイースト菌やベーキングパウダーのように、膨張作用を促進するような添加剤の役割を果たすものなどがあり、成分調節は配合によって定まるでしょう。

4. 新しい工法

本材料の特徴を活かした構造形式を持った、様々な新しい工法をここで提案します。

4. 1 バルーン工法

I. 材を団子状に丸めます。そこにストローの様な筒から送風します。材は風船ガムの様に膨らみ始め、丸く大きくなっていきます。

II. 必要な大きさになったところで送風を止めます。作業時間にあわせて成分調節してあるので、丸い形を保ったまま固まります。

III. 開口部を開け、仕上げます。材が薄くなりすぎた時や、また厚みが必要な時にはもう一度、材を内部で膨らませます。二重に膨らませれば断熱効果が期待できます。

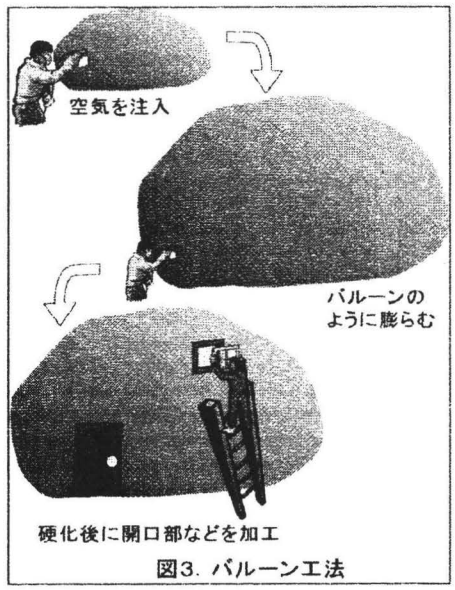


図3. バルーン工法

4. 2 吊り上げ硬化工法

I. 板状の材料を必要な大きさに広げます。

II. 数箇所地面に固定し、持ち上げます。

III. 計画した高さに達したところで持ち上げをやめます。

IV. 凝固すれば大スパンのテント状の屋根が支柱無しで出来上がります。

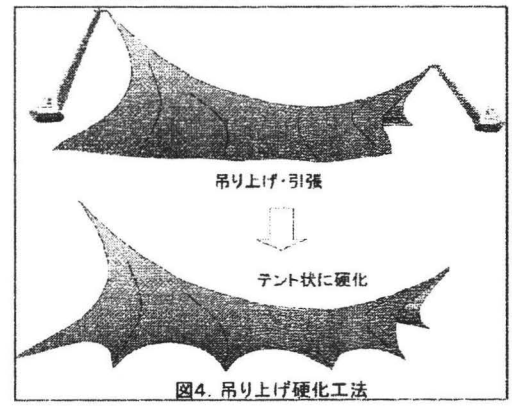


図4. 吊り上げ硬化工法

5. おわりに

組成の異なるいくつかの素材を練り合わせ、一定の時間経過の後に、軽い繊維状に硬化する材料を提案しました。硬化時間を調整することで種々の構造形態に適応でき、さらに新しい工法を用いることで、これまでに無い構造形態が可能となるでしょう。

この建築材料は、工場生産品として様々な部材が用意できるだけでなく、現場での取り扱いも容易です。住宅・ビルの建材としてだけではなく、公園の遊具やモニュメントの材料として活用できます。また、すべて同一材のため解体時に出る廃材は分別不要でリサイクルも容易になるでしょう。従って、埋め立て地が足りなくなる程年々増え続けるゴミの減量に効果を発揮できるのではないでしょうか。

材の取扱いは非常に簡便なので、利用者を選ばないでしょう。例えばコンビニに陳列するなどで、簡単に手に入れることができるようになれば、個人の趣味の範囲にも適用できます。コンビニで建材を手に入れ、家具や犬小屋などの制作に一役買います。

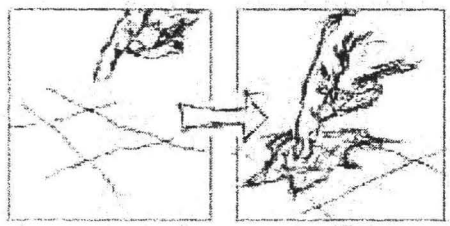
形が自由に作れ、環境にも配慮したこの材料は使う人によってさまざまな使い道を生み出すことができると思います。作り手・使い手の数だけ使い方があるのが、私たちの「夢の建築材料」です。

圧力に応じ発光する材　『夢の建築材料』

呉工業高等専門学校　寺西 公一
同　　鶴岡 洋一

■提案する建築材料

今回、私が提案する建築材料は“圧力に応じ発光する材”(図 1)である。バランスとしては癒し等の心の安らぎに関するところに重きをおいている。



(図 1)　状態イメージ

使用例として幾つか挙げると、床材として用いる場合、

- 歩くとその部分が光る
- 家具や椅子等がぼんやりと照らし出される

(室外で用いるなら)

- 人通りの多い通りが光の道となる(発光時間を少し長く設定)
- 雨が降った場合、水面の水波のそれと同じものを光で見ることが出来る
- 風によって草原の草が波のように見えるように光の波が見える(敏感に設定)

その他、緊急避難路に使用する等が挙げられる。以上からマンション等一般住宅、ショップやショッピング街、クラブやバーなどで実用性が十分期待できるのではと思われる。

■調査並びに考察

発光という事に関して、まず思いつくのは電気を通した発光であるが、感圧センサー(与えられた加重により±X、Y、Z 軸の変化を出力するセンサー。感圧部分はフィルム状のため、任意の形状に加工が可能。よく知られているところでは「AIBO」の頭部、背中、脚部などにはナノセラミックスで複合化された感圧センサーが使われている)やコンピューター等を用いれば実現も容易であると思われる。しかし、それでは設備となってしまい、いくら縮小化可能といっても、やはりそれなりの大きさを伴なう物となってしまうだろう。さらには省エネに寄与していないためこれから将来使われていく物としては適してはいないといえる。そこで是非そのようなセンサーの機能、コンピューターや発光装置の機能などを同時に備え、なおかつ環境にやさしい夢の材料※(設備≠材料)を提案したい。

そこで、そうした電気&電球等以外の発光(つまり自然発光)にどのようなものがあるか示すと、天文現象として太陽・月・星の光や対日照、地上の現象としてオーロラ、大気光、雷光、火山雷、これらとは少し別をなす生物発光などがある。

ここで特に生物発光(生物による発光現象)に注目すると、生物発光は酸化による化学発光であるが、発生する光はすべて可視光で、熱の発生をほとんど伴わない、いわゆる冷光を発するという特性がある。生物発光の効率はきわめてよく、ホタルの光の場合、発光効率(エネルギーが光へ変わる割合)は 98%にまで達する。蛍光灯や白熱球の発光効率が 20 数パーセント程度でエネルギーのほとんどが熱に変わることを考えると、是非この生物発光を材料に取り入れたい。

また、生物の発光が神経によって制御されている点でも、設備において必要な機能を同時に備えているので大変有効と言える。

発光生物としてはホタル、ウミホタルなどがよく知られているが、その他にも百数十種の発光バクテリア(発光細菌)や数十種の発光キノコ(発光菌類)、夜光虫、多くのクラゲが発光する。発光の機構には、発光物質が酵素の作用により酸化されて発光する型のものが多く、発光物質をルシフェリン(発光素)、酵素(からだに取り入れた食物を消化分解や合成し、熱やエネルギーに変える働きをするたんぱく質)をルシフェラーゼ(発光酵素)と総称している。

例としてホタルの発光を示すと(図 2)となる。

ルシフェリン＋アデノシン三リン酸(ATP)＋酸素＋
(マグネシウムイオン)
ルシフェラーゼ(酵素)
---------->
酸化ルシフェリン＋AMP＋二酸化炭素＋光

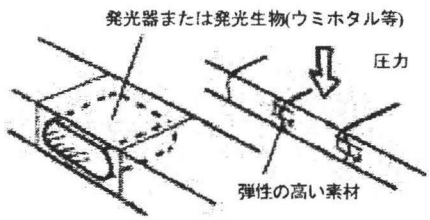
ホタルが呼吸することでとりいれた酸素が発光器内にあるルシフェリンとルシフェラーゼを反応させ、発光している。

(図 2)　ホタルの発光

ホタルの発光にはアデノシン三リン酸やマグネシウムイオンといったものが必要となるが、ウミホタルでは、酸素の存在下でルシフェリンとルシフェラーゼおよび水さえあれば発光するのでもっと容易ではないかと思われる。夢の材料としては、なるべく簡単な発光システムを採り入れたい。

生物発光を行なう器官を発光器官(発光器)といい、発光物質を体外に分泌して発光するものは特別の発光器を持たないが、体内発光するものには、光学的な付属器官を備えたりっぱな発光器をもつものがある。

(図 3)は現実的ではないが、こうした種種多様の発光生物、またはその生物の発光器そのものを床材に用いる際、その用い方として考えられる状態である。



加えられた圧力が弾性のある素材を通じて、四方に分散されその刺激によって中身が発光する。

(図 3)　床材への発光生物の取り込み方法

また、ホタルイカなどの発光器には、発光体、反射層、レンズのほかに、色フィルターを備えた目のような構造をしたものがあり、これによって赤や紫の光が発せられている。この点で夢の材料も思い思いの色で発光させることが可能であるといえる。いずれにしても生物発光の青白いような光は意匠的にも癒し効果的にも夢の材料のイメージに合っている。

■考察並びに発展調査

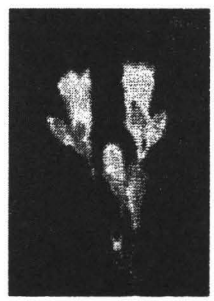
近年では、ホタライト(Phota lite)（キッコーマン株式会社が、遺伝子組み替え技術を用いて酵素ルシフェラーゼの大量生産を可能にして製作した実験キット(式場などで演出に使われている)）によってホタルの発光と全く同じしくみで冷光を再現できる。しかしこれでは、センサーやコンピューターの機能が欠けてしまうことになる。ゆえに、どうしても生物の発光器そのものを用いたいが

(“夢”なので可能→いわば結論であるが)

イメージとして呼吸して動いている(生きてる)という観が強いので違和感をおぼえる。

そこで、同じく生物であるが、じっとしている印象が強い植物の利用について、さらに発展させて考えることとする。

先述のホタライトのてんで遺伝子組替え技術という言葉が出たが、そのような技術を用いて、(農水省農業生物資源研究所などで平成 4 年にはホタルルシフェラーゼ遺伝子をタバコに導入し、「光るタバコ」が育成されている。さらに平成12 年には、「光る」技術を応用し光るカーネーション(写真 1)も作成されている。



(写真 1)　光るカーネーション

現在では、そうした光る花も暗闇で光る程度であるが、食虫植物として有名なハエトリソウなどを考えてみると、高感度の感覚器を持つことと機敏な動きをすることが植物にも可能であると思い起こさせられる。

さらに、植物は光合成によって酸素を作るので、ホタルなどの発光に、酸素の消費、二酸化炭素の発生が伴ってしまうことを考えると、より(環境にやさしい点で“夢の材料“に適しているといえる。勿論材料として最終的に望ましい姿は、ガラスブロックのように強度を伴う物であるが、イメージとしては例えば“こけ”のようなものや発光菌類などは、タイルやシートのような姿として、将来『夢の建築材料』として実現されている状態も比較的想像が容易なところであるかもしれない。

参考資料：NIPONICA2002(百科事典)など
http://oplab2.bk.tukuba.ac.jp/members/yatagai/Lectures/Jiga_org.files
http://www.pref.miyagi.jp/res_center/topic/ba/to10.13.htm

3－3. 講評（呉高専建築学科教授　正野崎 昭二）

発表者の皆さん。非常に楽しい本当に夢のある発表を頂きましてありがとうございました。

特に5つのテーマに共通するというのは、やはり環境問題かと思います。

1番目の徳山高専の「the under water colony」にしても、2番目の「3R Object」にしても、これらは環境問題を考えた最たるものだと思います。

それから、3番目のコンクリートに亀裂が入った場合にそれを埋めるという提案、私が少し心配するのは、砂利状のカプセルから補修液が出るということでしたが、コンクリートというのは砂利がかなりの強度を負担しているので、カプセルの大きさについてはもう少し考えてもよいかと思います。

4番目の「ArchiBakery」、まさしくアンパンマンがそのまま実現できるのではないか、というような夢のある提案でして、実現したら本当に楽しいだろうなと思います。

最後の圧力に応じて発光する材ですが、これもやはり植物・生物を使うということになると環境問題かと思います。癒しを感じる発光体は人によって異なると思いますので、そういうのが実現できたらなと思います。

今日、各高専でそれぞれのテーマについて発表してもらいましたけど、高専内の選考の過程では、他の色々な夢のある材料が沢山出てきたのだろうと思います。その中から選りすぐりのものを発表して頂いた訳ですけど、現在、建築業界が不況の中で、こういった夢のある材料を考えられたらいいなと思います。また、学生の皆さんにも夢をもって建築を勉強していただきたいと思います。ありがとうございました。

［シンポジウム当日の講評を書き起こしたものです。］

4. 会計報告

第4回全国高等専門学校建築シンポジウム会計

平成15年1月31日

収入の部		
項　目	金額 (千円)	備　　考
同窓会費	116,122	(例年の特別講演費)
後援会費	109,670	(例年のシンポ費、特別講演費)
研究助成金	500,012	(トステム;利息)
	725,804	計
作品展会計	79,497	緊急予備金, 同窓会援助会計から振り替え分(+761)

支出の部								
項目	予算（千円）	支払い月日	備考	支出額	支出先			
					作品展	同窓会	後援会	ｼｽﾃﾑ
諸謝金	100	10/29	一次審査、最終審査	115,416				115,416
旅費等	10	10/29	一次審査 審査員	4,880				4,880
会合費		9/14	一次審査会後	24,000		24,000		
弁当		10/18	審査委員長他	6,300		6,300		
		10/19	カメラマン弁当(松野立替)	1,200	1,200			
会場費	110	10/18	打合会(ビューポートくれ)	3,150				3,150
	50		呉市広公民館前払い	16,670			16,670	
			呉市広公民館追加払い	22,240				22,240
		11/7	懇親会会場費	63,000				63,000
		10/19	懇親会費の補助学生への援助	84,000	4,000	80,000		
		10/18	審査委員長招待費	6,000	6,000			
印刷費	70	7/11	ポスター印刷(20)	18,000				18,000
報告書作成費		12/17	報告用CD－R(50×@0.1=5)	3,750				3,750
通信費・郵送費		3/29	切手代	160	160			
	50		募集要項・応募要領					
消耗品費	150		会場案内板					
		7/11	印刷用紙	8,542				8,542
	10	10/4	模型展示用台材料費	7,560				7,560
		10/4	スチのり他	7,370				7,370
		10/15	ゴム印鑑	4,664				4,664
		10/15	マットロール紙,インクカトリジ	28,318				28,318
		10/29	色上質紙, 領収書	4,210				4,210
		10/29	カラーフィルム	3,990				3,990
		11/7	フィルム現像	11,240				11,240
		11/7	イレパネ	29,100				29,100
		11/21	デジタルVTRカセット	20,160				20,160
		11/21	マットロール紙(エプソンPM)	4,977				4,977
		10/19	賞状	3,129		3,129		
		11/21	VTRケーブル	2,025				2,025
		11/21	AVケーブル	1,400				1,400
		10/19	パソコンケーブル等	5,533	5,533			
			紙	16				16
使用機器等		1/20	ピクチャーレール	89,864				89,864
		11/21	ソフト:ドラゴンスピーチ	8,820				8,820
		12/9	ソフト:Adobe Pre	11,920				11,920
		10/29	メモリースチック	25,400				25,400
副賞費	100			93,000			93,000	
		10/19	ホテルキャンセル料補填	1,932		1,932		
諸費		10/19	茶菓子(瓜生立替)	3,294	3,294			
		10/19	お茶当(秋山立替)	3,271	3,271			
その他			作品展会計に振り替え			761		
計	650			748,501	23,458	116,122	109,670	500,012
			差額		56,039	0	0	0

第4部 研究発表会・シンポジウム

4-1 公開シンポジウム:21世紀に求められる寒冷地の住宅性能 ～断熱気密化と健康性・省エネルギー性～

住まいと環境　東北フォーラム
理事　吉野　博(東北大学・教授)

1　シンポジウム開催の背景と目的

本シンポジウムは，申請者が日本建築学会を通じて貴財団より助成を受けた「高断熱・高気密住宅における環境設計データベースの構築に関する研究(平成11年度～平成12年度)」の成果を公開し，これをもとに意見交換することを意図としている。当研究により得られた成果には，数多くの実在住宅の測定データとその分析結果が含まれており，住宅建設に関わるビルダー，研究者等にこれらの情報を公開することは大変に意義がある。そこで，寒冷地住宅に関する調査を進めている研究者が一堂に集い，21世紀に求められている住宅性能として住宅の健康性・省エネルギー性に焦点を絞り情報交換を行うことにより，真に良質な住宅建設への啓発を行うことを目的とする。

2　シンポジウムの実施計画

(1) 題　目

「21世紀にふさわしい住まいと環境」

(2)主　旨

21世紀は大量生産・大量消費の時代ではなく，質の高いものを作り上げていくことが求められる。このことは住宅においても例外ではなく，住宅が備えるべき各種性能を適切に評価し，その確保に努めることが重要である。平成11年3月に告示された次世代省エネルギー基準では断熱気密化の基準値が強化され，また，住宅の性能表示制度の制定などにより，断熱気密化がより積極的に行われるよう促されている。

さて，北海道ほど寒くない東北・北陸地方においては，住宅の断熱気密化を進めることに対して，これまでにいくつかの問題点が提起されている。即ち「実際に断熱気密化は省 エネルギーにつながるのであろうか」「気密化によって外気の自然な侵入がなくなるため，部屋の空気環境に問題が生じないであろうか」「結露やダニ，カビなどが発生してしまい，健康面・衛生面での問題が増えるのではないか」「断熱して熱が逃げにくくなるために，夏に暑くてたまらないのではないか」などといった疑問である。これらの疑問は東北・北陸地方の準寒冷地であるからこそ生じており，少なくとも理論的には問題ないと答えても断熱気密住宅の建設が進められて日が浅いので，実証された資料は十分に持ち合わせていないのが現状である。

そこで，各地域にて研究活動を行っている専門家が一堂に集い，準寒冷地における住宅を対象とした室内環境調査を継続して実施している。住宅の室内環境調査の意義は，こうした疑問に応えるべく，主に居住後の熱環境や空気環境，エネルギー消費量などの環境性能，ならびに室内の健康性や省エネルギー性など数多くのデータを収集し，各地域に適した住まいづくりを実現させるために住宅設計へフィードバックさせることにある。

今回，各地域の専門家による調査結果を公開する場を設け，準寒冷地における住宅の室内環境がどのような状況にあるかについて，仙台地区をはじめとする 5 つの地域より報告を行い，21 世紀にふさわしい住まいを創るための方向性を探る。

(3)開催日・開催場所

平成 14 年 5 月 29 日(水)　13:00～18:00

宮城県仙台市フォレスト仙台・2F フォレストホール

(4)講演者・パネルディスカッション参加者

吉野　博(東北大学大学院)，石川善美(東北工業大学)，澤田紘次(八戸工業大学)，佐々木隆(岩手県立大学)，三田村輝章(横浜国立大学)，山岸明浩(県立新潟女子短期大学)，長谷川兼一(秋田県立大学)，鎌田紀彦(室蘭工業大学)，赤林伸一(新潟大学大学院)，小玉祐一朗(神戸芸術工科大学)，須貝　高(福岡大学)　順不同

(5)プログラム

13:00　開会挨拶　吉野　博

13:10　寒冷地住宅の室内環境調査報告　司会・長谷川兼一

八戸地区　澤田　紘次

盛岡地区　佐々木隆

秋田地区　長谷川兼一

仙台地区　三田村輝章

新潟地区　山岸明浩

15:00　基調講演とパネルディスカッション　コーディネーター・吉野　博

「省エネルギーと快適性を兼ねた健康住宅とは」

寒冷地における今後の住宅のあり方	鎌田紀彦
宮城県を中心とした最近の動き	石川善美
日本海沿岸地域での住宅のあり方	赤林伸一
建築デザイナーの高性能住宅の捉え方	小玉祐一郎
九州地区の高断熱高気密住宅の取り組み	須貝　高

3　シンポジウムの実施報告

(1)概要

本シンポジウムはユーザー並びにビルダーを対象として企画した。参加者を東北各地にて募り，参加者は総勢 164 名と，本テーマへの関心の高さを伺うことができた。以下に各講演者の発表概要を報告する。なお，後半のパネルディスカッションでは，非常に活発な議論が展開され，参加者には非常に興味深い内容となったため，本報告書では要約することは行わず，会議録を掲載することとする。

(2)「寒冷地住宅の室内環境調査報告」

1　趣旨説明：澤田　紘次

21 世紀は大量生産・大量消費の時代ではなく，質の高いものを作り上げていくことが求められる。これは住宅においても例外でなく，住宅が備えるべき各種性能を適切に評価し，そ

の確保に努めることが重要である。北海道ほど寒くない東北・北陸地方においては，住宅の断熱気密化を進めることに対していくつかの問題点が指摘されているが，これらの疑問は東北・北陸地方の準寒冷地であるからこそ生じており，少なくとも理論的には問題ないと答えても，断熱気密住宅の建設が進められて日が浅いので，実証された資料は十分に持ち合わせていないのが現状である。

そこで，今回，各地域の専門家による調査結果を公開する場を設け，準寒冷地における住宅の室内環境がどのような状況にあるかについて，仙台地区をはじめとする 5 つの地域より報告を行うこととした。ここで紹介された実態が，21 世紀にふさわしい住まいを創るための方向性を議論するために話題提供となれば幸いである。

2　報告 1・八戸地区：澤田　紘次

「青森地域(八戸市)の住宅に関する室内環境とエネルギー消費量調査事例」

八戸市内に建設されている断熱気密住宅 4 件を対象として室内温熱環境に関する実測結果が報告された。1 件は次世代省エネルギー基準を満たしており，その他は新省エネルギー基準を満たす程度の断熱気密性能を有する。本調査をつうじて，各住宅の生活の仕方や居住者の室内環境に対する要求，経済感覚の違いが浮き彫りにされた。次世代基準を満たす住宅では世帯主の断熱や暖房方法等に関する意識は高いものの，エネルギー消費量への関心は低いことが指摘された。　また，新省エネ基準を満たす住宅では，セントラル式温水暖房を設置しているものの，まるで各部屋でストーブを使っているといった感覚で使用し，設備が活かされておらず暖房環境としても不十分なものである。高性能住宅とは単にハードのことだけでなく，居住者がそのことをよく理解して住み方を含んで初めて成立するものであることが示された。

3　報告 2・盛岡地区：佐々木　隆

「岩手県住宅の冬季室内環境の現状と展望」

健康で省エネルギー性に優れた住居の計画を行うための予備調査として，岩手県内 6 地域で居住者の生活に対する意見を把握するためのアンケート調査と温度を中心とした室内空間の環境実態調査により得られた結果が示された。冬季については室内の足元が寒いなど，寒さの存在に対する不満が多く見られたものの，現状の建物がいわゆる「暖房」を行うには十分な性能が確保されていないため，暖房費が増大になる場合や，「我慢」して過ごす姿勢が目立つことが指摘された。また，以前より寒さが室内での脳卒中発生に大きく影響している可能性が指摘されているが，それに加えて寒さの存在が食事の塩分嗜好に大きく影響を与えている可能性が明らかにされた。これは，住宅内の寒さそのものが除去されない限り，必然的に塩分嗜好が高まり，結果として寒い空間での脳卒中の発症に繋がることになる。今後は「室温」形成を主目的として，新築住宅は言うに及ばず，既存住宅の断熱気密改修に真剣に取り組んでいくべき時期であるとの指摘がなされた。

4　報告 3・秋田地区：長谷川兼一

「秋田県における高断熱高気密住宅の室内温熱環境」

「東北地域の住宅における健康性に関わる室内環境の実態調査」

秋田県内の戸建て住宅 5 件を対象とした，室内熱空気環境ならびにエネルギー消費量に関

する実測調査結果をもとに，断熱気密化による効果や問題点が指摘された。冬期の熱環境は，断熱気密化された住宅の場合，安定した温度変動を示し，在来型住宅では暖房停止後の温度降下が顕著であるとともに，上下温度差が大きくなる傾向が示された。しかし，断熱気密化された住宅の給湯用灯油消費量は在来型と同程度であるものの，暖房用は 2 倍程度となっている。

室内空気質の測定結果が示され，TVOC 濃度は在来型においても高く，厚生労働省の指針値(400□g/m³)上回っており，生活起因による影響が高いことが指摘された。床暖房の住宅での床面からのアルデヒド類放散量の測定結果が示され，建材への配慮がなされなければ放散量が大きくなることが指摘された。

5　報告 4・仙台地区：三田村輝章

「宮城県内の住宅 12 件における冬期の熱・空気環境と換気量の実測調査」

宮城県内の住宅 12 件を対象とした実測調査結果が報告された。特に，室内空気質と換気性状との関連について検討した例が示された。対象とした住宅はシックハウスと疑われる断熱気密住宅であり，機械換気システムが設置されている。居間と寝室における，温湿度，空気質としてホルムアルデヒド，VOC が測定され，換気量を PFT 法並びに一定濃度法にて計測された。

室内温度は各住宅とも良好であるが，相対湿度が 30%rh を下回る住宅が大半であり，乾燥を問題と訴えている居住者が多いことが指摘された。ホルムアルデヒド濃度は指針値以下であり，TVOC 濃度は暫定目標値を上回っている住宅は 4 件見られた。各住宅の換気量は 0.2～0.8 回/h となり，0.5 回/h を満たしているのは 5 件であった。室内空気質濃度は換気回数との関連が強く，換気への配慮の重要性が指摘された。

6　報告 5・新潟地区：山岸　明浩

寒冷地住宅の室内環境の調査報告として，新潟県内の各地域における一戸建て住宅を対象とした住環境に関する実態調査結果について報告された。調査対象住宅は新潟県内の 169 戸の住宅であり，温熱環境，シェルター性能，エネルギー消費量，居住者意識等の調査が実施された。住宅の気密性能は 3.0～9.5cm²/m² の住宅が多く，熱損失係数は全体の約 40%が新潟県の基準値を満たしていることが示された。また，室内の温熱環境に関して以下の結果が示された。①夏季は在室時に窓を開放し通風により室温調整を行っている居住者が多く，冷房を差し控える傾向が見られ，冬季は一日中窓を閉鎖し，長時間，暖房を行っている居住者が多い．②夏季の居間温度は，各住戸とも 24～31℃の範囲に入り，外気温より 1～3℃高い。夏季は，通風により室温調整を行っている居住者が多いため，室温は外気温の影響を大きく受け，外気温が 1℃上昇すると室温は約 0.5℃上昇する．③冬季は居間温度が 8～29℃とばらつきが大きく，外気温の変化に関わらず，室温 16～24℃の範囲に入る世帯が多い。上下温度差は，気密性能，およびシェルター性能の高い住宅では外気温の影響を受けにくく，一日を通じて室温は一定に保たれている．④年間の冷暖房エネルギー消費量はそれぞれ，419～837MJ，4.2～5.4×104MJ の住宅が最も多い．

(3)「省エネルギーと快適性を兼ねた健康住宅とは」

<u>議論 1</u>

中川：ビルダー系研究所の中川です。先ほどのお話の中で，鎌田先生からパッシブの蓄熱などの効果について，熱損失係数の補正計算みたいなやり方しかないという，そんなお話がありました。たしかに木造住宅におけるパッシブということを考えると，風の通りであるとか，あるいは太陽のダイレクトゲインで蓄熱であるとか，いろんなことを考えるのですが，一番これを数値的にどうだそうかというと，やはり先生が言うようにたとえばIBEC(建築環境・省エネルギー機構)の資料などによる熱損失係数の補正計算という考え方，これしかないような感じに陥ってしまうのですね。一方では，蓄熱の有効厚さということを考えると，例えば，コンクリートとか石とか様々な素材の中で考えた場合に，それほど大きな蓄熱容量を獲得することができません。しかし，パッシブをやるためには，非常に大きなコストも(例えば蓄熱という部位で考えると)かかってしまうし，ややこしいし，客観的で論理的な数値でもってその効果を実証できません。どうしても，情緒的な，あるいは主観的なそういう効果で表現せざるを得ません。何かもう少し，数値的にきちんと立証や検証できるような新しい計算手法がないものか，その方向性について，パッシブをどう検証できるのかというところあたりをお伺いしたいのですが。

吉野：質問は，パッシブの設計法ということですよね。

中川：ええ，検証法ということです。

吉野：鎌田先生お願いします。

鎌田：次世代省エネ基準で，パッシブソーラーを熱損失係数を低減する補正係数というとらえ方をしているのは，結局，熱損失係数と暖房エネルギーがある程度の比例関係にあるという前提になっているからであって，それは，ごく一般的な造りをしたプレハブ住宅などというものの中では成立するが，パッシブソーラー，あるいは日本の伝統的な，縁側があって４枚建具が並んでいるような窓の大きな家は，日射熱取得が大きくなるためにその辺の比例関係が成り立たなくなるからです。せっかく成り立たなくなってくれるのですよね。熱損失係数が同じでも，暖房エネルギーが30%少ない住宅ができるわけです。そして，今日は時間が無かったので説明しませんでしたが，暖房エネルギーの計算を熱射取得熱と，熱損失係数の１次関数で計算できるような式を作ってみて，それで，どのくらい減らすにはどんなことができるかというのを研究したのですが，そんな感じでやると，よさそうだなと思っています。あともうひとつ，蓄熱容量のことなのですけども，基礎断熱で木造床という構成が大変普及してきました。それが基礎のコンクリートと床下地盤面の熱容量が，木造床を通して，あるいは床に穴を開けて空気が循環することによって，相当量効いてくるわけで，僕が次のステップとしてそこにブロックやレンガをズラッと並べるようなことをして簡単なファンを入れてやるとかなり簡単にお金をかけずに蓄熱できました。しかし，例えばOMソーラー協会のモデルハウスみたいな室内にレンガを積んだり大谷石を積んだりするのはなかなか難しい。基礎断熱の床下利用で，結構いけそうです。だから，木造パッシブソーラーハウスというのは，案外普遍的な手法にまとめられて，誰でも造れる技術になりそうだなと思っています。

吉野：小玉先生お願いします。

小玉：デザインツールがあるんです。それはわれわれが造ったんですが，それはあるパラメーターを，定量的に出すのがすごく難しいものですから，自分でパラメータを設定してあげ

て，それがどれだけ効くのか，そういうことを，自分でやってみるとすごくいいと思います。ですから，もし時間があれば，そういうツールがありますから，ぜひそのようなツールを使っていただきたいと思います。一般に，定常的な熱の移動ではないものですから，割と難しいわけですけれども，そういうのを無理して単純な基準に直すというのはあまり，賛成ではないです。いろいろパラメータがあるわけで，それを，実際に設計者が見て納得して使えればいいと思います。しかしそうも言ってられなくて，パッシブ基準を作った担当者会議にいますと，それを何らかのかたちで非常に簡単な指標で表せないかというと，考えた時の指標が熱損失係数との組み合わせとなったのですね。それから，当然その熱損失係数と熱の取得のウエイトはどうかということは，一概に言えない。一番分かりやすいのは熱損失での考え方が圧倒的に多いということで，その指標でどれくらいの効果があるかということを示そうというのが，パッシブの組み込んだ実状なのです。ですから，開口部の大きさですとか，ガスの使用ですとか，方位ですとか，蓄熱の設備ですとか，それがあればきちんと効きます。どれくらいあればということで，設計のマニュアルがあるかというと，（マニュアルに沿っても）それは出せますが，実際には（どんな部材でも）それなりに必ず熱容量は効きますので，ぜひ，ご自分で試してみるのが一番いいかと思います。それでも納得いかないというかもっと簡単なものがいいという時には，それなりの基準もないことはありません。例えば，コンクリートは 20cm 以上あってもあまり効かないとか 5cm だったらこれくらいだとか，そういうことがある程度分かっています。それから，同じことが夜間換気を用いたパッシブクーリングの場合もありまして，これも蓄熱材があればあるほど夜間換気の効果が大きいと一概には言えません。どの辺にするかというと，先ほどの赤林先生のお話であったように，どれくらい風のポテンシャルがあるかというようなポテンシャルの面も絡んでまいりますので，実際にそれを設定して検討されるとそういうツールでは答えは出てきます。定量的にこの問題の回答は出てこないということはないので，ぜひ，使ってもらうとよいと思います。

鎌田：ソーラーデザイナーの話が出ましたけどもうちでも使ってみたのですが，年間を通して絶対量，暖房負荷がどのくらいになるという絶対値が出てこないものだから何となく使いにくいですよね。それと，IBEC を中心として坂本先生がボスになっているものだから，坂本先生の作った SMASH 一辺倒ですが，あれはどうもコンクリートの熱が全然応答しないのですね。だから，パッシブの計算を SMASH でやるとまるっきりだめで，一番いいのは「エスパーエム」という，今から 30 年くらい前に通産省がお金を出して造ったプログラムがあるのですが，あれが一番調和がとれています。いい加減に環境工学の人達に，ピタッと決まるシミュレーションプログラムを作ってほしいのだけれども，きちんと使えるようにしてほしいなと思います。ソーラーデザイナーも，こうするとこういう傾向になるということは，非常に端的につかめて，そこまではすごく役に立つのだけれども。では，断熱の厚みをどれくらいにしようかという検討をどうするかというと，なかなか使えないプログラムになってしまいます。

中川：小玉先生のソーラーデザイナーも，SMASH も全部使いまわしてやっているわけですよね。最大考えられるだけの蓄熱効果を期待してですね，設計をやった１つの例があるわけですけれども，盛岡を事例にしましてQ値が 1.3W/m２ K 程度の高気密高断熱の設計なんで

すが。それで，土間の蓄熱効果をずっと全部計算すると最大にめいっぱいにどれだけQ値の補正で効果が出るかというと，最大で４％まで行かないのですよね。そうすると，閉じる，つまり損失量をどうするか，窓を小さくしちゃうとかですね，そっちのほうが，よっぽど経済効果があるのです。もっとほかにパッシブの経済効果を表す手法というのがあるのではないでしょうか。

鎌田：中川さん，蓄熱効果を省エネ効果として換算するとだめだけど，オーバーヒート防止として考えるとかなり効きますからね。やっぱりその辺でほしいのですよね。蓄熱を増やしたことによる省エネ効果は，確かに僕らの計算でも最大７～８％くらいですよね。だから，省エネ効果にはならないのだけれど，しかしオーバーヒートをかなり抑えてくれます。普通の木造住宅で高断熱高気密にして，相当に熱損失係数を下げていくと，２～３月は毎日のように40℃を越えるようになってきます。

吉野：もちろんパッシブソーラーシステムの評価をする技術はかなり進んでいるのですが，それがやっぱり，エンドユーザーまできちんと伝わってないという，その辺は，これからわれわれが反省して努力していかなければならない。

議論２

鈴木：秋田の BeWell の鈴木です。東北フォーラムのビジョンをもう少し変えていったほうがよいのではないかという提案です。さっきの話ですが，住環境をよくすることによってエネルギーが増えてしまいます。でもそれはしょうがないのではないかという話ではなくて，やはりもっと住環境をよくしてしかもエネルギーを落とせる，その方法はどういうものがあるかというのをやはりもっと研究して，提案していくという方向にもっていってほしいなあと思います。今までこのようなフォーラムで話題になっていないのですが，例えば，公共住宅のあり方や，公共の長屋建てをみても，屋根だけがつながっていて，別々の建物なのですよね。すると，せっかく，長屋建てにしているのにエネルギー的に何のメリットも無いものがいっぱいできているわけですけど，そういうのもエネルギー的に見て，もっと省エネでレベルの高い長屋建てだとか，公共住宅だとか，もっと大きくなると街づくりなど，全体から見た省エネを考えたり住環境を考えたりするような提案をこのフォーラムでやっていけないものでしょうか。

吉野：フォーラムに対する提案ですけれども，今後の住宅のあるべき方向と言いますか，そんな提案だと思います。いくつか先ほどの話でも出てきましたけれども，小玉先生の報告では衣換えといいますか，モードを変えるというそういう話もありましたが，何かその辺に関してコメントございますか。

鎌田：僕も，石川先生にその辺のところを質問したかったのですよね。昭和 57 年，1982 年，これはオイルショックの末期で，灯油がたぶん１リットル 70 円，そして，1992 年，平成４年これは灯油が 50 円ですよ。だから，灯油が増えたのは，単に灯油が安くなったからですよ。

それから，前も吉野先生に批判的なことを言ったことがあるのですけど，吉野先生のところでやっているこういう統計調査というのは平均値を求める話ですけど，住宅は高断熱高気密住宅が登場して，今までの一般住宅で断熱材が使われていた住宅は断熱材が効いていないわけですね。そういう住宅と突然効くようになって厚い断熱をするようになった住宅を任意

抽出で小学校の生徒に調査票を渡してやるとですね，入ってくる確率は極めて低い。そういう統計データは意味が無いですね。ちゃんと統計的な評価をしなくてはいけません。それで，高断熱高気密になってきたら，そういう消費量が増えてきたとか言えるのです。次世代省エネ基準あたりからだんだん高断熱高気密が普及し始めて，それが統計データにまだ，影響を及ぼしているはずがないのですよ。新築住宅というのは極めて少ないです。

最後に僕が言いたいのは，次世代基準というのが，今，次世代基準ギリギリの住宅で各都市で計算すると，一番多いのは盛岡です。札幌でも何でもなく。ちょっと振り返って，新省エネから次世代まで北海道のⅠ地域ではきわめて健全に現状の消費量を減らす方向で断熱を強化しています。セントラルヒーティングしてなおかつ減らす方向でね。だけど本州，Ⅱ地域以南，Ⅲ～Ⅳ地域では今の次世代基準でセントラルヒーティングをやると一般の寒いのを我慢している住宅の 1.5 倍ぐらい暖房エネルギーが増える計算になるような基準で動いています。だから，次世代基準対応，特に外張り工法なんかは 50mm，屋根は 75mm やらなくてはいけないけど，50mm で全部やって認定を受けてギリギリの次世代基準で通します。そうすると，結果的に現状の暖房エネルギーよりセントラルヒーティングして増えてしまうわけです。やはり次世代基準の見なし仕様ぐらいでやった，住宅がシンプルだから次世代基準に 2 割ぐらいのゆとりを持って対応した住宅，あるいはⅣ地域にいたってはそれよりもっと窓を強化した住宅でないと，現状の暖房エネルギーを増やさずにセントラルヒーティングや快適化というのはできない基準だということをもうすこしみなさん，強く認識したほうが良いと思います。

吉野：鈴木さんのご提案のことも・・・。

鎌田：いや，だからそうすると次世代基準あるいはもっとそれを強化していくことによって，減らすことが簡単だということは BeWell の鈴木さんも知っているはずです。だから，そういうレベルを東北フォーラムなら東北フォーラムなりに，－－－次世代基準では足りないのだから，東北フォーラムはそれより進んだ団体なのだから－－－もう少し高いレベルの住宅をつくろうだとか，そういうことをもっとはっきり言ったほうがいいのではないだろうか，と思います。

吉野：石川先生，先ほどの質問について。

石川：灯油が安くなったから増えるのは当然だという話ですけど，あれは灯油の消費量ですね。北海道も一緒に書いてあったと思います。北海道は減っているわけですね。だから灯油が安くなったから使っているというのは，北海道も同じで，そういう意味ではあそこの灯油の消費量の中には暖房の消費量がすごく効いていて，そこが東北とちがうところですね。統計データにいろいろな住宅が混じっているのは，あえて無作為にやっているということなので，（ここで言えるのは）その傾向がどうなっているかということだけなのですね。だから，統計手法とは敢えて言いたくないですね。

鎌田：あのね，マンションが入ると北海道は激減するのですよ。

石川：あれは戸建住宅なのですよ。

鎌田：それから住環境研究所のデータもけっこう怪しいんですよ。

<u>議論 3</u>

山岸：ゼロエネルギーといいますか，暖房ヒーティングシステムが入っていない住宅ができたというニュースが入っていましたけど，具体的にどのような造り方をしているのかをもう少しくわしく聞けたら参考になると思うのですが。
小玉：基本的には，超高密超気密超断熱。それで換気をきちんとやって，熱環境もきちんとやっている寒冷地の例です。僕もそういう意味では先ほどの話と関係ありますけど，熱損失を減らしていくと，そういう状況（さらに灯油消費量が増加すること？）になるというのは，大方の人は了解されているのではないでしょうか。いろいろな困った問題がでてきて，他には健康の問題もありますけど，基本的にはその問題です。ただ，それがほんとにいい住宅として，仙台あるいは東京，あるいはその他についていいかどうかという話は別問題として，あそこ(スウェーデン？)ではああいうふう(ゼロエネルギー？)にできたということは，つまり室内発生熱と熱損失のバランスがうまくとれている状態まで，建物の性能がアップできたということだと思います。それで，我々のところで問題解決するわけではなくて，基準というのは，あるレベルを示しているにすぎないのですよね。だから当然，僕らの設計する東京なんかでやっている住宅の場合にも基準以上のものは作る，つまり断熱はするわけです。断熱化気密化だけが，そのほかの条件がすごく多いので，その辺のことを考えるとまずは，冬の環境を造ってあげたい，あるいは夏の環境を考えてあげたいので，そういう状態を作ることが必要です。例えば先ほど出てきた例でいうと，室内外のインターフェースをどう作ってあげるかと言うことなんですよね。あの場合には，インターフェースというのがすごく少ない状況でのことですのでそんな難しい話ではないかと思います。
吉野：須貝先生は九州からいらっしゃって，ゼロエネルギーを達成するということは，南のほうが手っ取り早いというか簡単ですよね。そういうふうな発想でゼロエネルギーというのは九州で動きがないのですか。
須貝：冬は比較的やりやすいのですが，夏に窓から明かりを取ってくると大変な熱になります。そこをどうしたらいいのかというのが，すごく大事になりますね。それから高断熱高気密というのもすごく大事なのですが，人間がそこに住んだときに高断熱高気密に囲まれて何となくその環境が明るくなります。これが，僕が一番大事だと思うんですね。人間の雰囲気が明るくなります。高断熱高気密をしながらほかの要素を入れてくると明るくなります。例えば，小玉先生がお話されたように太陽がブワァっと照ってくると，何となく気持ちがおおらかになります。そういうふうなこともすごく大事ではないかと思うんですよね。設計の手法もいろいろあると思うのですけどね。
吉野：南のほうでも高断熱高気密がまず第一で，あとは夏の日射をどうするかですね。断熱すると冷房負荷が増えるということはないのですか。
小玉：それは設計とはいわないですよ。技術をうまく使っていないからです。うまく使えればいいわけですから，それはそういう技術をどうやって使うかですから。それは地域に依ったパラメータの組み合わせを考えるのが大事なのであって，そういう意味で一概に断熱化気密化がいいんだというように，言わないほうがいいと僕は思います。それは，当然すごく大事な技術であって，それをベースにしてどう展開していくかというのがパッシブソーラーというものに値するわけで，さらにパッシブソーラーとその他のもっと広い環境をどうするか

というのが，環境共生になります。鎌田先生も書いたかもしれませんけれども，あまり断熱化気密化と今更言わなくてもいいのではないかと，僕は思いますね。

鎌田：僕は前にも小玉先生に，「小玉先生は卑怯だ」と言ったことがあります。断熱気密をやらないでパッシブソーラーを実現できるというようなことを言っていますけど，自分が造っている家はしっかり断熱気密をやっているではないですか。そしてその後，小玉先生はしばらく断熱気密のことを強調するようになって，そろそろ飽きてきたかな。世の中，それに従って断熱気密が当たり前に出来る人達がふえてきていますから，そこをベースにしてやっていけばいいのですから，もう言わなくてもそろそろいいのではないでしょうか。赤林先生の研究とも絡むのですけど，パッシブクーリングの話を，あれも高断熱高気密であるほど使える手法だと思います。

さっきの通風デグリーアワーというのがよく分からなかったのですけれども，僕は通風は住宅の中で作るものだと思うのですよ。例えば，夜中暑くて死にそうな日に，暑くて寝苦しいというのは風がないからですよね。同じ温度でも，ちょっと風が吹いてくれれば涼しいですよね。だから，それともう１つは，夜になったらどれだけ温度が下がるかがかなり影響していると思います。家の中が内部蓄熱，内部発生熱，日射とかで外気よりも温度が高くなっているわけだから，温度差換気で上下に窓を開けることによって通風が作り出されます。そして，そういう通風と自然の風をやると通風が倍増するわけで，大事なのはいろいろそういう実験をしてみると，この通風を寝室におこすと風邪をひくのですよね。寝室の中に夏，風が通っていると，これは完璧に風邪をひくのですね。北海道だけではなく，本州でも。だから，寝室には通してはいけないのですよ。だけど，家の中は冷やしたい。その辺のところを「技術を使えば分かっているんだ」なんていわないで，「こういうふうに設定してください」と言わないと，なかなかできる人はいないのではないでしょうか。

赤林：今の鎌田先生の質問は僕には全く理解できなくて，今日紹介したのは単に，地域がどれくらいの通風の，ポテンシャルを持っているかということを計算しただけです。次の段階で，今度は通風に影響を及ぼす影響がいっぱいあるので，例えば，建物の周辺がどうなっているのか，それが第２段階ですね。周りが建てこんでいるのか，それとも緑の中にあるのかが第２段階。その次の段階として，ある建ぺい率などの条件のなかで部屋の中の気流がどうなっているかというのが３段階目。３段階目くらいで終わっているのですね。その中身については建築学会で発表しますし，シンポジウムがあるのでそちらで聞いてほしい。何で寝室に風が通ると風邪をひくのかというと，それは裸で寝ているからですよ。

鎌田：夏は暑いから，裸で寝ているのですよ。だから，風が通ると風邪をひきます。

赤林：そういう，夏に寝室に風が通ると風邪をひくなんていうように断定すること自体僕には理解できない。

鎌田：断定はしないけれども，うなずいてくれる人は多い。

赤林：そういうふうに言われても，どのようなデータを出せば鎌田先生が，納得してくれるのか分からない。

鎌田：通風は家の中で作り出せるものだというあたりが，僕はおもしろいと思う。小玉さんが最後に出した作品も，パッシブクーリングで上下の通風をイメージしている。だから，外

の風を頼りにせず，風を作り出してパッシブクーリングをするという発想はどうなのでしょうか。

最後に

吉野：一言ずつ頂きたいと思います。

鎌田：最後に，北電では，３年くらい前から冬場の発電量のピークが夜中の１時なのです。要するに，電気を売りたくて拡販してオール電化にして，電気をダンピングして売ったあげくが，深夜に発電量のピークとなったのです。深夜電力は，電力の発電量標準化のために安く売りますよ，と言われてきました。それは３年前に崩れているのですけど，原発を造りたいがためにそれをやってきたのです。東北，東京はまだ深夜電力に余裕がありますが，オール電化というものに，安易に取り組んでほしくないです。

石川：自分も東北フォーラムの一員なので，BeWell の鈴木さんが言ったことはよく分かりますが，どうもマニュアルを欲しがる傾向があります。こうすればこうなる，それを教えて欲しいとおっしゃいますけど，住まいはすごく複雑で，断熱気密もほんのわずかなひとつのファクターなのですよね。だからこそ，住まいの設計は未だに千差万別でありさまざまな工夫を施す余地があり，考えるすばらしさがあるのではないかと思います。われわれが研究しているうちに「こんなことを知らせなきゃいけない」ということがたくさんあるので，一緒に考えていく価値があります。鈴木さんも設計のすばらしさなどを発信してほしいと思います。

赤林：住宅の高断熱高気密化は絶対省エネルギーにはならないと私は宣言します。それは，社会全体としてエネルギーの削減になるかもしれないけれども，それは快適さを向上することによって社会全体のエネルギーがこう減るのだよという論理を構築して，説得するべきだと思います。断熱改修するとか気密改修するとかはエネルギーを増やす方向になるのではないかと思います。

小玉：2 つ言いますが，１つは，建物のモードを変換する技術をやりたい，やらなければならないと思います。もう１つは，どうもわれわれは中だけのことを考えすぎている。外と中とのインターフェースを考えていく，これを２つ目の提案にしたいと思います。

須貝：僕らは今のように，たくさんの住宅を扱っていると，病気に抵抗力の低い高齢者や，赤ちゃんたちに，弊害のないような住宅を造っていきたいと考えさせられます。設計手法もいろいろありますので，いろいろなところで活用していって，やはりみんなが喜んで楽しい雰囲気になるような住宅を建てて欲しいなあということで，調査しています。

4-2 景観材料普及促進シンポジュウム「景観材料と環境の調和」

第２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～

アクロス福岡国際会議場
2002年6月25日（火）

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

「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～

プログラム …… 1

趣旨説明 …… 3

景観材料推進協議会　専務理事　岩田誠二

挨　　拶 …… 5

九州経済産業局　産業部　製造産業課　課長　古賀　秀一

講　演　Ⅰ …… 7

橋梁関連／鮎の瀬大橋：熊本県上益城郡矢部町
（デザイナーとゼネコンにおけるコラボレーション）

株式会社エムアンドエムデザイン事務所　主宰　大野　美代子

住友建設株式会社　九州支店　土木エンジニアリングチームリーダー　瓜生　正樹

講　演　Ⅱ …… 17

橋梁関連／朧大橋：福岡県八女郡上陽町
（デザイナーとメーカーにおけるコラボレーション）

株式会社建設技術センター　技術部　武末　博伸

株式会社住軽日軽エンジニアリング　デザイン室長　野中　徹
九州支店課長　吉村　満

パネルディスカッション …… 29

（テーマ：生き残るためのものづくりとは）

○ コーディネーター
東京大学工学部土木工学科景観研究室　教授
景観デザイン研究会　会長
篠原　修

○ パネリスト
九州芸術工科大学　教授
佐藤　優

講演Ⅰ・Ⅱの講演者

閉会挨拶 …… 41

地域事業推進委員会　委員長 伊藤　貞二

アンケート結果 …… 43

プログラム

「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～

13:30～13:40　趣旨説明

景観材料推進協議会　専務理事　岩田誠二

13:40～13:50　挨　　拶

九州経済産業局　産業部　製造産業課　課長　古賀　秀一

13:50～14:40　講　演　Ⅰ

橋梁関連／鮎の瀬大橋：熊本県上益城郡矢部町
（デザイナーとゼネコンにおけるコラボレーション）

株式会社エムアンドエムデザイン事務所　主宰　大野　美代子

住友建設株式会社　九州支店　土木エンジニアリングチームリーダー　瓜生　正樹

14:40～15:30　講　演　Ⅱ

橋梁関連／朧大橋：福岡県八女郡上陽町
（デザイナーとメーカーにおけるコラボレーション）

株式会社建設技術センター　技術部　武末　博伸

株式会社住軽日軽エンジニアリング　デザイン室長　野中　徹
九州支店課長　吉村　満

15:30～15:45　休憩

15:45～16:45　パネルディスカッション
（テーマ：生き残るためのものづくりとは）

○ コーディネーター
東京大学工学部土木工学科景観研究室　教授
景観デザイン研究会　会長
篠原　修

○ パネリスト
九州芸術工科大学　教授
佐藤　優

講演Ⅰ・Ⅱの講演者

16:45～17:00　閉会挨拶

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

皆様本日はご多用のところ、多数このシンポジウムにご参加賜りまして誠にありがとうございます。私はただいま紹介頂きました景観材料推進協議会の岩田でございます。



この度は九州経済産業局はじめ、関係行政機関のご後援と、本日のシンポジウムのコーディネーターをして頂きます東京大学の篠原修教授が主催されております景観デザイン研究会の協力により、盛大なシンポジウムが開催できることになりましたこと、この場をお借りしてあつくお礼を申し上げます。

政府が都市再生というテーマで、様々なプロジェクトを推進しようとしております。都市再生本部も設置されまして具体的なプロジェクトもこれから動こうとしておりますが、なんといってもこれからの日本は都市の環境整備や、美しい街並みの整備を通じて、経済活動の活性化を図っていくことが強く求められているところです。

外国の環境整備の優れた都市に遅れているようでは国際競争には勝てません。海外から大勢の方々がこぞって来る様な魅力的な都市環境の整備が求められています。この都市環境の整備の大きなテーマの一つとして景観問題があるわけです。

私どもの景観材料推進協議会も、10年前に発足致しましたけれども、このような環境の変化の中、色々な広報活動等を続けてまいりましたが、環境整備・景観整備はなかなか難しいテーマでございまして、思うように進んでいないというのが実感でございます。

景観というのは皆様にお話しするまでも無く、発注者である行政機関をはじめとした、コンサルタント、プランナー、デザイナー、コンストラクター、我々のような材料メーカー、機械メーカー、機器メーカー、主体者である市民・住民など大勢の方々の協力なしでは、よい景観の形成はできないわけでございまして、従来とかくバラバラになりがちであったと思うのでありますが、これからの景観形成にはこういう相互の連携というのが大変重要な課題となってくると思います。

そういう意味で、デザイナーとメーカーのコラボレーション、あるいはデザイナーとゼネコンとのコラボレーションというテーマで事例発表等が行われるわけですが、この連携と言いますか、今の言葉で言うと新しい「ビジネスモデル」を確立していかないと、これからの景観形成はうまくいかないのではないかと私どもは常々思っているわけでございます。

今回のシンポジウムを通じまして、皆様が色々な発表をお聞きになり、活発な質疑応答もして頂きまして、コラボレーションの重要性等、このシンポジウムの趣旨をよくご理解していただきながら、今後の仕事を進める上でのご参考にして頂ければと思います。それではこれからしばらくの間、このシンポジウムで皆様色々と意見交換などして頂きたいとお思います。それではよろしくお願い致します。

挨拶

九州経済産業局 産業部 製造産業課 課長 古賀秀一

只今ご紹介頂きました、私、九州経済産業局の古賀でございます。シンポジウムの開催にあたりまして一言ご挨拶を申し上げます。



先ず本日のシンポジウムの主催者であります景観材料推進協議会におかれましては、その発足以来、豊かでゆとりのある、快適な環境作りといったことを目指され、多様な事業活動をこれまで展開されてきたところでございます。特に地域に根ざしたメーカーの優れた技術の活用や、地域の特色を生かした新しい景観デザインの提案といったところ、またそれらの成果を全国に情報発信して頂く等、地域の街づくりなり、地域の活性化といったところで大きな貢献をされてきたところでございます。

これもひとえに、瀬谷会長はじめと致します、関係の方々のご尽力の賜物と存じます。あらためまして深く敬意を表させて頂く次第でございます。

先ほど岩田専務よりご紹介ございましたが、今日のシンポジウムは「世界に誇れる作品・製品の提案について」ということをテーマに、前回は東京にて開催し、今回の第2回目は福岡にて開催を頂くことになったわけでございますが、福岡はここアクロス福岡もそうですが、市内各所に優れた景観デザインの構造物なり建造物が集まっている地域なり、街かと存じます。また、現在進んでおりますアイランドシティ等の大型の都市開発事業が控えている地域でございまして、そういった意味で、ここ福岡で第2回目のシンポジウムが開催されることは誠に意義深いものだと感じております。

また、申し上げるまでも無く、都市や町の景観設計につきましては、いわゆる遊び心や構造物と自然との調和といったテーマをコンセプトに新しい試みが次々と出されているところでございます。今後都市なり、地域におきましては今までの交通、通信、防災といった基本的な街づくりの機能、環境に加えまして、魅力ある街づくりに向けた景観デザインという視点がますます重要になってきているかと存じます。本日、このシンポジウムで後ほど、ご講演やパネルディスカッションが予定をされておりますけれども、ご参加されます先生方はいずれも具体的な事業の中で先進的な取り組みをされておられる第一人者と言われる方々ばかりでございます。

このシンポジウムを期に九州地域での建築物、もしくは構造物が景観デザインといった視点を広く取り入れて頂き、ひいては景観材料の開発やその利用が九州においてますます進展するというところを念願する次第でございます。

私ども九州経済産業局と致しましても、景観材料推進協議会をはじめ関係団体のご支援等を通じまして、九州が真にゆとりと豊かさを実感できる地域、もしくは地域の活性化に向けて引き続き取り組んでまいる所存でございますので、皆様のご支援とご協力を引き続きお願い申し上げる次第でございます。

終わりになりましたが、景観材料推進協議会のますますのご発展と本日のシンポジウムが実り多きものとなりますようお祈り申し上げまして、甚だ簡単ではございますが、ご挨拶とさせて頂きます。ありがとうございました。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

株式会社エムアンドエムデザイン事務所　大野美代子

九州の皆さんこんにちは。エムアンドエムデザイン事務所の大野です。
ただいまご紹介頂きました様に、これから私は鮎の瀬大橋について、当時、施工を担当してもらいました住友建設の瓜生さんと二人で、お話をしていきたいと思います。



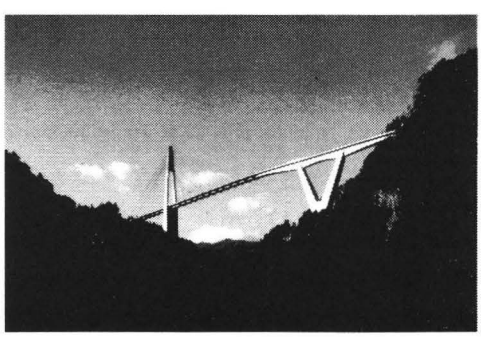
今日はスライドを主にして進めていきたいと思います。私は25年に亘って橋を中心とした、道路の仕事を手がけてきました。北は北海道から、南は沖縄まで、数えたことは無いですが60から70はあるのではないでしょうか、沢山の橋を手がけてまいりました。

その沢山の橋のデザインの中で一番印象に残った橋がこれからお話をする「鮎の瀬大橋」なんですね。今日は画像の方もお楽しみ下さい。

鮎の瀬大橋の概要をお話ししますと、鮎の瀬大橋は熊本県上益城郡の矢部町という所にあります。ちょうど阿蘇山の南麓、緑川渓谷に架けられた橋です。新しく整備された農道の一部として造られた橋です。深い谷に分断されていた集落を繋ぐ生活道路として重要な役割を果たしています。昔は谷を越えて向こう側に行くのに徒歩で2時間、車でも30分、そういった非常に不便な地域でしたので地元にとっては待望の橋でした。

この矢部町はじめ周辺一帯は、多数の石橋が残る橋の文化の地です。このような背景のもと、熊本県では文化運動である熊本アートポリスというプロジェクトがあり、その中に鮎の瀬大橋が組み込まれて、スタートいたしました。

ご存知のように熊本アートポリスというのは、建物、橋等を子孫に残す文化として扱って、1988年頃にスタートしましたが、当時の知事であった細川さんの発案で、コミッショナーが磯崎新さんという建築家の下にデザイナーの選択が進められました。私が選ばれて仕事に参加したのは1989年、今から十数年前ですが、当時の磯崎オフィスの方と仕事のシステムについて打合せを行いました。熊本アートポリスのプロジェクトは建築が多くて、その頃に40程ありましたが橋は4橋しかありませんでした。特に有名なものは、牛深ハイヤー大橋ですがその他にこの鮎の瀬大橋と残り2橋でした。



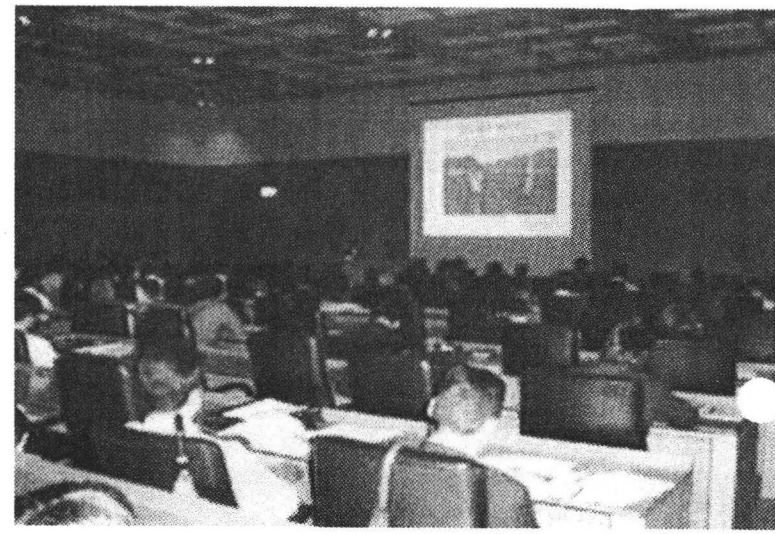
現地は幅が約300メートル、深さが140メートルのV字型の緑の谷で、阿蘇山から流れた火砕流を雨水が削り取って創った大地の裂け目のような風景で、私は吃驚致しました。谷が美しくて、その谷が持つダイナミズムを生かしながらいい橋が出来ないものかと考えました。

現実にデザインの作業を始めたのは1990年、発注者は熊本県の農政部で、上益城の工事事務所が担当をされました。構造設計に関しては中央技術コンサルタントさんが入られて、私どもとJVという形にて熊本県より請けて仕事を行いました。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

株式会社エムアンドエムデザイン事務所　大野美代子

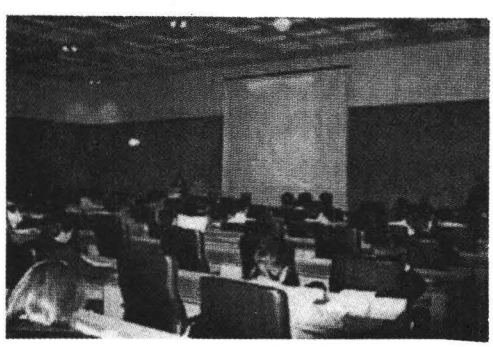
一番最初の技術検討委員会の打合せでは、橋の構造材を何で作ればよいか、メタルか、またはコンクリートかということでした。私はこの現場が、火砕流の堆積した、岩がごつごつ切り立つ様な風景から、コンクリートが似合うのではないかと考え、構造材はコンクリートで検討を行いました。ここの地形はアンバランスな地形であるため、橋もアンバランスな形状を提案いたしました。さらに模型で確認しました。熊本アートポリスの義務の一つとして、建築の方と一緒になって、展覧会に出品して県民の皆さんに説明をしなければならないので、地形を含む1/500のかなり精巧な模型を作成しました。施工にあたってはそれを現場にも持って行きまして、皆さんが全体のイメージを共有することが、出来たので模型は非常によい手段だったと思います。



橋の場合、構造も大事ですが周りとどう収まっていくのかが大事でこれも模型で検証致しました。デザインをしても最後まで現場を見ることが出来ない事も多いのですが、この場合は特殊な県のプロジェクトで、県とも非常によいコミュニケーションを持つことが出来、現場ともコミュニケーションが取れたために、現場に何度も足を運ぶことが出来ました。

コンクリートも大変綺麗に打ち上がって、きちっと私が意図した、この谷の鋭い稜線に対応するシャープな造形が出来ました。

タワーの足元部分のテクスチャーにつきましても、広い平面がベタッと見えると周りの風景から浮き上るので、岩のテクスチャーに馴染ませていますが、これも作り手の細かい配慮で意図したものに仕上がっており、とてもよくがんばってくれたと思います。



曲面のケーブルの定着部に関しても、なかなか難しいことですが現場の方で対応して頂きました。

周りは非常に美しい山々と深い谷に囲まれたところで、そういった地形の持つ力をうまく引き出しながら、地形と一体となった構造の形を作っていくことと、もう一つは谷の風景を逆に通行者の側からも見ること、その両面からの風景の生かし方を考えながら、魅力的な橋作りを心掛けました。

これだけ大きな構造物でありますと、地域にとって一つのシンボルになってきますので、橋の袂にもそれなりの工夫を行っています。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

株式会社エムアンドエムデザイン事務所　大野美代子

橋の袂にある、小さなほうの広場は、ここは凝灰岩の山を切って作っています。切った部分に普通ならばセメントを吹き付けて表面を固定してしまうところ、出来るだけ自然のままにと、切り方を大きくして、足元に植栽を設け、ボロボロと落ちてくる岩のかけらを止める方法をとり、地域の特色ある風景を残していくように心掛けました。



ケーブルは、オレンジ色のメタリック仕上げにしています、この周りは非常に緑の豊かな地域ですので、その緑を逆に生かすように、反対色であるオレンジを持ってきました。ただし、メタリックのオレンジというのは周りの風景を反射しますので、ある時は黒っぽく見えたり、ある時はキラキラと輝いたりと様々な表情を見せてくれます。

今回は、景観材料ということですので、橋上のエレメントについてお話します。先ほども話しましたが、普通ですと基本設計が終わった段階で仕事を打ち切られることも多いのですが、この鮎の瀬大橋は、県のほうでデザインを大切に扱うアートポリスの考え方で行われたために、最後まで仕事を見届けることが出来ました。その為に、橋上のデザインについても詰める事が出来ました。

例えば、コストダウンを余儀なくされたときに、橋の袂にある親柱に私が提案したことは、それまで石で検討していたものを、コンクリートで作るということでした。

高欄につきましては、転落防止の取付範囲を詳しく検討しコストダウンを図りました。

マ、この高欄には照明が組み込まれています。このような場所では、出来るだけ橋の構造の形を大切にして他のエレメントは控えめに抑えたい、高欄も色・形を含めて全体を控えめに抑えています。同時に照明など必要なものに関しては、このようにシンプルなものが欲しいのですが、既製品にはないのです。そこで、私どもが一から設計を行いました。

高欄は単に機能だけではなく、人が触れるということを考えて検討します。また、橋梁の形態と一体になって外観を作っていきますので、やはり構造の形状と一体となったシャキッとしたフォルムを作るよう心掛けています。

歩道の舗装につきましても、こういった山の中の橋ですので、地域の材料を用いて素朴な風合いを出したいと考えました。そこで火砕流から出来た凝灰岩をコンクリートに埋め込むという方法をとり、また、その埋め込み方なども現場と密に打ち合わせを行いました。一方、広場につきましては石灰岩を埋め込んでいます。現場からも沢山出てきました。石灰岩は丈夫な材料ではないことはわかっていますが、これがボロボロになる頃は全体が風化してそれがまたこの場所にあった景観を形成していくと思われます。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

株式会社エムアンドエムデザイン事務所　大野美代子

最後にアートポリスのプロジェクトが無ければ、私がこの橋にかかわることも出来なかったと思います、そういう意味で行政がどのように公共のデザインに対して携わっていくのか、またそれに対して、アートポリスで考えられたデザインに対する発注の仕方、あるいはそれを支えていく体制がこの橋作りに対しても役に立ったと思います。行政の方たちとのコミュニケーションがうまくいったこと、現場と最後まで一緒に工夫しながらデザインのコントロールできたことが非常によかったと思います。

私は、橋のデザインや、エレメントのデザインをしておりますが、これは珍しく単独に当時の東北地建から依頼されて、これからの東北の風景に馴染みやすい車両防護柵のデザインを行ったものです。この防護柵は技術の公開コンペも実施され、いかにうまくデザインの意図表現できるか、またいかにコストダウンできるかという視点から選ばれました。

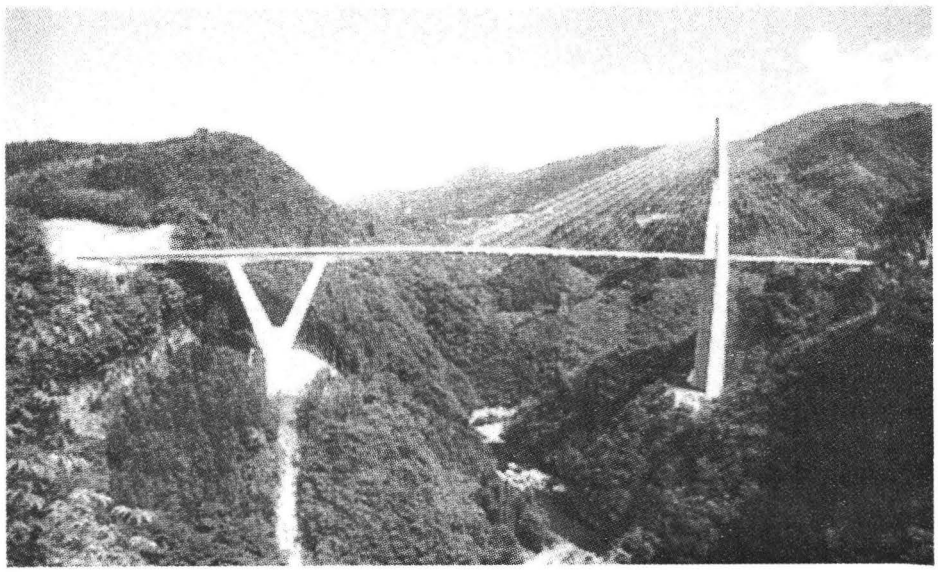
この防護柵のデザインですが、ほんとうに何気ないデザインなのです。心掛けたことは、いかに周りの風景を生かすことが出来るか、いかにこの防護柵が控えめに出来るかということでした。控えめに作って、周りの風景の美しさを引き立たせるということがこの商品作りの大事なことではないかと考えます。一般的に自分のところの商品を主張させすぎるというところがあるのではないでしょうか。

控えめな製品であれば、様々な景観に馴染みやすく、様々な場所に提案できるのです。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

住友建設株式会社　瓜生正樹

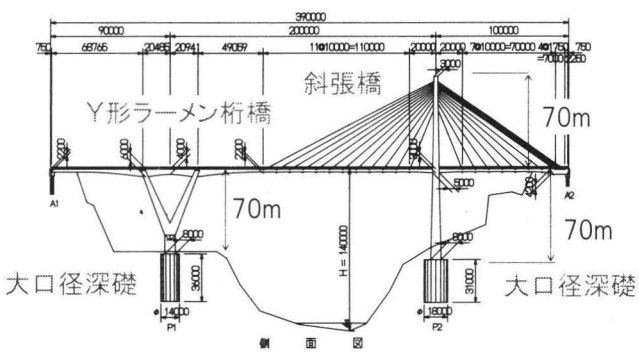
ただ今ご紹介頂きました住友建設の瓜生ともうします。鮎の瀬大橋は、1993年12月より施工が開始され、1999年9月に完成しました橋梁です。先ほど大野先生よりご紹介がありましたように、非常に特徴のある橋となっております。それでは、鮎の瀬大橋の施工につきましてご紹介させて頂きます。

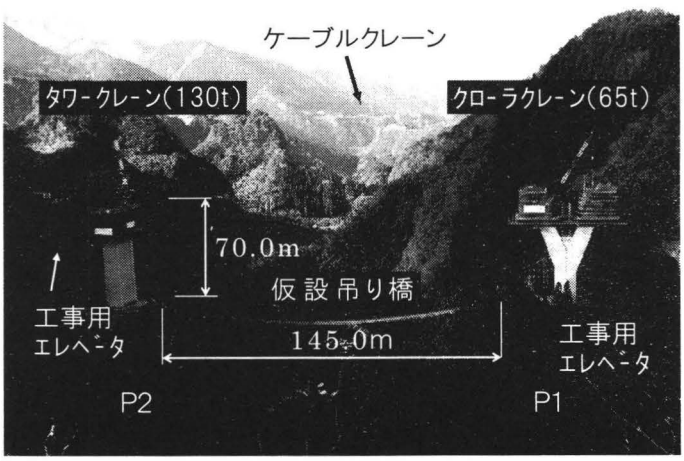


鮎の瀬大橋は、谷の幅が約330m、深さが140mのV字谷地形という厳しい地形に架設された橋梁でございます。橋長が390mでY形ラーメン橋と斜張橋とが複合されたものであります。規模としましては、それぞれの橋脚高さが約70m、斜張橋の主塔高さが70mという高さです。基礎には、大口径深礎工法が採用されております。

工事内容は、まず、仮設備の施工から、周辺整備の施工までご覧のような内容となっております。

1. 仮設備の施工
2. 基礎の施工
3. 橋脚の施工
4. 上部工施工
5. 橋面工
6. 周辺整備の施工　　以上です。

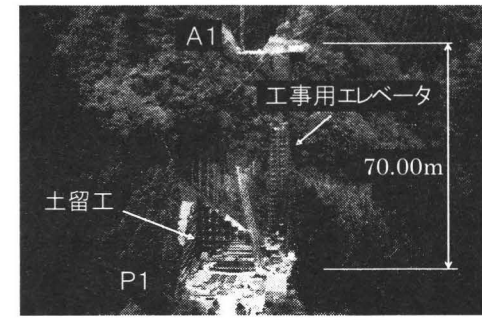




まず、仮設備の施工ですが、揚重設備としましては、ケーブルクレーン(16t吊り)、タワークレーン(130t)、クローラクレーン(65t)を設けております。次に安全通路としましては、P1からP2へ行くための仮吊り橋(145m)、工事用のエレベータ(高さ70m)を設けました。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

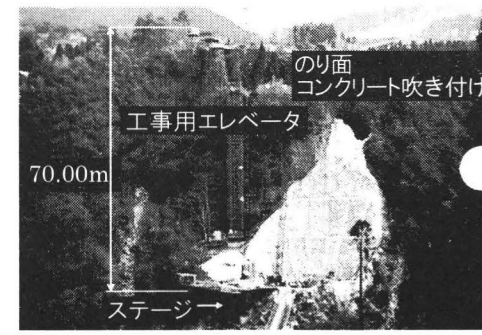
住友建設株式会社　瓜生正樹



Ｐ１橋脚施工ヤード

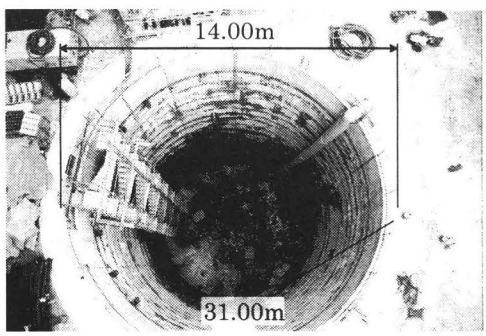
Ｐ１橋脚施工ヤードの全景です。
斜面中腹を掘削してヤードを造成しましたので、親杭とアースアンカーによります土留工を施しております。

Ｐ２橋脚施工ヤードの全景です。
Ｐ１と同様に崖面中腹を掘削してヤードを設けましたが、岩盤掘削でしたので1：0.3のり勾配で吹き付けコンクリートを施しております。

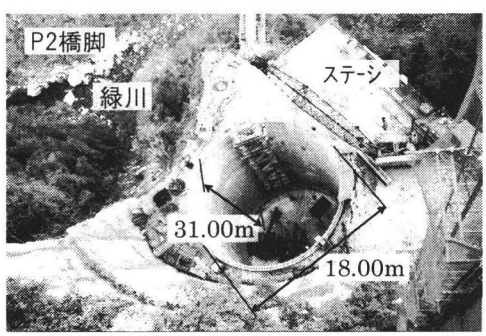


Ｐ２橋脚施工ヤード

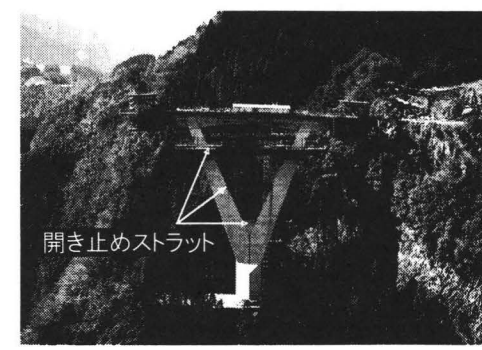
基礎の施工でございます。
基礎工法には、大口径深礎工法を採用しました。この工法は、トンネルのナトム工法を立孔掘削に応用したもので、ロックボルト、吹き付けコンクリートを用いて掘削するものです。規模としましては、Ｐ１橋脚が直径18.0m、深さ36.0m、Ｐ２橋脚で直径14.0m、深さ31.0mというものでございます。



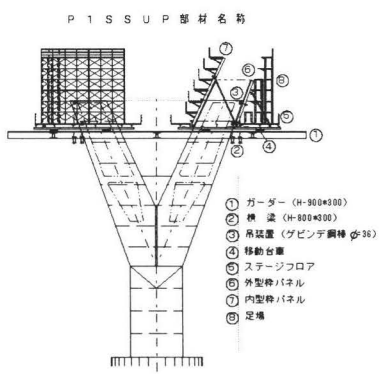
Ｐ２橋脚の施工状況です。
ヤードが非常に狭い中での施工でした。ちなみに掘削ズリは、すべてA2側の土捨て場へケーブルクレーンにて搬出しました。



橋脚の施工でございます。
まず、Ｐ１のＹ型橋脚の施工です。Ｙ型橋脚の特徴は、逆３角形をした構造が完成してしまいますと非常に安定した構造となりますが、施工途中には非常に不安定な構造です。従いまして、施工時には、３段の開き止めのストラットを配置して施工しました。施工方法としましては、足場、支保工の工法として自己上昇式の吊りステージ工法を採用しました。



Ｐ１のＹ型橋脚の施工



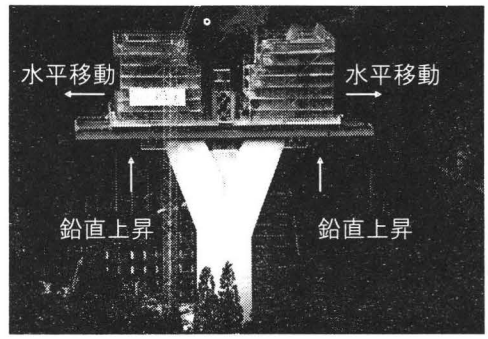
吊りステージ工法の構造

これが吊りステージ工法の構造ですが、荷重支持機構の横梁、ガーダーを既設コンクリートから、８箇所の油圧ジャッキによって、吊り支持し、そのガーダーの上に足場・型枠パネル・支保工をセットした構造となっています。
上に行くに従い、施工位置が広がっていくものですから、それに合わせて足場・支保工も追随して移動していく構造となっています。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

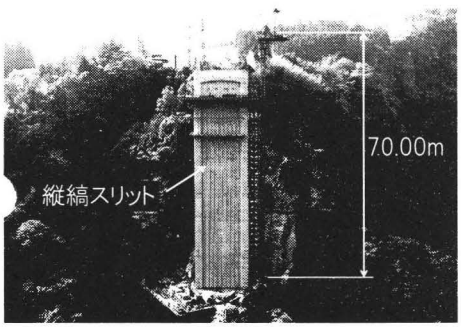
住友建設株式会社　瓜生正樹

施工時の状況です。
ガーダーの上をこの足場全体が水平移動し、油圧ジャッキにより全体を鉛直方向に吊り上げるようになっています。



施工時の状況

次にP2橋脚の施工です。
P2橋脚につきましても、P1と同様な施工条件でしたので、施工方法としては、吊りステージ工法を採用しております。　写真は、橋脚施工完了時で、ご覧のように中央部には、幅100mmの縦縞スリットが入っております。非常にスマートなイメージを与えております。



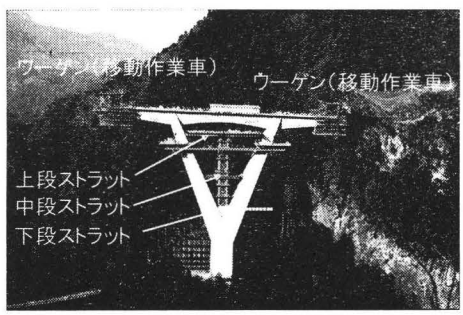
P2橋脚の施工

次に上部工の施工でございます。
いよいよ、上部工の施工となりますが、ここまでくるのに約3年の時間が費やされております。上部工は、P1のラーメン橋につきましては、3角形上辺に当たります柱頭部、張り出し部に当たります主桁部の施工となります。P2の斜張橋につきましては、主塔・主桁・主桁の施工となります。



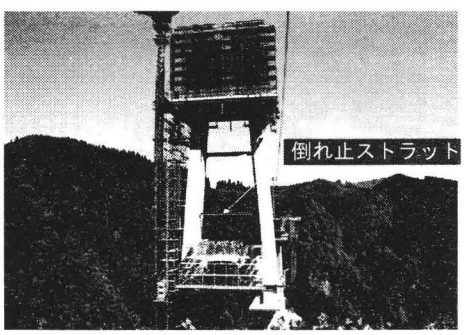
上部工の施工

P1ラーメン橋は、柱頭部につきましては、仮支柱によります支保工型式の施工。主桁部につきましては、移動作業車によります片持ち張り出し施工を行いました。



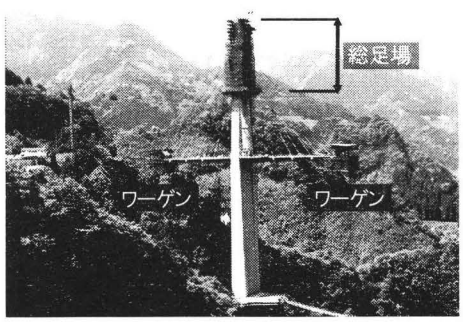
P1ラーメン橋

次に斜張橋に施工です。
主塔は、A形形状をしておりまして、先ほどのY形ラーメン橋とは、逆に柱部材が内側に倒れ込む可能性があります。
そこで、倒れ止め防止目的にストラットを3段配置しました。施工方法としましては、2本柱の部分につきましては、吊りステージ工法、その上の結合部分につきましては、斜材ケーブルの最終的な張力調整の関係から躯体にブラケットを取りつけまして、総足場工法によりました。



斜張橋の施工

ごらんの写真が施工途中の状況です。

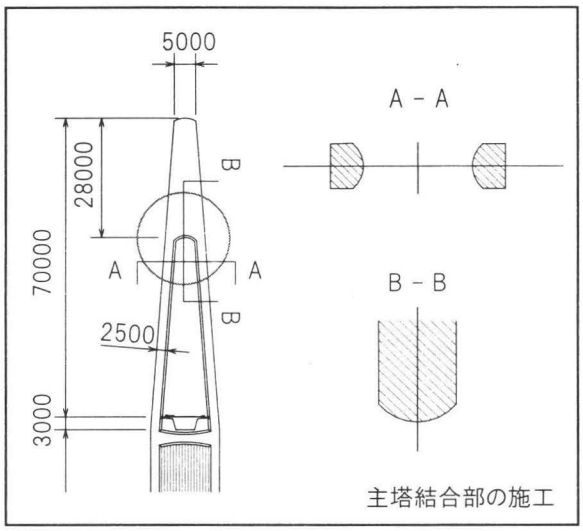


施工途中の状況

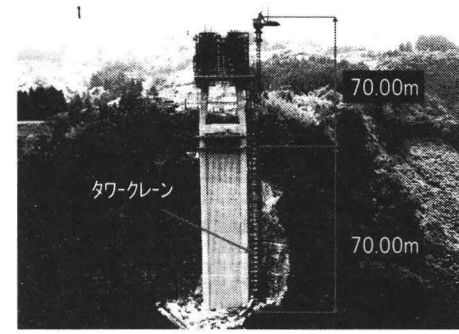
講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

住友建設株式会社　瓜生正樹

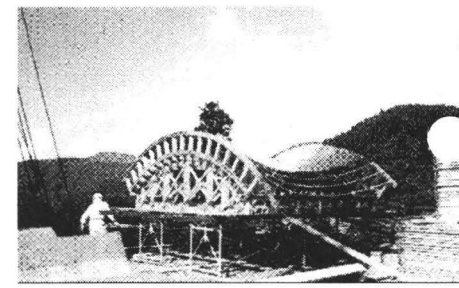
P2橋脚部の全景です。基礎天端から橋脚高さ塔の高さが70mとV字谷の中に摩天楼が姿を現しております。



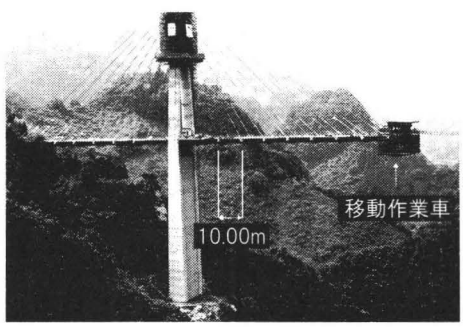
主塔結合部の施工



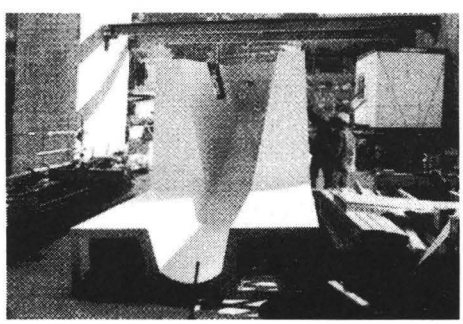
P2橋脚部の全景



主塔の結合部の施工は、最も苦労したところのひとつです。先ほどの橋脚の縦縞スリットと同様に、断面形状にも細かな配慮がなされております。主塔の2本柱部の断面はA-A断面にありますように、内側には局面断面となっており、また、結合部のB－B断面につきましてもご覧のように下側に局面形状となっております。問題は、局面と局面との接合部の型枠の寸法をどのように決定するかなんですが、今は、CADが発達し、どのような形状でも簡単に寸法がでましすが、当時は、CADの出始めで、現場の中ではだれもCADを自由に使えませんでした。やっとのことで、JWCを手にいれて、多くのの断面をきって、寸法を出しました。製作した型枠大工さんもむかし船を造っていた方でしたので、なんとかうまくることができました。

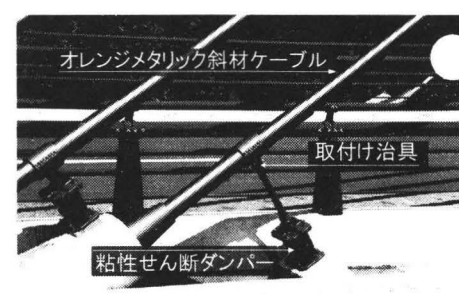


斜材ケーブル･主桁の施工



斜材は、10m毎に主桁･主塔間に取り付けられました。施工は、移動作業車による片持張り出し施工です。主桁の斜材定着部には円弧状の横桁構造となっており、ぞの型枠には標準部と横桁を共用できる大型型枠パネルを使用しました。

施工時の状況です。
ガーダーの上をこの足場全体が水平移動し、油圧ジャッキにより全体を鉛直方向に吊り上げるようになっています。



斜材ケーブルの施工

斜材ケーブルは、高密度ポリエチレン管にオレンジメタリック色を焼き付け塗装した保護管の中に、PC鋼より線が挿入され、グラウトで充填されたものです。オレンジメタリック色は、大野先生に決めて頂いたもので、この橋の特徴となっているものです。朝夕の光の変化に様々な変化をみせてくれます。また、このケーブルには、制振対策として、粘性せん断ダンパーが取り付けつけられており、ケーブルへの取り付け治具等についきましても大野先生のご意見を頂いております。

講演Ⅰ　鮎の瀬大橋

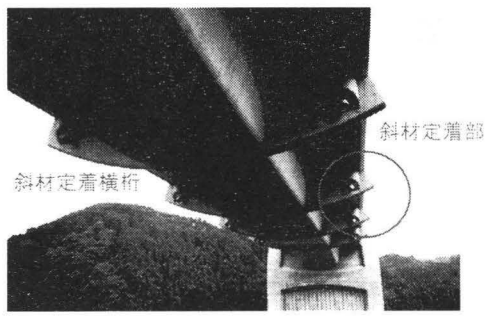
住友建設株式会社　瓜生正樹

斜張橋の構造系が非対称な構造をしていることから、A2側には重量1400tものカウンターウエイトを有しております。コンクリートの固まりが地面からぽっかり浮いております。



カウンターウエイト桁

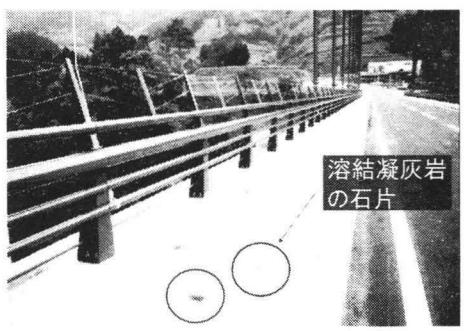
先程説明しました斜張橋主桁斜材定着部の円弧状の横桁です。丸い部分が斜材の定着部です。



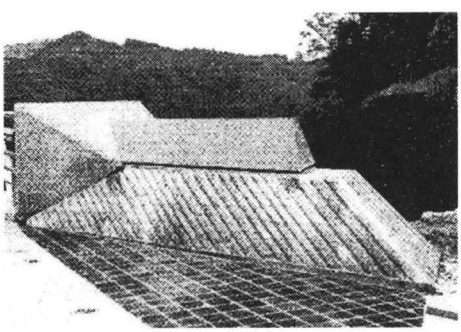
横桁斜材定着部



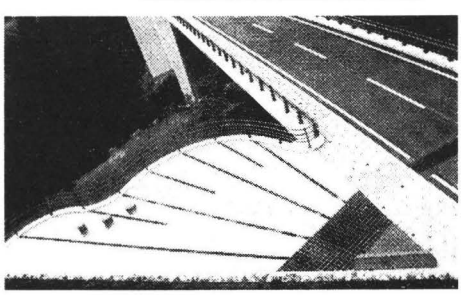
斜材の全景です。
光の当たり具合によって、主塔のこちら側と向こう側とでは、斜材の色がまったくことなったようにみえます。



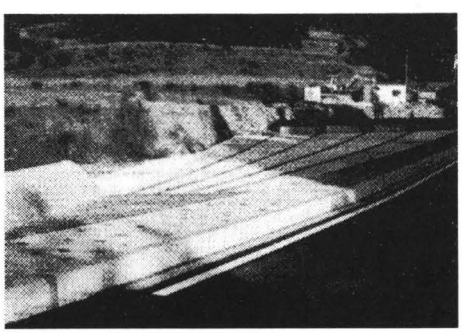
歩道部舗装・高欄



歩道部の舗装です。コンクリート舗装の中にひとつひとつ人力によって溶結凝灰岩を埋め込みました。この辺のデザイン、施工方法につきましては、大野先生と現場と密に意見交換をしながら施工した部分です。



先生から、いろいろとデザインのfaxが送ってきて、現場で検討や一部試験施工をやり、その結果をまた先生に連絡すると言った具合です。



この辺の施工も同様に先生と意見交換を行いながら、施工を進めて言ったところでしょうか。たとえば、親橋柱にしても表面素仕上げにしても、コンクリートを洗いだして、素材感を出すという一先生のイメージに対し、当方としては、どのようなやり方をすればわからず、遅延材の量を変えたり、水で洗い流したり、サンドブラストをかけたり人力ではつって見たりして、いろりろと施工方法を変えて試験施工を行い、先生と協議しながら施工しました。

講演Ⅱ　朧大橋

株式会社建設技術センター　武末博伸

紹介いただきました　株式会社建設技術センター　技術部の武末と申します。
講演Ⅱの「朧大橋」についてご説明いたします。
朧大橋は、
　平成7年度に橋梁タイプの決定
　平成8年度に詳細設計を行い。
　平成9年度から平成13年度にかけて、工事を行いました。
　そして、去る平成14年3月31日に竣工式が行われました。
朧大橋を必要とする道路は、一級町道下横山東西線と称しまして、過疎代行事業として、福岡県が工事を行いました。
橋梁の橋種選定から、主要部材の決定まで一連の検討は、今日お見えになっておられる、東京大学の篠原修教授の指導を仰いで行いました。



完成した朧大橋の上空写真です。
アーチアバット設置のための地山掘削がそのままになっていますが、今年度で施工前の茶畑に埋め戻す予定となっています。
先月末には、平成13年度の「PC技術協会賞」を受賞いたしました。

説明の内容としては、橋梁構造デザインと高欄デザインについて行いたいと思います。
橋梁本体の説明が終わりましたら、高欄担当の住軽日軽エンジニアリングの担当者の方にバトンを渡したいと思います。

朧大橋説明内容

- **橋梁構造デザイン**
  - **・現地案内**
  - **・デザインのﾃｰﾏ**
  - **・主要部材のデザイン検討**
  - **・写真による朧大橋の案内**
  - **・評価**
- **高欄デザイン**
  - **・デザインのテーマ**
  - **・デザイン検討**
  - **・写真による高欄の案内**

橋梁構造の説明の冒頭で、朧大橋の建設に至った経緯、周辺環境並びに観光施設などを御説明し、それから構造デザインの検討経緯、写真による現地案内、最後に、現時点での評価の順で説明いたします。

建設地の案内ですが、この会場は福岡市の中心市街地でありますが、市の東側に「九州縦貫自動車道路」が走り、熊本方面へ約30分走りますと、久留米インターチェンジがあります。

朧大橋の建設地は、その東側の、筑後川県立自然公園区域に属しまして、春の「さくら、つつじ」 秋の紅葉とすばらしいところです。また、耳納山地の頂上を走る「耳納スカイライン」から見下ろす景色は、まさに絶景であり、朧大橋も中腹に位置することから、その借景をうける橋となります。

建設地の背景

ほたる　石橋　茶 ……▶ 上陽町

建設地付近は「福岡県立筑後川自然公園区域」に属し、耳納山脈を借景とする緑豊かな自然に恵まれた景勝地の中にある。

朧大橋はその中腹にある"広川渓谷"を跨ぐ橋長293m(ｱｰﾁｽﾊﾝ172m)の長大ｺﾝｸﾘｰﾄｱｰﾁ橋であり、奥八女観光地(上陽町、星野村、黒木町、矢部村)の玄関口に位置し、年間約100万人の訪問者を迎える場である。

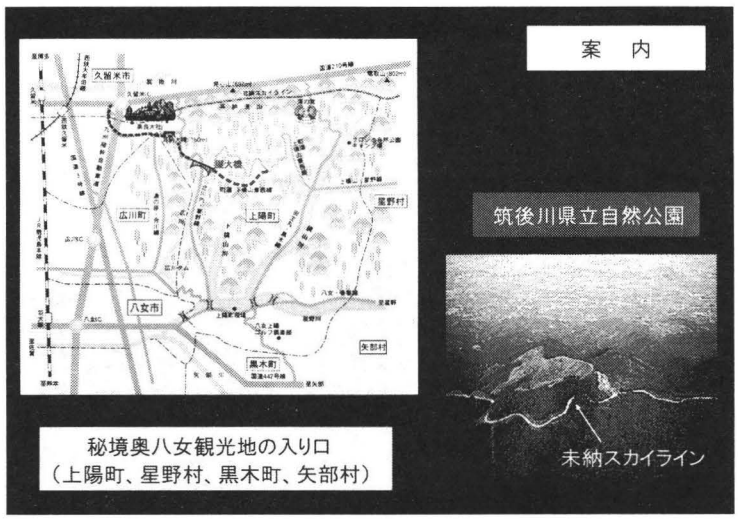
架橋位置の福岡県八女郡上陽町は、あの肥後の名工が造った石橋が多数存在し、中でも町の中央を流れる清流・星の川には1連～4連の石橋が今も健在で、重量化する車両荷重に対しても大きな変形も伴わず、十分その役目を果たしている。

一方上陽町は、過疎地域自立促進特別措置法による指定町であり、過疎活性化が大きなﾃｰﾏである。このような状況を踏まえ、石橋をｱﾋﾟｰﾙするために、まちづくりのﾃｰﾏを「ほたると石橋の里・上陽」と掲げ"ほたると石橋の館"をはじめとする施設を充実させるなど村おこしに余念がなく、最近では町の総合計画の中で、ｼﾝﾎﾞﾙ事業を立ち上げ、新たに「多様な交流が生まれるまちづくり」を命題に、"朧大橋、橋のたもと公園とふるさとわらべ館"の整備を推進し、現在供用を開始している。

講演Ⅱ　朧大橋

株式会社建設技術センター　武末博伸

上陽町、星野村、黒木町、矢部村の4町村が奥八女観光地として静かなブームをよんでおり、朧大橋の架橋位置は、そこにこられる訪問者の、ウエルカムゾーンにあたります。



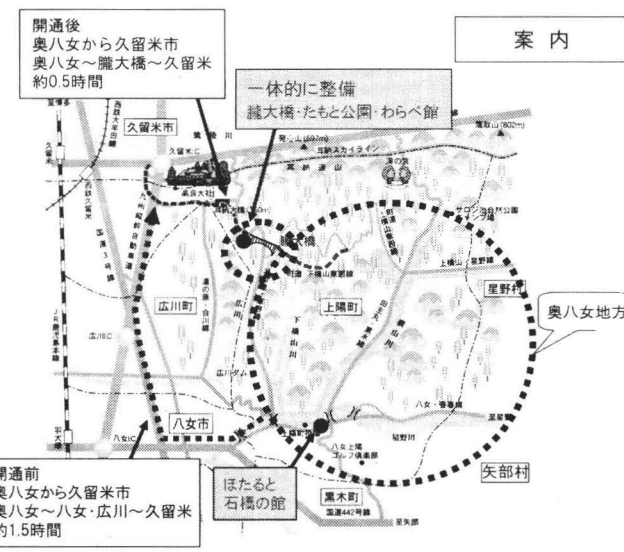
朧大橋を必要とする路線ですが、前に説明しました観光用道路としての役割の他に、近隣都市圏である久留米市を短時間で結ぶ大きな役割があります。

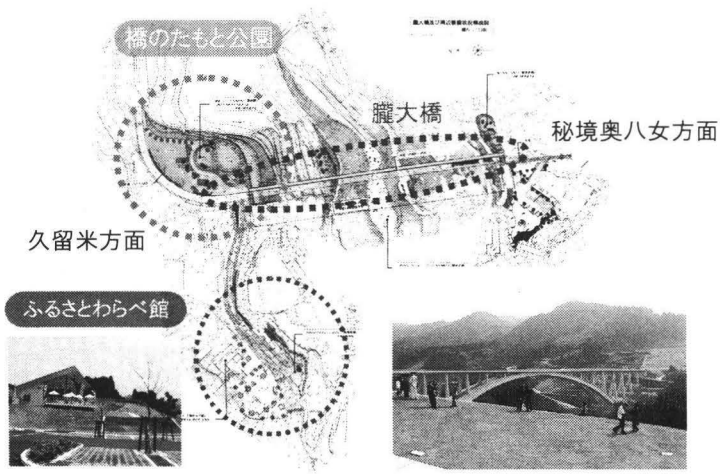
総合病院との連携による緊急医療体制の確立、生鮮食料品の早期搬出、さらには、都市圏まで1時間以内で連絡することによりまして、通勤、通学圏内の拡大を行い、高齢化、過疎化が進むこの地方に最終的には、若者の定住を図って活性化することを大きな期待を寄せている道路です。

朧大橋の位置と周辺施設計画について説明いたします。

朧大橋から約200mの位置に「ふるさとわらべ館」が、朧大橋の竣工式と同時にオープンしました。その「ふるさとわらべ館」の施設内容については、後ほど説明いたしますが、芝生広場から朧大橋が望めます。

橋のたもと公園は、前に説明しましたように、奥八女観光地の玄関口となることから、100万人の道の駅を目指し、とりあえず、展望所の他に、駐車場、トイレを整備する予定であります。





このなかに、朧大橋の構造概要、施工要領を示した案内板を設置する予定です。

講演Ⅱ　朧大橋

株式会社建設技術センター　武末博伸

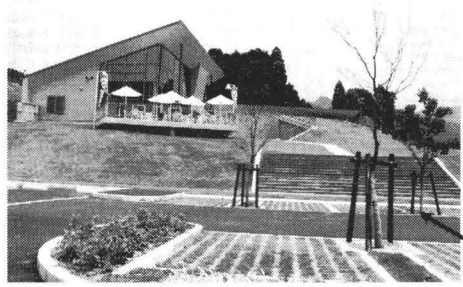
朧大橋の位置と周辺施設計画について説明いたします。

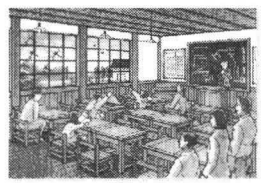
朧大橋から約200mの位置に「ふるさとわらべ館」が、朧大橋の竣工式と同時にオープンしました。その「ふるさとわらべ館」の施設内容については、後ほど説明いたしますが、芝生広場から朧大橋が望めます。

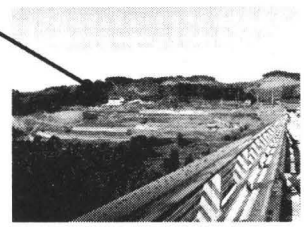
橋のたもと公園は、前に説明しましたように、奥八女観光地の玄関口となることから、100万人の道の駅を目指し、とりあえず、展望所の他に、駐車場、トイレを整備する予定であります。

このなかに、朧大橋の構造概要、施工要領を示した案内板を設置する予定です。

上陽町の観光施設
（ふるさとわらべ館）



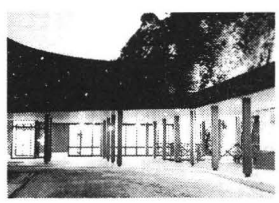




朧大橋のたもとに、朧大橋と同時に竣工しました「ふるさとわらべ館」です。

上陽町の観光施設
（ほたると石橋の館）





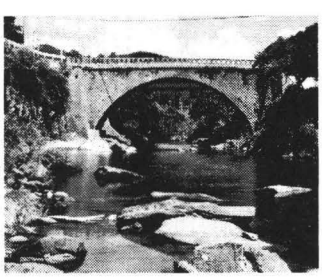
交流施設としましては、昔の教室を再現されたり、昔の遊びであります、べーこま、ゴムで玉をとばすパチンコなどなつかしい遊びが出来ます。

また、地元で採れた農産物を使った田舎料理も好評です。

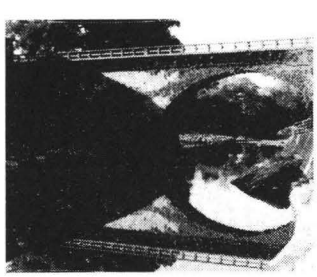
石橋群の2連石橋である「寄口橋」のたもとに「蛍と石橋の館」が平成12年にオープンしています。
施設内容としては、蛍成育の過程、石橋の案内コーナーがあり、洋風のレストラン、産物直売所が併設されています。

また、八女郡のお茶は、八女茶が有名ですが、その中で、上陽町では、サンライズ上陽という「第三セクター」を立ち上げ、上陽茶として売り出しに懸命であられます。

上陽町の石橋群



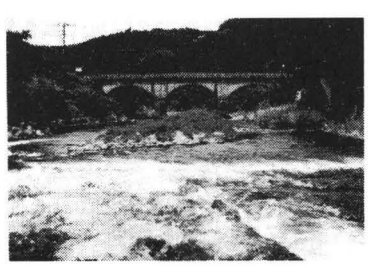
洗玉橋



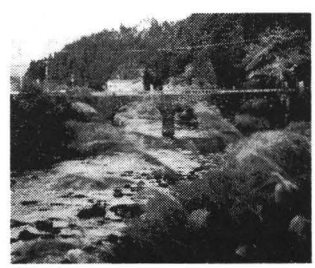
寄口橋

特に1連の洗玉橋は、通潤橋、熊本城でおなじみの“さや石積み”が施されています。

町の中央を流れる清流星の川に架かる石橋群です。



大瀬橋



宮ケ原橋

講演Ⅱ　朧大橋

株式会社建設技術センター　武末博伸

現地案内は、これくらいにしまして、橋梁デザインについて説明いたします。

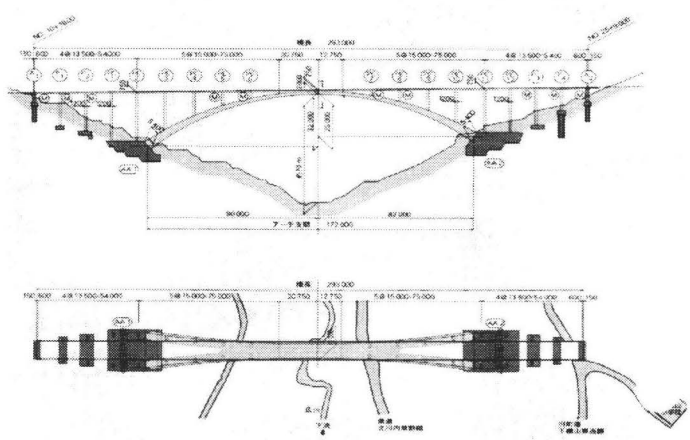
すこし見にくいですが、朧大橋の構造です。橋長293m　アーチスパン172mで橋面から谷底まで70mあります。側面的には、一般のアーチ橋と同じですが、平面的にみれば、アーチリブが途中から平面的に拡幅し、アーチスパンの約1／4地点から2つに分岐しています。ちなみに、アーチバット幅（約20m）は、分岐のために広くしたわけではなく、分岐しなくても、地盤反力から必要となった幅です。

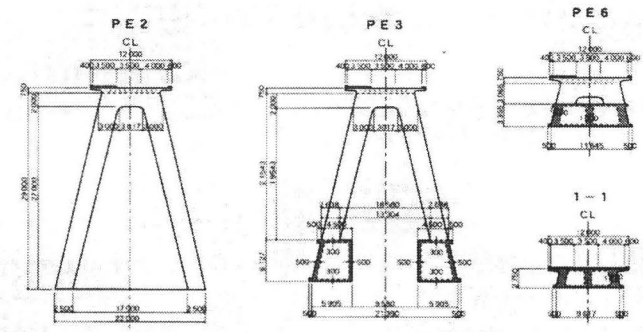
アーチリブを分岐したことにより、補剛げたとアーチリブを連絡する「鉛直材」は「π字形」としています。
上路式のコンクリートアーチ橋で、アーチリブを分岐し、このようなパイ字形の鉛直材を要した橋は、他に例がありません。

【アーチリブ】
アーチスパンの1/4地点付近からアーチスプリンキング方向に平面的に曲線で拡幅し、ムダとなる中央部の部材を省いた。
平面曲線は、アーチリブの鉛直方向曲線（ハイパボリュック曲線）と同じ曲線を採用し、バランスをとった。

【補剛桁】
桁下空間を出来るだけ確保するため、PC構造とし、薄く設定した。

構造の一般図





デザイン・テーマ

「過疎活性化を促すように、秘境奥八女観光地の玄関口として、さらに石橋の里・上陽の歴史の一頁として永年に耐えるデザイン」

篠原修東京大学教授の指導のもと、模型、図面等を使用し、繰り返し検討を行った。

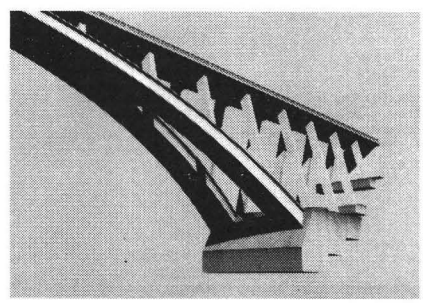
・橋梁構造形式の選定
経済性、構造性等の定量的な評価に加え、地域住民の要望（石橋のイメージ）を総合的に判断して、鉄筋コンクリート固定アーチ橋を採用した。

・デザインテーマ
JH等でよく採用されている構造と比べた場合、橋梁幅員が狭い（11m）ために、平面的イメージで躍動感に欠ける。
テーマとして“躍動感＝立体感”を掲げ、過疎活性化の起爆剤として寄与するようにした。

【鉛直材】
アーチリブを平面的に拡幅させているため、補剛桁とアーチリブを連結する鉛直材も、構造上無理が生じないπ字形に設定した。（あらゆる視点から見て、桁下空間の確保が可能となった）

主要部材のデザイン検討

“躍動感＝立体感”



最終的には、構造上（特に耐震面）無理があるデザインは、視覚的にも無理があると考え、力の方向キッチリと表現した方が、スレンダーで躍動感が演出できるものと考えた。
結果として、無駄な構造が省け、経済性、構造性にも寄与した。

講演Ⅱ　朧大橋

株式会社建設技術センター　武末博伸

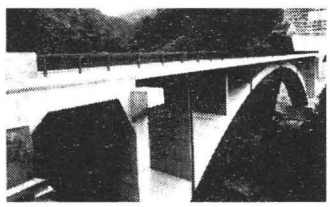
アーチリブを分岐せず、鉛直柱も壁式で処理した橋と、「朧大橋」の比較です。
鉛直柱の壁により視界がさえぎられない、躍動感のある橋となりました。

結果として、メタルのアーチ橋のようなイメージでもあります。

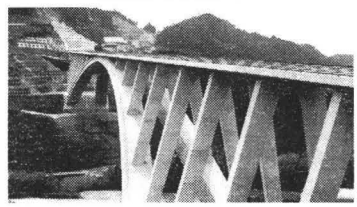
採用されなかった案です。
この案は、サイドスパンを充腹式にし、石橋のイメージを残す案として提案しましたが、桁下空間が少なく、又、暗く、圧迫感があるとの指導を受けました。

周辺地形とのボリューム、バランスを「ホワイト模型」により検討しました。

主要部材のデザイン検討

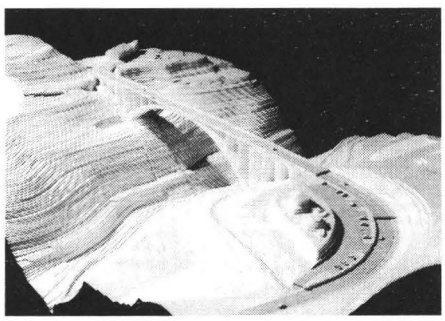


事例
アーチリブ　拡幅無し
鉛直柱　　壁式



朧大橋
アーチリブ　平面拡幅分岐
鉛直柱　　π字形
（橋軸方向にも空間が確保されている）

比較案の紹介（1例）

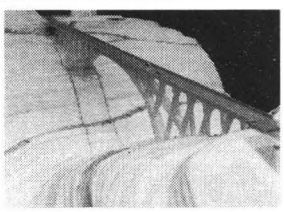


比較案

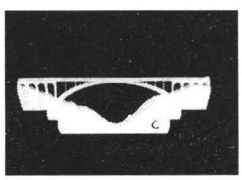
アーチリブ上部　：開腹式
側径間部　　：充腹式

↓

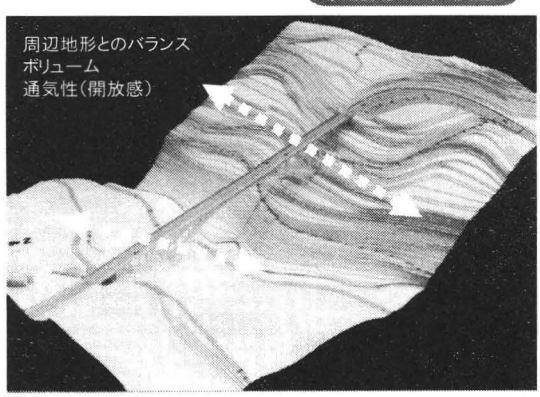
桁下空間が少なく、圧迫感が感じられる。



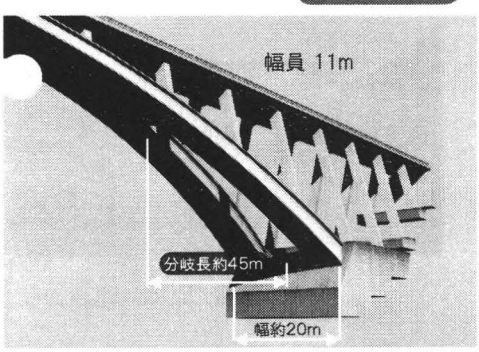
採用案



検討用ホワイト模型

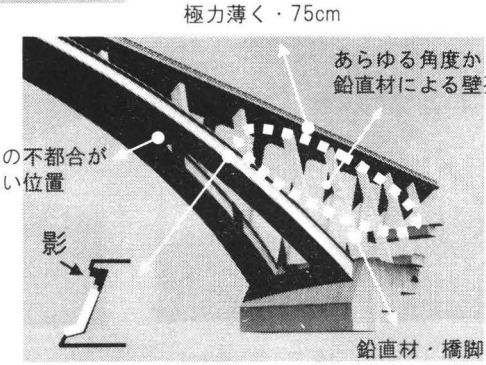


検討用模型



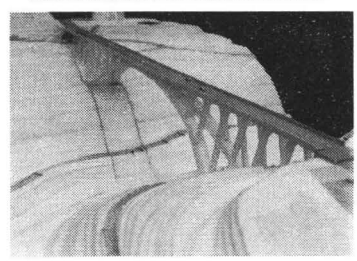
ファイバースコープにより実際の人間の目にあわせ、あらゆる角度からみてみました。アーチバットは地中部に埋め込み、基の地形に戻すことを確認しました。

補剛桁幅員11mにたいし、スプリング部の総幅は約20mあります。分岐開始部は、スプリングから約45mの位置です。



アーチリブ側面形状

ファイバースコープによる検討





講演Ⅱ　朧大橋

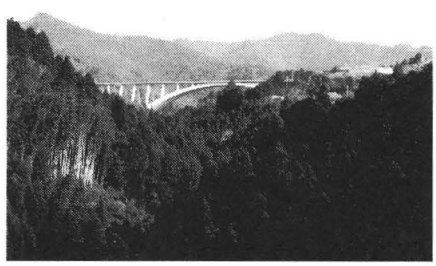
株式会社建設技術センター　武末博伸

検討結果を、シュミレーションして、最終確認を行いました。

橋の下には県道がありまして、それから見上げた眺めです。

ここからの眺めは、特に躍動感が伝わってきます。アマチュアカメラマンの方がよく撮られる方向です。

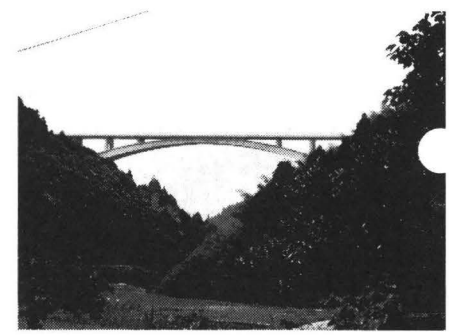




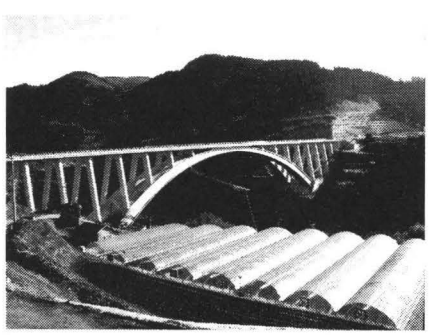
下流側500m地点から



下流側　300m地点から



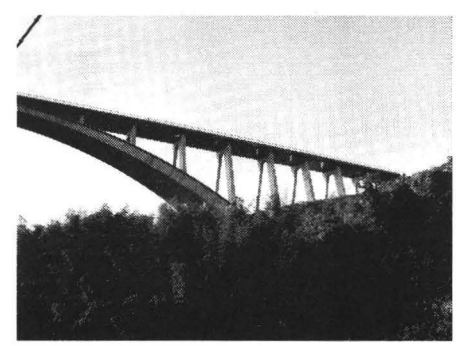
上流側　200m地点から



下流側右岸　展望所から



橋下　県道から

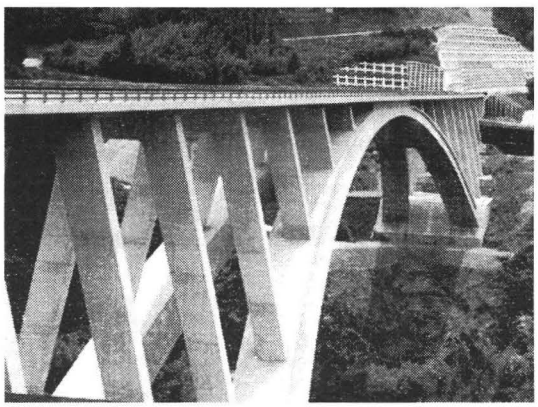


橋下　県道から

講演Ⅱ　朧大橋

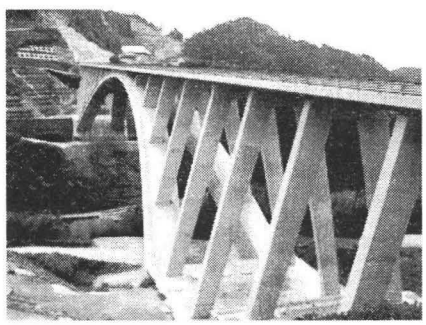
株式会社建設技術センター　武末博伸

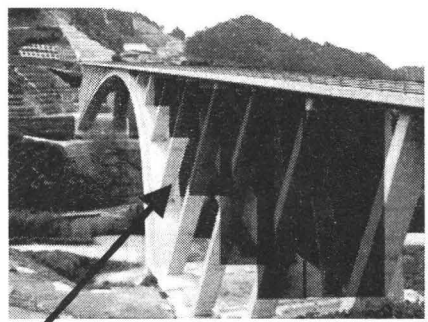
アーチリブ、鉛直材が大きな部材で構成されていないため、視界を阻害していません。



逆の方向からみたものです。
この方向で、よく採用されている鉛直材、ｱｰﾁﾘﾌﾞを採用した場合の視界がどうなるか試してみましょう。

わかりにくいのですが、黒くしたところが通常の鉛直柱とすれば、対岸の景色は目に飛び込みません。



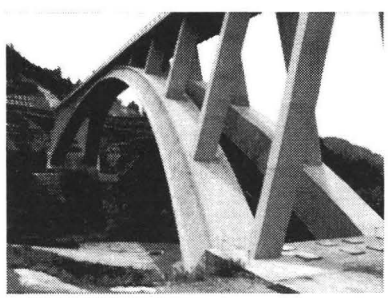


通常の壁式鉛直柱
桁下の視界が無くなる
（門形でも極小の視界）

立体的という表現は、出来るだけ小さい部材で、空間を多く要していることではないかと完成した今感じております。

このデザインの主旨を施工者にも十分理解してもらい、丁寧な施工を行っていただきました。おかげで、検討時点で期待していた「影・陰影」がよく演出できます。

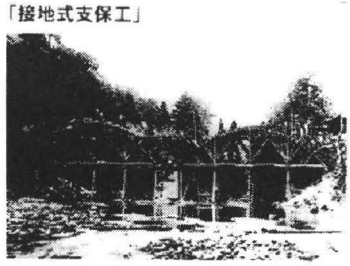






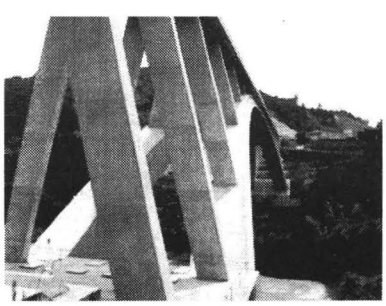


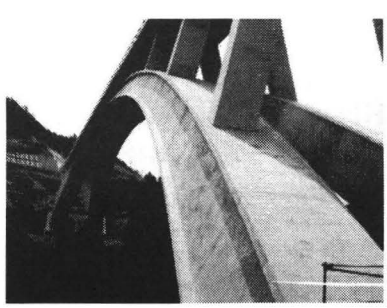
「接地式支保工」



1920年　寄口橋（上陽町の石橋）

この方向は、平成14年度に工事します「茶畑・観光農園」からの眺めになります。

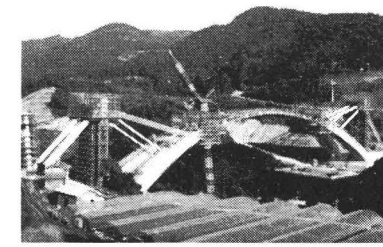




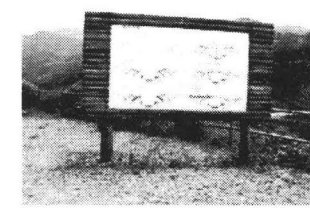
講演Ⅱ　朧大橋

株式会社建設技術センター　武末博伸

（現時点での評価・竣工を迎えて）
５年程前、星野川に架かる４連の石橋（宮ケ原橋・寄口橋）の約100年前の工事写真が見つかり、石橋工事の大変さが身にしみて感じた。
朧大橋でも、４年間の長期にわたり、産みの苦しさと完成の喜びを地域の人々に理解してもらうことも使命と考え、現地を開放してきた。
平成14年3月の開通式では、みんなで難産を成し遂げたような表情が今でも忘れられず、確実に上陽の一頁に刻み込まれたものと確信した。

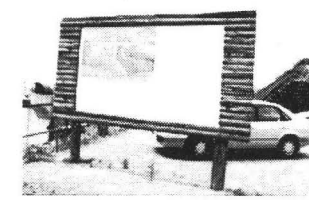


カメラを片手に訪れる観光客に感想を聞けば「かっこいい橋」との意見が多く、“どういうふうに”との問いかけには、「綺麗」「スマート」「モダン」「スタイルの良い女性的な橋」などの答えが返ってくる。
人がみる感覚は個人差があるものの、一般的にいう「かっこいい橋」と思う共通点は、「構造的にムダが無く、スレンダーで躍動感のある橋」であると実践を持って感じた。



最後に、「おぼろ月夜にウサギが飛び跳ねるイメージ」はデザイン検討時のコンセプトではなく、結果としてそういうイメージを人々が想像したことをここに付け加える。

朧大橋は、全130箇所に測定用のプリズムや応力計を設置し、変位、応力を瞬時に、かつリアルタイムでパソコンを介して情報が得ることが出きる、情報化施工を実現し、みごと高精度で無事故で完成しました。



しかしながら、近代土木技術を知らない地域の方々は、現場で手作りで行う状況は、石橋の工事状況と同じに見えたのか、とても心配そうな目が多かったように感じました。

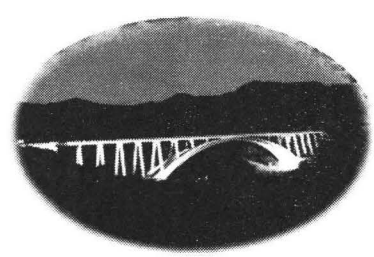


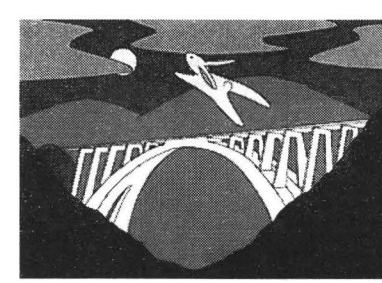
そのことから、朧大橋を確実に上陽の歴史の１頁に入れるためには、工事の状況・大変さを伝え、後世に残すことが大きな使命と考え、今では大工事には当たり前になっていますが、見学所、工事案内板を設けました。

この工事案内板は、今年度工事します「橋のたもと公園」に設置します。

地元のおばあちゃん達です。
「竣工式の渡りぞめ」をされる笑顔がとても印象的でした。

試験的に行ったライトアップの状況と人々がえがくイメージです。このように、朧大橋は、単に躍動感ある橋にとどまらず、地域の活性化に大きく寄与していくものと期待します。





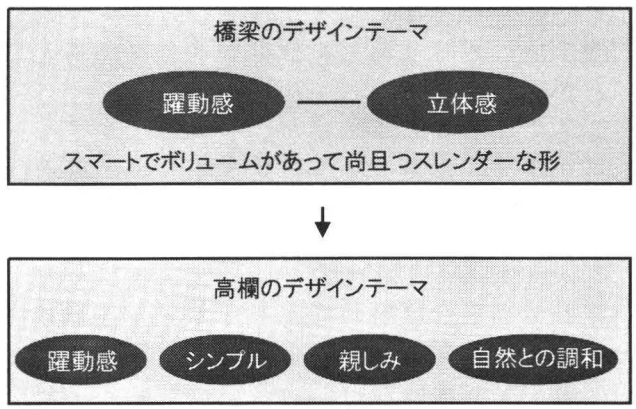
講演Ⅱ　朧大橋

株式会社住軽日軽エンジニアリング　野中徹　吉村満

１回目の高欄デザインです。
橋梁のデザインテーマである「躍動－立体感」を受け、動物の飛び跳ねる様子、軌跡を意識し曲線の連続性を強調していくことで「躍動感・楽しさ」を表現したデザインでした。

しかし、高欄デザインの装飾的な要素が橋梁全体のどう影響を及ぼすかという視点で側面からのパース等でも検討し、橋本体のもう一つの大事なコンセプトである「シンプル」という点にそぐわないという検討結果に至りました 。

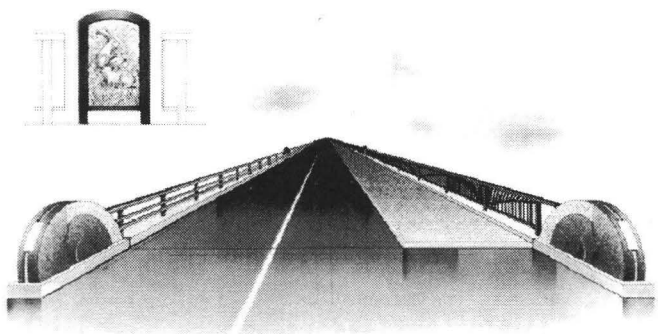
デザインテーマ



側面からのパースによる検討

高欄デザインの装飾的要素が橋梁全体にどう影響を及ぼすかという側面からのパースでの検討。

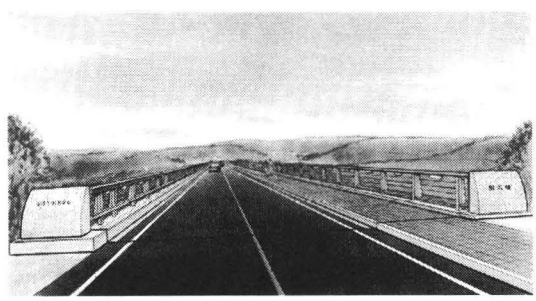
最終的に決定されたデザインはこのパースに描かれているものですが、パース図だけでは解からない部分もあり、原寸大の模型をつくり、橋を利用する人々が・・「親しみやすく」「もたれ掛け易い」「戯れ易い」笠木の形状を確認したり、又外側の横桟の連続性が表現できるかというところも確認していきました。

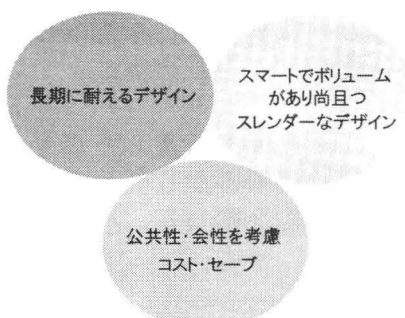


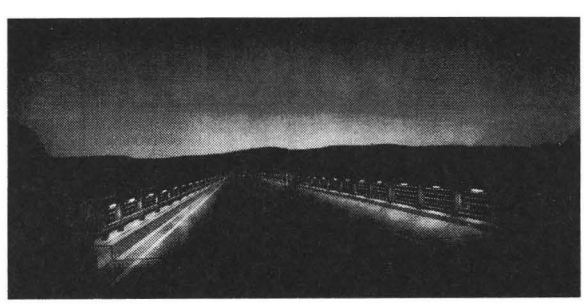
橋梁のデザインテーマ『躍動―立体感』を受け、
動物の飛び跳ねる様子、軌跡を意識し『躍動感・楽しさ』を
表現したデザイン。











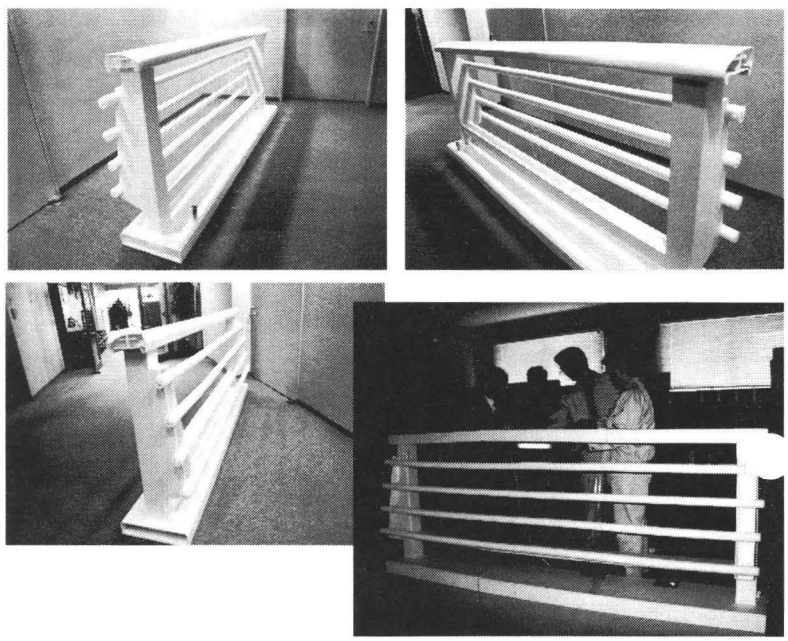
講演Ⅱ　朧大橋

株式会社住軽日軽エンジニアリング　野中徹　吉村満

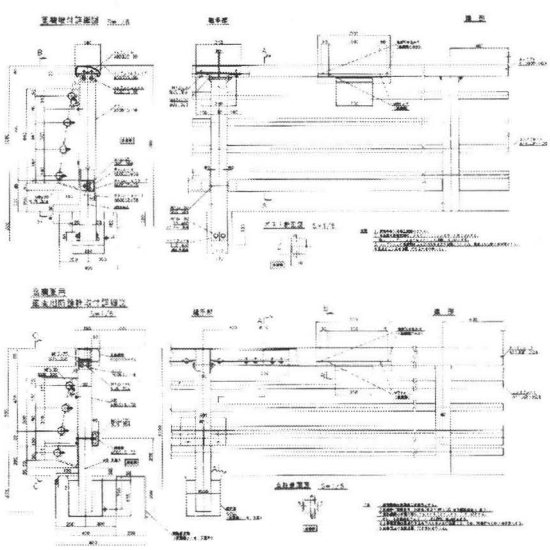
全体は本当にシンプルな丸パイルによる横桟のデザインですが横桟を外側で下方にいくにしたがい更に外へ広げていくことで高欄全体にボリュームと立体感を持たせることが出来ました。
加えてこうする事により、子供等に対する足がかりにもなりにくく安全性にも配慮されたデザインとする事が出来ました。

笠木を含めた５本の横レールの連続性が橋梁本体のもつ躍動感のあるデザインを壊す事なく、橋梁と一体感をもったデザインの高欄になりました。

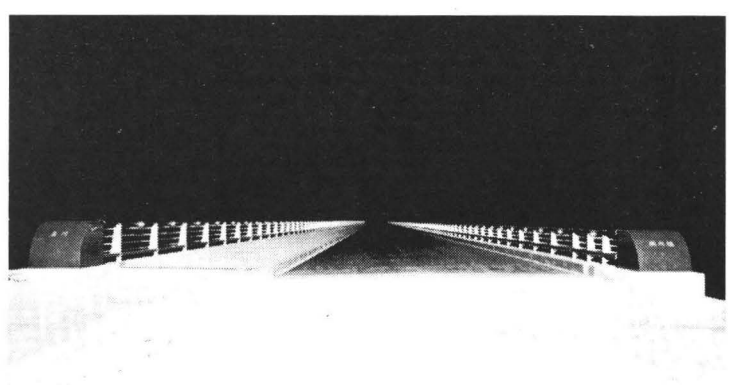
原寸模型によるディテール等のデザイン検討



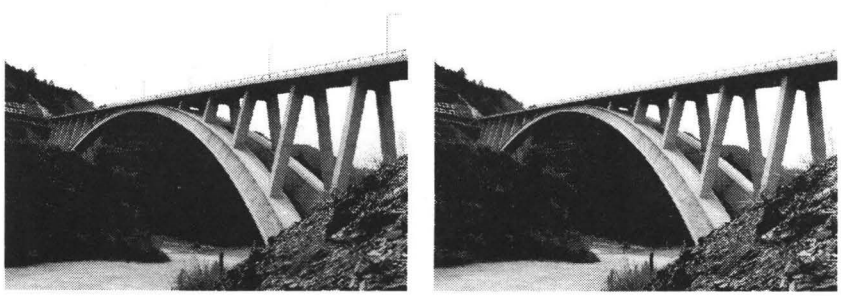
最終的な高欄と車両防護柵の基本図



これが最終的な高欄(上)と車両防護柵(下)の基本図です。
主要部材が異なる二種の防護柵も４本の横レールを同じように取り付けることで車道側、歩道側のデザインの統一性が図られています。



照明ポールを設置した場合としない場合の比較



高欄に照明を取り付け『スマートでボリュームがあり、なおかつスレンダーなデザイン』の完成

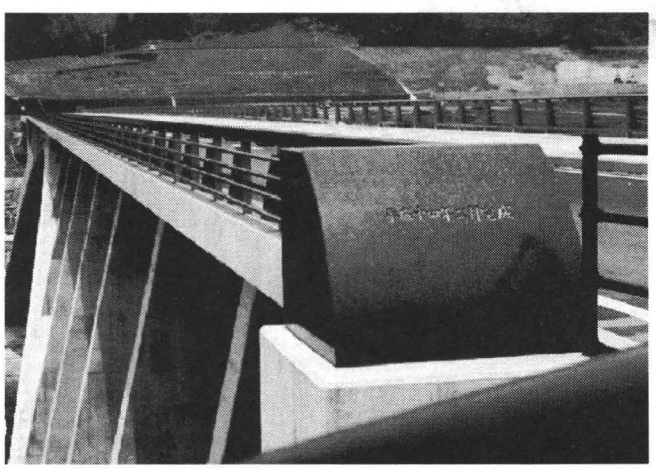
ポール式照明を設置した場合と、高欄に埋め込み外から見えないようにした場合の比較です。

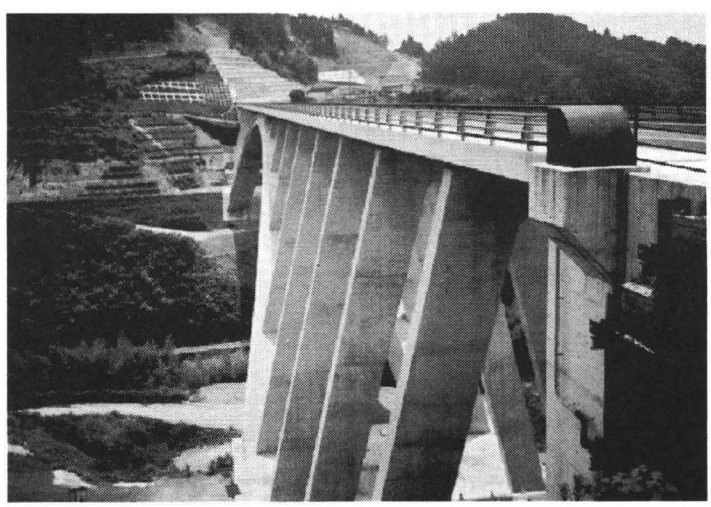
講演Ⅱ　朧大橋

株式会社住軽日軽エンジニアリング　野中徹　吉村満

最後に高欄が設置された現場の写真ですが、原寸模型で確認検討した「親しみ易く、もたれ掛りたくなる様な笠木」など模型での検討が充分製品に活かされて設置されているのを見て大変満足しています。

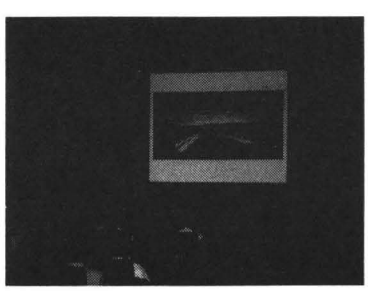


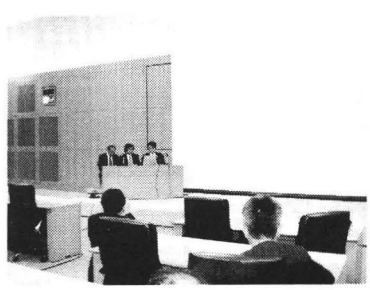






左から吉村氏・野中氏・武末氏





パネルディスカッション

篠原修 佐藤優 大野美代子 瓜生正樹 武末博伸 野中徹 吉村満

篠原修（東京大学教授）



皆さんこんにちは、紹介いただきました東京大学におります篠原です。これから１時間ほどパネルディスカッションということで進めていきたいのでよろしく御願いいたします。先ほど、プレゼンテーションをされた方に九州芸術工科大学の佐藤先生にも参加して頂きましたのでご紹介いたします。佐藤先生よろしく御願いいたします。

なぜ、このようなシンポジウムを博多にて開催することになったかを、少し説明いたしますと資料のP40からの、景観材料推進協議会の案内の中の組織として地域事業推進委員会があります。景観材料推進協議会では、地域ブロック別に景観の向上に役に立つ製品を、何とかして地域に浸透させたいということで活動を行っていたようです。ある時、景観材料推進協議会の方が私のところに参りまして、こういうことをやっているのですが、どうでしょう。こういうことというのは、ハウスメーカーで言うと、モデルハウスをつくり購買者に見せているわけですが、そういうものの景観材料版をつくって、まあ、広場をつくったり、照明を建てたり、舗装したり・・・ということをやっていたようです。私は、それはそれで良いのですが、そうではないことをしましょうと、つまり今日の話、前半の２つの話もそうでしたが、何かものをつくる場合、最初役所のほうで調査、計画を行い、その後、実際にものをつくる段階になりますと、建築の設計事務所、あるいは今日の橋の例で言いますと、橋のコンサルタント、また大野美代子さんのようなデザイナーにも入ってもらって設計を行う。その後、今日は奇しくもたまたまでしょうが、２つの橋とも住友建設でしたが、そういう建設会社に発注するというスタイルになっているわけですが、その実情を見てみますと、私も15年ほどデザインをするようになりまして、よく分かっているのですが、実際にものを計画する役所サイドと、設計を担当する人との会話はあまりなく、また設計する人と、今日の橋の場合ですと、建設会社や、高欄や照明を提供する製品メーカーの人との会話もあまりない。ということで、簡単にいうと、各々が与えられた仕事を、バラバラに行いながら、最終的にものが出来てしまう。これはどうもおかしいのではないか。多少付き合いがある、ヨーロッパなどで橋や建築をしている建築家やデザイナーに話を聞くと、例えば、関西空港を設計した人の事務所には、常日頃からメーカーの人が来ていて、デザイナーの「こういう構造をつくりたい」という要望に対して、メーカーの人が「こうすれば良い」といった意見を言ったり、また、メーカーからの「新しい技術を開発したので、デザインに使えないか」ということで相談に来る。そういったことで水準の高いものが出来ている。そういったことが前から身にしみて分かっていましたので、協議会の方から相談に来られた時に、ではデザイナーとメーカーが、あるいはデザイナーとコントラクター（ものをつくる建設会社）が一緒に議論できる状況を作り出せないかということで、去年1回目を東京で開催しました。これはなかなか好評でありました。

観材料推進協議会は平成2年に発足したということですが、私のほうも景観デザイン研究会という任意団体、主として大学の個人、設計事務所、ゼネコンのエンジニアが集まってずっと勉強会をやっています。これは大野美代子さんも入って頂いております。私がやっている方の人間と、景観材料推進協議会に参加されている会社の、主としてメーカーが共同して一緒に議論できる場を作りましょうと、今日もそうですが、第1回目も双方から、お気づきになったと思いますが、デザインする側と実際にものをつくる側、両者で一緒に行ったものについて、同じ土俵で議論するということをやるようになりまして、今日が2回目でございます。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

こういった輪が広っていくことで、最終的に出来上がっていく製品なり、作品、もう少し広くいいますと都市環境が良くなっていくのではないかと考えて、こういう会を持ちましょうということで、この会をもつ事となりました。今日は橋の話でありましたが、後ほどひとりの聴衆として私も聞いていましたので、講演された方々に私のほうから質問して、それに答えて頂きたいと思います。



その前に、佐藤先生から発表があり、前の2つの講演と、佐藤先生の発表を加えて議論していきたいと思います。また、最後のほうにせっかく来て頂いている会場の皆様から質問やご意見を頂きたいと思います。では佐藤先生御願い致します。

佐藤優（九州芸術工科大学教授）

佐藤です、こんにちは。河岸のアイランドパークの作業が進んでおりますが、私はかねがね土木の人はセンスが無いから、なんてことをお話しておりましたが、河岸の話と少し絡んできて、篠原先生に講演をして頂こうということで、九州の景観材料研究会（景観材料推進協議会の九州地区部会にて開催している研究会）を九州芸術工科大学にて開催させて頂いて、少し刺激を与えなければならないかな、などと思いながら、講演を聴いていると、篠原先生から最近の土木は違うよと大分窘められまして、先生の話を伺っているうちに、その認識をまったく改めました。本当に大きく変わってきているのだなと、今日の講演のように計画と実行、技術が一体となってやっていかなければならない、まったく新しい潮流を感じました。特に今日紹介して頂きました、変則的な斜張橋であるとか、影に配慮している橋であるとか、そのような細かいところまで配慮が届いているような、そういう土木の新しい考え方に触れまして、これからは少し話すことを変えようかなと思っている次第です。

ところでさらに細かいところで私が関係しましたことをご紹介したいと思います。まずドライバーにも、住民にも不評な高速道路がございます。挙げ句の果てに防音壁がトンネルのように覆いかぶさってしまっているという例があります。それで、芸工大の先生が音を吸い寄せるような遮音壁の上の構造体を考えまして、それを用いますと、覆うタイプの遮音壁（防音壁）と比べても、効果があまり変わらないことがデータにてお分かりになると思います。むしろ効果が良いくらいです。これを使うと、覆うタイプのものと比べて、かなり高さが抑えられます。高さが抑えられて、軽量化しますとデザインの可能性も広がってきます。これは現実に福岡で使われています。

ドイツの遮音壁の例ですが、遮音効果は別として、こういったデザインの可能性も広がってきます。

福岡の高速道路の例で見ますと、下部の構造体は九州大学の土木の先生が出来るだけ圧迫感が無いようにと考えられたもので、上部は九州大学の建築の先生と私のほうで、スレンダーな形でしかも色が福岡の都市の色に溶け込むような感じで検討しています。それから遮音壁は芸工大の音響設計学科の先生の工夫で、下のランドスケープはやはり芸工大にいた先生によるもので、皆さんが力を合わせてこういったものづくりを行うことで、新しい形が出来上がってきました。また、その背景には、技術の方々の努力が沢山あります。そうして知恵を集めて、ものを作り上げていくことが大切であると思います。特にこの設置場所は住民の反対運動が厳しいところで、そういう人たちも私たちの熱意を、やっている様子を見ながら納得して頂いたという経緯もありました。それから、視覚的配慮から改善していく方法もあります。これは、現状の高速道路の一部で、とても汚い状況ですが、普通一般的にはこれをきれいにして、ラインを引くという方法が使われます。しかし、圧迫感は改善されません。そこで、空の色等も考えながら、色の配色を行うだけで大幅に改善されるのです。高速道路はそういった当たり前の事を行えていないというのが現状です。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

これは福岡に新しく出来る海の中道大橋ですが、このペイブメントについて考えたいというのですが、当初考えていたデザインがどうしても納得してもらえないということで、実際に現場での簡易シュミレーションを行い、周りの景色、景観にあったものを現在提案しております。



それからアイランドパークで、ガントリーをもっと目立たなくしたいと言われたのですが、それは違うのではないか、公安機能というのは大事な機能なのでもっとしっかりとダイナミックに見せなければいけないと考えて、可動部分を派手な色にして、そうでない部分を穏やかな色にする計画をしました。

もう一つ紹介したいものがあります。今度農水省から委託されて、農村の色彩の研究をしていたのですが、その成果がまとまりまして、農村には様々な色彩がありますが、それをうまく調和したい、今までは都市の論理で作られていたのではないか、ということで農村の色彩を調べて、計画に結び付けようというソフトグラムを開発いたしました。これは、簡単に出来るように写真からその色彩分布をカラーパレットにて表示することができ、それによりこの場所ではこういった色が使われているということがわかり、それを用いてどんな色が合うのかということが分かります。

こういう風に、技術とデザインが一緒になることで、また新しい展開があるのではないか、より人間に近いような関係が出てくると良いと考えています。

篠原

どうもありがとうございました。それでは、これから議論に入っていきたいと思いますが、先の講演にありました瓏大橋は私も関係しておりましたので補足を致しますと、武末さんが言われたように、検討期間は普通に比べると短かったと思います。普通は大体1年から1年半は検討期間があるのですが、実質半年くらいでした。そして、普通は検討委員会を東京で行うときに関係者は当然参加するのですが、今回は県の仕事でしたので、県の方、地元の町の担当者、設計を担当していた武末さんの会社の方と、その中に、実にいつも不思議に思っていたのですが少し年をとった方が参加していまして、最初は驚いたのですが、それが上陽町の町長の牛島さんでした。こういう委員会に市長や町長が来るということは本当に珍しい事で、それだけ町長さんはこの橋に対する思い入れが強かったのだと思います。

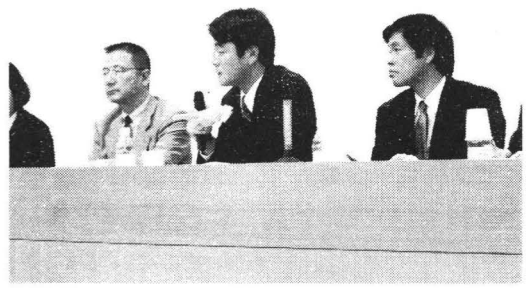
瓏大橋は、設計が武末さんの会社がやっていて、工事は住友建設、そして上部工の高欄や照明については住軽日軽エンジニアリング、それでなくてもゴタゴタするのに私みたいな人間が入ってああしろ、こうしろ、あるいはこれはだめだ等と言って大変だったと思いますが、まず武末さんにそういう仕事は今までに無かったと思いますが、私とやりだしてまず最初の頃を思い出して、どういった事をお感じになったかということと、それから先ほど説明がありましたが、橋本体の設計をしている時は、景観材料メーカーは多分入ってなくて、途中からもうそろそろ高欄や照明をするから参加するということになったと思いますが、それは何時頃の段階からなのか、また武末さんとどういった議論をしたのか。少し説明がありましたが、なぜかというと本当のデザインから言うと、必要になったから来るというのではなくて、本当は高欄や照明をする人も、まあその時点で決まっていないから難しいということもあるのですが、最初から一緒に入っていて、どういった議論をしているのかを聞いてもらっている方が、良いんですよね。ですからその辺の事で少しお話しを御願い致します。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

武末

景観検討ということで篠原先生にご指導を仰ぎに行った時は、どういう風になっていくのだろうと思いました。とにかく模型を作ろうということから始まったと思います。半年しかない期間の中で模型作りの指示が出された時は、1年はかかるのではないかと思いました。しかし2週間に1回のペースで、打ち合わせを行って行きましたので、予定の半年で基本構造を決めることが出来ました。そういった中で、橋面工（高欄など）については、構造が終わりかけた段階で、橋の基本方針を、きちっと守ってボリュームのあるものを作りなさいという指導だけでありました。



実際、最初からメーカーに入ってもらうのは、難しいところがあります。ご存知のように、製品指定ということにもなりますので、そこで私が考えたのは、先生のイメージ、我々のイメージをきちっと短い期間で次の発注にまでにとにかく検討して、それに合うものを作らなければならないということだけ考えてやりました成果です。それが正直なところです。

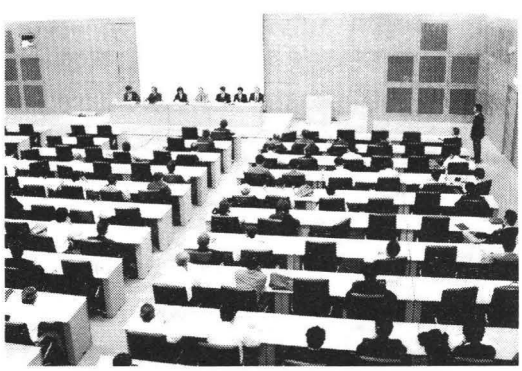
理想は、最初の段階でプロジェクトにメーカーなども決まっていて、実際のデザインの意図をきちっと汲んでやっていくことが本来だとは思いますが、実際はこういう状況です。

吉村

最初はデザインコンセプトの中で、「躍動感」や「リズム感」という事から、デザイン案を4案ほど出しましたが、その後武末さんとの打ち合わせにより、最終のデザインを導き出していったのですが、完成して思ったことは、最初提出したデザイン案がいかにイメージに合わないものだったかということを感じました。また、武末さんとの打ち合わせがいかに重要であったかということを感じました。

篠原

今回のシンポジウムにメーカーの方がどれくらい参加しているかは分かりませんが、少し聞いておいたほうが良いかなと思うことがありますので、聞きますが、大体メーカーは2通りのやり方をやっていると思うのです。一つは設計側からの指示を受けてやっていくのと、もう一つはその逆の提案型で、こういうのはどうですかと言って、採用される場合があると思います。デザイナーの指示を受けて行う場合、デザイナーにも色々ありますからその対応はどうしているのですか。つまり、時々、橋を見ると、これはひどいなあ、と思うものがあり多分デザイナーからの指示でそういったものを作っていると思うのですが、それは仕方が無いからやっているのか、あるいは内部のデザイナーがしているのか、デザイナーに対してどういった対応をしているのか、その辺りは如何ですか。



野中

我々、インハウスのデザイナーという立場で仕事をしていますと、コンサルや発注者等から、デザインの話が来るのですが、普通は

先ずその内容を営業が伺い、営業から我々にデザイン依頼をすることになります。そういう風に進めていくことが多いのですが、立場上作る側に立ったものの見方をしてしまうことが多々あります。近視眼的にものを見てしまうのです。ですから、例えば30mの橋であっても、300mの橋であっても、デザインコンセプトが同じであれば同じようなデザインをしてしまうといったことに陥ってしまいがちです。ですから、なるべくそうならないように心がけてはいます。



例えば龍大橋の照明について、これは色で蛍のあかりを表現しているのですが、これが発注元の担当者が変わったりしますと、今まで検討してきたものが全く無視されて、照明器具の形を蛍にして欲しいや、光る場所に蛍の鋳物パネルを入れて欲しいなど、依頼内容が変わってきたりすることもあります。今回は武末さんが最初に橋梁のコンセプトをしっかり固めてくれてそれを私どもに伝えてくれましたので、今回のような満足した仕事が出来たと思っています。

篠原

やはり、蛍を作って欲しいという話は結構あるのですか。それでは、次に鮎の瀬大橋について。先ほど大野さんから説明がありましたが、大野さんは私なんかより遥かにキャリアがあって、橋のデザインに関しては様々なことをやってこられたので、聞きたいことは色々あるのですが今回は二つばかりお聞きします。一つは今回の斜張橋での定着部分についてと、高欄のデザインについてお話して頂きたい。

大野

それでは、一つ目の斜張橋のケーブルの定着についてですが、橋というのは建築物に比べてエレメントが少ない。橋は空間的にも、全体の地形とのバランスも大切ですが、同時に一つ一つのエレメントが全体にバランスよく収まっているのか、形はどうか、そういったことをきちんとおさえないと、いい加減な不細工な形になってしまいます。

そういった意味で建築の方達から見ると、逆に橋というのはデザインのし難いものではないかと思います。特に斜張橋の場合は、ケーブルがどのようにタワーに取りついているか、またどのように桁を吊り上げているかといった事を、本当はいつもデザインしたいのですが、意外と皆さんそういった所の検討ははぶいてしまう。

しかし、今回はどうしてもそこだけは絶対に綺麗に作ろうと思っていましたので、どういうシステムがよいか、技術の方とお話しましたし、それから形態的にも構造的にもおかしくない形でありながらも、どのように橋に止めていけば良いかと考えていきました。

従いまして、普段ならここまで出来ない所まで、今回はやって頂いたと思います。

篠原

定着のソケットについては、メーカーも入って協議をされたのですか。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

瓜生

もちろんメーカーも入って行いました。やはり我々が今考えている構造において、技術的な問題等は大丈夫かなどを、協議いたしました。



篠原

それでは大野さん続けて高欄のデザインについて御願いします。

大野

高欄ということですが、本当は私は橋全体で褒めて頂きたいのですが、いつも篠原先生はどういうわけか私のことを高欄のデザインが非常に上手だと言われますので･･･。

篠原

それは、高欄のデザインだけはいつまでやっても敵わないと私が思っているので、それと今回はメーカーの方も多く参加されていますので。

大野

そうですね。高欄のデザインをする時に一つは橋の形とどう関連するのか、ということを考えます。もう一つは、橋上空間、歩く人に対してどうなのか。まず橋の外から見た形はどうなのか、多分インハウスのデザイナーの方が見落とす点としては、構造の形に対しての検討があまりなされていないのではと感じます。
先ほどの高欄の原寸模型がありましたが、私としては、原寸模型を作る前に、橋全体の模型を作ってその上に高欄を載せてみてはどうかと言いたい。それから、橋の前後に関して高欄はどのように収まっているのか。また親柱に関してもそうです。どうしても部分的に見てしまうので、私は橋全体がどうなのかという事に気を付けています。それと同時に高欄は機能的なおさえがありますので、基本的な条件をおさえてから、全体のバランスの良いものを作るように心がけているだけで、私が特に高欄に対して思い入れがあるというわけではありません。どちらかと言いますと、橋梁コンサルではなかなかそこまで高欄のデザインをしなくて、ほとんどメーカーに任せるケースが多いのではないでしょうか。私の場合は、ほとんど自分たちで基本的な骨格を組んだ後で、実際に高欄メーカーとの間で寸法的なやり取り等を行いますので、その辺りが違うのではないでしょうか。

篠原

その辺りで、何か今までに記憶に残っているような話はありますか。メーカーとのやり取りでは大体いつも大野さんの意見が通って、スムーズに行くのでしょうか？

大野

構造的な条件はキッチリ抑えていますので、今までにメーカーとトラブルがあったということはありません。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

篠原

そうですか。それでは、そろそろ佐藤先生にお話をして頂きたいのですが、先ほど認識を改めて頂きどうもありがとうございました。今日の話を聞いて感じられたことをコメントして頂きたいのですが、その前に一言だけ。私は15～6年やってきて橋の他にダムとか川とか、色んなことをやっているのですが、5～6年経った頃に何か自分のやる橋は似たような橋ばかりになると気がついて、今日の朧大橋もそうですが、たいていアーチ橋になってしまいます。どういう深層心理的なものがあるのかは分かりませんが、今日の資料を見ていると、大野さんは吊るのが好きだなあ、と。斜張橋がずいぶん多いですよね。何か理由とかあるのですか？僕は斜張橋はほとんどやらないんですよ。



大野

アーチも手がけているのですが、たまたま今日の資料が斜張橋になっているということもあるのですが、もう一方として斜張橋ならあそこはうまくやってくれるという風に思われて、斜張橋を頼まれるケースもあります。ただ、アーチ橋もいくつかやっているのですよ。

篠原

別に斜張橋が好きというわけではないのですね。そうですか、朧大橋の時にはそういった話が出なくて良かったのですが、大体市長さんとか町長さんは斜張橋が好きなんですよ。これは何か深層心理的なものがあると思うのですが、自己顕示欲とか・・・、それで大野さんもそうだったのかなと、びっくりしたのですが、そんなことはないということですね。それでは、すみません佐藤先生今日の、今日は橋でしたが何かお感じになったことはございますか。

佐藤

子供の頃の思い出があるのではないでしょうか、どっちが好きだということは。ただ私たちが普段見ている橋というのは、今日見た橋と違って、一般的に橋の構造はあまり見ないですよね。そうすると橋上部分が、かなり大きな問題になってきて、橋全体を考えていくというよりも、橋上部分がいかに私たちと関わっていくのか、という所が重要なテーマなのですが、最後の段階で力が抜けてしまっているというものがすごく多いような気がします。あるいは逆に、多分市長さんや町長さんがその辺なら言えるということで、様々な横やりが入るのではないでしょうか。そういった横やりをいかに掻い潜りながら、良い橋を仕上げていくのかが、問題だと思います。

最後の仕上げは人が見るとか、触るとか、そういった大事な部分だと思いますので、その時点になったら技術の方には少し後ろに隠れて頂いて、そういった人が快適に使えるところを、是非最後まで気を緩めないで作り上げて頂きたいと思います。

それと市長さんや町長さんに負けないように、論理的な力をつけて説得できるように、先ほどの色の話もそうですが、どうしても最後には自分の好きな色で作りたいと、みかんの町なのでみかん色にしたいなどといったような、それは違いますよと説明する為に、さっきのようなソフトを作ったわけです。是非がんばってください。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

篠原

最後の人間に触れる部分を丁寧にして欲しいということですね。佐藤先生の話を聞いていて思い出しましたが、博多は時々来ているのです。先ほども少し散歩をしたのですが、ここから那珂川の方にある歩行者専用の橋がありますが、傘が上についたような橋ですが、あれは地元ではずいぶん評判が良いと言うのですが、川岸から撮った写真を見ると、あまりかっこよくないんですよね。だから、この橋はこんなにかっこ悪い橋ですよと言うと、全然気づかなかったと。やはり上だけ通っているからそうなのですかね。ただ、僕もエンジニアの端くれですから、やっぱりそれではまずいと思っています。

さて壇上の方、何か言いたい事がありますか。武末さんは良いですか。さっき武末さんは正直な方で講演でも言われてましたが、だいたい僕と付き合うと最初の一ヶ月くらいは戸惑うのではと思います。僕は楽天家で大体時間をかけてやれば何とかなると思っているのと、今日役所の方はあまり来てないと思いますが、例えば3月までにやってくれと言われても、良いものを作るのであれば、3月を守る必要は無いと内心では思っているものですから。それはおそらく瞼大橋の時も出て、この調子では1年はかかるのではないかと思われたのではないでしょうか。でも工期は守りましたよね。

せっかくですから、会場から、こういうチャンスですのでこんなことについて聞いてみたいということがございましたら手を上げて質問してください。それから、出席予定の名簿を見ると大学の学生さんも沢山いるようですから、例えば九州芸工大でいうと何時も佐藤先生の話を聞いているわけですから、違う人の話を聞いてみたいと言うこともあるかもしれませんので。



九州工業大学　大学院　学生

九州工業大学大学院のカジヤマと申します。近年土木公共費の削減と言われていますが、その中で特に景観分野では予算を削られがちだと思うのですが、その対策として、一つの事業の中で景観材料を大量生産するとか、あとは施工方法（先ほど瓜生さんが言われたように施工方法）を工夫するようなことがあると思いますが、地域に対する付加価値をどのように行政側、発注側に伝えて、今まで実現されてきたのですか。先ほどの佐藤先生が、言われていました論理力、説明する力を具体的にはどういう風に付けていけばよいのでしょうか。お教え下さい。

篠原

それでは大野さんに、自分の実現したい形を実現する為にどういう論理構成で臨んでいますか。

大野

難しい話ですね。何気なくやってきましたが、やはり地域を良く知ることを、先ず心がけています。自然的な条件、社会的な条件、例えばどのように集落があるとか、あるいは交通システムはどのようになっているのかとか、鮎の瀬大橋であれば、地形的な問題は非常に大きいですよね。そういったいくつかの条件を分析すること。
もう一つはどのように見えるか、どのように感じるか、景観的な特性を重ね合わせて行きながら、全体のコン

セプトを考え出していく。非常に抽象的ですが、そういった事と同時に今までの仕事の積み重ねによって、つちかわれてきた直感があります。その直感する力を養う。その為にはあなた自身がものを見て、これは良いとかこれは悪いを感じ取れるようにならなければいけません。やはり、直感できる力がなければ駄目だと思います。それが、全体の分析をしていく、ドライなデータと同時に、そういった方向性に対して、周りの人たちを引き込んでいく力になっていくと思います。
それともう一つ、模型は大事だと思います。コンピューターグラフィックス等に皆さん頼りすぎないほうが良いと思います。あれは、架空のものですから、模型は手で作っていくとても大事なツールです。是非、普段から模型を作ることをやってください。

九州工業大学　大学院　学生

大野先生に確認をしたいのですが、地域の事を知るという、その一つの方法としては、住民部会や、ワークショップなどがありますが、それは有効な手段だとお考えですか。

大野

そうですね。それがうまく、有効に働く場合と、そうでない場合があります。プロセスによりますが、その作業にうまくデザイナーが加われる場合と、行政サイドに任せる場合など、様々ですね。



九州工業大学　大学院　学生

どうもありがとうございました。

篠原

僕から一言だけ補足しますと「こういうのが良いのですよ。」と説得の仕方で、大野さんは非常に教科書的に答えられていましたが、さっき少し話しが出ましたが、そうはいっても蛍を付けてくれや、みかん色にしてくれといった事はやはりあって、僕はたいてい拒否しているのですが、この間一回だけ長崎の仕事で、地元の人に押し切られてしまいました。

万屋町というところに架けている橋なのですが、「おくんち」っていう祭りがありますが、その時の町の旗印が鯨、潮吹き鯨で、見せてもらったらそれがナマズみたいなやつで、それが潮を吹いている。有名な版画家がデザインしたというもので、地元の人がすごく愛着を持っていて、どうしてもその絵を入れてくれと。普段なら、断るのですが・・・その顛末は北海道にドーコンというコンサルがあるのですが、そこが出している雑誌に書きましたので、どこかで手に入れて読んでください・・・苦労しました。最終的には、鯨を模様化してテクスチャーにして入れようとしたのですが、やはり地域の誇りとか歴史とか、シンボルマーク等の思い入れはずいぶん強いですよね。それに対して、そうではないという論理がその時、今まで橋はそういうものではないと言って、拒否してきましたが、考えてみれば今日の朧大橋にしても、地元の人が、橋脚を開いたのを見て「うさぎが跳ねた」イメージをしてくれて、僕はそういうイメージでデザインしたわけではないけれど、それはそれで良いのかなと思っています。

近代的なデザインというのは、取り付く島がないですよね。この部屋なんかも、これは建築ですが、この壁の処理なんかも、取り付く島がなくて、今日は3時間くらいですが、4時間も、5時間も此処にいたら、うんざりしますよね。外も見えないし･･･要するに意味がないでしょう。まあ、これが近代的なデザインなんだけど。やっぱりその辺に対する建築だと、硝子と鉄を使ってやってるから愛着がわきにくいんですよね。それが取り付く島もないってことだけど。

やっぱりその時思ったのが、鯨で粘られたわけですが、そういう日頃からの思い、近代的なデザインに対する思いが、意識はしていないのでしょうが、潜在的な不満感が僕はあるのではないかと思っています。ですから、そこのところをどうするかということが、これからのデザインで非常に難しいところだと思います。すみません、補足が少し長くなりましたが、重要な問題だと思いましたので。

他にございますか？



INAX　伊藤

INAXの伊藤です。昨年の12月にもこういった事をやっていますが、その時に特徴的な事を話されたのですが、それと関連して瓜生さんの話の中で、工法に対して特許を出されたとの事ですが、要するにソフトが蓄積されたということだと思います。

昨年に行ったシンポジウムでもございまして、伊藤鉄工(株)という鋳物製品を作っている会社ですが、受注した現場の進行中に、デザイナーから随分無理をいわれ、鋳物では難しいと言われている形状にも挑戦し、今まで出来なかったものが出来る様になった。いわゆるソフトが蓄積されたと発表されましたが、今回のケースでは、(株)住軽･日軽エンジニアリングの場合、そのような事はあったのでしょうかお聞かせください。

野中

今回の朧大橋では、色のことについて、アルマイトの使い方でお話しましたが、今までになかった色使いをしたことで、色の新鮮さを出すという方法を発見でき、他の仕事の中で展開できるようになり、色についての提案の幅が広がりました。

INAX　伊藤

瓜生さんのところは、特許をとられたと言う事ですが、一緒に組まれたメーカーには、何か残ったものはあるのでしょうか。

瓜生

特許は2つ申請してまして、メーカーは入っていません。1つは工法ということで最初からメーカーは抜きで申請を行いました。もう1つの特許につきましては、メーカーに共願を確認しましたが、結局辞退するとのことでした。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

篠原

せっかくですから、私から武末さんに、朧大橋のような仕事をして、鮎の瀬大橋もそうですが、利益が出なくて困るといったことはないのでしょうか。

武末

もちろん利益が出るように考えていますが、ただいつまでに構造承認をとるだとか、詳細設計をする等の縛りばかり多くて、デザインを検討する時間が最初から組み込まれていなかった為、ということは費用もあまり組み込まれていないということですが、それは構造検討の費用から捻出するといったようにしました。トータルとしては厳しいところもありましたが、景観を大切にする会社としてアピールできる面を社長に対しての交渉材料にしました。

篠原

武末さんは今は部長だけども、当時は課長だったので、意欲を持って何かをやろうとしている人たちも、会社の事を考えると、なかなか難しい問題もあってということで、代表して答えてもらったわけですが、他に如何ですか。

それでは、指名させていただきますが、九州大学の樋口先生が来られていますので、何かコメントがあれば御願いします。

九州大学　助教授　樋口

樋口です。今日は、途中からの参加で、朧大橋から話を聞いていました。ですから、大野さんの話は、聞けなかったのですが、このディスカッションの中で、話を聞けて、手短な中ですがすごく素敵なことを言われたので、来てよかったと思っています。それは何かといいますと、「橋は建築と比べてエレメントの数が非常に少ない、一見簡単に出来ると思いがちだけれども、一つ一つのエレメントの収まりが、きちっと出来ていないと、良いものにならない。デザインが分かっている建築に人から見ると橋はとても厄介な仕事だ」とおっしゃったと思いますが、私は自分で橋を作ったことはありませんが、いろんな人がつくられたものを拝見する中で、まさに同じことを整理が出来ていなかったのですが、感じていました。今日、大野さんが言われて、そういうことなんだなと思った次第です。

若造が偉そうなことを言うのですが、橋をつくる現場にいらっしゃる人、私もかつていましたが、ゼネコンだとか、土木屋さんですか、その土木屋さんがその辺りの難しさに、自分がその難しいデザイン能力を超越するデザイン能力を持っている必要は無いと思いますが、それは出来る人に任せれば良いのですから、だけどそういうことが、大事だということを分からずにやってしまう恐ろしさ見たいな事が、今こういった集まりを持っているそもそもの動機だと感じまして、関係者としてますます、気を引きしめてがんばっていかなければと、今日は来て本当に良かったと思いました。以上です。

篠原
質問ではなくて、反省ですね。どうもありがとうございました。

パネルディスカッション

篠原修　佐藤優　大野美代子　瓜生正樹　武末博伸　野中徹　吉村満

篠原

それではそろそろ時間ですが、せっかくですから、上陽町の町長さんが来られていますので、何か今日の感想もしくは、町のPR等でも御願いします。

上陽町　牛島町長

上陽町長の牛島でございます。私が朧大橋を架けることになりましたきっかけは、色々とございますが、一つだけ思うことは、最後の仕上げの橋の欄干ですが、その時、財政的な問題で国がそういうことを考えるわけですが、もう景観ということはあまり考えずに、欄干が有れば良いんだと、普通の欄干でいいですよと、言ってきたわけです。

それではせっかく下を立派に架けても何もならないじゃないかと。人が一番通る、人が一番見ていくところが悪いと、そこまで何十億とかけて基が出来ても、無駄になると。こういう何十億という橋は、100年、200年後にはじめてその橋のよさが分かるようにしなければならないということを、私から担当者に特に言ったわけです、それ以上の欄干を架けて頂きたいと、粘ったわけです。



今までずっと話を聞いている中で、デザインをされる方は、財政的なことをどこまで考えられているのかということが、一つあると思いますが、今度作る側、お金を出すほうは、金がなくてはつくれない、今、公共事業で一番問題となっている、国民の税収がないから、だんだん悪いほうに公共事業が進んでいると私は思います。特に皆さんが熱心にやっている、橋の重要性、つくることの重要性をどう、これからの橋とか、建築物に結び付けていって頂くのかという事を、学者の皆様だけで終わるのではなく、それを発注する側の経済とどうかみ合わせていくのかが、大事だと思います。その点も交えた中で、このような会議をやって頂ければ、そこの地域で生きていく資産が残っていくと私は思っていますので、その点も一つ、大学の先生方が政治家や、官僚との結びつきを持って頂ければと思います。今日は本当に勉強になりました。どうもありがとうございました。

篠原

どうもありがとうございました。それでは時間も超過していますので、この辺で終わりにしたいと思います。どうも、ありがとうございました。

閉会挨拶

地域事業推進委員会　委員長　伊藤貞二

委員長の伊藤でございます。本日は長時間、お聞き下さいまして、ありがとうございました。昨年12月に第1回を開催、今回が2回目となるわけでありますが、当委員会としまして、このような発表の場を、毎年継続して持ちたいと考えております。それには今回の様に、事例が有りませんと不可能であります。今後は会員の皆様にご協力願い、広く公募をいたす所存です。更には篠原先生、佐藤先生にご協力を仰ぎ、好事例に恵まれますれば、大変幸せな事であります。

目的は、「日本の国に資産として残るものをつくりたい」ということであります。

考えてみますに、奈良時代、江戸時代に造られた建造物が、何百年を経て今日に続いており、きちんと資産になっている訳であります。さて現代にこのような「後生に資産として残るもの」があるのでしょうか？
私どもはメーカーであり、もの造りに携わっている者として、現在のビジネスに矛盾を感じざるを得ません。例えば、現場予算がないからと言って、10年持つものが必要のところ、3年しかもたないものを納材せざるを得ない。景気の低迷、価格破壊、海外商材の流入、グローバル生産化等々、環境は日々厳しくなってまいります。この様な時代になって、「ものづくり」とはなんだろうか、どのようなものをつくっていけば良いのか、この様なことを我々メーカーは、きちんと押えていなければならないと考えます。即ち「生き残るためのものづくり」になるのではないかと思います。

もう一つには、デザイナーに媚びてはいけないと思うのです。メーカーとして、特徴のあるものを持っている、更に良い方法が提示できる等、こちらから積極的に提案をしながらキャッチボールをしていく。前回パネリストをお願いしました小野寺康さんは、「私は先生ではなく、パートナーである。」と言われていました。まさにメーカー、デザイナー、が上下関係でなく、共同者である事を示されました。その為にメーカーは、しっかり勉強をしていくのは当然でしょう。良きパートナー関係が継続できるならば、必ず「よいもの」を残す事が出来ると信じます。

先ほど牛島町長さんもおっしゃっていましたが、橋を資産として残していく。非常に大きな考えをお持ちになっておられる。この様な施主、クライアントがいる限り、デザイナー、メーカーと、本日パネリストをお願いした施工者であるゼネラルコントラクターの各方々が、ともに「共創」（考え）し、ともに「協働」（汗を流す）していく事が、ますます必要となってくると思います。

この様な期待もこめまして、次回は皆様のご協力のもと、内容、場所等、検討に入りたいと思います。本日は、どうもありがとうございました。壇上の皆様方もありがとうございました。



アンケート調査報告

■アンケートの設計

(1)アンケート実施期間
　平成14年6月25日　シンポジウム開催中

(2)アンケート対象
　シンポジウムの参加者　112名

(3)アンケート方法
　会場にて回答

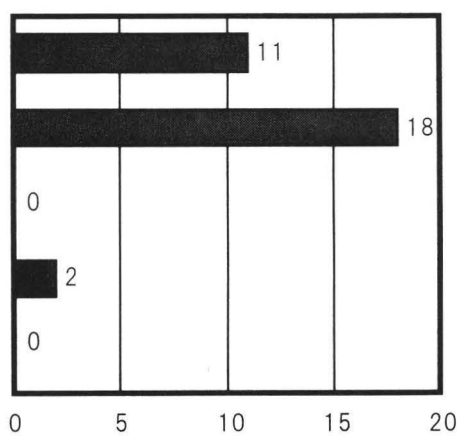
(4)調査数および回収状況
　31名／112名（約28%）

(5)調査内容
1. シンポジウムの内容について
2. デザイナーとメーカーとのコラボレーションについて
3. 一番印象に残った内容について
4. デザイナーに対する質問や要望について
5. シンポジウムに対するご意見

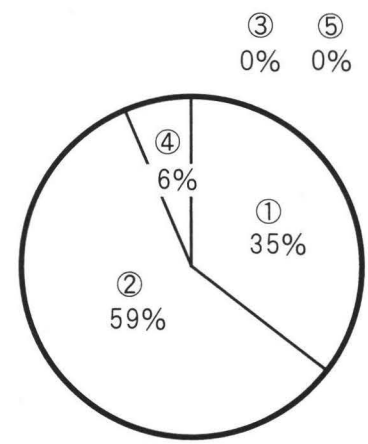
■アンケート調査結果

1. シンポジウムの内容について

①大変良かった
②良かった
③どちらといえば良かった
④思っていたほど良くなかった
⑤悪かった



(N=31)



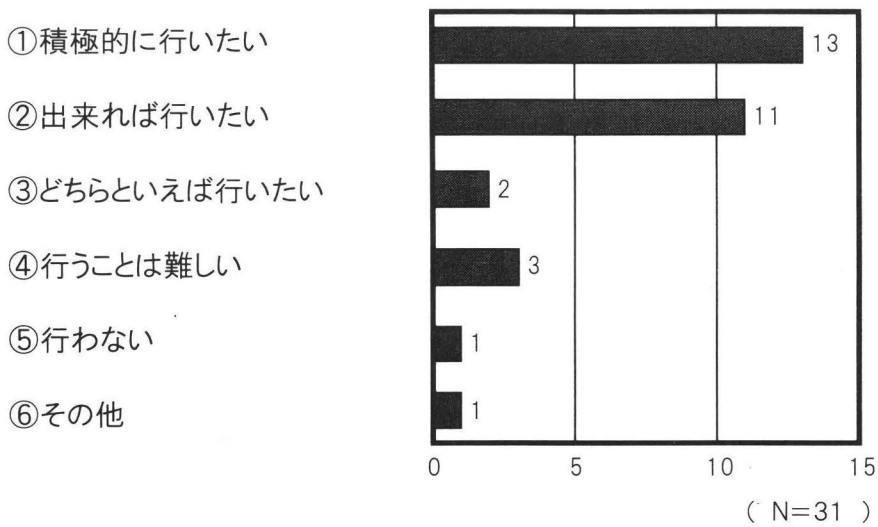
①+②=94%

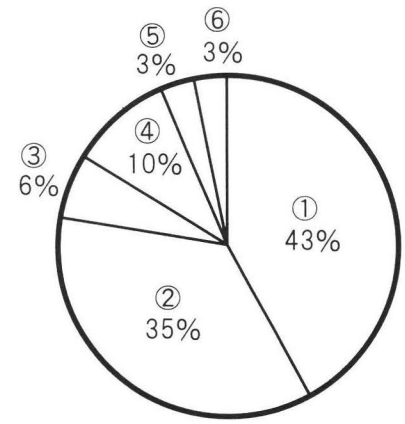
ご意見：一つの物件に関して比較的時間をかけてじっくり聞けたので大変良かった。

●シンポジウムの内容については、アンケート回答者の9割以上の方から「大変良かった」「良かった」との回答が得られた。

■アンケート調査結果

2. デザイナーとのコラボレーションについて





(N=31)

ご意見：今後は絶対に必要だと思っています。

3. 一番印象に残った内容について

■自由回答

●景観の重要性を痛感した。
●景観といっても様々な視点から見ることが大切だということが一番印象に残りました。技術の進歩の中でも、人がふれ、人が自分の手をつかってつくるということが大切だということを学びました。
●パネルディスカッションにおいての大野先生の意見
●龍大橋
●施工時の型枠設置の苦労、吊支保工の管理（一日の気温変化など）
●橋脚部分が開かれている・明るい感じで良い（壁式でないこと）。高欄がシンプル、水平材で作られているのがよい。照明が良い位置にある。ポールなど無いのが良い。笠木の形状が親しみ易い。
●大野先生の橋造りに関する話（全般）
●樋口先生も言われたように、大野さんの言った「橋は建築に比べエレメントが少ない」という言葉が強く印象に残りました。昨年、鮎の瀬大橋は見に行きましたが、確かに少ない要素ながらもその中に美しさがあったよう　に思えます。
●橋のデザインは単純が故に難しいという大野さんのお話。
●デザインの面からだけでなく、行政との関わりを考えながらモノを作っていくという点が改めて考え直しました。当然、その逆も大事なのですが、今日の会議の流れから見ると、上に挙げた考えが弱かったと思いました。
●メーカーがデザイナーの対応をして利益になるのか？という質問。
●建設協議会、土木建設物を後世に残す、資産に残す。
●周辺状況に応じたデザイン重視（大野先生）、高速道路の色彩計画（佐藤先生）
●人がふれる部分、目につく部分を丁寧につくるよう、デザイナー、メーカー、施工者、発注者が協力していくと良いものが出来上がる。
●龍大橋のある町の町長さんのコメント

■自由回答（続き）

●大野さんの上部工が橋全体の善し悪しを左右するという話。
●町長の話
●佐藤先生の色彩について
●デザイナー、施工者、メーカー、（発注者？）が一つのシンポジウムという形で意見を交わしたこと。
●1400tのカウンターウェイト機が浮いていること。
●講演2つとも橋梁全体のデザインをどう構築したかが良くわかりおもしろかった。ただ、他のジャンルの話も聞きたかった。
●コンサルタントの意義、及び必要性を感じた。
●篠原先生のざっくばらんなつっこみ。
●設計者、施工者、メーカーとのコミュニケーションが不充分だと良いものが出来ない。今回のコラボレーションでは、このコミュニケーションが充分であったことで良い橋が出来、住民にも喜んでもらっている点。
●大野先生の言葉「コンピューターグラフィックスをあまり信用するな。模型を手で作れ」
●私は土木の学生なのでデザイナーや施工者など関係者の十分な話し合いの上で橋が完成された点。閉会の挨拶での、後に残るものをつくるという話が印象的だった。
●建築士ですが建築物と橋等は同じ悩みがあると感じました。
●大野美代子氏の考え方は共感する事が多く、その土地、地域の特性、よさをいかに発見し、活かしていくか、どう仕掛けていくかをもっともっと追求して仕事をしていきたいとあらためて感じました。CGがお好きでないところも私と同じです（バーチャルなもので検討するのはおかしいと思っています）。意見が合いそうで嬉しかったです。
●パネルディスカッション：クライアントの方のやりとり等、具体的なお話しが聞けたことが大変良かったです。

4. デザイナーへの質問や要望について

■自由回答

●実務を行っていると、なかなかふれられない部分にふれられて、これからの仕事に対して励みになりました。ありがとうございました。
●それぞれの分野のおけるプロ中のプロによるメンバー構成が良い。
●照明をホタルの形にする…それはないと思うけど、人によって感じ方が異なる景観の善し悪しをどう判断するのですか？
●篠原先生にはもう少し具体的な楽しいお話しを頂きたかった（コーディネーターという立場上仕方がないのですが…
●篠原先生がメーカーの立場を理解され、配慮もあったこと。
●佐藤先生の事例紹介をもっと聞きたかった。
●報告というより、プレゼンテーションというイメージにして欲しかった。ビジュアルで分かり易いスライドにして欲しかった。
●発注者⇔コンサルorメーカーのコラボレーションの例を次回はお願い致します。
●内に秘めているユーモアのセンスをもっと出して欲しい。
●設計及び施工、工事関係者の物を創る為の理論は、無理に押しつけた理論もあったと思います。（自然環境の部分です）
●デザインコンセプトとは別に、景観コンセプトが必要かなと思いました。景観をつくるという意味で地域性を大切にすることを、もっと前面に出しても良いような気がします。PRや啓発のためにも有効では？より価値も高くなる？
●景観設計に関するコンセプト作りの参考になる話を、もう少し詳しくお聞きしたかったです。形態的な特性の部分だけでな

5. シンポジウムに対するご意見など

■自由回答

●今後も是非続けて行って欲しい。
●デザインすることが、大切なのかどうか悩んでいたので、篠原先生のクジラの話には、とても気づかせて頂きました。
●今後も続けられることをお願いします。
●東大篠原先生のリードは良い。
●つづけて下さい。
●この様なシンポジウムに参加見学したのは初めてでしたが、一般の参加者にも分かり易い説明も多く、展開も良かったと思います。
●分かり易くて良かった。大変参考になった。
●道路の景観は、町の雰囲気、景観に大きな影響を与えるのですが、ストリートファニチュアー、路面の仕上げ(屋外広告のサインデザインまで拡げて話が聞けると嬉しいのですが)等に対する取り組みも聞きたいと考えています。
●様々な視点から本音(毒舌?)が聞こえてきた。リアリティが非常にあり刺激的な意見であったと思う。各先生方、企業の方々に感謝したいと思います。
●本来「コラボレーション」はあるべき姿だと思う。デザイナー、施工者、メーカー、発注者が同じ土俵で自分の意見をキチンと言える立場が少ない現在、この様なシンポジウムが貴重なものとなっていくだろう。
●ぜひまた参加したい。
●関西でも是非開催して欲しい。
●大阪でも対応願います。
●コラボレーションについて、もう少し詳しく具体的な事例を聞きたかった。
●本音が出てなかなかおもしろかった。今後も企画してください。
●デザインと力学的特性(耐震など)は、相入れない場合があり、費用との兼ね合いなどを考えなければならないこと。すぐれた橋を架けている現場の様子が分かり勉強になった。
●建築士としても充分に満足できるシンポジウムであったと感じました。
●今回初めて参加させて頂きましたので、わかりませんが、毎回橋梁や○○等、テーマを決めているのでしょうか?今回のシンポジウムのような取りあげ方は内容も含めてとても満足感があります。次回も来たいです。
●次回は橋梁だけでなく集合住宅等の景観設計のシンポジウムを是非開催していただきたい。

シンポジウム司会
報告書デザイン・編集

景観材料推進協議会　地域事業推進委員会　事務局　浜中辰也

禁 無 断 転 載

第10回（平成13年度）研究助成成果報告書

2004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