

第2回 (平成5年度)
助成研究成果報告集

1996年3月

財団法人

トステム建材産業振興財団

第2回 (平成5年度)
助成研究成果報告集

1996年 3 月

財団法人

トステム建材産業振興財団

巻頭ご挨拶

当財団は平成4年7月に発足以来順調に推移し、本年で5年目を迎えることができました。昨年はじめて第1回の助成研究成果報告集を発行いたしました。これにつづいて本年も第2回の助成研究成果報告集を発行するに至りましたことはまことに喜ばしい限りでございます。

この第2回の報告集に収録されたものは、一部研究継続の為未収録になったものもありますが、平成5年度の選考委員会で27件の応募の中から選考され理事会で採決された14件の研究が中心となっております。

これらの有意義な研究成果がこれからの住宅・建材産業の課題に応える研究に貢献できれば幸いと存じます。財団としても今後もこのような助成や研究報告集の発行、その他の事業の運営を図っていきたく存じますのでよろしくご指導、ご鞭撻の程お願い申し上げます。

以上

理事長 潮田 健次郎

目 次

巻頭ご挨拶

1. 交通騒音に対する社会反応の異文化・異気候比較研究 (93-01) 熊本大学工学部建築学科助教授	矢野 隆	1
2. 高耐久性ハイブリッドに関する研究 (93-02) 長崎大学工学部助教授	松田 浩	13
3. 高气密住宅対応型の各種換気システムに関する性能実測とその評価 (93-03) 東北大学工学部建築学科教授	吉野 博	37
4. 住宅における設計者と部品建材産業のコミュニケーションに関する研究 (93-04) 東京大学工学部助教授	松村 秀一	49
5. 室内環境の快適性総合評価に関する研究 (93-06) 鹿児島大学工学部建築学科	岩下 剛	63
6. エアカーテン創製による高性能レンジフードの開発 (93-07) 北見工業大学機械システム工学科	坂本 弘志	73
7. インテリジェント建造物のための電磁環境シミュレーターの開発 (93-09) 岡山大学工学部電気電子工学科教授	加川 幸雄	81
8. 景観材料ガイドライン策定に関する研究 (93-10) 工学院大学工学部建築学科教授	渡辺 定夫	91
9. 酸性雨及び海塩粒子に対するアルミニウム建材の耐久性評価試験 (93-11) 軽金属製品協会取手分室長	菊池 哲	95
10. ライフラインを考慮したフレーム及び外装と (93-12) 一体化したフレームのリサイクルに関する研究 社団法人日本鉄鋼協会基礎研究会	今川 憲英	105
11. 環境保全型省エネルギーパーティクルボードの開発 (93-13) 東京大学農学部林産学科助手	信田 聡	131
12. 高齢者・障害者のための住宅改造相談支援システムの開発 (93-14) 日本大学理工学部専任講師	石田 道孝	155
13. 東南アジアにおける木造住宅の建材とその生産システムに関する研究 (92-07) 京都大学工学部建築学科助教授	布野 修司	167
14. 集合住宅における通風の積極的利用に関する研究 (93-08) 東京工業大学大学院総合理工学研究 社会開発工学専攻博士課程1年	菅原 正則	171

1. 交通騒音に対する社会反応の 異文化・異気候比較研究

熊本大学工学部建築学科助教授
矢野 隆

(共同研究者)

室蘭工業大学建設システム工学科教授
泉 清 人

北海学園大学工学部建築学科教授
佐藤 哲 身

有明工業高等専門学校建築学科助教授
山下 俊 雄

1. 本研究の背景と目的

従来の騒音の影響評価に関する研究では、騒音に対する社会反応と騒音レベルとの関係を明らかにすることに重点が置かれてきた。しかし、騒音に対する社会反応は騒音レベルや事象数などの物理的要因の他に、個人的要因や社会的要因などの非音響的要因にも影響されることが報告されている^{1)・2)}。また、その地方の気候風土や生活様式も社会反応に影響すると考えられる。さらに、国際的な環境基準を確立するためには、地球規模での民族や文化の影響も明らかにしなければならない。

このような観点から、同質の文化圏ではあるが気候の異なる北海道と九州^{3)・4)}、気候・文化ともに異なるスウェーデンとタイの合計4地域で同一の構想と同一の手法を用いて道路交通騒音に関する社会調査を行って来ている^{5)~8)}。本研究の目的は騒音の不快感へ影響する要因を各地域で抽出して不快感の反応構造を異文化間で比較し、普遍的な騒音評価体系を確立するための基礎資料を提供することにある。さらに、道路沿線の居住環境を改善するために、建築工学的見地から提言を行う。

2. 研究の方法

2.1 調査地域の概要

調査を行ったのはスウェーデンのイエーテボリ市、苫小牧市、熊本市、タイのコラート市の4市である。イエーテボリ市は北緯約58度、東経約12度に位置し、ストックホルムに次ぐスウェーデン第2の都市(人口43万人)である。苫小牧、熊本の人口はそれぞれ16万人、62万人である。コラートはバンコクの北東約260kmに位置するタイ東北地方の中心都市である。図-1は各地域のクリモグラフを示している。ただし、北海道は札幌、タイはバンコクのデータである。バンコクは

一年間を通じて気温は30℃前後、湿度は70～85%と高温多湿である。熊本は夏季にはバンコクと同様の気候となるが冬季は気温が5℃前後まで下がる。イエーテボリと札幌は年間を通じてほぼ同様の気温の変化を示すが、冬季の湿度はイエーテボリでは札幌よりも高い。

2.2 社会調査

調査地区の概要を表-1に示す。調査対象地区として苫小牧、熊本、コラートでは1地区、イエーテボリでは2地区の住宅地区を選んだ。調査対象住宅は道路に面して建つ戸建て住宅である。調査対象者はその住宅にすむ成人のうち1世帯あたり1名をランダムに選んだ。イエーテボリではこの作業を住民の個人データを一括して管理している統計局に依頼した。

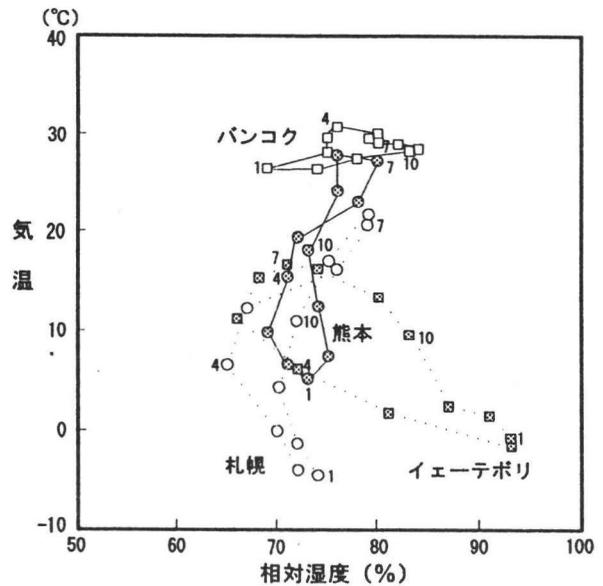


図-1 各地のクリモグラフ

表-1 調査の概要

項目	地区	苫小牧	熊本	イエーテボリ		コラート
				H地区	B地区	
調査時期		'93年7月	'94年8月	'92年11～12月		'94年8月
調査方法		留置法	留置法	郵送法		留置法
対象者 (名)		301	139	69	91	92
回答者 (名)		268	106	45	70	70
拒否 (名)		22	25	24	19	6
無効 (名)		11	8	0	2	16
回収率 (%)		92.4	80.9	65.2	78.6	92.1
交通量 (台/日)		24,510	28,608	20,000* ～23,000	12,000* ～13,000	25,655
大型車台数 (台/日)		2,505	3,060	1,000* ～1,500	600* ～1,000	2,199
住宅の L_{eq} (dB)		45.1～65.1	41.1～64.4	55.6～65.8	56.4～62.9	53.0～69.9
住宅の L_{dn} (dB)		47.9～70.3	45.5～68.9	56.0～66.2	56.8～63.3	56.7～70.6
住宅の L_{max} (dB)		69.2～91.6	62.2～85.6	74.5～84.7	76.8～83.3	74.7～88.6

(* 1990年のイエーテボリ市の自動車交通量に関する報告による。)

調査方法は、イエーテボリでは人手が足りないために郵送法を用いたが、苫小牧と熊本では回収率を上げるために留置法を用いた。なお、以前にこれら2つの方法を用いて同一地区で調査を行ったが、得られた社会反応には統計的に有意な差は見られなかった⁸⁾。

全調査対象者は692名で、そのうち559名から回答が得られ、平均回収率は82%である。ただしイエーテボリでは郵送法を用いたため、回収率は他の地区より悪い。各地区の交通量はイエーテボリのB地区を除けば、ほぼ同程度で20,000～30,000台/日である。タイでは厳しい騒音規制が施されていないため、住宅の騒音暴露量は他の地区と比べて少し大きい。

調査項目は表-2に示すように、物理的要因、個人的要因、環境要因、騒音の具体的影響の4つに大別され、約50項目からなる。各地区とも調査項目はほぼ同じであるが、地域の特性により若干異なる。なお、調査票はスウェーデンとタイでは共通の英語版の調査票を基にそれぞれスウェーデン語、タイ語で作られた。

表-2 調査項目

物理的要因	L_{eq} , L_{dn} , L_{max} , L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95}
個人的要因	居住年数(地域), 居住年数(住宅), 普段の睡眠状態, 騒音に対する敏感さ, 寒さに対する敏感さ, 暑さに対する敏感さ, 窓を開けて寝る頻度, 公害に対する考え方, 年齢, 性別, 家族数, 仕事の有無
地域環境要因	地域好感度 地域の評価 自然環境(公園緑地)の評価, 買物の便, 仕事の便, 医療施設, 学校, 幼稚園, 郵便局の近さ, レジャー施設, 道路の安全性 環境評価 列車騒音, 航空機騒音, 自動車騒音, トラム騒音, 工場騒音, 近隣騒音, 催し物の騒音, 排ガス, 悪臭, 空気の汚れ
住宅要因	住宅の構造, 窓構造, 主要開口部の方向, バルコニーや庭の有無
騒音の具体的影響	住宅の振動, TV画面の乱れ, TV妨害, 住宅内会話妨害, 戸外会話妨害, 電話妨害, 考え事や読書の妨害, 休息妨害, 窓を開けたい時に開けられない不満, イライラ, 入眠妨害, 覚醒

2.3 騒音測定

騒音測定は対象道路の交通量を代表していると思われる地点(基準点)における終日測定と基準点から各住宅までの減衰量を求めるための短時間の距離減衰測定からなる。

イエーテボリでは調査住宅の1軒に測定を依頼し、庭にマイクロホン、地下室かガレージにレベル分析器(B&K4426)を設置して、2秒間隔に24時間にわたって、種々の騒音指標を自動的に求めた。他の地区では道路端に精密騒音計(小野測器LA-500)を設置し、調査員が24時間にわたって30分ごとに2秒間隔で25分間測定した。

距離減衰測定は道路に面する調査地区内の広場を利用して、道路端と道路端から5、10、20、40m離れた地点で同時に L_{eq} を100秒間測定し、これを3~5回繰り返した。これらの測定結果に基づき、距離減衰の予測式を作成した。各住宅の騒音暴露量は基準点での1日の騒音レベルから距離減衰量を差し引いて求めた。

2.4 住宅の窓面の遮音測定

調査対象住宅とは別に調査地区の代表的な住宅の窓面の騒音測定を行った。測定方法は日本建築学会推奨測定基準「建築物の現場における外周壁の遮音性能の測定方法」によった。図-2はイエーテボリ16軒、北海道13軒、熊本31軒の測定結果の中央値である。

九州の住宅はすべて1重ガラスであったが、北海道では2重ガラス、イェーテボリではほとんどが3重ガラスで一部2重ガラスと4重ガラスが見られた。一般に、イェーテボリの住宅の壁や窓枠は北海道のものよりも重厚であるが、窓枠の気密性を考慮した開口部全体の遮音性能は北海道のものと大差はない。道路交通騒音の1オクターブ分析結果を基に、図-2の遮音特性を用いて騒音の減衰量を求めると、九州で約24dB(A)、北海道で約32dB(A)であった。コラートではどの住宅も1重ガラスであるため、窓面の遮音特性は九州のものと大差ないものと考えられる。

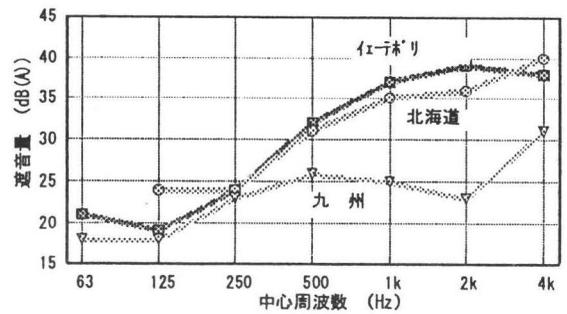


図-2 主要開口部を有する壁面の遮断特性

3. 研究の計画と進捗状況

3.1 イェーテボリ調査

1992年7月から1993年3月にかけて、イェーテボリ大学と共同で、住宅の窓面の遮音測定、社会調査、騒音測定を行った。

3.2 苫小牧調査

1993年4月から1994年3月にかけて、室蘭工業大学、北海学園大学と協力して、札幌市で住宅の窓面の遮音測定を行い、苫小牧市で道路交通騒音に関する社会調査、騒音測定を実施した。

3.3 コラート調査

1994年7月から8月にかけて、スラナリー工科大学と共同でコラートで道路交通騒音に関する社会調査と騒音測定を行った。

3.4 熊本調査

1994年9月から1995年3月にかけて、熊本市で社会調査と騒音測定を実施した。またそれまでの4地域の社会反応データと騒音データを比較検討した。

4. これまでに得られた成果

4.1 単純集計結果

(1) 個人属性など

図-3(a)~(k)は個人属性やこれまでの調査結果から騒音の不快感に大きな影響を及ぼしていると思われる要因についての4地区の反応データの単純集計結果の比較である。住宅の構造は苫小牧、熊本ではほとんどが本造、イェーテボリとコラートでは木造とブロック造の住宅が混在している。図-3(a)は窓のタイプを示している。イェーテボリではどの住宅も二重ガラス以上であり、苫小牧でも65%が二重ガラスとなっている。図-3(b)は回答者の年齢構成を示している。どの地区も直接年齢を質問したのではなく、選挙人名簿などの個人データを基に予め調べたものである。

したがって、コラートでの年齢データはない。苫小牧では回答者はどの年代にも均等に分布しているが、熊本では40-50代にピークを有する単峰型の分布を呈し、イエーテボリでは20-30代で最も多く年代が上がるにつれ回答者は少なくなっている。回答者の性別はどの地区も若干女が多いが、男女ほぼ同数である。

住宅の暴露量 L_{eq} (図-3(c))の分布は苫小牧では50-60dB(A)で約80%、熊本では45-50dB(A)で50%と最も大きく50-55dB(A)まで含めると77%となる。イエーテボリでは日本より L_{eq} は全体的に高く55-60dB(A)で67%、60-65dB(A)を含めると97%である。コラートも50-65dB(A)で91%と日本より高レベルである。

現在住んでいる地域について(図-3(d))、「好き」あるいは「大変好き」と答えた人はどの地区も70%以上であり、地区による差は見られない。また、図示していないが、その地区の自然環境の評価も地域好感度と同様な分布を示しており、どの地区も65%以上の人が「好き」あるいは「大変好き」と回答している。

騒音に対する敏感さ(図-3(e))についてもほぼ同様な分布をしているが、イエーテボリで「かなり」あるいは「非常に敏感」と答えた人の割合が他地区より大きい。コラートも日本の両地区より敏感さの程度は少し大きく、一般に言われているようにタイ人が騒音に対して特に寛容であると言うわけではない。

自動車騒音をうるさく感じる時間帯(図-3(f))を見ると、苫小牧、熊本では夜間、特に深夜の割合が大きいが、イエーテボリでは朝、コラートでは夕方となっており、地区によってうるさく感じる時間帯が異なる。

(2) 騒音の影響

自動車騒音の不快感(図-3(g))については「不快でない」と答えた人の割合は北海道、熊本では40%以上であるのに対して、イエーテボリでは14%、コラート29%と小さい。また、『不快』(「少し不快」、「かなり不快」、「大変不快」と答えた人の合計：以下同様)と感じている人の割合はイエーテボリ86%、コラート70%と大きく、イエーテボリでは「大変不快」と感じている人の割合が最も大きく37%にのぼる。

騒音の具体的な影響のうち、TV聴取妨害の不快感(図-3(h))については苫小牧、熊本、イエーテボリでは70%以上の人が「不快でない」と答えている。一方、コラートでは『不快』と答えている人の方が多く(63%)、生活様式の違いが反映されているのかもしれない。

住宅の振動の不快感(図-3(i))は苫小牧、熊本、コラートは同様の分布を示しており不快に感じていない人の方が多いが、イエーテボリでは64%の人が『不快』に感じている。スウェーデンは岩盤のところが多く、地盤は良好と考えられるが、振動を不快に思う人が多い。この原因が国民性によるのかその他の要因によるのかは不明である。

排気ガスの不快感(図-3(j))は苫小牧、熊本では72%以上の人が不快でないのに対して、イエーテボリでは80%、コラートでは60%の人が『不快』に感じており日本と大きく異なる。自動車騒音によるイライラ(図-3(k))については苫小牧、熊本、イエーテボリでイライラを感じていない人は60%以上であるが、イエーテボリでは「かなり不快」、「大変不快」と思っている人の割合は日本よりも大きく、31%である。タイでは『不快』に思っている人は70%にのぼり、他地区とその傾向を異にしている。

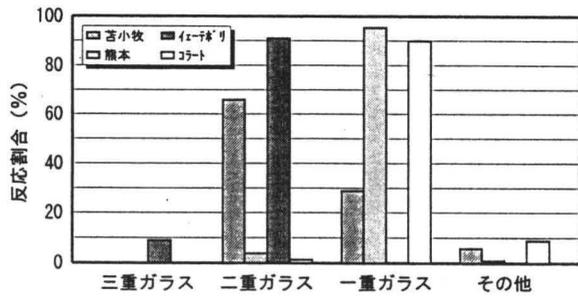


図-3(a) 窓タイプ

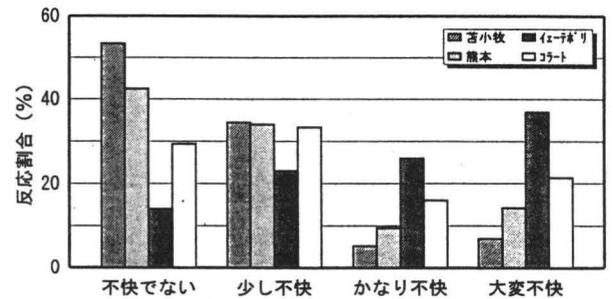


図-3(g) 自動車騒音の不快感

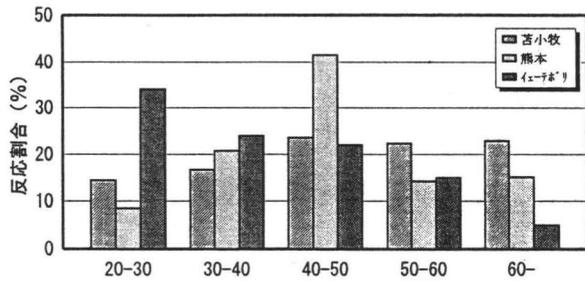


図-3(b) 年齢

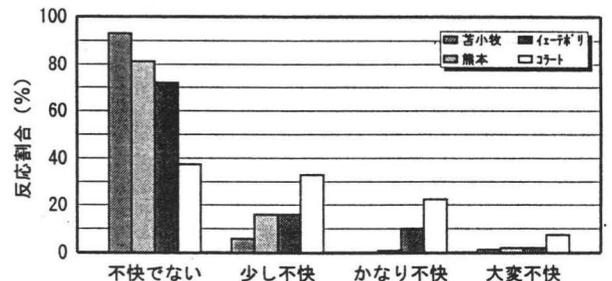


図-3(h) TV聴取妨害の不快感

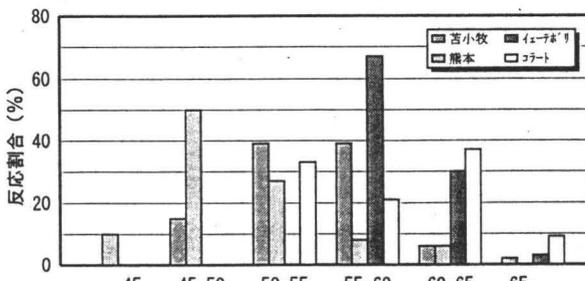


図-3(c) Leq (dB(A))

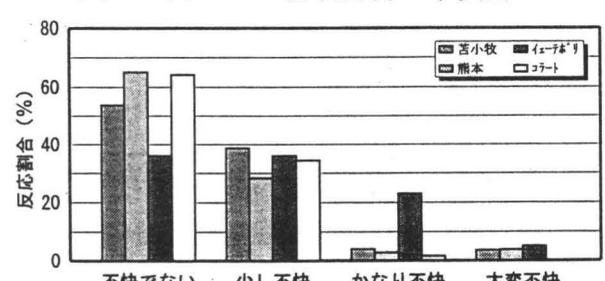


図-3(i) 住宅の振動の不快感

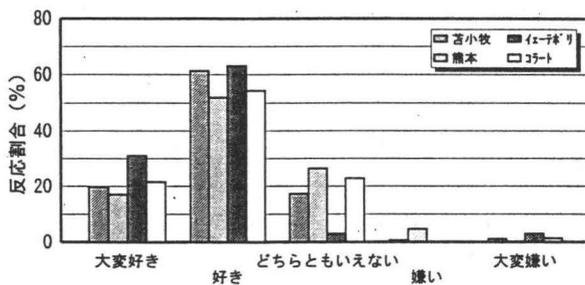


図-3(d) 地域好感度

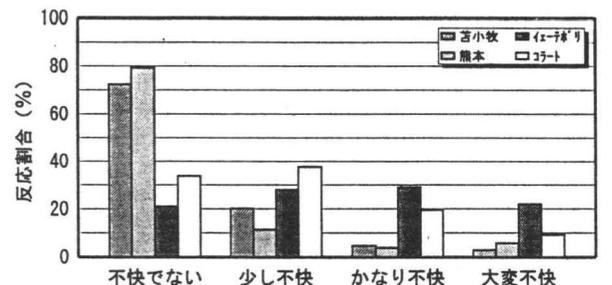


図-3(j) 排気ガスの不快感

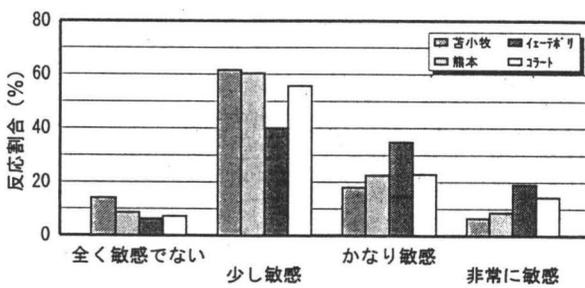


図-3(e) 騒音に対する敏感さ

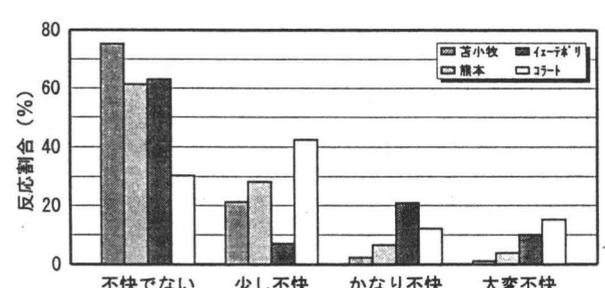


図-3(k) イライラ

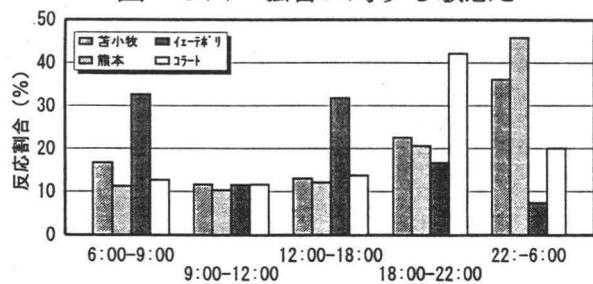


図-3(f) 自動車騒音をうるさく感じる時

主な項目についての単純集計結果をまとめると、回答者の属性やその地域についての評価は4地区で大きな差は見られないが、住宅の構造や窓構造は地域によって異なる。また、自動車騒音をうるさく感じる時間帯は日本、イエーテポリ、コラートで全く異なる。騒音の具体的な影響についてはイエーテポリで自動車騒音の不快感をはじめいくつかの項目について不快感を感じている人の割合が大きい。これはその地域が元来閑静な地区であるために、他地区よりもより大きい不快感を感じているのではないかと思われる。コラートでは自動車騒音の不快感、イライラ、排気ガスの不快感、TV聴取妨害でのその割合が大きい、厳しき騒音規制や排ガス規制が施されていないことなどが原因であると考えられる。

4.2 道路交通騒音の不快感のパスモデルによる異文化比較

道路交通騒音の不快感と他の要因との因果関係を明確にするために、パス解析を用いて道路交通騒音の不快感を各地区毎に分析する。パス解析とは、過去の知見と我々の経験を基に説明変数の目的変数への直接的な効果と間接的な効果の双方を先験的に推定し、その合計を総合効果として評価するとともに、重層的な因果関係を明らかにするものである。具体的なパスモデルの説明は4.2の(2)を参照されたい。

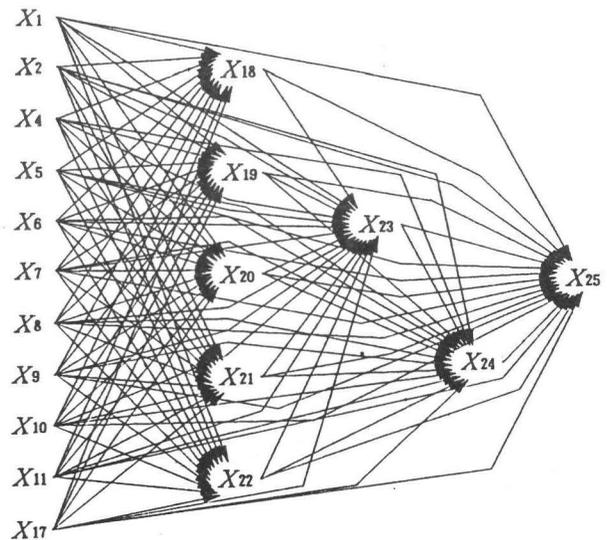
(1) パスモデルの説明変数の選択

パスモデルを構成する種々の変数を選定するために、各地区毎に全要因についてケンドールの τ を手がかりとしてワード法を用いてクラスター分析を行った。その結果イエーテポリでは8つのクラスターに、他地区では9つのクラスターに分類された。その主なクラスターは住宅要因、敏感さの要因、地域環境要因、自然環境評価の要因、個人的要因、自動車による聴覚的影響、自動車による非聴覚的影響、物理的要因である。これらのクラスターに含まれる個々の要因は地区によって若干異なるが、系統的な違いはなく、よく似たクラスター分けとなっている。

(2) 初期パスモデル

図-4は最終的な目的変数を道路交通騒音の不快感(以下、騒音の不快感と表記する)とした苫小牧における初期パスモデルである。このモデルはこれまでの知見や各国の生活様式の違いを考慮して、各々の変数を以下のように選定して構築した。

$X_1 \sim X_{17}$ は外生変数と呼ばれ互いに独立した変数である。これらは全変数間のピアソンの相関行列を基に互いに相関の低い変数を各クラスターから1~2個選んだ。 $X_{18} \sim X_{25}$ は内生変数と呼ばれ、他の要因の影響を受ける変数であり、主に騒音による具体的な



X_1 : Leq, X_2 :居住年数, X_3 :性別, X_4 :窓を開けて寝る, X_5 :普段の睡眠状態, X_6 :騒音に対する敏感さ, X_7 :公害に対する考え, X_8 :自然環境の評価, X_9 :窓のタイプ, X_{10} :寒さに対する敏感さ, X_{11} :道路の安全性, X_{12} :仕事の便, X_{13} :レジャーの便, X_{14} :自動車騒音をうるさく感じる頻度, X_{15} :住宅の安全性, X_{16} :住宅の構造, X_{17} :催し物の騒音, X_{18} :地域好感度, X_{19} :TV聴取妨害, X_{20} :覚醒, X_{21} :住宅の振動の不快感, X_{22} :排気ガスの不快感, X_{23} :窓を開けたいときに開けられない不満感, X_{24} :イライラ, X_{25} :自動車騒音の不快感

図-4 苫小牧の初期パスモデル
(寄与率: $R^2=0.627$)

影響である。これらはこれまでの知見と各クラスター内の同様な要因間で相互の相関が高いものを選んだ。

ここで図-4は、外生変数が騒音の不快感に直接影響を及ぼすとともに、内生変数を介して間接的に影響を及ぼすこと、さらにある内生変数も他の内生変数を介して間接的に影響することを示している。例えば、 $X_1(L_{04})$ は X_{25} (騒音の不快感)に直接影響するとともに、 X_{19} (TV・ラジオ聴取妨害)にも直接影響を及ぼし、 X_{19} を介して X_{25} に間接的に寄与することを示している。さらに、 X_{19} が X_{23} (窓を開けたいときに開けられない不満感)に影響を及ぼし、 X_{25} へ到達するという多層的な因果モデルを仮定している。各変数間の結びつきの強さはパス係数(標準回帰係数)で表され、構築したパスモデルに従い、各内生変数を目的変数とした構造方程式から求められる。これを直接効果と呼ぶ。間接効果は、ある変数を介して2つの変数が結びついているとき、それらのパス係数の積として表される。2つの変数を結びつける経路が複数ある場合には、各経路のパス係数の積の和となる。総合効果は直接効果と間接効果の和で定義される。

図-4の7つの内生変数 $X_{18} \sim X_{24}$ はどの地区の初期パスモデルでもすべて同じであったが、外生変数は地区によって若干の違いが見られた。苫小牧とイエーテボリでは11の要因、熊本とコラートでは12の要因が選定され、そのうち9要因は4地区共通している。すなわち $X_1(L_{04})$ 、 X_2 (居住年数)、 X_4 (窓を開けて寝ることがある)、 X_5 (普段の睡眠状態)、 X_6 (騒音に対する敏感さ)、 X_7 (公害に対する考え)、 X_8 (自然環境の評価)、 X_9 (窓のタイプ)、 X_{10} (寒さに対する敏感さ)である。

残りの要因は、イエーテボリでは X_{13} (レジャー施設の便)と X_{14} (自動車騒音をうるさく感じる頻度)、苫小牧では X_{11} (道路の安全性)、 X_{17} (催し物の騒音)、熊本では X_{11} (道路の安全性)、 X_{12} (仕事の便)、 X_{17} (催し物の騒音)、コラートでは X_{15} (住宅の安全性)、 X_{16} (住宅の構造)と X_{17} (催し物の騒音)である。

(3) 修正パスモデル

図-5(a)、(b)、(c)、(d)は修正パスモデルと呼ばれ、各地区の初期パスモデルにおいて、統計的に有意(5%水準)なパスだけで再構成したものである。初期パスモデルの寄与率は苫小牧、熊本、イエーテボリ、コラートでそれぞれ0.627、0.635、0.716、0.717であるのに対して、修正パスモデルの寄与率はそれぞれ0.530、0.563、0.688、0.594である。修正パスモデルでは多くのパスが削除されているが、寄与率を大きく低下させることなく騒音の不快感を説明している。図-6(a)、(b)、(c)、(d)はその分析結果で、直接効果と間接効果を示している。

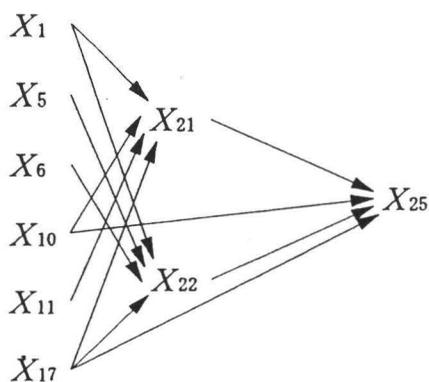


図-5(a) 苫小牧修正パスモデル
(寄与率: $R^2 = 0.530$)

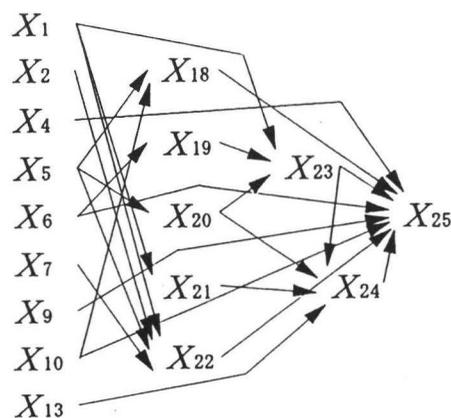


図-5(c) イエーテボリ修正パスモデル
(寄与率: $R^2 = 0.688$)

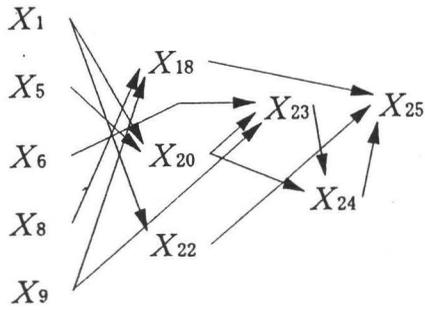


図-5(b) 熊本修正パスモデル
(寄与率: $R^2 = 0.563$)

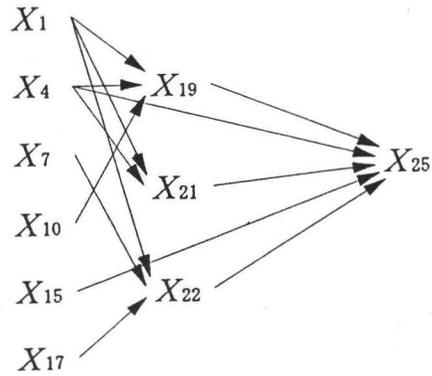


図-5(d) コラート修正パスモデル
(寄与率: $R^2 = 0.594$)

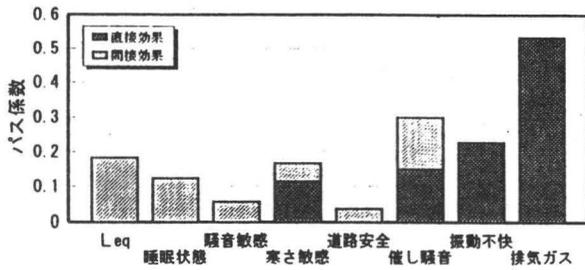


図-6(a) 苦小牧の修正パスモデル
分析結果

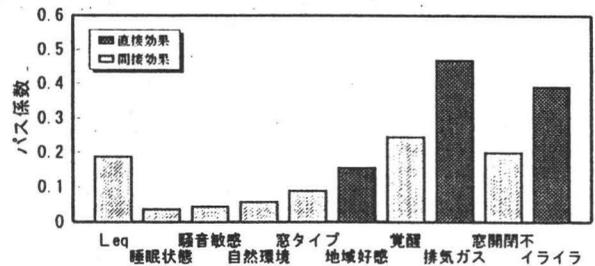


図-6(b) 熊本の修正パスモデル
分析結果

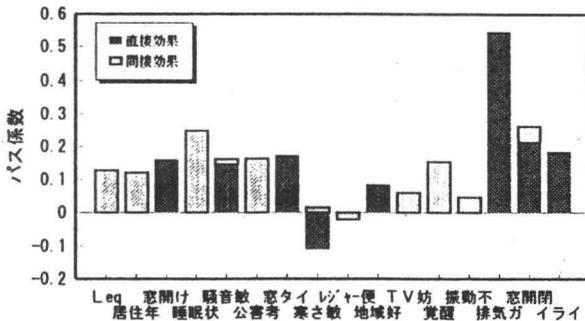


図-6(c) イエーテボリの修正
パスモデル分析結果

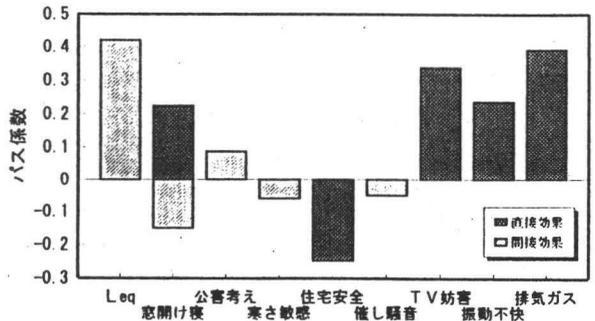


図-6(d) コラートの修正パス
モデル分析結果

各地区ともに排気ガスの不快感 (X_{22}) が騒音の不快感への直接パスとして、 L_{eq} (X_1) が間接パスとして残っている。また、苦小牧とコラートでは、窓を開けたいときに開けられない不満感 (X_{23})、イライラ (X_{24}) がなくなっているのに対して熊本とイエーテボリでは両地区ともに残っている。さらに、イエーテボリを除く3地区は10前後の変数で修正パスモデルが構成されているのに対して、イエーテボリでは2つの変数しか消えておらず、ほとんどの要因が残っている。

(4) 排気ガスの重要性

排気ガスの不快感 (X_{22}) は気候や文化の違いにも拘わらず、各地区で騒音の不快感に最も大きい影響を及ぼしている。図-3(j) で日本では排気ガスを不快に思わない回答者が多かったが、排気ガスの不快感と騒音の不快感の相関が高かったため、排気ガスの騒音の不快感への効果が顕著に現れている。このことは騒音対策を有効に行う上で排気ガス対策も併せて実施することが効

果的であることを示している。すなわち、自動車からの排気ガスの排出量を減らすことはもちろんのこと、街路樹などによる視覚的な対策も有効であることを示唆している。

調査中の経験からコラートの市街地ではオート三輪車に乗っているとトラックなどからのマフラーから出る排気ガスや粉塵によって目が開けられないほどである。イエーテボリでは夏季に庭で昼食や休息をとる光景をよく見かけたが、これらの生活行為に排気ガスが騒音とともに大きく関わっていることがうかがえる。

(5) 社会文化的影響

コラートでは他の地区と比べ $L_{eq}(X_1)$ の影響がかなり大きい。これはスウェーデンや日本と比べ自動車に対する規制が甘く、騒音レベルが高いことに起因していると考えられる。一方、コラートでは騒音に対する敏感さ (X_6) の影響はないが、イエーテボリはその影響が大きく、苫小牧、熊本ではわずかな間接効果が見られる程度で、各国民の社会的意識の違いが反映されていると考えられる。

住宅の振動による不快感 (X_{21}) やTV聴取妨害 (X_{19}) の不快感の行動的妨害の影響はコラートで大きい。苫小牧でも住宅の振動による不快感の影響が大きい。これらの地区は他の2地区に比べ対象道路から住宅までの影響が近い家が含まれているためであると思われる。

苫小牧では催し物からの騒音 (X_{17}) の影響が大きい、他の地区に比べ調査地区に商店街が多かったためであると考えられる。

熊本とイエーテボリの両地区は騒音の不快感に影響を及ぼす要因とその程度が似通っている。両地区ともイライラ (X_{24}) の影響が大きく、地域好感度 (X_{18}) の影響も含まれている。熊本の調査地区は新興の住宅街で、居住環境や自然環境が比較的良好という点でイエーテボリと似ているからであろう。

熊本ではイライラ (X_{24}) の影響が大きいに対して、苫小牧では影響はない。これは社会文化的な差はないと考えられるにもかかわらず、深夜の大型車の交通量や窓構造、夜窓を開けて寝る頻度の違いなどによる地域的な差が表れているものと考えられる。

4.3 まとめ

各調査地区で排気ガスの影響が気候や文化の違いにかかわらず大きく、騒音の不快感には排気ガスの浄化対策などが大変有効であることが示された。

コラートでは騒音暴露がTV妨害などの活動妨害を通して騒音の不快感に大きく影響している。また、タイの交通事情は車中心であり、歩行者が日本のように安全に歩けるという環境ではない。この悪条件の中で自動車騒音への意識はそれほど高くないのかもしれない。一方、イエーテボリでは国全体の社会福祉の水準は高く、居住環境はきわめてよい。そのような環境のもとでは、自動車騒音等の環境汚染要因への住民の意識は相当高いと考えられる。このような異文化間の反応構造の違いも本研究で示された。

5. 期待される成果

各調査地区とも共通して道路交通騒音の不快感へ排気ガスの影響が最も大きかった。このことは気候や文化の差に関わらず、排気ガスの影響が大きいことを示唆しており、騒音対策を考える上で、排気ガス対策も考慮しなければならないことを示している。騒音対策として、騒音の放出

を低減することはもちろんであるが、緑樹帯等による視覚的な遮蔽効果や空気の浄化作用も有効であるかもしれない。

一方、コラートでは他の地区と比べてTV聴取妨害の影響が大きく、イエーテボリでは普段の睡眠状態や窓を開けられない不満の影響が大きい。騒音の敏感さの効果はイエーテボリでは大きく、苫小牧と熊本では修正パスモデルにわずかに残っているが、コラートではなくなっている。このように、不快感の反応構造にはその地域の生活様式や文化の違いも現れており、騒音対策を考える上で、地域の特性を考慮することが重要であることが示唆されている。

6. 問題点と展望

これまで3カ国4地域にわたって、同一の構想と同一の手法を用いて社会調査と騒音測定を行い、反応構造を精緻に比較検討してきた。しかしながら、各地区のサンプル数は数十から百数十と少なく、これらの反応構造には調査地区特有の特性も反映されている。すなわち、同じ文化圏であっても地区が異なれば、反応構造も異なる可能性がある。したがって、気候や文化的による差を定量的にとらえるには、様々な地区特性を含む数百から千以上のサンプルが必要である。

交通騒音に対する社会反応の異気候・異文化比較研究の第一段階は本年度で終了し、次年度以降各国で大規模調査を行っていく予定である。

7. 研究発表の予定

- 1) 日本建築学会全国大会梗概集 D環境、1995. 8.
- 2) 日本建築学会計画系論文報告集

8. 実用化計画

なし

【参考文献】

- 1) J. S. Bradely 他: J. Sound Vib., 66(4), pp. 589-604, 1979
- 2) F. J. Langdon : J. Sound Vib., 49(2), pp. 241-256, 1976
- 3) 泉他: 日本建築学会計画系論文報告集、No.442, pp. 1-7. 1992
- 4) 山下他: 日本建築学会計画系論文報告集、No.451, pp. 9-18, 1993
- 5) 矢野他: 日本建築学会学術講演梗概集、環境工学D、pp. 1669-1670, 1994
- 6) 山下他: 日本建築学会研究報告九州支部第34号 2 環境系、pp. 57-60, 1994
- 7) 矢野他: 日本建築学会研究報告九州支部第34号 2 環境系、pp. 45-48, 1994
- 8) 矢野他: 日本建築学会研究報告九州支部第34号 2 環境系、pp. 49-52, 1994

2. 高耐久性ハイブリッド構造に関する研究

長崎大学工学部助教授

松田 浩

(共同研究者)

長崎大学工学部助手

森田 千尋

(株)三菱長崎機工

揚野 一隆

(株)総合技術コンサルタント

小林 康晃

(株)大林組

鈴木 尉浩

(株)旭化成工業

萩野 毅

長崎大学大学院生

相場 健一

1. 研究の背景および概要

昭和50年頃から半永久的なコンクリート系構造物の塩害・冷害・アルカリ骨材などによる早期劣化が問題となっている。また、近年の社会状況が高度成長から低成長時代へと変化し、建設構造物に対しても新設から既存構造物の維持・管理についての関心が高まっている。それに伴い、荷重超過や耐荷力の低下、過剰振動などの種々の問題を克服する必要性が生じてきた。道路橋の設計荷重として活荷重が大幅に増大されたことは、ますます既設構造物の維持・管理・補修・補強に対する関心に拍車をかけるものと思われる。

このような問題を解決する手段として、建設材料の高品質化、高性能化、高耐久性化が重要になってくる。特にコンクリート工事においてはプレキャスト化、ひび割れ防止、被覆・補修材、高耐久性化、高品質化が注目されている [1]。

一方、複合強化プラスチック（以下：FRP）に関する技術の発達にはめざましいものがあり、これまで航空・宇宙工学などの構造軽量化が重要な分野において研究・開発が進められてきた。FRPは軽量、高比強度、高比剛性をもつカーボン、アラミドなどの新素材と、プラスチック基材とを組み合わせた先端複合材料であるが、複合材料の高耐久性にも注目して土木・建築の分野でも現在使用されつつある。現在までのところ、RC、PC部材の鉄筋、PC鋼より線、あるいは外ケーブル用緊張材としての利用に主眼が向けられている。しかしながら、FRPなどの有効利用としては、一方向強化複合材を積層状にした積層板、積層偏平シェル構造なども考えられる。

また、省力・迅速施工を目的として開発された工法としてプレキャストのプレストレストコンクリート（PC）床版などを埋設型枠として利用する工法がある。PC床版埋設型枠工法は、プレストレスを導入したPC版を用いているので、現場打コンクリート打設時にはPC床版下縁の

ひび割れ発生を防止することができる。さらに、現場打コンクリート硬化後には三種PC部材の有効断面として設計できるなど、応力制御機能を合わせもっている[2]。しかし、型枠スパン長が長くなると、コンクリート打設時の重量が大きくなり支保工が必要になったり、作業用機械などの重量制限が問題になったりすることも考えられる。

さらに、レジンコンクリート(以下REC)、ポリマー含浸コンクリート(Polymer Impregnated Concrete :以下PIC)[3][4]などのポリマーコンクリートパネルを高耐久性埋設型枠として用いる新材料・新工法も近年開発されてきている。ポリマーコンクリートは、遮塩・遮水性、耐凍害性、耐摩耗性、化学抵抗性に優れており、さらに、表面を粗面処理すればコンクリート構造物の有効断面として考慮できるなどの特長を有している。しかし、引張強度の大幅な増大はみられず、コンクリート系材料特有の曲げひび割れが生じ易い材料であることには変わりがない。

したがって、高強度コンクリート系材料においては材料強度の面からだけではなく、構造的な観点からも高強度材料の高付加価値化を追究すべき余地が残されているものと考えられる。すなわち、PC版にみられるようなプレストレスを導入する応力制御機構としてのプレストレス構造、あるいは、形態抵抗系としてのアーチ構造、さらには、それらを組み合わせたハイブリッド構造の考え方が有効になるものと考えられる。

本研究では、以上に鑑み、プレストレス鋼構造、新素材を用いたコンクリート系ハイブリッド構造、および、積層構造の力学的特性を実験的および解析的に明らかにするとともに、高耐久性な構造用部材としての実用化に資するための基礎データを蓄積させることを目的に、以下の点について調査研究を行った。

- ①高耐久性複合材料の材料力学的特性
- ②鋼製補剛アーチ系ハイブリッド構造物の耐荷力特性
- ③高強度コンクリート系タイドアーチの耐荷力特性
- ④積層板、積層偏平シェルの力学的特性

2. 高耐久性複合材料の材料力学的特性

2.1 研究目的および方法

本研究は高耐久性材料を用いたハイブリッド構造部材の力学特性を調べることを目的としているが、まず、そのためには使用材料の材料力学的特性を調べる必要がある。建設材料として主として用いられる鋼およびコンクリートの材料力学的特性は十分に調べられており、構造部材の設計に反映されている。本研究では高耐久性材料として、ポリマー含浸コンクリート(PIC)を使用するので、PICの材料力学的特性を把握するために、文献等を調査し、また、必要があれば実験を行う。

2.2 調査結果

そもそもコンクリート系材料の大きな欠点は、引張りに弱く変形能力に欠けるために、乾燥収縮や硬化熱等によってひびわれが生じ易いことである。また、製造上避けられない内部空隙の存在により、水密性を損ない、雨水や海水の浸透、あるいは、炭酸ガスの侵入によって、コンクリート内部の鋼材の腐食、コンクリート自体の中性化等を促し、コンクリート構造物全体の耐久性

を低下させる結果となる。とくに最近では、塩害によるコンクリート構造物の早期劣化が大きな問題となっており、また、硫酸塩土壌や酸性河川、温泉水などによるコンクリート構造物の劣化の被害も発生していることなどから、コンクリートの耐久性向上技術の開発が強く要求されるようになった。

P I Cはコンクリート構造物の耐久性向上技術として期待され、これまで現場で構造物の表層をポリマー含浸する工法を主体とした研究が数多くなされてきた。しかしながら、経済性や安全性、さらには、目標とする品質を確保することが困難等の理由により、実構造物への適用はほとんどなされていない。

P I C版は図2-1に示すように、普通コンクリートと同様な方法で製作した厚さ15~40mm程度のコンクリート版の微細な空隙あるいは局部欠陥に、ポリマー含浸材を含浸・重合させ充填し緻密にした複合強化材である。したがって、P I Cは圧縮、引張り、曲げ強度などの飛躍的な向上によって、耐衝撃性、耐磨耗性に優れているだけでなく、塩素イオンなどの有害物質に対しても十分な遮蔽能力を発揮し、耐久性・耐食性においても優れた特性を有している。さらに、表面を粗面処理していることから、現場打ちコンクリートとの付着性にも優れており、コンクリート構造物の有効断面として考慮できる特長を有している。

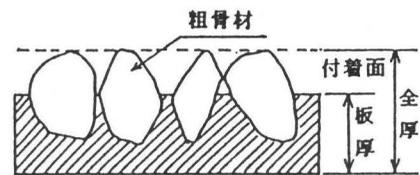


図2-1 P I C版の形状

したがって、上記の被害からコンクリート構造物を防護し、かつ、その耐久性を向上させるために、構造物の表層部に、腐食因子に対する遮蔽能力に優れ、また、物理的強度にも優れたP I Cを配置することは、非常に有効な手段であると考えられる。

2.3 問題点と対策

(1) P I Cは物理的強度、耐久性、耐食性に優れた材料であり、P I C自体は長スパンにも適用できる強度特性を有している。しかしながら、それはポリマー含浸後の特長である。図2-2に示すように、P I Cの製作過程においては通常のコンクリートと同様にコンクリート版が打設製作されるため、P I Cの長さが普通コンクリートの製作工程時の長さに依存する。

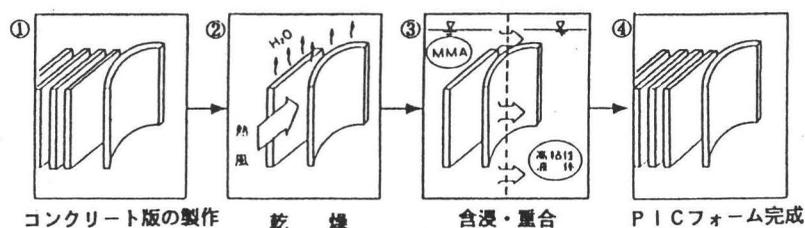


図2-2 P I C版の製造方法

短繊維で補強したセメントコンクリート部材である繊維補強複合体は、①鉄筋などによる補強が不可能な薄板部材、②局部的な高応力あるいは大変形を受ける部材、③温湿度に起因するひび割れの制御を目的として利用されているので、この問題においても十分対応できるものと考えら

れる。

しかしながら、繊維補強コンクリートにポリマーを含浸した後のP I Cの曲げ強度は、短繊維の種類、繊維含有率、基材セメント強度にはあまり影響されず、母材のポリマーの強度で決定される。P I Cなどのような高強度、高性能、高耐久性を有する複合コンクリート系材料においては、補強材である短繊維の含有率などを変化させても、引張り強度、曲げ強度を増大させることはできてもごくわずかである。

したがって、高強度を有する複合コンクリート系材料においては、材料強度の面からだけではなく、構造的な観点からも高強度材料の高付加価値を追究すべきであると考えられる。さらに、現場で構造物の表層をポリマー含浸する工法の研究・開発、および、短い板部材を接合する技術・構造系の研究が望まれる。

(2) 高耐久性材料であるP I Cを梁、スラブなどのP C部材として曲げ引張り側に使用する場合、その表面に単にP I C版で覆っただけではP I C版自身にひびわれ発生の可能性があり、完全な防食効果を期待することはできない。そのためP I Cと現場打ちコンクリートを付着せずに工事が行われている。しかしながら、耐久性の向上のためにはP I Cと現場打ちコンクリートとは付着を完全にすべきであると考えられる。

図2-3に示すようにP I C版の適切な箇所にジョイントを設け、弾性シーリング剤によって接合し、その部分をひびわれ誘導目地とすれば、ひびわれコントロール設計ができるものと考えられる。使用限界状態においてR C部材に許容される曲げひびわれは、発生間隔が比較的大きくなると考えられ、このひびわれ発生間隔に合わせてP I C版のジョイントを設置すれば、このジョイント部にひびわれを発生させることが可能となる。さらに、ジョイントの接合剤にシリコン樹脂を使用すれば、使用限界状態においてひびわれが発生してもジョイント部の遮水性は確保され、防食性能の低下を少なくできる [5]。

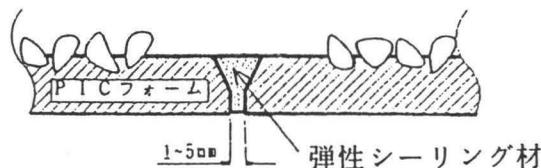


図2-3 弾性シーリング材によるジョイントの接合

このような対策を実現するには、以下のことが課題として挙げられる。

P I C版の設置間隔は最大ひび割れ間隔算定式に基づいてジョイント位置を決定すればよいのだが、施工性を考慮するとP I C版にひび割れが発生しない範囲でジョイントを少なくする方が望ましい。P C部材の曲げひび割れがジョイント部を誘導目地として発生し、あるパネルの長さより小さければ実際にそれ以上パネルにはひび割れは発生しないのかを実験的に確認する必要がある。また、それらの結果を数値的にシミュレーションすることができれば、R C部材の断面諸量に変化しても最適なジョイント位置が決定できる。

3. 鋼製補剛アーチ系ハイブリッド複合構造物の耐荷力特性

3.1 研究目的

鋼アーチに対してはアーチ橋などを対象として多くの研究成果がこれまでに実験的および解析的になされてきている。アーチ系橋梁は、元来、強固な岩盤支持、あるいは、強固な基礎構造を必要として建設されており、主として2ヒンジや固定アーチに対して研究が進められてきたが、ランガー桁橋、ローゼ桁橋、タイドアーチなどの補剛アーチも近年建設されている。このような補剛アーチ橋は、2ヒンジアーチの2支点間にタイや桁を引き渡したものである。そうすると、水平反力はタイや補剛桁によって受け持たすことができ、外的には静定で、内的には不静定構造となる。

以上のように、2ヒンジや固定の支持条件を有する鋼アーチに対しては多くの研究成果がこれまでになされてきている。しかしながら、アーチ部材がコンクリート、緊張材がCFRPなどの新素材からなるタイドアーチ形式の構造の耐荷力特性についてはあまり研究されていない。また補強の基本的な方法としてケーブル構造と鋼・コンクリート混合構造があるが、ケーブル構造の使用はケーブルを緊張することで構造系に容易にプレストレスを導入することができる。

鋼構造にプレストレスを導入する試みはヨーロッパにおいてなされ、特にドイツでは第2次大戦の復興に少ない鋼材量で大スパン橋梁を建設するための研究・開発が盛んに行われた。プレストレスト鋼構造に関しては、川口先生の文献レビュー [6] に詳述されており、Fritz [7] はプレストレストタイドアーチ構造は、不経済にすることなくアーチのライズ高を低くすることができることを報告している。また、プレストレストアーチに関する研究はAmde [8] によって行われている。

本研究では、現在までに多くの研究成果がある鋼製補剛アーチの耐荷力特性を明らかにし、橋梁本体ではなく補強部材としての利用可能性を調査し、実用に資するための基礎データを蓄積することを目的としたものである。

3.2 研究方法・計画

上述したような補剛アーチ構造では極く小さな支承点の水平変位によってその力学的特性が著しく変化するので、これに着目した構造処理をする必要がある。

アーチ構造を《アーチ+補剛材》からなる自定式の補剛アーチとすると、支持力負担のための基礎構造も軽減できる。さらに、タイを緊張することによりアーチリブには負曲げモーメントが作用することになり、応力制御機構としてのプレストレス、および、形態抵抗機構としてのアーチ構造の両面の長所が発揮できるものと考えられる。

本研究では、以下の点に関して研究を進める。

- ① タイドアーチ形式の補剛アーチ系構造物に対する弾塑性有限変位解析プログラムの開発。
- ② タイとアーチリブの剛性比、アーチのライズスパン比、アーチリブの細長比などをパラメータとした弾塑性有限変位解析を行う。
- ③ 初期降状、座屈荷重に注目した耐荷力解析を行い、2ヒンジアーチなどとタイドアーチの極限強度特性の差異を明らかにする。
- ④ アーチリブにプレストレスを導入した場合の解析プログラムを作成し、①～③と同様に弾塑

性有限変位解析を行い、プレストレス量がタイドアーチ構造の耐荷力に与える影響を定量的に明らかにする。

3.3 研究結果および考察

(1) 今までに得られた結果

はじめに本解析法の有効性を調べるために、2ヒンジ円弧アーチに集中荷重が作用した場合の解析を行った。図3-1は本解析法による結果をHuddleston [9]の解析解とともに示したものである。本解析法ではタイドアーチの解析プログラムであるので、タイドアーチを2ヒンジアーチとみなせるようにタイの伸び剛性を無限に大きくして幾何学的非線形解析を行った。本解析法による解析結果はHuddlestonの解析解とよく一致している。

つづいて、本解析法によるタイドアーチ構造の数値解析結果を示す。解析では、すべて円環断面を有する放物線タイドアーチ、材料定数 $E/\sigma_y = 875$ に対して複合非線形解析を行った。図3-2は、アーチ構造では最も不利な荷重条件となる半載分布荷重を受ける、ライズスパン比 $f/L=0.05$ 、タイとアーチリブの伸び剛性比を k として、 $k=0.05\sim 0.3$ と変化させた場合のタイドアーチの耐荷力解析結果を示したものである。縦軸に限界水平反力パラメータ σ_H/σ_y (σ_H : 限界水平応力、 σ_y : 降伏応力)を示したもので、横軸は細長比である。実線が $k=0.05$ 、点線が $k=0.1$ 、一点鎖線が $k=0.3$ のときの伸び剛性比の場合を示している。 k の値が大きくなるほど初期降伏点と座屈点が各々上昇している。また、細長比が大きくなると初期降伏点と座屈点が接近し、タイとアーチリブの伸び剛性比 k に依存しなくなる。

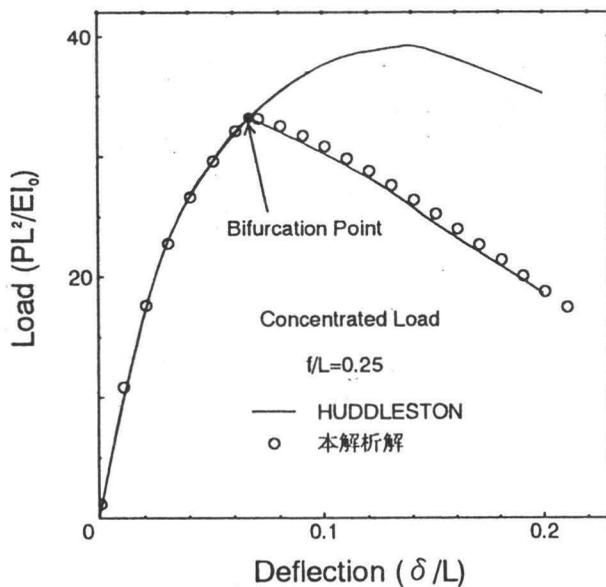


図3-1 2ヒンジ円弧アーチの幾何学的非線形解析

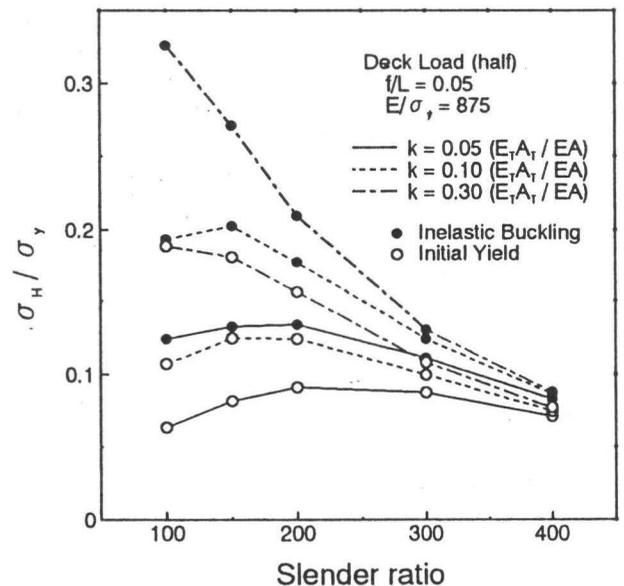


図3-2 耐荷力曲線

次に、タイドアーチ構造にプレストレスを導入した場合のプレストレス量の影響を明らかにするため耐荷力解析を行った。図3-3は、ライズスパン比 $f/L=0.05$ 、細長比 $a=200$ 、タイとアーチリブの伸び剛性比 $k=0.1$ のタイドアーチに、プレストレスを $P_0 L^2 / EI_0 = 0.0\sim 3.0$ まで導入したときの半載分布荷重による荷重-たわみ曲線である。プレストレス量が増加

していくと、初期降伏点と座屈点がある荷重値まで上昇するが、それ以降は下がっている。図3-4は、プレストレスが耐荷力に及ぼす影響を調べるために、縦軸に限界水平反力パラメータ σ_H / σ_y 、横軸は細長比を示したものである。同図より、初期降伏点と座屈点に各々最大となるプレストレス量が存在することがわかる。この時のプレストレス量が、与えられた細長比、タイとアーチリブの伸び剛性比、ライズスパン比を有するタイドアーチに対して最適なプレストレス量となる。

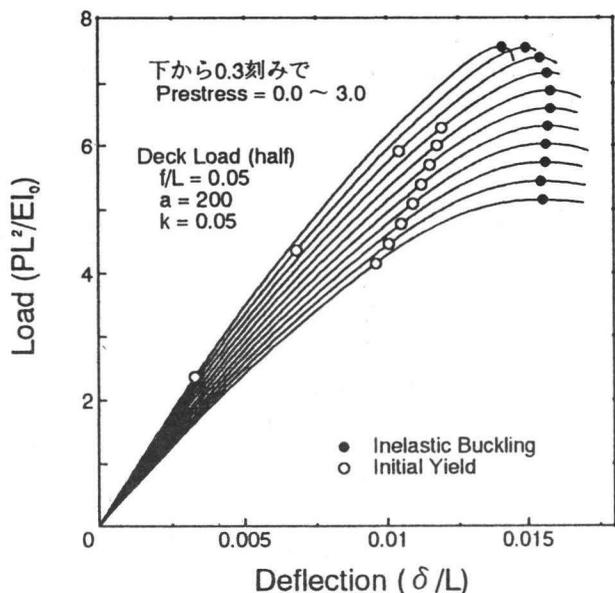


図3-3 荷重-たわみ曲線

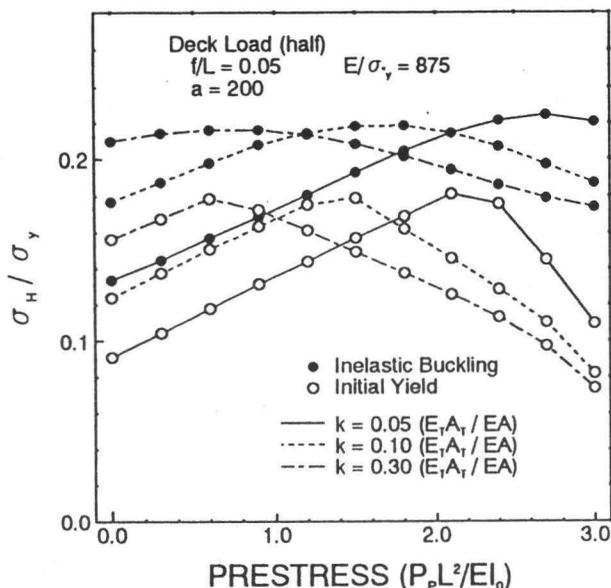


図3-4 限界水平反力パラメータ-プレストレス曲線

図3-5～図3-7は、細長比 a を変化させて同様な解析を行い、各々の結果から得られる最適プレストレス量導入時の初期降伏点と座屈点を、その細長比に対する耐荷力として示したものである。それぞれ、図3-5は集中荷重、図3-6は全載分布荷重、図3-7は半載分布荷重の耐荷力曲線を各々示したものである。実線はプレストレス量が0の場合、点線が最適なプレストレス量を導入した場合である。どの荷重条件に対しても、細長比が小さい場合は初期降伏点と座屈点が増加しているが、細長比が大きくなるとプレストレスの効果が見られなくなる。

これらの図より、タイとアーチリブの伸び剛性比 k は耐荷力に大きく関わっていることがわかる。また、細長比、荷重条件によって構造系の最適なプレストレス量が異なるのでプレストレスの導入にはこれらの点も考慮する必要がある。

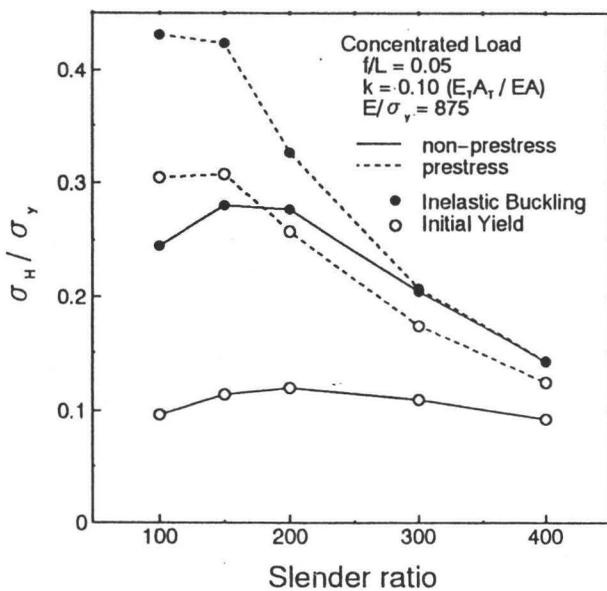


図3-5 耐荷力曲線

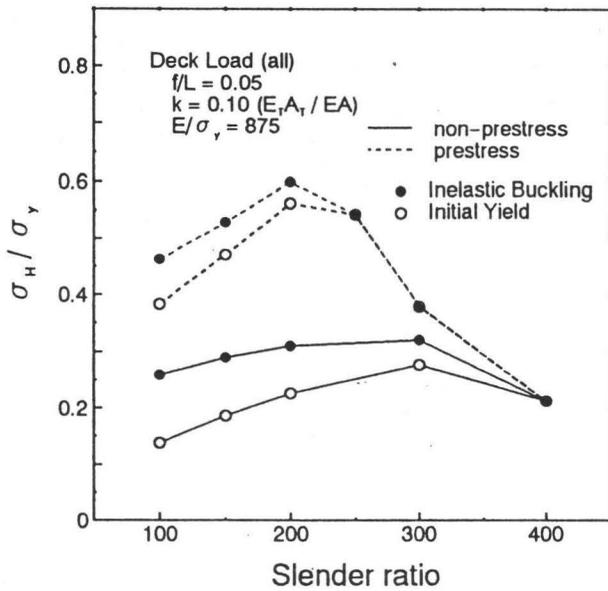


図 3-6 耐荷力曲線

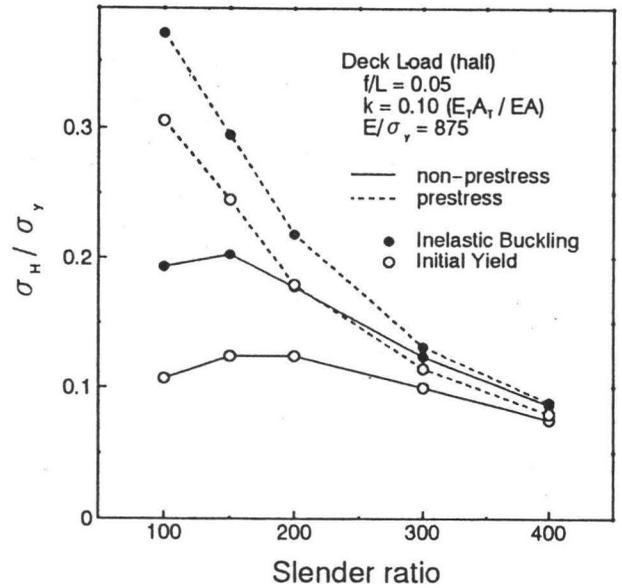


図 3-7 耐荷力曲線

(2) 期待される成果および残る問題点と対策

鋼構造にプレストレスを導入する試みは古くからなされているが、それは少ない鋼材量で大スパン橋梁を建設することが目的であった。既設構造物の維持・管理に対する関心が高まっている今日では、プレストレスト鋼構造による補修・補強対策、あるいは、たわみ制限等に有効になるものと思われる。

そのためには、円環断面だけでなく実用的な他の断面形状についても同様な解析を行うとともに、既設構造物へのプレストレスの導入方法を検討する必要がある。また、タイの素材にどのようなものを使用するか、実構造の複雑な構造や諸量をどのように単純化し、解析に取り入れていくかなどが検討課題となろう。

4. 高強度コンクリート系タイドアーチの力学的特性

4.1 研究目的

アーチ構造は一般に曲率中心方向の分布荷重作用下では軸圧縮力状態となり、荷重作用による曲げ引張りが減少するから、コンクリートのように引張りに弱い材料のひび割れ防止に対して有利になる。また、構造系を《アーチ+ケーブル》からなるハイブリッド構造とすると、支持力負担のための基礎構造が軽減できるとともに、通常の実直なはりと比較して耐力の増加が期待できる。しかしながら、本研究では、高強度コンクリート系材料をアーチ部材に用いること、また、このようなタイドアーチ構造は、緊張材の種類、緊張材量により構造系の力学的特性が変化すること、さらには、コンクリートには鋼のような変形性能はなく、コンクリート自体が圧縮には強く引張りには弱いという材料異方性を有していることもあり、コンクリートアーチの座屈特性は鋼アーチとは大きく異なることが予想される。

本研究の目的は、コンクリートの高強度特性をアーチ系の構造部材によりの確に反映させ、実構造に適用するために、種々のアーチ系構造に対して実験を行うとともに、弾塑性有限変形解析

プログラムを開発し、種々のパラメータ解析を行い、本研究で用いるような〈構造材料+構造形式〉の実用化に資するための基礎データを蓄積させることにある。

4.2 研究計画

研究目的に基づき、具体的には以下の実験的および理論的な研究を行なう。

- ① 複合構造部材としてタイドアーチ構造の試験体を製作し、その構造力学的特性を明らかにするため実験を行う。アーチリブにはP I Cを使用し、緊張材にはP C鋼棒、P C鋼より線、C F R P連続繊維緊張材を用いた混合タイドアーチ構造に中央点集中荷重を載荷して実験を行う。また、実験と並行して理論解析も行っている。
- ② 鋼アーチのように薄肉部材では座屈が問題となるが、本実験で用いているようなコンクリート断面では座屈の問題はあまり考えなくてもよいと思われる。しかしながら半載荷分布荷重に対してアーチ構造は最も不利な状態となるので、これを考慮して半載荷分布荷重および等分布満載荷重を載荷した場合の実験を行う。
- ③ タイにプレストレスを導入した場合アーチリブには負曲げモーメントが作用することになり、応力制御機構としてのプレストレス、および、形態抵抗機構としてのアーチ構造の両面の長所が発揮できるものと考えられる。アーチリブ上面にひびわれが発生しない程度にプレストレスを導入して載荷実験も行い、プレストレスの導入の有無が構造系の力学特性に与える影響について検討する。
- ④ 前記③の実験結果よりアーチリブにひびわれが発生しない程度の導入可能なプレストレス量が決定できるので、プレストレスを導入したタイドアーチ構造上に現場打コンクリートを打設しアーチリブの応力の経時変化の計測を行う。この実験はプレストレスを導入したタイドアーチ構造を埋設型枠として用いた場合を想定したものである。
- ⑤ 前記の実験結果をふまえ、本研究で用いるようなコンクリート系混合タイドアーチ構造のひびわれ発生から崩壊に至るまでに変化する構造系の合理的なモデル化について考察するとともに、このようなハイブリッド構造の耐荷力特性の定量化のための弾塑性有限解析を行う。

4.3 供試体および実験方法

上記の研究計画をもとに図4-1に示すようにスパン120cm、ライズ26cm、断面幅30cm、中央部の厚さ3cmおよび端部厚さ6cmの変断面放物線アーチ部材を作製した。水平推力の処理形式としては、緊張材を用いたアウトケーブル形式で受けもたせるタイドアーチ構造とした。表4-1に、P I C、および、緊張材として用いた鋼棒、鋼より線、C F R Pより線の物性値を示す。緊張材の伸び剛性が非常に大きい場合は、2ヒンジアーチに近い挙動を示すことを考慮して断面積が大きい鋼棒を用いた。C F R Pより線の定着には、ハイテク繊維材の定着法として、現在、研究開発が進められている方法[10]を用いた。

集中荷重載荷はアーチ中央部に荷重計を介して200tf万能試験機で荷重制御により行った。また、分布荷重載荷はセメント袋及び砂袋を用いて行った。分布荷重載荷では荷重制限上破壊までには至らせて

表4-1 PIC および緊張材の物性値

P I C	圧縮強度	1500	kgf/cm ²
	曲げ強度	240	kgf/cm ²
	引張強度	120	kgf/cm ²
	弾性係数	3.5×10^5	kgf/cm ²
緊 張 材	項目	断面積	弾性係数
	種類	mm ²	kgf/cm ²
	P C鋼棒	415.5	2.06×10^6
	P C鋼より線	51.6	2.01×10^6
	CFRPより線	76.0	1.44×10^6

ない。支承部は両端とも回転および移動を可能とし軸方向の拘束の影響をできるだけなくすようにした。また、タイ材の緊張によるプレストレスの導入は、定着ナットの手締めにより行った。実験に際しては、供試体のたわみ、水平反力、P I Cのひずみなどを計測した。供試体に設置したひずみゲージおよび変位計等の設置状況は図4-1に示すとおりである。

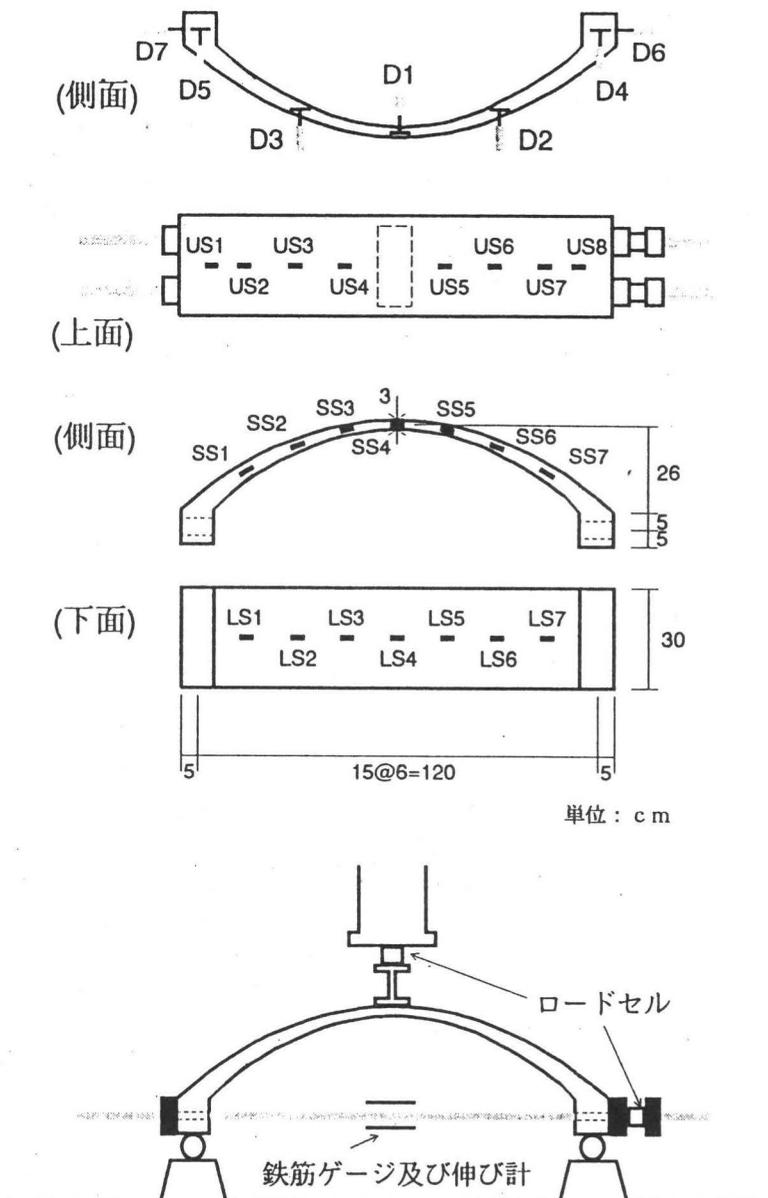


図4-1 供試体形状および荷装置

4.4 実験結果および考察

緊張材として、P C鋼棒、P C鋼より線、および、CFRPより線を用いたタイドアーチ供試体の荷重実験結果について以下に示す。以下の図ではP C鋼棒を丸印、P C鋼より線を四角印、CFRPより線を三角印で表し、白印、および、黒印は、それぞれ、プレストレスなし、および、プレストレス有りの場合を示す。

(1) ひび割れ発生前の挙動

(集中荷重載荷試験)

図4-2(a)および(b)は、中央点集中荷重を受ける場合の荷重-中央点たわみ曲線および荷重-中央点下縁ひずみ曲線である。点線は緊張力導入前の計算結果であり、実験結果よりやや大きな値となっている。プレストレスを導入しない場合、荷重たわみ曲線は緊張材の種類により剛性が明確に異なっており、当然のことながら、弾性係数と断面積の大きなPC鋼棒を用いた場合が最も剛となっている。一方、荷重-下縁ひずみ曲線では、緊張材の種類による違いはたわみの場合ほどみられない。本実験でのプレストレスは、アーチ部材上面にひび割れが発生しない程度(中央点下縁ひずみ約 150μ)の緊張力を導入した。同一の下縁ひずみ量に対する初期たわみは、緊張材の種類に拘らず同じ量であるべきであるが、この程度の緊張力はナットの手締めで導入したこと、緊張力としては非常に小さい量であること、さらには2本の緊張力を同じ量に制御することが困難だったことなどの理由により、誤差が生じたものと考えられる。

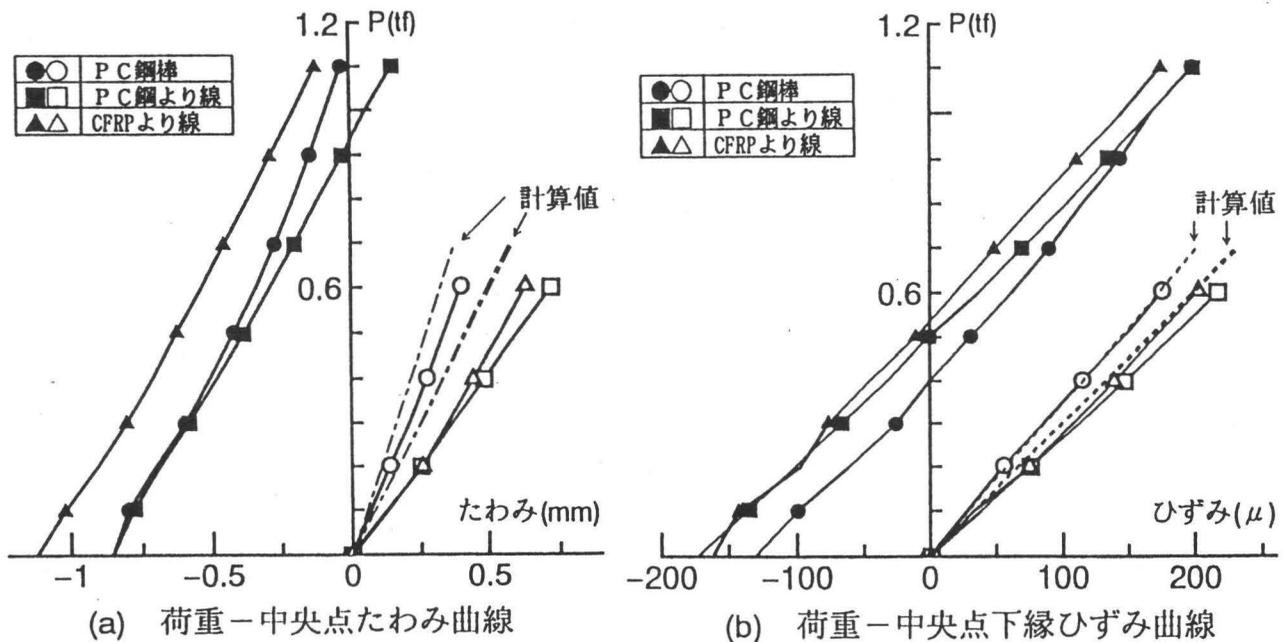


図4-2 集中荷重載荷試験結果

また、緊張力導入前後の載荷試験結果を比べると、荷重-たわみ曲線の傾きがごくわずかであるが増大している。図4-3はCFRPより線を用いた供試体における緊張力導入前後(Δ :緊張力導入前、 \blacktriangle :緊張力導入後)のたわみ分布を示したものであるが、この図からもたわみ量の減少が窺える。同一スパン長のアーチにおいてアーチのライズ高を大きくすると同一荷重に対する変形量は小さくなる。このように、本実験では構造系自体には剛性の変化はないにもかかわらずたわみ量が小さくなるのは、アーチ構造特有の形態抵抗機構によるもので、プレストレスによりアーチのライズ高がわずかに増大し、その結果鉛直荷重に対するたわみが減少したものと考えられる。

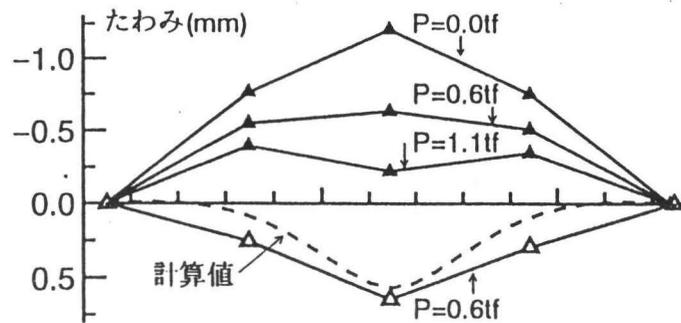


図4-3 たわみ分布 (集中荷重)

(分布荷重載荷試験)

図4-4(a)および(b)は、半載荷分布荷重を受ける場合の荷重-中央点たわみ曲線および荷重-中央点下縁ひずみ曲線である。緊張材の影響は集中荷重載荷の場合と同様に、緊張力導入前後の載荷試験においてたわみ量がごくわずかであるが減少している。分布荷重は最大 0.7tf/m程度までしか載荷できなかったが、分布荷重によるたわみおよびひずみの増加量はわずかであり、アーチ特有の分布荷重に対する有効性が示されている。満載荷分布荷重に対しても同様な実験を行ったが、その結果は半載荷の場合と同じような結果が得られた。

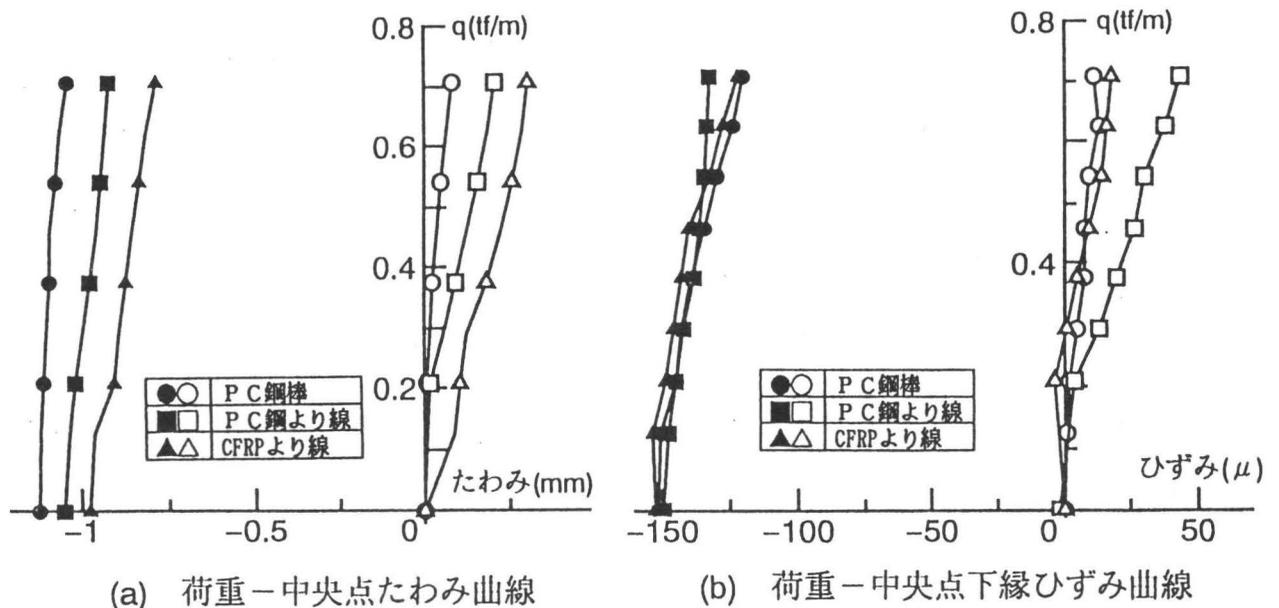


図4-4 半載荷荷重載荷試験結果

図4-5および図4-6は、各々、緊張力導入前後の半載および満載荷重によるたわみ分布を示したものである。半載荷の場合はアーチに特徴的な逆対称モードの変形が進行していることがわかる。このような逆対称変形モードが進行すると分岐座屈などの座屈安定性が重要になってくるが、コンクリートには鋼のような変形性能はなく、また、コンクリート自体が圧縮には強く引張りには弱いという材料特性を示すため、コンクリートアーチは鋼アーチとは異なった座屈特性を示すことが考えられる。本実験では小さな分布荷重強度しか載荷してないので、今後、半載荷の荷重条件でコンクリート系アーチ構造の破壊実験を行い、定量的に耐荷力を評価する必要がある。

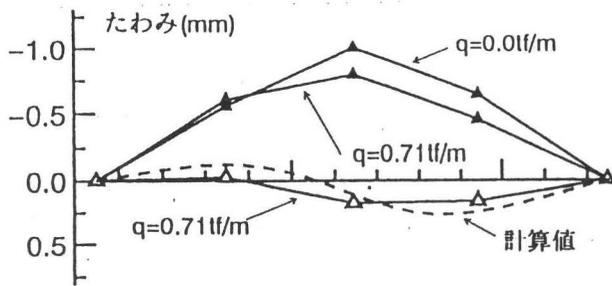


図 4-5 たわみ分布 (半載分布荷重)

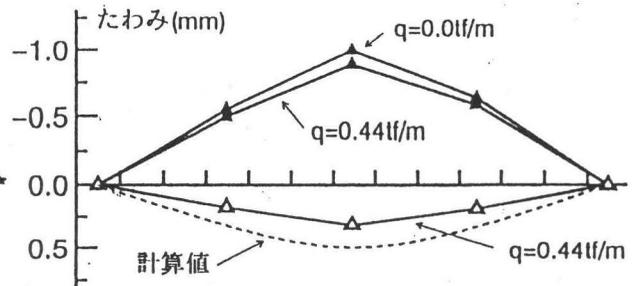


図 4-6 たわみ分布 (満載分布荷重)

(2) 破壊挙動

図 4-7 は、緊張材に PC 鋼棒、PC 鋼より線、および、CFRP より線を用いた場合の中央点集中荷重載荷による破壊試験における荷重と中央点のたわみの関係を示したものである。同図中において、実線は実験で得られた結果であり、点線は線形弾性計算結果である。計算結果と実験結果と比較すると、ほぼ一致していることがわかる。

同図に示すように、PC 鋼棒の場合には $P=2.9\text{tf}$ で、また、PC 鋼および CFRP より線の場合には $P=2.4\text{tf}$ で荷重が低下し、その荷重値のときアーチスパン中央部下縁にひび割れが発生し、急激に断面中央部付近までひび割れが進行した。しかしながら、中央部下縁にひび割れが発生しても、上縁部の P I C は $1,500\text{kgf/cm}^2$ の圧縮強度を有するので耐力を維持できる。また、たとえ中央部上・下縁にひび割れが発生していても（塑性ヒンジ的な構造モデル）、まだ 2 ヒンジアーチと 3 ヒンジアーチの中間程度の構造系として安定性を維持できる。ひび割れ発生時の計算値は、中立軸より下縁側の $1/3$ の断面の応力が P I C の曲げ引張強度 (240kgf/cm^2) に達したときの荷重値を、それ以上の荷重に対する構造系の限界荷重値とした。いずれの緊張材を用いた実験でも、ひび割れ発生荷重はほぼ一致している。

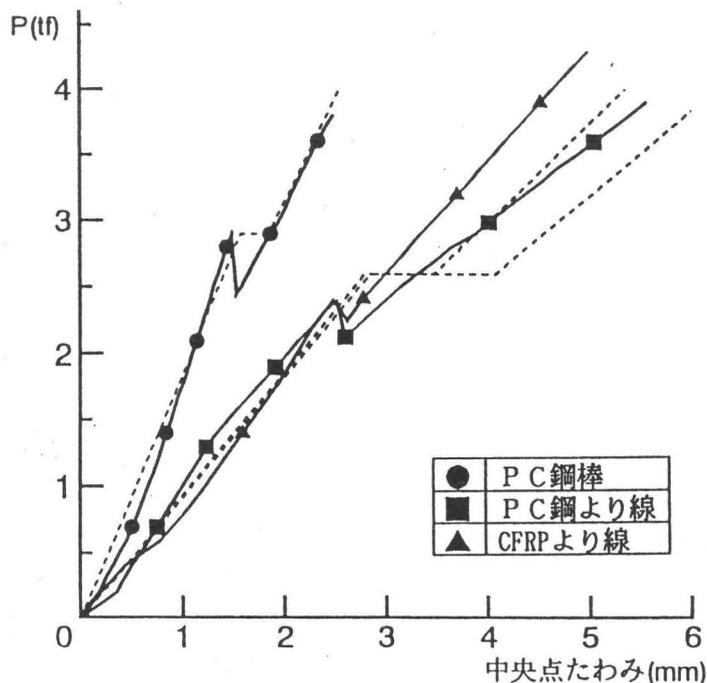


図 4-7 破壊載荷試験結果 (集中荷重)

スパン中央部下縁にひび割れが発生した後の構造系の荷重とたわみの関係（実験結果）もほぼ直線を示している。限界荷重を超えたひび割れ発生後の点線部分（計算値）は、PC鋼棒では断面の2/3を有効とした場合の計算結果で、PC鋼より線、CFRPより線では、緊張材の伸び量がPC鋼棒の場合よりも大きくひび割れ幅が大きくなり有効断面も小さくなると考えられるので、1/3だけを有効とした計算結果である。実験結果と比較すると、PC鋼棒ではよく一致しているが、PC鋼より線、CFRPより線の場合はそれほど一致していないが、ひびわれ後の直線の傾きは同程度となっている。なお、PC鋼棒の場合と同様に断面の2/3を有効とした計算値は、ひび割れ発生後の直線の傾きがかなり異なる。したがって、アーチのスパン中央部下縁にひび割れが発生した後の構造系は、緊張材の伸び量によって有効断面が変動するような挙動を示すものと考えられる。

さらに载荷を続けると、PC鋼棒および鋼より線の場合 $P=3.8\text{tf}$ で、CFRPより線の場合 $P=4.3\text{tf}$ で最大荷重に達した。このときアーチスパンの1/4付近（左右いずれか1カ所）の上縁にひび割れが発生し破壊に至った。供試体の破壊形状の模式図を図4-8に示す。

ポリマーコンクリートが有する高強度特性をアーチ系の構造部材により適確に反映させ、実構造に適用するためには、各種荷重に対するコンクリート系タイドアーチ構造の耐荷力特性の定量化のための実験、および、線形弾性解析にとどまらず、ひび割れが発生から崩壊に至るまでに変化する構造系の合理的なモデル化と定量化のための非線形解析を充実すべきである。

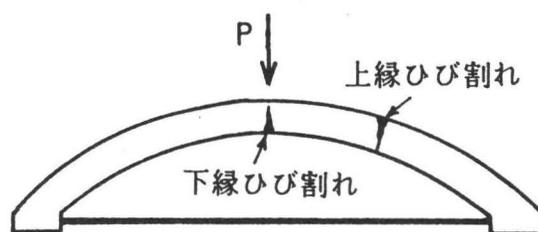


図4-8 破壊形状模式図

(3) 現場打ちコンクリート打設時の挙動

研究計画④に基づき、本研究で用いたアーチ構造を埋設型枠として利用した場合のアーチリブにおける応力変動特性を明らかにするための実験を行った。コンクリート打設を想定して、実験では無収縮モルタルを用いた。また実験では下縁ひずみが 300μ 程度となるまでPC鋼棒を緊張した。その後、無収縮モルタルを打設した。

図4-9はコンクリート打設時のアーチリブのひずみ変動を示したものである。0~50minの間のひずみの変化量が大きいのは、無収縮モルタルの水和熱によるものと考えられる。水和熱により温度上昇しアーチリブは伸びようとするが、PC鋼棒で拘束しているため、アーチリブには圧縮力が作用する。実際、実験でのひずみの変化量は約 120μ である。いま、室温と水和熱によるコンクリート温度差を 10°C とし、コンクリートの線膨張係数を $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ として計算すると 120μ となり、実験値とほぼ一致する。また、打設後1日経過した時点でのひずみは初期値に戻っており、その後ひずみの変動は横ばい状態を示している。したがって、この程度のひずみの減少は無収縮モルタルの水和熱によるコンクリートの温度応力によるものと判断される。

さらに、無収縮モルタル打設直前と水和熱による変動が定常状態となったときのひずみ差はごくわずかである。型枠がアーチ形状でなく梁であれば、打設モルタルの重量によりひずみが増大する。ちなみに板厚4cm、幅30cmのPIC板に30cmのモルタル($w=2.4\text{t}/\text{m}^3$)を打設すると、PIC下面には 162μ の引張りひずみが生じる計算になる。アーチ構造特有の分布荷重に対する曲げ応力の減少がこの実験結果からもわかる。

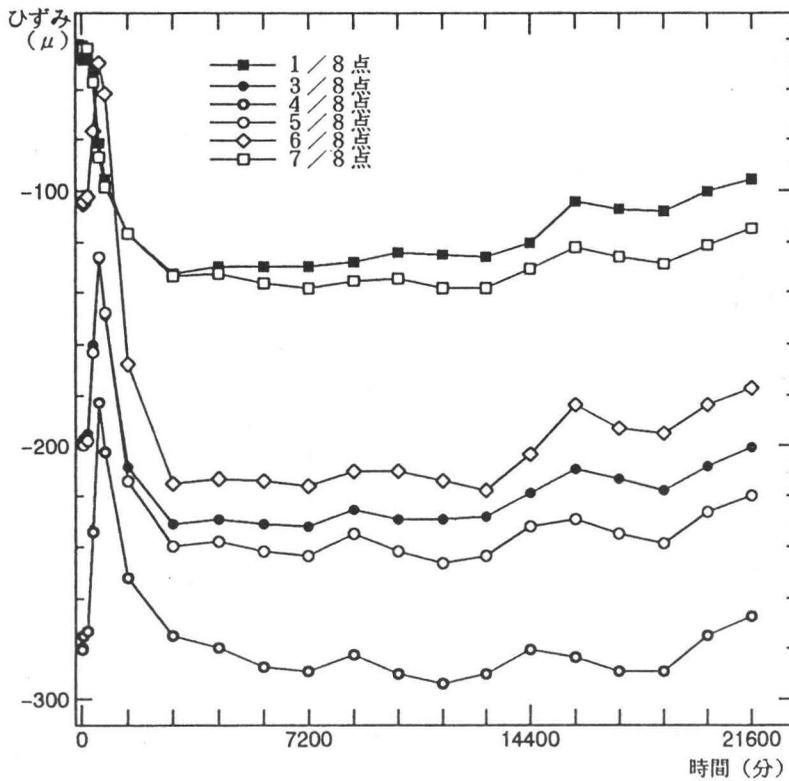


図4-9 時間～ひずみの変化

4.5 まとめ

本研究で得られた結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 本実験で用いたような複合タイドアーチにプレストレスを導入することにより、通常のプレストレストコンクリートのように応力を制御できるばかりでなく、鉛直荷重に対する変形量をわずかではあるが減少させることができる。
- (2) 分布荷重に対する変形量の増加は小さく、アーチ構造特有の軸圧縮力が卓越しひび割れ防止に有効となる。また、埋設型枠のスパン長が長くなるような場合には、このようなアーチ構造が有効である。
- (3) 複合タイドアーチ構造は、応力制御機構としてのプレストレス、および、形態抵抗機構としてのアーチ構造の両面の長所が発揮できる。
- (4) 本研究で用いたような複合タイドアーチ構造は、まず、アーチクラウン下面にひび割れが発生し、その後、アーチスパン1/4付近上面にひび割れが発生し破壊に至る挙動を示す。
- (5) 高強度コンクリートからなるアーチの実用化のためには、耐荷力の定量化のためのさらなる実験、および、ひび割れ発生から崩壊に至るまでに変化する構造系のモデル化と定量化のための非線形解析を充実すべきである。

5. 積層扁平シェル構造

5.1 研究目的

高比強度や高比剛性をもつカーボン、ボロン、アラミドなどの新素材と、プラスチック基材を組み合わせた複合材料である繊維強化プラスチック（FRP）は、構造軽量化、耐衝撃性や耐腐

食性の重要な航空・宇宙産業、自動車産業、船舶・海洋産業を中心に広い分野で使用され、最近では、軽量性、高耐久性に注目して、土木・建設材料としても期待されている。炭素系繊維をエポキシ材で層状に加熱接着した強化繊維型積層板やシェルは、力学的に強い異方性を示し、各層の材質、積層数および繊維角度などを変化させることにより、必要な方向に所要の特性を持たせられるため、目的に応じたさまざまな利用方法が考えられる。

積層複合構造の主な力学的特性としては、

- ① 異方性、非等質構造であるため、面内挙動と曲げ挙動の連成効果などが顕著に現れる。
- ② せん断弾性係数が面内弾性係数と比較してかなり小さいため横せん断ひずみや板厚方向のひずみの影響が大きい。
- ③ 積層構造のため、厚さ方向の応力成分が不連続になる。
- ④ 積層間の層間せん断応力が重要になる。

などが挙げられる。

積層複合構造は、このような特性を持つため、従来の古典板理論や古典シェル理論が適用できず、上記に示した構造・材料特性を考慮できる積層理論の研究と、信頼性の高い解析手法の開発が大きな課題になり、これまでに多くの研究がなされている。積層理論に関しては、特に、横せん断変形の影響が顕著に現れるため、これらの影響を考慮した種々の高次せん断変形理論が提案されてきている。また、解析手法に関しては、有限要素法などの数値解法を用いて、積層複合板やシェルの幾何学的非線形解析や弾塑性解析も行われているが数少ないようである。

本研究では、積層構造物の非線形問題に関して、任意の境界条件、荷重条件および変断面性に対する解析の容易さおよび方法の一般性という点に注目し、等価置換系にモデル化することなしに、基礎微分方程式に基づいて直接的、かつ、効率的に解析しうる解法の確立を目的とした、信頼性の高い解析手法を開発する。また、本解析手法は、最終的に解かれるべき連立方程式の元数を低下させることにより、記憶容量および計算時間の減少を企図したものであり、解法を工夫することにより小・中型程度の計算機によっても十分解析可能にしたものである。

本解析法の実用性および精度を明らかにするために、まず、等方性・等質構造からなる偏平シェルに関して、曲面形状、シェル厚などをパラメータとした弾塑性有限変位解析を行うことにより、飛び移り現象や塑性域の進行状況などの非線形挙動特性を明らかにし、一般的な偏平シェル構造の耐荷力メカニズムを解明する。つづいて、異方性・非等質構造である積層偏平シェルに関して、弾性係数比、積層数および配向角などを種々のパラメータとした有限変位解析を行い、飛び移り座屈などの力学的挙動特性を明らかにする。

5.2 研究計画・方法

任意の曲面形状を有する偏平シェル構造の弾塑性座屈問題は、座屈前後の変形については未だ十分明らかにされていない点があり、また座屈機構についても明確ではないため、まず飛び移り現象などの非線形挙動特性を明らかにする。さらに、FRPからなる積層偏平シェル構造の力学的特性を解析的に検討する。

当研究室において、任意の境界条件を持つ矩形板および偏平シェルに関して、幾何学的非線形問題、材料非線形問題、後座屈問題等についての一解析法 [11] を提示しており、既往の解析結果と比較することにより、その解析法の有効性は確認済みである。本研究では、E. P.、H. P. および円筒などの曲面形状をした偏平シェルの弾塑性座屈機構を明らかにするために、弾塑性有限変

位解析を行い、それぞれの異なる耐荷力メカニズムを解明する。

積層偏平シェルの線形弾性曲げ問題については既に明らかにしているため、以上の解析結果を基に幾何学的非線形問題に拡張適用し、シェル厚、弾性係数比、積層数および配向角などの種々のパラメータを有する積層偏平シェルに関して、有限変位解析を行い、その力学的挙動特性を明らかにする。

5.3 解析結果および考察

(1) 今までに得られた結果

はじめに、等方性、等質構造からなる偏平シェルに関して、任意の曲面形状、シェル厚などをパラメータとした有限変位解析を行うことにより、飛び移り座屈や分岐座屈を解析的に検証し、既往の解析結果と比較することにより、本解析法の有効性を明らかにした（図5-1、5-2）。さらに弾塑性有限変位解析を行うことにより、曲面形状の及ぼす塑性域の進行状況の変化を明らかにし、一般的な偏平シェル構造の耐荷力メカニズムを解明した（図5-3）。

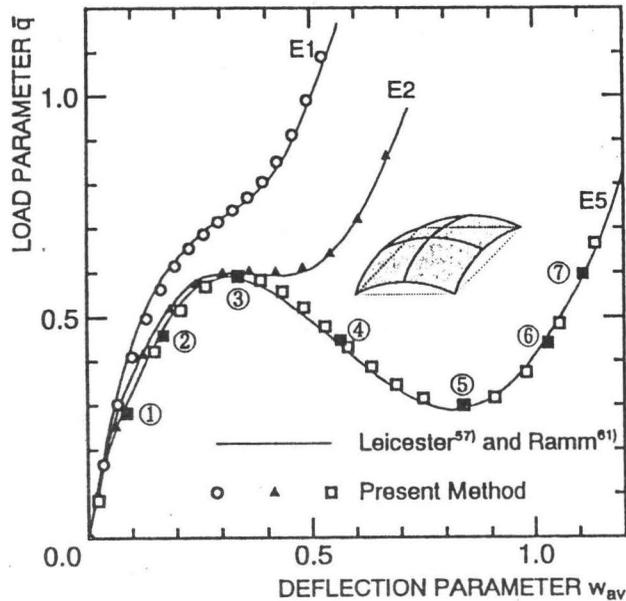


図5-1 偏平シェル構造の対称座屈現象

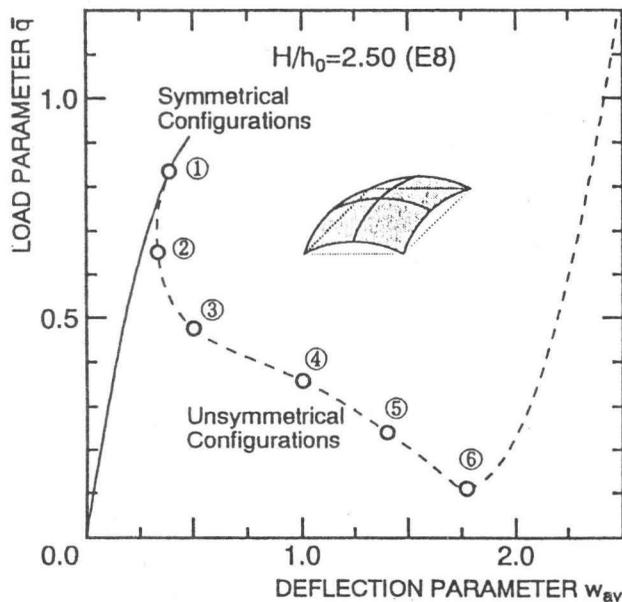


図5-2 偏平シェル構造の非対称座屈現象

つづいて、異方性・非等質構造である積層偏平シェルに関して、弾性係数比、積層数および積層順序などを種々のパラメータとした有限変位解析を行った。クロスプライ積層偏平シェルでは、積層数が2層の場合のみ非線形挙動に大きな違いがみられるが、積層数を増やすと、積層順序にかかわらず非線形挙動にあまり影響を与えない(図5-4、5-5)。また、弾性係数比に関しては、弾性係数比を大きくすると、飛び移り座屈荷重が増大する。(図5-6)。アングルプライ積層偏平シェルでは、配向角を大きくすると座屈荷重が大きく減少する(5-7)。

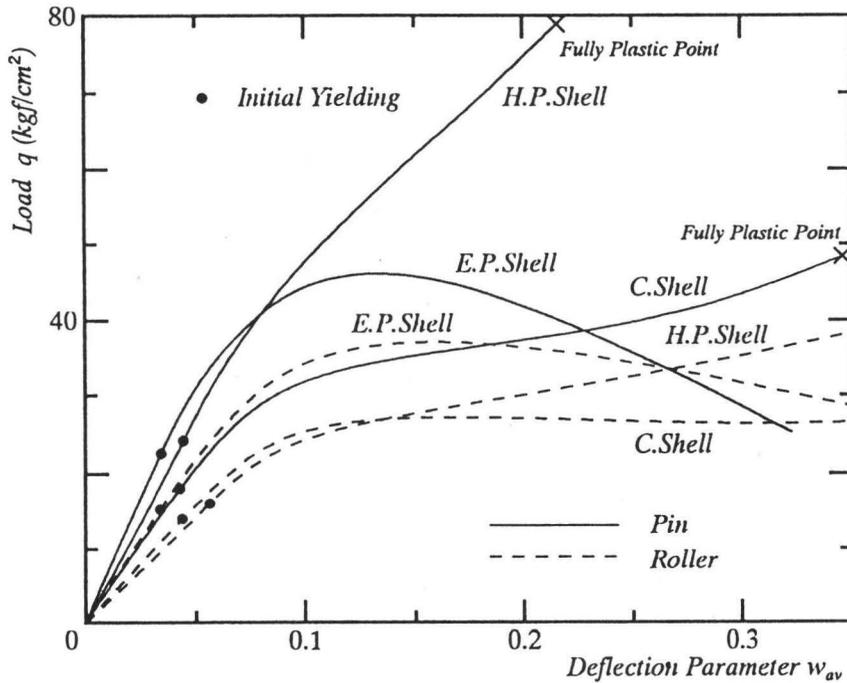


図5-3 偏平シェル構造の弾塑性有限変位解析

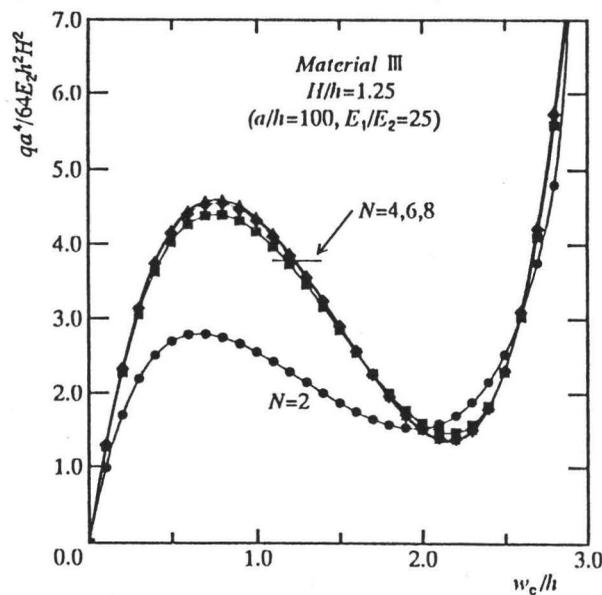


図5-4 逆対称クロスプライ積層偏平シェル

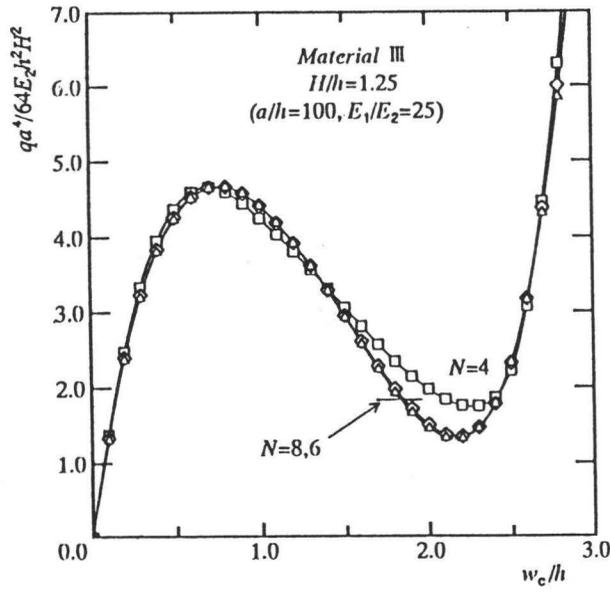


図5-5 対称クロスプライ積層偏平シェル

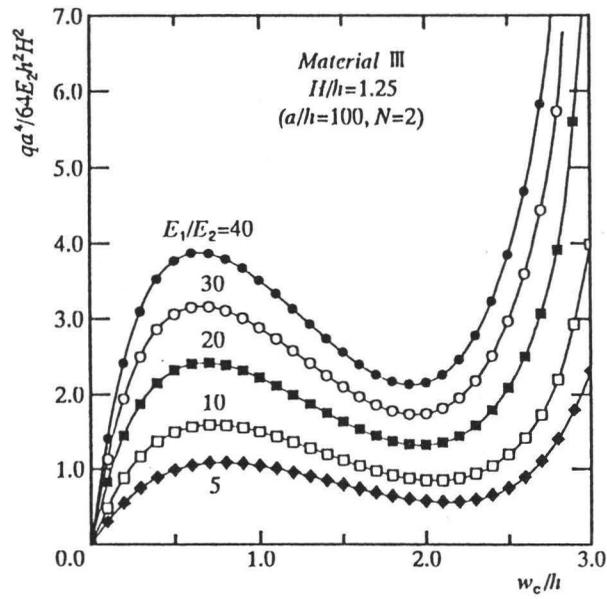


図5-6 積層偏平シェルの弾性係数比の影響

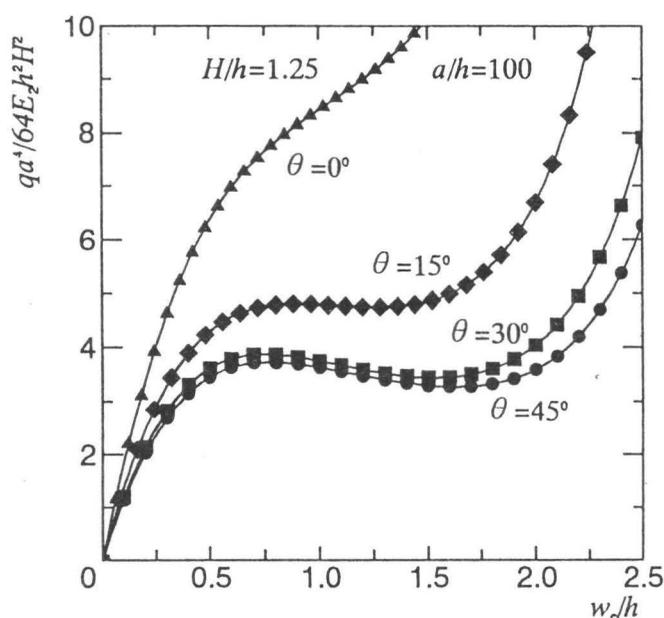


図5-7 逆対称アングルプライ積層偏平シェル

(2) 期待される成果

当研究室で開発した解析プログラムは、偏平シェル構造の非線形問題に関しても、その有効性が確認され、解析結果より、積層偏平シェル構造における非線形挙動は、積層数や積層順序にあまり依存せず、弾性係数比や配向角に大きく依存してくるため、これらを中心としたパラメトリックな解析が必要である。また、本解析プログラムは、積層偏平シェルの弾塑性有限変位解析にも容易に拡張できるため、積層偏平シェル構造の耐荷力メカニズムを解明できる。

(3) 残る問題点と対策

異方性の大きな複合材の弾塑性挙動は、初期降伏条件、塑性流れ則やひずみ硬化則に支配され、繊維強化複合材のための種々の降伏基準が提案されており、それらの選定により弾塑性挙動も大きく異なってくるものと考えられる。本研究では、一般的なHillの異方理論に基づくHuber-Misesの降伏条件を用いることを考えている。

また、実際の積層構造の破壊現象では、層と層の間がはがれて壊れること（層間剝離）があり、巨視的な破壊現象ばかりでなく、微視的な破壊挙動の解明も残されている。そのためには、層間剝離のメカニズムのモデル化とその防止設計が重要な課題である。

(4) 実用化計画

近年の複合材料に関する研究開発にはめざましいものがあり、強度に関しては、鉄鋼程度、剛性に関しては、コンクリート程度の強度を持つ複合材が造られている。阪神大震災では橋梁橋脚に大きな被害を被った。耐震性が重要視される構造物には比強度の大きな材料が有効となる。FRPは軽量であるため、このような耐震性が重要な橋梁橋脚の補修・補強材の一材料となりうるものと考えられる。また、長大建設構造物の設計においては、その自重が設計荷重の大半を占めている場合があり、軽量性に富む複合材料は、今後注目されるべき材料である。

先端複合材料はまだ高価ではあるが、使用量が格段に多い建設材料として利用されるよう

になれば、素材メーカーも大量生産できるようになり価格も下がる。これらのことを考慮すると、先端複合材料は鉄鋼やコンクリートとともに建設材料として活用される可能性が大きいものと思われる。

6. あとがき

本研究では、プレストレスト鋼構造、新素材を用いたコンクリート系ハイブリッド構造、および、積層構造の力学的特性を実験的および解析的に明らかにするとともに、高耐久な建設材料および構造用部材としての実用化に資するための基礎データを蓄積させることを目的に調査研究を行った。本研究で得られた結果をもとにこれから期待される成果は次のようにまとめられる。

- (1) 本研究で用いたような複合材料は、マトリックスに遮塩・遮水性、耐凍害性、耐磨耗性、耐化学抵抗性に優れた高耐久性コンクリートである。また、このような高耐久なコンクリート系材料を埋設型枠として用いれば、腐食環境下において腐食因子を遮断できる被覆材料となりえる。
- (2) コンクリート系材料は圧縮には強く引張りに弱い材料である。一方、アーチ系構造のアーチリブには圧縮力が作用する。このような材料特性および構造特性を最適に組み合わせるといふ考え方は、引張りに弱いコンクリートの補強法として、応力制御機構としてプレストレス構造と同様に、構造形態をアーチとすることにより圧縮力を作用させる、いわば、《ポストストレス》的な効果がみられ、コンクリート構造物のひびわれ防止に圧縮応力が有効となるものと考えられる。このようなアーチ系構造物においては水平反力が生じ、その処理方法が問題となるが、アーチの下弦材に先端素材からなるFRPなどの緊張材を用いたハイブリッド構造とすれば、両構造材料とも高耐久性を有しているため、耐食性・耐候性に優れた構造部材を造ることができる。
- (3) 鉛直荷重を支配的荷重とする構造物の合理的設計手法には、形態抵抗による曲げ応力の排除、高性能な構造要素や部材の使用、主部材へのプレストレスの導入、などが考えられるが、これらの考え方を組み合わせたハイブリッド構造物の探求はより合理的な設計をする上で重要なことである。
- (4) プレストレスト複合アーチ系構造は、自重が設計を支配するような構造物に有効となり、また、緊張材をアウトケーブル方式とすることにより設計の自由度が増し、新構造形式が考えられる可能性もある。
- (5) 耐震性が重要視される構造物には比強度の大きな材料が有効となる。FRPは軽量であるため、このような耐震性が重要な橋梁橋脚の補修・補強材の一材料となりうるものと考えられる。

【参考文献】

- (1) 小林茂敏：コンクリート系新材料の開発について－1990年代に期待される建設材料の展望－、平成2年度土木研究所講演会講演集、建設省土木研究所、pp.57-70、1991
- (2) 渡辺明：PC版埋設型枠の利用による新省力・迅速施工法に関する研究、文部省科学研究費一般研究（B）研究成果報告書、1983
- (3) 藤田浩二、出光隆、山崎竹博、渡辺明：ポリマーコンクリート埋設型枠で被覆したRC供試体の海岸暴露試験、土木学会西部支部研究発表会、pp.826-827、1992

- (4) 内藤隆史・松岡康訓・新藤竹文・小沢満三・鶴田健：ポリマー含浸コンクリートによる高耐久性埋設型枠の開発、土木学会論文集、No.435 /VI-15、pp.21-23、1991
- (5) 松田浩・鶴田健・崎山毅・原田哲夫：P I C版R C部材の力学的性状と高耐久性埋設型枠の設置間隔に関する研究、構造工学論文集、Vol.39A、pp.85-96、1993
- (6) 川口昌弘：プレストレスト鋼構造、土木学会誌、50-6、1975
- (7) Fritz, B. : The Use of Prestressed Steelwork for Wide Spans, Civil Eng. Public Works Review, Vol.56, No.654-656, 1961
- (8) Amde, M. : Inelastic Buckling of Prestressed Sandwich or Homogeneous Arches, Proc. of ASCE, ST119, No.9, pp.2733-2743, 1993
- (9) Huddleston, J.V. : Nonlinear Analysis of Steep, Compressible Arches of Any Shape, J. Appl. Mech., Vol.38, pp.942-946, 1971
- (10) 原田哲夫・出光隆・渡辺明・高山俊一：静的破碎剤を用いたFRP緊張材の定着方法、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.251-256、1990
- (11) 松田浩、森田千尋、崎山毅、西村一郎：偏平シェル構造の弾性曲げ解析、構造工学論文集、Vol.38A, pp.31-42, 1994
- (12) 森田千尋、松田浩、崎山毅、西村一郎：偏平シェルの複合非線形解析、構造工学論文集、Vol.39A, pp.51-62, 1994
- (13) 森田千尋、松田浩、崎山毅、川神雅秀：変厚偏平シェルの幾何学的非線形挙動解析、構造工学論文集、Vol.40A, pp.111-120, 1994
- (14) 松田浩、森田千尋、崎山毅、西村一郎：積層偏平シェルの弾性曲げ解析、構造工学論文集、Vol.40A, pp.99-109, 1994
- (15) Liao, C.L. and Reddy, J.N. : Analysis of Anisotropic, Stiffened Composite Laminates Using a Continuum based Shell Element, Computers & Structures, Vol. 34. No.6, pp.805-815, 1990

【研究発表状況】

発表論文

- ①プレストレスを導入したP I Cタイドアーチの力学特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 17, No. 2, pp. 47-52, 1995. 6
- ②プレストレスを導入したタイドアーチの耐荷力特性、構造工学論文集（査読済み、印刷中）
- ③変厚偏平シェルの幾何学的非線形挙動解析、構造工学論文集、Vol. 40A、1994. 3
- ④積層偏平シェルの弾性曲げ解析、構造工学論文集、Vol. 40A、1994. 3
- ⑤積層偏平シェルの幾何学的非線形解析、構造工学における数値解析法シンポジウム論文集、第18巻、1994. 7
- ⑥クロスプライ積層偏平シェルの幾何学的非線形解析、構造工学論文集、Vol. 41A、pp. 59-64、1995. 3
- ⑦アングルプライ板殻構造の幾何学的非線形解析、構造工学における数値解析法のシンポジウム論文集、第19巻、pp. 357-362、1995. 7

【講演発表】

- ①プレストレストタイドアーチの非線形解析、平成5年度土木学会西部支部研究発表会
(平成6年3月)
- ②プレストレストタイドアーチの耐荷力解析、土木学会第49回年次学術講演会（平成6年9月）
- ③プレストレスト補剛アーチ系構造の耐荷力解析、平成6年度土木学会西部支部研究発表会
(平成7年3月)
- ④プレストレスト補剛アーチ系構造の耐荷力特性、土木学会第49回年次学術講演会
(平成7年9月)
- ⑤偏平シェルの非対称座屈挙動解析、平成5年度土木学会西部支部研究発表会
(平成6年3月)
- ⑥積層偏平シェルの幾何学的非線形挙動解析、土木学会第49回年次学術講演会
(平成6年9月)
- ⑦積層板殻構造の幾何学的非線形解析、平成6年度土木学会西部支部研究発表会
(平成7年3月)

3. 高気密住宅対応型の各種換気システムに関する性能実測とその評価（継続）

東北大学工学部建築学科教授
吉 野 博

1. 背景と目的

エネルギーの保存や快適性向上の観点から建物の気密化が進んでいるが、気密住宅では、空気は汚されやすく、水蒸気は逃げにくくなっている。従って、気密な住宅では、適切な換気システムに基づき、効率よく換気することが重要な課題である。この問題に対して、いくつかの換気システムが提案され実施に移されているが、実際にどの程度の性能が発揮されているかに関する詳細な実測や評価はほとんど行われていない。

今回は、実在の家屋3戸を対象とした実測を行い、有益なデータを得ることができたが、家屋の借用期間に制限があり、繰り返し測定を行うことが不可能であった。そのため、実測の再現性や外気条件の換気性能への影響等について、十分な検討を行うことができなかった。また、異なる住宅で異なる換気システムを対象に実測を行ったため、換気システムの性能自体を比較するには不十分であった。

そこで、本研究では東北大学構内に建設されている高気密な試験家屋を対象とし、Aシステム（集中機械給気、集中機械排気）、Bシステム（集中機械給気、自然排気）、Cシステム（各室自然給気、集中機械排気）の3つの異なる換気システムを設置し、様々な条件において空気齢の測定に基づいた換気システムの性能評価に関する実測を行い、今後の換気システム設計に資することを目的とする。また、これらの研究を通し、換気システムの性能試験法を提案する。

ここでは、換気システムをCシステムとして実測を行い、空気齢による換気性能評価の際に、検討の必要な項目として指摘されている(1)室内外温度差、(2)外部風向、風速の影響、(3)トレーサーガスの種類の検討をおこなっている。

2. 試験家屋の概要

2.1 建物概要

試験家屋は、東北大学構内に既設のパッシブソーラー試験住宅を利用し、気密化工事を施した上で、サッシ、扉の隙間をシールした。試験家屋全体の隙間の相当開口面積は 72cm^2 である。図2-1に示すように、試験家屋の北側、及び西側には実験棟が、南側には半地下試験家屋が建てられている。平面を図2-2に示す。各室は住宅の個室(室1)、居間(室2)、廊下(室3)、便所・洗面所(室4)を想定している。また、各室と廊下との間仕切扉には、室間の通気を考慮して、 $100 \times 100\text{mm}$ の通気口を扉の中央、床上 900mm の位置に設けた。

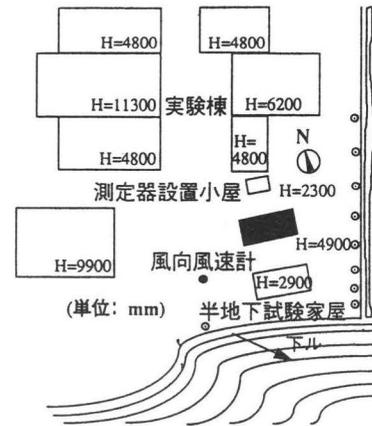


図2-1 配置図

2.2 換気システムの概要

換気システムの概略を図2-2に示す。システムは、各種の換気径路が設定できるように設計し、廊下北側に給気ファン、南側に排気ファンを設置し、給気口(室1、室2)、排気口(室2、室4)を計4ヶ所、廊下中央部(室3)にレターン吸込口を1ヶ所設けた。強運転時の風量(カタログ値)は $360\text{m}^3/\text{h}$ である。また外壁北側に、給気口(直径 80mm)を2ヶ所(室1、室2)設置した。

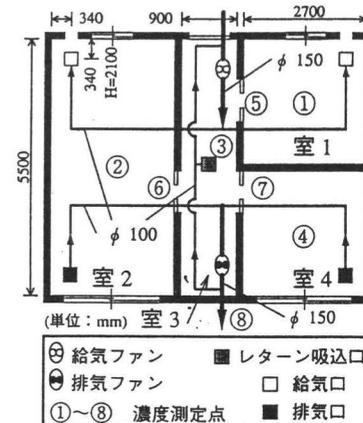


図2-2 平面および換気システムの概略

今回の測定では、Cシステム(強制排気システム)として、レターンダクトを外して給気系ダクトをシールし、北側2ヶ所の給気口を使用した。

3. 換気実測

3.1 予備実測

3.1.1 実測概要

測定条件として、①暖房、非暖房、②室間通気口位置(上、中、下)を考慮して、6条件、12回の測定を行った。測定期間は平成7年3月15日~24日である。測定時の室内外温度差、外部風

向、風速を表 3-1に示す。

3.1.2 各部風量

室間の通気口は中央とし、無風時に、各部の風量を風量測定器（コーナー札幌社製）を用いて測定した。図3-1より、給気口風量の合計は70m³/hであるのに対し、排気口風量の合計は120m³/h（換気回数1.0回/hになるよう電圧を調節した）である。その差は、隙間からの外気の漏入（換気システム運転時の室内外差圧（約0.4 mmAq）と気密性能から推定される漏入量は約65m³/h）によるものである。また、室3への流入量が35m³/hであるのに対し、流出量は60m³/hであり、室3において、特に隙間が多い（室3の隙間の相当開口面積は35cm²）ことが推測される。

表3-1 測定条件

測定番号	通気口位置	温度差(°C)	風速(m/s)	風向	測定開始時刻
A-1	中央	7.9	1.36	S-W	3/20/17:30
-2		6.7	0.78	NW-SW	3/23/0:00
B-1	上	5.7	2.98	S-SW	3/21/0:00
-2		8.0	1.59	NW-N	3/22/17:00
C-1	下	6.5	0.75	NNW	3/21/17:00
-2		4.5	1.65	S-SW	3/22/0:00
D-1	中央	22.4	1.01	NW-SW	3/15/23:00
-2		18.6	0.50	NNW-N	3/24/0:00
E-1	上	17.8	4.10	SE	3/16/18:00
-2		21.7	1.37	ESE-S	3/18/15:00
F-1	下	18.2	2.73	SE	3/17/0:30
-2		21.2	1.42	SW	3/17/18:30

3.1.3 実測方法

トレーサーガスとしてCO₂を用い、減衰法により測定した。濃度測定は図2-2に示す8点（①～④は室中央の床上1100mm、⑤～⑦は通気口、⑧は屋外排気口）で行い、各測定点からのサンプリングチューブを切替器を介して1台のガスメーターに接続した。濃度、温度の測定間隔は3分とし、データをコンピューターに記録した。

測定前に、間仕切扉を開放し、暖房条件では室内5ヶ所に設置した小型暖房機で暖房する。室温がほぼ定常に達した後、CO₂を室内に注入し、十分に攪拌して濃度を均一にする。その後、CO₂の注入及び攪拌を止め、各点での定常濃度を測定した後、換気システムを運転し、濃度が完全に減衰するまで測定する。

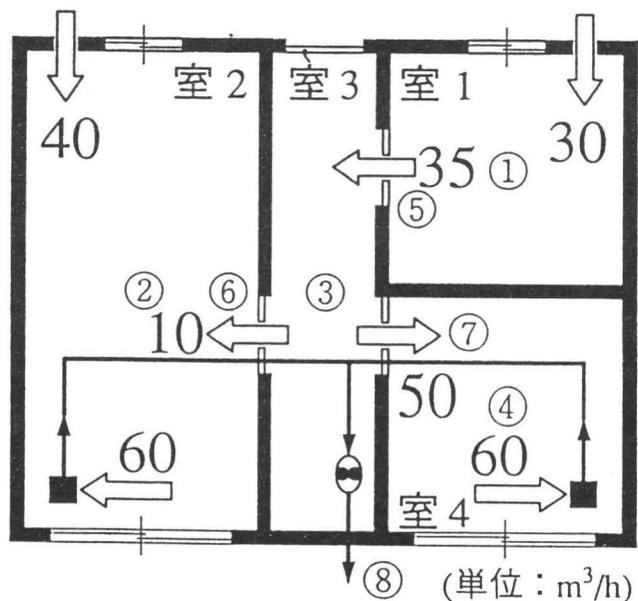


図3-1 各部の風量

3.1.4 濃度履歴

測定 F-1の濃度履歴と温度変化を図 3-2に例示する。各測定ともほぼ同様の結果である。測定 F-1 では、逆流のために給気口温度が上昇する傾向が見られる。

3.1.5 空気齢の算定

濃度履歴をもとに算定した各測定点での空気齢を図3-3、図3-4 に示す。空気齢は全体に35～55分の値をとる。

3.1.6 考察

(1) 全体の傾向

図3-1 に示した換気経路から考えると、室内各点の空気齢は、給気口に近い①で最も小さく、排気口に近い④で最も大きくなると予想される。しかし本実測では、③、⑤、⑥、⑦のいずれかで最小となった測定が12回中9回あった。これは、室3の隙間からの漏入量が多いためと推測される。

(2) 通気口位置の影響

図3-3、図3-4 より暖房時、非暖房時とも、条件A、B、C、および条件D、E、Fの間で、測定点による空気齢の大小関係に大きな差はみられず、通気口位置による差は小さい。

(3) 室内外温度差による影響

空気齢の小さい①と③を比べると、非暖房時（図3-3）には③の方が大きな値を示すのに対し暖房時（図3-4）には①の方が大きいか、ほぼ同じ値となっている。これは、温度差換気により隙間の多い室3での自然換気量が増加し、③の空気齢が小さくなったためと推測される。

(4) 風向、風速の影響

図3-5 に示すように、風速が大きくなると空気齢は全体的に小さくなる傾向がある。しかし、条件B、Cでは、風速の小さい場合（B-2、C-1）より、風速の大きい場合（B-1、C-2）の方が空気齢が大きくなっている。両条件とも、風速の大きい場合の風向は南寄りであり、給気口が北側にあるために、風が強いとき、空気齢は大きくなると思われる。また、図3-4 から、測定E-1、F-1では、①、⑤の空気齢が他の測定と異なる傾向を示し、③との差が特に大きくなっている。この時、南西の風が強いことから、風下側になる給気口からの風量が低下し、①、⑤での空気齢が大きくなったと推測される。

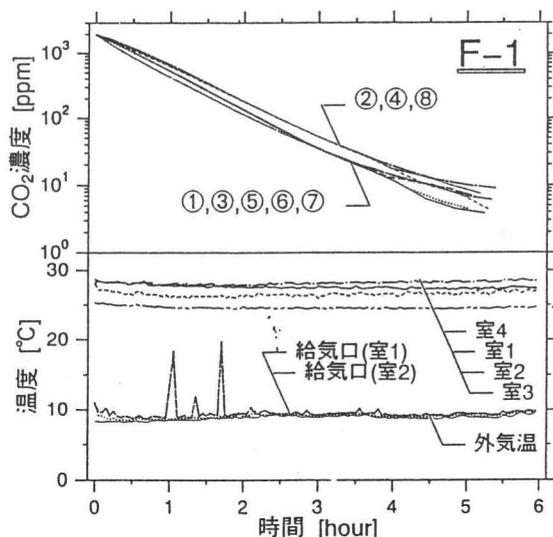


図3-2 F-1の測定結果

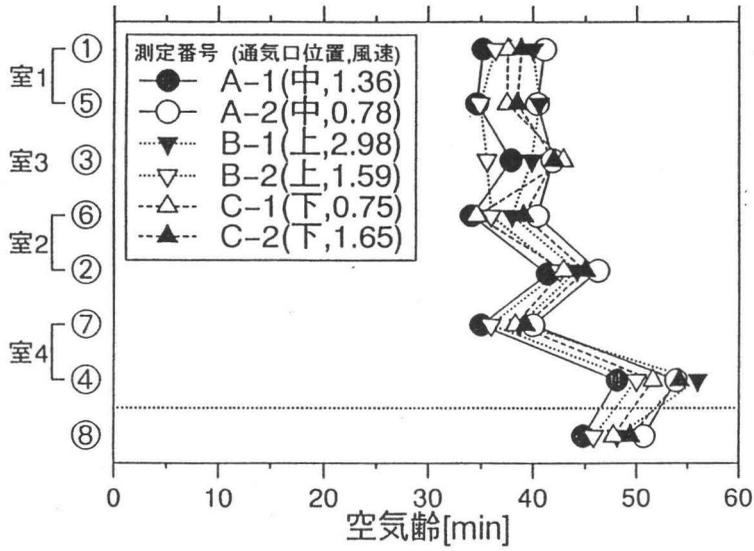


図3-3 空気齢の算定結果 (非暖房条件)

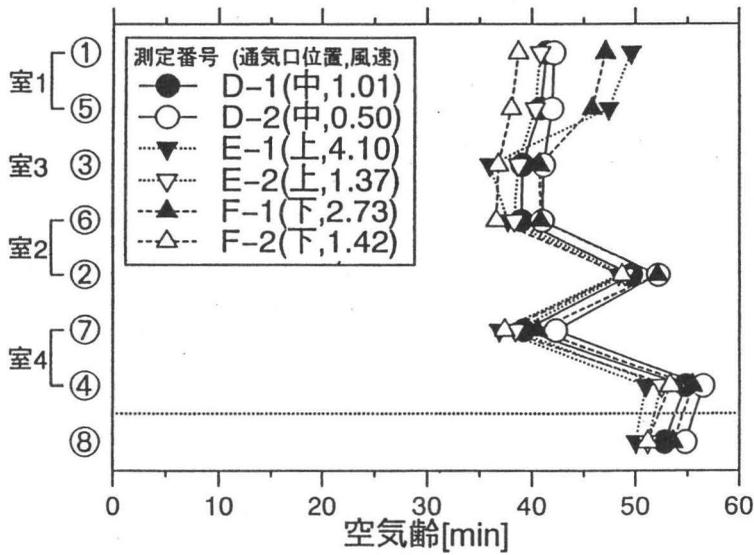


図3-4 空気齢の算定結果 (暖房条件)

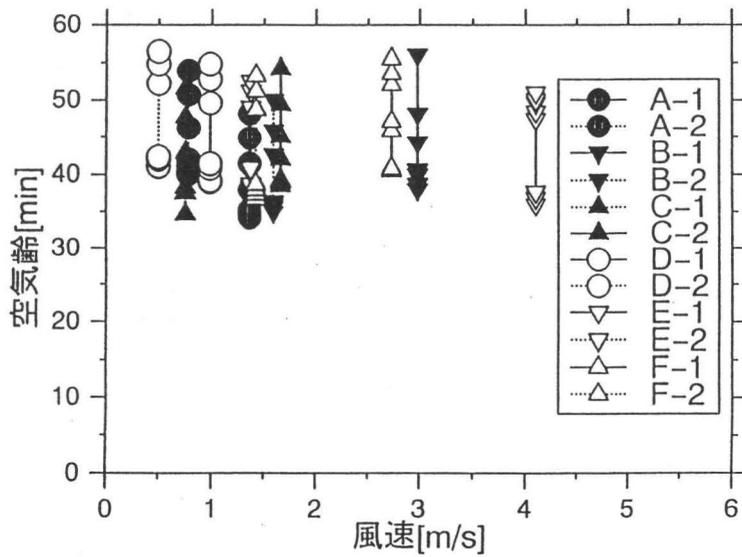


図3-5 風速と空気齢の比較

3.2 本実測

3.2.1 実測概要

設定条件を表3-2に示す。温度差換気の影響、異種トレーサーガスによる測定結果の比較、及び換気経路の変化による空気齢の変化を検討するため、5条件を設定した。また、風向、風速による影響も検討するため、それぞれ数回の実測を行った。

3.2.2 各部風量の測定

3種類の換気経路について、それぞれ各部の風量を風量測定器を用いて測定した。換気経路1では、図3-6(1)より、給気口風量の合計は70m³/hであるのに対し、排気口風量の合計は120m³/hである。その差は、隙間からの外気の漏入である。また、室3への流入量が35m³/hであるのに対し、流出量は60m³/hであり、室3に特に隙間が多いことが推測される。換気経路2では、室1と室4の間仕切壁中央(床上900mm)に通気口を設けた。そのため、図3-6(2)のように室1から室3を経由せずに室4に空気が流れ、室1から室3への通気量が35m³/hから10m³/hへと小さくなっている。換気経路3では、図3-6(3)のように、室1の給気口をシールした。そのため、室2の給気口風量が55m³/hとなり、室内へ供給される外気の半分は隙間からの漏入となっている。また、室2と室3の間の通気口風量はほぼ0であり、室3の隙間から漏入した外気は、一部が室1を経由して、室4の排気口から屋外へと排出される。

3.2.3 実測方法

トレーサーガスとして条件A、B、D、EではCO₂を使用し、条件CではCO₂とSF₆の混合ガスを使用して、減衰法で測定した。ガス濃度は図2-2に示す8点(①~④は室中央の床上1100mm、⑤~⑦は通気口、⑧は屋外排気口)で測定している。CO₂の濃度は、各測定点からのサンプリングチューブを切換器を介して1台のガスメーターに接続し、コンピューターにデータを記録した。SF₆の濃度は、各測定点からのサンプリングチューブをB&Kマルチガスメーターに接続し測定した。濃度の測定間隔は3分である。

暖房条件では測定前に間仕切扉を開放し、室内5ヶ所に設置した小型暖房器で暖房する。室温がほぼ定常に達した後、トレーサーガスを室内に注入し、十分に攪拌して濃度を均一にする。その後、注入及び攪拌を止め、各点での定常濃度を測定した後、換気システムを運転し、濃度が完全に減衰するまで測定を行う。

表3-2 設定条件

条件	暖房	トレーサーガス	換気経路
A	×	CO ₂	経路1
B	○	CO ₂	経路1
C	×	CO ₂ , SF ₆	経路1
D	×	CO ₂	経路2
E	×	CO ₂	経路3

3.2.4 実測結果

測定時の環境条件を表3-3 に示す。測定中の室内外温度差が一定になるように測定は夜間行っている。各条件の濃度履歴例を図3-7 ～3-12に示す。換気経路1の条件A、B、Cでは、図3-7～3-10のようにほぼ同様の履歴を示し、比較的減衰の早い点（①、③、⑤、⑥、⑦）と遅い点（②、④、⑧）にわかれる。換気経路2の条件Dでは、図3-11のように、特に①、⑤での減衰が早く、換気経路3の条件Eでは図3-12のように、①での減衰が特に遅くなっている。

3.2.5 空気齢の算定

濃度履歴をもとに各測定点での空気齢を算定し、条件ごとに考察する。

(1) 条件A

合計7回の実測から得られた空気齢を図3-13に示す。A-1でやや小さい値を示しており、定常濃度が他の測定より約400 ppm 高く、測定器の誤差が大きくなったことが原因と考えられるが、平均値±5%程度の値をとり、全測定でほぼ同一の結果といえる。このような結果となったのは、測定ごとの風速の差が小さく、風の影響に差がないためと推測される。

(2) 条件B

合計7回の実測から得られた空気齢を図3-14に示す。条件Aと同様、全測定でほぼ同一の結果が得られたが、B-6の①、⑤で他の6回の測定と比べて大きな値を示している。このとき東からの風が強く、風圧力による給気口風量の減少が予想されるが、風速がほぼ等しいB-5では他の測定とほぼ同じ値を示しており、B-6の①、⑤での変化が風によるものか、明確にはわからない。また、条件Aと比較すると、①、②、④、⑧で大きな値へ、③でやや小さな値へと変化しており、温度差換気により、隙間の多い室3での自然換気量が増加したためと推測される。

(3) 条件C

合計5回の実測から得られた空気齢を図3-15に示す。SF₆の濃度履歴から算出した空気齢の方が、CO₂の濃度履歴から算出した空気齢よりも大きな値を示す傾向にある。特に、⑥、⑦で±10%の差が生じているが、原因は不明である。

(4) 条件D

条件Aでの平均値と比較すると、図3-16から、①、⑤で小さく、他の測定点ではほぼ同じ値になっている。室1から室4への通気口を設けたことで、室1の換気状態がよくなったことが分かる。

(5) 条件E

条件Dと比較すると、図3-16から、①、④で大きな値へ、②、③、⑥、⑦で小さな値へと変化している。①で大きな値となるのは、図3(3)から、室1へは給気口から外気が導入されず、さらに、室3から室1への流入量が15m³/hと小さいためと思われる。また、②で小さい値をとるのは、室2の給気口風量の増加のため、③で小さい値をとるのは、室1からの流入がなくなり、隙間からの漏入が増加したためと推測される。

4. ま と め

試験家屋を用いて、Cシステム（強制排気システム）で換気実測を行った結果、次の知見が得られた。

- (1) 風速の小さい場合には、風の影響は小さく、実測結果に再現性がみられる。
- (2) 室内外温度差が大きくなると、隙間の大きい室で空気齢が小さくなった。
- (3) SF₆ の濃度履歴から算出した空気齢は、CO₂ の濃度履歴から算出した空気齢より大きな値を示す傾向にある。
- (4) 換気経路の変化が、空気齢の変化として現れた。

5. 今後の展望

今回の測定では、風速が小さい場合の結果が多く得られ、風が強制排気システムの換気性能に与える影響を明確に把握できたとはいいい難い。しかし、風速が小さい場合の実測の再現性と、この試験家屋における強制排気システムの換気性能は把握できたといえる。今後、実測を繰り返し、データの蓄積を図る一方で、異なる換気システムで実測を行い、また、より簡便に換気性能を評価できる方法について検討を行い、換気性能把握を行う予定である。

6. 発表論文

- (1) 早瀬 訓、吉野 博、小林 仁：試験家屋における換気システムの空気齢による性能評価、その1 試験家屋の概要と強制排気システムの測定結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、1995年8月
- (2) 早瀬 訓、吉野 博、小林 仁：試験家屋における強制排気システムの空気齢による性能評価、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1995年10月

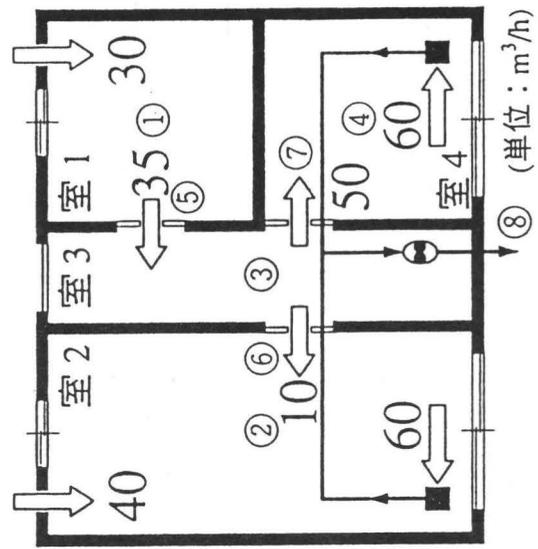
表 3-3 測定時の環境条件

測定 番号	風速 *a (m/s)	風向 *a	温度差 (℃)	濃度分布 *b (ppm)	測定開始 時刻
A-1	1.36	S-W	7.78	155	3/20 17:30
2	0.78	NW-SW	6.22	85	3/23 0:00
3	0.71	[SW-S]	5.63	158	5/17 0:30
4	1.08	SW	4.27	45	5/18 0:20
5	0.74	WNW	6.28	82	5/19 0:20
6	0.72	NW	4.25	30	5/20 0:20
7	1.05	[NW-SE]	3.64	97	5/20 23:00
B-1	0.98	NW-SW	21.95	67	3/15 23:00
2	0.50	[NW]	18.53	103	3/24 0:00
3	0.44	NW	18.80	76	5/8 23:00
4	0.59	[SW-SE]	18.92	85	5/10 0:20
5	2.89	SE	18.78	43	5/11 0:30
6	2.64	E	20.16	52	5/13 0:30
7	1.45	WNW	20.08	159	5/13 23:50
C-1	0.80	[NW-SW]	3.89	71(4.3) *c	5/31 0:30
2	0.72	NW	5.48	63(4.2)	6/1 0:30
3	0.70	[E-W]	4.70	97(2.6)	6/2 0:30
4	3.84	SE	2.23	58(3.3)	6/4 0:00
5	1.28	SW	1.19	52(2.3)	6/5 0:20
D-1	0.82	[NW-SW]	4.82	39	5/24 0:10
2	0.97	SW	3.74	73	5/24 21:30
E-1	0.69	NW	5.33	45	5/27 0:30
2	0.51	[W]	4.09	52	5/28 23:20

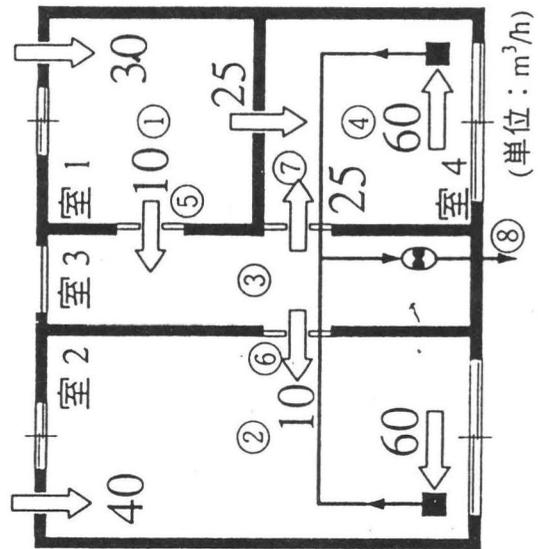
*a 風向、風速は測定期間の平均値

*b 測定点間のトレーサーガス(CO₂)最大濃度差

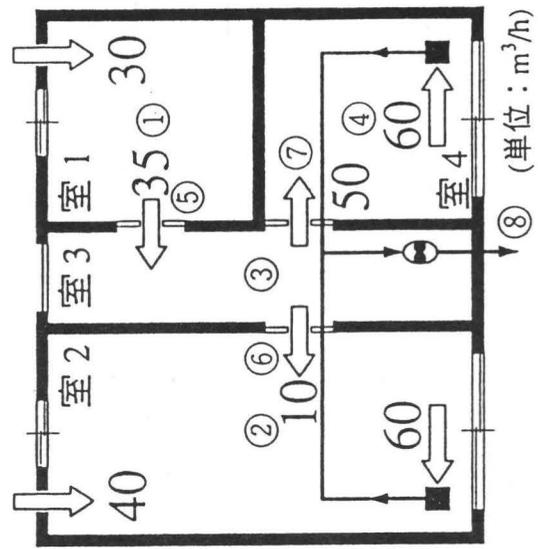
*c ()内はSF₆の値



(1) 経路 1



(2) 経路 2



(3) 経路 3

図 3 - 6 換気経路および各部の風量

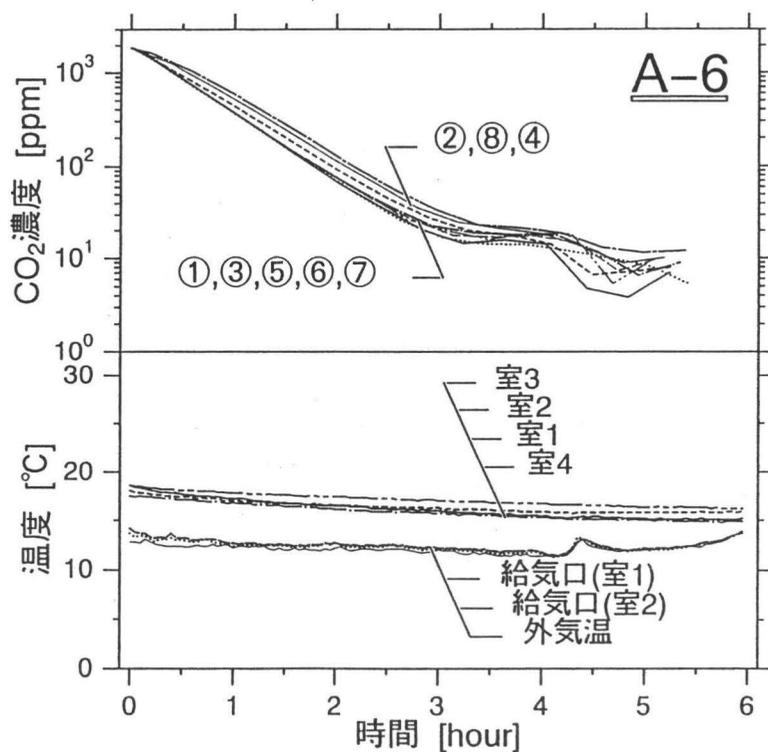


図3-7 濃度履歴および測定時の温度 (A-6)

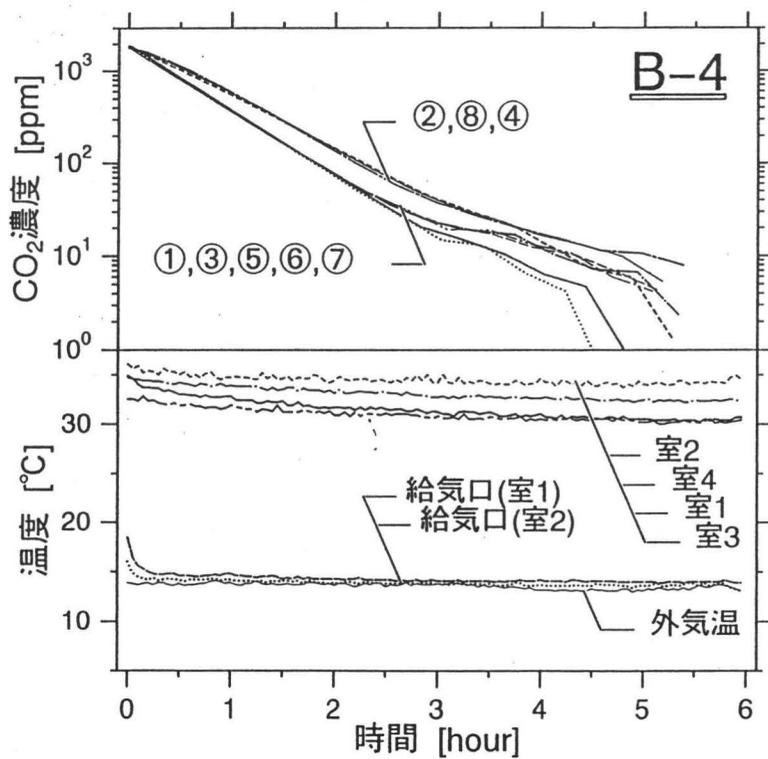


図3-8 濃度履歴および測定時の温度 (B-4)

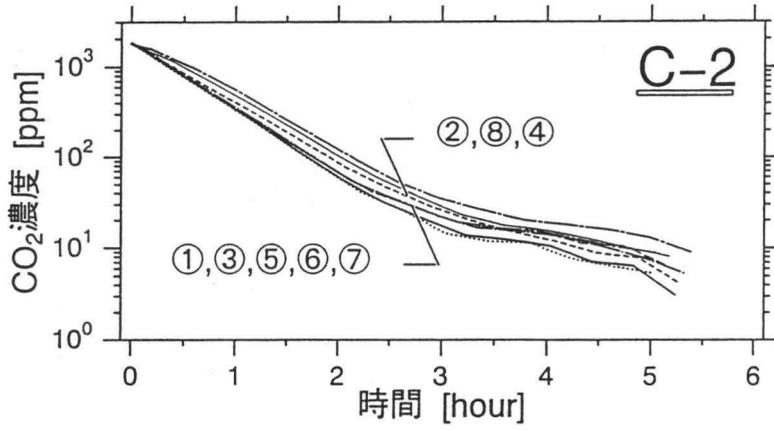


図3-9 濃度履歴 (C-2、CO₂)

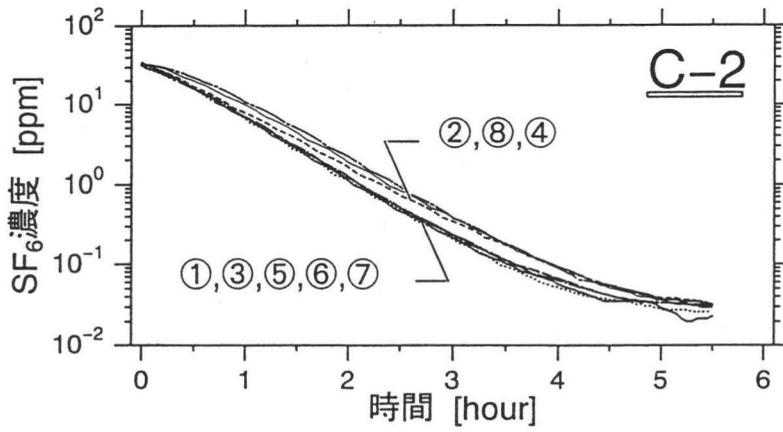


図3-10 濃度履歴 (C-2、SF₆)

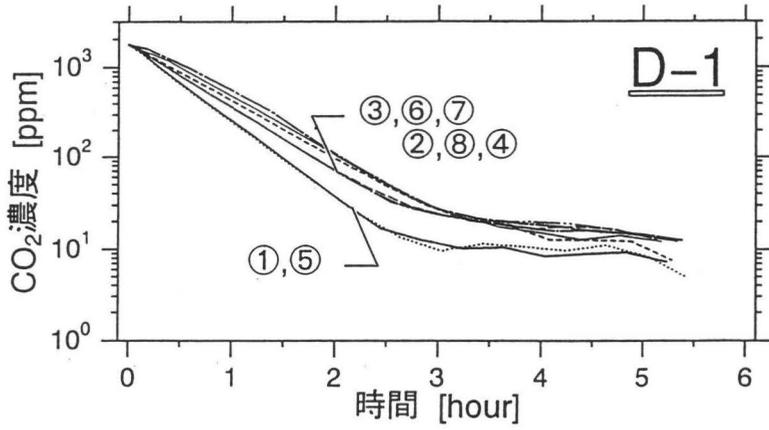


図3-11 濃度履歴 (D-1)

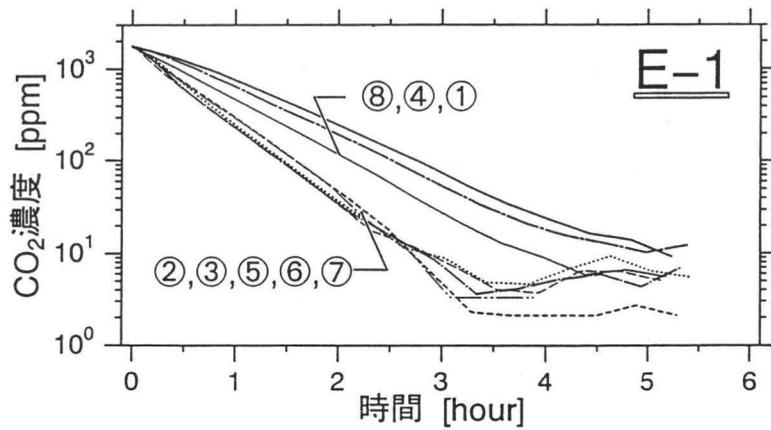


図3-12 濃度履歴 (E-1)

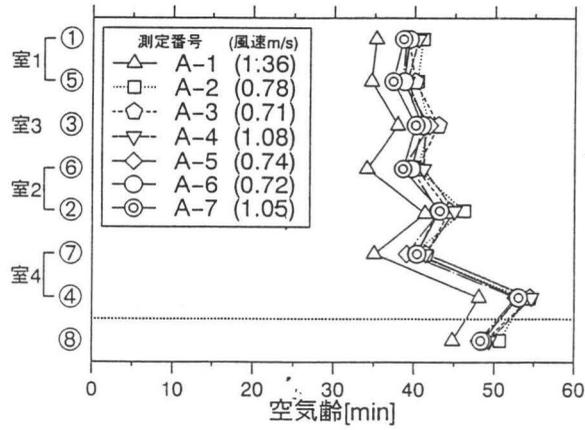


図 3-13 空気齢の算定結果 (条件A)

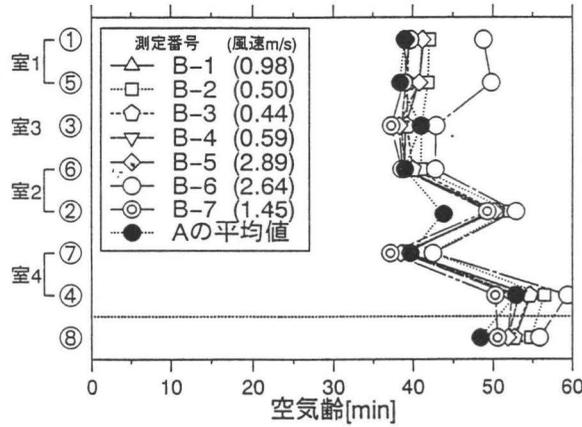


図 3-14 空気齢の算定結果 (条件B)

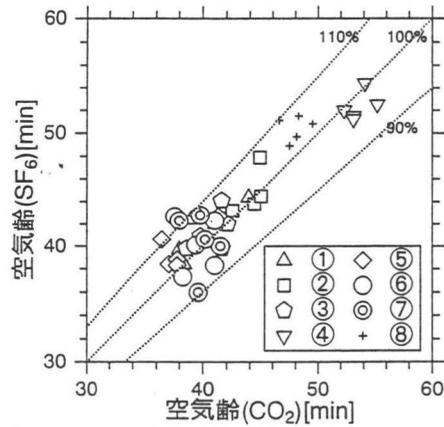


図 3-15 空気齢の算定結果 (条件C)

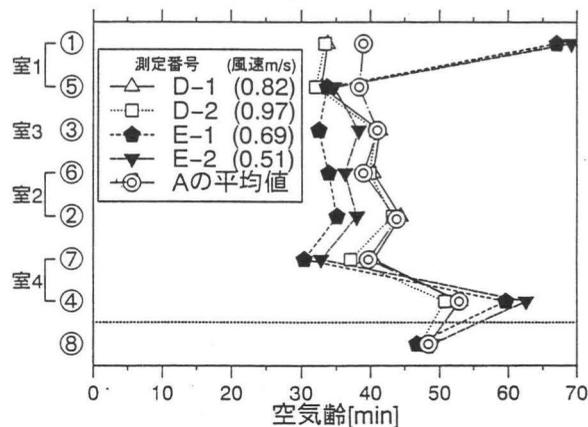


図 3-16 空気齢の算定結果 (条件D、E)

4. 住宅における設計者と部品・建材産業の コミュニケーションに関する研究

東京大学工学部建築学科助教授

松村秀一

(共同研究者)

東京大学大学院

小見康夫

1. はじめに

今日の一般的な住宅建設では、様々なメーカーによる既製部品・建材を用いるのが常態であり、これらの利用を前提として住宅の多くの部分が設計されている。しかし、市場に供給される部品・建材の種類は莫大である一方、その一次需要者たる設計者は全国に散在し、設計される住宅もそれぞれ一回性のものであるため、メーカーによる製品情報が如何に有効に設計者に伝達（コミュニケーション）され、それぞれの住宅建設毎に部品・建材を如何に適切に取捨選択し得るかが大きな問題となってくる。

本研究は部品メーカーによる製品情報の内、最も広範な影響力をもつと思われる、専門誌の広告及び記事に着目し、その内容を分析するとともに、それらと（選択主体である）設計者や施工者などの関心との整合性を、アンケート調査をもとに分析することを試みるものである。

2. 調査分析概要

2.1 専門誌広告・記事における製品情報の内容分析

代表的な建築専門誌において、そこに見られる建材・部品の製品情報に関し、その現状および時系列的变化の観点からの次のような分析を行った。

●調査対象

ここでは分析対象として、「日経アーキテクチュア」「新建築」を取り上げ、そこに掲載される建材・部品に関する全ての広告・記事（新製品紹介として扱われているもの）を対象とする。具体的には、現状の把握として、

① 日経アーキテクチュア：最近の3ヶ月分・計6冊（1992. 10. 12～12. 21号）

を用い、この比較対象として、

②-1 新建築：①と同時期の1ヶ月分・1冊（1992. 12号）

を加える。一方、時系列的变化の把握としては、

②-2 新建築：過去15年間における5年毎・計4冊

（1978. 1号・1983. 1号・1988. 1号・1993. 1号）

を用いる。なお、これらは次に示すような項目によってデータ化された。

●調査項目

- 情報を特定する属性 : 雑誌名、日付、頁
- 情報の量・種別に関する属性 : 分量、広告／記事の別
- 製品を特定する属性 : 商品名、商品内容、取扱会社（メーカー名）
- 製品の種別に関する属性 : 商品形態、工事種別、製品種別
- 表示内容に関する属性 : 種々の項目についての掲載の有無
- その他、製品の訴求内容に関する情報 : コピー内容

この内、表示内容に関する具体的な調査項目を以下に示す。

- ①製品の全体またはその一部の写真・イラストなど
- ② " 実施工例の写真・イラストなど（実名物件or匿名物件）
- ③ " 断面・構成・概念等を表す写真・イラストなど
- ④ " 取付・施工要領を表す写真・イラストなど
- ⑤ " 寸法・形状に関する表示
- ⑥ " 性能値・性能仕様に関する表示
- ⑦ " 価格に関する表示
- ⑧ " 新発売に関する表示
- ⑨ " 性能認定に関する表示
- ⑩ " B L マークに関する表示
- ⑪ " G マークに関する表示
- ⑫ " 関連カタログ・技術資料の仕様に関する表示
- ⑬ " サンプルに関する表示
- ⑭ショールームの有無・所在地に関する記述
- ⑮製品とは直接関係のないイメージ写真・イラストなどの有無

2.2 製品情報に関するコミュニケーションの整合性分析

情報の受け手である設計者・施工者などの製品情報に対する関心が、現実の製品情報とどのような関係にあるかについて、アンケート調査による分析を試みる。

ここではまず、2.1で行った内容分析を基にそれらの意味的な分類を行う。次に、それぞれの分類項目に対する設計者や施工者の関心が、現実の情報とどの程度の整合性をもっているかを、アンケート調査とその分析によって明らかにすることを試みる。具体的には、アンケート調査により、分類項目どうしを「情報の優先関係」で一対比較した結果をもとに全体を階層化して得られた結果と、広告・記事における各情報の出現率からみた「情報の優先関係」との相関度を求めることにより、それらの整合性を定量化しようとするものである。なお、階層化の手続きについては、ISM（Interpretive Structural Modelingの略、1974年J. Warfieldが開発したモデル分析法）を利用することにした。

3. 調査分析結果

3.1 専門誌広告・記事における製品情報の内容分析

3.1.1 現状の把握

(a) 調査データの概要（データ総数、広告・記事および新製品表示の有無による分布）

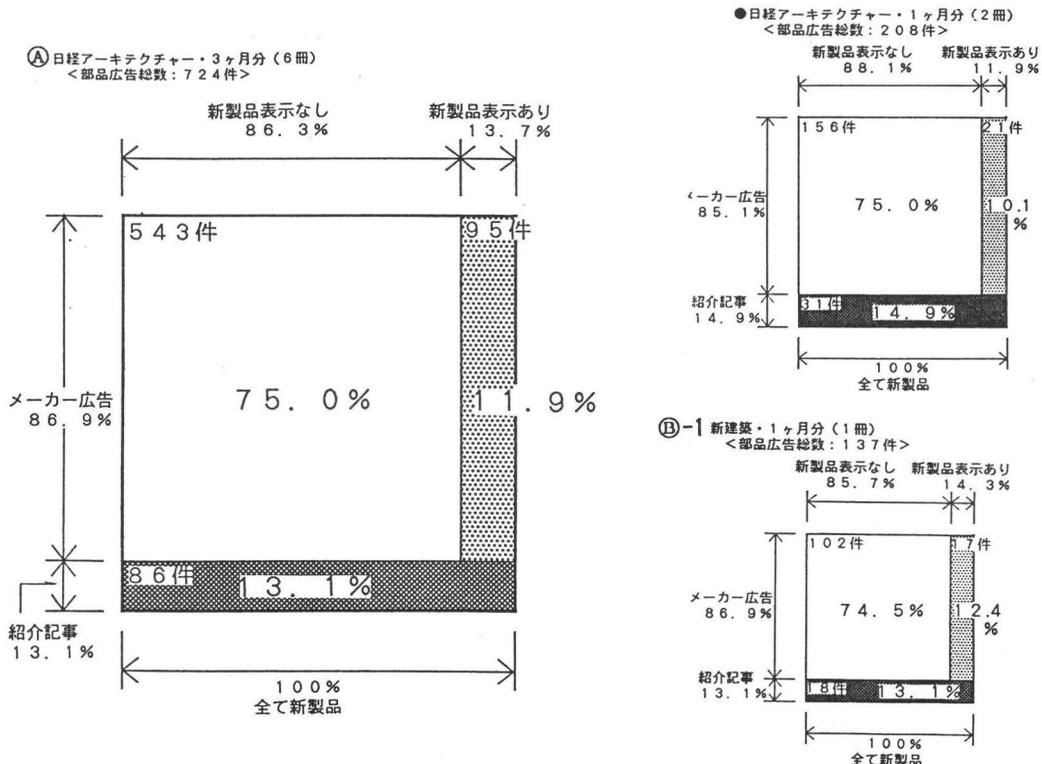
これらの調査では、まず次に示すような要領で対象となる全ての専門誌広告・記事をデータ化し（図表-1）、これを基に以降に示す分析結果を得た。データ総数は④が724件、⑤-1が137件、⑤-2が679件（総計1540件）であった。

雑誌名	日付	頁数	分類	掲載誌/記事/広告/新製品表示	商品名	商品種類・内容	取扱会社	工事分類	電気設備	配管	衛生	給排水	空調	照明	その他	新製品表示	メーカー広告	紹介記事	新製品表示あり	新製品表示なし	
日経ア	021012	3	図解	シリーズ	PASTEEM	金庫用鎖（パナソニック）	花旦ビューティ工業株式会社	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	13	金	図解	日産ノール	フッ素樹脂塗装パネルシステム	日産建設工業株式会社	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	14	図解	シリーズ	パナトリアル	防湿大理石タイル	阿部ベルコ	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	16	図解	図解	パナチュール	防湿大理石タイル	大達工業株式会社	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	18	図解	シリーズ	アサヒエ	アルミニウムデザイン器具	アサヒエ	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	20	図解	シリーズ	イタリアンフロア・カレイド	防湿大理石タイル	アサヒエ	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	22	図解	図解	深床電力電気温水浴	深床電力利用電気温水浴	東京電力株式会社	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	24	金	図解	フェロクリートカーテンウォール	フェロクリートカーテンウォール	日本セメント株式会社	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	25	金	図解	KKKバスルーフ	バス用屋根材	日本製鋼所株式会社	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	26	金	図解	ニクスシグマフロア	フローリング	ニクス株式会社	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
日経ア	021012	27	金	図解	シリウス	防湿大理石タイル	防湿大理石タイル	防湿大理石タイル	電気設備	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

メーカー	商品名	内容
パナソニック	パステム	金庫用鎖
日産建設	日産ノール	フッ素樹脂塗装パネルシステム
阿部ベルコ	パナトリアル	防湿大理石タイル
大達工業	パナチュール	防湿大理石タイル
アサヒエ	アサヒエ	アルミニウムデザイン器具
アサヒエ	イタリアンフロア・カレイド	防湿大理石タイル
東京電力	深床電力	深床電力利用電気温水浴
日本セメント	フェロクリート	フェロクリートカーテンウォール
日本製鋼所	KKKバスルーフ	バス用屋根材
ニクス	ニクスシグマフロア	フローリング
防湿大理石タイル	シリウス	防湿大理石タイル

図表-1 専門誌広告のデータ化

まず、④および⑤-1のデータにおいて、メーカー広告/記事および新製品表示のなし/ありの別による分布を見ると（図表-2）のようになる。④3カ月分のデータ、④1カ月分と同時期の⑤-1のデータ、のどれもが殆ど同じ様になっていることから、この結果は現状をほぼ反映しているものと考えられる。（因みに④と⑤-1における重複商品は39件で、これは⑤-1の約28%に過ぎず、広告内容の違いまで考慮すればさらに割合が小さくなるため、両者のデータの大部分は異なるものと見なせる）。

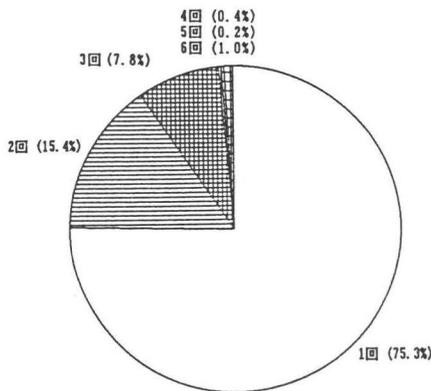


図表-2 調査対象データの概要

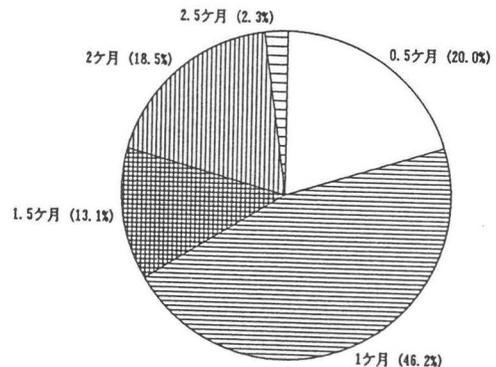
これによれば、メーカー広告は全体の85%で圧倒的に多いが、その内で新製品とうたわれているものは10~15%程度でしかなく、意外に少ない。一方、紹介記事は15%弱だが全て新製品と見なせるため、これを含めると全データにおける新製品の割合は約25%（非新製品が約75%）になり、4つに1つが新製品の情報であることになる。

(b) 頻度別分布、掲載間隔別分布

また、㉔の6冊（3カ月分）において同じ広告の頻度を調べると（図表-3）のようになり、約4分の3が1回、残り4分の1が重複して出現していること、重複は3回までが殆どであることなどがわかる。重複するものについて、さらにその掲載間隔を調べると（図表-4）のようになった。これによると1カ月が最も多く全体の半分弱、次いで多いのが0.5カ月の20%で、両者を合わせると約3分の2になっていることがわかる。



図表-3 掲載頻度別分布

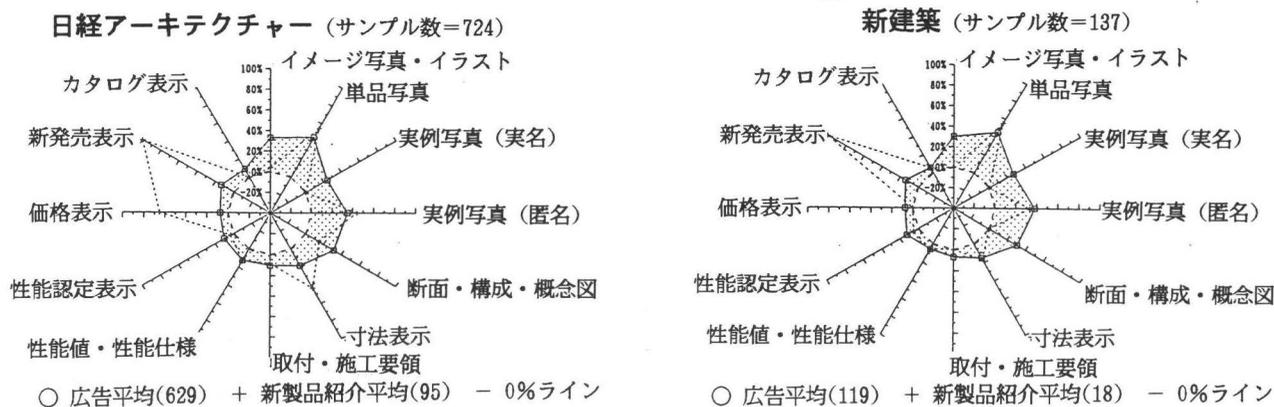


図表-4 掲載間隔別分布

これらは3カ月間のデータであることから、現実とはやや異なる結果になっていることを考慮する必要があるが、それらを差し引いても、同じ広告が何度も掲載されることが意外に少なく、複数回のもので半月~1月の間隔で2~3回掲載されるだけの「短命」のものが多い実態が明らかになっている。

(c) 表示内容別出現率

㉔および㉕-1のデータにおいて、その表示内容を12項目（上記①~⑮からほとんどみられなかった「BLマーク」「Gマーク」等を除いたもの）別の出現率（ここでは新製品紹介記事のデータを区別した）でレーダーチャート化すると次のようになった（図表-5）。記事は一件あたりの紙面が小さいため、広告よりも出現率が小さい項目が多く、また編集方針の違いから2つのデータで異なる（㉔では「価格表示」と「寸法表示」が広告よりも高くなっているのに対し、㉕-1ではそうっていない）などの特徴を示すが、一方、データの大部分を占める広告では、㉔と㉕-1でほとんど同じと言えるような結果となっており、この結果も現状をほぼ反映したものと考えられる。



図表-5 表示内容別出現率

これによれば、単品写真や実例写真・実名（いわゆる有名建築や、物件名が明記されているもの）、実例写真・匿名（物件が特定できないもの）、断面・構成・概念図、あるいは直接関係がないイメージ写真・イラストも含めて、ビジュアルな情報については20～40%の出現率があるものの、それ以外の情報はいずれも10%程度の出現率しかなく、情報に大きな偏りがあることが指摘できる。寸法や性能値、仕様、価格、あるいは取付・施工要領といった情報が殆ど表示されていないことは、これらの情報だけでは製品間の比較が殆ど不可能であることを示唆するものと考えられる。

(d) 現状分析のまとめ

以上の結果をまとめると、次のようになる。

- 広告と紹介記事では広告の方が圧倒的に多いが、そのうち新製品とうたわれているものは1割強と意外に少ない。ただし両者を合わせると約1/4になる。
- 掲載頻度は1回のみのものが最も多く、複数回のもので短い期間に2～3回掲載されるだけのものが殆どで、いずれにせよこれらが短命である傾向が読みとれる。
- 表示されている情報は、図や写真などビジュアルなものが多く、寸法・仕様・性能値・価格など、製品選択に必要な比較可能な情報は殆ど表示されていない。

これらの結果では、現状の専門誌広告・記事における情報が変動的で、視覚的なものへの偏りがあり、製品比較や選択には不十分であるという状況を具体的に明らかにできたと言える。

3.1.1 時系列的变化の分析

(a) 広告件数・広告ページ量の変化と部品形態

②-2の全データを対象に、その広告件数・広告ページ量の変化を、部品形態を区別してグラフ化すると、それぞれ次のようになる(図表-6)(図表-7)。これからはまず、広告ページ量はほぼ15年間変化していないものの、広告件数は減少、つまり1件当たりのページ量が増加しているという全体傾向が読みとれる。

部品形態別に見ると、件数グラフでは素材・単品・装置が減少、シリーズ製品・構工法が増加しており、製品情報として単純な製品の広告が減少し、反対に複雑な製品の広告が増加してきた変化が示されており、その傾向は今後ますます強くなってゆくことが予想できる。同じものをページ量グラフでみると、素材に関してはやや増加しており、件数のときと逆転現象にあるが、これは素材広告の1件当たりのページ量が特に増加(15年間で約2倍)していることの反映と見ることができる。

ただし、ここでは製品形態を次のように分類している。

「素材」＝素材・原材料やそれらを単純な線状・面状に成形しただけの製品

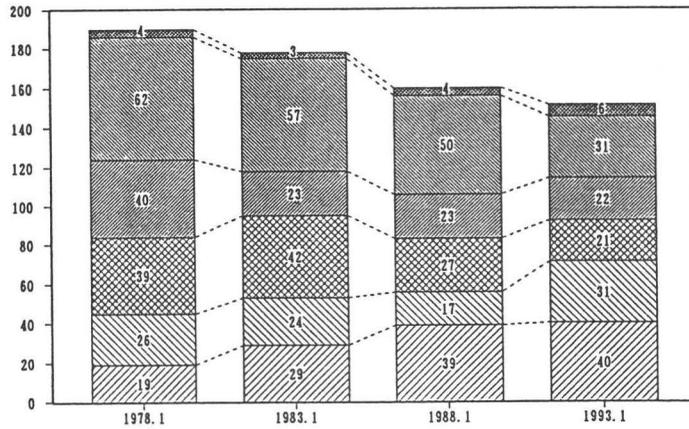
「単品」＝素材以外で、それ自身が単体であるような製品

「シリーズ製品」＝一連の単品群の総称であるような製品または製品ブランド

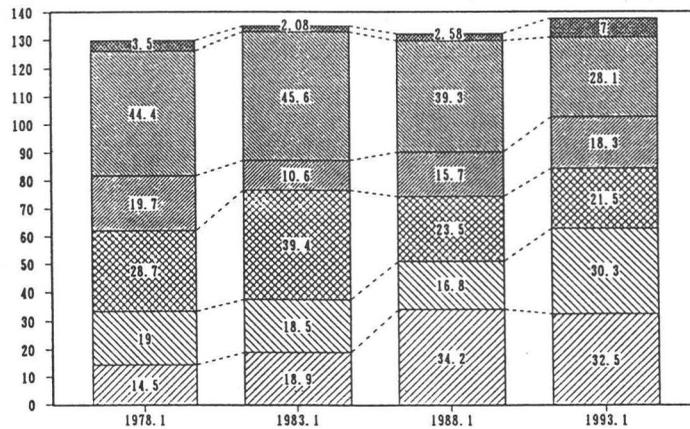
「装置」＝機械・設備機器類で配線・配管等の工事を必要とするような製品

「構工法」＝単なるものでなく、一連の施工を伴って部位を構成するような製品

「その他」＝上記以外のもの。またはどれかに絞ることができないもの。



図表-6 広告件数の変化

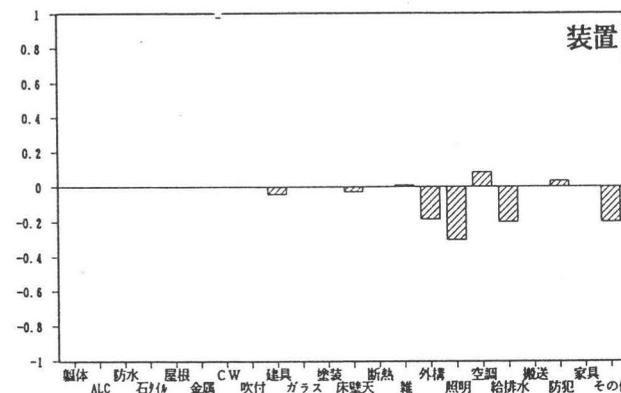
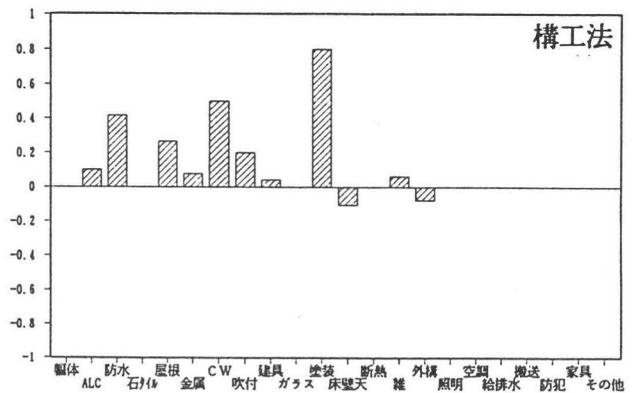
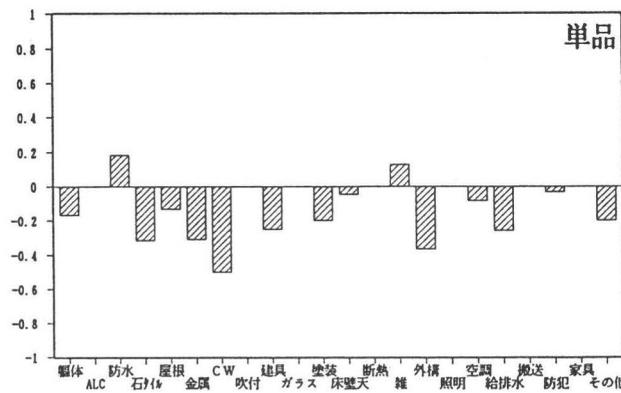
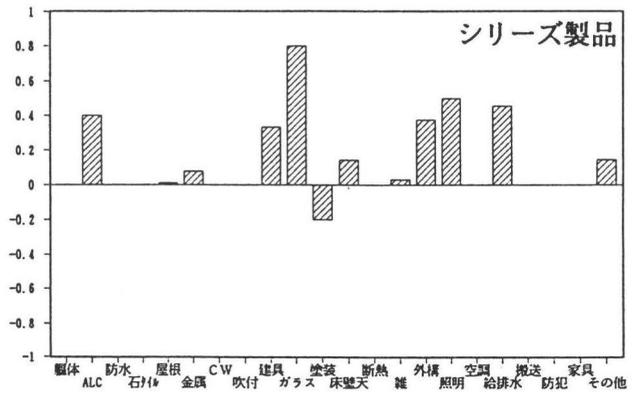
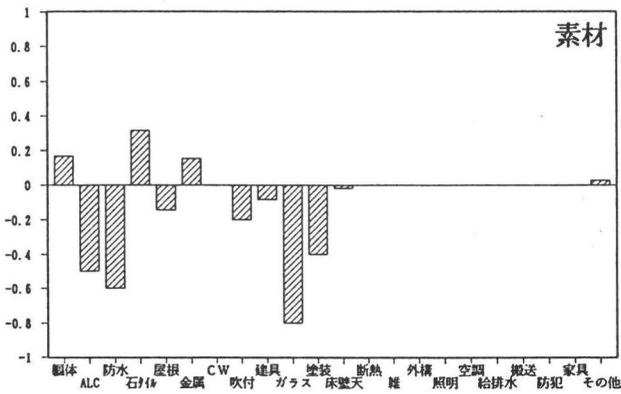


図表-7 広告ページ量の変化

■ シリーズ製品 ■ 構工法 ■ 装置 ■ 素材 ■ 単品 ■ その他

(b) 部品形態毎にみた部品種別の増減率

さらに詳細な分析をおこなうため、部品形態毎に部品種別の増減率（ここでは1978年と1993年の差を1978年の量で除した値を用いた）を調べてみると、以下のようなグラフになる。（図表-8）。これによると、減少傾向にあるもの（素材・単品・装置）はどの部品種もほぼ同じかマイナスであり、逆に増加傾向にあるもの（シリーズ製品・構工法）はどの部品種もほぼ同じかプラスであり、いずれにせよ、部品種による逆転現象は殆どないことがわかる。これは a. の結果と合わせれば、この15年間の製品形態の変化が、部品種によらない一般的な傾向であることを示すものと言える。

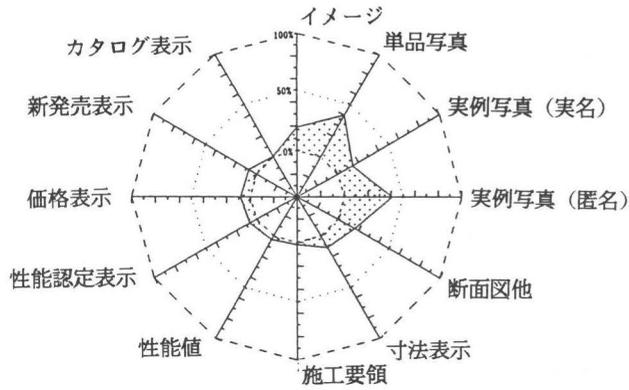


図表－8 部品形態毎にみた部品種別増減率

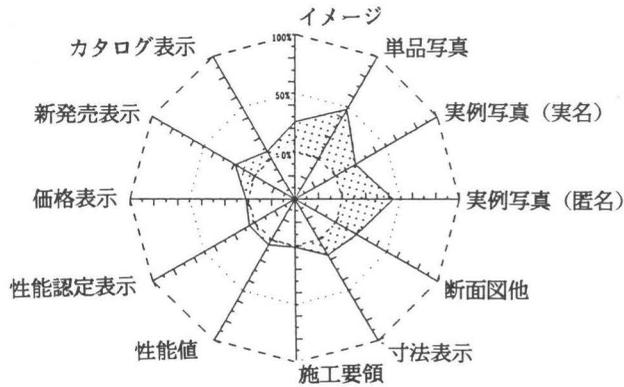
(c) 表示内容別出現率の変化

一方、表示内容別出現率の変化をみると次のようになる（図表－9）。これを見ると、全体の傾向に殆ど変化がないことがわかるが、現在の方がややグラフが大きく、出現率が僅かながら増加していることがわかる。これは(a)の結果（広告1件当たりのページ量が増加傾向にあること）に関係するものと思われるが、増加している内容が单品写真・実例写真・断面図などビジュアルな情報と新製品の表示であることは、製品選択に必要な情報に関する状況は改善されていないという現実が示されている。

1978部品全体



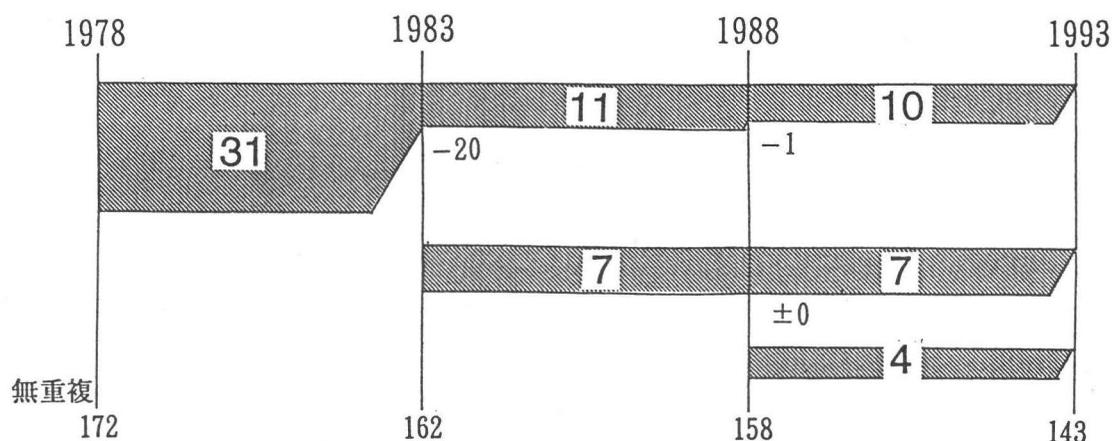
1993部品全体



図表-9 表示内容別出現率の変化

(d) 重複掲載件数の変化

最後に、5年毎のデータにおける同一広告の重複件数をその出現時期別に調べると、次のような図で表すことができる(図表-10)。これによると、5年越しの重複件数は出現時期が古いもの程多く(31件→7件→10件)、しかも現在の重複広告でも、その出現時期が古いもの程多くなっていること(10件→7件→4件)がわかる。また、1978年から1983年にかけて31件だった重複広告が1983年から1988年にかけて11件と大幅に減っているのに対して、続く5年では10件と殆どかわらないこと、同様に1983年から1988年にかけて7件だった重複広告が続く5年では同じ7件と変化していないことなどを考え合わせると、近年になる程広告(製品)が短命化し、定番商品とよべるものが少なくなってきたこと、1980年代の前半ごろを挟んでその前後で定番商品の多くが入れ替わっていること、などがおおよそ予想できる。これは1980年代の後半に商品が多様化し、それまでの商品と大きく変化したという事情を反映したものである。



図表-10 重複掲載商品数の変化 (単位: 件)

(e) 時系列分析のまとめ

以上の結果をまとめると、次のようになる。

- 15年間で広告ページ量に殆ど差がないのに対し、その件数は減少傾向にあり、広告1件当たりのページ量はやや増加していることがわかる。部品形態別にみると、素材・単品・装置が減少傾向にあるのに対し、シリーズ製品・構工法が増加傾向にある。前者は現状分析での製品形態別分布での下位3形態、後者が上位2形態であることを考えると、この20年間で広告における製品形態の内訳が大きく変化してきたことが読みとれる。またこの傾向は製品種には殆ど依存せず、製品全般におけるほぼ一般的傾向である。
- しかし一方で、その内容表示については殆ど変化が見られず、1件当たりのページ量増加に対して僅かに情報量が増えているものの、それらの多くはビジュアルな部分に使われており、製品比較・選択に必要な寸法・仕様・性能値等についてはほとんど表示されていない。
- また、15年という長期間での重複広告を調べた結果、最近ほど広告が短命化していること、1980年代の前後で定番商品の入れ替わりがあったことなどが考察できた。

これらの結果では、広告で使われる製品が、情動的に簡単なものから複雑なものへとその内訳を変化させてきているにもかかわらず、その表示内容はほとんど変化しておらず、製品比較・選択等に必要な情報の充足度としては、むしろ低下してきた状況を具体的に明らかにできたと言える。

3.2 製品情報に関するコミュニケーションの整合性分析

3.2.1 製品情報の意味内容分析

まず、広告がその対象とする製品に関して、どのような意味内容を発信しているかについて分析し、分類する。作業にあたっては、2.1における④のデータ(724件)を用いることにする。

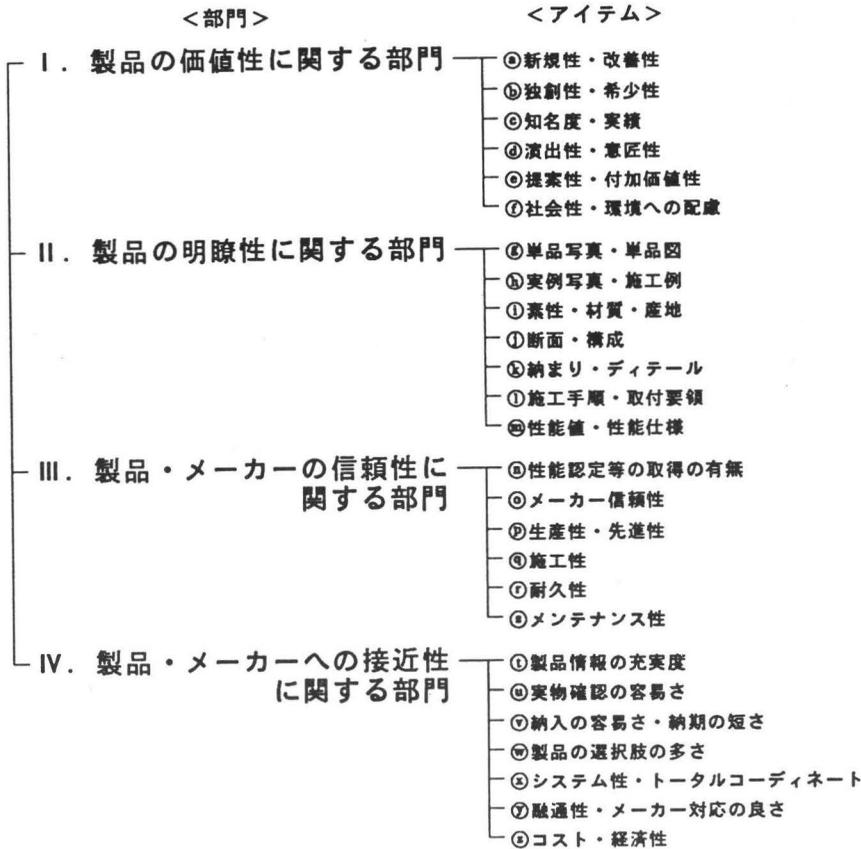
ここでは、「製品の内容(特徴)を表す情報」として、データ化の際に項目として既に挙げた内容に加え、広告・記事の見出しやコピー文から、製品の何らかの特長を示していたり、その広告を代表するような言葉を抽出し、いくつかの内容に整理する作業を行った。その結果を以下に示す。

- 新製品であること。新シリーズであること。新しくバリエーションが追加されたこと。
- 納まりやディテール寸法等の情報。

- 今までになかった製品であること。～初の製品であること。
- ユニークな製品であること。～の唯一の製品であること。
- ～が改良・向上したこと。
- ～産であること。
- 性能認定・特許・実用新案・BLマーク・Gマーク等を取得していること。
- 組み合わせにより様々なパターンの可能性をもつ製品であること。
- 周辺部分と同シリーズの製品を用いることでトータルコーディネートが容易なこと。
- 個性的なイメージをもっていること。
- 美しいデザインであること。
- 施工手順や取付要領等の情報
- 施工性が高いこと。省力化できること。
- ～を素材としていること。
- 価格に関する情報。価格が安いこと。性能対比価格が高いこと。
- 耐久性が高いこと。耐用年数（寿命）が長いこと。
- 社会性があること。景観・環境問題に取り組む姿勢をもった商品であること。
- 性能値・性能仕様・適用範囲等の情報。
- 生産性・技術力が高いこと。合理的・先進的な生産体制によっていること。
- その製品によって～を有効活用できること。製品の付加価値が高いこと。
- メーカーの対応が良いこと。
- 製品の一部変更・特性に融通がきくこと。
- ～を解決・解消する製品であること。
- バリエーションが豊富なこと。多くの品種・グレードを持っていること。
- 人気が高い製品であること。知名度が高いこと。定番であること。多くの実績をもっていること。
- 製品の層構成や断面形状の情報。
- 一貫した生産体制をとっていること。品質管理が行き届いていること。
- 大企業・総合メーカーであること。専門メーカーであること。信頼できるメーカーであること。
- 工期が短縮できること。
- 手造りの製品であること。
- 商品寿命が長いこと。ミリオンセラーであること。
- 納入が困難でないこと。納期が短いこと。
- 提案性のある製品であること。
- ～的なイメージをもった製品であること。
- ～をこえる製品であること。
- ～を含んでいないこと。有害でないこと。安心・信頼できる素材であること。
- カタログ・技術資料等が充実していること。サンプル入手が容易なこと。
- ショールームでの実物確認が容易なこと。
- メンテナンスが容易であること。メンテナンスが不要なこと。
- 有名なデザイナーを起用していること。

●小さなメーカーの製品や、販売地域の限定された余り一般的でない製品であること。

これらの内容と、既に示した一般的項目（「単品写真・イラスト」「断面図・構成図・概念図」など）とを合わせ、意味内容的に再度整理することにより、次に示すⅠ～Ⅳの4つの部門・㉔～㉚の26のアイテム（分類項目）を得た（図表-11）。



図表-11 製品情報の意味内容分類

さて、この分類をもとに、元データにおける各アイテムの出現頻度（重複を含める）を調べ、各アイテムを行・列とする正方行列において、あるアイテム*i*の出現頻度が他のアイテム*j*のその倍以上である場合に*i*行*j*列の成分を1に、それ以外の場合を0にするようなものをつくる。これは「出現頻度をもとにした各アイテムの優先関係」を表した一種のモデルと見なせる。具体的には下のようになった（図表-12）。

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z		
a	218	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0		
b	42	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0		
c	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0		
d	98	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0		
e	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0		
f	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0		
g	213	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
h	497	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
i	38	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
j	214	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
k	74	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
l	155	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
m	93	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
n	159	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
o	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	
p	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
q	36	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	
r	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
s	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
t	66	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	
u	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
v	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
w	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
x	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
y	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
z	128	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	

図表 2

図表-12 専門誌広告における各アイテムの出現頻度を基にしたモデル

3.2.2 アンケート調査結果と整合性評価

次に、情報の受け手である設計者・施工者を対象に、26アイテムから i、j 2つを選んだ場合「i と j のどちらの製品情報を優先するか」といった質問において「i より j を優先する」と答えた場合には i 行 j 列の成分を 1 に、それ以外の場合には 0 にし、(ISM による演算を用いることで) 全てのアイテム間の関係を 1 か 0 で表した正方行列をつくる*1。これは「受け手の意識をもとにした各アイテムの優先関係」を表した一種のモデルと見なせるため、これと先に得られた出現頻度によるモデルとを比較し、両者の整合性を評価する。評価にあたっては、φ 相関係数*2を用いた。

*1 このアンケートについては、「オープン部品の情報表示に関する選択者の優先度解析に関する研究(1994年日本建築学会大会学術講演梗概集、8106)」に発表しているため、そちらを参照されたい。

*2 2 値 (1 つ 0) からなるデータ群どうしの相関係数。以下のように定義される。

$$\phi = \frac{ad - bc}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

ただし a、b、c、d はそれぞれ次のような数である。

a : A、B のデータ群において A が 1 かつ B が 1 のデータの数
 b : " A が 1 かつ B が 0 "
 c : " A が 0 かつ B が 1 "
 d : " A が 0 かつ B が 0 "

その結果は、下の表のようになった(図表-13)。

標本番号	屋根材	床・壁・天井材	空調設備	平均値	
設計者	# 1	0.282	0.252	0.257	0.264
	# 2	0.510	0.485	0.492	0.496
	# 3	0.570	0.489	0.534	0.531
	# 4	0.603	0.611	0.535	0.583
	# 5	(データなし)	(データなし)	0.299	0.299
施工者	# 6	0.391	0.435	0.351	0.392
	# 7	0.484	0.452	0.434	0.457
	# 8	0.499	0.499	0.464	0.487
	# 9	0.595	0.581	0.603	0.593

図表-13 出現頻度によるモデルとのφ係数

これを全体的にみると、φ係数はおおよそ 0.5前後の水準で、「弱い相関関係がある」ということになる。また、同一部品種における標本間の相関関係よりも、同一標本における部品種間の相関関係の方が一般に強くなっていることがわかる。これは、現状の製品情報の傾向と受け手個人の傾向(情報の優先度に関する認識)とが無関係ではないものの、強く一致している程でもな

く、またそれらは部品種による差よりも個人差の方が大きいという現実を比較的良く反映した結果となっている。さらに個人差は、施工者では小さく、設計者ではやや大きくなっているが、これは設計者の製品情報に対する価値基準が施工者よりも多様であることを示したものと言える。

4. ま と め

本研究は、専門誌の広告・記事に現れた製品情報について、その特性を現状および時系列的変化それぞれの観点から分析するとともに、それらの内容を意味的に整理・分類した。さらにこの分類をもとに、それぞれのアイテム（分類項目）の優先関係が、「実際の広告・記事における出現率」と「設計者・施工者の意識（アンケート調査）」とでどの程度の整合性を有しているかを、統計的な指標で表すことを試みた。その結果、設計者と部品・建材産業のコミュニケーションに関して、基礎的な知見を得ることができた。

ここで行った調査は標本数が少なく、これらの結果から直ちに多くのことを論じることには無理があるが、これらの調査をさらに発展させることができれば、製品情報におけるコミュニケーションの現状とその効果を測る指標が得られるものと考えられる。もちろん、そのためには、さらに多くのデータでの検証が必要であることは言うまでもない。しかし、こういった調査・分析を通じて、コミュニケーションの効果という定性的であいまいな概念をある程度定量的に扱えるようになれば、「コミュニケーションの整合性」の向上に向けての有力な道具となり得る。本研究では、それに至る1つの道筋を提示することができたと言えるだろう。

5. 室内環境の快適性総合評価に関する研究

鹿児島大学工学部建築学科教授

岩 下 剛

1章 室内環境快適性の評価項目の抽出及びアンケート用紙作成

1.1 はじめに

室内の温熱快適性や知覚空気質に関する研究の多くは、実験室実験を通して行われており、実際の居住環境について快適性を総合的に調べたものは少ない。英国のSurrey大学では、住宅、オフィス、教室では別々の快適基準の設定が必要と考え、環境快適評価手法（E C A P）を提案し、これに基づく実測を行っている¹⁾。E C A PではフェイズIにおいて、室内環境評価の際に用いるアスペクトの抽出を行い、フェイズIIでは現場実測にて物理量測定とアンケート調査を同時に行っている。本研究はSurrey大学のE C A Pを参考にして、居住環境評価の際に考慮するアスペクトの抽出及び教室における環境快適性評価を行い、個人差を考慮して快適性評価構造を考察することを目的としているが、1章では、讃井らの提案したレパトリートグリッド発展手法²⁾に基づいた環境アスペクトの抽出、現場実測の際に用いるアンケート調査用紙の作成について述べる。

1.2 居住環境評価のアスペクトの抽出

Surrey大学のE C A Pでは、在室者が居住環境の快適性を評価する際に考慮する観点（アスペクト）を、被験者への個別インタビューを行うことによって、被験者自身から導き出している。本研究では、讃井らが提案したレパトリートグリッド発展手法²⁾を用いて、鹿児島大学の15名の学生（男子12名、女子3名）を対象に、21枚の室内の写真をエレメントとして見せながらインタビューを行った。これは実際の空間利用者が空間を利用する際の評価項目（アスペクト）とその階層構造を回答者自身の言葉を用いて抽出することを目的としている。回答者自身がエレメントの写真の環境の好ましさを判断する際に使用した評価項目に対して、ラダーリングと呼ばれる上位・下位項目誘導の手法を施すことによって、階層構造モデルが構築されるのである³⁾。インタビューの結果得られた、回答者個人の空間の評価構造モデルを集約したものを図1に示す。

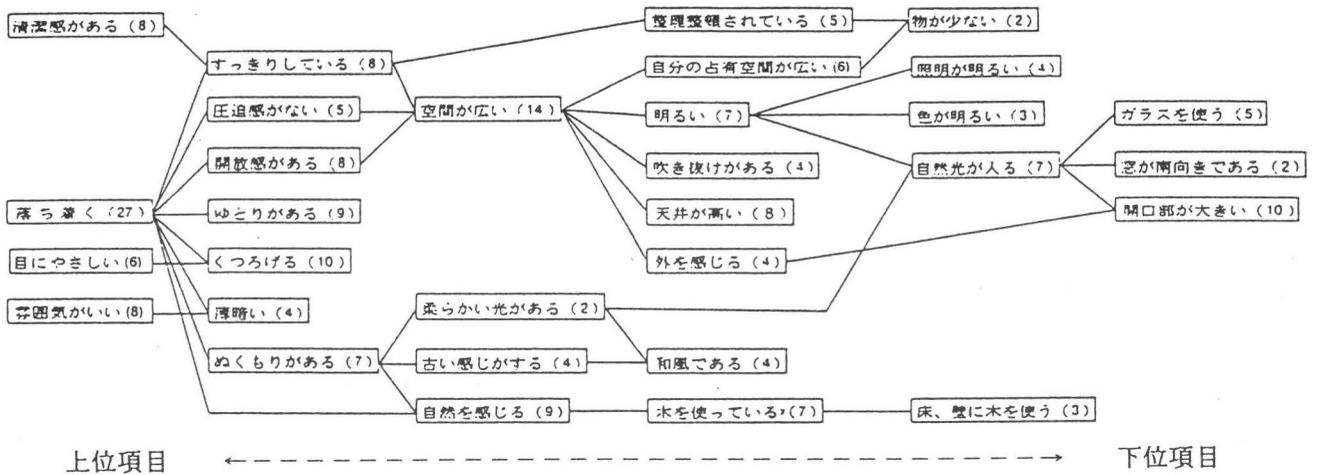


図1 全被験者を対象とする居住空間の定性適評価構造モデル

1.3 予備アンケート調査

上記のレパートリーグリッド発展手法を用いたインタビューの結果の中からラダーダウンによって得られた下位項目を参考にし、20個の評価項目からなる予備アンケート用紙 (図2) を作成した。予備アンケート調査ではこの20個の評価項目に対して被験者が申告する重要度を調べ、その結果に因子分析を施すことによって、主因子を決定し、評価項目数の圧縮を行うことを目的としている。被験者としては鹿児島大学建築学科3年生43名が選ばれた。

あなたが教室内に滞在する際に影響を及ぼすと思われる以下の因子があなたにとっていかに重要であるかを、それぞれの因子についてスケール上の数字に一つマルを付けてお答え下さい。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----										
まったく										非常に
重要でない										重要

1. 内装の色調が明るいこと	11. 室内に緑があること
2. 占有スペースに余裕があること	12. 自然光の豊富さ
3. 片付いていること	13. 内装の色調が暗いこと
4. 天井が高いこと	14. 木材が使われていること
5. 適度な間接照明があること	15. イスの座り心地がよいこと
6. 室内の照度が明るいこと	16. 室内の照度が薄暗いこと
7. 内装の色調に統一性があること	17. 不要な物がないこと
8. 窓からの眺めがよいこと	18. 吹き抜けがあること
9. 物が少ないこと	19. 居心地がよい室内デザイン
10. 屋外が見えること	20. 大きな開口部があること

図2 アンケート用紙 (予備調査用)

図2に示したアンケート用紙を用いて得られた各評価項目の重要度申告に対し、因子分析を施した。その結果、各因子軸における因子負荷量の高い評価項目に基づき、第1因子を「色調及び照度」を表す因子、第2因子を「作業性」を表す因子、第3因子を「空間のヴォリュームと照度」、第4因子を「室内デザイン」、第5因子を「親自然」を表す因子と判断した。また、この5つの主因子を表現するアスペクトとして以下の6項目を抽出した；「内装の色調が適切であること」、「適度な人工照明」、「占有スペースに余裕があること」、「イスの座り心地の良さ」、

「豊富な太陽光」、「室内に緑があること」。

1.4 本実測に用いるアンケート用紙の作成

以上に述べた評価項目は、室内写真を回答者に見せながら行ったインタビューより導かれたものなので、温度や空気質、騒音などは考慮していない。実際の居住空間においては、これらの項目も重要視されることがあると考え、本実測ではSurrey大学のECAPで用いられている温熱、空気質、音環境に関する評価項目もアスペクトに加え、図3に示す本実測用アンケート用紙を作成した。

質問1：あなたが授業を受ける際に影響を及ぼすと思われる以下の因子があなたにとってどの程度重要ですか。

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

まったく重要でない 非常に重要

1. 湿度が高くないこと	9. 人工照明の適度な明るさ
2. 窓からの眺め	10. 室内が整然としていること
3. 太陽光の導入量	11. 室内の色合いがよいこと
4. イスの座り心地がよいこと	12. 騒音がないこと
5. 快適な空気温度	13. 植物など緑の量が多いこと
6. 空気が新鮮であること	14. グレアがないこと
7. 風通しがよいこと	15. ドラフトがないこと
8. 占有スペースに余裕があること	16. 直射日光があたっていないこと

質問2：以下に示す各因子の現在の状況について、それぞれどの程度満足もしくは不満足ですか。

-5 -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5

まったく不満足 どちらでもない 非常に満足

1. 湿度	9. 人工照明の明るさ
2. 開口部の大きさ	10. 室内空間の整い具合
3. 太陽光の導入量	11. 室内空間の色合い
4. イスの座り心地	12. 騒音の大きさ
5. 快適な空気温度	13. 植物など緑の量
6. 空気の新鮮度	14. 光によるまぶしさ
7. 風通しの具合	15. 気流
8. 占有スペースの広さ	16. 直射日光

質問3：この教室の総合的な環境について、どの程度満足もしくは不満足ですか。

-5 -4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4 +5

まったく不満足 どちらでもない 非常に満足

図3 最終アンケート用紙（実測用）

2章 物理量測定結果及び環境アスペクトの重要度・満足度申告結果

2.1 はじめに

2章では、教室空間における温熱・光・空気・音環境に関する物理量測定、及び1章で作成したアンケート用紙を用いた在室者へのアンケート調査を行った結果について報告する。

2.2 実測方法

2.2.1 対象空間

実測対象空間として鹿児島大学法文学部 101号教室（以下法文教室と称す）、海洋土木工学科教室（土木教室）、建築学科31号教室（建築教室）を用いた。実測は学生の在室している講義中に90分間行われたが、実測時の在室者数、床面積、容積等の各教室の状況を表1に示す。

2.2.2 物理量測定項目

上記の教室の室中央において、室内空気温度・相対湿度、気流速、水平面照度、騒音レベル、CO濃度、CO₂濃度、TVOC（揮発性有機化合物、トルエン換算）濃度、ホルムアルデヒド濃度、換気量の測定を行った。なお、水平面照度は窓面付近においても測定を行い、換気量はトレーサーガス（SF₆）濃度減衰法によって求めた。

2.2.3 アンケート調査

1993年9月に、物理量測定と同時に1章の図3に示したアンケート用紙を用いて在室者（大学生）を対象にアンケート調査を行った。なお、物理量測定は90分間続けて行ったが、アンケート調査は測定開始60分後に行った。このアンケート調査は16個の室内環境評価アспектに対する重要度申告、満足度申告、及び空間の総合的な満足度の申告からなる。回答者数は法文教室が117名（法文学部学生、男42名、女75名）、土木教室が55名（海洋土木学科学生、男53名、女2名）、建築教室が54名（建築学科学生、男43名、女11名）であった。

表1 各教室の状況

		法文	土木	建築
在室者数	(人)	117	55	54
床面積	(m ²)	193.3	198.8	62.4
	(m ² /人)*	1.65	1.81	1.15
容積	(m ³)	532.9	695.8	187.2
	(m ³ /人)*	4.55	6.33	3.47
換気量	(m ³ /h)	2454.0	7712.3	261.33
	(m ³ /h・人)*	18.14	140.22	4.84
窓面積	(m ²)	59.04	27.00	11.88
エアコン		無	無	有

*在室者1人当たり

表2 物理量測定結果

		法文	土木	建築
空気温度 (°C)	Ave.	27.94	28.75	28.69
	S. D.	±0.35	±0.29	±0.99
相対湿度 (%)	Ave.	79.63	62.46	65.09
	S. D.	±1.79	±1.76	±1.98
等価騒音レベル (dB[A])		64.66	50.27	54.78
照度(室中央) (lx)	Ave.	434.1	783.4	772.0
	S. D.	±41.8	±41.3	±129.1
照度(窓側) (lx)	Ave.	863.8	2252.6	4855.5
	S. D.	±232.5	±552.8	±1088.8
気流速 (m/s)	Ave.	0.103	0.034	0.004
	S. D.	±0.069	±0.027	±0.006
CO濃度 (ppm)	Ave.	1.21	1.13	1.76
	S. D.	±0.62	±0.81	±1.11
CO ₂ 濃度 (ppm)	Ave.	649.3	445.1	2339.3
	S. D.	±84.01	±59.4	±488.8
CH ₂ O濃度* (ppb)	Ave.	0.13	0.10	0.13
	S. D.	±0.04	±0.04	±0.04
TVOC濃度 (mg/m ³)	Ave.	4.82	5.94	8.93
	S. D.	±3.01	±2.78	±3.25

*ホルムアルデヒド濃度

2.3 測定結果

2.3.1 物理量測定結果

表2に各教室における物理量測定項目の測定結果を示す。空気温度及び相対湿度の結果から新有効温度ET*を計算すると、どの教室も快適範囲から大きくはずれていることがわかる。また、等価騒音レベルも教室における設計指標の45dB(A)を越えていた。建築教室のみ窓を開放せず、

エアコンを運転していたため、CO濃度、TVOC濃度、CO₂濃度の空気質に関する物理量が他の2つの教室に比べて高くなっており、特にCO₂濃度はビル管理法の基準を大幅に上回っている。建築教室の空気質の低さは在室者1人あたりの換気量の少なさからも推測できる。

2.3.2 環境アスペクトの重要度

1章の図3に示したアンケート用紙の質問1（各環境アスペクトの重要度）の回答結果を、平均申告値の高いアスペクトの順に表3に示す。なお、ここに示す重要度は各教室における16個の環境アスペクトの重要度平均値との比で表されている。これを見ると、どの教室においても「空気が新鮮であること」、「快適な空気温度」、「風通しがよいこと」、「占有するスペースに余裕があること」、「湿度が高くないこと」といった温熱環境・空気質に関するアスペクトが上位5位を占めていることがわかる。それに対し、「窓からの眺め」、「植物などの緑の量」、「室内の色合い」などの視覚的なアスペクトはあまり重要視されていない。

表3 各環境アスペクトの重要度の平均値

順位	人文			海洋土木			建築		
	環境因子	Ave.	S. D.	環境因子	Ave.	S. D.	環境因子	Ave.	S. D.
1	新鮮な空気	9.34	1.09	温度	9.76	1.58	温度	9.28	1.22
2	温度	9.33	1.48	風通し	9.70	1.30	新鮮な空気	9.03	0.95
3	風通し	9.11	1.21	新鮮な空気	9.67	1.34	湿度	8.88	1.33
4	占有空間	8.62	1.37	湿度	8.79	2.29	占有空間	8.54	1.13
5	湿度	8.51	1.75	占有空間	8.61	1.88	風通し	8.42	1.51
6	照明の明るさ	8.35	1.33	騒音	8.40	1.85	座り心地	8.40	1.37
7	座り心地	8.24	1.50	座り心地	8.25	1.91	気流	8.31	1.13
8	直射日光	8.13	2.05	照明の明るさ	8.10	1.88	照明の明るさ	8.27	1.44
9	気流	8.11	1.63	直射日光	8.09	1.86	騒音	8.19	1.15
10	騒音がない	7.97	1.56	気流	7.75	1.30	直射日光	7.96	1.35
11	まぶしさ	7.75	1.38	まぶしさ	7.56	1.47	まぶしさ	7.88	1.46
12	室内の整い方	6.82	1.78	室内の整い方	6.72	1.91	太陽光の導入	7.14	1.59
13	太陽光の導入	6.60	2.22	太陽光の導入	6.43	1.97	室内の整い方	6.95	1.25
14	室内の色合い	6.22	1.85	植物などの緑	6.06	2.26	室内の色合い	6.36	1.72
15	植物などの緑	6.15	2.12	室内の色合い	5.84	1.84	植物などの緑	5.80	2.11
16	窓からの眺め	5.84	2.36	窓からの眺め	5.36	2.44	窓からの眺め	5.67	2.40

2.3.3 環境アスペクトの満足度

表4にアンケート用紙の質問2（各環境アスペクトの満足度）の申告結果を平均値の高いアスペクトの順に示す。どの教室においても「人工照明の明るさ」、「グレアの状態」、「直射日光の状態」の光環境に関するアスペクトについては満足側（満足度申告が0以上）の結果になっていることがわかる。一方、どの教室においても総じて温熱・空気質に関するアスペクトが低い満足度になっているが、特に建築教室では「占有スペースの広さ」、「空気の新鮮度」、「風通しの具合」の満足度がかなり低く、不快側となっており、これは在室者1人あたりの気積及び換気量の少なさが原因と考えられる。温熱・空気に関するアスペクトは高い重要度が示されているため、既報¹⁾で述べた環境適合度（各アスペクトの重要度と満足度を掛け合わせたもの）を計算すると、

温熱・空気に関する適合度は非常に低い値となり、これらのアスペクトが空間の不快感へ及ぼす影響は大きいと考えられる。

3.3 被験者のサブグルーピング

2章では各環境アスペクトの重要度を個人差を考慮せずに回答者全員の平均値という形で表しているが、回答者が重要視するアスペクトは回答者のタイプ別に異なっている可能性がある。ある回答者の重要視するアスペクトの実際の状態が不快であり満足度が低ければ、その人間は対象空間の総合評価を低く申告するであろうし、そのアスペクトを重要視しない人間にとっては、そのアスペクトの満足度が低くとも総合評価へ及ぼす影響は少ないと思われる。ここで回答者の重要度申告の傾向から、回答者をサブグループに分類するため、讃井らの手法²⁾を参考にし、Qモードのクラスター分析を用いた。なお、分類した後のサブグループの構成人数が少なくなることを避けるため、クラスター分析は法文教室における重要度申告（正規化したもの）にのみ適用し、図5に示すように非類似度 100の線で分類を行った。これにより、サブグループは図5のように4グループに分類されたが、以降の統計解析には構成人数の多いサブグループA、B、Cのみを分析対象とした。

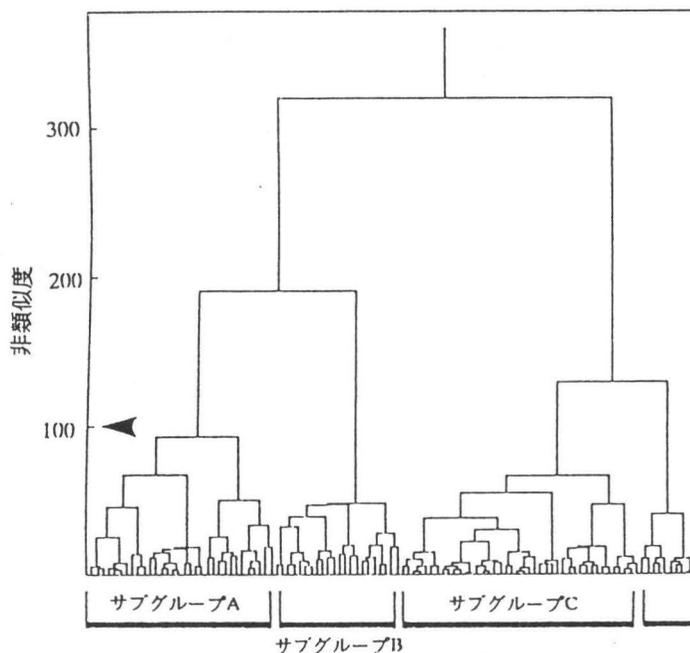


図5 Qモード・クラスター分析結果

図6に示したサブグループA、B、Cの各環境アスペクトに対する平均重要度のレーダーチャートを見ると、どのグループも温熱や空気質に関するアスペクトについてはほぼ等しい重要度を申告していることがわかる。グループBは「窓からの眺め」、「太陽光の導入量」のアスペクトの重要度が高い一方、「グレア」、「直射日光」については重要視しておらず、昼光を多く望んでいたと考えられる。また、グループCは「窓からの眺め」や「太陽光の導入」はあまり重要視していないが、室内が整然としていることを重要と考えている。グループAはどの環境アスペクトについてもほぼ等しい重要度を申告しており、特徴的な申告傾向はみられない。

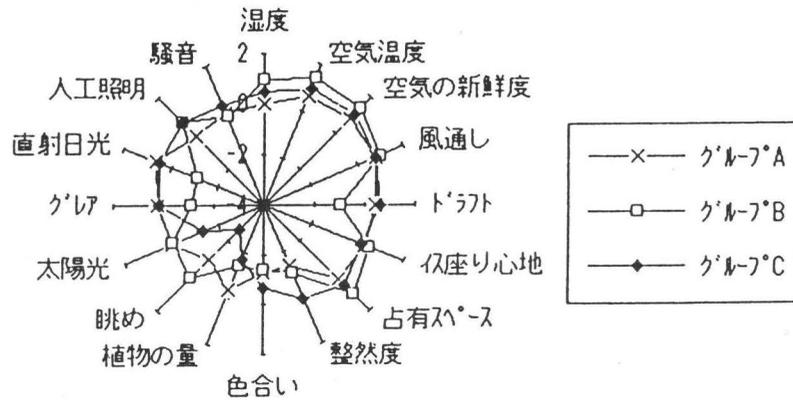


図6 各環境アスペクトの重要度申告
(サブグループA、B、C)

3.4 満足度に対する因子分析

上記した方法で重要度申告を基に分類したサブグループは満足度申告について、どのような構造の違いがみられるかを調査するために、各サブグループの環境アスペクト満足度について因子分析を行った。なお、因子数は固有値が1以上であること及び寄与率を考慮して5とした。表5にサブグループA、B、Cの各因子の因子負荷量を示す。サブグループAの場合、第1因子は「湿度」、「開口部の大きさ」、「空気温度」、「空気の新鮮度」、「風通し」、「気流」のアスペクトの因子負荷量が高く、温熱・空気環境の満足度を表す因子と考えられる。第2因子は「緑の量」、「室内の整い具合」、「室内の色合い」の負荷量が高いため室内の美観の満足度を表す因子、第3因子は音環境の満足度を表す因子、第4因子はまぶしさを表す因子、第5因子はイスの座り心地を表す因子と考えられる。次にサブグループBの場合、第1因子は「開口部の大きさ」、「整い具合」、「色合い」、「緑の量」の負荷量が高く、美観の満足度を表す因子、第2因子は温熱・空気・音環境の満足度、第3因子は湿度及び占有スペースに関する満足度、第4因子はイスの座り心地、第5因子はまぶしさを表す因子と考えられる。サブグループCの場合、第1因子は温熱・空気環境の満足度、第2因子はまぶしさ、第3因子は美観、第4因子は植物など緑の量、第5因子はイスの座り心地を表す因子と考えられる。寄与率が10%以上である第3因子までの因子で比較してみると、グループAが第1因子から順に「温熱・空気／美観／音」、グループBが「美観／温熱・空気・音／湿度・スペース」、グループCが「温熱・空気／まぶしさ／美観」となって、分類したサブグループの特徴をそれぞれ表していると思われる。今後、サブグループ別に各環境アスペクトの満足度と総合評価との関係を多変量解析し、空間の評価構造を把握する必要がある。

表5 満足度に関する因子分析結果

サブグループA	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子
深度	0.78970	-0.0434	0.1691	0.0849	-0.0856
窓からの眺め	0.8444	0.2345	-0.0320	-0.2023	0.1845
太陽光の導入量	0.4208	0.2885	-0.0001	-0.1999	-0.3105
木の座り心地	0.0847	-0.0052	0.2227	-0.1143	-0.7799
空気湿度	0.8431	-0.0479	0.3839	0.0140	-0.0999
空気の新鮮度	0.6960	0.4548	0.2278	0.1501	0.0433
風通しの具合	0.8297	0.1623	0.0270	-0.1039	-0.2490
占有スペースの広さ	0.2882	0.0282	0.6148	-0.2075	-0.2316
人工照明の明るさ	-0.1660	0.3763	0.4305	-0.5451	-0.1085
空間の整い具合	0.1495	0.6460	0.2695	-0.1398	-0.3508
空間の色合い	0.1218	0.6995	0.2025	-0.2620	-0.0757
騒音の大きさ	0.1243	0.3789	0.7243	-0.0912	-0.1101
植物など緑の量	0.1411	0.7101	0.0126	-0.0940	0.0216
グレア	0.0786	0.0609	0.2116	-0.8132	-0.0158
ドラフト	0.7552	0.1707	-0.0074	-0.2868	-0.0942
直射日光	0.2363	0.3114	-0.0520	0.7327	-0.2272
固有値	6.0881	2.6604	1.4850	1.3285	0.9943
寄与率	0.3805	0.1663	0.0928	0.0830	0.0621
サブグループB	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子
深度	-0.1891	0.0699	0.8417	-0.2340	0.2599
窓からの眺め	0.8073	0.2591	0.0193	-0.3097	-0.0241
太陽光の導入量	0.5632	-0.0355	-0.4288	-0.1685	-0.0201
木の座り心地	0.0932	0.0463	-0.0119	-0.6292	-0.1024
空気湿度	-0.0523	0.7391	0.3507	-0.0062	-0.3588
空気の新鮮度	0.0147	0.8229	0.1480	-0.3619	0.0340
風通しの具合	0.1024	0.8690	0.1545	-0.1492	-0.2016
占有スペースの広さ	0.2129	0.2613	0.8346	0.1693	-0.1169
人工照明の明るさ	0.3736	-0.5107	0.3078	-0.1048	-0.3567
空間の整い具合	0.7305	-0.3579	0.0427	-0.2349	-0.3156
空間の色合い	0.7737	-0.0047	0.2714	0.1394	-0.2050
騒音の大きさ	0.2009	0.6957	-0.1126	0.2641	0.0029
植物など緑の量	0.7620	0.2989	-0.0900	0.2800	-0.1216
グレア	0.6267	0.1951	-0.2731	-0.1950	-0.4831
ドラフト	0.2039	0.6216	0.1929	0.0829	-0.5231
直射日光	0.3154	0.2327	-0.1814	-0.1856	-0.7961
固有値	4.9858	3.3858	1.9653	1.1970	0.9728
寄与率	0.3116	0.2116	0.1228	0.0748	0.0608
サブグループC	第1因子	第2因子	第3因子	第4因子	第5因子
深度	0.7277	0.0516	0.4451	-0.1573	-0.0819
窓からの眺め	0.4698	0.0652	0.0285	0.1217	0.2995
太陽光の導入量	0.0450	0.2390	0.1147	0.4561	0.4919
木の座り心地	0.1478	0.1055	0.2840	-0.0310	0.6316
空気湿度	0.8787	-0.0828	0.0616	0.0789	-0.0515
空気の新鮮度	0.6855	0.0347	0.3772	0.1770	0.2457
風通しの具合	0.7977	0.0363	0.1202	0.1978	0.1943
占有スペースの広さ	0.3551	-0.1344	0.5380	0.0965	0.2708
人工照明の明るさ	0.2246	0.3256	0.6377	0.0041	-0.0453
空間の整い具合	0.1144	-0.0150	0.7075	0.1934	0.1059
空間の色合い	0.0329	-0.0399	0.6970	0.2812	0.3036
騒音の大きさ	0.0888	0.3129	0.4870	0.4979	0.1797
植物など緑の量	0.2074	0.0760	0.3309	0.6987	0.0200
グレア	-0.0831	0.8604	0.0661	0.1171	-0.0017
ドラフト	0.5564	0.2291	0.0316	0.5189	-0.0077
直射日光	0.1611	0.6808	-0.0036	0.1699	0.3901
固有値	5.6321	2.2014	1.6612	1.1111	1.0865
寄与率	0.3520	0.1376	0.1038	0.0694	0.0679

4章 まとめ

- 1) レポートリーグリッド発展手法に基づき、室内環境の快適性を評価する際に用いる項目の抽出を行った。
- 2) レポートリーグリッド発展手法を用いたインタビュー結果に基づき、20個の評価項目からなる予備アンケート用紙の作成し、20個の評価項目に対する重要度申告調査を行った。その結果、「色調及び照度」、「作業性」、「空間のボリュームと照度」、「室内デザイン」、「親自然」の因子が抽出され、この因子を表すアスペクトとSurrey大学のグループが用いているアスペクトを組み合わせ、本実測に用いるアンケート用紙を作成した。

- 3) 夏季の教室空間において、温熱・空気・光・音環境実測を行ったが、特に窓を閉めた状態で冷房をしている教室の空気質が劣悪であった。また、同時に在室者へのアンケート調査を行い、重要視される環境アспект及びその満足度を求めた。
- 4) 各環境アспектの重要度申告にクラスター分析を施し、アンケート調査における回答者をサブグループに分類した。各サブグループの各環境アспектに対する満足度を因子分析したところ、サブグループ間に異なる満足度評価構造がみられた。

【参考文献】

- 1) A.P. Ballie et al., THERMAL COMFORT ASSESSMENT, Final Report, ETSU S-1177, 1987
- 2) 讚井、乾、レパトリリーグリット発展手法による住環境評価構造の抽出、建築学会計画系論文報告集、昭和61年9月
- 3) 岩下、木村他3名、アトリウム環境の快適性の総合評価に関する試験研究(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、1993年9月

6. エアカーテン創製による高性能レンジフードの開発

北見工業大学機械システム工学科教授
坂本 弘志

1. はじめに

近年省エネルギー住宅としての高断熱・高气密化の施工が技術的に確立し、北海道・東北は勿論のこと全国的に普及している。高气密化住宅の快適な居住環境を確立する上で、室内の換気は、種々の立場から解決を図らなければならない極めて重要な課題となりつつある。本研究は、快適な居住環境を確立する上で解決すべき課題の一つである。高气密住宅用台所レンジフードの開発を行おうとするものである。現在普及しているレンジフードは、「排気機能」のみを有するものが大部分である。そのために、給気は室内全体から行われることによって、レンジフードの排気機能の低下、室内負圧の発生、換気システムの機能低下等の種々の問題を誘発している。現在のところ、「排気不足」によるレンジフードの性能低下の問題の解決は、高性能排気ファンの開発及び新機能を有するレンジフードの開発の両面から行われている。前者はファンの性能向上による排気量の増大、後者はレンジフード入口部に誘導板、あるいは入口形状の改良に基づく流れのスムーズ化による排気量の増大のみを目的としているために、給気不足によって室内に発生する各種問題はさらに深刻化している。したがって、これらの問題を基本的に解決するためには、給気機能を有するレンジフードの開発が不可欠であり、各方面からその開発が強く望まれている。現在給気機能を有する新型レンジフードの開発が一部行われているが、最適な給気と排気を行うための給気システムが構築されていないこと、住宅の気密性能と給気量との関係が不明であること、並びに冬期間の外気給気による冷気対策が不十分であるために、実用化までにいたっていないのが現状である。

本研究は、レンジフードと一体化したスリット状の給気口から流出する気流によって、エアカーテンを創製し、それによって調理時に発生する汚染物を拡散させることなく、効率よく局所排気できる、「給気と排気の両機能」を有する高性能レンジフードの開発を行ったものである。

2. 排気型レンジフードの問題

最近の住宅は高气密化がますます進み、気密性能を示す相当隙間面積が建築学会北海道支部の誘導型 $2 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 程度の住宅が数多く建てられるようになり、中には $1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 以下のものも実現しつつある。このような高气密住宅の台所に排気型レンジフードを設置した場合、排気流量は例えば相当隙間面積が $0.27 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ の集合住宅では、図1に示すように最大で $100 \text{ cm}^3/\text{h}$ となり、調理時に発生する汚染空気を完全に捕集するに必要とする $500 \text{ cm}^3/\text{h}$ (図2参照) とは、かなりかけ離れたものとなっている。また図1「文献1」に示すように、運転時の室内に発生する負圧は -25 mm Aq まで低下し、ドアの開閉の困難はもちろんのこと、室内の換気システムの正常運転の阻害、時にはそれが作動しなくなることもある。さらにはトイレあるいは浴室に発生した汚染空気を吸引するために、それらが通過する室内に拡散させることも生じる。これらを防止するためには、排気量に見合う給気量を確保し、給排気が台所のみで実現させることが必要となる。例えば図1に示すように給気口を設けた場合には、捕集流量が $400 \text{ cm}^3/\text{h}$ まで増大し、かつ室内負圧も -7.2 mm Aq まで低下する。したがって、給気口の設置はレンジフードの性能向上に極めて有効であることが理解される。ただレンジフード周辺に単に給気口を設けるだけでは、開口部からの冷気の流入、給気の一部の他の換気システムからの排出、あるいは流入してきた空気による調理時に発生する汚染空気の拡散等の問題が生ずる。したがって調理時に発生する汚染空気を最小の流量で排出させるための最適な流れ場を創製する、レンジフードの給排気システムの確立が必要となる。

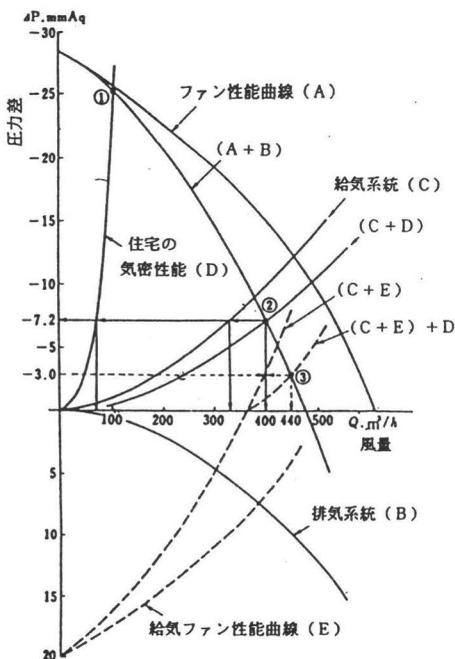


図1 給気口有無によるファン性能

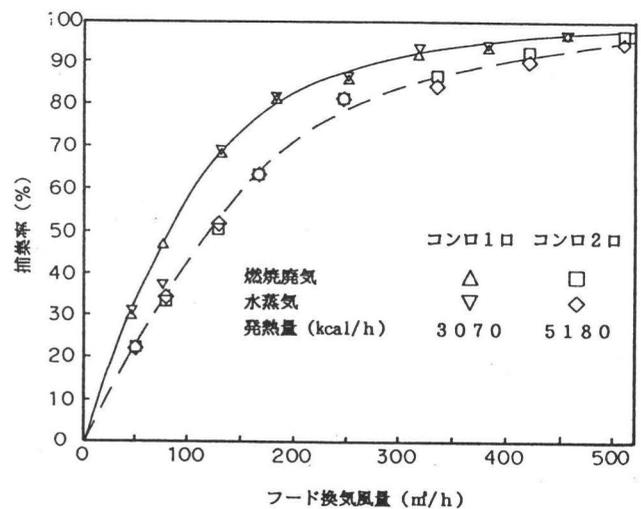


図2 市販されているレンジフードの性能

3. 試験概要

3.1 試験室の概要

試験に当たっては、床面積が5 m×4 m (1階建て)なる20㎡の大きさを有する実験モデル住宅を用いることによって行った。この場合、実験住宅の気密性能によって、給気による創製エアーカーテンの特性が異なることが予想される。したがって本試験では、実験住宅の隙間相当面積を超気密である0.6cm²/m²、高气密である1.0cm²/m²、そして中気密である2.0cm²/m²の3通りに変化させて行った。具体的な実験住宅の気密度の変化は、住宅の壁に小さな穴を適切に設けることによって実現した。気密の測定は、通常使用されている気密測定器を用いて行い、試験は減圧法によって行った。本試験で得られた、室内外圧力差と流量との関係を図3に示してある。この結果に基づいて、気密性能を表す隙間相当面積を算出した。

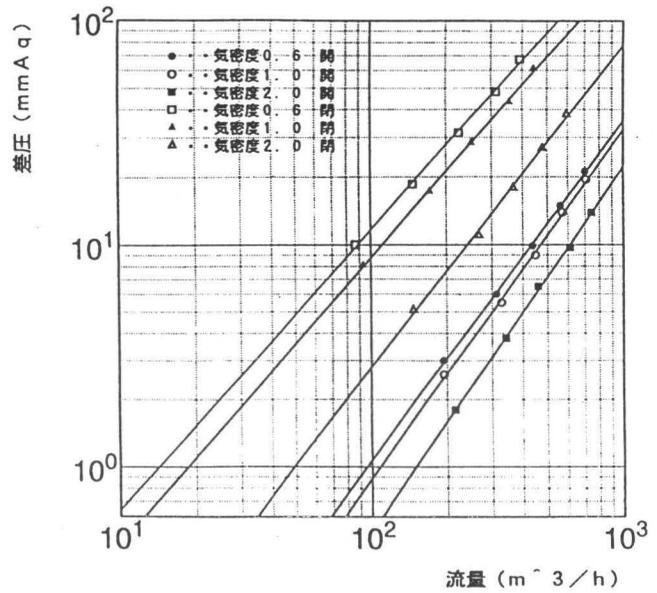


図3 実験住宅の気密性能

3.2 試験に用いたレンジフード概略

試験に用いたレンジフードの外側形状は、現在市販されているものと同一のものとなるように設計した。図4にレンジフードの概略を示してある。室外から直径150 mmのパイプを通して流入してきた空気は、一度レンジフード上部に設けられた給気室 (H 200mm×L 680mm×W 380mm) に流入し、レンジフード両側に設けられた幅40mmの給気スリットを通り、給気流となってエアーカーテンを創製する。この場合の給気は排気力に基づく自然給気、排気はレンジフードの内部に設けられた縮流部に接続した直径150mmのパイプを通して、ファンによって強制的に行われる。排気用ファンはシロッコファンで、室外に設置した。また図5に示すレンジフードの外側の両側に設けられた給気噴流ノズルは、幅40cm、高さ100mm、奥行き600mmの大きさを有し、噴出角度を自由に変化させることができる機構となっている。本試験では給気の噴出角度を0°、30°、40°、60°、90°の5通りに変化させて行った。

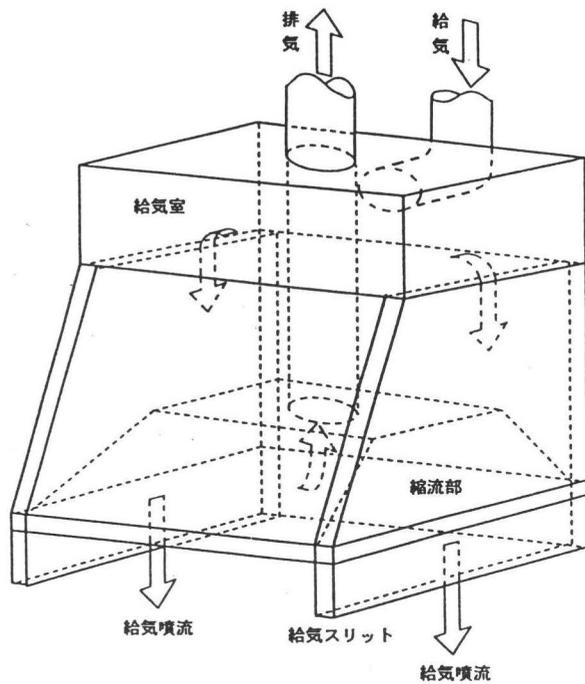


図4 開発試験したレンジフード概略

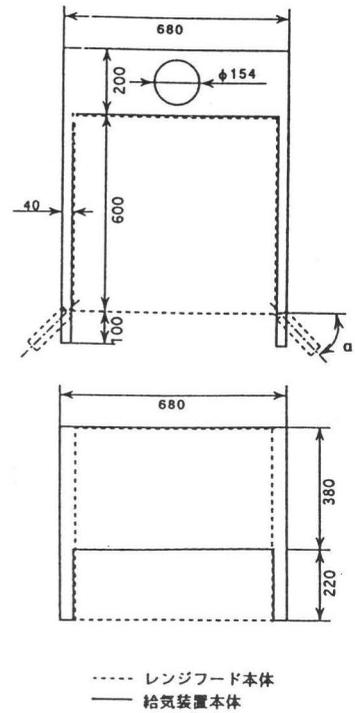


図5 給気装置本体概略

3.3 試験方法の概略

レンジフードの捕集性能の評価に当たっては、発生した煙、汚染された空気に含まれる CO_2 、熱、水蒸気の濃度分布を調べる方法が採用されている。本研究では、これらの中で最も簡単な方法である、発生した煙の濃度分布を可視化観測並びに画像処理法によって調べ、捕集性能を評価した。具体的には、図6に示すように正確に計量した一定量のバルサン発煙剤を電気コンロに乗せた鍋の中で発煙させ、煙の流れをビデオカメラ並びにカメラに収録し、その結果をコンピュータによる画像処理法で解析し、煙の空間濃度分析を求めて評価した。実験は、相当隙間面積が0.6、1.0及び2.0 (cm^2/m^2)の3通りの気密度を有する住宅に関して、レンジフードの排気流量を100、125、150、175、及び200 m^3/h と5通りに変化させて行った。なお流量は、給気管途中に設けたオリフィス板によって測定した。

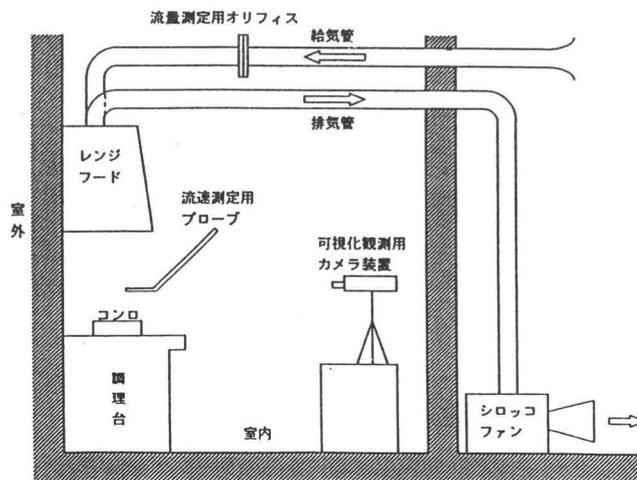


図6 レンジフード性能試験装置概略

4. 試験結果および考察

4.1 給気噴出方向が 0° の場合(垂直方向)

図7は、給気の噴出口を垂直($\alpha = 0^\circ$)とした場合における発生させた煙の捕集状態を示したものである。図中に示す結果は、コンロから発生する煙を可視化画像処理することによって求めたものであり、煙の濃度を5通りに区分して示してある。住宅の気密性能を示す隙間相当面積の3通りに関して、排気風量を125、150、175 および 200 m^3/h と4通りについて示してある。また図8は、隙間相当面積 0.6 cm^2/m^2 において、排気風量 175 m^3/h と一定とし、レンジフードと調理台との空間の速度分布の測定結果を、等速度線図として示したものである。等速度線図から明らかのように、給気噴出口から流出した気流は調理台まで達し、そして両側に分岐する流れを形成している。そのためにレンジフードに向かう流れは弱く、発生した煙を取り込む有効なエアカーテンは形成されていない。したがって、図7の可視化画像処理結果に示すように、いずれの相当隙間面積においても、発生した煙はレンジフードに近づくに従って拡散し、十分に捕集されていない。このことから給気噴出を垂直とした場合には、発生した煙を捕集できる最適な排気風量は存在しないことがわかる。

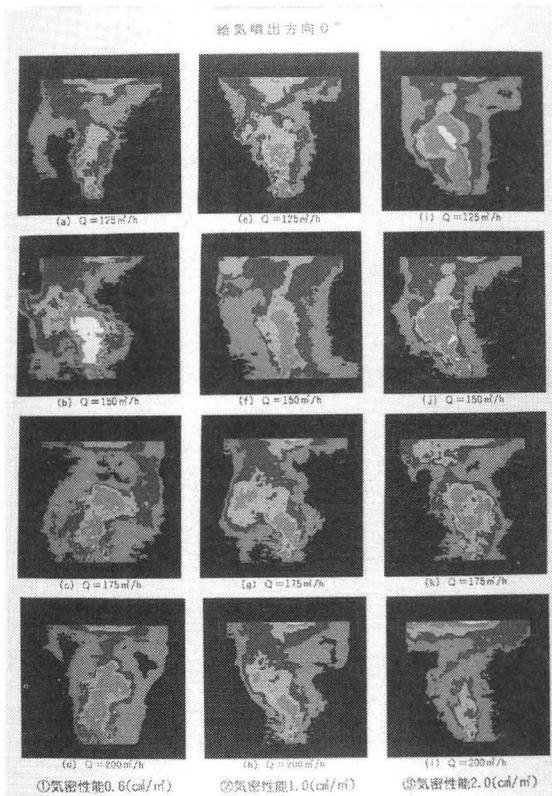


図7 給気噴出方向 0° の場合

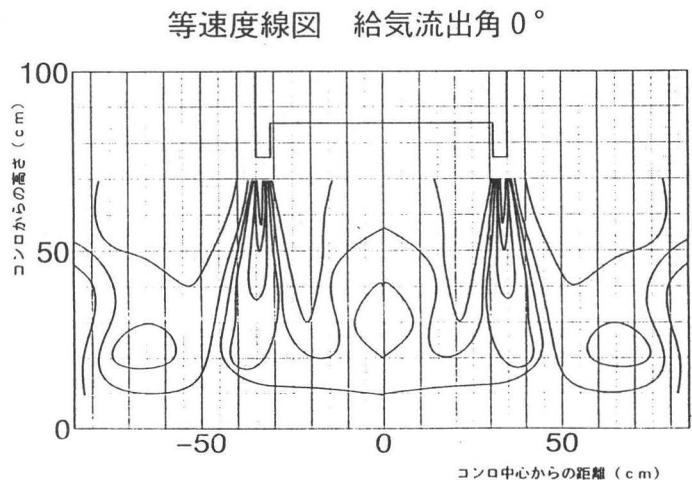


図8 等速度線図(給気噴出方向 0°)

4.2 給気噴出方向が 30° の場合

図9は、給気噴出口を 30° 傾斜させた場合における煙の捕集状態を示したものである。いずれの隙間相当面積においても、給気噴出方向が 0° (垂直)の場合に較べて、煙の拡散割合は小さくなり、捕集性能は向上していることがわかる。しかしながら、給気口から噴出してきた気流は調理台付近で左右に分岐する。その結果レンジフードへ向かう気流の速度は弱く、かつレンジフ

ード入口付近で、給気口から噴出してきた気流に引き寄せられるために拡散し、捕集状態はあまり良くない。また上昇してきた気流は左右に変化し、揺動が発生するために、捕集性能をさらに悪化されていることがわかる。したがって、給気噴出口が0°の場合に較べて、捕集性能はかなり改善はされるが、いずれ隙間相当面積においても最適な排気流量は存在しない。

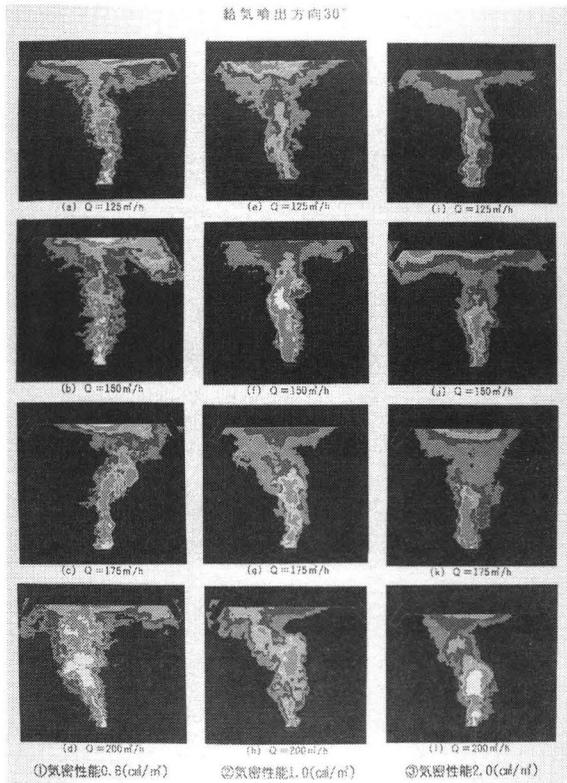


図9 給気噴出方向30°の場合

4.3 給気噴出方向が45°の場合

図10は、給気噴出方向が45°とした場合における可視化画像処理結果を示したものである。図から明らかのように、隙間相当面積が小さくなる、いわゆる住宅の気密度が高くなるに従って、レンジフードの排気性能が良くなることわかる。これは給気噴流によるエアーカーテンの形成が住宅の気密度が低下すると、室内の隙間から流入してくる気流によって阻害されるためであるものと考えられる。特に隙間相当面積が中程である 2.0cm²/m²の場合には、いずれの排気流量においても、発生した煙は左右に揺動して、完全な捕集は行われない。しかしながら、隙間相当面積が 0.6 および 1.0cm²/m²と気密性能が高くなると、排気風量が 175m³/hを超えると発生した煙はあまり拡散することなく、極めて良好に捕集されていることがわかる。以上の結果から、住宅の気密性能が高くなればなるほど、

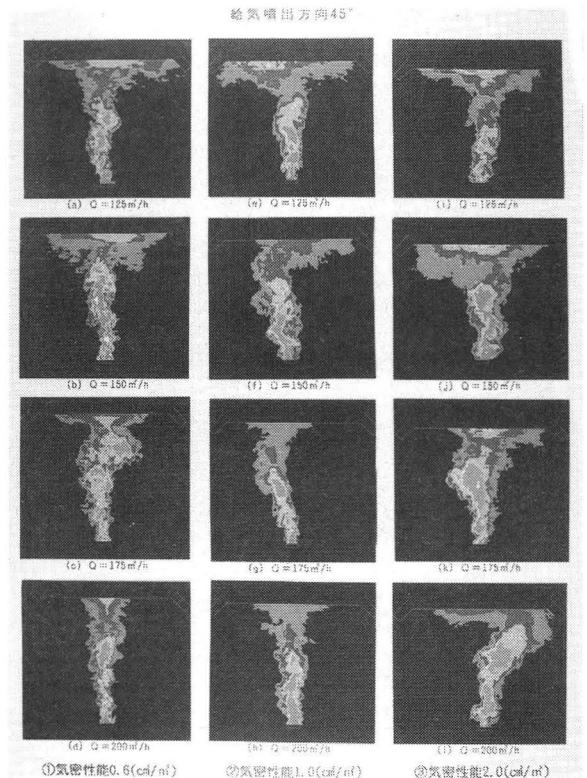


図10 給気噴出方向45°の場合

エアーカーテンの創製が行われ易くなり、良好な捕集が行われることがわかる。

4.4 給気噴出方向が60° の場合

図11は、給気噴出方向が60° とした場合における煙の捕集状態の可視化画像処理結果を示したものである。また図12は、隙間相当面積 $0.6\text{cm}^2/\text{m}^2$ において、排気風量を $175\text{m}^3/\text{h}$ と一定とし、レンジフードと調理台との空間の速度分布の測定結果を、等速度線図として示したものである。いずれの隙間相当面積においても、排気風量が $175\text{m}^3/\text{h}$ を超えると、発生した煙は極めて良好に捕集されることがわかる。これは図12に示す等速度線図から明らかのように、給気口から噴出してきた気流は、レンジフードの排気力によって、調理台に沿って中心方向に進行し、中心付近から再びフード方向に向かう流れとなる。いわゆる理想的なエアーカーテンが創製されることによる。このことから、住宅の気密性能の相違にかかわらず、給気噴出方向60° 付近が極めて理想的であるといえる。

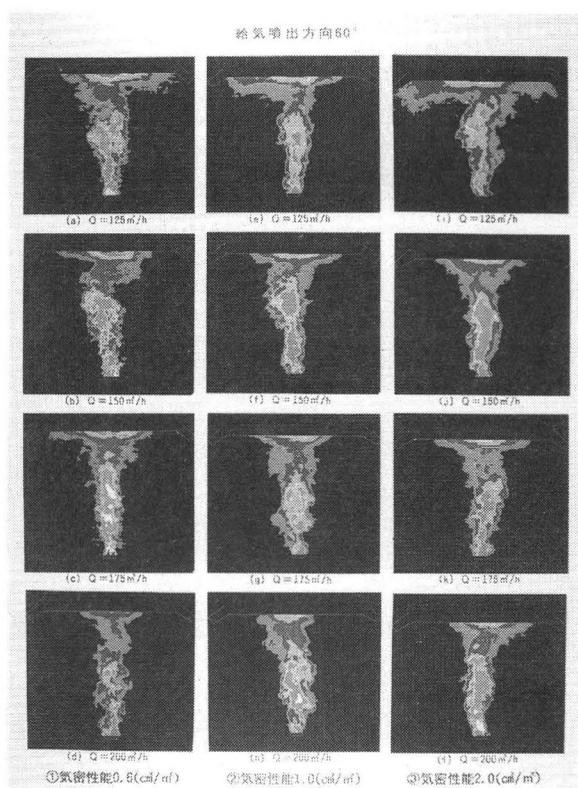


図11 給気噴出方向60° の場合

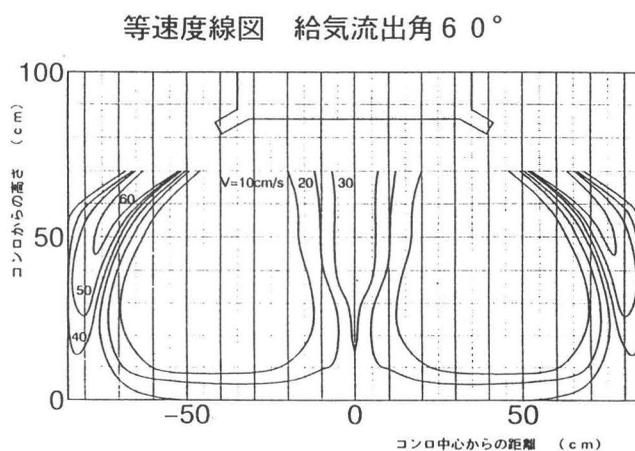


図12 等速度線図 (給気噴出方向60°)

4.5 給気噴出方向が90° の場合

図13は、給気噴出方向が90° とした場合の煙の捕集状態の可視化画像処理結果を示したものである。結果から明らかのように、いずれの隙間相当面積においても、煙の捕集状態は極めて悪く、最適の排気流量は存在しないことがわかる。これは推察されるように、水平方向に噴出する気流は壁等に衝突拡散し、その結果、エアーカーテンは創製されないことによるものと考えられる。

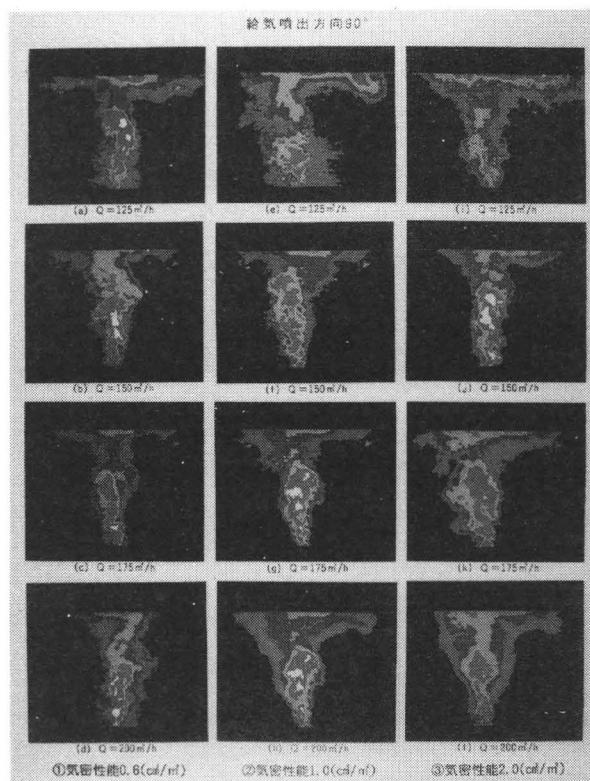


図 1.3 給気噴出方向90° の場合

5. む す び

- (1) 従来の排気型レンジフードにおいて、捕集率 100%を実現するためには300 ~ 500 m^3/h の排気流量が必要とされているが、本試験で開発した給気噴流型レンジフードの場合には、150 ~ 175 m^3/h 程度の排気流量でほぼ捕集でき、従来型の1/2 ~ 1/3 以下のファン容量でよい。
- (2) レンジフードの本体に取り付けた給気の噴出方向は、捕集性能に重要な影響を与え、給気噴出角度が60° 付近が最適であることがわかった。
- (3) 本試験で開発した給気噴流型レンジフードは、住宅の気密性能が高いほど、その捕集性能は良好となり、高气密住宅に極めて適していることが判明した。

参 考 文 献

- (1) 吉野 博：住宅の気密性能と給気計画、日本建築学会環境工学委員会、建築設備小委員会、パネルディスカッション資料集 (87.5)
- (2) 樽崎正也、平岡正充：住宅厨房の排気設計に関する基礎的研究、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集 (86.3)
- (3) 鈴木憲三：レンジフードの排気捕集効率の改良に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (87.10)
- (4) 坂本弘志：高气密住宅用レンジフードの開発とその性能評価、寒地環境工学会同シンポジウム論文集 (93.4)

7. インテリジェント建造物のための 電磁環境シミュレータの開発

岡山大学工学部

電気電子工学科教授

加川 幸 雄

1. 研究の背景と目的

高度情報化社会の発展に伴い、内部にコンピュータ等の情報処理機器を設置するビルが盛んに建築されつつある。このようなビルでは、情報処理・伝送系が高周波のクロックで動作するため、不要な高周波の電磁雑音が周囲に撒き散らされることになる。他の電子機器がこの様な雑音源の近くに配置されていれば、電磁的な干渉（EMI）を受け誤動作の原因となる。また、外部からは雷のような自然現象によるものだけでなく、自動車のイグニッションノイズに代表されるような電磁雑音も多く到来する。これらの電磁雑音は主に窓やドアといった間隙から進入するが、窓やドアから進入する雑音は電磁波が波動であるためその進入の仕方が単純ではなく、波長や入射角度また建材の形状や材質によって透過強度が大きく変化する。したがって、建材の形状や材質だけでなく、波長や入射角度が遮蔽効果に与える影響を予め把握しておくことが必要となり、そのデータを基に建築物の設計を行うことが要求される。さらに近年、電磁波の生体への影響に関する議論が盛んになり、その面からも電磁環境に関する考察は重要な課題となってきている¹⁾。

本研究は、このような建築構造物等における複雑な電磁環境の解析・予測を目的としている。そのためのアプローチとして実験的手法と解析的手法が考えられるが、本研究で開発する電磁環境数値シミュレータは後者に属するもので、電磁環境のための1つのCADツールとしてその有効性が期待される。建築工学の分野においては、MRIなど強磁場を発生する機器を対象とした静磁界の遮蔽予測に数値解析が適用されつつあるが²⁾、電磁波環境に関してはまだ実用化されていないのが現状である。電気工学の分野では電磁界の数値解析が広く行われ解析手法も確立されているが、電磁環境の立場から構造物と電磁界の関係を扱った例は必ずしも多くない。効率よい電磁雑音の遮蔽を行うには、窓枠のサッシやドア枠などの建材に何らかの対策が必要となる。本シミュレータはそれらの設計に有効な手段を提供しようとするものである。建造物は枠組の集合体と考えられるため、本シミュレータで建造物全体の電磁環境予測も期待できる。このような目的を念頭に電磁環境解析のためのシミュレータが開発されたが、現在までのところ、二、三の単

純な構成の構造体による電磁波散乱、透過・放射問題へ適用しただけであり、実験との比較を通してプログラムの妥当性を検証するにとどまった。

2. 3次元電磁界解析

構造物は、電磁環境の視点からみると鉄骨や窓枠などの枠組導体と、ドアや壁などのパネル導体の3次元的な集合体とみなすことができる。これらは計算機上では図1のような線状導体や面状導体の集合としてモデル化される。このようなモデルで表される電磁界問題を解析する手法は様々なものが知られているが、本研究では開領域問題も容易に取り扱えるところから境界積分法であるモーメント法を採用する。モーメント法は、マクスウェル方程式などの微分方程式内の未知関数を適当な関数によって展開し、重み関数との内積を被積分関数とする積分表現を分割した要素表面に適用して連立代数方程式を導く手法である。電磁界解析の場合、モーメント法によって離散化された方程式は、電流を未知数としたものになる。境界積分方程式法であるため、無限領域の組込が容易であり、本研究のような構造物による電磁波の散乱・遮蔽解析に有利である。その手法はほぼ確立されているといえる³⁾。プログラム開発は、導体線のジャンクション接合部、線状導体と面状導体の接合部に関して電流の連続条件に工夫を払った外は、離散化の手順は一般的なものである。以下に、構造物の線状導体モデルと面状導体モデルによる解析結果の概要を示す。

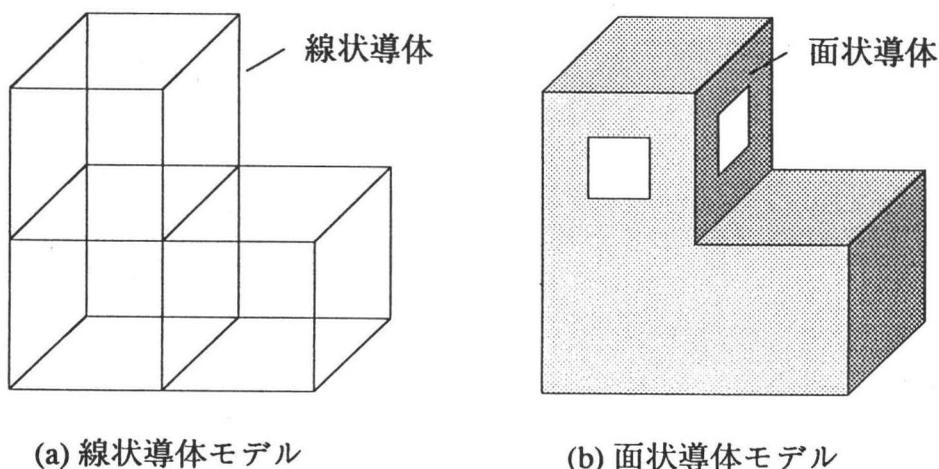


図1 3次元電磁界解析における構造物モデル

2.1 構造物の線状導体モデル^{4), 5)}

まず、構造物を鉄骨などの枠組みの線状導体からなる3次元ワイヤフレーム構造体とみなして電磁波の散乱、透過を解析する。構造体は網目導体によりモデル化(wire-grid modelling)した。導体では表皮効果による表面インピーダンスを考慮している。構造体の3次元形状は既製のプリプロセッサK SWADにより形状生成を行い、要素分割等を入力すれば節点座標など、解析に必要な数値データが解析プログラムに引き渡されるようになっている。

開発されたプログラムは、正しい結果が得られるかどうかを第一に検討されなければならない。そこで検証のために、まずループ導体(アンテナ)の作る電磁界の数値計算を行い、実験結果と比較した。図2(a)で示されるループアンテナの z 方向磁界成分 H_z を $z=0$ [cm]と $z=4$ [cm]の場合について計算した。波源の周波数は、工業用としてよく利用される13.5MHzを採用

した。図(b)は $z = 0$ [cm]、図(c)は $z = 4$ [cm] における H_z の r の方向分布で、実線は計算結果で○印は実験結果である。両者は良く一致し、本解析手法の有効性が示されている。

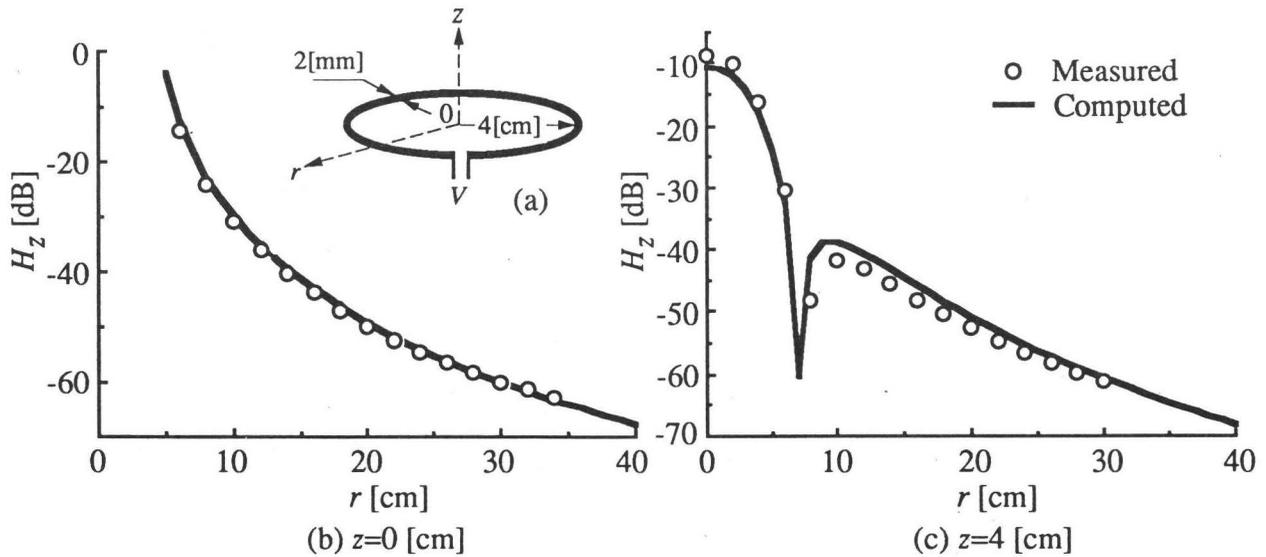


図2 小ループ導体による電磁界 (13.5MHz)

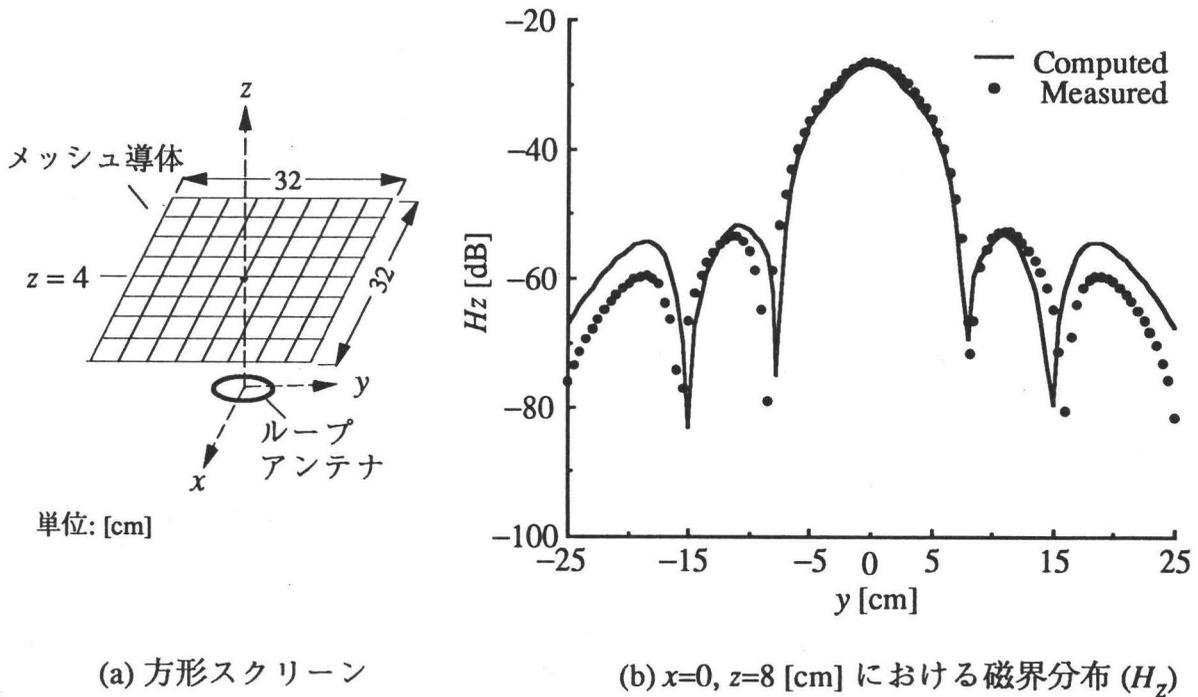


図3 電磁波源上に方形格子スクリーンを配置した場合の磁界分布とシールド効果

次にワイヤフレーム構造体による電磁波遮蔽効果について考察した。図3(a)に示すように、電磁波源として先ほどの小ループアンテナを用い、その中心軸 (z 軸) 上 $z = 4$ [cm] の位置に基板条メッシュからなる方形スクリーンを設置する。スクリーンは 32×32 [cm] の大きさで、直径 1.5 [mm]、電導率 $\sigma = 5.75 \times 10^7$ [S/m] の銅線をメッシュ状に接合したものである。ス

クリーンがあるときとないときの電磁界強度の差を計算し、シールド効果のシミュレーションを行った。構造体（スクリーン）は波長に対してかなり小さいが検証には有効であると考えている。図(b)はループアンテナから放射された電磁波が、シールドスクリーンを通過後の $x=0$ 、 $z=8$ [cm] における電磁界強度 (z 方向磁界成分 H_z) の y 方向分布である。図 2(c) と比べるとスクリーンを設置したことにより磁界成分が減少しており、シールド効果の得られていることがわかる。また、実験結果ともよく対応しており、本シミュレータの妥当性が確認された。図 4 はスクリーンのシールド効果を計算したものである。電磁波がスクリーンを透過した直後から十数 [dB] のシールド効果の得られているのがわかる。電磁遮蔽のために窓ガラスや壁などに網目導体を埋め込むことが行われているが、本プログラムを用いれば任意形状の線状導体の電磁遮蔽効果を周波数特性を含めて考察することが可能となる。

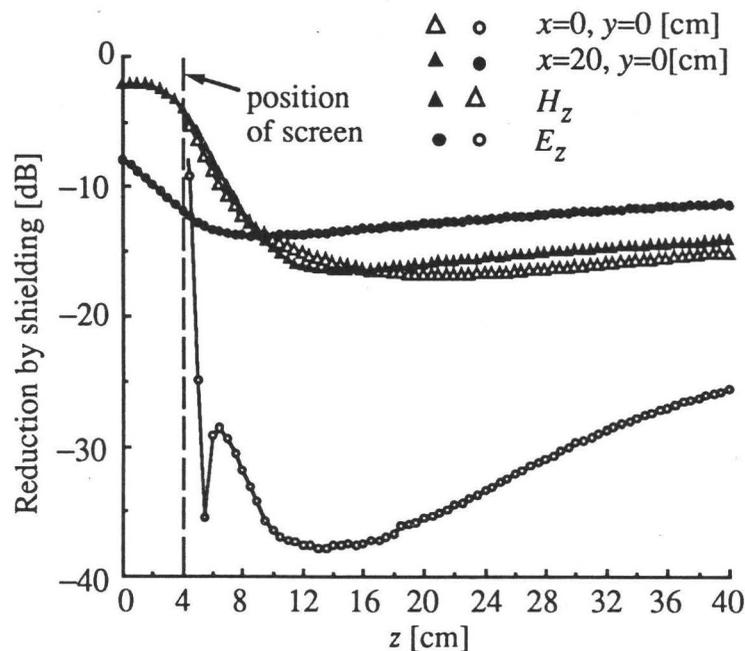


図 4 方形スクリーンのシールド効果

さらに、より複雑な構造物を想定して、鳥籠型の円筒ケージのシールド効果について考察した。図 5(a) に数値シミュレーションのための鳥籠型円筒ケージを示す。ケージの中心に前述のループアンテナを電磁波源として置く。ケージは、上部がワイヤグリッドで閉じられており、下部は開放されている。図(b)は電磁界強度 (z 方向磁界成分 H_z) の r の方向分布で、 $z=-12$ [cm] から $z=14$ [cm] の間について計算を行っている。ケージの中では電磁波強度が増大している部分もあるが、ケージの外では急激に減少し、約 10 [dB] のシールド効果が得られている。以上の結果は波源 13.5 [MHz] (波長 $\lambda=22$ [m]) に対してのものであるが、導体インピーダンスが周波数に依存する効果を除いては、波長の長さで計った構造体の大きさが同一であれば、その結果はそのまま成立する。したがって、大きな構造体についても内外に電磁雑音源がある場合の電磁環境に与える効果について本プログラムで容易に予測可能である。

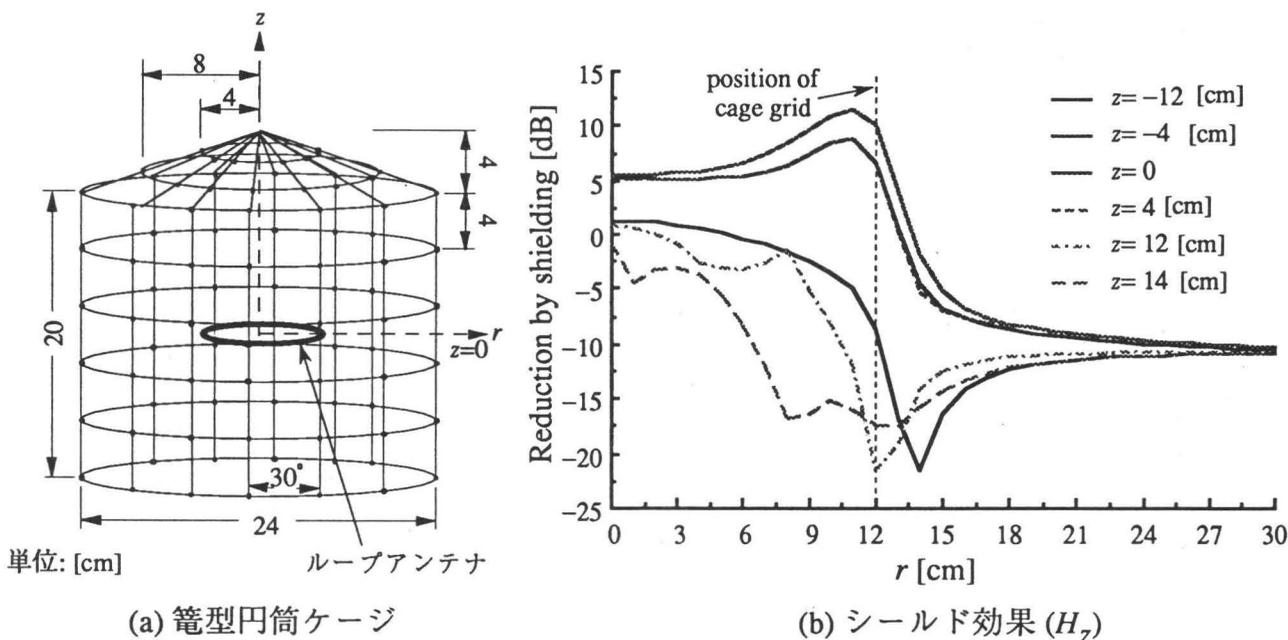


図5 籠型円筒ケージで電磁波源を囲った場合

2.2 線状導体による散乱電磁界と配置の最適化⁶⁾

つぎに、連子窓枠のようにルーバーが平行に並んだ線状導体に電磁波が入射したときの散乱・透過について考察する。簡単のために、図6のように4本の完全導体がz軸に並行に置かれた無限長導体を考える。導体はy軸上にx軸に対して対称に配置されており、導体の半径はすべて等しく a_1 とする。z方向偏倚平面波がx軸に平行に入射したとすると、導体の軸方向に電流が誘起される。この電流により形成される散乱電界もz軸方向に偏倚している。x軸上のある点Pを観測点とし、この点で電界が最小となるような導体の間隔を求めようというのがここでの問題である。これは一種の最適化問題であるが、勿論、種々の導体間隔について電界を計算し、順解析の繰り返しによって最小電界を与える条件を見つけることもできる。最適化の手法には様々なものが知られているが、ここでは、数式処理言語Mathematicaを用いて最適化を試みた。すなわち、Mathematicaの組み込み関数FindMinimumにより初期値の近傍で関数の極小値を見つけることができることを利用するわけである。

まず、最適化のために順問題として導体の間隔を変化させたときの電界の大きさを求め、初期値を決める。ただし、入射波の波長を λ 、観測点の位置を $x/\lambda = 10$ 、電界の振幅を $E_0 = 1$ 、導体半径を $a_1/\lambda = 0.01$ とする。最適化のパラメータである導体の間隔がすべて等しい($s_1 = s$ 、 $s_2 = 2s$)1変数の場合を考える。図7に導体の間隔を変えたときの観測点Pにおける電界の大きさの変化を示す。導体による散乱波の干渉のため極大、極小が現れている。この結果、最小電界が $s/\lambda = 2$ 近傍にあるところから、それをもとに最適化を行ったところ、P点で最小電界を与える条件とP点での電界はつぎのようになった。

$$s/\lambda = 2.0264$$

$$|E_z^*| = 0.001357$$

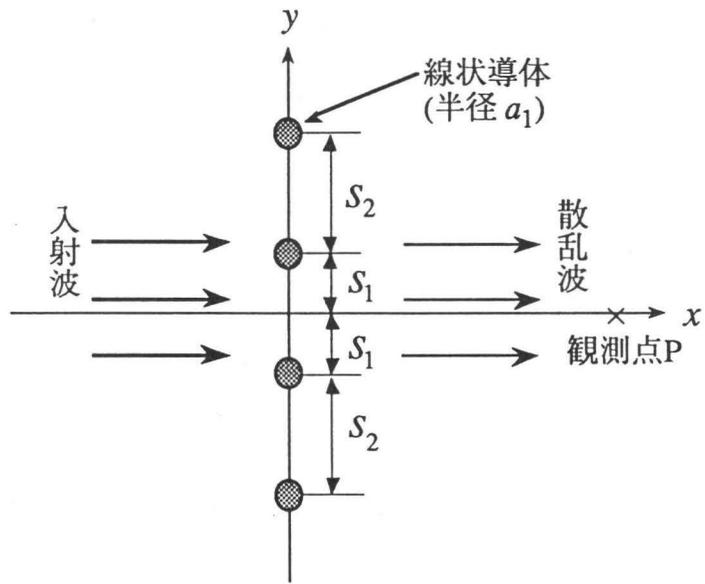


図6 線状連子

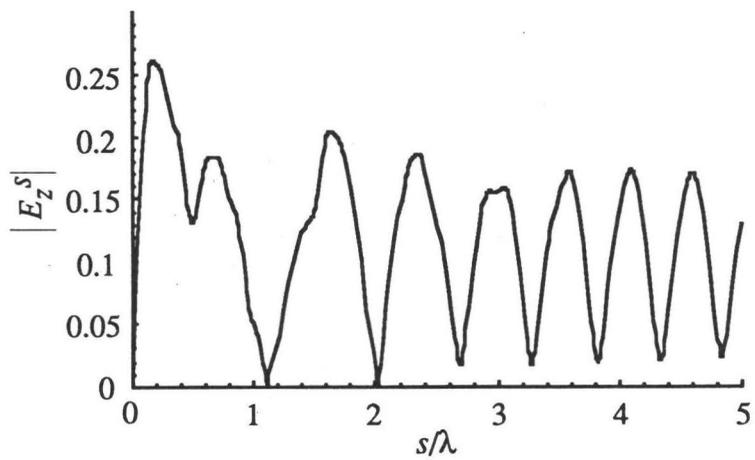


図7 導体間隔を変化させたときの観測点での電界変化（1変数）

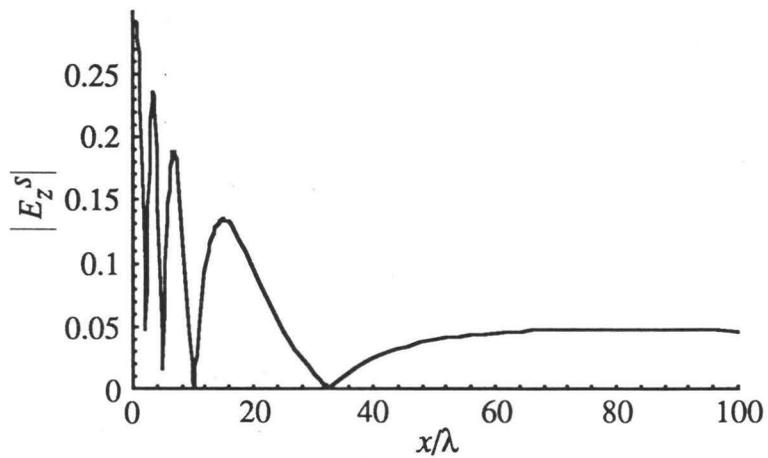


図8 観測点電界が最小となるときのx軸上電界分布（1変数）

このときの x 軸上の電界分布を図8に、空間分布を図9に示す。このように、パラメータを適切に選べばある周波数に対して局部的ではあるが、最大のシールド効果が得られることになる。

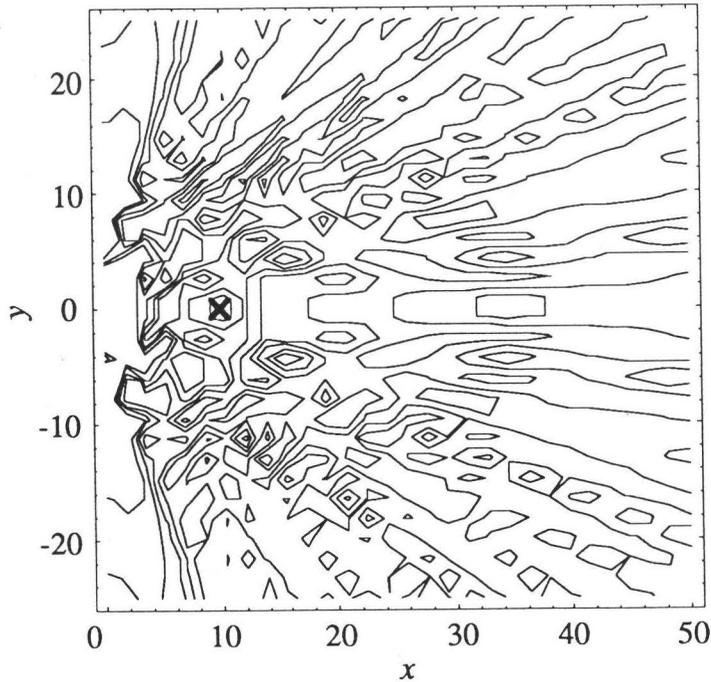


図9 観測点電界が最小となったときの空間電界分布（1変数）

つぎに、導体の間隔 s_1 、 s_2 をそれぞれ独立に変化させた場合について検討した。図10に導体の間隔 s_1 、 s_2 に対する観測点Pにおける電界の大きさの変化を示す。導体の間隔により複雑に電界の大きさが変化することが分かる。最適化の結果、P点で最小電界を与える条件とP点での電界はつぎの通りである。

$$s_1 / \lambda = 3.3875$$

$$s_2 / \lambda = 3.3598$$

$$|E_z^s| = 3.493 \times 10^{-12}$$

このときの空間電界分布を図11に示す。

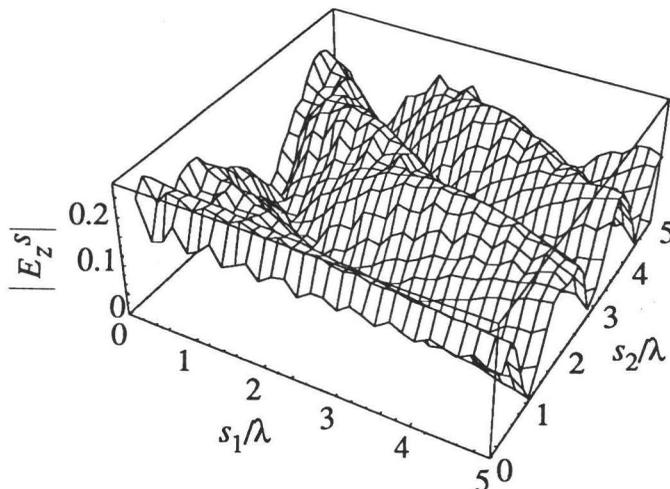


図10 導体間隔を変化させたときの電界変化（2変数）

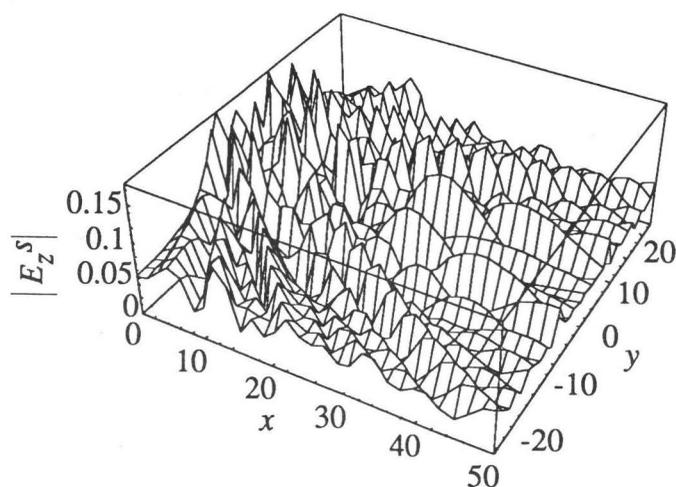


図11 観測点が最小となる時の最適化された電界分布（2変数）

以上のように本手法を用いれば、与えられた構造体による入射波の散乱・透過・遮蔽などの電磁環境予測だけでなく、構造設計の際に必要な最適化パラメータの選択も可能となろう。

2.3 構造物の面状導体モデル^{7), 8)}

構造物はまた、多くの面から構成されている。そこで次に、構造体による電磁波の散乱を取り扱うことのできる数値解析プログラムを開発した。ここでは、3次元導電構造体を面状導体によりモデル化 (surface-patch modelling) している。線状導体モデルと同様にモーメント法を採用しているが、面状導体は三角パッチ (要素) の接合で表現される。図12は導体面からなる直方体状構造物でその一部に電磁波放射面がとりつけられており、構造物による回折・散乱・放射を考察しようとするものである。この構造の小型のものは、実は逆Fアンテナとして知られているもので、これをここでは、プログラムの有効性検証のためのモデルとして採用した。図13は本シミュレータで解析した結果の一例でy-z面上の電界放射パターンである。要素数がある程度以上になれば解は収束している。電界 E_x 成分については、実験結果と解析結果はほぼ一致しているが、 E_y 成分は実験結果が非常に大きくなっている。これについては現在検討中である。このモデルにも一部導線部が組み込まれているが、本プログラムをさきのwire-gridと組み合わせることによって枠と面から構成された構造体 (窓枠を持つ鉄骨、鉄筋建造物など) における電磁波の散乱、透過など電磁環境問題に対応可能なシミュレータが完成するものと期待している。

3. あとがき

本研究で採用したモーメント法では、精度良い解を得るためには、波長当たり数個の要素を割り付ける必要がある。したがって、電磁波の波長が短くなれば小さい要素が必要となり、対象が大きい場合、それに伴って要素数 (自由度数、未知数) が多くなる。近年のコンピュータの性能向上はめざましいが、それでも巨大な次数の代数方程式を扱うことは実際的でない。このようなことから、建築的構造体全体を扱う必要のある場合対応可能な周波数上限は、現在のところ 100 MHz (波長 3 m) 程度までであろう。

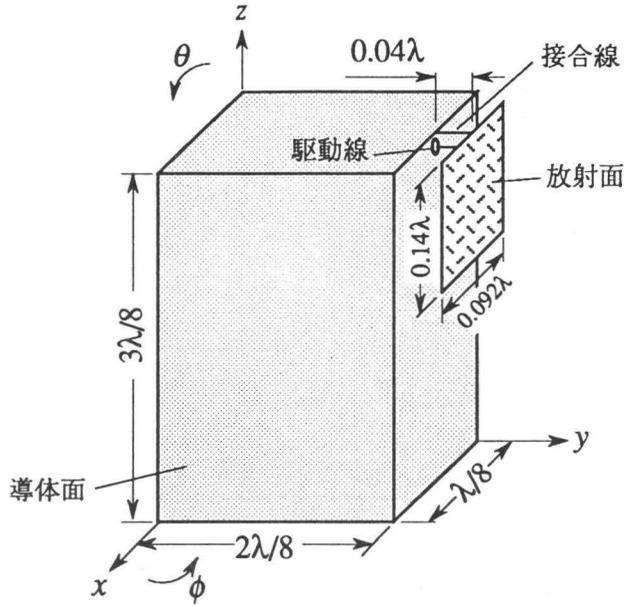


図12 導体構造体による回折・散乱

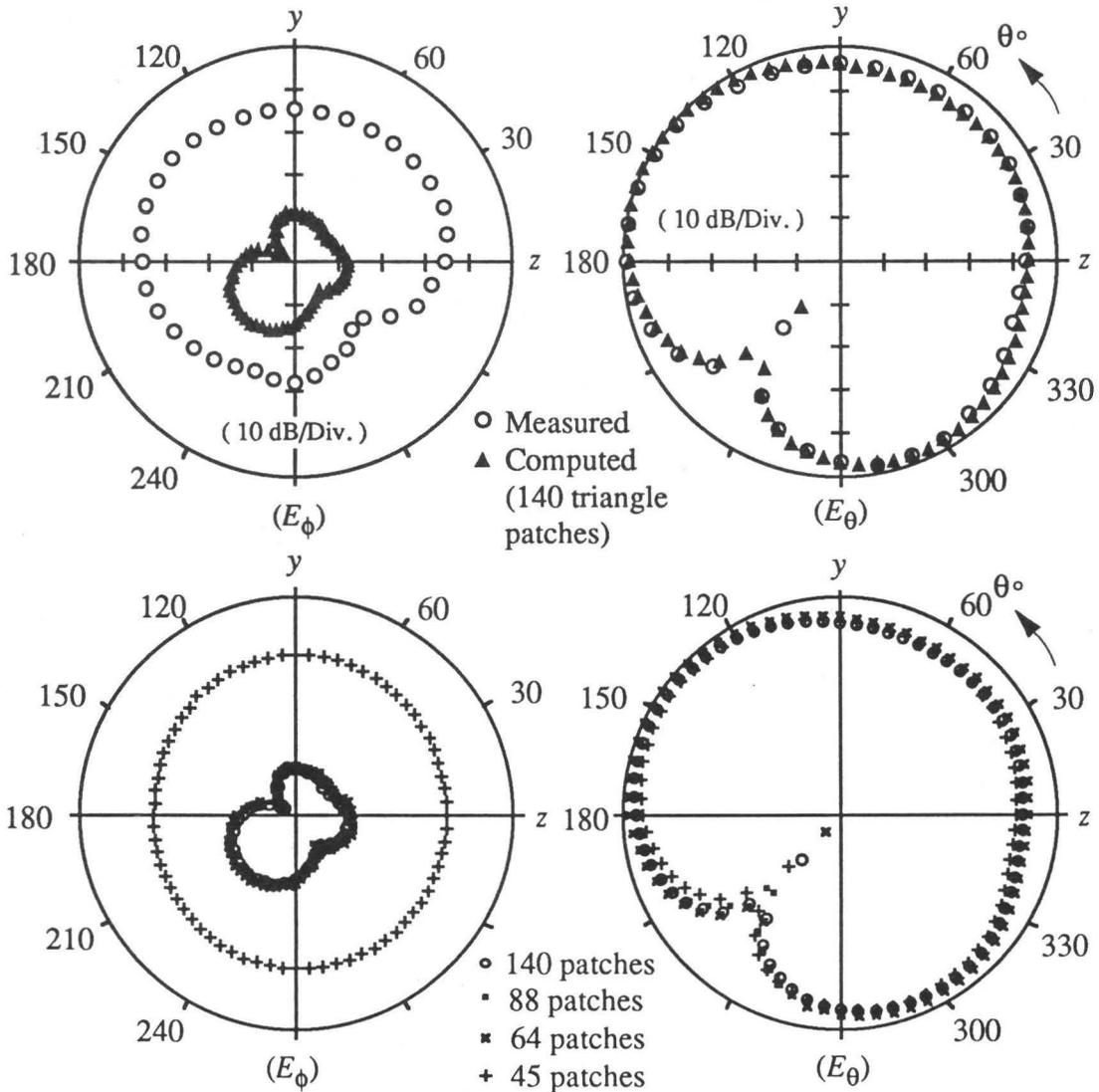


図13 y - z 平面における電界放射パターン

先日（日本経済新聞 平成7年10月18日）の報道によると、清水建設(株)がGHzの電磁環境に対応できる技術を開発したとのことである。このような波長が数センチメートルの領域では、例えば光線追跡法のような考え方の全く異なるアプローチが要求されると考えられる。

参考文献

- 1) J.C.Lin ed., "Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems Vol.1", Plenum Press (1994).
- 2) 新納敏文、加川幸雄、本間俊雄、加藤泰正、清川博 "磁気シールド設計のための磁場解析手法の検討"、日本応用磁気学会誌Vol.18, pp.934-939 (1994).
- 3) 例えば J.L. Volakis, L.C.Kempel "Electromagnetics: Computational Methods and Considerations", IEEE Computational Science and Engineering, pp.42-57, Spring (1995).
- 4) M. Analoui, Z.Mahmood, Y.Kagawa, Y.Kagami and F.Nishimura "Electromagnetic Shielding Effects of Some Wired Structures",日本シミュレーション学会第13回計算電気・電子工学シンポジウム講演予稿集、11-1, pp.197-202 (1992).
- 5) M. Analoui, Y.kagawa, Y.Kagami and F.Nishimura "Electromagnetic Shielding of HF Lamps Using Wire Structures: Simulation and Measurement", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatiblity, Vol.37, No.3 pp.443-448 (1995).
- 6) 山口浩央、加川幸雄、孫 永浩、帆足孝文 "線状アレーによる電磁波散乱問題の数式処理解析 (Mathematica)"、日本シミュレーション学会 第14回シミュレーションテクノロジーコンファレンス講演論文集、Sess. 1-2, pp.31-34 (1995).
- 7) M. Analoui and Y.Kagawa "On the surface-Patch and Wire-Grid Modeling for Planar Antenna Mounted on Metal Housing", IEICE Trans. on commun., Vol.E76-B, No.11, pp.1450-1455 (1993).
- 8) 一井義孝、平田勝弘、金 泰用、加川幸雄 "モーメント法によるプリントアンテナの放射電磁界解析に関する一考察"、日本シミュレーション学会 第14回シミュレーションテクノロジーコンファレンス講演論文集、Sess. 1-4, pp.39-44 (1995).

8. 景観材料ガイドライン策定に関する研究

工学院大学工学部建築学科教授

渡 辺 定 夫

1. 研究の背景と目的

美しい景観を形成していくうえで景観材料を適材適所に使用するかどうかは鍵を握っている。わが国の各地域の風土、地勢、環境等の自然条件に適合した景観材料によって、その地域の景観を形成していくことが不可欠である。

しかし、景観材料を供給するメーカー側においても、材料に対するニーズの把握が十分でなく、技術開発も不十分である等、これまでのところ材料にスポットを当てた検討は十分に行われてこなかった。

又、景観設計を行うユーザ側では、材料メーカーの情報が十分提供されていないのが現状であり、すなわち、景観材料を取り巻く環境を整備することにより、お互いにそのベースレベルを向上することが、景観材料供給の前提条件となっている。

この為、景観材料推進協議会において平成2年度より実施してきている、景観材料の評価基準の調査研究をベースに、景観材料のガイドラインを策定して、広く優良な景観材料の普及、促進を図ることを目的とする。

2. 研究の方法

景観材料のガイドライン策定の為に、景観材料推進協議会に「景観材料ガイドライン策定委員会」を設置し、これを本委員会とし、その下部組織に景観材料を分野別にとらえた4つの専門分野——公園・広場用材料、道路用材料、一般建築用材料、住宅用材——を設け、各々を分科会とした。

又、ガイドライン編纂の為に編集委員会を本委員会のメンバーから選定し、ガイドライン編纂の作業をした。

一口に、景観材料といっても幅広く新しい分野でもあり、また、感性を要求される分野でもあ

ることから、本委員会のメンバー構成については、学識経験者においては、それぞれの専門分野から、又、ユーザー側においては設計事務所等、幅広く選定した。

それぞれの委員会は、ほぼ月1回のペースで開催をした。

委員会のもとに、平成6年10月のガイドライン完成に向けて精力的な委員会活動を行って来た。

3. 研究の計画と進捗状況

まず、このガイドラインの対象先は地方自治体向けを考えることにした。

第1弾を地方自治体の企画設計部門向け、第2弾を地方自治体の設計（含む施工部門）向け、及び設計事務所向けを予定した。

ガイドライン策定迄の期間は、それぞれ最低1年を目途としたが、先にも述べた様に景観材料は幅広い環境分野に使用され、新しい分野でもあり、又、感性を要求される分野でもあり、それに景観材料にユーザー側が求めている性能基準等をまとめることに、最大で2年の計画とした。

よって、平成5年度は、平成4年度の貴財団の助成のもとに、平成5年度の助成とで、地方自治体の企画設計部門向けの景観材料のガイドラインの総論的な内容を計画し、作業をすすめた。

平成6年度は、具体的に「景観材料ガイド策定委員会」のもとに作業をすすめ、「景観材料ガイド」として平成6年10月に完成した。

そして、更に、貴財団をお願いをして、第2弾の地方自治体の設計部門向け、及び設計事務所向けの景観材料ガイドについて平成8年度を完成目標に考えている。

4. 今までに得られた成果

別添本書「景観材料ガイド」として、平成6年10月に完成した。

又、ガイドブック製作の印刷製本の費用としての15,000千円を参加会員より、協賛頂いた。

（発行部数 7,000部）本書は景観材料の総論的なもので、事例を多く取り上げ、ビジュアルな構成とし、又、メーカー会員の景観材料ガイド、及び事業ガイドを紹介し、地方自治体の企画設計部門の方々に理解してもらえ内容になったと考えている。

因に本書の配付先を記すと（平成7年3月末日現在）

[配付先]	[部数]
・全国地方自治体	3,600部
都道府県市	1,025部
町	1,990部
村	580部
・中央官庁、公団、公社、学校関係	380部
・設計、ゼネコン、一般ユーザー	1,100部
・各講習会等資料	220部
・会員関係	800部
	6,100部

5. これから期待される成果

街づくりを推進していく行政側の理解が、この本書により、少しでも得られれば幸であると同時に、行政サイドと会員とのコミュニケーションが図られ、お互いの情報が密になり、景観材料の認識が深まることを期待する。

6. 残る問題点と対策

その地域の景観を形成していく上で景観材料が適材適所に使われることが不可欠な為、パートⅡで計画している地方自治体の設計部門、及び設計事務所向けの景観材料ガイドが早急に必要になっている状況にある。

お陰様で貴財団の平成6年度の助成が決まり、更に施主並びに景観設計を行うユーザーのニーズに合った「景観材料ガイドパートⅡ」作成に向け、鋭意すすめている。

7. 研究発表

ガイドライン作成を機に、景観材料推進協議会の平成6年度事業として、当協議会の会員、及び非会員に対し、研究発表会を開催した。

開催日 : 平成6年10月14日(金)

場所 : 日本橋教育会館

参加者 : 150名

今後、これが会員メーカー側の今後の景観材料開発の指針になることを期待する。

8. 実用化計画

景観材料をめぐる諸問題には、既製品における景観に対する配慮の不足、特注品における経済性の悪さ、都市景観整備事業における材料メーカーの直接的関与の少なさ等、材料メーカーのみでは解決困難なものが多く存在し、又、地方自治体、設計者、材料メーカー等の関係者間の情報ニーズ等の相互交換が十分行われていないことから生じる、弊害が多い状況である。

景観は、街づくりに関わる地方自治体並びにその多くの関係者によって作られるものである。

このような状況をふまえ、本調査研究によって景観材料のガイドブックを完成し、地方自治体の企画設計部門に配布することにより、景観並びに景観材料への理解認識が深められ、美しい街づくりに積極的に貢献できるものと確信し、又、ユーザーにおける景観設計、施工が促進され、強いてはメーカーのベースレベルの向上と需要の拡大に寄与するものと、今後大いに期待している。

又、さらに前述の通り、第2弾として、「景観材料ガイドパートⅡ」を平成7年度、平成8年度の2年間でつくり上げる予定である。

目的、内容は、景観材料ガイドが主に景観材料の基本的な考え方を総論的にとらえ、又、各会員会社の景観材料の事業概要を提示したものである。

これに対し、景観材料ガイドパートⅡは地方自治体の設計部門、設計事務所、ユーザーの方々が景観材料を選定する際に各分野別（建築、土木、環境エクステリア、照明）により専門的に役立つ「景観材料設定ガイド」とする事を目指す。

設計、ユーザーの方々にとってパートⅠ、パートⅡ共実用的でお役に立てるガイドブックを作成し、景観設計による美しい街づくりに少しでも貢献できれば幸である。

9. 酸性雨及び海塩粒子に対する アルミニウム建材の耐久性評価試験

軽金属製品協会取手分室長

菊池 哲

(共同研究者)

軽金属製品協会取手分室技術顧問

三田 邦夫

軽金属製品協会取手分室室長代理

佐藤 信幸

軽金属製品協会取手分室試験研究課長

小山 田誠

軽金属製品協会取手分室試験分析担当

奥地 葉子

1. 緒 言

近年、酸性雨は地球規模で拡大しており、日本でも酸性雨について、様々な研究報告がなされるようになってきた。その高まりは、酸性雨に関する専門家はもとより、科学系の雑誌を講読している全国の小学生や、生活協同組合に加入している一般主婦が、全国規模で酸性雨のデータ収集に参加するようになってきている。

酸性雨は、人間を含めた動植物系のみならず、建築物に対する影響においても問題となっている。酸性雨の建材に及ぼす影響についての研究は、石材や塗装鋼板についてはかなり広く実施されているものの、サッシやカーテンウォールに広く使用されているアルミニウム建材の表面処理、特に陽極酸化皮膜、陽極酸化塗装複合皮膜及び塗装皮膜に対する研究は殆ど実施されていない。

また、海岸線の長い日本において、アルミニウム建材に及ぼす酸性雨の影響は、単に酸性雨中の酸性成分の影響のみならず、海塩粒子の影響も含めて考える必要がある。

しかし、アルミニウム建材等に対する現在のJIS規格等における耐食性試験は、中性の塩水溶液の噴霧試験である塩水噴霧試験あるいは銅塩を含む酢酸酸性の塩水溶液を噴霧するキャス試験が主体となっている。

本研究では、アルミニウムに種々の表面処理を施した試験片に対し、酸性雨+海塩粒子の要因を考慮した耐食性試験を実施し、アルミニウム建材の酸性雨に対する耐食性を明らかにすることを目的とした。

その試験方法において、特に、従来の噴霧試験機を用い酸性雨構成酸種+海塩粒子の要因を考慮した連続噴霧による耐食性試験は、当試験研究センターが事務局を務める表面処理技術研究委員会が担当した。また、当試験研究センターでは、従来の耐食性試験機による試験より、より実際の暴露結果に近似する試験結果が得られると言われ、既に自動車規格に取り入れられている複合サイクル試験、あるいは人工酸性雨サイクル試験としてISO/TC156/WG7N104(rev)で規定されて

いる試験を実施するため、それらの試験条件に合致するよう試験研究センター所持の耐食性試験機を改造した。この改造した耐食性試験機を使用し、種々の表面処理仕様のアルミニウム建材に対し耐食性試験を実施することにより、酸性雨+海塩粒子の複合的影響について検討した。

本報告は、試験研究センターが担当した試験の中で、複合サイクル試験及び酸性雨噴霧試験結果を主体とするが、比較検討のため表面処理技術研究委員会が主担当で実施した試験結果についても言及する。

2. 実験方法

2.1 試験装置

表面処理技術研究委員会が担当した塩水噴霧試験条件あるいはキャス試験条件を基本とする酸性雨構成酸種+海塩粒子の試験に用いた試験装置は、従来使用されている試験機であり、JIS Z 2371（塩水噴霧試験方法）あるいはJIS H 8681（アルミニウム及びアルミニウム合金の陽極酸化皮膜の耐食性試験方法）に規定されている試験装置に従った。

また、試験研究センターが担当した酸性雨+海塩粒子の試験（複合サイクル試験及び酸性雨連続噴霧試験）に用いた試験機は、JASO M 610-92 及びISO/TC156/WG7N104(rev)に規定の複合サイクル試験条件（表1）に合致するよう、従来の耐食性試験機を改造した。

表1 JASO M 610-92 及びISO/TC156/WG7N104(rev)の装置条件

項目	条件	
	JASO M 610-92	ISO/TC156/WG7N104(rev)
噴霧 (1) 温度	35±1°C	35±1°C
乾燥 (1) 温度 (2) 相対湿度	60±1°C 20~30%RH	60±1°C < 30%RH
湿潤 (1) 温度 (2) 相対湿度	50±1°C 95%RH以上	50±1°C > 95%RH
1サイクルの時間及び内容	8 h 塩水噴霧 2 h 乾燥 4 h 湿潤 2 h (それぞれ移行時間を含む)	8 h 塩水噴霧 2 h 乾燥 4 h 湿潤 2 h (それぞれ移行時間を含む)
移行時間 (各条件に移行後、その条件の規定の温度及び相対湿度に達するまでの時間)	噴霧から乾燥 30min以内 乾燥から湿潤 15min以内 湿潤から噴霧 30min以内 (噴霧は原則として瞬時)	噴霧から乾燥 30min未満 乾燥から湿潤 15min未満 湿潤から噴霧 30min未満 (噴霧は原則として瞬時)
試験片保持角度	原則として試験片の評価対象面が垂直に対し15~20°となるように保持する。	垂直に対し20°
試験サイクル	125サイクル(1000時間)	125サイクル(1000時間)

改造により噴霧・乾燥・湿潤をある温度範囲で、任意の時間サイクルに設定でき、また試験条件の組み合わせも任意に出来るようになった。

2.2 供試材

実験に使用したアルミニウム表面処理材は、表2に示すごとく、A1100P-H14材に種々の下地処理及び塗装処理したものと陽極酸化処理品である。

試験片の大きさは、70×150×t2mmとし、図1に示す直線及びクロスの2種のカットを入れた。また、試験片の端部は耐酸性テープでシールした。

表2 表面処理仕様

No.	仕様名	仕様内容
1	陽極酸化皮膜	硫酸皮膜11 μ m (ニッケル塩封孔)
2	陽極酸化皮膜	硫酸皮膜18 μ m (ニッケル塩封孔)
3	艶消し電着塗装 (A)	硫酸皮膜9 μ m+アクリル樹脂艶消し電着塗装7 μ m仕様
4	艶消し電着塗装 (B)	//
5	艶消し電着塗装 (C)	//
6	艶消し電着塗装 (D)	//
7	艶消し電着塗装 (E)	//
8	艶消し電着塗装 (F)	//
9	艶消し電着塗装 (G)	//
10	艶消し浸漬塗装	硫酸皮膜9 μ m+アクリル樹脂艶消し浸漬塗装7 μ m仕様
11	ホワイト電着塗装	硫酸皮膜6 μ m+アクリル樹脂系ホワイト艶有り電着塗装15 μ m仕様
12	艶有り電着塗装	硫酸皮膜8 μ m+アクリル樹脂系艶有り電着塗装12 μ m
13	艶有り電着塗装	硫酸皮膜11 μ m+アクリル樹脂系艶有り電着塗装12 μ m
14	艶有り電着塗装	硫酸皮膜13 μ m+アクリル樹脂系艶有り電着塗装14 μ m
15	ふっ素塗装	クロム酸クロメート+ふっ素樹脂系静電塗装
16	ふっ素塗装	ノンクロメート+ふっ素樹脂系静電塗装
17	ふっ素塗装	トルエン拭き+ふっ素樹脂系静電塗装
18	ふっ素塗装	硫酸皮膜3 μ m仕様+ふっ素樹脂系静電塗装
19	アクリル塗装	クロム酸クロメート+アクリル樹脂系静電塗装
20	アクリル塗装	ノンクロメート+アクリル樹脂系静電塗装
21	アクリル塗装	トルエン拭き+アクリル樹脂系静電塗装
22	アクリル塗装	硫酸皮膜6 μ m仕様+アクリル樹脂系静電塗装
23	ポリエステル粉体塗装	クロム酸クロメート+ポリエステル粉体塗装
24	ポリエステル粉体塗装	ノンクロメート+ポリエステル粉体塗装
25	ポリエステル粉体塗装	トルエン拭き+ポリエステル粉体塗装

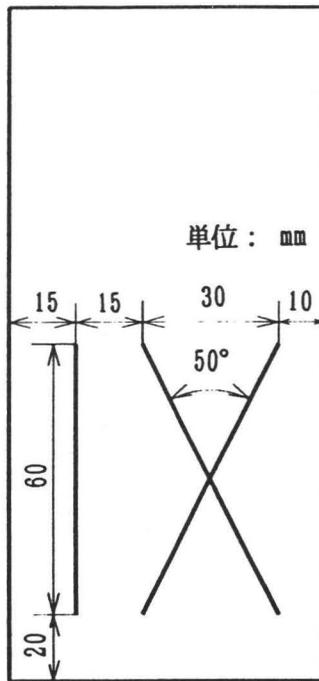


図1 試験片カット傷形状

2.3 試験方法

試験方法は大きく分け、複合サイクル試験と、連続噴霧試験である。複合サイクル試験における装置条件は表1に示した通りであり、試験に用いた噴霧液は、複合サイクル試験では5%食塩水及びISO/TC156/WG7N104(rev)で規定されている人工酸性雨とした(表3)。

また酸性雨連続噴霧試験条件を表4に示す。

試験時間は、複合サイクル試験では125サイクル(1000時間)、連続噴霧試験では1000時間とした。

参考まで表面処理技術研究委員会が主体で実験した試験の試験条件及び噴霧条件を表5、表6に示す。

表3 JASO M 610-92 及びISO/TC156/WG7N104(rev)の噴霧液条件

項目	条件	
	JASO M 610-92	ISO/TC156/WG7N104(rev)
噴霧液		
(1) 塩水の濃度	5±0.5%	5±1%
(2) その他の成分	なし	10 lの溶媒に、12mlの硝酸、17.3 mlの硫酸と10%水酸化ナトリウム溶液317gを加えpHを3.5±0.1に調整する

表4 酸性雨連続噴霧試験条件

噴霧液 (1) 塩水の濃度 (2) その他の成分 (3) pH	5±1% 10 lの溶媒に、12mlの硝酸、17.3 mlの硫酸と10%水酸化ナトリウム溶液317gを加えpHを3.5±0.1に調整する 6.5~7.2 (35°C)
圧縮空気圧力	98±1 kPa
噴霧量	1.0~2.0 ml/80cm ² /h
試験槽温度	35±1°C
試験片保持角度	鉛直線に対し20°
試験時間	1000h

表5 試験条件（噴霧液酸種及びpHを除く）

項目	塩水噴霧試験	キャス試験
塩化ナトリウム濃度 (W/V%)	5.0±0.5	5.0±0.5
塩化第二銅濃度 (g/l)	—	0.26
圧縮空気圧力 (kPa)	98±10	98±1
噴霧量 (ml/80cm ² /h)	1.0~2.0	1.0~2.0
試験槽温度 (°C)	35±2	50±2
試験時間 (h)	1000	360

表6 噴霧液酸種及びpH

基本的試験条件	酸種	pH
塩水噴霧試験	酢酸	3.0、2.5
	硝酸	3.0
	硫酸	3.0
	—	無調整(6~7)
キャス試験	酢酸	4.0、3.0、2.5
	硝酸	3.0
	硫酸	3.0
	—	無調整(6~7)

2.4 評価方法

評価方法は、カット部においてはカットからのふくれあるいは腐食の長さ、試験片上半分のカットの入っていない部分では、単にふくれあるいは腐食の大きさとした。試験中の試験片の観察は、複合サイクル試験では25サイクル(200時間)ごと、連続噴霧試験では表面処理技術研究委員会での試験結果と対比できるように250時間ごととした。

3. 実験結果と考察

3.1 腐食形態

ふくれの形態は、表面処理技術研究委員会での酸性雨構成酸種あるいは酢酸+海塩粒子の試験によって、円形状、糸状、みみずばれ状、素地溶解状の4つの形態に分類できることが判明した。

しかし塩水による複合サイクル試験、酸性雨による連続噴霧及び複合サイクル試験では、素地溶解状と確認出来る腐食形態は発生しなかった。

また糸状腐食に関しては、表面処理技術研究委員会が規定した様な、直線状に伸びるものは殆どなく、糸状腐食の先端がランダムに進んだ結果、みみずばれ状腐食のようになったものが多かった。本報告では、このように形成されたみみずばれ状腐食に似た腐食形態も、その形成過程を考慮し、糸状腐食として取り扱った。

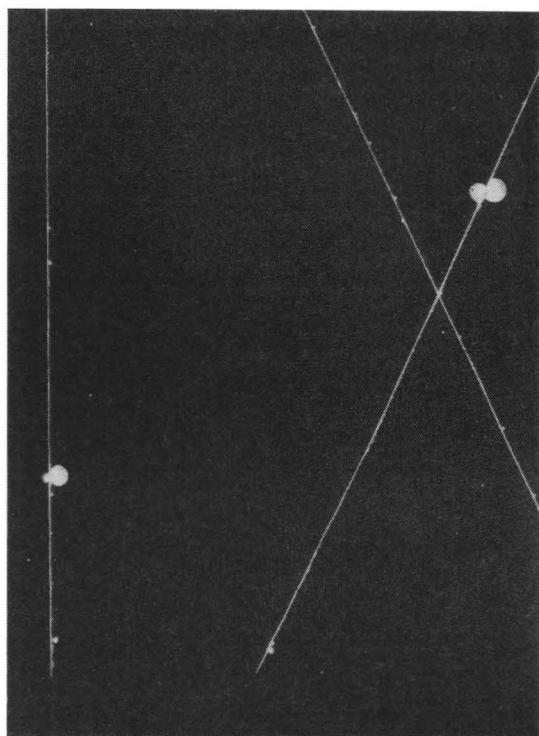
複合サイクル試験及び酸性雨連続噴霧試験における代表的腐食形態を写真1に示す。

3.2 試験条件と腐食形態

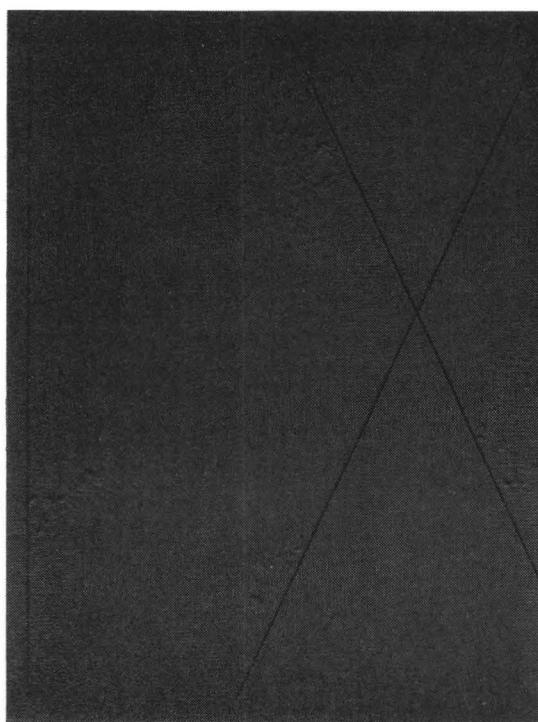
表7に試験条件と発生した腐食(ふくれ)形態を示した。この結果は、複合サイクル試験においては125サイクル後の、連続噴霧試験においては1000時間試験後の結果である。また表8は、表面処理技術研究委員会が主体で実施した試験結果である。この表8より明らかなように、円形状のふくれはすべての試験条件で発生しているが、糸状のふくれは、酸種として硫酸あるいは硝酸の場合に発生している。同様の傾向は、表7に示す様に硫酸イオン及び硝酸イオンを含む酸性雨複合サイクル試験あるいは酸性雨連続噴霧試験においても観察された。塩水の連続噴霧試験である塩水噴霧試験では追加1000時間の試験において糸状の腐食形態は認められなかったが、塩水の複合サイクル試験では糸状の腐食形態が認められた。自然環境下では、連続噴霧条件より噴霧・乾燥・湿潤のサイクルが予想されることから、自然界での腐食形態を検討する上で複合サイクル試験が重要なことが判る。

3.3 表面処理仕様と腐食形態

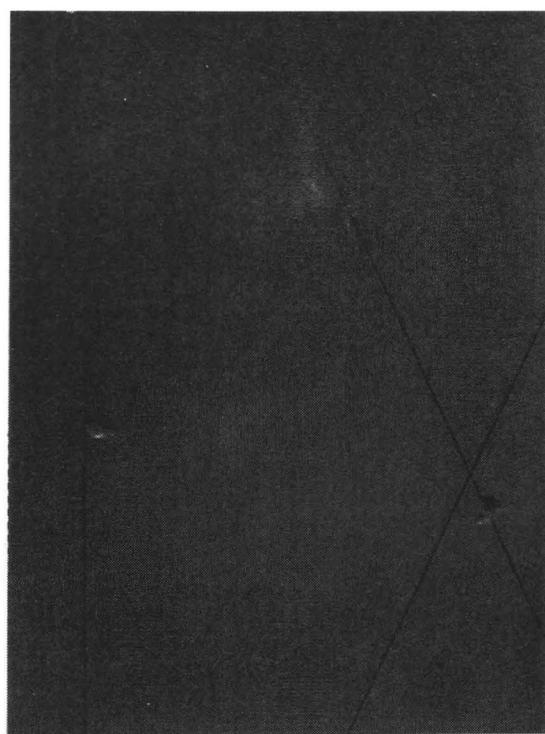
例えば、下地処理仕様ノンクロメートにおいて、通常の塩水噴霧試験では発生しなかった糸状腐食が、複合サイクル試験で発生した。同一の噴霧液を用いても、試験条件が異なれば異なった腐食形態が発生することが判明した。糸状腐食は、塩素イオンの存在下で発生することが知られており、その傾向は酸性雨により促進されると言われている。なお、糸状腐食は塩素イオンの存在下で発生することは表面処理技術研究委員会による腐食部分の元素分析によっても裏付けられている。



丸形状



糸状



丸形状+糸状複合型

写真1 代表的腐食（ふくれ）形態

表7 試験条件と腐食形態

試験条件 腐食形態	塩水複合サイクル試験 (125サイクル)	酸性雨複合サイクル試験 (125サイクル)	酸性雨噴霧試験 (1000時間)
糸状	○	○	○
みみずばれ状			
円形状	○	○	○
素地溶解状			

空欄：ふくれ発生無し

表8 試験条件と腐食（ふくれ）形態

試験条件 腐食形態	塩水噴霧試験 (1000h)				キヤス試験 (360h)						
	酢酸 3.0	硝酸 3.0	硫酸 3.0	無調整 5~6	酢酸 2.5	酢酸 3.0	硝酸 3.0	硫酸 3.0	無調整 5~6	酢酸 4.0	酢酸 2.5
糸状		○	○				○	○			
みみずばれ状							○				
円形状	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
素地溶解状					○						

空欄：ふくれ発生無し

この連続噴霧試験と複合サイクル試験による腐食形態の違いは、酸性雨噴霧においても観察され、例えば、フッ素塗装（ノンクロメート下地処理）では、複合サイクル試験では腐食形態が糸状となったのに対し、連続噴霧試験では糸状と円形状の複合型の腐食形態が見られた。また、フッ素塗装（トルエン拭き下地処理）では、複合サイクル試験でその腐食形態が円形状であるのに対し、連続噴霧試験では糸状と円形状の複合型となった。いずれの表面処理仕様においても、連続噴霧試験の場合、下地処理が不十分な場合、糸状と円形状の複合型になりやすい傾向があり、逆に下地処理が十分なものに対しては、円形状あるいは円形状の連なりに近い腐食形態が見られた。

このように、複合サイクル試験と連続噴霧試験では、発生する腐食形態に違いがあることから、自然界を想定した耐食性試験を実施する場合、複合サイクル試験が今後重要な試験方法になるものと思われる。

また陽極酸化処理のみによる表面処理仕様の場合、陽極酸化皮膜厚さの薄い仕様に対する酸性雨連続噴霧試験において、カットより伸びる腐食が確認された。陽極酸化皮膜厚さの厚い場合、この腐食形態はほぼ点状であることから、この腐食形態は、皮膜厚さが薄い場合に発生することが予想される。またこの腐食形態が、陽極酸化皮膜でも発生するとされている糸状腐食に相当するかは、皮膜厚さを種々変えた確認実験をする必要があると思われる。

腐食性の点からは、いずれの表面処理仕様においても、その下地処理が陽極酸化皮膜あるいはクロメート処理の場合、下地処理がノンクロメートあるいはトルエン拭きより優れた耐食性を示した。

また、試験研究センターが担当した試験条件では、いずれの仕様においても、カット部以外にふくれ等の腐食は発生しなかった。

3.2 試験方法と腐食速度

図2に艶消し電着塗装処理7仕様14枚の試験片のカットからの最大ふくれ長さの平均値と試験時間との関係を示した。

噴霧液が塩水あるいは酸性雨の複合サイクル試験の場合、同一試験時間では、酸性雨複合サイクル試験の方が塩水のそれよりふくれ長さが長いことが判る。同一ふくれ長さで見ると、例えばふくれ長さ 0.6mmにおける両試験の試験時間差は数百時間となり、それだけ酸性雨複合サイクル試験の方が厳しい試験であると言える。しかし二つの曲線は、ほぼ同じ間隔であることから、試験初期段階で腐食速度が違うのみで、その後はほぼ同じ腐食速度と考えられる。一方、酸性雨の連続噴霧試験と複合サイクル試験を比べてみると、図2より明らかなように、連続噴霧試験の方が腐食速度が大きい。

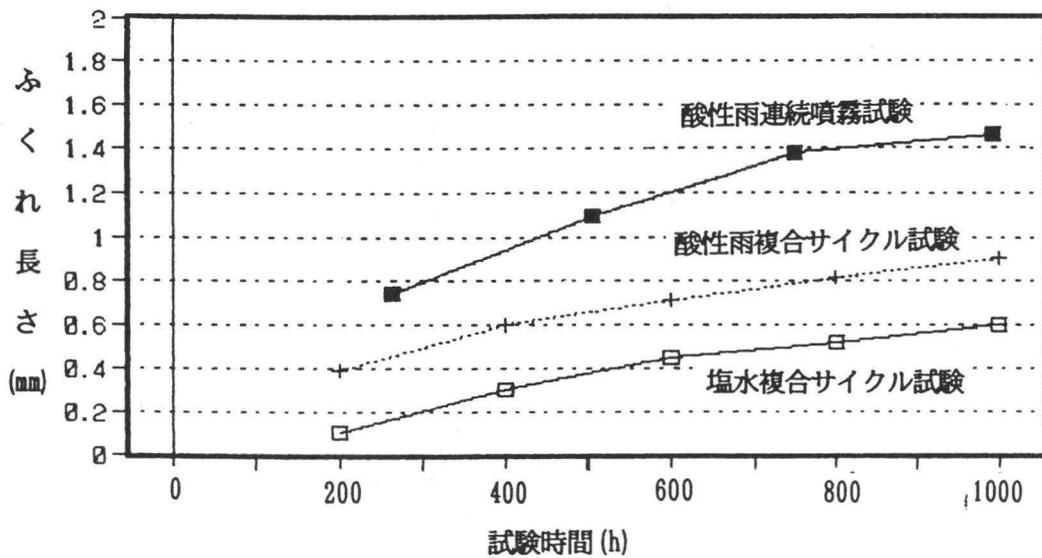


図2 艶消し電着塗装仕様における試験時間とふくれ長さ

4. 結 言

アルミニウム建材に対する酸性雨の影響を確認するため、酸性雨を構成する酸種を含む塩水噴霧試験、キャスト試験や、人工酸性雨を使用した複合サイクル試験を実施した結果、下地処理として陽極酸化皮膜処理やクロメート処理をした塗装品が優れていることが判明した。しかしクロム酸を使用するクロメート処理は、環境上の問題から今後その使用が制限されることが予想され、従って塗装の下地処理としては、陽極酸化処理が最適と考えられる。ただ今回の結果より、陽極酸化処理品を単独で使用した場合、その皮膜厚さが薄くさらに素地まで達する傷がある場合は、その部分より腐食が進行することも推定されることから、皮膜厚さ及び封孔条件と酸性雨に対す

る耐食性についてさらに詳細に調査する必要があるものと思われる。また、複合サイクル試験、酸性雨噴霧試験及び硫酸あるいは硝酸を含む一部の試験方法で、酸性雨によって促進されると言われている糸状腐食を、アルミニウムを素材とする塗装品に対し、試験により発生させることが出来たことは、これらの試験方法が今後の研究の有効な手だてとなるものと思われる。さらに連続噴霧試験による腐食形態と、複合サイクル試験によるそれとの間に違いがあることから、アルミニウム建材の実際の使用環境を考慮した試験の場合、複合サイクル試験による試験を実施すべきものと思われる。

なお、一部の仕様については、暴露試験も実施しており、今後これら上記の試験結果と暴露試験との対比を実施する予定である。

10. 「ライフラインを考慮したフレーム及び外装と一体化したフレームのリサイクルに関する研究」

社団法人日本鉄鋼協会基礎研究会

ネットシティ研究部会委員

今川 憲 英

I. 調査研究の目的

□背景／

建物を作る技術の進歩や、社会的要請から、特に大都市においては建物の複合化や高層化が、環境負荷としても大きな要因になりつつある。個々の建物の範囲においては、環境負荷の省力化への努力がなされておりそれなりの効果をあげている。しかし、昨今の廃棄物対策の遅れや資源のリサイクルへの関心の高まりは、さらに前向きな発想と検討を求めてきている。

□研究目的／

市街地環境は、個々の建物の集合体と考えることができる。全体としての環境の負荷を押さえながら良好な状態を確保するためには、建物を構成する建材や素材などの構成要素に着目し、新しい標準化（モジュール化）の方法とその具体的な姿を提示する必要がある。本研究は其中で、市街地の根幹をなすライフラインなどとの整合をどのように図ったらよいかという視点を一方でもちながら、視覚的な意味あいでのフレームとの調和という別の視点との調和点を見出すことを目的とする。

□実施計画／

この複眼的な視点に立って、整合がはかれそうないくつかのフレームを提示し、それをある程度、具体的な市街地環境をモデルとして設定しながら、電気やガス、通信等のライフラインとの関係を明らかにする。この場合、ライフラインの個々の機能や性能からくる耐久性と、建物のような別の要因によって定まる耐久性とを比較検討しながら、廃棄物の対象素材あるいは部材といった観点から構成要素の整理を行う。そしてフレキシビリティの考えかたに基づいて耐久性のバランスあるいは交換的側面を明らかにする。

□標準化と規格化／

以上の計画によって、建物を構成する重要な要素である建材について、その標準化の意味を①フレキシビリティ②耐久性の総合的判断③再利用方法、という3種類の展開によって提示できる

と考える。それは環境保全及び改善の規格化に関する新しいアプローチの提示である。

II. 調査研究の範囲

1. フレームの検討

○ライフラインとの整合性を図りながら、かつ市街地環境に調和したいくつかのフレームを検討、設定する。

2. フレームを入れ込む具体的市街地の検討

○ある具体的な市街地環境をモデルとして設定し、そこに前に検討したフレームを入れ込んだときの環境との調和、ライフラインとの整合を検討する。

3. 耐久性の総合的比較

○ライフラインの耐久性と建物の耐久性を比較検討し、そのバランスあるいは交換的側面を明らかにする。

III. 調査研究の成果

1. フレームモデルとライフライン

1-1) 複合用途とフレームモデル

大都市の、ある程度成熟した市街地においては、個々の建物の範囲では解決できない課題が顕著になってきている。例えば都市防災や環境負荷の増大、用途の混在に対する総合的な環境の低下等である。

これらの課題は、お互いに密接に関連しており、また後述するように、ある程度のスケールメリットが必要とされる課題が多い。従って、建物がいくつか計画的に連結されることによって、個々の問題を改善させる方向に展開することが求められている。

そこで、既に発表されている新環境統合都市の街区モデル等をベースにしながら、都市設備のように、スケールメリットとネットワークをいかに確保すべきか、その場合の市街地環境との関係はどうなるのかを検討する。

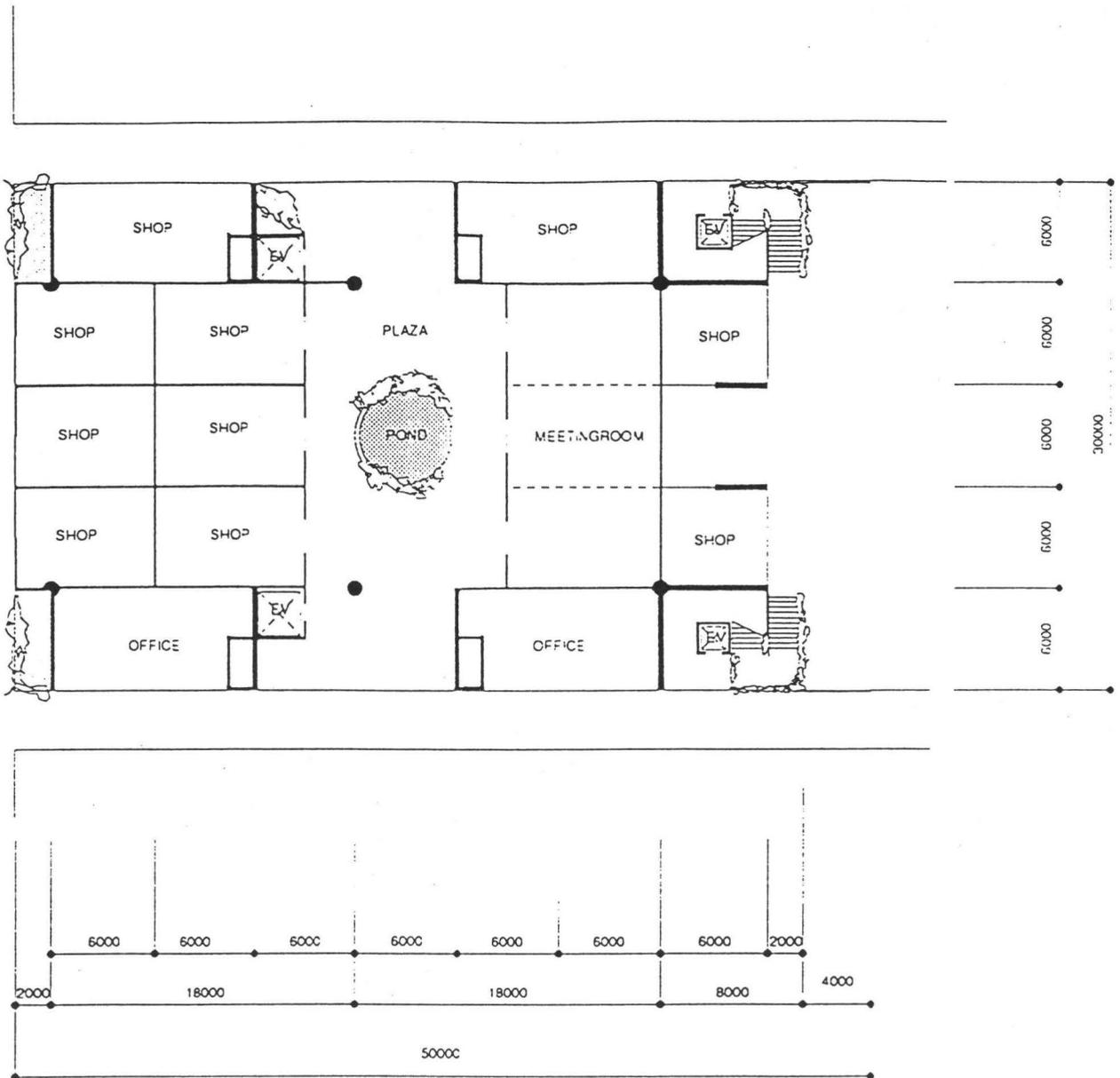
この場合、新環境統合都市の街区モデルで特徴的な提案として、人工地盤の概念によって、その上部の通常の建物用途の他に、人工地盤内部にパブリック空間や都市設備等の空間を積極的に用意していこうと試みている。

建築を構成する要素の個々の対象、例えば外壁や内装材あるいは開口部といった把握の仕方もあるが、本検討では、ある程度の規模をもった具体的な街区モデルを示し、その有効性を検証しながら、その問題点や整合性を図るものとする。

例示図(図1-1) -①~④)では人工地盤面を商業・業務系の用途とした場合の図を示したが、建物の立地する場所によってこの用途は変化する。場所によっては、このフロアが、もっぱら駐車場用地に使用される場合もあり、あるいは雨水貯溜用スペースや電力の変圧室等に使用されることもありうる。

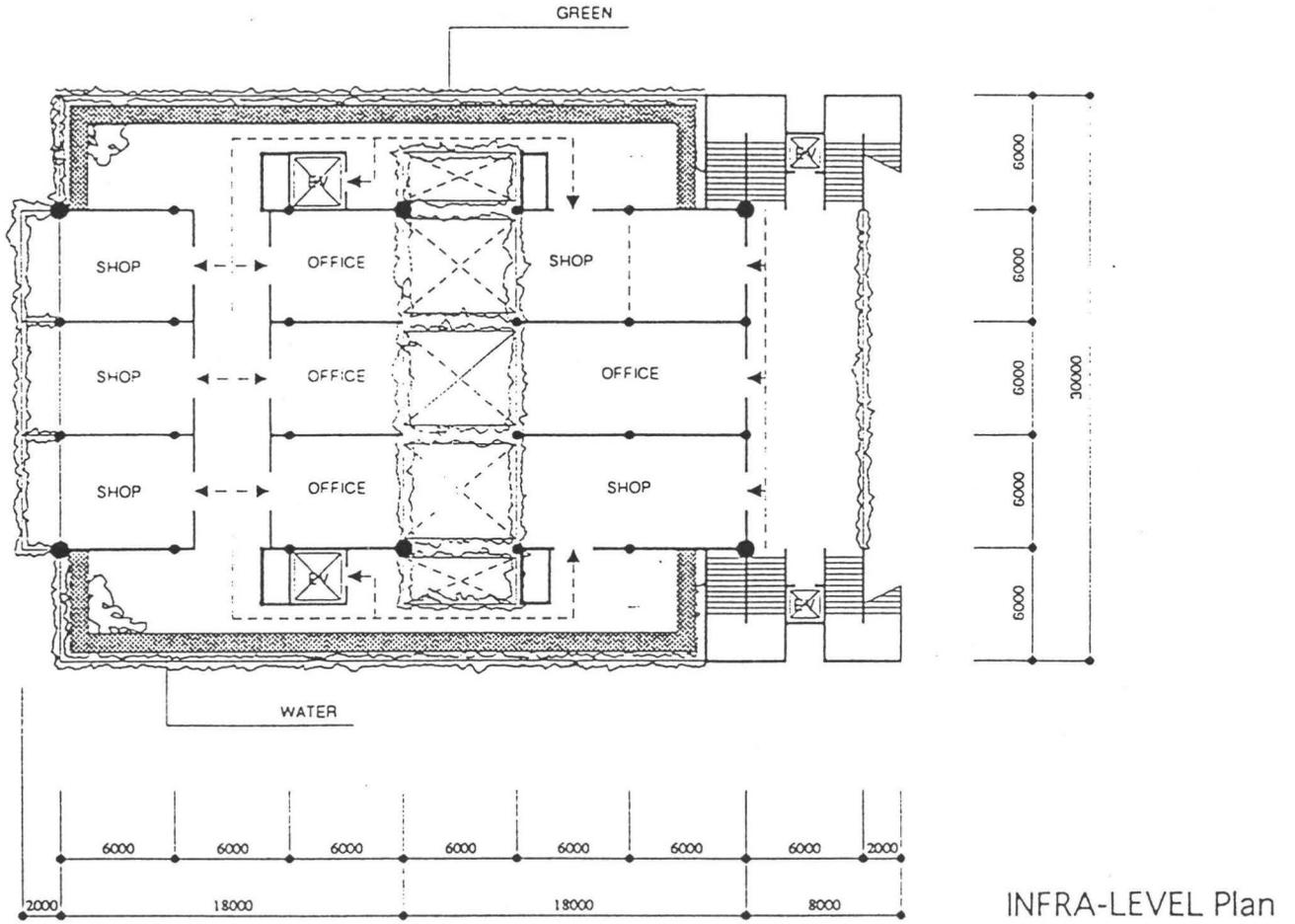
注意したいのは、人工地盤の内部の用途を、このように非常に広範囲の用途に使用可能な空間と想定している点である。このことは、人工地盤の上と下とでは、建物の用途に、大きな差が生じることであり、そのことは本テーマの一つであるフレームやモジュールをどのように設定するかという課題が発生する。

図1-1) -① 地盤レベル平面図

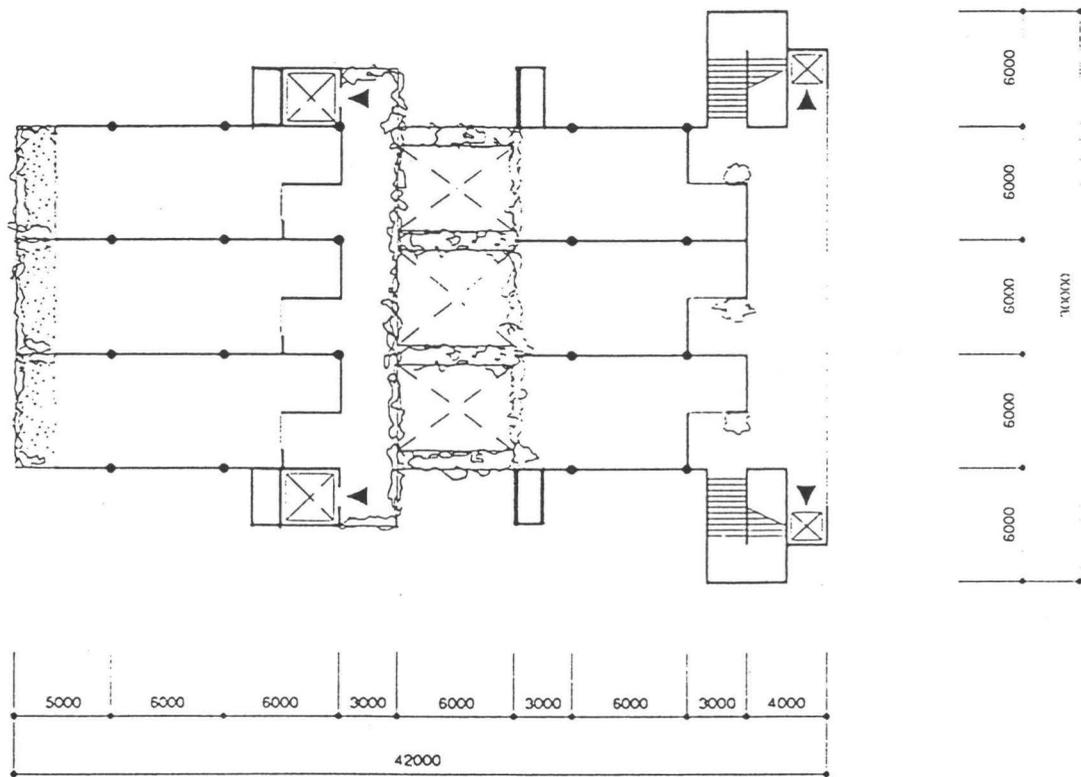


GROUND LEVEL Plan s=1/400

図1-1) -② インフラレベル及びNETNEST 地盤レベル平面図

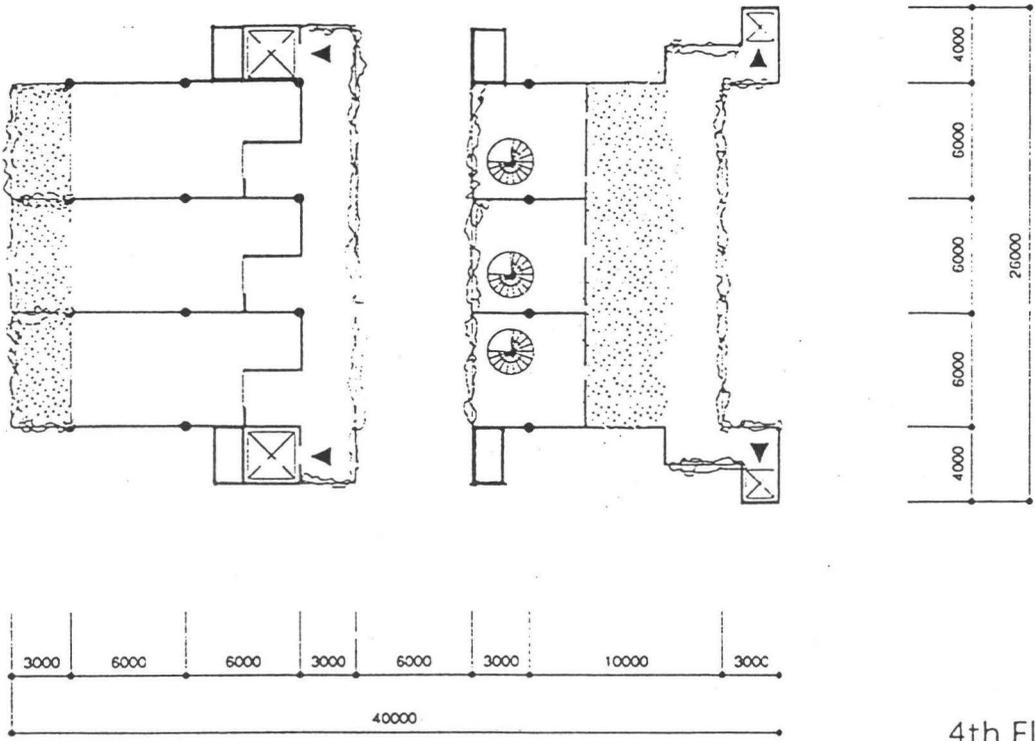


INFRA-LEVEL Plan

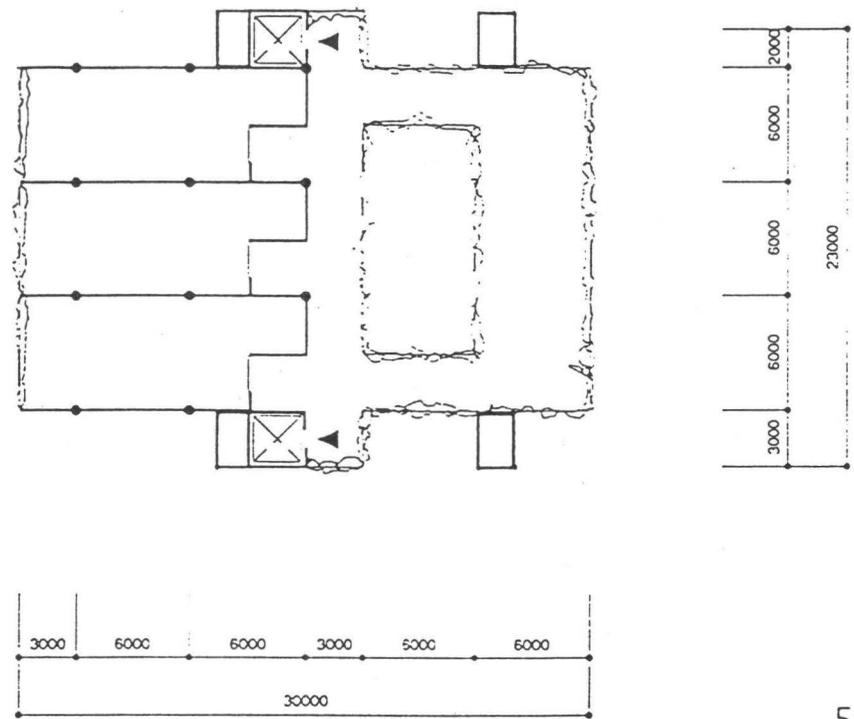


NET NEST 地盤 LEVEL Plan s=1/400

図1-1) -③ 4階、5階平面図

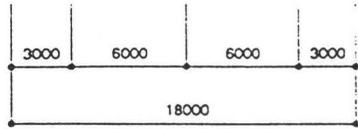
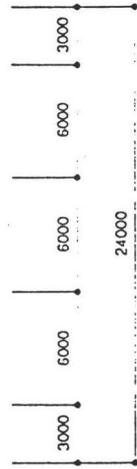
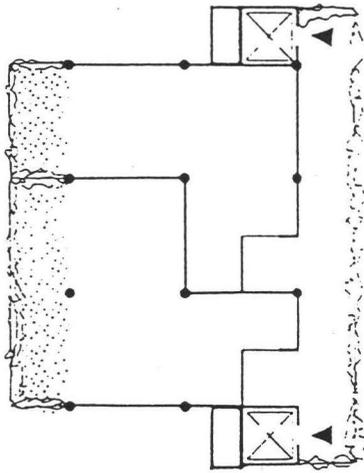


4th Floor Plan

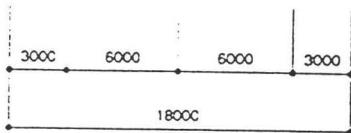
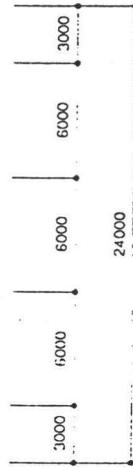
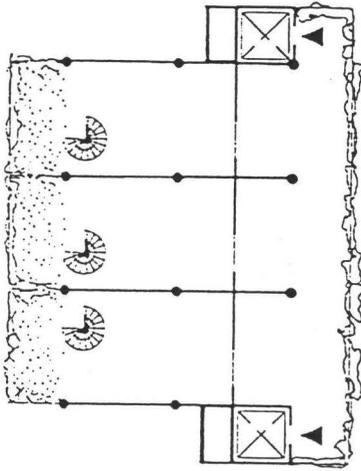


5th Floor Plan s=1/400

図1-1) -④ 6階、7階平面図



6th Floor Plan



7th Floor Plan s=1/400

1-2) ライフラインと構造体

また構造体の考えかたも、上記の基本概念を受けて複数の構造体の合体形式を採用している。この場合、都市設備等の収容される、人工地盤内部のフロアと、人工地盤上部の住宅等の空間とでは要求される空間の単位や規模が異なるため、断面で表示した図(図1-2)-①)に示すように、それぞれNET-NEST地盤と、マッシュルーム構造という異なった構造形式を組み合わせることによって、課題に応えることとした。

従って、NET-NEST地盤は基本として18m程度のスパンからなる大空間を実現するのに対し、マッシュルーム構造は6m程度の小規模なフレームから構成することとなる。この両者を、フレームやモジュールとの関連でどのように整合させるかが課題となる。

都市設備には各種の配管やプラント等が考えられるが、上記の街区モデルを支えるユーティリティを総称して、ライフラインと呼ぶことにする。具体的には以下のネットワークや機器が該当する。

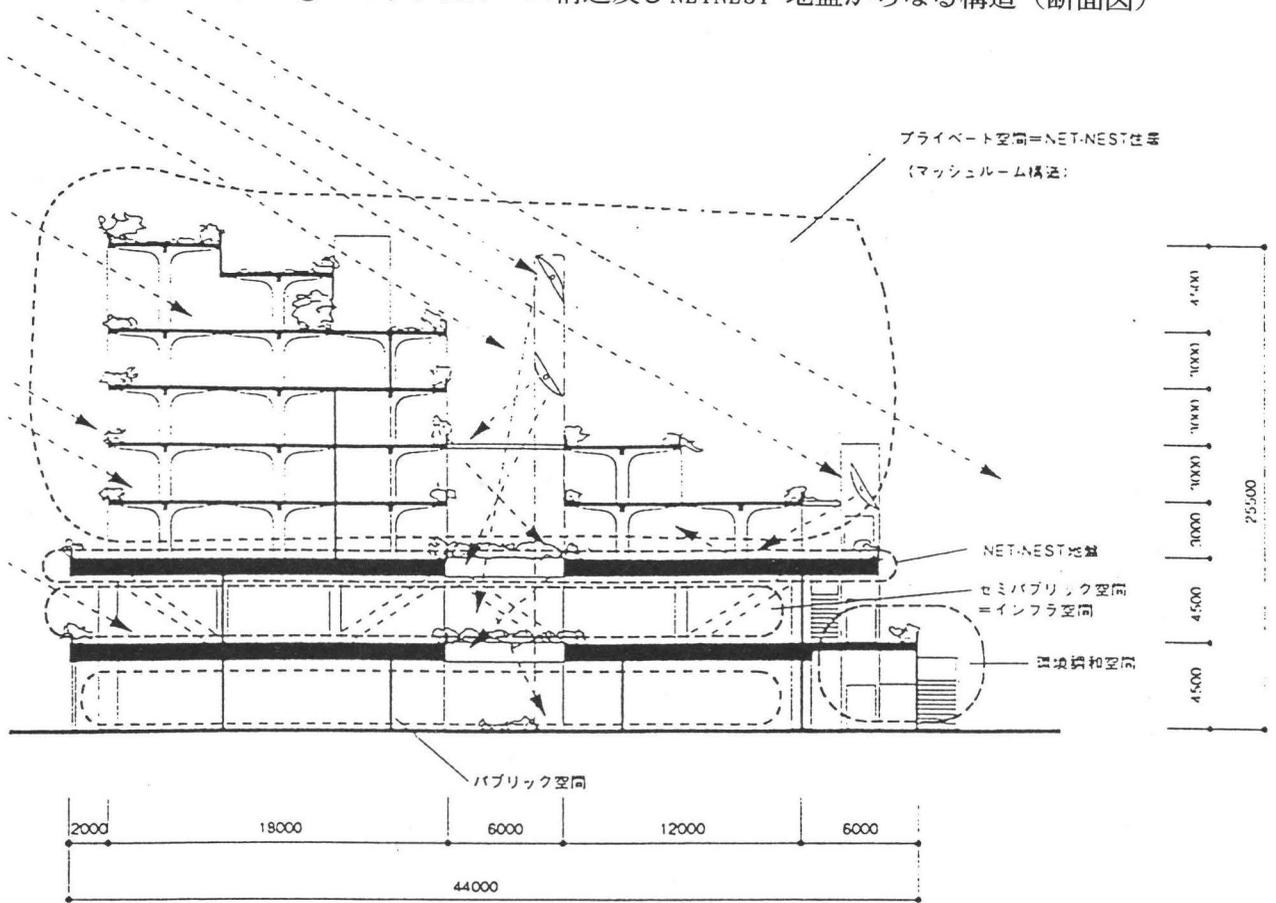
プラント=燃料電池、コージェネレーション、ヒートポンプ、太陽光発電、蓄熱槽、排水の中水化处理装置、生ゴミ処理装置

ネットワーク=冷水、温水、ガス、ごみ搬送、上下水、電気及び通信配線、共同溝

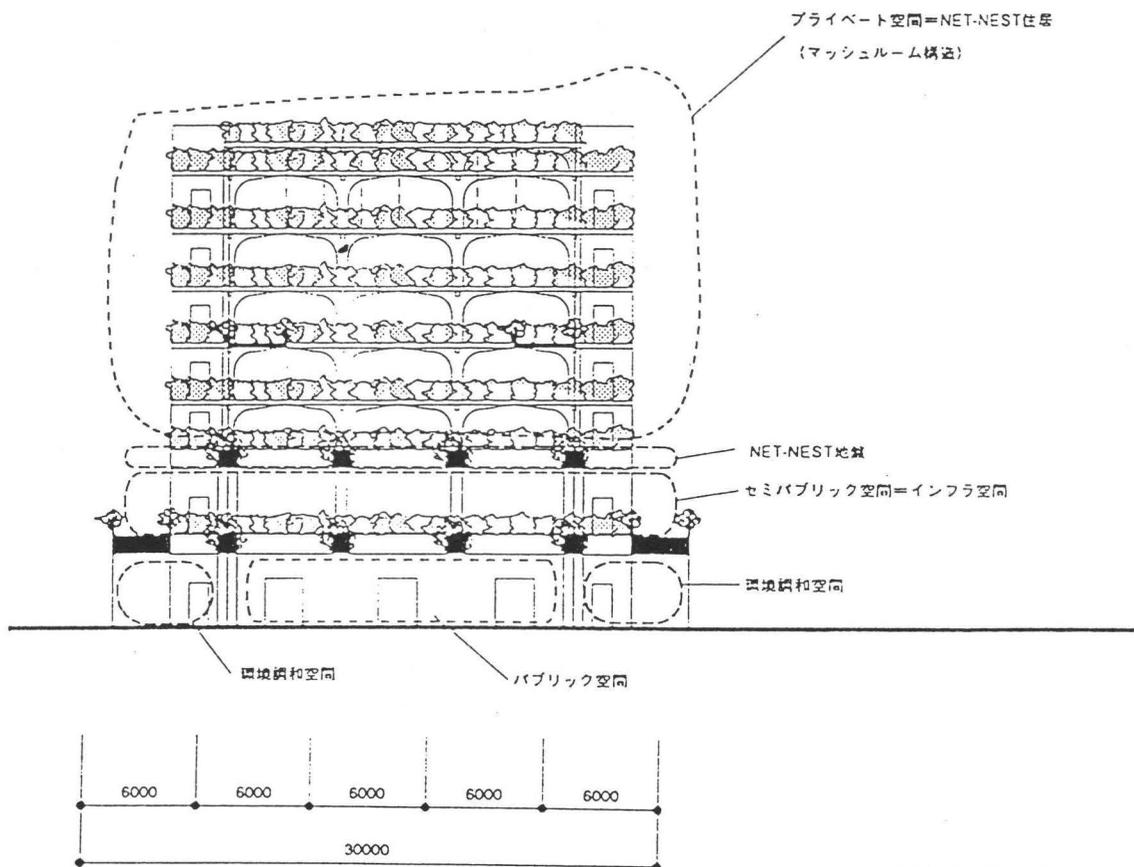
新しい街区のモデルで、これらのプラントやネットワークがどのように位置づけられるかの概念を図1-2)-②)に示す。ここでは、人工地盤内部のうち、インフラストラクチャー用の空間にライフラインがネットワークされることを念頭に置いてその概念を示している。

この場合、一度に街区の全体が整備される場合と異なり、既存の成熟した市街地では、段階的な整備が前提となろう。既存の民地と新しい街区との混在がしばらく継続するであろうと想定される。人工地盤が連結されることが将来は見通せる場合でも、その前の段階では通常的地盤面においてある程度のネットワークを構築する必要がある。

図1-2) -① マッシュルーム構造及びNETNEST 地盤からなる構造 (断面図)



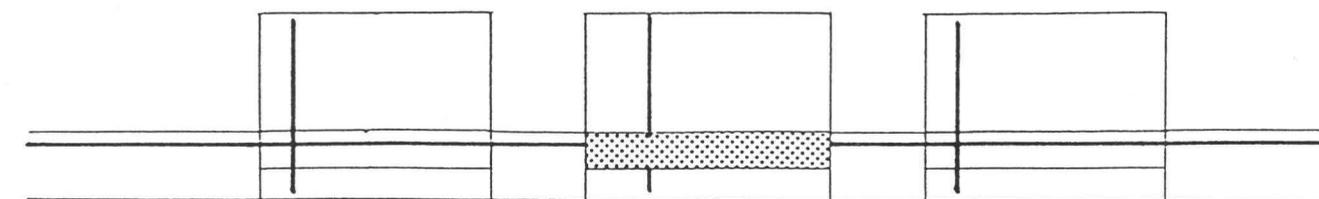
N-S Section s=1/400



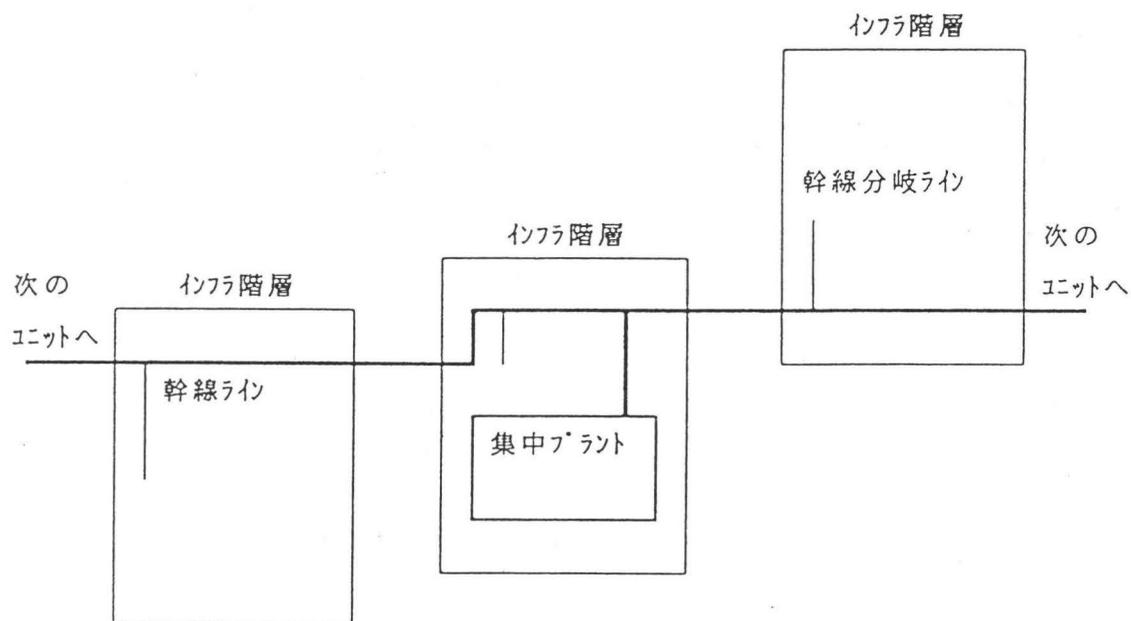
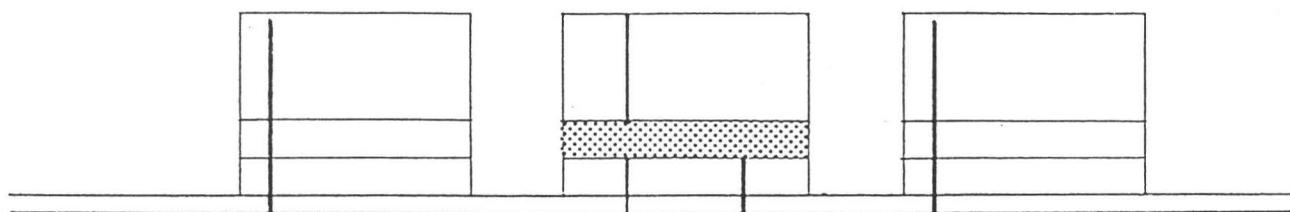
E-W Section

図1-2)-② ライフラインの敷設概念図(平面及び断面)

○人工地盤が連結した状態



○途中段階



1-3) ライフラインの立体的連結

次に、街区レベルでの、建物相互を結ぶライフラインが、建物内部で上下方向にどのように連結されるかを考察する。

建物のフレームの耐用年数に比較して、はるかに可変的な住居系や業務等の空間にあっては、垂直方向のライフラインのシャフトは、そうした空間の自由度を保證できるように配置される必要がある。断面図(図1-3)-①)で示したのは、2種類の状況が生じることを示している。ライフラインの必要規模が人工地盤内の1層である場合と、プラント等も収容する場合で1層目、2層目の双方を活用する場合である。

また、一連の平面図(図1-3)-②~④)には、その垂直方向のライフラインのゾーンの配置の考え方を示している。注意すべきは、平面的な変更の容易さを担保するために、2箇所のライフラインシャフトが配置されていることである。

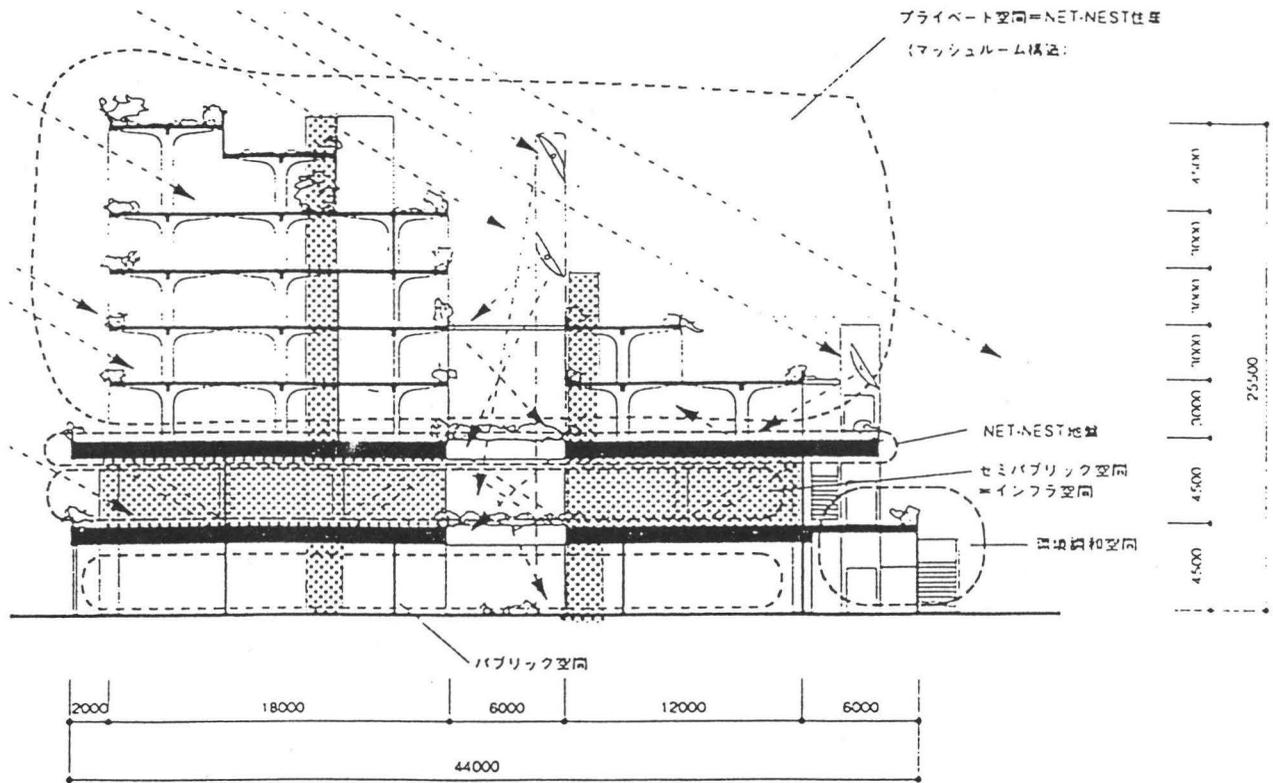
ライフラインの可変性は、位置の可変性ではなく、その中に設置される各種の都市設備の変更による可変性である。建物の外層とは別のサイクルで、それらの変更は発生するであろうから、ライフラインが自律的に変更の自由度をもつことが望ましい。

このようなライフラインの配置とネットワークに対して、供給される対象である各種の室内空間や外部空間のモジュールはどのようにあったらよいであろうか。

この観点は、建築空間のリサイクルに関連して、可変性に富む構法や材料の選択が、フレームの構築にどのような影響を及ぼすかと言い換えることもできるだろう。

図1-3)-① ライフラインの断面方向の接続 (断面図)

○ライフラインがインフラ階のみの場合



○ライフラインがプラント設置等で2層にまたがる場合

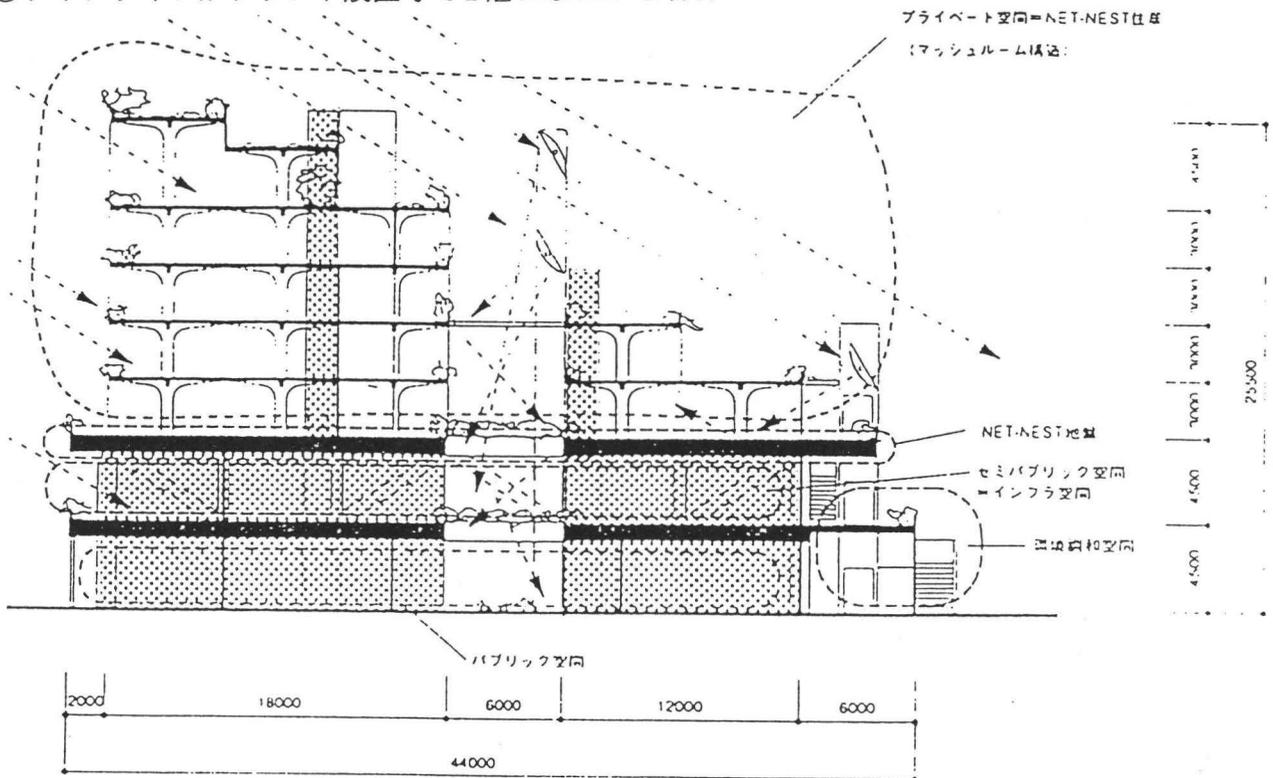


図1-3) -② ライフラインの垂直シャフトゾーン (地盤レベル)

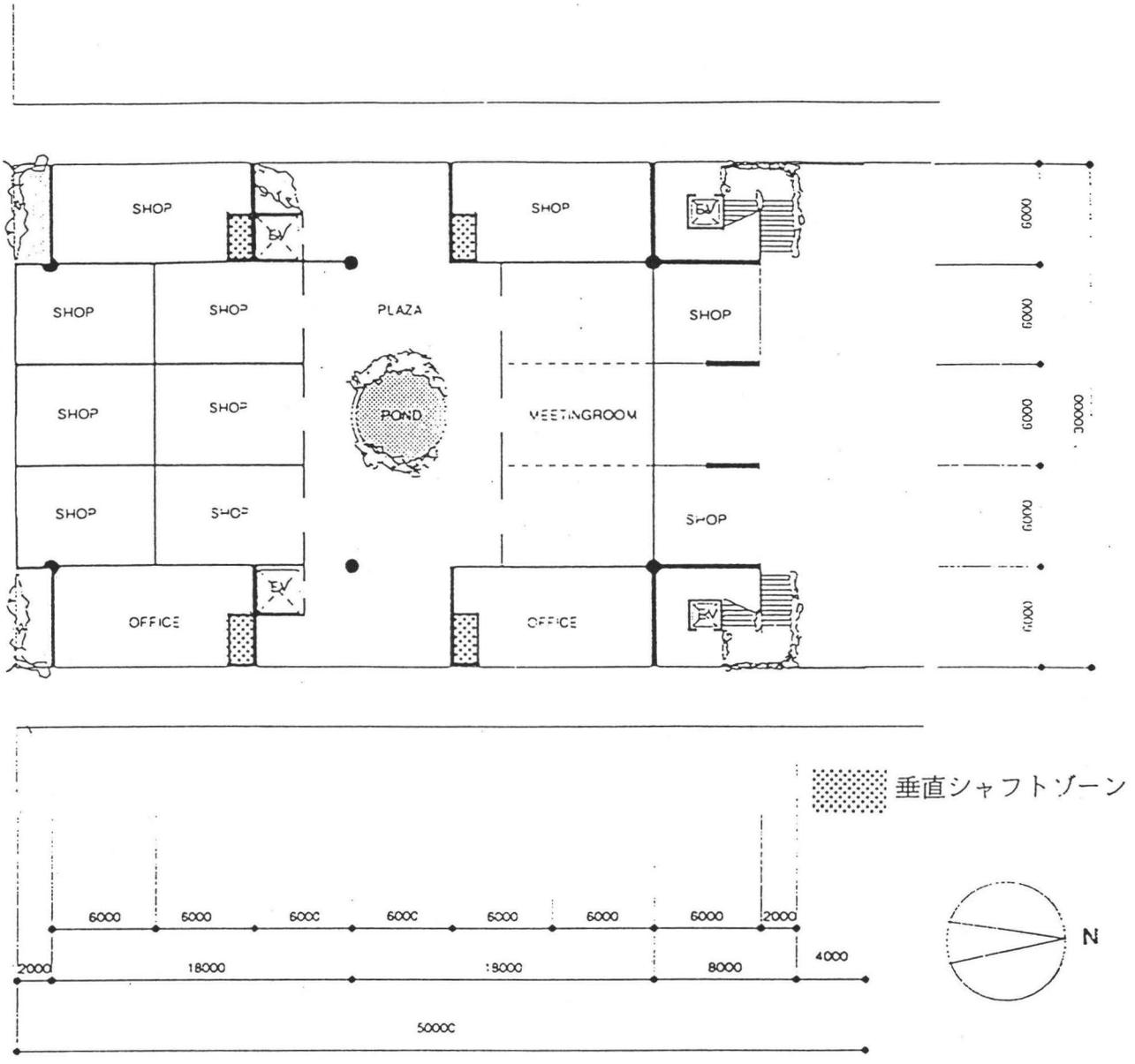
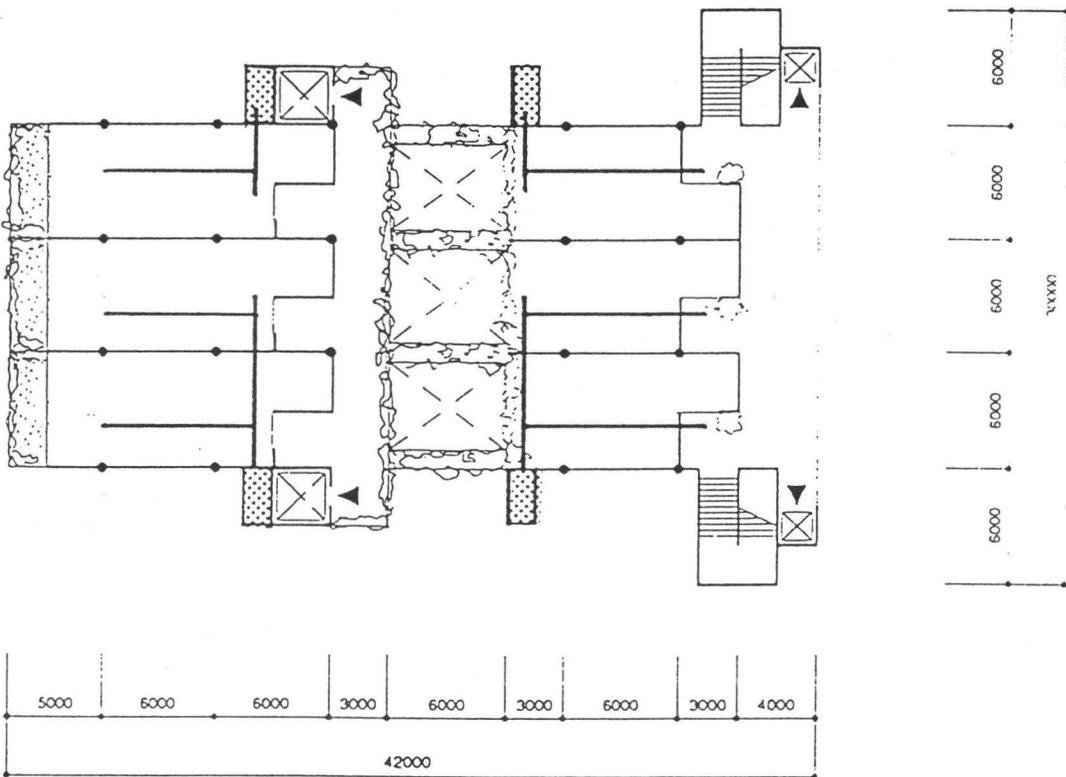
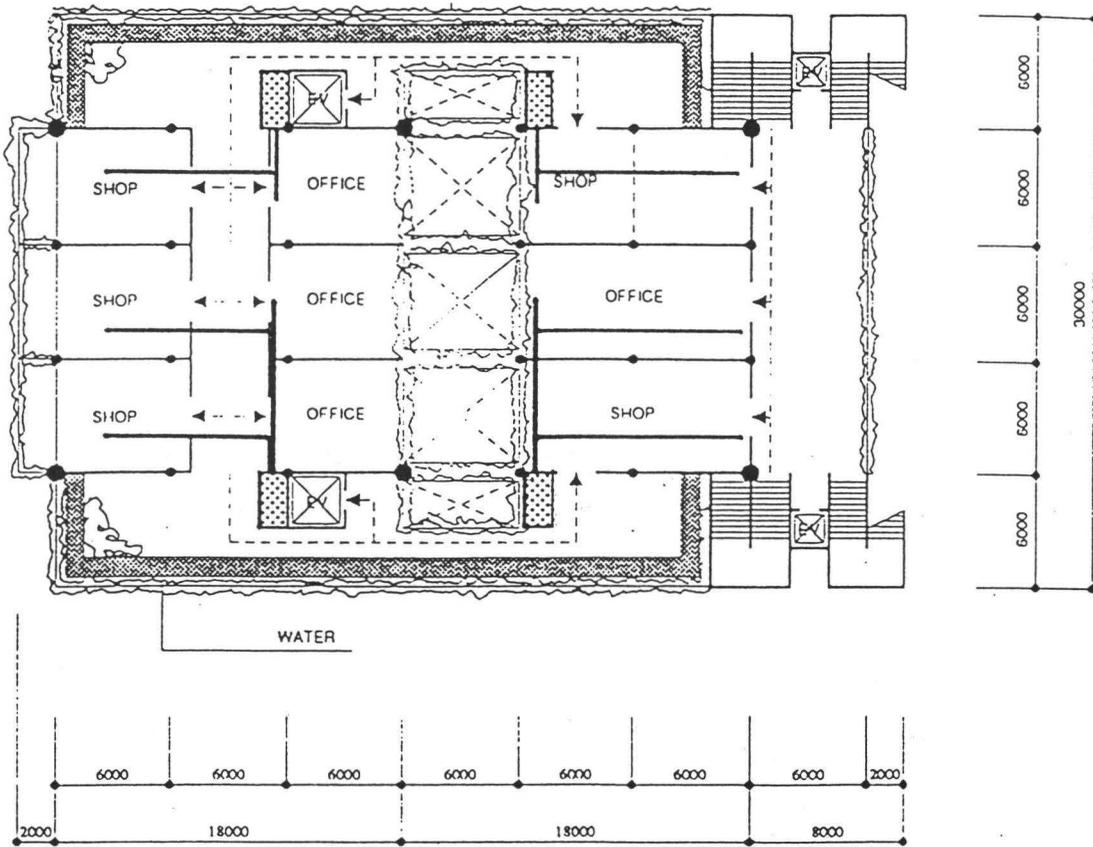
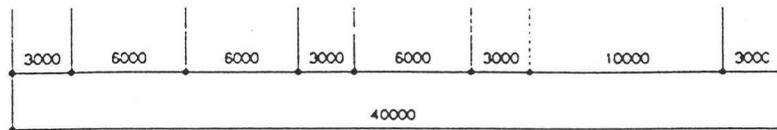
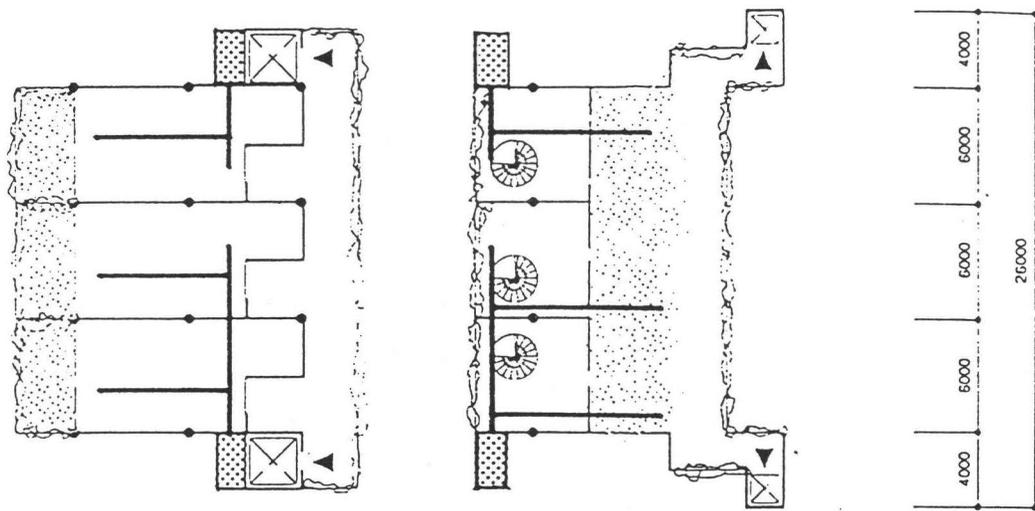


図1-3) -③ ライフラインの垂直シャフトゾーン
 (インフラレベル及びNETNEST 地盤レベル)

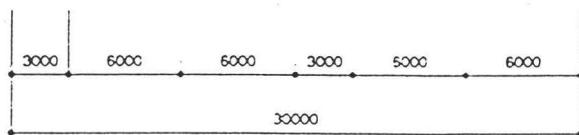
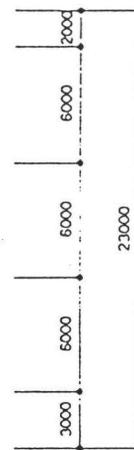
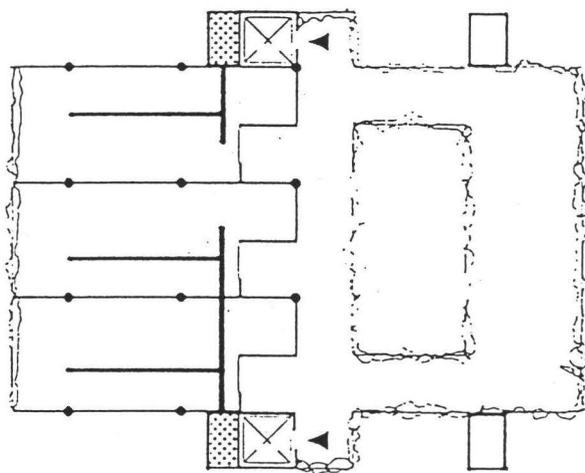


 垂直シャフトゾーン

図1-3) -④ ライフラインの垂直シャフトゾーン (4階、5階平面)



4th Floor Plan



5th Floor Plan

2. フレームを入れ込む具体的市街地の検討

2-1) 市街地空間との調和のシミュレーション

以上のようなライフラインと建物の基本的なフレームを念頭において、実際の市街地の中に配置シミュレーションを行う。

具体的にどの場所を選ぶかであるが、都内の典型的な山の手住宅地を選ぶことにする。図2-1)-①は、実際に現在建っている建物をコンピュータで可視化したものである。この一角に、新環境統合都市の街区モデルである建物群を配置してみる。街区の規模をどのように設定するかが周囲の市街地の環境との調和の可否を左右する。

ここでは30m×50m(1,500㎡)程度の敷地を想定しているが、複数の棟のコンピュータ画像(図2-1)-②)から分かるように、比較的、住宅地の雰囲気には溶け込んでいることが理解できる。もっとも初期段階では1棟あるいは2棟程度の置き換えから始まるであろう。ちなみに1棟が、宅地の任意の場所から開始された場合のコンピュータ図を示す(図2-1)-③参照)。建物の絶対高さにおいては周辺の住宅を中心とする市街地から見ると頭が出た形になっているが、周囲の環境に対して壁面が後退しているため威圧感を感じられない。なお、視界の方法は図2-1)-④)に示す通りである。

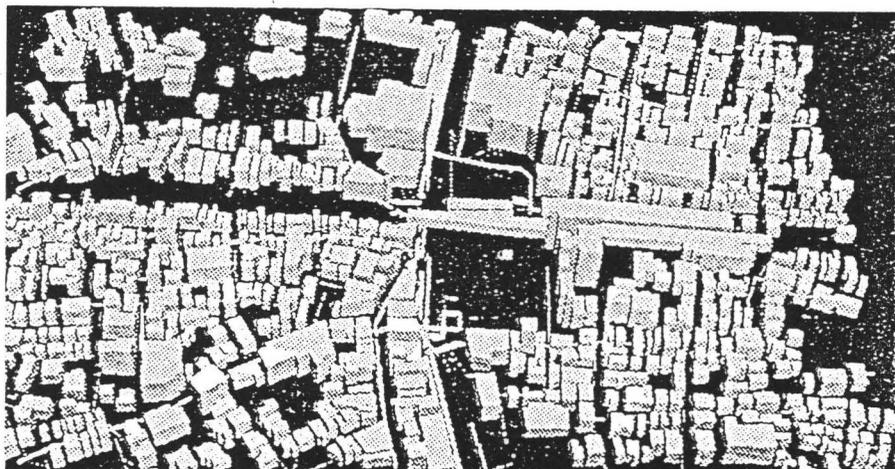


図2-1) -①既存市街地のコンピュータ画像

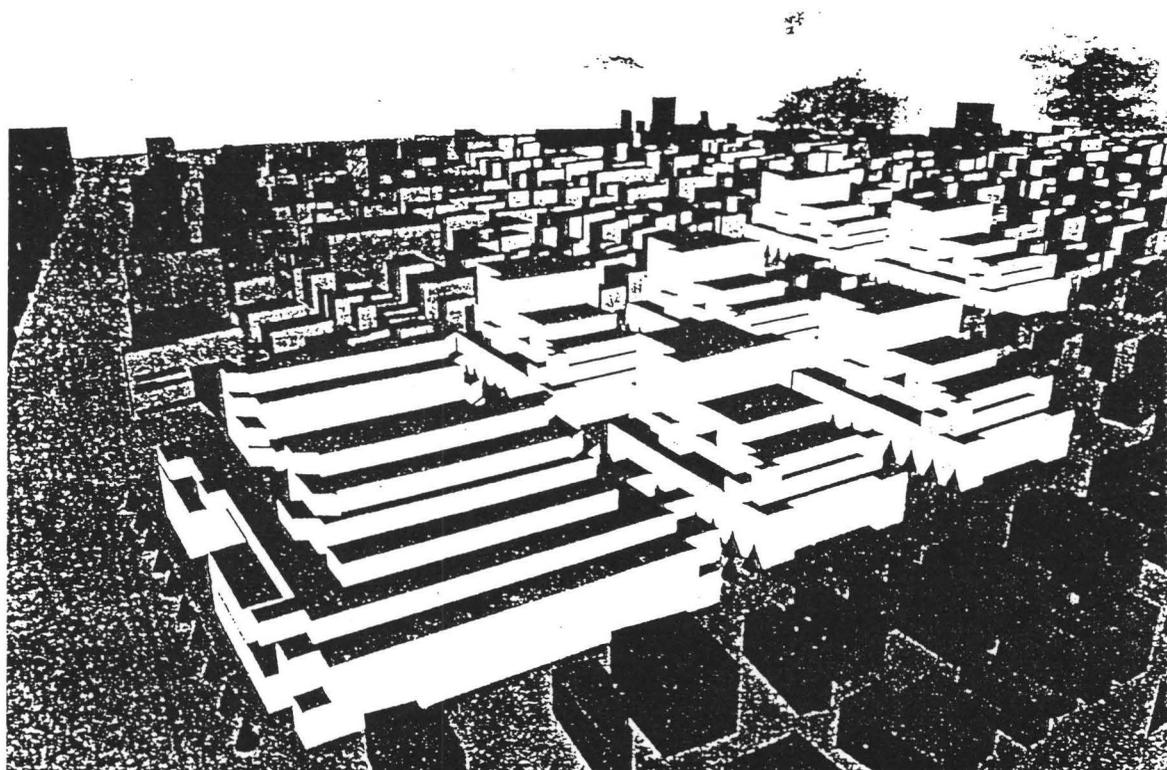


図2-1) -② 既存市街地と新街区モデル複数棟の合成コンピュータ画像

図2-1) -③ 既存市街地と新街区モデル1棟の合成コンピュータ画像

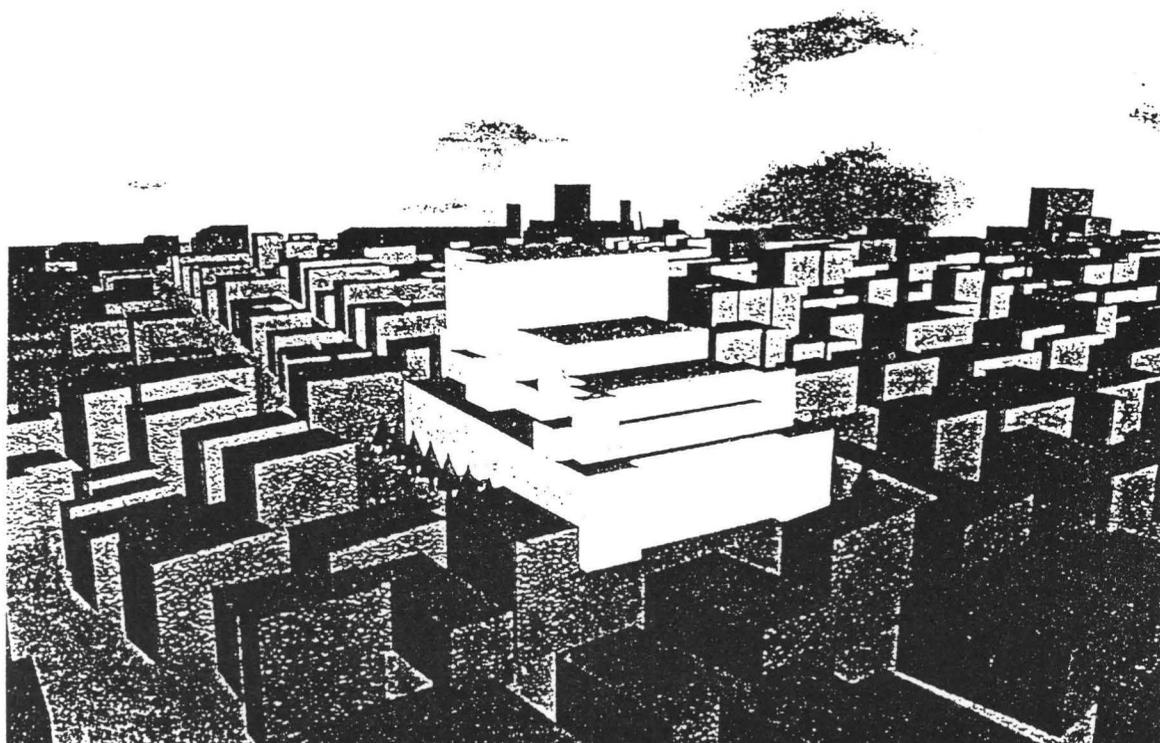
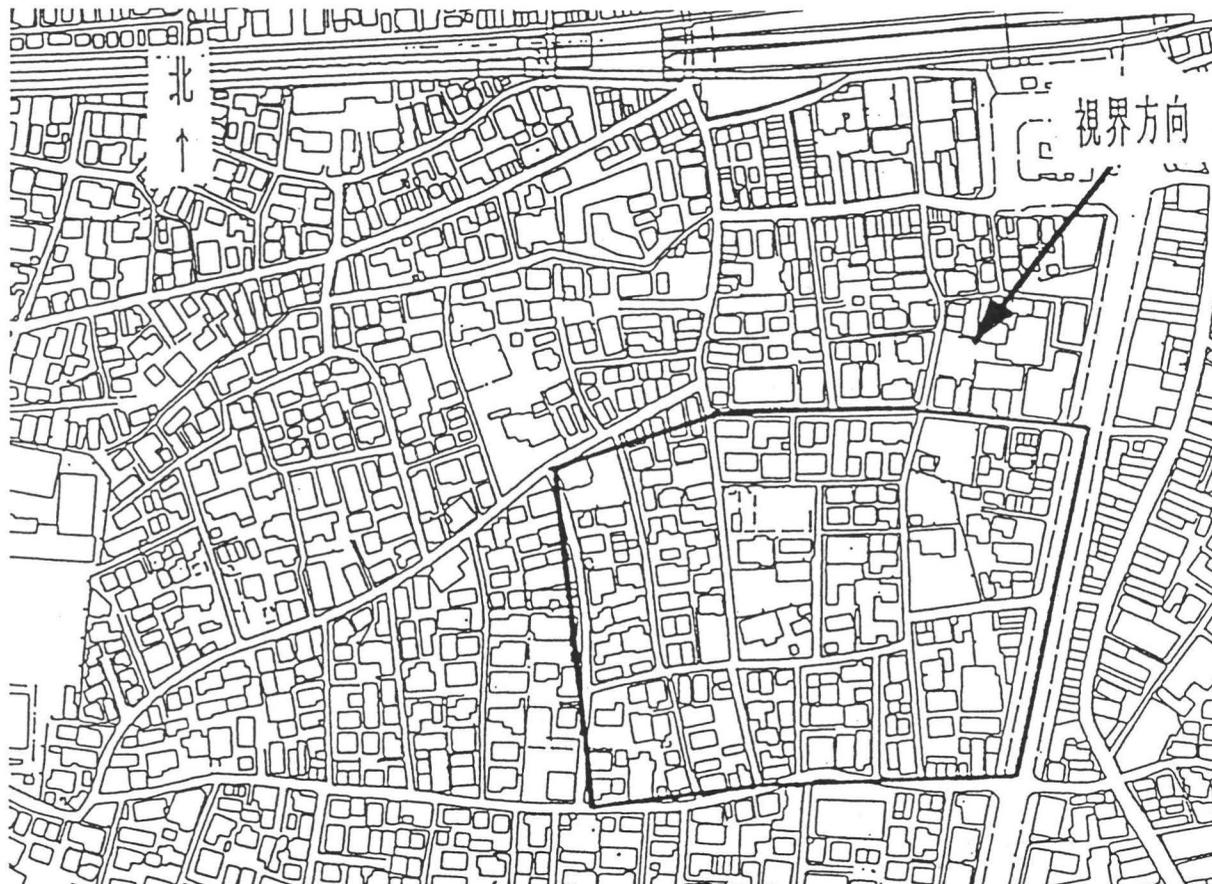


図2-1) -④ 合成コンピュータ画像の視界方向



2-2) フレームユニットとモジュール、規格化

まず、一般的にモジュールの考えかたは、シングルグリッド形式と、ダブルグリッド形式の2つの方向がある。可変性の高さを維持するには、住宅の内装がよい例であるが、シングルグリッド方式が従来からもっとも多く使用されてきている。我が国の住宅の平面を規定してきた900ミリのグリッドも、シングルグリッド形式である。

それに反して、特に大規模な構造物との調整や可変性を保持する立場から、構造部との整合性を図りながら、構造物に影響されない範囲は別のグリッド系で対応するという考え方がある。これがダブルグリッド形式である。

新環境都市の本提案の概念のように、社会基盤となるインフラストラクチャーと通常の建築物とが共通の構造物のなかに成立する場合には、インフラストラクチャーの大スパン構造物の柱や梁等の位置が大きな空間的制約を生む可能性がある。したがって、例えば柱を例にとると、柱の周囲に多少の余裕を見越して、900ミリあるいはその半分の450ミリといったモジュールを、構造の芯にあわせて設定する考え方がある。

この考えは、例えば駐車場のようにはほぼ同一規格の空間が連続していき、構造物のスパンや柱形状が、全体の空間秩序を規定する場合には確かに有効である。しかし、空間の自由度や可変性を高く確保するという意図からは、むしろ、構造物の柱等のグリッドが平面系の自由度を拘束することは余り好ましいことではない。

その意味では、異なった構造フレームを組み合わせている本街区モデルの場合、ダブルグリッド形式ではなく、シングルグリッド形式を基本として平面計画や空間の単位となるグリッドを設定する方法が優れている。

人工地盤の上部と下部とで異なった空間尺度を使用する関係と、両者の整合性を図る必要から、1,200ミリの倍数である基本グリッドである18,000ミリ及び6,000ミリでグリッドを配列してみる。図2-2)-①にその配列状況を示す。

この数字系列によれば、図から分かるように、主要な構造フレーム及びライフラインや昇降機などはこのグリッドの上に乗ることがわかる。しかし、階段部分や通路等で、既存の各種法規との兼ね合いで決まる寸法系と整合させるために、次に述べる詳細グリッドの設定には工夫を要することが分かる。

この詳細グリッドであるが、これは建物のシステム化やパネル化等の構法と密接に関連する。ここでは1,200ミリと300ミリの中間にあたる尺度である600ミリの詳細グリッドを設定して例示してみた。図2-2)-②に示す。

フレームに関する部位や平面は、この600ミリのグリッドで相当エリアをカバーできるものと考えられる。なお、外壁の位置の指定や、開口部の規定あるいは間仕切り壁などの位置設定にあたっては、300ミリのグリッドあるいは更に小さい寸法系列が必要となる可能性がある。

図2-2) -① シングルグリッドによるモジュール

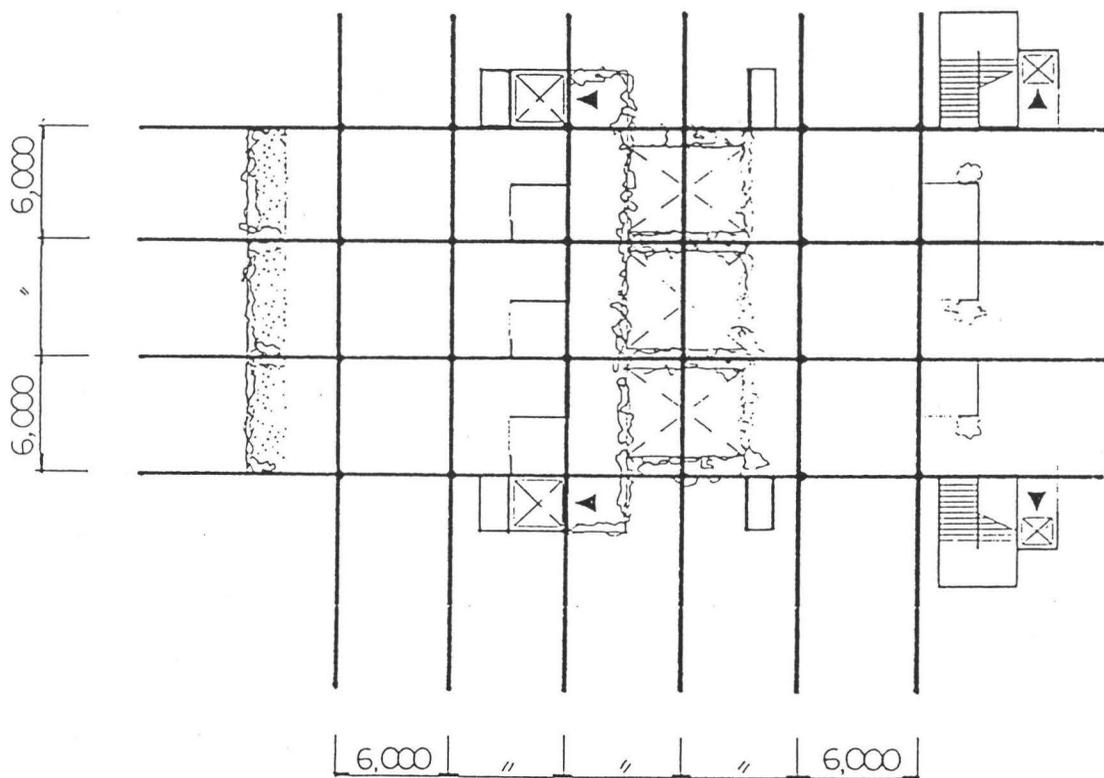
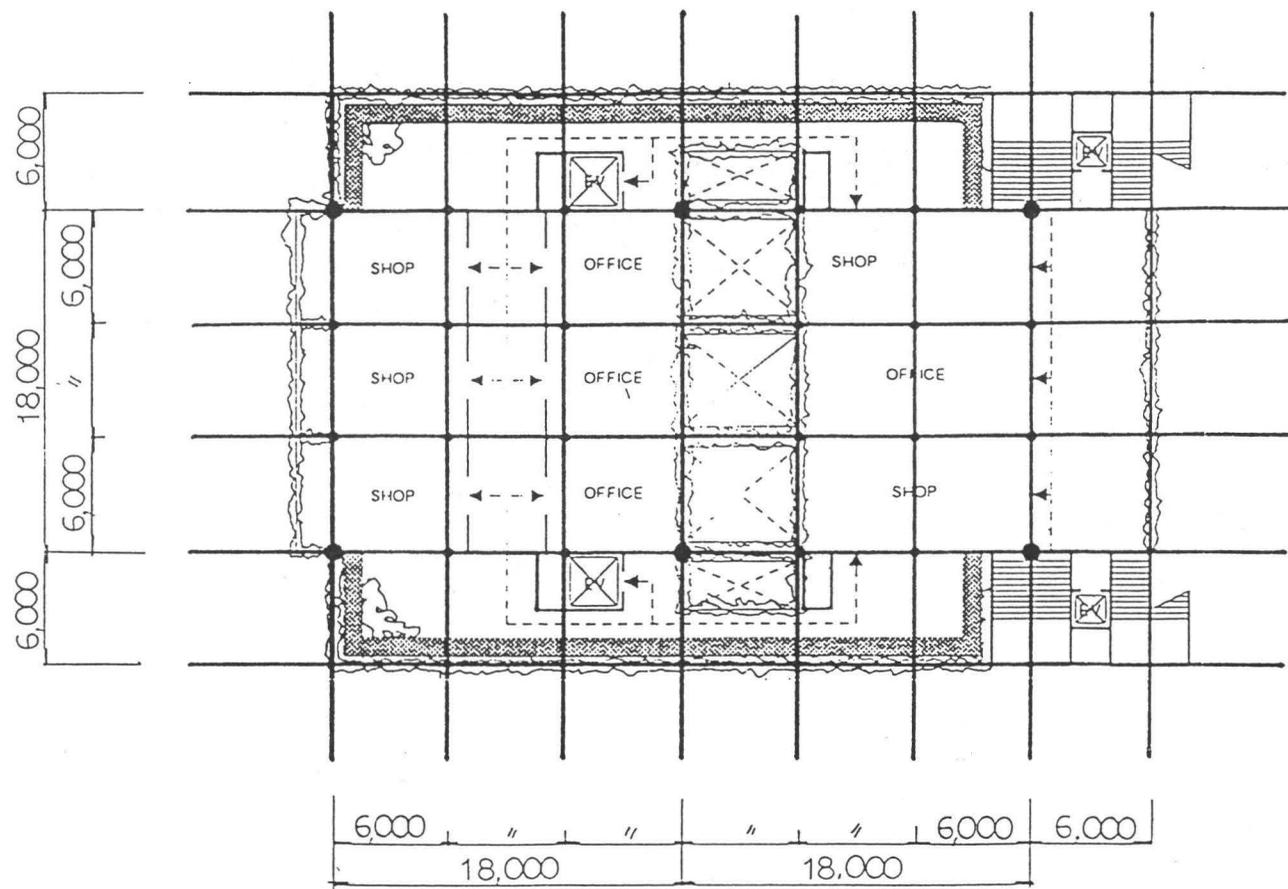
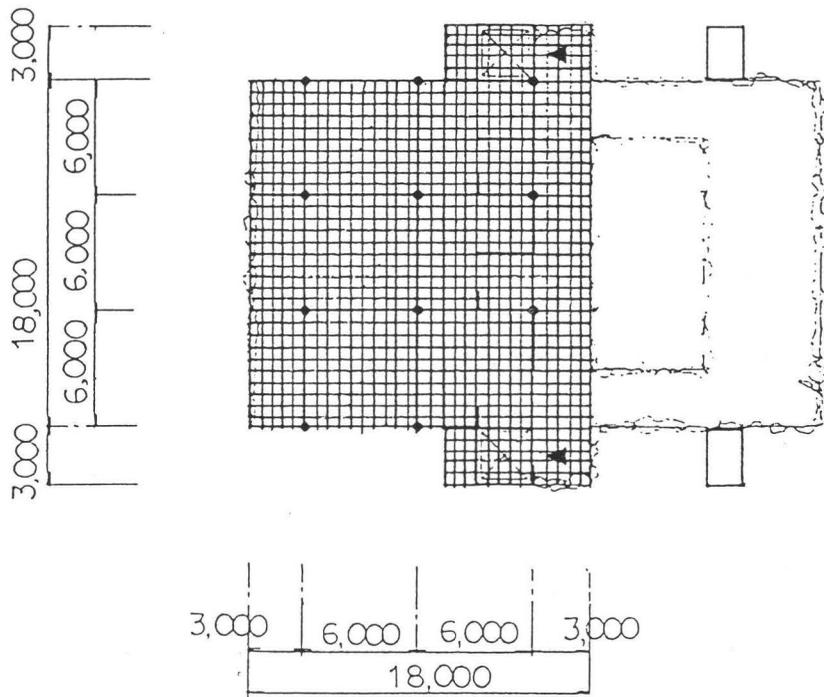
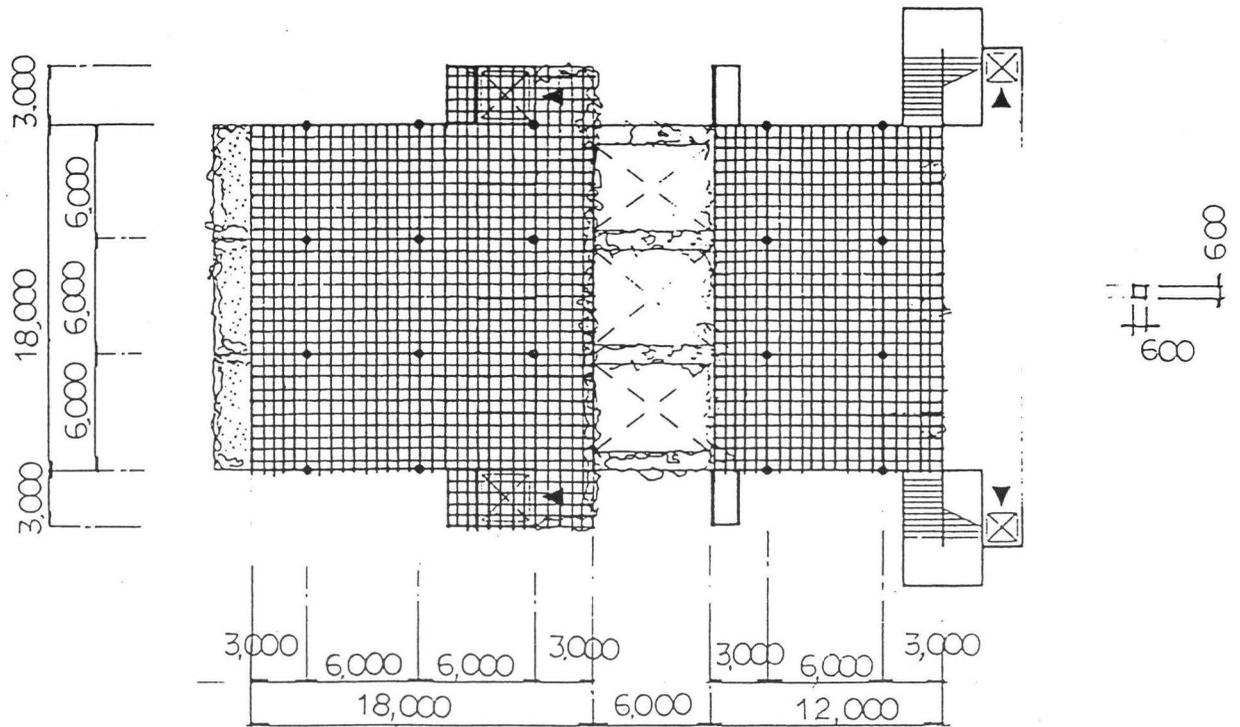


図2-2) -② 詳細グリッド(600ミリ) によるモジュール



2-3) フレームモデルの比較案と視覚的要素

これまで検討してきたフレームモデルは、市街地の敷地としては30m×50m程度であり、それに対応する人工地盤のフレームは18m程度のスパンを2つ程度もつ形式である。しかし、市街地の状況によっては、ひとまわり規模が大きなフレーム連結もありうる。この場合、18mのスパンを踏襲すると、18mが3つ程度組み合わさったフレームが出来上がる。図2-3)-①にその断面方向を示す。

このような人工地盤の構成については、建築的要素だけでなく、具体的な市街地の用途や敷地規模、用途転用の可能性等に依存する部分が多い。その意味では、むしろフレームモデルのメニューを豊富にそろえるという意味が重要となってくるものと考えられる。

なお、人工地盤面より上部と下部とでは、これまでみてきたように、基本となるフレームのサイズが異なる。しかし、共通したモジュールに則して、むしろ形態の自由度と可変性を高められれば望ましいであろう。このような景観面での検討を行う場合には、外壁の位置や仕上げ等についてもある程度の自由性が確保されているわけであるから、その元になる空間的なモジュールを念頭におく必要が今後高まってくるであろう。

一例として人工地盤の上の形態の可変性と壁面の包括面を示す表現として図2-3)-②を示す。ここでは包括線は、外側に向かって壁の建つ位置が最大の大きさでどの範囲かを包括する面である。

図2-3) -① フレームモデルの比較案 (断面図)

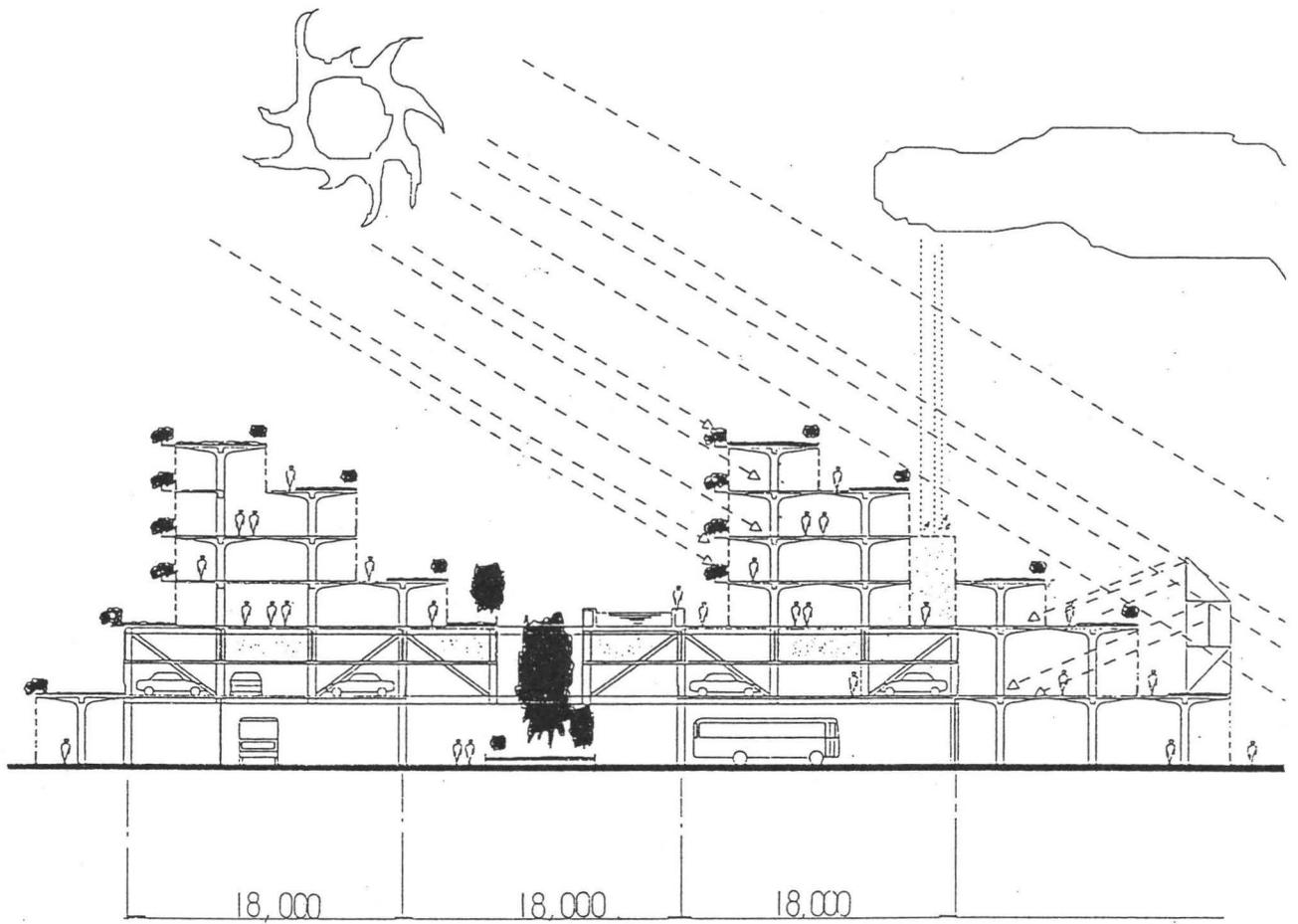
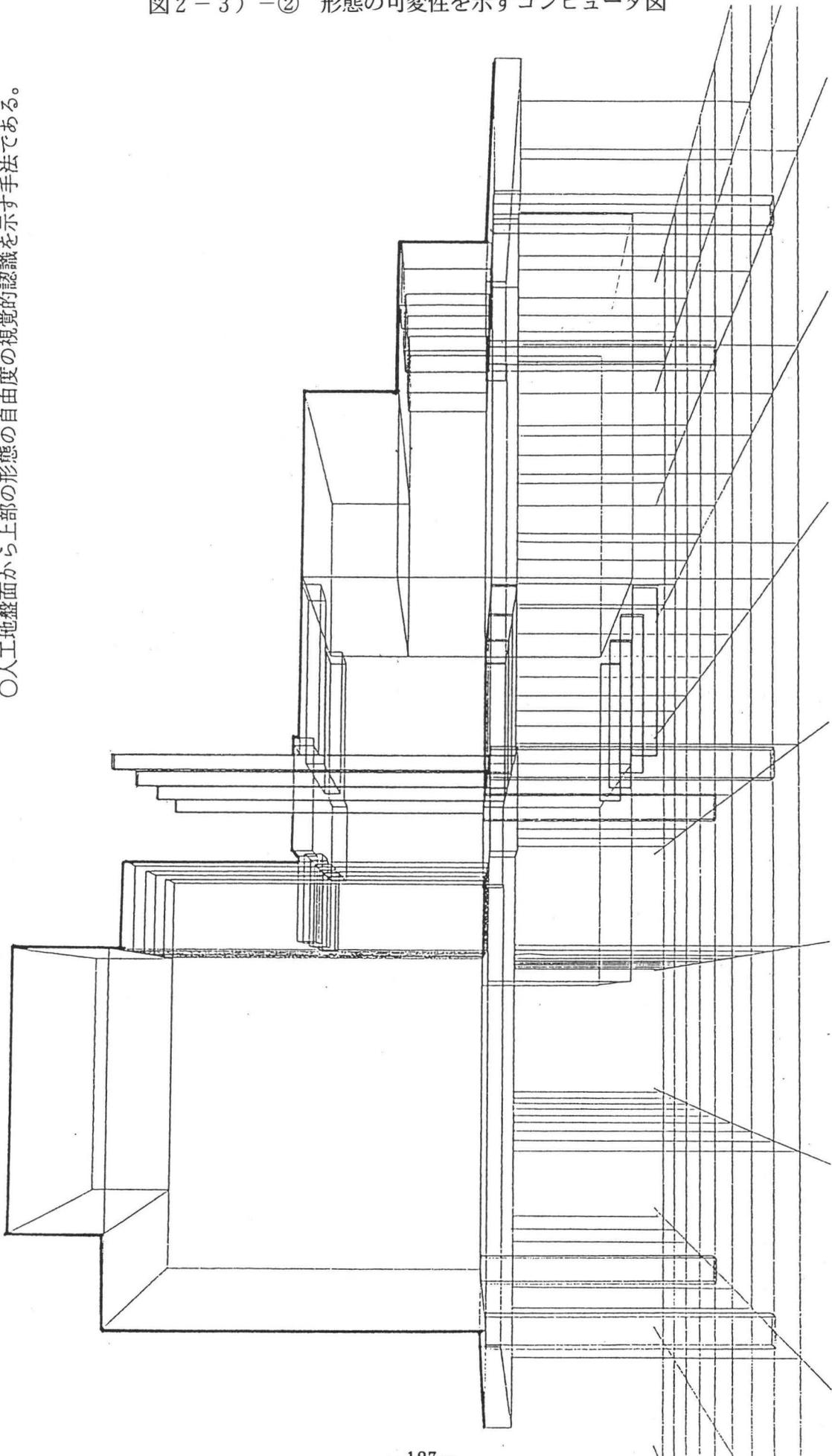


図2-3) -② 形態の可変性を示すコンピュータ図

○人工地盤面から上部の形態の自由度の視覚的認識を示す手法である。



3. 耐久性の総合的比較

3-1) 使用時間系列と耐久性

ここでは、ライフラインの耐久性と建物の耐久性を比較検討し、そのバランスあるいは交換的側面を明らかにする。

ライフラインを考慮する場合に時間的側面から評価することとなる。各機能と目的に則した使用年数を、どのように設定するかがもっとも重要となる。本検討では、建物の構造部については、一般的な耐用年数（60年あるいは65年）を越えた年数である100年程度の耐久性をもつもので構築すると考えている。従って、もっとも長期にわたる使用に供する尺度としての100年を時系列分類の出発点とする。

その最大期間の設定に続いて、次に示すような判断区分によって、建築物を構成する主要な指標による区分を試みる。その区分によれば、最大公約数的な整理を行うと6種類の区分が可能となる。

建物全体の使用期間の時系列分類と、その対象

- | | |
|---------------|---|
| ○超長期(100年) | 主要構造部のうち、柱、梁及び主要な床（躯体） |
| ○長期（30年） | 垂直方向の設備空間及び人工地盤の領域設定 |
| ○中期（10年程度） | 昇降機械や台所設備、水回り関係の設備 |
| ○短期（3年～5年） | ベランダ等の使用対象等 |
| ○超短期（1年未満） | 可動的要素の強いもの |
| ○不定期（期限なし、随時） | むしろ社会的要請により、必要性が生じるもの
設備機器の中にはメンテナンスに伴い随時発生。 |

建築物の使用期間の整理に伴って、対応するライフラインの種類と位置

- | | |
|---------------|---|
| ○超長期(100年) | 各種都市設備のうち幹線の下水等 |
| ○長期（30年） | 各種都市設備の幹線系統 |
| ○中期（10年程度） | 昇降機械、室内間仕切り、 |
| ○短期（3年～5年） | 可動建具他 |
| ○超短期（1年未満） | 給排水設備のうちの操作部、部品等 |
| ○不定期（期限なし、随時） | 建築物サイドからの要求よりも建物に要求される機能や性能、
社会ニーズの変化に対応 |

対応する建築空間単位の規格の考え方

- | | |
|---------------|--|
| ○超長期(100年) | 本構想においては、基本の階高、スパンは変更なし |
| ○長期（30年） | 外壁線の位置（壁面として認識した場合） |
| ○中期（10年程度） | 室内間仕切り等の位置に対応したモジュール |
| ○短期（3年～5年） | 可動建具等の個別のモジュールに依存 |
| ○超短期（1年未満） | 給排水設備の部品等であるから、モジュールとは別 |
| ○不定期（期限なし、随時） | 建物に要求される機能や性能、社会ニーズの変化に対応して、
上記のモジュールの中から選択 |

□立体街路・人工地盤等の都市的要素と対象

- 超長期(100年) 人工地盤の上部と下部の都市機能の分担関係
- 長期(30年) 住宅、業務等の都市活動の機能別設定
- 中期(10年程度) 都市情報ネットワークや関連する情報機器
- 短期(3年～5年) 可動の植栽や街灯など
- 超短期(1年未満) 一時的に設定される催事用機能
- 不定期(期限なし、随時) 都市的要素に関しては、むしろ不定期の対象は機能や性格によらず発生する

このような区分によって、時間的な要因が建物を構成する各部位や設備等の転用や再利用を促進することが期待できる。超短期の場合は別としても、短期から長期にわたる期間においては、その時代時代の要請を受けながら、建築物の各部位の転用や可変性を維持する必要がある、それはとりもなおさず、前に述べたような汎用的モジュールを基本とした部材の構成を要求するであろう。

その場合、外壁や屋根のように、ある程度エレメント全体を解体撤去し、新しく設置する構成要素の場合には、超長期的要素である構造物のモジュールを基本とすることになろう。具体的には、6,000ミリの基本モジュールなどが該当するであろう。

なお、このようなモジュールと構成部材の形状や形態との関係は、転用可能性によって資源のリサイクルにも間接的には貢献できると考えられる。間接的というのは、対象施設あるいは対象となる街区の中だけで、資材の利用が完結させることは現実には無理があるであろうと容易に想定される。従って、資材の流通や情報システム等の、別の領域における対応が整備される必要がある。

3-2) 標準化とフレキシビリティ

ライフラインは、整備に必要なコスト削減や環境負荷の低減といった社会的要請を強くうけている。一方で市街地の環境整備を、建築物だけでなく道路や広場あるいは防災施設等と一体的な整備の中で、実施していくこともまた、今日的課題となってきた。

本検討では、フレームの中にライフラインを位置づける場合に、建築空間や市街地景観として、それがどのような具体的な姿を伴うかについて検討を試みた。確かに、非常に長期にわたって耐久性を確保すべき構造体等に、適切なモジュールとグリッドを付与すれば、建築部材や構成要素との整合性を図ることも充分可能であることが示される。

しかし、転用性を高めることは、資源の再利用やリサイクルだけに寄与するというよりも、むしろ、空間の自由度を高めておける建築空間であり市街地空間であることの方が意味が大きい。設備等の償却に伴う入替えなどに際して、空間全体のフレキシビリティが高いことは、建物の用途や社会的なニーズへの対応性が高いことを意味する。

ここで、物的な意味での空間の転用性や可変性について、それを可能にできるフレームのありかたの妥当性をいくつか得られたが、逆にいえば、よりソフトな問題についての考察が課題として浮き彫りにされる。例えば、法的な問題、権利関係や権利調整といった問題である。また、ライフスタイルの変貌といった別のソフトな課題もあり、これらのソフトな問題に対しての検討を、物的な環境に対して行う必要があるだろう。

11. 環境保全型省エネルギー パーティクルボードの開発

東京大学農学部林産学科助手

信 田 聡

1. はじめに

パーティクルボードとは木材チップ（削片）に接着剤を塗布してマット状にフォーミングし、これを熱圧成型した板状製品である。木材から生産される板材料としては合板が最も良く知られているが、パーティクルボードも住宅部材、家具材料などの造作材料を中心として多く利用されている。

パーティクルボードの原料は木材チップであり、チップ用原木のほか住宅および木材構築物の解体材や木材工業における諸製品製造中に発生する端材を粉砕することにより得られる。換言すればパーティクルボードは木材のリサイクル、木質資源の有効利用に寄与する材料である。

パーティクルボードは木材繊維の持つポーラスな構造がもたらす断熱性に富み、金属、石材、プラスチックなどの材料と比較しても熱伝導率が低く、一般的には断熱材のテリトリーに分類できる材料である。したがって住宅の壁、床などの面材として利用する場合には、冷暖房負荷を軽減する省エネルギー材料といえる。また快適な住空間を創り出すための材料ともいえよう。

一方、パーティクルボードは接着製品であり、ユリア樹脂、ユリアーメラミン樹脂、フェノール樹脂などの接着剤が製造のために使用される。これらの熱硬化性樹脂は一度固化すると安定するためなかなか分解しない。そのため廃棄時の処理、環境負荷が大きいことが問題となる。木材チップ自体は例えば土中の微生物により生態系を破壊せずに自然に分解され土に戻る環境保全型材料である。

パーティクルボードは木質を原料とする「環境保全型」、「省エネルギー型」であるメリットを有するとともに、解決すべき問題点を内蔵している。本研究では前述の背景に鑑み、地球に優しく廃棄しやすく、断熱性の高い「環境保全型省エネルギーパーティクルボード」の開発を試みた。

2. 研究の方法

材料の断熱性向上（省エネルギー化）および接着剤使用を極力抑えた材料製造（環境保全型）という2つの目的を達成するために以下のような方法、材料開発を試みた。

材料の断熱性は熱伝導率で評価できるが、熱伝導率は材料の比重（密度）と相関があり、比重が小さいほど熱伝導率も低くなり、断熱効果が増す。したがって、木質材料の低比重化＝断熱性向上、となる。断熱性能向上とは、言い換えれば、いかに多くの空隙（独立気泡）を材料内に確保するかということである。

接着剤使用を少なくするには、木材チップ間の接着を行うための代替バインダーを考慮する必要がある。しかも断熱性の良いバインダーが望まれる。これらの2つの条件を満たす材料として、本研究では木材チップ（エレメント）＋ポリスチレンフォーム複合材料を考えた。

ポリスチレンフォームを用いることで、材料の骨格をなす木質エレメント形状および空隙構造をつぶさずに成形体を得ることができる。同時にポリスチレンフォームは接着剤の代替となり、骨格となる木質エレメント間に充填され強度発現に寄与する可能性がある。

本研究では木材チップ／ポリスチレンフォームの複合による木質材料の製造条件の検討、ならびに成形体の曲げ試験、圧縮試験、熱伝導率測定を行い検討した。

3. 木質材料の種類、製造法、用途

パーティクルボードに関する研究報告をする前に木質材料とは何かということについて、言及したいと思う。以下に代表的な種類、製造方法、用途について述べる。

木質材料を造り方の特徴から定義すれば、『木材を細分化し、あらためてこれを接着剤で合体しなおした材料』ということができる。

木質材料に共通している作り方は、まず丸太や廃材を機械を用いて、ひき板（ラミナ）、単板（薄い板、ベニア）、木材小片、チップ、木材繊維などに細かく分割する。これらをエレメントと呼んでいる。続いてエレメントを乾燥する。水分は木材の狂いや割れの原因となるので、これを減らし接着しやすくする。次に、エレメントに接着剤を加え成形・接着して製造する。仕上げに、決まった寸法に裁断したり、表面を磨いたり塗装などが行われる。この段階で木質材料はほぼ完成である。これらの工程の途中あるいは最後に薬品処理、樹脂処理などを加えて、耐久性や寸法安定性などを向上させる。

このように木材をエレメント化、再構成、成形、接着というプロセスで再構成させた材料を木質材料といっている。合板や集成材、LVL、パーティクルボード、OSB、ウエファーボード、繊維板（ファイバーボード）、といった数多くの木質材料が利用されている。

(1) 集成材

集成材（グルーラムまたはラミネードウッド）は、厚さ20mm程度のひき板あるいは小角材などからなるラミナ（集成材のひとつの層を構成する板）を繊維方向を平行にして、必要な長さ、幅、厚さに集成し、接着剤を用いて接着した材料（図1）である。接着剤を用いないで釘やボルトなどで結合した材は集成材と言わない。

集成材の種類と定義および用途を表1に示す。種類は造作用集成材、構造用集成材に分けられ、さらにそれぞれ素地のままのものと表面を薄板などで化粧ばりしたものに分けられる。また構造用大断面集成材を入れて合計5種類がある。最近規格改訂があり、種類が整理される。

表1 JASによる集成材の種類と定義

用語	定義	主な用途
造作用集成材	ひき板もしくは小角材などを集成接着した素地のままの集成材、ひき板の積層による素地の美観を表した集成材、またはこれらの表面に溝切りなどの加工を施したものであって、主として構造物などの内部造作に用いられるものをいう。	階段の手すり、カウンタ、壁材、パネルの芯材
化粧張り造作用集成材	上記素地の表面に美観を目的として薄板を張り付けた集成材、またはこれらの表面に溝切りなどの加工を施したものであって、主として構造物などの内部造作に用いられるものをいう。	長押、敷居、鴨居、差し掛け、上り框、床板、床框
構造用集成材	所要の耐力を目的としてひき板（幅方向に接着して調整した板および長さ方向にスカーフジョイント、フィンガージョイントまたはこれらと同等以上の接合性能を有するように接着して調整した板を含む）を積層した集成材であって、主として構造物の耐力部材として用いられるものをいう。	柱、けた、梁、わん曲アーチ、コンテナの床
化粧張り構造用集成材	上記の表面に美観を目的として薄板を張り付けた集成材であって、主として構造物の耐力部材として用いられるものをいう。	木造住宅の柱、通し柱、半柱
構造用大断面集成材	上記の構造用集成材のうち、幅が7.5cm以上で、かつ、積層厚が15.0cm以上のものであって、主として構造物の耐力部材として用いられるものをいう。	柱、けた、梁、わん曲アーチ、まぐさ、木造船の竜骨、橋梁

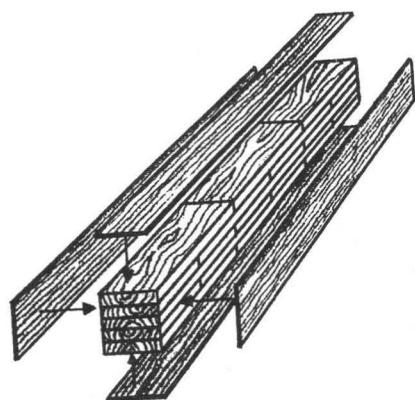


図1 集成材

現在最も多く生産されているのは長押（なげし）、鴨居、敷居などに用いられる化粧ばり造作用集成材で、集成材全体の生産量の45%程度である。

造作用集成材を例にとり製造法を説明する。使用するラミナはベイツガ、ベイスギ、北洋エゾマツ等の針葉樹の輸入材が多く、寸法は厚さ20mm前後、幅120mm前後である。これを含水率8-15%まで乾燥する。乾燥したラミナはプレーナーなどで寸法を揃える。同時に大きな節や乾燥による狂いが著しいラミナは、その部分を除去したあと長さ方向にたて継ぎする。継ぎ方は水平型ミニフィンガージョイント（図2）が多く用いられる。

次にラミナに接着剤を塗布し5枚程度積層する。このユニットを30~100まとめて積み上げコールドプレスで圧縮して、ターンバツ

クルのような治具を用いて圧力を保持しながら50~60℃の養生室で1昼夜保温する。養生した芯材は帯鋸で小割し、モルダーで切削して表面を仕上げます。次に化粧張り単板を芯材に貼る。日本人の好みからヒノキやスギの単板が多く、厚さ0.6~1.5mmのものが用いられる。芯材の表面に接着剤を塗布して化粧単板を積層して仮留めした後、多段ホットプレス（100-110℃）で硬化させる。その後耳取り、接着剤のはみ出しなどを取りのぞく。最後に製造された化粧ばり集成材は長さ決め、表面仕上げを行い完成。

最近、大断面集積材がドームなどの大規模木構造物に利用されている。

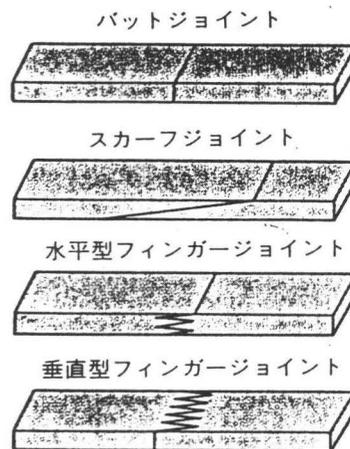


図2 ひき板の縦つき

(2) 合板

合板（プライウッド）とは木材を薄く剥いだ奇数枚の単板を繊維方向が直角になるように交互に積層接着した板をいう（図3）。一般にはベニア板と呼ばれることが多いようだが「ごうはん」という名称が正式である。

合板の製造方法を大きく分けると①調木（原木仕入れ、仕分け、貯木）、②単板製造（原木加熱、玉切り、剥皮、切削）、③乾燥、④調板（単板の縦つぎ、幅はぎ、補修）、⑤接着（接着材調整、塗布、圧縮）、⑥仕上げ（裁断、表面仕上げ、補修、検査）になります。単板は図4に示すようにロータリーレースを使用して造ることが多く、丸太の軸を中心に回転して、平行に当てたナイフで連続的に単板をはぎ取ってつくる。はぎ取られた単板はドライヤに送られ搬送中に加熱空気で含水率5～10%に乾燥される。単板は様々な寸法をもっているため、所定の寸法の合板をつくるために、調板という工程で、単板の接ぎ合わせ、虫穴、腐れ、節などに対して埋め木など補修をする。接着剤の塗布が円滑に進ように、合板の構成に応じて単板を分け重ねる、仕組みを行う。次に接着剤を塗布して、単板を組み合わせ、はじめコールドプレスで仮接着した後、ホットプレスで熱圧して接着剤を完全に硬化させる方法が多くとられる。仕上げに所定寸法に裁断すること、および表面を仕上げるが行われる。

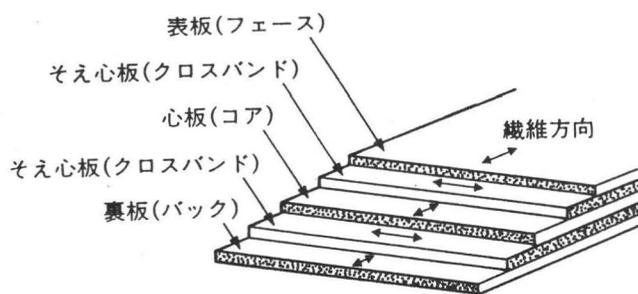


図3 合板の構成（5プライの場合）

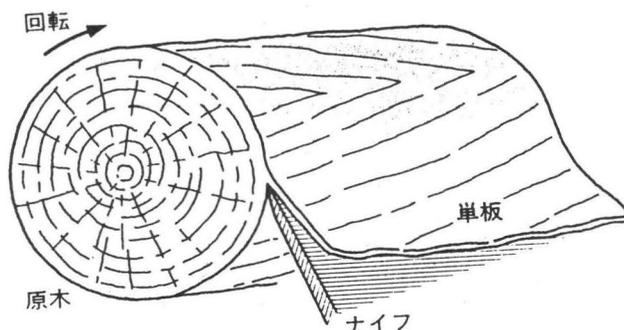


図4 ロータリー単板の製造方法

合板の種類は多くさまざまに分類できるが、日本農林規格(JAS)では、普通合板、コンクリート型枠用合板、構造用合板、足場板用合板、パレット用合板、特殊合板、防火戸用合板、難燃合板、防災合板などの規格が制定されている。さらにその中にいくつかの等級がある。特殊合板は種々の目的で表面に紙や天然木化粧単板（つき板）をオーバーレイしたり、木目印刷や塗装などの処理、加工がされているものをいう。

合板は木材の長所を多く引き継いだ最も優れた木質材料であり、家具、建具などの目に触れない部分に利用されているほか、化粧的に建築内装にも利用されている。現在では、木質系住宅の壁の面材として建築構造用に広く利用されている。

(3) LVL

LVLはLaminated Veneer Lumberの頭文字を並べたもので、日本語で単板積層材という名称がある。これは前出の図4に示したロータリー単板あるいはスライスト単板を繊維方向が平行にな

るように積層接着した製品である。(図5)。単板の厚さは2mm～6mm程度が普通。積層数は数層から数十層に及ぶものがある。LVLは板ではなく、製材の柱や梁のように一般には幅が狭く軸方向に強い棒状製品です。

LVLの製造方法は、単板切削から乾燥までは合板の製造方法と、それ以降は集成材の製造方法と類似しています。したがって、わが国では合板製造ラインと兼用して製造されていた。最近はLVL用の製造システム開発が活発である。

単板の乾燥は合板の製造と同様な熱風式連続ドライヤーのほか熱盤プレスで圧縮して乾燥することもある。長い製品を造る場合には単板と単板との繊維方向の接合部が製品の強度性能に重要な影響を与えるため、調板工程

では単板の縦つぎの方法として図2に示したような、フィンガージョイント、スカーフジョイント、単板と単板を突き合わせたバットジョイントなどを行う。また縦つぎ部は分散させ強度性能の低下を小さくする。接着方法は、冷圧、熱圧、高周波による加熱があるが、それぞれに連続、間欠方式がある。このうち熱圧連続法は加熱されたキャタピラ、ローラなどの圧縮装置に単板を連続して送り込み積層接着します。エンドレスに成形されたLVLは横切りして定尺に裁断される。

北米ではLVLは足場板、ガードレールの支柱ほか、住宅などの構造部材、例えばトラス、根太、梁などに使われている。またLVLをフランジ(上下の縁)に、ウェブに合板を用いたIビームが店舗、住宅、体育館などに数多く利用されている。

(4) パーティクルボード

パーティクルボード(削片版)は日本工業規格(JIS A 5908)では「木材の小片を主な原料として、接着剤をもって成形熱圧した密度 0.5 g/cm^3 以上 0.9 g/cm^3 以下の板」と定義されている。

近代の工業化パーティクルボードは、戦後のヨーロッパにおいて戦争中の森林の乱伐によって枯渇した木材資源を補うために、森林育成の際に生じた間伐材や林地残材を用いた復興資材(板材料)として登場した。工業化は1930年から1940年にかけてドイツ、スイスで鋸屑から単層ボードを造ったのがはじめである。わが国には1950年代前半に西ドイツから技術指導入された。

従来のパーティクルボードのほか、最近では北米で生産される配向性ストランドボード(OSB)、ウエフアーボード(WB)などの構造用板材料がこの仲間に入った。日本農林規格(JAS)では、床、壁下地などの建築用を意図して製造されるOSB、WB、単板張りパーティクルボード(コンプライ)を構造用パネルと呼んでいる。

パーティクルボードは均質な製品の大量生産が可能で、遮音性、断熱性、音響特性、加工性が良いことから、家具、建築、電気器機などに利用されている。

配向性ストランドボード(OSB)は繊維方向に細長くて平なストランドパーティクルを原料とし

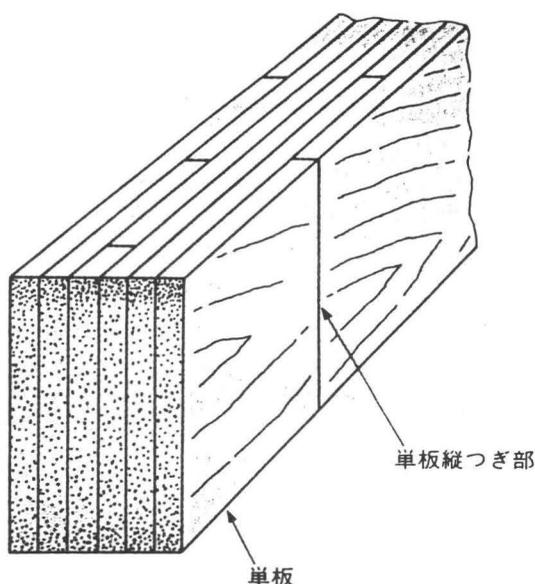


図5 LVL(6プライの場合)

て、これに接着剤を塗布して、機械的または電氣的に表面層のストランドの繊維方向がほぼ一定の方向に並ぶように、また芯層の繊維方向は表裏層と直交するようにして3層（5層構成もある）として熱で圧縮した材料である。北米では、合板と同じ構造用材として利用され、合板代替材料として利用されている。

ウエファボード（WB）は、長さ30mm以上で厚さが0.3mm～0.8mmの方形状のウエファーパーティクルを原料として、繊維方向がランダムになるように配列して、粉末状の接着剤を用いて熱圧成形したボードである。低廉な構造用ボードとして北米では、屋根下地材、壁下地材として利用されている。

パーティクルボードの分類は表2に示すように、いくつかの区分法により分類できる。例えば曲げ強さによる区分では6種類に分けられている。200、150、100タイプは従来のパーティクルボードを指す。250-90タイプは単板張りパーティクルボードがこれに当たる。240-100タイプ、175-105タイプはOSBやWBに該当する。

(5) 繊維板

繊維板（ファイバーボード）は、主として、木材を繊維状にほぐして、これを成形して板にしたものの総称である。板の比重によって、三つに分類されている。比重が0.8以上のものは硬質繊維板（ハードボード）、0.4以上0.8未満を中質繊維板（MDF、ミディアム・デンシティ・ファイバーボード）、また0.4未満を軟質繊維板（インシュレーションボード）という。

表2 パーティクルボードの区分と品質基準

(1) 表・裏面の状態による区分	素地パーティクルボード：表・裏面が素地のままのもの 単板張りパーティクルボード：表・裏面に単板を張ったもの 含浸紙張りパーティクルボード：表・裏面に合成樹脂含浸紙を張ったもの
(2) 曲げ強さによる区分	200タイプ：曲げ強さが縦・横方向とも180kgf/m ² 以上のもの 150タイプ：曲げ強さが縦・横方向とも130kgf/m ² 以上のもの 100タイプ：曲げ強さが縦・横方向とも80kgf/m ² 以上のもの 250-90タイプ：曲げ強さが縦方向250kgf/m ² 以上、横方向90kgf/m ² 以上のもの 240-100タイプ：曲げ強さが縦方向240kgf/m ² 以上、横方向100kgf/m ² 以上のもの 175-105タイプ：曲げ強さが縦方向175kgf/m ² 以上、横方向105kgf/m ² 以上のもの
(3) 接着剤・ホルムアルデヒド放出量による区分	Lタイプパーティクルボードは、家具、キャビネット等に適する。 Mタイプパーティクルボードは、建築（床下地・屋根下地等）等に適する。 Pタイプパーティクルボードは、建築（床下地、屋根下地、外壁下地等）等に適する。 Poタイプパーティクルボードは、特に低いホルムアルデヒド放出量を求められる用途に適する。
(4) 難燃性による区分	普通パーティクルボード 難燃パーティクルボード（難燃2級、3級）

硬質繊維板（ハードボード）は木材繊維に合成樹脂を加えて熱で圧縮して製造したものである。強度が強く、曲げたり穴あけが容易にできるため、自動車内装、建築、家具、電気器具に用いられる。

中質繊維板は、硬質繊維板より強度は落ちるが、加工しやすいため、建築、家具用として利用が増えつつある。乾式法で製造されるMDFは、薄物から厚物まで製造でき、表面が平滑で、緻密かつ加工性が良いため家具木工分野で多く利用されている。

システムキッチンの扉などの造作用部材には、MDFを基材として表面に樹脂フィルムなどをオーバーレイした製品が利用されている。

軟質繊維板は、製造過程で圧縮されないで連続乾燥して製造されるもので、断熱性、吸音性に優れている。軟質繊維板は、A級、B級、シージングボードおよびT級に細分化されています。品質としてはA級が優れている。シージングボードはA級にアスファルトを含浸または塗布して、耐水性、防湿性、耐久性を高めた黒いボードである。建築用として床や壁の下地材や天井の下地材に利用されている。T級は畳床として利用され近年需要が伸びている。

ファイバーボードの製造方法は原料繊維の搬送、成形の手段として大量の水を使用するか、空気を利用するかによって、湿式法と乾式法に分けられる。いずれも調木、繊維化、成形、乾固の工程を経て製造される。原料は、主に合板、製材工場の廃材チップを使用する。これらをまず繊維化（パルプ化）するためにチップを高圧の飽和蒸気で数十秒高温で処理し軟化させた後、ディスクリファイナーで解繊する。湿式法では、この後強度補強用のサイズ剤が添加され、長網式フォーミングマシンで脱水成形される。成形の後温度 175～200℃で熱圧熱処理され最後に調湿される。乾式法は繊維に含まれる水分を除くため長い管の中を熱風で繊維を搬送しながら乾燥する二段式のチューブドライヤーで乾燥する。接着剤はチューブドライヤーの途中で空気流の攪乱を利用して塗布（ブレンディング）される。その後、成形・熱圧されて製品となる。

4. 材料の断熱性

4.1 木質材料の熱伝導率

材料の断熱性の指標としては、熱伝導率がある。比較法（JIS A 1412）により測定した材料別の熱伝導率の結果を表3に示す。

木材および木質材料はおおむね 0.1kcal/mh℃以下の熱伝導率を持ち材料自体が高い断熱的性能を保持することを示している。

4.2 熱伝導率－密度の関係

表3の結果を用いて、熱伝導率－密度の関係を示したのが図6である。測定範囲内では直線的な関係があることがわかる。すなわち、密度が大きくなるほど熱伝導率も高くなっている。

炭酸マグネシウム板、木片セメント板など無機系材料の添加により断熱性は低下している。一方スギ、ヒノキといった木材は密度が低く熱伝導率は小さい。パーティクルボード、ラワン合板など木質材料は両者の中間の値を示す。

4.3 熱伝導率－含水率の関係

図7は合板、パーティクルボード、シージングインシュレーションボードの熱伝導率の含水率依存性を調べた結果である。

含水率（乾量基準）が高くなるほど熱伝導率は大きくなる。

表3 木材・木質材料の熱伝導率

名 称	全乾 密度 (g/cm ³)	熱伝導率*1 ($\frac{\text{kcal}}{\text{mh}^\circ\text{C}}$)
ヒノキ(柎目板)	0.345	0.0549
スギ(柎目板)	0.293	0.0531
スギ(板目板)	0.294	0.0639
ベイツガ(板目板)	0.464	0.0769
アカマツ(板目板)	0.537	0.0970
ブナ(板目板)	0.622	0.0938
パ-ティクルボ-ド*(12mm,フェノール)	0.619	0.0775
パ-ティクルボ-ド*(15mm,フェノール)	0.646	0.0873
木片セメント板(12mm)	1.006	0.1270
パ-ティクルボ-ド*(15mm,エリメラミン)	0.690	0.0851
合板(12mm,タイ°I)	0.496	0.0857
合板(12mm,タイ°II)	0.498	0.0715
合板(3mm)	0.609	0.0750
シージソクインシュレーションボ-ド*(12mm)	0.329	0.0488
炭酸マグネシウム板	0.758	0.1260

*1：温度0℃における値（熱伝導率－温度関係を調べる実験結果の一次回帰式から外挿した値）。

() 内数字は厚さおよび接着剤種、規格

[出典] 信田 聡：“木質材料・木質壁体の断熱性能に関する研究”、東京大学博士論文、p.10 (1982)。

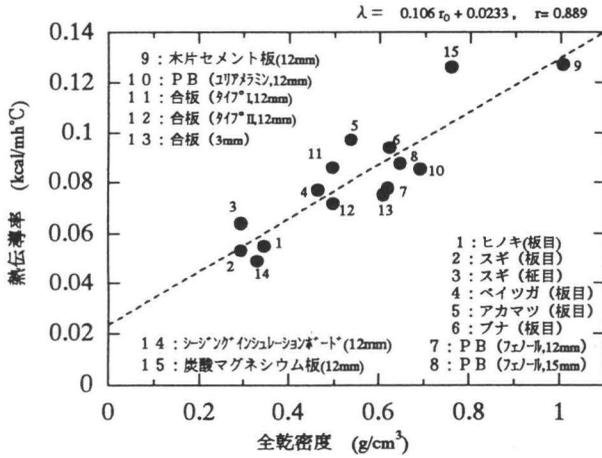
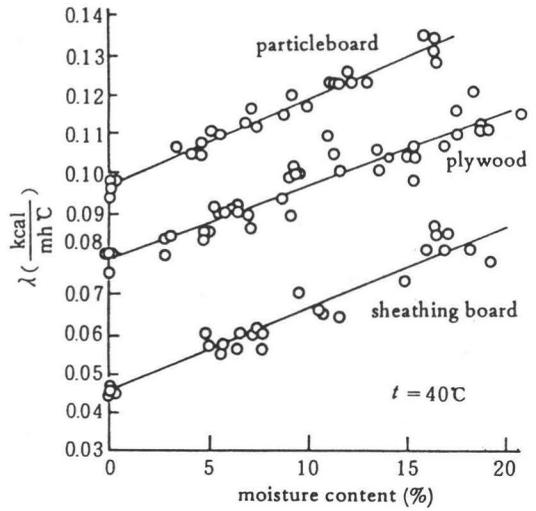


図6 木質材料の熱伝導率と密度の関係
注) PB: ハ°-ティクルボード。



Relation between thermal conductivity (λ) and moisture content.

t : material temperature

図7 木質材料の熱伝導率と含水率の関係

シージングインシュレーションボード: $\lambda = 0.0020u + 0.046$

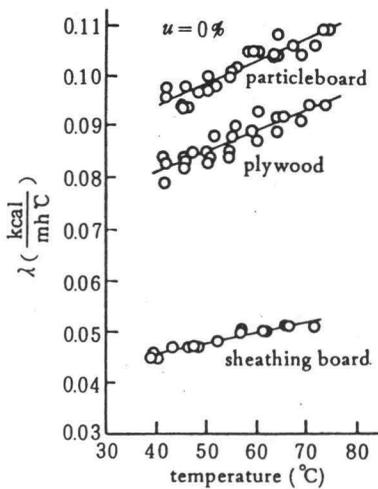
合板: $\lambda = 0.0018u + 0.079$

ハ°-ティクルボード: $\lambda = 0.0021u + 0.097$

(信田 聡: 木材学会誌, Vol.26, No.2, 112-117 (1980))

4.4 熱伝導率-材料温度の関係

また、熱伝導率は温度によっても変化するが、図8は、温度変化に伴うパーティクルボード、合板、シージングインシュレーションボードの熱伝導率の変化を測定した結果である。温度の上昇とともに熱伝導率は大きくなる。



Relation between thermal conductivity (λ) and temperature of materials.

u : moisture content

図8 木質材料の熱伝導率と材料温度の関係

シージングインシュレーションボード: $\lambda = 0.00020t + 0.0038$

合板: $\lambda = 0.00040t + 0.0065$

ハ°-ティクルボード: $\lambda = 0.00042t + 0.0078$

(信田 聡: 木材学会誌, Vol.26, No.2, 112-117 (1980))

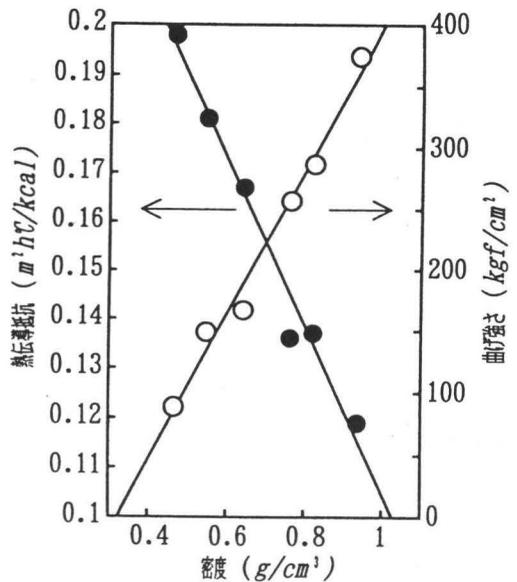


図9 パーティクルボードの密度と熱伝導抵抗 (d/λ) および曲げ強度の関係。

注) ハ°-ティクルボードの厚さは15mm、フェノール樹脂接着剤を使用。含水率10%、温度25°Cで測定。(出典: 信田、未発表資料)

4.5 パーティクルボードの熱伝導率の曲げと強さの関係

図9は密度を0.4~0.9(g/cm³)程度まで6段階に変えて製造した単層パーティクルボードについて、その熱伝導抵抗(厚さ/熱伝導率)および曲げ強度を測定した結果を示した。

熱伝導抵抗は密度が低下するとともに、増加し、断熱性能が向上した。一方密度低下とともに曲げ強さは低下した。断熱性に着目すれば低密度化を目指すことになるが、その場合には機械的強度は低下する。断熱性能と機械的強度は一般的には相反する。本研究においては、木材チップとポリスチレンの複合化を試み、断熱性能の向上とともに強度の向上も目指している。

4.6 ポリスチレンフォームの断熱性

ポリスチレンフォームは、ビーズ状あるいはペレット状のポリスチレン樹脂に発泡剤を加えたものをスチームで加熱、発泡させ、熟成後これをさらに金型内で加熱して再発泡させて一体化させた発泡製品である。軽量で優れた緩衝特性、断熱性能を持ち、耐水性の高いポリスチレンフォームは、家庭電気製品や精密機械の包装用、魚箱用、建築物の断熱材用など多様面で使用されている。さらに発泡ビーズはセメント、砂および水と混練した軽量コンクリート、粘土と合わせた焼成した耐火レンガなどの窯業製品にも応用されている。1990年の国内販売量は24万トン以上、そのうち建材、断熱材として2万トン強が使用されている。

ポリスチレンフォームはJIS A 9511「ポリスチレンフォーム保温板」でA類に区分されている。表4に示すような断熱性能を持つ。

また、ポリスチレンフォーム保温板の熱伝導率と温度との関係を図10に示す。

表4 ポリスチレンフォーム保温板の熱定数

	密度 kg/m ³	熱伝導率 kcal/mh°C	比熱 kcal/kg°C	熱拡散率 m ² /h
特号	27	0.029		
1号	30	0.031	0.24~	
2号	25	0.032	0.36	31×10 ⁻⁴
3号	20	0.034		
4号	15	0.039		

断熱建材協議会編：”断熱建材ハンドブック”，p.52,養賢堂(1994)。

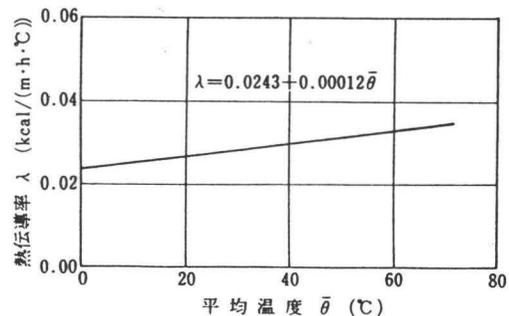


図10 ポリスチレンフォーム保温板の熱伝導率と(λ)と材料温度(θ̄)の関係

断熱建材協議会編：”断熱建材ハンドブック”，p.52,養賢堂(1994)。

図8に示した木質系の保温材であるシージングインシュレーションボードと比較すると、単位温度変化当たりの熱伝導率変化(直接の傾き)を見るとポリスチレンフォーム保温板は0.00012、シージングインシュレーションボードは0.0002で、ポリスチレンフォームの方が温度影響が少ない。

4.7 ポリスチレンフォームの機械的強度、耐水性

表5にポリスチレンフォームの機械的強度および耐水性を示す。密度は15~30(kg/m³)で非常に軽量である。それに対応する曲げ強度は2.7~5.9(kg/cm²)である。

完全独立気泡を持つポリスチレンフォームは耐水性に優れ、浸水による吸水量は極めて少ない。透湿係数も小さいことから住宅断熱材として使用する場合、特に高い防湿性能を持つ。

表 ポリスチレンフォームの機械的強度と耐水性

	密度 kg/m ³	曲げ強さ N/cm ² (kgf/cm ²)	圧縮強さ N/cm ² (kgf/cm ²)	引張強さ N/cm ² (kgf/cm ²)	吸水量 g/100cm ²	透湿係数 厚さ25mm当たり ng/(m ² ・s・Pa) (g/m ² ・h・mm・Hg)
特号	27	54 (5.3)	21 (2.1)	54 (5.3)	0.07	65 (0.03)
1号	30	60 (5.9)	23 (2.3)	59 (5.8)	0.05	62 (0.03)
2号	25	50 (4.9)	18 (1.8)	51 (5.0)	0.08	70 (0.03)
3号	20	39 (3.8)	13 (1.3)	43 (4.2)	0.15	85 (0.04)
4号	15	28 (2.7)	9 (0.9)	35 (3.4)	0.25	120 (0.06)

断熱建材協議会編：“断熱建材ハンドブック”，p.53,養賢堂
(1994).

5. 木材チップ／ポリスチレンフォーム複合材料の製造

5.1 実験方法

5.1.1 供試材料

(1) エレメント

実験に用いたエレメントは、原料としては、ゼファー（木材薄板をローラーで圧延したもの）チップを用いたものはヒノキ（厚さ 0.2から 0.4cm、比重0.42）、また彫刻刀によりカールした形状を加工したものはスギ（比重0.4）である。

エレメント形状は5.1.2項で後述するように実験、目的により異なる。

(2) ポリスチレンビーズ

ポリスチレンにはEPSとPSPがある。EPSはexpandable polystyrene、PSPはpoly styrene paper であり、前者のEPSを用いた。これはポリスチレンと低級炭化水素をまとめた形のビーズで、これを蒸気加熱して一次発泡させると、それぞれ独立して発泡した球形の一次発泡体を得られる。ポリスチレンフォームはこれを成形機にいれて得られるが、ここで用いた原料は一次発泡させた球状のビーズ（直径 3.5mm 0.0005g 比重0.03）である。（図11）。

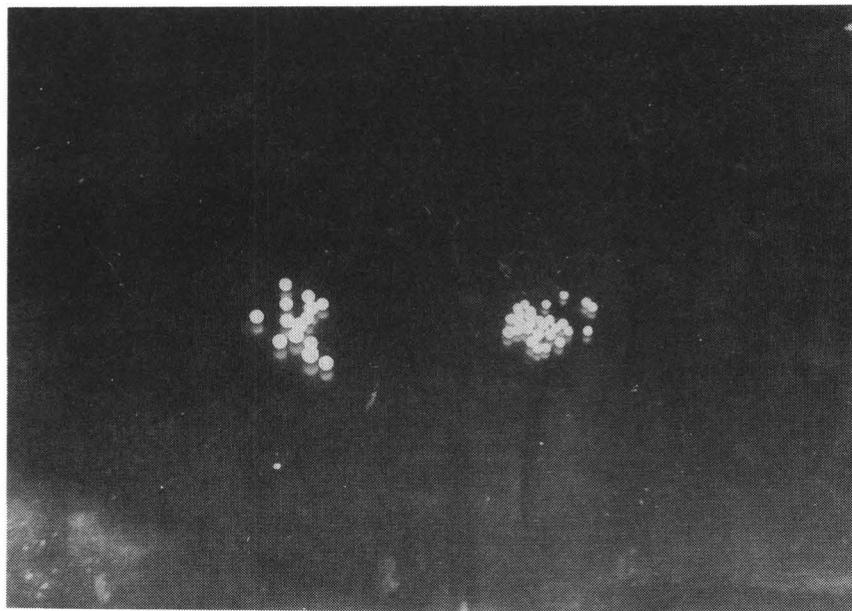


図11 一次発泡したポリスチレンビーズ

(3) 接着剤

接着剤の有無による材料の性能比較のために以下の接着剤を用いた。粉末メラミン接着剤「MP-01」（㈱ホーネンコーポレーション製）を水に溶かして用いた。

5.1.2 製造方法

(1) 製造フロー

木材チップ／ポリスチレンフォーム複合材料の製造方法のフローを図12に示す。

まず水（条件により水に接着剤を溶かす）に浸したチップ（条件により形状、寸法が異なる）を、ポリスチレンビーズと混合し、チップの周りにスチレンビーズを付着させたものを木製の型枠（21cm×19cm×厚さ4cm）に入れ、ホットプレス（上面温度140℃、下面温度160℃）にて圧縮は行わず加熱することにより、チップに吸着している水が脱離し、蒸気となり蒸気加熱を行った。その際、発泡体中に蒸気が入り込み発泡剤の役割をし発泡体同士が融着する。離型直前に、型枠をごくわずかに解放し内部の蒸気を外に逃がし製造した。成形体（図3）の寸法は20cm×17cm×厚さ4cmとし、比重は0.04から0.08程度である。製造条件はそれぞれ検討する目的により異なる。

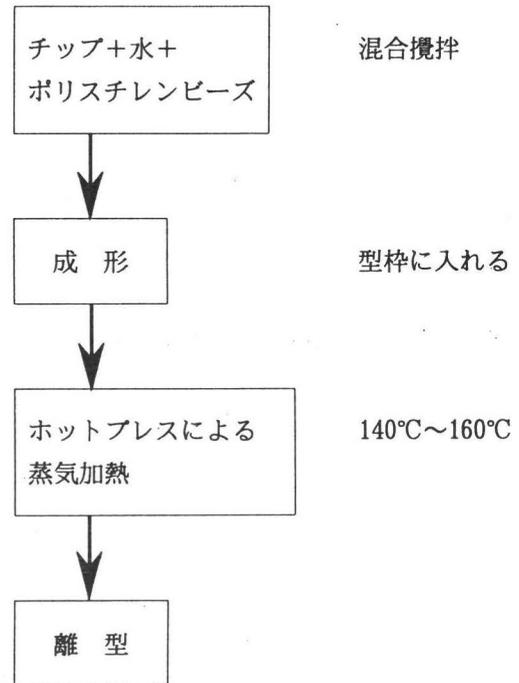


図12 木材チップ／ポリスチレンフォーム複合材料製造フロー

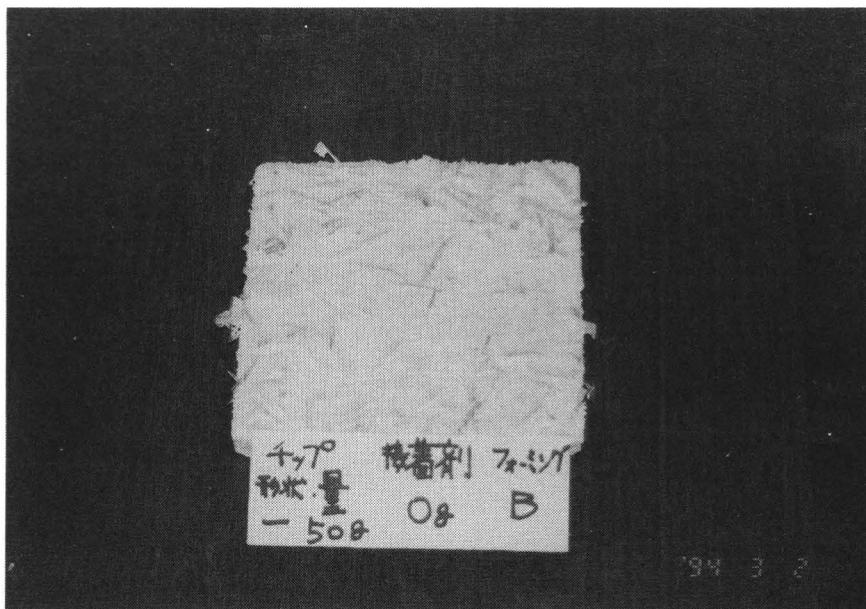


図13 成形体一例

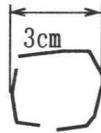
(i) 木質エレメントの接点数と曲げ性能の関係を見る実験

木質エレメント間の接点の増加に対する曲げ性能を見るために、長さが異なるチップを用いてその量を変えることにより接点数を変化させた。そこで、エレメントとして長さを2 cm、4 cm、6 cm（幅 0.5cmで同じ）に切削したゼファーを用い、形状は通直なもので、また接着剤添加率は0%、ポリスチレンビーズは20gとした。チップ量は各長さに対し15、25、35、45gと増加させた。

(ii) 木質エレメントの種類の違いと圧縮・曲げ性能の関係を見る実験

形状の異なるエレメントを用いることにより成形体内でのエレメントの空間配置を変化させ、接点を持ったエレメント同士の連続体が強度性能の向上にどのように影響するのか検討した。用いたエレメントの形状、寸法を表6に、成形体中のエレメントの空間配置を図14に示す。彫刻チップは、彫刻刀（三角刀）により切削することで、カールしている形状を与えたものである。三角エレメントの形状は、ゼファーから得たチップを切断し、ホチキスで止め、表6に示した形状にしたものである。エレメントの空間配置は(△△△)、(△▽△)については手で一つ一つの配向させたもので、ランダムと彫刻チップは配向させてないものである。接着剤添加率は0%、10%の2種類、ポリスチレンビーズは20g、チップ量は40gと一定にした。エレメントの成形体中での層構成は1層である。

表6 エレメント形状

	形状	長さ (cm)	厚さ (cm)	幅 (cm)
彫刻刀 チップ		7	0.1	0.21
三角		10	0.2	0.20

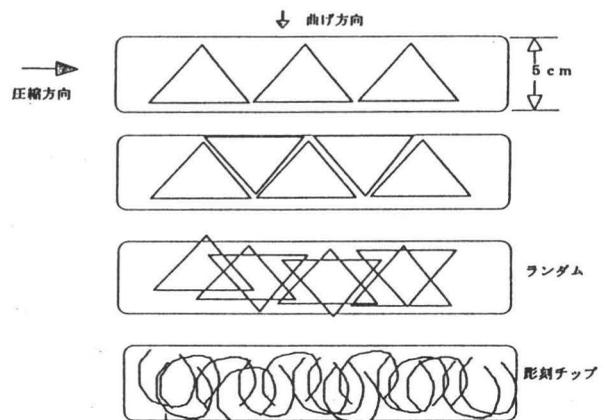


図14 エレメントの空間配置

5.1.3 ボードの物性測定

(1) 熱伝導率測定

JIS A 1412に基づく平板比較法により行った。試験体の高温側に2点、低温側に2点熱電対を設置し温度測定を行い測定した。なお高温側熱板は40°C、低温側熱板の温度は10°Cに設定し、常温20°Cにおける値を求めた。

(2) 曲げ試験

万能試験機を用いた。容量50kgf のロードセル、クロスヘッドスピード1 cm/min、中央集中荷重の3点曲げでスパン長16cmとした。

(3) 圧縮試験

万能試験機を用いた。容量50kgf のロードセル、クロスヘッドスピード1 cm/minで、長さ方向の圧縮ヤング率を測定した。

なお試験片の数は、各々の条件について4体ずつとし、製造した試験体は恒温室にて1週間養

生した後、実験に供した。

5.1.4 結果および考察

(1) 製造条件と熱伝導率

図15、図16に熱伝導率と製造条件の関係を示す。縦軸は、熱伝導率で、横軸は、成形体作製時の製造条件である。成形体の熱伝導率は、接着剤添加率、チップの空間配置、形状、量を変えたことに関係なく、ポリスチレンフォームだけの値と同程度である。しかし、チップ量が増加すると若干熱伝導率が増加の傾向を示している。これは、ポリスチレンフォームに比べ熱伝導率が高いチップと複合することによるものであるが、ポリスチレンフォームだけのものと比較してもさほど変わらないことから、この実験で行った範囲のチップ量では熱伝導率に対してその影響を無視することができると言えよう。また、前出、表3に示したように木質材料の中で、断熱材料として用いられているシージングインシュレーションボード、全乾比重0.329が示す熱伝導率0.0488kcal/mh°Cと比較すると、かなりこの成形体が低い値(0.025kcal/mh°C程度)を示す。またパーティクルボードの熱伝導率は図8に示したように含水率12%、温度40°Cでは0.12kcal/mh°C程度であるが、これと比較して1/5となる。このことから本材料は、非常に断熱性能に優れた材料であり、木質エレメントを、ポリスチレンフォームと複合させることや、木質エレメントの空間配置を変化させるなど製造条件を変えて製造しても、その断熱性能の良さは保持されると言える。

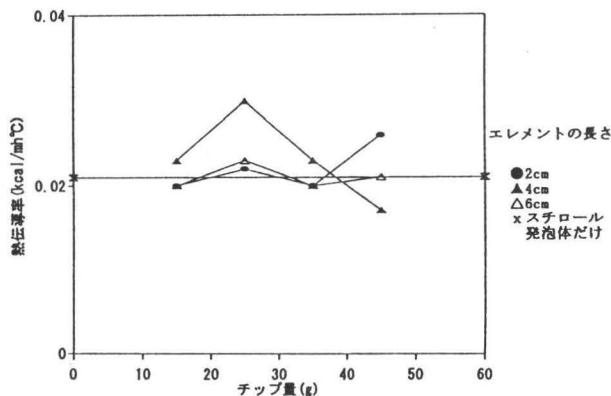


図15 熱伝導率とチップ量の関係

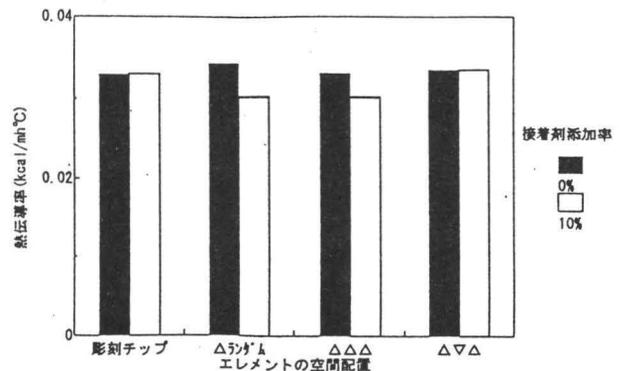


図16 熱伝導率のエレメントの空間配置の関係

(2) 木質エレメントの接点と曲げ性能

エレメントの長さを2cm、4cm、6cm(幅0.5cmで同じ)に切削した。そして長さの異なるチップ量増加にともなう接点の増加と曲げ性能について検討した。ここでは接点の増加に対する曲げ性能を見るために、チップの形状は通直なものを用い、接着剤添加率は0%とした。

図17に曲げ強さ(MOR)とチップ量の関係を示す。各プロットはそれぞれの条件の試験体4体の平均値である。縦軸がMORで、横軸はチップ量である。

エレメントの長さが2cmのものは、チップ量が増加するに連れてMORは低下の傾向を示している。このことは、チップ量が15gから45gにまで増加してもチップ同士はほとんど接点を持たないため、チップの増加がスチレンビーズ同士の融着を阻害しているためであると言えるだろう。また、チップ量25gでMORは一度増加しているが、全体の傾向を見た場合ポリスチレンフォームの融着によるチップと発泡体間の接着力は発泡体間の接着力に比べさほど強いものでないと考

えられる。エレメントの長さ4 cmのものは、チップ量の増加にともない25 gまでMORは減少しているが、その後は増加していく。このことは、

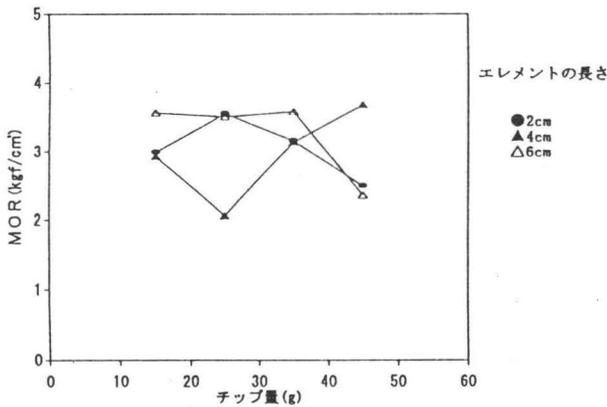


図17 曲げ強さ (MOR) とチップ量の関係

チップ量25 gまでチップ同士は接点は持たずその後チップ量の増加にともない接点が増加することと関係していて、25 gまではポリスチレンフォームの融着力をチップの存在が阻害しているだけで、その後、チップ間の接点の増加にともないMORは増加したと言えるだろう。エレメントの長さ6 cmのものは、チップ量35 gまではほぼ一定のMORの値を示し、その後減少した。また、チップ量15 gの段階でチップ同士が接点を持っているために、他の長さが異なるエレメントに比べMORは高い値を示している。しかしチップ量増加にともなう接点の増加に対しMORの増加が明確ではないのは、チップ量45 gでMORが減少することから推測するに、

チップ間の接点が増加しても、接点は接着されていないために、接点の増加と、ポリスチレンフォーム間の融着阻害の2つの因子がMORに反映しているためと考えられる。

図18に曲げヤング係数 (MOE) とチップ量の関係を示す。各プロットはそれぞれの条件の試験体4体の平均値である。縦軸がMOEで、横軸はチップ量である。先ほど述べたMORに近い傾向を示していて、ここでもチップ間の接点の増加によるMOEに与える影響がみられる。しかしチップ量が少ない場合はフォーミングの際に均一に分冊させることが難しく、MOEに関してはチップ間の接点の影響よりも、むしろチップの存在する位置もしくは方向の方が大きく影響していると考えられる。すなわち、荷重方向に対して垂直に、また荷重点直下に位置することでMOEは高い値を示し、このようなMORと異なる結果になったのもであると推測される。

(3) 木質エレメント種類の違いと圧縮および曲げ性能

図19に圧縮ヤング率とエレメントの種類 (空間配置の違い) の関係を示す。各条件の値は試験体4体の平均値である。縦軸が長さ方向の縦圧縮ヤング率、横軸はエレメントの空間配置である。まだゼファーサンドイッチボード (図20) の値を比較値として併せて示す (ゼファーと記す)。エレメントが接点をもち連続しているゼファーサンドイッチボード (以下ゼファーと記す) の値と比較して、その他のエレメントはかなり低い値を示していることがわかる。しかしゼファーサンドイッチボードは成形体両表面に全面ゼファーを配置しているために、他の条件 (比重0.05) に比べエレメント量が多いので一概にゼファー (比重0.1) が非常に高い値を示

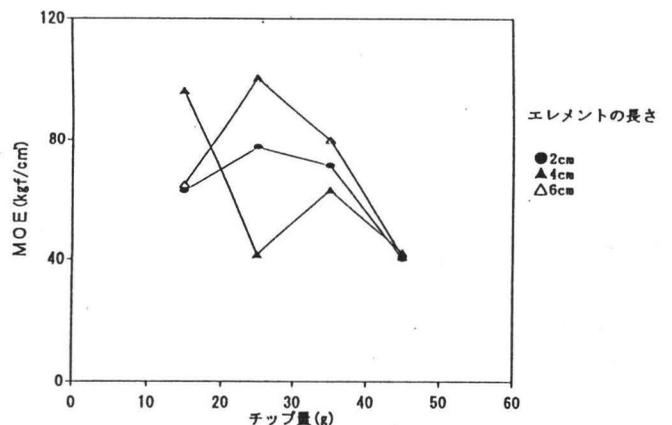


図18 曲げヤング係数 (MOE) とチップ量の関係

したとは言いがたい。

相対的にはエレメントの空間配置をランダム型から徐々にその接点数を増加させる(△△△→△▽△) ことにより荷重伝達経路を増加させることで、同量の空隙を保持したまま、強度の向上が得られた。つまりエレメント間に接点を持たせネットワークを作り連続にすることが非常に重要である。

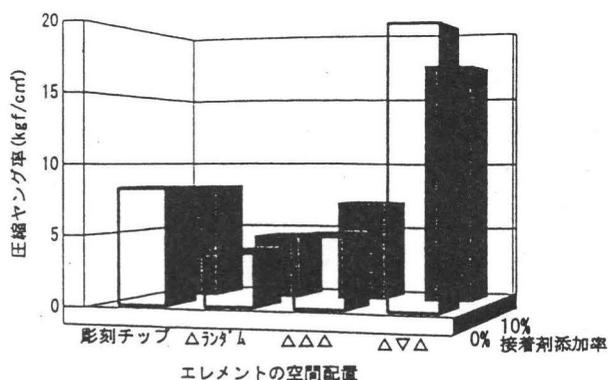


図19 圧縮ヤング率とエレメントの空間配置の関係

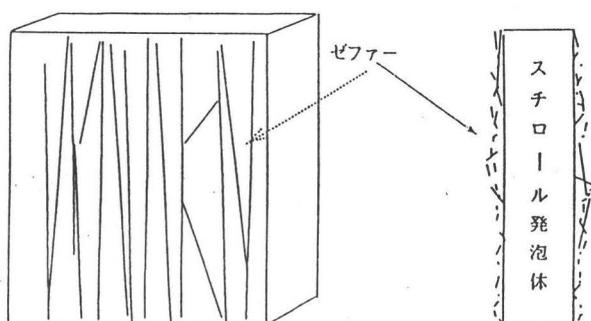


図20 ゼファーサンドイッチボード略図

エレメントの板内での空間配置の違いによる影響を見るために、ゼファーの条件を除いた圧縮ヤング率とエレメントの空間配置の関係を図21に示す。△のチップを用いたものはチップ間の接点が多く圧縮ヤング率の増加の傾向が見られた。また彫刻チップについてみると△△△型のエレメント空間配置よりも高い値を示したが、△▽△と比較すると約半分くらいの値を示している。また接着剤添加率0%と10%をそれぞれの空間配置に関して比較してみると、ほとんど接着剤添加の影響は確認できない。彫刻刀により切削することでチップをカールさせて得た彫刻チップは、△ランダムや△△△の場合よりも接点が多く得られ、その形状による空間配置能力が上回っていると言える。

一方、エレメント間の接点の接着を強固なものにする接着の効果は得られず、このことに関しては接着剤の選択などを含めて今後更なる検討が必要である。

図22に曲げ試験におけるエレメントの空間配置の違いとMORの関係を示す。各条件の値は試験体4体の平均値である。縦軸がMOR、横軸はエレメントの空間配置の違いである。エレメントの空間配置の違いによる、MORへの影響は、若干△▽△型配置が高い値を示したが、ほとんど見られない。このことは接着剤を添加したものについても同様である。

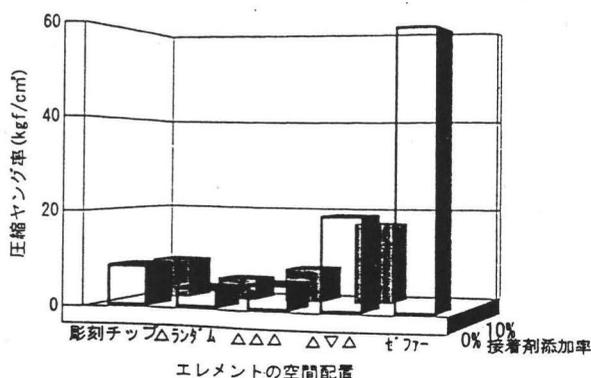


図21 圧縮ヤング率とエレメントの空間配置の関係

図13はMOEとエレメントの材料内での空間配置の違いの関係を示す。MORの傾向とはだいぶ異なることが分かる。彫刻チップおよび△▽△が最も高い値を示し、次いで△ランダム、△△△の順に低下する。また接着剤を添加したものはほぼ同様な傾向にあるが、若干△▽△型が低い値を示している。このことから、MOEで評価できる弾性領域内ではエレメント間の接点数が多いもの、有効な接点を保持しているものが高い値を示したと考えられる。また、△ランダム型と△△△型の傾向が圧縮の時と逆転しているのは、荷重をかけた方向の違いによるものだと考えられる。接着剤を添加した場合については、圧縮同様エレメント間の接点を強固なものにする接着の効果は明確に見られなかったが、△ランダム型配置はエレメントがフォーミングの際ほとんど2次元的に存在することにより接着面積が大きくなり、若干その効果が確認できたと考えられる。

以上のことから、エレメントの空間配置をエレメント間の接点数を増加させることで、空隙を保持したまま連続する荷重伝達経路が増加したと言えるだろう。しかし比例限度領域内でその効果は見られたが、破壊に関しては、エレメント間の接点が小さい接点面積であったとしても強固に接着されていないとその効果は発現しないと考えられ、接着剤の選択などを含めて更なる検討が必要であろう。

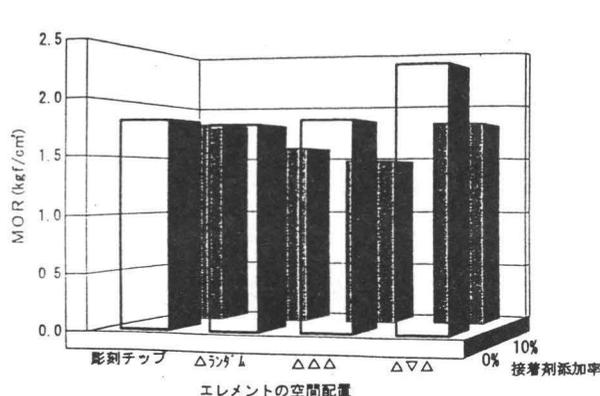


図22 曲げ強さ (MOR)とエレメントの空間配置の関係

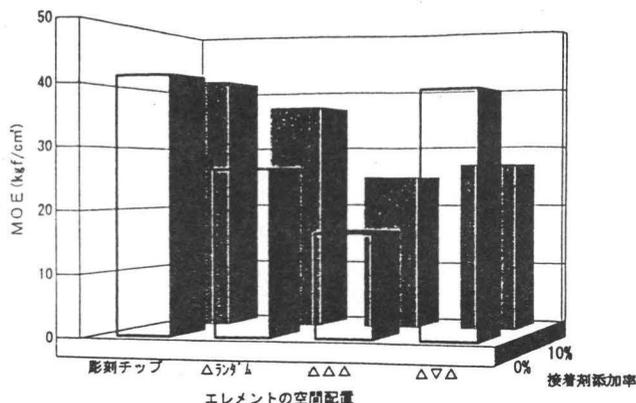


図23 曲げヤング係数 (MOE)とエレメントの空間配置の関係

6. 摘要

環境保全型省エネルギーパーティクルボードとして次のような新しい材料の可能性を提案した。木材素材の持つ特性を十分に活用しつつ、木質材料の低比重化に伴う力学的性質の低下を防ぐために木質エレメントの形状と配置を考えた。その空間の中にマトリックスとしてポリスチレンフォームが存在することで断熱性の向上を図り、低比重化を進めつつ、エレメントの座屈などを防止し強度維持を図る材料である。

形状の異なる木質エレメントとポリスチレンビーズの分散混合したものを蒸気加熱し木材チップ/ポリスチレンフォーム複合材料を製造し、その製造方法と材質について検討した。

製造過程におけるホットプレス温度、接着剤添加量、エレメントの量、混合方法、ポリスチレ

ンビーズの大きさを変えて製造した木材チップ／ポリスチレンフォーム複合材料の熱伝導率および曲げ性能について、また空間配置を考慮して形状を与えた木質エレメント間の接点とその荷重伝達能力をその圧縮および曲げ性能で検討した。

研究成果は以下のようにまとめられる。

- (1) 木質チップ／ポリスチレンフォーム複合材料では、用いるポリスチレンビーズの量は通常のパーティクルボードを製造する場合に使用する接着剤量の1／3程度の使用量となり、このボードが廃棄される時の環境に与える負荷が少なく環境保全型のボードとなりうる。
- (2) 成形体の熱伝導率は、チップ量、接着剤添加率、混合方法、ポリスチレンビーズの大きさおよび木質エレメントの空間配置を変えても、ポリスチレンフォームだけとほぼ同程度である。木質材料の中で、断熱材料として用いられているインシュレーションボード、全乾密度0.329の熱伝導率 0.0488kcal/mh°Cと比較しても、まだ低い値を示している。本材料は、非常に断熱性能の良い材料であり、木質エレメントを、ポリスチレンフォームと複合させることや、木質エレメント量を増やすなど製造条件を変えて製造しても、本材料の熱伝導率におよぼす影響は非常に少ないと言える。そして、空隙を多く保持した低比重の木質材料の空隙を、断熱性の良い材料で充填させることは、低比重木質材料が持っていた断熱性の良さを失うことなく、空隙の充填が行える。
- (3) ホットプレスでの製造過程で、水を用いて蒸気を発生させ、ポリスチレンビーズを2次発泡させているため、蒸気とそれに伴う蒸気圧のため、型枠内部に温度差を生じる。実験を行った範囲での木材チップ／ポリスチレンフォーム複合材料のホットプレスにおける製造時の最適温度は、型枠内部の温度差を相殺させ、成形体の表裏面の性質が同じになる熱板上面温度 140°C、下面温度 160°Cが最適であった。
- (4) 接着剤添加率の増加にともない、MOR、MOEともに増加した。しかし、接着剤添加率0％に比べ、MORは増加してはいるが、接着剤を使用したことによる、顕著な効果は見られなかった。これは、接着剤を添加しても、成形時に圧縮を行っていないので木質エレメント同士の有効な接着が得られていないためだと考えられる。MOEは、接着剤添加率が高くなるほど増加しているが、MORには有効に反映されていない。これは、接着剤が木質エレメント間の接着に寄与せず、水を用い蒸気を発生させて本材料は製造するので、接着剤が有効に働かず流出しているためだと考えられ、木質エレメント同士を接着させる方法の更なる検討が必要である。
- (5) 有効な木質エレメント間の接着性確保のために、チップ間の空隙をポリスチレンフォームで隙間なく充填させるためには、製造時の木質チップとポリスチレンビーズの混合方法としてチップに水を含ませた後ポリスチレンビーズと混合攪拌しチップ表面にビーズを付着させる混合方法が良いことがわかった。
- (6) ポリスチレンビーズの大きさは小さい方が、木質チップと複合する場合、その空隙を密に充填でき、ポリスチレンビーズ同士の融着点の数も増加するので有利である。また、単にポリスチレンフォームはチップ同士の空隙部に詰まっているだけで、ポリスチレンフォームと木材チップは、融着により接着していないのではないかと思われ、このことは有効に荷重を伝達させることを考える上で非常に重要なことであるので更なる検討が必要である。
- (7) 木質エレメント間に接点を増やすことにより曲げ性能の向上が得られた。
- (8) 彫刻刀により切削して得られたカール状チップは、△ランダム型や△△△型の場合よりも有

効な接点が多く得られた。

- (9) 比例限度領域内では木質エレメント間の接点数が多いもの、有効な接点を保持しているものが強度的に高い値を示した。
- (10) 木質エレメント間の接点数を増加させることで、空隙を保持したまま荷重伝達経路が増加したと言える。しかし、比例限度領域内でその効果は見られたが、破壊に至るに当たっては、接点の接着がしっかり行われていないためその効果は見られなかった。

7. 残る問題点と対策

断熱性能向上のために材料内にポリスチレンフォームをマトリックスとして充填し材料の低比重化を図り、また低比重化に伴う材料強度の低下を防ぐために骨材となる木質チップの配置、形状を検討した。さらに接着剤の代替として発泡ポリスチレンフォームが接着効果をもたらすものかを検討した。これらの試みから得られた課題は、

- (1) 低比重化材料の材料強度維持のための木質チップの更なる材料内配置、構造を検討すること。これには自然界に存在する植物の骨格を参考にして、3次元編み目構造（例えばヘチマの繊維構造）を材料骨格として採用することが考えられる。
- (2) 接着力確保のための新しい接着方法をさらに検討すること。充填材料としてのポリスチレンフォームの選択などを含めて異なる検討が必要である。

本研究の結果、実用化に向けては材料としての強度向上のためのさらに新しい接着法の検討、また骨格となる木質による3次元的な架橋構造をどのように造るかという検討を進めてゆく必要がある。

【謝 辞】

本研究は、東京大学農学部林産学科木質材料学研究室、大学院生（博士課程）の西村拓也氏の「ボードの低比重化」の研究に負うところ多大である。ここに謝意を表する。

【参考文献】

- ・西村拓也、大熊幹章：“エレメントの空間配置を考慮した低比重木質材料の開発—モデル実験による空隙の扱い方—、第45回日本木材学会大会（東京）発表要旨集、255、1995年4月。
- ・西村拓也、大熊幹章：“エレメントの空間配置を考慮した低比重木材材料の開発—モデル実験による空隙の扱い方—”、木材学会誌（投稿中）。
- ・信田 聡：“木質材料・木質壁体の断熱性能に関する研究”、東京大学博士論文、p. 10（1982）
- ・信田 聡、大熊幹章：“木質材料の熱伝導率の温度および含水率依存性” 木材学会誌、Vol. 26、No. 2、112-117（1980）。
- ・信田 聡、大熊幹章：“パーティクルボードの熱伝導率に及ぼす密度の影響”、木材学会誌、Vol. 27、No. 11、775-781（1981）。
- ・断熱建材協議会編：“断熱建材ハンドブック”、(株)養賢堂（1994）。
- ・信田 聡：“木のなんでもそうだんシリーズ③ 木も変身する”、(社)日本林業技術協会（1993）。

追加実験

8. 残る問題についての検討

8.1 木質チップの材料内配置構造に関する実験

断熱材料の強度維持のためには、骨格となる木質チップの絡み合いを向上させ成型される板の強度保持を負わせることが望ましい。そのためには厚さが長さや幅に比べ相対的に薄い従来の平面的形状の木質チップを3次元化させ嵩を稼ぐとともに、チップ間の接触を増やすことが考えられる。

この目的のために、木質チップを波形金属型内に嵌んで、それをホットプレスに取付け熱圧成形することによりボード骨格を成す湾曲化チップの製造を試みた。

8.1.1 木質チップ変形の永久固定

変形を永久固定する方法として、井上等¹⁾は、木材の含水率18%前後（気乾状態より少し高い含水率）、温度200℃前後で、数分間、密閉系で熱圧変形させると、熱圧中に木材自らから発生する水蒸気により処理され、変形が起こり、以後の水分変動によってもあまり変形が回復せず固定することを確認している。この水熱処理による変形固定のメカニズムは、水熱により変形した木材中の構成成分であるヘミセルロース、セルロース、リグニンの一部が分解低分子化して、弾性回復力を減じ、疎水化するとともに、さらに分子間の再配列や再架橋が行われ弾性回復力を抑制するため、変形が固定されるものと言われている。

この方法はホットプレスのみを使用して処理ができるため木質チップの変形、成形にも応用可能である。

8.1.2 湾曲チップ製造方法

湾曲チップの製造、加工は図24に示す手順で行う。

① 木質チップ

カラマツ単板（3mm厚）をゼファー製造機で圧解して2.5mm厚のゼファーマット（のしイカのようなもの、図25）を得る。これを繊維方向に割り細長い棒状のストリングを得る（図26、中央）。

さらに繊維方向に切断して通直木質チップ（図右から2番目）を得る。チップサイズは長さ40mm、幅3mm、厚さ2.5mmである。チップを1分間水浸し含水率を高める処理をする。

② 波形金型

図27に示すような楕円断面を持つ鋼棒（長さ400mm、断面10mm×10mm）を間隙10mmとして19

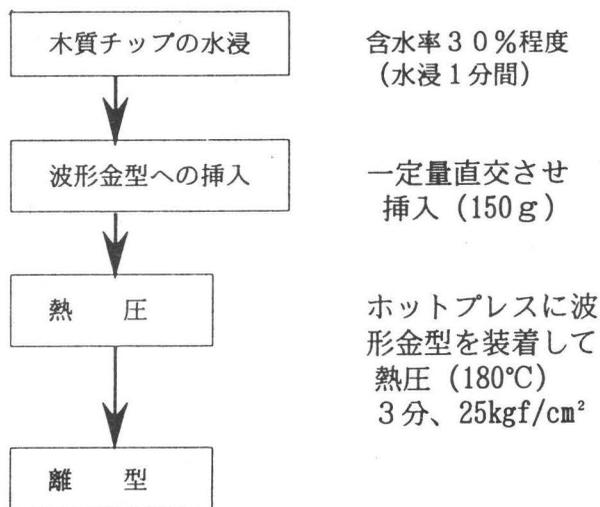


図24 湾曲チップ製造方法

本平行に並べ、450mm×450mm×5mmの鋼板にネジ止めしたものを一組2枚試作した(図28)。

③ 波形鋼板のホットプレスへのセット

上記の波形鋼板を図29のホットプレスの上下熱板にネジ止めする。

④ 湾曲チップ成形

上下の波形鋼板の間に、木質チップ(約150g)を波形鋼板の鋼棒の長さ方向とチップ長さ方向を直交させセットして、温度180℃で3分間熱圧して、湾曲チップを成形し、3次元化をはかる。

成形した木質チップの外観を図30に示す。通常のチップを長さ方向に折り曲げた形状を持つ。これにより厚さ方向の寸法が増加するためチップの嵩が増す。

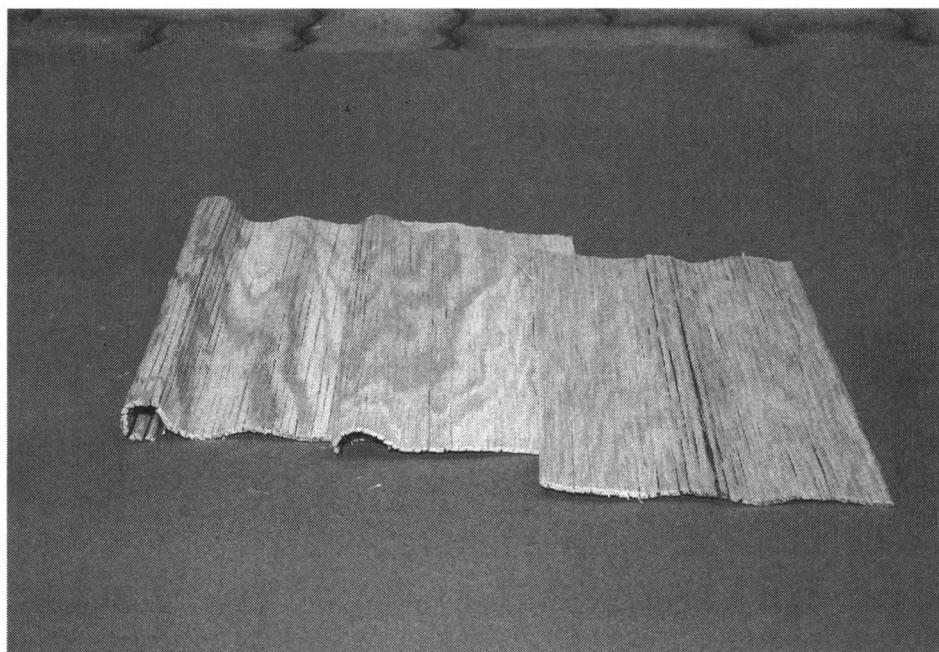


図25 カラマツゼファーマット

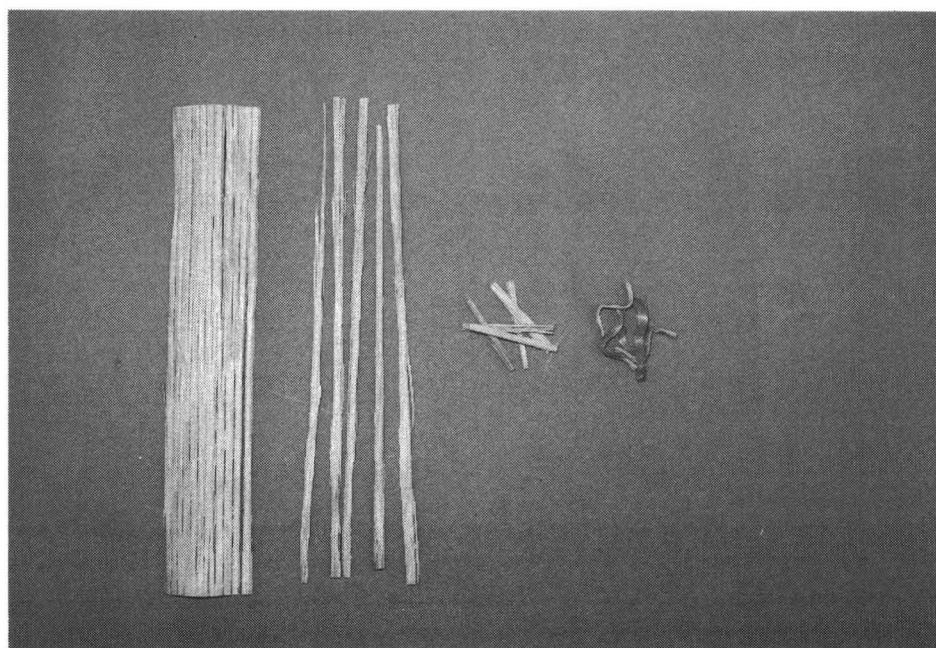


図26 ストリングから木質チップへの移行

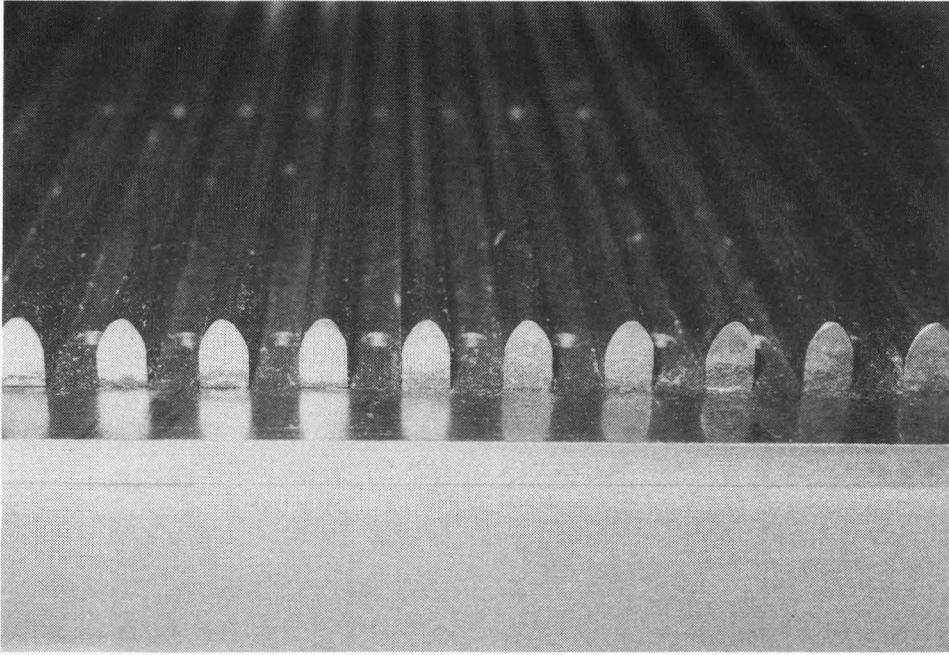


図27 楕円断面を持つ鋼棒の配列

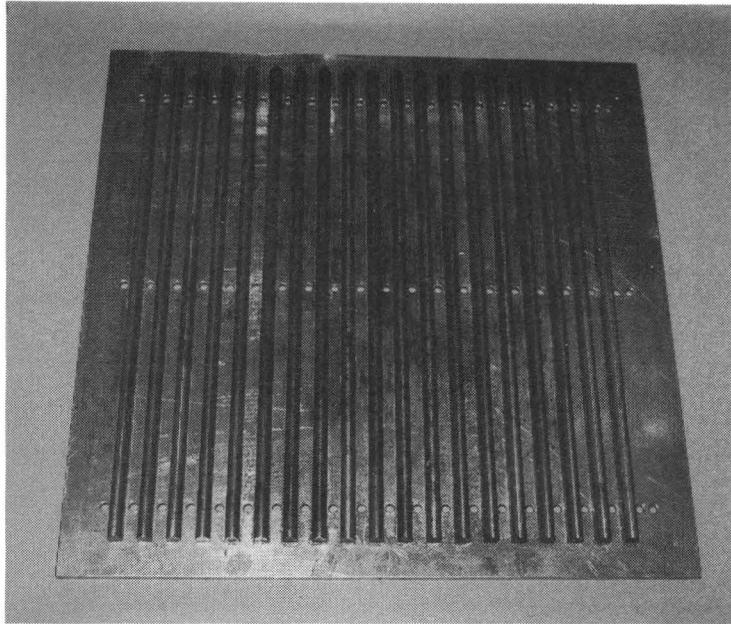


図28 波形金型俯瞰図

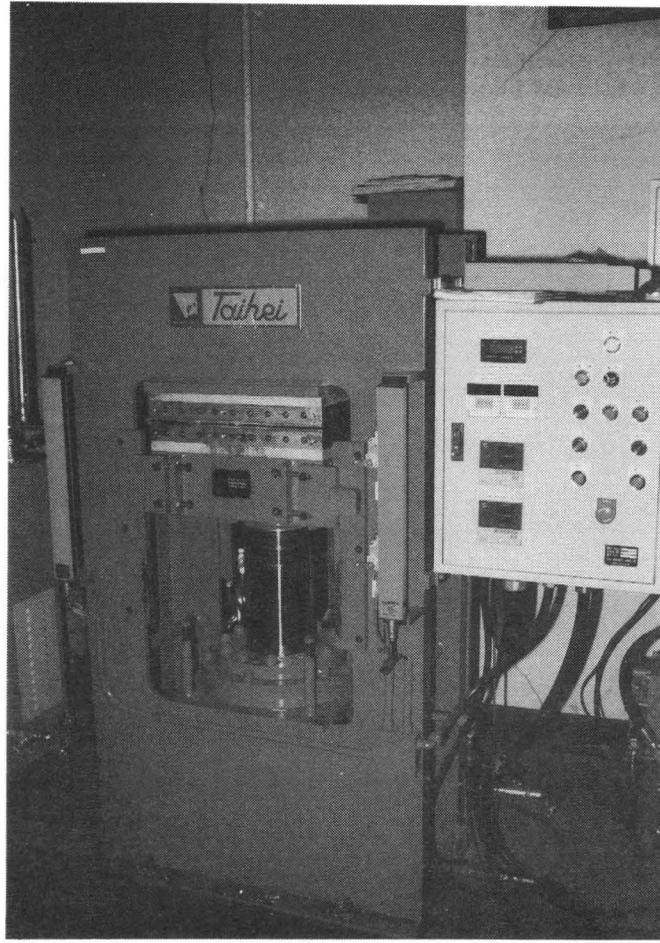


図29 ホットプレス

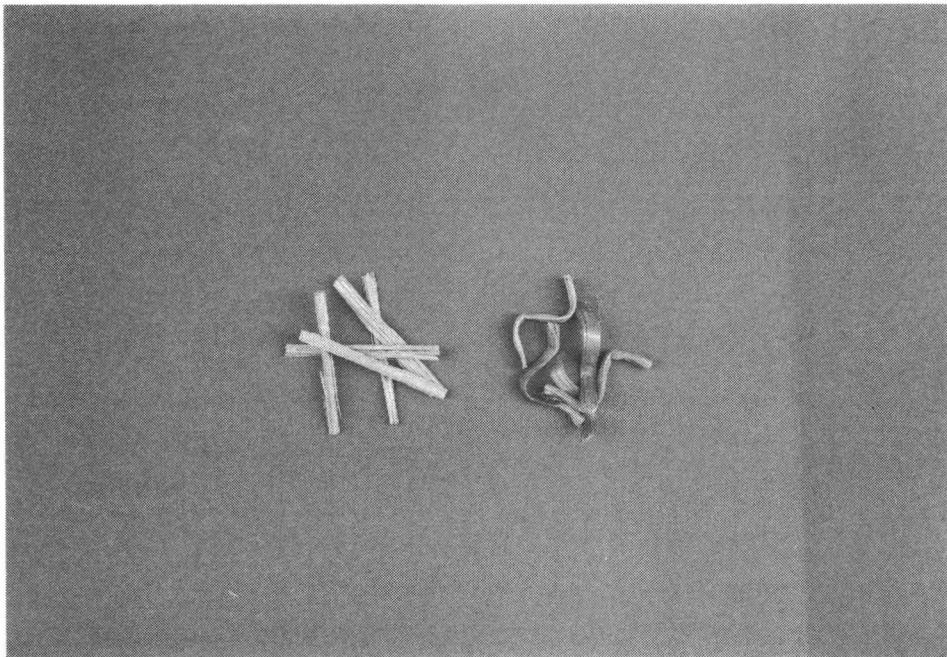


図30 湾局チップと通直チップ

9. 湾曲チップ／ポリスチレンフォーム複合材料の製造

9.1 製造方法

まず前述のように製造した湾曲チップを、ポリスチレンビーズと、35g : 7gの割合で混合する。混合後の状態はチップにスチレンビーズがまぶされた状態となる。接着剤は使用しない。ホットプレス（上面温度 140℃、下面温度 160℃）にて圧縮し5分間加熱することにより、チップに吸着している水が脱離し、蒸気となり蒸気加熱を行った。その際、発泡体中に蒸気が入り込み発泡剤の役割をし発泡体同士が融着する。離型直前に、型枠をごくわずか解放し内部の蒸気を外に逃し製造した。成形体の寸法は30cm×40cm×厚さ2cmとし、比重は0.1とした。成形されたボードの断面を図31に示す。

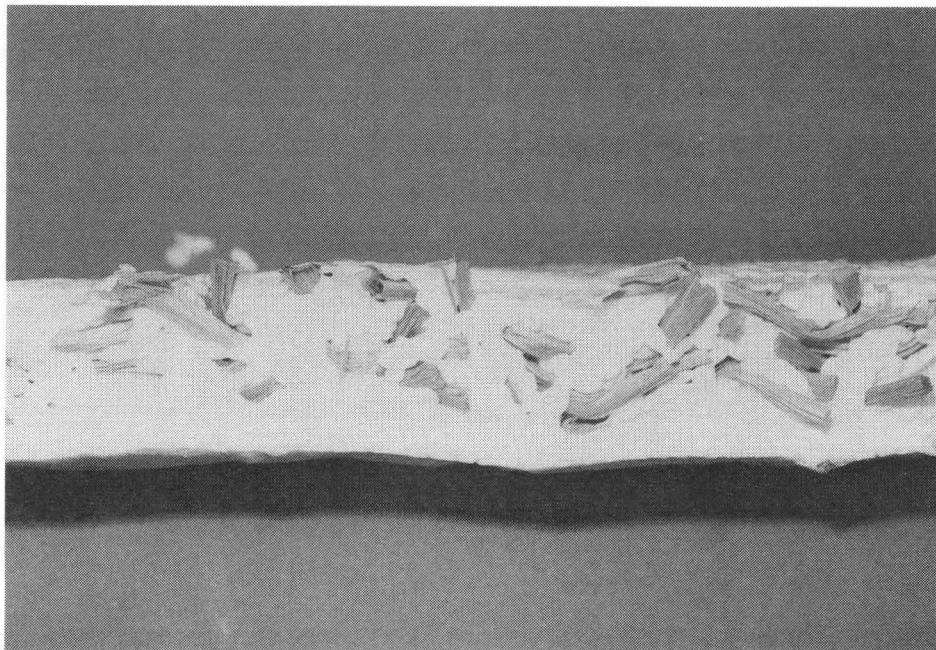


図31 湾曲チップ／ポリスチレンフォーム複合材料

9.2 湾曲チップを用いた低比重パーティクルボードの製造

湾曲チップとフェノール樹脂接着剤を使用して常法により低比重パーティクルボードを製造した。すなわち、製造条件は、湾曲チップ 654g に対して接着剤重量比10%を添加し、フォーミング（厚さ40mm）したのち、熱板温度 180℃にて10分間熱圧し、厚さ20cmの密度 0.3の低比重パーティクルボードを製造した。図32に湾曲チップを用いた低比重パーティクルボードを示す。

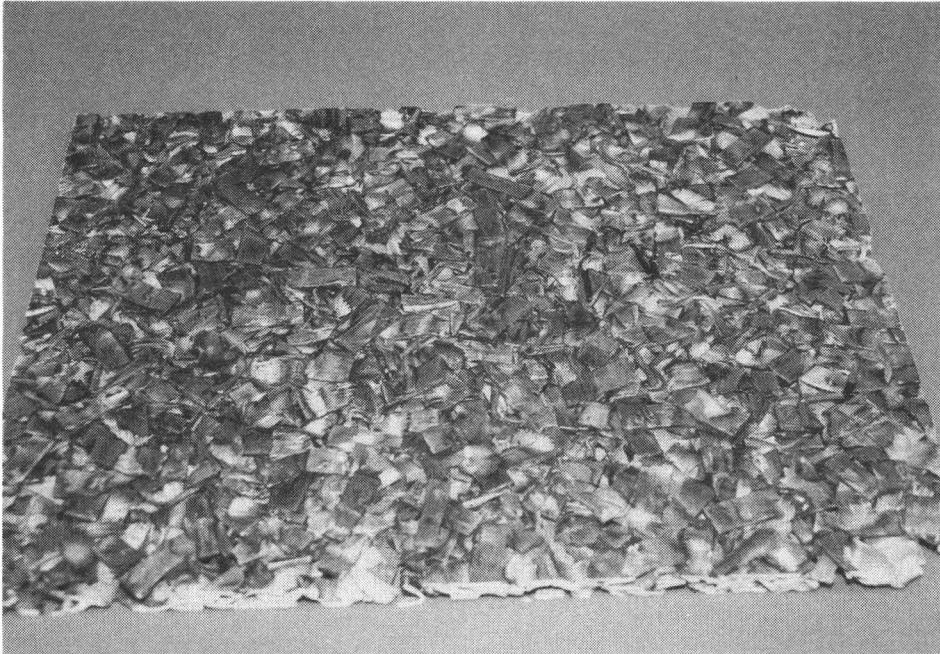


図32 湾曲チップを用いた低比重パークティクルボード

10. 今後の展開

現在、以上の製造したボードについて物性試験を行っている。発泡系の断熱材の持つ断熱性能を木質系のインシュレーションボードの持つ強度性能の中間の物性が期待される。データの検討結果は報告会にて発表する。

【文献】

- 1) 井上正雅文、他3名：木材研究・資料、No.29、54-61、京都大学木質化学研究所（1993）。

12. 高齢者・障害者のための住宅改造相談 支援システムの開発

日本大学理工学部専任講師

石田道孝

1. 本研究の背景と目的

住宅改造相談の利用者は多岐に渡り、①利用者は高齢者・障害者本人（以下対象者）のみならず、②対象者の同別居の家族、住宅建設に関わる建設業者・設計者・行政の相談・融資・建築指導などの担当、③医療福祉に関わる医師・PT・OT・MSW・行政福祉担当、におよぶ。それぞれの利用者は住宅改造を目的とはするが、必ずしも具体的な改造の内容や期待するアドバイスの内容が同じであるとは限らない。それは、各利用者のと立場の違いから生ずるものであるが、対象者の障害の受けとめ方・対象者の障害の推移・対象者がどのように住宅に住まうのか・対象者がこれからどのように生活してゆくのか、といった住生活を決定づける事項に、理解の相異があるからに他ならない。このような相異が顕在化するのは改造後の生活に於いてである。対象者の立場は前②③に対して弱いことが多く、また、対象者のニーズが必ずしも最優先されることとは限らないこともあって、顕在化した相違点は対象者の生活不適合、家族の負担の増加や家庭破壊となって現れる。住宅改造が失敗した場合の問題の深刻なことが理解できよう。住宅改造の設計段階で、障害の現状と推移・本人の生活・家族との関わり・経済負担能力を明確にして、それぞれを関係づけることによって有効な住宅改造が可能となる。本研究の目的は住宅相談のインターク時に問題となる事項を幅広く抽出して、身体状況を疾病や障害・症状・介護・補助具使用などを中心にして利用者のニーズの把握と住宅改造目標の選定の方向性を明らかにし、さらに住宅改造事例調査より主要空間の基礎的考え方を提案し、これらを踏まえて住宅改造支援のためのシステム構成を提案する。

2. 研究の計画と進捗状況

研究計画の目標は、始めに全国の自治体若しくは、その委託で行われている高齢者住宅改造相談を対象にして、高齢者・障害者の住宅改造相談（以下改造相談）の問題点を明らかにした上で、

インテーク時の課題と改造案提示に至る過程の中で対象者本人の改造ニーズの正確且つ敏速な把握と早期に適切な提案を可能とする住宅改造の検討システムを創り出すことである。本研究の計画目標は住宅改造相談の支援システムのプロトタイプ作成である。計画の流れは、①改造相談の問題点把握と分析、②改造相談の流れの整理、③インテーク時の質問項目の設定、④改造案提案のための検討項目の抽出、⑤障害・疾病と建築計画との関わりの検討、⑥では③と⑤の関係を分析する、⑦では改造相談のフロー中に⑥を位置づけてシステムを構成する。研究の進捗状況は一連の計画の全体像を把握し⑦の最終段階に至っている。

3. 研究の方法と成果

- (1) 本研究では、住宅改造相談の利用者の性格の分類を行い、それぞれに特有な問題点を整理して住宅改造相談のインテーク時の課題を明らかにした。

都道府県福祉や住宅窓口・民間などで行われている高齢者の住宅改造相談の多くは、病院から退院を理由とするものが多い、リハビリを継続していたり、住宅復帰が困難である場合もある。その上、対象者本人が来所しないことも多く、対象者の身体状況の把握が重要となる。しかし、家族の理解は十分でないことが多いため、対象者と家族との改造に対する考え方の相違、障害に適合しない改造なども見られる。住宅改造に不可欠の項目を事例調査より挙げ表1に整理した。利用者の違いによってインテーク時の内容把握に不都合の無いよう対応することが必要である。

高齢者の身体状況を把握するに当たって、①加齢による一般的心身の機能低下と、②高齢期に多く見られる疾病・持病の内、建築空間・設備に影響を与える症状、③生活行為・動作に大きな影響を与える身体障害・精神障害の3項目について検討する必要がある。それによって、従来の行動・動作を中心とした利用者のニーズをより広く捉えることが可能である。

高齢者の身体特性①

加齢による、心身機能の低下も将来予測すべき事項である。身体障害や疾病を予測することは健康な高齢者にとって抵抗があるが、誰でもが自身や親兄弟の高齢期を考えることは自然なことである。しかしながら、心身機能の低下は個別性を有しながらも、一定の方向性が見られる。住宅改造の基本的配慮事項に加齢による心身機能の低下を組み込むことが必要である。

高齢者の身体特性②

高齢者は有病率が高く、持病の中には普段の生活の中で注意しなければならないことが多くある。改造に当たっては、動作行為を物理的な面だけでなく、循環器系、呼吸器系、内臓、白内障、等の疾患では生理的な面や医療面への気遣いも必要であり、室内の暖冷房・換気、衛生、無理な姿勢や動作による痛みや血圧の上昇・めまいや動悸や疲労、排尿障害、視覚障害、睡眠不足、など生理・衛生面からの改造配慮を組み込む必要がある。

高齢者の身体特性③

高齢期や身体障害者に多く見られる疾患や障害として、脳血管障害、痴呆症、リュウマチ、パーキンソン、骨折や脊髄損傷による体まひ四肢まひなど、進行性筋萎縮症、脳性麻痺があり、それぞれに特有な生活行為、動作上の特徴や障害がある。改造マニュアルなどの既存資料では共通的な移動動作を基本にして分類を行っている。これからは、障害の推移や一人々の障害状況が異なる中で、多様な利用方法が検討されるべきである。

(2) ここでは、高齢期の疾患や障害の内、主なもの（脳血管障害、リウマチ、パーキンソン、骨折や脊髄損傷）について改造事例を幅広く分析し、障害・疾病を日常生活動作を視点として移動動作・移乗動作に再分類し、使用機器装具・動作の特徴・スペース・レベル差・床仕上げなどについて住宅改造に関わる留意項目を明らかにした。

① 移動動作の整理

移動動作では立ち上がって、歩行、伝い歩き、補装具歩行、椅座位での車いす移動、床上座位でのいざり、よつばい移動、寝がえり移動などがある。それらの移動方法について動作の特徴や障害の状況から、姿勢、使用する補装具や機器、動作障害によって移動に要するスペース、床の断面やレベル差、床仕上げなどの検討をおこなった（表-2）。

② 移乗動作の整理

前者が空間移動であるのに対し、移乗は特定の行為を行うための家具や機器・設備に体を移動させる動作である。基本的に体幹の保持能力があることが必要であるが、各障害・症状によって異なり、主に下肢で身体を支えることが出来る場合と椅座位や平座位での場合に分かれ、これに各障害や症状によって、関節の動きの制約や上肢のプッシュアップ能力の程度によって、姿勢の変化や重心の移動に困難を来すことが多い。この動作は日常の生活の主要行為が含まれ、これらの負担を少なくすることが快適で活動的な日常生活を送る上で必要である。

(3) 既存設計資料の分析

ここでは、高齢期の疾患や障害の内、主なもの（脳血管障害、リウマチ、パーキンソン、脊髄損傷）について改造事例として「高齢者の住宅増改築相談マニュアル」を一般的高齢化対応事例として「高齢化対応住宅リフォームマニュアル」を取り上げ、(2)の結果に基づいて基本的な諸室平面プランを提案した。提案プランは多様な利用が可能なプランとなっている。（図-2）

(4) 高齢者・障害者の住宅改造支援のためのシステム構成

改造相談の最も重要な点は、対象者本人にとって改造がどうあるべきかを導き出すことである。しかし来所者が誰であるのかによっては問題点でさえも明確にならないこともある。そこで始めに、①事前相談が必要となる、始めの連絡時に以下の事項を明らかにしたい、a. だれが来所するか、同・別居家族か、b. 本人は何処に住んでいたか（自宅・病院・施設）・将来は何処に住むか、c. 障害・症状、介助・自立、補助具・装具の状況、d. 住宅の構造・築年数・建築関係法規、e. 改造後の同別居、以上の概略についてあらかじめ情報を得ることが必要である。対象者本人以外が来所する場合は事前に、本人の障害疾病・症状、移乗・移動動作、介助の有無、補助具・装具の利用状況について出来るだけ詳しく医師・PT・OTなどから情報を得るようにすることを進める。状況によって訪問して情報入手・相談を行う。②改造相談の実施では、a. 改造前の生活、b. 改造後の生活スタイル・新環境に適応可能か、c. 本人の障害疾病・症状、移乗・移動動作、介助の有無、補助具、装具の利用状況と将来、d. 家族との同別居、e. 建設予算・維持費、これらについてプランを提示しながら、必要に応じてモデルルーム・機器展示など事例紹介、プランのフィードバックを行う。改造不適合の起こる可能性について説明、③ここで必要に応じて他の機関や他の部門からの援助若しくはチームを編成し相談・指導・提案を行う。持ち帰り再相談を行うことも考慮する。④提案後、業者の設計チェック指導、モデルルーム・機器展示など事例紹介・見積もりチェックを行う。⑤実施図面完了、a. 入居前のADL適応訓練についての指導、b. 改造費の補助や助成・日常生活用具

の給貸与制度の活用、⑥施工管理を必要に応じて行う。⑦完成チェック、本人に不適合や施工ミスについて修正の指導を行う。以上が相談の流れである。本報告では、このフローの②プラン提示に対して必要なデータの構成を提案した。データベースの内、(3)で行った基本図面が高齢化対応基本データベースである。障害別配慮基本データベースは、(2)で行った障害・疾病の症状と各動作を関係づけ、さらに建築配慮と整合させる。部品データベースは、既存資料などで評価を受けて実際の使用されている設備機器・材料に関する、寸法・性能・価格・型番・商品名で構成される。解説データベースは、これらの各データベース間を関連づけると共に、改造の全体像を理論的に示すものとなっている。(図-3)

4. 終わりに

本報告は、実践的事例を分析することで構成されているが、今後は実験的検証を行い、多くの既存資料の評価分析を通してデータベースの信頼性向上とデータ量の蓄積を図り、住宅相談の質的向上を図ることが望まれる。また、今回はシステムの構成のプロトタイプの概要提案で止まっているが、さらに研究を継続し稼働するシステムの提案を行いたい。住宅改造相談の組織は行政下であり、相談を担当する専門職の養成は緊急な課題であり、毎年各自治体で職員養成のための講習が開かれている状況である。改造相談の専門性はその対象とする分野が医療・福祉・建築・社会分野に幅広く関わる場所にあるため早期養成には限界がある。今回提案した支援システムが活用されることによって短期間で高い専門性を発揮できると思われる。

表-2 ①移動動作の整理

移動状況	使用機器器具	動作の特徴	スペース・レベル差	床仕上げ
<p>A</p> <p>歩行困難 伝い歩き 装具歩行</p>	<p>矯正靴・手すり ・家具の利用・各種 杖・各種歩行器 義足・下肢装具・装 脱着のための腰掛け</p>	<p>歩行時の姿勢・足の運び方に特徴 があり、片足重心・足裏部分着地・ 外転回・すり足、 転倒の危険に注意 手すりの形状・位置 装着位置と姿勢・置場所</p>	<p>矯正靴・装具・杖・歩行器 の利用では幅員に特に注意、 足を上げずに歩行するためレ ベル差ナシが原則、 装具脱着のためのスペース</p>	<p>滑り難く、平坦な 歩行面、引っかか り難いも、素足歩 行では熱伝導の低 いもの・歩行の衝 撃が少ないもの、</p>
<p>B</p> <p>椅座位(車い すなど) (操作方法の 違い：両手、 片手片足駆 動、電動) 介助、電動)</p>	<p>駆動輪付車いす(片 まひ・リクライニン グ・屋内外など) 電動車いす 介助車いす シャワー・トイレ用 キヤスタター付いす</p>	<p>片手足操作の要時間と不確実性に 注意、 個人に合わせた車いすの機種やサ イズへの対応を考慮、 操作ミスによる衝突の危険から、 身体の安全、戸枠壁など建物の破 損・汚れに注意</p>	<p>一般的に回転φ150cm・幅員 800～900が必要、個人対応 では必要スペースが異なる、 介助者スペースの確保、出入 口の幅、物への接近・寄りつ き難さに注意、 基本的にレベル差無し</p>	<p>適度な摩擦が必要 (滑りやすいもの は不可)、耐磨耗 性があるもの(置 不可)、 汚れの付きにくい もの、</p>
<p>C</p> <p>座位 よつばい 臥位 寝がえり</p>	<p>尻あてマット、プッ シユアアップ用台 ・手すり、吊り輪、 クローラ、 エアーマットやギヤ ッチ機構による片側 アップ装置</p>	<p>臀部の擦れ・圧迫による辱著に注 意、腕の伸展で身体の押し上げる、 座位や四つ這でのクローラ操作方 法、 体幹の捻り動作や腕による移動動 作、動作速度の緩慢なこと操作性 が悪い</p>	<p>平座位の足を投げ出す姿勢や 四つ這はスペースに留意、 臥位姿勢のスペース</p>	<p>清潔で、汚れ難く、 暖かい感触、</p>

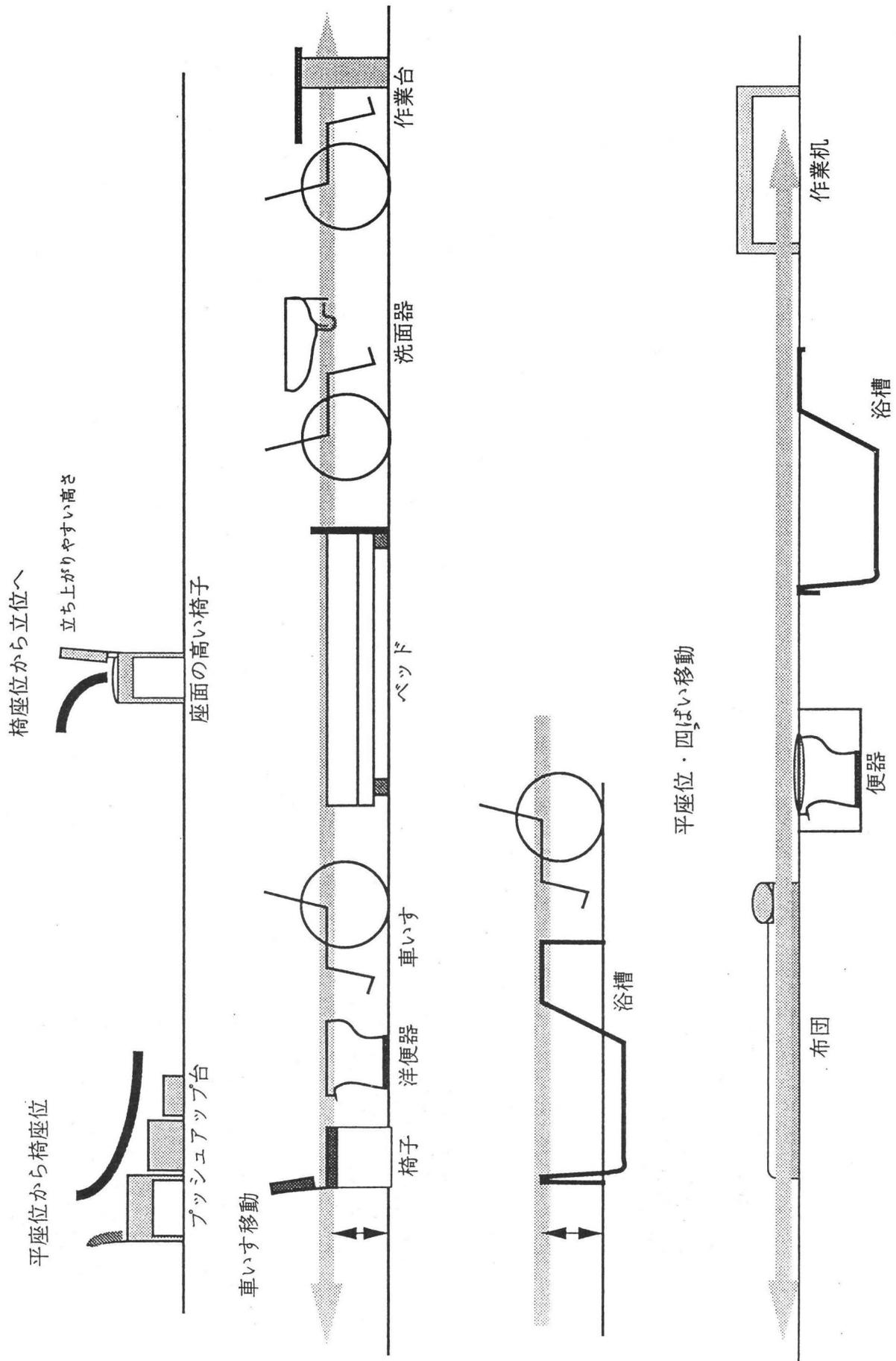
表 3 ②移乗動作の整理

起居・移乗動作	自助具・補助機器	行為動作の特徴	スペース
<p>A</p> <p>床上臥位から床座位へ 床座位から椅座位へ (上記の逆動作を含む)</p>	<p>床置きギヤジアップ装置 手すり・プッシュアップ台</p>	<p>腹筋・体を捻る、 握力・プッシュアップ力、膝を折る、体を持ち上げる</p>	<p>ギヤジアップ装置 プッシュアップ補助台スペース</p>
<p>B</p> <p>椅座位から立位へ ベッドから立位へ (上記の逆動作を含む)</p>	<p>ギヤジアップ機構付椅子 ギヤジベッド、手すり、</p>	<p>脚力・腹筋・腕力・握力など、 体位バランス、体を支える、上体の反動力を利用する、</p>	<p>手すりの設置位置と動作スペース、 杖・装具の置場所</p>
<p>C</p> <p>車いすから便器、 車いすからベッドへ 車いすからいすへ (上記の逆動作を含む)</p>	<p>手すり、滑りどめマット、 移動用マット、バスボード、 入浴リフト、 ハンドグリップ、</p>	<p>足を引き上げる動作、脚力・腹筋・腕力・握力の利用、 体位バランス、体を支える、 浮力利用、</p>	<p>手すりの設置位置と動作スペース、 片まひの場合左右対に設ける、杖・ 装具の置場所、機器・車いす・介 助者スペースの確保、</p>
<p>D</p> <p>浴槽をまたいで出入する 浴槽の縁に座って出入する 浴槽に座位で出入りする 浴槽の中で立ち上がる</p>	<p>ギヤジアップ機構付便座、 各種リフト、便座高の調整 手すり、移乗用ボード、 ハンドグリップ、</p>	<p>握力・腕力、プッシュアップ力、 重心の水平移動、 車いす座面を移乗座面に近づける、 床に足を付けて回転する動作、</p>	<p>車いすが入るスペース、 車いすが回転するスペース、 車いすのフットレストが入るスペース、 介助者スペースの確保、</p>

表-4 主要な障害・疾病の症状と補助具・装置

障害・疾病	推移	主な動作行為上の症状		移動用補助具・装置	感覚・意識などの症状		起居・移乗動作補助具 共通	主要なもの
		手足の麻痺片側、 (両側麻痺もある)	患側下肢動作不能・困難、 立位保持困難、 座位保持困難、 足先から着地、 患側上肢動作不能・困難、 巧緻動作不能・困難、		意識障害、 言語障害、 失行・失認、 視覚障害 しびれ、痛み、 情緒障害、 患側感覚障害	判断力低下、 動作の不確実性、 バランス失調、 要室内温度コントロール、 低温火傷 etc		
脳血管障害	再発性			床・天井走行リフト、 介助車す、 電動・手動車いす手すり、 下肢装置、矯正靴、			便座・椅子座 昇降りフト、 ポータブルトイレ、 尿集器、 各種踏み台	
慢性リウマチ	進行性	関節屈曲拘縮、 関節の炎症、 四肢変形、 拘縮・剛直、 こわばり・痛み、	歩行・起立困難、運動・荷重による痛み、 筋力低下、 巧緻動作不能・困難、	床・天井走行リフト、 介助車す、 電動・手動車いす、	関節痛、 内臓疾患 運動機関の痛み、	動作の不確実性、 室内の温度変化による痛み、 意欲低下、	便座・椅子座 昇降りフト、 ポータブルトイレ、 尿集器、 各種踏み台	
パーキンソン症候群	進行性	平衡機能障害、 筋の固縮 振戦 無動・暴動、 動作緩慢、	小刻み歩行、すくみ足、 足の引きずり、 屈曲姿勢、 動作時の重心移動困難、 姿勢保持困難	床・天井走行リフト、 介助車す、 手動車いす、	筋の硬直による痛み・痙攣・疲労感、 自発性低下、 痴呆・意識障害、 無表情、	判断力低下、 動作の不確実性、 バランス失調、	便座・椅子座 昇降りフト、 ポータブルトイレ、 各種踏み台	
脊髄損傷	一部進行性	四肢麻痺 対麻痺 (損傷・疾病程度により不全麻痺がある)	損傷頸椎・脊髄の位置によって障害の程度が異なる。寝たきり、座位・立位保持、歩行などの困難・不能、	床・天井走行リフト、 介助車す、 電動・手動車いす、 下肢装置、	膀胱障害、 直腸障害、 感覚障害、	要排便排尿コントロール、 辱着、 要室内温度コントロール、 低温火傷 etc	吊り輪、 プッシュアップ台、 尿集器、	

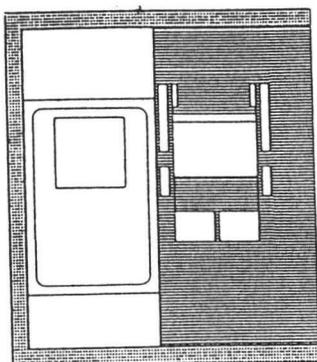
図-1 移動・移乗動作の重心移動



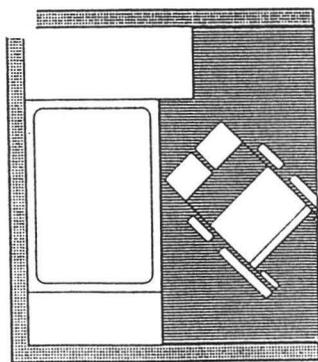
平座位・四ばい移動

図-2 高齢化対応基本平面プラン

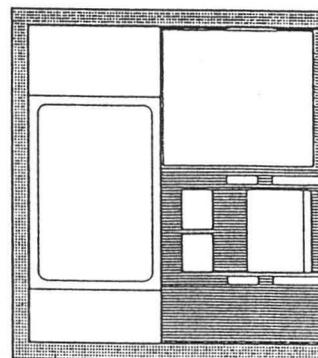
多用途対応タイプ



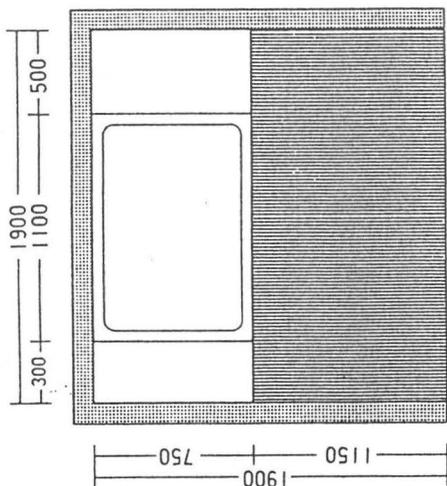
車いす介助



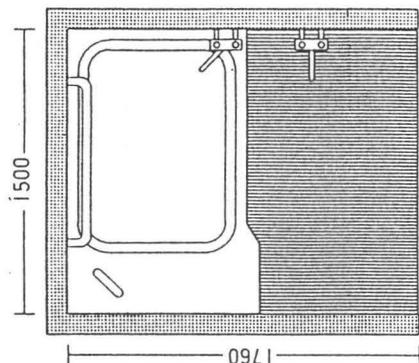
歩行困難、車いす+立位可



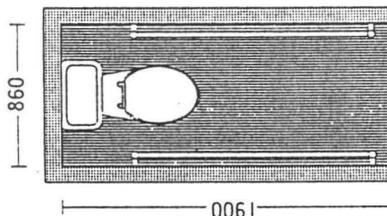
車いす自立、上肢健全



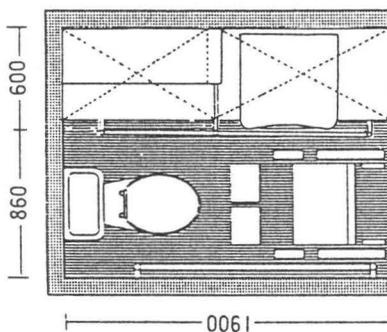
歩行困難、車いす、介助が可能な
高齢化、障害対応基本Aタイプ



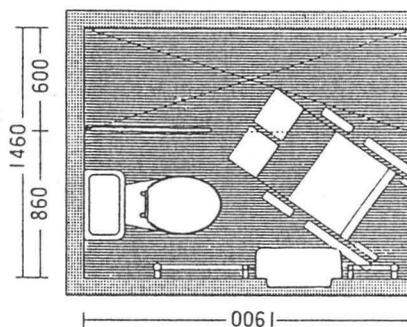
歩行困難+介助
基本タイプB



歩行困難、車いす前方アプローチ
高齢化対応基本Bタイプ

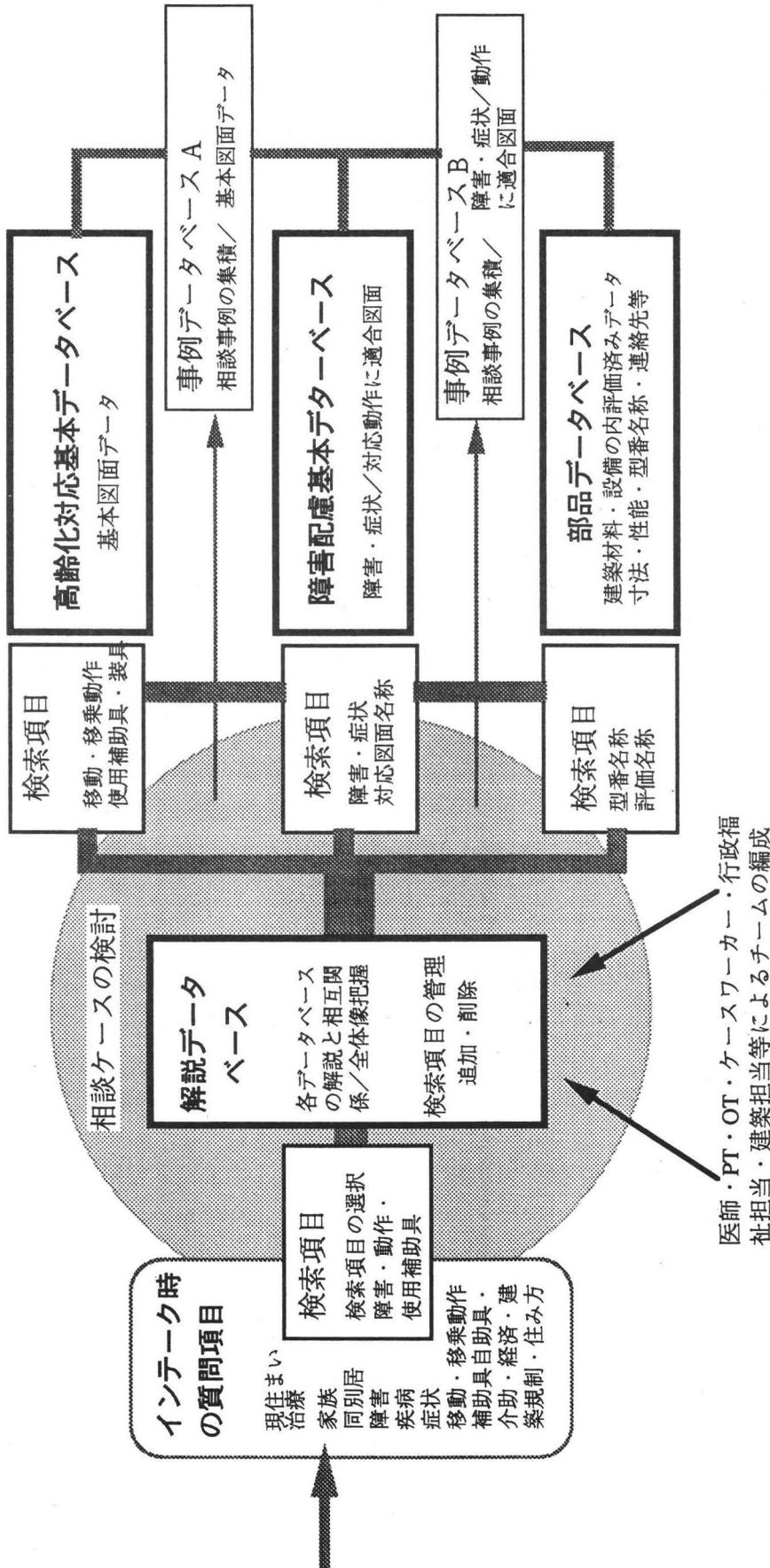


歩行困難、車いす前方アプローチ
洗面・収納
高齢化、障害対応基本タイプA-1



基本タイプA-2
車いす+介助

図-3 高齢者・障害者の住宅改造相談のためのシステム構成



- ※ 事例データベースABは相談ケースの内で、訪問調査・評価済みデータなどとの検討の上、データベースに組み込むもので、事例数の増加や配慮項目の新設に有功である。
- ※ データベース (DB) の相互関係は、配慮事項をインテーク時の質問項目の中から選択し、配慮事項を解説するデータベースで住宅改造の全体像を掴み、各レベルのデータベースをコントロールすることになる。

13. 東南アジアにおける住宅建材と

その生産システムに関する研究

京都大学工学部建築学科助教授

布野修司

はじめに

東南アジアにおける木造建築は、その豊富な森林資源と変化に富む環境の中で、多様な地域性を示している。特に伝統的民家は地域ごとに極めてヴァリエティに富んでおり、地域の生態的環境とのかかわりをみると、その自律的な建築生産システムに学ぶべきことは多い。しかし、現在東南アジアにおいて自律的に成立してきたこのようなシステムは急速に解体されつつある。東南アジア諸地域における生態系に基づく住居システム及びその生産・供給システムを再構築することは極めて大きな課題であるといえよう。

本研究は東南アジア諸地域における住宅の生産・供給システムの実態を把握し、その再生のための諸方策を考察・提案することを大きな目的とする。また、広くアジアの中の日本という視点から日本の木造建築文化を再考することもそのねらいとしたい。更に木造建築文化の再生・発展を目的とする日本と東南アジア諸国の技術・情報交流の可能性についても考察を行う。

主に焦点を当てるのは、東南アジアにおける住宅生産の実態把握である。情報収集は日本では建設省建築研究所、通産省工業技術院などの研究機関、あるいは木材・建材業者、商社を通じて、東南アジアではスラバヤ工科大学、アジア工科大学などの大学を通じて行った。

しかし、オープン・データとしては不備なものが多く、東南アジアの住宅建材の体系的な把握は困難な状況にある。そこで対象地域を限定し、ケース・スタディーを行うことにした。

対象地域として、インドネシア第2の都市で東ジャワの中心都市であるスラバヤと、現在でも比較的伝統的居住様式を守り続けているインドネシア・ロンボク島のデサ・バヤンを取り上げる。大都市圏と比較的閉ざされてきた孤島の比較を行うのがねらいである。

現地調査は、1993年11月24日～1994年1月20日、1994年9月2日～1994年10月20日の2度行なった。

1章 農村部における住宅建材

ケーススタディとしてインドネシアのロンボク島デサ・バヤンを取り上げる。

デサ・バヤンは近年までワクトゥ・テルという独特の信仰を保持しており、周囲との関係を拒んできた。集落の中心部は約150戸の住居によって構成される。住民のほとんどがバヤン出身者であり、血縁的な絆がかなり強く保持されている。伝統的な住居と集落が未だ残存しているが、近年かなりの改変が見られる。農村部の自律的な建築生産システムあるいはその変容を考察することが大きなテーマとなる。ここではデサ・バヤンのRT（エル・テーRukun Tetangga隣組）の一つ、グブック・テンガGubuk Tengahに焦点を当てる。

もともとデサ・バヤンの伝統的な住居といえばイナン・バレをもったバレ（住居）であった。しかし現在イナン・バレを持つものは数少ない。全住居数は現在45戸だが、そのうち建設中のもの4戸、空き家3戸を引いた38戸の内、イナン・バレを持つものはわずか7戸しかない。増築・改築が繰り返し行われている。

構造は木造あるいは煉瓦造、屋根材は瓦、トラン、アランアラン（カヤ）のいずれかを用いる。壁材は竹、コンクリートが主要をしめるが板を使う例も見られる。土台は土あるいはコンクリートである。

アランアランは伝統的な屋根葺き材で、遮熱性に優れ室内環境も良好なものになるのであるが、定期的に葺き替えの必要があるため手間がかかる。入手先は5km～10km離れた川や森であり、その輸送や葺き替えの労賃も含めて住居の規模によりそれは数万ルピア（調査当時19ルピア＝1円）にもものぼり割高感がある。

一方瓦葺きは耐久性があり、50ルピア／個と安価であるが、屋根重量は重くなり、下部支持構造はそれに見合った太い部材を使用し頑強に作らねばならず、必ずしも最良とはいえない。購入の際には、瓦自身重量があり、なんらかの運搬手段が必要であるため、瓦工場のあるタンジュンやマタラムといった都市部で入手することが多い。

またトタン葺きは、1枚7000ルピア程度と安く、かつ施工の容易性と下部構造を簡略化できるという利点から、普及が著しい。しかし、トタンは熱伝導率が高く、日中の日射によって室温の急激な上昇を招く。また雨天の際の騒音が激しいなどの欠点がある。

壁材の一つとしてよく使用される竹（バンブーマット）は、軒先の低い巨大な屋根を持つ伝統的な住居バレにおいて、地面とその低い軒の間を覆う通気性のよい仕切として主に機能していたが、最近では居住のプロポーションも変容して腰高となり、バンブーマットも壁としての意味合いを強めている。バンブーマットは近くの森で切り出してきた竹から自ら製作するケースもみられる。購入したとしても1枚1000ルピア前後と安価である。

煉瓦の壁体を持つ住居は都市部において一般的になっているが、デサ・バヤンのような農村部では、それほど多くない。バタ・メラ（煉瓦）自体は1個30ルピア程度と安価であるが、大量に必要となり、またその煉瓦を積むために必要なセメントも1袋10000ルピア程度の高価である。またこの工法ではバンブーマットでは不可能であったジャロジー付きガラス窓（25000～35000ルピア程度）もはめ込むことが可能となり、また扉やドアノブ、蝶番に意匠を凝らすことも可能になる。デサ・バヤンの周囲においてこういう住居の需要は少なく、この形式が一般的であるタンジュンやマタラムといった都市部で彼らは建築材料を求めることが多く、近郊で入手するものは釘や金具などの小物ぐらいである。

以上のように、バレの建設に際して自律的に形成されていた建材入手ルートは、大きく変わりつつある。煉瓦、セメント、トタンなどの建材を入手するために都市部との交通が活性化されつつある。

2章 都市部における住宅建材

スラバヤでの現地調査をもとに建材業者の分布と建材流通に関してみてみたい。主に対象とするのは建材屋街バリウェルティBaliwerti 通りの店舗と都心部のカンボン・サワハン近隣の建材屋である。

職業別電話帳（1993-1994）のBuilding Materials/Bahan Bagunan の項に掲載された 204軒の店舗を対象に分布を調査した。この項に掲載される店舗は一般に様々な種類の建材を取り扱っており、単一種の建材・資材を扱う店舗は削除されていると考えてよい。

10軒以上の建材店をもつ通りが2つある。バリウェルティ通りとクンバンKembang 通りである。特にバリウェルティ通りには16軒もの建材店が見られる。一方、1軒しかない通りも数多い。

204軒のうち71軒（35%）はそういった建材屋である。同じ通りに2軒しかないものも含めると、半分を超えることに注目したい。いわゆるカンボンの建材屋である。

しかし、スラバヤには電話帳に載らないインフォーマルな店舗も数多く存在する。デマックDemak 通り、ドゥパックDupak 通りにそういった建材屋が多いことがヒアリングからわかった。それぞれ木材、鉄筋といった躯体に関する建材を主に扱っている。

この様に建材屋はその分布から、建材屋街の店舗とカンボンの建材屋と大きく2つに分けることができる。

それぞれの建材屋街では扱う商品に一貫性がある。具体的には高級装飾建材のバリウェルティ、木材のデマック、鉄筋デュパックなどが挙げられる。購買層は主に大手のコントラクターであり、日本でいうところの問屋的性格を持つ。営業圏に関しても一般に広域に及んでいる。

一方カンボンの建材屋では、その顧客はその建材屋の位置しているエリアの住民であり、またそこに働くトゥカンたちである。ただし郊外住宅の場合、地域の建材屋が住宅建設の建材供給を行うことはほとんどない。建て売りの郊外住宅の場合、担当のコントラクターが直接建材店を指名するため、地域との関わりは薄くなる。利用されるのは緊急かつ少量の場合のみである。

ま と め

農村部、都市部両方において、建材の入手先が遠隔化しつつある傾向をみることができた。こういった遠隔化は、経済的に余裕ができてくるとともに進展していくものと考えられる。住宅規模の拡大や、それは建設に従事するトゥカンtukang・プンバントゥpembantuの人数が増加すればするほど、建材の入手も多様になる。より品質の良いものを求めてのことと考えられる。

職人の組織については、地縁・血縁によるところが未だ大きいのが、建材の入手に関しては、居住カンボン近郊に止まることなく、ますます拡大していく傾向にある。

研究発表

1994年6月 平成6年日本建築学会近畿支部研究報告集 第34号・計画係

東南アジアの建築生産システム1「地域の概要と建築生産システムの特徴」

東南アジアの建築生産システム2「建材屋の分布と建材流通」

日本建築学会計画系論文集 No. 478 1995. 12

デサ・バヤン（インドネシア・ロンボク島）における住居集落の空間構成

14. 集合住宅における通風の積極的利用 に関する研究

東京工業大学大学院総合理工学研究科
社会開発工学専攻博士課程

菅原正則

1. はじめに

夏季に蒸暑となるわが国において、涼しく住まうためには日射遮蔽と通風確保が家づくりの基本であるといわれている。特に集合住宅の場合、住戸の通風性能は主にその平面型（通路形式）によって左右され、それにより室内気候評価が大きく異なると考えられる。

そこで本研究では、住戸の平面型、窓面方位、高さが多様な集合住宅団地（図-1）を調査対象として選定し、まず「①住居環境に対する満足度評価の調査」より通風が住居環境評価に寄与する度合を検討する。そして「②室内気候の実測」の結果から、集合住宅の平面型に起因する通風性能の差および通風が体感温度に与える影響を確認した上で、住戸の快適性評価を試みる。また、住居者による時系列な室内気候評価の実態を捉えることを目的として行った「③クーラーの使用状況調査」に基づいて、実測の結果を裏付け、住まい方を考慮した場合の通風性能と室内気候評価の関係について考察する。

なお、団地内住戸はその3種類の平面型が特徴的である（表-1）。片廊下型と階段室型の間中型であるTYPE 1は奥行の割には間口が広く、ベランダ側は開口も大きい。玄関側は風呂などの水まわりが集中しているため開口は和室にあるのみである。階段室型であるTYPE 2は玄関が側方に配置されているので、間口は狭いが両側ともすべて開口部であり解放的である。片廊下型であるTYPE 3のベランダ側はTYPE 2と同様に解放的であるが、玄関側は玄関扉の上部に欄間があるのみで閉鎖的になっている。

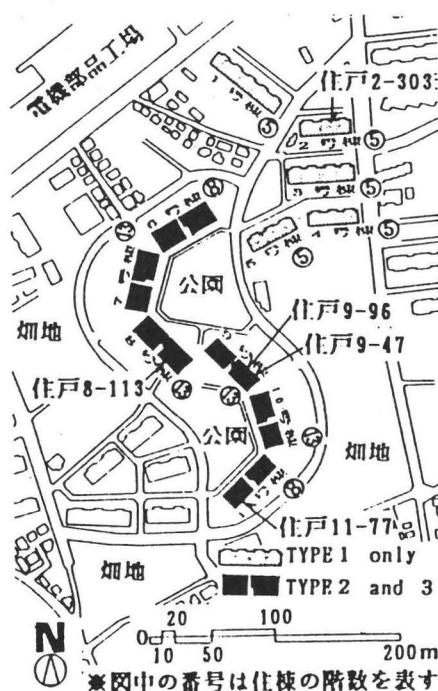
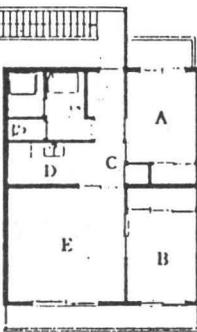
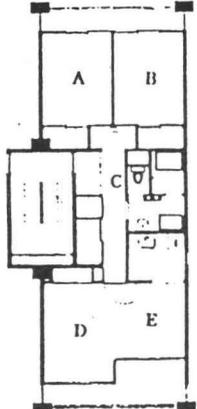
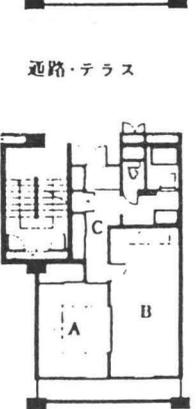


図-1 調査対象団地の概要

表-1 調査対象とした住戸の平面型

本論での呼称	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3
平面型	片廊下型と階段室型の中間型	階段室型	片廊下型
平面図			
Scale 1m			
住戸規模	2LDK (79.2m ²)	2LDK (65.1m ²)	1LDK (41.7m ²)
所在する棟	1~5号棟	6~11号棟	6~11号棟の11~9階(6、11階)のみ
測定場所 ※平面図参照 ※高さ1.0m	A 北和室 B 南和室 C 廊下 D 台所 E 居間	A 和室① B 和室② C 廊下 D 居間① E 居間②	A 和室 B 和室 C 廊下

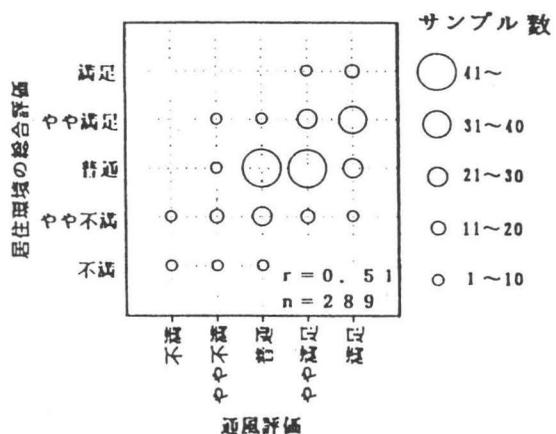
2. 通風が居住環境評価に与える影響

「①居住環境に対する満足度評価の調査」の結果から各評価項目と居住環境の総合評価の相関を求めると、広さと並んで通風の評価が最も高い相関を示していた(表-2)。また、通風の評価と総合評価との関係においては、通風の評価が高まるにつれて総合評価も高まる傾向であった(図-2)。このように、住み心地を決定する上で通風の占める役割は大きいと推察される。

表-2 各評価項目と居住環境の総合評価との相関

評価項目	居住環境の総合評価との相関係数
日照	0.34
通風	0.51
温度	0.45
湿度	0.35
騒音	0.36
間取り	0.48
広さ	0.51
自然環境	0.38
教育施設	0.37
医療施設	0.42
買物の便	0.45
交通の便	0.23

図-2 通風評価と居住環境の総合評価との関係



3. 平面型と通風性能の関係

1) 各気候要素の特徴

「②室内気候の実測」に基づいて実測住戸を気候要素別に比較したところ、平面型の異なる住戸の比較において気流速度とMRTに差が現われた(図-3)。気流速度は、住戸8-113 や住戸2-303 の廊下を除く居室において微弱であるのに対し、住戸9-96ではかなり強い性状を示した。一方MRTは、外気温と比較して住戸2-303 や住戸9-96では平均値で0~2℃の差に留まるのに対し、住戸8-113では2~3℃高めである。

住戸8-113、住戸9-96の方位は南西向きのため午後に日射侵入するが、MRTの変動性状において住戸8-113では壁体への蓄熱が監察されるのに対し、住戸9-96では観察されず、気流速度の変動性状と併せて考えると、これは通風による排熱効果の違いであると推察される。

2) 建築計画要素と室内気候

実測住戸を例に平面型と通風性能との関係について考察すると、まず住戸8-113、では、住戸9-96に比べ片側の開口が塞がれていることが気流速度の性状をほぼ決定していると考えられる。

一方、住戸2-303 は、住戸9-96に対して住戸の方位や高さ、住棟の規模や配置など周囲の条件も異なるが、平面だけに着目すると、住戸2-303 では玄関や浴室で間口が塞がれていることや通風輪道が曲折していることから通風性能の点で不利であるのに対して、住戸9-96では通風輪道が単純で風圧損失がすくないことや、バルコニーによって通風の促進が期待されるなど通風性能に有利な点がみられることから、一般にTYPE 1の住戸はTYPE 2に比べ、通風性能に劣ると考えられる。

また、住戸9-97と住戸11-77 の比較では方位意外に高さも異なり、どちらも風力による住戸の自然通風の駆動力に影響を与えることが知られているが、平面型に比べその影響は小さいようである。

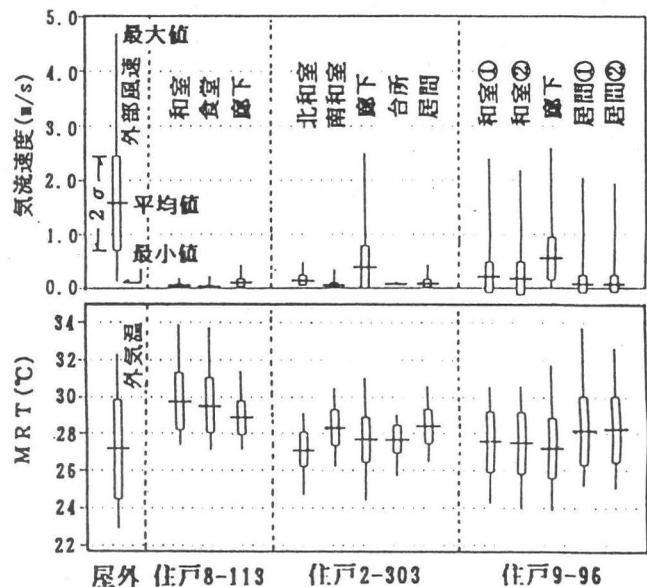


図-3 気流速度とMRTの変動性状

4. 平面型と室内気候評価

1) SET* を用いた室内気候評価

まず、体感における気流の効果を検討すると、気流速度1.0m/sのとき標準新有効温度SET* (代謝量1.1met/着衣量0.3clo) は4~6℃低下する(図-4)。これは室温の日較差にも匹敵することから、住戸内における気流の熱環境評価に与える影響の大きさが窮われる。

次に、データの時間間隔あたりのSET* 変化量の頻度分布(図-5)とSET* の累積頻度分布(図-6)から、それぞれの特徴量としてSET* の変化量の標準偏差と中央値を用い、各測定点における快適性を比較する。SET* の標準偏差は大きくなると変動に起因する刺激により快適性が高まると考えられ、また、ここでは夏の気候を扱うのでSET* の中央値は小さいほど涼しく快適と考えられる。よって図-7、図-8では右下から左上に向かって快適性が高まる

と考えられるので、これに従うと快適性は図-7においては住戸9-96、住戸2-303、住戸8-113の順、図-8では住戸11-77、住戸9-47の高いと評価される。

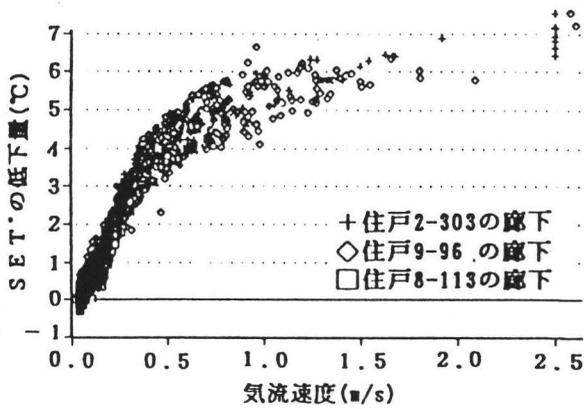


図-4 気流速度と SET* の気流要素による低下量との関係

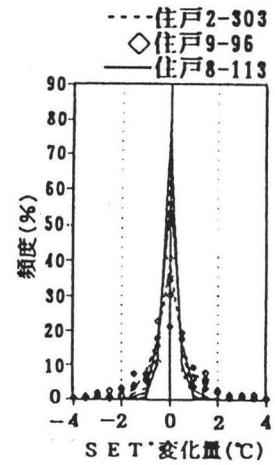


図-5 SET* 変化量の頻度分布

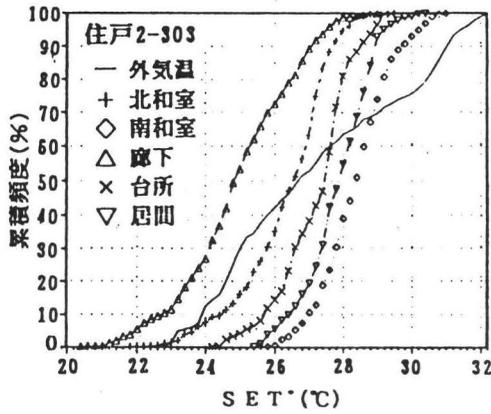


図-6 SET* の累積頻度分布の一例 (住戸2-303)

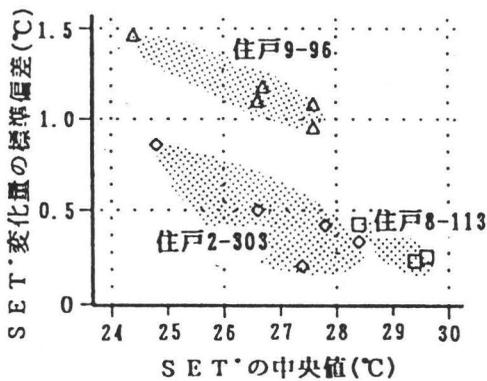


図-7 平面型の異なる住戸における室内気候の比較

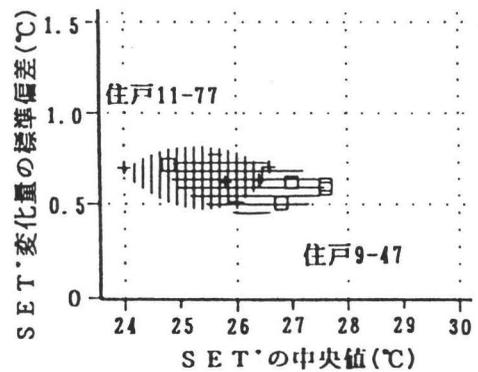


図-8 方位の異なる住戸における室内気候の比較

2) 居住者による室内熱環境評価

ここでは「③クーラーの使用状況調査」に基づく検討を行う。

2-1) クーラーの使用率の時刻変化

5日間のクーラーの使用率（図-9）において、TYPE 1はTYPE 2よりも全体的に使用率が高い。使用率のピークは昼だけでなく夜にもみられるが、その原因は、調査と同時に行ったヒアリングによれば「住居内に滞在する人数（家族）が増えることでクーラー使用に対する許容の度合が高まる」「プライバシーや防犯上の制約から、カーテン、玄関、窓、住居内建具が閉じられることが多くなり、通風環境が悪化する」ことが主に挙げられる。

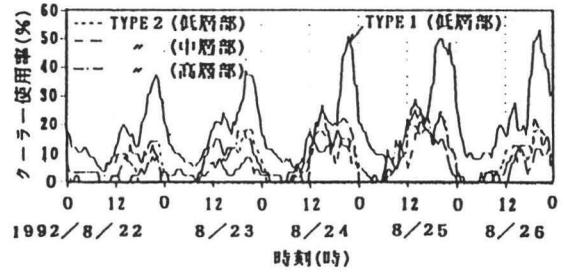


図-9 クーラー使用率の時刻変化

また、昼夜2つのピークの極大値がTYPE 2ではほぼ等しいのに対して、TYPE 1では夜の極大値が昼の2倍以上になる傾向がみられるが、その理由として、「昼は通風を得るために玄関を解放している」「特に1～2階の住戸ではベランダから不審者が侵入し易いことから夜間は防犯上の制約が切実となる」ことが観察やヒアリングの結果より挙げられ、これらのことを考慮した平面計画の重要性が確認された。

2-2) 外気温とクーラー使用率

夜は住戸が閉鎖的になりがちで外界気候の影響をうけにくくなることから、ここでは昼のデータ（図-10、8:00～17:00）に基づく検討を行う。外気温とクーラー使用率の関係（図-11）において、相関係数がいずれも高いので回帰直線を求めると、高さについては1～3%の差が生じたただけだったが、平面型については7～8%の差が生じていた。

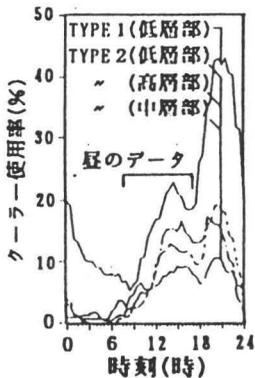


図-10 クーラー使用率の時刻別平均値

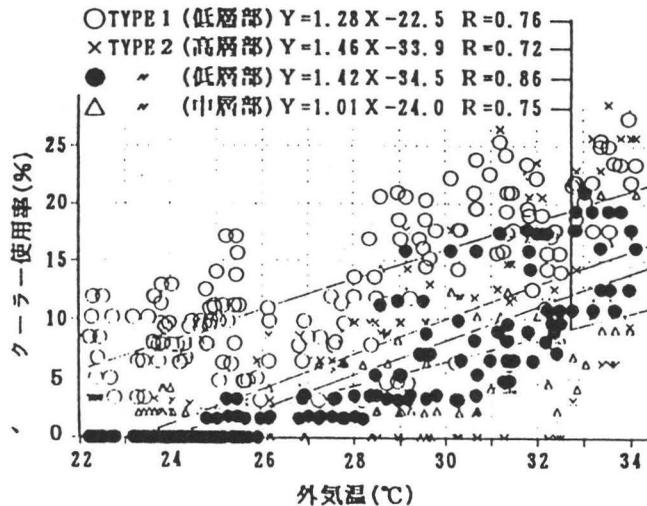


図-11 外気温とクーラー使用率の関係

2-3) 室温とクーラー使用開始率

クーラーの使用を開始する直前の熱環境は、その許容限界に達しているといえることができる。そこで、調査期間中にクーラー使用の申告があった住戸の許容限界をクーラーの使用開始時における室温の期間最低値で代表させ、その温度を越えたときにクーラーの使用が開始されると仮定すると、室温について累積することで、室温とクーラー使用が開始されている割合の関係が得られる(図-12)。これによると、クーラーの使用開始率が急激に増加するのは室温28°Cからであり、また室温が等しいときのTYPE 1の使用率はTYPE 2の1.5～2倍であった。実測に基づく室内気候の検討でも指摘したが、この差は通風性能の差であるといえる。なお、方位と高さを同一条件にして比較した場合でも、使用率はTYPE 1の方がTYPE 2よりも高かった。

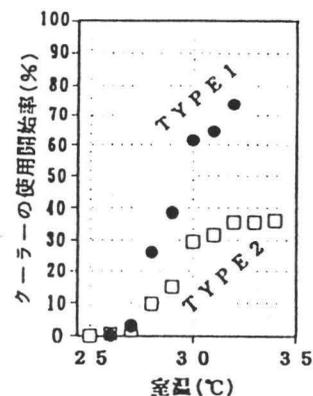


図-12 室温とクーラー使用開始率の関係

5. ま と め

夏季の通風は住み心地の決定に大きな役割を占めているが、集合住宅の場合、通風性能は平面により特徴づけられる。実測によれば、自然通風による体感温度への影響は室温の日較差にも匹敵し、またSET°を用いた室内気候評価では、平面による差が明確に現れた。なお、このことは居住者による室内気候評価からも裏付けられた。夜にプライバシーなどの制約が生じるとき、平面によっては通風環境が大幅に悪化することが指摘され、そのような制約により環境調整機能が損なわれない室内熱環境計画の重要性が示唆された。

6. 今後の研究予定

これまでは集合住宅の建築計画要素の中でも特に住戸の平面型に関して室内気候評価を比較検討してきたが、今後さらに庇やバルコニーのようなファサードデザインと通風や日射遮蔽の性能についての研究や、住まい方においてこれまで考慮されることの少なかった着衣量や生活行為すなわち代謝量の時系列変化に着目した調査も予定している。

研究報告者略歴（平成5年）

やの たかし 矢野 隆

- 昭和49年3月 大阪大学工学部建築工学科卒業
- 昭和51年3月 大阪大学大学院工学研究科建築工学専攻前期課程終了
- 昭和51年4月 熊本大学工学部助手
- 昭和63年2月 大阪大学より工学博士授与
- 昭和63年5月 熊本大学大学院自然科学研究所助手
- 昭和64年1月 熊本大学工学部助教授

いづみ きよひと 泉 清人

- 昭和35年3月 北海道大学工学部建築工学科卒業
- 昭和35年4月 日本電信電話公社建築局
- 昭和41年2月 ハワイ大学大学院修士課程建築学専攻修了
- 昭和42年6月 クエート国顧問建築家
- 昭和43年4月 室蘭工業大学助教授
- 昭和54年3月 室蘭工業大学教授

さとう てつみ 佐藤 哲身

- 昭和49年3月 室蘭工業大学建築工学科卒業
- 昭和51年3月 室蘭工業大学大学院修了
- 昭和51年4月 室蘭工業大学助手
- 昭和58年4月 北海学園大学工学部助教授
- 平成2年4月 北海学園大学工学部教授

やましたしゅう 山下 俊雄

- 昭和49年3月 熊本大学工学部建築学科卒業
- 昭和53年3月 熊本大学大学院工学研究科修士課程修了
- 昭和53年4月 有明工業高等専門学校建築学科助手
- 昭和57年7月 有明工業高等専門学校建築学科講師
- 昭和62年4月 有明工業高等専門学校建築学科助教授

まつだ ひろし 松田 浩

- 昭和55年3月 九州工業大学開発土木工学科卒業
- 昭和57年3月 九州工業大学大学院開発土木工学専攻修了
- 昭和57年4月 長崎大学工学部助手
- 昭和63年5月 長崎大学工学部講師
- 平成元年6月 ドイツ学術交流会（DAAD）奨学生
- 平成2年9月 Uni. Stuttgartに留学
- 平成3年4月 長崎大学工学部助教授

もりた ちひろ
森田千尋

昭和2年3月 長崎大学大学院工学研究科構造工学専攻修了
昭和2年4月 長崎大学工学部構造工学科助手

あげの かずたか
揚野一隆

昭和7年3月 長崎大学大学院工学研究科構造工学専攻修了
昭和7年4月 三菱長崎機工(株)

こばやし やすあき
小林康晃

平成7年3月 長崎大学大学院工学研究科構造工学専攻修了
平成7年4月 (株)総合技術コンサルタント

すずき
鈴木尉浩

平成7年3月 長崎大学大学院工学研究科構造工学専攻修了
平成7年4月 (株)大林組

あいば けんいち
相場健一

平成8年3月 長崎大学大学院工学研究科構造工学専攻修了予定
平成8年4月 松尾橋梁(株)入社予定

よしの ひろし
吉野 博

昭和46年3月 横浜国立大学工学部建築学科卒業
昭和48年3月 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
昭和49年12月 東京大学工学部建築学科助手
昭和51年12月 東京大学より工学博士授与
昭和53年4月 東北大学工学部建築学科助教授
平成4年5月 東北大学工学部建築学科教授

よしの しゅういち
松村秀一

昭和55年3月 東京大学工学部建築学科卒業
昭和57年3月 東京大学大学院修士課程修了
昭和60年3月 東京大学大学院博士課程修了
東京大学より工学博士を授与
昭和61年11月 東京大学工学部建築学科講師
平成2年2月 東京大学工学部建築学科助教授
平成4年 ローマ大学工学部客員教授を兼任

おみ やすお
小見康夫

昭和60年3月 東京大学工学部建築学科卒業
昭和61年11月 積水ハウス(株)勤務
平成7年3月 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻博士課程修了
東京大学より工学博士を授与

いわた 剛

- 昭和62年3月 早稲田大学理工学部建築学科卒業
平成元年3月 早稲田大学大学院理工学研究科建築工学専攻博士後期課程修了
平成元年12月 } デンマーク工科大学暖房空調研究所客員研修員
平成元年3月 }
平成4年4月 } 日本学術振興会特別研究員
平成5年3月 }
平成5年4月 鹿児島大学工学部助教授

さかもとひろし

- 昭和42年3月 北海道大学大学院修士課程修了
昭和42年4月 北海道大学工学部助手
昭和43年4月 北見工業大学工学部講師
昭和44年4月 北見工業大学工学部助教授
昭和54年4月 北見工業大学工学部教授

かがわ ゆきお

- 昭和33年3月 東北大学工学部通信工学科卒業
昭和35年3月 東北大学大学院工学研究科修士課程修了
昭和38年3月 東北大学大学院工学研究科博士課程修了
東北大学より工学博士授与
昭和38年4月 東北大学電気通信研究所助手
昭和45年4月 富山大学工学部電気工学科教授
この間 Technical Univerrrity of Norway
Universty of Southampton等の研究員
平成2年4月 岡山大学工学部電気電子工学科教授

わたなべさだお

- 昭和31年 東京大学工学部建築学科卒業
昭和33年 東京大学大学院数物系研究科建築学専門課程修士課程修了
東京大学大学院数物系研究科建築学専門課程特工課程をへて
昭和59年 東京大学より工学博士授与
昭和59年 東京大学工学部建築学科教授
平成5年 東京大学工学部建築学科名誉教授
平成5年 工学院大学工学部建築学科教授

きくち さとる

- 昭和44年3月 法政大学経済学部経済学科卒業
昭和50年5月 軽金属製品協会
平成3年5月 軽金属製品協会理事
平成4年4月 軽金属製品協会取手分室室長兼任

さとう のぶゆき
佐藤信幸

昭和51年3月 神奈川県工学部応用化学科卒業
昭和51年5月 軽金属協会
昭和61年4月 軽金属協会技術課長
平成3年4月 軽金属協会業務部長

おやまだ まこと
小山田誠

昭和48年3月 秋田大学大学院鉱山学研究科修士課程終了
平成元年12月 軽金属協会
平成4年4月 軽金属協会試験研究課長
平成7年4月 軽金属協会取手分室次長

みた いくお
三田郁夫

昭和34年3月 日本大学大学院工学研究科修士課程終了
平成2年5月 軽金属協会技術顧問

おくし ようこ
奥地葉子

昭和44年3月 和歌山県立新宮高校卒業
平成3年2月 軽金属協会

いまがわ のりひこ
今川憲英

昭和44年3月 日本大学理工学部建築学科卒業
昭和44年4月 東京大学生産技術研究所川股研究室
昭和45年4月 (株)構造設計集団 (S. D. G)
昭和52年10月 (株)構造設計集団退社
昭和53年4月 (株)テイ. アイ. エス. エンドパートナーズ設立
昭和61年4月 職業能力開発大学非常勤講師
平成元年4月 武蔵野美術大学建築学科非常勤講師

しのだ さとし
信田 聡

昭和57年 東京大学大学院農学系研究科林産学専門課程博士課程修
東京大学より農学博士授与
昭和57年 北海道立林産試験場木材部乾燥研究室研究員
昭和62年 東京大学農学部林産学科木質材料学教室助手

いしだ みちたか
石田道孝

昭和42年3月 日本大学理工学部建築学科卒業
昭和44年3月 日本大学大学院理工学研究科建設工学専攻修士課程修了
昭和44年4月 東京都立葛西工業高校教諭
昭和45年4月 日本大学理工学部助手
昭和61年4月 日本大学理工学部専任講師

^{ふのしゅうじ}
布野修司

- 昭和47年3月 東京大学工学部建築学科卒業
- 昭和51年3月 東京大学大学院工学系研究科建築学専門課程修了
- 昭和51年4月 東京大学工学部建築学科助手
- 平成元年4月 東洋大学工学部建築学科助教授
- 平成3年4月 京都大学工学部建築学科助教授

(論文の部)

^{すがわらまさのり}
菅原正則

- 平成3年3月 東北大学工学部建築学科卒業
- 平成5年3月 東京工業大学大学院総合理工学研究科社会開発工学専攻修士課程修了
- 平成5年4月 東京工業大学大学院総合理工学研究科社会開発工学専攻博士課程

第2回（平成5年度）助成研究成果報告集

1996年3月25日 発行

財団法人トステム建材産業振興財団

東京都江東区大島2丁目1番1号
トステムハウジングプラザビル7階

TEL. 03-5626-1008

FAX. 03-5626-1033
