# 第6回（平成9年度）
# 研究助成成果報告書

2000年3月

財団法人トステム建材産業振興財団

# はじめに

いま住宅建材産業は地域環境保護のために、高気密・高断熱住宅など高耐久・高機能・高齢化社会により対応したより健康的な居住環境形成を提供できる建材技術の開発に積極的に取り組んでいくことが要求されております。

省エネルギー、高品質・生産性の高い体制、良質な建物ストック形成の維持保全などを初めとした社会の多様の要請に応えていくために、総合的な観点から今後より一層の充実・強化の必要を痛感しているところであります。

そのために平成4年より、トステム建材産業振興財団では『住宅・建材産業の分野における調査・研究の充実、国内・海外との交流・協力さらには人材育成に寄与するため』に研究助成を続けて参りました。

本年で9年目を迎え、設立以来８期間における助成先は延べ196件、助成金額は2億2,513万円に達しております。それにより第1回（平成4年）11件、第2回（平成5年）14件、第3回（平成6年）15件、第4回（平成7年）22件、第5回（平成8年）23件、そして今度第6回（平成9年）は33件の成果報告ができましたことは誠に喜ばしい限りでございます。

これらの有意義な研究成果がこれからの住宅･建材産業の発展に貢献できれば幸いと存じます。

当財団としても、今後もこのような研究助成・その成果発表会そして自主事業の運営を図っていきたいと存じますので、よろしくご指導、ご鞭撻の程お願い申し上げます。

トステム建材産業振興財団

潮田　健次郎

# 目　　次

はじめに

第１部　調査研究

１－１　溶融凝固法による超軽量アルミニウム基ガラス･セラミック複合機能材料作製に関する研究
－$AC_4CH$に対する$Al$-40%$Si$，$Al$-$Fe$合金粉末のレーザークラッディング－
東京大学大学院工学系研究科　教　授　梅田　高照 …… 1

１－２　アルミニウム合金リサイクル建材における不純物の無害化技術の開発
長岡技術科学大学機械系　教　授　小島　陽 …… 25

１－３　マルチリブを有する部材の耐力及び変形能力と断面設計法の研究
(97-02)
名古屋工業大学　教　授　小野　徹郎 …… 71

１－４　植物系炭化材料を用いた透気性建築部材の開発
(97-04)
東京工業大学大学院総合理工学研究科　教　授　梅干野　晃 …… 77

１－５　快適な居住空間を創造するボード（漆喰＋天然ゼオライト）の研究開発
(97-19)
日本大学理工学部交通土木工学科　教　授　三浦　裕二 …… 91

１－６　機能性壁材を用いる自然エネルギー利用型室内環境制御システムの構築
名古屋大学難処理人工物研究センター　教　授　松田　仁樹
名古屋大学大学院工学研究科　助　手　渡辺　藤雄 …… 117

１－７　木板の吸・放湿性能の改善と調湿作用に関する研究
国立岐阜工業高等専門学校・建築学科　教　授　大澤　徹夫
県立姫路工業大学環境人間学部　助教授　上川　忠浩 …… 129

１－８　高強度・高耐水性を有するポリマー・水硬性無機質複合材料の開発と応用
桐蔭横浜大学大学工学部機能化学工学科　助教授　高田　朋典 …… 141

1－9　ハウスエクステリアにおけるウッドデッキの温熱環境調節効果
(97-18)
東京大学大学院農学生命科学研究科　助教授　信田　聡 …… 161

1－10　太陽エネルギーを利用したふく射型冷暖房複合パネルの最適設計手法の構築
(97-05)
に関する研究
東京理科大学工学部電気工学科　教　授　谷　辰夫 …… 179

1－11　新築住宅におけるホルムアルデヒド濃度の実態調査とその除去法に関する研究
東北大学工学研究科　教　授　吉野　博 …… 187

1－12　長野県内の新築住宅を対象としたホルムアルデヒド濃度の経年変化に関する
(97-15)
実態調査
信州大学工学部社会開発工学科　助　手　長谷川兼一 …… 207

1－13　高断熱・高気密住宅の自然冷房に関する研究
(97-21)
北海道大学大学院工学研究科　教　授　絵内　正道 …… 217

1－14　関東の高断熱・高気密住宅に関する温熱環境・エネルギー調査
(97-10)
東洋大学工学部建築学科　講　師　永峰　章 …… 225

1－15　高断熱・高気密住宅における低湿度環境の実態と湿度調整の方法に関する研究
(97-32)
秋田県立大学システム科学技術学部　教　授　松本　真一 …… 237

1－16　断熱気密化住宅における室内環境問題と持続発展可能な住環境のあり方
(97-30)
に関する研究
－音環境の評価手法とその改善について－
日本大学理工学部建築学科　教　授　関口　克明 …… 247

1－17　冷房発停および窓・扉開閉スケジュールの確率入力が室内熱負荷特性に
(97-23)
及ぼす影響に関する研究
九州大学大学院総合理工学研究科　助教授　谷本　潤 …… 285

1－18　住宅の建築意匠・室内温熱環境居住者の意識ライフスタイルの整合性について
京都大学　西森　文佳 …… 297

1－19　居住環境におけるカビ（真菌）の動態調査研究
(97-27)
お茶の水女子大学大学院人間文化研究科博士後期課程　相原　真紀 …… 305

1－20　住環境とアトピー性皮膚炎　―その相互関連と対策の方向を探る―
(97-28)
名古屋工業大学工学部社会開発工学科　教　授　水谷　章夫
名古屋工業大学医学部健康社会医学　助教授　須藤　千春 …… 317

1－21　景観材料におけるバリアー形成要因の把握と解決方法の研究
(97-26)
神奈川大学工学部建築学科　教　授　高橋志保彦 …… 331

1－22　米国のホームインスペクター養成制度に関する研究
(97-24)
カリフォルニア州の養成機関におけるケーススタディを通して
大阪樟蔭女子大学学芸学部　教　授　一棟　宏子
岐阜女子大学家政学部　教　授　中野　迪代 …… 343

1－23　住宅の生産性向上を目指した建築材料の生産性尺度に関する研究
(97-13)
早稲田大学理工学部建築学科　教　授　嘉納　成男 …… 371

1－24　住宅生産におけるDo It Yourself手法の成立条件に関する研究
技術的、経済、文化的諸条件の検討
工学院大学工学部建築学科　助教授　遠藤　和義 …… 383

1－25　近代から現代の住宅における建築材料と構法の変遷
(97-16)
東京理科大学工学部建築学科　教　授　真鍋　恒博
東京理科大学工学部建築学科　助　手　加藤　雅久 …… 399

1－26　石川県内の建築に関わる職人の現状　－耐久性評価の基礎－
金沢工業大学　助教授　浦　憲親 …… 409

1－27　家庭科における建築設備・住教育に関する研究
(97-22)
(社) 空気調和・衛生工学会　正会員　田中　辰明 …… 417
(お茶の水女子大学生活科学部　教授)

**第２部　人材育成・論文**

２－１　第21回学生建築設計優秀作品展・第４回学生CAAD教育の現場展
(97-29)
有限会社レモン　代表取締役　松永　太郎 …… 437

２－２　建築CAD基礎教育支援システム
釧路工業高等専門学校　学校長　芳村　仁 …… 447

２－３　３次元CADを用いた建築・都市環境設計支援システム
(97-20)
徳山工業高等専門学校　校　長　西口　千秋 …… 451

**第３部　国際会議・国際協力**

３－１　国際女性建築家・研究者会議「環境共生時代の居住環境を考える」
(97-14)
－高齢化社会への視点と省資源居住環境のあり方をめぐって－
UIFA国際女性建築家会議第12回日本大会　実行委員長　松川　淳子 …… 463

**第４部　国内交流**

４－１　ミニマルなすまい
社団法人日本建築学会　事業理事　村上　處直 …… 475

４－２　公開シンポジウム「シックハウジングの現状とその対策」
(97-08)
住まいと環境・東北フォーラム　理事長　吉野　博 …… 483

**編集後記**

# 1－1　溶融凝固法による超軽量アルミニウム基ガラス・セラミック複合機能材料作製に関する研究

## －$AC_4CH$に対する$Al$-40%$Si$, $Al$-$Fe$合金粉末のレーザークラッディング

東京大学大学院　工学系研究科
教　授　梅　田　高　照

## 1．緒言

### 1.1　アルミニウムの表面改質技術［1］

アルミニウム合金は軽量でかつ加工性に優れるため様々な分野で使用されているが、その欠点の一つとして耐摩耗性が鉄鋼材料と比較して著しく劣ることがある。

アルミニウム合金に耐摩耗性を付与する最も可能性の高い方法としては、アルミニウム合金表面を溶融し、そこに適当な物質を添加して複合層を形成する方法が挙げられている。この方法では、まずアルミニウム合金表面を溶かさなければならないが、そのためにはエネルギー密度の高い熱源を用いなければならない。というのも、アルミニウムは融点は低いものの熱伝導度が大きいため、低エネルギー密度の熱源で加熱を行うと、母材表面のみならず、母材全体を溶かしてしまうからである。表1.1［2］に代表的な熱源のエネルギー密度を示すが、電子ビーム、レーザービームは、特にエネルギーが密度高い。この両者の違いであるが、レーザービームが大気中で使用できるのに対し、電子ビームは高真空中（1×10－4Torr）でしか使えないという欠点がある。よって、アルミニウム合金の表面改質用溶融熱源としては、レーザービームが優れた特性を示しているといえる。

### 1.2　レーザークラッディングによる材料表面改質

添加物質の添加法により、コーティング法と供給法との二つに大別される。

①コーティング法

(1) 粉末塗布法

材料表面にバインダーを使用して添加物質を塗布しておき、そこにレーザーを照射して材料表面もろとも溶融し、改質層を形成する方法である。バインダーには、粉末塗布のしやすさ、レーザー照射時の耐剥離性、混入による悪影響などを考慮し、アクリル溶液やエチルアルコールなどが使用されている。この方法は、粉末の種類や形状に関係なく適用できるという長所を持つ反面、塗布厚さを均一にするのが困難であるという短所がある

②プレーティング法

メッキ、スパッタリングなどの方法により添加物質を被覆する方法である。この方法による被覆層

は緻密で母材との密着性もよく、塗布厚さの制御も粉末塗布法に比べ優れている。しかし、合金添加元素の種類が多い時には何層かに分けて被覆することが必要となる上、厚い被覆層を作成する場合には皮膜中に水素ガスが多く含まれ、気泡の原因になる。

②供給法

(1) 粉末供給法

レーザー照射時に形成される母材の溶融池に粉末を直接投入する方法で、コーティング法のような前処理が不要で、また母材形状によらず必要な場所にクラッド層を形成できる特長がある。しかし、密度、粒度、形状の異なる粉末を一定速度で供給する装置が必要で、また溶融池に粉末を効率よく供給するため、供給ノズルの入射角度や狙い位置を正確に制御する必要がある。

(2) ワイヤ供給法

ワイヤの形で溶融池に直接投入する方法であり、主として金属材料が中心である。

(3) ガス法

添加元素ガス雰囲気中でレーザーを照射することにより、溶融部にガスの成分を溶け込ませる方法である。添加元素を母材表面に被覆する必要もなく、また繰り返しレーザーを照射することにより添加元素の濃度を増加させることもできる。しかし、所定の雰囲気にするためのチャンバーなど特別な装置が必要となる。

コーティング法、供給法のいずれにせよ、母材に依存しない層特性および高い密着性が得られると特徴づけられる。

ここでクラッド添加物質について、特にアルミニウム合金母材に対するレーザークラッディングの場合について整理すると、以下のニつに大別できる。

①母材のアルミニウムと反応して化合物を形成するもの。

(a) 窒素、酸素といった非金属元素

$A_1N$ ($Hv$1200) や$Al_2O_3$ ($Hv$2000) を形成し、硬化に寄与する。

(b) $B$、$C$、$Si$といった半金属元素

$B$は非常に硬い化合物である$AlB_{12}$ ($Hv$3300) を形成し、また炭素Cも$Al_4C_3$を形成し、硬化に寄与する。シリコンは古くから$Al$合金の耐摩耗性を高める元素として知られている。

(c) 金属元素

アルミニウムと$CuAl_2$ ($Hv$400～600)、$Al_3Fe$ ($Hv$800)、$TiA_1$ ($Hv$170～240) といった金属間化合物を形成し、硬化に寄与する。

②母材のアルミニウムと化合物を形成しないもの

硬質セラミックスを溶融したアルミニウム母材中に分散混合させることにより、表面にセラミックス複合化層を形成するものである。添加されるセラミックスに要求される性質には、硬さ以外にレーザー照射時に熱劣化を起こさないような高融点であることが挙げられる。これらの条件を満たすセラ

ミックスとして、$TiB_2$、$SiC$、$Si_3N_4$などがある。

これまでの研究での粉末と母材の組合せ具体例を、アルミニウム合金を中心に表1.2に示す。

### 1.3 本研究の目的

前節までに述べた現状を考慮した上で、以下のような目的で本研究を行った。

1）*Al-Si*系合金$AC_4CH$の母材に対する*Al*・40*wt*%*Si*合金または*Al*-12%*Fe*、*Al*-8%*Fe*、*Al*・4%*Fe*合金のレーザークラッディングを行い、実験条件と晶出組織を検討し、レーザークラッディングの溶融凝固機構を明らかにする。レーザークラッディングにおけるレーザー出力、レーザー走査速度、デフオーカス距離などの実験パラメーターを変化させて実験を行い、それぞれのパラメーターがクラッド形状や晶出組織にどの様な効果をもたらすかということについて調べる。

2）実際にレーザークラッディングにより得られた試料に対して、硬さ試験、摩耗試験を実施し、クラッド層内の組織と特性の関係について調べる。

## 2．実験方法

### 2.1 実験試料

レーザークラッディングの対象母材として鋳造性、靭性に優れ、自動車ホイール用合金などに使用されているアルミニウム合金$AC_4CH$（*Al*-7.0%*Si*-0.36%*Mg*、試料サイズ70×25×10mm）を選定した。

肉盛り層を形成するクラッド材としては、*Al*-40*wt*%*Si*合金粉末および*Al*-12*wt*%*Fe*、*Al*・8*wt*%*Fe*、$A_1$・4*wt*%*Fe*合金粉末（いずれも球状アトマイズ粉、100-150$\mu$m）を用いた。これらの粉末をクラッディングすることにより、硬質な過共晶*Si*または*Al-Fe*系の金属間化合物を微細に分散させた組織を形成させることにより、母材表面の硬さ、耐摩耗性を向上させることを狙いとして、このような粉末を用いた。

試料粉末の組成、粒度および母材の組成のデータを表2.1.1、表2.1.2に示す。

### 2.2 実験装置

#### 2.2.1 $CO_2$レーザー装置

本実験では高出力で連続発振可能な$CO_2$レーザー装置（波長10.6$\mu$m、定格出力3KW［マルチモード時］）を用いた。

レーザー照射時には加工レンズの保護のためにレーザーと同軸で同心円上にビームを取り巻く形で加工ガスを流す。本実験では、ガスシールドの意味で、アルゴンガスを加工ガスとして用い、クラッド材粉末の飛散、剥離を抑える意味で低いガス圧で流量を1.5l/minとした。さらに、少ないガス量でシールドの効果を高めるために、レーザー照射軸に対して35°をなす試料の上方から、アルゴンガスを同程度の流量吹きながら実験を行った。その他レーザー装置の仕様については表2.2および表

2.3に示す。

### 2.2.2 粉末供給装置

粉末供給法によるレーザークラッディングにて用いる粉末供給装置は、まず第一に密度、粒度、形状の異なる粉末を一定速度で供給することが求められる。過去の研究例等で用いられている粉末供給方式としてはキャリヤガスにより粉末を運搬するキャリアガス方式が一般的である。この方式ではカスの流量による粉末の流量の設定が容易であるという長所を持っている一方で、レーザークラッディング時において、粉末と母材の溶融時に、粉末を運んできたキャリアガスが溶融部に巻き込まれ凝固時にトラップされ、気泡の発生源となりうる欠点を本質的にはらんでいる。

また、基本的に重力を利用して、粉末タンクやノズルに工夫を凝らし粉末を運搬する、各種重力落下方式も存在するが、流量を一定にするのは困難である。さらにレーザークラッディング時には、粉末供給はON-OFFを繰り返す高い応答性が求められるが、両者ともそのようなプロセスに向いていない。

そこで本研究ではガスの巻き込みがなく、流量の設定が容易でかつ高精度、高応答性が期待できる粉末供給装置として、超音波モータ式粉体フィーダーを選定した。この装置の模式図及びその動作試験結果、仕様をそれぞれ図2.1、図2.2、表2.4に示す。図2.2の圧電素子部分への駆動電圧の印加により発生される縦方向及び屈曲振動により、粉末がたまっている水平部分は楕円振動をする。この一定の楕円振動により、粉末は常に定量ずつ送り出される格好となる。また、駆動電圧を制御することにより、粉末の供給量を正確に制御可能である。

また粉末供給に関してはレーザービームに対しての供給位置及び粉末を投入する際の角度がクラッドの可否を決定づける要因の一つであるといわれている。M. Rappazら［17］［18］によると、粉末の投入角度が小さいと、すでに形成されたクラッドの陰になり、粉末の供給がうまくいかない。そこで願わくはレーザーと同軸が望ましいが、加工ヘッド形状の制限があるため、粉末の投入角度は55°とし、粉末供給位置がレーザーの溶融部に効果的に投入できるようノズル位置を図2.1の様に決定し取り付けを行った。

ここで、今回実験に用いた粉体フィーダーで、一定の供給速度で供給できる粉末の粒度は、粉末の種類にもよるが、およそ50$\mu$m程度以上の粒径の粉末である必要がある。50$\mu$m以下の粒度分布に高い割合を示すような粉末では、粉末の凝集度が高くなってしまい、一定の供給速度が保てない、あるいは全く供給ができなくなってしまう。

## 2.3 粉末供給法によるレーザークラッディング実験

粉末供給法によるレーザークラッディング実験の模式図をそれぞれ図2.4に示す。

母材に対しては、粉末静置法の場合と同様に、平滑化処理、洗浄、乾燥の予備処理を施した。レーザー処理を行う前に、前述の通り、粉末の供給量がその時々の湿度等の条件で変化し得るので、まず、

粉末の供給量を正確にチェックしておく。その後、粉末供給の速度、レーザーパワー、及びレーザー走査速度のパラメーターを適宜決め、粉末供給を行いながら、レーザーを操作させる。以下の作業は粉末静置法の場合と同様に組織観察をおこない、次節で記す特性評価を行った。

### 2.4 クラッド層の機械特性評価

本研究で目的の一つに挙げている、$AC_4CH$の表面改質、特に母材表面への硬さ及び耐摩耗性の付与という観点からマイクロビッカース硬さ試験及び摩耗試験によりクラッド層の機械的特性を評価する。

#### 2.4.1 マイクロビッカース硬さ試験

試験用の試料は、レーザー走査方向に垂直な断面を切り出し、観察用試料と同様に樹脂に埋め込み、エメリー紙及びパフ研磨で鏡面仕上げを行ったものを用いた。試験前は水で超音波洗浄の後、エタノールで水分をとばし、表面の油等の汚れ、異物を除去する前処理を行った。試験は図2.5に示すようにクラッドの中央部を表面から母材内部にわたって行った。試験荷重は0.1kgとした。その後、圧痕の対角線の長さを光顕観察により計測し、次式に示す関係を用いてビッカース硬さを求めた。

$$Hv = \frac{f}{S} = \frac{2F\sin\theta}{d} = 1.8544\frac{f}{d}$$

ここで、$Hv$：ビッカース硬さ。

$F$：荷重（kgf）

$S$：くぼみの表面積（$mm^2$）

$d$：くぼみの対角線の長さの平均（mm）

$\theta$：ダイヤモンド圧子の対面角（$=136^\circ$）

#### 2.4.2 摩耗試験［8］

本実験では大越式摩耗試験により試験を行った。この試験法は図2.6で（$d$）に分類されている方法で、平らなピン（試験片）端面に回転円筒（相手材）を接触させる形式のものである。試験開始時、ピンと円筒は線接触であるが、時間の経過とともに、摩耗の進行により接触面が鞍形になり、面接触に移行していく。摩耗量はピンの重量変化により求められる場合が多いが、摩耗痕の幅を測定することによっても摩耗容積を見積もることができる。この試験法の長所は、ピン（試験片）の形状が平面で良いため、ピンの制作が容易であることと、摩耗状態が安定しており、高遠摩耗が可能ということが挙げられる。しかし接触面が摩耗とともに増大し、真の接触圧力が低下してしまう短所がある。この接触圧力の低下を防ぐため、摩耗の進行に対応して荷重を増加させ常に接触圧力を一定に保つ様にしている。

実際の試験用の試料としては、幅5mm、深さ0.5mmの溝を掘った母材に対してレーザークラッディング処理を２パス重ね合わせるように行い、溝を埋め、その後、母材の表面位置まで切削加工に

より平滑化処理し、クラッド層のほぼ中央あたりの耐摩耗性を試験できるようにし、試験用の試料とした。(図2.7参照)

異なるレーザー条件でレーザークラッディング処理し、上記の要領で処理した試料に対して、それぞれ摩耗速度を0.94m/s、1.96m/s、2.86m/s、4.36m/sと変化させて摩耗距離100mまで試験を行い、重量の変化から、比摩耗量を算出し、耐摩耗性の評価を行った。ちなみに試験の相手材（ロール）はS45C（HRC40）とし、無潤滑条件の下、試験を行った。最終荷重は20.6Nであった。

## 3．実験結果および考察

### 3.1　合金粉末クラッディング実験ー組織、希釈率

#### 3.1.1　*Al*-40%*Si*合金粉末クラッディング

(1) レーザー処理条件の選定

粉末供給装置の取り付け上の制限から粉末供給法ではデフオーカス距離を20mmとする。試料走査速度については500mm/min以上の走査速度では気泡の発生および接着不良が見られた。またレーザー出力については約2.0kW以上の範囲で良好な肉盛り層を得ることができた。

(2) レーザー処理条件と組織、希釈率

図3.1および図3.2は粉末供給法によるレーザークラッディングで得られた肉盛り層の断面マクロおよびミクロ写真である。(a)、(b)、(c）ともに試料走査速度250mm/minおよびレーザー出力3kWと一定とし、粉末供給速度をそれぞれ変化させている。粉末供給速度が大きくなることにより、肉盛り層部分の高さ、面積が大きくなり、母材溶融部の深さ、面積は浅くなっている様子が見られる。つまり粉末の供給速度の増大により、母材による肉盛り層の希釈率が小さくなっている。それに伴い、肉盛り部の組織は初晶$\alpha$と共晶で構成される組織（$\alpha+E$）から全面に共晶が観察される組織（$E$)、初晶$Si$と共晶で構成される組織（$Si+E$）に変化している。

このように、レーザークラッディングで得られる組織は、クラッド肉盛り層が母材合金によって、どれだけの割合で希釈されるか、またその割合によって決定されるグラッド層の平均組成が、どの程度になっているかが、晶出する組織の決定の大きな要因となることがわかった。そこで、断面組織の観察結果から得られる、クラッド肉盛り部および母材溶融部の断面積を用いて、母材合金によるクラッド層の希釈の割合として希釈率fなるものを、次式のような関係に定義した。

$$f=\frac{B}{A+B}$$

$A$：クラッド肉盛り部の断面積

$B$：母材溶融部の断面積

この希釈率という考え方を用いて、これまでの実験結果を整理してみる。

図3.3では粉末供給速度は一定で、レーザー出力を変化させているのだが、レーザー出力を小さくすることにより、母材の溶融量は減り、母材による肉盛り層の希釈率が小さくなる様子を示している。この写真の条件では、組織はともに、*Si*過共晶組織となっているが、先程同様、レーザー出力を変化させることにより、組織を変化する。これらの関係をまとめたのが図3.4である。このようにレーザークラッディングにおいて得られる組織はレーザークラッディング処理条件により決まる希釈率によって左右される。

またレーザー出力を2.5kW一定の条件で試料走査速度および粉末供給速度を変化させたときに得られる組織と希釈率の変化を示したのが図3.5である。ここで横軸は単位長さあたりの粉末供給量(g/mm, ＝粉末供給速度（g/mm）／試料走査速度（mm/min)）である。これによれば、粉末供給量の増大に伴い希釈率が低下する。組織に関して言えば希釈率の低下に伴って（$\alpha+E$）から（$Si+E$）に変化している。また試料走査速度が遅くなると、希釈率が大きくなる傾向もみられる。

### 3.1.2 *Al*-12%*Fe*系合金粉末クラッディング

(1) レーザー処理条件

デフォーカス距離$D$＝20mm、レーザー出力$P$＝2～3kW、レーザー走査速度$Vb$＝250mmの条件でレーザー照射を行った。粉末の供給速度は1.4～5.2g/minの範囲で変化させた。この条件ではほぼ気泡は観察されず、母材との接着は良好であった。

(2) 組織および希釈率

図3.6、図3.7、図3.8は各条件で得られたクラッド層及び母材溶融部の横断面写真（マクロ、ミクロ）である。

ここで、今回の実験条件で観察された組織を分類すると大きく３つの組織に分類される。

（$\alpha+e$）：初晶$\alpha$とその間を埋める共晶

（$e$）：共晶がメインで晶出しているもの

（$Al_3Fe+e$）：比較的大きな針状の$Al_3Fe$とその間の共晶

これら３タイプの組織と、（$\alpha+e$）と（$e$）が混在している組織（$\alpha+e,e$）および（$e$）と（$Al_3Fe+e$）の組織が混在しているもの（$Al_3Fe+e,e$）の計５種類が観察された。（$\alpha+e,e$）では共晶は主にクラッド底部に分布するが、クラッド底部に加え、クラッド表面に共晶が観察されるものもあった。

ここで観察された共晶組織（$e$）についてであるが、これはX線回折分析の結果から、$\alpha$と主に$Al_9FeSi_3$からなる共晶であると思われる。しかしX線回折のピークに未知のものもあり、この組織に関してはなお検討の余地がある。

これら得られた組織とレーザー照射条件との対応を図39に記す。またこの各条件での希釈率でまとめたものを図3.10に示す。これによると、粉末供給速度が大きくなるにつれ、またはレーザー出力が小さくなるにつれ、観察される組織は（$\alpha+e$）から、（$\alpha+e,e$)、（$e$)、（$A_{13}Fe+e,e$)、（$A_{13}Fe+e$）

と変化する。これらの条件（粉末供給速度が大きくなるにつれ、またはレーザー出力が小さくなる）は母材による希釈を小さくする方向へ働く条件である。つまり、今回の実験では母材の希釈率に対応して前出の５種の組織が得られることが分かった。

### 3.1.3 *Al*-8%*Fe*合金粉末クラッディング

(1) レーザー処理条件

デフォーカス距離$D$＝20mm、レーザー出力$P$＝2.5kW、レーザー走査速度$Vb$＝150～350mmの条件でレーザー照射を行った。粉末の供給速度は2.5～5.6g/minの範囲で変化させた。この条件ではほぼ気泡は観察されなかったが、走査速度が350mmでクラッディングしたものは、表面（特にクラッドの両脇）に球状の“だま”が発生するものもあったが、母材との接着は良好であった。

(2) 組織および希釈率

図3.11-図3.12に実験を行った各条件で得られた組織、希釈率をまとめたものを示す。前節$Al_{12}$%*Fe*合金クラッディングで見られた組織が*Al*-8%*Fe*の場合でも見られる。ただし、元々のクラッド材合金粉末の組成が低いため同条件での組織を*Al*-12%*Fe*クラッディングの場合と比較すると、ちょうど全体が$\alpha$側へシフトしたような傾向を示す。

ここで、希釈率と走査速度の関係については明確な関係が現れていない。これは粉末供給法では、希釈率を決定する粉末供給のパラメータに、従属し、他のパラメーターと影響を受けるためだと考えられる。

### 3.1.4 *Al*-4%*Fe*合金粉末クラッディング

(1) レーザー処理条件の選定

デフォーカス距離$D$＝20mm、レーザー出力$P$＝2.5kW、レーザー走査速度$Vb$＝150～350mmの条件でレーザー照射を行った。粉末の供給速度は2.5～5.6g/minの範囲で変化させた。この条件ではほぼ気泡は観察されず、母材との接着は良好であった。

(2) 組織および希釈率

図3.13、図3.14に実験を行った各条件で得られた組織、希釈率をまとめたものを示す。前節*Al*-8%*Fe*合金クラッディングの場合と同様に、前節*Al*-12%*Fe*合金クラッディングで見られた組織がこの場合でも観察された。*Al*-8%*Fe*合金クラッディングの場合より、さらにクラッド材合金粉末の組成が低いため同条件での組織もさらに$\alpha$側へシフトし、実験を行った条件の範囲内では$Al_3Fe$の析出は観察されなかった。

以上*Al*-12%*Fe*、*Al*-8%*Fe*、*Al*-4%*Fe*合金粉末クラッディングで観察された組織をまとめると、得られる組織は、母材による希釈の度合いによってさまる、クラッド層中の平均*Fe*組成によって決まると言える。図3.15に各粉末での結果を平均*Fe*組成、組織でまとめてみた。平均組成によって組織が決定する様子が確認できる。

### 3.1.5　希釈率とクラッディングパラメータの関係

レーザークラッディングにおいては、実験により操作できるパラメータが主なパラメータだけでも、レーザー出力$P$、デフォーカス距離$D$、試料走査速度$Vb$、粉末供給速度$F$と多い。希釈率やそれにより決定される晶出組織は、これらのクラッディング条件それぞれに影響を受ける。そのため、希釈率や晶出組織をパラメータから予測し、制御するには、これらを総合的に考慮する必要がある。
このようにクラッド層の特性は希釈率により決まる。全体の溶融量は、$P/D_2Vb_2$に比例し、肉盛量は$F/Vb$に比例すると考えられ、希釈率は次のパラメータで決まると考えられる。

$$(1-\text{希釈率}) \propto \frac{FD^2Vb}{P}$$

図3.16は$Al$-40%$Si$合金クラッド実験結果について、このパラメータに対し希釈率をプロットしたものである。

データに多少ばらつきが見られるが、ばらつきの原因としては、レーザー光の吸収率、粉末供給のロス、シールドガス圧等のパラメータの影響を考慮していないためであると考えられる。

## 3.2　クラッド層の特性評価

### 3.2.1　$Al$-40%$Si$合金粉末クラッディング

(1) マイクロビッカース硬さ試験

図3.17に肉盛り層と母材溶融部における硬さの分布について示してある。これによると、いずれの試料においても肉盛り層および母材溶融部で硬さの増加が見られた。ここで各試料の組織は希釈率により求められる肉盛り層および母材溶融部での平均$Si$濃度が12$wt$%のものが($\alpha$+共晶)、それ以外の３つが（$Si$+共晶）であった。硬さは肉盛り部での平均の硬さは12$wt$%の試料では$Hv$120、それ以外の$Si$過共晶の試料では$Hv$180～200程度になっており、$Si$の平均濃度が高いほど（希釈率が小さいほど）硬さは増加することが分かった。

(2) 摩耗試験

図3.18に大越式摩耗試験結果、および試験を行った試料のレーザークラッディング条件を示す。摩耗試験結果は試料のレーザークラッディング処理前後での比摩耗量の変化を示している。

いずれの摩耗速度においても比摩耗量は減少している。全体として各試料間の比摩耗量の多少は、最も母材による希釈が小さい試料３が比摩耗量が小さく、次には母材による希釈が最も大きい試料1の摩耗量が大きくなっている。ここで、各試料は、クラッドを２つ重ねたものを用いたことを前章で説明したが、このような処理をすることで、重ね合わせた２つのクラッド間で母材による希釈率が、違っていた。そのため、得られた組織は母材による希釈の割合に応じて、試料１が初晶である$\alpha$と$\alpha$と$Si$から形成される共晶の組織（$\alpha$+$e$）のクラッドと共晶（$e$）からなるクラッドになっており、試料２、試料３はともにクラッド全体にわたって（２山とも）初晶の$Si$と$\alpha$と$Si$の共晶からなる組織（$Si$+$e$）であるが、その希釈の割合に応じて、$Si$の面積

率が変化してしまっている。試験に供する試料は均一の組織のものを用いるべきであったが、試験機の制限および時間的な制約から、このような試料を使わなければならなかった。

このような組織形態を考慮しつつ、摩耗試験の結果の対応を比較検討してみると、次のようなことが推察される。同じ過共晶の組織を示す試料２と試料３を比較すると、*Si*濃度が高くなっている、試料３の方が耐摩耗性は向上した。これは硬さ試験の結果と同様の傾向で、硬さと耐摩耗性との間に、ある程度の相関性があることを示している結果だと思われる。

### 3.2.2 *Al-Fe*系合金粉末クラッディング

(1) マイクロビッカース硬さ試験

図3.19に肉盛り層と母材溶融部における硬さの分布について示してある。それぞれ試験を行った試料の組織は試料Aはクラッド層全体に$Al_3Fe$が針状に分散している組織、試料Bはほぼ全域にわたって共晶が初晶として晶出している組織になっていた。

いずれの試料においても肉盛り層および母材溶融部で硬さの増加が見られた。クラッド層の硬さは、全体的に見てAの試料の方が硬くなっており、やはり、高硬度の$Al_3Fe$が分散しているためであると考えられる。しかしそのレベルは高々*Hv*140程度であり、*Al*-40*Si*の場合に比べると、硬度は低くなっていた。これは$AC_4CH$の熱処理材（T6処理）の硬度*Hv*100程度から比べても大差がなく、大幅な硬度上昇には至らなかった。

(2) 摩耗試験

図3.20は*Al-Fe*合金クラッディングでの各摩耗速度における比摩耗量を示している。この結果で目に付くのは、$Al_3Fe$の晶出が全面に見られるタイプの試料では母材より摩耗量が多くなってしまっており、最も耐摩耗性に劣っていた。これは、マトリックスの*Al*が柔らかいため、比較的大きな粒である$Al_3Fe$との間に集中する応力が、マトリックスが耐えられる範囲を越してしまい、$Al_3Fe$の粒を支えきれず、塊状の$Al_3Fe$が逸脱する現象が起こっているものと考えられる。その一方で、全体に共晶が現れるような組織を持つ試料では、各摩耗速度において、低い摩耗レベルを保っていた。これは先程とは逆に、組織が細かい共晶であるため、応力が集中するレベルがあまり高くないからだと考えられる。

ここで硬さ試験の結果もふまえて整理すると、$Al_3Fe$の晶出が全面に見られるタイプの試料は共晶組織の試料と比較すると、硬さは高くなっているが、耐摩耗性では劣っていた。このような結果から、耐摩耗性向上させるためには、単純に硬くすればよいというわけではないということがわかった。今回の実験のように、硬い粒子をクラッド層中に分散させて硬さ、耐摩耗性を向上させるためには、単純に分散させる粒子の硬度特性のみならず、その晶出形態（大きさ、形状）を考慮しなければならない。

## 4．結言

アルミニウム合金$AC_4CH$の母材に対して、$Al$-40$wt\%Si$及び$Al$-12$wt\%Fe$、$Al$-8$wt\%Fe$、$Al$-4$wt\%Fe$合金粉末を用いて、粉末供給法によるレーザークラッディングを行い、以下のような知見を得た。

(1) レーザ処理条件により母材による肉盛り相の希釈率が変化し、希釈率により組織が決定される。
(2) 母材への入熱のしかたの違いなどにより、粉末静置法より粉末供給法の方が気泡の少ない健全なクラッド層を得やすく、希釈率の制御性も良い。
(3) レーザークラッディング処理により、硬さ、耐摩耗性を上昇させることが可能であった。

## 参考文献


1．レーザーハンドブック，p1049
2．J.C.ION,H.R.Shercliff, M.F.Ashby Acta metal,40,（7）,p1539（1992）
3．W.Kurz,R.Tnvedi Mater.Sci.Eng,A179/A180,p46（1994）
4．M.Zimmermann, M.Carrad and W.Kurz Acta metal,37,p3305（1989）
5．M.Gremaud, M.Carrard W.Kurz Acta metal,38,p2587（1990）
6．P.Gilgien, A,Zryd W.Kurz Acta metal,43,p3477（1995）
7．A.Roosz,l.Teleszky,F.Boros Mater.Sci.Eng,A173,p351（1993）
8．K.P.Cooper,J.D.Ayers Surface Engineernig,1985,1,p263（1985）
9．H.J.Hegge,L.Boetje,J.TH.DE Hosson Journal of Materials Science,25,p2335（1990）

| 熱源 | エネルギー密度[W/mm$^2$] |
|---|---|
| 電気アーク（大気中） | ～$10^2$ |
| プラズマジェット | ～$10^3$ |
| 電子ビーム | ～$10^4$以上 |
| レーザービーム | ～$10^4$以上 |

■表1.1　各種熱源のエネルギー

| 研究者 | 粉末 | 母材 | 効果 |
|---|---|---|---|
| 田中ら (1993) [7] | コルソン合金 Fe-15Ni-3Si-1.5B | Al合金 | 耐摩耗性 |
| 富田ら (1994) [8] | Al-Fe混合粉末 | Al-Mg合金 5052 | 耐摩耗性 |
| 市野ら (1997) [9] | $TiB_2$ | Al合金 5083 | 耐摩耗性 |
| K.P.Cooper et al. (1985) [10] | TiC | Ti-6Al-4V | 耐摩耗性 |
| J.Mazumder et al. (1994) [11] | Ni-Alブロンズ | Al合金 | 耐摩耗性 耐食性 |
| H.J.Hegge et al (1990) [12] | SiC/TiC | 純Al | 耐酸化性 |
| J.H.Abboud et al. (1994) [13] | Ti-Al/TiB2 | 純Ti | 耐摩耗性 |
| J.Mazumder et al. (1993) [14] | Mg-Zr合金 Mg-Al合金 | 純Mg | 耐食性 |
| W.Kurz et al. (1993) [15] | ステライト6 | ステンレス鋼 | 耐摩耗性 |

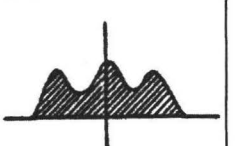
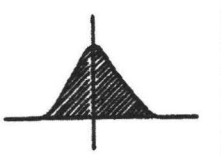
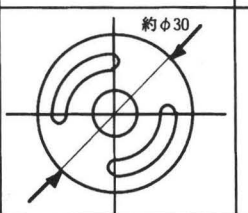
■表1.2　レーザークラッディング研究例

| 試料 | 成分（wt%） | | | | | | 粒度（μm） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cu | Si | Mg | Fe | Mn | Ni | $D_{10}$ | $D_{45}$ | $D_{90}$ |
| Al-40%Si | 0.02 | 40.16 | 0.04 | 0.16 | Tr | — | 72.2 | 122.3 | 197.6 |
| Al-12%Fe | Tr | 0.17 | Tr | 12.2 | Tr | 0.02 | 109.7 | 135.9 | 170.5 |
| Al-8%Fe | Tr | 0.12 | 0.01 | 7.8 | Tr | 0.02 | 105.6 | 139.3 | 192.9 |
| Al-4%Fe | Tr | 0.20 | 0.01 | 4.1 | Tr | 0.02 | 59.9 | 107.29 | 159.0 |

■表2.1.1　試料粉末の分析値

| Cu | Si | Mg | Fe | Mn | Ti | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.01 | 7.0 | 0.36 | 0.11 | 0.00 | 0.16 | Bal |

■表2.1.2　母材AC4CHの成分分析値（wt%）

| 形名 | | 3000C（特） | |
|---|---|---|---|
| 発振励起方式 | | 3軸直交、SD（無声放電）励起方式 | |
| 定格出力（W） | | 3000 | 1500 |
| 出力安定度（%） | | ±2以下　出力制御時（対定格出力） | |
| 出力可変範囲（%） | | 0～100（保証範囲20～100　対定格出力） | |
| 波長（μm） | | 10.6 | |
| ビームモード | | マルチ | シングル |
| ビーム断面強度分布 | |  |  |
| 発振器出口<br>近視バンパターン | |  | |
| ビーム外径（mm） | | 約φ30（定格時） | 約φ20（定格時） |
| 発散角（mrad） | | 約3以下（全角） | 約2以下（全角） |
| レーザーガス | 組成 | $CO_2$：CO：He：$N_2$＝8：4：28：60 | |
| | 消費量（ℓ/min） | 約7 | |
| | ガス封切時間（hr） | 8 | |

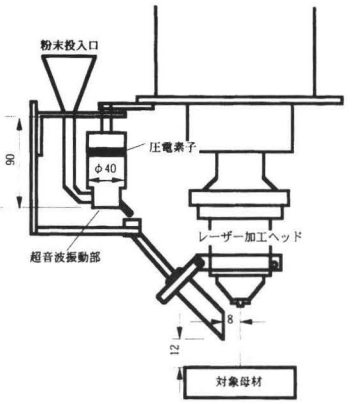
■表2.2　レーザー発振機仕様

| 形式 | | 403T |
|---|---|---|
| 移動方式 | | テーブル移動方式 |
| 制御方式 | | X-Y同時2軸（Z軸倣い制御も可能） |
| 対象ワーク寸法（mm） | | 350×250（最大） |
| ストローク | X軸（mm） | 350 |
| | Y軸（mm） | 250 |
| | Z軸（mm） | 150 |
| 精度 | 位置決め精度（mm） | 0.005/300 |
| | 繰り返し精度（mm） | ±0.005 |
| 最大加工送り速度（mm/min） | | 5000 |
| 加工レンズサイズ（mm） | | φ50.8（φ2”）×f127（f2”） |

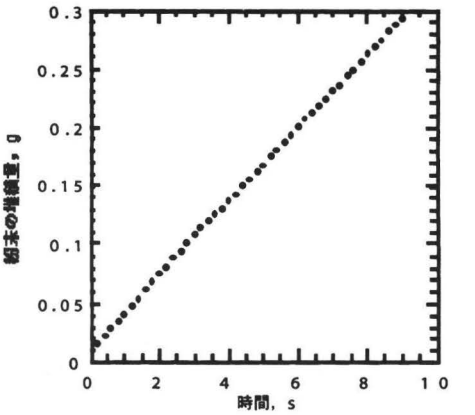
■表2.3　レーザー加工機仕様

| 駆動部 | 超音波モータ（ランジュバン方式） |
|---|---|
| 駆動方式 | 単相PLL発振方式 |
| 駆動周波数 | 約29kHz |
| 供給応答性 | 約0.2sec |
| ばらつき誤差 | ±2.0%以内 |

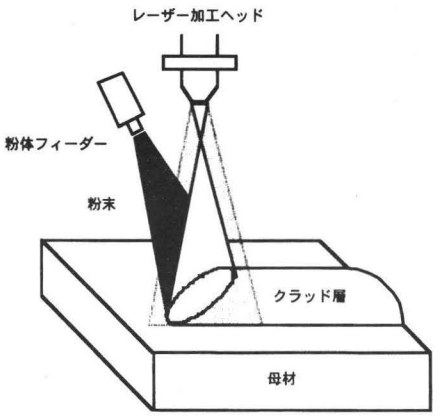
■表2.4　粉体フィーダー仕様



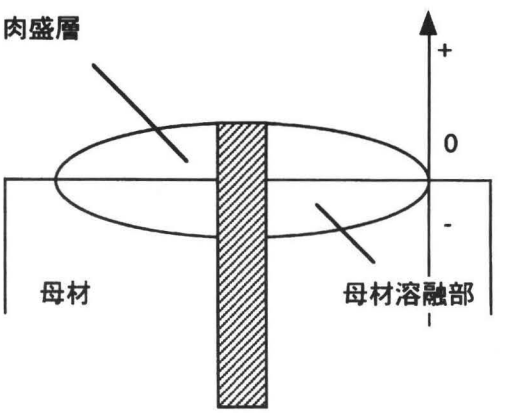

■図2.2　粉体フィーダー周辺概略図



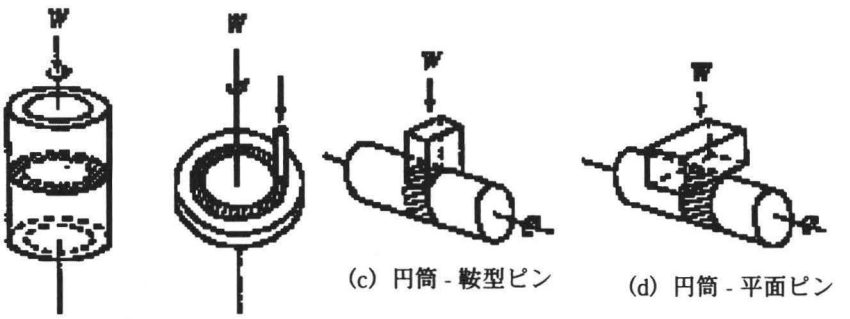

■図2.3　Al-40%Si合金粉末（100～150μm、球状粉）での動作試験結果



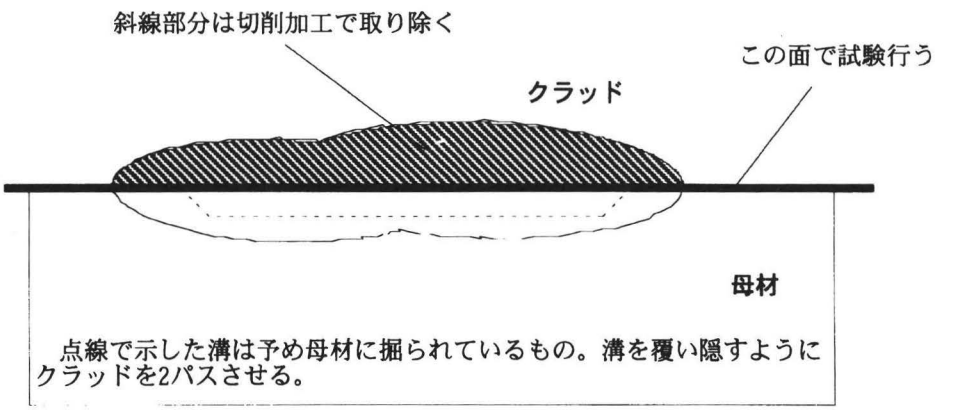

■図2.4　粉末供給法概略図



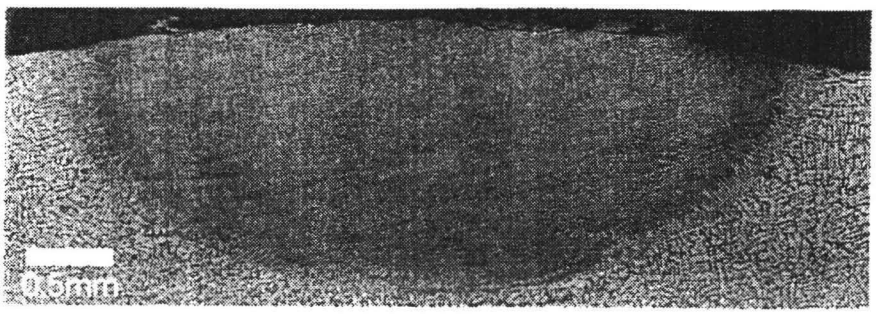

■図2.5　マイクロビッカース硬さ試験部分



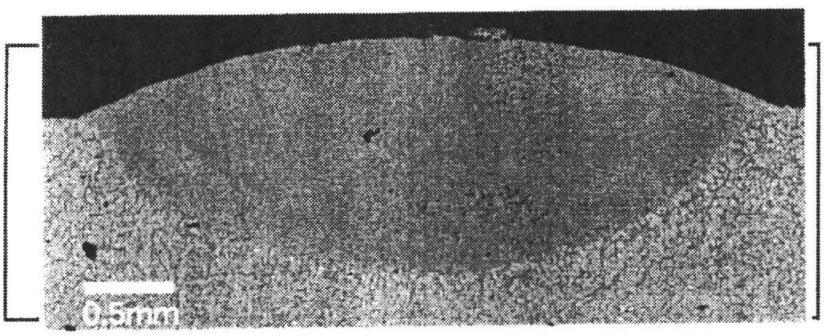

■図2.6　各種磨耗試験法



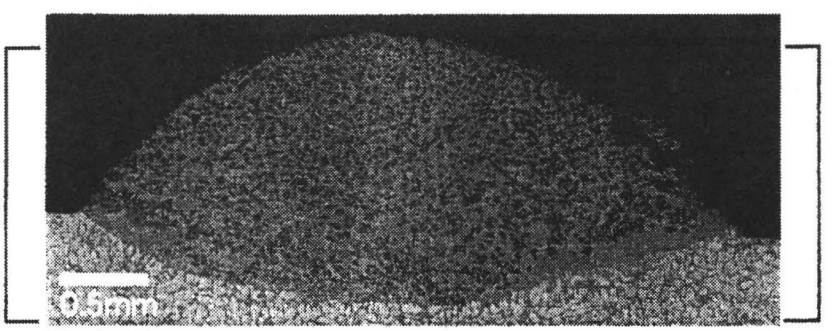

■図2.7　磨耗試験試料




(a) F=1.4g/min (α+E)

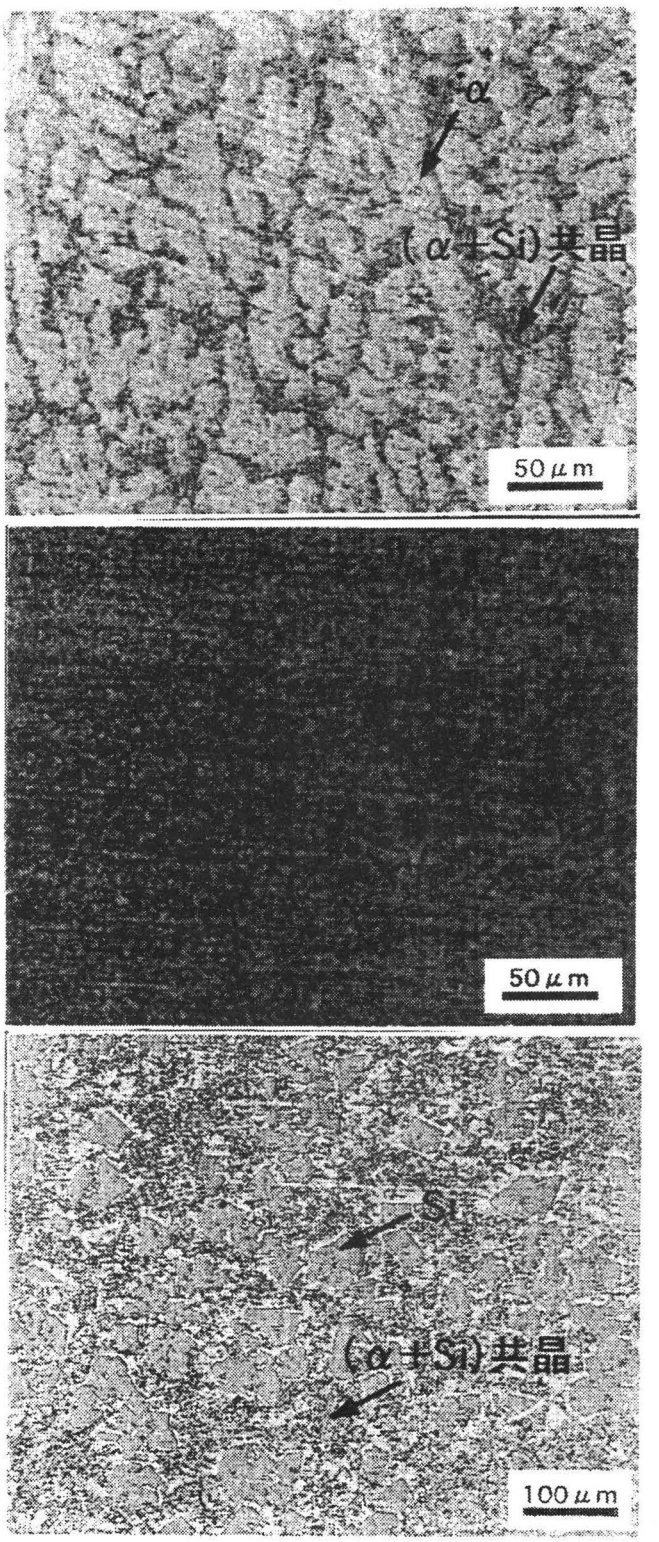



(b) F=2.0g/min (E)




(c) F=4.7g/min (Si+E)

■図3.1 粉末供給法で得られたマクロ組織 —Al-40%合金粉末クラッディング
P=3kw、Vb=250mm/min

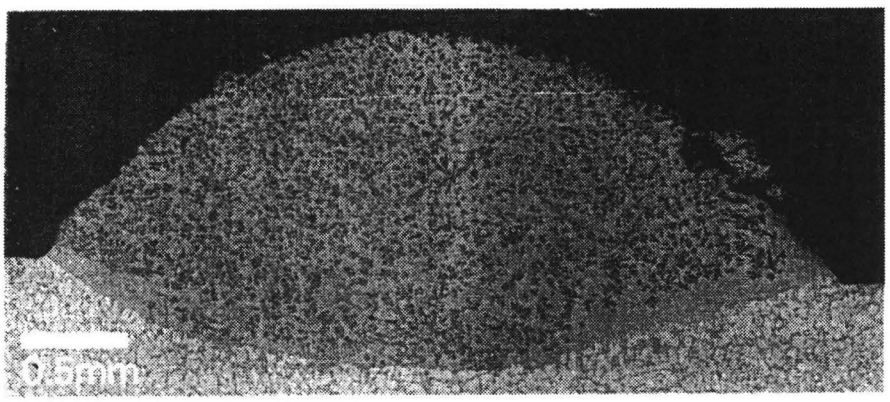



(a) α+E

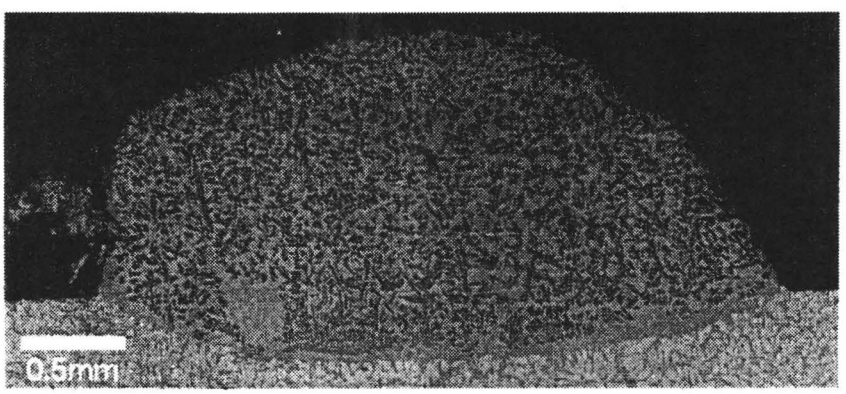
(b) E

(c) Si+E

■図3.2　粉末供給法で得られたミクロ組織　—Al-40%Si合金粉末クラッディング
P=3kw、Vb=250mm/min

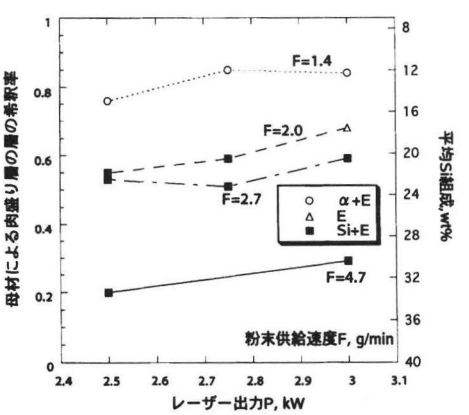



(a) P=3.0kW

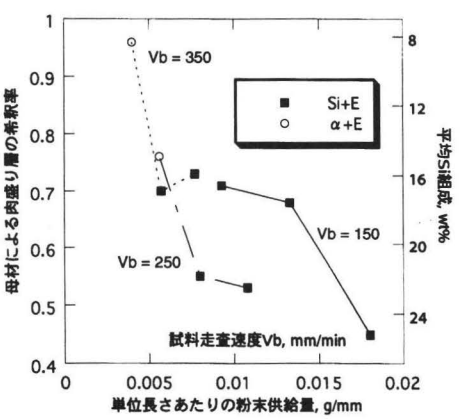



(b) P=2.5kW

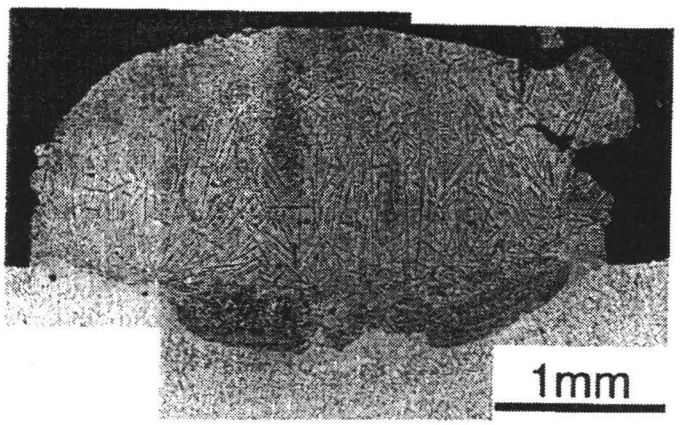
■図3.3　粉末供給法で得られた横断面組織　—Ai-40%Si合金粉末クラッディング
Vb=250mm/min、F=4.6g/min、D=20mm



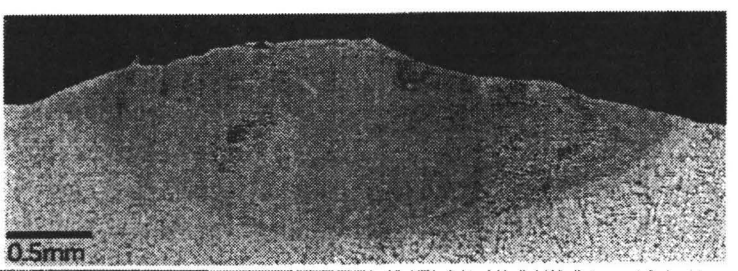

■図3.4　各粉末供給速度でのレーザ出力による希釈率の変化と晶出相（試料走査速度V=250mm/min）



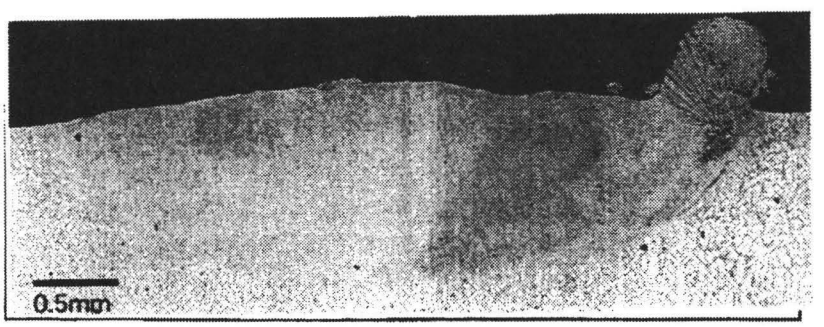

■図3.5　粉末供給量の変化による希釈率と組織の関係
レーザ出力P=2.5kw




(a) F=5.2g/min、$Al_3Fe$+e

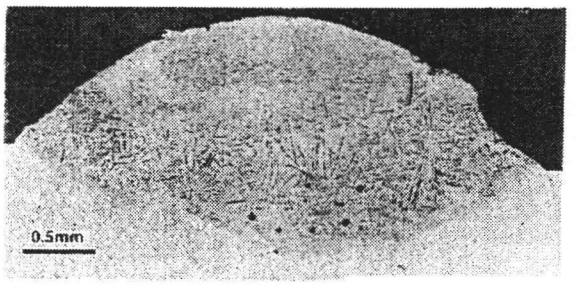



(b) F=3.4g/min、e



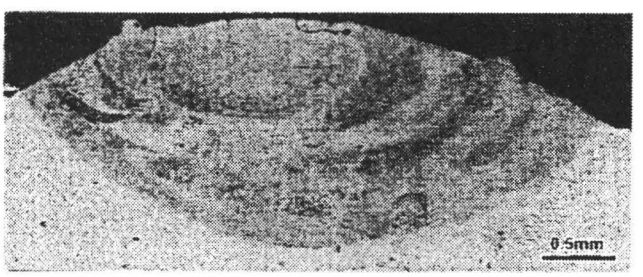

(c) F=1.4g/min、α+e

■図3.6　粉末供給法で得られた横断面マクロ組織　—Al-1.2%Fe合金クラッディング
P=2.5kw、V=250mm/min、D=20mm




（d） P=2.5kW、$Al_3Fe$+e, e

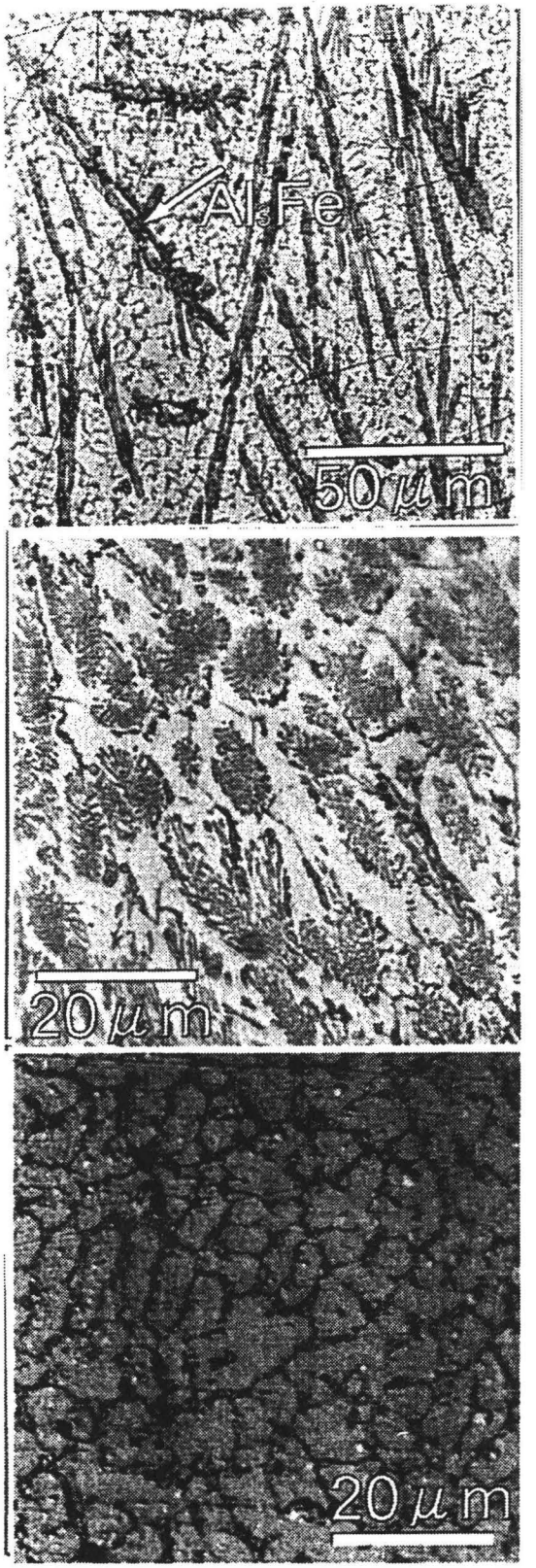
※クラッド底部側は細長い$Al_3Fe$の針状組織が確認される。
上部には共晶が主に観察される




（e） P=3.0kW、 α+e, e

※濃い色の共晶の部分とやや薄い色の亜共晶組織（α+e）が混在、共晶は底部に多い。一部、$Al_3Fe$（左端の方の最も黒っぽい部分）が見られる。

■図3.7　粉末供給法で得られた横断面マクロ組織　—Al-12%Fe合金粉末クラッディング
F=4.4g/min、V=250mm/min、D=20mm

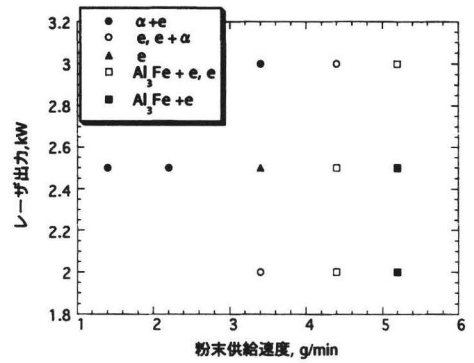



(a) F=5.2g/min、$Al_3Fe$+e

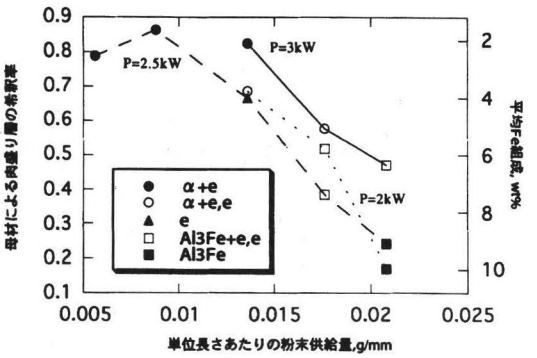
(b) F=3.4g/min、e

(c) F=1.4g/min、α+e

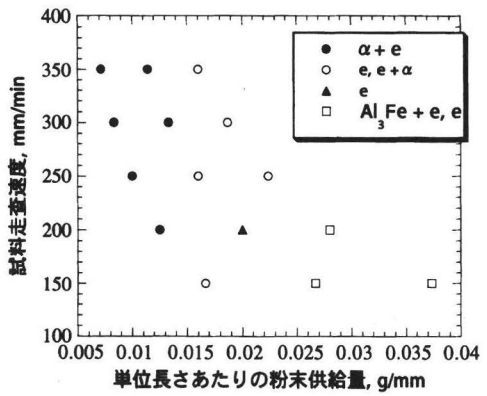
■図3.8　粉末供給法で得られた横断面ミクロ組織　—Al-12%Fe合金粉末クラッディング
P=2.5kw、V=250mm/min、D=20mm



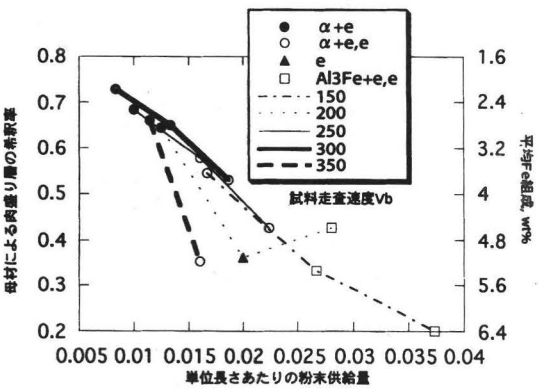

■図3.9　各クラッディング条件での晶出組織
Al-12%Fe合金粉末クラッディング



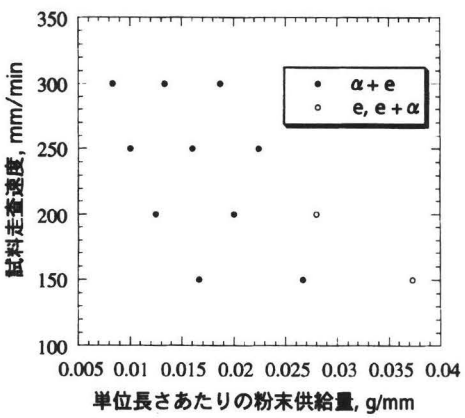

■図3.10　各クラッディング条件での晶出組織と希釈率
Al-12%Fe合金粉末クラッディング



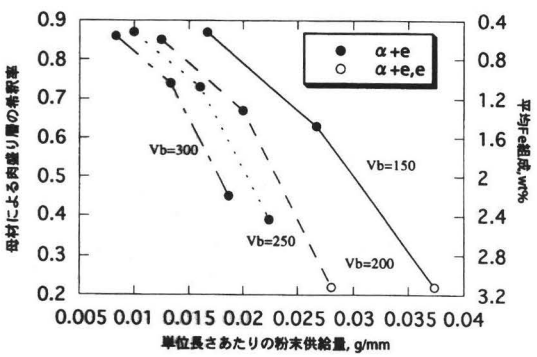

■図3.11　各クラッディング条件での晶出組織
Al-8%Fe合金粉末クラッディング



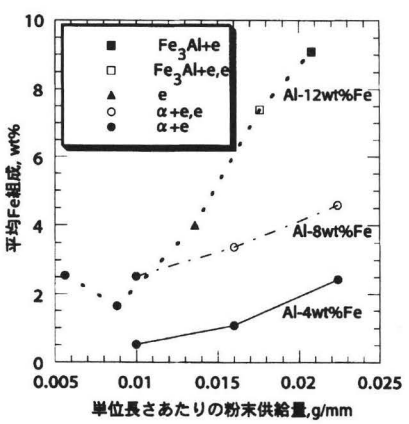

■図3.12　各クラッディング条件での希釈率と組織
Al-8%Fe合金粉末クラッディング



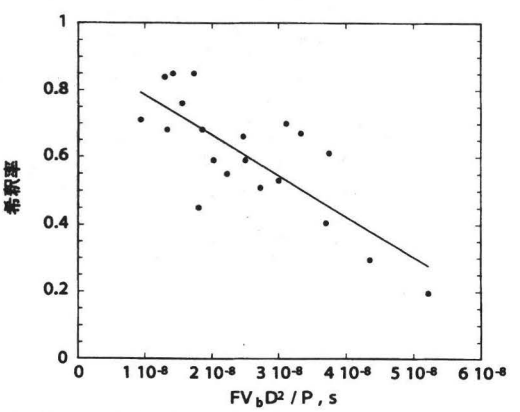

■図3.13　各クラッディング条件での晶出組織
Al-4%Fe合金粉末クラッディング



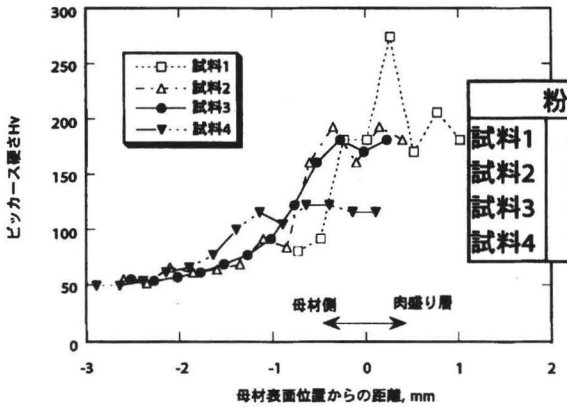

■図3.14　各クラッディング条件での希釈率と組織
Al-4%Fe合金粉末クラッディング




■図3.15　各粉末の供給量と組織、平均組成の関係
(Al-Feクラッディング、P=2.5kw、Vb=250mm/min)

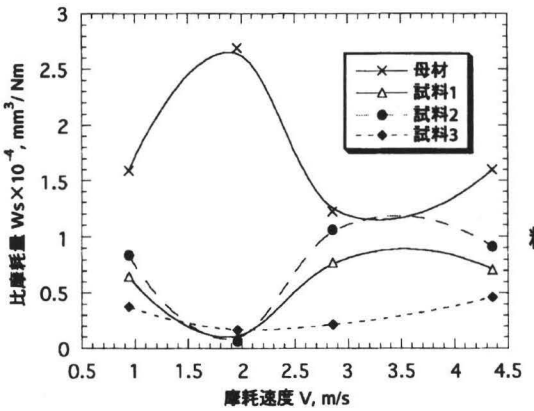



■図3.16　希釈率とパラメータの関係
Al-40wt%Siクラッディング



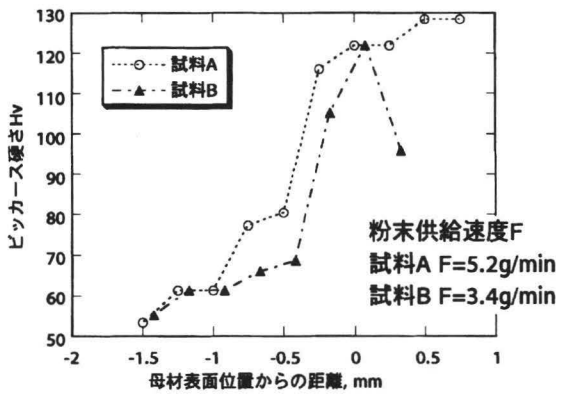

| | 粉末供給速度 | 組織 |
|---|---|---|
| 試料1 | 4.6g/min | Si+共晶 |
| 試料2 | 2.7g/min | Si+共晶 |
| 試料3 | 2.0g/min | 共晶 |
| 試料4 | 1.4g/min | α+共晶 |

■図3.17　クラッド層および母材溶融部の硬さの分布
Al-40%Siクラッディング、P=3kw、Vb=250mm/min

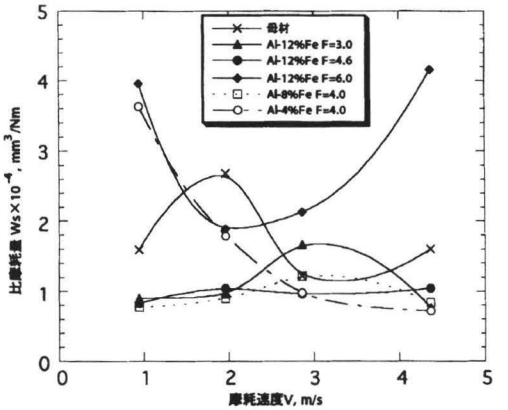



粉末供給速度F；
試料1　1.8g/min
試料2　3.0g/min
試料3　4.8g/min

■図3.18　大越式磨耗試験結果　—Al-40%Si合金粉末クラッディング
Vb=250mm/min、P=2.75kw




■図3.19　クラッド層および母材内部の硬さの分布
P=2.5kw、Vb=250mm/min




■図3.20　大越式磨耗試験結果
P=2.75kw、Vb=250mm/min

# 1－2　アルミニウム合金リサイクル建材における不純物の無害化技術の開発

長岡技術科学大学 機械系
教 授　小　島　　陽

## 1．本研究の背景と目的

近年、エネルギーの有効利用、地球環境問題から、構造材料の軽量化が叫ばれ、その主役として軽量かつリサイクル性に優れるアルミニウム合金が見直され、自動車、航空機を始めとした輸送機器、缶材、建材等への積極的な応用が展開されている。一方では、経済大国日本を象徴するかのように、大量消費によるごみの山が至る所に見られる。

金属材料は従来からリサイリラブルであり、容易に再生できることが知られている。特に電気の缶語と言われるアルミニウムリサイクル材を再溶解し、二次地金を製造するのに要するエネルギーは、新地金を製造する時に必要なエネルギーの３%以下である。しかし、リサイクルされた二次地金中には多くの不純物が混入し、それらがアルミニウム合金の優れた特性を劣化させるため、二次地金は不純物許容量の大きい鋳造用として使用されている。アルミサツシを代表とする建材では、ビス、ロック部、表面処理あるいはコンクリート成分から*Si*、*Fe*、*Ti*等の不純物が不可避的に混入し、機械的性質とともに、押出し性を劣化させ、合金歩留まりを低下させるため、新地金を使用した場合よりもコスト高を招くことさえある。地球環境の面から考えると、理想的には、リサイクルされた建材は、混入する上記の不純物を除去し、新塊同等の特性まで回復させ、建材から建材へリサイクルされることが望ましい。しかしながら、上記の不純物を除くことは技術的には可能であるが、現状では安いコストで規格組成までの不純物除去が可能な方策を見つけ出せていない。そこで、本研究では地球環境負荷の小さい材料循環プロセスとなり得る方策として、多少の不純物が残留しても必要とされる諸性質を満足できるような方法、すなわち不純物の無害化技術の確立を目指す。

## 2．研究の方法

回収されたスクラップ材をそのまま再溶解した場合、鉄屑あるいはアルミニウム鋳物からの*Fe*、*Si*等の混入により針状の*Al-Fe-Si*系化合物が多量に晶出し、それらが押出し性等の成形性および機械的性質の劣化を引き起こすことが予測される。ある程度の量までは、ミクロ組織的にはこれらの化合物を微細に分散させ、かつ球状化させることにより、無害化することが可能になるものと考えられる。そのような観点から、本研究ではそれらの化合物の組織制御方法として、(1) 微量添加元素による方法および (2) 電磁鋳造法の適用の二種類の方法について検討した。なお、(1) の方法では、不純物元素およびそれらを除去するために必要とされる元素を合金中に添加し、それらが引張特性、成形

性および耐食性に及ぼす影響をミクロ組織学的に調べるとともに、JIS規格を満足させるためのそれらの許容量を確定した。詳細な方法については３にて述べる。

## ３．研究の計画と進捗状況

供試材には建材に多く使用されている3000系、5000系および6000系合金を取り上げ、以下の項目を明らかにする。

（1）残留不純物の許容量の調査

従来の不純物除去に関する研究から、*Si*除去には*Ca*添加が、*Fe*除去には*Zr*＋*Mn*複合添加が、*Ti*除去には*C*添加が有効であり、ある程度までは除去可能であることがわかっている。そこで、不純物元素およびそれらを除去するために添加する元素を前述の合金中に添加し、それらが引張特性、成形性および耐食性に及ぼす影響をミクロ組織学的に調べるとともに、JIS規格を満足させるためのそれらの許容量を確定する。

（2）不純物の無害化技術の開発

（1）の実験によって得られた結果から、その組成に対応する不純物量を含む合金を溶製し、それらの合金に含まれる化合物相の同定を行う。*Fe*、*Si*等の混入により針状の*Al-Fe-Si*系化合物が多量に晶出し、それらが、押出し性等の成形性および機械的性質の劣化を引き起こすことが予測される。ミクロ組織的にはこれらの化合物を微細に分散させ、かつ球状化させることにより、無害化することが可能になるものと考えられる。そのような観点から、本研究ではそれらの化合物の組織制御方法として、以下の２種類の方法について検討する。

(a) 微量添加元素による方法

*Fe*および*Si*を含むアルミニウム合金に*Mn*を添加すると、*Al-Fe-Si*系化合物中に*Mn*が固溶し、球状化する。本検討合金でも同様なことが期待できることから、*Fe*と置換固溶する*Mn*あるいはその他の遷移金属、*Ca*の添加量とミクロ組織因子（化合物の量および形状）ならびに押出し性、機械的性質との関係を調査する。

(b) 電磁鋳造法の適用

電磁鋳造法は、従来のDC鋳造法とは異なり、直接水冷のみより冷却されるため、薄板スラブを製造した場合、大きな冷却効果が得られる。それによって、晶出化合物を微細に分散させることが可能になると推測される。以上の方法をすべての合金に適用することは困難であるため、本研究ではそれぞれの合金系の代表的な市販合金である3003（*Al-Mn*系）、5052（*Al-Mg*系）、6061（*Al-Mg-Si*系）アルミニウム合金を取上げ、詳細に検討した。

## 4．今までに得られた結果

### (1) 6061アルミニウム合金

まず、広範囲に使用されている展伸用合金である6061アルミニウム合金において、諸性質の劣化を招く*Fe*を除去対象元素とした。それを除去するために添加する元素として*Mn*および*Zr*を選定し、将来的に二次地金の*Fe*量をJIS規格まで低減できることを前提とし、同時にそれらの添加元素が溶湯中に残留することを想定した。それら残留元素が合金の諸性質に及ぼす影響について詳細に調べ、JIS規格を満足させ得る不純物元素の許容濃度を求めた。実験方法および得られた結果を表1～表2および図1～図10に示す。それらの結果をまとめると以下のようになる。

(a) 規格の上限値の*Cr*，*Fe*を添加した6061合金に*Mn*を添加すると、$Al_8(Cr, Mn, Fe)_2Si$化合物が晶出し、添加量の増加に伴い、その量は増加するとともに粗大化する。添加量の増加に伴い増加する$Al_8(Cr, Mn, Fe)_2Si$化合物中、およびT4処理、T6処理時に析出する球状の*Al-Cr-Mn-Si*系化合物中に*Si*が含まれるため、析出硬化に寄与するマトリックス中の*Si*量が減少する。そのため、*Mn*添加量の増加に伴い時効硬化量が減少し、耐力が大きく低下する。

(b) *Zr*は一部がマトリックス中に固溶し、残りは*Al-Zr*系晶出化合物および*Al-Zr-Si*系析出物を形成するが、それらの化合物の量はわずかであり、諸特性に及ぼす影響は認められない。

(c) 本検討合金では*Mn*および*Zr*添加による成形性および耐食性の変化は認められないが、JISに規定されている245MPaの耐力を満足するためには、*Mn*量を0.4mass%以下、*Zr*量を0.3mass%以下にする必要のあることがわかった。

### (2) 3003アルミニウム合金

前述の実験と同様に、使用頻度の高い3003アルミニウム合金に*Si*および*Ca*を添加し、組織および諸性質に及ぼす影響についても調べた。実験方法および得られた結果を表3～表4および図11～図15に示す。それらの結果をまとめると以下のようになる。

(a) *Si*添加量の増加にともない3003アルミニウム合金中の$Al_8(Fe, Mn)_2Si$化合物が増加し、引張強さおよび0.2%耐力は大きくなるが、伸びは減少する。

(b) 3003合金に*Ca*を添加すると$Al_8(Fe, Mn)_2Si$が消失し、0.3%*Ca*までは微細な$CaAl_2Si_2$化合物および*Al-Ca-Cu-Si*系化合物が、それ以上では粗大な$Al_6(Fe, Mn)$も晶出するようになる。その結果、*Ca*添加合金では0.3%*Ca*量までは伸びが大きくなるが、それ以上では伸びは減少する。

(c) *Si*量0.55%、*Ca*量0.98%までの範囲内であれば成形性および耐食性への影響はほとんど認められない。

### (3) 5052アルミニウム合金

さらに、*Fe*および*Si*量の多い5052アルミニウム合金へ電磁鋳造法(EMC)を適用し、厚さ7mmの薄板スラブを製造し、1.75mmまで直接冷間圧延した。それらのミクロ組織および引張特性を調べ、

従来のDC鋳造→熱間圧延→冷間圧延という過程を経て得られた板材と比較した。実験方法および得られた結果を表5および図16～表22に示す。それらの結果をまとめると以下のようになる。

(a) EMC材のデンドライトアーム間隔は約9～10μmと非常に微細で、かつ均一な分布を示し、そのため、圧延前面削およびトリミングを施さずとも、75%までの直接冷間圧延が可能であった。

(b) EMC材のH38処理材および0処理材ともDC材に比べて、引張強さおよび0.2%耐力は大きく上回るが、伸びは若干低下する。これは配合したEMC用の5052合金の*Fe*量が多いため、製造したスラブに化合物量が多くなったためと考えられる。しかしながら、EMC法は冷却効果が大きいため、晶出する化合物が微細に分散し、この微細な化合物が粒子分散強化およびその後の焼なまし時の再結晶粒の粗大化抑制の役割を持つものと考えられる。そのため、強度特性が大きく向上し、しかも予想されるよりも伸びの低下が抑制されたものと考えられる。なお、H38材ではJIS規格値の引張強さ、0.2%耐力および伸びとも充分満足するが、0材では焼なましを施しても前述したような*Fe*を含む化合物の微細分散の効果が強度特性を向上させ、充分な軟化が得られず、JIS規格値の引張強さの上限を上回るという結果が得られた。

そこで、5052アルミニウム合金の*Fe*を含む晶出物の影響を明確にするとともに、引張特性のJIS規格値を満足する合金組成を探索することを目的として、5052アルミニウム合金をベース合金として*Fe*量および*Mg*量を変化させた薄板スラブ、すなわち0.34%*Fe*および2.68%*Mg*を含む5052アルミニウム合金をベース合金とし、*Fe*量を0.45%、0.81%に、*Mg*量を2.33%、2.05%に変化させた合金、合計5種類をEMC鋳造法により製造し、その内部組織および圧延材の諸特性に及ぼすそれらの元素の影響を組織学的観点から検討した。実験方法および得られた結果を表6および図23～図40に示す。それらの結果をまとめると以下のようになる。

(a) EMC法は2次冷却のみで凝固し、さらに製造したスラブは板厚が約6mmと薄いため、冷却効果が大きく、内部組織はデンドライトアーム間隔が9～10μmと微細なデンドライト組織となる。

(b) EMC法による冷却速度の増大に伴い、晶出する化合物は微細に分散するようになり、そのため、*Fe*量の増加に伴い、微細分散した化合物量が増え、それらが分散強化の役割と焼なまし時の再結晶粒の微細化の役割を果たし、機械的性質は向上する。

(c) *Fe*量を変化させた0.81%*Fe*添加合金を冷間圧延し、0処理およびH38処理した試料の引張特性は、引張強さおよび0.2%耐力とも向上し、JIS規格値を大きく上回る。このことは、*Fe*量を増加させることにより、高強度材の製造が可能になることを示唆している。

(d) *Fe*量の増加により、破壊の起点となる化合物量が増えるが、それらが微細に分散するとともに、0処理材では再結晶粒の核生成サイトになるとともに粗大化を抑制するため、伸びは低下しない。一方、H38処理材の伸びは若干低下するが、その低下量は予想されるより小さく、JIS規格値を充分満足する。

(e) 均質化処理した後圧延した試料は、as-cast材をそのまま圧延した試料に比べ、分散強化および再結晶粒の微細化の役割を果たす化合物が減少するため、引張強さおよび0.2%耐力が低下する。

(f) *Mg*の固溶量は加工硬化に大きく寄与する。そのため、*Mg*量の減少により0処理材およびH38処

理材の引張強さおよび0.2%耐力は低下する。しかしながら、*Fe*を多く含む5052アルミニウム合金では、*Mg*量を2.05%とJIS規格値の組成以下にし、直接圧延後、0処理およびH38処理することにより、その引張特性は5052アルミニウム合金のJIS規格値を充分満足するようになる。以上のように、*Fe*量の多い5052アルミニウム合金でも、高価な*Mg*量を少なくし、EMC鋳造することにより、規格値を充分満足し、DC材の引張強さおよび0.2%耐力を大きく上回るようになる。このことより、EMC法による品質改善が可能であると考えられる。

## 5．これから期待される効果

従来のアルミニウムリサイクルでは、展伸用アルミニウム製品の製造に新塊が用いられ、そのリサイクル材が鋳造用として用いられている。上述のような不純物除去技術の開発とともに、残留した不純物が形成する化合物の無害化技術の開発により、展伸用から展伸用へ、鋳造用から鋳造用への理想的なりサイクルプロセスへの移行が可能になるとともに、廃材の減少により、地球環境汚染も少なくなる。さらに、リサイクルプロセスの溶解に必要なエネルギーは新塊の製造に必要なエネルギーの約3%と省エネルギーにも役立つことから、地金のコスト低減→使用量の増加→構造材の軽量化→省エネルギー→地球環境負荷低減というように、社会的インパクトは非常に大きい。

## 6．残る問題点と対策

従来の研究および今年度の研究において、不純物の許容量についての知見はある程度明確にできた。さらに、電磁鋳造法を用いて板材を製造することにより、*Fe*を多く含む合金でも、化合物を微細にでき、その効果を有効に利用することにより、ベース合金と同等な機械的性質が得られる組成を探索できた。同様な無害化技術は他の合金でも利用できるものと考えられる。しかし、許容量は合金毎に異なることが予想されるため、実験により求める必要がある。

## 7．研究発表の実績及び予定

これまでに得られた知見については、軽金属学会春秋期大会にて講演発表は行っているが、現在までのところ学会誌等への発表していない。現在まとめている段階で、今年度中にすべて軽金属学会誌等へ投稿する予定である。

## 8．実用化計画

電磁鋳造法の急冷効果を利用した不純物の無害化技術は大変有効であると思われる。われわれの研究室では電磁鋳造装置を自作し、それを用いている。実用化するには大型装置を作製する必要がある

ため、われわれの研究室だけでできる可能性は低い。しかしながら、欧米では既に電磁鋳造法によりビレットおよびスラブの製造は多く行われており、国内でも研究レベルでは数社が製造技術を確立している。各社とも、21世紀に向けてリサイクルという観点からの電磁鋳造法の応用を考える時がきているように思われる。今後に期待する。

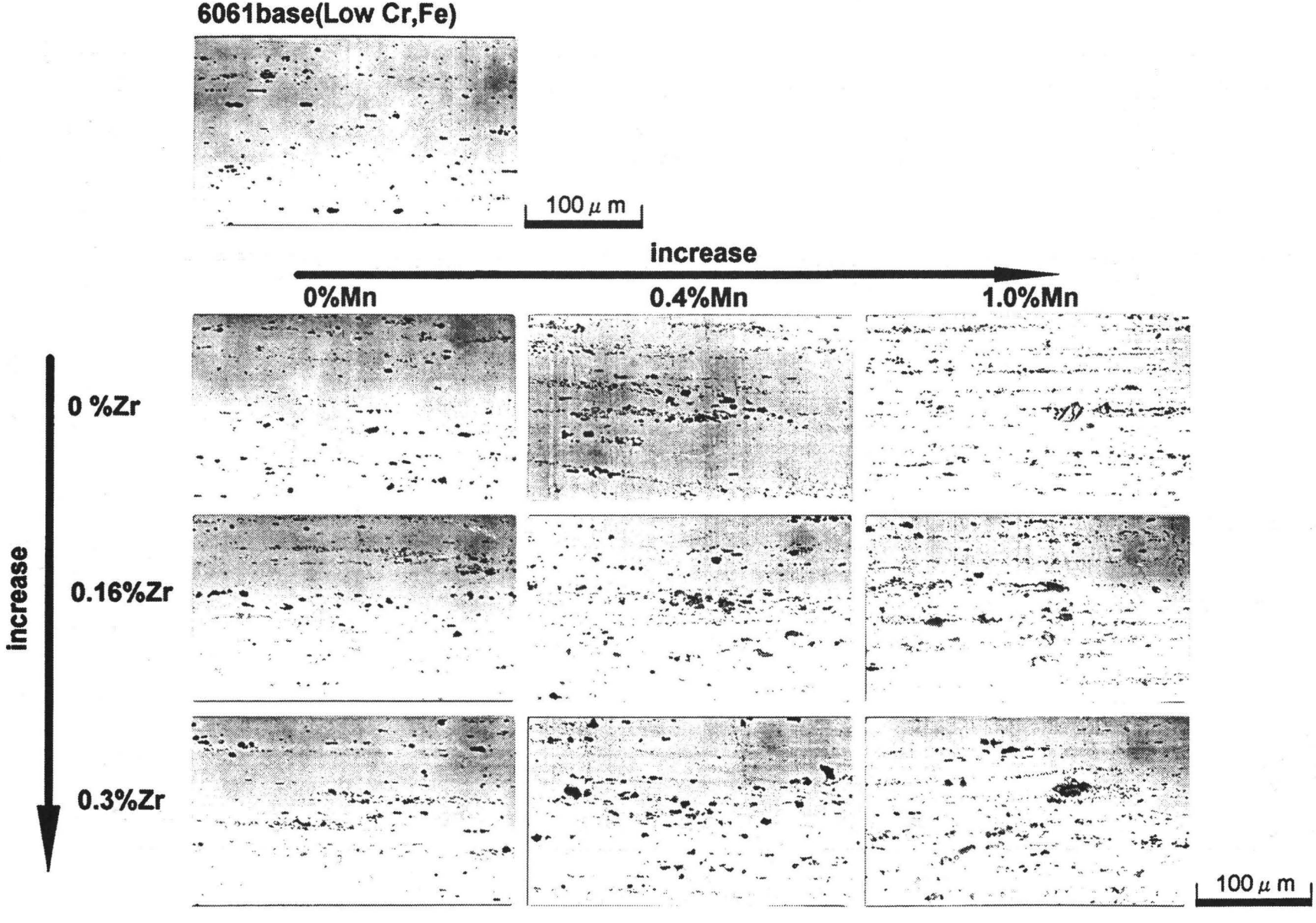
| No. | Si | Fe | Cu | Mg | Cr | Ti | Mn | Zr | Al | Remarks |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| JIS | 0.4~0.75 | 0.7 | 0.15~0.4 | 0.8~1.2 | 0.15~0.4 | 0.05 | 0.15 | - | bal. | JIS Standard |
| 1 | 0.77 | 0.11 | 0.35 | 1.14 | 0.21 | 0.057 | 0 | 0 | bal. | 6061base(Low Cr,Fe) |
| 2 | 0.79 | 0.68 | 0.36 | 1.17 | 0.34 | 0.057 | 0 | 0 | bal. | 0%Mn, 0%Zr(base) |
| 3 | 0.79 | 0.69 | 0.35 | 1.19 | 0.34 | 0.055 | 0.13 | 0 | bal. | 0.1%Mn, 0%Zr |
| 4 | 0.79 | 0.70 | 0.36 | 1.17 | 0.34 | 0.056 | 0.39 | 0 | bal. | 0.4%Mn, 0%Zr |
| 5 | 0.83 | 0.70 | 0.35 | 1.17 | 0.35 | 0.056 | 0.69 | 0 | bal. | 0.7%Mn, 0%Zr |
| 6 | 0.80 | 0.69 | 0.36 | 1.19 | 0.35 | 0.055 | 0.98 | 0 | bal. | 1.0%Mn, 0%Zr |
| 7 | 0.79 | 0.71 | 0.36 | 1.16 | 0.34 | 0.055 | 0 | 0.16 | bal. | 0%Mn, 0.16%Zr |
| 8 | 0.81 | 0.68 | 0.36 | 1.16 | 0.34 | 0.056 | 0.39 | 0.16 | bal. | 0.4%Mn, 0.16%Zr |
| 9 | 0.78 | 0.69 | 0.36 | 1.15 | 0.34 | 0.056 | 0.70 | 0.16 | bal. | 0.7%Mn, 0.16%Zr |
| 10 | 0.78 | 0.70 | 0.36 | 1.17 | 0.34 | 0.056 | 0.99 | 0.16 | bal. | 1.0%Mn, 0.16%Zr |
| 11 | 0.80 | 0.70 | 0.37 | 1.15 | 0.33 | 0.055 | 0 | 0.33 | bal. | 0%Mn, 0.3%Zr |
| 12 | 0.80 | 0.70 | 0.36 | 1.16 | 0.35 | 0.054 | 0.39 | 0.30 | bal. | 0.4%Mn, 0.3%Zr |
| 13 | 0.79 | 0.69 | 0.36 | 1.17 | 0.34 | 0.055 | 0.69 | 0.29 | bal. | 0.7%Mn, 0.3%Zr |
| 14 | 0.79 | 0.70 | 0.36 | 1.16 | 0.34 | 0.057 | 0.99 | 0.32 | bal. | 1.0%Mn, 0.3%Zr |

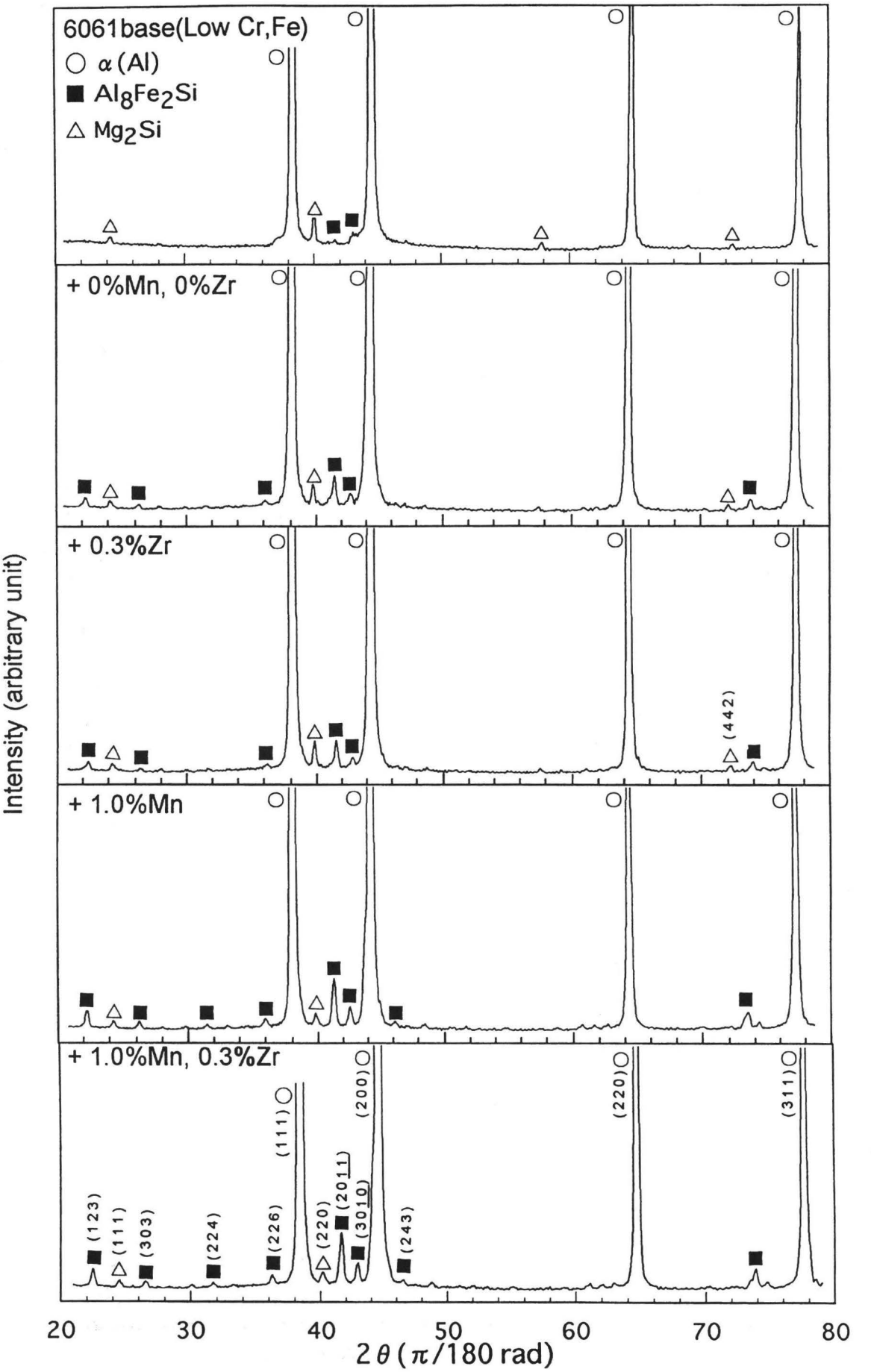
■表1 Chemical composition of 6061 aluminum alloys (mass%)

| Alloy | Hot rolling | Intermediate Annealing | Cold rolling | Heat treatment | Temper |
|---|---|---|---|---|---|
| 6061 | t45mm → t10mm | 340℃ × 3h | t10mm → t2.5mm | 510℃×0.5h→W.Q.→180℃×8h | T6 |

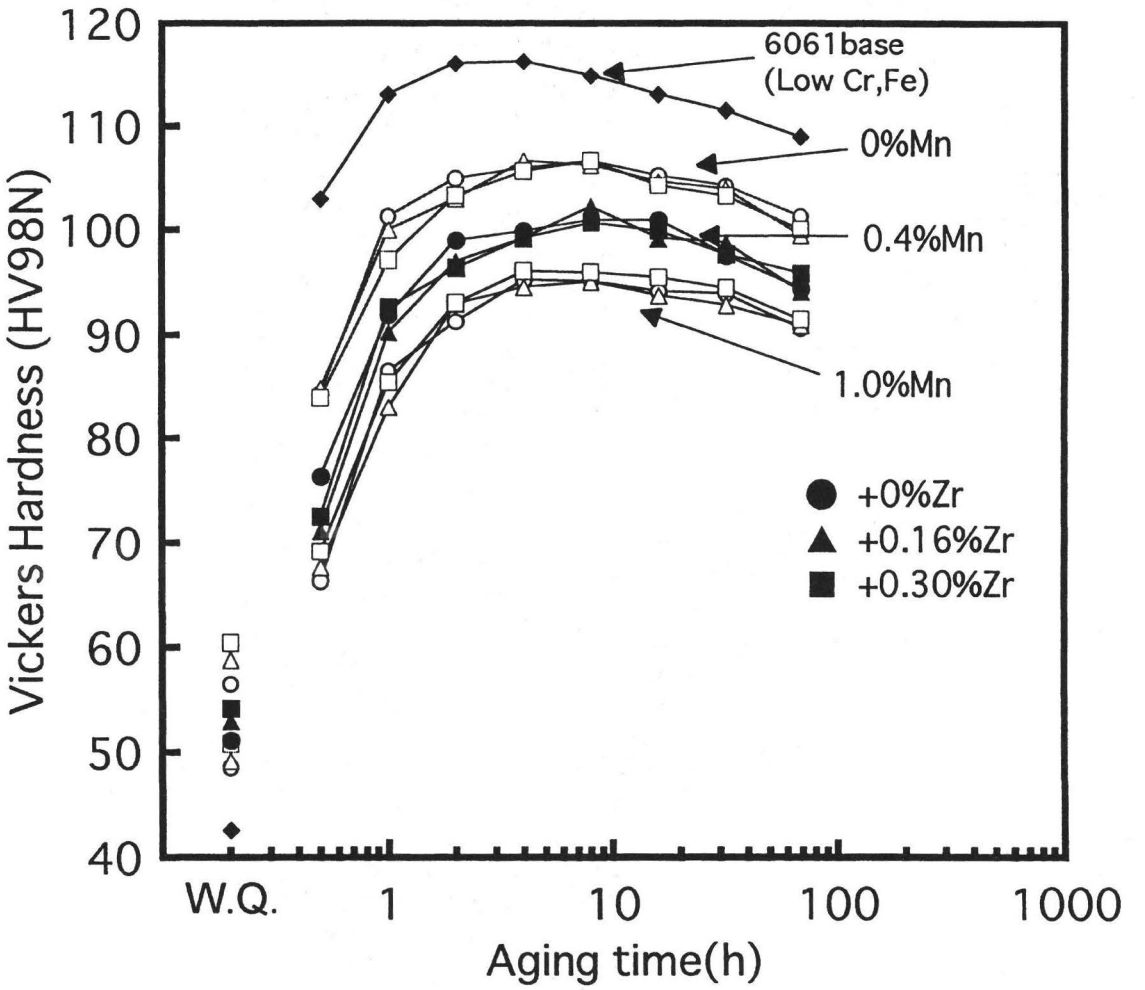
■表2 Manufacturing process of 6061 alloy sheets.

■図1 Microstructure of T6-treated 6061 alloy with different Mn and Zr content.

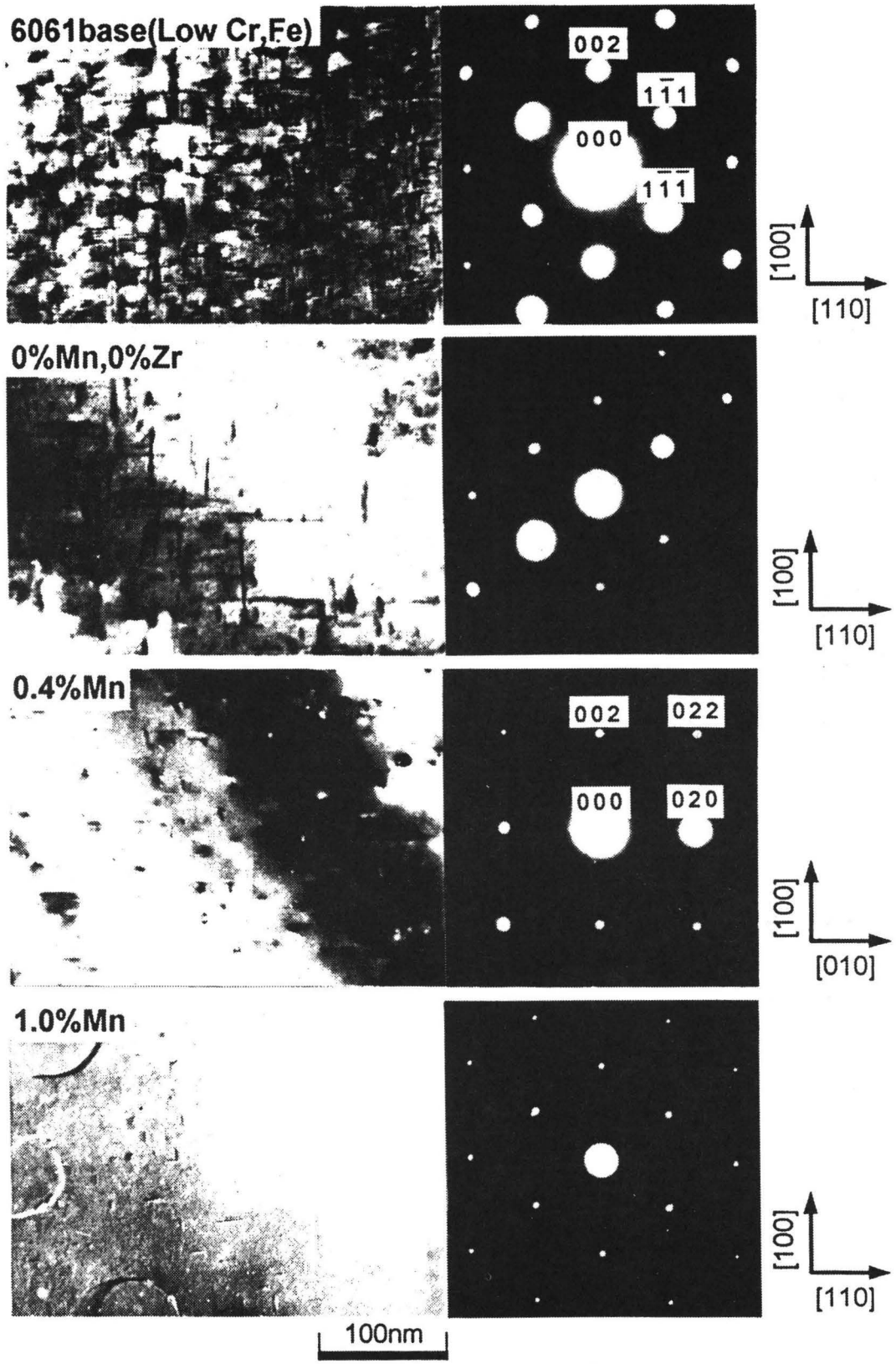




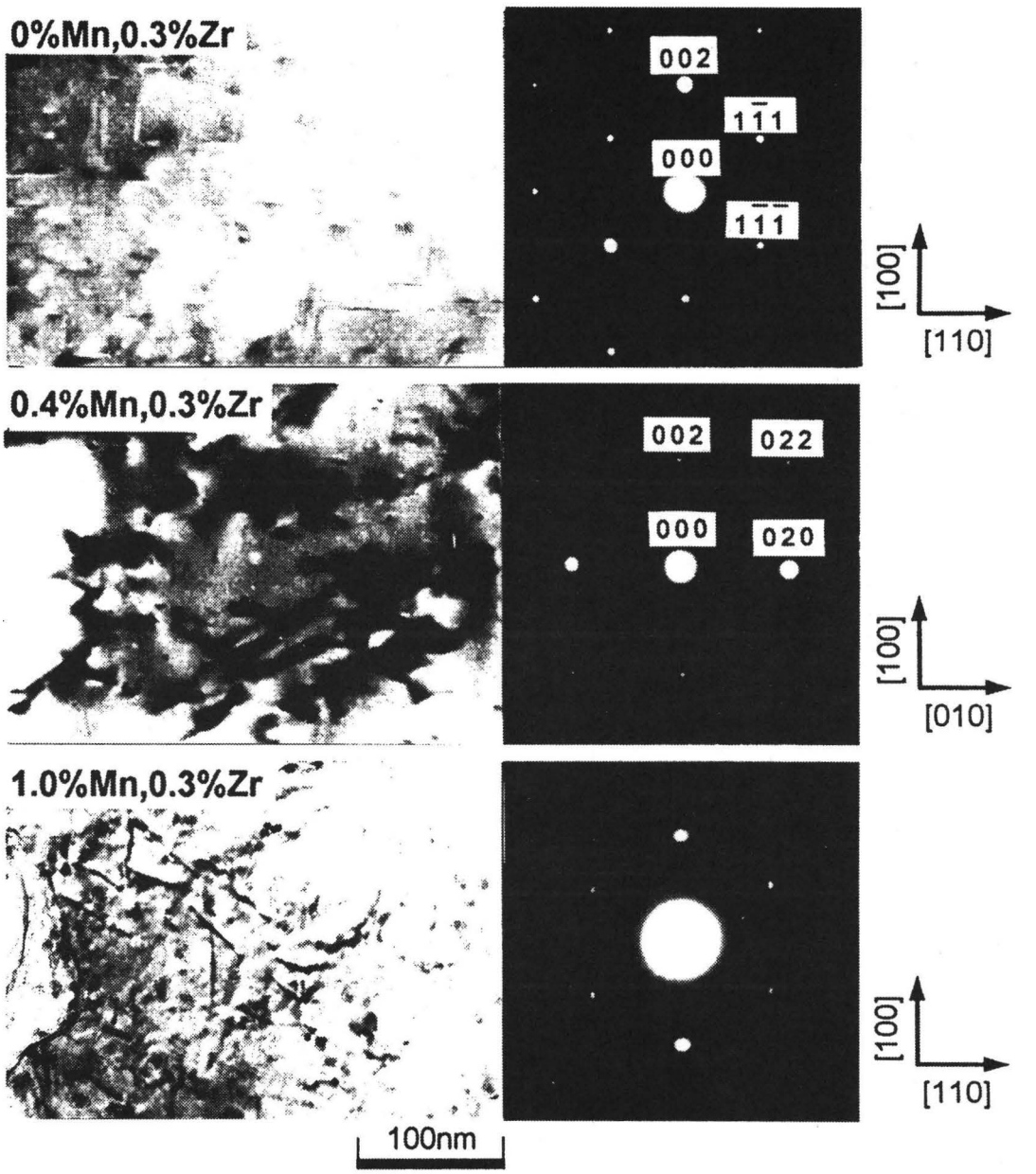

■図2 X-ray difftraction patterns of T6-treated 6061 alloy sheet with different Mn and Zr content.




■図3 Aging curves of 6061 alloy sheet with different Mn and Zr content at 180℃




■図4 TEM images and difftraction patterns of T6-treated 6061 alloy sheet with different Mn content.




■図5 TEM images and difftraction patterns of T6-treated 6061 alloy sheet with different Mn and Zr content.

**6061base(Low Cr,Fe)**

| | |
|---|---|
| A.R. | Not analyzed |
| T4 | Not analyzed |
| T6 | Mg-Si<br>Al-Cr-Fe-Si<br>***Al-Cr-Si***<br>***(Observed a little)*** |

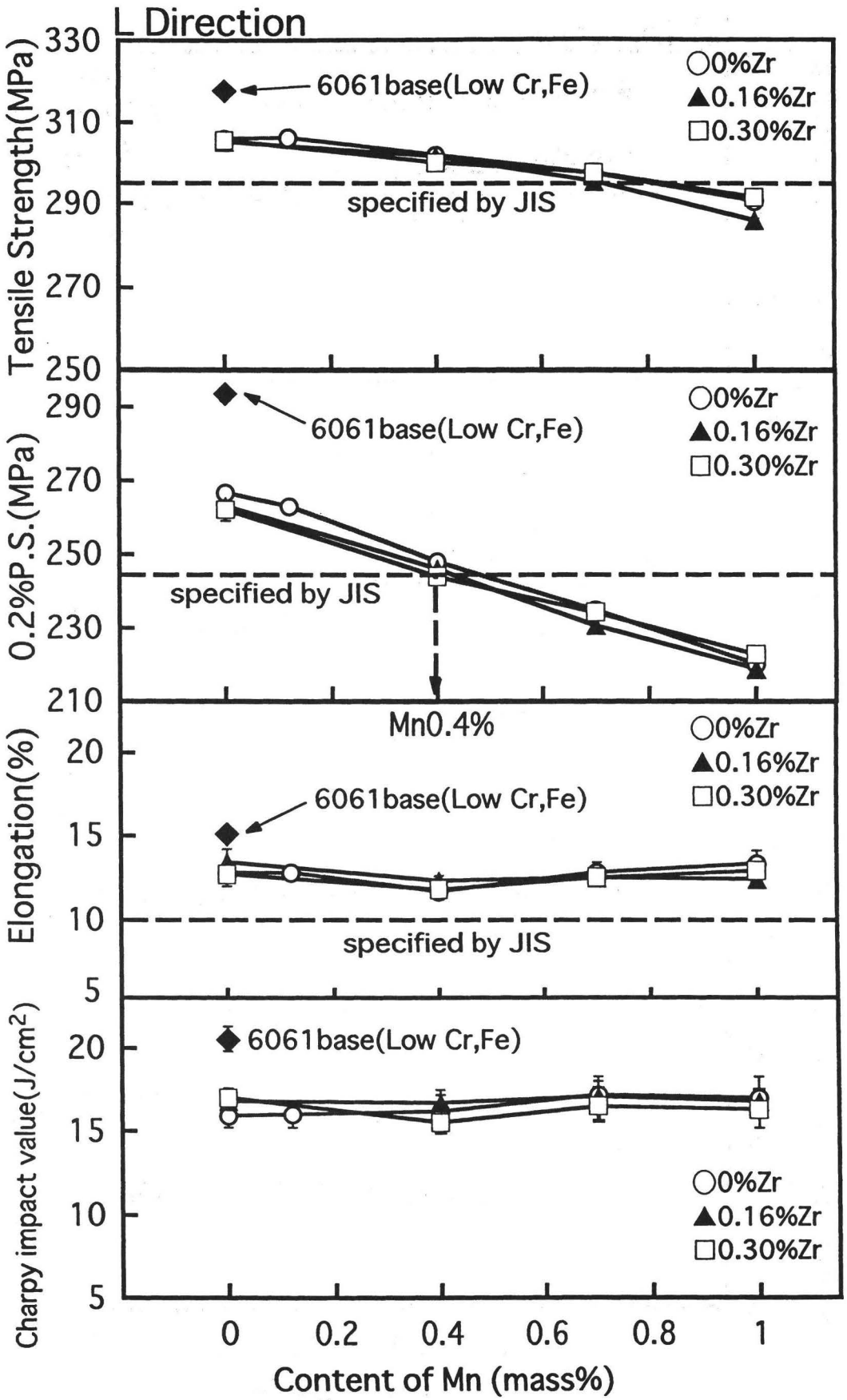
Normal = Residual compounds after cold rolling
***Italic bold*** = ***Precipitates in grains***

**increase** →

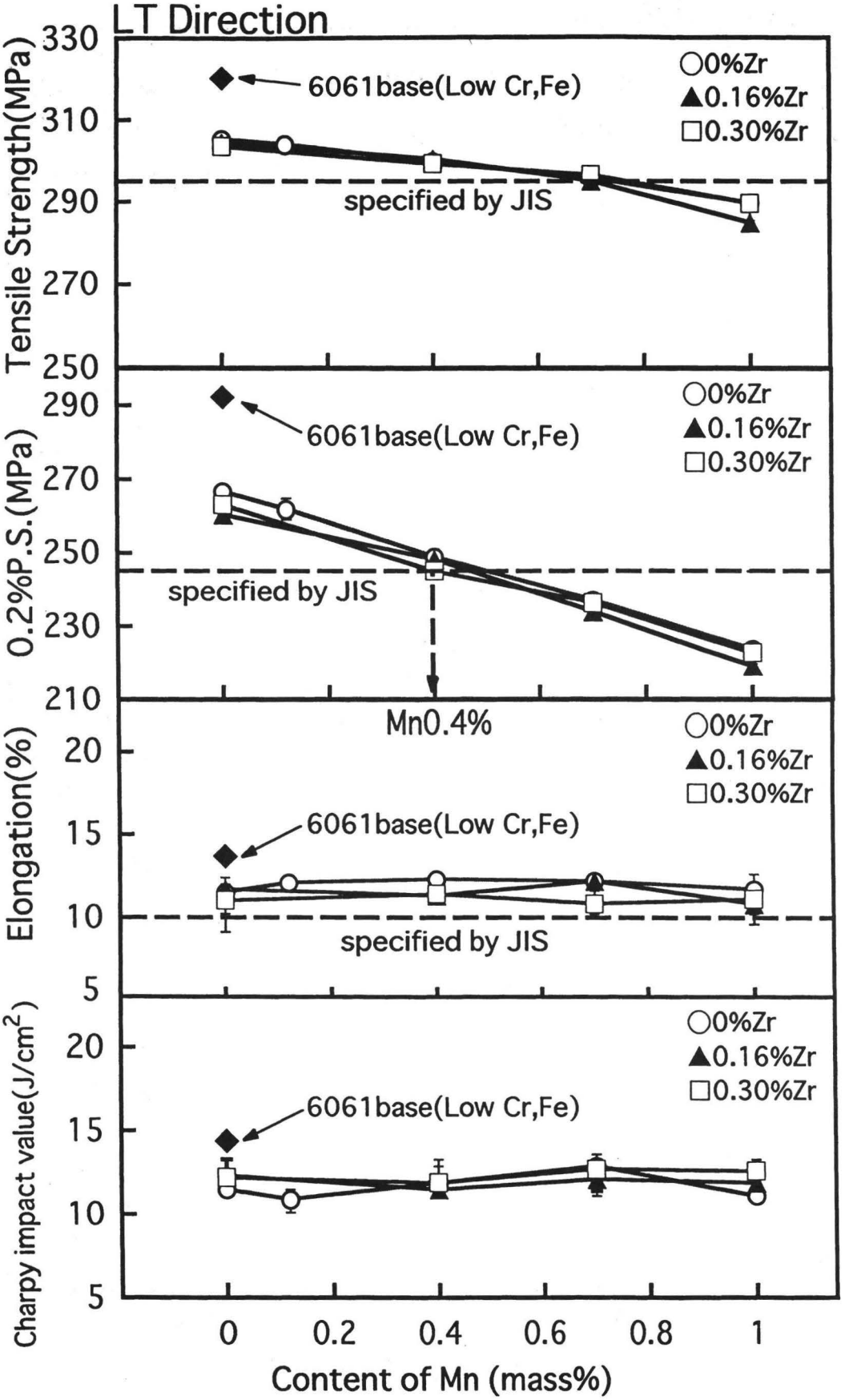
| | **0%Mn** | **0.4%Mn** | **1.0%Mn** |
|---|---|---|---|
| **0 %Zr** | A.R.: Not analyzed<br>T4: Not analyzed<br>T6: $Mg_2Si$<br>Al-Cr-Fe-Si<br>***Al-Cr-Si*** | A.R.: Mg-Si<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>T4: $Mg_2Si$<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>***Al-Cr-Mn-Si***<br>T6: Mg-Si<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>***Al-Cr-Mn-Si*** | A.R.: Not analyzed<br>T4: Not analyzed<br>T6: Mg-Si<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>***Al-Cr-Mn-Si*** |
| **0.3%Zr** | A.R.: Not analyzed<br>T4: Not analyzed<br>T6: Mg-Si<br>Al-Cr-Fe-Si<br>***Al-Cr-Si***<br>***Al-Zr-Si*** | A.R.: Mg-Si<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>T4: Mg-Si<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>***Al-Cr-Mn-Si***<br>***Al-Zr-Si***<br>T6: Mg-Si<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>***Al-Cr-Mn-Ti-Si***<br>***Al-Zr-Si*** | A.R.: Not analyzed<br>T4: Not analyzed<br>T6: Mg-Si<br>Al-Cr-Mn-Fe-Si<br>***Al-Cr-Mn-Si***<br>***Al-Zr-Si***<br>***Al-Cr-Mn-Zr-Si*** |

**increase** ↓

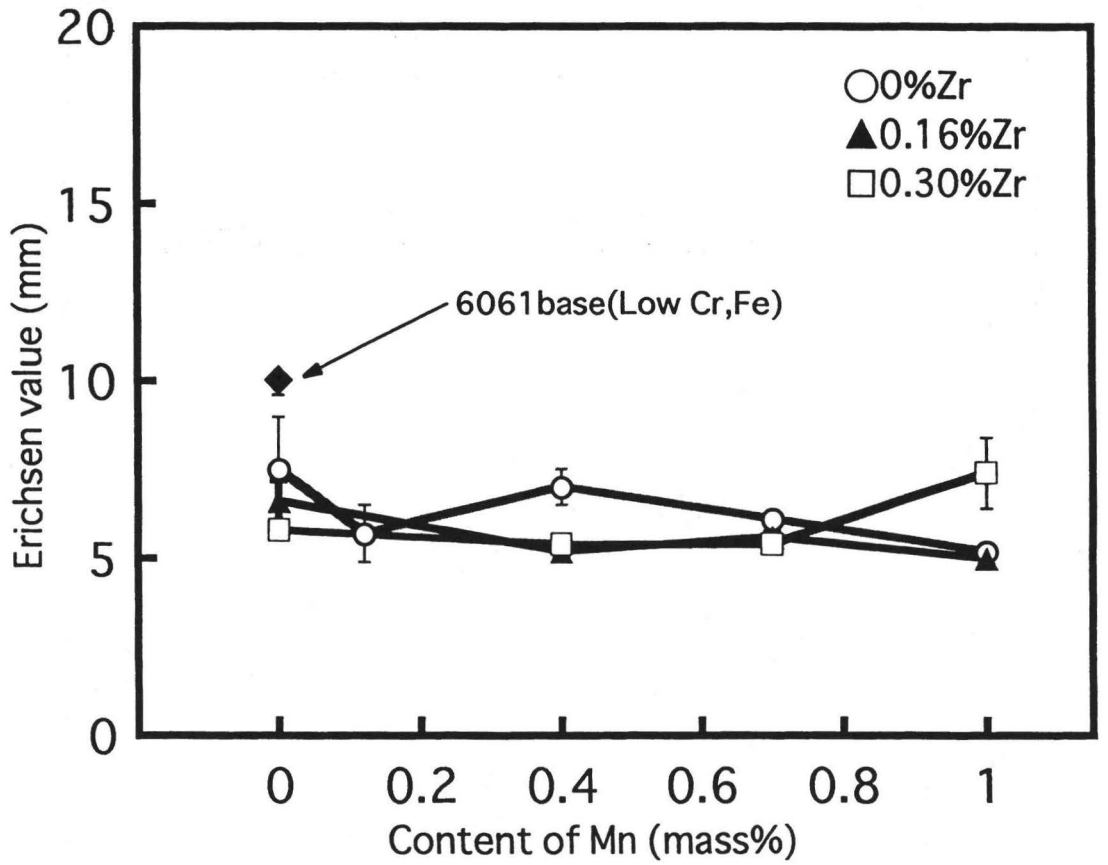
■図6 Intermetallic compounds detected by TEM observation in various heat-treated 6061 alloys.



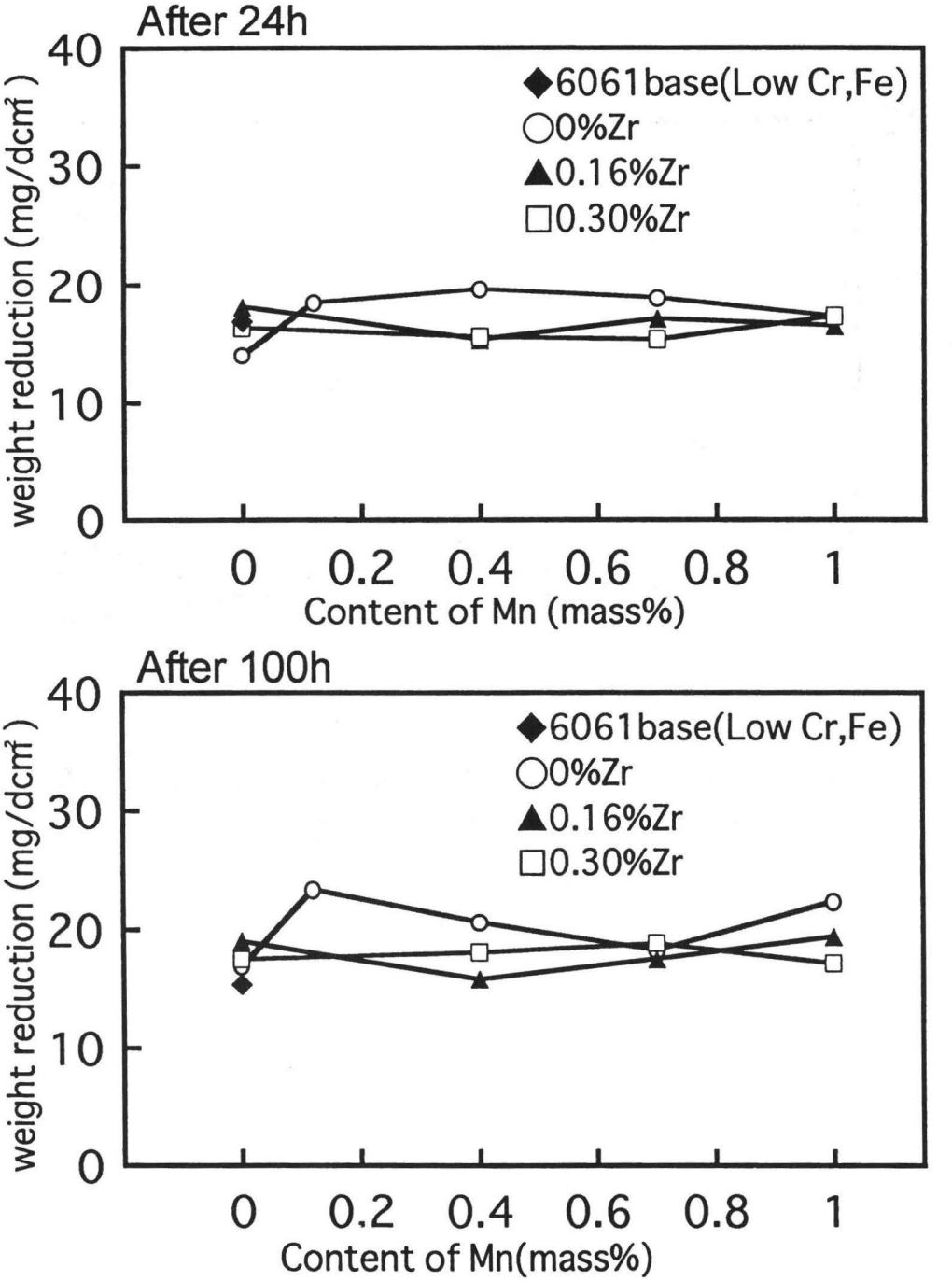

■図7 Effect of Mn and Zr content on mechanical properties of T6-treated 6061 alloy sheet.




■図8 Effect of Mn and Zr content on mechanical properties of T6-treated 6061 alloy sheet.




■図9 Effect of Mn and Zr content on formability of T6- treated 6061 alloy sheet.




■図10 Effect of Mn and Zr content on weight reduction of T6-treated 6061 alloy sheet in salt spray testing.

■表3 供試合金の化学組成（mass%）

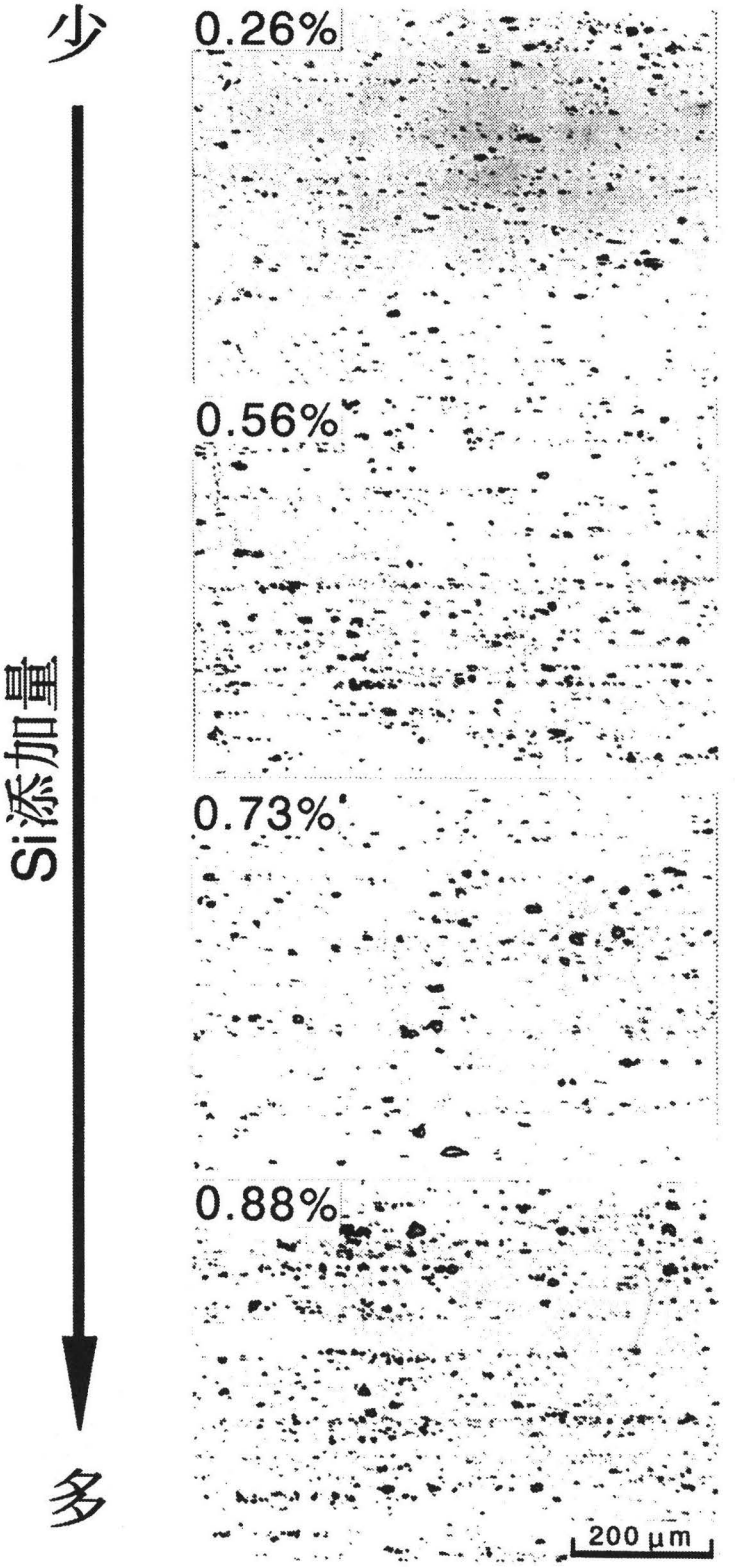
| 合金種 | Ca | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3003 | — | 0.26 | 0.47 | 0.19 | 1.00 | <0.01 | <0.01 | 0.10 | 0.02 | bal. |
| 3003(JIS上限) | — | 0.56 | 0.49 | 0.19 | 1.00 | <0.01 | <0.01 | 0.09 | 0.03 | bal. |
| | — | 0.73 | 0.48 | 0.19 | 0.99 | <0.01 | <0.01 | 0.10 | 0.03 | bal. |
| | — | 0.88 | 0.51 | 0.20 | 1.02 | <0.01 | <0.01 | 0.09 | 0.02 | bal. |
| 0.26%Si+Ca | 0.03 | 0.26 | 0.49 | 0.19 | 1.01 | <0.01 | <0.01 | 0.09 | 0.03 | bal. |
| | 0.20 | 0.27 | 0.49 | 0.19 | 0.97 | <0.01 | <0.01 | 0.09 | 0.03 | bal. |
| | 0.36 | 0.27 | 0.49 | 0.19 | 0.95 | <0.01 | <0.01 | 0.09 | 0.01 | bal. |
| | 0.70 | 0.26 | 0.45 | 0.18 | 0.93 | <0.01 | <0.01 | 0.09 | 0.01 | bal. |
| 0.55%Si+Ca | 0.03 | 0.55 | 0.55 | 0.20 | 1.02 | <0.01 | <0.01 | 0.10 | 0.01 | bal. |
| | 0.27 | 0.54 | 0.55 | 0.21 | 1.04 | <0.01 | <0.01 | 0.10 | 0.01 | bal. |
| | 0.36 | 0.54 | 0.49 | 0.20 | 0.97 | <0.01 | <0.01 | 0.10 | 0.01 | bal. |
| | 0.98 | 0.54 | 0.51 | 0.20 | 0.97 | <0.01 | <0.01 | 0.10 | 0.01 | bal. |

■表4 圧延板の処理過程

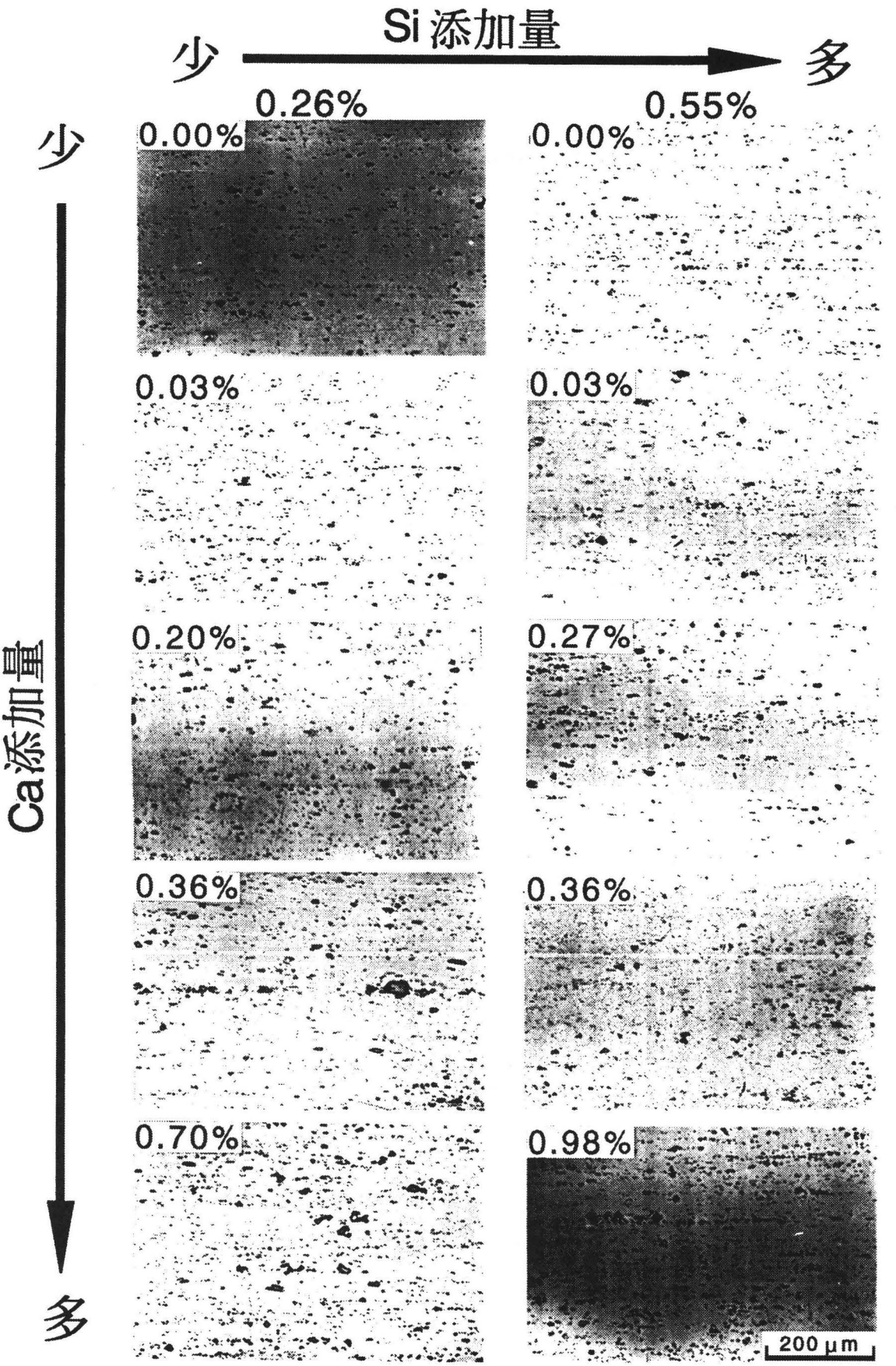
| 均質化処理 | 熱間圧延 | 中間焼なまし | 冷間圧延 | 熱処理 | 調質 |
|---|---|---|---|---|---|
| 590℃<br>×<br>6h | t45mm<br>↓<br>t2.5mm | 590℃<br>×<br>6h | t2.5mm<br>↓<br>t0.5mm | 415℃到達後<br>↓<br>空冷 | O |

## 検討項目

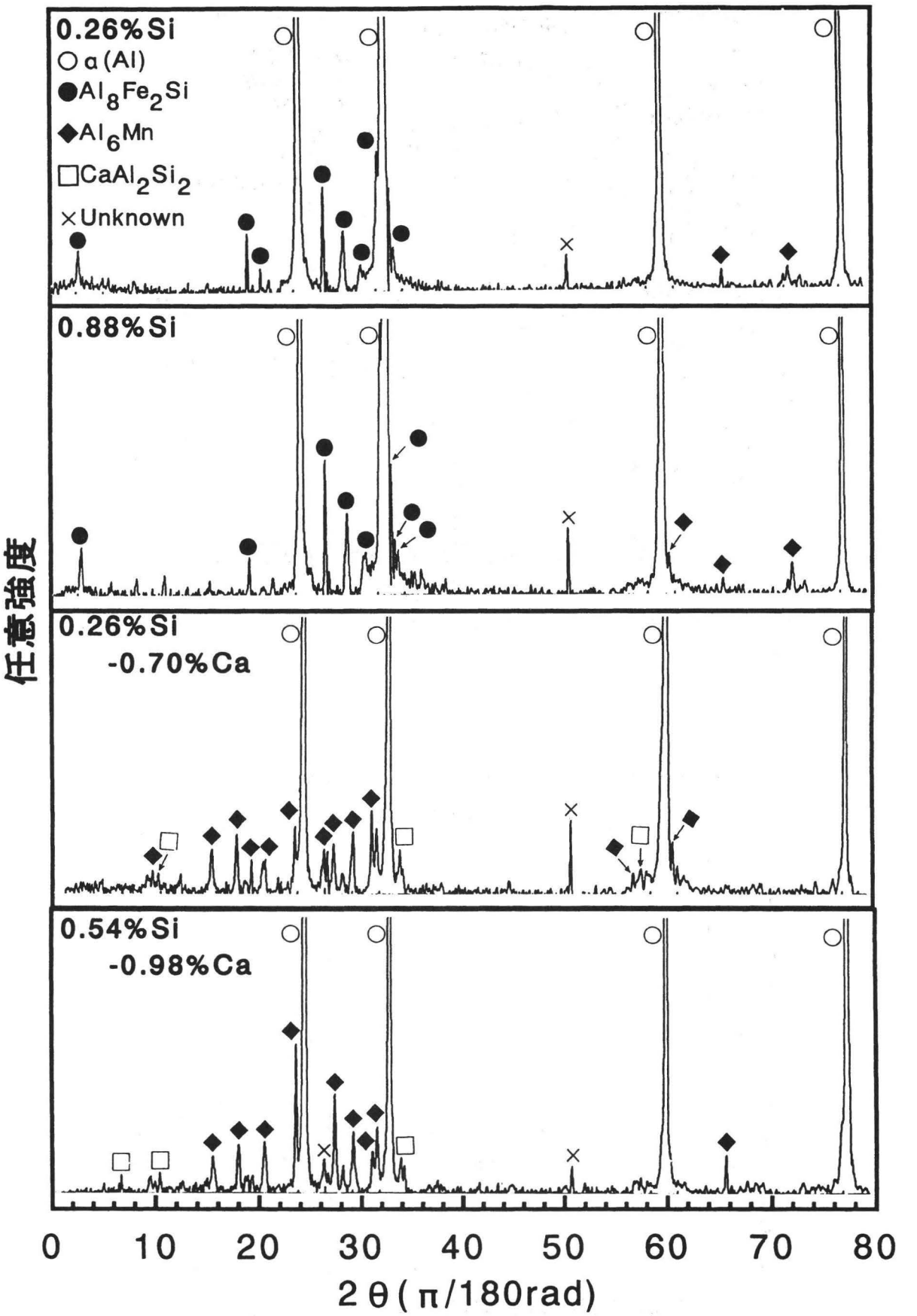
組織　　：光学顕微鏡組織観察，X 線回折，EPMA 分析
機械的性質：引張試験
成形性　　：エリクセン試験
耐食性　　：塩水噴霧試験



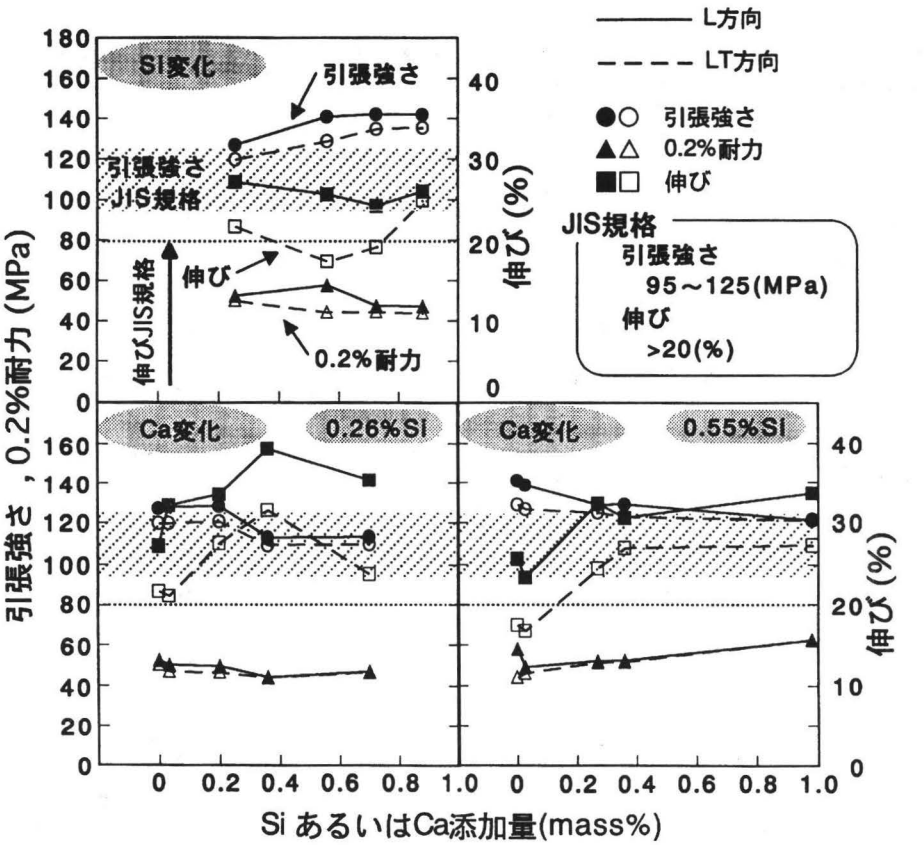

■図11　Si添加量を変化させた3003合金O材の工学顕微鏡組織



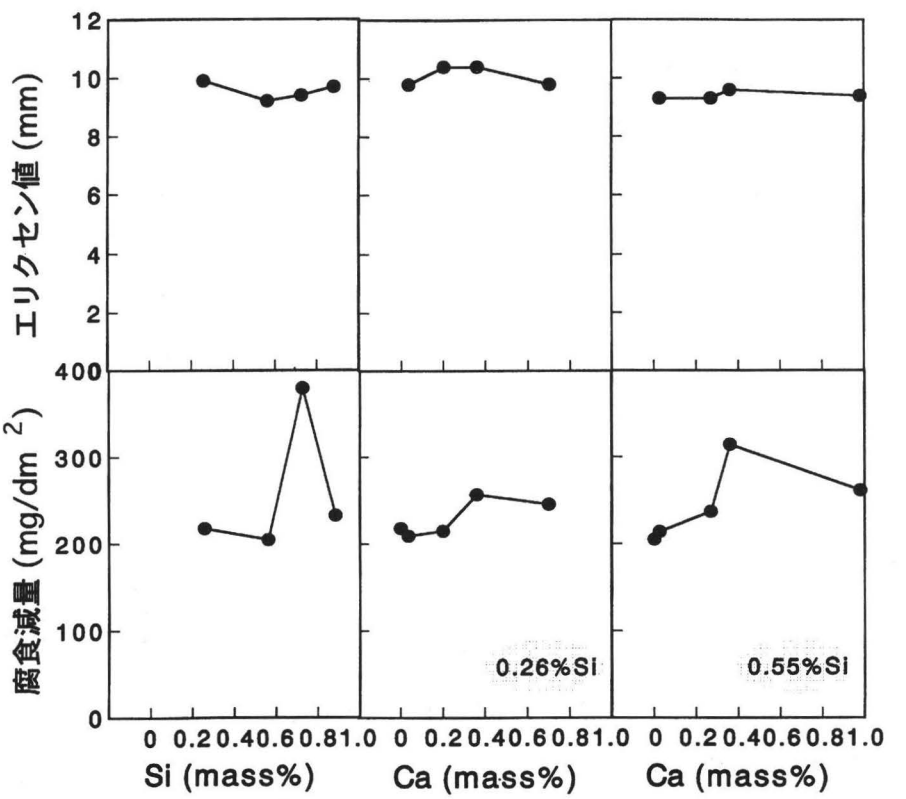

■図12　Ca添加量を変化させた3003合金O材の工学顕微鏡組織



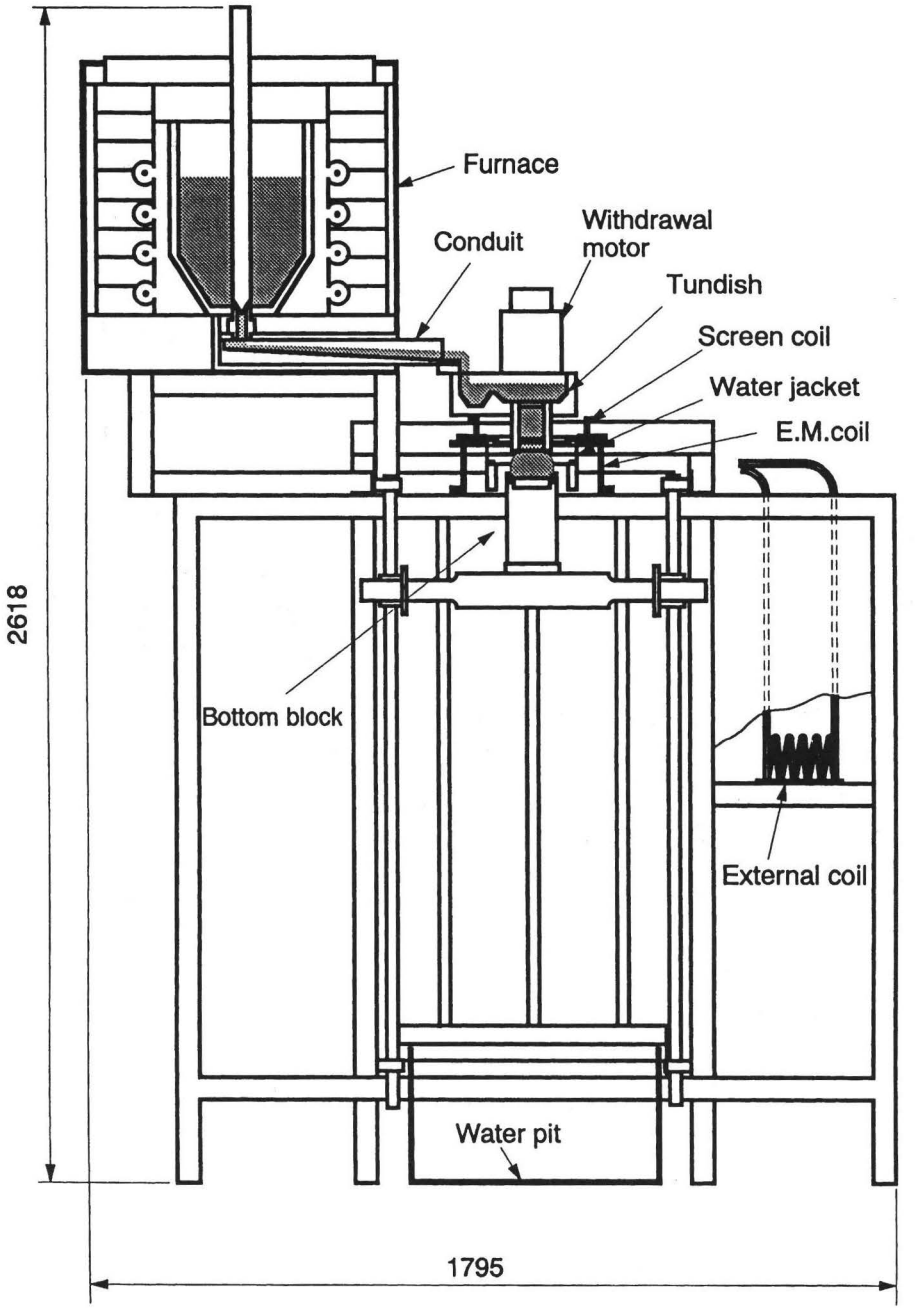

■図13　Caを添加した3003合金O材のX線回折結果




■図14　3003合金O材の添加量の違いによる機械的性質の変化




■図15　3003合金O材の成形性および耐食性に及ぼすSiおよびCaの影響



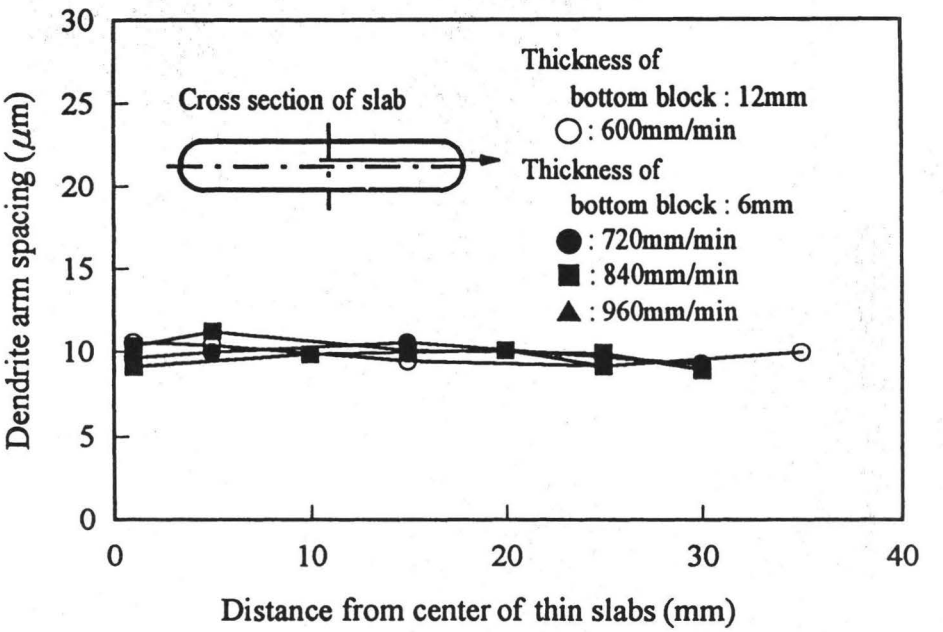

■図16 Schematic drawing of experimental apparatus for EMC used in this study.

| | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| DC, hot plate | 0.09 | 0.26 | 0.02 | 0.07 | 2.46 | 0.21 | 0.02 | 0.01 |
| EMC, ingot | 0.18 ~ 0.19 | 0.32 ~ 0.33 | - | - | 2.44 ~ 2.55 | 0.18 ~ 0.19 | 0.01 | 0.01 |
| JIS 5052 alloy | <0.25 | <0.40 | <0.10 | <0.10 | 2.2 ~ 2.8 | 0.15 ~ 0.35 | <0.10 | - |

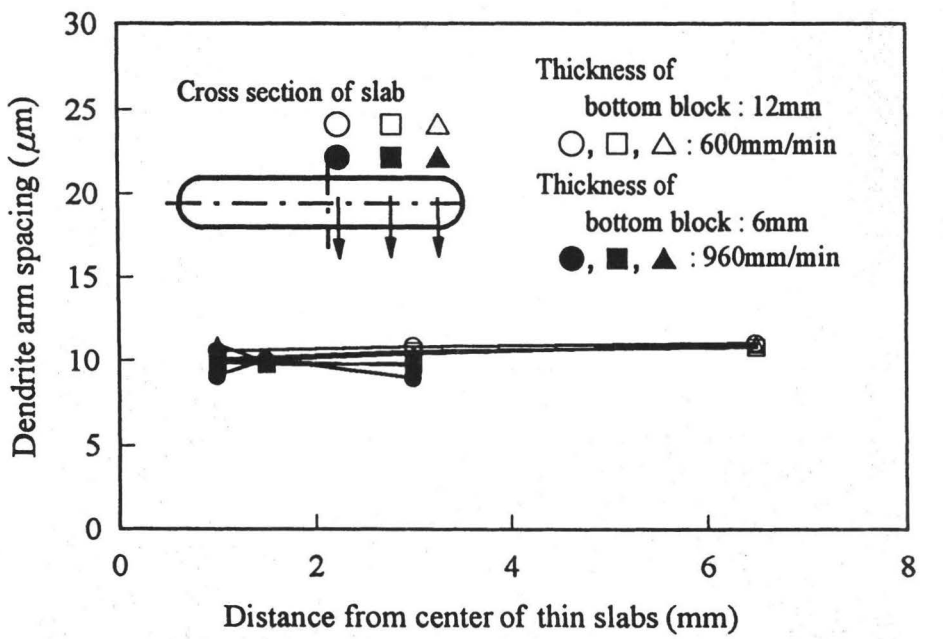
■表5 Chemical composition of aluminum alloys. (mass%)

■表3　供試合金の化学組成（mass%）

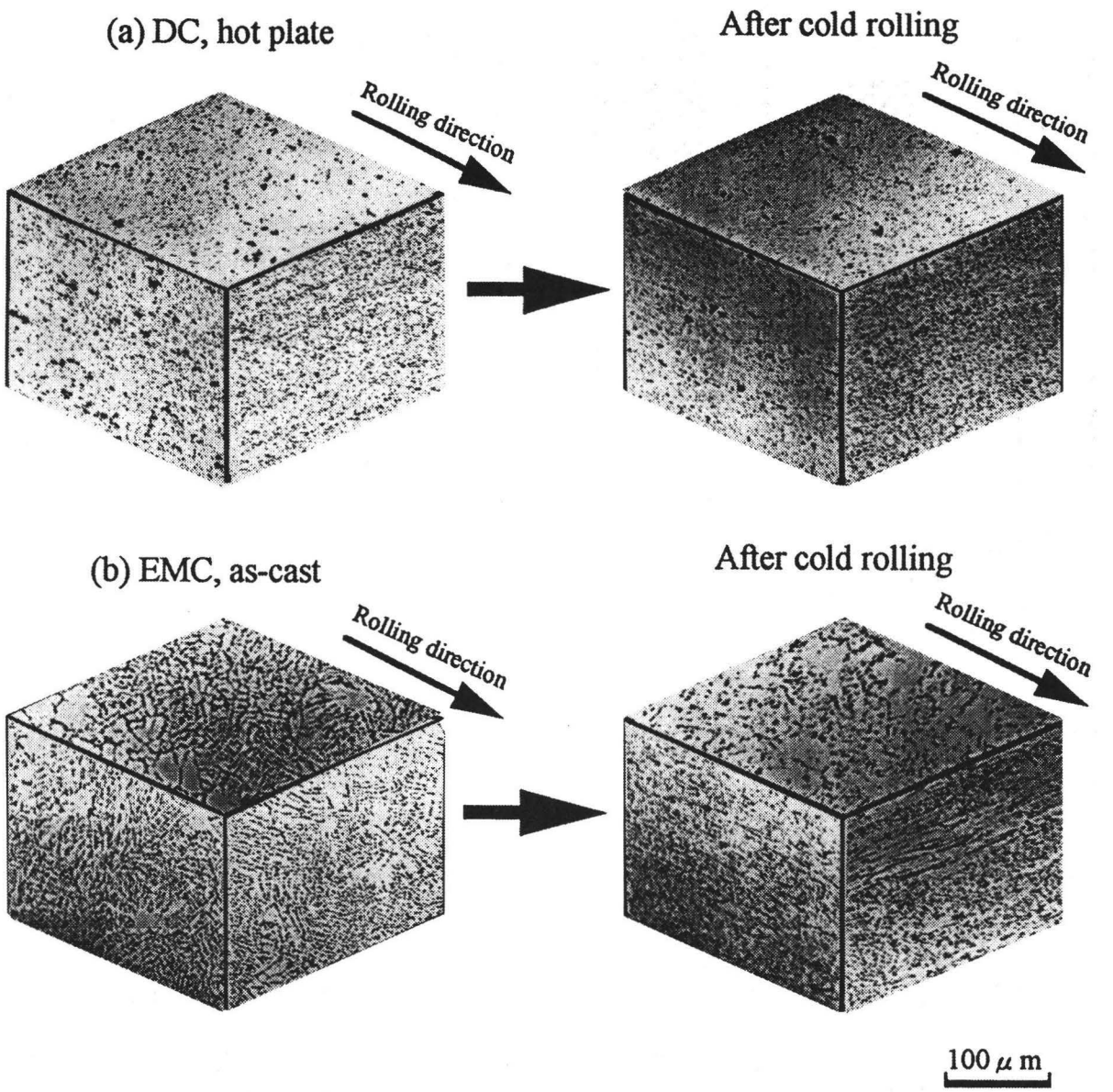
■図18 Microstructures of thin 5052 alloy slabs fabricated under various manufacturing conditions.
Flow rate of cooling water : 20l/min, Casting rate : 960mm/min,
Thickness of bottom block : 6mm, Spout : step cover type



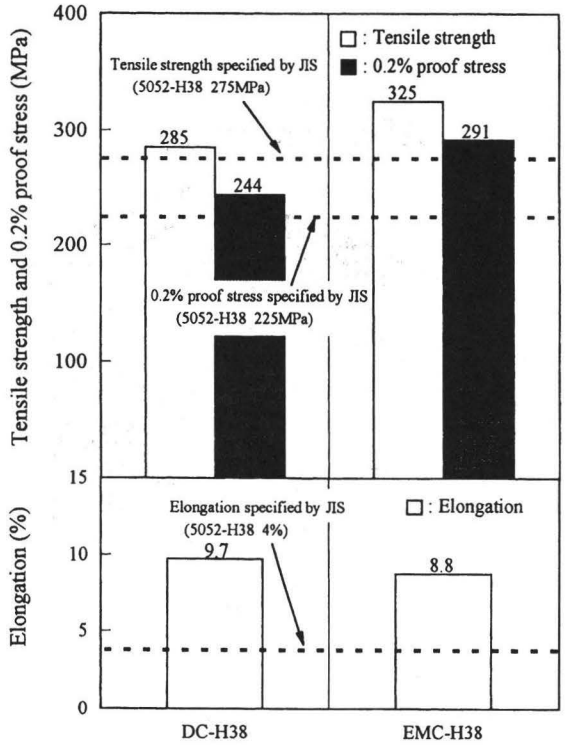

■図19 (a) Distribution of dendrite arm spacing at short long of thin slabs.



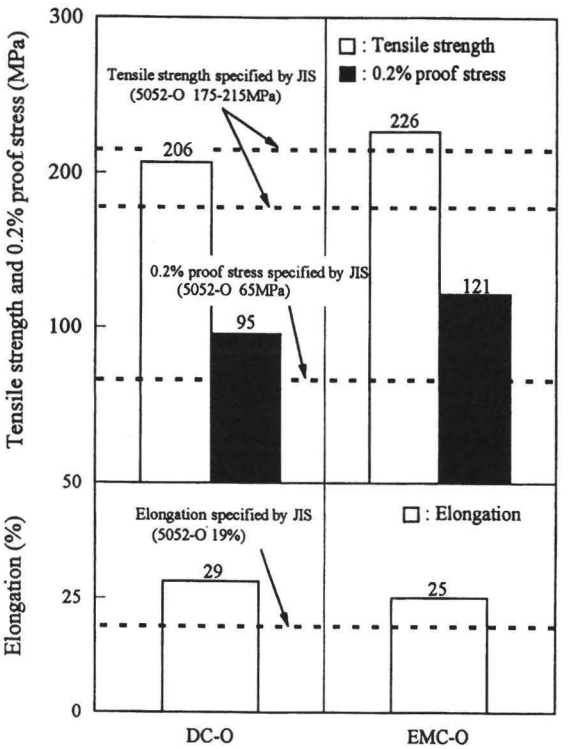

■図19 (b) Distribution of dendrite arm spacing at short side of thin slabs.




■図20 Microstructures of 5052 alloy before and after cold rolling.



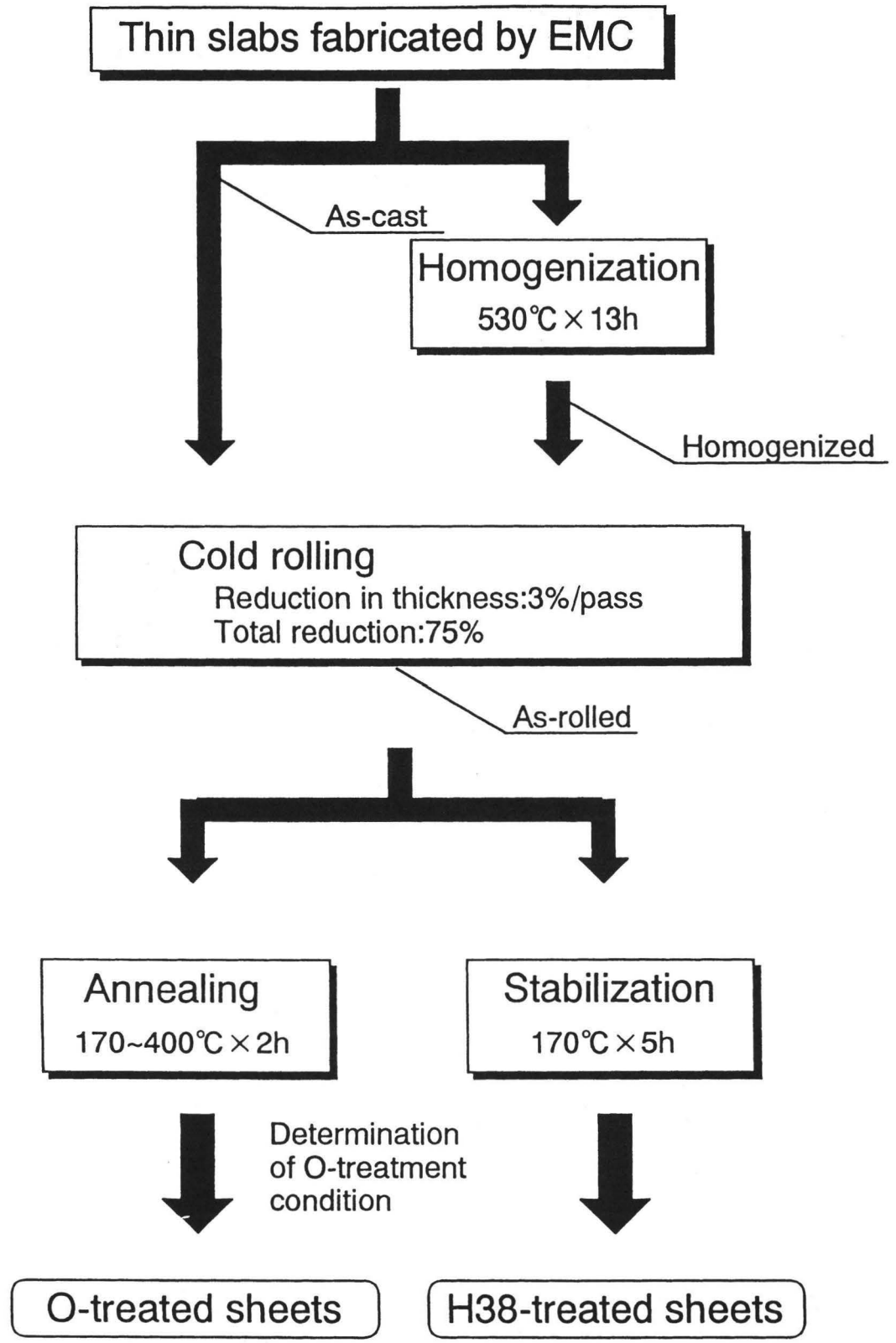

■図21 Tensile properties of H-38 treated EMC and DC specimens.




■図22 Tensile properties of O-treated EMC and DC specimens.

| | Mg | Fe | Cr | Si | Cu | Mn | Zn | Ti | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| JIS 5052 alloy | 2.20 ~2.80 | <0.40 | 0.15 ~0.35 | <0.25 | <0.10 | <0.10 | <0.10 | - | Bal. |
| 5052 basc alloy | 2.68 | 0.34 | 0.19 | 0.18 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | Bal. |
| 0.45%Fe | 2.56 | 0.45 | 0.19 | 0.16 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | Bal. |
| 0.81%Fe | 2.61 | 0.81 | 0.20 | 0.18 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | Bal. |
| 2.33%Mg | 2.33 | 0.30 | 0.18 | 0.16 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | Bal. |
| 2.05%Mg | 2.05 | 0.31 | 0.18 | 0.16 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | Bal. |

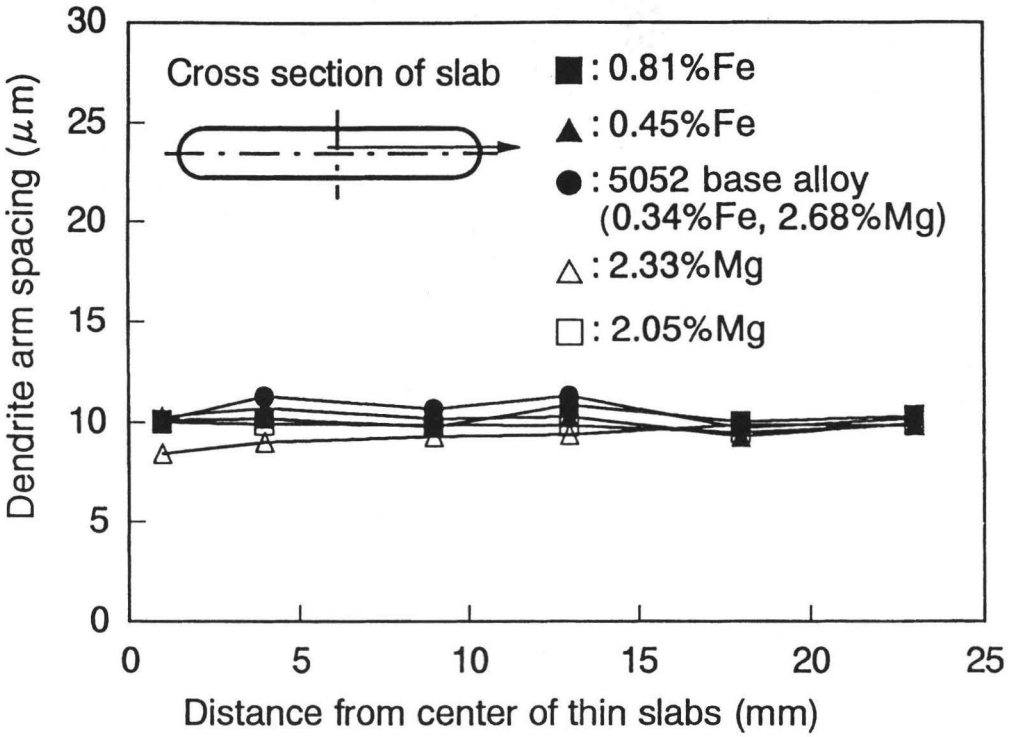
■表6 Chemical composition of aluminum alloys (mass%)



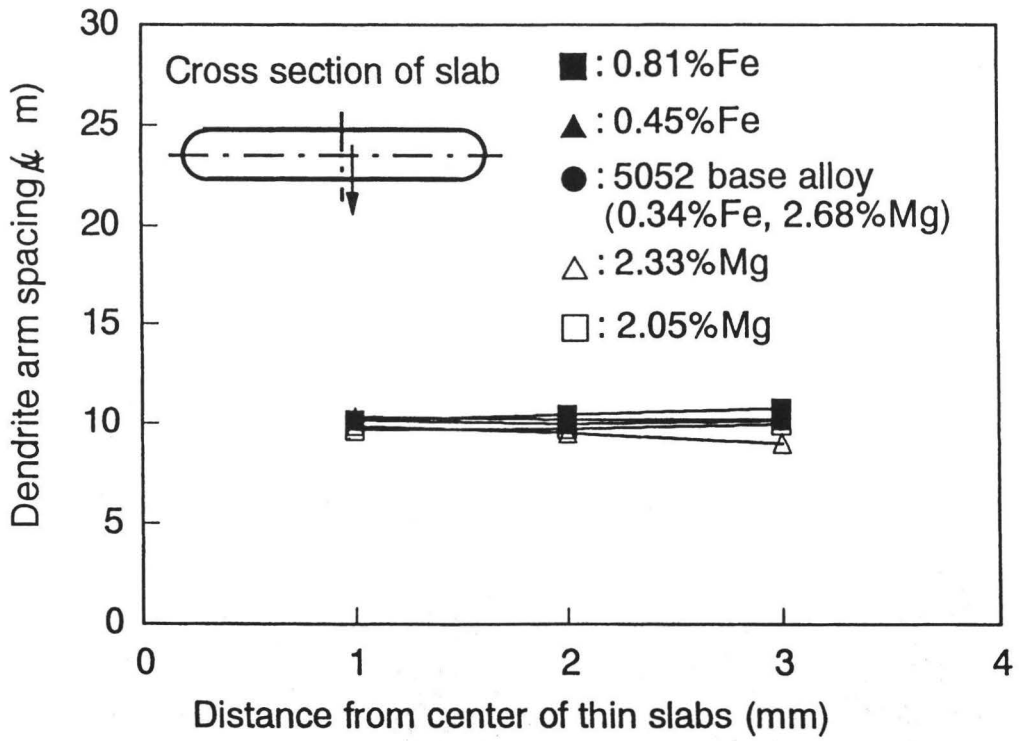

■表23 Processes of preparation of specimens.

■図24 Microstructures of 5052 alloy thin slabs with different Fe and Mg content. (3) 0.81% Fe

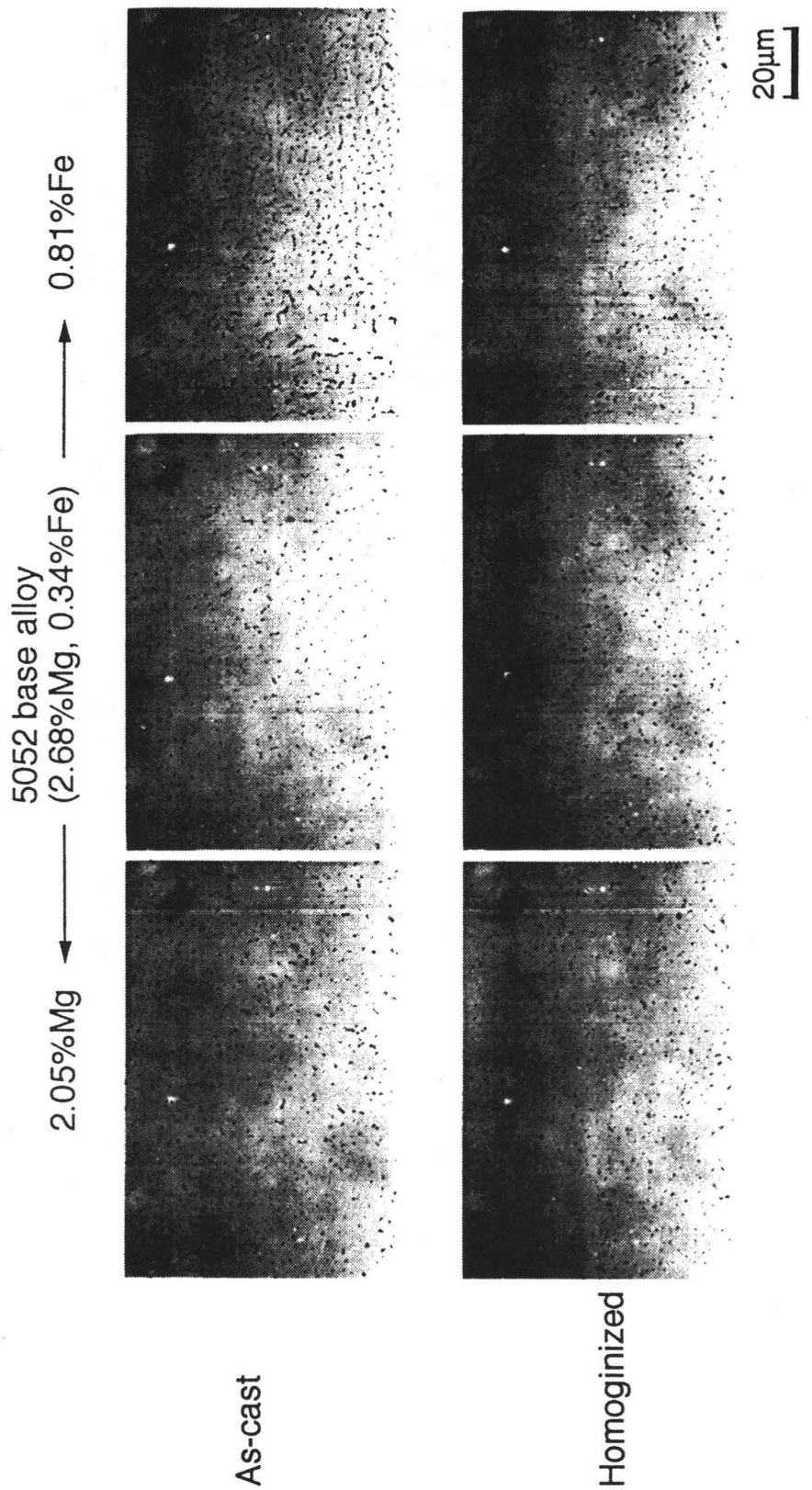
■図25 Microstructures of 5052 alloy thin slabs with different Fe and Mg content. (5) 2.05% Mg



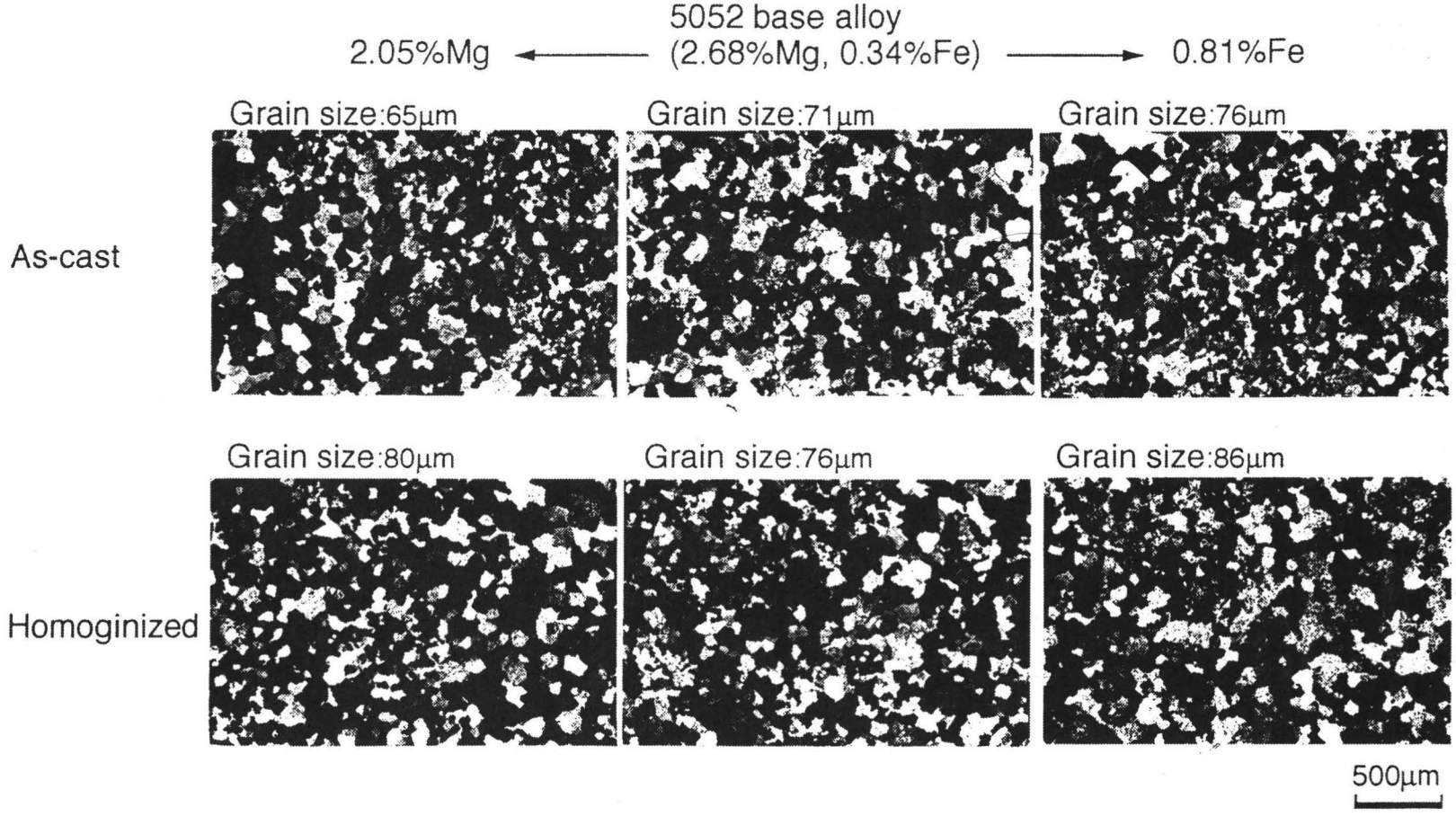

Distribution of dendrite arm spacing along the long side of thin slabs.




■図26 Distribution of dendrite arm spacing along the short side of thin slabs.

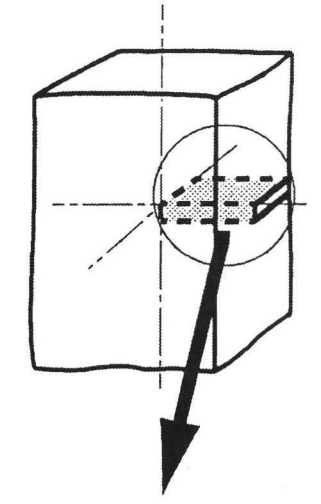


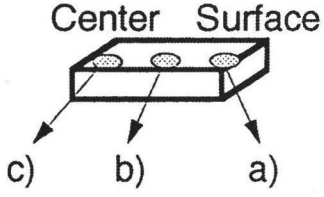

■図27 Microstructures of 5052 alloy thin slabs with defferent Fe and Mg content indicating the distribution of intermetallic constituents.

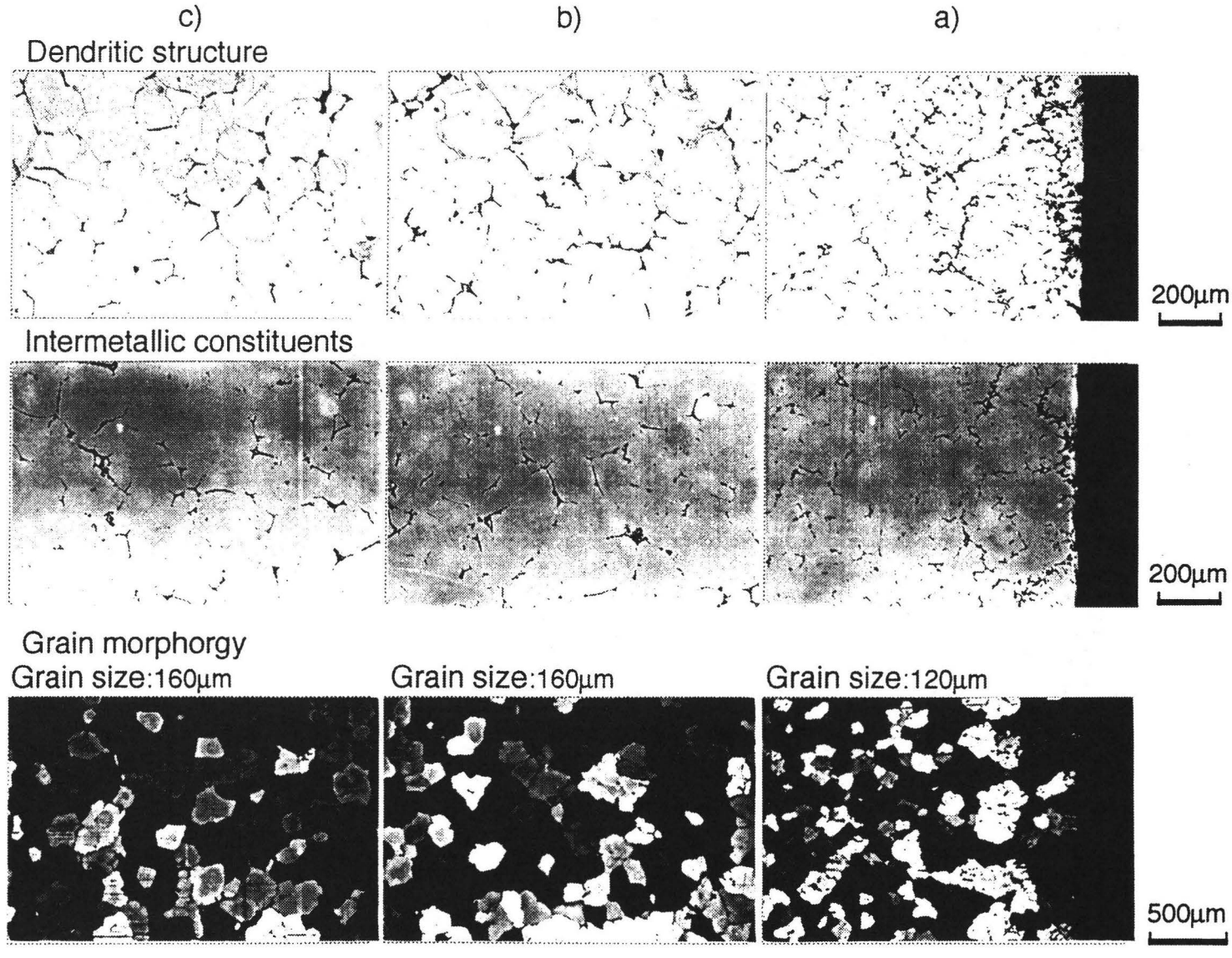


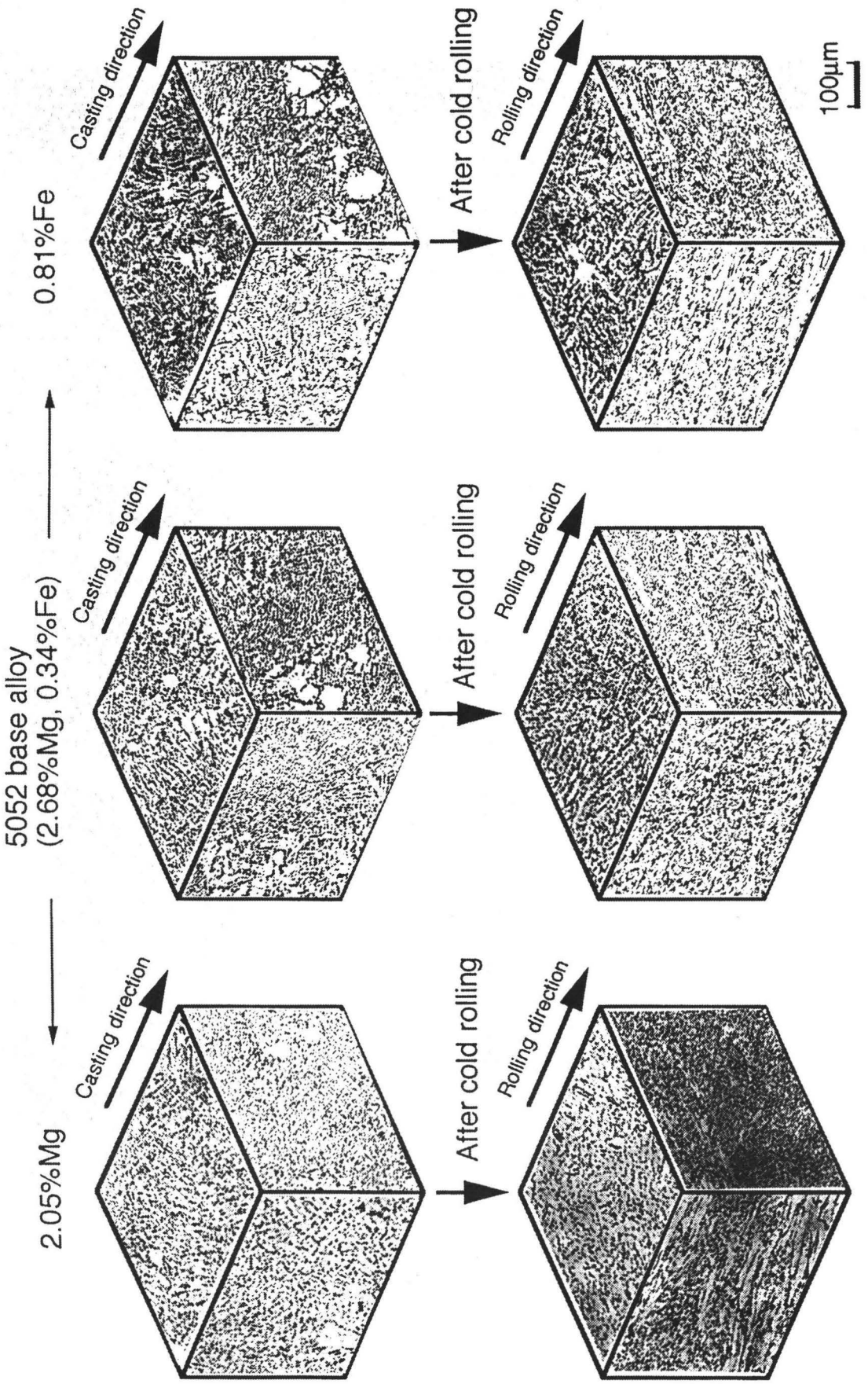

■図28 Microstructures of 5052 alloy thin slabs with different Fe and Mg content showing the grain size.

■図29 Microstructures of DC slab of 5052 alloy.

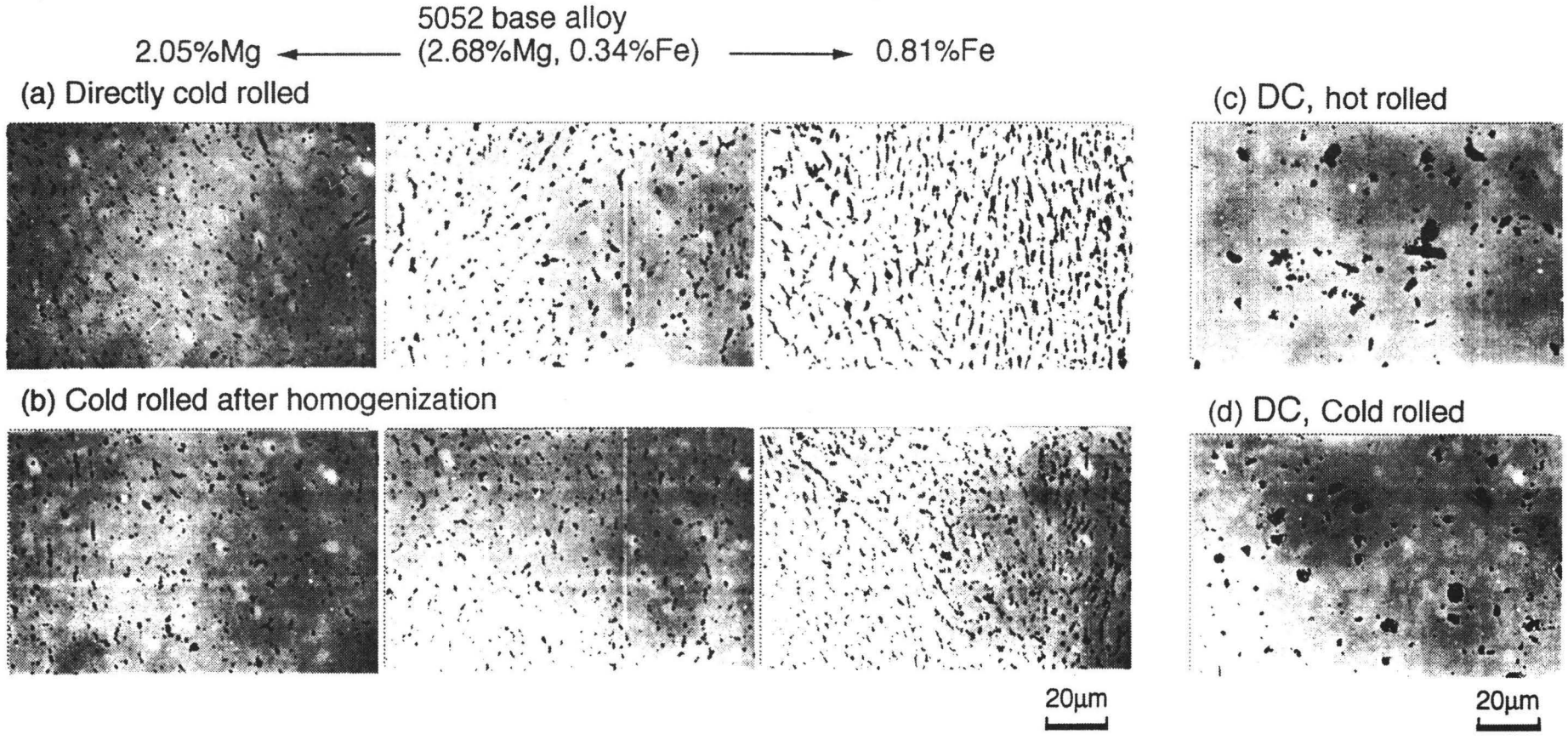




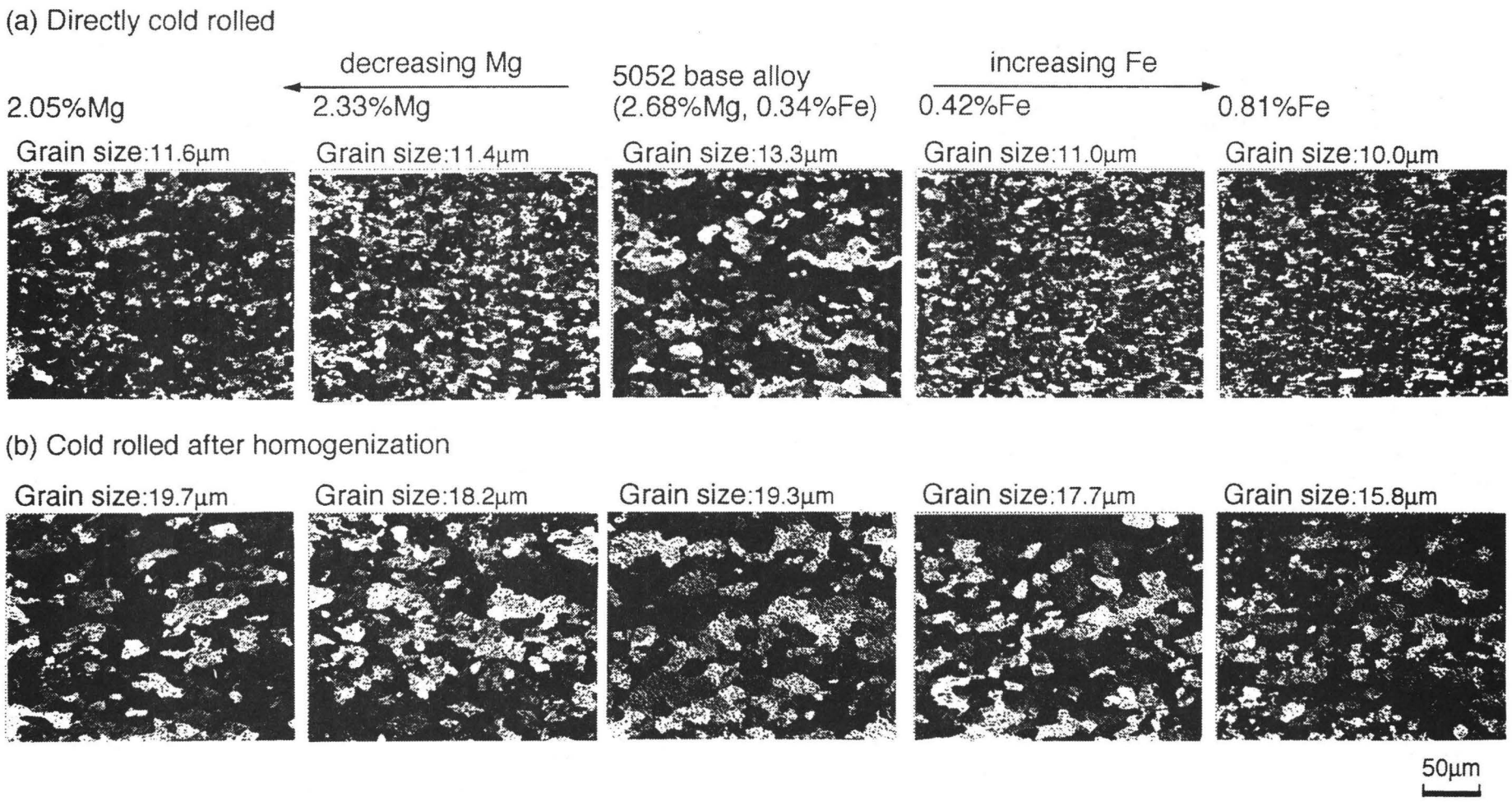



■図30 Microstructures of 5052 alloy thin slabs with different Fe and Mg content before and after cold rolling.



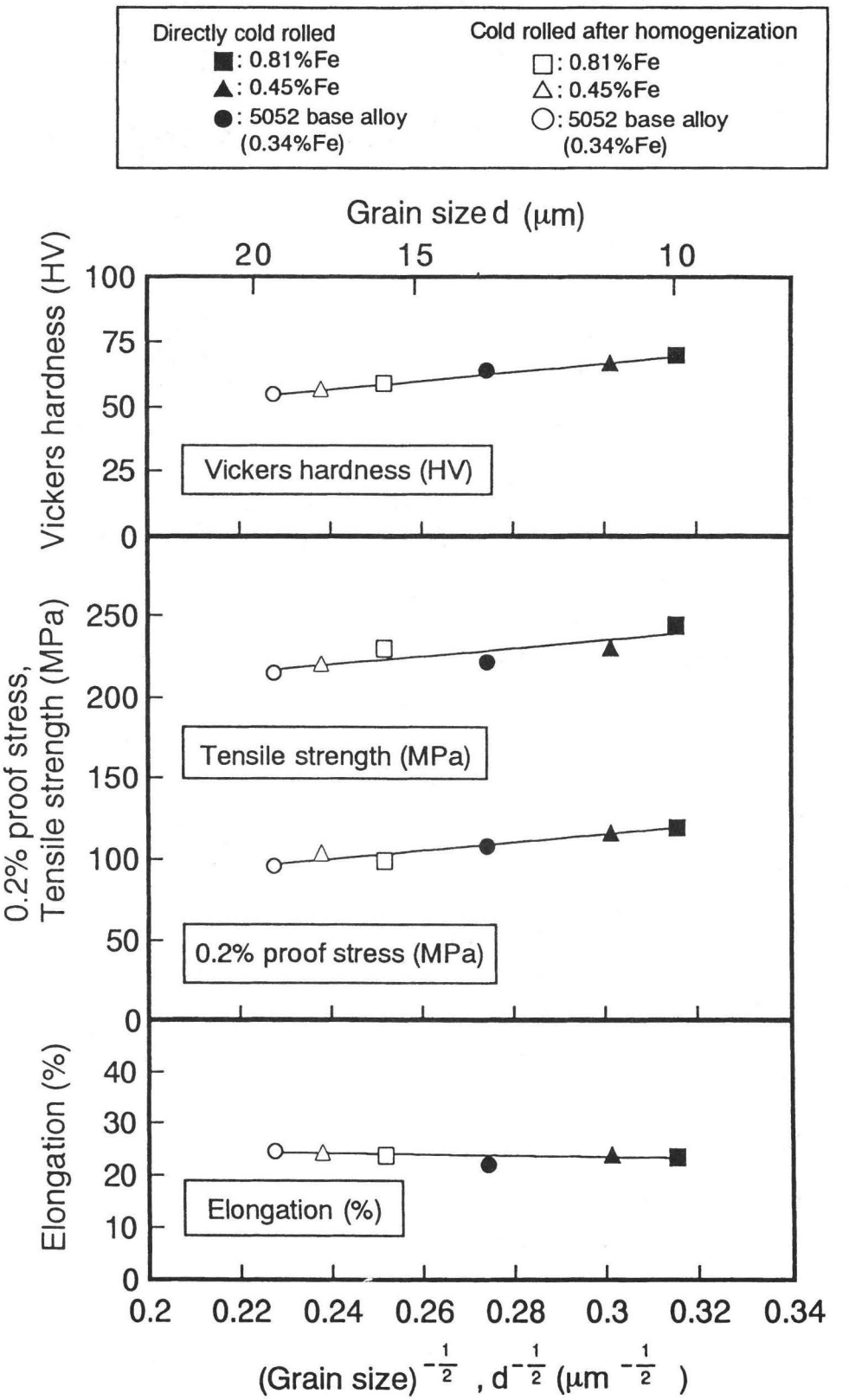

■図31 Microstructures of cold rolled sheets of 5052 alloys with different Fe and Mg content. Microstructures of hot and cold rolled sheets of DC samples are alos shown.

■図32 Microstructures of O-treated sheets of 5052 alloys with different Fe and Mg content indicating the distribution of intermetallic constituents.



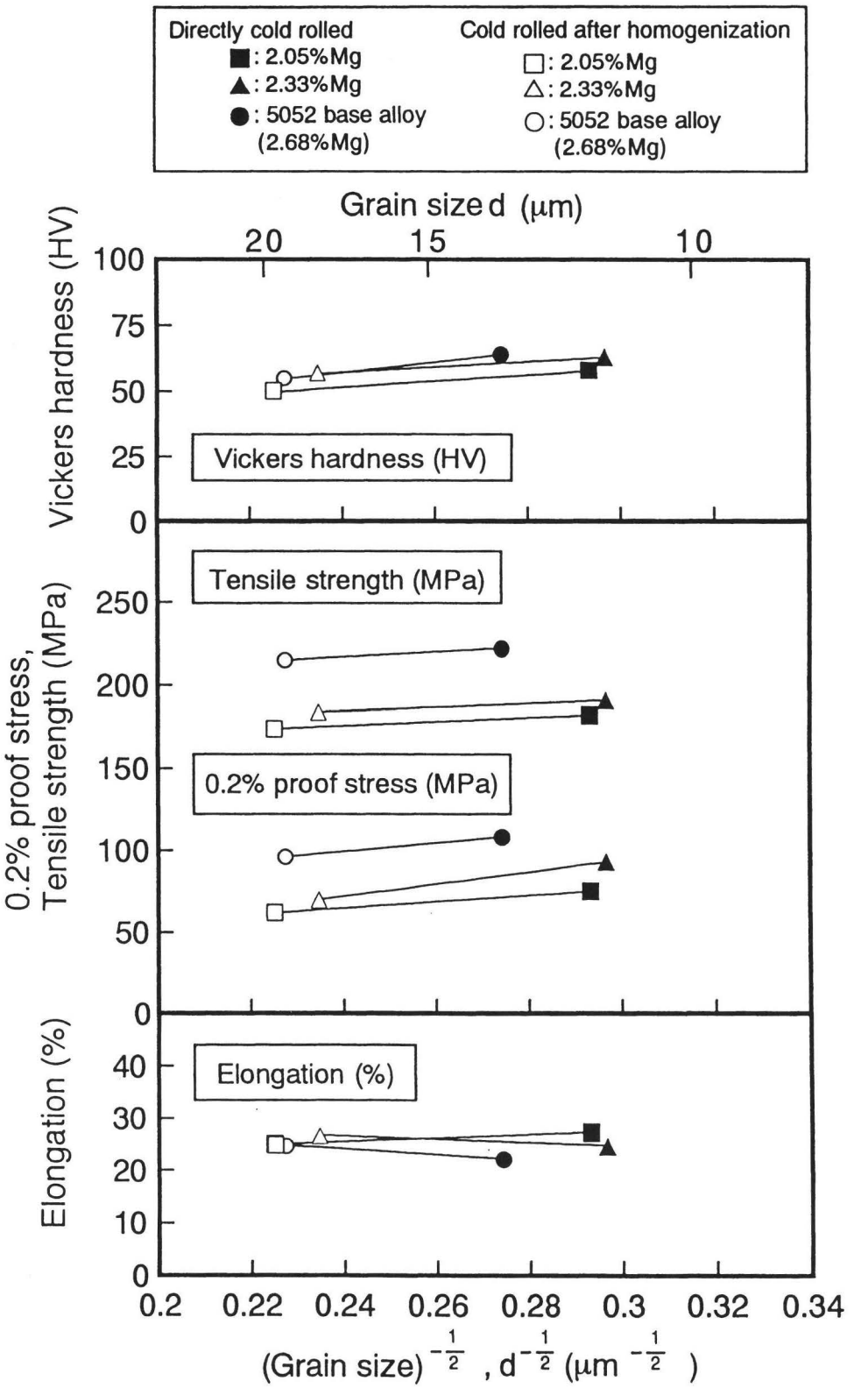

■ 図33 Microstructures of O-treated sheets of 5052 alloys with different Fe and Mg content showing the grain size.

■図34 Tensile properties of O-treated sheets of 5052 alloys with different Fe content.
(a) Directly cold rolled (b) Cold rolled after homogenization

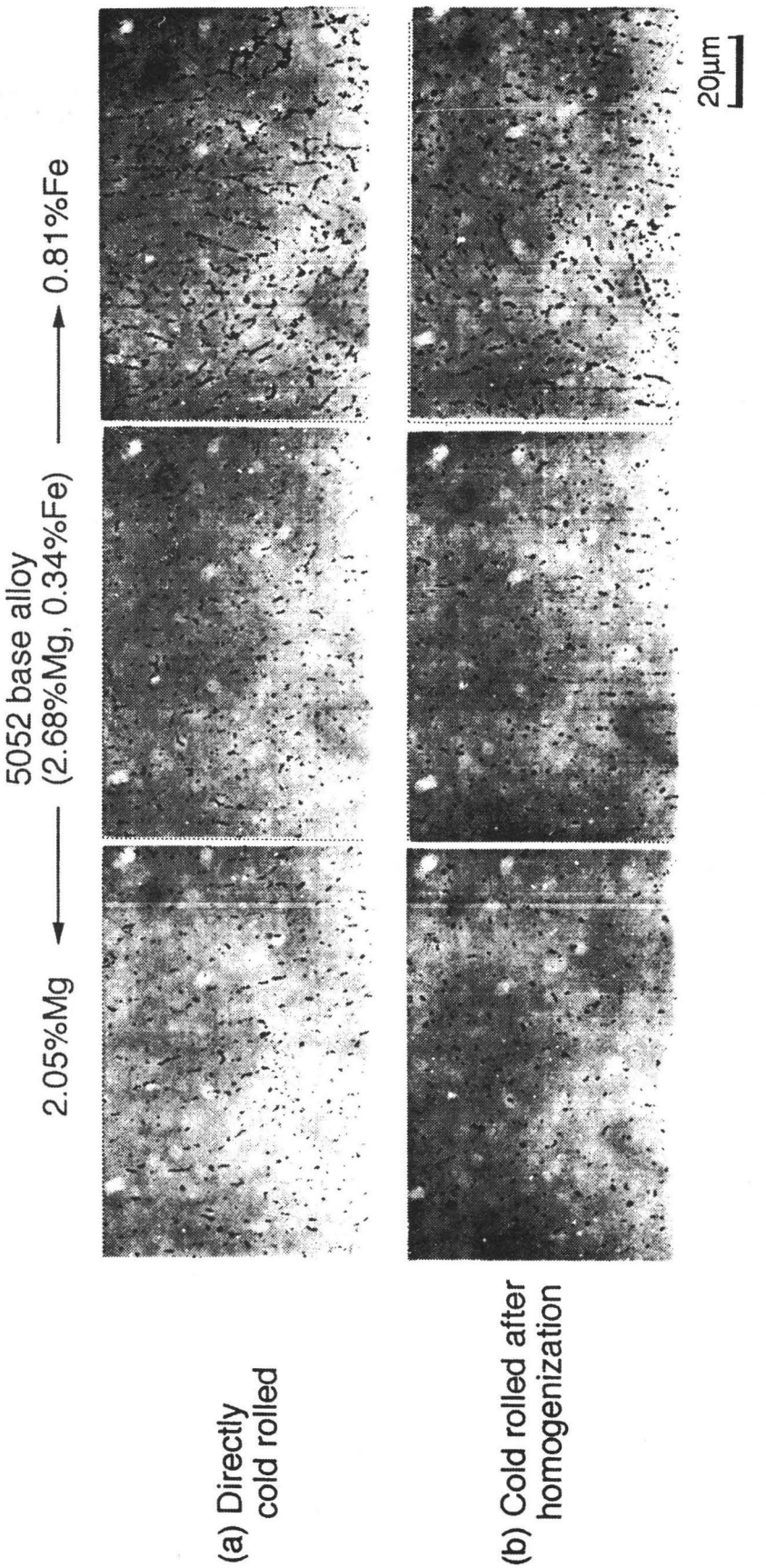



■図35 Effect of grain size on tensile properties and vickers hardness of O-treated sheets of 5052 alloys with different Fe content.

■図36 Tensile properties of O-treated sheets of 5052 alloys with different Mg content.
(a) Directly cold rolled (b) Cold rolled after homogenization

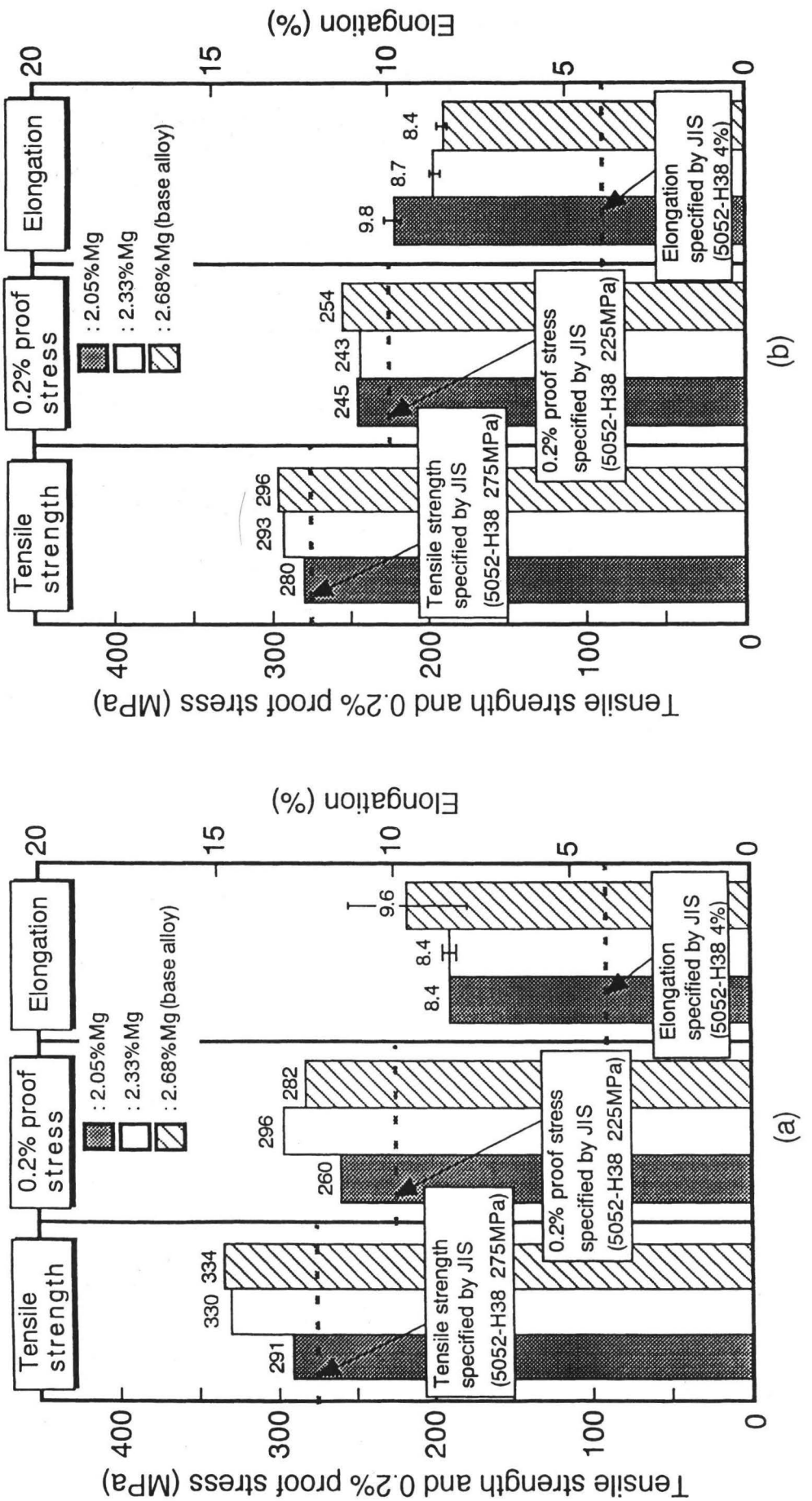



■図37 Effect of grain size on tensile properties and vickers hardness of O-treated sheets of 5052 alloys with different Mg content.




■図38 Microstructures of H38-treated sheets of 5052 alloys with different Fe and Mg content indicating the distribution of intermetallic constituents.

■図39 Tensile properties of H38-treated sheets of 5052 alloys with different Fe content.
(a) Directly cold rolled (b) Cold rolled after homogenization




■図40 Tensile properties of H38-treated sheets of 5052 alloys with different Mg content.
(a) Directly cold rolled (b) Cold rolled after homogenization

# 1－3　マルチリブを有する部材の耐力及び変形能力と断面設計法の研究

名古屋工業大学
教　授　小　野　徹　郎

## 1．はじめに

アルミニウムは押出し加工性に優れており、鋼材に比べて自由な断面形状を容易に製作可能である。この特性を活かし、板要素をリブにより補剛することで耐力の上昇、変形能力の増大を図ることが考えられる。本報では、リブを有するアルミニウム短柱の圧縮座屈耐力を定量的に把握することを目的として数値解析を行い、リブの補剛効果を考慮した等価幅厚比による局部座屈耐力の評価を行う。

## 2．リブを有するアルミニウム短柱の圧縮座屈解析

解析対象は、図１に示すリブにより補剛された角形断面短柱である。境界条件は両端固定支持とし、増分理論に基づく３次元固体要素を用いた有限要素法解析を行った。基本となる角形断面の寸法は、実験[1]と同じ$b$=160mm、$t$=3及び4mm、$L$=504mmとし、更に実験は行っていない$t$=2及び6mmについても解析を行った。板幅$b$は角形断面の内法寸法をとった。リブ形状はリブ厚さ$tr$が2～16mm、リブ高さ$hr$が2～32mmとし、リブの局部座屈が先行しないよう、リブ幅厚比$hr/tr$は８以下の範囲とした。リブ個数$nr$は1,2,3の３種とした。素材はA6063-T5とし、応力-歪度関係は図２の通り、素材引張試験結果をもとにmulti-linerモデルで表した。大歪域まで解析を行うため、公称応力-公称歪度を真応力-対数歪度に変換して用いた。解析における変形モードを、実験と同様の隣り合う板要素が交互に凹面と凸面を構成する図１（b）のようなモードとするために、初期不整を導入した。初期不整量は、板要素の中央部で面外方向へ板要素の幅$b$の1/300となる$sin$半波とした。

## 3．解析結果

図３に、実験および解析の荷重-変位曲線を示す。解析結果は、実験結果と比較して最大耐力後の耐力低下が緩やかであるが、図４の実験結果と解析結果の最大応力度の比較では、両者は良い対応を示している。

図５に$tr$=4mm、$nr$=3のモデルにおける、局部座屈後の変形性状を示す。それぞれの図は、全て軸歪$\varepsilon$=0.01のときのものである。座屈波長は、実験と同様にリブ剛性が高いものほど長くなっており、変形性状においても両者は良い対応を示した。

図６はリブのない短柱の座屈曲線である。解析結果、実験結果と、文献[3]より得た実験結果を共に

プロットした。縦軸は応力度を降状応力度で無次元化した値、横軸は一般化幅厚比をとった。解析結果と実験結果とは、よい対応を示している。図7は、リブにより補剛されたモデルの、解析結果による荷重-変位曲線である。リブ形状は$tr$=4、$nr$=3、$hr$=2～18である。リブ剛性の増加と共に最大応力度が上昇、変形能力が増大していることがわかる。

## 4．リブによる補剛効果を考慮した等価幅厚比

図8は、リブにより補剛されたモデルの最大応力度を、座屈曲線上にプロットしたものである。幅厚比の大きいモデルでは、最大応力度の上昇が明らかに表れているが、幅厚比の小さいモデルでは、降状応力度が最大応力度の上限となるため、上昇の度合いは小さくなっている。リブ補剛により上昇した最大応力度を、図9のようにリブのないモデルの解析結果による座屈曲線に代入し、幅厚比を算出することによって、リブによる補剛効果を考慮した等価幅厚比$\lambda_e$を求めた。

図10は縦軸に等価幅厚比を実際の幅厚比で除した値、横軸にリブ剛性比$\gamma=EIr/bD$をとったものである。

$E$：ヤング係数

$Ir$：リブ一つ当たりのリブ断面二次モーメント

$b$：板要素の幅

$D$：板要素の曲げ剛性　$D=\dfrac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$

等価幅厚比はリブ剛性比の増加と共に小さくなっている。しかしリブ個数、リブ形状の違いにより、リブ剛性比が等しい場合においても等価幅厚比にばらつきがでているため、リブ剛性比に対してリブ位置、リブ厚さによる係数を導入した。

$\alpha$はリブの板要素内での位置による係数である。リブ位置が、局部座屈による面外変形が最大となる板要素中央に近いほど、リブによる補剛効果は大きくなると考えられる。$\alpha$は図11のように板要素中央で1、端部で0となる$cos$一波とした。

$$\alpha=0.5\left(1+cos\frac{\pi x}{b/2}\right) \qquad (1)$$

$x$：板要素中心からの距離

リブ剛性の評価は、$Ir$に$\alpha$を乗じた値$\alpha Ir$により行う。また板要素上にリブが複数ある場合には、それぞれの$Ir$に$\alpha$を乗じた値の総和$\sum\alpha Ir$を用いる。

図12は$Ir$が等しく$tr$が異なるものである。$tr$が小さい（a）のような形状の方が、（d）のようにリブが板幅方向に広がった形状よりも、面外変形の大きい中央部を効果的に補剛することができる。このように、$Ir$が等しい場合でも、面外変形に対する補剛効果には差がでてくるので、板要素の幅$b$とリブの厚さ$tr$の比による係数として$\sqrt{b/tr}$ を導入した。リブ剛性比に係数を導入した修正リブ剛性比

$\gamma_m$は次式のようになる。

$$\gamma_m = \frac{E\sum \alpha l_r}{bD} \cdot \sqrt{\frac{b}{t_r}} \qquad (2)$$

図13は、修正リブ剛性比$\gamma_m$と等価幅厚比$\lambda_e$との関係である。係数の導入により、リブ形状の違いによるばらつきが小さくなった。$\gamma_m$が10以下の範囲では等価幅厚比の低下が顕著であるが、$\gamma_m$が10を越える範囲では等価幅厚比の低下は小さくなっていることから、効果的な補剛を行うには、$\gamma_m$=10程度が適当な値であると考えられる。

## 5．リブを有する角形断面短柱の等価幅厚比評価式

等価幅厚比$\lambda_e$と修正リブ剛性比$\gamma_m$との関係を、図14の通りに対数関数によって回帰し、この曲線をリブを有する角形断面短柱の等価幅厚比評価式とした。

$$\lambda_t/\lambda = 0.821 - 0.165\, log(\gamma_m) \qquad (3)$$

図15は、式（3）より得られる等価幅厚比を、解析結果による座屈曲線に代入して最大応力度を求め、この値を解析及び実験結果の最大応力度と比較したものである。両者は良い対応を示しているが、危険側に分布しているモデルが多数ある。等価幅厚比評価式を設計へと適用するには、評価式による値が実験及び解析結果の下限値をとることが望ましいので、式(3)の係数を安全側の評価となるように修正した。(図16)

$$\lambda_t/\lambda = 0.9 - 0.2\, log(\gamma_m) \qquad (4)$$

式（4）により求めた最大応力度は、図17の通りに実験及び解析結果の下限値となった。

## 6．まとめ

1．リブを有するアルミニウム短柱の局部座屈耐力を、有限要素法解析により追跡できることを示した。
2．リブによる補剛効果を考慮した等価幅厚比を求めた。
3．リブ形状の違いによる補剛効果の変化を、リブ剛性比に係数を導入した修正リブ剛性比により表した。
4．修正リブ剛性比と等価幅厚比との関係を対数関数で表し、リブを有するアルミニウム短柱の等価幅厚比評価式として示した。

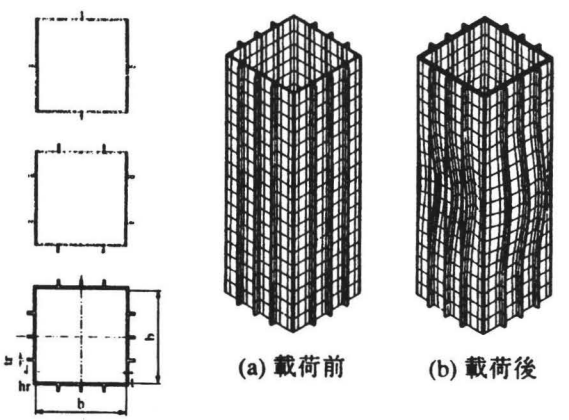
## 【参考文献】


1）小野他：アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究（その19）マルチリブを有するアルミニウム部材の短柱圧縮座屈実験、日本建築学会学術講演梗概集（九州）、1997.9

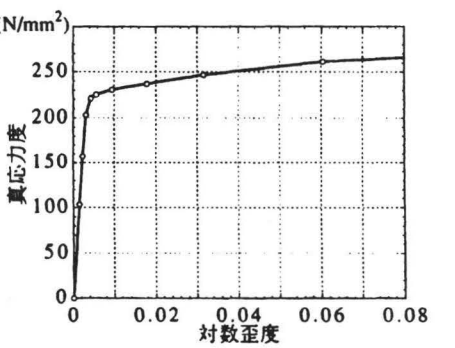
2）小野他：アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究（その20）マルチリブを有するアルミニウム部材の短柱圧縮座屈耐力、日本建築学会学術講演梗概集（九州）、1997.9

3）建設省建築研究所他：「アルミニウム合金利用技術指針」、1995.12

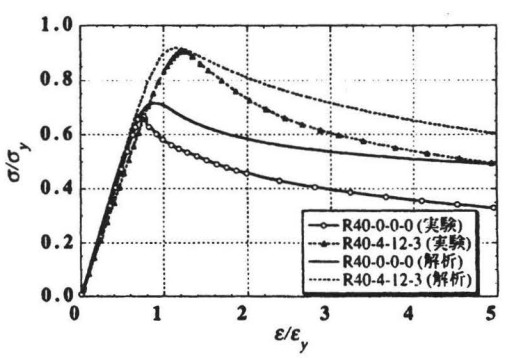
4）日本建築学会：「鋼構造座屈設計指針」、1996.1

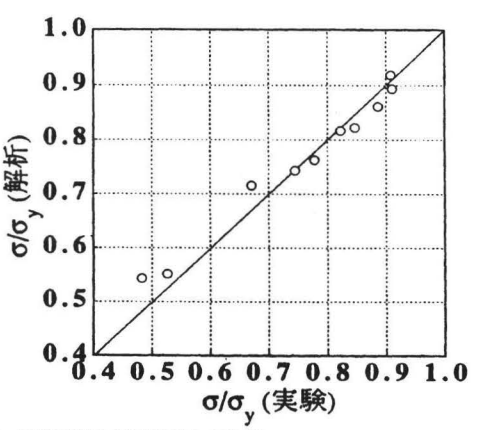

■図1　解析モデル



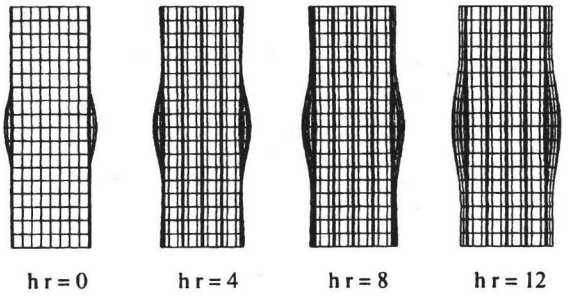

■図2　素材モデル



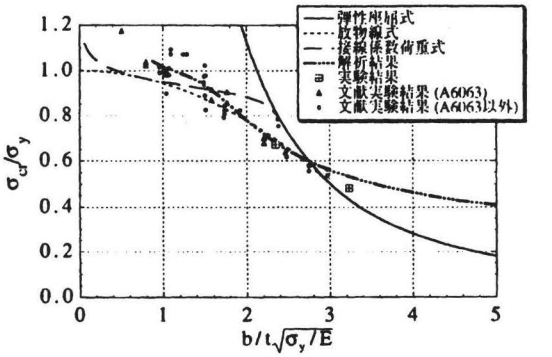

■図3　荷重-変位関係



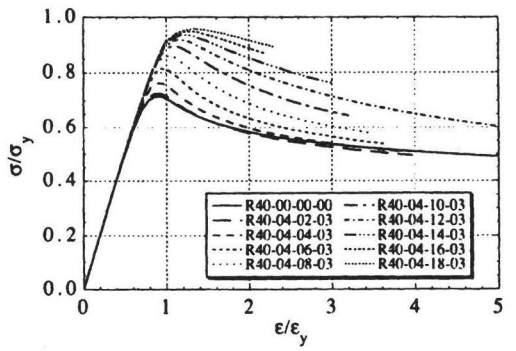

■図4　実験結果と解析結果との比較



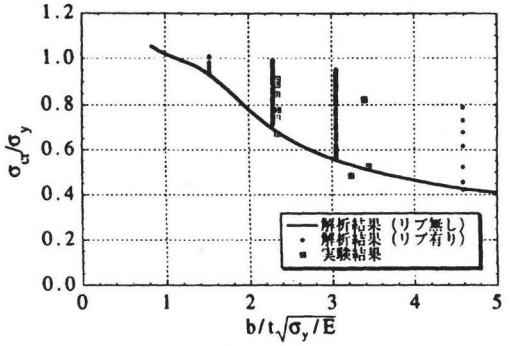

■図5　変形性状



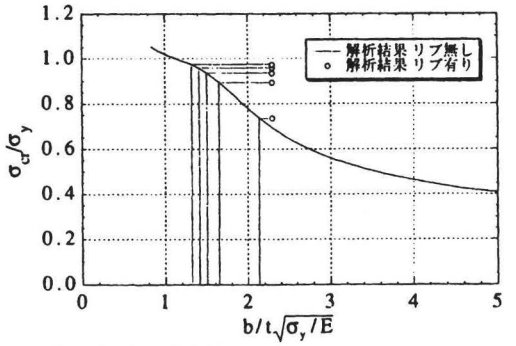

■図6　リブのない短柱の座屈曲線



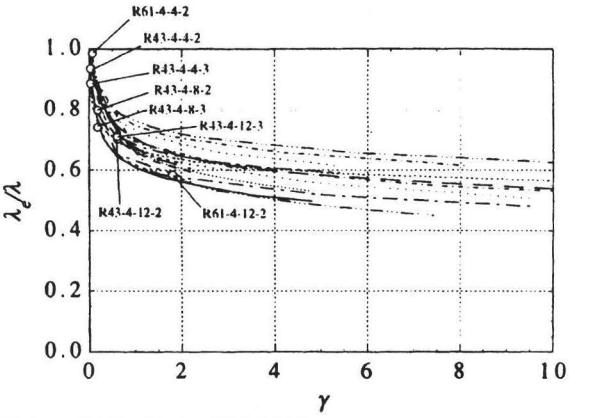

■図7　荷重-変位関係



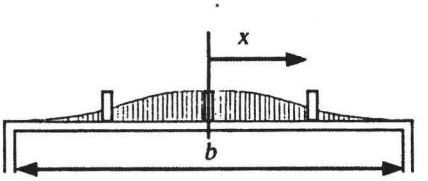

■図8　座屈曲線



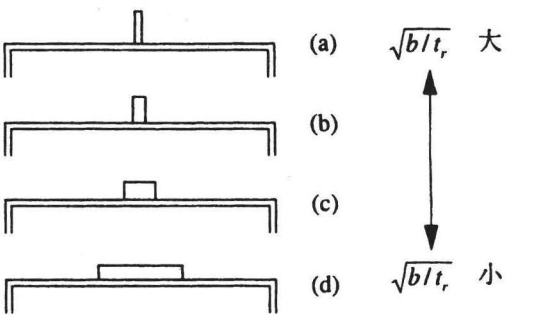

■図9　等価幅厚比の算出法



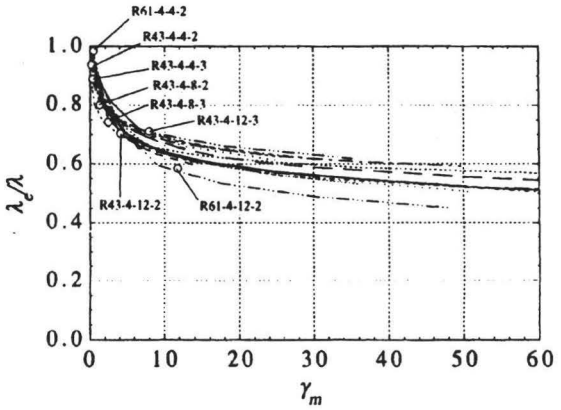

■図10　等価幅厚比-リブ剛性比関係



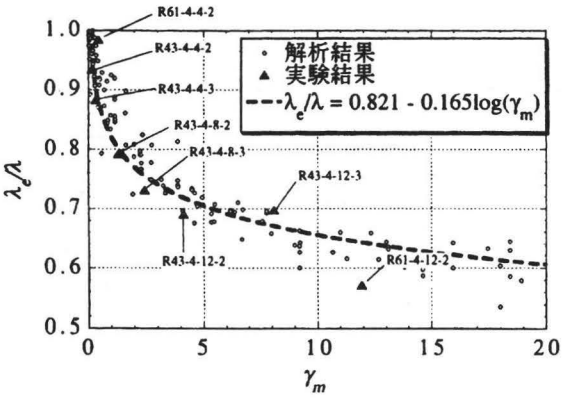

■図11　板要素内でのリブ位置による補正



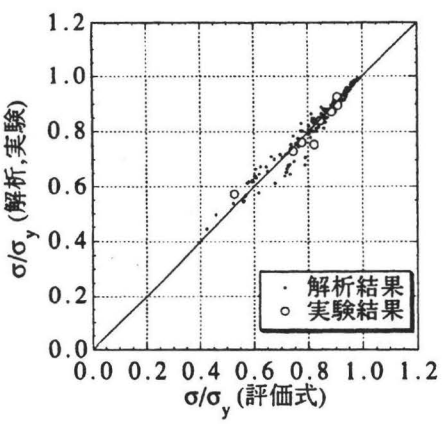

■図12　板幅とリブ厚さの比による補正



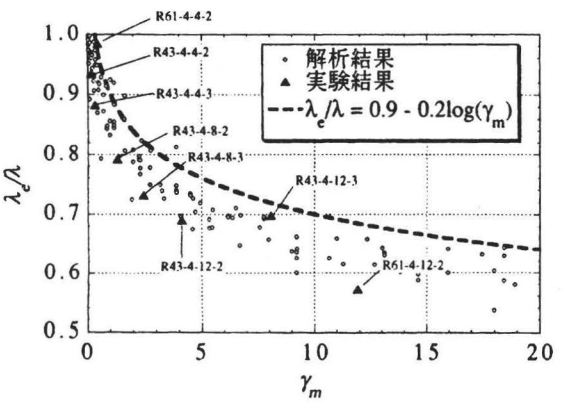

■図13　係数を導入した等価幅厚比-リブ剛性比関係



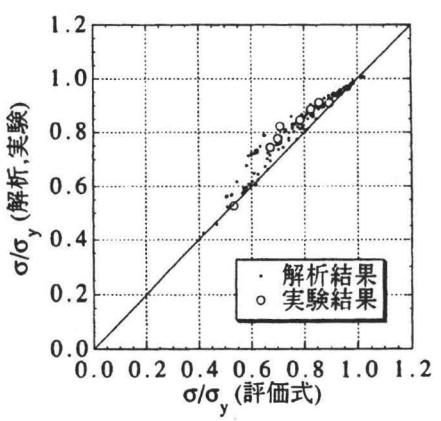

■図14　等価幅厚比評価式




■図15　解析及び実験結果と計算結果の比較




■図16　等価幅厚比評価式の設計への適用




■図17　解析及び実験結果と計算結果の比較

# 1－4　植物系炭化材料を用いた透気性建築部材の開発

東京工業大学大学院総合理工学研究科
教授　梅干野　晁

## ①本研究の背景と目的

### (1) 背景

近年、地域開発のあらゆる場面で環境保全が求められるようになったが、特に住環境形成においては、環境共生の視点に立ち地域資源を有効に利用できるような環境づくりを目指すべきである。申請者は快適な住環境形成を目指し、これまでさまざまなパッシブ部材の開発に取り組んできたが、更に、冒頭の観点から環境保全に配慮したものづくりを考えていかなければならない。特に、住環境を形成する最も身近なものとして建物を構成する建築部材について

・使用時の性能を十分に備えている

・ライフサイクルを通じて環境に対して低負荷である

・原材料としての資源採取が直接、資源の維持・管理、および景観の保全につながることが必要であると考える。申請者は「維持・管理の必要な資源」として緑を取り上げることを提案している。これは、地域の環境形成に緑は重要な役割を果たすと考えており、とくに我が国の温暖湿潤な気候特性においてはバイオマスは旺盛で、緑による地域らしさを維持するためにはその管理が不可欠であるという点に着目したためである。環境共生を目指し、地域の緑化をただ進めるだけでは、管理にかかる負担やそれによって発生する緑のゴミは増加する一方である。このような緑をその地域の植物資源として捉え、環境づくりに有効利用し、緑の存在価値と交換価値を共に享受する必要があると考える。

### (2) これまでの経緯

これに基づき、申請者は環境保全型建築部材の具体的な提案を行った[1]。まず、パッシブ換気システムに組み込む「息をする壁体」と称する建築壁部材に着目し、その構成材料に適用地域の里山の下刈り材や農業残廃資源など管理が不可欠なものを原料にした植物系炭化材料を適用することを提案した。提案した部材が「息をする壁体」として機能可能かを実験的に確認するため、現在では廃材となっている稲ワラを原料とした炭化材料を試作し、透気性能と断熱性能について検討し、炭化ワラ材料の「息をする壁体」としての適性を確認した[2]。

ここで、「息をする壁体」は、温暖湿潤地域を対象にして、部材を壁などのような広い面に用い、部材を通して透気・透湿を行うことで室内環境を調節し、快適で健康な住環境の形成を目指すものとして提案されているものである。

### （3）目的

本研究では、上記の観点から、地域の植物資源を活用した環境保全に配慮した建築部材（植物系炭化材料を用いた透気性建築部材）の開発を行う。まず、これまで提案した以外の部材内部構造について主に熱・空気の観点から、その「息をする壁体」への適性を確認し、炭化ワラ材料による「息をする壁体」の構造の可能性を検討する。また、炭化材料という吸放湿性を有する材料を用いた透気性部材の湿気特性を明らかにして、「息をする壁体」への利用方法や高湿潤とならないような利用が可能かを検討するための資料を得る。

## ②研究の方法

### （1）部材内部構造に関する基礎的検討

これまで検討してきた部材内部構造は、透気性の観点から選定したものであった。ここで「息をする壁体」は透気性と同時に断熱性も有する材料でなければならないため、断熱性の観点から新たな部材内部構造部材を選定し、その「息をする壁体」としての適性を実験的に確認し、部材構造上の可能性を検討する。

### （2）定常場における透気性部材内の湿気特性に関する実験的検討

炭化ワラ材料による「息をする壁体」の吸放湿性能の可能性を検討する第一段階として、実験的に、透気が行われる場での「息をする壁体」内部の透気経路における相対湿度や含水率の断面分布から、透気が部材の吸着特性の及ぼす影響を把握する。

### （3）非定常場における透気性部材内の湿気特性の把握

「息をする壁体」は屋外の非定常な気象条件の下で内外温度差や外部風によって自然換気を行うため、その吸放湿特性もその影響を受けることが予想される。そのため、非定常な透気が行われる場での部材の吸放湿の実態を把握するため、屋外における実測を行い、部材の吸放湿性能検討のための基礎資料とする。また、部材内部の結露の危険性についても、同実測において検討する。

## ③研究の計画と進捗状

現在までに、下記の計画項目(1)～(3)について研究が終了したので報告する。

(1) 部材内部構造に関する基礎的検討

(2) 定常場における透気性部材内の湿気特性に関する実験的検討

(3) 非定常場における透気性部材内の湿気特性の把握

## ④今までに得られた成果

### 1．部材内部構造に関する基礎的検討

これまで、炭化ワラ材料を用いて透気性能を優先させた構造（TYPE1[2]）について壁体への適用の可能性を確認した。ここでは、提案した部材の構造上の可能性をさらに検討するため、断熱性の観点から新たにTYPE1とは透気方向の異なる構造（TYPE2）に対して、透気・断熱性能を実験的に把握し、部材内部構造の比較検討を行う。

#### 1－1　炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」の内部構造

図1に本部材構造の概念図を示す。TYPE1（図1（a））は、透気経路がワラの導管に対して平行となる構造であった。これに対しTYPE2（図1（b））はワラ材本来の断熱性能を考慮し、導管に対して垂直に透気が行われる構造とした。

#### 1－2　透気性能実験

(1) 実験の概要

TYPE2の自然換気の可能性を検討するため、$CO_2$を用いたトレーサーガス法により透気量の測定を行った（図2）。試験体は、稲ワラを電気炭化装置を用いて250℃で均一に炭化したものを、断湿処理を施した発泡スチレン製の型枠で固定したものである。炭化ワラ材料は、型枠内側表面との接触面のみがコーキング材で接着されている。このとき水平設置した試験体上下にかかる差圧は文献2に従い0.7Paとした。試験体は密度の異なる角柱型を4本用いた（表1）。

(2) 実験結果と考察

試験体の単位面積当たりの重量w（kg/m²）と実験から得られた単位面積当たりの相当開口面積$\alpha$A（cm²/m²）の関係をTYPE1のものと合わせて図3に示す。両対数グラフ上で両者は直線関係を示した（式1）。

$$\alpha A = 2.42 \times 10^{5} \cdot w^{-5.08} \qquad (1)$$

wのほぼ下限に当たるB2に対する$\alpha$Aは、部材を天井に設置した場合を想定し文献3の換気計算を用いると換気回数にして0.5回／hとなり、TYPE2は自然換気性能として利用可能な構造であることが確認された。また、wの上限値はTYPE1のそれと同様（12.8kg/m²）であるとすると、式1からTYPE2の$\alpha$Aの下限は0.6cm²/m²となり、差圧が0.7Pa一定の下では透気の許容範囲はTYPE1の方が5.7倍となることが分かった。これは、TYPE1の方が透気性能を調節する上では有効であることを示唆するものである。しかしながら、部材の適用箇所によって部材にかかる差圧が変わるため、今後、部材にかかる差圧に対する透気特性を把握し構造を検討する必要がある。

### 1－3　断熱性能に関する実験的検討

「息をする壁体」には、自然換気性能と同時に適用地域に必要な断熱性能が要求される。よって、TYPE1と同様に熱的特性を実験によって把握すると共に、冬季、室内の暖かい空気が部材を通じて屋外へ出るときに生じる可能性のある内部結露についても検討する。

(1) 実験の概要

実験装置は環境制御室を屋外側、実験容器内部を室内側に想定し、文献２とほぼ同じ条件となるよう温度、相対湿度（室内側25℃、60%、屋外側5℃、60%）及び試験体上下の差圧（±0.7Pa）を制御した（図４）。試験体（内寸W100mm、L187mm、H100mm）は実験容器上部に水平に設置した。また、試験体の相当開口面積がTYPE1と同様となるよう製作し、このとき単位面積当たりの重量は7.4kg/m²であった（9.5cm²/m²に相当）。図５に温度および相対湿度測定位置を示す。

(2) 実験結果と考察

図６に透気が上向きの時の試験体内部固体温度および相対湿度分布を示す。最も結露の危険性の高いと思われる屋外表面近傍でも相対湿度80%以上であり、透気経路においては結露は生じていないことが分かる。ただし、炭化ワラ材料内部の結露については今後、別に検討が必要である。また、各透気条件において定常に達したときの内部固体温度分布をTYPE1のものと合わせて図７示す。透気が下向きの場合、室内側表面固体温度は21.9℃に達しており、室内へ流入する空気温度は屋外側のそれと比べて15.9℃上昇していた。屋外側の冷たい空気が、部材を通過しながら熱を回収したためであると考える。

透気がない場合の部材の熱伝導率は0.065W/mKであった。この値は同じ厚さのグラスウール16K（0.051W/mK）とほぼ同等の性能といえ、TYPE1が0.10W/mKであったのに対して、より断熱性能に期待が持てる内部構造であることが分かった。

### 1－4　まとめ

炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」の内部構造の可能性を検討するため、TYPE1とは透気経路の異なる構造TYPE2を製作した。天井設置とし無風時を想定すると透気性能についてはTYPE2の方が透気量が小さくなることが分かった。また、断熱性能はTYPE1と同等に換気量を設定した場合、TYPE2の方が上回り「息をする壁体」として適用可能であることを確認した。今後は一定の方向性を持たない構造についても製作上有利であり、同様の検討を加えていく必要があると考える。

## 2．定常場における透気性部材内の湿気特性に関する実験的検討

「息をする壁体」は、自然換気によって部材内部に空気が流れるのに伴い、湿気も部材内部を流れる構造である。また、部材の素材自体が炭化材料という多孔質な構造のため吸放湿性能についても検討していく必要がある。そこで、ここではその第一段階として、透気が行われる部材内部で生じる湿気移動特性を定常的に捉え、実験的に透気量が異なる場における結露の危険性の検討、部材内部の含水率及び含水状態に影響を与えている要因を把握することを目的とする。

## 2－1　透気実験

本部材においては、透気量が部材内部の温度、相対湿度、含水率に密接な影響を及ぼしているため、部材の透気特性を把握しておく必要かある。また、部材の相当開口面積はαAは部材の前後にかかる差圧によって変化する。よって、部材にかかる差圧と相当開口面積の関係を求めた。

(1) 実験の概要

試験体は前節にあるTYPE1を用いた。また、部材厚さは100mm、断面形状が長方形（内寸55.1×55.8mm)、部材の単位面積当たり重量は11.5kg/m²とした。前章と同様の実験装置を用い、$CO_2$を用いたトレーサーガス法によって差圧を変化させたときの試験体の透気量を求めた。

(2) 実験結果

実験から得られた差圧と透気量、また透気量から算出した相当開口面積の関係を得た（図８)。これにより、部材前後の差圧を測定することで、部材を通過する透気量を把握することが可能となった。

## 2－2　湿気特性に関する検討

(1) 実験の概要

本実験では、図４に示す装置を用いた。部材の天井面配置を想定して試験体（厚さ：100、断面サイズ：360×360mm、密度：11.5kg/m²）を容器上部に水平に設置した。温湿度条件は冬季の東京の気象条件（室内側25℃45%、屋外側5℃60%）を想定し定常運転を行った。差圧を0.1Pa（実験において強制的に差圧をかけない状態)、0.7Pa、1.2Paとなるよう室内側から屋外側へ透気させ、部材内部の温湿度が定常状態になったときの部材内部の温度、相対湿度、含水率分布を測定した。温湿度は部材内部空気を測定しており、温湿度測定位置を図９に示す。含水率は定常状態に達したところで同図に示す位置で４分割して測定した。

(2) 実験結果と考察

図10と図11に温度と相対湿度の分布を示す。図10より透気をすることで室内側の暖かい空気が部材内を流れることにより、部材内の温度が上昇しているのが分かる。相対湿度はそれに伴い減少している。また、透気量が増大するにしたがって温度は高くなっている。例えば最も屋外側部材温度（測定位置90mm）は0.1Paのとき8.5℃、0.7Paのとき14.6℃、1.2Paのとき17.5℃であった。図12に重量含水率分布、図13に測定結果の温度と相対湿度から算出した水蒸気圧分布と1.2Pa時の飽和水蒸気圧分布を示す。含水率には温度と水蒸気圧が影響し温度が低いほど、また水蒸気圧が高いほど部材への吸着が進み、含水率は増大する。ここでは屋外側へ行くほど含水率が大きくなっているが、水蒸気圧の低下よりも温度の低下の方が大きく影響しているためだと考えられる。また、設定した差圧の中で最も結露の可能性が高いと思われる差圧1.2Pa時において図13でみると測定位置90mmの位置で水蒸気圧は8.7mmHg、飽和水蒸気圧は15.0mmHgであった。これより表面結露の可能性は極めて低いことが確認された。

### 2－3　まとめ

・TYPE1の構造の単位面積当たり重量が11.5kg/m²である部材にかかる差圧と相当開口面積の関係を回帰式によって明らかにした。

・室内側から屋外側へ透気が行われているときの部材内の湿気の状態に関して、屋外側へ行くほど含水率が上昇しているが、水蒸気圧の低下よりも温度の低下の方が大きく影響していることが分かった。

・今回の実験において最も結露の可能性が高いと思われる差圧1.2Pa時でも屋外側近傍での表面結露の可能性は極めて低いことを確認した。

## 3．非定常場における透気性部材内の湿気特性の把握

本来、「息をする壁体」は自然換気によってそれ自身を通して空気が出入りするため、室内の温熱環境にも影響を及ぼす。そこで、実大規模の壁体を用いた屋外実測を行い、本壁体の自然環境下での非定常な湿気性状を把握し、本部材の吸放湿性能を評価するための基礎資料とすることを目的とする。

### 3－1　壁体適用場所の概要

本壁体は温暖湿潤な気候の地域を適用の対象としている。そこで、温暖湿潤地域として東京の、郊外にある低層住宅地を実測の対象地とした。また、今後の壁体の実用化まで視野に入れた場合、屋外風速の変動による自然換気性能への影響を緩和するための手段が課題となる。そのため、本実測では、外気導入式の空気集熱床暖房システムを導入した木造２階建て住宅を用いている（図14）。この外気導入式空調システムは、屋根面に設けられた集熱パネルにより、冬季は太陽熱利用の空気集熱式床暖房が稼動し、夏季は夜間放射冷却を利用した床下蓄冷房として稼動する。また、一階床面の吹き出し口から導入された空気は、１階居間から２階の仕事部屋にかけ

### 3－2　壁体の断熱・換気設計

(1) 断熱性の観点からの壁体内部構造の検討

本壁体の内部構造にはTYPE1、２が提案されており、本実測では透気が行われないときの熱伝導率がより小さいTYPE2（0.065W/mK）を採用した。また、壁厚さは100mmとしたが、このとき新省エネルギー基準[4]において、実測対象住宅が位置するIV地域における木造気密住宅の壁に要求される断熱材の熱コンダクタンス（1.16W/m²K）と比較すると1.8倍となる。

(2) 透気特性の観点からの壁体密度の検討

まず、換気設計の入力条件となる「息をする壁体」（TYPE2）の隙間特性値は、前章と同様の透気実験から得る。実験では試験体前後の差圧ΔPを0.7～14Paまで変えたときに試験体を通過する透気量Qを測定し、その結果を回帰して以下の式を得、角材料密度ごとの隙間特性値Qo、ｎを得た。

$$Q = Qo \quad \Delta P^{1/n} \qquad (2)$$

さらに、その結果から材料密度を示す単位面積当たりの重量ｗと隙間特性値Qoの関係を得た（図４）。

以下にその関係式を示す。

$Qo=-12.1w+126.9$　　(3)

ここで、本実測住宅の暖房システムが稼動する日中は、最大で600m³/hの外気が暖められて室内へ流入するため、家屋や「息をする壁体」の開口は排気口の役割となる。そこで、換気設計では、冬季、暖房システムが稼動しない夜間に対象室において換気回数0.5回/h得られることを目標とした。また、換気計算は、対象室を独立室として仮定し、建物の隙間特性を用いた簡易計算法[5]を用いた。(3)式を用いて、目標換気量を満たす壁体密度は6.5kg/m²であった。その他の設定条件は表2に示す。

### 3－2　壁体の製作

(1) 炭化ワラ材料の製作

本実測では実用規模の壁体を製作するため、約2m³の材料の炭化が可能なステンレス製炭化装置を用いて稲ワラを炭化した。本来、本壁体に用いる炭化材料は均質であることが望まれるが、本炭化においては炭化室外周の断熱が十分でないため、外壁近傍の温度は100℃前後と炭化に達していなかった。この時、内部の温度差は最大で400℃であった。そのため、今回は炭化が認められた200～300℃付近の材料によって壁体を製作した。

(2) 試験壁体の概要

上記の炭化ワラ材料を用いて、高さ2066mmの木製パネルに収められた試験壁体を東面1体（幅850mm)、南面2体（幅878、872mm）を作製した。木製パネルは30mm厚の板で5つに仕切られており（図17)、各段に図18に示すようにTYPE2とみなせるよう炭化ワラ材料を高さ方向に縦に並べた。また、材料と木枠の境界のみコーキング材にて接着した。さらに、試験壁体の表面仕上げは、透気抵抗とならず、炭化材料を適度な強度で押さえられるものとして軽量のメタルラスとした。壁体の構成上歩留まりが悪く、格段の平均材料密度は6.2kg/m²となった。さらに、「息をする壁体」の壁全体の収まりは、屋外・室内側共に開放形となるよう、室内側は図17に示す横ルーバーで構成された仕上げ材とし、屋外側は縦波のスレートで構成された通気壁構造とした。図19に対象室内から見た壁体の外観を示す。

### 3－3　測定の概要

(1) 測定項目およびセンサー設置位置

図20は、試験壁体東面の各センサー設置位置であり、試験壁体表面の高さ方向（上・中・下）の温度分布を測定する。また、図20 (b) に示すように、各高さの中央点では断面方向に炭化ワラの固体部分の温度および透気経路における温湿度を測定する。なお、南面についてもほぼ同様の測定位置である。さらに、図21に、対象室近傍の屋外気温・相対湿度および屋外気象の設置位置を示す。また、本住宅の外気導入式の暖房システムの作動状況を把握するため、屋根裏の立ち下がりダクト内空気温度を測定する。

(2) 実測期間中の暖房システムの稼動状況

冬季実測中、前述のように日射が得られる日中は、屋根面の集熱パネルにより暖めた外気を床下から室内に導入する暖房システムが稼動し、夜間は外気導入はせず、日中床下コンクリートに熱が蓄えられるため、その蓄熱コンクリートからの自然放熱による床暖房を使用していた。また、集熱が十分に行われない曇天時・雨天時は、日中および夜間に加熱コイルで暖めた外気を前述と同様にして室内へ送り込む補助暖房システムが稼動していた。

### 3－4　冬季における壁体内の湿度特性

図22に冬季における南面壁体の内部相対湿度のうち、最も高湿の傾向が見られた屋外側の空気温度と相対湿度の経時変化を示す。壁体内上部の相対湿度は室内のそれに追随している。これは、壁体内の温度、絶対湿度が室内に追随しているためで、自然換気や暖房システムの作動により常に空気が室内側から屋外側へ流れていることに起因している。一方、壁体下部の相対湿度は上部に比べて日変動幅が大きいが、これは暖房システム未使用時に温度差換気によって屋外から室内側への透気方向だったものが、暖房システムの作動によりその方向が逆となり、内部温度が大きく変化したことに起因している。さらにこの間、2月19日、24日は降雨により、両日とも相対湿度80％以上の状況が次の日にかけて19時間ほど続いていた。しかしそれ以外では、壁体内部の相対湿度は80％以下に押さえられていた。

### 3－5　まとめ

冬季の屋外実測によって、本壁体を外気導入式暖房システムと組み合わせて使用した場合、温度差換気によって通常は屋外の空気が流入する部位にあたる壁体下部では、上部とは異なり熱・湿気の複雑な移動現象が見られることが明らかとなった。また、最も変動のみられた壁体上部内部の相対湿度変化は日変化レベルで生じており、雨天を除けば最も高くても80％であった。しかしながら、屋外環境が高湿となる梅雨から夏季にかけての湿気特性について引き続き観測を続ける必要がある。

## ⑤これから期待される成果

これまでの成果を踏まえ、炭化ワラ材料の吸放湿特性を明らかにし、実験と計算手段を用いて「息をする壁体」の吸放湿材としての可能性を検討する。これにより、壁体内部が高湿とならず、屋外の高い湿気が室内に流入しないような壁体の利用方法を検討し、換気性能および熱的性能の検討結果と合わせて、実用化に向けた炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」のプロトタイプを完成させる。

## ⑥問題点と対策

実用化を視野に入れた場合、本実測ではある限られた量の炭化材料の製作であったが、均質な材料を大量に得るための炭化手法や炭化ワラ材料の壁体化は実用化に向けた今後の課題といえる。また、このような部材を利用できるような社会システムの構築も環境共生部材を提案する上で無視できない問題であり、社会工学的なアプローチによる検討も行わなければならないと考える。

## 引用文献


1）梅干野晁、田中稲子、菅原正則：生活環境における緑の管理と植物系炭化材料利用に関する実践的研究　その１、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1019-1020、1997

2）田中稲子、梅干野晁、菅原正則：生活環境における緑の管理と植物系炭化材料利用に関する実践的研究　その２　炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1021-1022、1997

3）菅原、梅干野ほか：パッシブ換気機能を有する建築壁体の提案　その２、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp. 5-8、1995

4）住宅新基準解説書編集委員会：住宅の新省エネルギー基準と指針、財団法人住宅・建築省エネルギー機構、1992．6

5）石田健一ほか：建物の気密性を用いた換気量の簡易計算法、日本建築学会計画系論文集、pp. 23-31、1992．8

6）日本建築学会編：建築資料集成１　環境、丸善、p156-4


## ⑦研究発表の実績

### (1) 既発表論文


1）Akira Hoyano, Ineko Tanaka and Masanori Sugawara, Proposal Of An Environmental-Conscious Architectural Member Incorporationg Charcoalized Straw As A Main Constituent, ISES 1997 solare world congress, proceedings, Vol. 4, pp. 19-24, Taejon, KOREA, 1997. 8

2）田中稲子、梅干野晁、奥村昭雄：炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」の部材構造に関する基礎的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1035-1036、1998．9

3）長沢佳央、田中稲子、梅干野晁、湯浅和博、奥村昭雄：炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」の透気量が湿気特性に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 1037-1038、1998．9

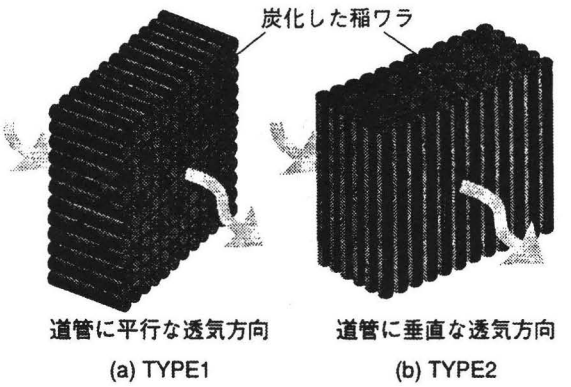
（2）発表予定論文（投稿済み）

1）田中稲子、梅干野晃、奥村昭雄：炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」の部材構造に関する基礎的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999．9

2）長沢佳央、田中稲子、梅干野晃、湯浅和博、奥村昭雄：炭化ワラ材料を用いた「息をする壁体」の透気量が湿気特性に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、1999．9

## ⑧実用化計画

「息をする壁体」のプロトタイプの完成後、施工性まで考慮した壁体内部構造およびその製作方法を検討する。また、そのための大型炭化装置の選定やその性能評価を行う。さらに、実測では便宜上設定した外壁および内壁の仕上げ材であるが、「息をする壁体」の透気性能を損なうことのない仕上げ材料を検討し設定する、また、容易に壁体の設定値が得られるような換気設計用チャートを作成し、実用性の高いものとしていく。

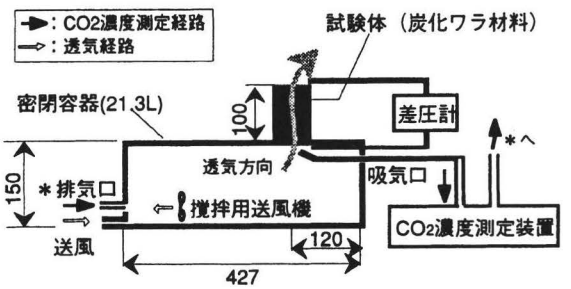



■図1　炭火ワラ材料を用いた部材構造

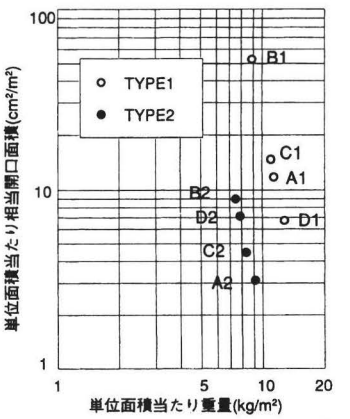
表1　TYPE2 試験体仕様

| 試験体 | | A2 | B2 | C2 | D2 |
|---|---|---|---|---|---|
| 重量 | (g) | 22.1 | 17.0 | 19.8 | 18.6 |
| 厚さ | (mm) | 100 | 100 | 100 | 99 |
| 断面サイズ(mm) | | 48×50 | 47×48 | 48×49 | 48×50 |
| 単位面積当たり重量 | (kg/m²) | 9.5 | 7.5 | 8.4 | 7.8 |

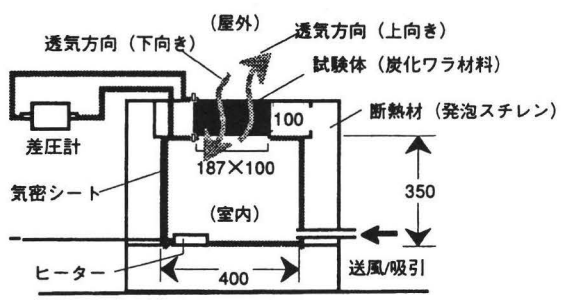
■表1　TYPE試験体仕様



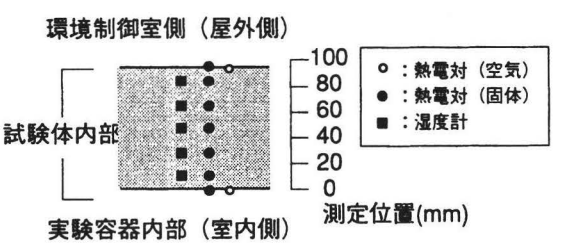

■図2　透気実験装置模式図



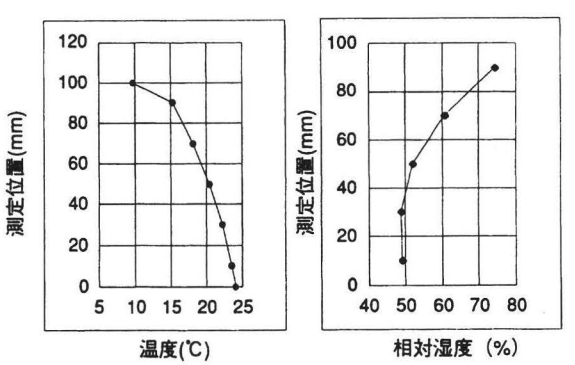

■図3　単位面積当たり重量と単位面積当たり相当開口面積の関係



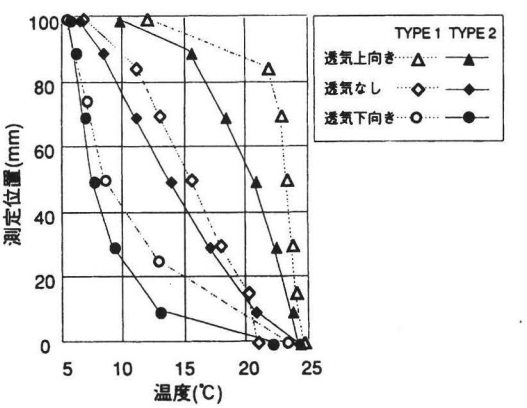

■図4　実験装置模式図



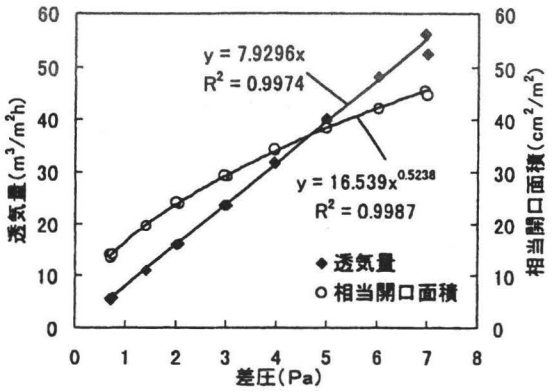

■図5　温度及び相対湿度測定位置



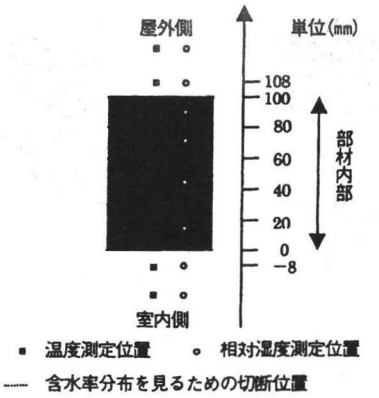

■図6　透気上向き時の試験体内部温度及び相対湿度分布



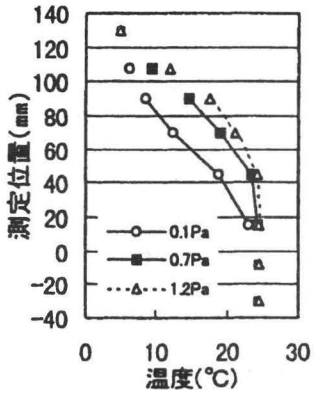

■図7　試験体内部温度分布の比較



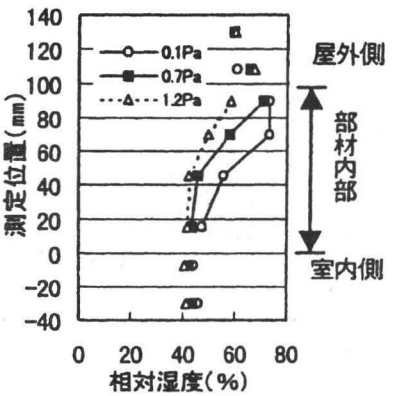

■図8　TYPE1における差圧と透気量・相当開口面積の関係



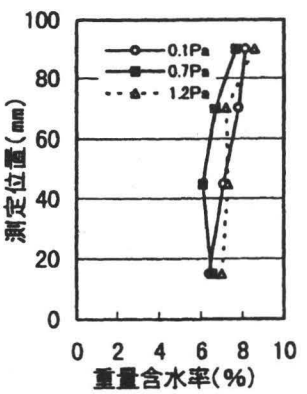

■図9　含水率および温湿度測定位置



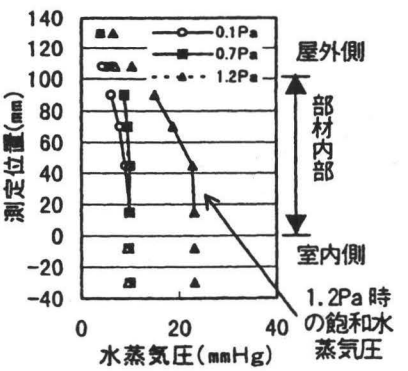

■図10　温度分布



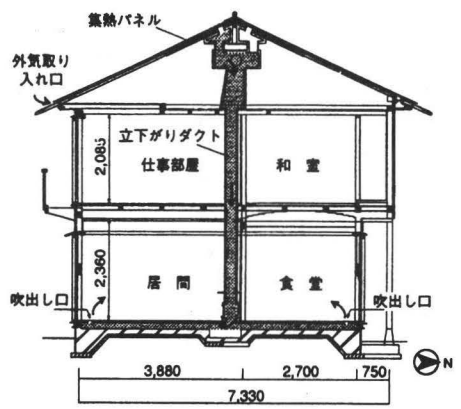

■図11　相対湿度分布



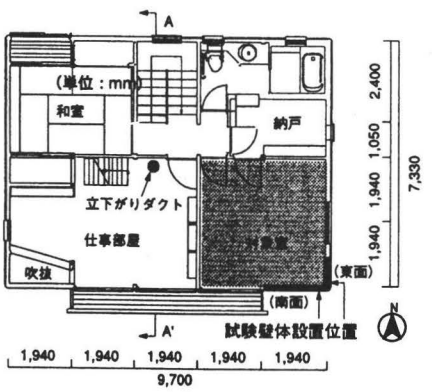

■図12　重量含水率分布




■図13　水蒸気圧分布と1.2pa時の飽和水蒸気圧分布




■図14　実測対象住宅のA-A'断面図

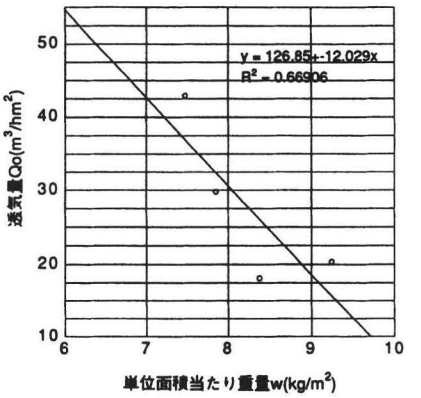



■図15　2階平面図

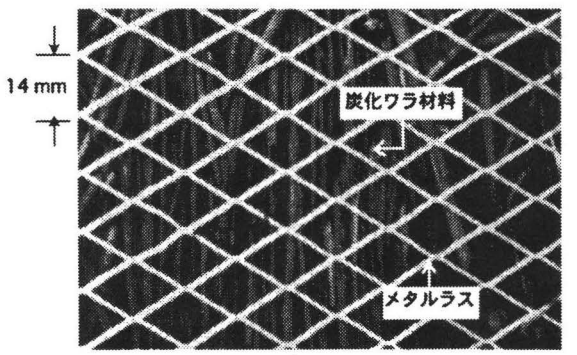
## 表2　換気設計時の設定条件

| | |
|---|---|
| 室内気温 | 20℃一定 |
| 屋外気温 | 3.6℃（東京の標準気象データ冬季夜間平均値） |
| 外部風速 | 3.5m/s（東京の標準気象データ冬季夜間風速平均値） |
| 風圧係数 | 風上 0.19，　風下 -0.04[6] |
| 隙間の特性値 | Qo，n（実験式から得る） |
| 「息をする壁体」以外の対象室の床面積当たりの隙間面積 | $2cm^2/m^2$ |

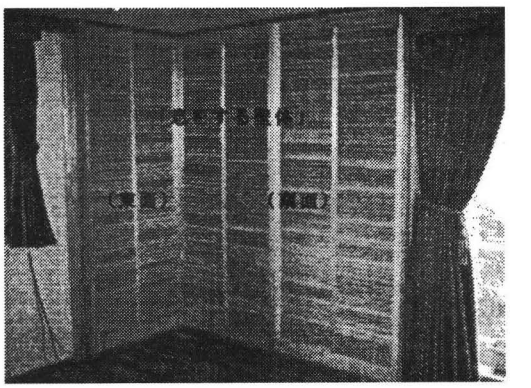
■表2　換気設計時の設定条件



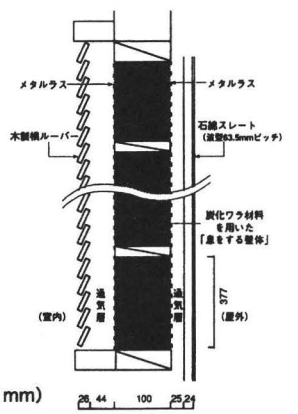

■図16　TYPE2の単位面積当たりの重量と$Q_0$の関係



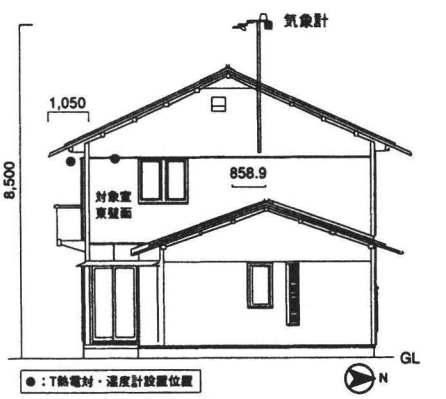

■図18「息をする壁体」表面の様子



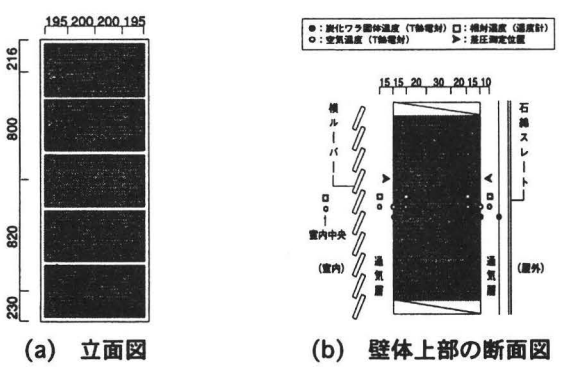
■図19　対象室南東面に設置した試験壁体



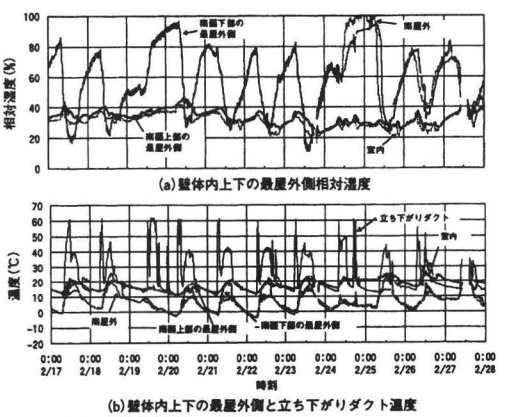

■図17　試験壁体断面詳細図




■図21　気象計及び屋外温湿度設置位置




■図20　東面壁体センサー設置位置




■図22　南面壁体内部の温湿度の経時変化

# 1－5　快適な居住空間を創造する（漆喰＋天然ゼオライト）ボードの研究開発

日本大学　理工学部　交通土木工学科
教　授　三　浦　裕　二

## はじめに

身近な住まいの環境が人に病をもたらすシックハウス症候群といわれる言葉が最近良く聞かれる。新建材に含まれる溶剤が室内に蒸発することと、室内に結露することによるカビ、ダニの発生が主原因といわれているが、単純にそれらだけとは言えない。広く近年の社会の変化にまで目を広げる必要がある。

その第一は、高性能な住宅の普及である。元来日本の住宅は通風換気を旨とし、広間を主体とした構造で気密・断熱とは無縁であったが、最近は暖冷房の普及、省エネルギーの立場から全く正反対の小区画で、高気密・高断熱が主流となったことである。第二は、木材、粘土類、漆喰等自然素材の現場加工を排除し、短工期化・合理化・省力化のため建材を工業製品化してきたことであり。この工業化が完成後、室内へ蒸発散する接着剤等の化学製品の多用に繋がったことである。

社会の変化による住宅の構造の変化と建材の工業化がシックハウス症候群の原因の底流にあるとすれば、単純に昔日の工法、建材に回帰できないことはいうまでもない。合理化と経済化はすでに伝統工法を疲弊させ熟練工を不要にしつつ、健康のみならず、数百年におよぶ技術の危機も及んでいる。早急に新しい概念の建材の開発が求められている。

当所、漆喰とゼオライトの複合ボードの研究に着手する予定であったが、研究過程で凝結硬化に要する時間的な制約のため、石膏とゼオライトのボード化に変更した。

## 1　本研究の目的と研究フロー

本研究は、多孔質構造をもち、吸湿・放湿特性、吸臭特性等、優れた性能を持つ天然ゼオライトに着目し、紙と石膏を主原料とし広く普及している石膏ボードと複合させて、有機溶剤等を用いない新しい建材“石膏ゼオライトボード”を開発することを目的としている。

天然ゼオライトは、国内に豊富な天然鉱物であり、安定的な供給が見込める。そして、天然ゼオライトを原料とした石膏ゼオライトボードは自然材料を原料としているため廃棄物となっても自然に帰る環境に優しい無公害の建材である。

低コストで付加価値の高いボードであるが、工業化にあたっては、伝統技術の復権をも視野に入れ、パネル化を検討する。

次頁に本研究の研究フローを示す。

## 2　石膏ゼオライトボードの材料

### 2－1　焼石膏[1)]

石膏を結晶水の有無によって分類すると、二水石膏（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）、半水石膏（$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$、焼石膏とも呼ぶ）および無水石膏（$CaSO_4$）の３種類がある。二水石膏には、天然に産出するもの（天然石膏）と、主に各種化学工場からの副産物として製造されるもの（化学石膏）に２大別される。わが国では、前者の産出量が極めて少ないので、後者が各種建築材料の原料に利用される。二水石膏を120～130℃で乾式加熱してβ型半水石膏、また、二水石膏をオートクレーブ中にて、120～160℃で湿式加熱してα型半水石膏（硬質石膏）を製造する。このように二水石膏を加熱し半水石膏（焼石膏）とした上で建材、型材等の材料に利用する。

### 2－2　天然ゼオライト[2)]

ゼオライトは、アルミノ珪酸塩で結晶構造の特徴から、数Åの細孔をもつ多孔質材料であり、成因によって、合成ゼオライトと天然ゼオライトに分類されている、日本における天然ゼオライトは、全て凝灰石などの中の火山灰（火山ガラス）が、地下で荷重や熱水作用で変成したものであり、その主なるものはクリノプチルライト{ $(Na_2K_2Ca)\ [Al_2Si_7O_{18}]\ 6H_2O$}、モルデナイト {$(Ca,\ k_2,\ Na_2)\ [AlSi_5O_{12}]_2 \cdot 7H_2O$）}である。特に関東から北海道に続くグリーンタフ地域には大量に埋蔵されており、西会津、板谷、二ツ井などが産地として有名である。

天然ゼオライトの性質としては、微細な多孔質構造により、水分、各種ガスの吸着力が強く、特にアンモニアガスの吸着力は活性炭を上回ることが確認されている。また多くの陰荷電を帯びていることより、陽イオン交換性（塩基置換性能）を持つ。

ここで、天然ゼオライトの性質と用途を表２－１に示す。

本研究で使用する天然ゼオライトはクリノプチルライトを主成分とするゼオライトを粉砕した粉体であり、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウムなどの種々のミネラル類を含んだアルミナ珪酸塩鉱物である。塩基置換能の大きさを表す塩基置換容量（C.E.C）は、通常、黒ボク土で30meq/100g前後であるが当ゼオライトは150meq/100gである。化学成分を表２－２、アンモニアガス吸着能曲線を図２－１に示す。

### 2－3　ボード原紙[3)]

石膏ボードに用いられている被覆用の繊維材料は今日ではほとんどがマル網式抄紙機によってつくられた３～８層の繊維層からなる紙である。我が国では、各種のボロ古紙を主体とした４層紙が用いられている。壁用ボードの原紙の表層にはサイズ剤および染料が添加されており、表面の３層は吸水性をよくするために新聞紙などの古紙（約70%）とボロクズ（約30%）、ときには補強のためクラフト紙を配合した原料から製紙されている。

ボード用原紙として特に留意される性質は、石膏との接着性、強度および湿潤と乾燥に伴う波打ち性

の有無である。これらに影響する抄紙条件としては、抄紙の際の水のpH、原料繊維剤の種類と配合割合および密度、ローラーによる圧縮度、紙の部分厚み（繊維層密度）誤差と平坦度などがあげられ、原紙として石膏との接着性にはその構成繊維の湿潤時の電荷が重要な影響を与えることが想定される。

一般には、石膏ボードとボード原紙の接着性を高めるために混和剤の中には接着剤が含まれている。

本研究で使用するボード原紙は表紙と裏紙があり、試作上、裏紙は流し込み時に圧着し、表紙はスプレー式合成ゴム系接着剤を使用してボードと一体化させた。

## 3　各種試験データ

### 3－1　予備試験

水、ゼオライト、石膏の配合率を決定するために予備実験を行った。ゼオライトと石膏の配合率によりボードの強度は変わる。ゼオライトの特性を生かすためにゼオライトの配合比を上げると強度が下がる。また、水量により作業性が大きく変わる。多すぎると強度は下がり、クラックが入るが、逆に少なすぎると流動性が悪く、空隙が生じる。配合を決定するもう1つの要素は、既存の石膏ボードの強化である。ゼオライトの混入による強度の低下、作業性を考慮し、配合条件を表3－1に決定した。以下に予備試験の内容を示す。型枠の代わりにカットした塩ビ管を平らなバットに乗せ、グリスで接着させたものを使用した。

①ゼオライトと石膏の配合を、ゼオライト1に対して石膏0.1～1.0で行った。

②ゼオライトと石膏の合計量に対する水量を35～75%で行った。

③一軸圧縮試験を行った。

予備試験の結果、①においては、石膏量がゼオライトに対して0.2以下の場合、表面にクラックが入り易くなり、非常にもろい。作業性からは石膏量は最低でも0.3以上は必要である。②においては、水量が50%以下の場合空隙が生じ易く、60%以下の場合流しづらいことから、65～75%が適当な水量だと思われる。③においては、配合と一軸圧縮強度の大まかな関係を把握した。

### 3－2　ボードの作製

(1) 作製方法

表3－1に示すような配合比の天然ゼオライトと焼石膏の質量を0.01gまで量り、ミキサー（写真3－1）で30秒ほど撹拌させ、続いて所定量の蒸留水を加えさらに2～3分ほど撹拌させる。次にそれをすばやく型枠に流し込む（写真3－2）。型枠にはあらかじめボード原紙の裏紙を敷いておく。均一に流し込んだ後、角材でスラリー表面を均し（写真3－3）その後すばやく表紙を張る。そして乾いた布で表面を押さえてボードと原紙をよく接着させる。その後、40±2℃に調整した乾燥器中で2～3日間恒量となるまで乾燥させる。ただし、ボードが脱型可能な時点で脱型させ再び乾燥器に入れる。

ボードが完全に乾燥すると表紙のみはがれてしまうことが多いので、その際2でふれた接着剤を使用した。

ここに、供試体用型枠の寸法を以下に示す。

(1) 300×400×9 (mm)

(2) 300×400×12 (mm)

ここに、Z：ゼオライト

G：焼石膏

W：（Z＋G）に対する水量（%）

厚さ：型枠の厚さ（mm）

### 3－3　各種試験データ[4)]

本章では、ボードの比重、曲げ、吸湿および放湿の特性、分光反射率の試験を行う。力学的性質と化学的性質を確認し、一般的な石膏ボードと比較するデータとすることを試験目的とする。

#### 3－3－1　比重試験

(1) 試験方法

比重試験は、乾燥状態のボードで行う。はじめにボード寸法の測定を行う。厚さはボードの端部から20mm以上内側をノギスで3点測り、その平均値aを求める。長さ及び幅は、ボードを平らな台に置き、幅b、長さc、各々中央1カ所を直尺を用いて測定する。ボードの質量mはボード乾燥後、0.0lgまで量る。比重は式（3－1）より求める。

$$比重=m/(a\times b\times c) \quad \cdots\cdots(3-1)$$

(2) 試験結果

比重試験結果を表3－2、図3－1～図3－3に示す。

#### 3－3－2　曲げ試験

(1) 試験方法

曲げ試験は、ボードを乾燥させた後行う。スパンは350mmとし、集中荷重をスパン中央の全幅に加える（写真3－4）。試験機は一軸圧縮試験機に円筒のアルミパイプを取り付けた機械を使用した。平均荷重速度は、250N（25.5kgf）/分±20%とする。

同じ配合内で著しく曲げ破壊荷重の値がばらついた場合、その配合において、再度ボード作製を行う。

(2) 試験結果

曲げ試験結果を表3－3、厚さと曲げ破壊荷重の関係を図3－4～図3－5、水量と曲げ破壊荷重

の関係を図３－６～図３－７、比重と曲げ破壊荷重の関係を図３－８～図３－11に示す。

### ３－３－３　吸湿特性試験

(1) 試験方法

①作製したボードから３cm角の直方体を切り出す。ボード原紙をはがし、約60℃に調節した乾燥機中で恒量となるまで乾燥させる。恒量となった時の質量（絶乾質量）を、0.1mgまで秤量できる天秤で量る。

②表３－４に示すような５種類の塩類で５種類の飽和水溶液を作り、各々を、５個のデシケータに入れる。湿度は表３－４に示す値となる。ただし、室内とデシケータ内の温度は20℃とする。

③切り出した絶乾状態の試料（12種類の各２枚、計24枚）を各デシケータに入れ、ある時間による質量と恒量となるまで測定する。

含湿率を式（３－２）により求める。

$$含湿率＝（m_1－m_0）/m_0×100（\%）\quad\cdots\cdots(3-2)$$

ここに、$m_1$：測定値（g）

$m_0$：絶乾質量（g）

表３－５に各デシケータに入れる試料番号を示す。

(2) 試験結果

吸湿特性試験結果を表３－６、相対湿度と含湿率の配合別の関係を図３－12～図３－18に示す。これらはすべて同配合の２枚の試料の平均値である。（デシケータ１の試料２は試験中に破損したためデータから外した。）

### ３－３－４　放湿特性試験

(1) 試験方法

放湿特性試験は、吸湿特性試験において、恒量となった試料を使用する。ここでは、表３－４における段階５（相対湿度、93.0％）のデシケータ内で恒量となった試料を、段階１（相対湿度、12.6％）のデシケータに移し、放湿状況を測定する。ここで、放湿率は飽和質量を基準にした含湿量の時間変化を基に表示する。

放湿率を式（３－３）より求める。

$$放湿率＝（m_0－m）/m×100（\%）\quad\cdots\cdots(3-3)$$

ここに、$m_0$：飽和質量

$m$：測定値

(2) 試験結果

経過時間と放湿率の関係を図３－19～図３－25に示す。

### 3－3－5　分光反射率試験

(1) 試験方法

本試験においては、測定器が大学の実験室に無かったため、島津製作所の方々の協力を得て実験を行った。

測定には、分光光度計を使用しゼオライトと石膏の比＝1：0.5、1：0.7、1：1の試験片の分光反射率を可視光（380～780mm）の範囲で測定した。

(2) 試験結果

図3－26に分光反射率を示す。

物体の分光反射率とその色との間には深い関係がある。[7] 可視光線の400～500nmの部分に吸収の谷がありその他の部分では反射率が大きい値をとる時、この物体は黄色に見える。本試験の結果は、400～500nmの部分はなだらかに落ちており、その差もさほど大きくないのでベージュやクリーム色に近い色である。

白色板と3種類の試料の反射率を比較すると、明らかに白色板の方が高い。反射率の高い白色よりもう少し反射率の低いベージュやクリーム色の方がやわらかさがあり、目にも優しい。

また人間の眼球（水晶体）の分光透過率は、[8] 紫外線部（短波長側）では低くなっており、年齢を重ねるほどその傾向は強くなる。つまり、黄色く見えやすくなる。この特性は、短波長光による眼内散乱や色収差の影響を少なくするのに役立っていると共に、紫外線の悪影響を網膜部まで及ばせない効果もある。

このような特性が本試験結果でも得られたわけである。ゼオライトを混入させたことにより黄色味が出て、紫外線部が明らかに吸収されたわけである。

配合別に見ると、ゼオライト混入率が高いほど反射率は下がり、色に落ち着きをみせている。

## 3－4　性能の比較検討

### 3－4－1　比重と曲げ破壊荷重

(1) 石膏ボードとの比較

JIS A 6901で規定された石膏ボード（GB—R）の性能を表3－7に、本研究での石膏ゼオライトボードの性能を表3－8に示す。

比重においてはJIS規定内の値であり、曲げ破壊荷重においては、天然ゼオライトと石膏との配合比が1：1の場合は石膏ボードと同程度であった。

(2) 外部データとの比較

石膏ボードメーカーによる天然ゼオライトと石膏を複合させたボードの試作品の試験データと比較する。

試作品のボードの性能を表3－9に示す。

石膏ボードメーカーによる試作品のボードは、本研究で作製した石膏ゼオライトボードより石膏の

含有率が高い。ゼオライト１に対して本研究では１以下の焼石膏を配合したのに対し、試作品では１以上を配合している。ゼオライトと石膏の配合比が１：１の時を比較すると、試作品が上回っている。品質管理によりボードの強度はある程度確保できるものと考えられる。

### ３－４－２　吸湿特性[6)]

図３－27に石膏ボードと本研究で作製した石膏ゼオライトボードの吸湿性能を示す。

石膏ゼオライトボードは、石膏ボードより明らかに吸湿性が高いことがいえる。

### ３－５　試験結果一覧

試験結果を表３－10に示す。

## 4　実用化の検討（ボード化・パネル化）

以上の結果、石膏ゼオライトボードは建材として利用が可能と思われる。さらに、

①900×1800程度の板での変型、たわみ性

②釘、ビス、タッカー等の抜き打ち、引き抜き強度

等の調査が必要であるが、ここでは壁、天井の下地材としてのボード、および、仕上げ材として簡便に施工のできる内装パネルを検討する。

### ４－１　ボード

#### ４－１－１　寸法・仕様

(1) 寸法

広く普及させるためにも、既存の石膏ボードと同様のサイズ（表４－１）が望ましい。また、天井材としては、600×900、900×900程度の扱いやすいサイズにすることも望ましい。

(2) 端部

端部の形状は石膏ボード同様、①端部にテーパを付け、目地処理をしたシームレス仕上げ、②目透かし、③突き付けの３種類が考えられ、２種類用意することが望ましい。

(3) 不燃性

既存の石膏ボードと同等の性能が得られるものと考えられ、不燃、準不燃材としての認定を取得することも可能性がある。

### 4－1－2　施工

釘打ち（スクリュウ釘）、タッカー、GL工法（接着剤）が可能と考えられ、石膏ボード同様、壁、天井の下地材として木造、LGS（軽量鉄骨）、コンクリート造に対応できる。

ボードの性能を生かすには、その性能を阻害しない通気性のある素材で仕上げをすることが重要で、伝統的な漆喰、プラスター等の左官仕上げは適している。現在、一般に流通している仕上材としては以下のようなものがある。

・塗料塗り　　（アクリルエマルジョン系塗料）
・仕上げ材塗り（アクリルエマルジョン系吹付け材）
・壁紙貼り　　（非塩ビ・アクリル系壁紙）

(1) シームレス仕上げ（下地材として）

一般的には、目地処理をしてシームレスに仕上げる。

(2) ジョイナー仕上げ（仕上げ材として）

また、化粧ボード（孔空け、エンボス処理等で曝気面積を広げる）とする時には、取り付け金物を隠すための部材（ジョイナー）が必要となる。このジョイナーに、棚受け機能等付加価値を高める方法を検討することも重要である。

### 4－2　パネル化

パネル化にあたっては、ボードの吸放湿性、消臭機能に加え、断熱、遮音等の付加価値を加えることと、施工性の良さとともにデザイン性を考慮する。

### 4－2－1　パネルの仕様・寸法

(1) 基材

付加価値を高めること、重量、経済性等を考慮すると、基材には、硬質グラスウール、ロックウール、木毛セメント板等が考えられ、用途に適した基材の選択ができるようにする。基材を芯に、ボード（有孔ボードも暴気面積を広げるには有効）を両面に貼り、仕上げをする。

(2) 仕上げ

一般的な仕上げは前述の３種類（塗料、仕上げ材塗り、壁紙）であるが、漆喰、プラスター等のエンボス処理（表面を凹凸に）等により、ボードの性能を高めることも望ましい。衰退しつつある左官技術を工場生産の中で活かすことも十分可能である。用途に合わせ、基材、およびボードの特性との適正な組み合わせが選択できるようにバリエーションが必要となる。

(3) フレーム

パネルの強度、保護という観点から、小口を処理するフレームが必要である。加工性、重量、経済性等から、アルミかスチールが適しており、上下２方、竪２方、四方枠等が考えられる。

(4) 寸法

用途、運搬、施工面から、ボードの寸法を基本とし、重量が40～50kg／枚程度になるように基材、ボードの厚さ、強度を調整する。

### ４－２－２　パネルシステム

(1) タイプ

ここでは、工場生産のパネルを現場で組み立てる簡便な施工法を検討する。(現実には、工場の種別（新築、増改築、改装)、工事場所、期間等の条件により、工場での作業量と現場での作業量に適したいくつかのバリエーションがあると思われる）現場での組み立て作業という観点から、下記の２通りに分け、ケース毎に、パネルの仕様、寸法、ジョイントを検討する。いずれのケースもジョイントが重要となる。

- 自立型 …… 軽鉄等の下地が不要
  - スタッド式
  - 否スタッド式
  - 据置式
- 否自立型 …… 既存の躯体に依存させる

(2) パネルの固定

床、天井（上部躯体）はタイプによりいくつかの方法が考えられるが、躯体とのクリアランスを確保することが重要である。

(3) ジョイント

自立型、否自立型いずれの場合も、デザイン上はジョイントが最も重要なポイントとなる。ジョイントを目立たせない方向（目透かし、シール目地）と、無くすことのできないジョイントを配管、配線スペース、棚受け等に積極的に活かし、付加価値を付ける方向がある。

素材、形状、また、スタッド式、否スタッド式等タイプによっても多くの方法が考えられる。以下にいくつかの参考例を図示する。

### 4－3　今後に向けて

健康に考慮し、かつ、土に返る、環境に優しい素材の開発研究は今後さらに発展し、また社会的ニーズも高まると考えられる。実際、類似の製品も市場に出回りはじめている。

本研究により、石膏ゼオライトボードは

第一に、建材としての必要な強度等の基本的な性能は、吸湿・放湿性能についても確認できた。安価で、石膏ボードより付加価値の高い建材として実用化可能である。

第二に、用途として

1．消臭機能を活かして、病室・トイレ等の壁・天井材

2．吸湿・放湿性能を活かして、収蔵庫・住宅の居住材

が考えられる。

第三に、ビルディングエレメントとして組み込むことが可能である。

これらのことより、工業化によって安定的に供給されればさらに基本的な建材となる可能性がある。今後は建材メーカーと連携して、さらに実用化に向けての調査研究を継続したい。また、天然ゼオライトが健康にも環境にも優しい安全な建材であることが周知され、一般化されることによって、しっとりとした柔らかな質感の漆喰壁等の原料に加えられ、伝統的な工法の復活に寄与することができれば幸いである。

本研究調査の問題点、また、今後の検討事項を表4－4に示す。

## 参考文献


1）建築材料学、理工図書、pp 156-157

2）木村啓一・田中宏一：ゼオライトを用いた吸放湿版、pp 106-111

3）中原万次郎・村上恵一：セメント・石膏・石灰、p 156

4）JIS A 6901

5）チヨダウーテ報告書

6）上村武・小原二郎・所荘吉：壁装と調湿、彰国社、p 136

7）江森康文・大山正・深尾謹之介：色　その科学と文化、朝倉書店、pp 61-65

8）応用物理学会・光学懇話会：色の性質と技術、朝倉書店、pp 2-3


## おわりに


このような研究を行う機会を与えて下さった、財団法人トステム建材産業振興財団に感謝いたします。

下記の方々の協力を得て、本研究を無事終了させることが出来ました。ありがとうございました。

都市環境研究会（花田）

マナベ建築設計事務所（真鍋、杉浦、和田、黒沢）

奥多摩工業（万波）

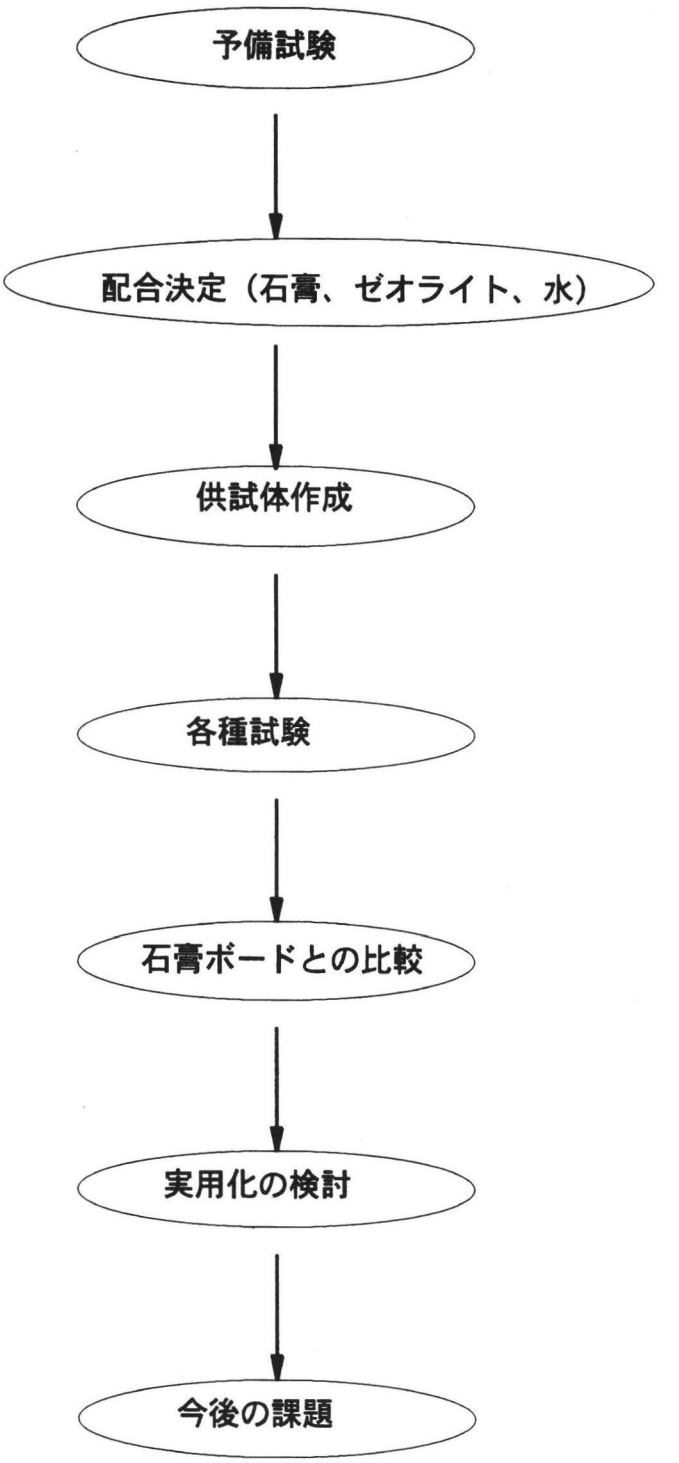
チヨダウーテ（藤崎）

**研究発表の実績**

日本大学理工学部（交通土木工学科）　平成10年度卒業研究発表会にて一部発表

日本大学理工学部（三浦裕二　荒井和夫　中津香波）

## 研究フロー



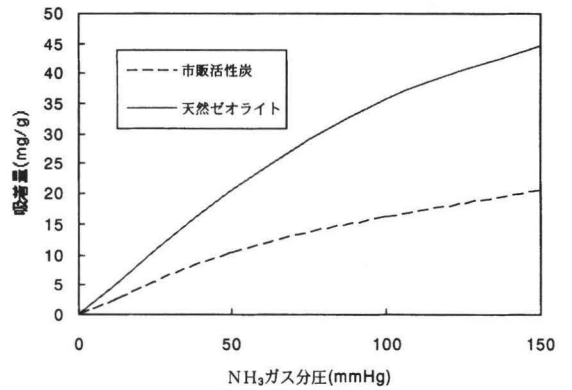

■研究フロー

| 性質 | 用途 |
|---|---|
| 吸湿性 | 乾燥剤、粒状肥料のコーティング |
| 吸着性 | 脱臭剤、水質浄化剤、硬水の軟水化、軽量発泡剤、肥料の流失防止 |
| 塩基置換性能 | 土壌改良剤、家畜飼料添加剤、イオン交換剤および触媒 |

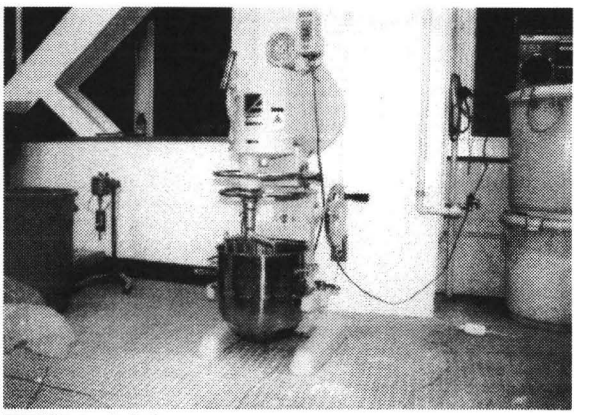
■表2-1　天然ゼオライトの性質と用途

| 化学成分 | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | CaO | MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $Fe_2O_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 含有率（%） | 68.6 | 12.6 | 1.3 | 0.7 | 2.1 | 2.9 | 0.8 |

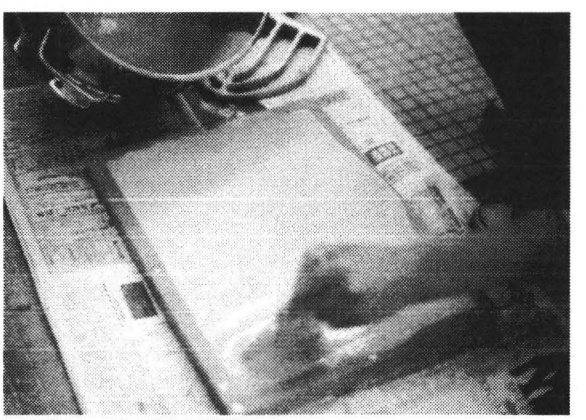
■表2-2　化学成分



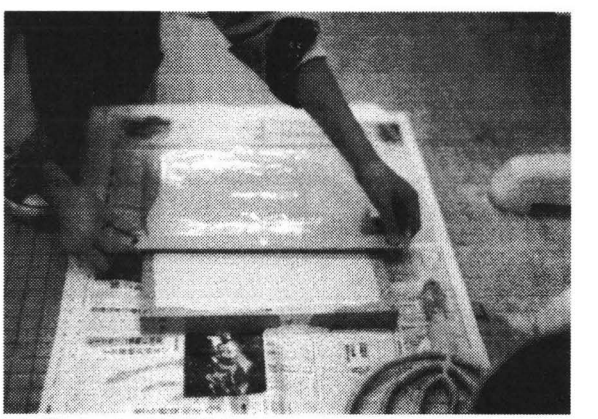

■図2-1　アンモニアガス吸着曲線（20℃）



■写真3-1　ミキサー



■写真3-2　ボードの作製①



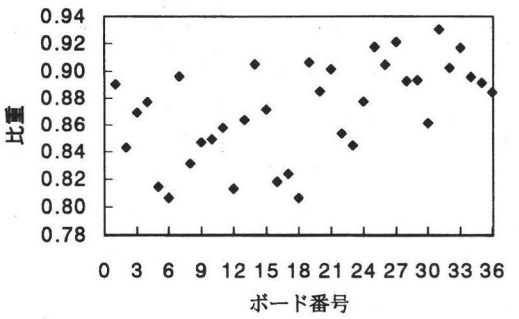
■写真3-3　ボードの作製②

| ボード番号 | W(%) | 厚さ(mm) | Z：G |
|---|---|---|---|
| 1、2、3 | 70 | 9 | 1:0.5 |
| 4、5、6 | 75 | | |
| 7、8、9 | 70 | 12 | |
| 10、11、12 | 75 | | |
| 13、14、15 | 70 | 9 | 1:0.7 |
| 16、17、18 | 75 | | |
| 19、20、21 | 70 | 12 | |
| 22、23、24 | 75 | | |
| 25、26、27 | 70 | 9 | 1:1 |
| 28、29、30 | 75 | | |
| 31、32、33 | 70 | 12 | |
| 34、35、36 | 75 | | |

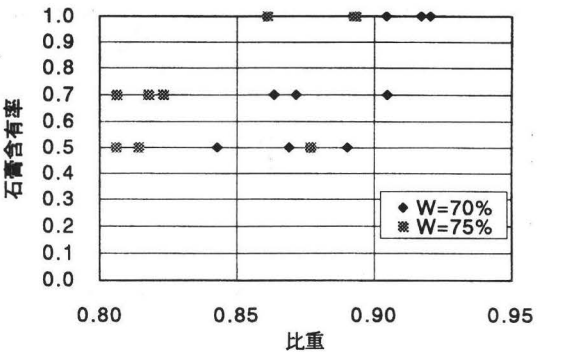
■表3-1　配合表

| ボード番号 | 平均厚みa(cm) | 幅b(cm) | 長さc(cm) | 質量m(g) | 比重 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.01 | 29.86 | 39.83 | 1069.59 | 0.89 |
| 2 | 1.01 | 29.84 | 39.90 | 1013.69 | 0.84 |
| 3 | 1.03 | 29.88 | 39.89 | 1067.01 | 0.87 |
| 4 | 1.06 | 29.84 | 39.88 | 1106.25 | 0.88 |
| 5 | 1.09 | 29.88 | 39.86 | 1057.20 | 0.81 |
| 6 | 1.09 | 29.91 | 39.93 | 1049.48 | 0.81 |
| 7 | 1.30 | 29.79 | 39.89 | 1383.75 | 0.90 |
| 8 | 1.39 | 29.89 | 39.83 | 1375.10 | 0.83 |
| 9 | 1.33 | 29.89 | 39.89 | 1343.10 | 0.85 |
| 10 | 1.39 | 29.80 | 39.83 | 1400.78 | 0.85 |
| 11 | 1.32 | 29.84 | 39.86 | 1346.82 | 0.86 |
| 12 | 1.43 | 29.84 | 39.89 | 1383.70 | 0.81 |
| 13 | 1.00 | 29.87 | 39.92 | 1029.83 | 0.86 |
| 14 | 1.03 | 29.86 | 39.92 | 1110.87 | 0.90 |
| 15 | 1.07 | 29.88 | 39.93 | 1112.74 | 0.87 |
| 16 | 1.08 | 29.85 | 39.92 | 1052.64 | 0.82 |
| 17 | 1.00 | 29.87 | 39.89 | 981.17 | 0.82 |
| 18 | 1.06 | 29.83 | 39.95 | 1018.50 | 0.81 |
| 19 | 1.32 | 29.83 | 39.86 | 1422.10 | 0.91 |
| 20 | 1.39 | 29.87 | 39.84 | 1463.92 | 0.89 |
| 21 | 1.34 | 29.79 | 39.84 | 1432.92 | 0.90 |
| 22 | 1.32 | 29.88 | 39.87 | 1342.00 | 0.85 |
| 23 | 1.35 | 29.87 | 39.84 | 1356.75 | 0.84 |
| 24 | 1.33 | 29.78 | 39.85 | 1385.13 | 0.88 |
| 25 | 1.01 | 29.89 | 39.95 | 1106.41 | 0.92 |
| 26 | 1.09 | 29.87 | 39.89 | 1174.82 | 0.90 |
| 27 | 1.02 | 29.84 | 39.86 | 1117.09 | 0.92 |
| 28 | 1.03 | 29.90 | 39.94 | 1097.87 | 0.89 |
| 29 | 1.03 | 29.88 | 39.93 | 1097.67 | 0.89 |
| 30 | 1.06 | 29.89 | 39.92 | 1089.26 | 0.86 |
| 31 | 1.32 | 29.82 | 39.84 | 1458.77 | 0.93 |
| 32 | 1.34 | 29.87 | 39.89 | 1440.33 | 0.90 |
| 33 | 1.35 | 29.79 | 39.87 | 1469.74 | 0.92 |
| 34 | 1.33 | 29.84 | 39.88 | 1417.62 | 0.90 |
| 35 | 1.37 | 29.83 | 39.89 | 1452.70 | 0.89 |
| 36 | 1.34 | 29.88 | 39.88 | 1411.89 | 0.88 |

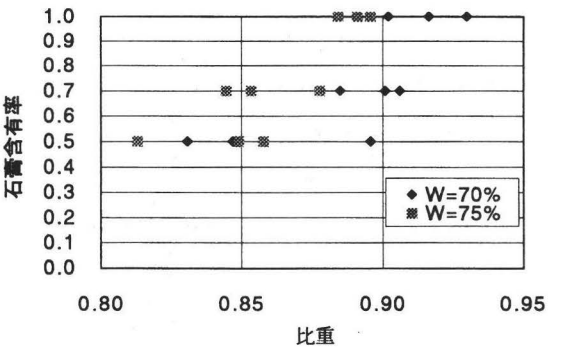
■表3-2　比重試験結果



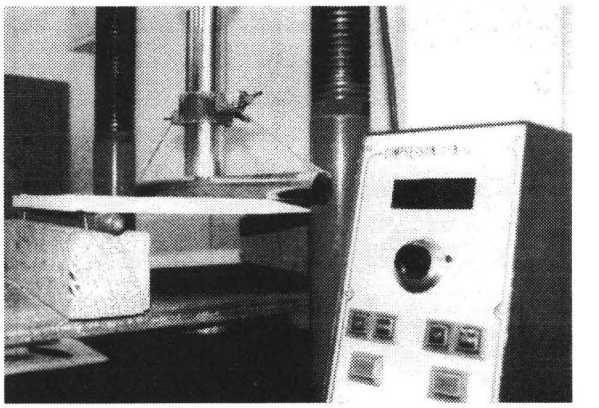

■図3-1　比重試験結果




■図3-2　配合別比重試験結果（厚さ9mm）



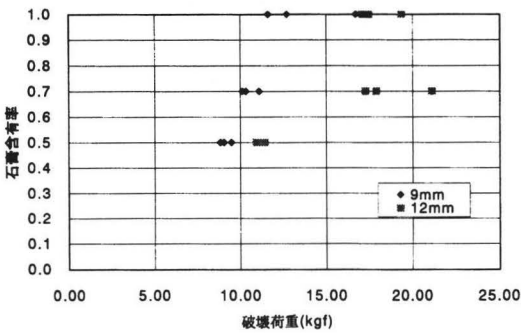

■図3-3　配合別比重試験結果（厚さ12mm）



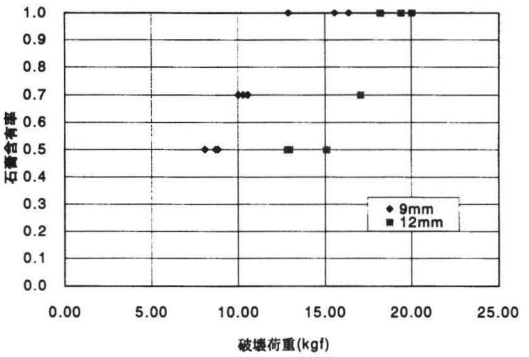
■写真3-4　曲げ試験

| Z：G | W（%） | ボード番号 | 破壊荷重(kgf) |
|---|---|---|---|
| 1:0.5 | 70 | 1 | 9.49 |
| | | 2 | 8.84 |
| | | 3 | 9.06 |
| | 75 | 4 | 8.71 |
| | | 5 | 8.09 |
| | | 6 | 8.84 |
| | 70 | 7 | 11.26 |
| | | 8 | 11.43 |
| | | 9 | 10.96 |
| | 75 | 10 | 12.83 |
| | | 11 | 15.10 |
| | | 12 | 12.94 |
| 1:0.7 | 70 | 13 | 10.35 |
| | | 14 | 11.11 |
| | | 15 | 10.14 |
| | 75 | 16 | 10.57 |
| | | 17 | 10.03 |
| | | 18 | 10.30 |
| | 70 | 19 | 21.14 |
| | | 20 | 17.26 |
| | | 21 | 17.90 |
| | 75 | 22 | 17.04 |
| | | 23 | 17.04 |
| | | 24 | 17.04 |
| 1:1 | 70 | 25 | 12.73 |
| | | 26 | 16.72 |
| | | 27 | 11.65 |
| | 75 | 28 | 15.57 |
| | | 29 | 16.39 |
| | | 30 | 12.90 |
| | 70 | 31 | 17.47 |
| | | 32 | 19.37 |
| | | 33 | 17.08 |
| | 75 | 34 | 20.06 |
| | | 35 | 18.21 |
| | | 36 | 19.41 |

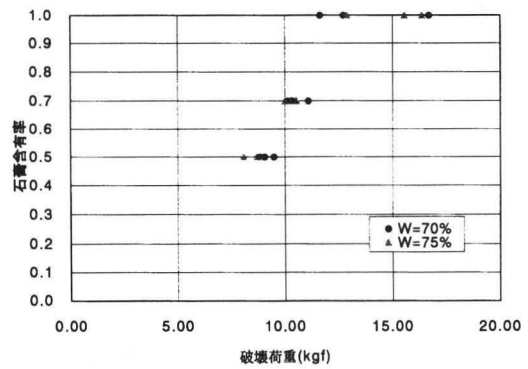
■表3-3　曲げ試験結果



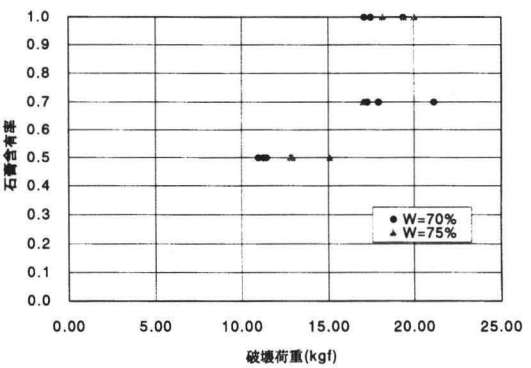

■図3-4　厚さと破壊荷重の関係（W=70%）



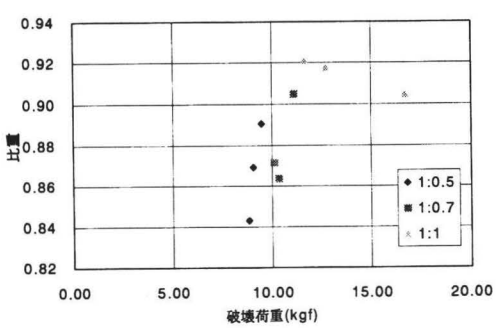

■図3-5　厚さと破壊荷重の関係（W=75%）



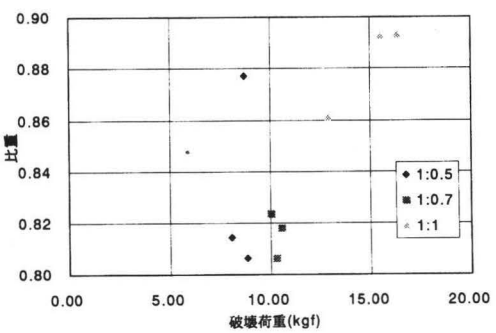

■図3-6　水量と破壊荷重の関係（厚さ9mm）



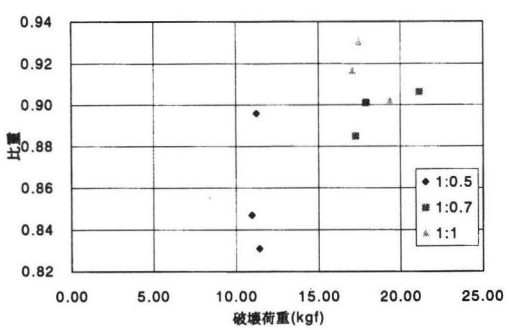

■図3-7　水量と破壊荷重の関係（厚さ12mm）



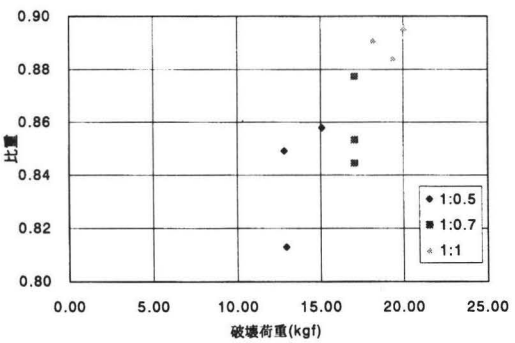

■図3-8　比重と破壊荷重の関係（厚さ9mm　W=70%）




■図3-9　比重と破壊荷重の関係（厚さ9mm　W=75%）




■図3-10　比重と破壊荷重の関係（厚さ12mm　W=70%）




■図3-11　比重と破壊荷重の関係（厚さ12mm　W=75%）

| 段階 | 塩類 | 相対湿度 |
|---|---|---|
| 1 | LiCl | 12.6 |
| 2 | $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ | 33.1 |
| 3 | $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ | 54.0 |
| 4 | NaCl | 75.1 |
| 5 | $KNO_3$ | 93.0 |

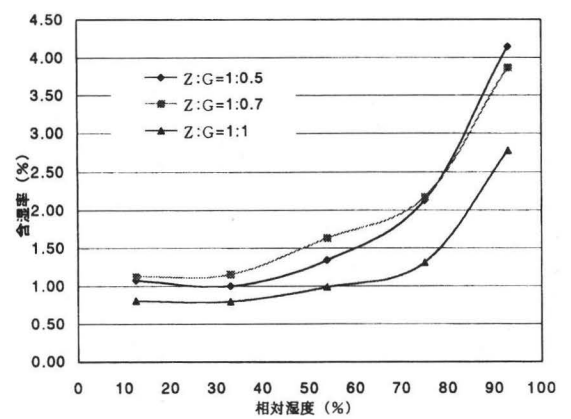
■表3-4　使用塩類

| 試料番号 | W(%) | 厚さ(mm) | Z：G |
|---|---|---|---|
| 1、1’ | 70 | 9 | 1:0.5 |
| 2、2’ | 75 | | |
| 3、3’ | 70 | 12 | |
| 4、4’ | 75 | | |
| 5、5’ | 70 | 9 | 1:0.7 |
| 6、6’ | 75 | | |
| 7、7’ | 70 | 12 | |
| 8、8’ | 75 | | |
| 9、9’ | 70 | 9 | 1:1 |
| 10、10’ | 75 | | |
| 11、11’ | 70 | 12 | |
| 12、12’ | 75 | | |

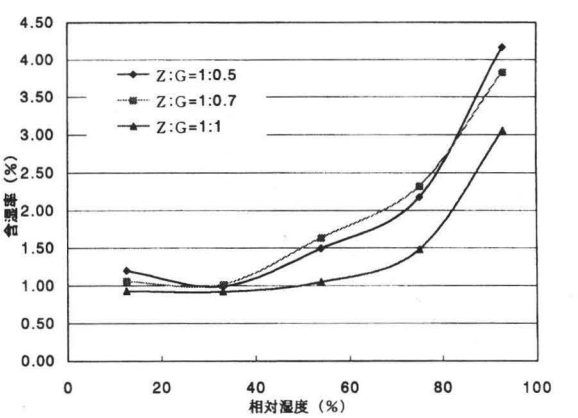
■表3-5　各デシケータに入れる試料番号

| デシケーター番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| 試料番号 | 含 湿 率 （%） | | | | |
| 1 | 1.059 | 0.979 | 1.281 | 2.137 | 4.146 |
| 2 | | 0.983 | 1.541 | 2.260 | 3.977 |
| 3 | 0.893 | 1.228 | 1.665 | 2.439 | 4.379 |
| 4 | 0.893 | 1.361 | 2.082 | 2.575 | 4.264 |
| 5 | 1.029 | 1.222 | 1.774 | 2.053 | 3.734 |
| 6 | 0.980 | 1.138 | 1.675 | 2.206 | 3.781 |
| 7 | 1.053 | 1.272 | 1.723 | 2.380 | 3.805 |
| 8 | 1.052 | 1.226 | 1.534 | 2.104 | 3.868 |
| 9 | 0.751 | 0.885 | 0.986 | 1.367 | 2.800 |
| 10 | 0.879 | 1.171 | 1.139 | 1.673 | 3.200 |
| 11 | 0.612 | 0.698 | 0.967 | 1.429 | 2.937 |
| 12 | 0.656 | 0.963 | 1.189 | 1.612 | 3.113 |
| 1' | 1.091 | 1.022 | 1.400 | 2.113 | 4.142 |
| 2' | 1.198 | 1.001 | 1.440 | 2.085 | 4.356 |
| 3' | 1.312 | 1.225 | 1.789 | 2.629 | 4.985 |
| 4' | 1.301 | 1.187 | 1.692 | 2.602 | 4.738 |
| 5' | 1.227 | 1.091 | 1.487 | 2.292 | 3.990 |
| 6' | 1.135 | 0.899 | 1.589 | 2.448 | 3.872 |
| 7' | 1.162 | 0.996 | 1.456 | 2.486 | 3.991 |
| 8' | 1.215 | 1.292 | 1.902 | 2.289 | 3.797 |
| 9' | 0.867 | 0.713 | 0.992 | 1.256 | 2.753 |
| 10' | 0.982 | 0.666 | 0.957 | 1.284 | 2.905 |
| 11' | 0.912 | 0.891 | 1.105 | 1.285 | 2.952 |
| 12' | 0.832 | 0.683 | 1.006 | 1.232 | 2.654 |

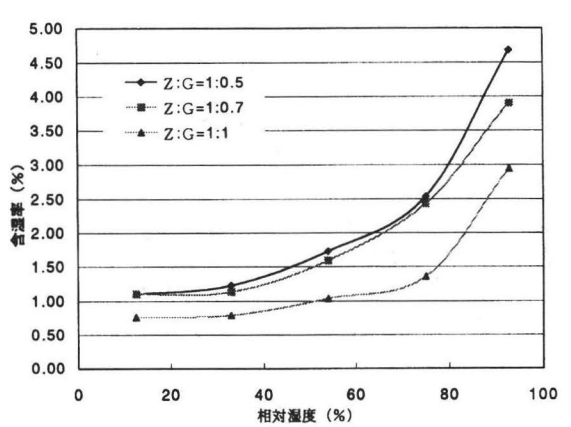
■表3-6　吸湿特性試験結果



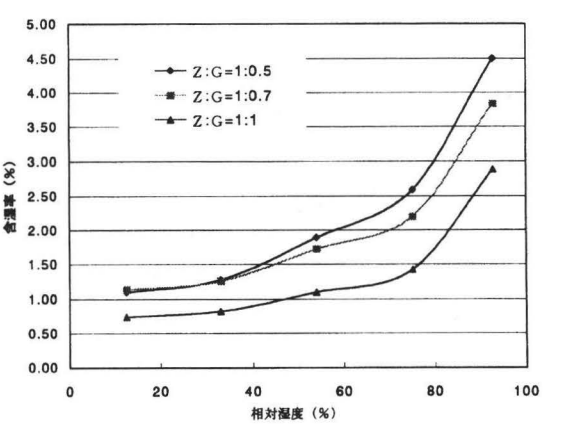

■図3-12　相対湿度と含湿率の関係（厚さ9mm　W=70%）



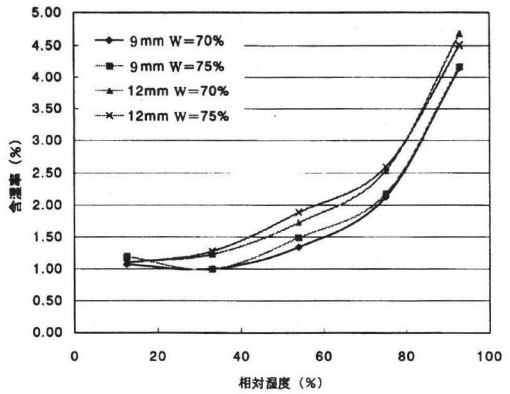

■図3-13　相対湿度と含湿率の関係（厚さ9mm　W=75%）



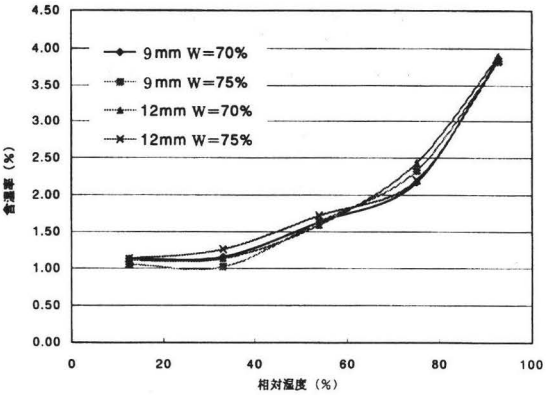

■図3-14　相対湿度と含湿率の関係（厚さ12mm　W=70%）



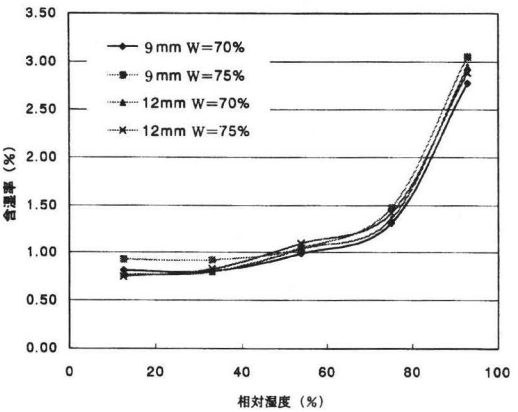

■図3-15　相対湿度と含湿率の関係（厚さ12mm　W=75%）



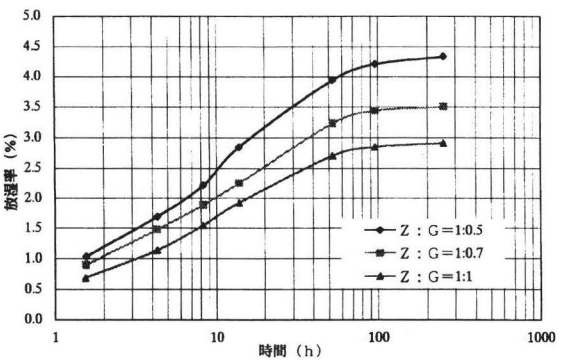

■図3-16　相対湿度と含湿率の関係（Z：G=1：0.5）



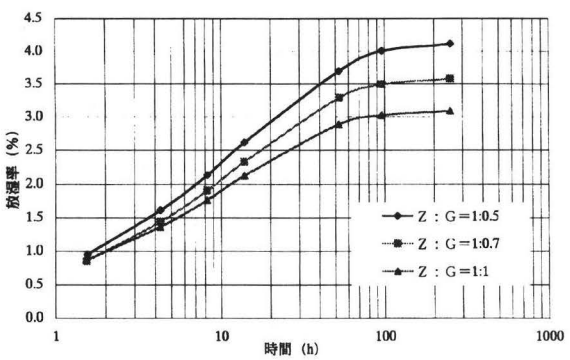

■図3-17　相対湿度と含湿率の関係（Z：G=1：0.7）



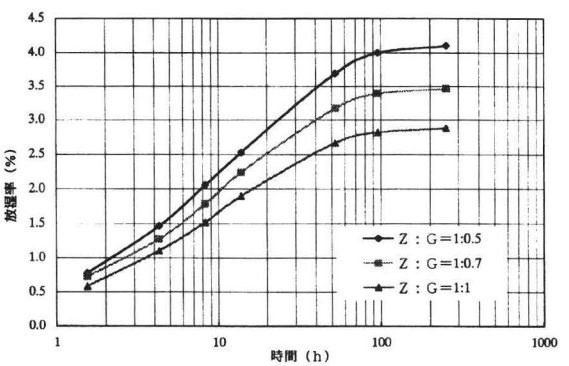

■図3-18　相対湿度と含湿率の関係（Z：G=1：1）



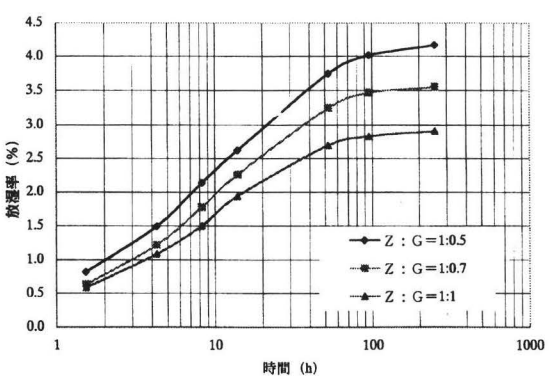

■図3-19　経過時間と放湿率の関係（厚さ9mm　W=70%）



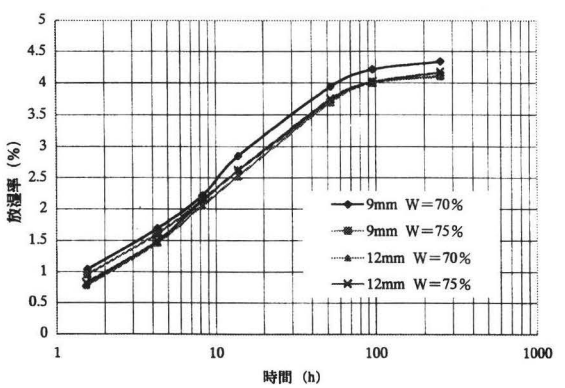

■図3-20　経過時間と放湿率の関係（厚さ9mm　W=75%）



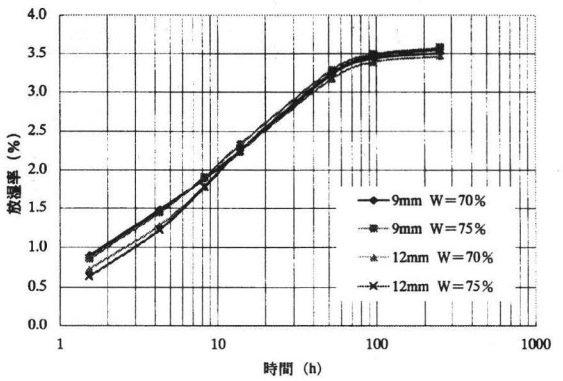

■図3-21　経過時間と放湿率の関係（厚さ12mm　W=75%）



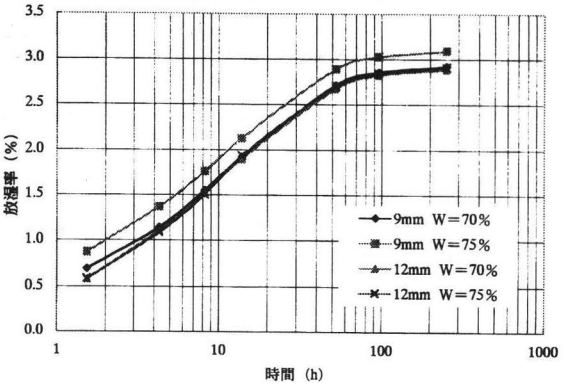

■図3-22　経過時間と放湿率の関係（厚さ12mm　W=75%）



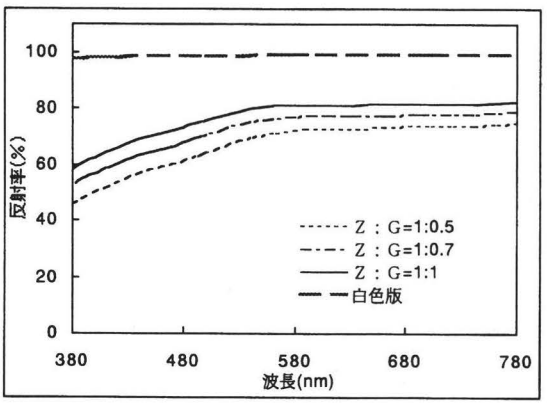

■図3-23　経過時間と放湿率の関係（Z：G=1：0.5）




■図3-24　経過時間と放湿率の関係（Z：G=1：0.7）




■図3-25　経過時間と放湿率の関係（Z：G=1：1）




■図3-26　分光反射率

| 厚さ(mm) | 曲げ破壊荷重（kgf）<br>幅方向 | 比重 |
|---|---|---|
| 9.5 | 14.3以上 | 0.6～0.905 |
| 12.5 | 18.4以上 | 0.6～0.904 |

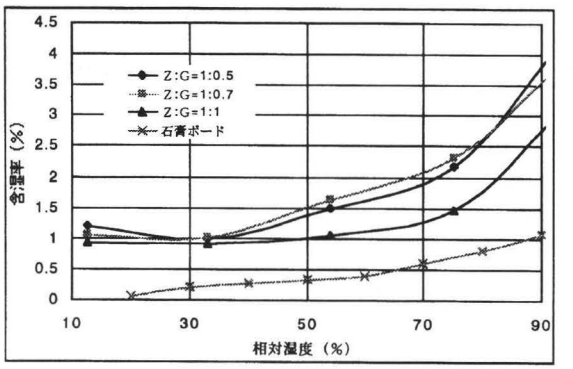
■表3-7　JIS規格の性能[4)]

| Z：G | 平均厚み(mm) | 比重 | 破壊荷重(kgf) |
|---|---|---|---|
| 1:0.5 | 10.5 | 0.85 | 8.84 |
| 1:0.7 | 10.4 | 0.85 | 10.42 |
| 1:1 | 10.4 | 0.90 | 14.33 |
| 1:0.5 | 13.6 | 0.85 | 12.42 |
| 1:0.7 | 13.4 | 0.88 | 17.90 |
| 1:1 | 13.4 | 0.90 | 18.60 |

■図7　荷重-変位関係

| Z：G | ボード番号 | 平均厚み（mm） | 比重 | 破壊荷重(kgf) |
|---|---|---|---|---|
| 1:1 | 1 | 9.31 | 1.00 | 20.28 |
| 1:1.5 | 2 | 9.34 | 1.00 | 21.20 |
| 1:2.3 | 3 | 9.39 | 1.02 | 21.55 |

■表3-9　石膏ボードメーカーによる試作品の性能[5)]



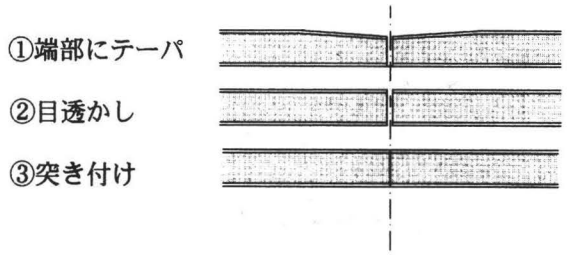

■図3-27　石膏ボードと石膏ゼオライトボードの吸湿性能

| | |
|---|---|
| 比重 | 0.81～0.93　JIS規格を満たしている。<br>石膏の含有量に比例し、水の配合比に反比例する。 |
| 曲げ破壊荷重<br>（kgf） | Z：G＝1：1のときJIS規格を満たしている。<br>供試体の厚さと石膏の含有量に比例し高くなる。<br>水の配合比、比重と曲げ破壊過重とには相関はみられない。 |
| 吸湿率<br>（%） | ゼオライトの含有率、および水の配合比に比例し、吸湿率が高くなる。相対湿度70%で通常の石膏ボードの２～３倍、90%で３～４倍の吸湿率を示す。また、試料の厚さ、混入水量と吸湿率とには相関は見られない。 |
| 放湿率<br>（%） | ゼオライトの含有率に比例し、放湿率は高くなる。吸湿率と同様、放湿率と試料の厚さ、混入水量との間に相関は見られない。 |
| 分光反射率<br>（%） | ゼオライトの含有率に比例し、500nm以下の紫外線部で、20～30%反射率が低下する。 |

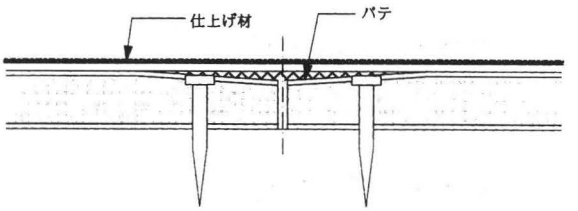
■表3-10　試験結果

| 厚み | 幅*長さ | | | |
|---|---|---|---|---|
| 9.5 t | 910×1820 | 910×2420 | 910×2730 | 1000×2000 |
| 12.5 t | 910×1820 | 910×2420 | 910×2730 | 1000×2000 |

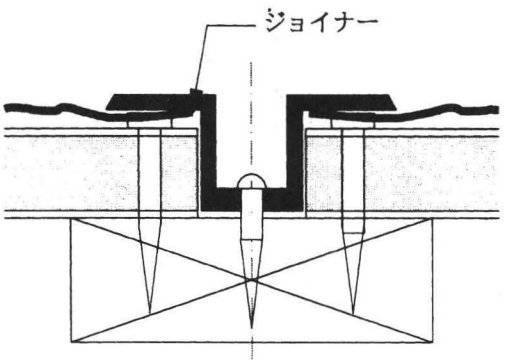
■表4-1



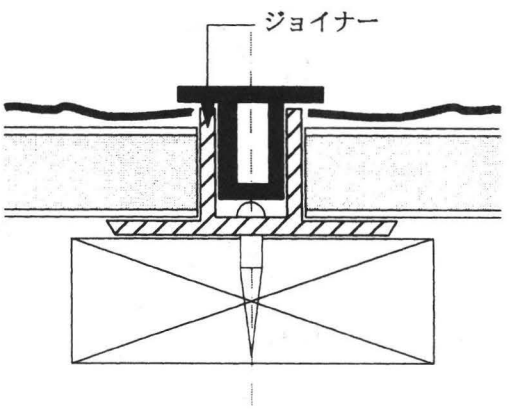

■図4-1




■図4-2



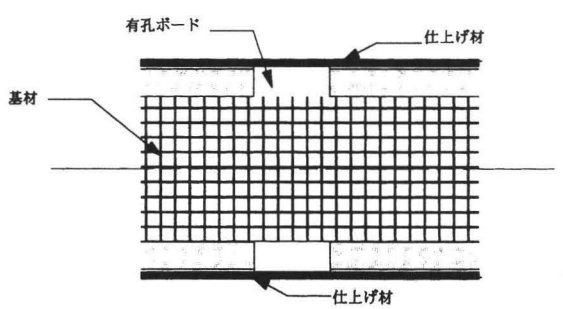

■図4-3



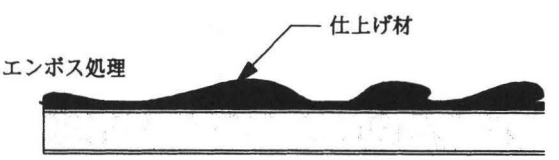

■図4-4

| 基材 | 断熱 | 遮音 | 重量 |
|---|---|---|---|
| 硬質グラスウール | ○ | | 軽 |
| ロックウール | ○ | ○ | ↕ |
| 木毛セメント板 | | ○ | 重 |

■表4-2

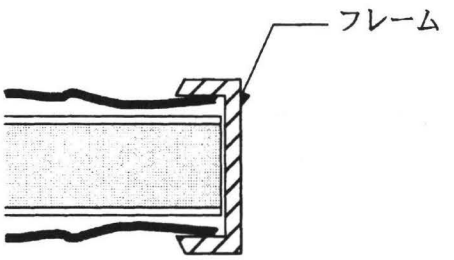



■図4-5



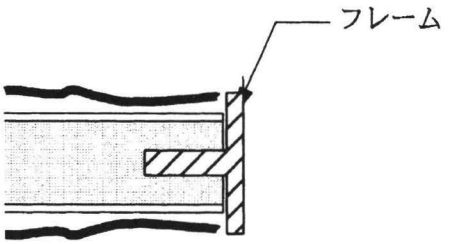

■図4-6

① コ型
見付けが大きい

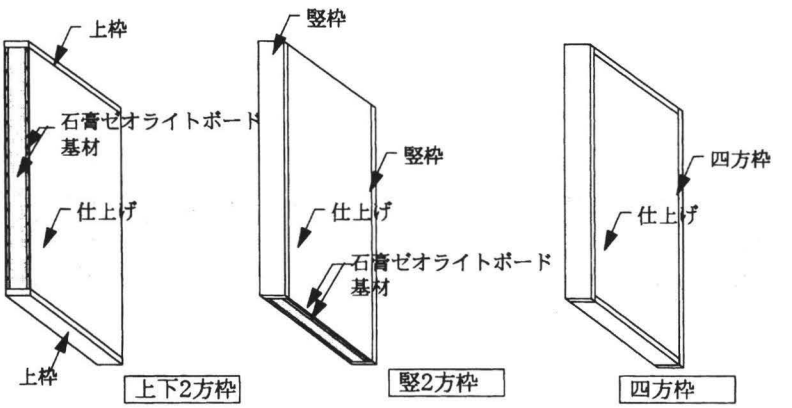



■図4-7

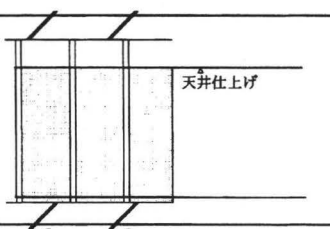
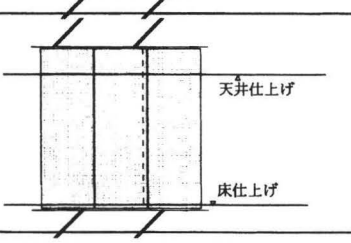
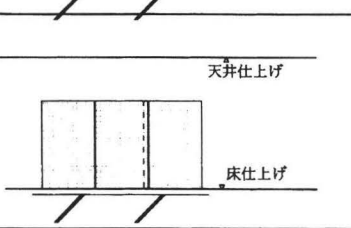
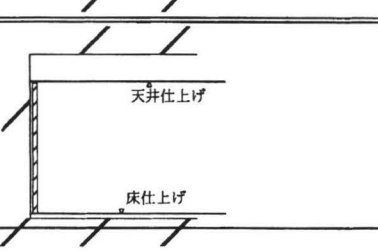
② T型
見付けが小さい




■図4-8

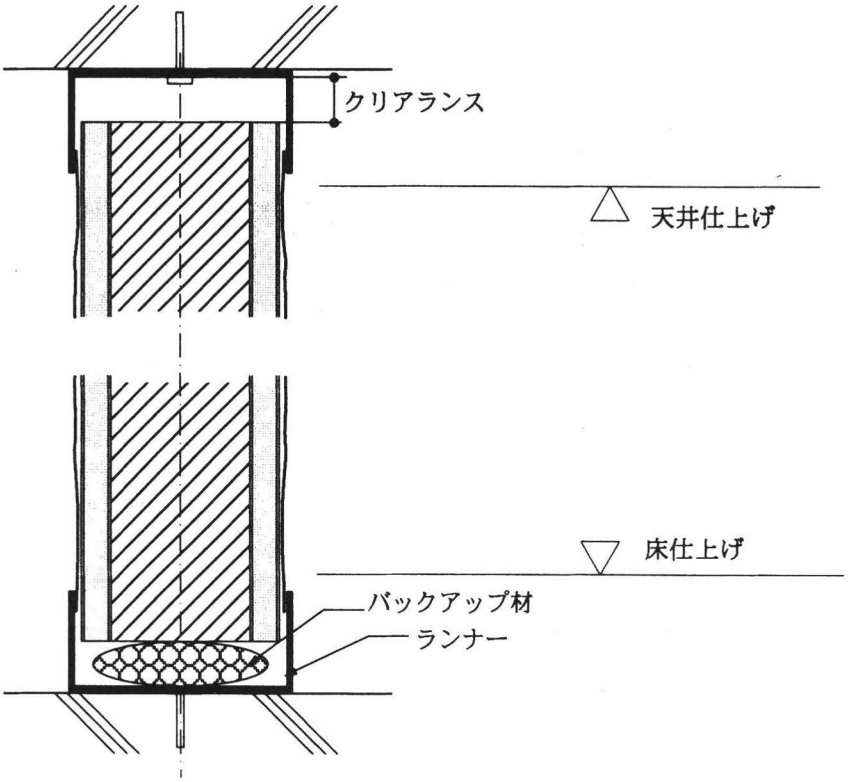



■図4-9

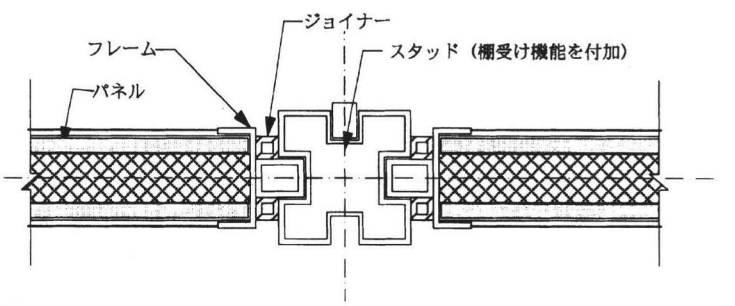
| | | | |
|---|---|---|---|
| 自立型 | スタッド式 | |  |
| | メリット | ディメリット | |
| | ・パネルの強度が小さくできる<br>・パネルの面積が小さくできる | ・スタッドがデザイン上の制約となる | |
| | 否スタッド式 | |  |
| | メリット | ディメリット | |
| | ・断熱、遮音機能を付加することができる<br>・防火区画とすることも可能性がある | ・パネルの強度が必要<br>・パネルの面積が大きくなる | |
| | 据置式 | |  |
| | メリット | ディメリット | |
| | ・可動式にすることができる | | |
| 否自立型 | メリット | ディメリット |  |
| | ・パネルの強度が小さくできる<br>・パネルの面積が小さくできる<br>・改装に適している | | |



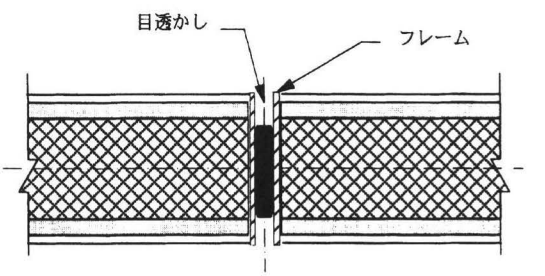
■図4-3



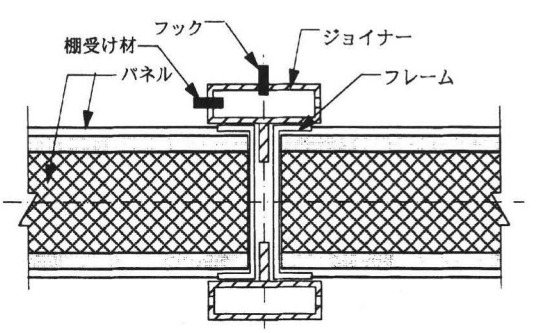

■図4-10



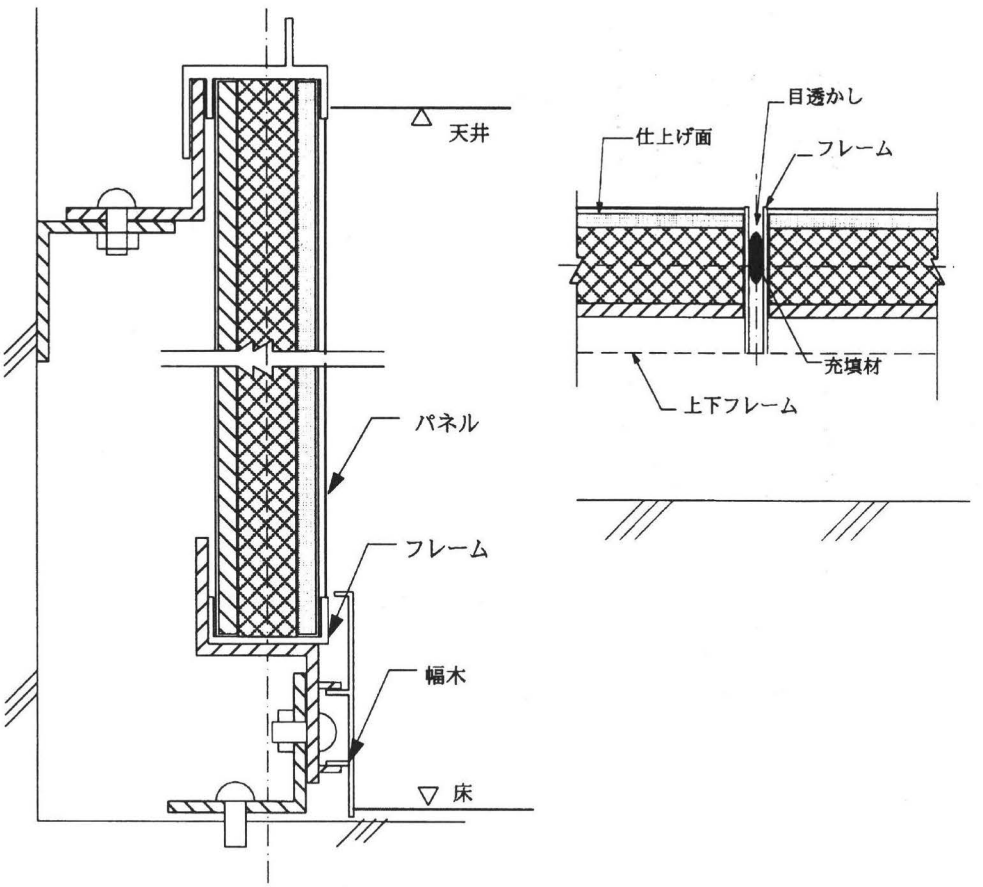

■図4-11




■図4-12




■図4-13




■図4-15

| | |
|---|---|
| ボード原紙 | ・ゼオライトの混入による強度の低下を補うボード原紙の検討<br>・吸放湿性、消臭機能に支障しないボード原紙の検討<br>・不燃、難燃等の機能に支障しないボード原紙の検討 |
| 接着材 | ・吸放湿性、消臭機能等に支障しない接着材の検討 |
| 物性等 | ・複合版としての消臭性能の確認<br>・石膏ボード程度の強度の確保<br>・不燃性能の確保<br>・900㎜×1800㎜程度の供試体での変型、撓み等<br>・釘打ちテスト、引き抜き強度等の施工性の実験 |
| 仕上げ | ・吸放湿性、消臭機能を支障しない、また、より促進する仕上げ材の検討、および開発 |
| 商品化 | ・用途に合わせ、デザイン、施工性、経済性を追求したパネルの開発<br>・製造、流通、施工からリサイクルまでを考慮したトータルシステムの開発<br>・市場の開拓（病院、福祉施設、公共施設のサニタリー、喫煙スペース等、新規需要の開拓）<br>・法規制への適合 |

■表4-4　本研究の問題点と今後の検討課題

# 1－6　機能性壁材を用いる自然エネルギー利用型室内環境制御システムの構築

名古屋大学難処理人工物研究センター
教　授　松　田　仁　樹
名古屋大学大学院工学研究科エネルギー理工学専攻
助　手　渡　辺　藤　雄

## 1　本研究の背景と目的

近年の生活水準の向上、社会構造の急激な変革に伴う産業活動ならびに民生活動の活性化がエネルギー消費を著しく増大させている。このことが、巨視的にはエネルギー生産における$CO_2$排出量の増大につながり、地球温暖化に拍車をかける原因となっている。この回避のためにもエネルギー消費に強く依存する生活様式を改め、環境問題と生活水準の向上を両立させた、いわゆる環境共生型エネルギー有効利用システムを早急に構築する必要性が強く指摘されている。とくにわが国では、エネルギー消費のうち民生用で約20％が熱エネルギーで賄われており、その利用温度域の大部分が100℃前後の比較的温度レベルの低い熱エネルギーであることを考えると、この量を低温未利用熱エネルギーもしくは自然エネルギーで代替利用することが必要となる。

本研究では、機能性壁材を用いる自然エネルギー利用型室内温度・湿度環境制御システムの構築を最終目的とし、新たに水蒸気吸着・脱着機能を有する壁材を設計・製造し、これを内装した室内環境を環境温度を熱源とする温度スイング法によってコントロールする技術を提案する。提案のシステムは相対湿度（$\phi$）0.2～0.7付近を境に水蒸気を物理的吸・脱着する活性炭の吸着特性を利用するものであり、基本的に自然エネルギーもしくは低温未利用熱エネルギーのみで作動し、季節に応じた室内温度および室内湿度制御を可能とするのみならず、室内における吸着材の多孔質固体としての断熱効果を促進する。したがって本技術の確立は省エネルギーと併せて生活環境の一層の快適性向上に有効に機能できると考えられる。本システムが有する季節対応性の特徴はまた、従来から指摘されている建物内の結露の問題に解決の道を開くものと期待できる。

## 2　研究の方法

本システム稼働のキーポイントは、壁材の水蒸気吸着容量および吸・脱着速度が大きいこと、室内空間／壁材間の熱・物質移動速度が大きいこと、の２点に集約される。したがって本研究では、〈1〉高機能水蒸気吸着壁材の開発とその吸着特性評価および〈2〉水蒸気吸着壁材閉空間の熱・物質移動特性の検討の２項目の研究を行った。

### 2-1　高機能水蒸気吸着壁材の開発とその吸着特性評価

①通常の活性炭への新たなシリカゲルドーピング法の適用ならびに②合成樹脂を原料とする小細孔径、大細孔容積の活性炭の製造による低相対圧域吸着性の付与を行い、製造された活性炭について水蒸気吸着特性などを指標とする性能評価を行った。具体的には、①では、活性炭、シリカゲルがともに水蒸気を可逆的に吸着すること、活性炭は水蒸気を大容量吸着するが疎水性のための$\phi > 0.6$の高相対圧域で吸着すること、シリカゲルは逆に親水性であり$0.0 < \phi < 0.5$で吸着すること、の3特性を利用し、新たに活性炭へのシリカドーピングによって目的の特性を有する壁材用吸着材を製造することを検討した。実験では、Fig.1に示す活性炭への珪酸ソーダ含浸・細孔内シリカ膜形成法を採用し、得られた試料の蛍光X線観察法によるシリカ添着量、窒素吸着法による細孔構造の同定、水蒸気吸着平衡特性の測定を行い、壁材用吸着材としての性能評価を行った。なお、活性炭試料には市販のヤシガラ活性炭を使用し、この100mesh粒子10g程度を精秤し、重量基準で10倍量の珪酸ソーダ水溶液を加えた。珪酸ソーダ溶液に浸す時間は通常の活性炭の溶液吸着で十分粒子中心まで同一濃度になると考えられる48時間とした。また②では、合成樹脂の熱分解残留炭素が一般に小孔径の細孔を形成し、これが本研究の有効な材料になりる可能性があることから、各種の熱可塑性及び熱硬化性合成樹脂を窒素雰囲気下の種々の条件下で熱分解させた試料を得、この水蒸気吸着特性を指標とする本システムへの適用性の評価を行った。実験では予め市販の熱重量分析装置による窒素ガス流通下の熱分解重量変化の測定を行い、温度600℃程度の条件下で残留炭素の有無を確認し、有意な残留が認められたアクリロニトリル、メラミン、ポリカーボネート、ウレタンの各樹脂を実熱分解実験炉によって熱分解を行った。また一部について温度80℃の飽和水蒸気を同伴させた賦活実験を行った。

### 2-2　水蒸気吸着壁材閉空間の熱・物質移動特性の検討

活性炭の水蒸気吸着の熱・物質移動特性を検討するために、Fig.2に示す装置を使用してまず等温系で活性炭充填層による相対水蒸気圧0.3～0.8の範囲の窒素をキャリアーとする吸着破過特性の測定を行った。充填層は直径20mm、長さ50mmのガラス製円筒内に活性炭1g程度を同一粒径のガラスビーズで希釈された構造であり、予め温度80℃で24時間の真空脱気を行った後、これを恒温槽内に保持し、ここに所定温度、湿度のガスを流通させ、その入口、出口の温度、湿度の経時変化を測定した。

## 3　研究の計画と進捗状況

研究計画2-1の①では本システム適用可能な材料が製造され、その設計製造基準が示されたことで研究はほぼ完結した。一方2-1の②では、一部の材料にシステムへの適用性が認められたが、なお十分な性能が備わっているとはいえず、熱分解炭素材料の水蒸気賦活を含めた改良の余地を残しており今後さらに検討を進める。

研究計画2-2では、活性炭の使用による十分な調湿効果を認め、この結果が室内環境制御システム

構築のための基礎資料となることが明らかにされた。調湿に加えて、吸・脱着熱を利用する温調のための発熱・吸熱の熱移動特性については今後の検討課題となる。

## 4　今までに得られた成果

### 4-1　活性炭の水蒸気吸着特性

1）シリカドーピング活性炭

Fig.3、Table1に条件ごとのシリカ添着量および細孔構造特性値を示す。珪酸ソーダ濃度、含浸繰り返し回数の増加に伴うシリカ添着量の増大ならびにその比表面積値、細孔容積値、平均細孔径の減少の傾向が認められる。このシリカドーピング活性炭について別途、SEMおよびEDX観察を行ったところ、シリカは活性炭表面に一様に分布していることが分かった。これに加えてAFMによる定性的細孔変化を行った結果、活性炭細孔の細孔長さが短縮しておりシリカが細孔内部に浸透したことを確認した。

Fig.4に、各条件下で得られた試料の温度30℃の水蒸気吸着等温線を示す。等温線はいずれも活性炭と同様のS字型を示す。含浸１行程を基準にすると、他に比較して珪酸ソーダ濃度lwt%試料において等温線の立ち上がりが最も低相対圧側にシフトしており、かつ吸着量の減少が小さい。またこの等温線は、9wt%では活性炭の粒子内細孔にシリカ膜が不均一に形成され、とくにシリカが粒子表面近傍に偏在していることを、0.lwt%では均一形成されるがシリカ添着量が少ないことを示す。含浸２行程の試料では、9wt%の結果はlwt%に比べてやや劣る程度の等温線のシフトを示す。一方、lwt%では２行程目で等温線の立ち上がり以降の勾配が緩やかになる。したがって、含浸法として〈lwt%１行程〉＋〈0.lwt%の繰り返し〉が最も有効であることが示唆される。

Fig.4はまた、〈0.lwt%の繰り返し〉の回数の増加に伴って等温線は、形状を変えることなく、低相対圧側にシフトすることが分かり、ここでもその有効性が裏付けられ、提案の方法が壁材用吸着材の製法として有効であることが明らかとなった。

これらの有効性をさらに確認するために、上記の活性炭より細孔径の小さいフェノール樹脂を原料とする２種の活性炭による同手法の検討を行った。その試料の物性値及び水蒸気吸着等温線をTable2及びFig.5に、またそのシリカドーピング後の水蒸気吸着等温線をFigs.6、7に示す。細孔径の小さい本活性炭においてもシリカ添着によって吸着等温線が低相対圧側にシフトし、相対圧0.2付近から立ち上がることがわかる。

シリカドーピング活性炭のシリカ量が重量基準で1%程度であることに基づいて活性炭99%＋シリカゲル1%混合材料の吸着等温線を別途測定したところこの水蒸気吸着等温線は活性炭そのものとほとんど同一であった。このことは等温線の低相対圧側へのシフトがシリカ添着による活性炭細孔の狭小化によるものであることを示唆している。

以上の結果は、本方法によって任意湿度の調整に機能する材料が製造できることを示しており、細孔径の大小によらず水蒸気吸着等温線の低相対圧域へのシフトが可能であり細孔径の小さい活性炭で

は相対圧0.2～0.7、細孔径の大きい活性炭では0.4～0.8の範囲で水蒸気吸着機能を有し、これらを用いることで広範な調湿に適用できる材料になることが明らかになった。

2）合成樹脂からの活性炭

Figs.8、9、10に各種の合成樹脂を不活性雰囲気下、昇温速度2℃／minの条件で熱分解させた試料の水蒸気吸着等温線の測定結果を示す。アクリロニトリル、メラミンは比較的低相対圧域での等温線の立ち上がりを示すが吸着量が小さい。しかし、Fig.11に示すようにたとえばアクリロニトリルをさらに水蒸気賦括すると相対圧0.4～0.5に大きな吸着量を有する活性炭となり、これが吸着量でフェノール樹脂を原料とする活性炭と同程度であること、ヤシガラ炭より低相対圧域で吸着することが分かる。このことからこれらが本システム用の活性炭となることが示唆される。一方、PET、ウレタン、ポリエステル、ポリカーボネートは高相対水蒸気圧域で立ち上がり、吸着量の小さい等温線を示すことから、これらは壁材用として好ましくない。

### 4-2　活性炭充填層による水蒸気吸着

Figs.12、13に使用した活性炭の水蒸気吸着等温線の測定結果を他の吸着材と比較して示す。シリカゲル、ゼオライトは相対水蒸気圧0.0～0.4付近で水蒸気吸着の大半を占める。市販の調湿壁材に使用されている多孔セラミックは極めて吸着量が小さい。一方の活性炭の吸着等温線は相対水蒸気圧0.2～0.7で大量に水蒸気を吸着することを示している。中でも合成樹脂を原料とする活性炭の一部は低相対水蒸気圧域で、ヤシガラ炭は比較的高相対水蒸気圧域でそれぞれ優れた水蒸気吸着特性を示す。これらから、検討した吸着材の中では活性炭が調湿材として最適であると考えられる。以下では、活性炭の調湿特性についてヤシガラ炭を例とする結果について検討する。

活性炭充填層による２種の水蒸気圧条件下の吸着破過特性の測定結果をFigs.14、15に示す。両図には吸着過程と脱着過程の１サイクルの結果が示されている。湿度55%、75%の両実験結果とも、吸着過程で約100分程度で吸着破過に達すること、その後吸着時間と同程度で脱着が完了し、再吸着過程においても吸着劣化は認められない。このことから活性炭を用いる水蒸気吸着の可逆性が十分備わっており、本吸着系が調湿システムに機能することが分かる。なお、この破過曲線から得られる吸・脱着の吸着量変化量を求めてみると、吸着等温線で表される水蒸気圧相当吸着量と一致することが確認された。

Figs.16、17は湿度をパラメーターとする吸・脱着速度の測定結果である。吸着過程の湿度および脱看過程の初期吸着量の低下に伴って吸・脱着速度は低下するが、吸着過程の平衡到達時間、脱着過程の脱着完了時間にはほとんど変化が認められないことが分かる。

以上のことから、活性炭の自己吸着特性を利用する調湿操作の基本的データーの収集がなされ、このシステムの適用の可能性が示された。

## 5　これから期待される成果

シリカドーピング活性炭は好ましい水蒸気吸着等温線を示すことから、これが自然エネルギー利用型室内温度・湿度環境制御機能を有する壁材として適用できる可能性が極めて大きい。したがって、この積極的な導入によって上記の環境制御システムの構築が達成できると考えられる。一方の合成樹脂を原料とする活性炭に関しても、その原料は産業廃棄物として多量に存在し、容易に活性炭化できることが予測されることからシリカドーピング活性炭と同様に本システムへの導入の可能性を有していると考えられる。またこの活性炭を用いる水蒸気吸着の吸・脱着速度が大きいこと、吸・脱着の可逆性に優れていることからも本システムへの導入への妥当性を裏付けている。

## 6　残る問題点と対策

壁材として用いる活性炭は安価で、高機能であることが要求される。提案のシリカドーピング活性炭はその製法が簡易であり、かつ本システム用として極めて満足する機能を有していることからこの材料が壁材として有望視される。一方の産業廃棄物の合成樹脂を原料とする活性炭も一部この要求を満たし、性能はもとより安価の点でシリカドーピング活性炭を凌ぐと考えられ、今後、この原料に焦点を絞った検討を行うことが重要となる。そのため、現在、この活性炭の高機能化を目指した検討を行っている。

活性炭を用いる水蒸気吸着の熱・物質移動の検討については、まず物質移動の実験的検討を行った結果、水蒸気吸着の可逆的吸・脱着速度は充分に速く、かつ繰り返し吸・脱着の性能劣化が観察されなかったことから本システムへの適用の妥当性が示されたと思われる。もう一つの課題である吸・脱着に伴う発熱・吸熱の熱移動の検討に関しても、物質移動が速やかに行われたことから活性炭壁での熱の授受も問題なく行われることが予測される。しかし、この実験による裏付けが必要となると考えられ、今後この点の検討をさらに行う。また、最終課題である民生活動分野での環境条件を考慮に入れたシステム最適制御技術の確立に関しても熱移動の検討と併せて今後取り組む必要がある。

## 7　研究発表の実績及び予定

シリカドーピング活性炭について、以下の研究成果発表を行った。

・化学工学第30回秋季大会、1997年９月（九産大）

・第11回日本吸着学会研究発表会、1997年10月（山梨大）

・化学工学第64年会大会、1999年３月（名工大）

合成樹脂を原料とする活性炭について、以下の研究成果発表を行った。

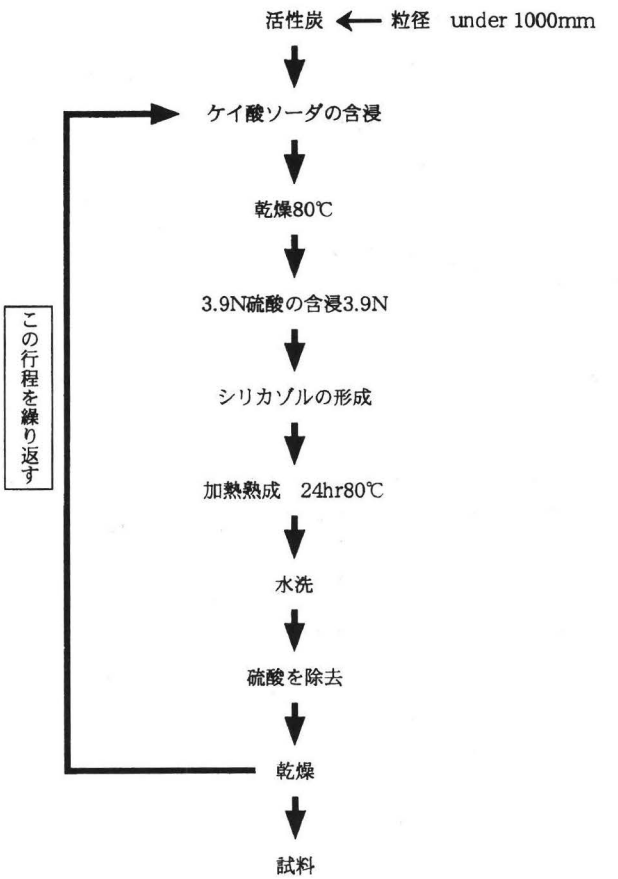
・化学工学第64年会大会、1999年３月（名工大）

活性炭による調湿操作について、以下の研究成果発表を行った。

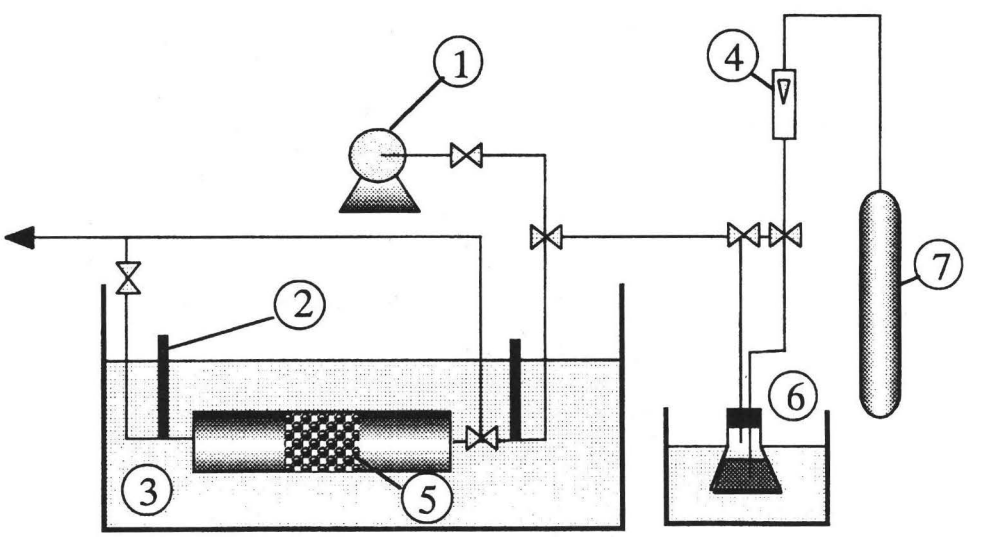
・日本空調学会1999年４月（総評会館）

## 8　実用化の計画

シリカドービング活性炭は本研究の中心的機能材料になることが分かり、この活性炭を用いる室内環境制御用壁材への適用を現在考えている。壁材の基材としては石膏ボード、漆喰、モルタル、コンクリートなどが考えられ、現在この試作と、試作試料の水蒸気吸着機能の評価を行うところにある。また、100℃以下の低温熱エネルギーの回収・高レベル変換機能を有する吸着ヒートポンプではまさに低相対圧域に水蒸気吸着等温線がある吸着材の開発が強く求められている。本方法の適用はその最有力候補のひとつとなり実用化検討課題として浮上する。

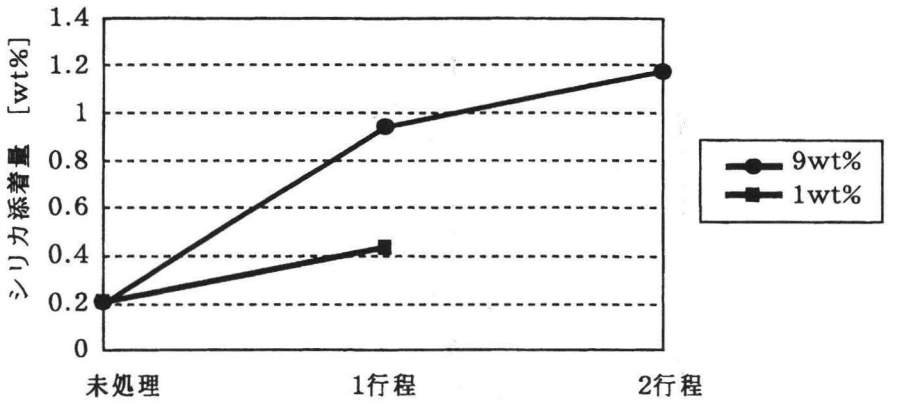



■Fig.1 珪酸ソーダ含浸法




① Vacuum pump
② Thermometer & hygrometer
③ Thermostat
④ Flow meter
⑤ Adsorber
⑥ Evaporator
⑦ Nitrogen gas

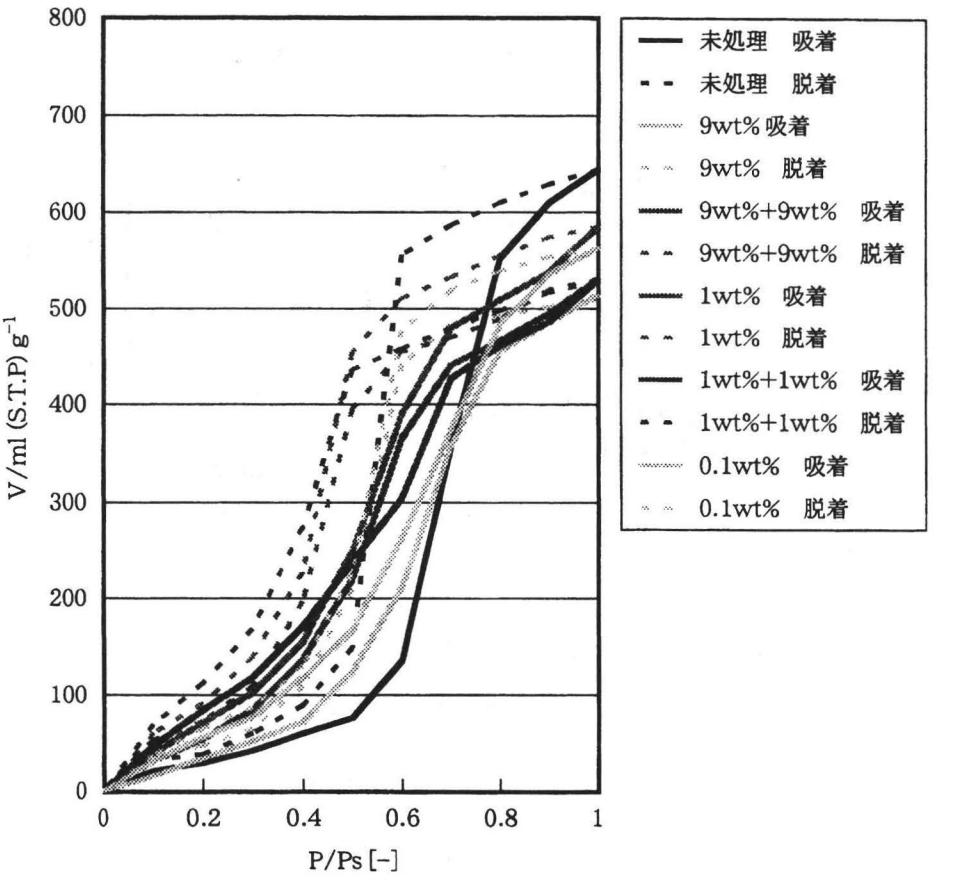
■Fig.2 吸着破過特性の測定装置




■Fig.3　シリカ添着量

| | BET SURFACE AREA [sq.m/g] | PORE VOLUME [cc/g] | AVERAGE PORE RADIUS [Å] |
|---|---|---|---|
| 未処理 | 1393 | 0.7143 | 7.59 |
| 1行程　9wt% | 1063 | 0.5247 | 7.29 |
| 2行程　9wt% | 847 | 0.4156 | 7.23 |
| 1行程　0wt% | 1183 | 0.5985 | 7.42 |

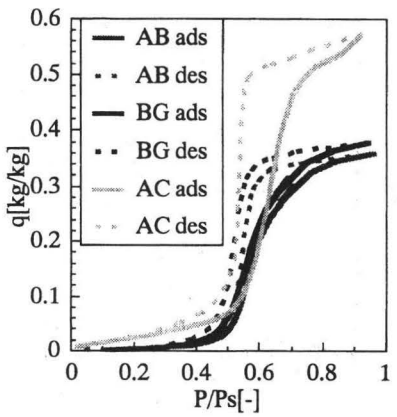
■Table.1　細孔構造物性値



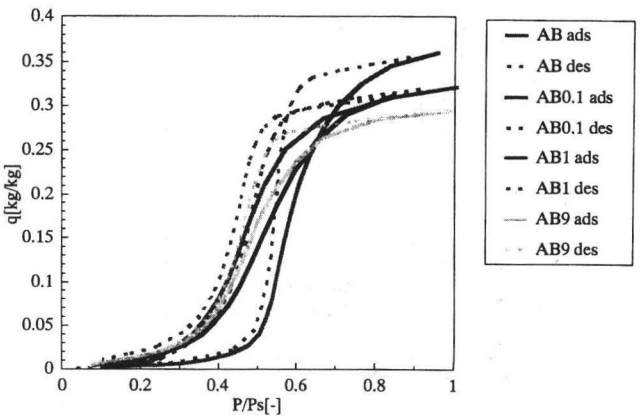

■Fig.4　水蒸気吸着等温線

| original material | pore volume [$m^3$/kg] | average pore size[nm] |
|---|---|---|
| BelfineAB10-4 (以下AB) | $0.51\times10^{-3}$ | 0.4 |
| BelfineBG12-1 (以下BG) | $0.60\times10^{-3}$ | 0.4 |

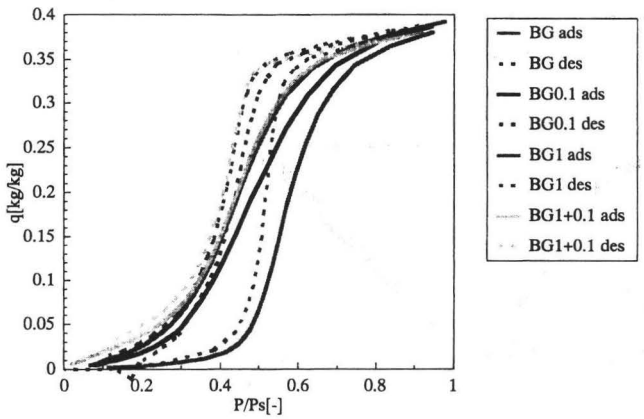
■Table.3　フェノールを原料とする活性炭の物性



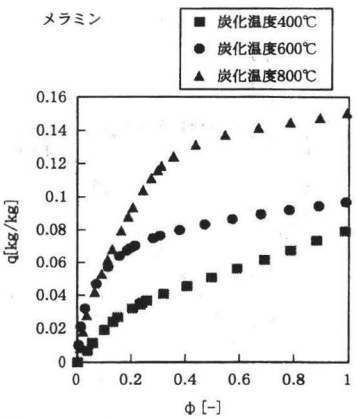

■Fig.5　フェノールを原料とする活性炭の水蒸気吸着等温線



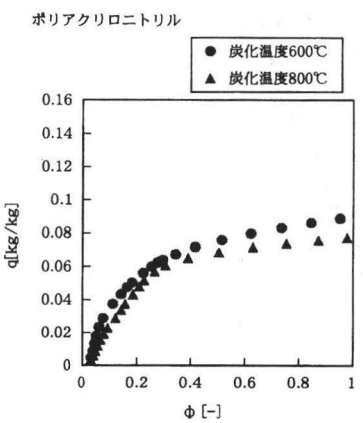

■Fig.6　AB炭の水蒸気吸着等温線



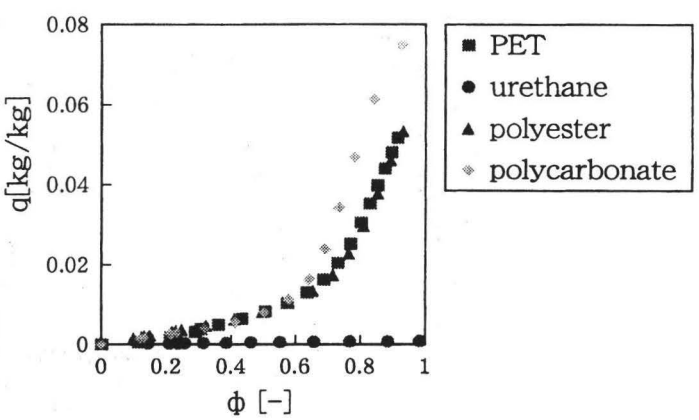

■Fig.7　BG炭の水蒸気吸収等温線



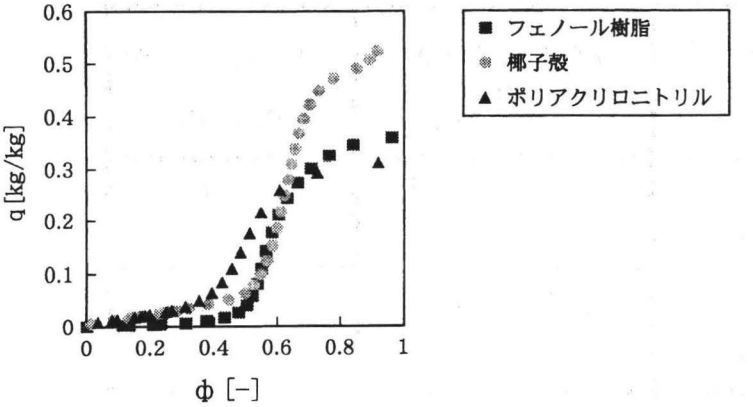

■Fig.8　メラミンを原料とする炭化材の吸着等温線



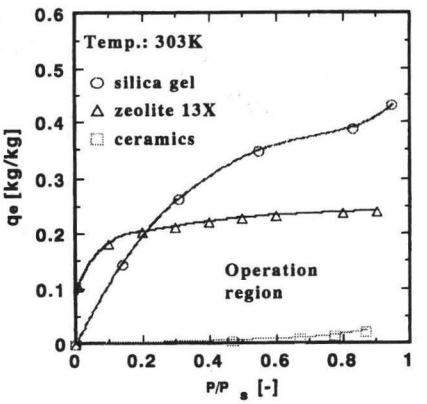

■Fig.9　ポリアクリロニトリルを原料とする炭化材の吸着等温線



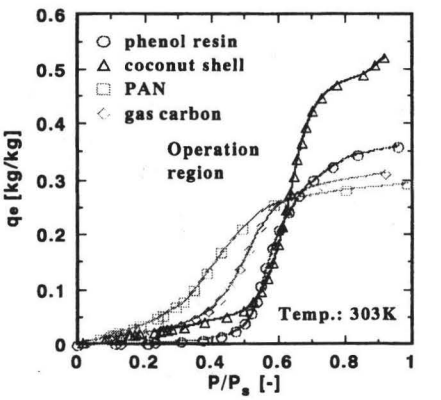

■Fig.10　各種プラスティック炭化材の吸着等温線



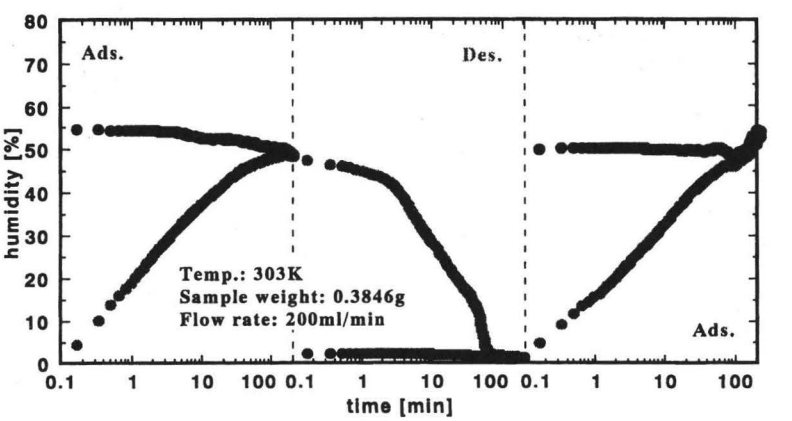

■Fig.11　アクリロニトリルからの活性炭の吸着等温線



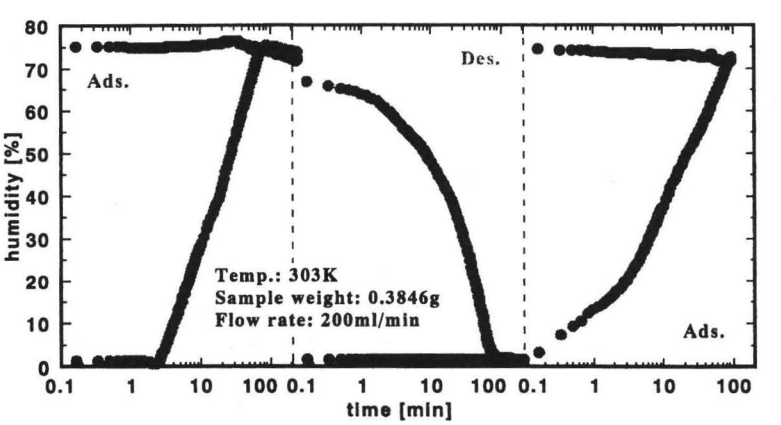

■Fig.12　各種吸着剤の水蒸気吸着等温線



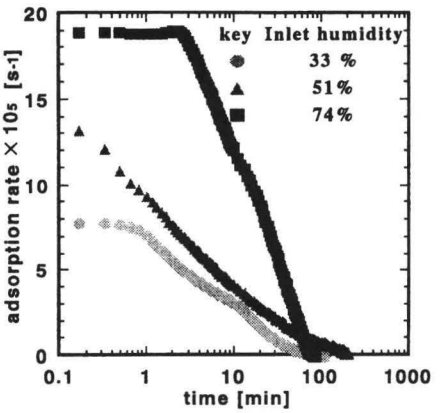

■Fig.13　活性炭の水蒸気吸着等温線



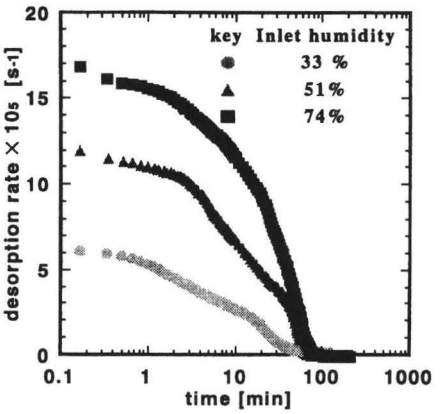

■Fig.14　水蒸気吸着に対する湿度変化




■Fig.15　水蒸気吸着に対する湿度変化




■Fig.16　水蒸気の吸着速度




■Fig.17　水蒸気の脱着速度

# 1－7　木板の吸放湿性能の改善と調湿作用に関する研究

国立岐阜工業高等専門学校・建築学科
教　授　大　澤　徹　夫
県立姫路工業大学・環境人間学部
助教授　土　川　忠　浩

**概要**

木板に溝を付けることで、その吸放湿特性を顕著に飛躍させることを提案し、その効果についての基礎的な検討を、実験と解析によって行った。これにより、単純な加工により木板の吸放湿性能を改善することができることが認められるとともに、この方法を実用化した場合の室内温湿度予測のための解析方法の本質的段階が示された。木板の吸放湿性能の向上を図ることは、今までほとんど行われておらず、著者らのこの方法は独創的なものである。しかも、単純であるので実用化が簡単で、且つ木材の性質を最大限に利用することができる方法と考えられる。さらに薬品等を使用せず人体に対する安全性も高いこと、いままでと同じ吸放湿の能力に必要な材料が少なくて済み省資源化が図れること、間伐材などの利用促進も可能なことなど多くの効果が期待できる。

## 1　研究の背景と目的

美術館や博物館等の収蔵庫では湿度変動を極力抑制するために、調湿材としての木板で内装が仕上げられる。これは多孔質材料としての木板の高い吸放湿性能を利用したものである。また近年、住宅等の居住空間においても結露防止や湿度変動抑制をパッシブ的に達成するための建材として、このような吸放湿材料の開発が進められ、省エネルギーの推進や温熱環境の質の向上を期待されている。

これらの吸放湿材としては、安全性、経済性や加工性の理由から現在のところ木材が一般的であるが、その性能に関してはミクロな観点での水分の移動現象の解明が不十分であることや吸放湿特性を表現する係数の諸データが不足していることから十分な究明がなされていない。従って、その改善に関しても著についたばかりである。木材等の省資源の観点からも、その性能の改善について早急に検討する必要に迫られているものと考えられる。

このような背景下において、本研究では研究の目的を次の３つについて検討する。

(1) 木材内の局所湿気伝達率の測定

室内温湿度予測に使用されている熱水分同時移動方程式（松本の式）の基本的な仮定である材料内の局所平衡理論を再検討し、多孔質材料内における局所非平衡特性を表現する物性値を理論的に定義し、その測定方法の提案と木材に対する測定を行う。

(2) 木材の吸放湿性能の改善

木材は導管方向（以後木口面方向）の湿気伝導率と導管方向に鉛直な方向（以後板目面方向）のそれには顕著な差がある。著者らが杉板を対象にして測定した結果では、木口面方向の湿気伝導率は、板目面方向に対して約30倍の大きさを持つことが明かになっている。木板を吸放湿材として使用されるときは、通常板面方向の吸放湿性能に期待しているものであり、木口面万向の高い湿気伝導率をみすみす見逃していることにほかならない。

そこで、木板表面に板目方向に直角になるように溝を切り、木口面を露出させることによって吸放湿性能を高める検討を行う。すでに予備的な実験を行って、その有効性について定性的な知見を得ているが、さらにその吸放湿建材としての実用性を検討するために、室内模型実験を行う。

(3) 室内温湿度予測のための材料の吸放湿シミュレーション

以上で得られた結果を基礎に、著者らが提案する多孔質材料内の局所湿気伝達率を考慮して、吸放湿材（調湿材）の吸放湿シミュレーションを行い、吸放湿材を内装材として用いた場合の室内温湿度変動数値シミュレーションの基礎とするものである。

## 2 研究の成果

### 2-1. 木材内の局所湿気伝達率の測定

多孔質材料内局所での湿気伝達過程を、水蒸気の主伝導路となっている空隙部と微細構造をなす実質部との伝達として考え、実質部の表面は均等の水蒸気圧と仮定すると、空隙部から実質部への湿気伝達は、次式のように表現できる。

$$\beta\{fs(Ha-Hm)\}^{\varepsilon}=C'\frac{\partial Hm}{\partial t}$$

$Ha$：材料内空隙部の相対湿度［RH］

$Hm$：材料内実質部の相対湿度［RH］

$fs$：飽和水蒸気［mmHg］

$\beta$：局所湿気伝達係数［kg/(m³・h・mmHg］

$C'$：材料の湿気容量［kg/(m³・h・RH)］

$t$：時間［h］

$\varepsilon$：本研究では線形モデルとして$\varepsilon$=1とする

ここで$\beta$を局所湿気伝達係数【kg/(m³, h, mmHg】と定義する。$\beta$は湿度差に対して非線形の可能性があるが、本研究では、まずはじめに$\varepsilon$=1として、従来の式（松本の線形モデル）と同様に仮定する。そして湿度ステップ変動に対する材料の吸放湿量の実測値を用いて、この係数$\beta$の算定する算定理論を展開した。（ここでは省略する）次にこの理論に従い、分流法による精密湿度発生装置を用いた、小片多孔質試料の吸放湿量測定システム（図1）を開発した。この装置の試験槽内では、

湿潤空気と乾燥空気の流量比によって、低湿から高湿までほぼ任意の相対湿度が高い精度で得られる。

本研究では、まず一般的多孔質建材としての杉木口薄板材を試料として実験を行った。装置内に同じ母材から切り出した重量測定用と材料内部湿度変動測定用の２つの小片試料を設置し、槽内気温を25℃一定として低湿から高湿までの５段階（0→20，20→40，40→60，60→80，80→95%RH）のステップ変動を目安に実験を行い、試料重量と内部湿度変動を測定した。

それぞれのステップ変動段階での試料の重量変動および湿度変動の測定結果の一例を図２～４に示す。試験槽内の湿度は、ほぼ設定通りにステップ変動を示している。試料内部（断湿面）湿度の経時変動については、実験開始直後から槽内湿度とほぼ同一の変動を示しており、試料内空隙部の湿度変動は、槽内湿度とほぼ同一の変動をしているものと推測できる。

一方、試料の吸湿量の経時変動については、内部湿度変動に対して、明かに時間的な遅れを示している。そしてこの傾向は高湿になるほど顕著になることが判った。この現象は、試料の空隙部と実質部との間に湿気移動に関する係数（抵抗）が存在することを示しており、試料内局所での非平衡性を定性的に示すものである。

局所湿気伝達係数$\beta$の測定結果を表１に示す。湿度段階が高くなるほど、局所湿気伝達係数は小さくなっており、80→95%RHにおける$\beta$の値は→20%RHにおける値の１／５程度で非線形性がより顕著になることを示している。

この局所湿気伝達係数を数値シミュレーションで利用するために、相対湿度に対する非線形性を表す関係式として、測定値よりニュートン・ラプソン法によって近似すると、図５のようになる。そして関係式は次式となる。

$$\beta = 26.3003 \cdot exp\,(-6.69478 \cdot H) + 2.23485$$

### 2-2. 木材の吸放湿性能の改善

一般的に吸放湿材料として用いられている木板を対象に、パッシブ的な工夫によってその効果を高め、省資源・省エネルギー化をめざす。木板は導管方向（木口面方向）の湿気伝導率と導管方向に鉛直な方向（板目面方向）のそれには顕著な差がある。そこで、図６のように木板表面に板目方向に直角になるように溝を切り、木口面を露出させることによって吸放湿性能を高める検討を行う。本研究では、溝の幅の吸放湿性に対する影響、さらにその吸放湿建材としての実用性の基礎的検討として小型室内模型実験を行った。

(1) 溝幅の違いによる吸放湿特性の違い

柾目杉板の表面に、間隔（P）を25mm、深さ（D）を15mm、幅（W）を3mm、2mm、１mmとした溝をつけたものを試料（図６）として、溝の幅の違いの試料の吸放湿特性に対する影響を実験的に検討した。

最初、恒温恒湿室（25C，50%）に暴露させた試料を、相対湿度75%RHに保ったデシケータに移すことによって、周囲湿度をステップ変動させ、試料の重量変動を測定することにより、吸湿量の

違いを検討した。

その結果を図７に示す。溝を付けた試料は溝を付けない従来の木板よりは吸湿は遠く、吸放湿性能の改善がうかがえる。しかし、幅の違いによる吸放湿応答特性は溝幅が大きいほどよいものの顕著な違いはみられなかった。このことは、木板の木口面を利用した吸放湿には、その溝の幅はさほど影響が小さいことを示しており、溝付きの木板を室内の仕上げ材として使用する際、デザイン上においても有利になると考えられる。

### （2）小型室内模型による溝付き木板の吸放湿特性実験

上述のような木材小片試料を対象とした湿度ステップ変動に対する吸放湿特性の実験を受けて、より実際の建築空間への適用の基礎的な検討を行うために、溝付き木材を内装とした小型室内模型を作成して実験を行った。

模型室の内装材となる木板試料は、市販の杉柾目板（幅10cm、厚さ2cm）を使用する。この板の表面に間隔25mm、深さ15mm、幅2mmの溝をつけ、図８に示すような室内モデルの内装とする。この他の面は、断湿材としてのアルミ板を張り付ける。対象として、溝を付けない木板を用いた同等の模型室も作成する。さらに図９に示すようにそれぞれの内部にはヒータを設置して、内部温度を３時間周期で矩形変動させた場合の内部湿度の変動を測定する。

結果として、図10に溝つき板の場合、図11に溝なしの場合について示す。溝つき、溝なしともに湿度変動の最大振幅はほぼ等しいが、溝つきの場合は、温度変動直後は湿度も急激に変動するものの徐々に初期湿度に近付く傾向を示している。これは溝つき木材の吸放湿の影響と考えられる。一方、溝なしの場合は、そのような傾向は認められない。

これらのことから、溝つき木板でも急激な変動に追随することは無理だが、その吸放湿特性は一般的に調湿材として使われている木板と比較して、調湿効果が高いものと考えられる。

### （3）湿度*sin*変動下での溝つき木板の吸放湿変動

柾目面に幅3mm、深さ15mm、間隔25mmで溝をつけた杉柾目板を試料とした。これを図12に示すような精密湿度発生装置（神栄製）の試験槽内に吊るし、電子天秤によって重量変動が測定できるようにした。この湿度発生装置のマスフローメーターをパソコンと制御支援装置（日本フィルコン製）で制御することによって、試験槽内の湿度および変動を任意に設定できるようにした。

本報では、中心湿度を60%RHとし、20%RHの振幅すなわち40%RH～80%RHをSIN変動させるものとした。周期時間は24、12、６および３時間とした。

結果の一例として24時間周期を図13に、３時間周期の結果を図14に示す。24時間周期条件において、試料の高湿域（60～80%RH）での吸放湿量が、低湿城（60～40%RH）に比較して顕著になっている。これは杉材の平衡含水率曲線の特性の影響と考えられるが、低湿域の吸放湿が極端に小さく、さらに詳細な検討が必要である。吸放湿の周期は、周囲湿度の周期とほぼ同じ24時間であるが、吸湿のピークは３時間程度遅れている。３時間周期条件でも同様に、高湿域での吸放湿量が顕著であ

る。また、吸放湿の周期も湿度周期とほぼ同じであった。

これらのことから、溝つき木板は、その素材としての平衡含湿率曲線の特性が、湿度変動下においても良く機能するもの考えられるが、さらに吸放湿量や変動の詳細な検討が必要と考えられる。

## 3．室内温湿度予測のための材料の吸放湿シミュレーション

### 3-1. 吸湿ステップ応答シミュレーション

室内温湿度のシミュレーションの基礎段階として、まず多孔質材料内の局所気伝達を考慮した杉木口薄板のステップ変動吸湿実験の数値シミュレーションを行った。

パッシブ手法による木板の吸放湿特性改善の研究として、本報では、溝つき杉柾目板を対象に材料内水分の局所非平衡仮定に基づく熱・水分同時移動方程式による吸湿ステップ応答の２次元数値シミュレーションを行い、溝幅の違いによる吸湿特性の違いを検討する。さらに計算を簡単にするために２次元モデルの簡略化による１次元モデルを設定して計算し、２次元モデルとの比較を行う。

#### (1) 溝部分での湿気伝達率の測定

数値計算にあたり、溝部分表面の湿気伝達率（$\alpha'$）が必要となるため、模型実験により求める。

定常状態での材料表面の湿気伝達率（$\alpha'$）は次の関係式から求めれられる。

$$W=\alpha' \cdot (Ps-Pa) \cdot A$$

$W$：蒸発量［kg/h］
$\alpha'$：湿気伝達率［kg/（m²･h･mmHg)］
$Ps$：表面水蒸気圧［mmHg］
$Pa$：空気の水蒸気圧［mmHg］
$A$：面積［m²］

この理論に基づき、図15のようなアルミを用いて溝部分の模型を作成した。溝の部分に貼り付けた湿潤状態の濾紙からの蒸発量（模型全体の重量減少量）と表面と周囲空気の水蒸気圧差から湿気伝達率が算定できる。測定条件は、木板と同じ溝形態の条件で、溝幅は1.3mmと3mm、溝深さは0mm、5mm、10mmおよび15mmである。

測定結果を図16に示す。溝が深くなるほど湿気伝達率が顕著に小さくなる。また、溝幅が狭くなると湿気伝達率も小さくなる傾向を示している。

#### (2) 数値計算シミュレーション

材料内水分の局所非平衡を考慮した２次元の熱・水分同時移動方程式（松本の式１）は以下のよう

になる。

熱流方程式

$$C\cdot\frac{\partial\theta}{\partial t}=\lambda x\cdot\frac{\partial^2\theta}{\partial x^2}+\lambda y\cdot\frac{\partial^2\theta}{\partial y^2}+r\cdot C'\frac{\partial Hm}{\partial t}$$

湿気拡散方程式

$$C'\cdot\gamma a'\frac{\partial fa}{\partial t}=C'\cdot\frac{\partial Hm}{\partial t}+\lambda x'\frac{\partial^2 fa}{\partial x^2}+\lambda y'\frac{\partial^2 fa}{\partial y^2}$$

局所非平衡の式

$$C'\frac{\partial Hm}{\partial t}=\beta(fa-fm)$$

溝つき木板の断面部分を図17のように２次元モデル化した。ここで材料内境界（CD，EO）は断熱・断湿条件とする。また、材料裏面（DE）は断湿条件とする。さらに、杉板では柾目面に鉛直方向の湿気伝導率（$\lambda y'$）は、木口面に鉛直方向の湿気伝導率（$\lambda x'$）の約１/30であり、木口方向に比較すると極めて小さいので$\lambda y'$を無視した１次元モデルについても計算を行う。

計算条件を表２に示す。ここで、材料内の局所湿気伝達係数（$\beta$）と平衡含水率は、相対湿度に対して非線形性をもつ関数として与えた。なお、相対湿度は中湿域（45.5→75%RH)、高湿域（75→95%RH）の２段階のステップ変動をさせた場合の計算を行った。

溝幅の違いによる吸湿特性の違いを検討した結果の一例を図18に中湿域、図19に高温域を示す。この結果から中湿、高湿、共にわずかであるが溝幅が大きい方が吸湿量が上回る結果が得られた。

次に１次元・２次元モデルの違いによる計算結果の違いを図20、21に示す。この結果から、１次元は２次元よりも下回る結果が得られた。これは１次元はモデルにおいて、湿気伝達を考慮しない部分があるためと考える。

初期経過時間帯では中湿域の方が速く吸湿していることが分かる。高温域よりも中湿域の方が傾きが大きい。これは、局所湿気伝達率が高湿域であるほど減少するからであると考えられる。なお、この傾向は実験結果と一致している。

### 3-2. 周期湿度変動に対する応答シミュレーション

熱・水分同時移動方程式による周期定常条件下での数値計算シミュレーションを行って実験値との比較をし、その有効性を検討するとともに、周期の違いによる吸放湿応答周期の違いから、溝つき木板の吸放湿特性を検討する。さらに、従来の局所平衡仮定による計算と、局所非平衡仮定による計算結果の比較から、それらの差異について検討する。

計算モデルおよび計算式は先述の２次元モデルおよび２次元式を用いた。材料内境界（CD，EO）は断熱・断湿条件とする。また、材料裏面（DE）は断湿条件とする。

物性値等の計算条件は先述の表２に示すとおりである。実験試料（厚さ20mmの杉柾目板に幅

3mm、深さ15mm、間隔25mmの溝をつけたもの）をシミュレーションの対象とした。相対湿度は振幅を40～80%RHの周期変動とした場合の計算を行った。

計算結果の一例として、24時間周期（図22）と３時間周期（図23）を示す。24時間周期条件において、吸放湿の周期は、周囲湿度の周期とほぼ同じ24時間であるが、吸湿のピークは210分遅れている。３時間周期条件においても同様に、吸湿のピークは35分遅れている。また、３時間周期は24時間周期の場合より振幅が減少している。これより、湿度の周期変動の速度を高めると、吸放湿がその湿度変動に追いつかず、応答性は落ちることが分かる。これらの傾向は実験結果[1]と一致している。

### 3-3. 局所非平衡と局所平衡仮定による違い

次に、今回の局所非平衡仮定と従来の局所平衡仮定による計算の比較を行った。計算結果として、24時間周期（図24）、３時間周期（図25）、１時間周期（図26）を示す。これらの結果より局所平衡は、局所非平衡より振幅が大きくなり、変動の遅れはわずかに遠くなった。その違いは周期が短くなる程、顕著に見られる。

これより、現実的な厚さ、形状の材料モデルについての両者の差異が認められ、急峻な変動ほどその差異は大きいといえる。

この計算により、周期湿度変動に対して吸放湿変動は遅れること、周期変動の速度を高めると吸放湿の応答性は落ちることが明らかとなった。また、局所平衡と局所非平衡との差異が明らかとなった。

## 4．まとめと今後の展望

木板に溝を付けることで、その吸放湿特性を顕著に飛躍させることを提案し、その効果について基礎的な検討を、実験と解析によって行った。これにより、単純な加工により木板の吸放湿性能を改善することができることが認められるとともに、この方法を実用化した場合の室内温湿度予測のための解析方法の本質的段階が示された。

木板の吸放湿性能の向上を図ることは、今までほとんど行われておらず、著者らのこの方法は独創的なものである。しかも、単純であるので実用化が簡単で、且つ木材の性質を最大限に利用することができる方法である。さらに薬品等を使用せず人体に対する安全性も高いこと、いままでと同じ吸放湿の能力に必要な材料が少なくて済み省資源化が図れること、間伐材などの利用促進も可能なことなど多くの効果が期待できる。

現在、次の段階として、各種材料に対する定性的、定量的な吸放湿性能の検討、木材加工方法の違いによる吸放湿性能の違いの検討、温湿度予測シミュレーションの発展化と応用を検討している。

## 5．研究発表実績


1）大澤徹夫，土川忠浩，水谷章夫：溝をつけた木板の吸放湿特性に関する研究，第４報 湿度周期変動下における吸放湿変動，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），環境工学Ⅱ，pp.327-328，1998年

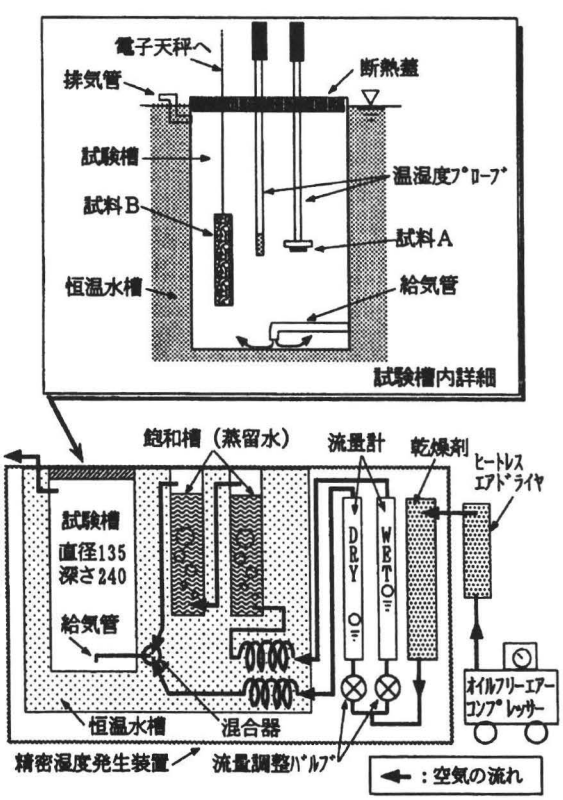
2）大澤徹夫，朝日洋之，角舎輝典，土川忠浩，水谷章夫：溝をつけた木板の吸放湿特性に関する研究、第５報 吸湿ステップ応答に及ほす溝幅の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国)、環境工学Ⅱ，pp.267-268，1999年

3）朝日洋之，大澤徹夫，角舎輝典，土川忠浩，水谷章夫：溝をつけた木板の吸放湿特性に関する研究、第６報 周期湿度変動に対する応答シミュレーション、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、環境工学Ⅱ、pp.269-270，1999年

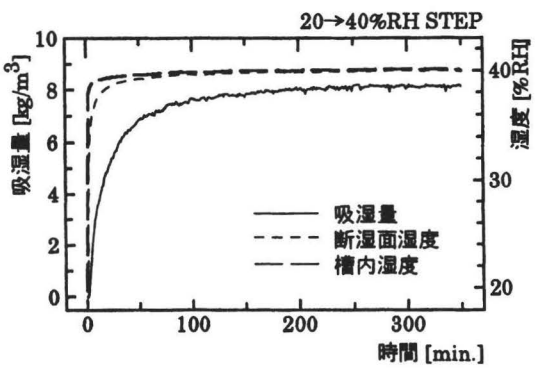

## 【謝辞】


本研究を遂行するにあたり多大なご協力いただきました岐阜高専建築学科助教授（工博）角舎輝典先生、岐阜高専専攻科朝日洋之君ならびに研究室卒研生の方々に深謝申し上げます。

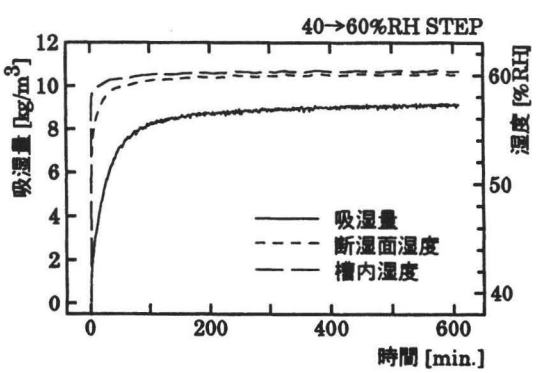
この研究にご理解、ご助成賜りました（財)トステム建材産業振興財団に対し厚くお礼申し上げます。

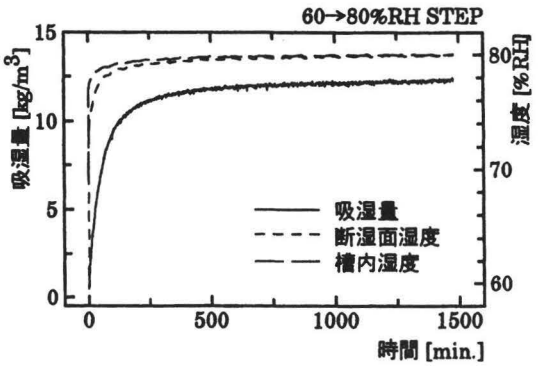

■図1　精密湿度発生装置




■図2　重量変動および湿度変動測定結果（20-40%）



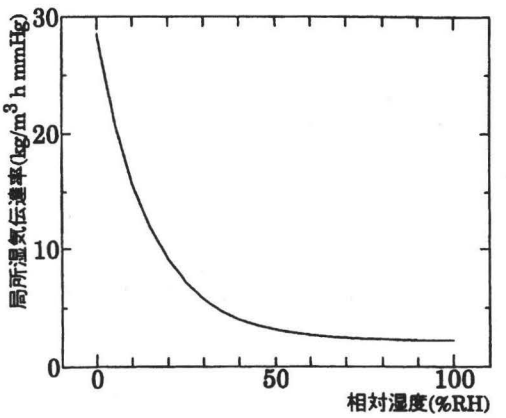

■図3　重量変動および湿度変動測定結果（40-60%）



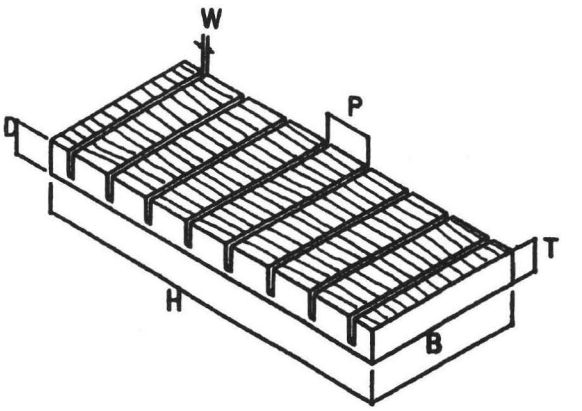

■図4　重量変動および湿度変動測定結果（60-80%）

| 湿度段階[%RH] | | 0→20 | 20→40 | 40→60 | 60→80 | 80→95 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_1$ | [min] | 9 | 14 | 27 | 43 | 127 |
| $t_2$ | [min] | 2 | 2 | 2 | 2. | 2 |
| k | [1/h] | 5.56 | 3.38 | 1.63 | 1.00 | 0.33 |
| 湿気容量C' | [kg/m³(RH)] | 66.3 | 40.7 | 46.0 | 61.4 | 166.3 |
| 局所湿気伝達係数β | [x10⁻²kg/(m³·h·Pa)] | 11.8 | 4.37 | 2.37 | 1.94 | 1.73 |
| | [kg/(m³·h·mmHg)] | 15.7 | 5.83 | 3.16 | 2.58 | 2.31 |

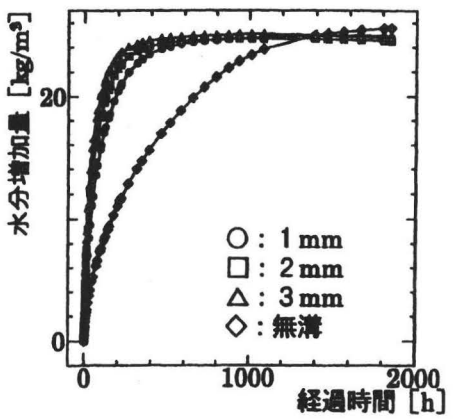
■表1　杉木口局所湿気伝達係数βの算定



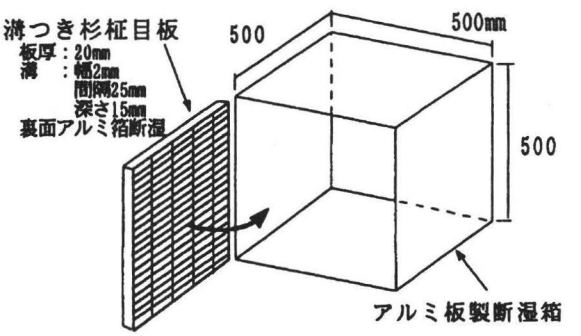

■図5　相対湿度と局所湿気伝達率（係数）の関係



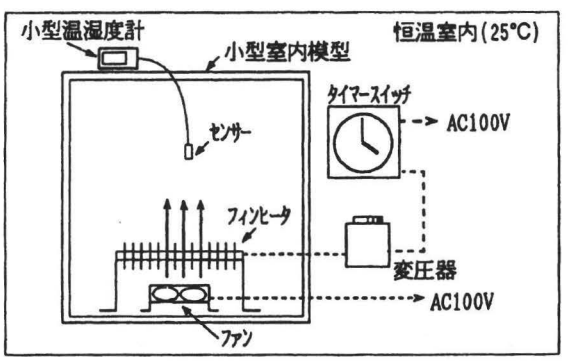

■図6　溝をつけた木板



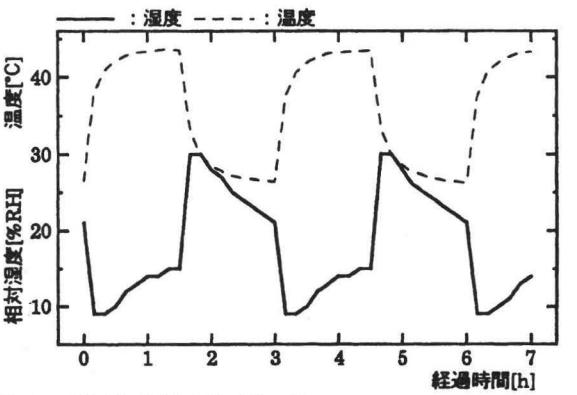

■図7　溝の幅の違いによる吸湿変動の違い



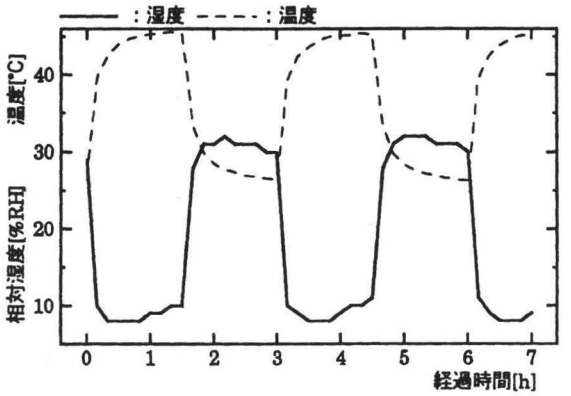

■図8　室内模型



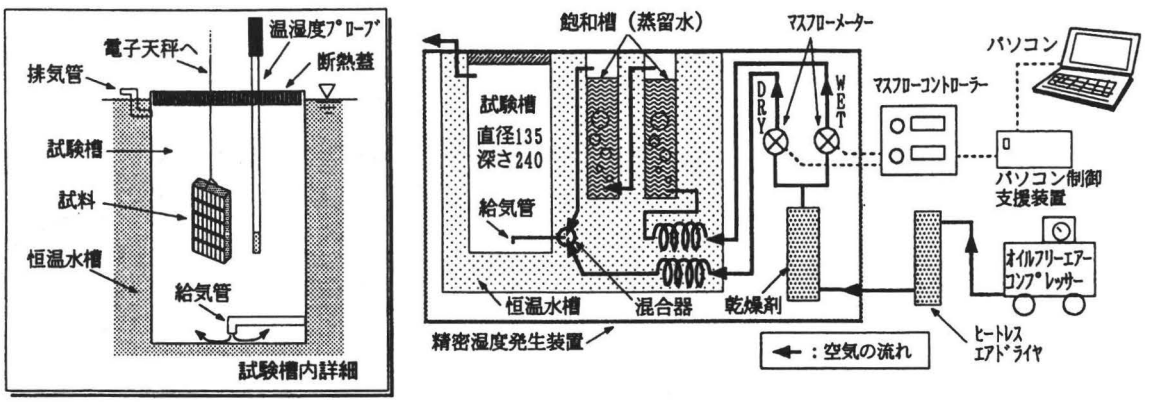

■図9　模型内温度制御方法概要



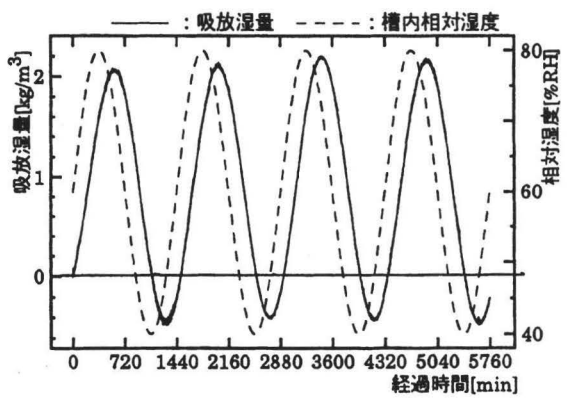

■図10　模型内温湿度変動（溝つき）



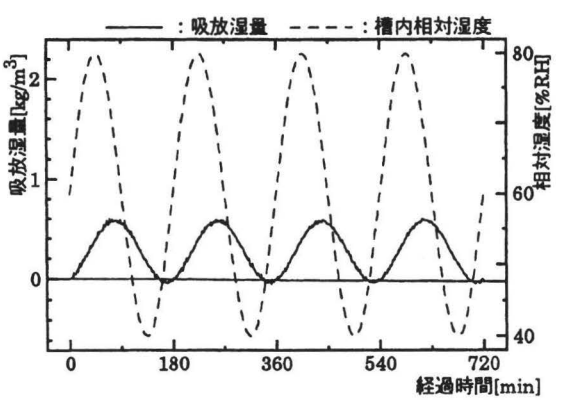

■図11　模型内温湿度変動（溝なし）



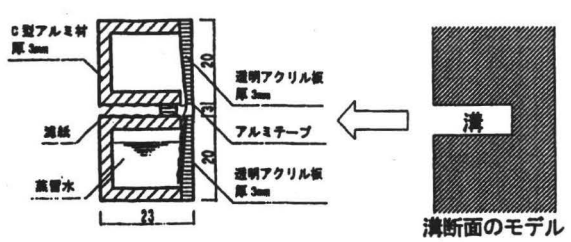

■図12　精密湿度発生装置と制御方法概要



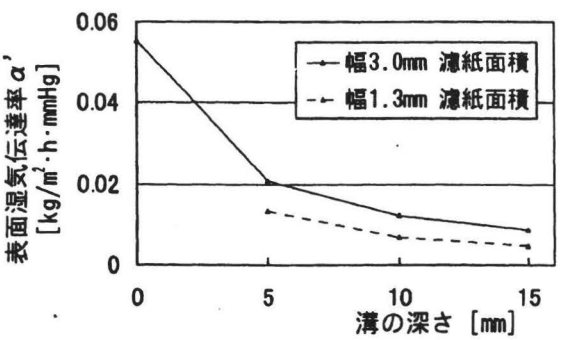

■図13　溝つき木板の吸放湿変動（24時間周期）




■図14　溝つき木板の吸放湿変動（3時間周期）



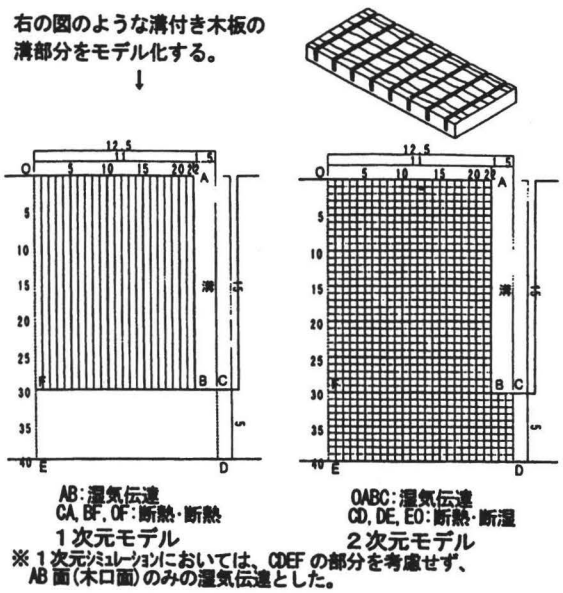

■図15　溝断面模型



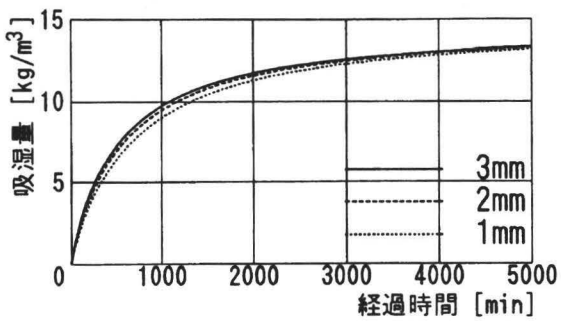

■図16　表面湿気伝達率測定結果

| | |
|---|---|
| C　：材料の湿気容量（杉）[kcal/(m³·℃)] | 128.7 |
| C'：材料の湿気容量 [g/(m³·RH)]（非線形）吸湿の場合 | |
| $C'=49.72+67.25\cdot(1-7.120\cdot H)\cdot e^{-7.120H}+(6.690\times10^{-2})\cdot(e^{10.72H})$ | |
| λx：材料のX方向熱伝導率（杉）[kcal/(m·h·℃)] | 0.11 |
| λy：材料のY方向熱伝導率（杉）[kcal/(m·h·℃)] | 0.11 |
| λx'：材料のX方向湿気伝導率 [g/(m·h·mmHg)] | 0.000823 |
| λy'：材料のY方向湿気伝導率 [g/(m·h·mmHg)] | 0.262 |
| Hm：材料内実質部の相対湿度[%RH] | |
| r　：水の蒸発潜熱 [kcal/g] | 0.59 |
| Ca'：材料内空隙部の湿気容量 [g/(m³·mmHg)] | 0.9708 |
| γa'：空隙率 [ND] | 0.7 |
| fm：材料内実質部の水蒸気圧[mmHg] | |
| fa：材料内空隙部の水蒸気圧[mmHg] | |
| β　：材料内の局所湿気伝達係数 [g/(m²·h·mmHg)]（非線形） | |
| $\beta=26.3003\cdot\exp(-6.69478\cdot H)e+2.23485$ | |
| θ　：温度 [℃] | 25.0 |
| Δt：時間間隔 [h] | 1/60(1min.) |
| ΔX：X方向厚さ間隔 [m] | 0.0005 |
| ΔY：Y方向厚さ間隔 [m] | 0.0005 |
| $\alpha_o$：材料表面熱伝達率（杉）[kcal/(m²·h·℃)] | 8.0 |
| $\alpha_o'$：材料表面湿気伝達率（杉）[g/(m²·h·mmHg)] | |
| 幅3mm:8.6479　幅2mm:6.6880　幅2mm:4.7280 | |

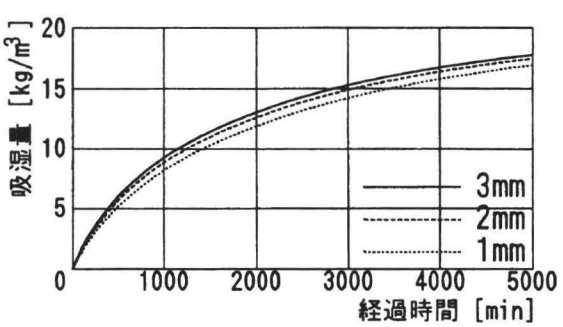
■表2　計算に使用した各種係数



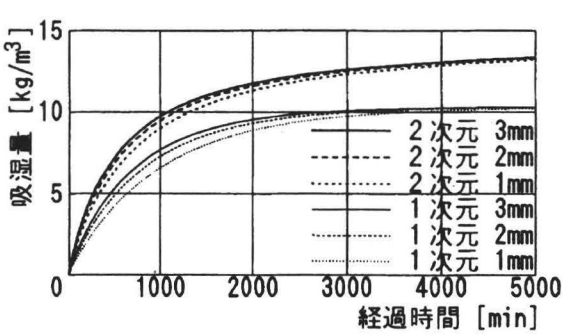

■図17　シュミレーションモデル



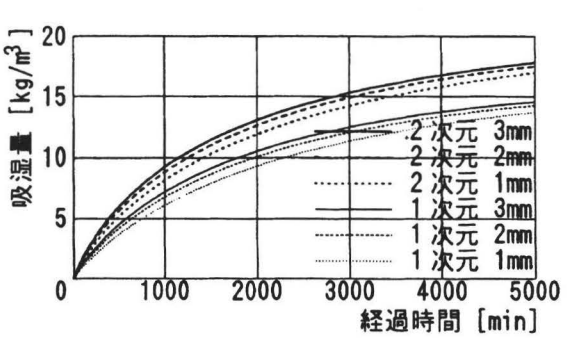

■図18　シュミレーション結果（溝幅の違い：中湿）



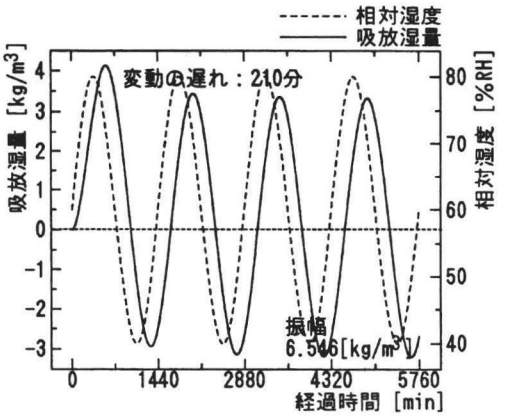

■図19　シュミレーション結果（溝幅の違い：高湿）



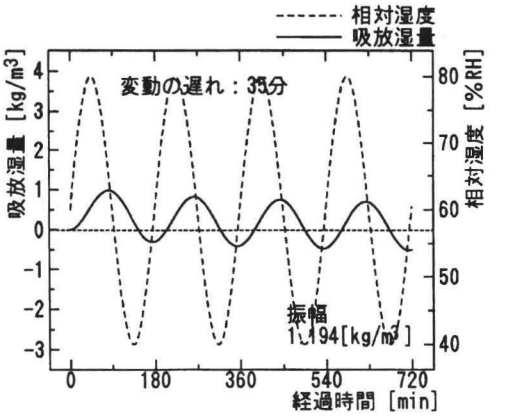

■図20　シュミレーション結果（モデルの違い：中湿）



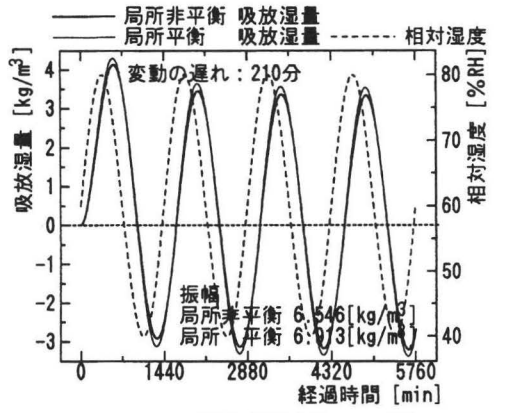

■図21　シュミレーション結果（モデルの違い：高湿）



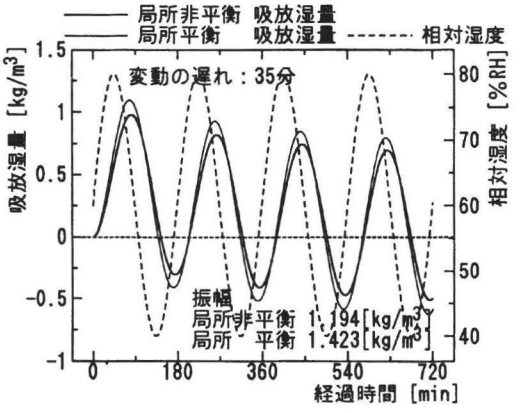

■図22　シュミレーション結果（周期変動：24時間）



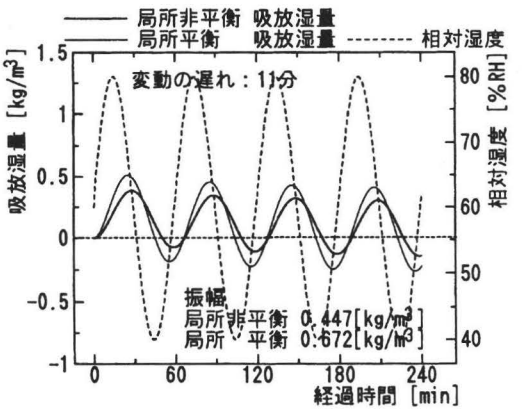

■図23　シュミレーション結果（周期変動：3時間）




■図24　シュミレーション結果（周期変動：24時間）




■図25　シュミレーション結果（周期変動：3時間）




■図26　シュミレーション結果（周期変動：1時間）

# 1－8　高強度・高耐水性を有するポリマー・水硬性無機質複合材料の開発と応用

桐蔭横浜大学　工学部　機能化学工学科
助教授　高　田　朋　典

## 1．本研究の背景と目的

コンクリートを含むセメント製品はその多くが土木、建築用に多量に使用されているが、それ以外の用途は未だ開発されていない。そこで安価でエネルギーコストの低いセメントあるいは石こうのような水硬性無機質材料を素材に用い、より付加価値の高いセメントおよび石こう製品を開発することは資源、エネルギー等の地球環境の面からも、人類にとって必要不可欠、かつ急務と思われる。そのためには、セメントあるいは石こう単独で使用するには限界があり、ポリマーと複合化することにより、より機能性の高い複合材料を創り出すことが解決策の一つと考えられる。今までにもポリマーとセメントを複合化し、性能を改善した報告は多数あり、実用化されたものも少なくない。しかし、そのほとんどがセメントと水および骨材等を混練する時にポリマーエマルジョンを使用したもの、あるいは硬化したのちのコンクリートにモノマーを含浸させたのち重合したもの等が中心である。

一般にセメント、モルタル、コンクリートなどのセメント製品は圧縮には強いが、引張りや曲げに対しては弱いことがよく知られている。英国ICI社のBirchallらはこの欠点を克服するために、セメントと水の混合比率を低くし、さらに混練時の流動性をたすけ、硬化後の空隙（ボイド）を低下させる目的でポリビニルアルコール（以下PVA）やポリアクリルアミドのような水溶性ポリマー、さらに少量の水を加えて二本ロールで十分に混練したのち、室温でセメントを硬化させて得た高強度ポリマー・セメント複合材料を1981年に開発した[1]。この複合材料は組織中に存在する空隙がきわめて小さく、その数も少ないことから、MDF（macro-defect-free）セメントとよばれている。アルミナセメント（以下AC）とPVAからなるMDFセメントの曲げ強度は150MPa以上を示すことが報告されている[1]。しかし、MDFセメントには水溶性のポリマーを使用しているため耐水性や耐熱性に劣るという大きな欠点がある。米国イリノイ大学のJ. F. YoungはMDFセメントについて、耐熱性や耐水性が解決されれば自動車、航空機、宇宙、電子の各材料の分野に進出が見込まれる21世紀の材料であるとまで述べている[2]。そのために、MDFセメントの成分となっている水溶性ポリマーを架橋剤などで処理し不溶化する方法などがYoungらを中心に各国の研究機関において多くの研究がなされている[3),4)]。しかし、現状では耐水性、耐熱性の向上に十分な効果が得られていない。

一般にセメントは混練時の水が少ないほど硬化後の空隙が少なくなり高強度が得られるとされている。そこで報告者らは前述の方法とは異なる新規な発想にもとづく複合材料を考案した。その中核となる技術は混練時に本質的には水が存在しない状態で、セメントに熱硬化性樹脂前駆体とアルコール溶性ポリアミドやほかの少量の添加剤を加え、二本ロールでよく練り合わせることにより空隙を減ら

した後、加熱硬化させることにある。すなわち、Scheme 1に示すように、熱硬化性樹脂駆体（ここではアルコール溶性ポリアミドを含むレゾールタイプのフェノール樹脂を用いた）の加熱硬化時に生成するわずかな量の水でセメントの表面を水和させると共に、樹脂とセメント界面の接着力を高めることにより高い曲げ強度（製造条件によっては200MPa以上）を示し、しかも、MDFセメントよりも耐水性、耐熱性にすぐれた高強度フェノール樹脂・アルミナセメント複合材料（phenol resin-alumina cement composite、以下PRAC複合材料とよぶ）を開発することに成功した[5]。それ以来、PRAC複合材料中の組成と強度の関係および組成物のモデル化合物による有機・無機化合物間のモデル反応を行い強度発現機構の解明の研究を中心に、さらに物性、耐久性等の実用化研究について展開してきた。さらに、セメント中に添加したフェノール樹脂とアルコール溶性ポリアミド間にも架橋反応が生じていること[6]。フェノールと酸アミドの存在が強度発現に大きく影響していることなどがモデル反応により確認された[6]。

また、美術工芸品、歯科用材料および石こうボード等に使用されるセッコウ製品は半水セッコウを水で硬化させて得られるが、耐水性はきわめて低く、一日間水に浸せきすると、曲げ強度は初期強度の半分以下にまで低下する。そのため、建築材料ではセッコウボード等の屋内材料に用途が限られてしまう。これまでにセッコウ製品の耐水性を向上させるためにポリマーと複合化させる研究が各国の研究機関で進められてきた。しかし、現在のところ実用化された例はオランダ技術大学のJ. Bijenらによる複合材料が知られている程度である[7]。筆者らはPRAC複合材料の研究から得た知見と技術を応用し、α型半水セッコウ、レゾルシノール、ホルマリン、メタノールおよび少量の酸の組み合わせから、セッコウ硬化体よりも曲げ強度が約40%向上し、しかも３ヶ月間室温の水に浸せきしても曲げ強度は低下せず、さらに同サンプルを乾燥させた時の曲げ強度は初期強度の30～40%向上するポリマー・セッコウ複合材料を開発した[8]。

以上のことを踏まえ、本研究ではつぎに示した各項目について検討を行ったのでその成果を報告する。

1）PRAC複合材料中の樹脂の種類と曲げ強度の関係。
2）PRAC複合材料中の添加物と曲げ強度の関係。
3）PRAC複合材料中の強度発現機構の解明。
4）セメント以外の無機物を用いたPRAC複合材料の検討。
5）高耐水性を有するポリマー・石こう複合材料の開発。
6）力学的および統計的手法による解析および応用面についての検討。

## 2．研究の方法

### 2.1　使用材料

セメントはAC（アルミナ１号、電気化学工業製)、フェノール樹脂はレゾールタイ（昭和高分子社製、ショウノールBRS-330、不揮発分約60%メタノール溶液）を用いた。メラミン樹脂は次の３タ

イプ（いずれも三井化学製)、タイプⅠ；アルコール溶性メトキシメチル化メラミン（溶媒；iPrOH/iBuOH、不揮発分88%)、タイプII；水溶性メチロール化メラミン（溶媒；$H_2O$、不揮発分65%）を82.6%に濃縮したもの、タイプIII；メチロール-イミノ残基型メトキシメチル化メラミン(溶媒；iBuOH、不揮発分82%）を用いた。アルコール溶性ポリアミドはN-メトキシメチル6-ナイロン（帝国化学産業社製、トレジンEF-30T、メトキシメチル化度30%）を、二価フェノールはカテコール、レゾルシノール、三価フェノールはピロガロール、フロログルシン、1.2.4-トリヒドロキシベンゼン（いずれも和光純薬製、特級）を用いた。尿素樹脂はジメチロール尿素（東京化成㈱製）をメタノールに溶解して用いた。代表的な使用材料の構造式をScheme 2およびScheme 5に示した。

### 2.2　PRAC複合材料の製造方法

PRAC複合材料の製造方法をScheme 3に、標準的な配合をTable 1に示す。セメントにはACを用い、これにアルコール溶性ポリアミドとしてN-メトキシメチル化6ナイロンをレゾール樹脂に溶解させた溶液、さらにグリセリンを加え、乳ばち中で十分にかくはん混合した後、2本ロールで20～30分間室温で十分に混練し原料を均一に分散させる。このときボイドの少ない厚さ1.5～2mm程度の粘土状のやわらかいシートが得られる。これを、適当な大きさに裁断し試験片を作成する(Scheme 3工程1)、必要に応じ焼成（加熱養生）する前に6MPa、80℃で35分間プレスによる予備焼成を行う（Scheme 3の工程2)。24時間以上室温で自然乾燥させた後、オーブン中で室温～200℃まで24時間かけて昇温し、さらに200℃で12時間以上焼成すると硬化し、高強度を示すPRAC複合材料が得られる。焼成後6時間以上放冷した後試料をオーブンから取り出す。

### 2.3　曲げ試験

えられた試料はJISK-6911（熱硬化プラスチック一般試験方法）にしたがい支点間距離40mm、荷重速度2mm/min.で三点曲げ試により測定した。

### 2.4　耐水性試験

サンプルを室温の水に一定期間浸せきした後、それを取り出し余分な水を拭いた後三点曲げ試験により曲げ強度を測定した。

### 2.5　モデル反応の操作

ACとフェノール類の混合物を窒素雰囲気下、24時間加熱処理したのち、過剰のフェノール類をエテールで洗浄し、除去した。得られた生成物を減圧乾燥した後、重量を測定し重量増加率を求めた。さらに、IR, DSC-TG, XRD, SEM等で解析をおこなった。代表的な操作をScheme 4に示した。

## 3．今までに得られた成果

### 3.1　PRAC複合材料中の樹脂の種類と曲げ強度の関係

PRAC複合材料中の各種熱硬化性樹脂と曲げ強度の関係について検討した。その結果ACとフェノール樹脂前駆体に少量のアルコール溶性ポリアミドを添加したPRAC複合材料（標準配合）はプレスしない場合（Scheme 3の工程1）は曲げ強度120MPa前後を示し、プレスした場合（Scheme 3の工程2）には200MPa以上を示した[5]。しかし、フェノール樹脂と共にホルムアルデヒド樹脂として分類されるメラミン樹脂前駆体を用いて作成した複合材料の曲げ強度は、タイプII；水溶性メチロール化メラミン樹脂を用いて作成した複合材料は、プレスしなかった場合には77MPa以下、プレスした場合には約110MPaの曲げ強度を示した。他のタイプのメラミン樹脂や尿素樹脂を用いた複合材料はそれ以上の高い曲げ強度は示さなかった（Table 2)。

また、セメントの種類と曲げ強度の関係をFig. 1に示した。その結果、アルミナの含有率が高いセメントを用いた複合材料ほど曲げ強度も高い傾向が見られるが、純粋のアルミナを用いた複合材料では逆に曲げ強度は低下した。ACの主成分であるモノカルシウムアルミネート（$CaO \cdot Al_2O_3$）を用いた複合材料はACを用いた複合材料と同様に曲げ強度は高い価を示した。

以上の結果からACとOH基を有するポリマーを用いた複合材料が高い曲げ強度を示すことが明らかとなった。

### 3.2　PRAC複合材料中の添加物と曲げ強度の関係

3.1に示したように、フェノール樹脂のOH基とAC間に強い相互作用が存在し、それが強度向上の大きな要因であることが示唆されている[6]。そこで、フェノール樹脂中の－OH基の効果を確認するために－OH基の多い二価および三価フェノールを標準配合のサンプルに添加した場合の曲げ強度におよぼす影響について、一価フェノールを追加した場合のサンプルと比較検討した。次にそれらの結果を示す。

#### 3.2.1　二価フェノールの添加量と曲げ強度の関係

標準配合の複合材料（Table 1）に二価フェノール（レソルシノール）およびパラホルム（レゾルシノール1モルに対して2モルの割合）を添加して成形し、Scheme 3の工程1の方法で作成した複合材料中のフェノール樹脂に対するレゾルシノールの添加量と曲げ強度の関係を調べた結果をFig. 2に示した。パラホルムを含むレゾルシノールをフェノール樹脂に対して約4％を添加すると、曲げ強度は約140MPaとなり無添加の複合材料に比較して約30％の上昇が見られたが、レゾルシノールを15％以上添加した複合材料では成形中に樹脂の硬化が進行し成形が出来ない。一方、同じ二価フェノールのカテコールを添加した複合材料の場合は無添加の複合材料と比較して強度がほとんど向上しない（Fig. 2)。メタ位置にOH基のあるレゾルシノールのほうがオルソ位置にあるカテコールよりもホルムアルデヒドとの反応性が高く架橋反応が進行しやすいことは良く知られており、そのために強

度が上昇しなかったものと考えられる。

以上の結果から、OH基の多い化合物を用いた複合材料の方が曲げ強度が向上すること、および3.1で示したようにAC以外のセメントで作成した複合材料は曲げ強度が向上しないこと、などからAC中のモノカルシウムアルミネートとフェノール樹脂中のOH基との界面で化学的な相互作用ないしは結合が形成され、強度発現に大きく寄与していることが明らかになった。また、OH基の数だけではなく架橋する速度も強度に影響することがレゾルシノールとカテコールを添加した複合材料の結果から明らかになった。

### 3.2.2　三価フェノールの添加量と曲げ強度の関係

標準配合（Table 1）のPRAC複合体に三価フェノール（ピロガロール）を2倍モルのパラホルムと共に添加したのち混練、焼成し、さらに、Scheme 3の工程1の方法で作成したサンプルの添加量と曲げ強度の関係をFig. 3に示した。さらに、他の三価フェノールであるフロログルシンや1,3,5-トリヒドロキシベンゼンを2倍モルのパラホルムと共に添加した複合材料の添加量と曲げ強度の関係をFig. 4およびFig. 5に示した。その結果、ピロガロールは7％の添加で曲げ強度が約25％上昇した。しかし、8％以上添加すると曲げ強度は低下するが無添加のものよりは高い。フロログルシンと1,2,4-トリヒドロキシベンゼンでも同様の傾向を示すが、ピロガロールが最も効果が大きく、次いでフロログルシンと1,2,4-トリヒドロキシベンゼンの順に低下する傾向を示した。また、比較のために標準配合の複合材料に一価フェノールを2倍モルのパラホルムと共に追加した場合の追加量と曲げ強度の関係をFig. 6に示した。その結果、標準配合の複合材料に一価フェノールを追加したことによる曲げ強度の上昇は確認されなかった。

以上の結果は、ACとベンゼン環中に隣接するOH基が存在するフェノールとの間に強い相互作用が存在するためであることが強く示唆された。また、OH基の位置による強度への効果も明らかになった。

### 3.2.3　PRAC複合材料とピロガロールを添加した複合材料の耐水性

標準配合の複合材料にピロガロールを添加した複合材料と無添加のPRAC複合材料を一定期間室温の水に浸せきした後の曲げ強度をFig. 7に示した。その結果、無添加のPRAC複合体と同様、ピロガロールを添加しても耐水性は低下せず、耐水性は良好であった。

### 3.3　PRAC複合材料の強度発現機構の解明

出発原料系には本質的には水は存在しないがフェノール樹脂の縮合時に生成する少量の水がセメントと水和反応して硬化したと考えられる（Scheme 1）。しかし、ここで生成する水分の量（計算値）はACが水和して完全に硬化するための最低必要量（前同）の数％に過ぎない。また、焼成後の複合材料のX線回析による分析から、AC水和物に起因する明瞭なピーク（$CAH_{10}$、$C_3AH_6$、$AH_3$など）は存在しないことが明らかになっている[9]。このことから、X線回析では検出されない程度のごく少

量の水和によってセメントの表面が硬化しているものと推定される。したがって、ほぼ無水状態での硬化挙動と、高い曲げ強度や優れた耐水性の発現は、少なくともセメント領域での水分の均等な拡散のみによっては説明しがたい。

MDFセメントの強度発現の要因は、セメントと水の混合比率を低くした結果、空隙数が少なく、しかも空隙が小さくなったためといわれている[1]。PRAC複合材料の空隙率はScheme 3の工程2で作成したサンプルの場合1％以下でありMDFセメントとほぼ同等の低い値を示す[9]。SEM観察の結果からも高い曲げ強度を示す複合材料の空隙は小さく、しかも少ないが、低い曲げ強度を示す材料はその量が多くて大きい[9]。PRAC複合材料ではMDFセメントと同様、その曲げ強度はボイドの量と大きさに左右される。

さらに、MDFセメントではセメント・ポリマー間にイオン架橋が形成され、それが強度発現に影響をあたえることも示されている[10),11]。RodgerらはMDFセメント中のセメントとポリマー間の化学的相互作用について赤外分光光度計（IR）で測定し、両者間の化学的結合を示している[10]。一方、YoungらはMDFセメントとPVAの間にイオン結合が生成することを推定している[11]。

PRAC複合材料においてもACとフェノール樹脂間の相互作用ないしは化学結合の存在を解明することを目的に、ACとフェノール樹脂のモデル化合物を用いて検討した。フェノール樹脂のモデル化合物としてオルソクレゾール二核体（Scheme 6）を合成し[12] このオルソクレゾール二核体とACの混合物を170℃で48時間加熱処理したのち過剰のオルソクレゾール二核体をメタノールで除去した。その結果、メタノール不溶の物質の重量は仕込みACに対して約30％の重量増加を示した。この重量増加はACとオルソクレゾール二核体とが付加物を生成したことによるものと考えられる。さらに、この生成物をIRで測定した結果、3300～3500$cm^{-1}$付近のオルソクレゾール二核体中のOH基の伸縮振動はほとんど消失した。他方3000$cm^{-1}$付近のオルソクレゾール二核体中のCH伸縮振動、1473$cm^{-1}$付近のC－O伸縮振などの吸収は消失していないことが確認された。さらに二価フェノール（カテコール、レゾルシノール）、三価フェノール（ピロガロール、フロログルシン、1,2,4-トリヒドロキシベンゼン）をモデル化合物として用い、Scheme 4の方法で処理したモデル反応の結果をTable 3に示した。この結果、o-クレゾール2核体と同様、全て重量増加を示した。特に三価フェノールの重量増加が大きく、溶媒を用いた温和な条件でも重量増加を示した。

二価フェノールを用いた場合の重量増加はカテコール（1,2-）、レゾルシノール（1,3-）、ハイドロキノン（1,4-）の順に重量増加が減少した。これはOH基の位置（距離）とアルミナセメントとの間の相互作用に相関性のあることを示している。強度に関しては、カテコールを添加した複合材料は増加していない（Fig. 2）ことから、OH基の位置（距離）だけでなく架橋の速度も重要な因子であることが明らかとなった。三価フェノールではピロガロールを用いた場合（Tabele 3のRun 1）では132％の重量増加があり、生成物のIR解析結果から3,400$cm^{-1}$付近の－OH伸縮振動の減少、1,600$cm^{-1}$付近のベンゼン環のC-C伸縮振動の存在が確認できた。さらに、DSC/TGからはピロガロールの融点である133℃付近の吸熱ピークが消失し463℃付近に有機物の分解を示す緩やかな発熱ピークと重量減少が確認できた。SEM観察の結果セメント表面に有機物が付着していることが観察で

きる。また、XRD観察の結果からはアルミナセメントのピークは消失せず結晶系の変化は認められなかったが、無定形生成物が出現していることが明らかとなった。

### 3.4　セメント以外の無機物を用いたPRAC複合材料の検討

3.2、3.3の結果に示したように、アルミナセメントとフェノール樹脂のOH基の間に何らかの相互作用が存在することが明らかになった。また、セメントは吸湿性を持つことから複合材料中に脱水能力の高い種々の無機物を添加した複合材料の強度への影響、およびACの主成分であるカルシウムアルミネートの各成分である酸化カルシウムと酸化アルミニウム及びカルシウムアルミネートの水和物の一種である水酸化アルミニウム、さらにアルミニウム以外の三価の金属化合物である酸化インジウムと水酸化インジウムを用いた複合材料の強度、耐水性に及ぼす効果について検討することを目的に行った。複合材料の製造はScheme 3の工程に従ったおこなった。

セメント以外の脱水剤系無機物（塩化カルシウム、硫酸銅および酸化カルシウム）のアルミナセメントと無機物の割合と曲げ強度の関係を検討した結果、これらの無機物は添加量の増加と共に強度は急激に下降しサンプルの作成が不可能となった。酸化カルシウムの場合、ACに対し１％の添加で曲げ強度は約30％低下した。硫酸マグネシウムでは３％（同）の添加で曲げ強度は約18％、塩化カルシウム（無水）では５％（同）の添加で曲げ強度が82％低下し、それ以上の添加量では複合材料が作成できなかった硫酸銅（一水塩）ではACに対して添加量が15％まで複合材料を作成することは可能であったが、曲げ強度は無添加の複合材料よりも約27％低下した。次に、セメント以外の三価の金属化合物（酸化アルミニウム、水酸化アルミニウム、さらにアルミニウム以外の三価の金属化合物である酸化インジウム、水酸化インジウム）の曲げ強度に及ぼす効果について調べた結果、これらのの化合物では強度の急激な低下を示さず、サンプルも100％まで、つまりアルミナセメントが全く存在しない状態で作成できたものもある。$Al_2O_3$を用いた複合材料はACに対して50％を添加したとき曲げ強度がACのみの複合材料に比較して約15％上昇した。また、水酸化インジウムを10％添加した複合材料は、ACのみで作成した複合材料よりも曲げ強度が約10％向上した。

標準配合で作成した複合材料に$Al_2O_3$を50％添加した複合材料および$Al(OH)_3$を50％を添加した複合材料の走査型電子顕微鏡で観察した結果$Al_2O_3$は粒子が細かいため空隙に入り込みボイドが減少したことが強度が増加した原因であると考えられる。しかし、粒子の細かいシリカヒュームを添加した複合材料では強度は向上しない。

脱水性の高い無機物は添加量の増加と共に強度は急激に下降しサンプルの作成も困難となった。このことからセメントの吸湿性（脱水性）が強度発現に直接関与していないと推測される。

以上の結果から三価の化合物とフェノール樹脂との複合材料は高い曲げ強度と耐水性を示すが、無機化合物の脱水性には関与していないことから、OH基と三価の金属化合物の間に強い相互作用が存在し、そのことが強度発現に寄与していることが示唆された。

### 3.5　高耐水性を有するポリマー・石こうの複合材料の開発

最近、筆者らはPRAC複合材料の技術を石こうの分野に応用し、通常の石こう硬化体よりも曲げ強度が高く、かつ耐水性にすぐれたポリマー・石こう複合材料を開発した。このポリマー・石こう複合の製造工程をScheme 7に示した。

α型半水石こうにレゾルシノール、ホルマリン、メタノールさらに触媒として少量の塩酸を加えステンレス製の型枠に流し込む。一日間室温で放置した後、離型し、70℃で24時間焼成したのち、直ちに曲げ強度を測定する（初期強度)。同じサンプルを室温の水に浸せき後再び曲げ強度を測定する(耐水強度)。さらに、同サンプルを乾燥させた後三度曲げ強度を測定する（回復強度)。標準的な配合における酸の種類と初期強度の関係をTable 4に示した。

酸の種類およびメタノールの添加による強度、耐水性の影響をFig. 8に示した。その結果、強酸を添加した複合材料は弱酸を添加した複合材料よりも初期強度が高くなった。この理由として、樹脂化の速度が増し曲げ強度が弱酸よりも高くなったことが考えられる。

α型半水石こう、ホルマリン、メタノールおよび少量の酸の組み合わせで曲げ強度が通常の石こう硬化体の40～50％向上し、一日間水に浸せき後の曲げ強度は初期強度の70～80％を維持し、長期間水に浸せきすると、耐水性は日数の経過と共に徐々に上昇した。三ヵ月間水に浸せき後の曲げ強度は初期強度と同程度にまで回復する。この試料を乾燥させた後の曲げ強度は初期強度の40％以上も向上した（Fig. 9)。

耐水性の向上はメタノールの添加により石こうの硬化速度が遅くなり複合材料中の残留半水石こうが多くなる。水に浸せき後はゆっくり２水石こうに変化するため結晶も大きく成長し、かつ体積が膨張する。そのために複合材料中のすき間が減少し乾燥後の強度が向上したものと考えられる。このメカニズムをScheme 8に示した。メラミン樹脂等を用いた複合材料はある程度の強度は示すものの耐水性に劣る。また、尿素樹脂を用いた複合材料は強度、耐水性ともに劣ることがわかった。このことは樹脂の耐水性に左右されていることが考えられる。

### 3.6　破壊力学による解析および応用面についての検討

１年間にわたる水中浸せき（20℃）および屋外暴露後のPRACの曲げ強度の低下はそれぞれわずか９％および６％に過ぎず、その弾性率はいずれの条件後においてもほとんど変化しない。また、60℃の水中に一週間浸せきした後には初期強度の90％、同条件80℃でもその70％を維持する。また、20℃の水中に２週間浸せきした後に80℃で24時間乾燥処理（immunization）したサンプルではその耐水性はさらに向上する[11]。この効果はimmunizationによってACが準安定な$CAH_{10}$を経て、安定な$C_3AH_6$および$AH_3$に変化するためと説明される。

このようにすぐれた耐久性、耐水性は、アルミナやシリカとフェノール樹脂前駆体を原料組成物とする複合材料や、ACと水溶性フェノール樹脂前駆体との組成物からの複合材料では見られないPRAC複合材料に特有な性質である。この相違は、これらの複合材料についての破壊表面エネルギーの比較データにも反映されている。

また、PRACの荷重・ひずみ曲線はほぼ完全な直線関係を示し、この材料が典型的な脆性材料であることを裏付けている。PRAC複合材とMDFセメントの基本的諸物性についてTable 5に、PRAC複合材料と木材、アルミ、FRPとの比較をTable 6に示した。

また、PRAC複合材料の破壊靭性値の測定およびワイブル係数を測定し強度発現機構を破壊力学、および統計的手法による解析も行った。その結果、多価フェノールを添加した複合材料は無添加のものよりワイブル係数が大きくなった。このことは、材料中に存在する欠陥が少なくなり、その結果曲げ強度が上昇したことを示唆している。多価フェノールを添加した複合材料および無添加の複合材料はいずれもワイブル分布に従い、ワイブル係数も15前後と、セラミックスと同様の傾向を示すことも明らかになった。さらに、ポリマー・石こう複合材料についても同様の解析を行っているが、詳細については今後さらに継続して研究を遂行する。

上記二つの応用面に関しては、現在横浜市工業技術支援センター、および神奈川県産業技術センターの支援で共同研究企業を探している段階である。今後は建築材料に限らず、広い分野での用途開発を推進する予定である。石こう複合材料では高い曲げ強度を示すだけでなく、石こうの水中での安定化についても検討する。

## 4．まとめ

本研究で得られた成果は単に高い曲げ強度および耐水性、耐熱性を有するポリマー・セメントおよびポリマー・石こう複合材料を開発したのみでなく、有機化合物と無機化合物の関わりについて興味ある知見を得たこと。および、強度発現のメカニズム解明の過程で、セメントおよびその構成成分と有機化合物から極めて興味ある現象を発見したことである。このことは、今後、有機、無機複合材料の新たな展開が期待できる。

また、有機化合物と無機化合物のモデル反応の過程、とくにカテコール、o-クレゾール二核体とCaOの反応からフェノール樹脂の硬化がメチレン結合だけでなく漆の硬化と同じ機構で進行することを示唆する等、たいへん興味ある知見を得た。

上記の成果に対してセメント協会より、平成９年度「セメント協会論文賞」を受賞した。

また、本研究を遂行するにあたりトステム建材産業振興財団より多大な助成金による御援助をいただきましたことにつきまして感謝および御礼を申し上げます。

## 文献

1）J. D. Birchall, A. J. Howard, K. Kendall, Nature, 289, 388 (1981).

2）J. F. Young, MRS. Bull. 3, 3 (1993).

3）J. F. Young, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 179, 101 (1991).

4）たとえば、a）吉田考三郎、五十嵐秀明、Gypsum & Lime, No. 231, 50 (1991). b）N. Kataoka, H. Igarashi, "Proc. MRS. Intern. Meet. Adv. Mater.", 13, 195 (1989).
5）a）M. Hasegawa, T. Kobayashi, G. K. D. Pushpalal. Cement and Concrete Res., 25, 1191 (1995). b）M. Hasegawa, N. Maeda, T. Kobayashi, G. K. D. Pushpalal "MRS-Jpn. Annual Symposium 1-P5", (1993). c）M. Hasegawa, T. Takata, K. Saito, Y. Kitajima, T. Kobayashi, G. K. D. Pushpalal, "MRS-Jpn. Annual Symposium 1-P6", (1993). d）N. Maeda, M. Hasegawa, T. Kobayashi, G. K. D. Pushpalal, T. Kawano, "Proceedings of the First East Asia Symposium on Polymers in Concrete", (1994) p. 131. e）M/Hasegawa, T, Tanaka, "Proceedings, MAETA Workshop on High Flexual Polymer-Cement Composite" (1996) p. 13.
6）高田朋典、G. K. D. プシュパラール、長谷川正木、前田直巳、小林忠司、セメント・コンクリート論文集、49, 892 (1995)。
7）J. Bijen, C. Van Der Plas, Materials and Structures, 95, 107 (1992)
8）a）T. Takata, S. Kishi, Q. Huang, M. Hasegawa, "The 4th IUMRS Internat. Conf. Symp. "D2, 13 (1997). b）S. Kishi, T. Tanaka, Q. Huang, A. Ogai, M. Hasegawa, "5th Pacific Polymer Conf.", S-2 (1997). c）高田朋典、岸　悟史、黄　謙、長谷川正木、第46回高分子討論会要旨、3Pc099 (1997).
9）高田朋典、玉木智生、長谷川正木、斎藤　潔、北島　裕、河野俊夫、小林忠司、G. K. D. プシュパラール、桐蔭論叢、1, 820 (1994)。
10) S. A. Rodger, S. A. Brooks, W. Sinclair, G. W. Grovers, D. D. Double, J. Mater. Sci., 20, 2853 (1985).
11) J. F. Young, M. Berg, Mater Res Soc. Symp. Proc, 271, 609 (1992).
12) G. Casiraghi, G. Casnati, A. Pochini, G. Puglia, R. Ungaro, G. Sartori, Synthesis, 2, 143 (1981).

## 研究発表の実績及び予定

(1) 学会誌および雑誌掲載

1．高田朋典、G. K. D. プシュパラール、長谷川正木、前田直巳、小林忠司、黄　謙、「高強度ポリマー・セメント複合材料における樹脂および添加剤の効果」セメントコンクリート論文集、50, 762-767 (1996)
2．G. K. D. Pushpalal, T. Kobayashi and M. Hasegawa "High Alumina Cement-Phenol Resin Composite: Water Resistivity and Effect of Post Hydrat ion of Unreacted Cement on Durability, Jounal of Cement and Concrete Research, 27(9), 1393-1405 (1997)
3．G. K. D. Pushpalal, T. Kawano, N. T. Kobayashi and M. Hasegawa "Chemical

Characterization of Calcium Aluminate-Phenol Resin Commpsite" Journal of Adavanced Cement Based Materials, 6, 45-52 (1997)

4. T. Takata, M. Hasegawa and G. K. D. Pushpalal "Influence of Polymer Species and Additives on High-Strength Polymer-Cement Composite" Polymer in Concrete, 2, 503-510 (1997)
5. G. K. D. Pushpalal, T. Kawano, T. Kobayashi and S. Miura, "Durability of High Flexural Strength Alumina Cement-Phenol Resin" Polymer in Concrete, 2, 437-446 (1997)
6. 高田朋典、長谷川正木「有機ポリマーを利用した高強度セメント複合材料」無機マテリアル. 5, 573-579 (1998)
7. 長谷川正木、高田朋典、黄　謙、石膏フェノール系複合材料、セラミックデータブック'98、工業と製品、(工業製品技術協会) ; vol. 26, No. 80, p. 289～291 (1998)

**(2) 口頭発表**

国際会議発表

1. M. Hasegawa, G. K. D. Pushpalal and T. Takata, "High Strength Phenol Resin-Cement Composite, Part 1: Chemistry" Proceedings of MAETA Work shop on High Flexural Polymer-Cement Composite, Sakata, Japan (Oct., 1996)
2. G. K. D. Pushpalal, N. Maeda, T. Kawano, T. Kobayashi, S. Miura, M. Hasegawa and T. Takata, "Durability of High Flexural Strength Alumina Cement-Phenol Resin Composite" The Second East Asia Symposium on Polymers in Concrete, Koriyama, Japan (May. 1997).
3. G. K. D. Pushpalal, N. Maeda, T. Kawano, T. Kobayashi and M. Hasegawa, "The Efficacy of Calcium Aluminates in Producing High Flexural Strength Polymer Composite" 10th International Congress on the Chemistry of Cement, Gothenburg, Sweden (June, 1997)
4. T. Tanaka, M. Hasegawa and G. K. D. Pushpalal, "Influence of Polymer Species and Additives on High-Strength Polymer-Cement Composite" The Second East Asia Symposium on Polymers in Concrete (II-EASPIC), Koriyama, Japan (May, 11-13, 1997)
5. T. Takata, Q. Huang, M. Kuwano, S. Kishi, M. Hasegawa and T. Takata, and T. Kobayashi, "Influence of Additives on the Properties of News High Flexural Strength Polymer Cement Composite" Abstrct of IUMR-ICA-97. Chiba, Japan (September, 16-18, 1997)
6. T. Takata, S. Kishi, Q. Huang, A. Ogai and M. Hasegawa, "Highly Water-Resistent Polymer Gypsum Composite" Abstrc of IUMR-ICA-97, p183, Chiba, Japan (September, 16-18, 1997)

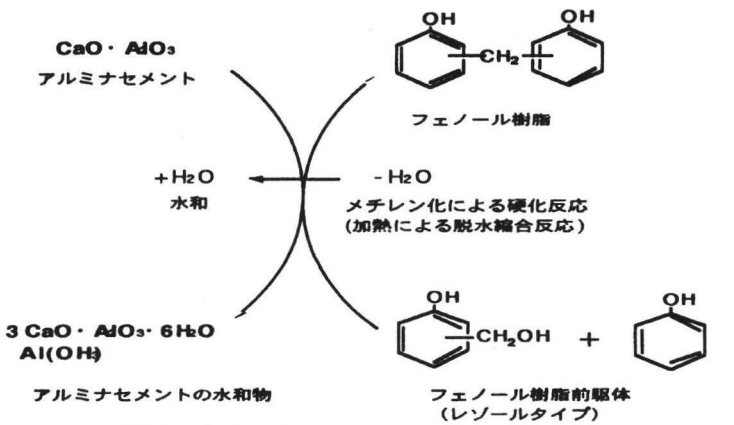
7. T. Takata, Q. Huang, M. Kuwano and M. Hasegawa, "Effect of Diphenolic Compounds on High Strength Polymer-Cement Composite" 5th Pacific Polymer Conference, Kyongju, Korea (Oct., 26-30, 1997)
8. S. Kishi, T. Tanaka, Q. Huang, A. Ogai and M. Hasegawa, "Development of Highly Water-Resistant Polymer-Gypsum Composite, "5th Pacific Polymer Conference, Kyongju, Korea (Oct., 26-30, 1997)
9. Tomonori Takata, Satoshi Kishi, Satoru Tamaki and Masaki Hasegawa, Mechanizum of Enhanced Strength of Phenol Resin/Alumina Cement Composite, Polymer' 98, Abstract Book pp. 329～331 (Poster 43), Brighton, UK, 9 September, 1998.

## 国内発表

1. Takata, T., Huang, Q., Hasegawa. M., Maeda, N., Kobayashi, T. and G. K. D. Pushpalal "Preparation and ptoperties of melamine resin/cement composite material" MRS-Japan, Chiba (May, 1996)
2. 高田朋典、G. K. D. プシュパラール、長谷川正木、前田直巳、小林忠司、黄　謙、「高強度ポリマー・セメント複合材料における樹脂および添加剤の効果」第50回セメント技術大会、東京 (1996. 5)
3. 高田朋典、黄　謙、長谷川正木、前田直巳、小林忠司、G. K. D. プシュパラール、「高強度ポリマー／セメント複合材の曲げ強度におよぼすポリマーの種類および添加剤の影響」第45回高分子討論会、広島 (1996. 10)
4. 高田朋典、G. K. D. プシュパラール、長谷川正木、前田直巳、小林忠司、黄　謙、「高強度ポリマー・セメント複合材料における２価フェノールの影響」日本セラミックス協会第９回秋季シンポジウム、金沢 (1996. 10)
5. 高田朋典、黄　謙、長谷川正木、小林忠司、G. K. D. プシュパラール、「ポリマー／セメント複合材料におけるポリマーの種類と曲げ強度の関係」日本化学会、第72春季年会、東京 (1997. 3)
6. 高田朋典、黄　謙、桑野正彦、長谷川正木、小林忠司、G. K. D. プシュパラール、「新規高強度ポリマー・セメント複合材の性能におよぼす諸因子について」第46回高分子年次大会、東京 (1997. 4)
7. 高田朋典、岸　悟史、長谷川正木、黄　謙、「高強度ポリマー・セメント複合材料の開発」神奈川県産学交流研究発表会、海老名 (1997.10)
8. 高田朋典、岸　悟史、黄　謙、長谷川正木、「高強度・高耐水性ポリマー・石こう複合材料の開発」第46回高分子討論会、名古屋 (1997.10)
9. 佐伯修平、岸　悟史、石原久美子、高田朋典、長谷川正木、黄　謙、「高強度・高耐水性ポリマー・石こう複合材料の開発」MRS-J第９回学術　シンポジウム、川崎 (1997.12)

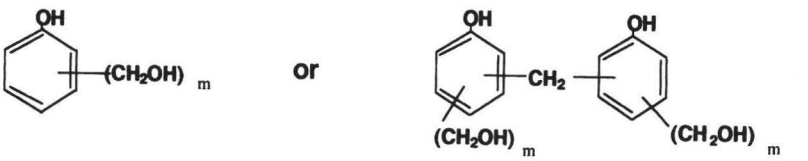
10. 石原久美子、岸　悟史、佐伯修平、高田朋典、長谷川正木、「高強度ポリマー・セメント複合材料中の組成物の影響」MRS-J第９回学術　シンポジウム、川崎（1997.12）
11. 高田朋典、玉置　暁、岸　悟史、長谷川正木、「高耐水性ポリマー・セッコウ複合材料」日本化学会第75秋季年会、愛媛大学、松山（講演予稿集p. 305)、(1998.9)
12. 高田朋典、玉置　暁、岸　悟史、長谷川正木、「高強度フェノール樹脂・アルミナセメント複合材料の強度発現機構」高分子学会第47回高分子討論会、名古屋国際会議場、愛知（予稿集47、pp. 2583)、(1998.10)
13. 高田朋典、鹿島田　聡、玉置　暁、長谷川正木、「高強度フェノール樹脂・アルミナセメント複合材料の強度発現機構」MRS-J　第10回年次総会・学術シンポジウム、川崎KSP（要旨集P. 13)、(1998.12)
14. 高田朋典、岩井宏太、玉置　暁、長谷川正木、「高耐水性ポリマー・セッコウ複合材料」MRS-J第10回年次総会・学術シンポジウム、川崎KSP（要旨集p.11)、(1998.12)
15. 高田朋典、「新規有機・無機複合材料の開発と応用」神奈川県産学公交流研究発表会、神奈川県産業技術総合研究所、海老名（1998.10）

他

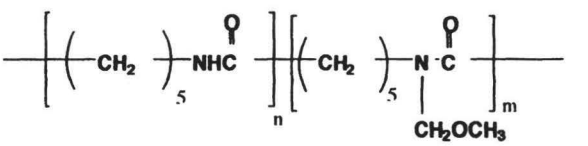



■Scheme 1　推定される水和反応メカニズム

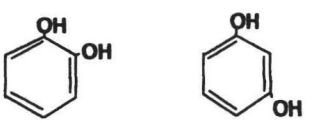
1. フェノール樹脂（レゾールタイプ）
60%メタノール溶液



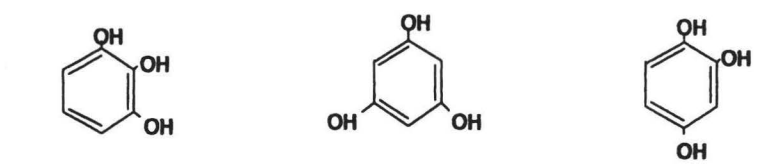

2. アルコール溶性ポリアミド
(N-Methoxymethyl-6-nylon)



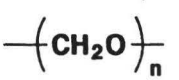
3. 多価フェノール
3-1　2価フェノール




3-2　3価フェノール



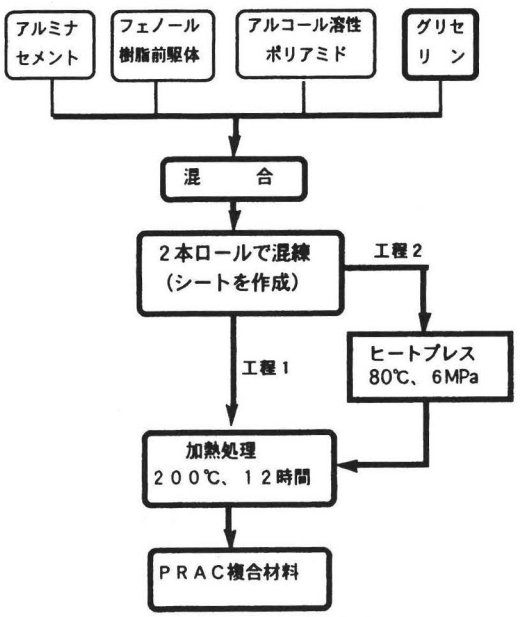

4.　パラホルム



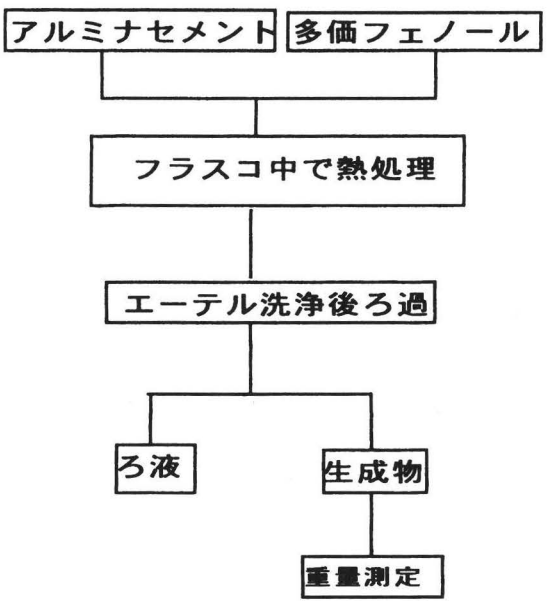
■Scheme 2　本研究に用いた主な材料の構造式

| 構成成分 | 配合比(部) | 重量(%) |
|---|---|---|
| アルミナセメント(AC) | 100.0 | 79.8 |
| フェノール樹脂 | 13.06 | 10.4 |
| 溶媒（メタノールなど） | 8.24 | 6.6 |
| アルコール溶性ポリアミド | 1.7 | 1.4 |
| グリセリン | 2.3 | 1.8 |

■Table 1　PRAC複合材料の標準配合




■Scheme 3　出発組成物からPRAC複合材料までの製造工程

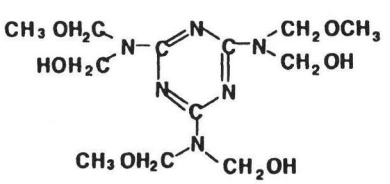



■Scheme 4　アルミナセメントと多価フェノールのモデル実験の操作

| Run | Starting Composition /g | | | | Curing condition | Flexural strength |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cement g | Melamine Resin Type / g | Polyamide [a] g | Glycerol g | ℃/h | MPa |
| 1 | AC / 100 | Type I / 16.0 | 2.0 | | 180/3 | 56.6 |
| 2 | AC / 100 | Type II / 17.0 | 1.8 | 2.4 | 180/3[b] | 109.4 |
| 3 | AC / 100 | Type II / 17.0 | 1.8 | 2.4 | 180/3 | 76.7 |
| 4 | AC / 100 | Type III / 17.0 | 1.8 | 2.4 | 180/3 | 60.6 |

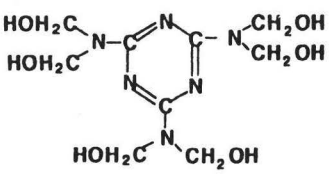
a) N-methoxymethyl 6-nylon
b) Heat pressed under 2 MPa at 154℃ for 10 min., then under 12 MPa at 154℃ for 10 min. followed by heat curing at 180℃ for 3 h.

■Table 2　構造の異なるメラミン樹脂を用いた複合材料の焼成条件および曲げ強度の関係



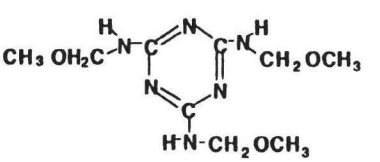

Type I Methoxymethyl-methylol type

(88.0% solution in iPrOH/iBuOH)




Type II Methylol type

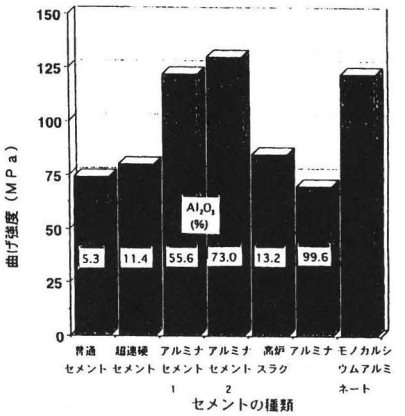
(82.6 % aqueous solution)



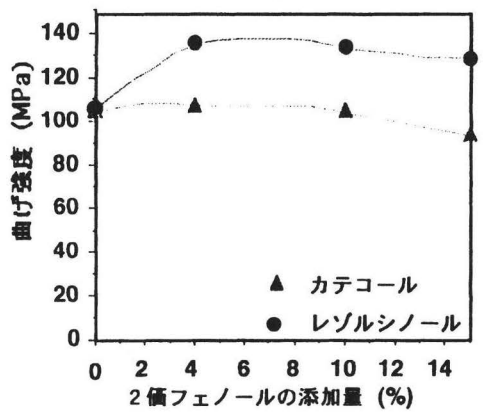

Type III Methoxymethyl-imino type

(82 .0% solution in I-BuOH)

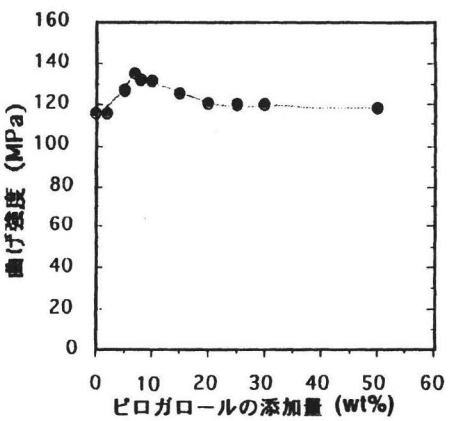
■Scheme 5　各種メラミン樹脂の構造式



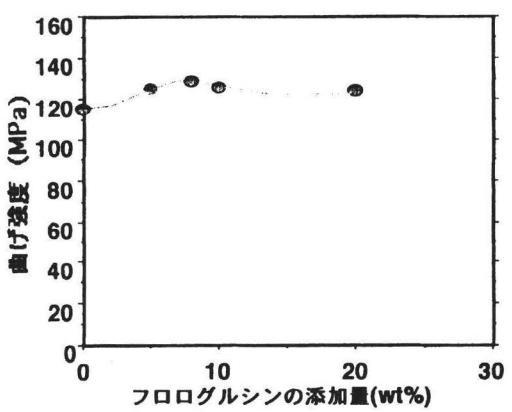

■Fig.1　曲げ強度に及ぼすセメントの種類の影響



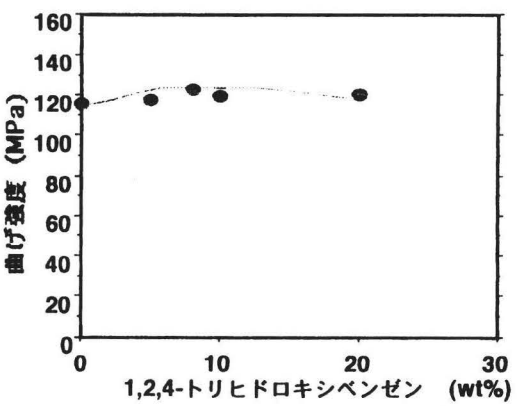

■Fig.2　2価フェノールの添加量と曲げ強度の関係



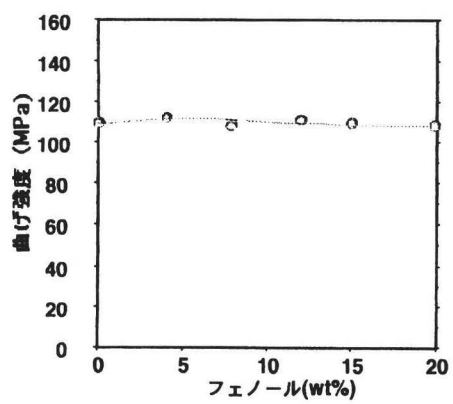

■Fig.3　3価フェノールの添加量と曲げ強度の関係



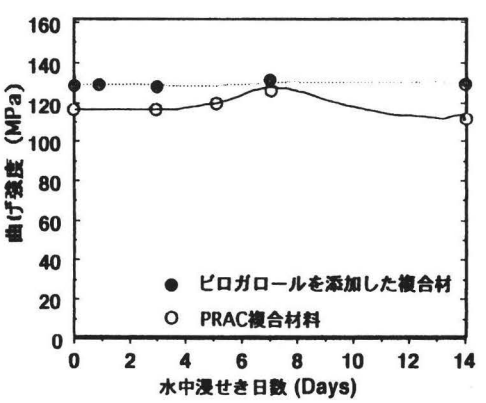

■Fig.4　フロログルシンの添加量と曲げ強度の関係



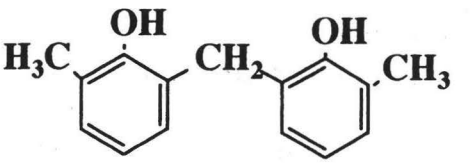

■Fig.5　1,2,4-トリヒドロキシベンゼンの添加量と曲げ強度の関係




■Fig.6　フェノールの添加量と曲げ強度の関係



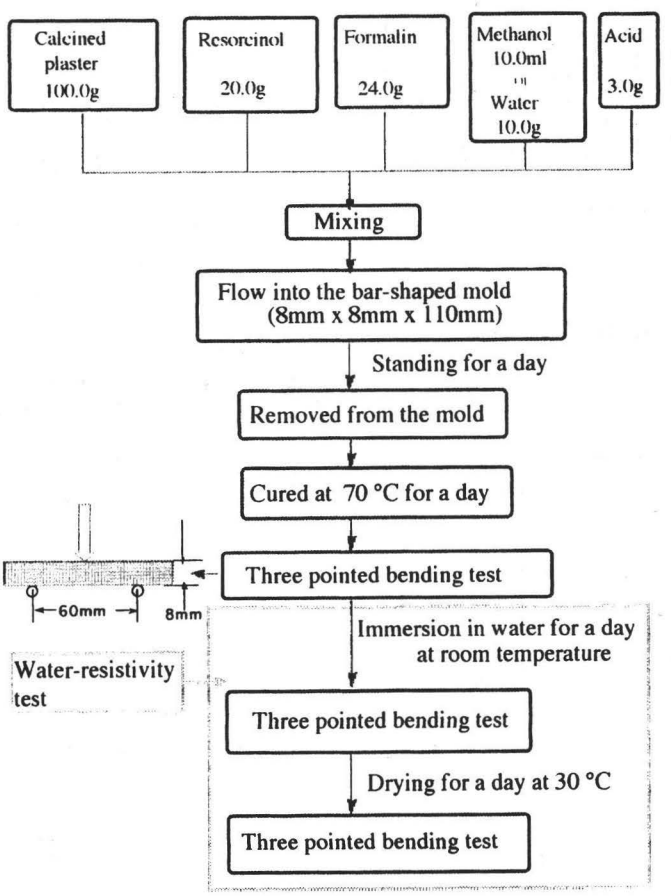

■Fig.7　PRAC複合材料およびピロガロールを添加した複合材料の水中浸せき日数と曲げ強度の関係




■Scheme 6　o-クレゾール二核体

| Rnn | Materials | | | | | | Condition | | | Results | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | AC | Pirogallol | phloroglusinol | Catechol | Resorcinol | Hydroquinone | Temp. | Time | Solvent | Yield | Weight Change |
| | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (g) | (℃) | (hr) | | (g) | (wt%) |
| 1 | 5.00 | 11.24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180 | 18 | —— | 11.6 | 132 |
| 2 | 5.00 | 11.24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 120 | 18 | Xylene | 10.7 | 114 |
| 3 | 5.00 | 11.24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 105 | 18 | Dioxane | 5.20 | 4.0 |
| 4 | 5.00 | 0 | 11.24 | 0 | 0 | 0 | 180 | 18 | —— | 10.1 | 102 |
| 5 | 5.00 | 0 | 0 | 10.00 | 0 | 0 | 180 | 24 | —— | 5.68 | 13.6 |
| 6 | 5.00 | 0 | 0 | 0 | 10.00 | 0 | 180 | 24 | —— | 5.60 | 12.0 |
| 7 | 5.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.00 | 180 | 24 | —— | 5.11 | 2.2 |

■Table 3　アルミナセメントと多価フェノールのモデル反応の結果

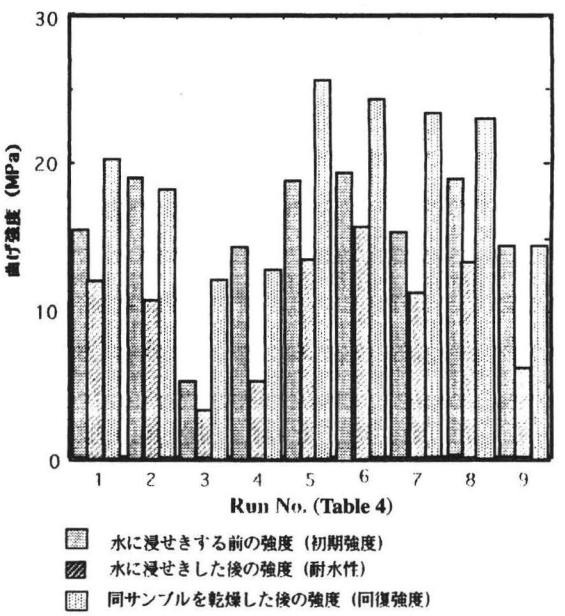



■Scheme 7　ポリマー・石こう複合材料の製造工程

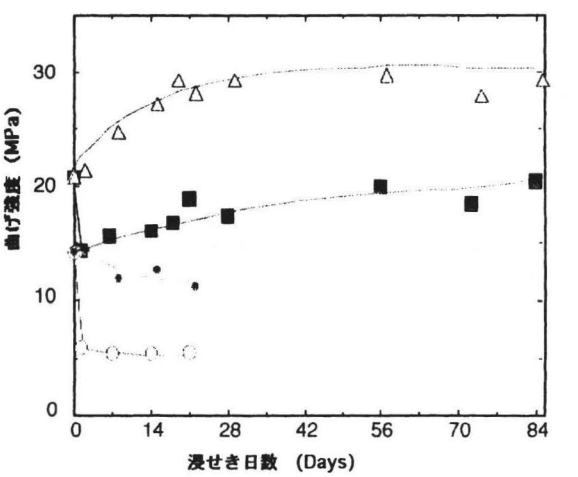
| Run | Composition | | | | | | Curing | Initial Flexural |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Gypsum[a)] g | Resorcinol g | Formaline g | Methanol ml | Water g | Acid ml | Condition °C/h | Strength MPa |
| 1 | 100 | 20.0 | 24.0 | 10.0 | 0.0 | 3.0[b)] | 70/24 | 15.4 |
| 2 | 100 | 20.0 | 24.0 | 0.0 | 10.0 | 3.0[b)] | 70/24 | 18.8 |
| 3 | 100 | 20.0 | 24.0 | 10.0 | 0.0 | 3.0[c)] | 70/24 | 5.37 |
| 4 | 100 | 20.0 | 24.0 | 0.0 | 10.0 | 3.0[c)] | 70/24 | 14.3 |
| 5 | 100 | 20.0 | 24.0 | 10.0 | 0.0 | 3.0[d)] | 70/24 | 18.8 |
| 6 | 100 | 20.0 | 24.0 | 0.0 | 10.0 | 3.0[d)] | 70/24 | 19.4 |
| 7 | 100 | 20.0 | 24.0 | 10.0 | 0.0 | 3.0[e)] | 70/24 | 15.2 |
| 8 | 100 | 20.0 | 24.0 | 0.0 | 10.0 | 3.0[e)] | 70/24 | 18.6 |
| 9 | 100 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 30.0 | 0.0 | R.T/48 | 14.2 |

a) α-Type calcined gypsum　　b) Aqueous 1N-Oxalic acid solution
c) 1N-Acetic acid　　d) 1N-Hydrochloric acid　　e) 1N-Sulfuric acid

■Table 4　石こうおよびポリマー・石こう複合材料の組成、焼成条件および初期強度




■Fig 8　ポリマー・石こう複合材料の酸の種類と強度、耐水性の関係



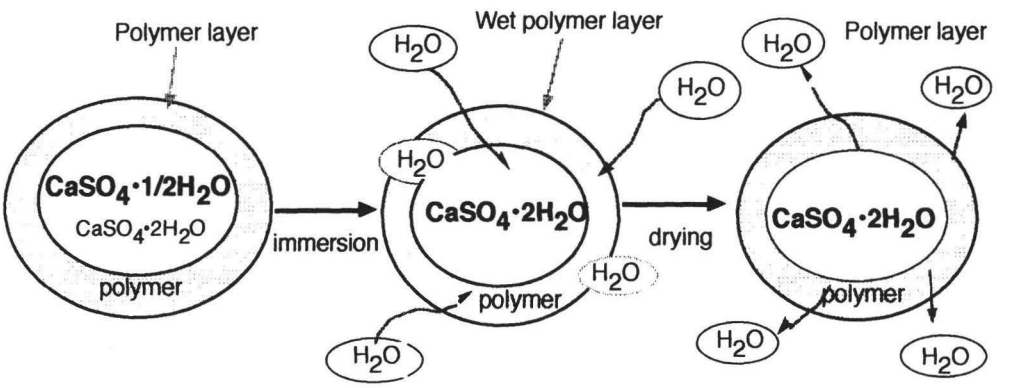

■Fig.9　ポリマー・石こう複合材料および石こうの耐水性および30℃24時間乾燥後の曲げ強度

| | | MDFセメント | PRAC複合材料 | |
|---|---|---|---|---|
| 曲げ強度/MPa | | 150−200 | 120, 200 | |
| 引張り強度/MPa | | | 54 | |
| 圧縮強度/MPa | | 300 | 300 | |
| 弾性率/GPa | | 50 | 30, | 39 |
| 気孔率/% | | <1 | 1.5, | <1 |
| 製造工程 | 方法 | ロールミル混練加熱加圧 | ロールミル混練 | ロールミル混練加熱加圧 |
| | 圧力/MPa | 5 | | 6 |
| | 温度/℃ | 80 | | 65−80 |
| | 加熱処理条件 | | 200℃・12時間以上 | |

■Table 5　MDFセメントとPRAC複合材料の基本物性比較

| 物性 | PRAC | 木材 | アルミニウム | FRP |
|---|---|---|---|---|
| 密　　度 ($g \cdot cm^{-3}$) | 2.2 | 0.38 | 2.69 | >1.41 |
| 曲げ強度 (MPa) | 120-220 | 66 | 150 | 220 |
| 引張強度 (MPa) | 54-100 | - | 47-120 | 130 |
| 圧縮強度 (MPa) | 約300 | 34 | - | 290 |
| 曲げ弾性率 (GPa) | 30-45 | 8 | 70 | 10 |
| 吸水率 (%) | <0.5 (水中２８日浸せき) | - | - | - |
| 熱膨張率 ($\times 10^{-6} \cdot ℃^{-1}$) | 17.8 | - | 23.9 | - |
| 熱伝導率 ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) | 0.8 | - | 222 | - |
| 体積抵抗率 (　・cm) | $10^{13}$-$10^{14}$ | - | $10^{-6}$ | - |
| 安全使用温度 (℃) | 110-150 | - | - | - |

■Table 6　PRAC複合材料と他材料の物性比較




■Scheme 8　ポリマー・石こう複合材料の強度および耐水性発現について想定されるメカニズム

# 1—9　ハウスエクステリアにおける ウッドデッキの温熱環境調節効果

東京大学大学院　農学生命科学研究科
生物材料科学専攻
助教授　信　田　　聡

## 1．研究の背景と目的

近年、都市部では局地的に温暖な気候を示すヒートアイランド現象がおきている。この現象は建物外部での快適な活動や、快適な室内環境の形成の阻害、さらには省エネルギーのマイナス要因としてはたらき日本だけでなく、世界の大都市で問題となっている。

この現象の原因としては地表面改変による自然熱バランスの悪化と、都市で使うエネルギーの結果である人工廃熱の存在に大別される。自然熱バランスの悪化とは、主に緑の減少、土の面積の減少、コンクリートスラブの蓄熱の持ち越し等があげられ、人工廃熱とは主に自動車、工場の廃熱、生活による電力消費等が考えられる。

現在、この現象を防ぐ方法が各国で考案されているが、最近では原因としてRC造建物が熱を蓄積し、次第に蓄熱量を増加していく事が注目を集めており、環境工学の分野では、建物等の熱容量の大きい屋上、壁面等に、日中直接日射を当てないといった方法で、この問題に取り組んでいる。

日射を遮蔽することは、建物の蓄熱量を軽減できる事と、人工廃熱の大きな因子である夏期の冷房負担の軽減ができるという事で、ヒートアイランド現象の緩和に取り組む国では特に注目されている。この具体的方法として、現在主流となっているのが、RC造建物の屋上で、視覚的効果も合わせ、芝の植栽をする試みである。

芝の屋上植栽による熱環境の緩和効果は、主に土の含む水分の気化熱による効果と、土の断熱性による効果によるもので、実際屋上に芝を設置することで、室内環境の改善、省エネルギーに効果をもたらした研究報告もある[1)]。

しかしこれらの効果を期待して芝を実際に屋上で植栽するとなると、屋上の防水性と共に、屋上が土の重さによる長期的な負荷に耐えられるかといった問題や、もちろん、芝刈りや、水撒き、肥料をやるといったメンテナンスをする問題もでてきて、実行するのに難しい面もある。

本実験では、そういった屋上での芝の植栽に代わり、ウッドデッキの設置を提案する。ウッドデッキは材料に木材を使用した、簀の子状のものである。ウッドデッキは木材が、他材料と比べて断熱性が大きく、熱容量が小さい特徴を持つことと、その形状から、日光を建物から離れたところで受ける事ができ、通気のある事で下部を低温に保つ効果が高いといった特徴がある。

しかしながら、現在、ウッドデッキを設置することで熱環境の緩和に取り組んだ研究は非常に少ない。本実験では、ウッドデッキの熱環境緩和効果について検討することとする。

## 2．屋上での温熱環境測定実験

### 2.1　方法

(1) 試験体と設置状況

東京大学農学部５号館（RC５階建て）の屋上のコンクリートの上にウッドデッキ、天然芝を設置し（対照としてコンクリートスラブそのままのものも測定)、各試料の内部、下部の熱環境を温度については熱電対で、熱の流れをヒートセンサー、各部の湿度を湿度センサーで測り、また、日照の有無の確認のため、日照センサーで日射量を測った。

ウッドデッキの材料には杉の板目板（長さ650mm、幅120mm、厚さ41mm、重さ1744g、密度0.53g/cm$^3$、含水率57%、以上すべて平均値）を用い、図１の様に作成した。接合にはスクリュー釘（NAS釘，sus-304）を用い、図２の様に９枚並べた。芝は高麗芝を用いた。２m角、高さ９cmの枠組み（スギ材２×４）の中に、水はけ材としてパーライトを敷き詰め、その上に軽量土を敷き芝をのせた（図３参照)。コンクリート表面＝屋上のスラブである。

設置の具体的な状況を図４、５、６、７、８、９、10、11に示した。図４は測定の全体像、図５はウッドデッキ表面に取り付けた熱電対、ヒートセンサーの設置状況、図６は芝表面の温度、通過熱量を測定するため設置した熱電対、ヒートセンサーである。図７、８、９は各試験体における各センサーの設置位置を示した。図10、11は試験体側面に無機系サイディングを直立させ、その面への照り返しを測定するために設置した熱電対、ヒートセンサーの位置を示した。

### 2.2　結果と考察

(1) ウッドデッキ、芝、屋上スラブ（上になにもない状態）の表面温度

図12、13、14に８月、10月、１月の表面温度を示した。それぞれ、夏、秋、冬の季節の一週間の熱の動きを追ったものである。なお測定期間の天気、気温は表１に示した。この結果から、気温、日射量の減少に伴い、各試料表面のとる温度域も低くなるのが分かる。ウッドデッキは最も温度が変化しやすく、昼間は温度が上昇し、夜間には気温より減少する。芝表面の温度の日変動は試験体中で最も小さい。特徴的なのは降雨時、降雨後の動きである。８月５日、８月６日、８月７日にはそれぞれ軽い俄雨が降ったが、デッキ表面、スラブ表面の温度が下がるのに対し、芝では温度の低下が見られない。一方、10月18日の雨の場合にはどの試料も気温とほぼ等しい値となっており、芝の温度に特徴的な動きはない。雨の量が少ない（８月５、６、７日）と、雨は芝の下にある土に即座に吸われ、水分の気化熱による表面温度低下が少ない。逆に、雨の量が多い（10月18日）と、水は木枠の中一杯になり、芝の表面まで水浸しになる。このため芝表面からもデッキ表面、スラブ表面と同じように気化熱の放出がなされ、芝表面の温度も低下したと思われる。

最後に、屋上のスラブ表面の温度の動きは、どの測定期間においてもデッキに比べ、若干昼間の温度上昇が少ない。しかし、ウッドデッキ、芝に比べ、昼から夜間にかけての温度低下の速度が遅く、８月15日等は夜間も気温より高い温度を保持し続け、熱帯夜への寄与を感じさせた。これは、熱容

量の高さの結果で、比熱が高いため温度変動が遅く、体積が大きいため蓄積された熱はなかなか放熱しきれないことによる。また、蓄積した熱をなかなか放出しないため、蓄熱量は日を追うごとに増加していき、夏場のヒートアイランド現象を引き起こす原因となる。

また、熱容量が高いことから、冬の寒い時期には日射により蓄積した熱を保持し、スラブ表面温度は夜間でも比較的高くなると思われたが、９日、10日の日射が比較的強かった日を除きほとんどの日で、日没前後で保持した熱は放出され、すぐに気温と同じか、気温より低い値を示すようになった。

(2) 遮蔽試料の違いによるスラブの表面温度の違い

図15、16、17に遮蔽物の違い（デッキ、芝、むき出しのスラブ）による屋上スラブ表面温度の動きを示す。むき出しのコンクリートスラブ表面温度に比べ、デッキ下、芝下のスラブでは、明らかに温度の変動、特に温度上昇が少ない。このことは、建物がむき出しの場合に比べ、遮蔽物があると建物屋上の温度が上がりにくいことを示す。RC建造物の最上階での太陽熱による焼け込みは、最上階に住んだことのある人なら誰でも経験したことがあるくらい身近な問題となっており、この結果は、最上階の焼け込みが幾分防止できるという意味から重要性が高い。

試料ごとの違いを見るとデッキ試験体（下）では、昼間は最も低い値を示し、建物の熱を防いでいる。また、夜間、特に冬の夜間では、気温が下がるにつれ、むき出しのコンクリートスラブ試験体の表面温度が下がるのに対し、デッキ試験体下部では高い値を保ち、放熱を防いでいる。

これは、デッキ内部の比較的動きのない空気が、対流の熱のやり取りを抑えているためと思われる。

土下（芝の下）では、季節ごとに取る値は変わるものの、一定の値をほぼ示す。この働きにより季節を問わず昼間には建物の吸熱を防ぎ、夜間には放熱を防ぐ。よって、例えば夏には、昼間には蓄熱量を減らす働きをするが、夜間には放熱できずに蓄熱量の放出を防ぐ。よって、建物の屋上一面を芝で覆った場合、日射による吸熱は水平面ばかりではなく日射を受ける壁面からも起こり、また、建物の接する大気や、地面からも吸放熱が起きているため、果たして屋上に芝を設置するのが建物の吸放熱の軽減によいのか疑問が残る結果となった。

また、土の下では、表面温度の時と同じように、雨の後に他の試験体のスラブ面より高い温度を示すという特徴的な動きを示している。これは、土内部の雨は気化できず、気化熱による温度減少がないためと思われる。

ここで、冬の温度変化のグラフで保温効果が高いことが示されたデッキの下と土の下との比較をする。デッキの下と土の下の温度グラフの動きで最も異なる点は土の下の温度が上昇も下降もせず一定値を保つのに対し、デッキの下の温度は日射の増減に合わせ少量であるが変動していることである。これにより、変動の少ない芝試験体の方がより温度変動の少ない環境を作ることが分かった。

(3) 試験体の違いによる試験体表面通過熱量の違い

ヒートセンサーで測定した各試料表面の通過熱量を図18、19、20に示す。熱流の値は、ここでは正の値を吸熱（外気から建物への)、負の値を放熱（建物から外気への）とする。

８月の測定結果では、スラブの通過熱量が特に激しい動きをしている。

まず吸熱側について考察する。先に書いた表面温度の測定結果では、スラブ表面温度より、デッキ表面温度の方が高く上がっているので、この結果は、スラブでは内部の暖まりが遅いことを示している。スラブはこれにより熱をある程度自分で抑えておく効果がある。逆にデッキで熱量の増加が少ないのは、表面と内部の温度差が開かないためで、これは比熱の小ささによる。

放熱側については、夜間の放熱量もスラブは特に大きい。これは、夜間には表温度が下がり、内部温度が高いためである。

芝では常にデッキより少し低い値を取る。これは、芝の内部温度が常にデッキ内部温度より高めである事による。これにより芝の保温性の高さが示された。

10月の結果については、８月の結果と特に異なる結果はないが、10月17、18日に降った雨の影響で、デッキの通過熱量が吸熱側にならなかった。雨の時は夜の通過熱量の動きとほぼ同じであるが、スラブの通過熱量の減少が見られない。これは、雨自体の持つ熱量によりデッキ表面の温度が下がらなかったことによると思われる。

１月の結果についても、ほとんど10月と変わらない。しいて言えばスラブの夜間の落ち込みが大きい。これはつまり表面の温度低下が大きい下部、内部の蓄熱が順調に行われたことを示す。

(4) 遮蔽物の違いによる、下部スラブの通過熱量の違い

結果を図21、22、23に示す。８月の結果を見ると、スラブは熱容量の大きさから蓄熱により内部環境の変化を緩やかなものに抑えている。そのため表面温度の変化は内部温度に対してほとんど独立して起こり、結果としてこのように起伏の激しい図になった。

土下、デッキ下では、晴の場合には表面の方が温かい。これは試料の比熱が小さいことによる。雨の場合には逆に表面が気化熱で冷え内部の方が温かくなる。

10月の結果では、17日、18日に降った雨の際、８月の結果と異なり、スラブの通過熱量も放熱側になっている。建物内部の蓄熱量が８月より小さいためと思われる。

１月の結果では、８月の測定では吸熱側であったデッキ下、土下の通過熱量が、ほとんど放熱側にきた。これは、気温が低く、表面が冷えやすい事による。

(5) 天候の違いによる通過熱量の違い

これまで述べてきた通過熱量の値に関する考察は、主に晴、曇りの日に限ったものであった。ここでは雨、雪の場合のデータ解析について考察する。

ａ．夏の雨の日の場合（８月29日）

図24、25に雨の日の試験体表面通過熱量、および試験体の下のスラブ表面通過熱量を示す。昼、夜とも、各試験体表面が雨により低温傾向となり通過熱量は小さい（放熱側に寄っているという事)。日射が小さくなると、高い順に示すとデッキ、土下、芝、デッキ下、コンクリートとなるがほとんどのもので放熱が起こる。しかしデッキ下、土下の放熱量はむき出しのスラブのものより小さく、建物

の放熱を防ぐ結果が得られた。

b．雪の日（2月11日）

図26、27に冬の雪の日の通過熱流の結果を示す。雪の降った頃に表面温度はどの試験体でも同じ温度に示したということを踏まえて考察する。コンクリート表面の通過熱量のグラフは大きく放熱したことを示しているが、これは厳密にはコンクリート表面の温度より、コンクリート内部の温度の方が高かったことを示す。つまり、雪が降ったことにより、表面の温度は急速に下がったが、内部温度は、コンクリートの熱容量の大きいことにより下がりづらく、結果として内部から表面への熱の流れが生じたことになる。これに対しデッキ表面、芝表面の通過熱量の動きは、ヒートセンサー付近の温度が一斉に下がり、熱の流れが少なく見られたことにより、コンクリート表面の通過熱量のグラフより小さい放熱量を示した。また、このことは土、デッキの方が熱容量が小さいことから、放熱する熱を元々持っていなかったことも関係する。

試験体の下のスラブ表面の通過熱量の動きを見ると、土下のスラブが影響を受けなかった事が特に重要と思われる。また、デッキの下でも大分放熱を防ぐ結果が得られた。

(6) 試験体からの照り返しの違い

試験体からの照り返しによる影響を見るため[3)]、試験体の脇に取り付けたサイディングの温度、通過熱量の測定を行った。測定日は11月の19日から11月23日で、測定期間は22日が若干曇った以外は晴れであり、気温は大体6℃から15℃となっている。

a．温度

図28から、コンクリート側、デッキ側の壁の表面温度が高くなっているのが分かる。これは、コンクリートスラブ、デッキの日射の反射、受けた熱の輻射によると思われる。この作用により、むき出しのコンクリートスラブの屋上、デッキを設置した屋上では、活動の際に、夏では特に、より暑さを感じる可能性がある。逆に芝ではこの作用がない事から、屋上での活動には支障がない。最も、芝の側の壁の表面温度が低かったのは、土に含まれる水分の気化熱により、付近一体の温度が下がった結果である可能性もあり、この結果だけでは、芝の照り返し、輻射が本当に小さかったのかは分からない。

b．通過熱量

結果は図30に示す。このグラフではどの試験体側の壁でもほとんど値が吸熱側になっている。これは設置された壁が、日射を受ける側を表としているからであり、裏面が常に日陰であることから温度が低く、熱の流れが表から裏にほぼ決まっていたためである。

グラフに関しては、いずれの測定日でも昼間の通過熱量の値はコンクリートスラブ、デッキ、芝の順となった。この結果は、このまま照り返しの大きさの順である訳ではない。理由は以下の通り。

芝では先に述べた様に、表面の温度が低かったために、流れる熱量の値が小さくなった訳だが、この原因が照り返しによるものなのかは分からなかった。

コンクリートスラブの通過熱量が、デッキの通過熱量より昼間には大きくなっているが、a．の結

果から、デッキ側の壁表面と、コンクリート側の壁表面の温度はほぼ同じであった事から、同じ素材の壁の一方のみの流れた熱量が大きかったとは考えにくく、裏面の温度の測定結果（図29）を見たところ、コンクリート側の壁のみが裏面の表面温度が低くなっていた。この原因はよく分からなかったが、なんらかの外的要因が影響していると思われる。

## 3．熱貫流量に関する実験

### 3.1　木材の熱伝導率測定

(1) 目的

デッキ材料としての木質材料の断熱性能の指標となる熱伝導率の測定をした。

(2) 方法

測定材料に国産の針葉樹製材であるスギ、ヒノキ、およびエクステリア用途として最近多用される外国産のレッドウッド、ボンゴシ（エッキ）、イペ，ジャラを用い、それぞれ５枚測定し平均値を求めた。

測定機器は平板比較法（JIS A 1412）による装置（英弘精器産業㈱製、HC-J型）を用いた。

(3) 結果・考察

結果は表２の通り。測定期間中の外気湿度の低さから予想より含水率が低い値を示した。一般に密度が大きい材料ほど熱伝導率が大きい。とくにエクステリア用に最近多く用いられる外国産の重厚な広葉樹（ジャラ、ボンゴシ、イペ）は密度が１を越えるものがあり、熱伝導率が大きい。スギ、ヒノキ、レッドウッドでは密度が小さく、熱伝導率が小さいことから熱環境の視点から判断するとウッドデッキの材料として優れている。

### 3.2　熱貫流量の測定

(1) 目的

実際にデッキ、芝を設置した農学部５号館の屋上壁を、全体としてデッキ、芝をそれぞれ含めた複合壁とみなし、デッキ、芝を屋上全面に設置した場合に、どの程度の貫流熱量の軽減が見込めるか、熱測定結果を用いて計算を行った。

(2) 実験結果から求めた熱貫流量

a．外気側熱伝達抵抗（$R_0$）

$$R_0 = |t_1 - t_2| / q$$

ただし、q：ヒートセンサーで求めた通過熱量（W/m²）、$t_1$：室内の気温（℃）、$t_2$：外気温（℃）

通過熱量は測定期間の平均値から以下の表３のようになった。また、外気温平均値は８月が28.3℃、１月が5.5℃であった。室内温度は設計値である。夏で24℃、冬で22℃を用いた。以上から求めた各試験体の外気側熱伝達抵抗は表４の通り。いずれも夏より冬が大きな熱伝達抵抗を示した。

b．熱伝導抵抗（$R_n$）

各試験体の熱伝導率は測定の困難さから、デッキ材のみ行い、芝（土）、コンクリートスラブについては、文献の値を用いた。デッキ材（スギ）の熱伝導率は0.081で、これよりデッキの熱伝達抵抗は0.496となった。

c．室内側熱伝達抵抗（$R_i$）

室内側の熱流、温度を測定することが困難であったため、文献値を用いた。

まず各試験体を屋上に設置した場合の熱貫流抵抗（$R_t$）を求める。それぞれの試験体の熱伝導抵抗、熱伝達抵抗図31（むき出しのコンクリートスラブそのままの状態）、図32（デッキを設置した場合の状態）、図33（芝を設置した場合の状態）に示した。また、求めた熱貫流抵抗を表６にまとめて示した。

この結果から屋上の熱貫流量q を求めてみる。

q の算出に必要な、建物最上階の室温は設計値を用い、夏で24℃、冬で22℃とし、屋上の面積は図面より拾った実際の値である392m²を用いた。これにより算出した貫流熱量q は以下の表７の通り。

熱貫流量の値が、冬期の方が夏期より大分大きくなっており、この原因については、熱伝達率の値が冬の方が大きい事も考慮に入れ、温度差による影響であると思われる。実際、算出に際して温度差は夏で4℃、冬で16.5℃であり、差は明らかである。

芝、デッキをおくことで、どの程度の熱量の吸放熱が防げるか調べるため、スラブむき出しの状態の熱貫流量の、デッキ、芝を設置した際の熱貫流量に対する比を求めたところ、以下の表８の様になった。実験値の貫流熱量のグラフから、冬の方が熱損失が小さい様に思われたが、熱損失は同程度であることが分かる。

また、表８では、コンクリートスラブそのままの状態はデッキ、芝を設置した場合の1.4～1.9倍の熱移動が見込まれることがわかる。したがって、デッキ、芝などの遮蔽効果によりが熱の吸放熱を緩和することができる結果となった。またその程度についてはウッドデッキより芝の方が大きくなった。

具体的にどの程度、芝がデッキより優れているかを見るため、表８の、むきだしのスラブに対する芝、デッキの断熱性能の大きさの値を用い、さらに芝を１とした。芝に対するデッキの断熱性能の大きさを求めた。結果は以下の表９のようになった。すなわち20%～28%程度芝の方が断熱効果がある。しかしウッドデッキの設置によっても十分な吸放熱の軽減が期待できることがわかった。

## 4．結論

屋上においてウッドデッキおよび天然芝の設置およびそれらの対照としての屋上コンクリートスラブ面の温度・湿度・熱流などの熱環境測定を通して得られた結果を要約すると以下のようになる。

1）屋上での温熱環境測定実験からは、デッキ表面の温度は熱容量の小ささから変動が激しい。しかしデッキ下部空間の温度の変動は、芝よりは若干劣るものの、十分な程度の下部建物の吸放熱

緩和効果が観測された。

2）ウッドデッキ等の通過熱量の測定からデッキは、芝と同じく下部の屋上コンクリートスラブの通過熱量に関して、夏場の吸熱、冬場の放熱を防ぐ効果が認められた。

3）熱貫流量に関する実験からは、デッキ材を屋上に設置することで、芝には若干劣るものの、効果が期待できる程度の断熱性能が得られた。

4）以上の結果から、屋上へのウッドデッキの設置は、建物の吸放熱の軽減（省エネルギー）に効果がある。

## 謝辞

本研究は平成９年度(財)トステム建材産業振興財団の研究助成が得られたことによりなし得たものである。ここに当財団の助成に対して深く感謝の意を表する。また、実験にあたっては東京大学大学院農学生命科学研究科生物材料科学専攻生物材料物理学専攻分野の大学院修士課程の本江琢磨君の労によるところが大である。ここに謝意を表する。

## 参考文献

1）近藤三雄、益山秀樹、小沢知雄：建築物の屋上・壁面を緑化することによる夏期の室温の上昇抑止効果について、芝草研究第16巻号第２号。pp13～18（1987）

2）恩村定幸：屋上芝生植栽による蒸発冷却効果に関する研究　その２　風洞実験と解析屋上植栽パラメータ堆定、日本建築学会大会学術講演梗概集、1531～1532（1993）

3）梅干野晃：スポット実験による環境材料の表面温度分布の解析(4)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp503～504（1997）

4）環境工学教科書研究会編著：環境工学教科書、彰国社、p40～59、p69（1997）

5）山田由紀子：建築環境工学（改訂版)、培風館、p39～53、p89～93（1998）

6）田中俊六他：最新建築環境工学（改訂版)、井上書院（1997）

7）何江：屋上芝生植栽の熱的特性に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、p1529～1530（1993）

8）山崎弘郎：センサーのはなし、日刊工業新聞社（1982）

9）棚澤一郎他著：伝熱研究における温度測定法、養賢堂（1989）

10）王革、梅干野晃他：「屋上芝生植栽の熱的特性に関する実験研究（その９)」、日本建築学会大会学術講演梗概集、p1527～1528（1993）

11）日本建築学会編：「建築設計資料集成１―環境」、p10、丸善（1978）

## 研究の計画と進捗状況

当初の計画における検討事項は、①ウッドデッキの熱伝導率測定、②ウッドデッキの試作、③ウッドデッキの日射遮蔽効果（熱の遮蔽）、④ウッドデッキの面積と、その上の熱環境の関係評価（PMV）であった。

一方、現在（研究終了時点）での進捗状況は、設置試験体をウッドデッキのみとせず、屋上などのガーデニングにおいてよく使用される芝試験体を加えて実験を実施した。データ採取は春の時期のデータが不足しているがほぼ予定通り取り終えた。

また当初の計画のうち、今回は④については行えなかった。その理由は、各試験体の設置面積が屋上というフィールドの状況、予算の都合で大面積がとれなかったため、各試験体設置面の上の温熱環境に違いをつけにくかったためである。その代わり芝、ウッドデッキ、上になにも設置しない屋上スラブについてそれぞれの熱環境を計測し、それらの存在が建物の熱収支に及ぼす影響を熱貫流により評価する事をメインにして実施した。

おおむね、計画通り進捗した。現在、上記計画にある④のウッドデッキ上の温熱環境の快適性について別の屋上スペースを利用して計測を続行し検討している。

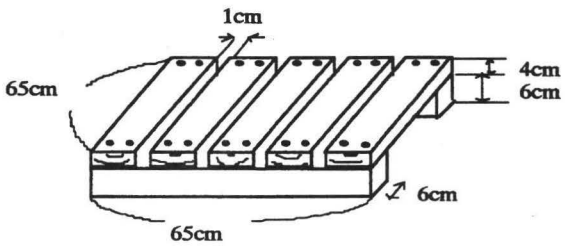
## 研究発表の実績

1）本江琢磨・信田聡・有馬孝礼：“屋上へのウッドデッキ設置による建物の吸放熱の軽減”、第49回日本木材学会大会（東京）研究発表要旨集、165（1999）

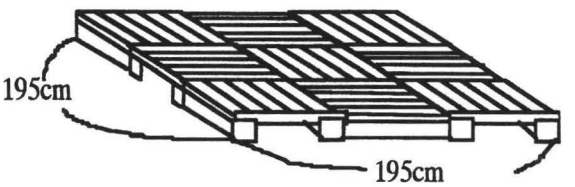
このほか、成果公表の予定として建築学会大会、木材学会誌、木材工業誌、Journal of timber engineeringなどの学協会誌へ口頭発表あるいは研究論文として公表する予定である。

## 実用化計画

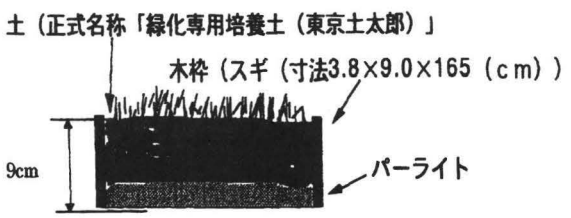
本研究成果の意味は、住宅や建築物に自然材料である生物材料、とくに木材や植物をデッキ、芝等の製品として適用する場合の建物外周の熱環境の実際、建物の省エネルギー化（冷暖房負荷軽減）への寄与を示したものである。エネルギーの有効利用につながる基礎的なデータが示されたものと考えている。したがって、住宅、建築物へのこれら材料・製品利用のメリットが科学的に説明できたことにより、自然と調和した住宅エクステリア、環境共生住宅、省エネルギー住宅のコンセプトに向けて住宅、造園、木質材料開発分野で実用化につながる開発を推進するために寄与するものと期待している。




■図1　デッキの寸法

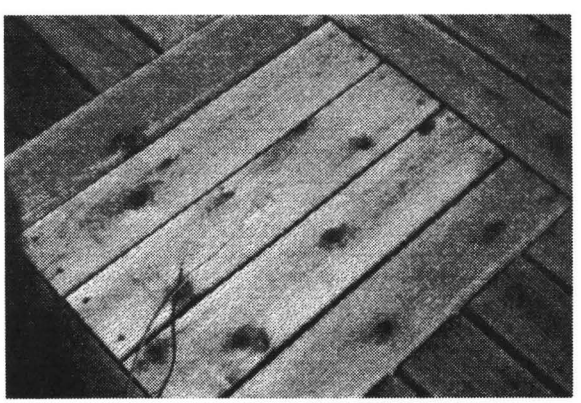



■図2　デッキの並べ方

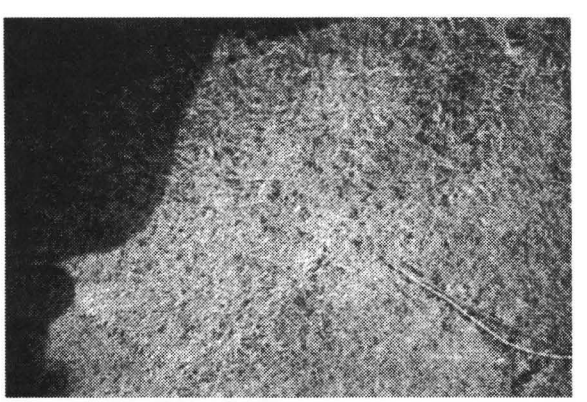



■図3　芝試験体

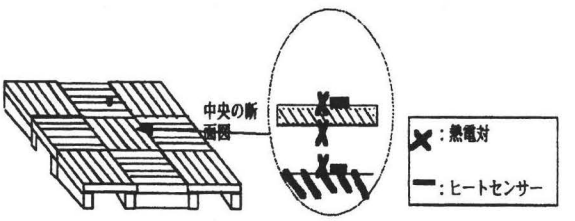
■図4　試験体の全体像



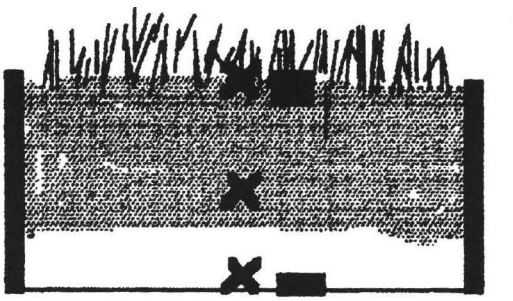
■図5　ウッドデッキ表面に設置した熱電対とヒートセンサー



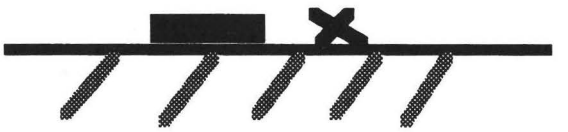
■図6　芝表面に設置した熱電対ヒートセンサー



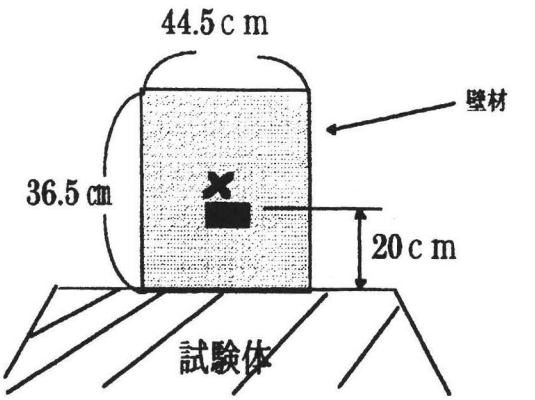

■図7　デッキ試験体の測定点



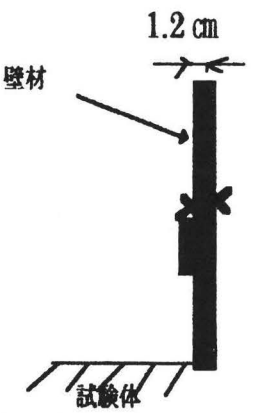
■図8　芝試験体の測定点



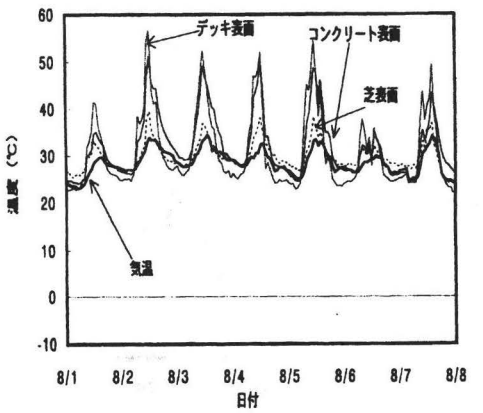
■図9　スラブ試験体の測定点



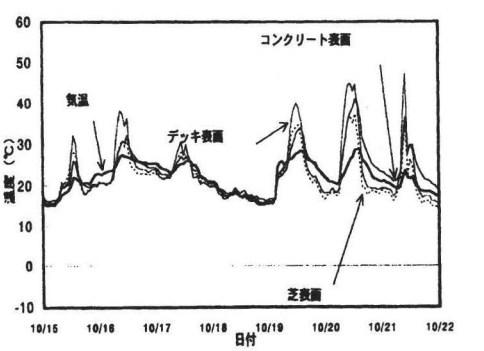

■図10　壁の設置の仕方（正面図）



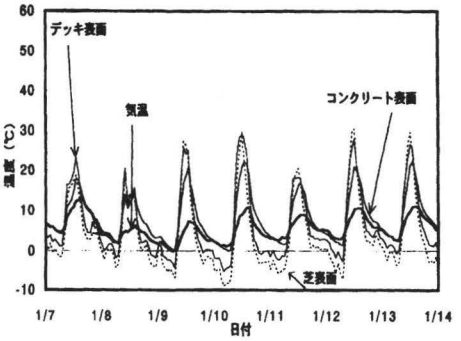

■図11　壁の設置の仕方（側面図）



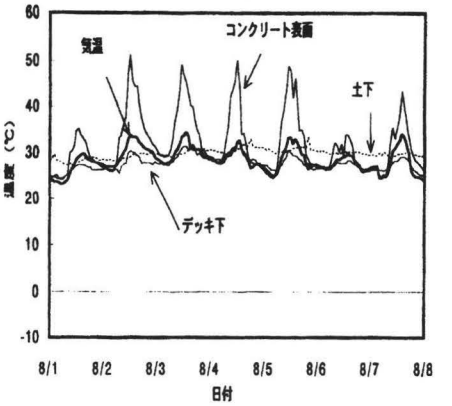

■図12　8月の試料表面温度



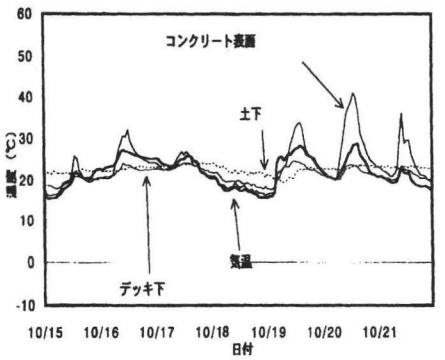

■図13　10月の試料表面温度



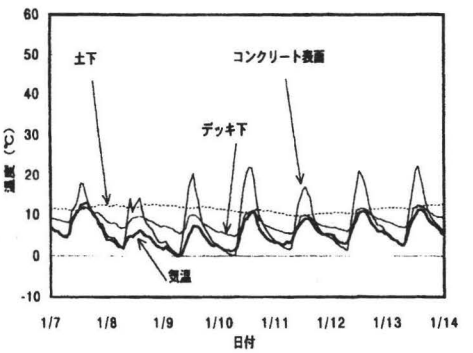

■図14　1月の試料表面温度



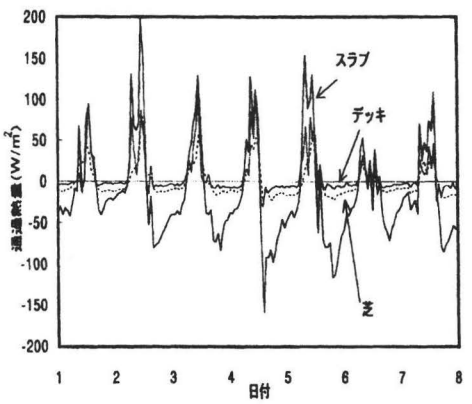

■図15　8月の試料下のスラブ表面温度



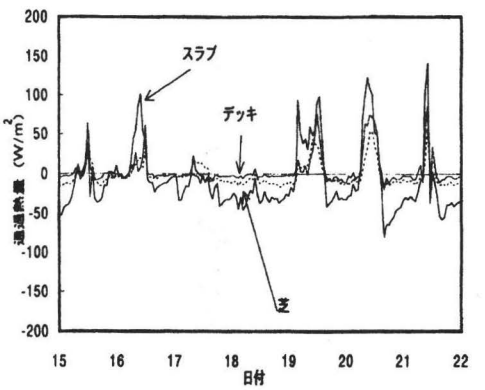

■図16　11月の試料下スラブの表面温度



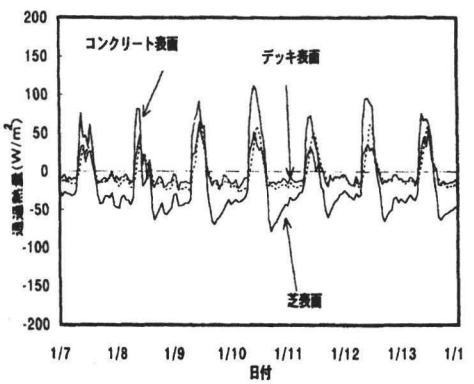

■図17　1月の試料下スラブの表面温度



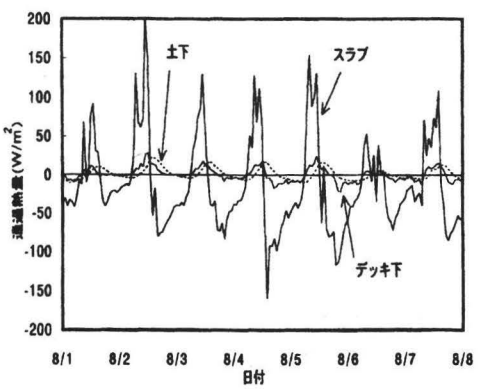

■図18　8月の試料表面の通過熱量



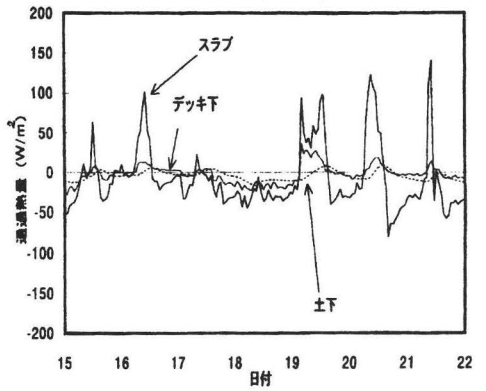

■図19　10月の試験体の表面通過熱量



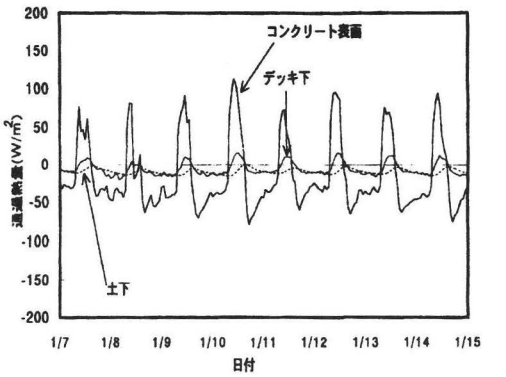

■図20　1月の試験体の表面通過熱量



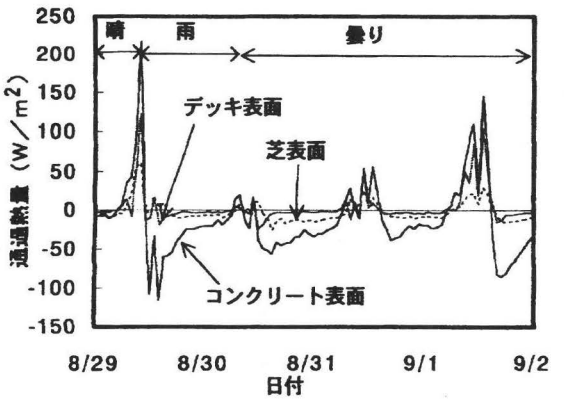

■図21　8月の試料下のスラブの通過熱量



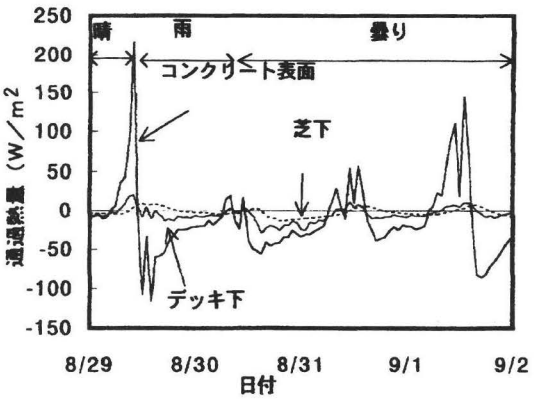

■図22　10月の試料下のスラブの通過熱量



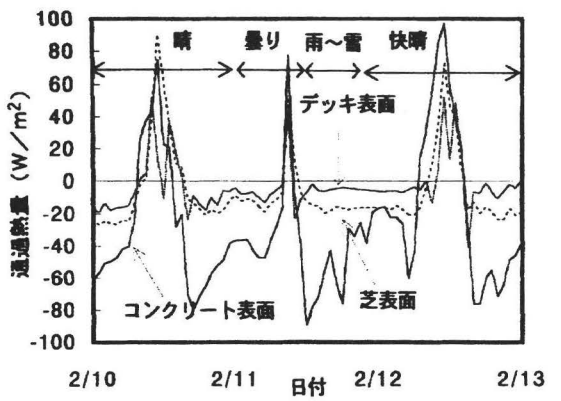

■図23　1月の試料下のスラブの通過熱量



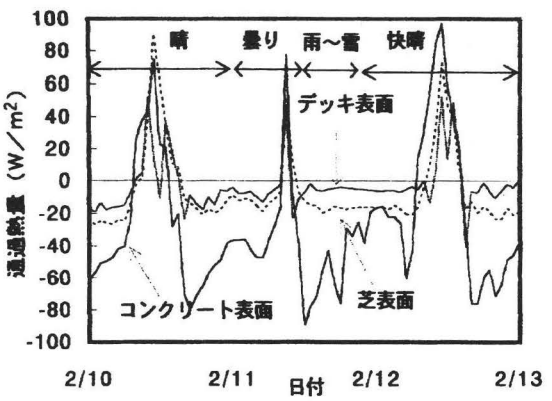

■図24　雨の日の試験体表面の通過熱量



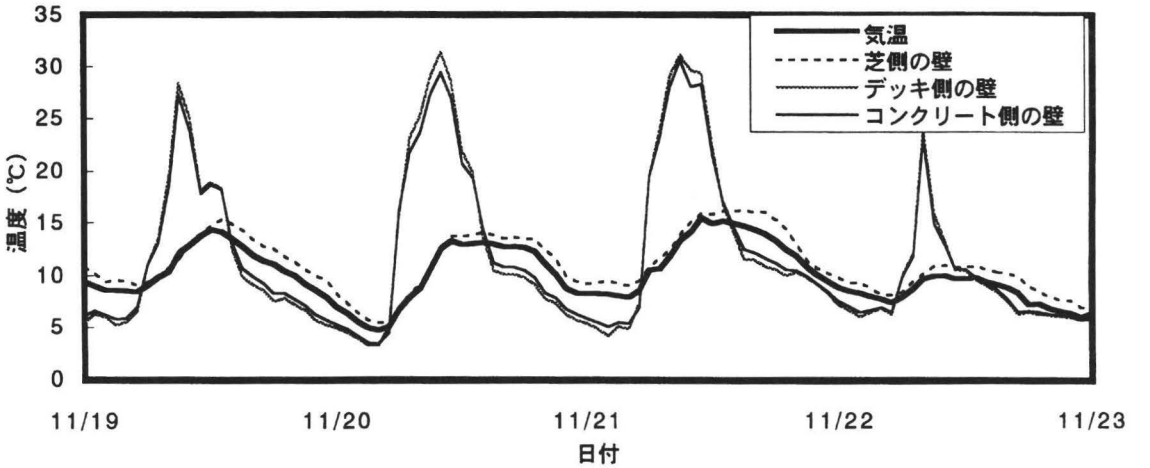

■図25　雨の日の試験体下スラブ表面の通過熱量



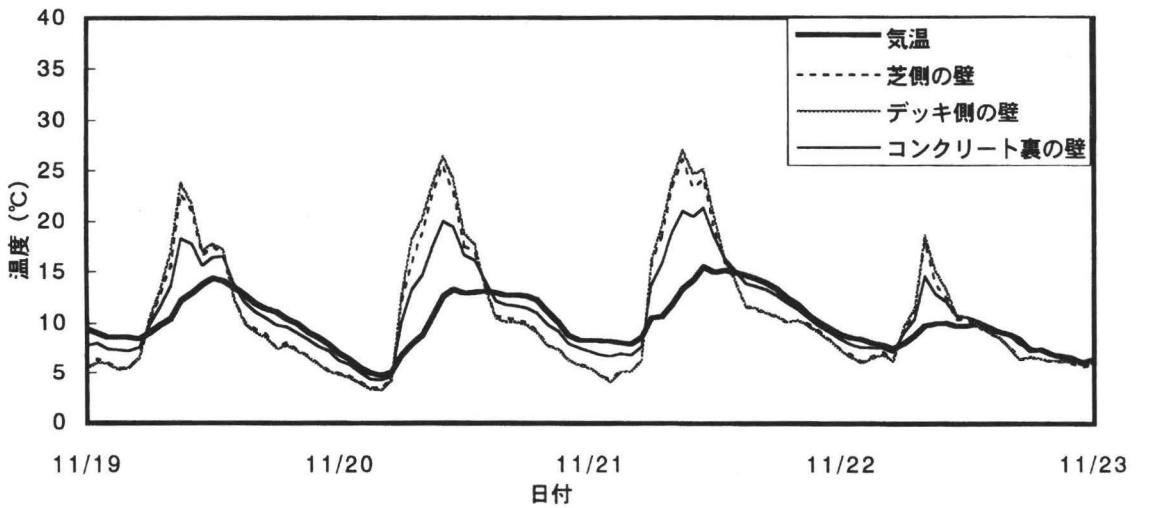

■図26　雪の日の試験体表面の通過熱量



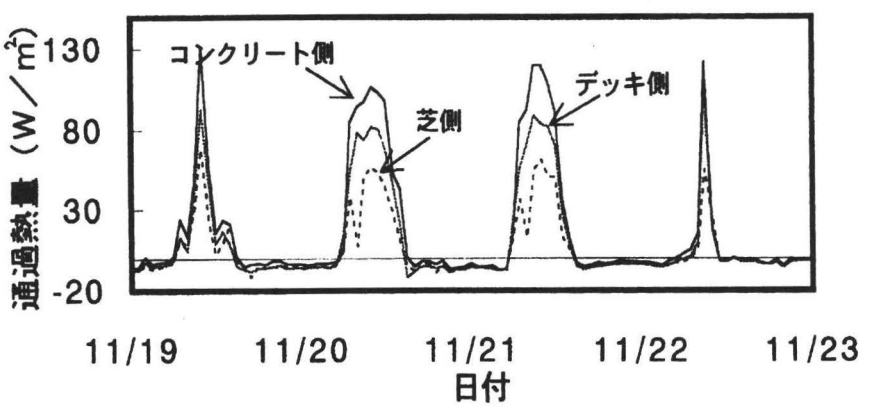

■図27　雪の日の試験体下スラブ表面の通過熱量



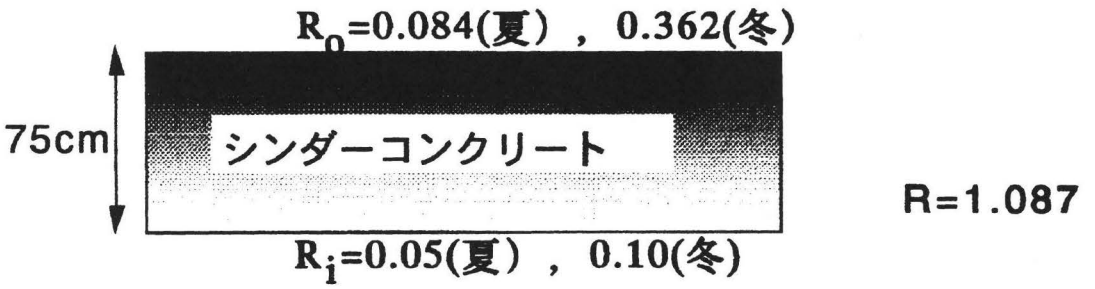

■図28　試験体そばの壁表の表面温度



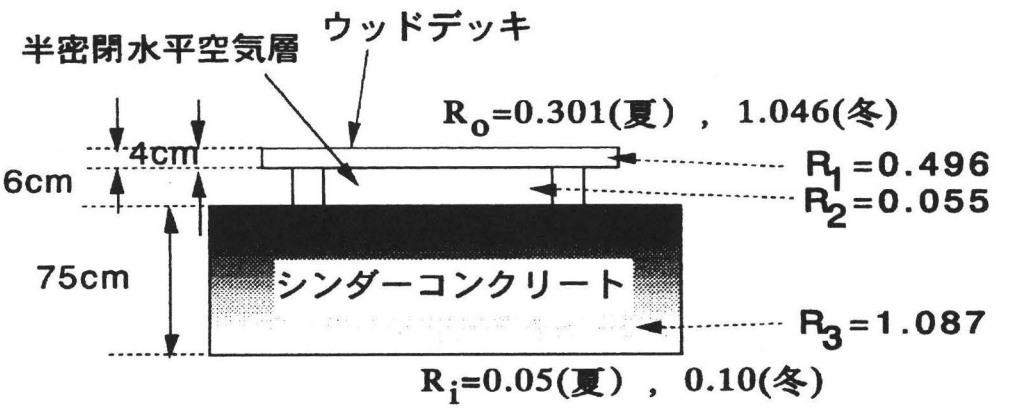

■図29　試験体そばの壁裏の表面温度



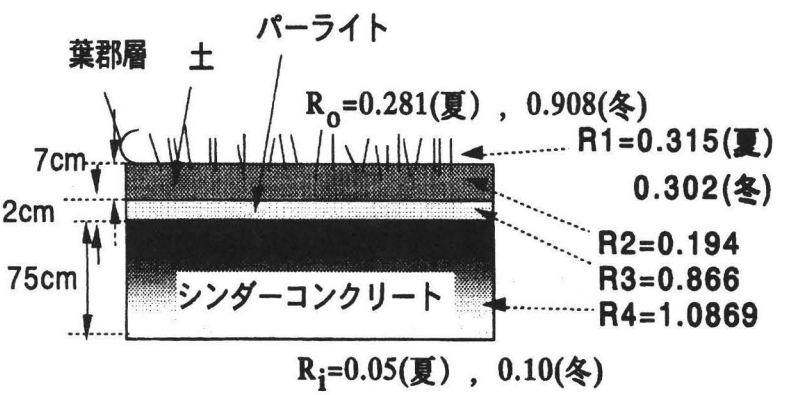

■図30　試験体側の壁表面の通過熱量




■図31　コンクリートスラブのみの屋上壁の構成




■図32　デッキを設置した場合の屋上壁の構成




■図33　芝を設置した場合の屋上壁の構成

| | 8月1日 | 8月2日 | 8月3日 | 8月4日 | 8月5日 | 8月6日 | 8月7日 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 天気 | 曇り時々晴，朝雨 | 晴ときどき曇り | 晴ときどき曇り，一時雷雨 | 曇り時々晴，にわか雨 | 曇り時々晴，にわか雨 | 曇り時々晴，にわか雨 | 曇り時々晴 |
| 最高気温(℃) | 29.9 | 34.1 | 32.9 | 32.7 | 32.6 | 31 | 33.2 |
| 最低気温(℃) | 23.1 | 26 | 27.4 | 26.8 | 25.6 | 25.6 | 24.4 |
| | | | | | | | |
| | 10月15日 | 10月16日 | 10月17日 | 10月18日 | 10月19日 | 10月20日 | 10月21日 |
| 天気 | 曇り | 曇り時々雨 | 曇り時々雨 | 雨のち晴 | 晴 | 曇り | 曇りのち雨 |
| 最高気温(℃) | 27.9 | 26.6 | 20.8 | 28.2 | 28.3 | 22.5 | 17.5 |
| 最低気温(℃) | 22.2 | 22.3 | 17.1 | 15.8 | 20.3 | 19.4 | 14.1 |
| | | | | | | | |
| | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | 1月11日 | 1月12日 | 1月13日 |
| 天気 | 曇りのち晴 | 晴のち曇り | 晴 | 快晴 | 快晴 | 快晴 | 快晴 |
| 最高気温(℃) | 12.7 | 6.1 | 7.9 | 9.3 | 10.1 | 11.2 | 12.4 |
| 最低気温(℃) | 3.7 | 1.9 | −0.1 | 0.9 | 0.3 | 2.6 | 2.1 |

■表1　測定期間の天気と気温

| 試験材料 | 密度(g/cm3) | 含水率(%) | 全乾比重 | 熱伝導率(kcal/m・hr・℃) |
|---|---|---|---|---|
| スギ | 0.37 | 7.7 | 0.35 | 0.081 |
| ヒノキ | 0.49 | 7.7 | 0.46 | 0.074 |
| ジャラ | 0.97 | 8.6 | 0.89 | 0.141 |
| ボンゴシ | 0.99 | 9.5 | 0.91 | 0.153 |
| イペ | 1.13 | 6.3 | 1.06 | 0.167 |
| レッドウッド | 0.37 | 9.6 | 0.34 | 0.084 |

■表2　デッキ材の熱電導率

| | 平均通過熱量(kcal/㎡・h) | | |
|---|---|---|---|
| | 芝表面 | デッキ下表面 | スラブ表面 |
| 8月 | 13.16 | 12.28 | 43.98 |
| 1月 | 15.63 | 13.56 | 39.16 |

■表3　8月、1月の平均通過熱量

| | 熱伝達抵抗Ro(㎡・h・℃/kcal) | | |
|---|---|---|---|
| | 芝表面 | デッキ表面 | スラブ表面 |
| 8月 | 0.37 | 0.35 | 0.098 |
| 1月 | 1.056 | 1.216 | 0.421 |

■表4　8月、1月の各試料の熱伝導抵抗$R_0$（実験値）

| | スラブ試験体 | | デッキ試験体 | | 芝試験体 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 貫流熱量 | 夏期 | 冬期 | 夏期 | 冬期 | 夏期 | 冬期 |
| (kcal/h) | 1382 | 4017 | 829 | 2192 | 592 | 1791 |

■表6　試験体の熱貫流抵抗（実験値）

| | スラブ試験体 | | デッキ試験体 | | 芝試験体 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 熱貫流抵抗(Rt) | 夏期 | 冬期 | 夏期 | 冬期 | 夏期 | 冬期 |
| (㎡・h・℃/kcal) | 1.22 | 1.61 | 2.01 | 2.95 | 2.85 | 3.61 |

■表7　試験体の熱貫流量（実験値）

| デッキ夏 | デッキ冬 | 芝夏 | 芝冬 |
|---|---|---|---|
| 1.67 | 1.83 | 2.33 | 2.24 |

■表8（スラブの熱貫流量）／（デッキ、芝の熱貫流量）の値

| | 夏 | 冬 |
|---|---|---|
| 断熱性能の比 | 0.71 | 0.82 |

■表9（スラブの熱貫流量）／（デッキ、芝の熱貫流量）の値

# 1—10 太陽エネルギーを利用したふく射型冷暖房複合パネルの最適設計法の構築に関する研究

東京理科大学工学部電気工学科
教 授 谷 辰 夫

**概 要：**

本研究は太陽電池とペルチェ効果を利用した熱電素子とを組み合わせた複合機能を有するふく射型冷暖房パネルの最適設計に関するものである。このパネルはヒートシンクの片面に太陽電池モジュールを、他面に太陽電池モジュールの出力で動作する熱電素子群を配置してある。太陽電池モジュールの極性を変えることにより、ふく射型冷暖房両用のパネルが構成できる。

平成９年度では、主にこのパネルの最適設計手法構築に関する研究を進めた。以下にその内容を冷房特性を中心に記述する。

## １．はじめに

現在の空調システムは、予め温度と湿度が調整された空気を閉空間内で対流させる方式が一般的である。しかし、この方式は閉空間全体の温度や湿度をある一定の条件で対流させる必要があり、状況によっては、過大なエネルギーを供給する必要がある。また、現在の空調は電気エネルギーやガス、天然ガスなどエネルギーの極めて質の高いエネルギーを使用しており、エネルギーの有効利用（エクセルギー）の観点から無駄な使用法であることも指摘されている。一方、われわれの生活全体に亘る要求水準はますます高くなってきており、たとえば住空間については、ますます快適な閉空間を希望する状況にある。

最近、より快適でかつ省エネルギーが期待されるふく射型の空調システムが注目されている。ふく射型の空調システムとは閉空間の天井面や壁面を加熱面あるいは冷却面とすることによって、これらの面とヒト（人体）との間でふく射熱伝達によって直接熱エネルギーを授受する方式である。ふく射熱伝達の利点は、高温物体から低温物体へ電磁波（赤外線）により熱が移動しているため、原理的には空気などの熱伝達媒体を必要としない特徴がある。

平成９年度の研究では、前年度までに設計・試作した小型冷却パネル実験装置（冷却面積：0.024m$^2$）の基本特性をベースにして、太陽電池モジュールで駆動する大型のふく射型冷暖房パネルの設計手法を構築することを目的として研究を進めた。

## 2．小型冷却パネル実験装置の基礎特性

試作した小型冷暖房パネルの断面図は図１に示す通りである。また、この冷暖房パネルを構成する各構成要素の寸法などを表１に示す。

小型冷暖房パネルは室内に置かれ、太陽電池モジュールの出力に代わる電源として直流電源を用いている。冷暖房面には１～４個の熱電素子モジュールが取り付けられており、この面の温度の均一を図るように構成されている。冷暖房面（アルミ板）とアルミヒートシンク（長さ200mm×幅220mm×高さ60mm）の隙間には厚さ４mmの発泡スチロールの断熱材料が挟んである。ここで使用した熱電素子モジュールの物性値を表２に示す。

冷暖房パネルは大規模パネルの一部を模擬するため、全体を厚さ50mmの断熱材（発泡スチロールで熱伝導率は0.032W/mK）で覆い周囲からの熱損失を極力抑制している。また、冷房実験の際にはアルミヒートシンクをファンによって平均風速1.5m/sで空冷した。

図２～図４は冷面に熱電素子モジュールを１～４個取り付けた際の冷面温度と外気温度との温度差(Tc）をあらわしたものである。図のｘ軸は冷面の幅であり、ｙ軸は冷面の長さ、ｚ軸はTcである。熱電素子モジュールを増やすことによって面全体の温度のばらつきは小さくなることが分かる。すなわち、冷面の平均温度とその標準偏差（ばらつき）で表示すれば、熱電素子モジュールの個数が増加するにつれて平均温度は低く、標準偏差は小さくなっている。たとえば、モジュール個数が１個のときの冷面温度差の平均値は4.5℃でありその標準偏差（ばらつきの指標）は1.29℃であったが、モジュール数を４個に増やすことによって平均温度差は14.1℃であり、標準偏差は0.46℃と冷面温度差は均一になっていることが分かる。

図５は熱電素子モジュール１個当たりの電流・電圧特性である。この図からモジュール１個当たりの抵抗値を0.84Ωとなる。図６は熱電素子モジュールを４個取り付けたパネルの消費電力に対する冷面温度差の関係である。図の横軸はパネルの単位面積当たりの消費電力（kW/m$^2$）である。また、横軸はパネルの温度と外気温度との温度差（Tc）である。設計では図６の特性を最小二乗法により近似した実験式を用いて太陽電池モジュールの動作点における冷面温度差を計算することになる。

## 3．設計手法の構築

太陽エネルギーを利用したふく射型冷暖房複合パネルの設計においては、太陽電池アレイの電流・電圧特性（I-V特性）と冷暖房パネルの電流電圧特性との動作点を求めることが重要である。

図７はこの最適設計のためのフローチャートである。このフローチャートの主な流れは、熱電素子モジュールの電流・電圧特性と太陽電池モジュールの電流・電圧特性を明確にすることにより、熱電素子モジュールに供給される電力を計算し、冷面温度差を求める。

主な算定式を列記すると次のようになる。まず、太陽電池モジュールを構成するセル温度Ｔは、次式で表される。

$$T=Ta+0.03I_{rr} \quad \cdots (1)$$

ここで、Ta：外気温度、$I_{rr}$：日射強度

一方、冷却パネルに配置する熱電素子モジュールの構成と個数を求めるには、熱電素子モジュールにかかる電圧をVp、その時の電流を$I_p$とすると次式が表される。

$$V_p=R(m/n)I_p \quad \cdots (2)$$

ここで、R：熱電素子モジュール１個当たりの抵抗値、m：熱電素子モジュールの直列数、n：熱電素子モジュールの並列数

また、太陽電池モジュールを表す基本方程式は良く知られているように太陽電池モジュールの出力電流をＩ、出力電圧をＶとすると次式で表される。

$$I=I_L-I_0\{\exp(qV/nKT)-1\} \quad \cdots (3)$$

$$I_L=0.0034\cdot I_{rr}\{1+0.001(T-298)\} \quad \cdots (4)$$

$$I_0=C_0T^3\exp(-qE_g/nKT) \quad \cdots (5)$$

ここで$I_L$：光起電流、$I_0$：飽和電流、$R_S$：直列抵抗、n：接合定数、K：ボルツマン定数、T：セル温度、$C_0$：定数、$E_g$：材料のエネルギーギャップ、q：電子の電荷重

## 4．設計手法による解析結果

### 4.1　基本特性

本設計手法を大型光・熱複合パネルに適用した。縦0.5m×横0.5m×高さ1.2mで容積は0.3m$^3$の閉空間南斜面に冷却面積0.42m$^2$の大型複合パネル取り付けることを想定した。熱電素子モジュールの物性値は小型パネルのそれと同じであり、太陽電池モジュールの使用は表２であるとした。

図８は太陽電池モジュールの構成（太陽電池セルの直列・並列数）の電流・電圧特性と大型冷却パネルの熱電素子モジュールの電流・電圧特性を示す。図の横軸は各々の電圧であり、図の縦軸は各々の電流である。また、図中の18S-4Pとは太陽電池セルの直列数（S）が18で並列数（P）が４であることを意味する。この図から明らかなように、太陽電池モジュールの電流・電圧特性は日射強度の変化に対応して大きく変化する。また、太陽電池モジュールの構成（セルの直列数と並列数の組み合わせ）によって熱電素子モジュールの電流・電圧特性を大きく変化する。これらのことから、冷房期間（６月～９月）で最も発生電力が利用可能な太陽電池モジュールの構成を選ぶ必要がある。この関係を明確にするために太陽電池出力の有効利用率を求めた。有効利用率UUFは次式で定義した。

$$UUF=\frac{(\text{熱電子モジュールに供給された電力量})}{(\text{太陽電池モジュールの最大出力電力量})} \quad \cdots (6)$$

図９は太陽電池モジュールの構成をパラメータにした際の日射強度に対する有効利用率の関係である。この図から並列数（P）が少ないほど低日射強度で高い利用率を得ることができることが分かる。図10はこの大型パネルの冷面温度差（外気温度と冷面温度の差）Tcと日射強度の関係である。図よ

り日射強度により動作する太陽電池モジュールの並列数が異なることが分かる。たとえば日射強度が～180W/m²では70S-1Pが、180～500W/m²では35S-2Pが、500W/m²～では24S-3Pが適していることになる。これらのことから、設置場所の環境条件、特に日射強度の分布特性を充分把握してパネル設計を行う必要がある。

### 4.2 冷房期の特性

HASP東京データ（東京の基準平均気象データ）を用いて冷房期の冷面温度特性を求めた。ここで冷房期とは6月1日から10月31日の日の出から日の入りまでの時間帯とした。図11は6月～10月までの各月の平均冷面温度差Tcである。図から平均冷面温度差は35S-2Pのとき最大となり約4.5℃となった。設計では、冷房期間での平均冷面温度差を10℃としたが、小型冷却パネルのデータをベースにした計算値は約5℃となった。今後この原因を明らかにする必要がある。

## 5．成果と今後の課題

本研究で明らかになった成果と課題は次のようである。

1）先に試作した小型冷却パネルの基礎特性をベースにして、大型冷却パネルの最適設計手法をほぼ構築することができた。太陽電池モジュールの最大電力点は日射強度の変化に対応して大きく変化することが明らかになった。したがって、設置場所の環境条件を充分把握した上で設計する必要がある。

2）設計値の平均冷面温度差を10℃としたが、シュミレーションによる値は約5℃で設計値にほど遠い値となった。この原因として、小型冷却パネルの基礎特性を基にしたことにより、端部からの熱損失が予想以上に大きかったことを織り込むことが出来なかったことやアルミヒートシンクと発電素子のと接着が不十分であることによる入力電力に対する冷面温度差が充分得られなかったことが挙げられる。このことは、大型パネルにすることにより是正される可能性は充分ある。

3）小型冷却パネルの構成法（熱電素子モジュールの取り付け法）を再検討して、たとえば熱抵抗の小さい接着剤を探索するなどして、さらに温度差を大きくする必要がある。

4）今回構築した設計手法に基づいて大型冷暖房パネルを設計し実験的研究を行う予定である。

## 6．今後の研究計画

1）平均冷面温度差を10℃以上にするための検討を行い、改善後の基礎実験を行う。

2）設計手法に基づいて設計した大型冷暖房パネルを試作し基礎特性を取得する。

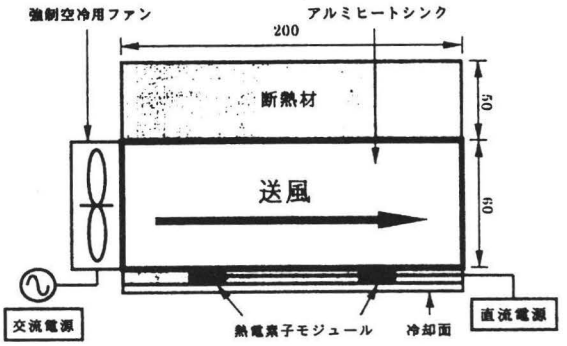
## 7．研究成果の発表

1）佐藤道秀、谷　辰夫、門谷皖一、今泉久朗：『太陽電池と熱電子モジュールを用いた輻射冷暖房パネルの設計』平成９年度日本太陽エネルギー学会／日本風力エネルギー協会合同研究発表会、№66（1997.11）豊橋

2）町田　諭、谷　辰夫：『光・熱複合パネルの冷却特性』平成10年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー協会合同研究発表会、№40（1998.12）沖縄

## 8．受　賞

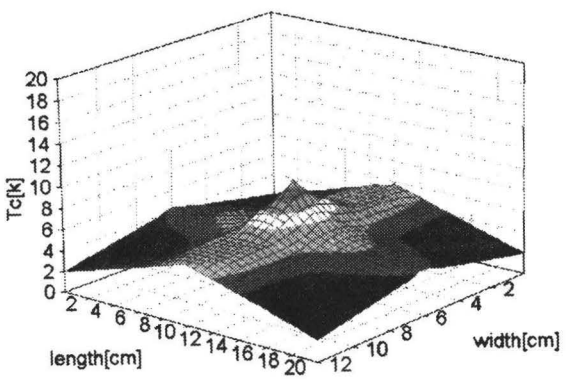
上記発表論文『光・熱複合パネルの冷却特性』に対して町田　諭（東京理科大学大学院工学部研究科　修士課程２年）は日本太陽エネルギー学会から４月２日開催の総会に於いて平成10年度奨励賞(学生部門）を受賞した。



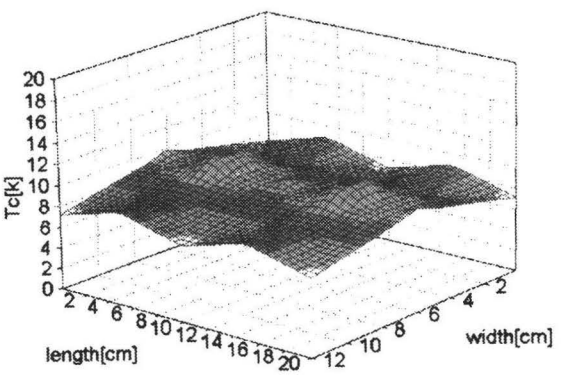

■図1　小型冷却パネルの断面図

| 装置名 | 長さ [mm] | 幅 [mm] | 高さ [mm] |
|---|---|---|---|
| 冷却パネル | 200 | 220 | 126.8 |
| 熱電素子モジュール (コマツ製：KSM-0631A) | 20 | 20 | 3.8 |
| アルミヒートシンク | 200 | 120 | 60 |
| 冷却面(アルミ板) | 200 | 120 | 1.0 |
| 空冷用ファン | 25 | 25 | 25 |

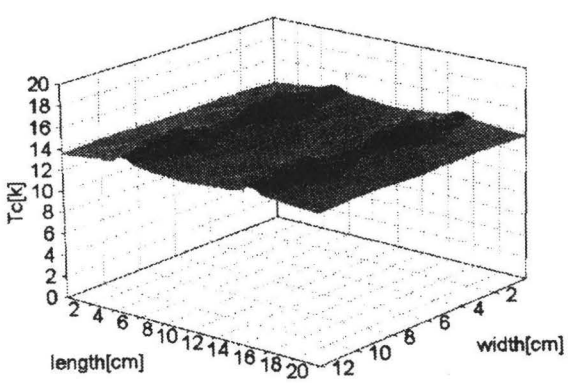
■表1　小型冷却パネルの仕様



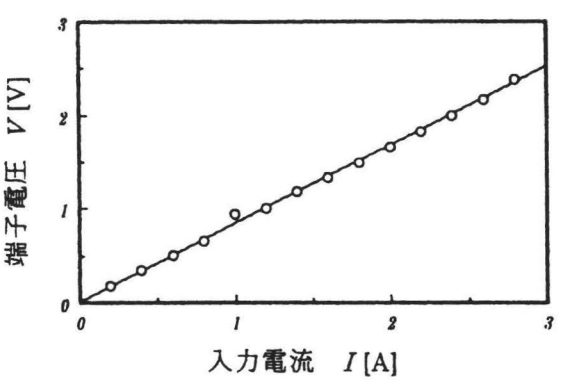

■図2　モジュールを1個使用した際の温度勾配



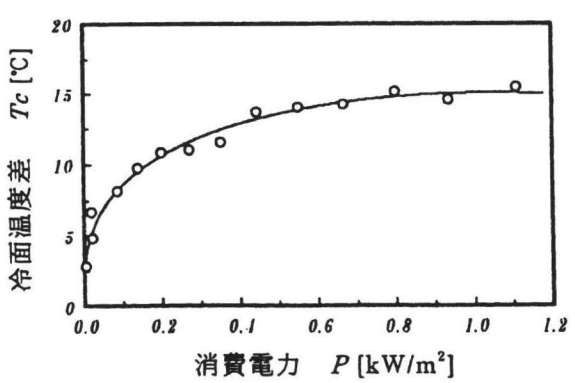

■図3　モジュールを2個使用した際の温度勾配



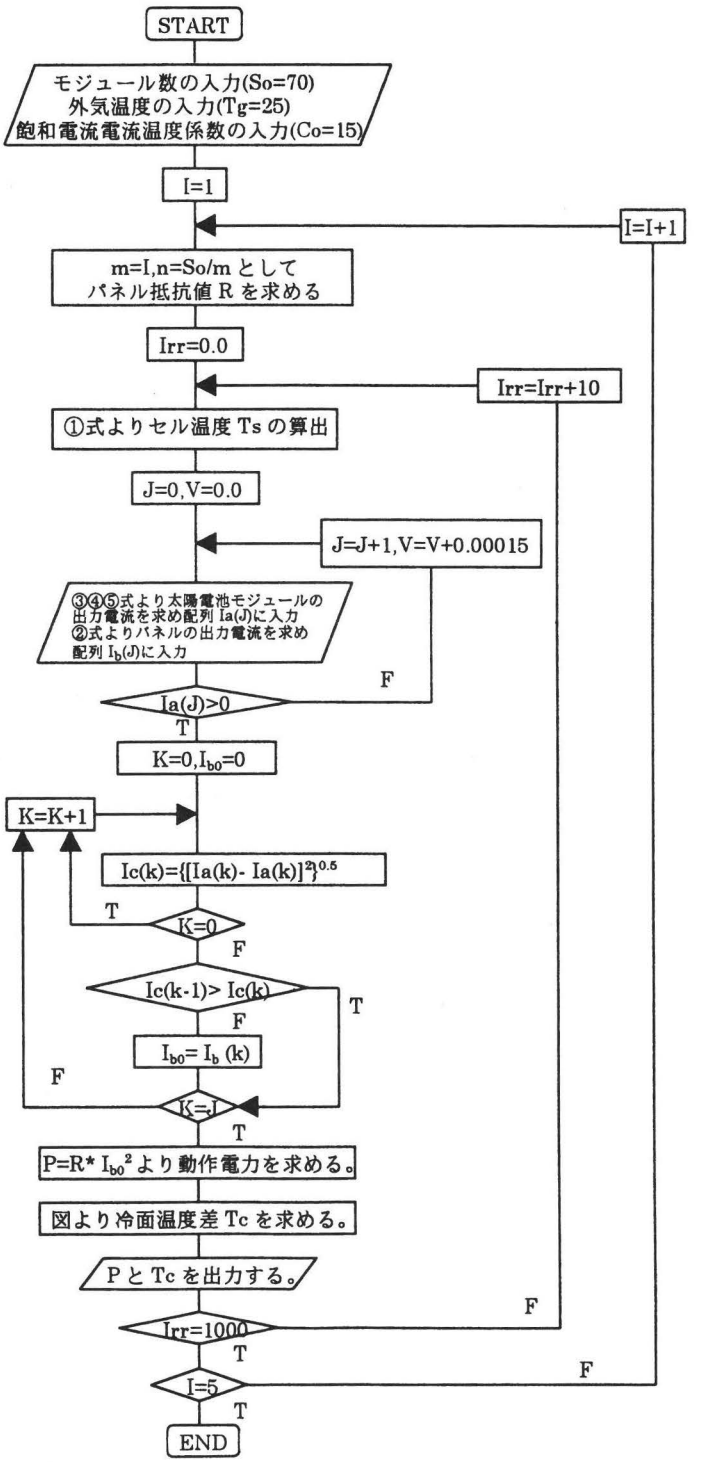

■図4　モジュールを4個使用した際の温度勾配




■図5　熱電素子モジュールの電流・電圧特性




■図6　小型冷却パネルの冷却特性（熱電素子モジュール4個装着）




フローチャート図にて使用した式を以下に示す。

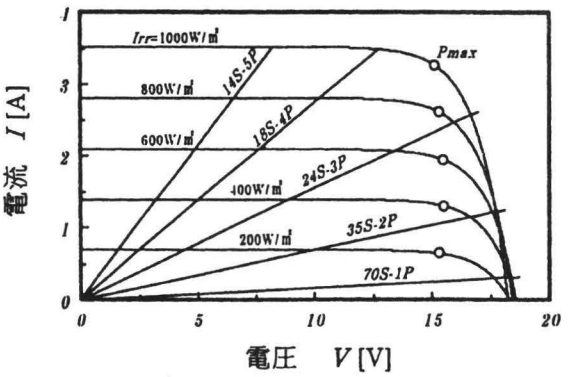
$$T = T_a + 0.03Irr \quad \cdots(1) \qquad I_p = {m \cdot V_p}/{n \cdot R} \quad \cdots(2) \qquad I = I_L - I_0\left\{\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1\right\} \quad \cdots(3)$$

$$I_L = 0.0034 \cdot Irr\{1 + 0.001(T - 298)\} \quad \cdots(4) \qquad I_0 = C_0 \cdot T^3 \cdot \exp\left(-\frac{qE_g}{nKT}\right) \quad \cdots(5)$$

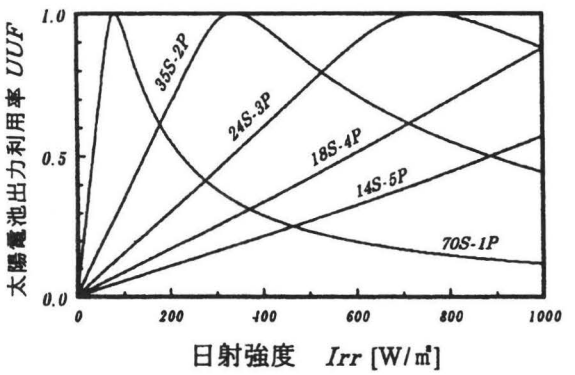
■図7　フローチャート

| | |
|---|---|
| 熱電能：$\alpha_e$ [mV/K] | 0.4 |
| 内部抵抗：$R_e$ [mΩ] | 17.35 |
| 熱コンダクタンス：$K_e$ [mW/K] | 3.69 |

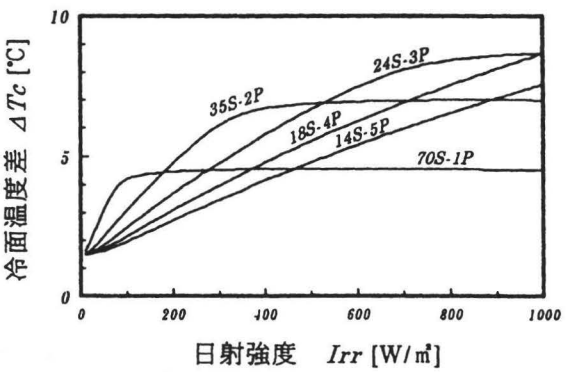
■表2　熱電素子モジュールの物性値




■図8　太陽電池モジュールと小型冷却パネルの電流・電圧特性
（熱電素子モジュール70個使用）



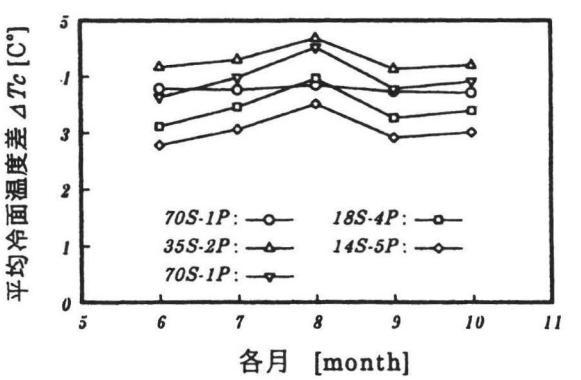

■図9　日射強度に対するUUFの関係
（熱電素子モジュール70個使用）




■図10　日射強度に対する冷面温度差の関係
（熱電素子モジュール70個使用）

| 分類 | 単結晶 |
|---|---|
| 寸法 | 977×430mm |
| 直並列数 | 36 直列 1 並列 |
| 最大電力 | 54W |
| 最大動作電流 | 3.10A |
| 最大動作電圧 | 17.4V |
| 短絡電流 | 3.40A |
| 開放電圧 | 21.7V |
| モジュール効率 | 12.9% |

■表3　太陽電池モジュールの特性（商品番号GL136N相当）




■図11　各月の平均冷面温度差（熱電素子モジュール70個使用）

# 1－11 新築住宅におけるホルムアルデヒド濃度の実態調査とその除去法に関する研究

東北大学大学院　工学研究科
教　授　吉　野　　博

## 1　序論

### 1－1　研究の背景

近年、省エネルギーや快適性の向上の観点から住宅の断熱・気密化が盛んに行われている。気密化された住宅では自然換気量が少なくなるため、室内の空気汚染が懸念されている。特に新築あるいは内装をリフォームしたばかりの時期に、めまいや頭痛などといった健康被害が起こることが指摘されている。この原因としては、換気量不足の他に、化学物質を使った新しい建材や接着剤などに含まれるホルムアルデヒドなど様々な化学物質が新築直後に多量に揮発することが考えられている。

他国に比べて対策の遅れていた日本も1997年３月の健康住宅研究会では、ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、木材保存材、可塑剤、防蟻材の６種類の物質・薬剤を優先取組物質と指定し、また同６月には厚生省がホルムアルデヒドの室内濃度指針値としてWHO（世界保健機構）のガイドラインに従い30分平均値で0.lmg/$m^3$以下（室温23℃換算で0.08ppm）を提案するなど徐々にではあるが規制値が整備されてきている。しかし、６種類の物質・薬剤の対策を講ずればすべての問題が解決するわけではなく、他の化学物質などにも順に取り組んで行かねばならない。ホルムアルデヒドに関しては、建材のみならず、居住者の持ち込む家具などからの揮発も問題となっており、居住者の室内空気環境に対する意識の重要性が指摘されている。従って、ハウスメーカーや工務店、居住者の室内空気質に対する意識を向上させると共に、新しい建材などによる室内汚染の実態を定量的に把握し、その除去方法を提案することが早急に求められている。

### 1－2　研究目的

前述のとおり、日本ではまだまだ室内の空気質に対する問題意識が希薄である。そこで、①住宅メーカー、及び居住者を対象としたアンケート調査を行い、今後対策を進めていく上での資料を得るとともに、室内空気質に関する問題意識の高揚を計る、②いくつかの住宅において実測調査を行って室内空気環境の現状を知り、対策を講じる上での資料を得る、③建材による室内空気汚染を抑える対策として、ベイクアウト（在室者のないときに室温を上げて汚染物質の揮発を促進させる）という方法について実験を行い、その効果を検討することを目的とする。

### 1—3　研究内容

(1) 住宅メーカーを対象とした室内空気質に関するアンケート調査

(2) 居住者を対象とした室内空気質に関するアンケート調査

(3) 高断熱・高気密住宅における室内空気環境の実測調査

(4) 実大試験家屋を用いたベイクアウト実験

## 2　住宅メーカーを対象としたアンケート調査

### 2—1　アンケート調査の概要

このアンケート調査は住宅メーカーの室内空気汚染への取り組み方、問題意識、今後のあり方についての考え方を把握することを目的としたもので、1996年10月に実施した。調査対象としては、住まいと環境・東北フォーラム、健康住宅推進協議会の会員となっている企業から抽出した。調査票の回収状況について表2.1に示す。

### 2—2　調査結果と考察

(1) メーカーの認識・興味について

今回調査したほぼ全てのメーカーが室内空気質に興味を持っていることがわかった。建材が有害物質の汚染源となっていることはほとんどのメーカーで認識されており（図2.1)、その健康への影響は重大なものであるとの認識が多かった（図2.2)。現在合板についてはJASの規格があるが、その規格の合板を使用しているかどうかは、十分には把握されていない（図2.3)。空気質や換気に関する苦情を受けているメーカーは17件あり、近年の住宅の気密化を考えると黙認できる状況ではないと判断される（図2.4)。何らかの対応が必要だが、そのための基準などがなく苦慮しているようである。どのような空気汚染に興味があるかという質問からは、呼吸や燃焼による二酸化炭素と建材や内装材によるものへの関心が非常に高いということがわかった。

(2) メーカーの対応

空気質関係で苦情を受けたことのあるメーカーが行った対策の中で、回答の多かったものとして入居前換気がある。しかし、図2.4と図2.5のクロス集計より入居前換気を行って室内の臭いを取り除く努力をしているにもかかわらず苦情を受けた経験を持つメーカーが半数にのぼる。このことから、入居前換気だけでは処置が十分でない場合があることが分かる。竣工後、入居前換気を行うことは必要であると考えられるが、約30%のメーカーが引き渡し前の換気を行っていなかった（図2.5)。他の具体的な対策としては換気設備、使用建材の工夫などが多く上げられた（図2.6)。

(3) メーカー一般の姿勢

ほとんどのメーカーで、合板のホルムアルデヒド放散量に関する規格の必要性を感じている

(図2.7)。安全基準となるような厳しい基準、具体的で分かりやすい基準が望まれている。また、低ホルムアルデヒド合板を使用するメリットに関しては、ほとんどのメーカーがあると答えており、コストよりも健康性を重視していることが分かる（図2.8)。建材などが汚染源となる室内空気汚染の解決は、居住者が主体となるよりもメーカーが主体となって取り組む方が良いという意見が多かった。(図2.9)。

(4)「木造」と「非木造」との違い

戸建て住宅を扱っているメーカーについて、木造住宅メーカー（以下「木造」）と非水造住宅メーカー（以下「非木造」）の回答を比較し傾向を見る。

苦情の有無に関する「木造」と「非木造」との比較では、苦情のあったというメーカーは「木造」23件中８件、「非木造」９件中６件で割合はそれぞれ35%、67%であり、「非木造」の方が苦情の割合が多かった。(図2.10)

竣工後の換気については「木造」23件中16件が換気をしていたのに対して、「非木造」は９件中３件のみが換気をしていた。割合はそれぞれ70%、33%であり、「非木造」では入居前換気があまり行われていない。(図2.11)

合板の使用について、「木造」23件中10件が使用の有無を把握しておらず、材料に対する配慮が欠けていたといえよう。JAS規格は安全規格ではないが、最近は一つの目安として考えられているようである。

### 2−3　まとめ

①室内空気質に関するメーカーの関心は高く、健康への影響も問題であると考えている。アンケートの時点で引き渡し前に換気を行っている企業も見られたが、その半数のメーカーで空気質関連の苦情を受けており、他の対策についても検討が必要である。

②ホルムアルデヒド放散量に関する規格の必要性を多くのメーカーが感じている。また、低ホルムアルデヒド製品は有効であると答えており、コストよりも健康性を重視し始めていることが分かった。

③室内空気汚染の解決は居住者が主体となって進めるよりも、メーカーが主体となって取り組む方がよいと考えるメーカーが多いことが分かった。

## 3　居住者を対象としたアンケート調査

### 3−1　アンケート調査の概要

アンケート調査は室内空気環境と住宅の構造・設備などの現状、室内空気汚染に対する居住者の意識を明らかにし、地域差について検討することを目的としたもので、1997年10月に実施した。調査対象は北海道から関西地方までで、「東北地方（北海道、岩手、宮城、山形、新潟)」と「中部・関西地方」の２地方にまとめた。調査票の配布は、東北地方は住まいと環境・東北フォーラムの、中部・関西地方は健康住宅推進協議会の会員企業を通して行った。調査票の回収状況を表3.1に示す。調査

対象はできるだけ新しい住宅となるようにしたが、結果的に東北地方の方が新しい住宅の割合が多くなったために、結果に影響が出た可能性がある。

アンケートによる調査内容は以下の５種類とした。

A．住宅属性（敷地／延べ床面積、構造、経過年数、周辺地域）

B．住宅設備（冷暖房設備、調理設備、換気設備、除湿設備）

C．居住者属性（人数／年齢／性別、喫煙者の有無、ペットの有無、居住者の健康状態）

D．室内空気の感じ方（日常感じる空気の汚れ、室内空気汚染の知識／情報源）

E．各部屋の状態（居間の形式／広さ、温湿度（夏／冬)、各部屋の建材（床材／壁材)、気になる空気の汚れ／臭いの有無／対処）

### 3−2　調査結果と考察

#### 3−2−1　住宅構造と設備

(1) 住宅の構造

図3.1に住宅の構造について示す。今回の調査対象では東北地方は２×４の住宅の割合が多く、中部・関西地方は在来工法の割合が多かった。

(2) 住宅の構造と暖房設備

住宅の構造と暖房設備の関係を図3.2、図3.3に示す。東北地方では開放型ストーブが少なく、密閉型やエアコン、セントラルヒーティングが多いのに対して、中部・関西地方では開放型ストーブが多い。これは東北地方では２×４が多く、それらは一般に断熱・気密化されており、そのことと関係があると推察される。

(3) 住宅の構造と換気方法

住宅の構造と主な換気方法について図3.4、図3.5に示す。東北地方では約半数が集中換気システムを使用しているのに対し、中部・関西地方では窓の開閉による換気が主流になっている。

#### 3−2−2　室内空気質と居住者の感じ方

(1) 室内空気質問題に対する認識

建材からの化学物質の有害性に対する認識について図3.6に示す。「知っている」との答えが大半である。「知らない」と答えた東北の14件について見ると、そのうち９件が竣工後１年未満の住宅であった。

(2) 室内空気質と居住者の感じ方

入居後の健康の変化を図3.7に示す。現在の住宅に住み始めてから空気に関連した健康の変化があったと答えたのは138件中27件（19.6%）であり、東北地方の割合の方が高い。表3.2に入居後に感じた健康の変化を示す。悪い変化には空気中の化学物質が原因と思われる症状が多い。良い変化には住宅の熱的性能の向上と関連があるものも見られた。

(3) 設備と室内空気質

図3.8、図3.9に夏と冬の気になる臭いの種類を示す。どちらの季節でも多く指摘されたのはタバコ、調理、生ゴミなど生活行為からの臭いである。これらの項目については、換気量を増やすとともに、発生を極力抑えるような工夫をする事も重要である。図3.8より夏の冷房器具の臭いが中部・関西地方で９件と高くなっており、そのうち８件は主にエアコンを併用している。図3.9より中部・関西地方では冬の居間で気になる臭いとしては、暖房器具の臭いが12件と最も多い。この12件中11件が開放型ストーブを使用しており、そのうちエアコンを併用している住宅が６件ある。このことから夏、冬共に室内空気の汚染源としてエアコンにも目を向ける必要がある。

### 3−3　まとめ

今回調査対象となった東北地方の住宅では、開放型ストーブを使用する割合は他の暖房器具のそれに比べて少なかった。また同地域での主な換気は集中換気が多く、これらは住宅の気密性と関連があるものと思われる。入居後に感じた健康の変化のうち、悪い変化には空気中の化学物質が原因と思われる症状が多かった。室内の気になる臭いとしては調理・生ゴミなど生活行為からの臭いの割合が高かった。また、開放型ストーブの他に、夏、冬共にエアコンが室内の汚染源になっている可能性があることが推察された。

## 4　高断熱・高気密住宅における室内空気質の実測調査

### 4−1　自然素材を使ったモデル住宅及び居住者のいる住宅における予備実測

#### 4−1−1　概要

高気密住宅において室内の空気環境を測定することにより、汚染物質、温湿度など各因子間の関連性を見いだすことを目的として平成８年10月に実測調査を行った。

対象住宅は岩手県滝沢村の２件である。１つは展示場として使われており、気密性能は1.1cm²/m²、自然素材を用い、集中換気システムを使用（住宅１）、もう一つには入居者がおり、気密性能は2.3cm²/m²、建材は標準的なものを使用し、集中換気システムはない。測定場所は和室、寝室、居間、外気の４箇所である。ホルムアルデヒドの測定にはB&K社製のマルチガスモニター(TYPE1302）とガス検知管（ドレーゲル社製）を用いた。

#### 4−1−2　実測結果と考察

住宅１では、居間、和室、寝室の３室の温度はほとんど差が無く13〜22℃の範囲で日変動している。南側に大きな開口部を持つ１階居間は他の部屋よりも敏感に外気温の変動に追随した。室内湿度については42〜54%の範囲でほぼ一定であり、日変動も見られなかった。１階和室の相対湿度が若干他に比べて低かったがこれは、材料の吸湿性が他の部屋よりも高いことによるものではないかと推察された。居間のホルムアルデヒドとTVOCの濃度は15：00頃が最も高く、気温に伴った日変動を

していた。濃度がピークとなる時間帯に換気量を増やせば揮発量を増加させることができるものと考えられる。

住宅２では、居間の温度変動は20～23℃で変化しており、在室者のいない寝室は20℃程度で余り変化はなかった。時々温度の急な低下が見られるが、これは換気のために窓を開けて外気を取り入れた為である。この換気によりホルムアルデヒドの濃度も減少するが、窓を閉めると１～２時間ほどで前の濃度に戻ることがわかった。濃度を低く保つには継続的な換気が必要であると思われる。

### 4－2　高断熱・高気密住宅における実測調査

#### 4－2－1　概要

実測調査は戸建住宅８戸を対象として行った。測定は、朝に窓開け換気を行い、５時間換気を停止して閉鎖した後に１回、さらに窓開け換気５分間または機械換気２時間を行った後で１時間閉鎖した後に１回の計２回行った。測定前に換気を停止して室内を閉め切るのは室内の汚染物質濃度を高くするためであり、それにより悪い条件における濃度が分かる。また、低濃度の物質でも、換気を止めることにより検出しやすくなるという利点もある。

ホルムアルデヒドの濃度測定には北川式ガス検知管（光明理化学社製）を用いた。また、表4.1のF邸モデルハウスA、BではDNPH法によるホルムアルデヒド濃度の測定も行い、検知管の値との比較ができるようにした。

#### 4－2－2　実測結果

実測調査の結果を表4.1に示す。表中の温度、湿度は30分のサンプリング中の平均値である。ホルムアルデヒド濃度は５時間閉鎖後で0.06～0.2ppm、換気後１時間閉鎖後で0.06～0.18ppmであった。濃度は検知管のものよりもDNPH法の方が低くなっている。これは検知管による測定では妨害ガスの影響を受けてしまうことが原因と考えられる。

５時間閉鎖後の濃度とその後換気した後の濃度との差を見ると、５分間の窓開け換気の方が２時間の機械換気よりも効率よく濃度を下げることができたといえる。また、F邸のように気密性が他よりも悪い建物であっても比較的高い濃度になっているのは、家具や芳香剤などからの発生があるものと思われる。

### 4－3　新築住宅におけるベイクアウト実験

#### 4－3－1　概要

ベイクアウトの効果を検討する事を目的として高断熱・高気密住宅を対象にホルムアルデヒド、揮発性有機化合物（ＶＯＣ）の濃度測定を行った。

対象住宅は仙台市近郊の新築住宅２件である。そのうち１件は建材からの化学物質の揮発に配慮した住宅（住宅３）で、気密性能は0.64$cm^2/m^2$ある。もう１件は標準的な建材を使用した住宅（住宅４）で、気密性能は0.75$cm^2/m^2$である。

測定項目は室内温湿度、外気温湿度、床の表面温度、ホルムアルデヒド濃度、全揮発性有機化合物（TVOC）濃度である。ホルムアルデヒド、TVOCの測定にはB&K社製のマルチガスモニター（TYPE1302）を用いた。また後日行ったVOC濃度の測定は試料空気をサンプリングバッグに採取し、その分析を横浜国大環境科学研究センターに依頼した。

住宅３の測定は６月５日～６月24日に、住宅４は７月10日～８月１日に行った。測定期間のうちの５日間に室内に設置されたエアコンで暖房を行い、ベイクアウトを試みた。

### 4－3－2　実験結果

図4.2と図4.3に結果を示す。ホルムアルデヒド、TVOC濃度は温度に追随した変化が見られた。住宅３で換気時と非換気時で濃度を比較してみたが26.5℃では、両物質とも非換気時の方が約1.74倍高い濃度になっている。ベイクアウトのためエアコンを暖房運転にすると、室温は30℃以上に保たれ、濃度が上昇した。室温が一定に保たれている時には相対湿度の上昇と濃度の上昇がほぼ同時に起こっている。これは測定器（マルチガスモニター）の、水蒸気の影響を受けやすいという特性による可能性がある。ベイクアウトの前後の濃度を比較すると、ベイクアウトによる濃度の低下は見られず、TVOCに関しては濃度の上昇が見られた。これは常温では揮発しない物質がベイクアウト中に揮発したこと、換気量が十分確保できず濃度が低減されなかったことなどが原因と考えられる。

住宅４でベイクアウト前後のホルムアルデヒド、TVOC濃度を比較すると前者が約33.3%、後者が約35.3%減少している。

実験終了から１ケ月後の８月27日に住宅３と４の居間でのVOC濃度の分析を行った。その結果、トルエンとメタノールの濃度が非常に高いことが判った。これらの物質は有機溶媒によく用いられているものである。また、トルエン、n-ドデカン、n-トリデカン、iso-ブタノール、メチルイソブチル、ケトン、酢酸エチルの濃度は住宅３の方が高くなっていた。ホルムアルデヒド濃度の低減を目的とした建材からは、他のVOCの揮発量が増加したと考えられる。

### 4－4　まとめ

①換気によってホルムアルデヒド濃度は低下するが１～２時間程度で元の濃度に戻った。

②５分間の窓開け換気の方が２時間の機械換気よりも効率よく濃度を下げることができた。

③内装材の選択に配慮した住宅ではベイクアウトの効果が見られず、標準的な内装材を使用した住宅では５日間のベイクアウト前後で約30%の濃度低下が見られた。

※マルチガスモニターは水蒸気補正の過程で誤差が生じるために実際よりもかなり高い濃度が表示される。そのため濃度の相対変化のみを見る目的で用いている。

## 5　実大試験家屋を用いたベイクアウト実験

### 5—1　実験の概要

ベイクアウトの効果、ホルムアルデヒドの濃度と室内温度等の関連性などを検討することを目的として実大試験家屋を用いたベイクアウト実験を行った。

実験は東北大学構内に既設のパッシブソーラー試験家屋を利用し、室内にアルミシートを貼ることで壁面からの化学物質の揮発を抑え、清掃を充分に行った上で行った。

試験家屋の２室のうち、東室はベイクアウトをせず、ベイクアウトを行う西室との差を見ることとした。西室のベイクアウトに際しては、電気ヒーターを３台用い、加湿、室内空気の攪拌を同時に行った。

HCHO濃度の連続測定はマルチガスモニターで行い、ガス検知管による測定も併用した。VOC濃度はサンプリングバッグに採取した気体の分析を横浜国立大学環境科学研究センターに依頼した。

図5.1に試験家屋の概略を、実験対象室の概要、測定器はそれぞれ表5.1、表5.2に示す。

### 5—2　実験結果と考察

室内ホルムアルデヒド濃度と温度、絶対湿度との関係を図5.2、図5.3に、また、ベイクアウト前後のVOC濃度を図5.4に示す。

図5.2よりベイクアウト中の西室のホルムアルデヒド濃度が温度の上昇に伴って高くなっていることが分かる。ベイクアウト後の２回の換気停止時に両室間の濃度差を見ると、暖房を行った西室の濃度上昇は東室に比べて低くなっており、ベイクアウトの効果であると考えられる。また、ベイクアウト前の濃度は東室の方が0.0lppm低かったのに対して、最終的には西側の方が0.0lppm低くなるという結果になり、若干ではあるが実験期間を通しての効果も確認された。

図5.3で、１回目のベイクアウト時の加湿が途中で止まり、暖房中の１時点に急激な絶対湿度の上昇が見られるが、濃度に対する直接的な影響は見られなかった。建材設置後に換気を行わない場合のホルムアルデヒドの濃度上昇が著しいことから、竣工後、引き渡しまでの間にも換気は必要であるといえる。

図5.4より濃度の変化を見ると、各物質の１回目ベイクアウト後の濃度はベイクアウト前と比べて低くなっており、２回目ベイクアウト後の濃度は１回目のそれよりは若干高い濃度であるが、ベイクアウト前よりは低くなっている。東室の濃度変化より、時間経過に伴う濃度の減少が読みとれる。ベイクアウトを行った西室と比べると、芳香族炭化水素はベイクアウトを行った方が多く減少していたが、含酸素化合物については換気のみの東室の方が多く減少していた。(今回の結果では6／26東室の含酸素化合物濃度が高くなってしまったが原因は不明である。)

### 5—3　まとめ

今回、ベイクアウトは約12～18時間かけて行った。この実験では検知管によるホルムアルデヒド濃

度で0.0lppmの低下が見られた。また、ベイクアウト時の加湿の効果は見られなかつた。

## 6　まとめ

### 6−1　研究の成果

6－1－1　室内空気質に関するアンケート調査

(1) 住宅メーカーへの調査では室内空気質への関心の高さがうかがえた反面、使用している材料については認識不足の感があった。また、入居前の換気については特に行っていないという回答があったが、使用している材料が製造して間もないものである場合には問題になる可能性がある。そのため、材料の製造日、養生期間を把握し、施工の時点で材料からの化学物質の揮発が考えられる場合には竣工後に十分換気をする必要がある。

(2) 居住者への調査では、入居後に感じた健康の変化のうち、悪い変化には空気中の化学物質が原因と思われる症状がみられた。室内の気になる臭いとしては調理．生ゴミなど生活行為からの臭いの割合が比較的多かった。また、冷房器具や暖房器具の臭いも比較的多く、冷房器具ではエアコンが、暖房器具では主に開放型暖房器具が原因と考えられた。

6−1−2　高断熱高気密住宅における実測調査

(1) 予備実測からホルムアルデヒド濃度が気温の上昇に伴って変動することが確認された。換気停止後のホルムアルデヒドの濃度測定に関して、５時間閉鎖後と１時間閉鎖後の濃度を比較すると、その間に行われた換気による濃度の低減が分かるが、短時間でも窓を開けて換気した方が効果は大きかった。

(2) ベイクアウト実験では、内装材に使用される建材への配慮を行った住宅では効果が見られず、標準的な内装材を使用した場合に30%程度の低下が見られた。また、換気を止めることでかなり濃度が高くなることが分かり、先の５時間閉鎖後の濃度測定結果とあわせて、家を締め切って外出した場合には帰宅後に十分な換気をすることが大切であると言える。

6−1−3　実大試験家屋を用いたベイクアウト実験

今回の実験では検知管によるホルムアルデヒド濃度で0.0lppmの低下が見られたが、加湿によるベイクアウト効果は見られなかった。VOCでは濃度の低下が見られたものの、それがベイクアウトの効果であると明確に言える結果は得られなかった。

### 6−2　今後の課題

研究に関する今後の課題としては、①住宅におけるVOC濃度の経時変化と換気状況の把握、②ベイクアウトの効果の長期的な影響の調査、③建材毎のベイクアウトによるVOC発生量の把握、があげられる。

①ホルムアルデヒド濃度の違いは測定時点までの換気状況の違いによるものであると予想されるため、経時変化と換気状況との違いにより室内汚染質の濃度がどう変化するかを把握、あるいは予測することは重要である。

②今回行ったベイクアウトがベイクアウト後、非常に短期間での効果の確認に留まった事による。短時間のベイクアウトにより、表面に残留している溶剤の成分が揮発したのであれば、その後の化学物質の発生の仕方に影響が生じる可能性があり、さらに長期の調査によりベイクアウトの効果の有無を検討する必要性が指摘される。

③ベイクアウトの効果の見込めない物質、あるいは逆に濃度が上昇する物質がある場合には、ベイクアウトは必ずしも有効とは言えない。そこで材料毎に揮発成分を分析し、ベイクアウトの効果がどの建材、どの部位に効くのかを把握することが必要である。

### 6−3　研究発表の実績

第３章の「居住者を対象としたアンケート調査」は、1998年建築学会大会（九州）にて「戸建て住宅のアンケート調査による室内空気環境の地域差等の検討」と題して発表した。

## 参考文献


1）田中、指宿；高気密・高断熱住宅における居住者の意識に関する調査、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集（札幌）1998年８月

2）鈴木、梶間、布施、岡田、山口；集合住宅における室内空気質改善に関する検討（(その１）換気・ベイクアウトの効果)、日本建築学会大会学術講演梗概集1998年９月

3）小竿、入江、堀；ベイクアウトによる室内空気汚染制御（(その２）ホルムアルデヒドとVOC濃度について)、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）1998年９月

4）野崎、池田、古澤、堀、飯倉；ベイクアウトによる低ホルマリン使用でのホルムアルデヒド、VOCの発生率に関する研究（ホルムアルデヒド、揮発性有機化合物による室内空気汚染に関する研究（その３））、日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）1998年９月

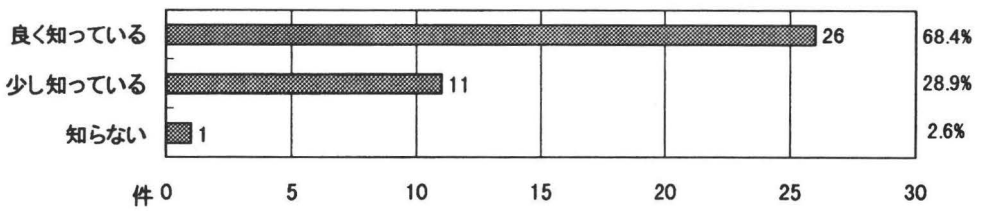
5）田辺新一；室内化学汚染（講談社現代新書、1998年）

6）スウェーデン国立住宅・建築計画委員会；住宅と健康（サンワコーポレーション、1998年）

| 地　域 | 配　布（件） | 回　収（件） | 回収率（%） |
|---|---|---|---|
| 東　北 | 44 | 22 | 50 |
| 関　東 | 7 | 6 | 85.7 |
| 関　西 | 8 | 7 | 87.5 |
| その他 | 3 | 3 | 100 |
| 合　計 | 62 | 38 | 61.3 |

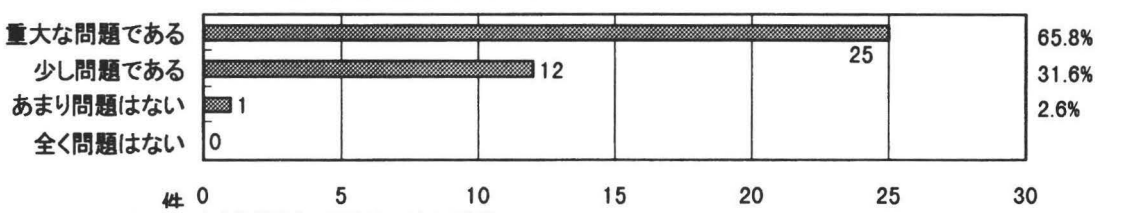
■表2.1　アンケート調査票の回収状況

（問）新しい建材、内装材からも有毒物質が発生するという現象をご存じですか。



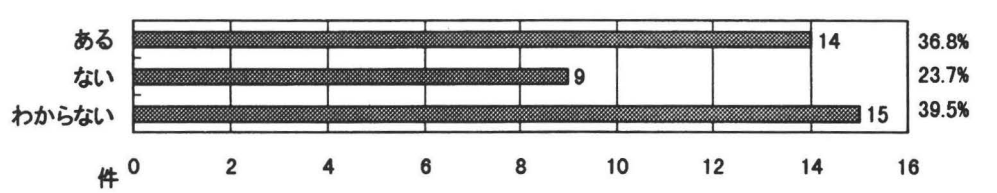

■図2.1　建材からの有害物質発生の認識

（問）建材等からの有毒物質の発生による健康への影響を、現在どのようにお考えですか。



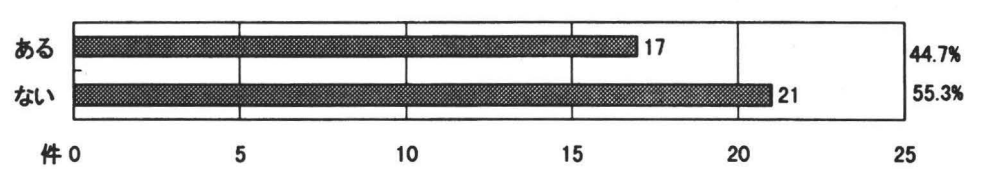

■図2.2　新建材からの有害物質発生の可能性に対する認識

（問）これまでにホルムアルデヒドの放散量についてのJAS規格がある合板を使用したことがありますか。

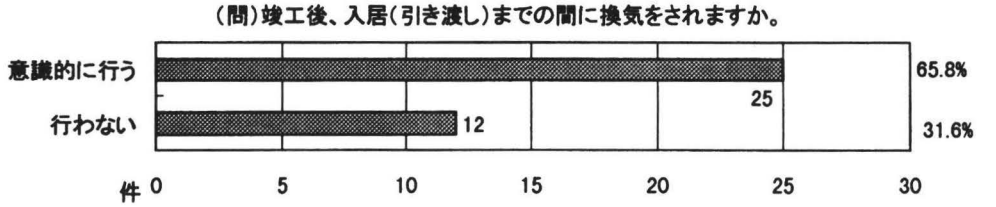



■図2.3　JAS規格の合板使用の有無

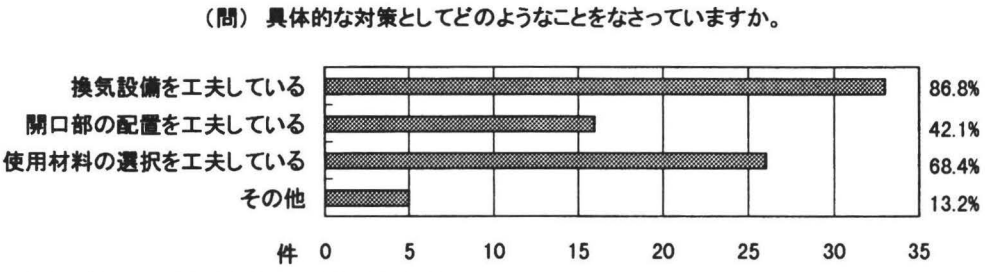
（問）実際に室内空気質や換気などについて苦情を受けたことはありますか。



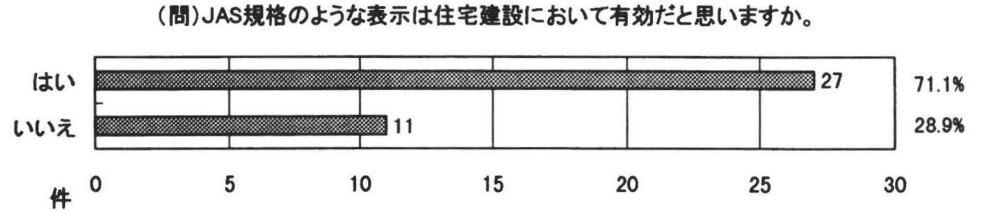

■図2.4　室内空気質・換気についての苦情



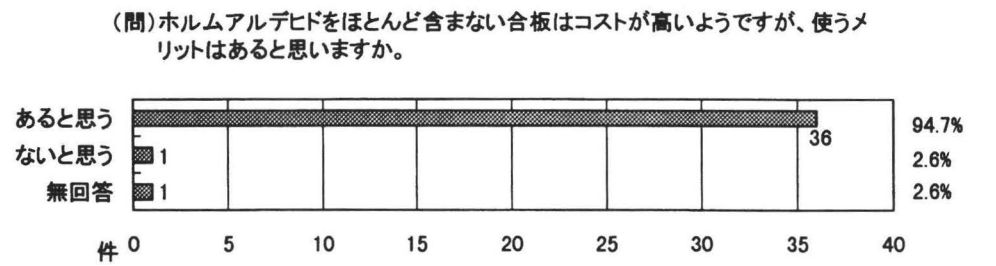

■図2.5　入居前換気の有無



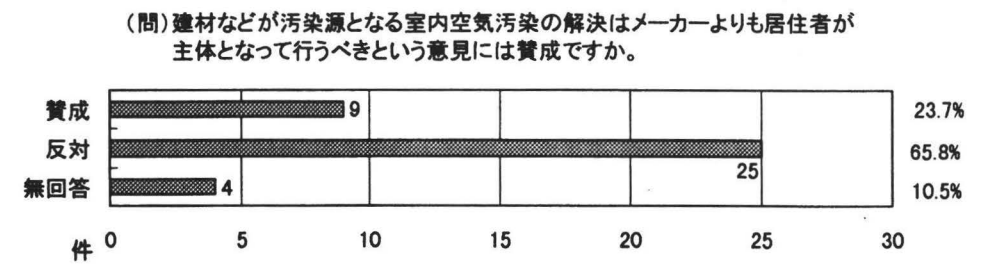

■図2.6　住宅竣工後の室内空気の汚れに対する配慮



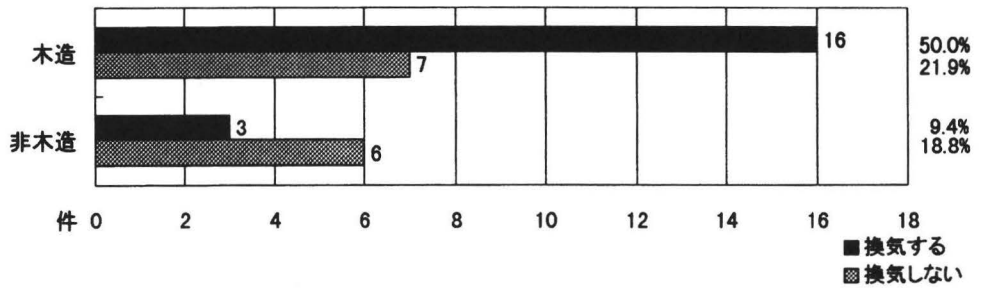

■図2.7　住宅におけるJAS規格の表示の必要性



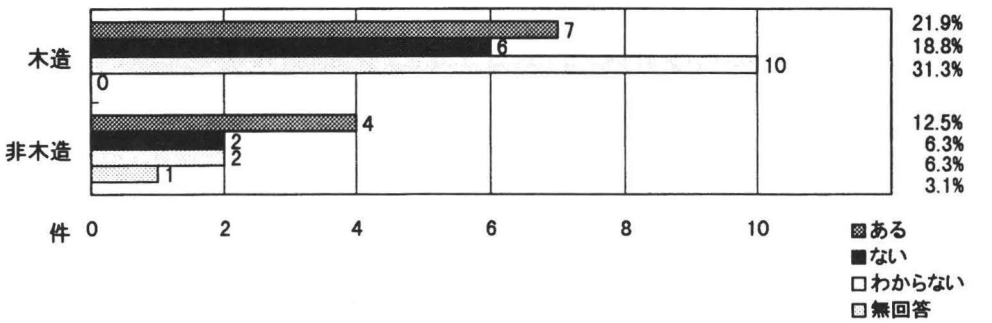

■図2.8　ホルムアルデヒドを含まない合板の使用についての認識




■図2.9　室内空気汚染への問題解決の主体



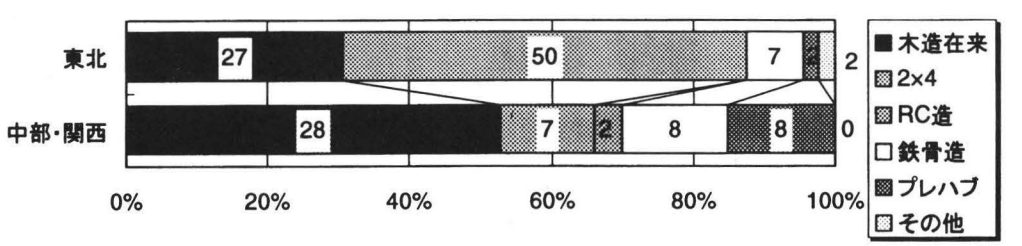

■図2.11　竣工後、入居までの間の換気の有無



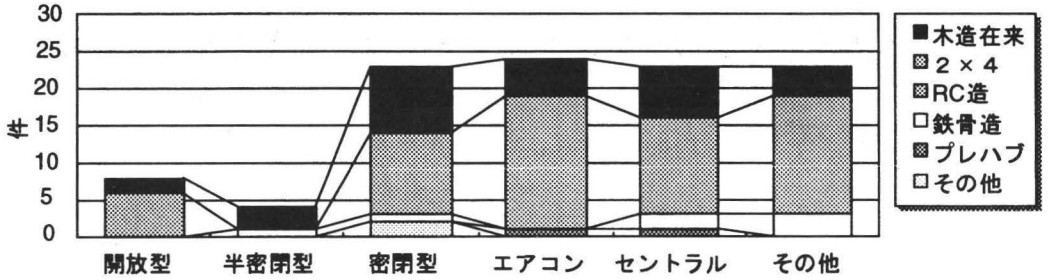

■図2.12　HCHOの放散量にJAS規格のある合板使用の有無

| 配布地域 | | 配布 | 回収 | 回収率[%] |
|---|---|---|---|---|
| 東北地方 | 北海道 | 1 | 1 | 100.0 |
| | 岩手 | 27 | 21 | 77.8 |
| | 宮城 | 74 | 60 | 81.1 |
| | 山形 | 9 | 9 | 100.0 |
| | 新潟 | 2 | 2 | 100.0 |
| 小計 | | 113 | 93 | 82.3 |
| 中部地方 | | 43 | 31 | 72.1 |
| 関西地方 | | 25 | 17 | 68.0 |
| 小計 | | 68 | 48 | 70.6 |
| 合計 | | 181 | 141 | 77.9 |

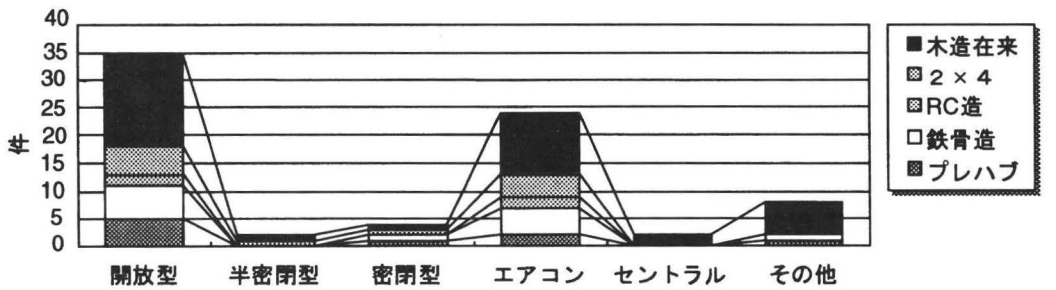
■表3.1　アンケート調査票の回収状況



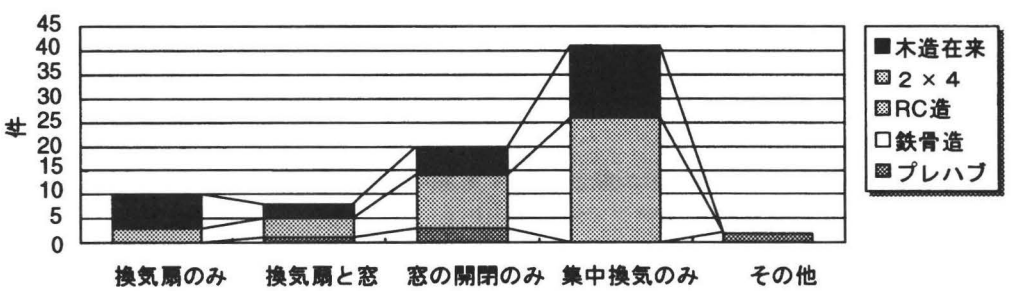

■図3.1　住宅の構造



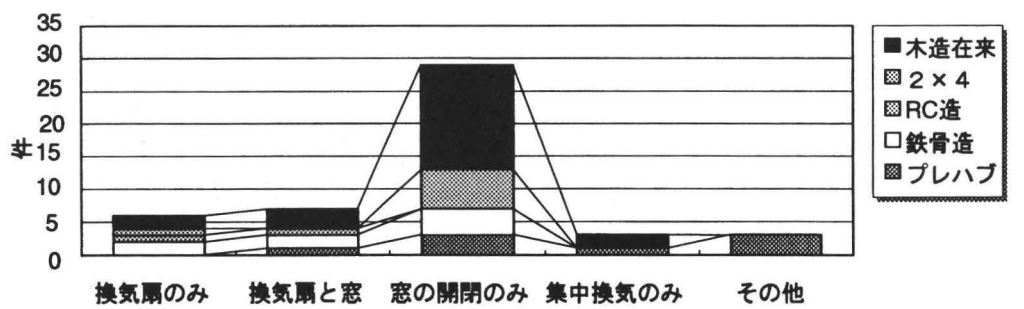

■図3.2　東北地方の住宅構造と暖房設備



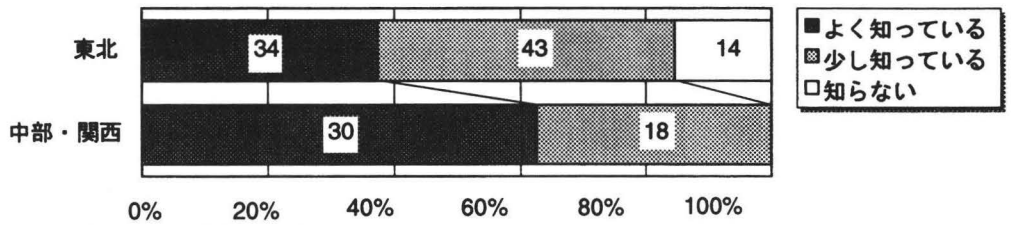

■図3.3　中部・関西地方の住宅構法と暖房設備



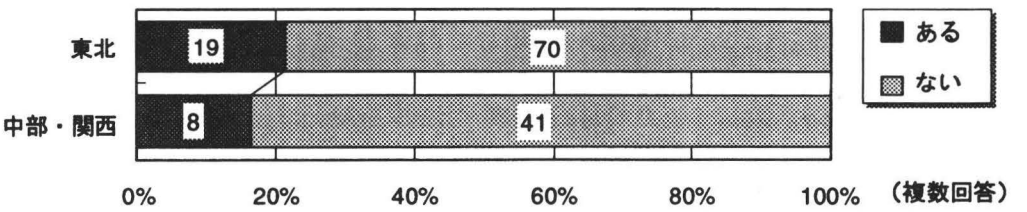

■図3.4　東北地方の住宅構造と換気設備




■図3.5　中部・関西地方の住宅構造と換気設備




■図3.6　建材からの化学物質の有害性について

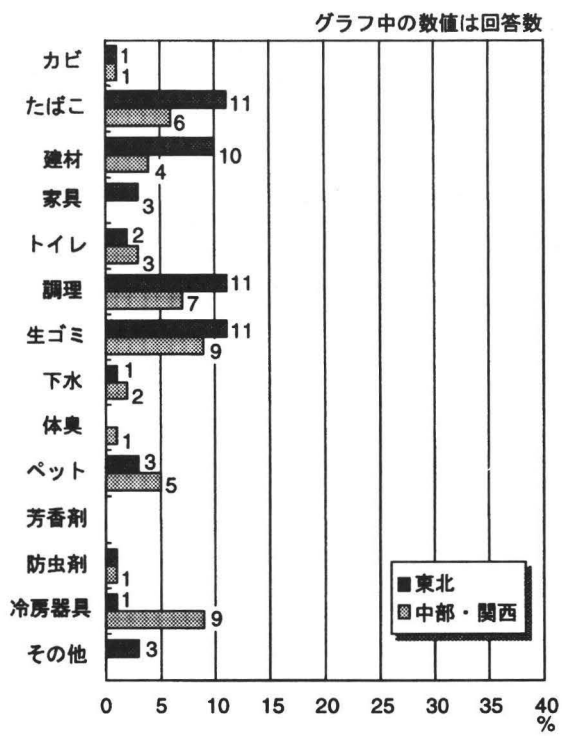



■図3.7　入居後に感じた健康の変化の有無

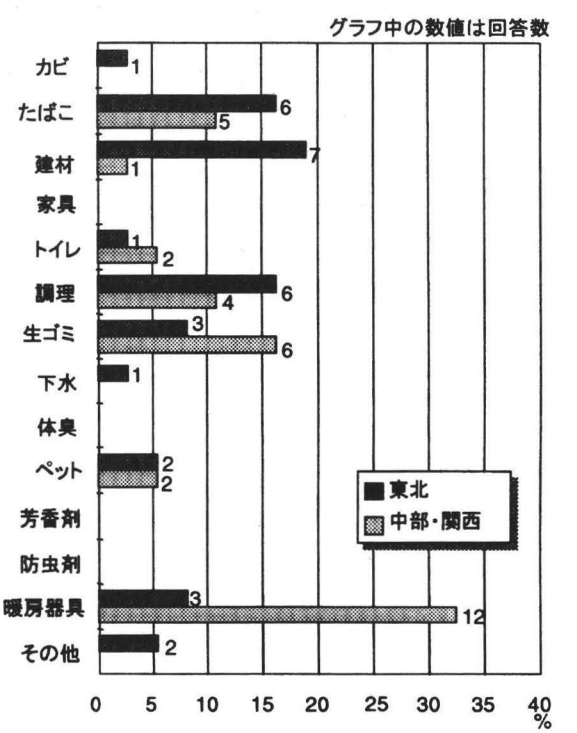
| 良い変化 | 東北 | 中部・関西 |
|---|---|---|
| 風邪をひかなくなった | 7 | 0 |
| 喘息が治った | 1 | 1 |
| アレルギーが治った | 1 | 1 |
| アトピーが治った | 2 | 0 |
| 冷え性が軽くなった | 1 | 0 |
| 寒暖のストレスがなくなった | 1 | 0 |
| 花粉症が軽くなった | 1 | 0 |
| 冬場のあかぎれ等がなくなった | 1 | 0 |

| 悪い変化 | 東北 | 中部・関西 |
|---|---|---|
| 目の痛み・疲労・かゆみ | 3 | 2 |
| 咳が出る | 2 | 0 |
| 新築直後の不快感と頭痛 | 2 | 0 |
| アトピー | 1 | 1 |
| アレルギー性鼻炎 | 1 | 1 |
| 喉の炎症 | 1 | 0 |
| 気管支喘息になった | 0 | 1 |
| 風邪をひきやすくなった | 1 | 0 |

■図3.4　東北地方の住宅構造と換気設備




■図3.8　夏の居間で気になる臭いの種類（複数回答）

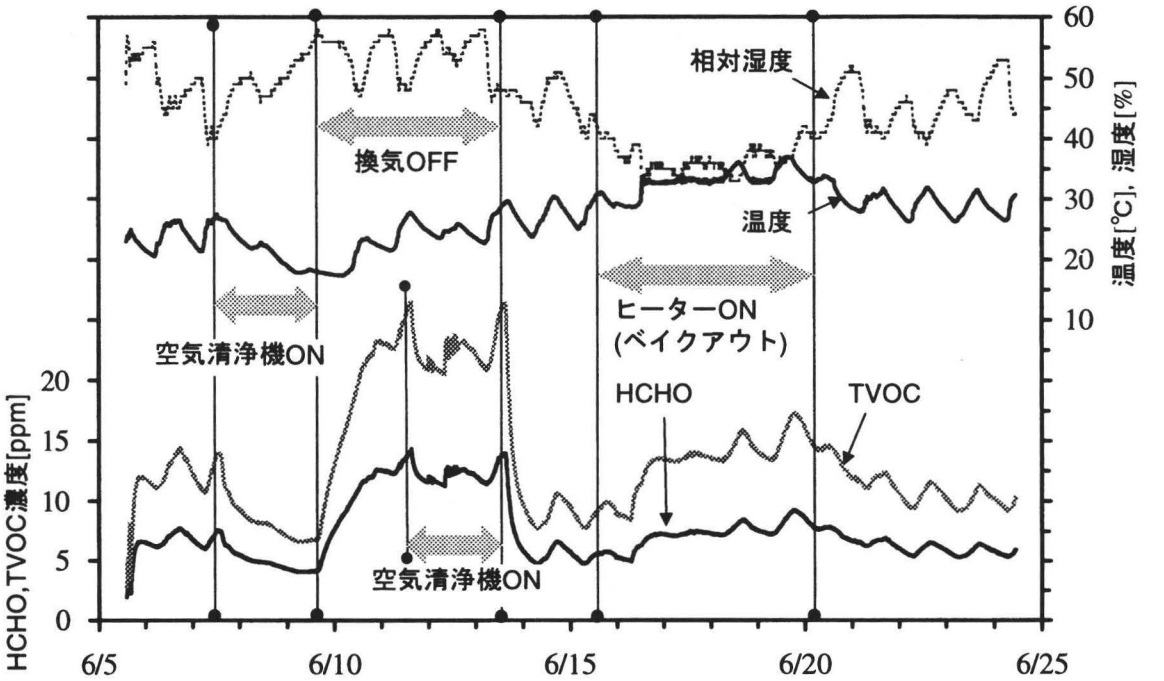



■図3.9　冬の居間で気になる臭いの種類（複数回答）

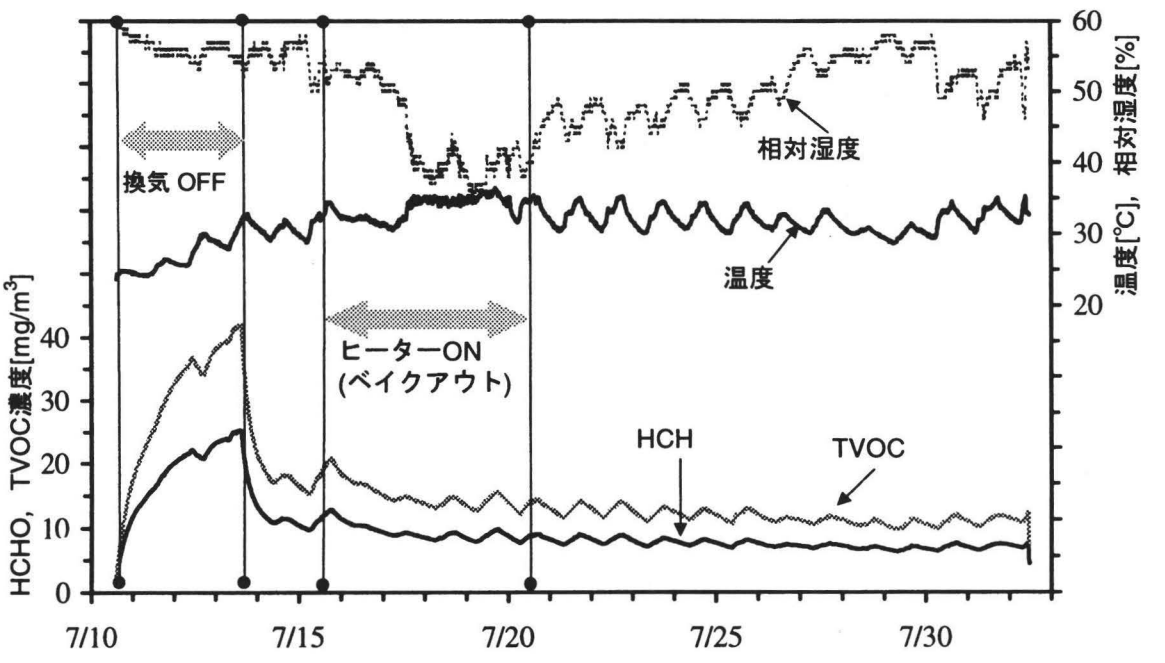
| 対象住宅 | 対象室 | 5時間閉鎖後(ppm) | 1時間閉鎖後(ppm) | 換気方法 | 気密性($cm^2/m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 戸建入居後 | | | | | |
| A邸 | 1階居間 | 0.11 | 0.06 | 5分間窓開け | 0.92 |
| 1998/3/4測定 | | 18.1(℃), 36.6(%) | 18.6(℃), 30.6(%) | | 1997/4/21引き渡し |
| B邸 | 2階居間 | 0.09 | 0.07 | 5分間窓開け | 1.08 |
| 1998/3/5測定 | | 17.6(℃), 48.7(%) | 17.4(℃), 47(%) | | 1996/12/29引き渡し |
| C邸 | 1階居間 | 0.09 | 0.09 | 2時間機械換気 | 1.16 |
| 1998/3/19測定 | | 16.3(℃), 44(%) | 16.2(℃), 44(%) | | 1996/9/30引き渡し |
| D邸 | 1階居間 | 0.16 | 0.16 | 5分間窓開け | 0.77 |
| 1998/4/11測定 | | 22.6(℃), 43.9(%) | 20.7(℃), 48.6 (%) | | 1998年引き渡し |
| E邸 | 2階子供室 | 0.2 | 0.18 | 2時間機械換気 | 1.63 |
| 1998/4/21測定 | | 28.2(℃), 53(%) | 27.7(℃), 45.7(%) | | 1996/10/19引き渡し |
| F邸 | 1階居間 | 0.15(0.12) | 0.11(0.086) | 5分間窓開け | 4.53 |
| 1998/3/31測定 | | 22.9(℃), 49.2(%) | 22.3(℃), 41.7(%) | | 1997年6月竣工 |
| | 2階居間 | 0.15 | 0.11 | | |
| | | 23(℃), 41.7(%) | 22.9(℃), 36.5(%) | | |
| 戸建モデルハウス | | | | | |
| モデルハウスA | 1階居間 | 0.13(0.061) | 0.1(0.050) | 2時間機械換気 | 1.66 |
| 1998/4/1測定 | | 18.8(℃), 37.8(%) | 18.9(℃), 41.3(%) | | 1998年2月竣工 |
| | 2階寝室 | 0.11 | 0.09 | | |
| | | 16.6(℃), 41.7(%) | | | |
| モデルハウスB | 1階居間 | 0.13(0.047) | 0.09(0.032) | 5分間窓開け | 2.67 |
| 1998/5/27測定 | | 22.9(℃), 46(%) | 24.5(℃), 44(%) | | 1997/3/15竣工 |
| | 2階洋室 | 0.12(0.054) | 0.09(0.045) | | |
| | | 25.3(℃), 44.3(%) | 27.5(℃), 40(%) | | |

注) ホルムアルデヒド濃度の欄の括弧内はDNPH法による濃度，気温，相対湿度はサンプリング中の30分平均値である。

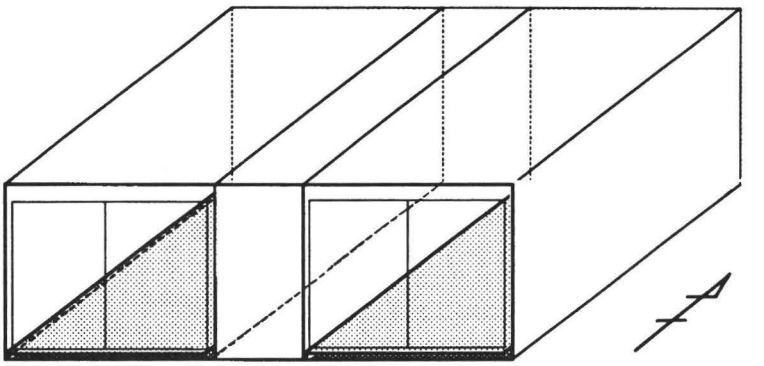
■表4.1　ホルムアルデヒド濃度測定結果一覧




■図4.2　住宅3の実測結果




■図4.3　住宅4の測定結果



西室：ベイクアウトあり　　東室：ベイクアウトなし

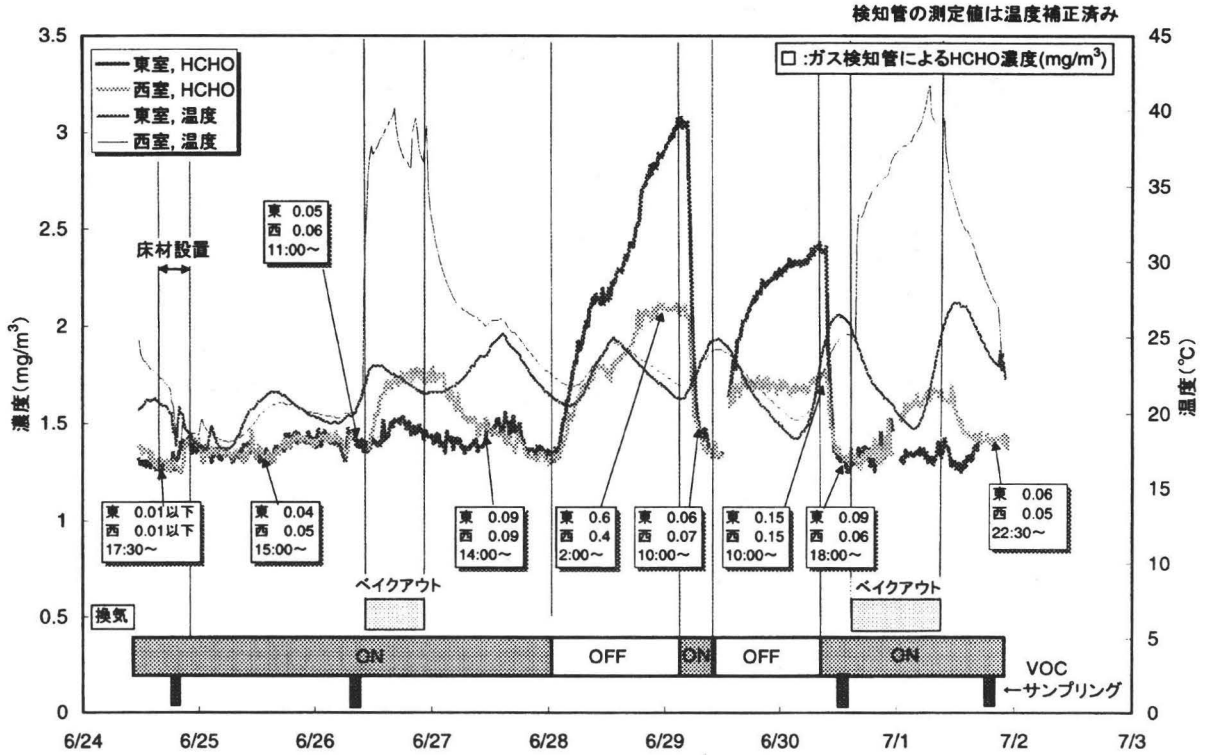
■図5.1　試験家屋概略

| | 西　室 | 東　室 |
|---|---|---|
| 床　面　積 ($m^2$) | 13.5 | 14.3 |
| 室　容　積 ($m^3$) | 30.34 | 33.61 |
| 床材設置面積 ($m^2$) | 12.12 | 13.43 |
| ﾛｰﾃﾞｨﾝｸﾞﾌｧｸﾀｰ | 0.4 ($m^2/m^3$) | |
| 使用建材 | F2内装床材 | |
| 壁・天井面 | アルミシート貼り | |
| 換気回数(回/h) | 1 | 1.1 |

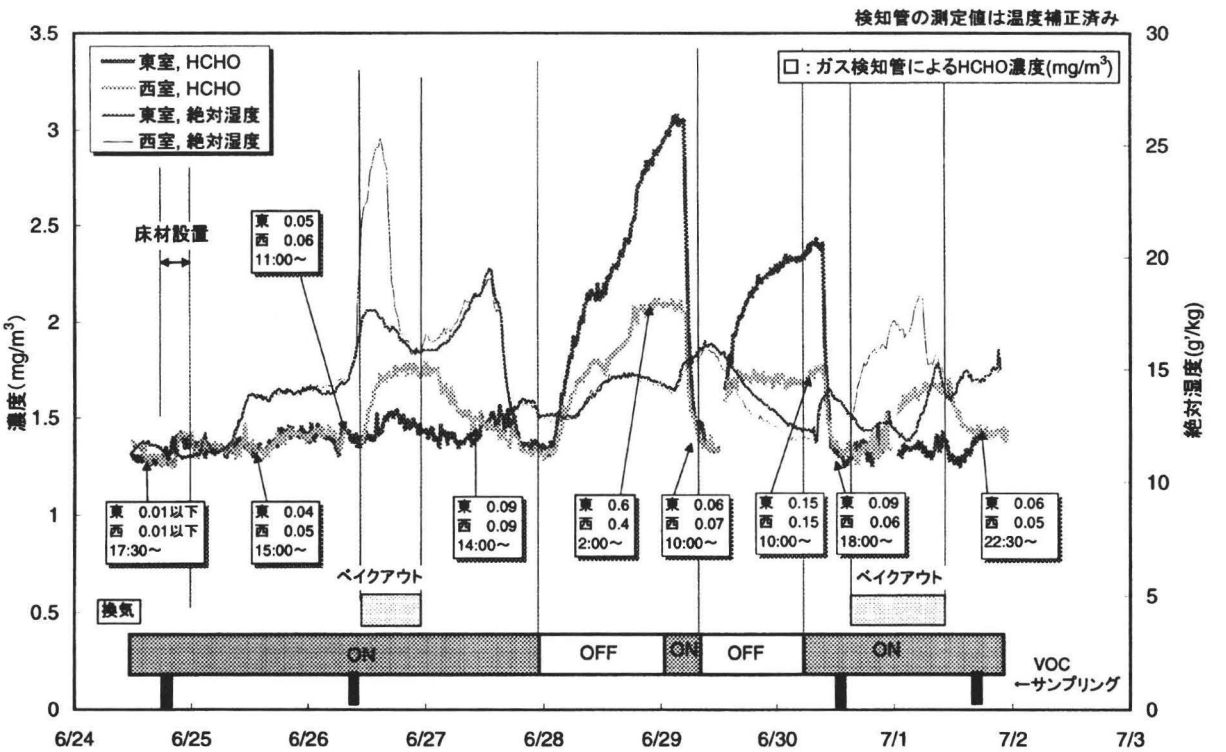
■表5.1　実験対象室の概要

| | 測　定　器 | 製　造　会　社 |
|---|---|---|
| 温　度 | 温湿度計付小型データロガー | ㈱T&D |
| | 熱電対 | |
| 換気量 | 風量測定器 | コーナー札幌㈱ |
| HCHO濃度 | 北川式ガス検知管 | 光明理化学工業㈱ |
| | マルチガスモニター | B&K |

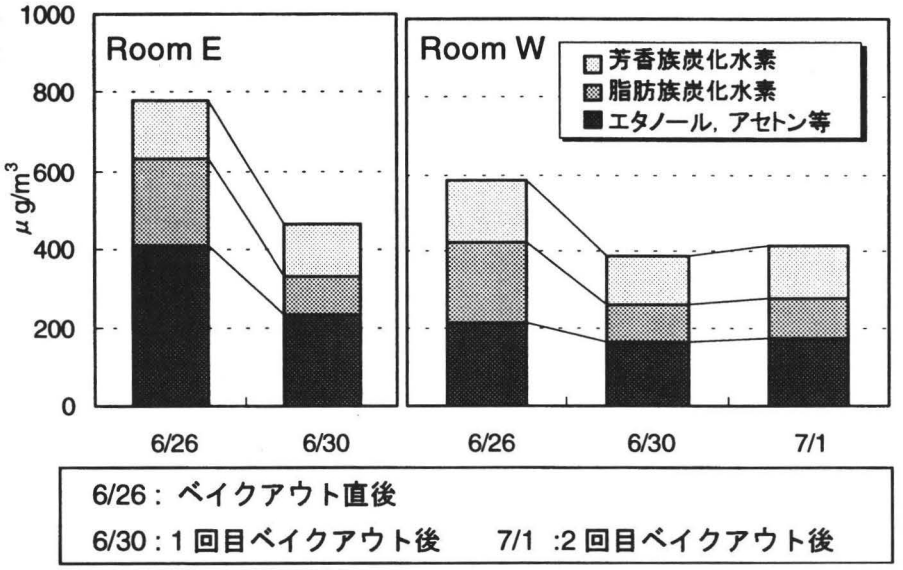
■表5.2　使用測定器




■図5.2　HCHO濃度と室温




■図5.3　HCHO濃度と絶対湿度




■図5.4　実大試験家屋におけるVOC濃度

# 1－12 長野県内の新築住宅を対象としたホルムアルデヒド濃度の経年変化に関する実態調査

信州大学　工学部　社会開発工学科
助　手　長谷川　兼　一

## 1　研究の背景と目的

住宅の断熱気密化は、省エネルギーや快適性の向上の観点から全国的に進められており、長野県内においても新たに建設される住宅の断熱気密性能は向上している。一方では、新築された住宅において、めまいや頭痛などといった健康被害が起きる場合があることが指摘されている。竣工直後では、特に気密化住宅においては自然換気量が減少するために、新しい建材や接着剤などに使用されているホルムアルデヒドをはじめとする様々な化学物質が多量に揮発している場合には、人体へ影響を及ぼすまでに濃度が上昇する可能性がある。日本では、新築住宅におけるこれらの化学物質による室内汚染に対する対策はなされておらず、現状のままでは居住者への健康被害が多発することが懸念される。

建材などからのホルムアルデヒドの発生は比較的長期間にわたると考えられるため、竣工直後から経年的にホルムアルデヒド濃度の実態を明らかにする必要があるといえる。そこで、本研究は、竣工直後から居住状態におけるホルムアルデヒド濃度の実態を把握するとともに、居住者の健康への影響について把握することを目的とする。

## 2　研究の方法と計画

本研究は以下の３項目について検討を行う。

### (1) ホルムアルデヒド濃度の経年変化の把握

気密化住宅においては、自然換気量が減少するため機械換気により必要換気量を確保することになる。しかし、建材などからのホルムアルデヒドの発生は比較的長期間にわたるため、日常の機械換気を行っている状態では、居住者は低濃度のホルムアルデヒドの暴露されている状態が続いているものと予想される。そこで、竣工直後からホルムアルデヒド濃度の測定を継続して行うことにより、経年変化の実態を把握することが可能となる。

### (2) ホルムアルデヒド濃度と温湿度との関連

ホルムアルデヒドの発生は温湿度と関連が深いことが指摘されているが、ここでは、居住状態におけるホルムアルデヒドの発生の状況を室内温湿度との関連により把握することとする。これにより、室内におけるホルムアルデヒド濃度の季節変化を把握することが可能となり、入居前換気やベイクアウトなどの対策について効果的な方法を確立するための基礎資料になるものと期待される。

### (3) 室内熱空気環境と居住者の健康との関連

研究代表者は昨年度に東北地方における高断熱高気密住宅を対象として、居住者の健康に注目した調査を行い、①健康上の被害として“室内空気の乾燥”を訴える場合が多いこと、②この“乾燥感”は必ずしも室内湿度が低いことによるものではないこと、③居住者に“乾燥感”を与える原因としてホルムアルデヒド等の室内空気汚染が考えられること、を指摘した。そこで、今回測定を行った断熱気密化住宅10棟に対して居住者の健康への影響に関する聞き取り調査を行った。また、東北地方における高断熱高気密住宅に対しては、ホルムアルデヒド濃度と居住者の“乾燥感”との関連に関する調査を1998年２月に実施したため、その結果も参考までにあわせて示すこととする。

## 3　研究の成果

### 3.1　対象住宅の概要

測定対象としたのは、長野市内に建設されている断熱気密化住宅10棟である。表１に測定対象住宅の概要を示す。対象住宅の建築年代は、新築が４棟である他は、築後１年未満のものである。対象住宅のうち、４邸および５邸はホルムアルデヒドの発生を抑えた建材を使用した住宅である。その他の住宅については建材からのホルムアルデヒド発生について特に配慮されていない。

対象住宅のうち気密性能測定を行った住宅については、新省エネルギー基準にて言及されている気密住宅としての性能値である５$cm^2/m^2$を満たしている。４邸、５邸、９邸は施工段階で特に気密施工は行っていない住宅である。従って、これら３棟の住宅には機械換気システムが設置されておらず、換気は自然換気としている。その他の住宅については第１種あるいは第３種換気システムが設置されている。

３邸は展示用モデル住宅であるため日中のみ在室者がいるが、常時暖冷房ならびに機械換気は行われている。その他の住宅は居住状態である。

### 3.2　測定の概要

測定項目は居間ならびにその他の居室（寝室、子供室など）のホルムアルデヒド濃度、温湿度、外気温湿度である。

ホルムアルデヒド濃度の測定はDNPH法で行い、屋外に設置した吸引ポンプを１L/minの割合でサンプリングできるように設定し、室内まで引き込んだチューブの先端に取り付けたカートリッジにより採取した。測定には約20Lのサンプリングを行った。サンプリング終了後、アセトニトリルで抽出して高速液体クロマトグラフィーにて分析を行い、ホルムアルデヒド濃度を算出した。温湿度の測定には小型データロガー[注1]を使用し、10分間隔でホルムアルデヒドのサンプリング前後の連続したデータが得られるように計測した。写真１に屋外に設置した吸引ポンプ、写真２に居間における測定状況を示す。

ホルムアルデヒド濃度のサンプリングは、ISO/TC146にて提唱されているように「30分の窓開放・８時間の窓閉鎖後の濃度を測定する」ことは行わず、在室者が通常使用している状態の濃度を測定することとし、測定前、測定中は通常の生活を想定してもらう以外は特に何も指示をしなかった。ISO/TC146では最も危険側の濃度測定を行うことになるが、本研究では、在室者が通常暴露される環境状態を計測することを意図しているため、敢えてISO/TC146提案を採用しなかった。また、ホルムアルデヒドの平均的な濃度を測定する手法としてパッシブサンプラー法があるが、サンプリング後の分析精度の観点からいうとDNPH法の方が高いと判断したため、本研究では、在室者が生活しているうちの一部の時間（30分間）の濃度として測定を行ったことになる。

測定は１年間を通じて実施し、1998年３月（居間のみ測定、３邸から８邸まで対象。）、７月、９月、11月、1999年２月の計５回行った。

### 3.3　測定結果及び考察

(1) ホルムアルデヒド濃度の経年変化の把握

表にホルムアルデヒド濃度の測定結果、図１、図２に居間及びその他の居室におけるホルムアルデヒド濃度、室内温湿度の季節変化を示す。

測定対象住宅のうち、４邸５邸以外は機械換気を保有し常時換気を行っているものの、ホルムアルデヒド濃度には季節変化が見られ、夏期に濃度が高くなり、冬期に減少する傾向が見られる。しかし、この傾向には住宅ごとのばらつきが大きい。夏期のホルムアルデヒド濃度は、ほとんどの住宅において濃度が高く、WHOの基準値である0.08ppmを上回っている住宅が多く、基準値の４倍近くまで濃度が高くなっている住宅もみられる。ISO/TC146測定案では特に季節の指定までは言及されていないが、今回の結果を見ると、測定時期によってホルムアルデヒド濃度にかなりばらつきが生じることが予想される。また、今回の測定方法は在室者が実際に暴露されている環境の濃度を計測しているため、住宅によっては高濃度環境において生活していることになる。後述するように今回の測定対象住宅には、健康への影響を申告している住宅は見られなかったものの、季節によって高濃度環境が形成される場合があり、使用する建材、換気システムの性能など建築側の配慮が求められる。

### (2) ホルムアルデヒド濃度と温湿度との関連

図3から図5に居間、その他の居室における温度及び絶対湿度の平均値とホルムアルデヒド濃度との関係を示す。図3は今回測定を行った全データを示し、図4は夏期、図5は冬期に行った測定データを示している。図を見ると、室内温湿度とホルムアルデヒド濃度とには関連が見られ、温湿度の上昇に伴ってホルムアルデヒド濃度も高くなっているのが見て取れる。この傾向は温度との関連の方が比較的強く、後述する東北地方に建設された高断熱高気密住宅を対象とした調査と同様の結果（図6）が得られている。

また、図4と図5に示す夏期、冬期のみにおける結果を見ても、室内温湿度とホルムアルデヒド濃度との関連は高いといえ、室内温湿度の上昇する夏期において建材などに含まれているホルムアルデヒド濃度の揮発が促進されているものと推察される。

### (3) 室内熱空気環境と居住者の健康との関連

長野県内における断熱気密化住宅10棟を対象とした調査では、居住者の健康に悪い影響があるとの申告はなかった。しかし、冬期における「室内空気の乾燥」は程度の差は当然あるものの、どの住宅においても訴えており、研究代表者が以前から指摘[4]している通り、我が国における断熱気密化住宅における室内環境上の問題として引き続き取り上げ、原因の解明および対策を早急に施すことが必要といえる。

東北地方における高断熱高気密住宅を対象とした調査では、東北地方6県に建設されている50棟と対象とした。本調査は、居間及び寝室の温湿度及びホルムアルデヒド濃度を測定し、ホルムアルデヒド濃度の測定にはパッシブサンプラーを用い、2日間の暴露の後、AHMT法により分析を行った。また、測定期間中の居住者（主人と主婦の2人）の湿度感を、表3に示す記入用紙により把握した。本調査は1998年2月上旬から3月上旬にかけて行った。図7に居間における団らん時について、居住者の湿度感とホルムアルデヒド濃度との関係を示す。図中の各点は各住宅のデータを示し、湿度感[注2]に対する評価値を各時間帯ごとに平均した。図7を見ると、ホルムアルデヒド濃度と湿度感には関連が低いものの正の相関が見られ、ホルムアルデヒド濃度が高いほど乾燥側に申告する傾向がある。しかし全体的にホルムアルデヒド濃度が低いため、健康上の被害を指摘している住宅との関連は明確ではない。

## 4　これから期待される成果

本研究により、住宅におけるホルムアルデヒド濃度には季節変化があることがわかったため、得られた結果は今後、住宅の環境性能としてホルムアルデヒド濃度を提示することを検討する場合の判断資料として有効といえる。現段階では詳細な分析までには至らなかったが、今回測定対象とした住宅の仕様との検討を行うことにより、実態をさらに明らかにできるものと考えられる。

また、居住者の健康との関連については明確な傾向は見られなかったものの、居住者は「室内空

気の乾燥」について申告しているため、今後も引き続きデータを収集し、原因解明に取り組む必要がある。

## 5　本研究を実施するにあたっての問題点

室内空気質測定に関しては、その測定手法の確立が早急にもとめられる。本研究では、現段階で精度が最も高いといわれているDNPH法でホルムアルデヒド濃度を測定したが、費用面や測定にかかる手間を考えれば、簡易に行える手法とはいえない。また、先に指摘したように、サンプリングの時期に関する問題も今後検討すべきテーマといえ、ホルムアルデヒド濃度に季節変化が見られる以上、年間のどの時期にサンプリングを行うべきかは、住宅の性能という観点からいえば非常に重要である。

## 6　研究発表の実績

山下恭弘、長谷川兼一、末永義明：長野県内における断熱気密住宅の居住性能に関する調査研究、信州大学地域共同研究センター年報　Vol. 5、1998年10月。

注　1）センサー（温度はサーミスター、湿度は電気抵抗式の高分子吸収エレメント）の精度は、温度が±0.5℃、相対湿度が±５％（25℃、50％のとき）である。　2）主婦のみの結果を示す。

## あとがき

本調査を実施するにあたっては、各工務店及び居住者の皆様にご協力いただきました。また、ホルムアルデヒド濃度の計測には㈱科学技術開発センター・手塚光晴氏の協力を得ました。お世話になった方々に、心から感謝の意を表します。

## 参考文献

1）田辺新一ほか：住宅におけるホルムアルデヒド・VOCによる室内空気汚染に関する基礎的研究――欧米のガイドライン、測定・評価法に関する考察――、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、1997年８月。

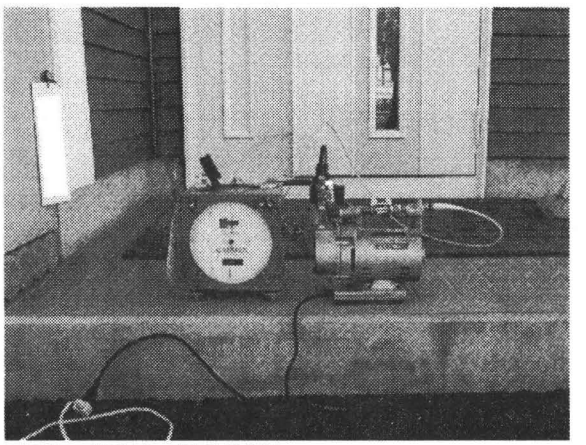
2）堀　雅宏：揮発性有機化合物とホルムアルデヒドのサンプリング法の提案と簡易測定法の検討、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、1997年８月。

3）長谷川兼一、吉野　博ほか：東北地方における断熱気密受託の熱空気環境と居住者の乾燥感に関する冬期調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、1998年９月。

4）長谷川ほか：高断熱高気密住宅における居住者の乾燥感に関する冬期調査、日本建築学会計画系論文報告集　第509号、1998年７月。

| No. | 所在地 | 建築年代 | 工法 | 延べ床面積 | 気密性能 | 換気設備 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 長野市稲里町 | 1998年 | 内断熱・パネル化工法 | | 0.90 | 強制排気 |
| 2 | 長野市川中島 | 1997年 | 内断熱・パネル化工法 | 220.7 | 3.99 | 強制給排気 |
| 3 | 長野市大豆島 | 1998年 | 断熱材現場発泡型工法 | 164.0 | 0.47 | 強制給排気 |
| 4 | 長野市松代町 | 1997年 | 在来工法 | 174.5 | | なし |
| 5 | 長野市川中島 | 1997年 | 在来工法 | 179.2 | | なし |
| 6 | 長野市川中島 | 1997年 | 外断熱・パネル化工法 | 238.1 | 0.53 | 強制排気 |
| 7 | 長野市栗田 | 1997年 | 内断熱・パネル化工法 | 197.6 | 1.40 | 強制給排気 |
| 8 | 長野市 | 1997年 | 枠組壁工法 | | | 強制排気 |
| 9 | 長野市安茂里 | 1998年 | 外断熱・パネル化工法 | | | 強制排気 |
| 10 | 長野市松代町 | 1998年 | 外断熱・パネル化工法 | 149.6 | 0.57 | 強制排気 |

■表1　測定対象住宅の概要



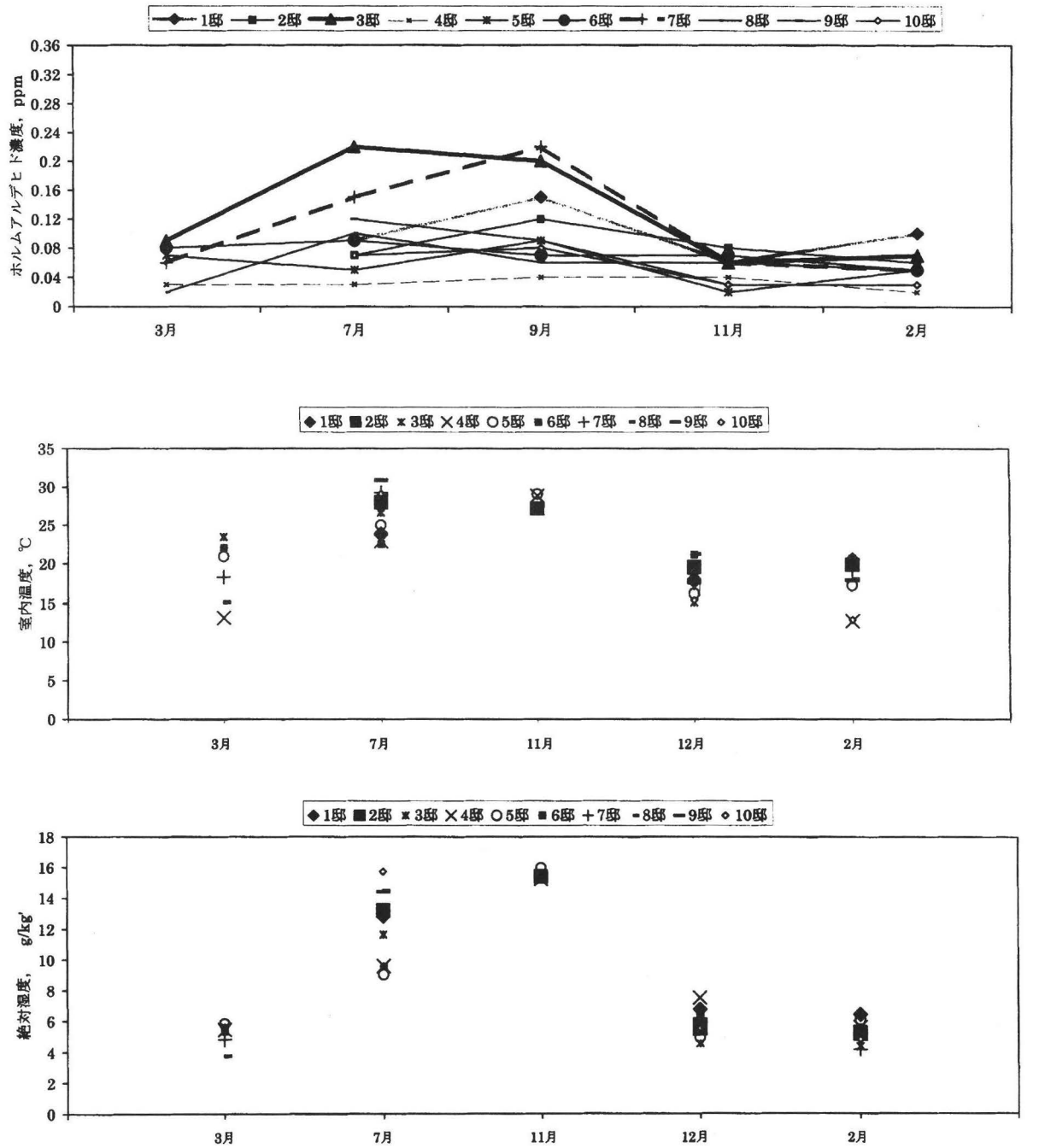
■写真1　吸引ポンプの設置状況

■写真4　今の測定状況（3邸）

| No. | 3月 | 7月 | | 9月 | | 11月 | | 2月 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | 0.09 | 0.07 | 0.15 | 0.15 | 0.06 | 0.06 | 0.1 | 0.09 |
| 2 | | 0.07 | 0.06 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| 3 | 0.09 | 0.22 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.09 |
| 4 | 0.03 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| 5 | 0.07 | 0.05 | 0.1 | 0.09 | 0.33 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.02 |
| 6 | 0.08 | 0.09 | 0.1 | 0.07 | 0.17 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.05 |
| 7 | 0.06 | 0.15 | 0.25 | 0.22 | 0.3 | 0.06 | 0.07 | 0.05 | 0.08 |
| 8 | 0.02 | 0.1 | 0.15 | 0.06 | 0.15 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.04 |
| 9 | | 0.12 | 0.14 | 0.09 | 0.11 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 |
| 10 | | 0.07 | 0.28 | 0.08 | 0.14 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |

単位：ppm

■表2　ホルムアルデヒド濃度の測定結果




■図2　その他の居室におけるホルムアルデヒド濃度の季節変化

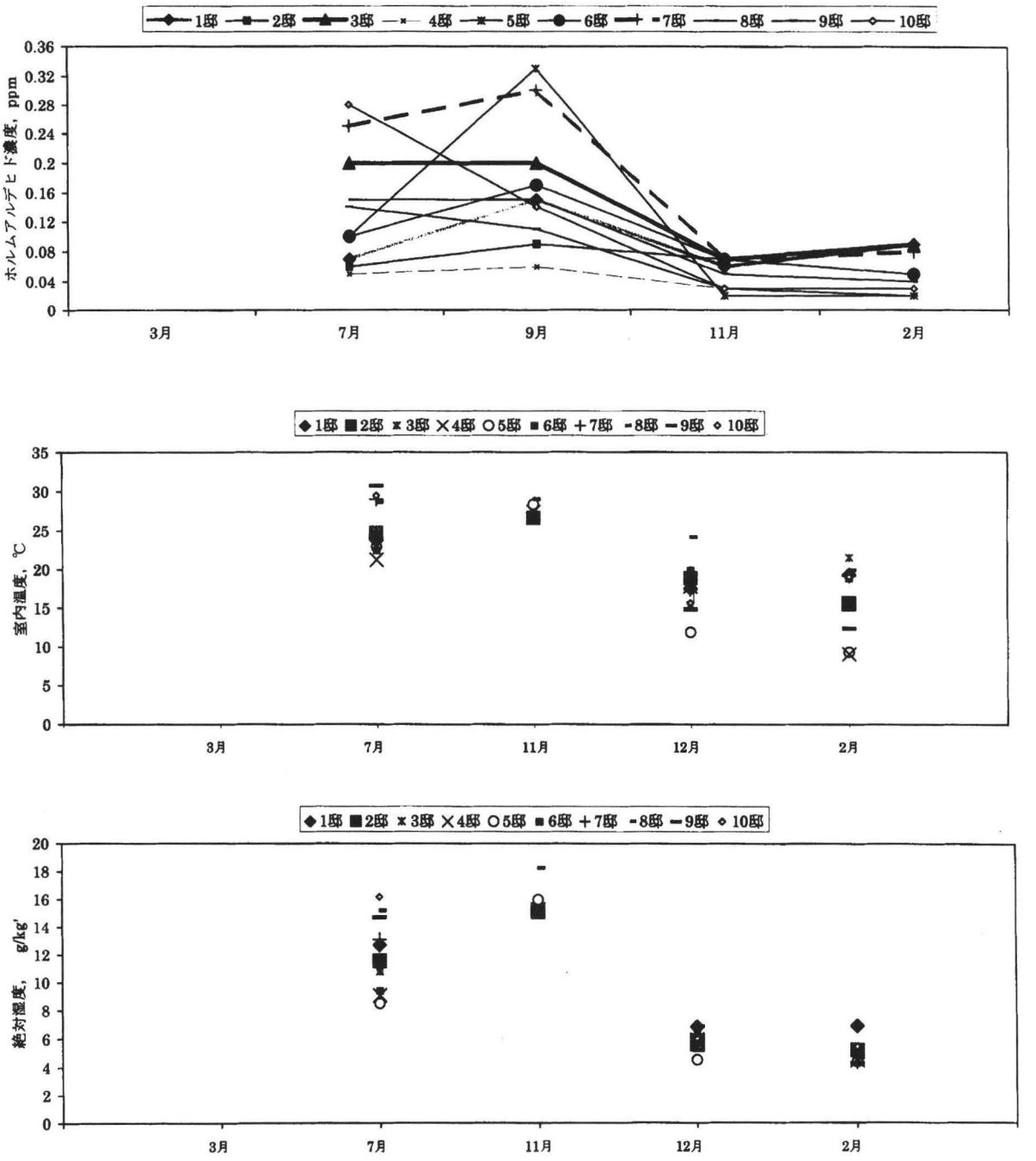
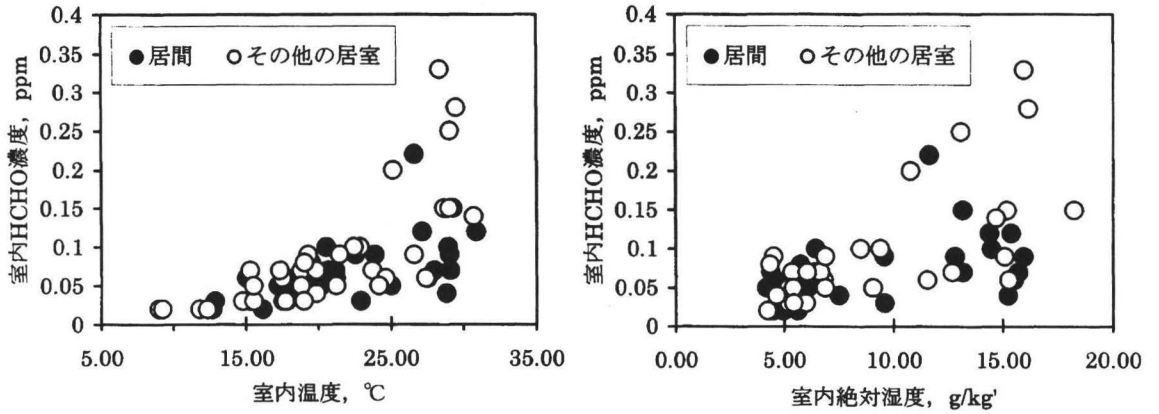
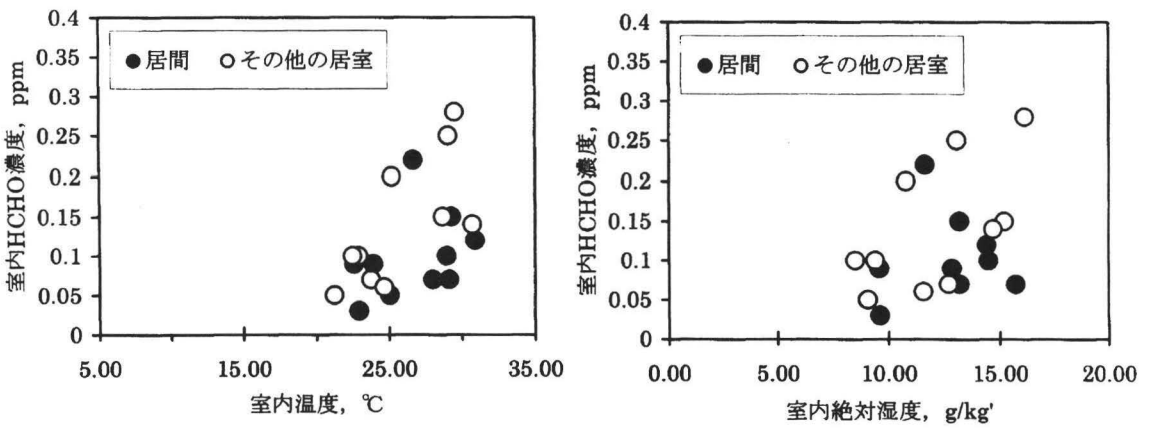


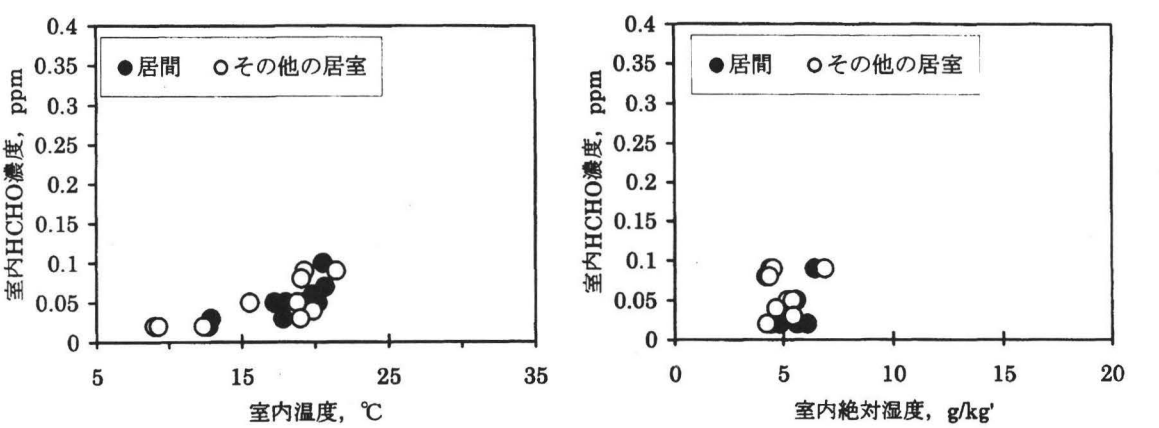

図2　その他の居室におけるホルムアルデヒド濃度の季節変化



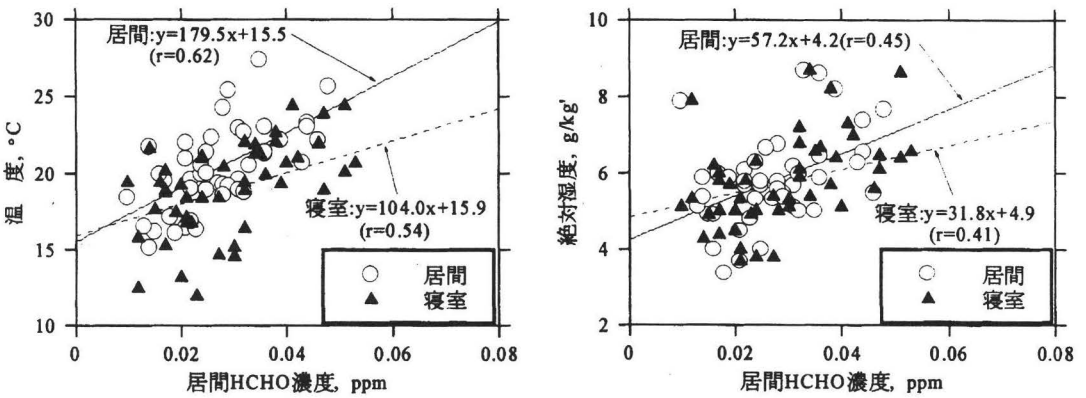

■図3　居間とその他の居室におけるホルムアルデヒド濃度と温湿度との関係（左：温度、右：絶対湿度）




■図4　夏期における居間とその他の居室のホルムアルデヒド濃度と温湿度との関係（左：温度、右：絶対湿度）




■図5　冬期における居間とその他の居室のホルムアルデヒド濃度と温湿度との関係（左：温度、右：絶対湿度）




■図6　居間と寝室におけるホルムアルデヒド濃度と温湿度との関係（左：温度、右：絶対湿度）

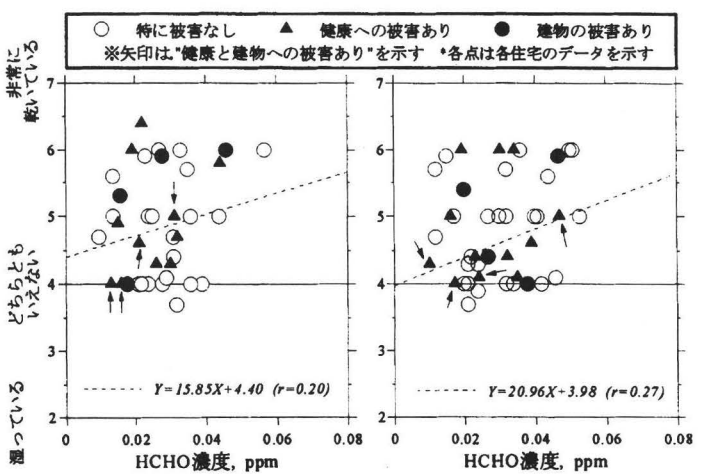
測定期間中，ご主人及び主婦の方が感じる室内における乾燥の度合いについて，1~7の尺度に当てはまるものに○印を付けて下さい。

1 非常に湿っている　2 湿っている　3 やや湿っている
4 どちらともいえない　5 やや乾いている　6 乾いている
7 非常に乾いている

**2月27日(火)**

| | | ご主人 | | | | | | | 主婦の方 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 居間 | 朝食時 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | 団欒時 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 寝室(一日) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

■表3　湿度感に対する評価の記入用紙




■図7　居間と寝室におけるホルムアルデヒド濃度と居住者の湿度感の関係（左：居間、右：寝室）

# 1－13 高断熱・高気密住宅の自然冷房に関する研究

北海道大学大学院工学研究科
教授 絵内正道

## はじめに

高断熱・高気密を常識とする積雪寒冷地の住宅では、冬期間、窓面透過日射や室内取得熱を暖房の主熱源とし、暖房機器からの熱供給を副熱源とするような暖房形態が可能になってきている。

この熱損失が少ないという熱特性は、非暖房期間にも日射を窓面透過させると、そのまま室温を押し上げることになる。が、その一方で、日除けの工夫と共に室内取得熱で温まった空気を拡散混合せずに上方開口から排出すると、先の熱損失が少ないという熱特性は、外界からの夏期の暑さや熱流出の阻止にも直結するので、高断熱・高気密住宅程、涼しさを終日持続させることになる。

上方に開放した開口から排出される温気に見合った量だけ室内に流入した冷外気は、夜間には床付近までダイレクトに流下して構造躯体を冷却し、外気温が上昇する日中は空間上部だけの排熱換気になる。冷外気は低温の層の上部に潜り込むように流入し、居住域には低温空気の温度積層が形成される。この様に、高断熱高気密住宅は、夏期に冷涼という地域性を生かし、吹き抜け空間の最頂部に開口を設け、温気の排出と同時に冷気の取り入れが可能な熱対流型換気によって熱環境改善（パッシブ型の自然エネルギーの有効利用）を図ることができる。

本研究の目的は、高断熱高気密住宅の夏期の温熱環境改善の一方策として上方開放熱対流型の換気を提案し、夏期に冷涼な地域の自然冷房の可能性を探ることにある。研究は平成10年度から11年度にわたって、次のような成果を得ている。

## 平成10年度

### 1　夏期の上方開放空間の熱対流型換気量測定法の確立

#### ①上方開放空間におけるトレーサーガス放出法とトレーサーガスサンプリング法

$SF_6$、$N_2O$、$CH_4$、CFC等の多種トレーサーガスの測定濃度に見合ったマスフローコントラーの選定を行い、標準ガス濃度100ppmを指標とするガス濃度測定が可能になった。ガス濃度測定器の感度と積分操作に見合った多種ガスサンプリングの時間間隔を検討し、チャンネル切り替え装置の開発を行った。

その測定対象住宅、測定システム、対象空間のモデリング、測定結果を図１から図５に示す。外気温の低下する夜間の外気流入や外部風速が増大する昼間の換気動向を把握することが可能になった。

②リーズナブルな仮想空間の想定

夏期にオープン化されて使用される諸室に仮想壁を設定し、多種ガス数に見合った解析対象空間のゾーンを想定して、その妥当性を検討している。

測定に用いた試験住宅、実測システム、換気モデルを図６～図８に示す。１階窓２面開放による通風換気量の測定結果を図９に示す。一部にネガティブな結果が得られており、更なる検討が求められる。上方開放熱対流型換気については空間想定の見通しが立ったが、水平・対向２開口通風型換気は今後の研究課題としたい。

## 2　終日あるいは季間の換気量（排熱量）変動の把握

①昼間換気量と夜間換気量の変動

熱対流型換気は比重量差（温度差）を動力とする換気であるが、多種ガス法によって、外界の変動に応じた換気量の変動のフィールド測定が可能になった。上方開放による熱対流型換気の特徴は、内外温度差の変動によって、換気経路も換気量も変動するところにある。夜間は内外温度差、昼間は風速変動が、換気の主動力であることを明らかにした。

図１に示す測定対象住宅も対象ガス数が限定されれば、図10に示すような２室モデルを想定した測定になる場合もある。階段室を含む吹き抜け空間を便宜的に実態容積なしの換気連絡路に仮定しなければならない４室モデルよりも排気量の推定は容易になる。図12は２室モデルの排気量であり、図14は４室モデルの排気量となっている。

②リーズナブルな仮想空間毎の多数室換気量

仮想室の設定によっては、外界と対象室のみの相互換気ばかりでなく、対象室間の交換換気量が想定される。この動静が住宅構造体の冷却量、居住室の空気質問題に直結する。図15に示すように、1F居間や2F居室に接続した吹き抜け空間（階段室）の最頂部に付設した天窓を開放した場合の熱対流型換気量は100m³/hを越えるので、夏期のパッシブ換気として適当な環境調整方法といえるだろう。

## 平成11年度

## 3　円滑な上方開放熱対流型換気を可能にする平面・断面計画

①数値解析を用いた熱対流型換気による熱環境改善の可能性の検討

逐次積分法を用いて、上中下に積層する１室３温モデルを対象に数値解析を行い、設計手段としての数値解析法の可能性を探った。アトリウムのような大規模吹き抜け空間の夏期のパッシブ環境調整を事例にして、最上層の熱溜りを解消する上方開放熱対流型換気の効用を探り、その効果を明らかにした。

図17に解析モデル、表１に設定条件を示す。図18に示す数値解析結果によれば、日除けに配慮し、上方を開放して熱溜りを解消すれば、流水冷却面の活用で涼環境が得られることが分かった。

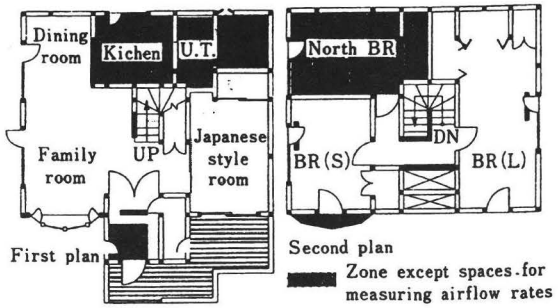
②吹き抜け空間の位置設定

図６に示す実験住宅で実測と数値解析モデルの照合を行い、その結果を踏まえて、温気の排出に最も都合の良い吹き抜け空間位置の検討を行った。図19に示す解析モデル、表２に示す解析条件で数値計算を行った結果を図20に示す。この解析結果から、主循環面の法線方向ではない（主流域に面する）最頂部に排気口が付設されることが望ましい、との見通しを得た。

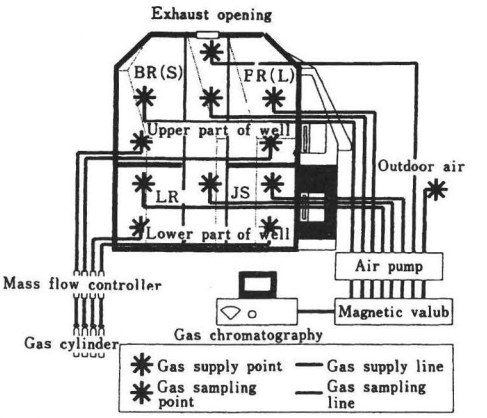
## おわりに

研究申請時に取り上げた上方開放開口による熱対流型換気の効用を探り、トレーサガス法を用いた実測から、先のテーマの課題の幾つかについては貴重な結論を得たと考えている。

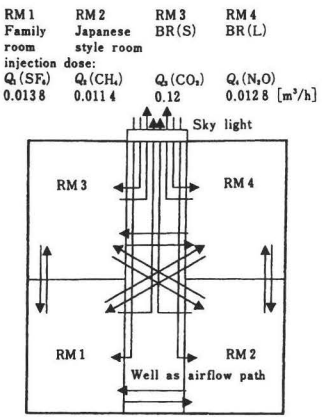
本研究助成によって、審査付き論文２編をはじめ、空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演論文、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文、日本建築学会北海道支部研究報告論文の発表成果を得ることができた。記して感謝する。



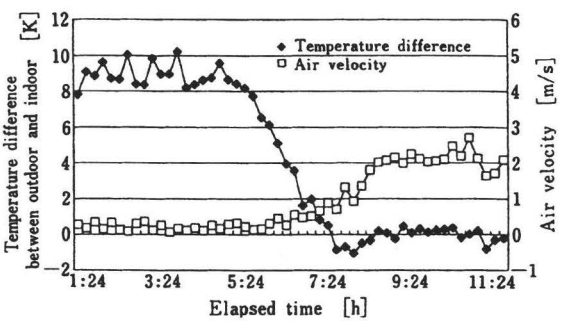

■図1 Floor plan of test house (Sapporo)



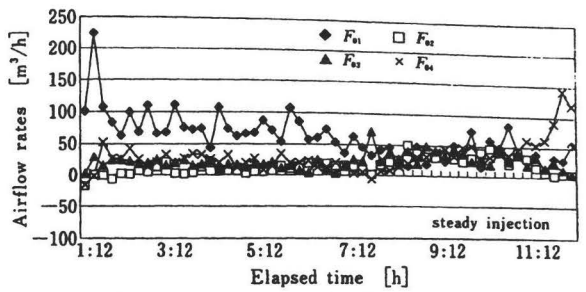

■図2 Cross section and measurement system



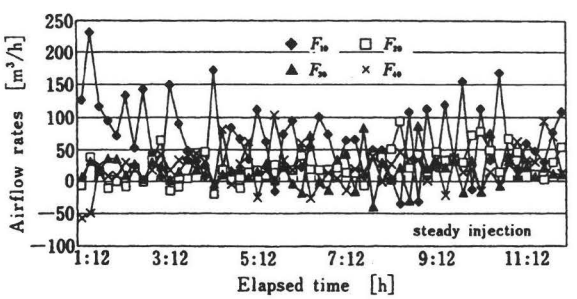

■図3 Airflow model and injection dose



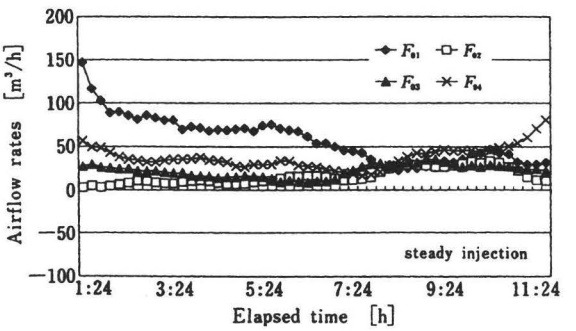

■図4 Outdoor and indoor conditions



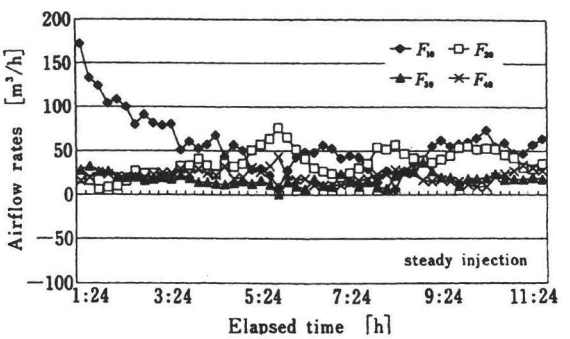

(a) Calculated airflow rates by differential method




(b) Calculated airflow rates by differential method

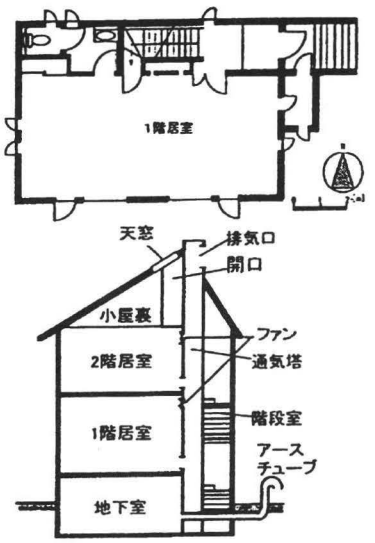



(c) Calculated airflow rates by integral method

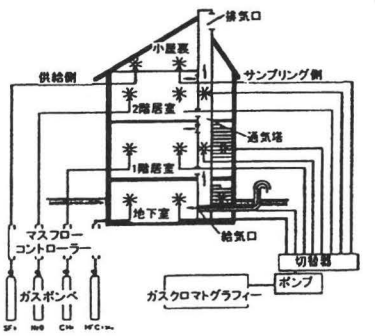



(d) Calculated airflow rates by integral method

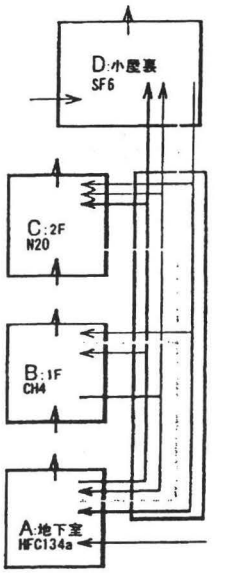
■図5



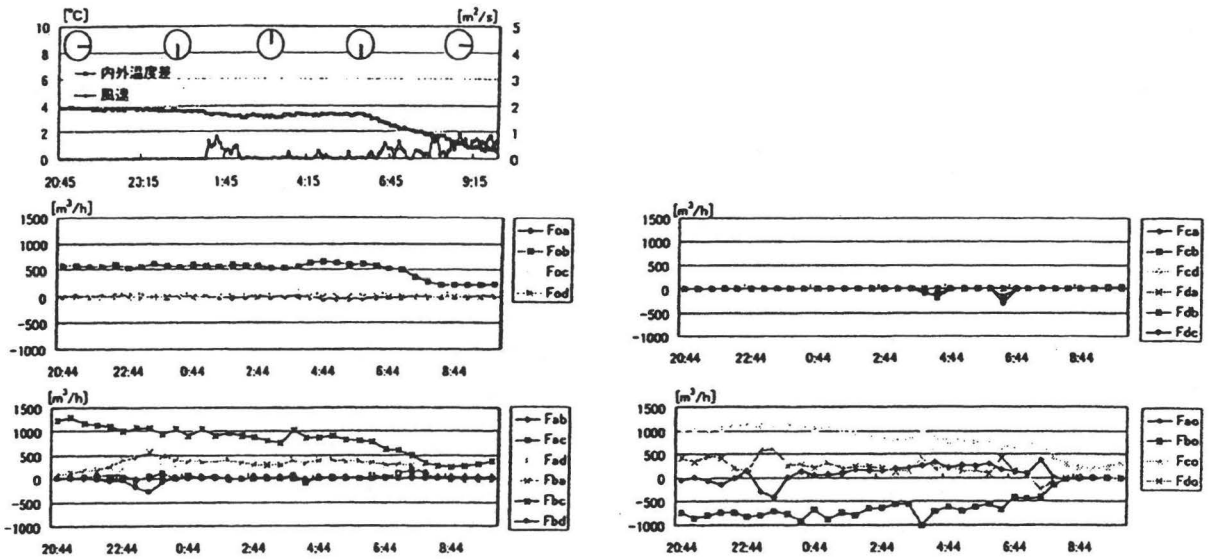

■図6　実測対象住宅・平断面図



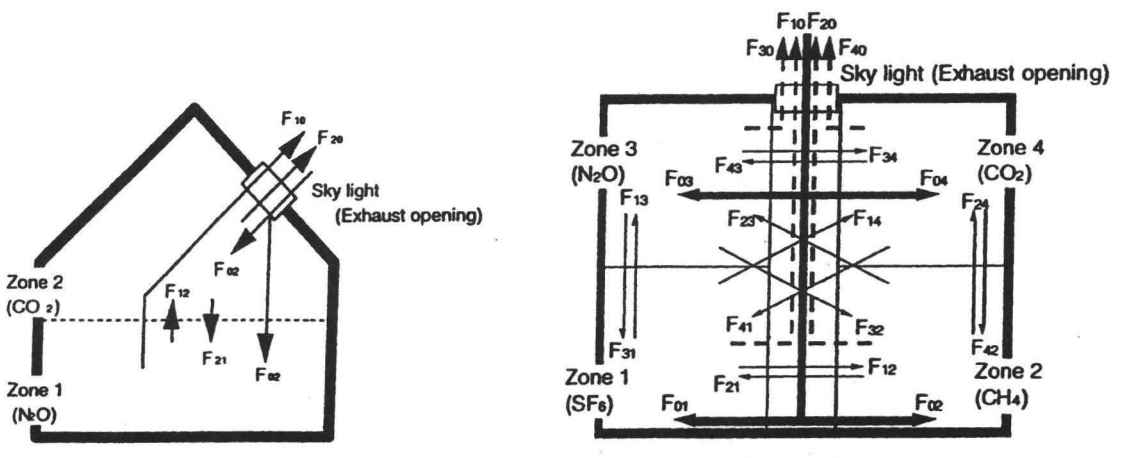

■図7　実測システム




■図8　換気モデル

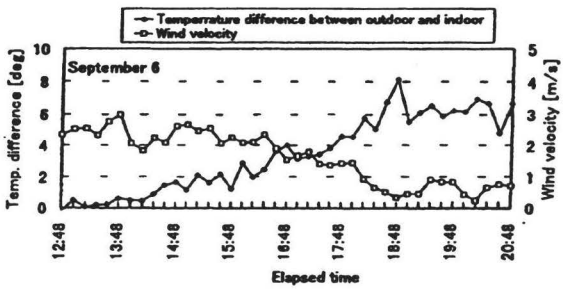



■図9　換気量算定結果

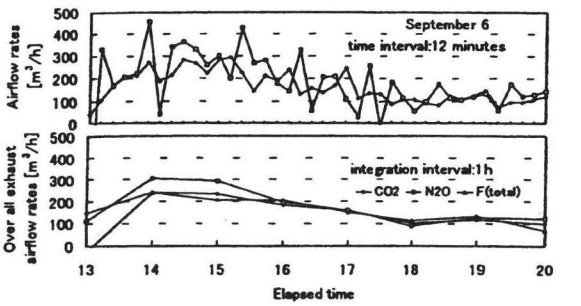



(a) 2-zone model for the upper and lower zones　　(b) 4-zone model for four zones

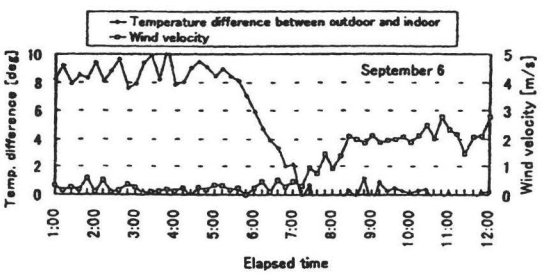
■図10



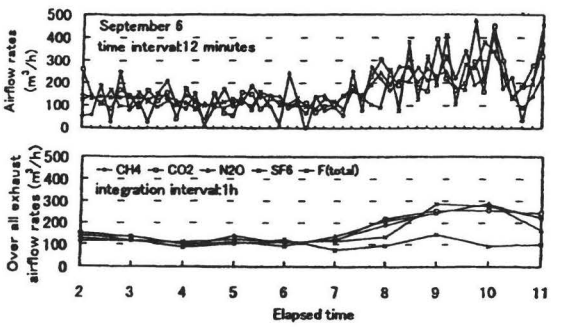

■図11 Temperature difference between outdoor and indoor, and Wind velocity



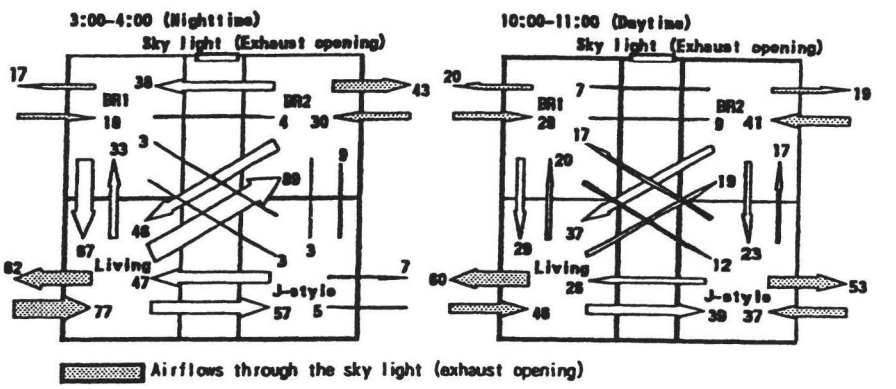

■図12 Calculated airflow from gas concentration of exhaust opening



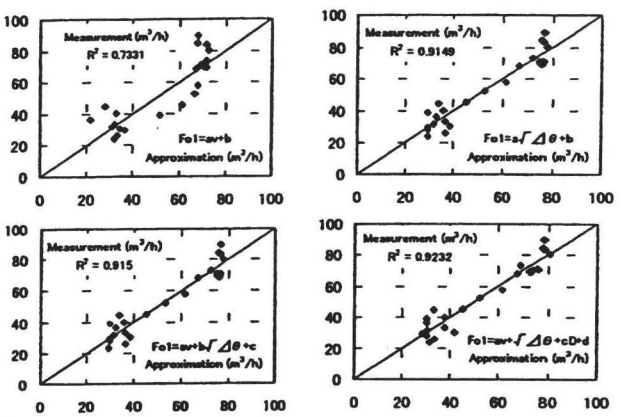

■図13 Temperature difference between outdoor and indoor, and Wind velocity



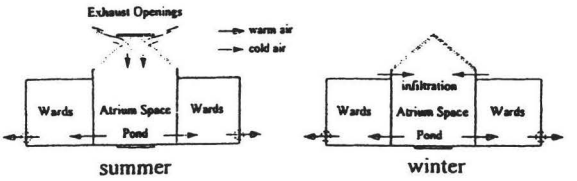

■図14 Calculated airflow rates from gas concentration of exhaust opening



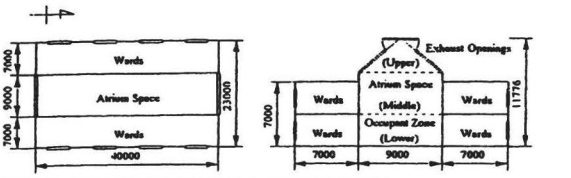

■図15 Interzonal air flows in the nighttime or in the daytime




■図16 Relationship between measured result and approximation one




■図1　換気システム概念図




凝縮：Z=(134.8V+45.5){Δf+0.0068(100-Rʜ)}　　αc=3.6V+4.1

蒸発：Z=(169.4V+41.0){Δf+0.0054(100-Rʜ)}　　αc=5.4V+7.4

Z　：凝縮量、蒸発量[g/(m²h)]　　V　：気流速[m/s]

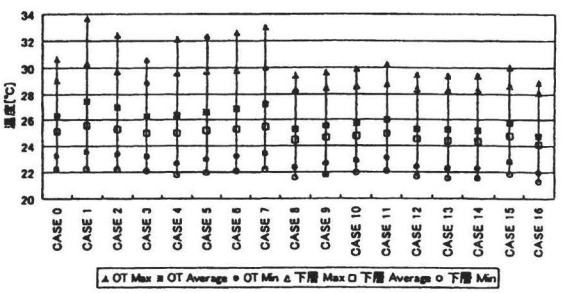
Δf　：水蒸気圧差[kPa]　　Rʜ　：相対湿度[%]

αc　：対流熱伝達率[W/(m²K)]

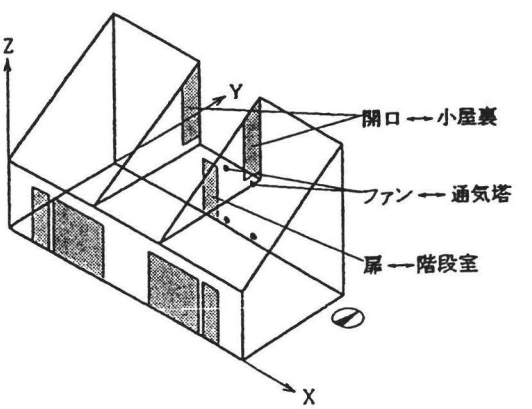
■図17　解析モデル（平面図（左）、断面図（右））

| | 遮光率 | 水面面積[m²] | 気流速[m/s] | 水温[℃] |
|---|---|---|---|---|
| Case0 | 0.5 | 0 | | |
| Case1 | 0 | 0 | | |
| Case2 | 0.2 | 0 | | |
| Case3 | 0.5 | 0 | | |
| Case4 | 0 | 50 | 0.5 | 10 |
| Case5 | 0 | 50 | 0.5 | 15 |
| Case6 | 0 | 50 | 0.5 | 20 |
| Case7 | 0 | 50 | 0.25 | 温度調節なし |
| Case8 | 0.5 | 50 | 0.5 | 10 |
| Case9 | 0.5 | 50 | 0.5 | 15 |
| Case10 | 0.5 | 50 | 0.5 | 20 |
| Case11 | 0.5 | 50 | 0.25 | 温度調節なし |
| Case12 | 0.5 | 50 | 0.25 | 10 |
| Case13 | 0.5 | 50 | 0.75 | 10 |
| Case14 | 0.5 | 50 | 1 | 10 |
| Case15 | 0.5 | 25 | 0.5 | 10 |
| Case16 | 0.5 | 75 | 0.5 | 10 |

■表1　設定条件（療養室　室温27℃、相対湿度60%一定）



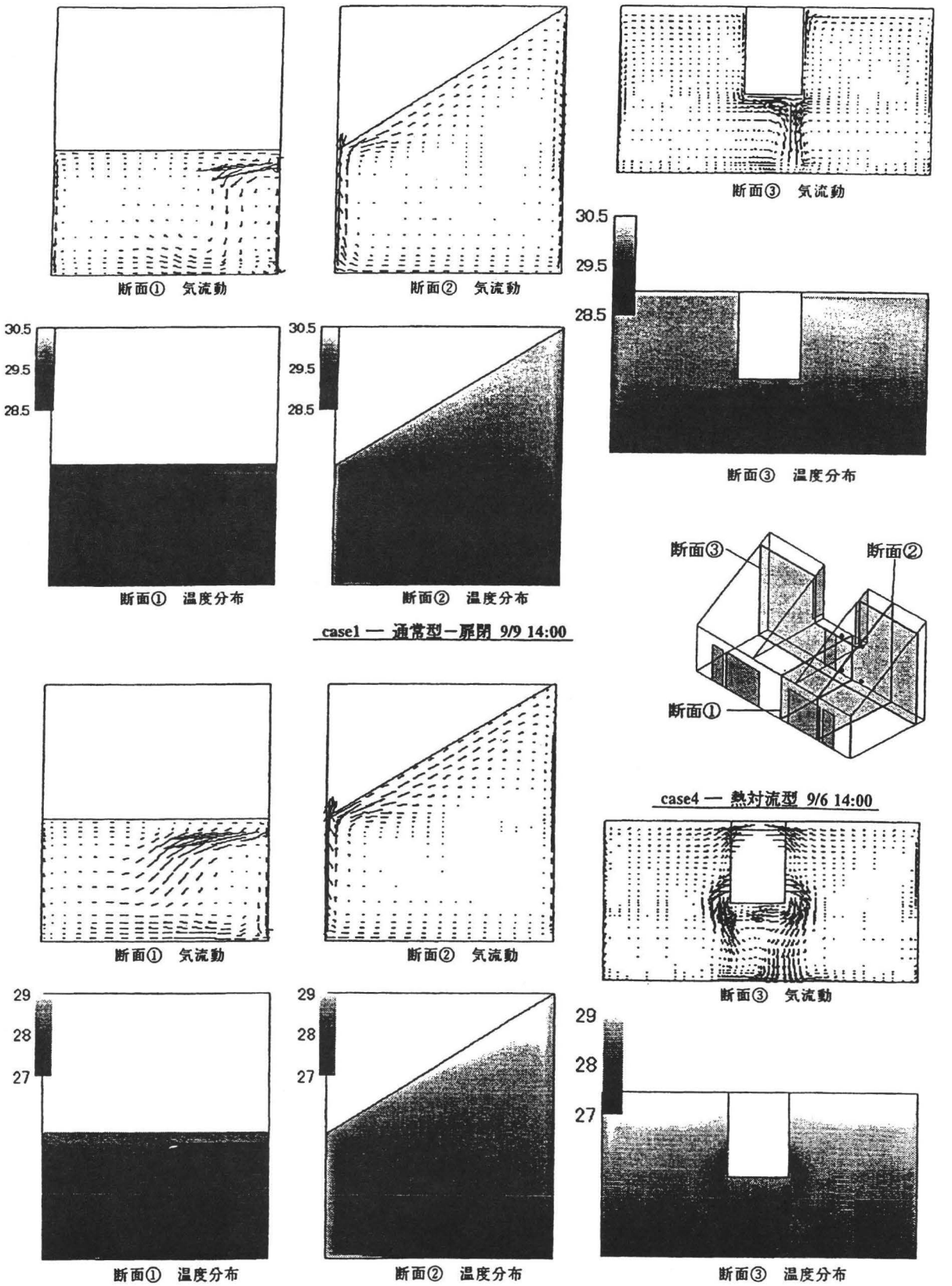

■図18　居住域の温度分布




■図19　解析空間モデル

| | | | | case1 | case2 | case3 | case4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 通常型－扉閉 | | 熱対流型 | |
| 日時 | | | | 1998/9/9 14:00 | 1998/9/9 16:00 | 1998/9/6 12:00 | 1998/9/6 14:00 |
| 境界流速条件 | 通気塔 | → ファン（片側） → | 流入量[m³/h]（流入速度[m/s]） | 28.8 (0.8) | 28.8 (0.8) | 28.8 (0.8) | 28.8 (0.8) |
| | | ← 吸込口（片側） ← | 流出量[m³/h]（流出速度[m/s]） | 28.8 (0.8) | 28.8 (0.8) | 28.8 (0.8) | 28.8 (0.8) |
| | 階段室 | ← 扉（開放） 1.4m² → | 流入量[m³/h]（最大流入速度[m/s]） | | | 105.6 (0.03) | 179.1 (0.04) |
| | 小屋裏 | → 開口（片側） 1.3m² → | 流入量[m³/h]（最大流入速度[m/s]） | | | 179.9 (0.20) | 150.2 (0.17) |
| | | ← | 流出量[m³/h]（最大流出速度[m/s]） | | | 232.7 (0.36) | 239.75 (0.35) |
| 境界温度 | 通気塔 | | [℃] | 26.1 | 25.8 | 26.4 | 26.8 |
| | 階段室 | | [℃] | | | 26.3 | 27.0 |
| | 小屋裏 | | [℃] | | | 27.4 | 27.7 |
| 南面窓表面温度（最大値） | | | [℃] | 37.1 | 30.1 | 37.7 | 33.7 |
| 全天日射量（参考値） | | | [MJ/m²h] | 1.93 | 0.70 | 2.82 | 2.01 |

■表2　解析ケースと境界条件




■図20 数値計算による温度・気流分布

# 1—14 関東の高断熱・高気密住宅に関する温熱環境・エネルギー調査

東洋大学工学部建築学科
講師 永峰 章

## 1．はじめに

高断熱・高気密化住宅とは、外部の気象条件等に左右されず、快適で過ごし易くかつ、省エネルギーを充分に考慮して開発された住宅のことを指し、近年では関東地方にも“高断熱・高気密住宅”を展開するようになってきている。

しかし、高断熱・高気密住宅は、元来、冬の寒さが厳しい寒冷地で開発され、断熱材を使用したことから始まったため、関東地方の高温・多湿な気候特性とは無関係に展開してきたものである。関東地方に建てた場合の夏型の壁内環境が懸念されるところである。夏型は昼間時の冷房時に日射の蒸し返しにより木材内部から放出された水分によって壁体内の室内側で発生する。冬型は室内の暖房時および暖房後の生活により発生した水蒸気が壁体内に流入した場合壁体内の外気側で発生する。内部結露が発生すると、それに伴い、木材の腐食を引き起こす結果になる。本来、木造住宅は結露が発生しないことが定説であったが、それは北海道を除くほとんどの地域で断熱材が使用されていなかったことと、気密性が低かったことから、隙間風による自然換気量が多く、結露の発生が見られなかっただけである。高断熱・高気密が発達してきた現在では、木造住宅といえども結露の発生しやすい状態になっている。コンクリート造の場合、構造躯体が結露により腐朽することはないが、木造住宅では、構造木造の腐朽に注意しなければならない。

また、住宅の気密性とは“隙間相当面積”で表すことができ、数値が低いほど熱が外へ逃げる隙間が少なく、気密性に優れているといえるが、自然換気量が少なくなるために居住空間における空気環境への影響が問題となる。気密性を高めることにより、空気調和・換気計画は必要不可欠な要素になっている。

温暖地域による高断熱・高気密住宅の結露を中心とした耐久性の視点からの実測例は少なく、その有効性を検証するものである。

## 2．研究目的

高断熱・高気密化住宅は、元来、寒冷地に建てられたため、湿度の高い関東地方に建てた場合の特に夏の壁内結露が懸念される。一番の問題は、結露発生による構造木材の腐朽である。この結露により構造木材の含水率が高まり、シロアリの温床となる恐れもある。

また、断熱・気密がしっかりできたとしても、汚れた空気や湿度が室内に充満してしまうと快適で

あると言えない。気密化には、熱の流失を押さえるだけでなく、隙間風に邪魔されずに換気量をコントロールしやすくするという役割があり、これが水分管理、空気の汚染管理の決め手になる計画的な換気という事である。この計画的な換気が結露発生の防止につながる。

これらを行うことで結露の防止になるうえ、快適な居住空間の形成につながるが、同時に省エネルギー化が実現する事も重要な目的の１つである。

本研究では平成８年11月に練馬区内に竣工した熱損失係数 1.5kcal/m²h℃の熱性能を有する高断熱・高気密化住宅を対象として夏季及び冬季に形成される温暖・空気環境とエネルギー消費に関する調査分析を年間（1996／12～1998／02）を通して実施し、関東における高断熱・高気密化住宅（東京都練馬区内、ｓ邸）の実測結果を報告する。

## ３．実測方法

室内外環境を実測するために、温度・湿度計測をCADAC、木材含水率を多点木材含水率計KNS-024、炭酸ガス濃度をエアーテストKNS-360で行い、それぞれPC-9801に接続して１時間インターバルで測定を行う。

期間は、平成９年７月９日～７月17日に梅雨集中解析、平成９年８月７日～８月13日に夏季集中解析、平成10年１月８日～１月15日に冬季集中解析を行った。

また、平成９年12月５日にKNS-400にて気密測定、平成10年２月９日にピエゾバランス粉じん計にて粉塵量測定を行い、居住環境を評価するのに必要なデータを収集した。

## ４．実測結果

**・気密性能**

実験住宅の新築時と約１年後に気密測定を行い、隙間相当面積を比較した（表-2)。隙間相当面積が、新築時は約1.73cm²/m²であったのに対して１年後には、1.98cm²/m²と0.25cm²/m²広くなり気密性能は落ちているが、気密住宅の基準が5cm²/m²ということから考えれば北海道並みの気密性能を有している。

**・断面温度分布**

夏季（図-8）の屋根断面においては断熱材（硬質ウレタン89mm）によって18.6℃の断熱効果があり、西壁においては断熱材（硬質ウレタン79.5mm）によって21.3℃の差が出ている。

冬季の屋根（図-10）は断熱材によって小屋裏と外気側の温度に15.8℃の差があり外気の影響を緩和している。西壁（図-11）は室内側と外気側に10.1℃の差があり外気の影響が少ないことが明らかとなっている。

**・内部結露**

乾燥指数（表面温度－露点温度）について、断熱材表面温度の値が内壁空洞露点温度より高いから

(図-12)、乾燥指数の値が西壁で7.2℃/hとなり、安全側である。冬季（図-13）は北壁で平均11.4℃hと内部結露の発生はしていない。

**・室内温度変動**

8月（図-14）は外気が日中と夜間とで大きく変動しているのに対し、室内はそれほど大きな変動をしていない。特に1階部分においてはあまり外気の影響を受けておらず、ほぼ安定していると言える。1月（図-15）は8月と同様に外気の大きな変動に対し、室内はエアコン設定温度（20℃）でほぼ安定している。また、各部屋の間の温度差は2階の居間が多少高くなっているが、そのほかは良好な温熱環境となっている。

**・相関図**

8月の相関図（図-16）より床下、小屋裏を除く居室空間での温度差が少なく、外気との相関係数も低くなっている。1月の相関図（図-17）は、床下を除く各部屋の温度差が夏よりもさらに少なくなっている。

**・上下温度分布**

上下温度分布（図-18）より、計測器を設置していたロフト階（図上部の2つのポイント）で機器発熱があるため、梅雨の上下温度分布は、ロフト階がやや高めでそれ以外はほとんど室内温度が変わらない。また冬季では、最低温が200cmと最高温が500cmで、この差が約4℃であり、冬季（図-19）も温度差が小さい。これらのことから、この実測住宅内は、断熱・気密性に優れていて快適な居住空間である。

**・年間　温・湿度変動**

北側外壁温度変動（図-19）において、外気側表面、通気層、合板表面は外気と同じような変動をしているが、断熱材裏表面、内壁空洞、室内側表面は10～25℃の間でほぼ安定している。西側外壁温度変動（図-20）において、北側温度変動と同じようなことが言える。

温度変動（図-21）において、外気の影響を受けることなく18～28℃の間で安定している。

湿度変動（図-22、23）では北壁において通気層は外気と同じような変動をしめしているが、内壁空洞は45～75%の間で安定した変動をしている。西壁においては、通気層は外気より低めで外気と同じような変動をしている。内壁空洞は50～60%の間で安定しており、不安定な値はない。

**・エネルギー消費量**

電気のエネルギー消費量（図-24）は、照明等を含んでのものである。住まい方は夏季28℃、冬季20℃に設定し、年間を通じて省エネルギー効果がみられる。

## 5．まとめ

1．建物概要にみられるような仕様で、年間を通して快適な温湿度環境を維持することが確認された。

2．当初憂慮された結露の問題はなく、夏型の蒸し返しの内部結露も乾燥指数・絶対指数とも安定した良好な数値を示している。

3．温暖な関東地方においては、ヒートポンプ（暖房9.5kw、冷房8.0kw）１台で冷暖房が可能であることが明らかとなった。

## 謝辞

本研究の一部は平成９年度(財)トステム建材産業振興財団助成金によるものであることをここに記して謝意を表します。又、東京都練馬区豊玉中の高断熱高気密住宅の計測の協力をいただきました佐藤氏ならびにデータ整理について卒論生の西川、佐藤、真柄、島田君に謝意を表すものである。

## 参考文献

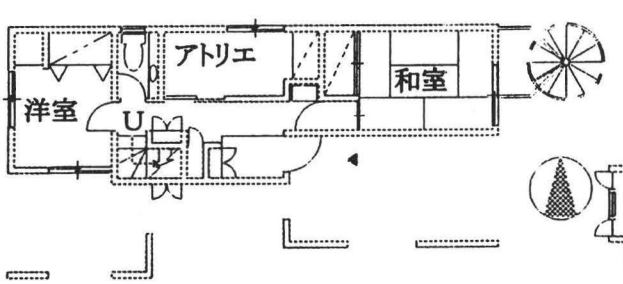
1）高野一義、永峰　章：横浜の一戸建て住宅における温熱環境に関する研究　日本環境管理学会 1995.10

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 所在地 | 東京都練馬区豊玉中１丁目 | | | | | | |
| 用途地域 | 第一種中高層住居専用地域 | | | | 構造規模 | 木造２階建 | |
| 建築面積 | 67.78m² | １階床面積 | 42.58m² | | ２階床面積 | 67.78m² | |
| 延床面積 | 121.94m² （カーポート面積：20.32m²） | | | | | | |
| 断熱材 | 屋根：89mm硬質ウレタン | | | 外壁：70mm硬質ウレタン | | | |
| 基礎 | 30mm押出発泡スチレン | | | 換気 | 熱交換器 | | |
| ２階床下地 | 8mm遮音マット | | | 28mmＰＣ合板 | | | |
| 勾配天井下地 | ライナールーフィング12mm | | | 一般天井下地 | 石膏ボード9.5mm | | |
| 冷暖房システム | ヒートポンプタイプ（換気＋冷暖房） | | | | | | |
| 熱的境界面積 | 屋根表面面積＋外壁表面面積＋基礎表面面積＝394.188m² | | | | | | |
| 気積 | 床下容積＋１階容積＋２階容積（浴室除く）＋屋根容積 ＝452.81m² | | | | | | |
| 実質延面積 | １階面積＋２階面積＋ロフト面積（屋根部分面積：2.4） ＝145.83m² | | | | | | |

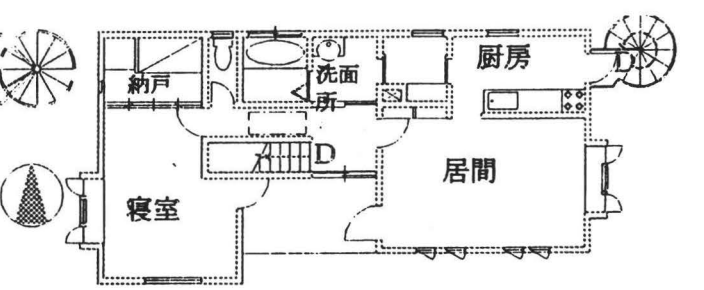
■表1　建物概要

| 年　月　日 | 総隙間相当面積（αA） | 通気率（a） | 隙間特性値（n） | 室内温度（℃） | 外気温度（℃） | 係数（b） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| H8.12.13 | 252cm² | 360.2 | 1.8 | 11.9 | 9.6 | 0.698 |
| H9.12.05 | 289cm | 417.7 | 1.4 | 16.8 | 8.0 | 0.692 |
| | 50.0pa時の確定流量 | | 9.80pa時の確定流量 | | 隙間相当面積 | |
| H8.12.13 | 903m³/h | | 357m³/h | | 1.73cm²/m² | |
| H9.12.05 | 1322m³/h | | 405m³/h | | 1.98cm²/m² | |

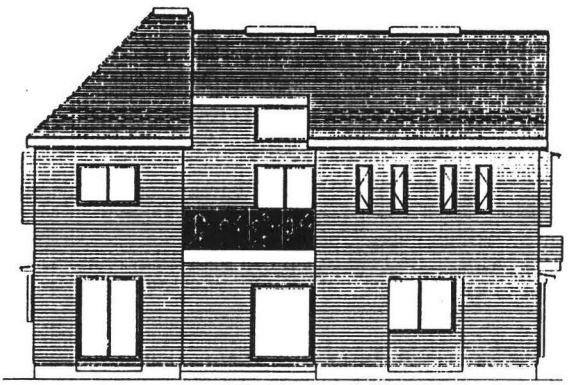
■表2　気密測定



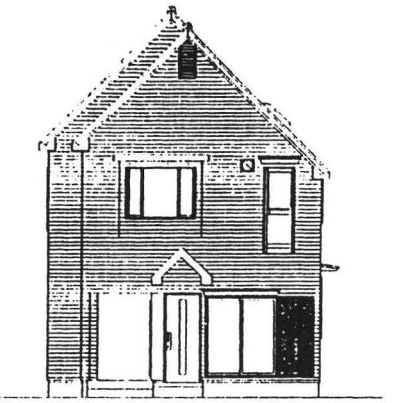

■図1　1階平面図



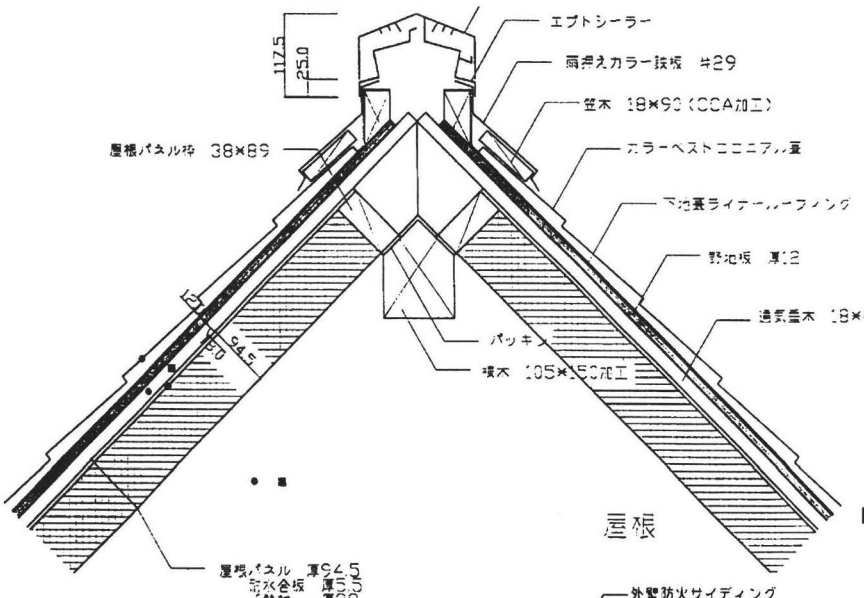

■図2　2階平面図



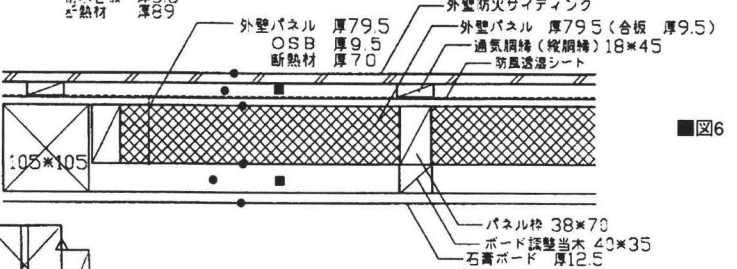
■図3　南立面図



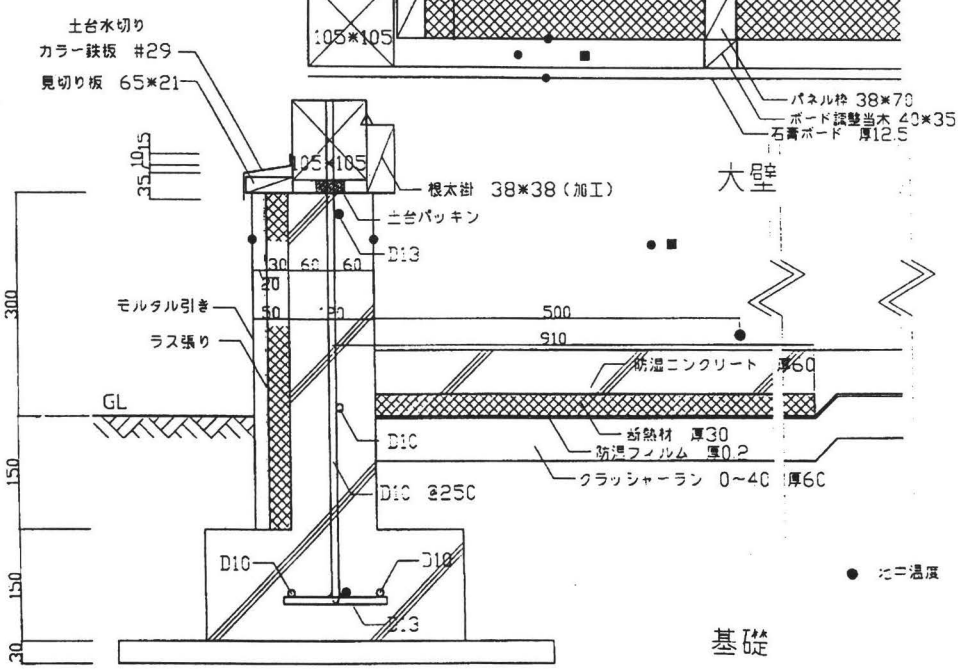
■図4　東立面図



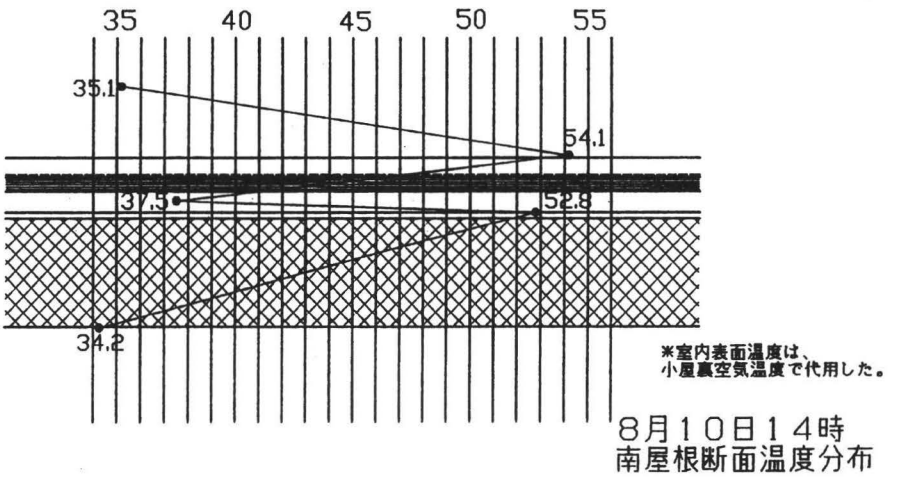

■図5　屋根断面図



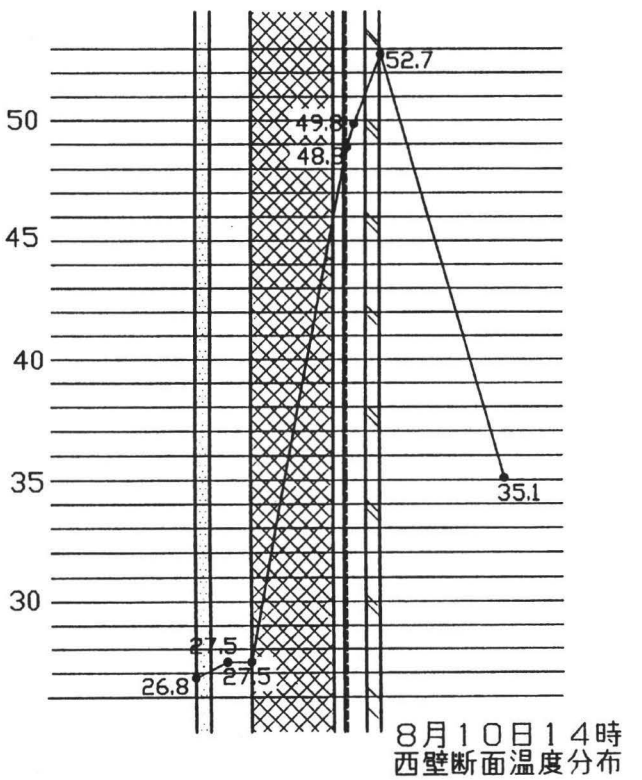

■図6　壁断面図



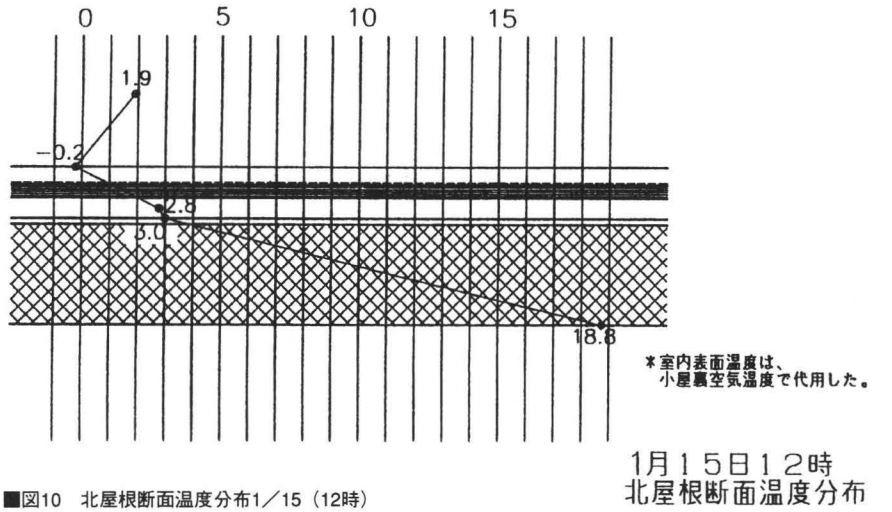

■図7　基礎断面図



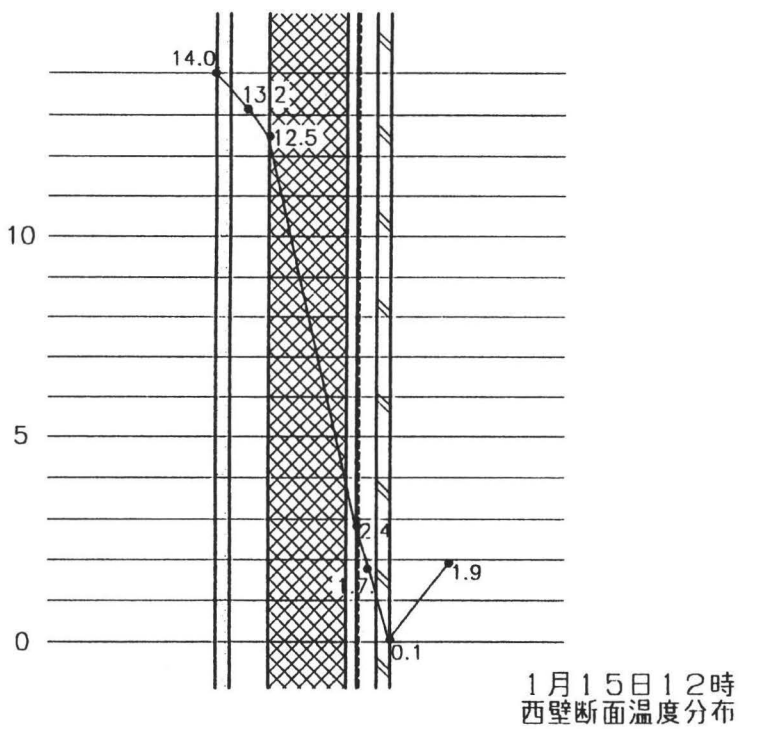

■図8　北屋根断面温度分布8／10（14時）



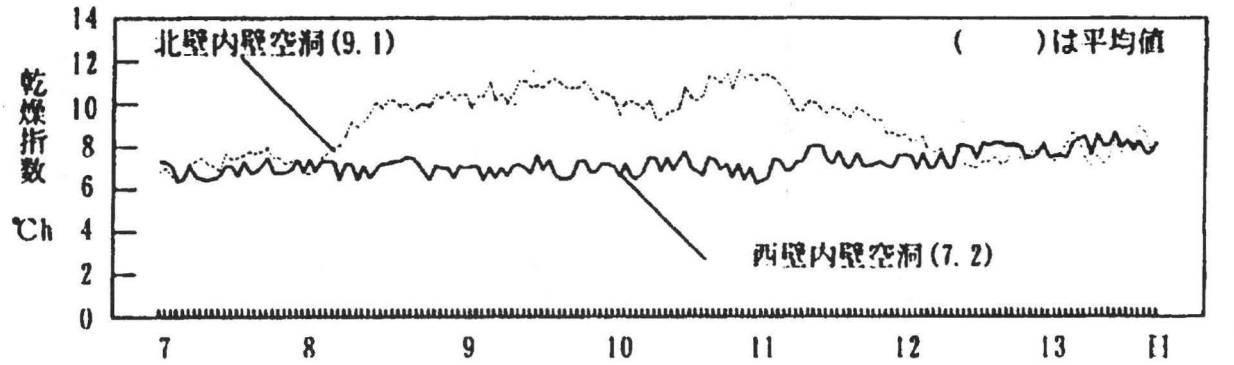

■図9　南壁断面温度分布8／10（14時）



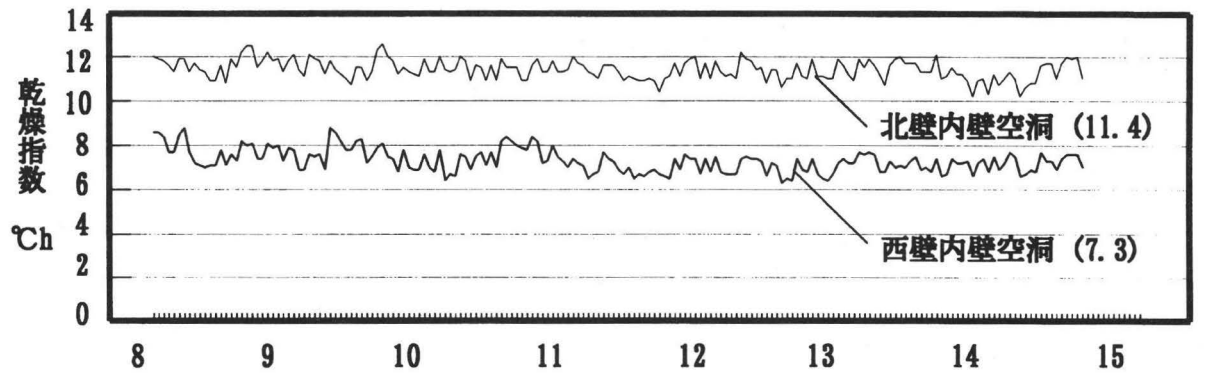

■図10　北屋根断面温度分布1／15（12時）



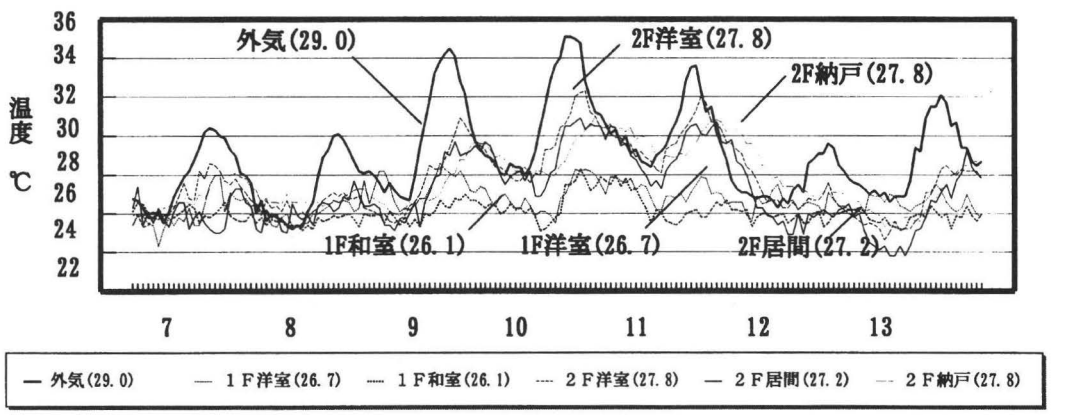

■図11　西壁断面温度分布1／15（12時）



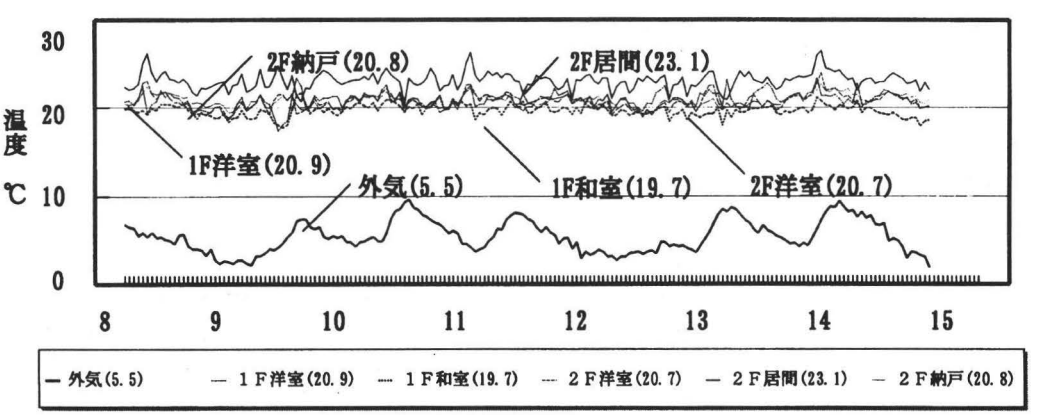

■図12　乾燥指数（8月）




■図13　乾燥指数（1月）

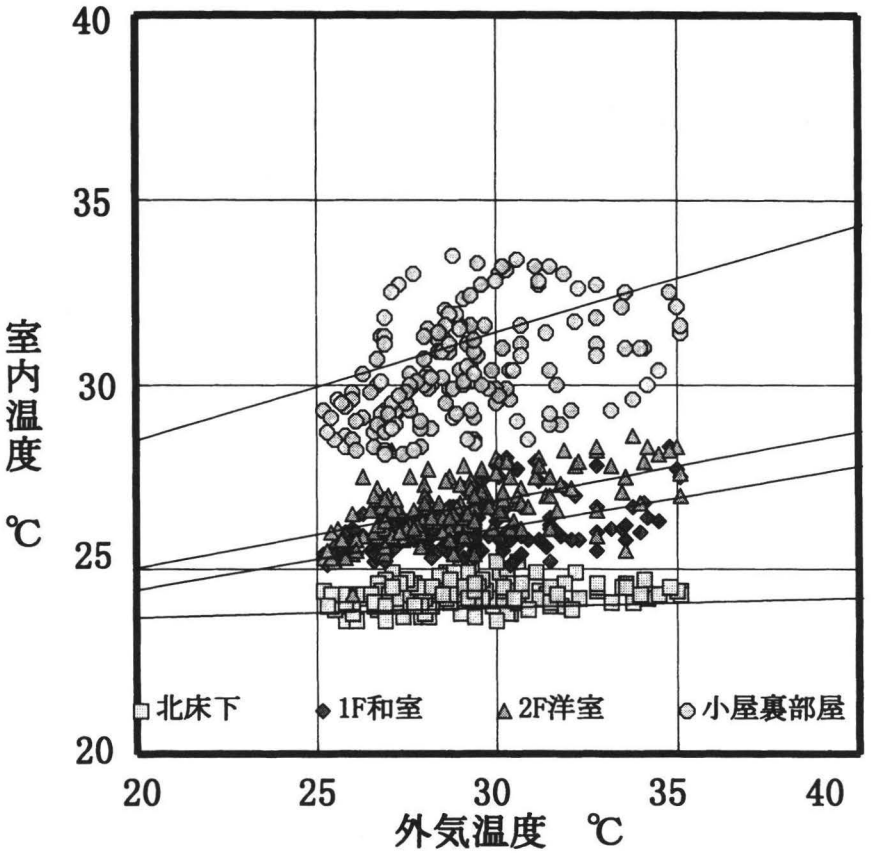



■図14　室内温度変動（8月）



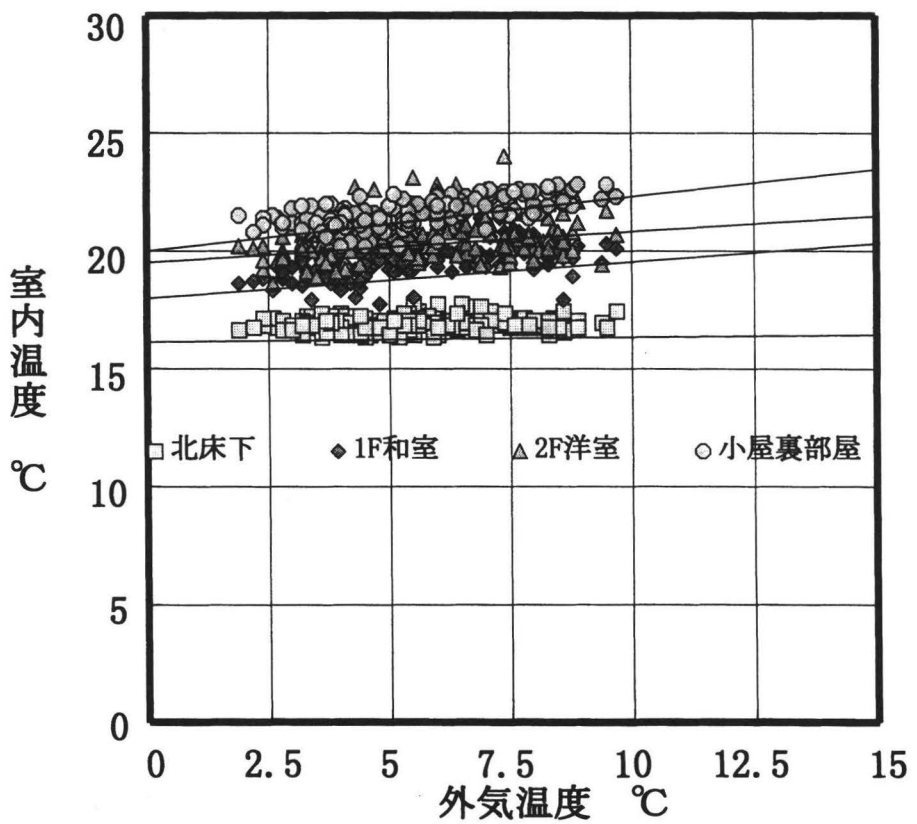

■図15　室内温度変動（1月）

n=168
□Y=0.034X+23.3
r=0.057
◇Y=0.13X+22.3
r=0.23
△Y=0.2X+20.1
r=0.35
○Y=0.27X+22.6
r=0.19



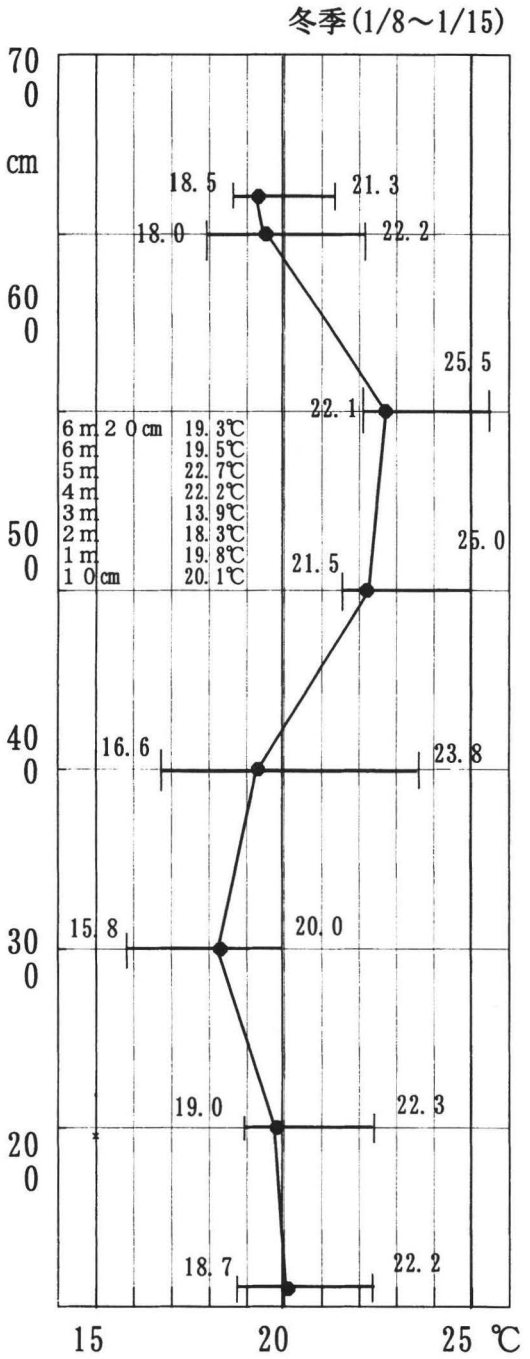

■図16 外気温度と室内温度の相関図（8月）

n=181
□Y=0.019X+16.8
r=0.013
◇Y=0.17X+18.7
r=0.2
△Y=0.12X+20.0
r=0.056
○Y=0.21X+20.4
r=0.43

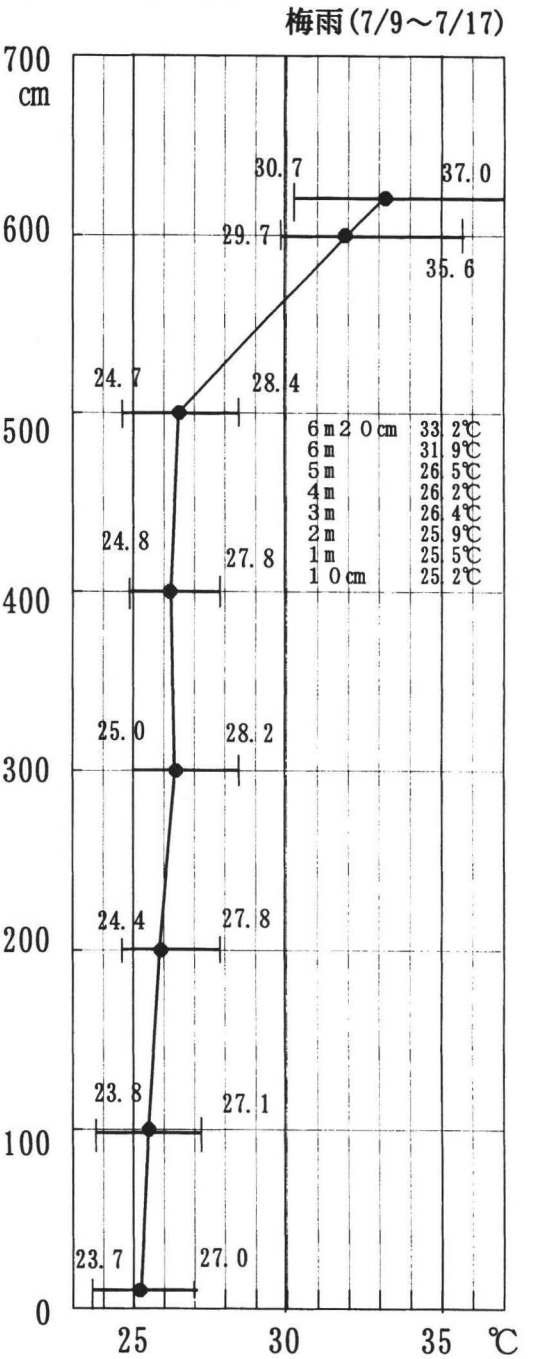



■図17 外気温度と室内温度の相関図（1月）

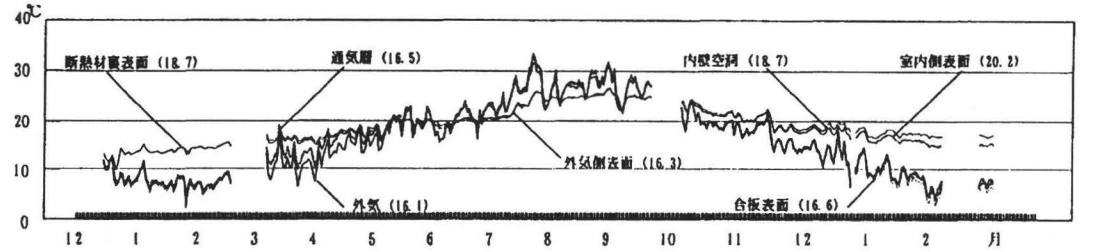
●は期間中の最低気温を記録した、１５日１２時の値です。



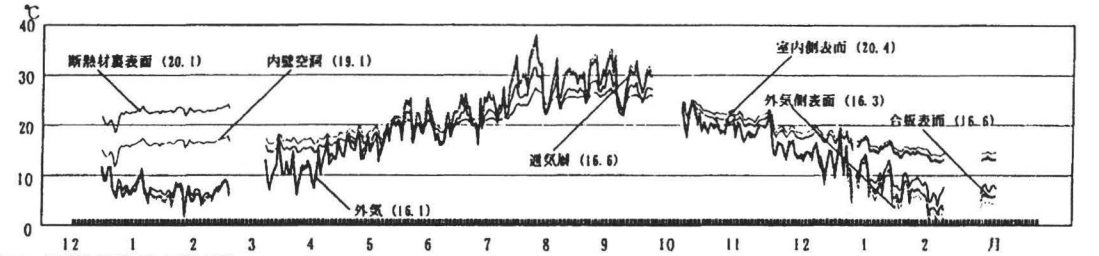

●は期間中の最高気温を記録した、１６日１５時の値です。



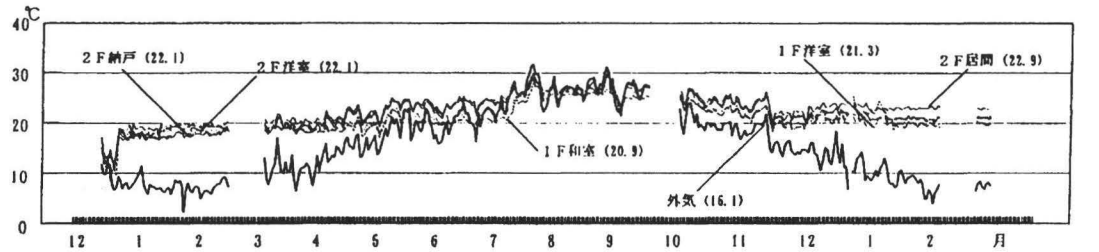

■図18　上下温度分布



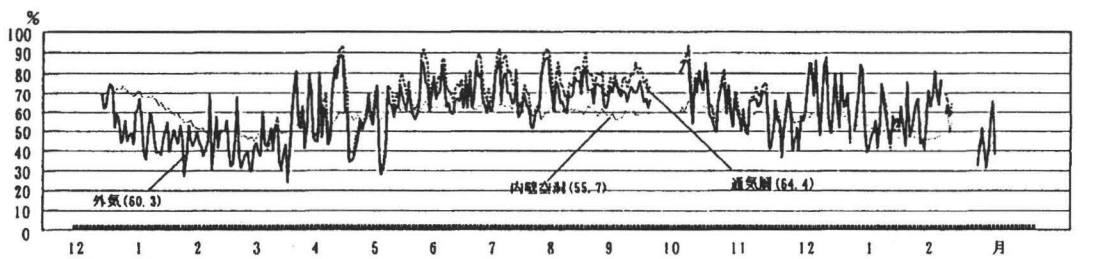

■図19　北側外壁温度年間変動



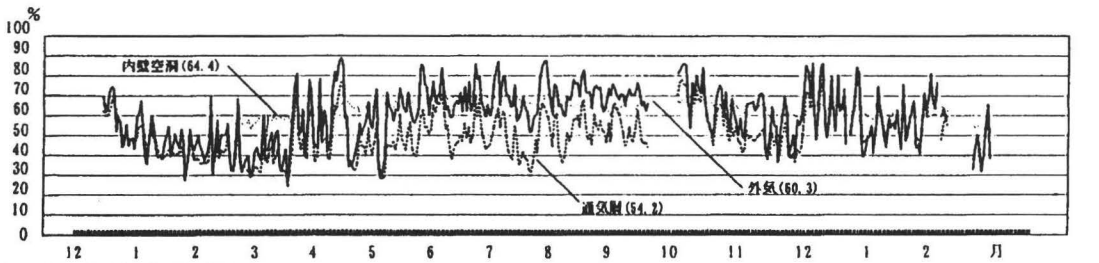

■図20　西側外壁温度年間変動



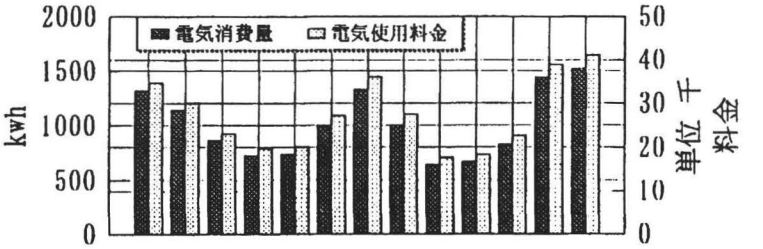

■図21　室内温度年間変動




■図22　北側外壁湿度年間変動




■図23　西側外壁湿度年間変動




■図24　年間電気消費量・消費料金

# 1－15 高断熱・高気密住宅における低湿度環境の実態と湿度調整の方法に関する研究

秋田県立大学　システム科学技術学部
教授　松　本　真　一

## 1．研究の背景と目的

近年、高断熱高気密住宅においては冬期に40%以下の低湿度の環境が出現するようになってきている。室内の低湿度は喉や肌を乾燥させ、健康上の障害をもたらす原因であると言われている。一方、北海道の住宅では居住者が乾燥になれてしまって問題は生じておらず、40%以下の低い湿度でもよいのではないかという意見や乾燥感には室内空気質が影響しているという意見もある。本研究は、高断熱高気密住宅の暖房環境における温度・湿度の実態調査をもとにして、低湿度になりやすい高断熱高気密住宅における湿度の制御方法について検討することを目的とする。

## 2．研究の方法と計画

本研究では以下の３項目について検討する。

(1) 低湿度環境の人体影響に関する文献調査：①人体に対する温熱的な影響、②乾燥を知覚する環境条件、に関してこれまでの実験結果や文献調査をレビューする。

(2) 高断熱高気密住宅における室内温湿度・ホルムアルデヒド（HCHO）濃度などの実態調査：乾燥していると訴えている住宅、特に指摘のない住宅30件ずつの計60件を選定する。調査項目は、①室内温湿度、②HCHO濃度、③居住者の湿度感並びに健康上の問題、とし、対象室は居間および主寝室とする。

(3) 湿度制御の方法に関する検討：（2）の実態調査で低湿度であることが明らかになった住宅において、加湿器、洗濯物の乾燥、観葉植物などによる加湿の効果について実測結果に基づいて検討する。

## 3．研究の成果

### 3.1　低湿度環境の人体影響にに関する文献調査

#### 3.1.1　被験者実験について

(1) 労働科学研究所・三浦らの研究

高温な条件の下では高湿が問題であるが、寒冷条件下では低湿が問題であるとしている。気管粘膜

が乾燥し、ゴミや微生物を取り除くことが困難になる。細菌やウイルスが長く生存し、風邪を引きやすくなる。気温が11.5℃以下ならどんな湿度でも口腔粘膜の乾燥が起こり、15.5℃では77%、21℃では54%、26.5℃では39%以下で乾燥が起こる。

空調した室内では湿度が高いと温熱感は暖かい方へ傾くが、快適度にはあまり影響を与えないとし、中等度の温度における湿度の許容限界は幅広いが、健康を考慮すれば30%～90%の範囲内がふさわしいとしている。快適用空調の室内温湿度設定条件は、冷房時は26℃、50%、暖房時は22℃、40%としているが、湿度の許容範囲は30%～70%でよいと考えている。

（2）九州芸術工科大学・石井らの研究

湿度設定を変化させて1991年、1992年の夏に行った被験者実験により、低湿度冷房（相対湿度40%）の場合には、通常冷房（相対湿度55%）比べて、空気温を約1℃高く設定しても、同等の快適性が得られることを示した。

### 3.1.2　咽喉・鼻腔の乾燥

人間の呼吸通路は粘膜で覆われており、呼気を加湿したり細菌や微小異物を捕まえたりする。ほこり負荷のある粘液は直ちに繊毛の絨毯によって口の中へ向かって移動していく。この移動速度は約5mm/minである。粘液から水分がなくなると粘性が強まり、移動速度は緩やかになり、極端な場所は完全に乾いてしまう。この乾燥は低湿度下では鼻や喉で知覚され、不快につながる。室内の相対湿度が25%まで下がると鼻の乾燥を知覚すると報告されている。

様々な調査研究が行われたが、鼻と喉の乾燥が起こる条件は一致しなかった。ある研究では、喉の奥の乾燥は水蒸気圧が1.4kPaに下がった時に起こった。これは20℃、55%に相当する。165人の鼻水についての研究では、環境の相対湿度と鼻水の間に明らかに関係があった。相対湿度が30%から70%に上がると鼻水量は2倍になった。喫煙者は非喫煙者よりも流量が少ない。相対湿度が低い時には個人差が大きく、これらの研究に関して議論の余地がある。

### 3.1.3　種々の基準における快適温湿度範囲

建築設備技術者は自分たちで設計した実用規約を用意している。国際的に最も広く使われているものはASHRAEのものである。それはある温度の範囲に対する相対湿度25%から90%のスパンの温熱快適図表として用いられる。しかし、40%～60%のより狭い範囲が、たばこ煙のような臭いや刺激性のある汚染物質の影響を最小限にするために推奨されようとしている。

イギリスの建築設備技術者認可協会は40%から70%を推奨している。スウェーデン国立環境安全局は最小相対湿度として30%を推奨している。ドイツのDINの推奨値は、蒸し暑さに対応するように、湿度を温度に関連させている。

時には温度との関連について、少し異なる結果を引用する人もいる。一般的に、過去の文献では、低温、高い相対湿度が好まれているが、近年では温度は上昇してきており、より低い許容相対湿度の

値が推奨されるようになった。

### 3.2　高断熱高気密住宅における室内温湿度・ホルムアルデヒド濃度の実態調査

#### 3.2.1　調査概要

**(1) 対象住宅の概要**

調査対象は、東北地方６県に建設されている高断熱高気密住宅50件である。これらの住宅は、基本的に先の調査[1]と同様の住宅を選んだが、協力を得られない場合には、室内空気の乾燥を訴えているその他の住宅を優先的に選定した。また、対象住宅は全室暖房可能で、居室の換気に機械換気を用いている住宅である。本調査は1993年度より行っている一連の調査[3]であるため、対象住宅は築後５年以上経っている。表１に各県別の配布・回収状況を示す。

**(2) 調査方法**

アンケート調査は、室内空気の乾燥に関する質問を設け冬期における乾燥の有無や乾燥に関連した被害状況などが把握できるように作成し、主婦に回答を依頼した。実測では居間と寝室の温湿度及びHCHO濃度を測定した。温湿度測定には温湿度センサー付き小型データロガーを用い、30分間隔で７日間の連続したデータが得られるよう行った。HCHO濃度の測定にはパッシブサンプラーを用い、２日間の暴露の後、AHMT法により分析を行った。また、測定期間中の居住者（主人と主婦の２人）の湿度感を、表２に示す記入用紙により把握した。本調査は1998年２月上旬から３月上旬にかけて、調査協力の承諾が得られた住宅について行った。アンケート調査用紙と測定機材を郵送し、10日後に返送してもらった。データロガーの設置及び撤去は居住者に依頼し、設置に関しては、センサー部分が床から１mの高さになり、直射日光が当たる場所やテレビなどの発熱するものの上には設置しないことなどを記述した簡単なマニュアルを送付し、それに基づき行ってもらった。

#### 3.2.2　調査結果

**(1) アンケート調査**

図１に室内空気における乾燥の有無の集計結果を示す。全体の68%が冬期に室内空気の乾燥を感じている。室内空気の乾燥を感じている住宅のうち、それを問題だと考えている割合は全体の40%となっている。室内空気の乾燥を問題と感じる理由は、表３に示すとおり、「健康上の被害」(13件)、「建物の被害」(18件) となっている。「健康上の被害」については、鼻、喉、皮膚の乾きを訴えるものが多く、「冬期に子どものアトピー性皮膚炎が悪化」、「風邪をひきやすい」などの意見が見られた。「建物の被害」については、「クロス材の収縮」、「冬期のみ床がきしむ」などの意見が見られた。

**(2) 実態調査**

図２に測定期間中の居間における温度及び絶対湿度の平均値とHCHO濃度の関係を示す。室温の平均値は12～27℃の範囲にあり、居間室温が全体的に高い。また、絶対湿度の平均値は3～9g/kg'

の範囲に分布している。HCHO濃度は0.01～0.05ppmとWHOの環境基準値0.08ppmを下回っており、高濃度を示す住宅は見られなかった。この理由として、常時換気を行っていることや築後５年以上経っていることなどが挙げられる。次に、温度及び絶対湿度との関連を見ると、温度との関連が比較的高く、室温や絶対湿度が高いほどHCHO濃度も高くなる傾向が見られる。

### 3.2.3　室内温湿度及びHCHO濃度と湿度感の関係

図３、図４に、居間における団らん時について、居住者の湿度感と室内温度湿度、HCHO濃度との関係を示す。図中の各点は各住宅のデータを示し、測定期間中における室内温湿度の変動が安定している期間を選び、室内温湿度と湿度感に対する評価値を各時間帯ごとに平均した。

#### （1）室内温湿度と湿度感の関係

図３を見ると、前回の調査[1]よりも温湿度のばらつきは小さく、室内温湿度と湿度感との関連は低い。しかし、建物の被害を指摘している住宅は比較的低湿度側に分布しているのに対して、健康上の被害を指摘している住宅は相対湿度40％以上の湿度の場合にも見られる。この傾向は前回の調査[1]と同様である。

#### （2）HCHO濃度と湿度感の関係

図４を見ると、HCHO濃度と湿度感には関連が低いものの正の相関が見られ、HCHO濃度が高いほど乾燥側に申告する傾向にある。しかし全体的にHCHO濃度が低いため、健康上の被害を指摘している住宅との関連は明確ではない。

## 3.3　湿度制御の方法に関する検討

### 3.3.1　調査概要

#### （1）アンケート調査の概要

調査対象は、東北地方６県に建設されている高断熱高気密住宅157件である。これらの住宅は、以前実施した調査[3]の対象住宅と同様であり、居住後５年以上経過しているため居住者の生活スタイルも安定しているものと推察される。表４に各県別の配布・回収状況を示す。これらの住宅に対して、乾燥の度合い、乾燥に対する対策についての質問を1999年１月中旬に行った。

#### （2）実測調査の概要

調査対象は、先のアンケート調査の対象住宅の中から選び、乾燥への対策を行っている仙台市内の住宅３件とした。測定項目は、①居間・寝室・外気温湿度、②乾燥に対する対策である。①は小型データロガーを用い、30分間隔で７日間の連続したデータが得るよう行った。②については、聞き取り調査により居住者の意見を書き留めた。本調査は1999年３月上旬に行った。

### 3.3.2　調査結果及び湿度制御の方法の観点から見た考察

#### (1) アンケート調査

表５に室内空気における乾燥の有無の集計結果を示す。全体の59%が「室内空気の乾燥」を感じており、「以前は乾燥していたが今は感じない」との回答は16%となった。乾燥への対策としては、「加湿器の使用」が全体の17%程度であるのに対して、「観葉植物の設置」や「洗濯物を干す」が全体の50%と割合が高くなっている。加湿器の使用に対しては「すぐに水がなくなってしまうために使わなくなった」や「加湿器では能力が少ない」との意見が見られた。

「以前は乾燥していたが今は感じない」と回答した居住者（25件）のうち、乾燥への対策をしているのは81%（22件)、その対策が「効果あり」としているのは68%（15件）である。これらの居住者の対策には「加湿器」は見られず、「観葉植物」や「洗濯物」が大半である。

乾燥への対策を行っているが、それが「効果なし」と感じている居住者は「室内空気の乾燥」を感じており、乾燥に対する深刻な悩みを訴えている居住者も見られる。

居住者が実際に行っている乾燥への対策は、住宅の設備として十分な加湿を行う方式が確立されていないために、「観葉植物」や「洗濯物」といった居住者の住まい方の工夫に依存している場合が多い。また、居住者の意見には「乾燥の慣れ」への指摘が見られた。

#### (2) 実測調査

調査対象住宅は「以前は乾燥していたが今は感じない」住宅２件（A邸、B邸)、「室内空気の乾燥」を訴えている住宅１件（C邸）である。図５～図７に各住宅における室内外温湿度変動を示す。各住宅とも居間室温は15～20℃付近で、相対湿度は40%となっている。現在は乾燥を感じていないA邸、B邸では積極的な乾燥への対策は行っていないが、両住宅とも「入居当時は乾燥していると感じていたが、今は乾燥には慣れた」という意見を持っている。一方、C邸は「乾燥している」と感じており、居間に「加湿器」と「観葉植物」を設置しているが、効果はあまりないとしている。

## 4．まとめ

本研究では次の知見が得られた。

①低湿度環境の人体影響に関する文献調査を行いそれをまとめた。　②高断熱高気密住宅において居住者が持つ乾燥感は、低湿度が影響している場合があるが、それ以外の要因が複合して作用している可能性がある。今後、さらに調査を行い原因の解明が必要である。　③居住者が実施している乾燥への対策は、「観葉植物」や「洗濯物」により実施している場合が多く、「加湿器」による積極的な加湿は全体の16%程度であった。この理由として、現在市販されている加湿器自体の性能が十分ではないことを指摘する意見が見られた。住宅設備としての加湿器の見直しが求められる。　④加湿に関する実測調査では、積極的な加湿の有無に関わらず相対湿度40%前後であった。この付近の湿度では居住者は乾燥に対する慣れを指摘しており、今後、乾燥への対策を施すためには、乾燥を知覚する

下限値を明確にする必要があり、本研究ではそこまでは至らず今後の重要な課題である。

## 5．研究発表の実績及び予定

**即発表論文**

1）長谷川兼一、吉野　博ほか：東北地方における断熱気密住宅の熱空気環境と居住者の乾燥感に関する冬期調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、1998年９月。

2）Hiroshi Yoshino, Kenichi Hasegawa and Yasuhiro Yamashita: Survey on feeling dry and its influencing factors: temperature, humidity and HCHO, 2nd International Conference on Human-Environment System, 1998. 11.

**発表予定学会**

1）空気調和・衛生工学会　学術講演会講演論文、1999年５月。

**【参考文献】**

1）長谷川ほか：高断熱高気密住宅における居住者の乾燥感に関する冬期調査、日本建築学会計画系論文報告集　第509号、1998年７月。

2）Yoshino et al, Investigation of dry feeling in residential buildings, Healthy Buildings/IAQ '97, 1997. 9.

3）吉野ほか：高断熱高気密住宅における熱環境特性と居住者の健康に関する調査、日本建築学会計画系論文報告集　第507号、1998年５月。

| 調査対象地域 | 配布数 | 回収数 |
|---|---|---|
| 青森県 | 15 | 15 |
| 岩手県 | 5 | 5 |
| 秋田県 | 15 | 13 |
| 宮城県 | 6 | 6 |
| 山形県 | 2 | 2 |
| 福島県 | 7 | 7 |
| 合計 | 50 | 48(96%) |

■表1　調査対象地域と回収状況

測定期間中，ご主人及び主婦の方が感じる室内における乾燥の度合いについて，1~7の尺度に当てはまるものに○印を付けて下さい。

1　非常に湿っている　　2　湿っている　　3　やや湿っている
4　どちらともいえない　　5　やや乾いている　　6　乾いている
7　非常に乾いている

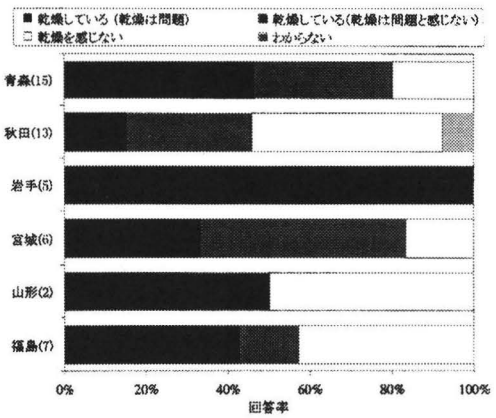
**2月27日(火)**

| | | ご主人 | | | | | | | 主婦の方 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 居間 | 朝食時 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| | 団欒時 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 寝室(一日) | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

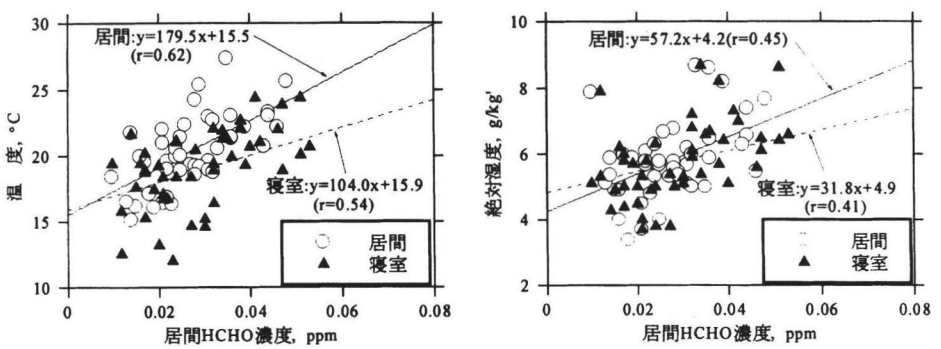
■表2　湿度感に対する評価の記入用紙

| 乾燥を問題と感じる理由 | 回答数 |
|---|---|
| 家族の健康に被害を受けている | 13 |
| 建物に被害を受けている | 18 |
| 室内の快適性が損なわれている | 2 |
| わからない | 3 |

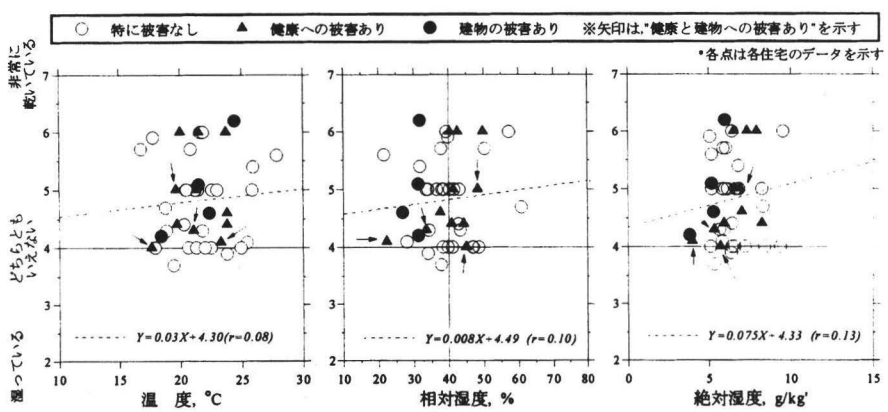
■表3　乾燥を問題と感じる理由の集計結果



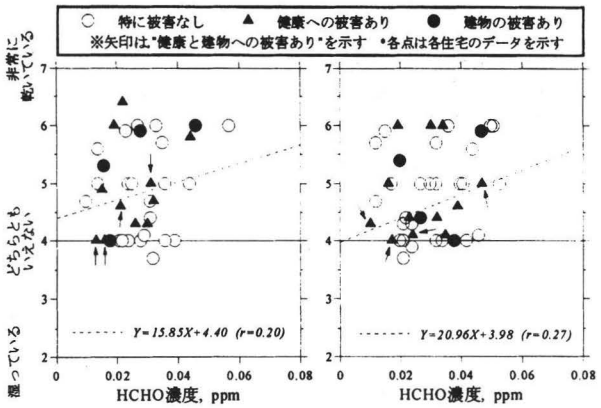

■図1　室内空気の乾燥の有無




■図2　居間と寝室におけるHCHO濃度と温湿度との関係（左：温度、右：絶対湿度）




■図3　居間・団らん時の主婦の湿度感と温湿度との関係（左：温度、中央：相対湿度、右：絶対湿度）



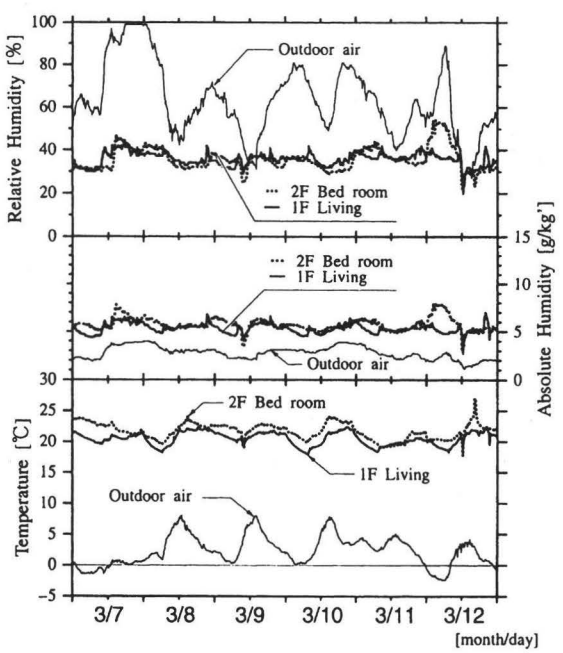

■図4　居間と寝室におけるHCHO濃度と居住者の湿度感関係（左：居間、右：寝室）

| 乾燥を問題と感じる理由 | 回答数(回答率) |
|---|---|
| 乾燥していると感じる | 93(59.2%) |
| 以前は乾燥していると感じたが，今は感じない | 25(15.9%) |
| 以前も今も乾燥していると感じない | 37(23.6%) |
| わからない | 2(0.3%) |

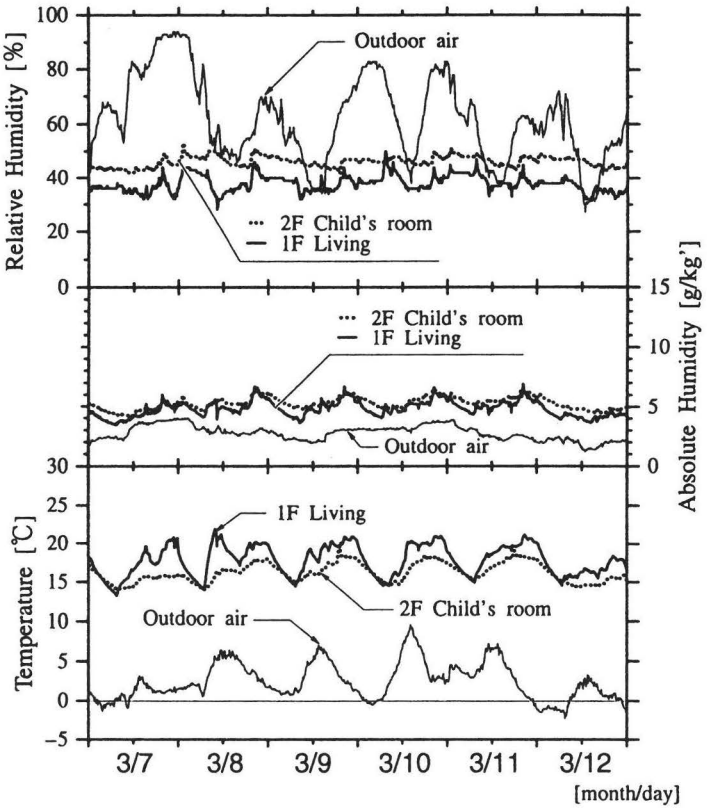
■表3　乾燥の有無に関する集計結果

| 調査対象地域 | 配布数 | 回収数 |
|---|---|---|
| 青森県 | 67 | 39 |
| 岩手県 | 20 | 15 |
| 秋田県 | 94 | 51 |
| 宮城県 | 42 | 24 |
| 山形県 | 10 | 5 |
| 福島県 | 45 | 23 |
| 合計 | 278 | 157(56%) |

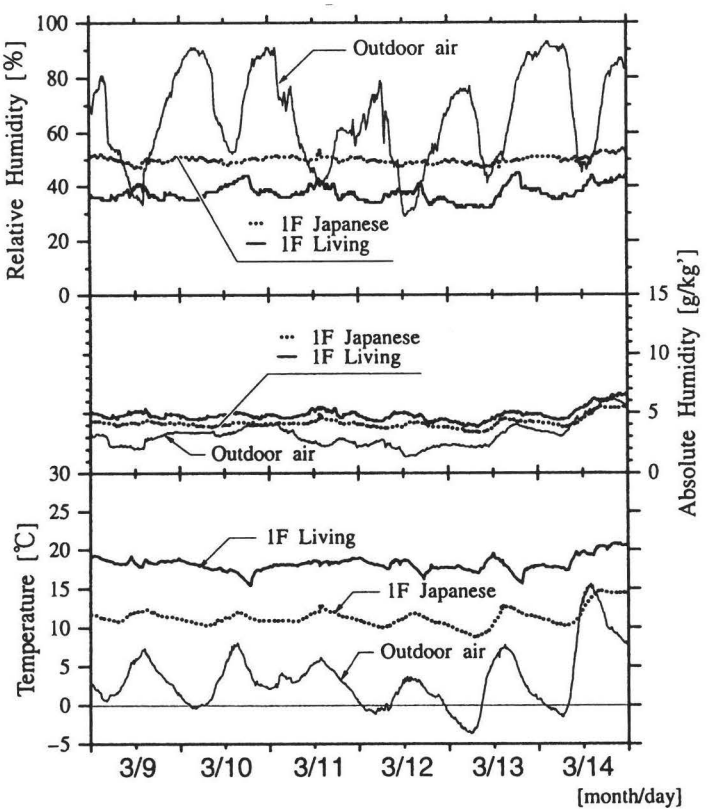
■表4　調査対象地域と回収状況




■図5　A邸における室内外温湿度変動




■図6　B邸における室内外温湿度変動




■図7　C邸における室内外温湿度変動

# 1—16 断熱気密化住宅における室内環境問題と持続的発展可能な住環境のあり方に関する研究

## —音環境の評価手法とその改善について—

日本大学　理工学部　建築学科
教　授　関　口　克　明

### 1．本研究の背景と目的

1992年２月、住宅に関する省エネルギー法が改正され、断熱性能の強化、気密住宅の概念の導入、日射遮蔽の考慮などが制度化されたが、一昨年策定の次世代省エネルギー基準により今後、断熱気密化がさらに促進されるものと思われる。

しかし、一方では高断熱高気密にまつわる諸問題がクローズアップされつつあり、PLEA (Passive and Low Energy Architecture) に見られる、気候風土に基づく持続的発展可能な省エネルギー建築に対する視点も見直されつつある。現時点における断熱気密化住宅の問題点と接続的発展可能な対応策を環境要素ごとにまとめると（1）～（8）のようになり、これらは、住戸内環境の快適性を論ずる上で必要不可欠な検証項目でもある。

(1) 断熱気密化に伴うオープンスペースの増加と音響性能の実態を把握する
(現場における界壁の遮断性能・床衝撃音遮断性能・開口部の透過損失・残響時間等)

(2) 現状の$CO_2$発生量を約1/2に減ずる施策として、太陽熱など自然のエネルギー利用により、給湯・発電を行う住戸計画を策定する。

(3) 透過型ソーラーパネルを用いることにより、外気候の程度に応じた受熱量を享受することができ、温水と発電を供用した計画を提案する。

(4) 室内空気汚染濃度・温湿度の３次元分布を検討し、可視化することで、カビ・ダニ・アレルギー等の健康被害との関連を検討する。

(5) 高齢者・障害者においても快適で暮らしやすくエネルギー消費の少ない住戸計画（平面・断面構成）を呈示する。

(6) 断熱気密化傾向の中で指摘される室内空気汚染物質との関係を検討する。

(7) 適切な日射遮蔽と夜間換気の促進を実践する。

(8) 住戸内気流の可視可を検討すると共に、必要換気量・換気回数・隙間相当面積等の測定結果から、住戸の気密性能を比較検討する。

このような状況下において我々は、省エネを意識したライフスタイルにより1992年より６カ年、

都市近郊に位置するRC造中層集合住宅を対象とし、居住下在室時における複合環境の実態を明らかにすると共に、実状に則した住環境評価を確立することを目的とし、住戸内外の温熱・音・光・空気質等に着目し、物理量測定を行ってきた。

室内環境の実態は、外界の気象や騒音レベル、ガス濃度等の経時変化と内部発熱・生活音・照度分布・粉塵量等により時事刻々と変化することから、建築躯体を媒体とした非定常特性の理解が不可欠であり、様々な負荷を正しく把握することが必要となる。そこで、我々は、室内環境の快適性を総合的に評価することを目標とし、オフィスの室内環境評価法（POEM-O）に準拠した手法を住宅に修正・適用することで、複合環境の実態を経時・経年の状態変化の傾向で、ある程度把握し、住み心地を評価する為の基礎資料を得ることができた。

「省エネ指向」のライフスタイルで検討されたこれら複合環境の24時間変動パターンは、断熱気密化に伴う住戸内環境の諸問題を検討する上で有効な判断材料に成りうるものと思われる。集合住宅居住下における数年来の複合環境要素の蓄積データを断熱気密化住宅のそれと比較検討する中で、音環境計画上の新たな問題点が提起された。

一方、健康的な生活環境を構築していく為には、機械力によるサポートシステムのみならず、「持続的発展可能な住環境」を基本理念とした環境共生住宅の設計手法と共に、省エネベースのライフスタイルを啓蒙していくことが不可欠となり、併せて在室者の特性や地域気候特性を考慮した住宅を設計し、提供していく事が肝要となる。

以上のような背景から、時代の趨勢を考み、住環境評価における快適性工学を機軸としたアプローチを模索すべく、新規性・独創性・有用性のある新たなツールを開発し、可視化による省エネライフの啓蒙手段とも成り得るアイデアを提示していくことが本研究の目的であり、且つ最重要課題である。

本プロジェクトは、「新省エネ基準」の達成による断熱気密化の推進と、伝統的な技術を再評価しつつ、持続的発展可能な居住技術を開発することで、地球環境保全に資するものである。

## 2．研究の方法

以下に本研究の具体的手順を示す。

(1) 高気密高断熱住宅の複合環境調査を実施し、筆者等の既往の研究・調査結果と比較検討する。

(2) 高気密高断熱住宅の新たな問題の一つとして、音環境上の資料が乏しいことから、外壁の性能向上に伴う室内相互（上下階、隣室間）の所要音響遮断性能の再評価をする。

(3) 高気密高断熱住宅における室内の圧迫感を音環境上から分析を行い、新たな評価手法の提案を行う。

(4) (1) ～ (3) の解消策として、２階界床を発展的に改善し、高剛性の緩衝空間として収納の機能を持たせた積極的な中間層として提案する。

(5) 中間層の諸機能（吸音・遮音・通風・換気・共鳴吸収）を計測・評価する。

(6) 通風・採光機能を持つ風光ボイドの配置・断面構成から生じる音響性能上の不備を騒音防止計画

により改善する。

これら断熱気密化にまつわる諸問題を明らかにすべく、新規性・独創性・有効性のある新たなツールを試作・開発し、複合環境の一評価手法を提案していきたい。

## 3．研究の計画と進捗状況

### 3-1．当初の実施計画

①平成９年９月―10月　実験計画書作成・実験住戸の選定（在来工法住宅及び高気密高断熱住宅）

②平成９年11月―12月　在来工法住宅・高気密高断熱住宅における冬季複合環境測定（1）

（音・温熱・空気・光環境測定＋換気量・気密測定＋低周波パルスによる圧迫感測定）（被験者による圧迫感の官能試験）（ボイドの音響性能調査：１）

③平成10年１月―２月　中間層（レゾネーター）の設計・製作

④平成10年３月―５月　高気密高断熱住宅における春季複合環境測定（2）

中間階の改善効果確認（音・温熱・空気・光環境測定＋換気量・気密測定＋低周波パルスによる圧迫感測定）（被験者による圧迫感の官能試験）（ボイドの音響性能調査：２）

⑤平成10年６月―８月　高気密高断熱住宅における夏季複合環境測定（3）

冷房時の温湿度・気流分布・室内空気汚染物質の実態調査＋官能検査

⑥平成10年９月―10月　高気密高断熱住宅における中間期複合環境測定（4）

床衝撃音・開口部遮断性能・振動特性の改善効果確認

⑦平成10年11月―12月　追加実験（予備）

⑧平成11年１月―３月　報告書作成・次年度用【1/2縮尺模型】製作開始

### 3-2．進捗状況

上記研究期間の内、⑤夏季と⑧冬季に日中共同調査による海外出張で予定変更を余儀なくされたが、春季・夏季・冬季における基本的な実態調査は完了し、実住戸において困難が伴う検証事項（床衝撃音等）については、野田市川間の実験住戸において追加実験を行った。残る問題点と対策の具体例については、⑥を参照されたいが、⑤における温湿度・気流分布の測定以降、温熱環境において生じた新たな問題点を追加検証していく必要性が生じ、現在、アイデア特許出願を検討する段階に到ったが、音環境においては、⑥の残響時間測定など新たな知見が得られたものの、当初予定した試作には到らなかった。

今後、残された問題については、本研究体制を維持し、逐次成果をご報告していく方向で対処したい。さらに、昨今クローズアップされつつある断熱気密化住宅における残響感、設備機器の稼動に伴う騒音・振動問題を居住者の視点から統計的に明らかにし、住環境評価の一環として対策を講じていく為の基礎資料を提示していきたい。これまでのご支援に対し、記して深謝致します。

## 4．今までに得られた成果

### 4-1．居住下における複合環境調査結果

#### 4-1-1．はじめに

高気密・高断熱住宅の室内環境を総合的に把握する事を目的とし、温熱・光・空気質・音環境の実態調査を行った。実験室実験では予測することが困難なライフスタイルの相違により生じる問題等を把握するため、通常の居住下において測定を行ったので、その結果について報告する。

#### 4-1-2．調査対象建物の概要

**a．断熱・気密化住宅（A宅）**

計測を行った住戸の概要、および期間を図④-1-1・表④-1-1、④-1-2に示す。当該住戸は、千葉県佐倉市内の閑静な住宅地に位置している。住戸周辺は車の交通量が少なく、多くの緑に囲まれている（写真④-1-1）。躯体は木質パネル工法で断熱・気密化の処理がなされたプレハブ住宅である(写真④-1-2)。

**b．RC造中層集合住宅（Y宅）**

実験住宅と同様、比較・参考値として引用した千葉県習志野市郊外の住居地域に位置するRC造中層集合住宅の概要を、図④-1-2・写真④-1-3・表④-1-3に示す。なおY宅は、当研究室において1992年から1997年までの6年間に渡り、継続調査を行っている。

#### 4-1-3．調査結果

**1）温熱環境**

夏季・冬季における室内温度は外気温の変動に影響されることなく、ほぼ一定な値を示している(図④-1-3)。窓を開放することが多かった春季においても、開口部が小さいことも起因し、室温変動は少ない。これは、高気密・高断熱住宅の最大の利点であり、当初から予想された結果を得ることができた。しかし、その温度は、春季（23～26℃）・冬季（21℃）と体感的に快適であったが、夏季においては、冷房を25℃設定で24時間稼動しているにもかかわらず、実態は28℃前後と蒸し暑さを感じた。

また、PMV計の値（図④-1-4）も同様な結果を示し、予想不満足率（PPD・Predicted Percentage of Dissatisfied）は、春季（Ave. 7.63%）・冬季（Ave. 6.05%）と低めで安定しているが、夏季（Ave. 33.92%）は若干大きめな値を呈している。また予想平均申告（PMV・Predicted Mean Vote）では、夏季は＋1でやや温かく、春季・冬季は±0.5の範囲内にあり快適と思われる（図④-1-5）。

夏季における室温は、壁面の蓄熱効果の影響と計画換気の不備が反映された結果となった。冷房の温度設定を低くすることにより、快適空間を保持することは出来るものの、省エネを加味したエネルギーバランスも考慮する必要がある。

次に冬季の窓面における表面結露について検討した。一般的に断熱・気密化住宅では、結露対策に重点がおかれているが、A宅窓面では微量ながらも、和室窓のサッシ戸枠周辺のガラス面に表面結露が確認された。これはアルミサッシの熱伝導率が高く、外気温に大きく影響されることが起因している。

また壁面の場合、隅角部の表面温度と露点温度の差は6℃近くあり（図④-1-6）、表面結露の発生は見受けられない。

2）光環境

A宅居間の光環境は、図④-1-7・8から南側の一部のみ明るく、中央・北側部分では暗い様子が見受けられる。均斉度も0.12と低く、照度分布にむらがあることが確認された。また、居間の中央部分は家族が通常使用している場所であるにもかかわらず、平均115（lx）と低い値を示し、団らん時に必要とされるJIS照度基準150～300（lx）に達していない。これは当該住戸が、断熱性能を重視した歪みが波及したものであり、開口部を小さくし、窓からの熱損失を可能な限り低く押さえたためと思われる。我が国においては南面採光が最も効率的で重宝されるが、A宅においても北・東面の窓は、南面の窓に比し開口面積は約1/4と小さくなっている。

一方、昼光率による評価では、図④-1-9に示すように、照度と同様、北・東窓の採光効率が低いことが確認され、その形状・大きさ・配置、を考慮した立体角投射率等による検討が必要となろう。

以上のことから、A宅は昼間においても人工照明により照度を補うなど補助手段を講じる必要があろう。しかし、エネルギーコスト面の検討結果（後述参照）からも自然採光の有効性を見直し、設計段階からバランスのとれた導入計画が必要となろう。

3）空気環境

$CO_2$濃度の測定結果を図④-1-10に示す。春季においては一日の大半窓を開放していたため、室内の$CO_2$の状態変化は、室外とほぼ同様な値を記録している。夏季および冬季の換気は、窓を開放せず計画換気システムを採用している為、春季とは違った傾向を呈している。

断熱・気密化住宅では、一定の温度を保持した状態での換気を目的としている為、24時間計画換気システムにより基本的に窓を開放しないことを前提としている。しかし、A宅における$CO_2$濃度の状態変化を見ると一度上昇したガス濃度は容易に減衰せず、換気が促進されていない様子が伺える。

また、気流速度の測定結果（図④-1-11）においても、一日の大部分の値が0 m/sと無風状態で、居間の空気が汚染されたままよどんでいる可能性が高い。当測定結果から換気量不足が懸念され、別途、追加検証を行ったところ必要換気量が充足されていないことが判明した。

そこで、居住下においてドライアイスによる$CO_2$濃度の減衰性状を検討したところ（図④-1-12・13）強制的に発生させた7500ppmの濃度は自然減衰が困難で新鮮空気の流入が認められず、換気量不足が明らかになったことから、完全に密閉・制御された空間で生活する際の、計画換気システムを過信することにの危険性が指摘された。

4）音環境

春季・夏季・冬季における高気密・高断熱住宅の居住下における音環境測定の結果を図④-1-14・15に示す。測定点は、A宅居間室内外の2点で（春季は、2階ファミリースペースを含む3点)、LAeqを1時間毎に24時間連続測定した。春季測定では、各時間毎に部屋の窓を任意に開閉しているが、上下階のLAeqに顕著な差は見受けられず、むしろ相関している様子が伺える。また、閑静な住宅街であるため、居間外のLAeqはBGNが30～35dB(A)程度と室内より低い傾向にある。これは、オープンルームにより音拡散している為と思われる。空調機器を使用しない春季のA宅の音環境は生活音が主体である、自然換気による窓及び室内のドア開放による居室間の遮音性の低下が懸念される。

一方、夏季・冬季測定では、春季と異なり、平均値に室内のLAeqは屋外に比し低くなる傾向が伺えた。これは、終日、窓を閉鎖しているため、遮音効果が反映したものと思われる。

5）エネルギー収支に関する検討

・熱エネルギー

断熱・気密化住宅では室温保持を前提としている為、通年冷暖房補助機器を必要とし、夏季においては、一日中クーラーを稼動させている。しかし、夏季の室内外温度の24時間変動を比較すると、室内温度が室外温度を上回る時間帯が見受けられる為、そのエネルギー浪費量をコスト換算して検討した結果を次に述べる。

室内外の温度変動から、内部温度が屋外温度を上回るポイントを調べたところ、午後7時40分から翌日の午前9時40分までの14時間がこれに該当した（図④-1-16)。そこで、A宅で使用している冷房器具の型式から1時間当たりの所要電力を調べ、コスト換算したところ、一日当たり636円の浪費額が算出された（表④-1-4)。住まい方や機種による相違はあるものの、機械力による24時間換気の陥りやすい問題点を検証することが出来た。

・照明による消費エネルギー

前述の通り、A宅の居間における照度は日中でも十分確保されているとは言い難く、人工照明により照度を補うことの必要性が示唆された（表④-1-5・図④-1-17)。従って、JIS照度基準に達しない時のみ人工照明を用いることを前提として、コスト換算して、比較検討してみたところ、屋外照度が十分であるにもかかわらず、窓からの採光が効率的でないために、人工照明により照度を確保しなければならない時間が居間北側で18時間であった。そこで、A宅で使用している人工照明機器の消費電力を調査し、コストに換算したところ、一日の浪費額は68円相当となった。これは、必要照度が確保されていれば、本来必要の無いエネルギーコストであり、計画段階からの消費エネルギーを前提とした効率の良い平面計画を検討することの必要性が示唆された。

## 4-2．実験住宅における音環境測定結果

高気密・高断熱住宅における音環境性能を評価するため、野田市川間のトステム実験住宅において、室内騒音、床衝撃音、遮音、残響音について実測したのでその結果について報告する。

測定日時は、平成10年５月25日（月）、午前９時～午後８時であり、周辺の暗騒音に極力配慮した。

### 4-2-1．室内騒音測定

測定対象は、（図④-２-１、写真④-２-１～２参照）１階居間クーラー、脱衣所の換気システム、２階踊り場に設置されたクーラーの等３種類の空調機器で、各々測定値をＮ曲線で評価した。

各空調機器のＮ値（図④-２-２）を見ると、１階居間壁に設置されたクーラーの場合N-40で、日常生活において、会話に支障が無い程度の性能が確認された。一方、他の２種類はN-45と、多少大きめの値となった。

従って、１階居間のクーラーには問題は見受けられないが、脱衣所の第３種換気システムにおいては、設置状況から、多少の騒音はやむ得ないが、上階住戸居室への振動伝播が多少懸念される。

しかし、２階踊り場上部に設置されたクーラーは隣室が寝室の為、就寝時の室内騒音と低周波振動が生じる可能性がある。測定値のN-45を戸建住宅の寝室の適用等級で判断すると、３級と評価されるが、これは最低限度の要求水準であり、通常の騒音のみならず固体伝播音や振動に対する配慮が必要となろう。

これらの主たる原因は、クーラーのメンテナンスに関する問題と同じに、設置位置が図面上熱だまりが生じやすい場所であるため、通常より強めに空調機器を制御していることが予想される。

### 4-2-2．床衝撃音測定

測定対象室および測定点を図④-２-３に示す。軽量・重量衝撃源として、タッピングマシーン・バングマシーン（写真④-２-３～５）を使用し、測定値をＬ曲線に当てはめ、適用等級により評価した。

まず、２Ｆ中央子供部屋の重量床衝撃音に対する床の性能を検証すると（図④-２-４参照）部屋中央の床衝撃音が最も高くL-65を示しており、日常生活において子供がこの部屋で音をたてると階下の家族にとっては、不快感は免れず、適用等数では遮音性能上標準である２級と評価された。

一方、軽量衝撃源に対する床性能は、フローリング床であることから、室内３箇所とも極めて高いL-80となり（図④-２-５参照）、適用等級では３級未満、遮音性能基準では、下階の家族にとって、うるさく我慢できないほどの性能であることが解った。

当室の使用目的を考慮すると、子供が飛び跳ねたり、おもちゃを落としたりといった衝撃音対策として仕上げ材に対する配慮が不可欠となろう。

次に、２Ｆ寝室における軽量床衝撃音に対する床性能は、仕上げ材にカーペットを使用しているため、３箇所ともL-55と低い値をとっており（図④-２-６参照）、適用等数では１級を示し、感覚量でも発生音がやや気になる程度と、遮音性能上優れていることが確認された。

以上の事から重量床衝撃に対しては標準的な性能を持ち、フローリングの軽量床衝撃音に関しては、表面の仕上げ材に対する検討を要する結果となった。しかし、ハウスダストを含む空気環境の視点からは、フローリング床は子供の生活環境として衛生的で好ましいイメージが浸透しており施工上の留意点について啓蒙していく余地がある。

### 4-2-3．遮音性能測定

測定対象は、主として開口部と住宅の内壁に２分され（図④-２-７参照)、開口部では１Ｆの南面中央の窓サッシ（写真④-２-６～７)、西面窓サッシの２箇所をJIS A 4706のアルミニウム合金製及び鋼製サッシ基準に則し評価実験を行った。サッシのＤ曲線では、JIS A 4706基準のTs-30は学会基準のD-30-IIと、Ts-25はD-25、Ts-20はD-20、Ts-15はD-15と対応した基準となっている。

また、内壁では２階南面の子供部屋を音源室とし、その隣室の寝室及び東面子供部屋を受音室として測定したものと、２階廊下を取り外し（写真④-２-８)、南面子供部屋を音源室に、居間を受音室として測定したものを評価する。各々の測定値をＤ値で評価し、適用等級を用いて遮音性能を判定する。

開口部の遮音性能を比較すると（図④-２-８参照)、両者とも中音域でディップが見られるものの、両者ともTs-25を上回っており、JIS A 4706の基準により防音性能をもつ開口部材であると評価できる。従って、開口面積の大小に関わらず、両サッシはほぼ同等の性能を持ち合わせているものと思われる。

次に戸境壁の遮音性能を示す（図④-２-９参照)。南面子供部屋と寝室間及び東面子供部屋間では、高音域で遮音欠損が生じており、両者ともD-30’となっている。

この高音域の遮音性能の落ち込みは、上下層の場合にも見受けられ、D-30”と評価される。

これらを適用等級で評価すると、最低限度の許容値である３級の遮音性能をも下回り、遮音性能基準では、「隣戸の生活行為が大変良くわかる程度」ことである。

この要因を検討してみると、高気密・高断熱住宅では、住居内全体を一括して冷暖房や換気をすることから界壁のない住戸プランが望まれる為、住戸内の生活音が遮音されずに内部で拡散しやすいことに起因しているものと思われる。

また、強制換気による吸入気や換気口、比較的大きくカットされたドアの隙間などから、生活音が漏洩することも一因を成している。

### 4-2-4．残響音測定

実験住宅１階の居間部分（図④-２-１参照）における残響音測定結果について報告する（図④-２-10参照)。一般の住宅建築では、残響時間は0.5秒以下であることが好ましいとされているが、今回の測定では、250～500HZで0.6秒、１k～２kHZで0.7秒という結果が得られた。通常より長い残響音は、居住者に住宅よりも広い空間にいるような違和感を覚えると共に、実際は小さな生活音でも感覚的には数値以上のやかましさに感じてしまうことが予想される。

以上のように、界壁のないオープンな空間による温熱環境の均一性は、一方では音響問題を助長する要因にもなりうることが示唆され、今後は空間のボリュームと気密性による音の「こもりやすさ」等に関しても明らかにしていきたい。

## 5．これから期待される成果

高気密高断熱住宅の音環境における問題点については、現状把握にとどまったが、今後継続調査により逐次、研究成果をご報告していきたい。さらに音環境のバイアスを考慮した、居住者へのアンケート等を実施し、新たな問題提起を行う予定である。これにより、物理量に対応した、音に関する評価指標の提示を試みたい。

微気候が人体の温熱感に与える影響を明らかにすることは、住宅の設計や住環境を制御していく上で重要な役割を担っている。現在、人体への影響を予測する寒暑感の評価として、PMV・PPDが一般的に用いられているが、これが適用されるのは温熱分布が一様な空間のみで、通常、気流・輻射が存在する非定常空間においての評価手法としては問題が残る。

そこで我々はこれらを念頭に、より現実に則した温熱環境を評価する手法として、非定常状態での空間の一様製や方向依存性を視覚的に認識出来る、新たなツールの開発を試みたので、その手法と運用の可能性について報告する。

### 5-1．はじめに

室内の温熱分布を総合的に評価する際、四周壁面、床、天井からの不均一な輻射熱の暴露や気流による局部的な温度格差が温熱感覚の評価に影響を与える事が十分考えられる。この点に関しては、ISOやASHRAEにおいても人体に不快感をもたらす表面放射温度の基準として、整備されている。壁面放射に対する評価計測手法としては、サーモグラフィー等により、放射温度の分布として捕らえることで、室内の任意の点における総合的な温熱環境をある程度把握することは可能であるが、直接その点における評価をしたものではない。本研究では空中に銅板を吊るし、サーモグラフィーを通して見ることで、気流・輻射を考慮しながら、空間における温度分布を可視化することを試み、壁面温度の場合と比較検討した。

また、空間断面温度の計測に使用した銅板に比し、人体が受ける温熱の方向性を考慮するため、輻射熱を加味した測定ツールとして、肩幅大（約40cm）の銅球（型枠：多次元構成キット（ゾムツール：AOSHIMA）により骨格を製作し、黒色つや消し銅板をツメで固定し各面を熱的に独立させた球）を製作した。当供試体とサーモグラフィーを用い、空間温度分布の測定を行った。

### 5-2．調査方法

#### 5-2-1．使用試片の選定

試料の材質に関しては、換気時における瞬時の温度変化等にも対応できる様、熱容量が少なく、熱伝導率が良い金属片として、安価で入手容易な薄厚の銅板（表⑤-1）を選定した。

次に形状では、全空間からの輻射を評価するための球状の他、立体の暴露面積の大きな水平面内を評価するための円筒形状、及び平板とした。図⑤-1は銅試片と各種試験体の応答を比較検討したもので、Dry Ovenで一定温度（52℃）に加熱し、取り出した瞬間からの下降温度を放射温度計

(MINOLTA HT-1ID) で計測したものである。

応答の結果をみると、球形状は、材質が薄板・メッシュに関わらず熱容量に比し、放射面積が少ないため、応答が遅れる傾向がある。円形状はそれに準じ、平板は最も反応が速いことがわかる。

以上のことから、輻射の入射方向が明確で応答の最も速い、艶消し黒スプレーを塗布した7cm角、厚さ0.1mmの平板の銅片を供試体として採用した。

### 5-2-2．銅板のレスポンスに関する考察

冬季、ブラインドを開けた瞬間からの冷輻射の影響を、銅板の放射温度・グローブ温度・室温で比較検討したものを図⑤-2に示す。サーミスタによる室温はブラインド開放後、徐々に低下し、輻射熱の影響を評価していない為、銅板やグローブ温度より低くなっている。また、銅板の温度は冷気の影響を受けて敏感に反応し、急激に下降したのちほぼ定常状態で推移している。一方、グローブ温度計は2分間一定温度を示し、その後徐々に温度は低下する傾向にある。7分以降では、銅板の放射温度と同じ値になることから、非定常時にはそぐわない事が確認されると共に、銅板に輻射熱を加味した温度を瞬時に測定できることが明らかとなった。

## 5-3．調査概要

### 5-3-1．調査対象建物

千葉県内に立地する、RC造中層集合住宅のY宅及び、木造高気密・高断熱住宅のA宅において測定を行った（④参照)。また両住宅とも雨天以外の日を選定した。

### 5-3-2．調査日時

A宅では、1998年の夏季及び冬季において、24時間住環境測定と共に、定常状態での空間温度測定を実施し、Y宅では1999年の1月末、模擬居住下における換気実験の際、非定常状態において同様の計測を行った。

### 5-3-3．調査内容

A宅、Y宅共に空間に吊るした7cm角の黒色・艶消し銅片を使用し、サーモグラフィー等により温熱分布を測定した。さらにY宅では、これと並行して、供試体として40cm銅球を用い、住まい方の相違による方向性を含めた空間温度分布の検討を行った。

## 5-4．銅板による空間温度測定

本装置の現場への適用例を図⑤-3に示す。A宅の吹抜け部において上部梁から釣り糸をつるし、7cm角の銅板〈サーモグラフィーを部屋の幅（2730mm）全体が映るように銅板から約3cm遠ざけた時の確認できる最小の大きさで、観測対象の気流を乱さない様、配慮した〉を、50cm間隔で張り付け、放射温度計で空間温度測定を行った（図⑤-3、写真⑤-1、2)。特に夏季においては上部の

熱溜まり、１階居間からの吹き出し気流が、冬季には下方域の冷輻射等が確認できた。次に空間温度を一度に測定する為、サーモグラフィーを用いた例を図⑤-４、写真⑤-３に示す。これはＹ宅において開放型石油ストーブ稼動により$CO_2$濃度が4000ppmに達した後、窓開放の相違による温熱分布の変化を検討したものである。換気時間は共に800ppmまで$CO_2$濃度が減衰するのに要した時間とし、居間一室のみ窓開放で５分、居間＋北側の部屋窓開放で１分を記録した。居間一室のみ窓開放では５分経過時で壁面の全体的な温度低下が確認され、銅板も22℃まで低下しており、室内の温熱分布の状態を可視化することが出来た。

### 5-5．住まい方による空間温度の相違について

#### 5-5-1．40cm銅球のレスポンスに関する検討

銅試片と銅板で囲まれた40cm球のレスポンスを比較したものを図⑤-５に示す。これを見ると40cm銅球は銅試片単体に比し、即応性にやや劣るものの、周囲の空間温度にすばやく適応していることがわかる。また球形であることから、輻射の方向性が把握できるため、その有効性が期待できる。

#### 5-5-2．40cm銅球による空間温度測定

図⑤-６にホットカーペット使用時における高さ別温度分布を示す。床放射型暖房の典型的な例として、立ち上がりに時間はかかるものの、時間経過と共に、下方球中央より上部の温度差は少なく均一に暖められていく様子が伺える。

次に冬季窓面におけるコールドドラフトの状況を図⑤-７に示す。上の球においては薄手カーテンを閉めるだけで、顕著な温度差が見受けられるが、カーテンの有無を問わず、窓下から冷気の進入は免れない様子が分かる。ISO-7730（PMV・PPDの算定と快適環境の仕様）によると、冷たい窓に関しては微小面放射温度差を10℃以内としていることやASHRAE ST.の基準において、室間温度差は、５℃以内が推奨されていることから、お年寄りのヒートショック等の問題に対し、窓面からの冷気の侵入を、カーテンの丈を長くするなどの工夫が必要であることを的確に把握する。この様な温度差を考慮した、ストーブ設置位置の相違による空間温度分布の比較を図⑤-８に示す。ストーブを居間中央に設置した場合、暖められた面と窓からの冷輻射による影響の差が最大９℃あるが、ストーブを窓際に置いた場合（写真⑤-４）、室温は低めながらも、温度差は少なく均一化している様子が伺える。

### 5-6．試作銅球による換気法の検討

熱的効率の良い換気法を検討するため、模擬居住下において40cm銅球を用いた検証実験を行った。Ｙ宅居間で$CO_2$濃度が4000ppmに達するまで開放型石油ストーブを稼動した後、運転を停止し、窓開放パターンによる相違を検討した。換気方法は①居間一室のみ窓開放　②居間＋北側の居室窓開放（以下南北窓開放）の２種類で、１分間に空間温度と$CO_2$濃度を計測した（写真⑤-５）。その結果を図⑤-９・図⑤-10に示す。これを見ると、居間一室のみの窓を開放した場合、換気所要時間は５分間

と、長時間暴露により壁面と共に球全体の温度が5℃以上低下していることがわかる。これに比し、南北窓開放の場合、$CO_2$濃度が1分間で800ppmまで減衰しており、下方域に温度低下が見受けられるが、暴露時間が短いため熱損失が少なく、球全体の温度低下も3℃程度にとどまっている。そこで、換気パターンの相違による換気後の熱保持の実態を視覚化し、経時変化で比較検討したものを図⑤-11に示す。居間一室のみ開放時では換気終了時に壁面の熱損失が確認され、室温回復が容易でないことが伺えるが、南北窓開放時の場合、躯体の熱が保持されたまま、換気が促進されている様子が確認された。

### 5-7．まとめ

以上の測定結果から、住戸における定常及び、非定常状態での銅片を用いた測定法の有用性が示唆された。今後は、気流分布を考慮した供試体の設置間隔や、可搬性・再現性等について検討して行きたい。

## 6．残る問題と対策

非定常状態における空間温度の可視化についての可能性が述べられた。非定常の把握という視点から、レスポンスの良い銅板を選択したが、相対的な変化は可視化できるものの、銅片の表面温度が、正確な作用温度と見なせるか否か、単なる輻社温度なのか等が、十分検討されているとは言い難い。今後は、表面温度の物性的な把握を行うと共に、人体の温熱シミュレーションに近似した40cm銅球を作成した意味付けや付加価値を明確にして行きたい。これら測定ツールの開発にあたり、新規性、独創性に加え、有用性、汎用性等を追加、検証していく予定である。

## 7．研究発表の実績及び予定

①吉野泰子、関口克明『集合住宅の居住後評価に関する実態調査』1993.9　日本建築学会大会
②吉野泰子、関口克明『集合住宅の居住後評価法に関する調査研究』1994.9　日本建築学会関東支部大会
③田中和之、関口克明、吉野泰子『都市近郊型ライフスタイルに基づくRC造集合住宅の室内環境の実態について～その1．居住下における4カ年の経時変化の傾向と評価への課題』1996.11　日本大学理工学部学術講演会
④田中和之、関口克明、吉野泰子『都市近郊型ライフスタイルに基づくRC造集合住宅の室内環境の実態について～その2．居住下での簡易測定に関する試み』1996.11　日本大学理工学部学術講演会
⑤吉野泰子、関口克明、田中和之『RC造集合住宅における居住環境の実態と評価に関する研究～5カ年の実態に基づく評価法への手続きと簡易測定に関する試み～』1997.12　人間生活環境系シン

ポジウム

⑥吉野泰子、関口克明“ENVIRONMENTAL ACTUAL STATE AND DAILY LIFE STYLE IN MULTIFAMILY DWELLINGS FOR ABOUT 4 YEARS CLOSE TO URBAN COMMUNITIES” PLEA 1997 KUSHIRO, Proceedings Vol. 3 Jannuary 10

⑦吉野泰子、関口克明、田中和之『集合住宅の居住下における複合環境の実態と評価に関する研究 その１．温熱・音環境の５カ年の実態に基づく評価法への手続き』1997.9　日本建築学会大会

⑧田中和之、関口克明、吉野泰子『集合住宅の居住下における複合環境の実態と評価に関する研究 その２．光・空気環境の５カ年の経時変化の傾向と模擬居住下における検証』1997.9　日本建築学会大会

⑨吉野泰子、関口克明、島宗淳一郎、田中和之『RC造集合住宅の居住下在室時・空室時における複合環境の実態と評価に関する研究　その１．温熱環境の経時変化と６カ年の経年変化からの考察』1998.9　日本建築学会大会

⑩田中和之、関口克明、吉野泰子、島宗淳一郎『RC造集合住宅の居住下在室時・空室時における複合環境の実態と評価に関する研究　その２．空気環境の経時変化と６カ年の経年変化からの考察』1998.9　建築学会大会

⑪菅野哲充・関口克明・吉野泰子・田中和之、島宗淳一郎『居住下における空間温度の可視化に関する研究　その１．供試体の選定と測定法の概要』1999.9　日本建築学会大会発表予定（投稿済み）

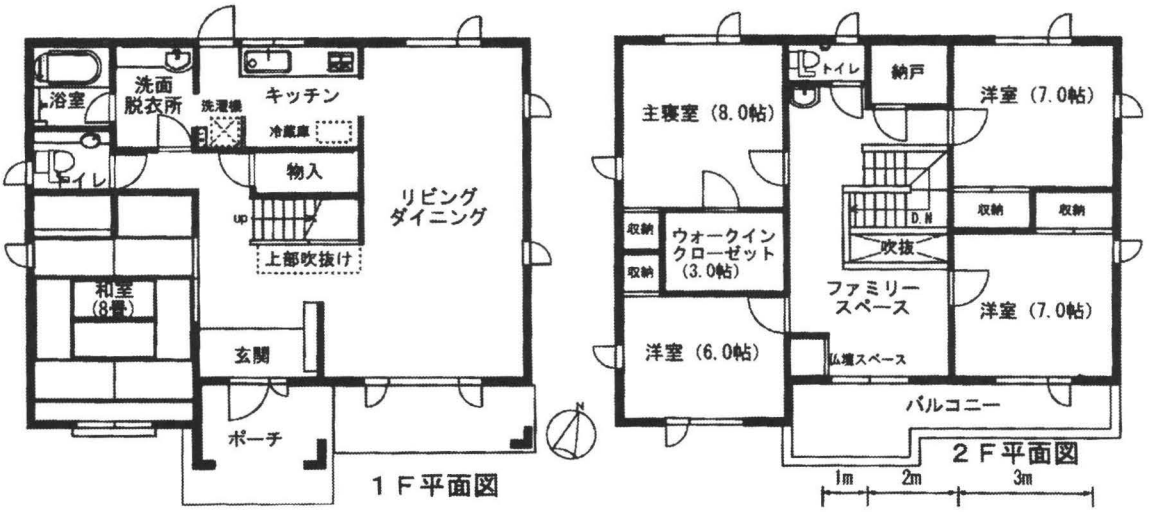
⑫島宗淳一郎・関口克明・吉野泰子・田中和之『居住下における空間温度の可視化に関する研究　その２．住まい方の相違を反映した計測ツールとしての可能性について』1999年９月　日本建築学会大会発表予定

## ８．実用化計画

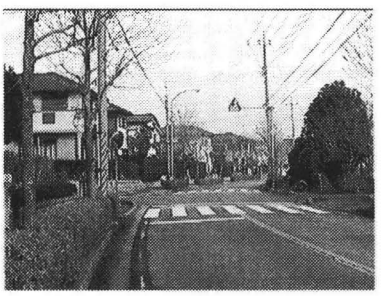
６に示した残る問題の対策を講じつつ、非定常空間の温熱環境をシミュレートするプログラムを独自に作成していく予定である。これら、シミュレーション結果と空間温度の実測結果を照合し、測定ツールとしての信頼性・実用性を高めて行きたい。

さらに、本研究は可視化による省エネライフの啓蒙を意図としている為、サーモグラフィーを用いているが、当測定器は効果である上、運用上手間を要することから、現状に則した簡易測定法を模索してきたい。

現在これら、銅板による非定常空間の温度計測法（空間断面及び輻射の方向性を加味した40cm銅球による温熱シミュレーション）をアイデア特許として出願した。




■図④-1-1　A宅平面図



■写真④-1-1　A宅周辺図

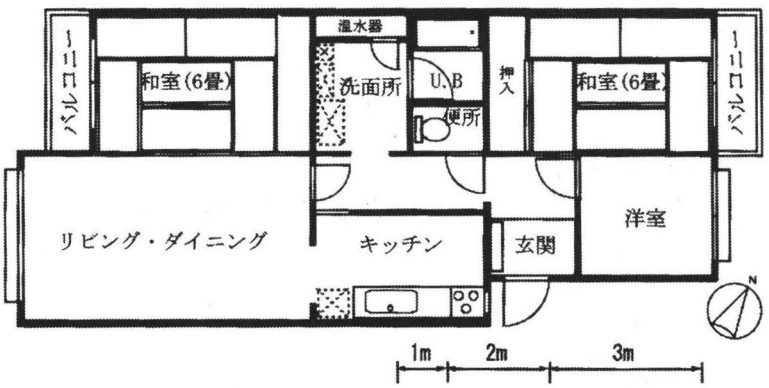
■写真④-1-2　A宅外観

■表④-1-1　建物概要

| | |
|---|---|
| 所在地 | 千葉県佐倉市 |
| 竣工年 | 1997年 |
| 建物規模 | 2階建て<br>（木質パネル） |
| 床面積（延床） | 168㎡ |
| 床面積〈居間） | 29.23㎡ |
| 主実験対象室 | 居間 |

■表④-1-2　調査期間

| 時期 | 対象日時 | 調査対象ポイント |
|---|---|---|
| 春季 | 自　1998年 4月22日（水）　12:00 | 居間・ファミリースペース・吹き抜け・居間外 |
| | 至　1998年 4月23日（木）　11:00 | |
| 夏季 | 自　1998年 8月 3日（月）　12:00 | 居間・ファミリースペース・吹き抜け・居間外 |
| | 至　1998年 8月 4日（火）　11:00 | |
| 冬季 | 自　1998年12月14日（月）　12:00 | 居間・ファミリースペース・吹き抜け・居間外 |
| | 至　1998年12月15日（火）　11:00 | |

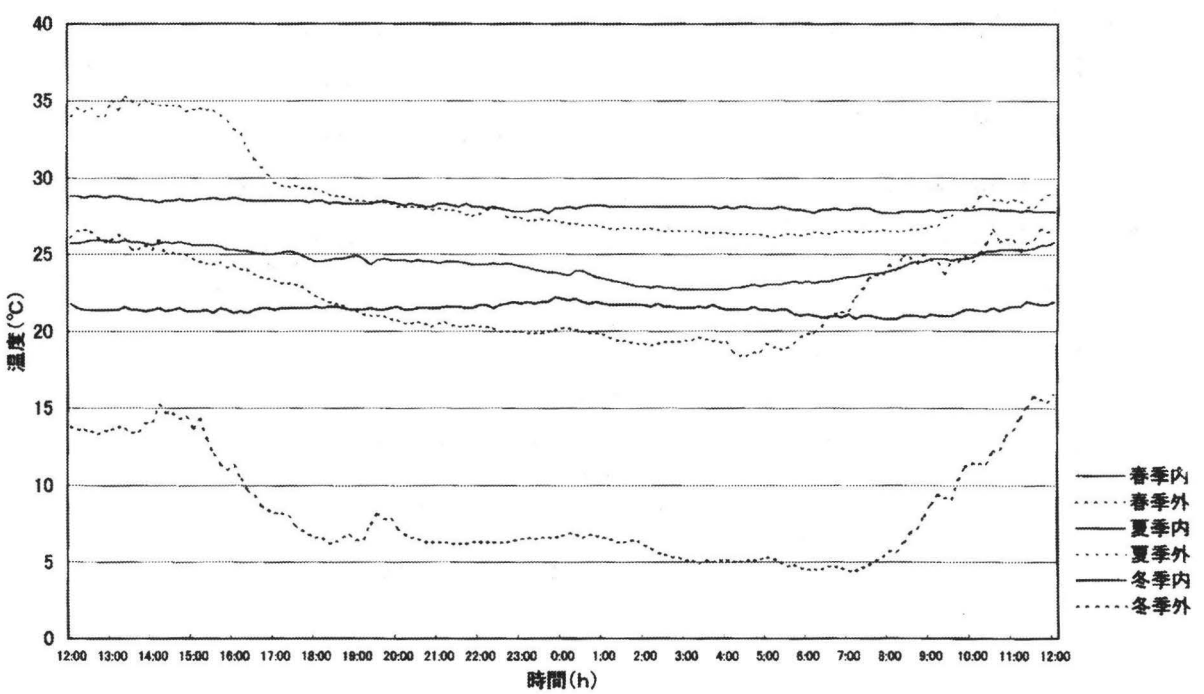



■図④-1-2　Y宅平面図

■写真④-1-3　Y宅外観

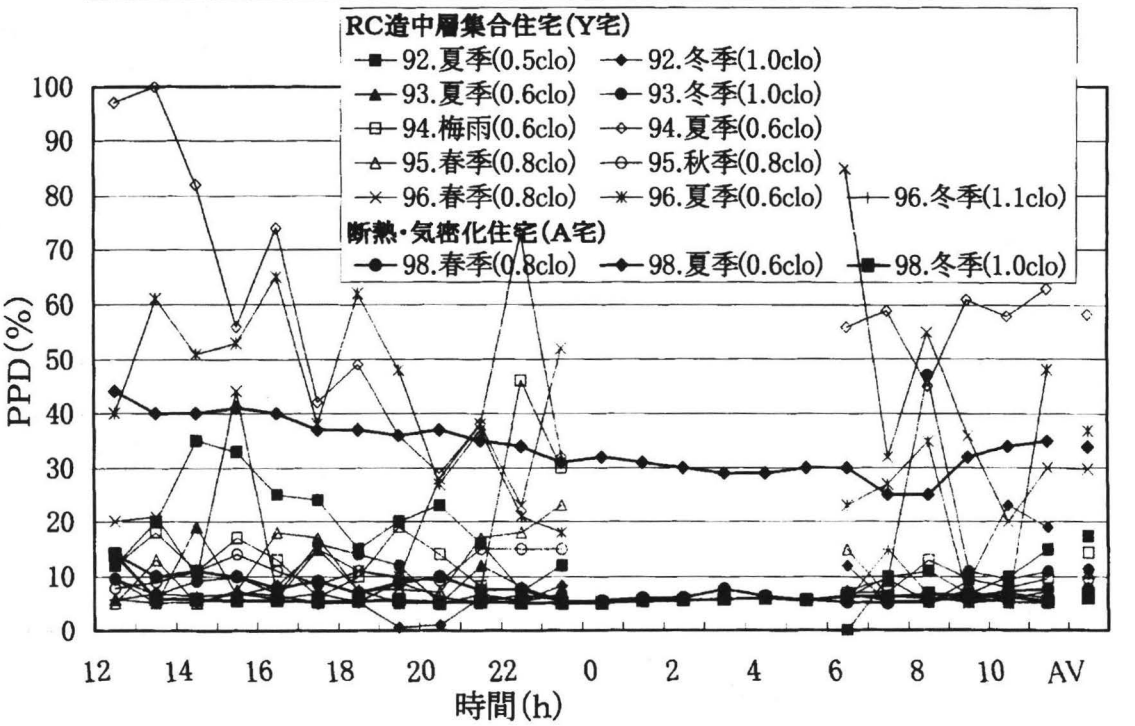
■表④-1-3　Y宅建物概要

| | |
|---|---|
| 所在地 | 千葉県習志野市 |
| 竣工年 | 1983年 |
| 建物階数 | 地上5階(RC造) |
| 対象階 | 地上2階 |
| 床面積 | 77.0m² |



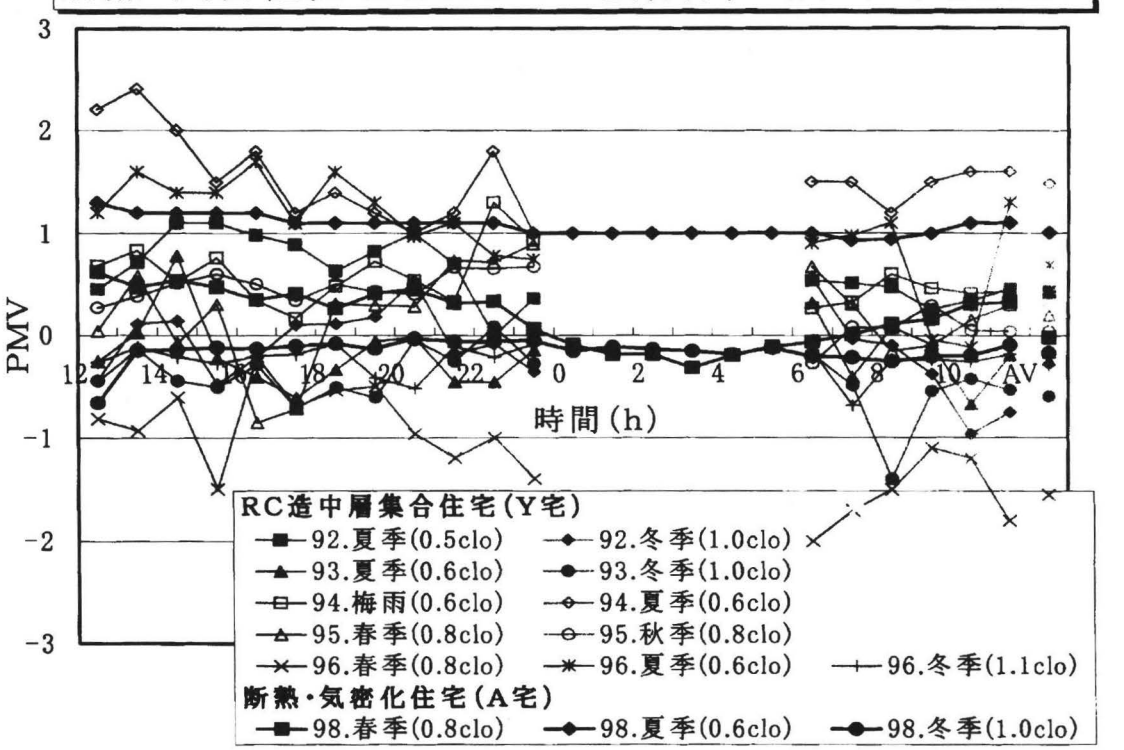

■図④-1-3　室内外温度比較

## 断熱・気密化住宅およびRC造集合住宅におけるPPD

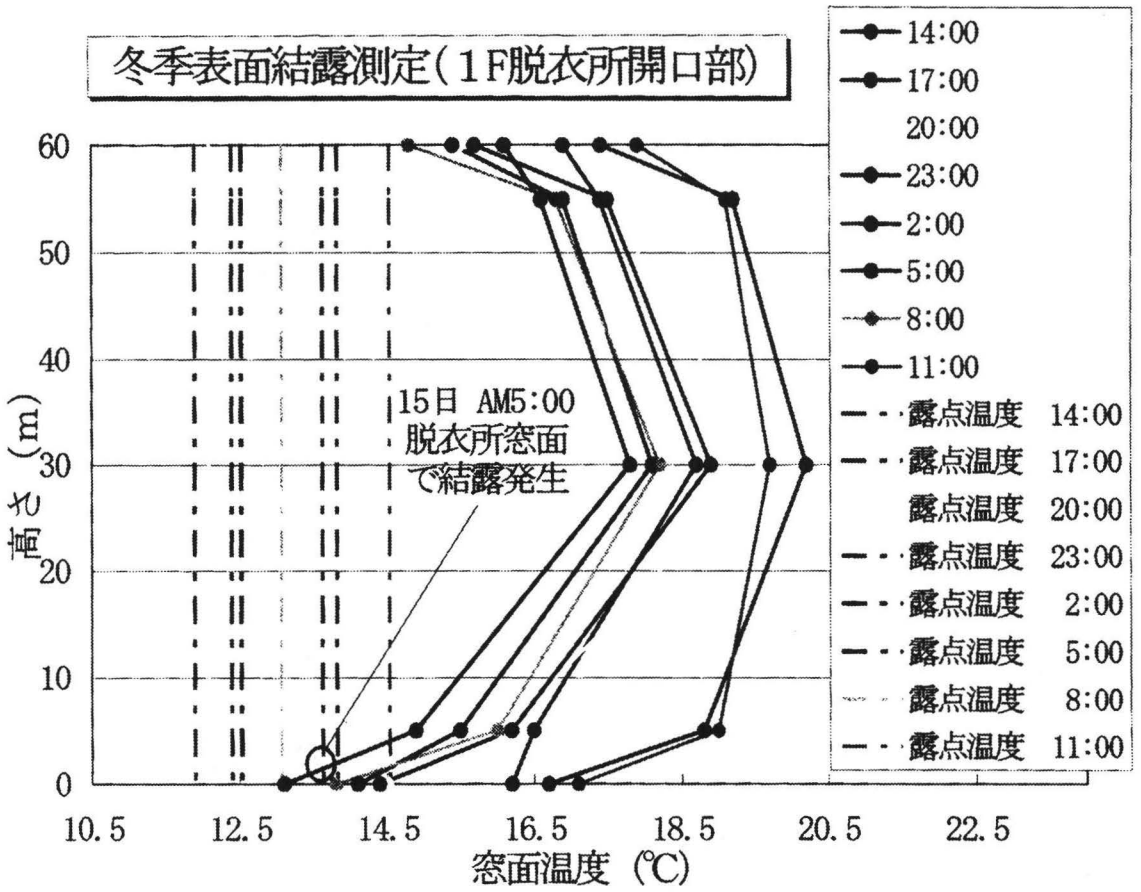



■表④-1-4

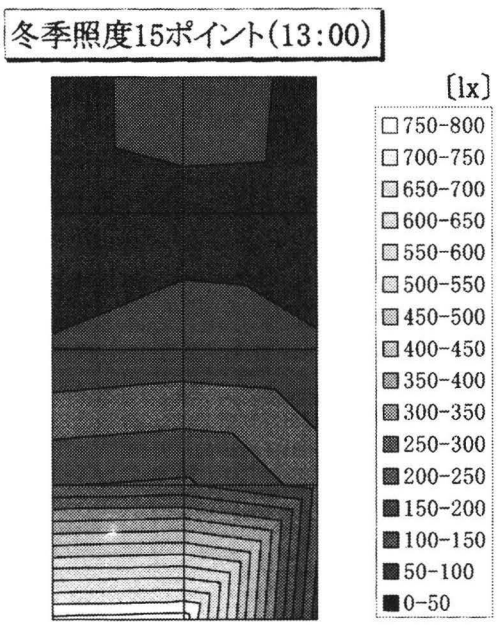
## 断熱・気密化住宅およびRC造集合住宅におけるPMV



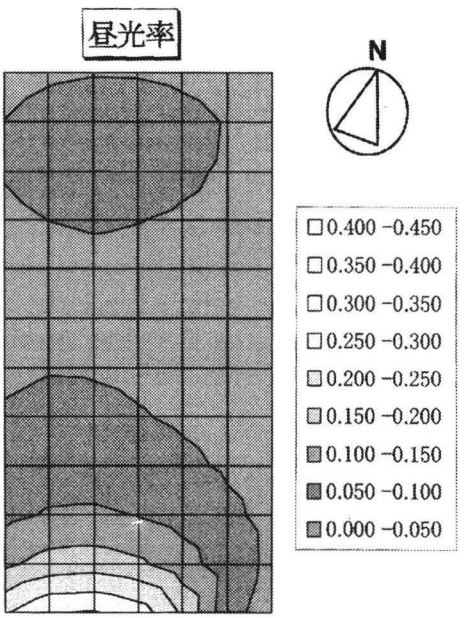

■表④-1-5



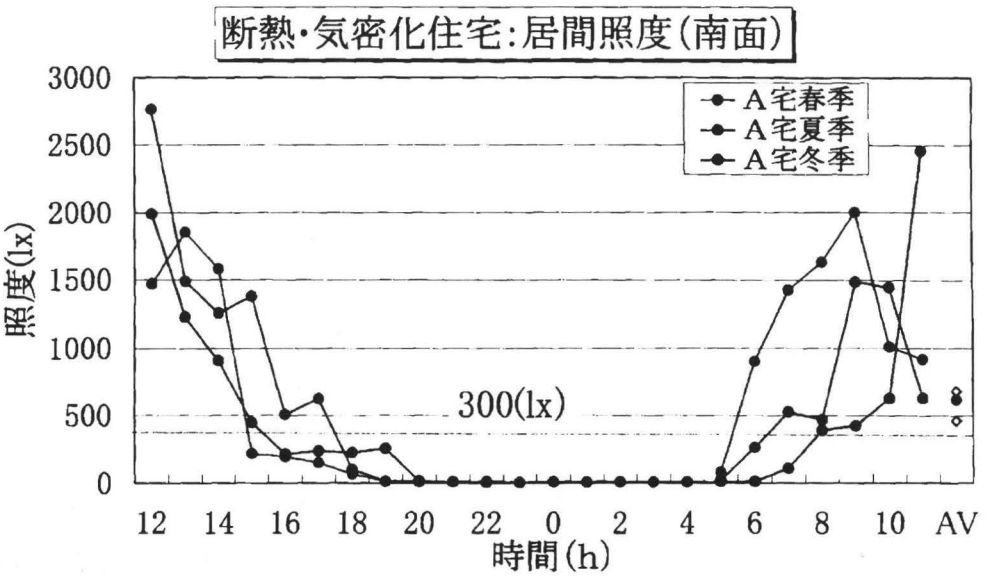

■表④-1-6

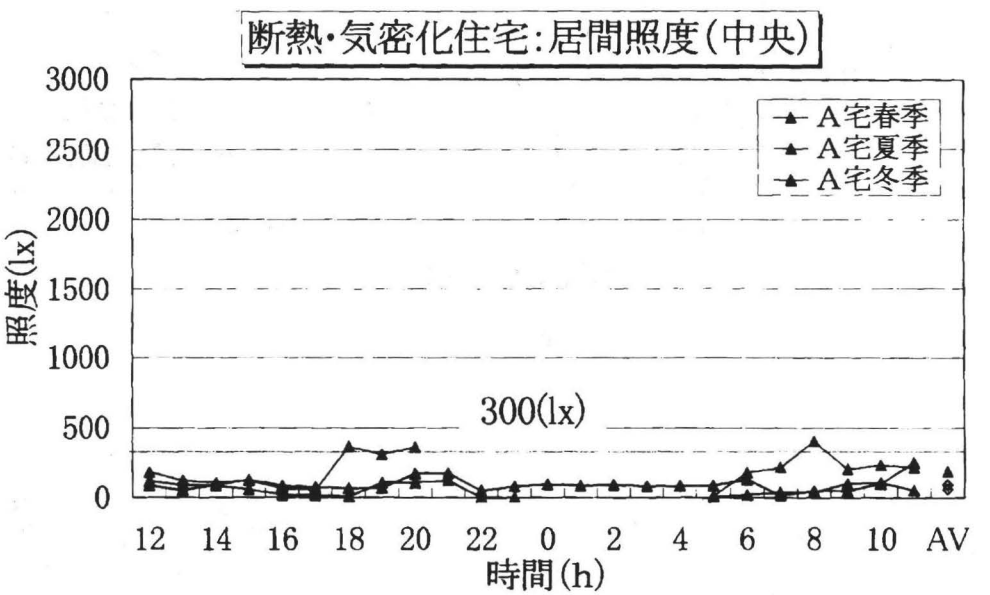


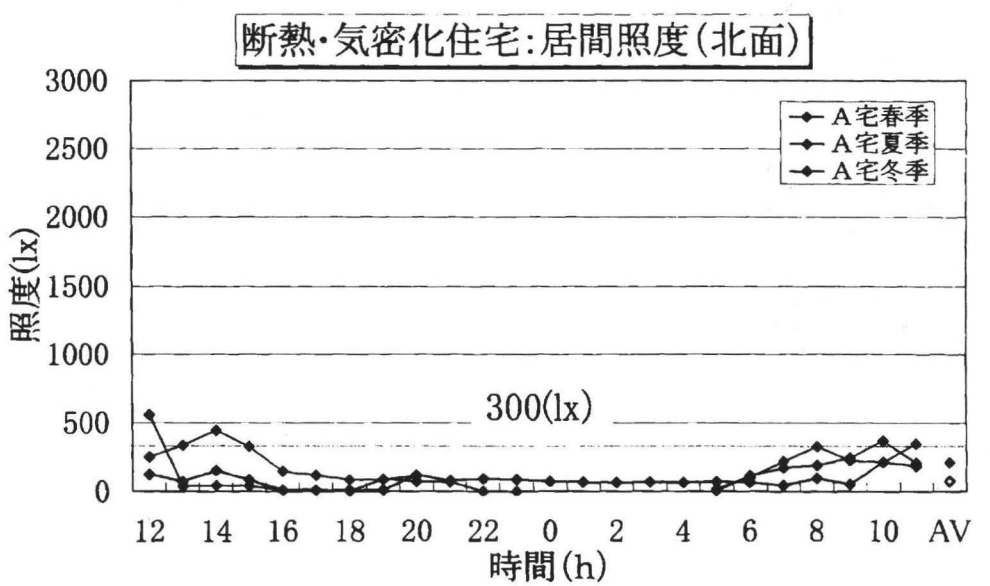

■表④-1-7



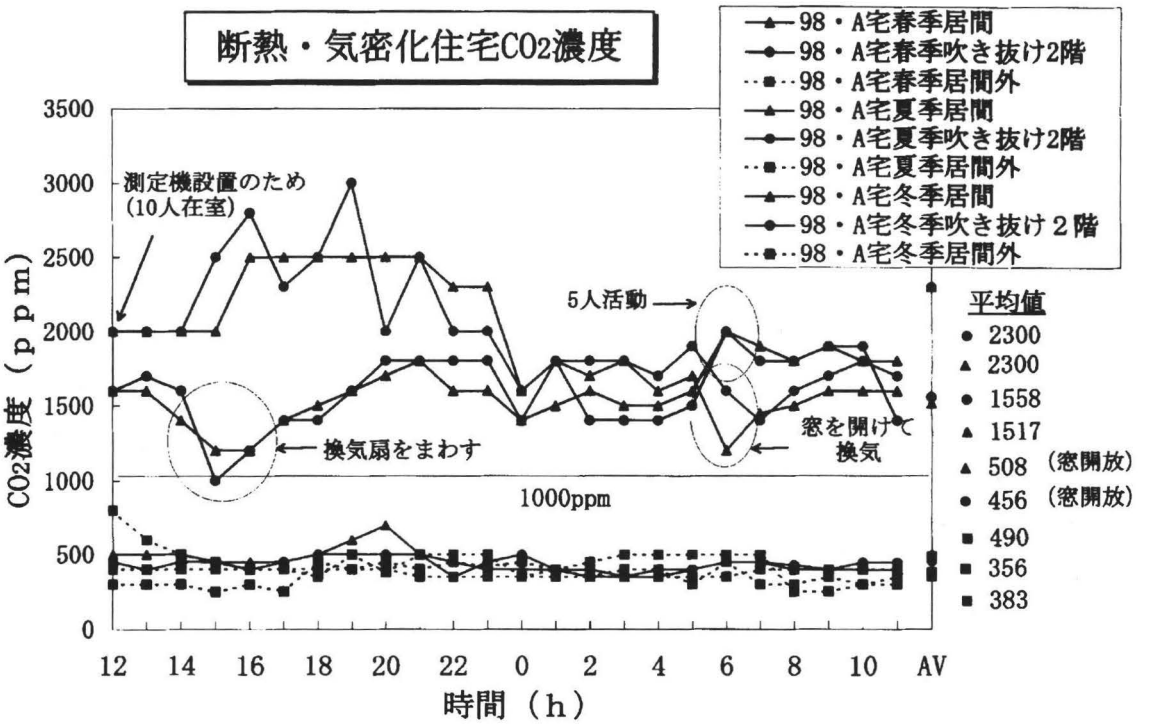

■表④-1-8


断熱・気密化住宅:居間照度(南面)
照度(lx)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
A宅春季
A宅夏季
A宅冬季
300(lx)
12 14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 AV
時間(h)

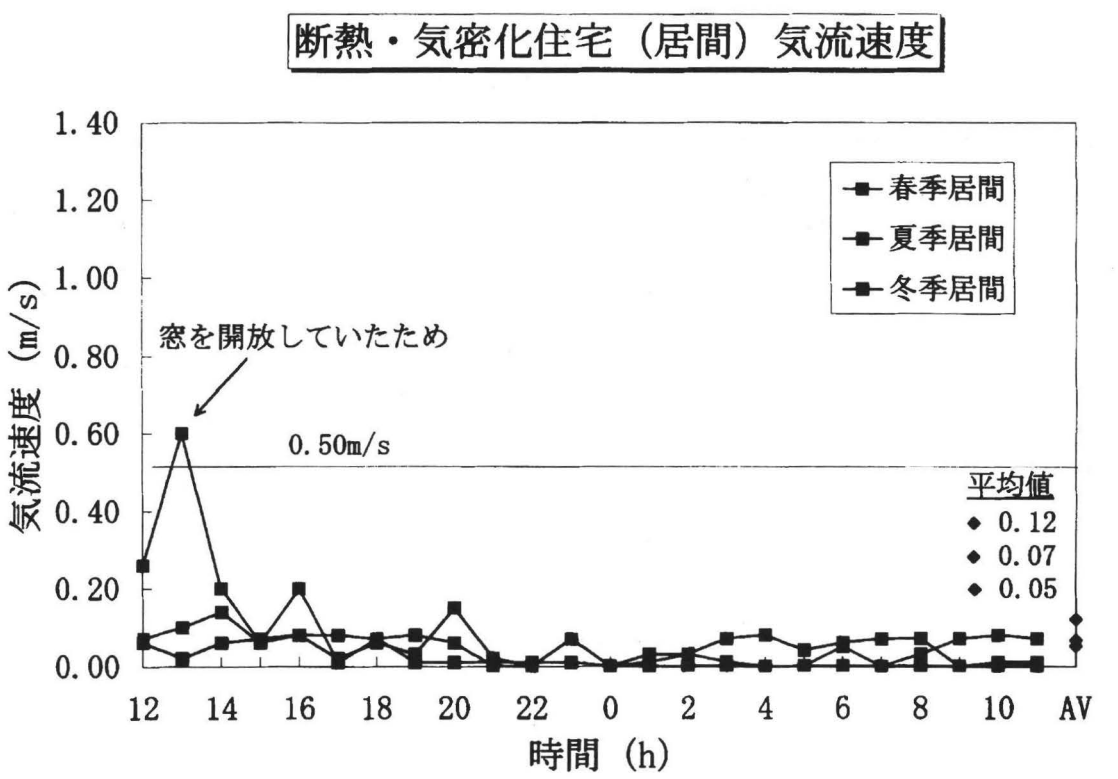

断熱・気密化住宅:居間照度(中央)
照度(lx)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
A宅春季
A宅夏季
A宅冬季
300(lx)
12 14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 AV
時間(h)


断熱・気密化住宅:居間照度(北面)
照度(lx)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
A宅春季
A宅夏季
A宅冬季
300(lx)
12 14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 AV
時間(h)

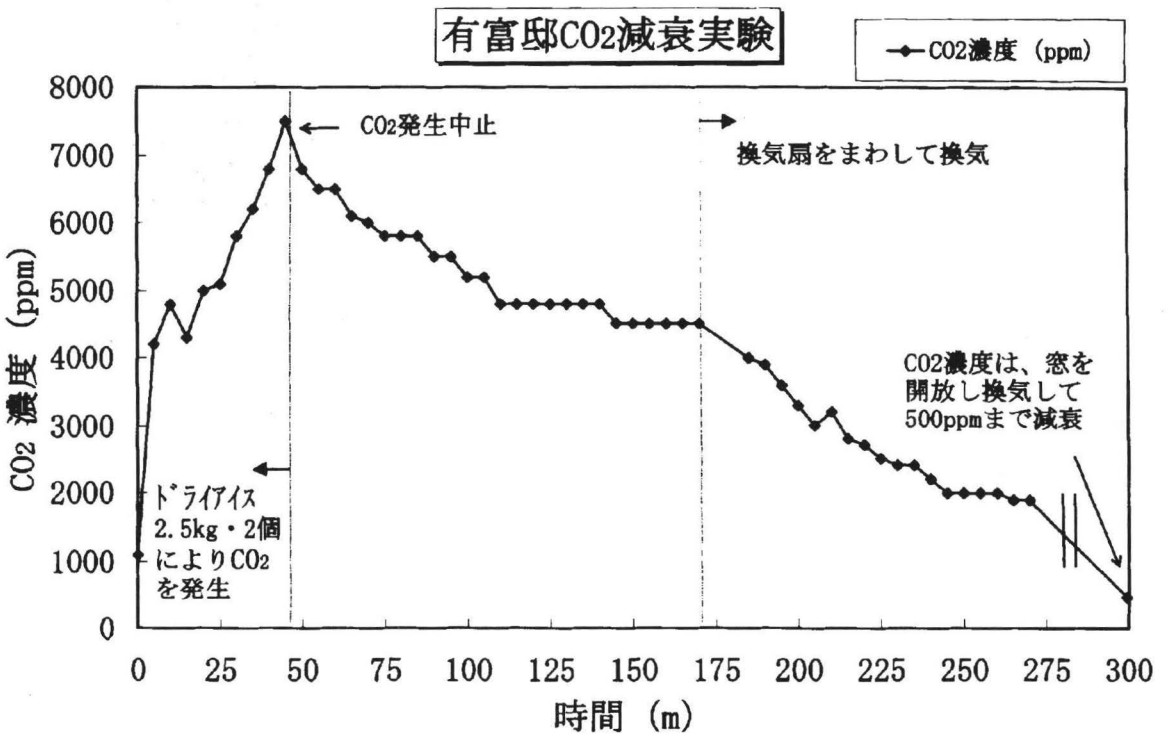
■図④-1-9


断熱・気密化住宅CO2濃度
98・A宅春季居間
98・A宅春季吹き抜け2階
98・A宅春季居間外
98・A宅夏季居間
98・A宅夏季吹き抜け2階
98・A宅夏季居間外
98・A宅冬季居間
98・A宅冬季吹き抜け２階
98・A宅冬季居間外
平均値
2300
2300
1558
1517
508 (窓開放)
456 (窓開放)
490
356
383
測定機設置のため
(10人在室)
5人活動
換気扇をまわす
窓を開けて
換気
1000ppm
CO2濃度（ｐｐｍ）
時間（ｈ）
12 14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 AV

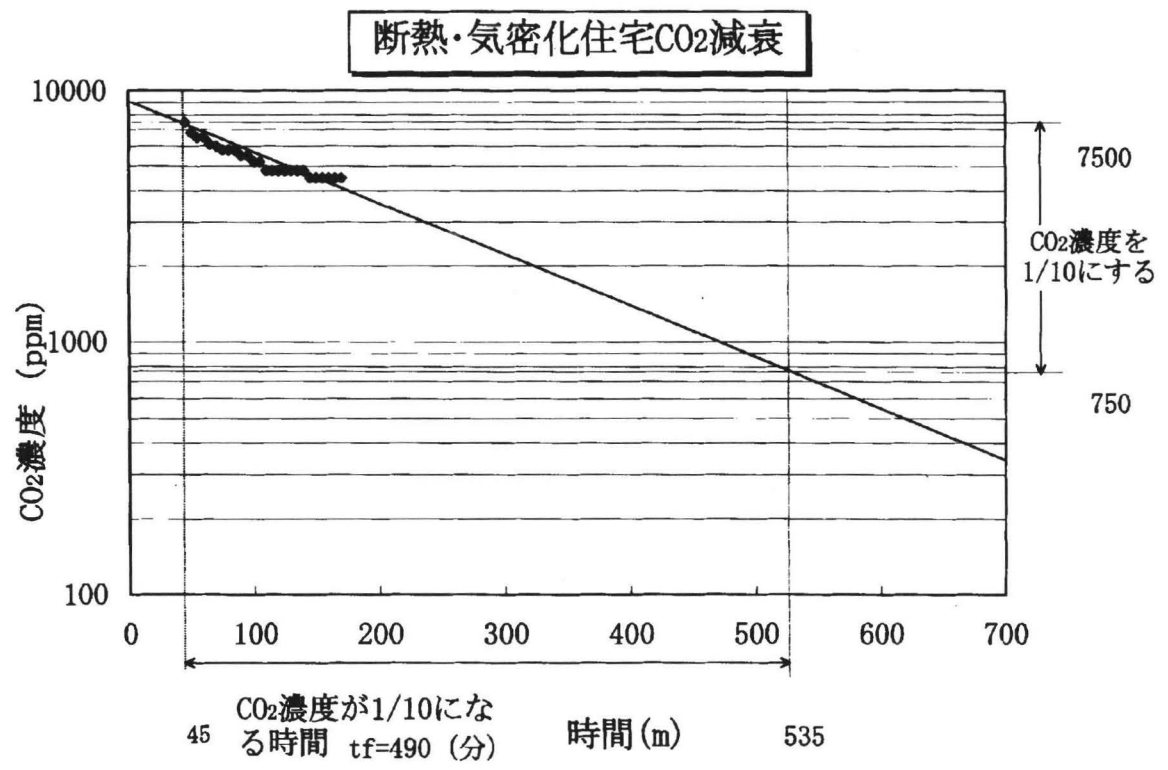
■図④-1-10


断熱・気密化住宅（居間）気流速度
春季居間
夏季居間
冬季居間
窓を開放していたため
0.50m/s
平均値
0.12
0.07
0.05
気流速度（m/s）
時間（h）
12 14 16 18 20 22 0 2 4 6 8 10 AV

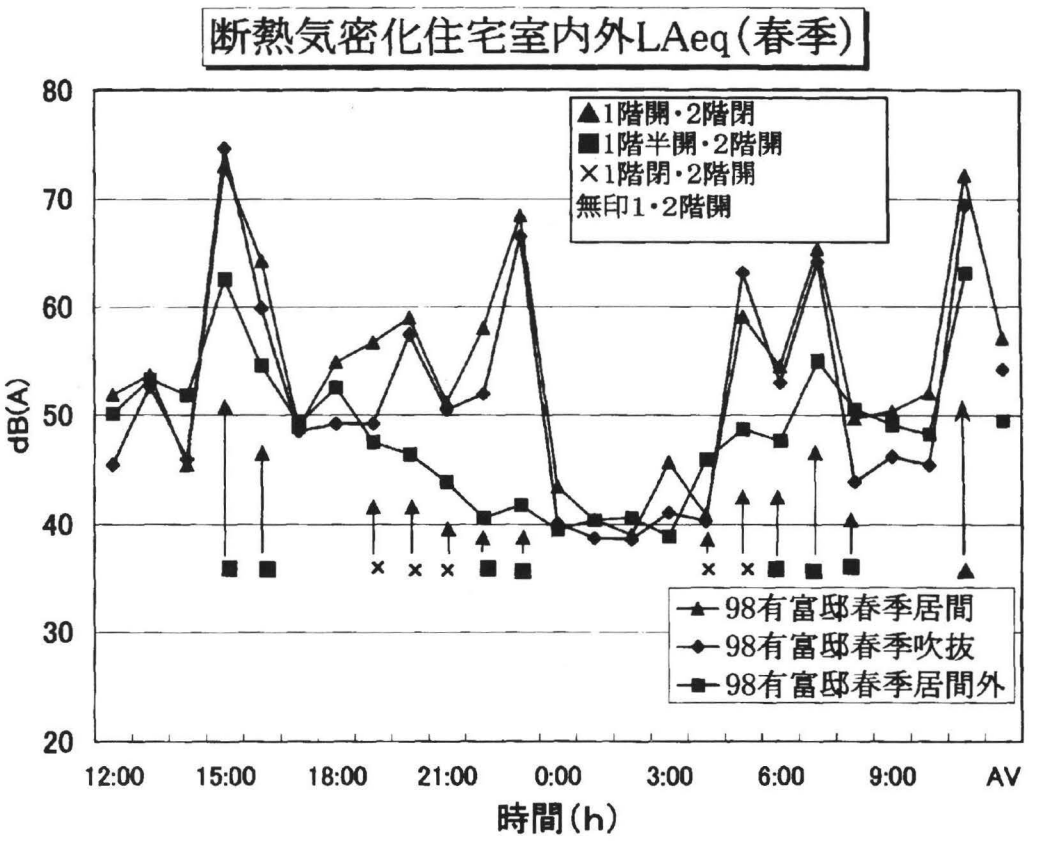
■図④-1-11


有富邸CO2減衰実験
CO2濃度（ppm）
CO2発生中止
換気扇をまわして換気
CO2濃度は、窓を
開放し換気して
500ppmまで減衰
ﾄﾞﾗｲｱｲｽ
2.5kg・2個
によりCO2
を発生
CO2 濃度（ppm）
時間（m）
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
0 25 50 75 100 125 150 175 200 225 250 275 300

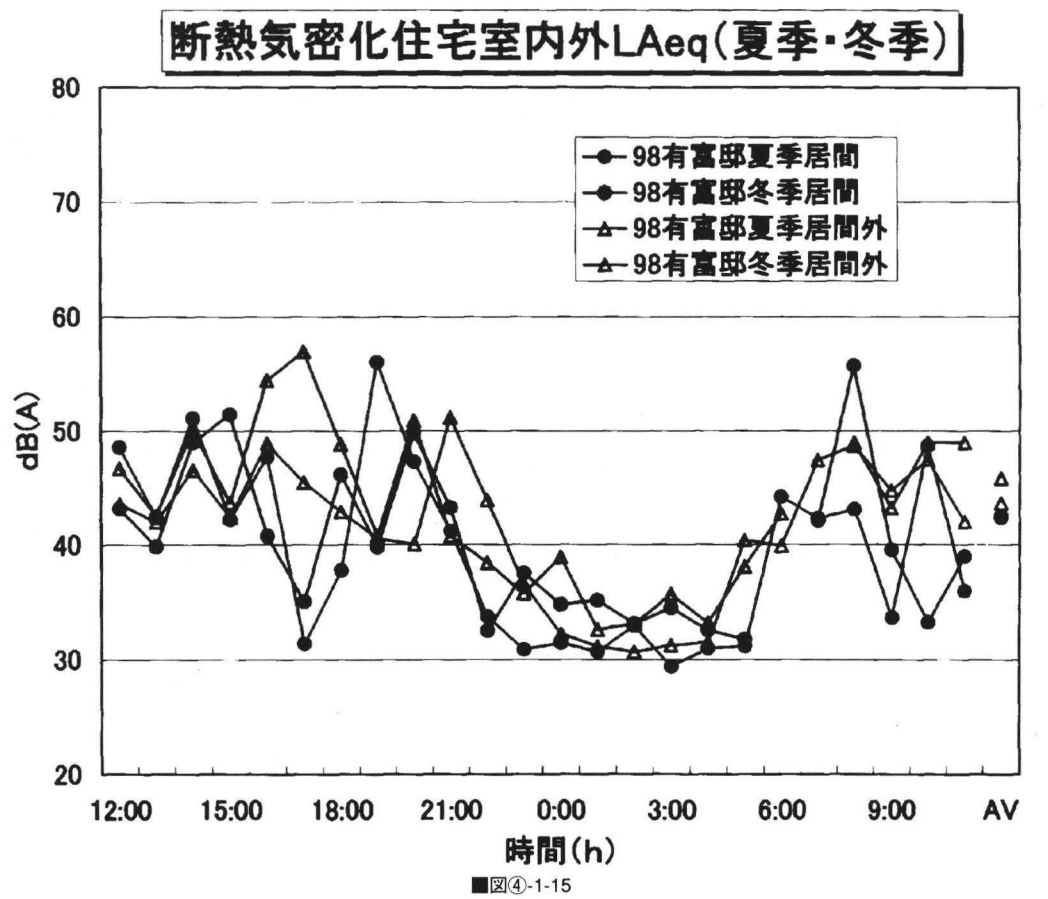
■図④-1-12


断熱・気密化住宅CO2減衰
CO2濃度（ppm）
10000
1000
100
7500
CO2濃度を
1/10にする
750
0 100 200 300 400 500 600 700
45
CO2濃度が1/10にな
る時間 tf=490（分）
時間(m)
535

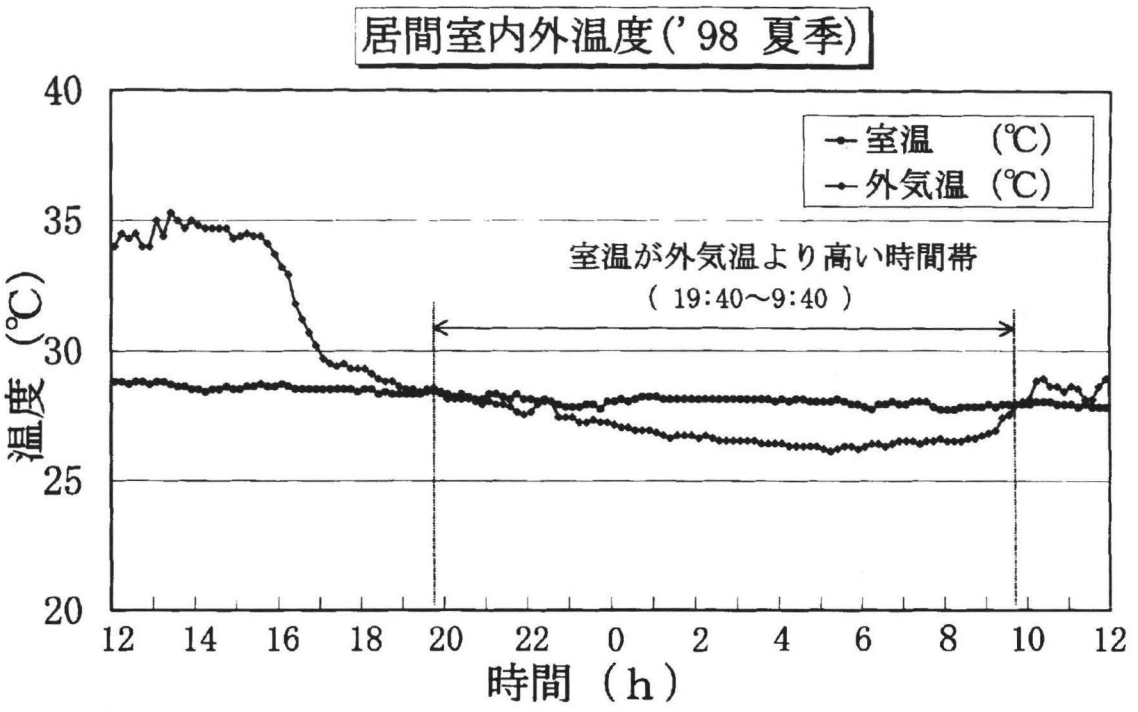
■図④-1-13


断熱気密化住宅室内外LAeq(春季)
▲1階開・2階閉
■1階半開・2階開
×1階閉・2階開
無印1・2階開
98有富邸春季居間
98有富邸春季吹抜
98有富邸春季居間外
dB(A)
80
70
60
50
40
30
20
12:00
15:00
18:00
21:00
0:00
3:00
6:00
9:00
AV
時間(h)

■図④-1-14


断熱気密化住宅室内外LAeq(夏季・冬季)
98有富邸夏季居間
98有富邸冬季居間
98有富邸夏季居間外
98有富邸冬季居間外
dB(A)
80
70
60
50
40
30
20
12:00
15:00
18:00
21:00
0:00
3:00
6:00
9:00
AV
時間(h)

■図④-1-15




■図④-1-16

■表④-1-14

| エアコン | 機種 | 1時間あたりの電気代 (円/h)【冷房時】 |
|---|---|---|
| 1F | SHARP(windom)AY-E220T | 25円20銭 (1日当たり605円) |
| 2F | SHARP(windom)AY-C28R | 20円20銭 (1日当たり485円) |

1F+2F=636(円) よって、636(円)の浪費

| エアコン | 1時間あたりの電気代(円/h) | 使用時間(h) | 合計(円) |
|---|---|---|---|
| 1F | 25円20銭 | 14 | 353 |
| 2F | 20円20銭 | 14 | 283 |

$CO_2$換算量

電気:1Kwh＝$CO_2$＝0.12KgC＝18円

{636(円)/18(円)}×0.12(KgC)≒4.24KgC

■表④-1-15

■表④-1-5

| | 時間帯 | 時間 | 場所 |
|---|---|---|---|
| a | 昼間・夜間（必要に応じて） | AM6:00～PM12:00 | 北面（ライト1つ・スポットライト4つ） |
| | | PM6:00～PM12:00 | 南面（ライト1つ・スポットライト4つ） |
| b | 夜間のみ | PM6:00～PM12:00 | 北・南面（ライト2つ・スポットライト8つ） |

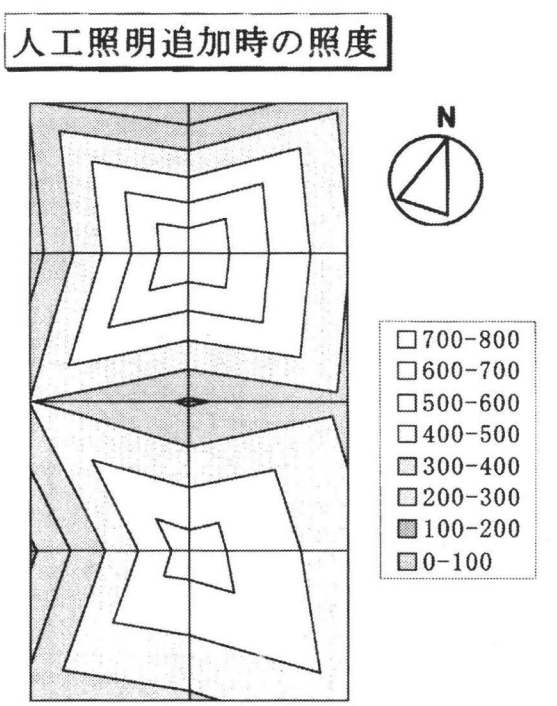
| | | 点灯時間(h) | ライト(kw/h) | 灯数(灯) | スポットライト(kw/h) | 灯数(灯) | 単位電気料(円/kw) | 合計(円) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 北面 | 18 | 0.096 | 1 | 0.06 | 4 | 16.85 | 136 |
| | 南面 | 6 | | | | | | |
| b | 北面 | 6 | 0.096 | 1 | 0.06 | 4 | 16.85 | 68 |
| | 南面 | 6 | | | | | | |

差額(a-b)：136(円)－68(円)＝68(円)
よって、68(円)の浪費

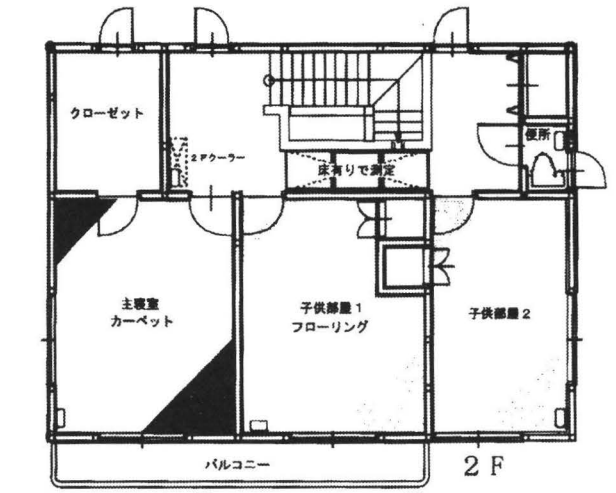
**CO2換算量**

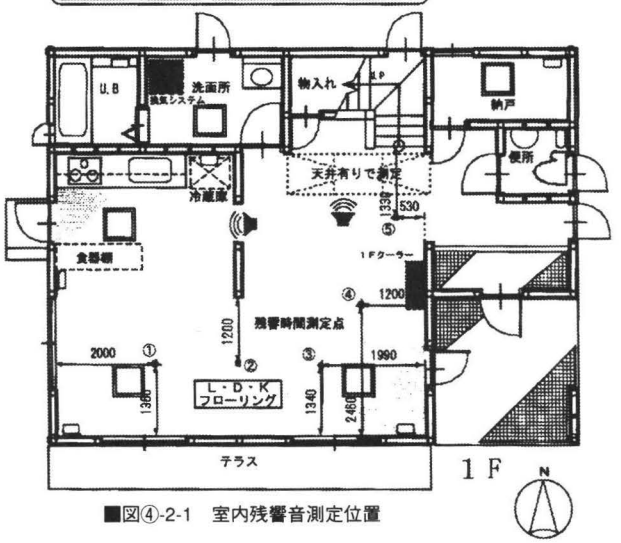
**電気：1kwh＝$CO_2$＝0.12kgc**

**{(0.096kw＋0.06kw×4)}×12時間×0.12kgc≒0.48kgc**

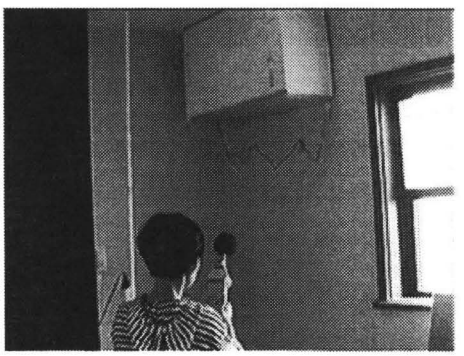



■図④-1-17

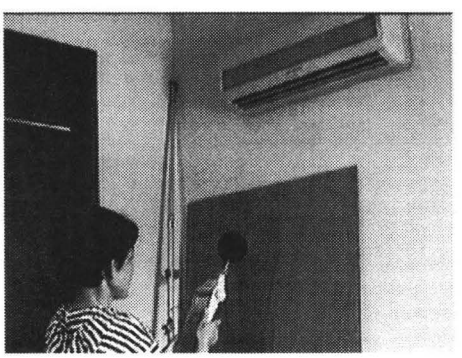


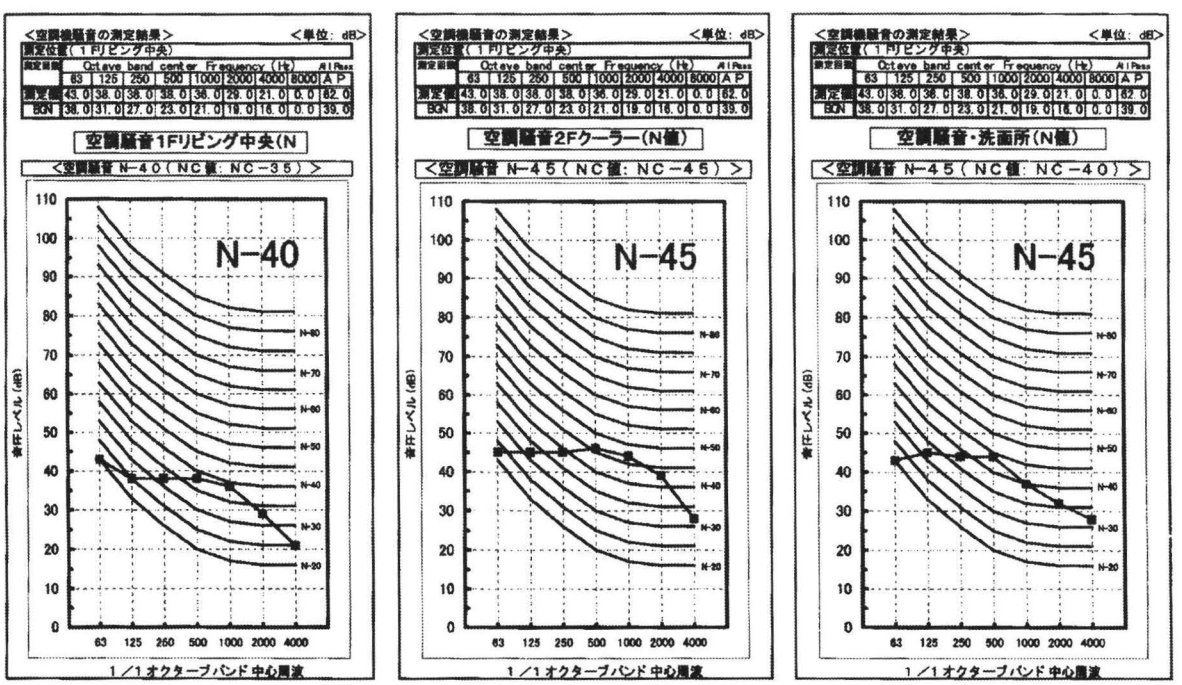

■図④-2-1　室内残響音測定位置



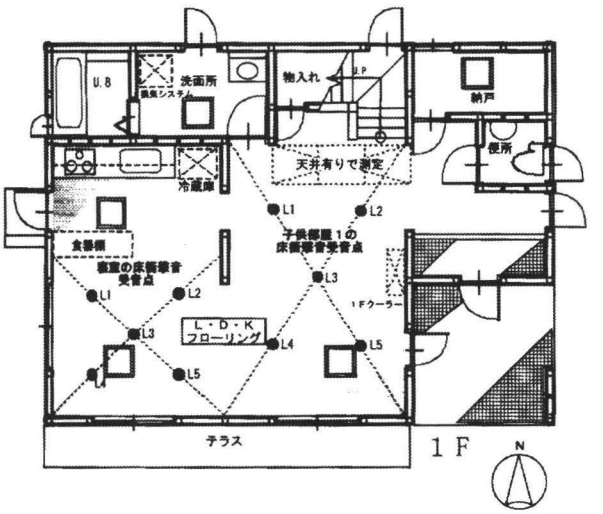
■写真④-2-1　換気システムの騒音測定風景

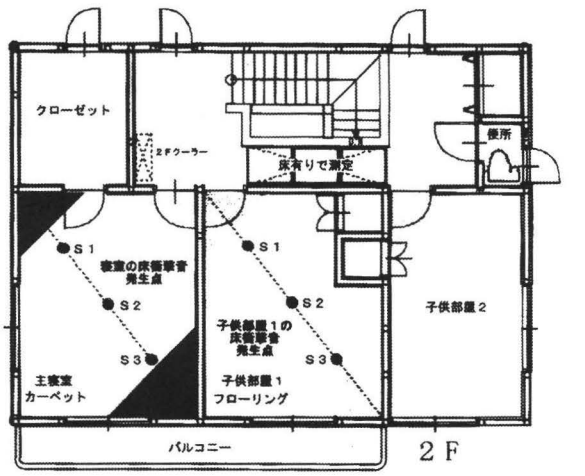


■写真④-2-2　2階踊り場クーラーの騒音測定風景

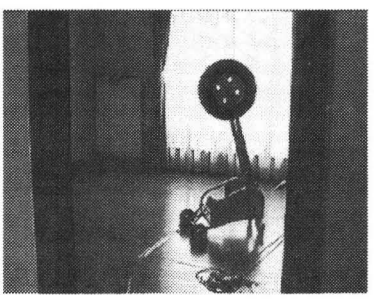



■図④-2-2　室内騒音測定

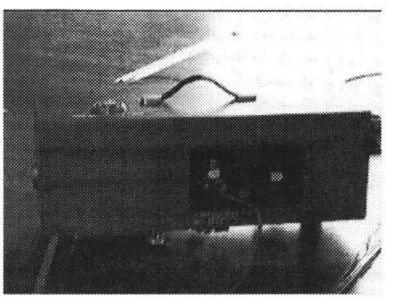


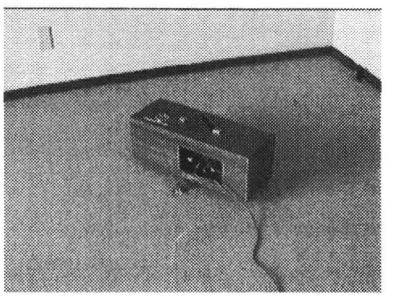

■図④-2-3　床衝撃音測定点



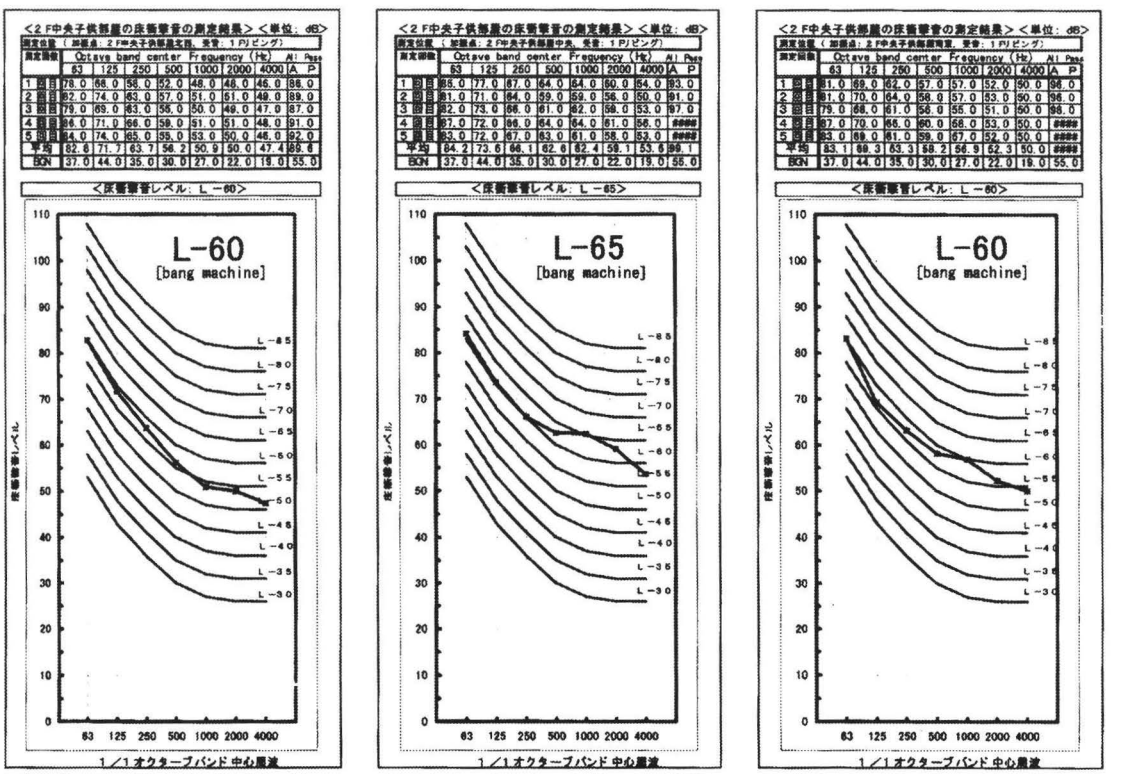
■写真④-2-3　バングマシーン



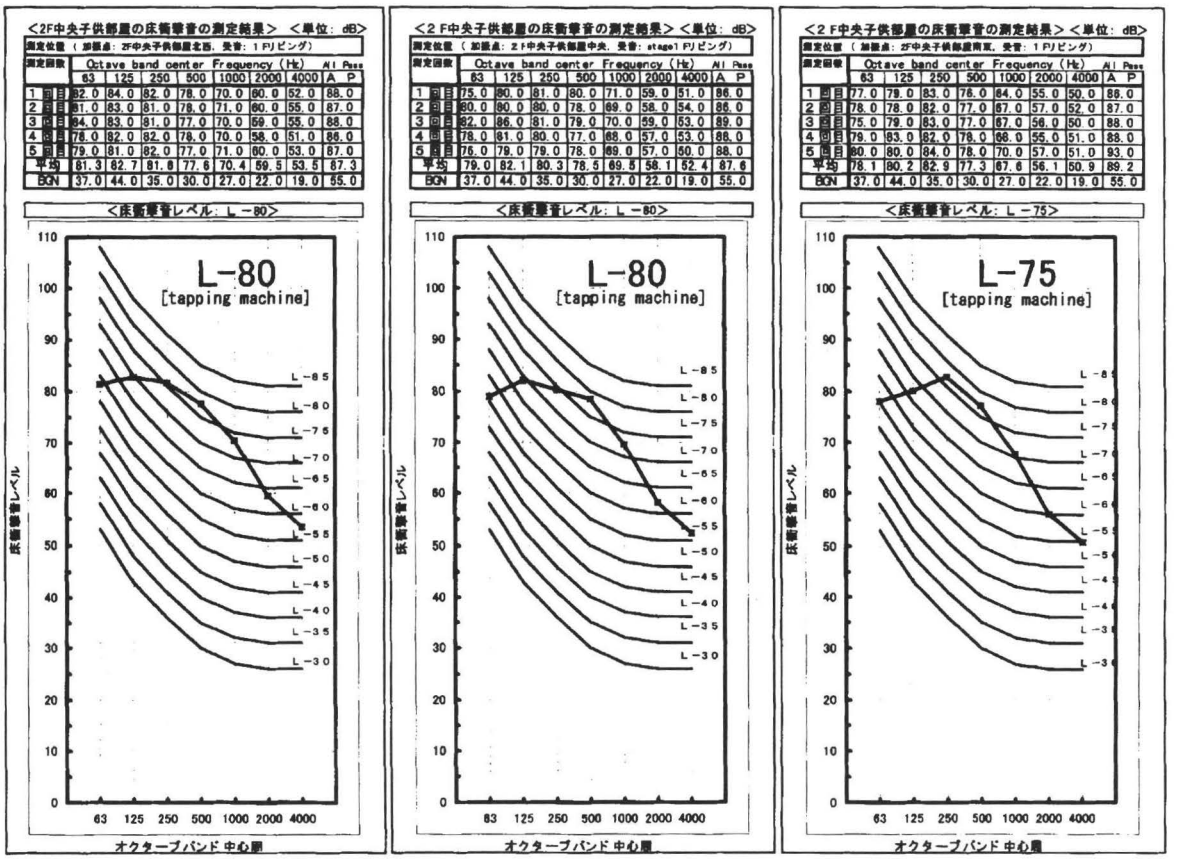
■写真④-2-4　子供部屋の軽量床衝撃音測定



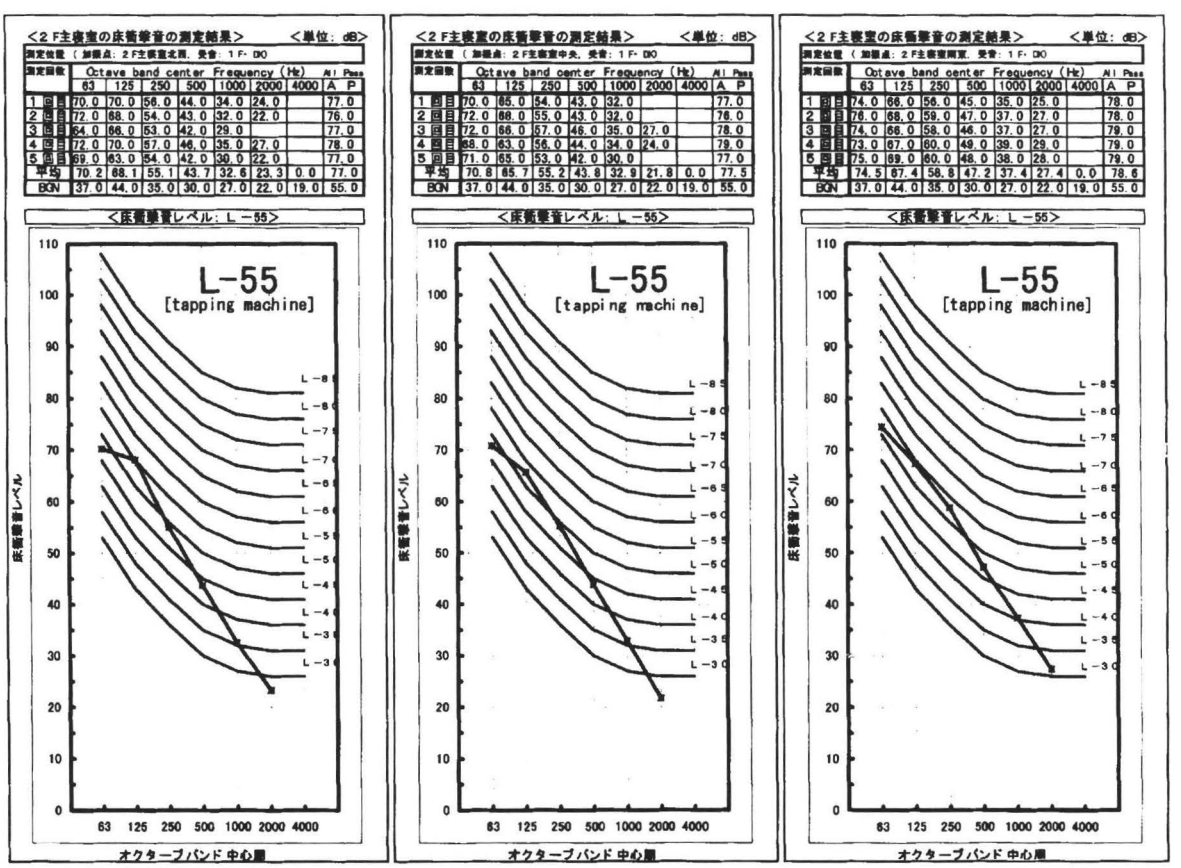
■写真④-2-4　寝室の軽量床衝撃音測定



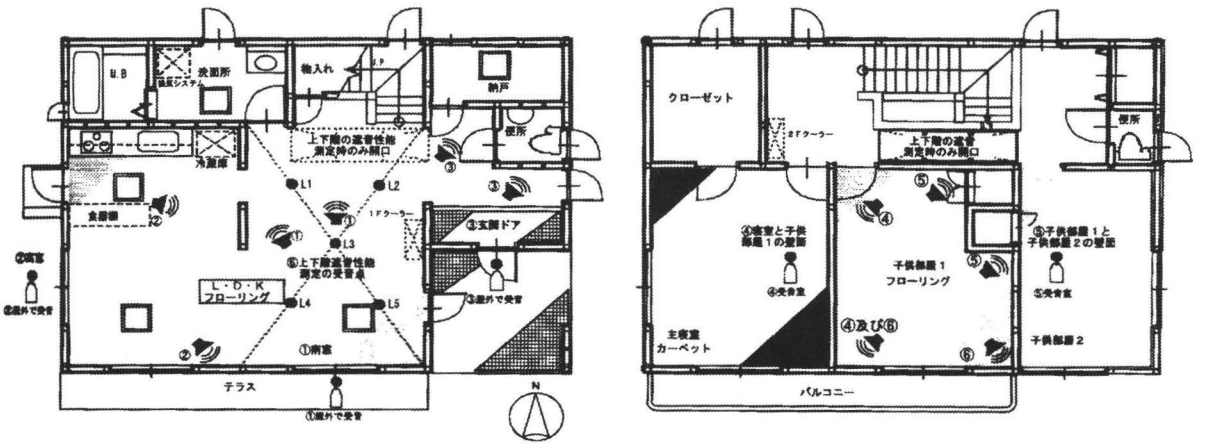

■写真④-2-4　中央子供部屋の重量床衝撃音測定




■図④-2-5　中央子供部屋の軽量床衝撃音測定




■図④-2-6　寝室の軽量床衝撃音測定



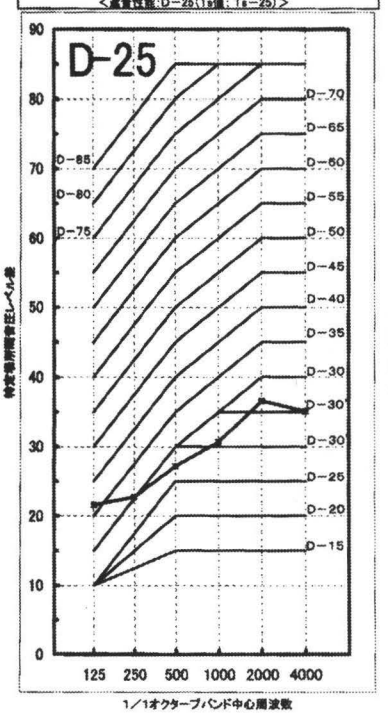

■図④-2-7　遮音性能測定点

<特定場所間音圧レベル差の測定結果>

測定対象（　1F西面サッシ　）　<単位:dB>

| 測定位置(D1) | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | AP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 音源 D1-1 | | 94.0 | 92.0 | 91.0 | 91.0 | 83.0 | 91.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-2 | | 98.0 | 96.0 | 92.0 | 93.0 | 84.0 | 91.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-3 | | 94.0 | 92.0 | 90.0 | 94.0 | 85.0 | 91.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-4 | | 94.0 | 96.0 | 93.0 | 90.0 | 83.0 | 90.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-5 | | 100.0 | 95.0 | 95.0 | 92.0 | 84.0 | 91.0 | 86.0 | | |
| 平均値 | | 97.1 | 94.3 | 92.6 | 92.2 | 83.9 | 90.6 | 86.0 | ##### | |
| 受音 D1-1 | | 72.0 | 74.0 | 70.0 | 65.0 | 50.0 | 54.0 | 51.0 | | |
| 受音 D1-2 | | 75.0 | 73.0 | 71.0 | 65.0 | 55.0 | 54.0 | 52.0 | | |
| 受音 D1-3 | | 73.0 | 72.0 | 68.0 | 65.0 | 53.0 | 54.0 | 51.0 | | |
| 受音 D1-4 | | 70.0 | 73.0 | 70.0 | 64.0 | 50.0 | 54.0 | 49.0 | | |
| 受音 D1-5 | | 73.0 | 71.0 | 69.0 | 65.0 | 55.0 | 55.0 | 51.0 | | |
| 平均値 | | 72.9 | 72.7 | 69.9 | 65.0 | 53.1 | 54.2 | 50.9 | ##### | |
| レベル差 | | 24.2 | 21.6 | 22.7 | 27.2 | 30.7 | 36.6 | 35.1 | ##### | |
| BGN | | 51 | 47 | 39 | 38 | 37 | 36 | 31 | | 65 |

<遮音性能:D−25(Ts値:Ts−25)>

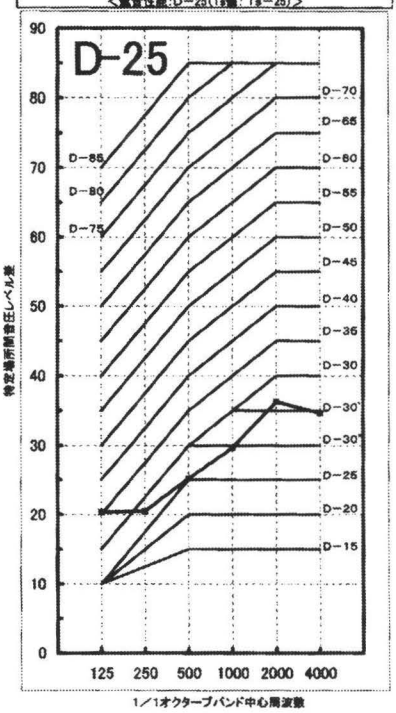



<特定場所間音圧レベル差の測定結果>

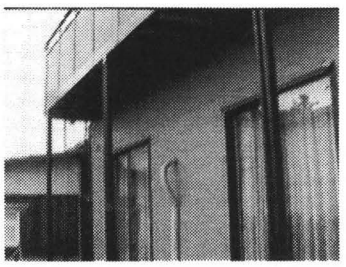
測定対象（　1F南面中央サッシ　）　<単位:dB>

| 測定位置(D1) | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | AP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 音源 D1-1 | | 98.0 | 98.0 | 97.0 | 94.0 | 85.0 | 92.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-2 | | 95.0 | 96.0 | 95.0 | 91.0 | 85.0 | 91.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-3 | | 94.0 | 95.0 | 99.0 | 92.0 | 86.0 | 92.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-4 | | 98.0 | 95.0 | 101.0 | 92.0 | 85.0 | 91.0 | 86.0 | | |
| 音源 D1-5 | | 97.0 | 98.0 | 95.0 | 92.0 | 85.0 | 90.0 | 86.0 | | |
| 平均値 | | 93.8 | 97.0 | 98.0 | 92.3 | 85.2 | 91.3 | 86.0 | ##### | |
| 受音 D1-1 | | 86.0 | 77.0 | 78.0 | 67.0 | 54.0 | 53.0 | 50.0 | | |
| 受音 D1-2 | | 72.0 | 77.0 | 79.0 | 68.0 | 56.0 | 55.0 | 51.0 | | |
| 受音 D1-3 | | 69.0 | 78.0 | 78.0 | 68.0 | 55.0 | 58.0 | 50.0 | | |
| 受音 D1-4 | | 67.0 | 75.0 | 76.0 | 66.0 | 56.0 | 54.0 | 52.0 | | |
| 受音 D1-5 | | 72.0 | 76.0 | 76.0 | 66.0 | 57.0 | 56.0 | 53.0 | | |
| 平均値 | | 69.8 | 76.7 | 77.6 | 67.1 | 55.5 | 55.0 | 51.4 | ##### | |
| レベル差 | | 24.0 | 20.3 | 20.5 | 25.2 | 29.7 | 38.3 | 34.6 | ##### | |
| BGN | | 61 | 56 | 48 | 41 | 37 | 34 | 37 | | 66 |

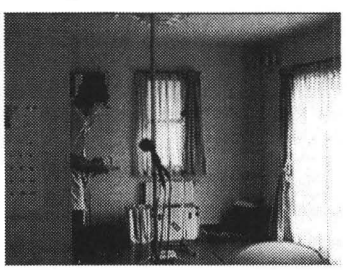
<遮音性能:D−25(Ts値:Ts−25)>



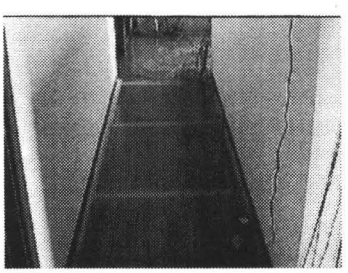

■図④-2-8　開口部の遮音性能測定



■写真④-2-6　測定対象の窓サッシ外観



■写真④-2-7　上下階の遮音性能測定風景



■写真④-2-8　取り外し可能、2階床面

<特定場所間音圧レベル差の測定結果>

測定対象(寝室(受音)・南面子供部屋(音源))　<単位 dB>

| 測定位置(D1) | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | AP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Octave band center Frequency (Hz) | | | | | | | | |
| 音源 D1-1 | | 98.0 | 92.0 | 95.0 | 95.0 | 90.0 | 93.0 | 93.0 | | |
| 音源 D1-2 | | 100.0 | 93.0 | 95.0 | 96.0 | 91.0 | 94.0 | 94.0 | | |
| 音源 D1-3 | | 99.0 | 92.0 | 94.0 | 97.0 | 91.0 | 93.0 | 94.0 | | |
| 音源 D1-4 | | 94.0 | 88.0 | 92.0 | 93.0 | 89.0 | 93.0 | 93.0 | | |
| 音源 D1-5 | | 98.0 | 92.0 | | 94.0 | 92.0 | 94.0 | 94.0 | | |
| 平均値 | | 98.7 | 91.7 | 93.2 | 95.2 | 90.7 | 93.4 | 93.6 | #### | |
| 受音 D1-1 | | 85.0 | 78.0 | 73.0 | 62.0 | 52.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| 受音 D1-2 | | 88.0 | 81.0 | 70.0 | 62.0 | 52.0 | 57.0 | 59.0 | | |
| 受音 D1-3 | | 83.0 | 78.0 | 72.0 | 61.0 | 51.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| 受音 D1-4 | | 85.0 | 78.0 | 71.0 | 61.0 | 50.0 | 55.0 | 58.0 | | |
| 受音 D1-5 | | 85.0 | 80.0 | 68.0 | 63.0 | 51.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| 平均値 | | 85.5 | 79.2 | 71.1 | 61.9 | 51.3 | 56.0 | 58.2 | #### | |
| レベル差 | | 12.7 | 12.5 | 22.1 | 33.4 | 39.5 | 37.4 | 35.4 | #### | |

<特定場所間音圧レベル差の測定結果>

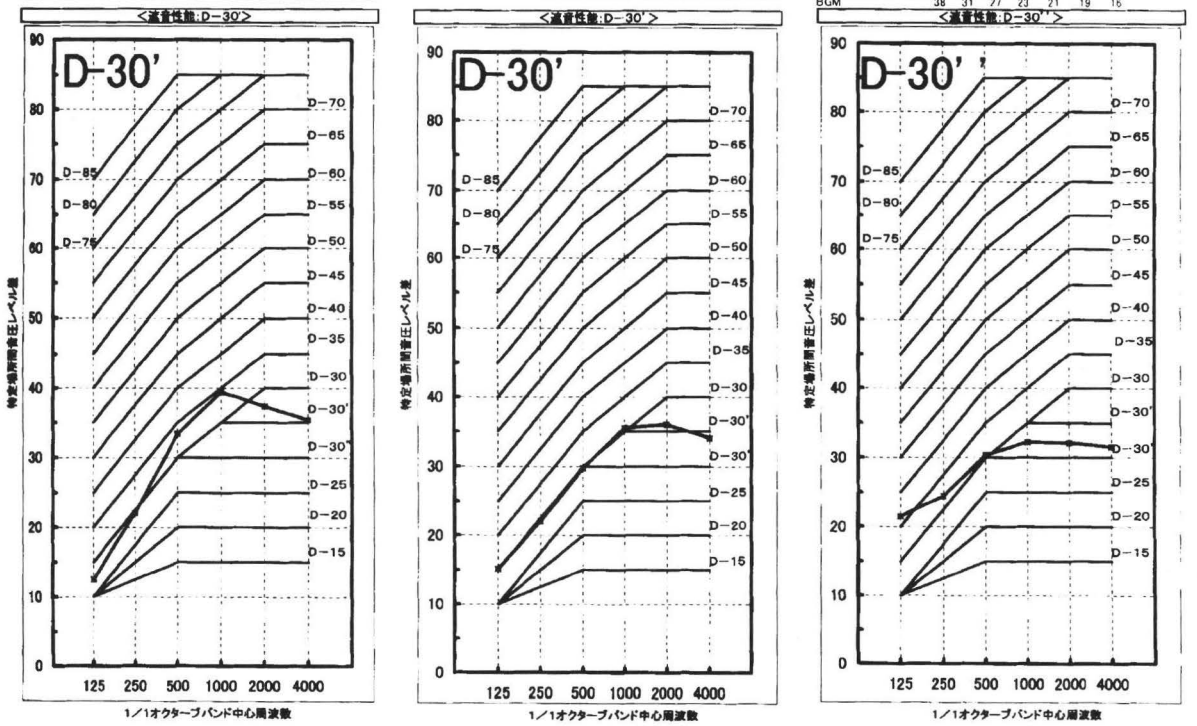
測定対象(東面子供部屋(受音)・南面子供部屋(音源))　<単位 dB>

| 測定位置(D1) | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | AP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Octave band center Frequency (Hz) | | | | | | | | |
| 音源 D1-1 | | 95.0 | 94.0 | 92.0 | 92.0 | 89.0 | 93.0 | 93.0 | | |
| 音源 D1-2 | | 96.0 | 93.0 | 91.0 | 93.0 | 89.0 | 93.0 | 92.0 | | |
| 音源 D1-3 | | 97.0 | 96.0 | 93.0 | 92.0 | 89.0 | 92.0 | 92.0 | | |
| 音源 D1-4 | | 98.0 | 97.0 | 90.0 | 90.0 | 89.0 | 92.0 | 92.0 | | |
| 音源 D1-5 | | 98.0 | 94.0 | 95.0 | 90.0 | 88.0 | 91.0 | 91.0 | | |
| 平均値 | | 97.0 | 95.1 | 92.6 | 91.6 | 88.8 | 92.3 | 92.0 | #### | |
| 受音 D1-1 | | 73.0 | 79.0 | 70.0 | 62.0 | 54.0 | 57.0 | 58.0 | | |
| 受音 D1-2 | | 78.0 | 81.0 | 71.0 | 62.0 | 53.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| 受音 D1-3 | | 75.0 | 79.0 | 72.0 | 61.0 | 53.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| 受音 D1-4 | | 76.0 | 79.0 | 70.0 | 62.0 | 54.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| 受音 D1-5 | | 82.0 | 81.0 | 69.0 | 62.0 | 52.0 | 56.0 | 58.0 | | |
| 平均値 | | 78.0 | 79.9 | 70.5 | 61.8 | 53.3 | 56.2 | 58.0 | #### | |
| レベル差 | | 19.0 | 15.1 | 22.0 | 29.7 | 35.6 | 36.0 | 34.0 | #### | |

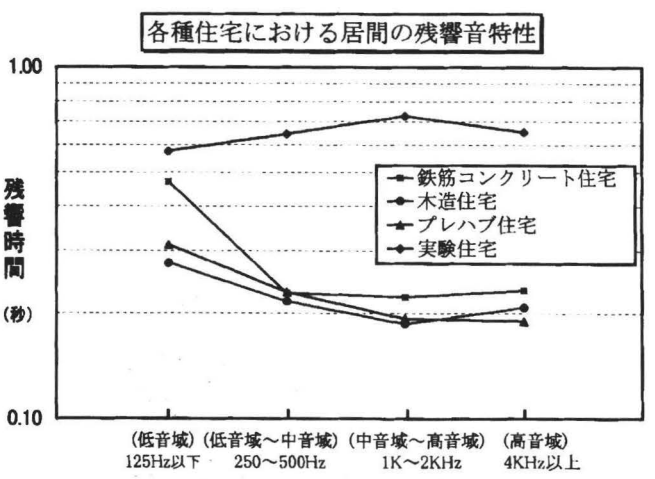
<特定場所間音圧レベル差の測定結果>

測定対象(居間中央(受音)・南面子供部屋(音源))　<単位 dB>

| 測定位置(D1) | 31.5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | AP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Octave band center Frequency (Hz) | | | | | | | | |
| 音源 D1-1 | | 97.0 | 91.0 | 94.0 | 97.0 | 90.0 | 93.0 | 93.0 | | |
| 音源 D1-2 | | 98.0 | 92.0 | 94.0 | 98.0 | 89.0 | 93.0 | 93.0 | | |
| 音源 D1-3 | | 96.0 | 92.0 | 93.0 | 97.0 | 90.0 | 93.0 | 93.0 | | |
| 音源 D1-4 | | 98.0 | 96.0 | 97.0 | 95.0 | 89.0 | 93.0 | 92.0 | | |
| 音源 D1-5 | | 99.0 | 95.0 | 92.0 | 97.0 | 88.0 | 93.0 | 93.0 | | |
| 平均値 | | 97.7 | 93.6 | 94.4 | 96.9 | 89.3 | 93.0 | 92.8 | #### | |
| 受音 D1-1 | | 74.0 | 73.0 | 70.0 | 68.0 | 57.0 | 61.0 | 62.0 | | |
| 受音 D1-2 | | 81.0 | 73.0 | 72.0 | 68.0 | 59.0 | 62.0 | 63.0 | | |
| 受音 D1-3 | | 80.0 | 73.0 | 70.0 | 66.0 | 57.0 | 61.0 | 61.0 | | |
| 受音 D1-4 | | 76.0 | 71.0 | 67.0 | 64.0 | 55.0 | 60.0 | 59.0 | | |
| 受音 D1-5 | | 78.0 | 70.9 | 69.0 | 65.0 | 56.0 | 60.0 | 60.0 | | |
| 平均値 | | 76.5 | 72.2 | 69.9 | 66.5 | 57.0 | 60.9 | 61.2 | #### | |
| レベル差 | | 19.2 | 21.5 | 24.5 | 30.4 | 32.3 | 32.1 | 31.6 | #### | |
| BGM | | 38 | 31 | 27 | 23 | 21 | 19 | 16 | | |




■図④-2-9　戸境壁の遮音性能




■図④-2-10　残響音測定結果

■表④-2-1　室間平均音圧レベル差に対する適用等級

| 建築物 | 室用途 | 部位 | 適用等級 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 特級 | 1級 | 2級 | 3級 |
| 戸建住宅 | プライバシーを要求される寝室・個室等 | 自宅内間仕切り壁 | D-45 | D-40 | D-35 | D-30 |

■表④-2-2　床衝撃音レベルに関する適用等級

| 建築物 | 室用途 | 部位 | 衝撃源 | 適用等級 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 特級 | 1級 | 2級 | 3級 |
| 戸建住宅 | 寝室 | 同一住戸内2階床 | 重量床衝撃源 | L-45 | L-55 | L-65 | L-70 |
| | | | 軽量床衝撃源 | L-50 | L-60 | L-70 | L-75 |

■表④-2-3　適用等級

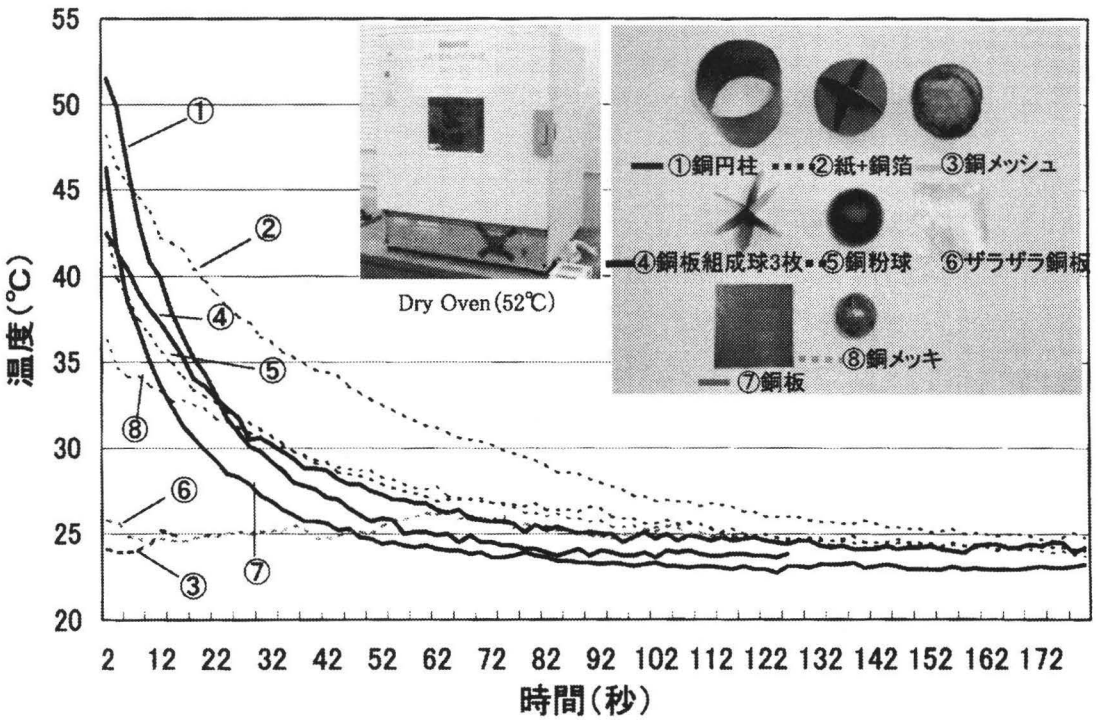
| 適用等級 | 遮音性能の水準 | 性能水準の説明 |
|---|---|---|
| 特級 | 遮音性能上とくに優れている | 特別に高い性能が要求された場合の性能水準 |
| 1級 | 遮音性能上すぐれている | 建築学会が推奨する好ましい性能水準 |
| 2級 | 遮音性能上標準的である | 一般的な性能水準 |
| 3級 | 遮音性能上ややおとる | やむを得ない場合に許容される性能水準 |

■表④-2-4　遮音性能基準

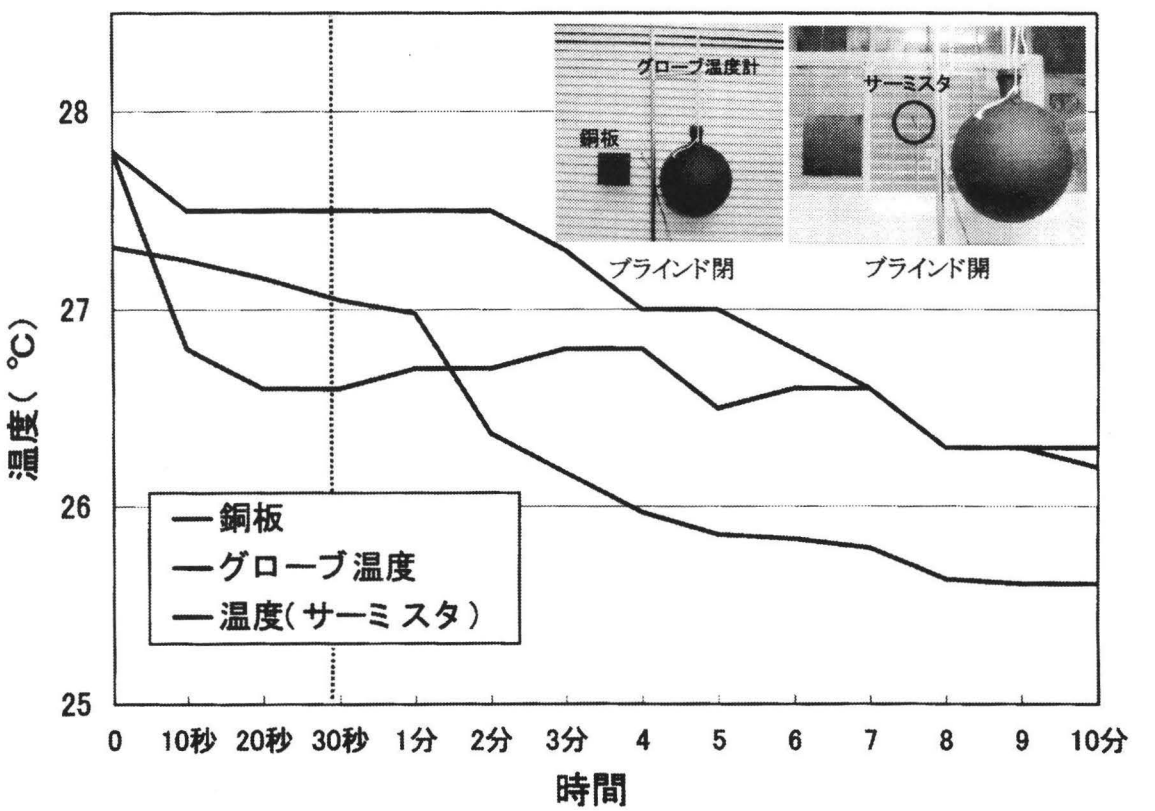
| | 遮音等級 | D-35 | D-30 | D-25 |
|---|---|---|---|---|
| 空気音 | ピアノ、ステレオ等の大きい音 | よく聞こえる | 大変よく聞こえる | うるさい |
| | テレビ、ラジオ、会話等の一般の発生音 | かなり聞こえる | 話の内容がわかる | はっきり内容がわかる |
| | 生活実感、プライバシーの確保 | 隣戸の生活がかなりわかる | 隣戸の生活行為がよくわかる | 隣戸の生活行為が大変よくわかる |

■表⑤-1　各種金属の熱伝導率　(W/m・K)

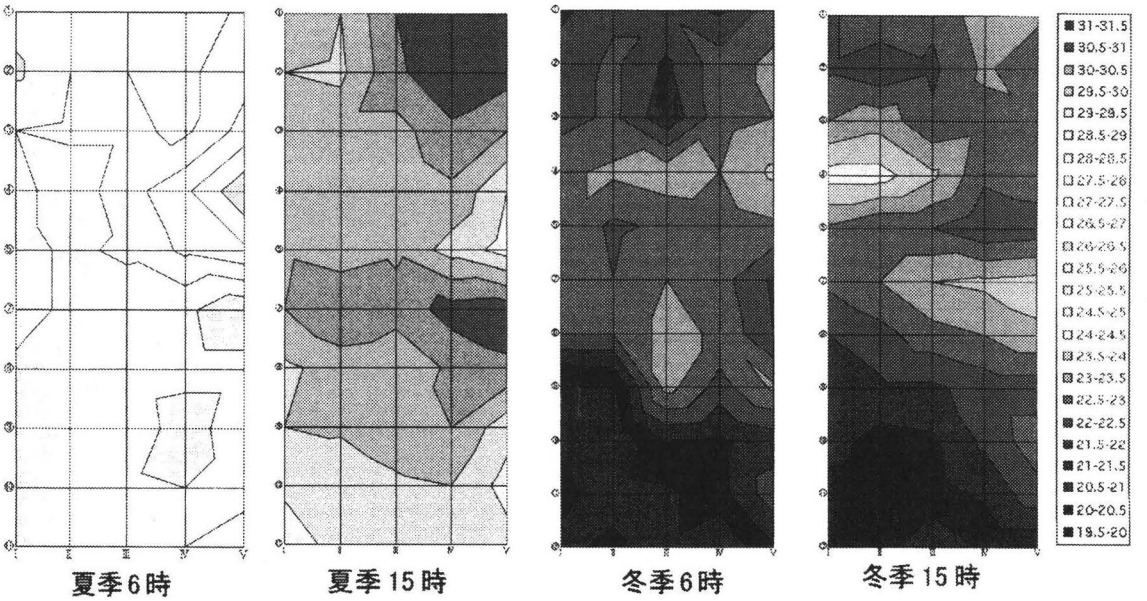
| | 金 (Au) | 銀 (Ag) | 銅 (Cu) | アルミ (Al) | 鉄 (F) |
|---|---|---|---|---|---|
| 熱伝導率 | 324 | 432 | 420 | 241 | 99 |




■図⑤-1　銅試片と各種試験体の温度減衰性状の検討



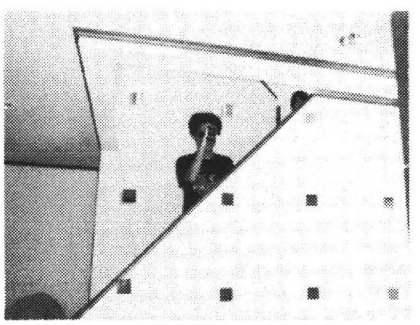

■図⑤-2　窓からの冷輻射による銅板・グローブ温度・温度の変化




■図⑤-3　A宅吹き抜けにおける空間温度分布の実態

■図⑤-2　手前方向からの温熱分布

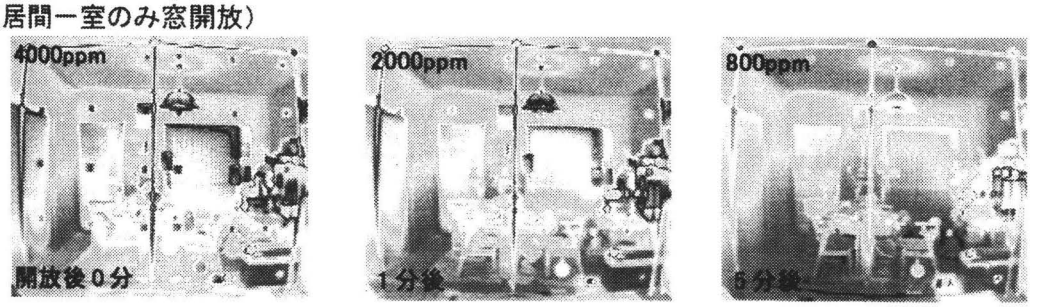
■写真⑤-1　吹き抜けにおける空間温度測定



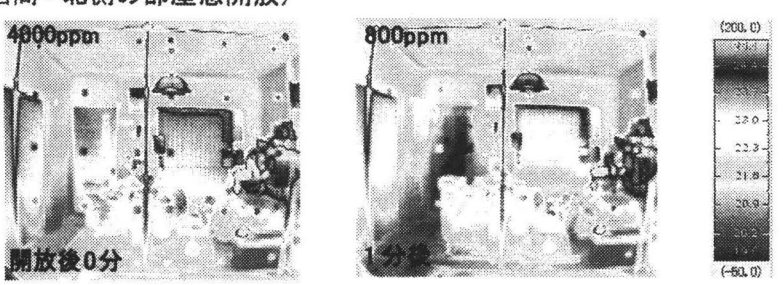
■写真⑤-2　放射温度計による空間温度測定

■写真⑤-3　サーモグラフィーによる熱画像測定

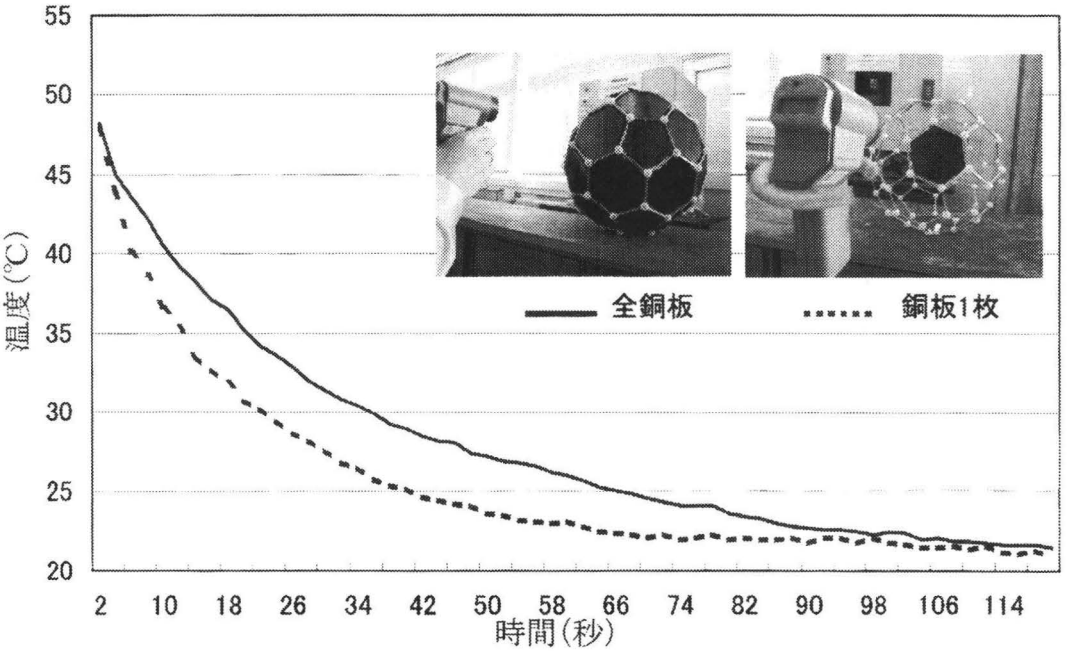
（居間一室のみ窓開放）



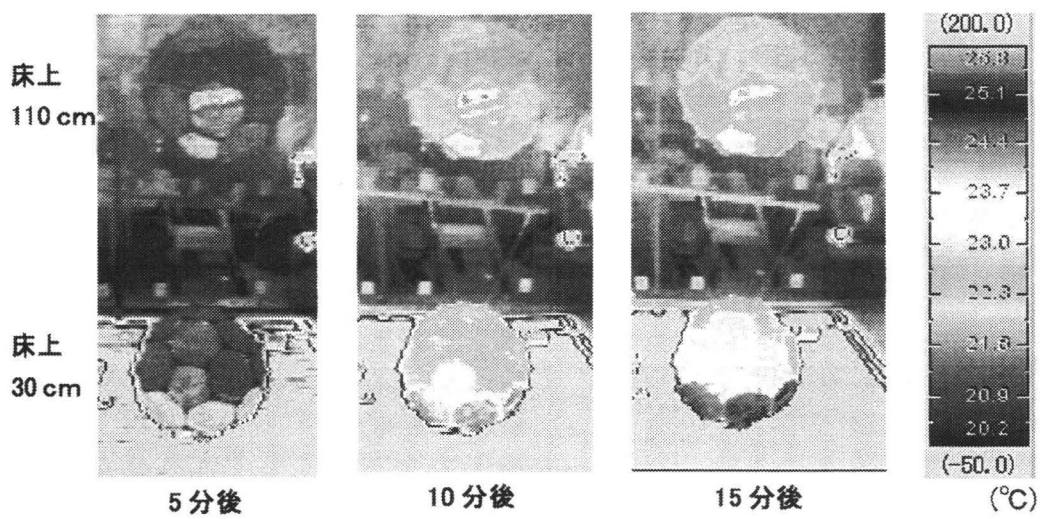

（居間＋北側の部屋窓開放）



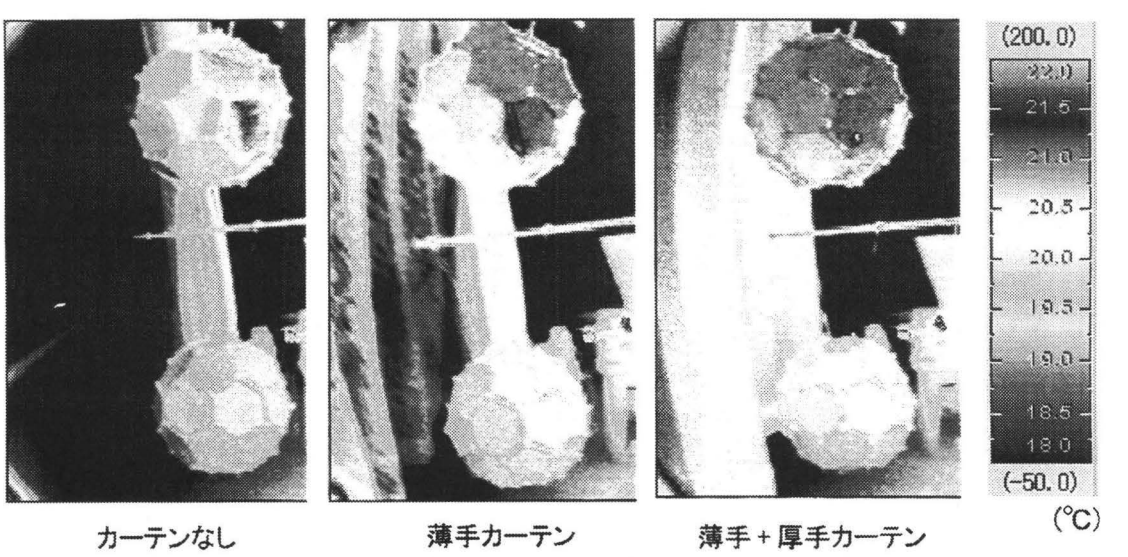

■写真⑤-4　Y宅における換気パターンの相違による空間温度分布の変化




■図⑤-5　温度域衰性状の比較

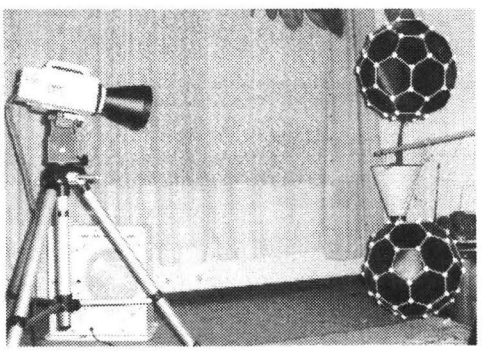



■図⑤-6　輻射暖房時の温度比較

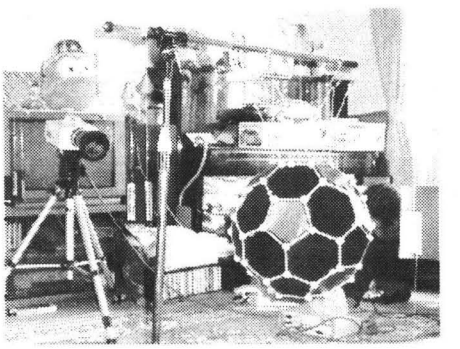



■図⑤-7　窓際におけるコールドドラフトの状況

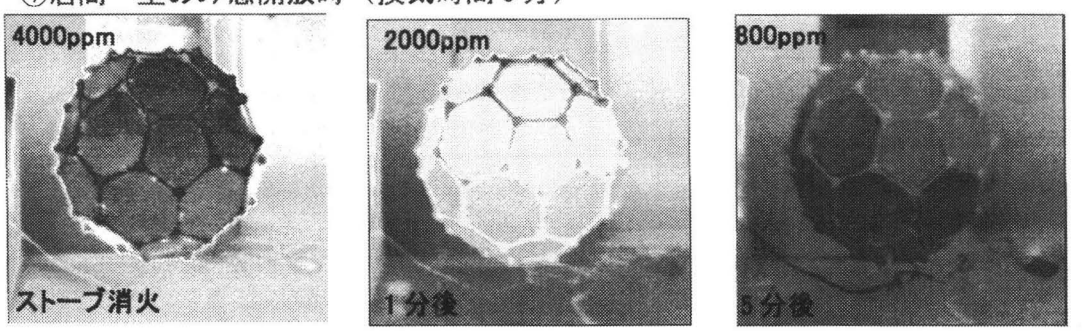
■図⑤-8　ストーブの設置位置の相違による空間温度分布



■写真⑤-4　暖房時測定光景

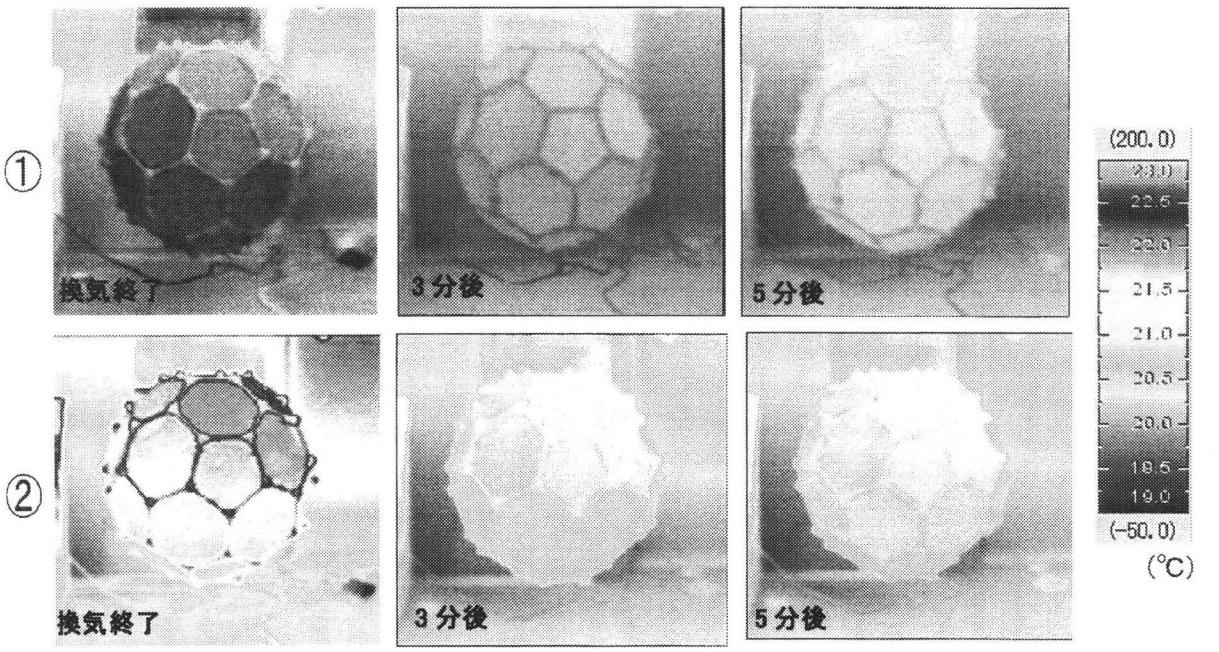


■写真⑤-5　空間温度測定光景




■図⑤-9　換気パターンの相違による温熱変動（居間中央）

■図⑤-10　換気パターンの相違による$CO_2$濃度減衰状況




■図⑤-11　換気終了後の壁等の輻射温度による熱保持の検討

# 添付資料 1

## 居住下における空間温度の可視化に関する研究
### その1 供試体の選定と空間温度測定の概要

正会員○菅野 哲充 ※1
同 関口 克明 ※2
同 吉野 泰子 ※3
同 田中 和之 ※4
同 島宗淳一郎 ※1

住環境 空間温度 可視化

**1.研究の背景と目的**

筆者らはこれまで居住下における住環境の実態を経時及び経年の状態変化で把握し、問題点を明らかにしてきた[1),2)]。

近年、環境保全の観点から一般住戸においても健康・快適性・省エネルギーを加味した低環境負荷の住宅と、それに呼応したライフスタイルが望まれる機運にある。

そこで我々はこれらを念頭に、より現実に即した温熱環境を評価する手法として、空間の一様性や方向依存性を視覚的に認識出来る、新たなツールの開発を試みた。

本報では、供試体の物理特性等について検討すると共に、定常及び非定常状態における測定を通して、銅片を用いた空間温度測定法とその概要について報告する。

**2.空間温度の可視化に関する検討**

室内の温熱分布を総合的に評価する際、四周壁面、床、天井からの不均一な輻射熱の暴露や気流による局部的な温度較差が温熱感覚の評価に影響を与える事が十分考えられる。

この点に関しては、ISO[3)]やASHRAE[4)]においても人体に不快感をもたらす表面放射温度差の基準として、整備されている。壁面放射に対する評価計測手法としては、サーモグラフィー等により、放射温度の分布として捕らえることで、室内の任意の点における総合的な温熱環境をある程度把握することは可能であるが、直接その点における評価をしたものではない。本研究では空中に銅板を吊し、サーモグラフィーを通して見ることで、気流輻射を考慮しながら、空間における温度分布を可視化することを試み、壁面温度の場合と比較検討した。

**2-1) 使用試片の選定**

試料の材質に関しては、換気時における瞬時の温度変化等にも対応できる様、熱容量が少なく、熱伝導率が良い金属片として、安価で入手容易な薄厚の銅板（表-1）を選定した。

次に形状では、全空間からの輻射を評価するための球状の他、立位の暴露面積の大きな水平面内を評価するための円筒形状、及び平板とした。図-1は銅試片と各種試験体の応答を比較検討したもので、Dry Ovenで一定温度（52℃）に加熱し、取り出した瞬間からの下降温度を放射温度計（MINOLTA HT-11D）で計測したものである。

応答の結果をみると、球形状は、材質が薄板・メッシュに関わらず熱容量に比例して放射面積が少ないため、応答が遅れる傾向がある。円形状はそれに準じ、平板は最も反応が速いことがわかる。

以上のことから、輻射の入射方向が明確で応答の最も速い、艶消し黒スプレーを塗布した7 cm角，厚さ0.1mmの平板の銅片を供試体として採用した。

表-1 各種金属の熱伝導率 (W/m・K)

| | 金 (Au) | 銀 (Ag) | 銅 (Cu) | アルミ (Al) | 鉄 (F) |
|---|---|---|---|---|---|
| 熱伝導率 | 324 | 432 | 420 | 241 | 99 |

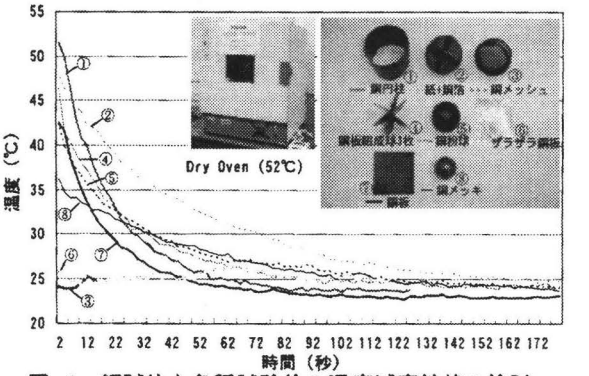



図-1 銅試片と各種試験体の温度減衰性状の検討

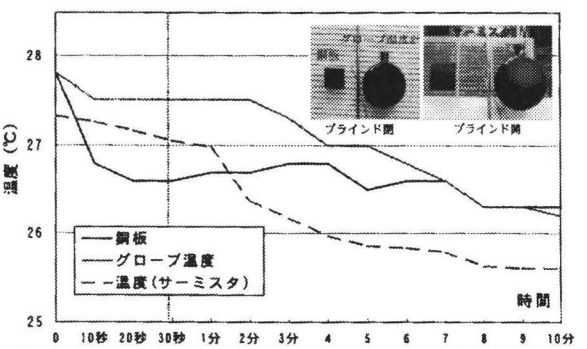



図-2 窓からの冷輻射による銅板・グローブ温度・温度の変化

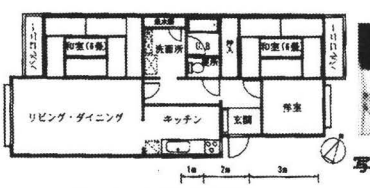



図-3 Y宅平面図

写真-1 Y宅における複合環境測定

写真-2 Y宅外観 写真-3 Y宅居間

表-2 建物概要

| | |
|---|---|
| 略称 | Y宅 |
| 所在地 | 千葉県習志野市 |
| 竣工年 | 1983年 |
| 建物階数 | 地上5階RC造 |
| 対象階 | 地上2階 |
| 延床面積 | 77.0 m² |

Research on visible radiation temperature under living conditions.
Part1. On the selection of an experimental materials and radiation temperature measurement

*KANNO Tetsuji, SEKIGUCHI Katsuaki,*
*YOSHINO Yasuko, TANAKA Kazuyuki,*
*SHIMAMUNE Junichirou,*

### 2-2) 銅板のレスポンスに関する考察

冬季、ブラインドを開けた瞬間からの冷輻射の影響を、銅板の放射温度・グローブ温度・室温で比較検討したものを図-2に示す。サーミスタによる室温はブラインド開放後、徐々に低下し、また輻射熱の影響を評価していない為、銅板やグローブ温度より低くなっている。一方、銅板の温度は冷気の影響を受けて敏感に反応し、急激に下降したのちほぼ定常状態で推移している。一方、グローブ温度計は2分間一定温度を示し、その後徐々に温度は低下する傾向にある。7分以降では、銅板の放射温度と同じ値になることから、非定常時にはそぐわない事が確認されると共に、銅板により輻射熱を加味した温度を瞬時に測定できることが明らかとなった。

## 3. 調査概要

### 3-1) 調査対象建物

千葉県内に立地する、RC造中層集合住宅のY宅（**写真-1～3、図-3、表-2**）及び、木造高気密・高断熱住宅のA宅において測定を行った（**写真-4,5、図-4、表-3**）。

また両住宅とも、雨天以外の日を選定した。

**3-2) 調査日時**　A宅では、1998年の夏季及び冬季において、24時間住環境測定と共に、定常状態での空間温度測定を実施し、Y宅では1999年の1月末、換気等の非定常状態において同様の計測を行った。

**3-3) 調査内容**　A宅、Y宅共に空間に吊るした7cm角の銅片を使用し、サーモグラフィー等により温熱測定を行った。

## 4. 銅板による空間温度測定

本装置の現場への適用例を図-5に示す。A宅の吹抜け部において上部梁から釣り糸をつるし、7cm角の銅板＜サーモグラフィーを部屋の幅（2730mm）全体が映るように銅板から約3m遠ざけた時の確認できる最小の大きさで、観測対象の気流を乱さない様、配慮した＞を、50cm間隔で張り付け、放射温度計で空間温度測定を行った（図-5、写真-6,7）。特に夏季においては上部の熱溜まり、1階居間からの吹き出し気流が、冬季には下方域の冷輻射等が確認できた。次に空間温度を一度に測定する為、サーモグラフィーを用いた例を**図-6,写真-8**に示す。これはY宅において開放型石油ストーブ稼働によりCO2濃度が4000ppmに達した後、窓開放の相違による温熱分布の変化を検討したものである。換気時間は共に800ppmまでCO2濃度が減衰するのに要した時間とし、居間一室のみ窓開放で5分、居間＋北側の部屋窓開放で1分を記録した。居間一室のみ窓開放では5分経過時で壁面の全体的な温度低下が確認され、銅板も22℃まで低下しており、室内の温熱分布の状態を可視化することが出来た。

## 5. まとめ

以上の測定結果から、住戸における定常及び、非定常状態での銅片を用いた測定法の有用性が示唆された。今後は、気流分布を考慮した供試体の設置間隔や、可搬性・再現性等について検討して行きたい。

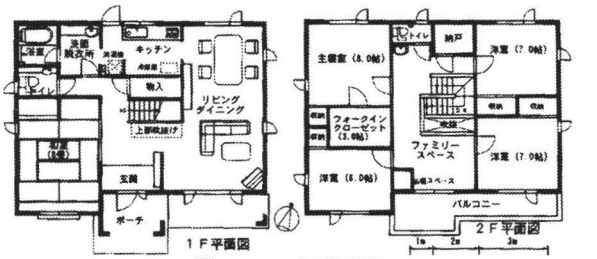


図-4　A宅平面図

写真-4　A宅外観

写真-5　A宅居間

表-3 建物概要

| | |
|---|---|
| 略称 | A宅 |
| 所在地 | 千葉県習佐倉市 |
| 竣工年 | 1997年 |
| 建物階数 | 2階建2×4造 |
| 対象室 | 吹き抜け |
| 延床面積 | 168㎡ |

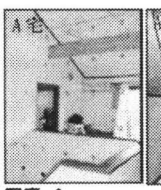


写真-6
吹き抜けにおける空間温度測定

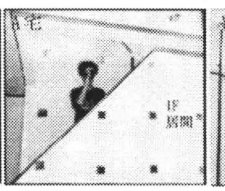


写真-7
放射温度計による空間温度測定

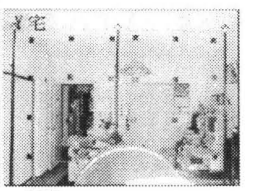


写真-8
サーモグラフィーによる熱画像測定

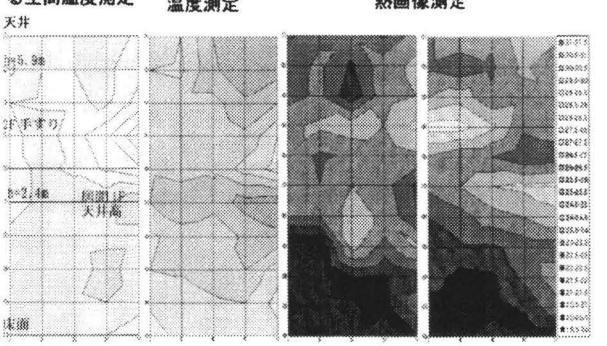


図-5　A宅吹き抜けにおける空間温度分布の実態
（写真-7　手前方向からの温熱分布）

図-6　Y宅における換気パターンの相違による空間温度分布の変化


写真-9
Y宅居間の窓面開放時、換気の様子


**参考文献**

1)吉野泰子・関口克明・島宗淳一郎・田中和之『RC造集合住宅の居住下在室時・空室時における複合環境の実態と評価に関する研究 その1.温熱環境の経時変化と6カ年の経年変化からの考察』日本建築学会大会　1998.9

2)田中和之・関口克明・吉野泰子・島宗淳一郎『RC造集合住宅の居住下在室時・空室時における複合環境の実態と評価に関する研究その2.空気環境の経時変化と6カ年の経年変化からの考察』建築学会大会　1998.9

3)吉田　編『ISOの熱環境に関する規格について　その制定のプロセスとあり方』日本建築学会環境工学委員会　熱環境運営委員会 第23回熱シンポジウム

4) ANSI / ASHRAE STANDARD 55 -1992 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy



※1 日本大学大学院 理工学研究科 博士前期課程　Graduate School, Nihon Univ.
※2 日本大学理工学部建築学科 教授 工博　Prof., Department of Architecture, College of Science & Technology, Nihon Univ., Dr.Eng.
※3 日本大学短期大学部建設学科建築コース 助教授 工博　Associate Prof., Junior College of Nihon Univ , Dr.Eng.
※4 現，株式会社中央住宅　Chuou jutaku Corporation.

# 添付資料 2

## 居住下における空間温度の可視化に関する研究

### その2 住まい方の相違を反映した計測ツールとしての可能性について

正会員○島宗淳一郎 ※1
同 関口 克明 ※2
同 吉野 泰子 ※3
同 田中 和之 ※4

空間温度 ライフスタイル 可視化

**1. はじめに**

前報[1] により、熱輻射を考慮した空間温度分布を計測する供試体として、銅片を使用することの有用性が明らかとなった。本報では前述の検証結果をもとに、住まい方の相違による方向性を含めた空間温度分布の検討を行い、居住下における空間温度の可視化の可能性について報告する。

**2. 調査概要** **2-1)調査対象** 既報[2) 3)]の通りである。

**2-2)調査方法** 空間断面温度の計測に使用した銅板に比し、人体が受ける温熱の方向性を考慮する為、輻射熱を加味した測定ツールとして、肩幅大（約 40cm）の銅球（型枠：多次元構成キット（ゾムツール：AOSHIMA）により骨格を製作し、黒色つや消し銅板をツメで固定し各面を熱的に独立させた球）を製作した(写真 -1 参照)。当供試体とサーモグラフィーを用い、空間温度分布の測定を行った。

**3.調査結果及び考察** **3-1) 40cm銅球のレスポンスに関する検討** 銅試片と銅板で囲まれた 40cm 球のレスポンスを比較したものを図 -1 に示す。これを見ると 40cm 銅球は銅試片単体に比し、即応性にやや劣るものの、周囲の空間温度にすばやく適応していることがわかる。また球形であることから、輻射の方向性が把握できるため、その有用性が期待できる。

**3-2) 40cm銅球による空間温度測定** 図-2にホットカーペット使用時における高さ別温度分布を示す。床放射型暖房の典型的な例として、立ち上がりに時間はかかるものの、時間経過と共に、下方球中央より上部の温度差は少なく均一に暖められていく様子が伺える。

次に冬季窓面におけるコールドドラフトの状況を図 -3 に示す。上の球においては薄手カーテンを閉めるだけで、顕著な温度差が見受けられるが、カーテンの有無を問わず、窓下からの冷気の進入は免れない様子が分かる。ISO-7730[4](PMV・PPD の算定と快適環境の仕様）によると、冷たい窓に関しては微小面放射温度差を 10℃以内としていることや ASHRAE ST.[5] の基準において、室間温度差は、5℃以内が推奨されていることから、お年寄りのヒートショック等の問題に対し、窓面からの冷気の侵入を、カーテンの丈を長くするなどの工夫が必要であることを的確に示唆できる。この様な温度差を考慮した、ストーブ設置位置の相違による空間温度分布の比較を図-4に示す。ストーブを居間中央に設置した場合、暖められた面と窓からの冷輻射による影響の差が最大 9℃あるが、ストーブを窓際に置いた場合（写真-2）、室温は低めながらも、温度差は少なく均一化している様子が伺える。

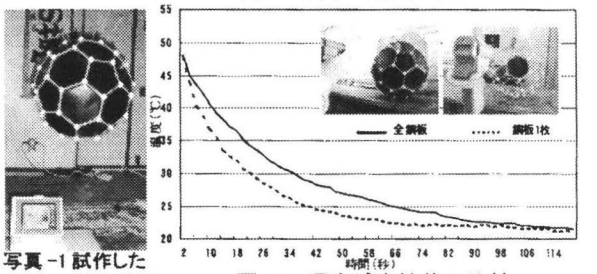



写真 -1 試作した 40cm 銅球

図 -1 温度減衰性状の比較

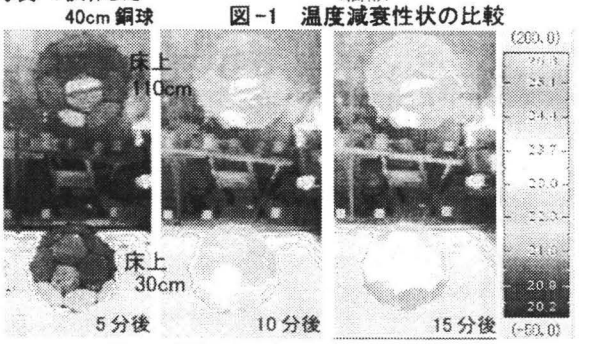



図 -2 輻射暖房時の温度変化

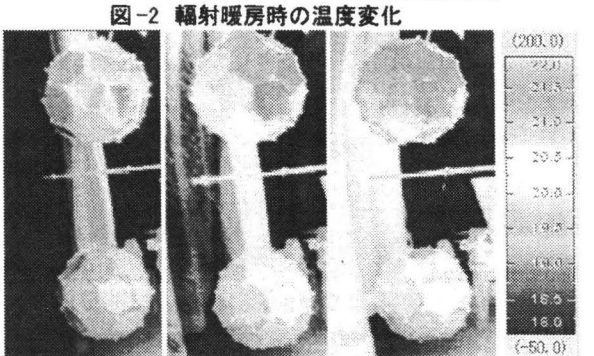



図 -3 窓際におけるコールドドラフトの状況

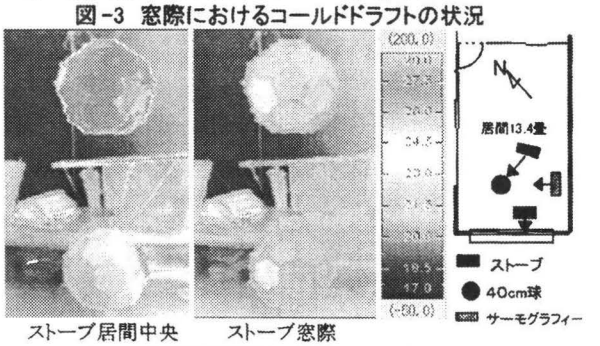



図 -4 ストーブの設置位置の相違による空間温度分布

---

Research on visible radiation temperature under living conditions.
Part2. Possibility of using original radiation temperature tool owing life style.

*SHIMAMUNE Junichirou*
*SEKIGUCHI Katsuaki*
*YOSHINO Yasuko*
*TANAKA Kazuyuki*

**3-2) 試作銅球による換気法の検討** 熱的効率の良い換気法を検討するため、模擬居住下において40cm銅球を用いた検証実験を行った[6]。Y宅居間[1]で$CO_2$濃度が4000ppmに達するまで開放型石油ストーブを稼働した後、運転を停止し、窓開放パターンによる相違を検討した。換気方法は①居間一室のみ窓開放 ②居間+北側の居室窓開放（以下南北窓開放）の2種類で、1分毎に空間温度と$CO_2$濃度を計測した（**写真-3**）。その結果を**図-5・図-6**に示す。これを見ると、居間一室のみの窓を開放した場合、換気所要時間は5分間と、長時間暴露により壁面と共に球全体の温度が5℃以上低下していることがわかる。これに比し、南北窓開放の場合、$CO_2$濃度が1分間で800ppmまで減衰しており、下方域に温度低下が見うけられるが、暴露時間が短いため熱損失が少なく、球全体の温度低下も3℃程度にとどまっている。そこで、換気パターンの相違による換気後の熱保持の実態を視覚化し、経時変化で比較検討したものを**図-7**に示す。居間一室のみ開放時では換気終了時に壁面の熱損失が確認され、室温回復が容易でないことが伺えるが、南北窓開放時の場合、躯体の熱が保持されたまま、換気が促進されている様子が確認された。

**4. まとめ** 本研究により以下の内容が明らかになった。

1)輻射熱を考慮し独自に試作した銅板による空間温度測定結果から、人体感覚に近い温熱評価の可能性が示された。

2)換気による躯体の熱損失を加味した場合、短時間で一気に換気することの有用性が示唆された。

3)空間温度分布の可視化により、省エネ意識のライフスタイルを啓蒙する手段としての有用性が確認された。

〔謝辞〕本研究は（財）トステム建材産業振興財団の助成による。記して謝意を表します。

〔参考文献〕

1)菅野哲充・関口克明・吉野泰子・田中和之・島宗淳一郎『居住下における空間温度の可視化に関する研究 その1.供試体の選定と測定法の概要』
2)吉野泰子・関口克明・島宗淳一郎・田中和之『RC造集合住宅の居住下在室時・空室時における複合環境の実態と評価に関する研究 その1.温熱環境の経時変化と6カ年の経年変化からの考察』日本建築学会大会 1998.9
3)田中和之・関口克明・吉野泰子・島宗淳一郎『RC造集合住宅の居住下在室時・空室時における複合環境の実態と評価に関する研究その2.空気環境の経時変化と6カ年の経年変化からの考察』建築学会大会 1998.9
4)吉田 燦『ISOの熱環境に関する規格について その制定のプロセスとあり方』日本建築学会環境工学委員会 熱環境運営委員会 第23回熱シンポジウム
5)ANSI / ASHRAE STANDARD 55 -1992 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
6)田中和之・関口克明・吉野泰子『集合住宅の居住下における複合環境の実態と評価に関する研究 その2.光・空気環境の5カ年の経時変化の傾向と模擬居住下における検証』日本建築学会大会学術講演梗概集 1997.9

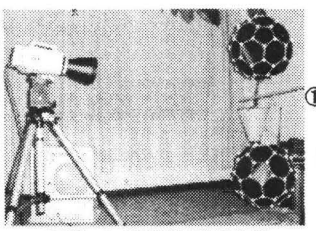


写真-2 暖房時測定光景

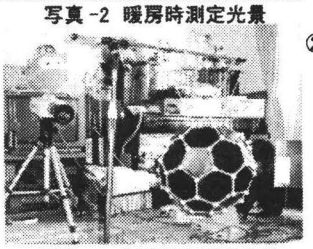


写真-3 空間温度測定光景

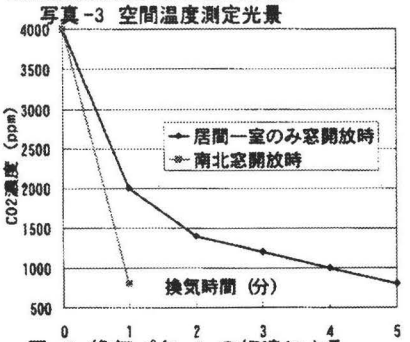



図-5 換気パターンの相違による$CO_2$濃度減衰状況

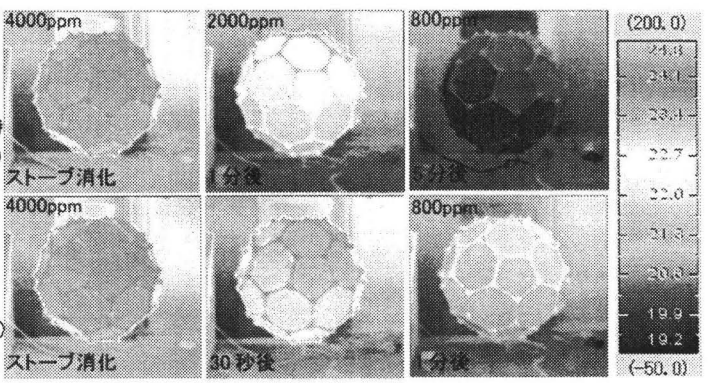



図-6 換気パターンの相違による温熱変動（居間中央）

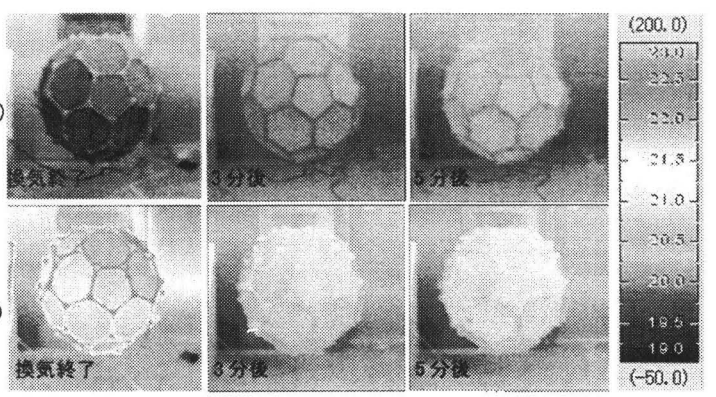



図-7 換気終了後の壁等の輻射温度による熱保持の検討

※1 日本大学大学院 理工学研究科 博士前期課程 ・Graduate School, Nihon Univ.
※2 日本大学理工学部建築学科 教授 工博 ・Prof., Department of Architecture, College of Science & Technology, Nihon Univ., Dr.eng.
※3 日本大学短期大学部建設学科建築コース 助教授 工博 ・Associate Prof., Junior College of Nihon Univ., Dr.Eng.
※4 現、株式会社中央住宅 ・Chuoujyutaku Corporation

# 1—17　冷房発停および窓・扉開閉スケジュールの確率入力が室内熱負荷特性に及ぼす影響に関する研究

九州大学大学院　総合理工学研究科
エネルギー工学専攻
助教授　谷　本　　潤

## 1．緒言

建築伝熱系を熱的確率システムと見なし、入力である外乱気象条件に対する熱負荷や室温変動と云った応答を確率論の立場から解析しようとする試みがなされてきた〔1〕。特に、これまで外乱気象条件に超過危険率を適用する考え方が一般的であった最大熱負荷を平均値および複次の積率により確率変数として表記し得れば、とりわけ機器容量設計などに際して有用な情報が得られることになる。その上で前提となる気象データの各要素の確率モデルの構築に関しても、これまで各研究者により充分な知見の蓄積がなされてきたのは周知の通りである〔2〕。

ところで、熱負荷計算を含む建築伝熱システムを解析する上で、外乱気象条件と並んで重要な与条件となる窓の開閉や空間発停、あるいは内部発熱などの種々のスケジュールデータに関しては、各種の調査結果に基づく妥当な条件設定がなされる〔3〕にしろ、依然として確定論的に条件付与するのがごく一般的であるように思われる。特に人間の温熱感覚や行動様式に大きく左右される開口部開閉や空調発停などは、気象データに比較して確率モデルに馴染みにくく、いわば一元的に決定したスケジュールデータを与えざるを得ない状況にあった。

斯様な背景のもと、最近、窓開閉や空間発停の確率モデルに関して、マルコフモデルを適用しようとする先駆的な試みが報告されるようになった〔4〕、〔5〕。これらの研究は、例えば次時刻の空調発停について、その時々の室温に対する状態遷移確率として付与し得るか否かを居住者の行動様式を詳細に調査することで明らかにしようと云うものである。次時刻の空調発停を現時刻の室温の状態遷移確率で表し得るかを考えるとき、過去の室温履歴の影響は避けられないであろうし、加えて非エルゴート性の有無も勘案すると、単純なマルコフ連鎖の適用には相当の困難が予想されるが、試みとしては大変意義深いものであろう。現況のところ、問題をマルコフ過程で表現し得るのか、出来るとしたときその状態遷移確率は何を独立変数とする関数として与えられるのかについて、一連の実験的手法による基礎検討がなされている段階ではあるが、それらがマルコフ過程でモデル化出来得たとして、熱的確率システムの解析上どのような意義を有するのかを予め検討しておくことは重要な視座となろう。

本研究では以上の点を背景とし、単室および多数室モデルを対象に、冷房発停、窓・扉開閉がマルコフ過程でモデル化できるものとして、その場合の熱負荷特性について考察するものである。

## 2．単室モデルに関する数値実験数値

### 2-1　実験方法

#### 2-1-1　計算対象室モデル

本研究では集合住宅中間階を想定した冷房負荷を考えることとする。図1に単室モデルについて、その標準ケースの各条件をまとめて示す。計算結果としては、8月期間積算全熱冷房負荷（以下、期間負荷とする）および全熱最大冷房負荷（以下、最大負荷とする）を解析対象とする。

#### 2-1-2　状態遷移確率

冷房発停状態に関する状態遷移確率は図2に示す関数形で与えられるものとした。図中太線で示した現時刻冷房停止から次時刻冷房作動（以下、off→onとする）への遷移確率は室内SET*の関数として与え、これは深井らの室内SET*に対する非不快感申告の実験データ〔6〕を補正した*1もので、補正後の不快者率をそのまま遷移確率とした値である。一方、図中細線で示した現時刻冷房作動から次時刻冷房停止（以下、on→offとする）への遷移確率は屋外SET**2の関数として与え、これは著者らの屋外SET*に対する温冷感申告（Thermal Sensation Vote, TSV）の実験データ〔7〕およびFangerのPMVとPPDの関係式〔8〕から一部補正を加えて*3推定した不快者率を1より差し引いて遷移確率としたものである。なお、現時刻冷房停止から次時刻冷房停止への状態遷移はoff→onの、また現時刻冷房作動から次時刻冷房作動への状態遷移はon→offのそれぞれ余事象として与えられる。また、冷房停止、作動以外の事象の発生、例えば冷房故障などのいわゆる消散過程はここでは考えないこととする。

#### 2-1-3　モンテカルロ法に基づく数値実験の流れ

図3に計算フローを示す。時間離散化幅である1時間ごとに、一様乱数を発生させ、状態遷移確率を参照することで、次時刻の空調発停を判定する。一様乱数は合同式法〔9〕に基づく組み込みサブルーチン〔10〕を用いた。なお、モンテカルロ法による試行回数は$10^4$回とした。

#### 2-1-4　実験条件

数値実験では建物側の条件設定の差異を把握するための数値実験1（case 1～case 4）および状態遷移確率の感度を見るための数値実験2（case A～case D）の大きく2通り、合計8ケースについて検討した。

表1に数値実験1の条件設定を示す。数値実験1では状態遷移確率は図2で示したものを用いる。

数値実験2では図4に示した状態遷移確率を用い、表2に示す条件設定により行った。その他の条件は標準ケースと同一である。

## 2-2　実験結果および考察

表３に数値実験１の期間負荷、最大負荷について、$10^4$回試行後の平均値をそれぞれまとめ示した。図５には各ケースの試行$10^3$回までの期間負荷、最大負荷の平均値の推移を示した。なお、縦軸を同スケールで見た際、$10^3$～$10^4$回までの変化はごく僅少であったので、図では$10^3$回までを示してある。また、図６には各ケースの時刻別冷房率を示し、case 1には屋外SET*を併記してある。図７は各ケースの期間負荷、最大負荷ごとに示した試行$10^4$回の発生頻度分布である。

図７を見ると、期間負荷は各ケースとも、単峰性が強い正規分布に類似した頻度分布特性を示すのに対して、最大負荷の分布形状は複雑で、特にcase 3では典型的な２峰性状を示している。最大負荷は過去の冷房発停により蓄熱負荷の現れ方が大きく異なるので、冷房発停に対する感度が敏感となり、結果的に多峰性を有する複雑な分布特性を示すものと思われる。一方、蓄熱負荷の動特性には直接的には関わりなく、それらを含めて期間総和として評価される積算期間負荷は、単純な分布形状となり易いのであろう。

ファザード北のcase 2について見ると、表３に示した最終的結果である期間負荷、最大負荷が標準ケースに比較して小さくなるのは当然のこととして、図７の最大負荷の分布形状が他ケースと異なり、滑らかで大略単峰性を有していることが興味深い。これは、図６の冷房率を見ても明らかなように、case 2では冷房発生そのものが少なく、冷房発停の差異が表れにくかったことによるものと考えられる。

躯体が木構造のcase 3を見ると、標準ケースに比較して期間負荷、最大負荷ともに大きく、図５の試行回数に対する推移は表３に示した定常値に早く収斂することがわかる。負荷発生頻度分布を見ると、既述したように最大負荷では強い２峰性を示すが、最大負荷、期間負荷ともに分布の散らばる範囲が小さく（分散小）なっている。これは、図６の冷房率の推移からも明らかなように、建物が熱的に軽くなると、外乱に対する熱負荷の応答が早くなるため、冷房の作動、停止が完全に極化し、分散が生じにくくなったものと思われる。総じて、建物が軽いと、冷房発停の確率的変動が熱負荷に与える影響は小さくなるものと考えられる。

高断熱とすると期間負荷、最大負荷ともに若干大きくなる傾向を示す。図７の負荷発生頻度分布の形状自体はcase 4とcase 1では大きな差異はない。

数値実験２の結果について、表４に$10^4$回試行後の期間負荷、最大負荷の平均値を示し、図８には各ケースの熱負荷発生頻度分布を示した。

最大負荷の頻度分布形状が数値実験１の各ケースに比較して滑らかなのは、数値実験２において付与した状態遷移確率が直線であったことによるものかと推量される。

case Aとcase Bおよびcase Cとcase Dの差異に注目すると、これらの両組み合わせは冷房・on→offの状態遷移確率の違いであり、case B、case Dはそれぞれcase A、case Cに対して、いわば一旦作動させた冷房をなかなか停止させない条件設定となる。このため、case B、case Dはcase A、case Cに較べて、それぞれ期間負荷は増大するが、最大負荷は減少する傾向を示している。

同様に、case Aとcase CおよびcaseBとcase Dの差異に注目すると、これらの両組み合わせは冷房・off→onの状態遷移確率の違いであり、case C、case Dはそれぞれcase A、case Bに対して、いわば冷房をなかなか作動させない条件設定となる。故に、case C、case Dはcase A、case Bに較べて、それぞれ期間負荷は減少し、最大負荷は増大する傾向を示す。

このように状態遷移確率の付与条件により、熱負荷発生頻度分布形状に明瞭な違いが認められ、期間負荷、最大負荷いずれについても、この程度の差異が生じることを留意すべきであろう。

表５は冷房発停の条件についてそれぞれ室内SET*、屋外SET*の閾値を定め、その前後で必ず発停が生じるとした、いわば確定論的に条件を与えた場合の熱負荷を示したものである。ただし、建物側の条件は標準ケースと同一である。例えば、図２の状態遷移確率が0.4、その時の屋外SET*が31.5℃、室内SET*が27.8℃、そのときの図２の状態遷移確率が0.2で表される条件では、現時刻で冷房が停止しており、かつ室内SET*が27.8℃以上である場合は次時刻では必ず冷房は作動し、現時刻で冷房が作動しており、かつ屋外SET*が31.5℃以下である場合は次時刻では必ず冷房は停止すると云うスケジュールのもとで、唯一回の熱負荷計算を行い、その結果が最大負荷156.3kcal/m²h、期間負荷9.763Mcal/m²・月であることを示している。最大負荷に関しては、室内SET*で与えた冷房作動条件に対する感度に較べて、屋外SET*で与えた冷房停止条件に対する感度は鈍い。冷房停止条件の感度に注目すると、冷房開始が室内SET*29.0℃以上の場合（表中最下段）以外については、冷房停止条件が厳しくなるほど（表中で右よりの値になるほど）期間負荷は大きくなる傾向にあるが、表中最下段の室内SET*29.0℃の場合の感度が逆に表れていることがわかる。冷房をなかなか停止させない影響が翌日まで残留し、翌日の室内SET*も表中の右よりのケースほど上昇するのが鈍く、冷房開始も遅れる。このため期間負荷は減少し、一方、透過日射の影響で大略決まる最大負荷は日中に発生するので、最大負荷発生が冷房開始直後となる表中最下段右よりのケースほど蓄熱負荷の影響が重畳されて、最大負荷は増大するのであろう。表５に示した冷房発停を確定論的に取り扱い唯一回の計算により熱負荷を求める場合、例えば図２における冷房・off→on、on→offの状態遷移確率が0.5である室内SET*29.0℃、屋外SET*30.9℃の条件では、表３のcase 1の標準ケース結果と比較して、期間負荷で38%、最大負荷で７%の誤差が生じる。図２の冷房・off→onの状態遷移確率曲線の特性を考慮し、例えば状態遷移確率0.3、室内SET*28.4℃とすれば、期間負荷で11%、最大負荷で２%程度の誤差に縮減し得る。モンテカルロシュミレーションによる結果を確定論的唯一回のシミュレーションにより推定することはそもそも無理がある。しかし、状態遷移確率が既知であればその特性を見極めた適切な条件設定を施せば、熱負荷発生頻度分布は推定し得ないものの、平均値については多少の誤差を含むがある程度の推定は可能であるとも云えよう。

## 3．多数室モデルに関する数値実験数値

本章では多数室問題に拡張した場合について述べる。

### 3．1　実験方法

#### 3-1-1　計算対象室モデル

集合住宅中間階を想定し、3室（居間、寝室、子供室）よりなる1住戸を考える。ただし、上下階の縦の流路は存在せず、換気的には縁が切れているものとし、建物全体での煙突効果は考えない。図9に計算モデルの概要をまとめて示す。解析対象は8月、状態遷移確率は図2を用いる。

#### 3-1-2　計算条件

表6に示すようにケース1、ケース2について試行$10^4$回のモンテカルロシミュレーションを行った。

ケース1では、2章と同様、各室には常に在室者があり、状態遷移確率に基づく冷房発停、窓開閉の判断を行う。その際、各室の内部発熱は、既報同様、在室率を考慮して時変付与する。

一方、ケース2では、各室の在室率は図10に示す正規確率分布に従うものと仮定する。図11のフローに従い、正規乱数と一様乱数を比較し、各室の在・不在を決定する。不在と判定された室については、状態遷移確率に基づく冷房発停、窓開閉の判断は行わない。また、各室の内部発熱は最大値にその時刻の在室率を乗じた値を付与した。

### 3．2　実験結果および考察

図12はケース1における各室最大負荷、期間負荷の発生頻度分布である。期間負荷についてみると、単室問題と同様、各室ともに強い単峰性を示している。また、寝室の分散が小さく、対して子供室が大きい。居間の冷房発生率時変動特性は、寝室と同様、極化の傾向を示しているが、平均値自体が大きいため、それに付随して分散の絶対値が大きくなる。最大負荷の分布形状はきわめて強いピークを示しており、この点で単室問題の場合と異なる。両者の比較から、最大負荷に及ぼす換気の影響の大きさを窺わせる。

図13はケース2における各室最大負荷、期間負荷の発生頻度分布である。ケース1と比較すると、在室率の確率変動が加味される分、全般に分散が大きくなる傾向にあり、特に最大負荷の分布特性が大きく異なる。寝室、子供室では、通常、最大負荷が生じる昼間の時間帯に不在となりがちで、最大負荷発生が在室率の高い夜間となるため、最大負荷の値自体も小さくなり、熱的遅れの影響が出て、分散が大きくなったものと考えられる。寝室については、単峰性を示しているが、居間、子供室については多峰の分布である。期間負荷については、単峰性である点、ケース1と同様であるが、在室率を考慮することで、不在となる時間帯が生じるため、全般に値が小さくなっている。

## 4．結論

次時刻の冷房発停をマルコフ過程で確率的に取り扱い得ると仮定することが、建築伝熱系解析上、如何なる意味を有するのかについて、数値実験により検討し、以下の知見を得た。

(1) 数値実験に際して、現況のところ冷房発停をマルコフ過程で表現し得るのかも含めて不明な部分が多い状態遷移確率について、既往研究結果を踏まえて、次時刻冷房開始に関しては現時刻の室内SET*、冷房停止に関しては屋外SET*の関数として定義した。

(2) $10^4$回試行によるモンテカルロシミュレーションの結果、期間負荷に関しては大略正規分布に近い負荷発生頻度分布特性を示すが、最大負荷については多峰性を含む複雑な分布形状を示すことが明らかとなった。この傾向は単室モデルにとどまらず、多数室モデルにおいても認められた。

(3) 単室モデルに関する数値実験の結果、建物側の影響としては熱容量の効果が顕著で、建物が熱的に軽量であれば、作動、停止が極化するため、分散の小さい負荷発生頻度分布形状となること、状態遷移確率を付与する関数形による影響も小さくないことなどわかった。

(4) 多数室モデルに関する数値実験を行った。在室率の変動を確率的に考慮したケース２は、実際の住宅を考える際には、より現実的な条件設定であると思われる。今回、在室率変動を便宜的に正規分布としたが、その平均値、分散に対する負荷特性も興味のあるところである。

(5) モンテカルロシミュレーションにより冷房発停の確率的変動を考慮した熱負荷を求めることは確率変数としての熱負荷を得られると云う点で意味するところ大であるが、多数室としての実用的熱負荷問題を念頭に置くとき、きわめて大きな計算負荷を要することとなろう。

〔注記〕

＊１　文献〔6〕図-12で、まず縦軸の非不快感申告率を100％より差し引いた値を不快者率とみなした。この高温側曲線を見るに、室内SET*＝25.6℃で不快者率最低の17％と読みとれ、高温側は外挿して30.0℃で100％と推定される。すなわち、不快者率は17％以下の値はあり得ず、17～100％で変動するが、これを０～100％の範囲で変動するものと、比例配分補正を施した。

＊２　屋外SET*算出に際して、MRTは以下のように求めた。すなわち、吸収率１の仮想球を想定し、放射としては直達日射量、拡散日射量のみの影響を考慮した熱収支式により算出した〔11〕。

＊３　文献〔7〕図17およびPMV-PPD関係〔8〕より、屋外SET*に対する不快者率を得る。良く知られているようにPMV＝０における不快者率は０％とならず５％であるので、注記＊１と同様に不快者率５～100％の変動を０～100％変動となるように比例配分補正し、その値を100％から差し引いて満足者率の如き意味内容を有する値を求め、これを遷移確率とした。

**【参考文献】**

〔1〕　例えば、鉾井修一、吸放湿材の評価法―外乱の変動と吸放湿特性、日本建築学会環境工学委員会熱環境小委員会第26回熱シンポジウム、pp.63～72、1996

〔2〕 例えば、松尾陽（岡田康郎、吉田治典　執筆箇所)、気象データの建築環境工学への応用に関する総合的研究（文部省科研費総合研究A研究成果報告書)、1992
〔3〕 例えば、太田真人・片山忠久・林徹夫・谷本潤、福岡市における住宅のエネルギー消費構造に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.189～190、1996
〔4〕 R. Fritsch・A. Kohler・M. Nygard-Ferguson・J. L. Scrtezzini, A Stochastic Model of User Behavior Regarding Ventilation, Building and Environment Vol. 25 No. 2, pp. 173～181、1990
〔5〕 岩下剛・赤坂裕、確率過程理論を用いた居住者の通風行為のモデル化に関する基礎的研究、空気調和・衛生工学会九州支部研究報告　第3号、pp.45～48、1996
〔6〕 深井一夫・斉藤純司・後藤滋・伊藤宏、標準新有効温度（SET*）と日本人の温熱感覚に関する実験的研究、空気調和・衛生工学会論文集　No.48、pp.21～29、1992
〔7〕 谷本潤・木村建一・佐藤隆満、涼房手法を用いた屋外休憩施設に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文集　第481号、pp.41～49、1996
〔8〕 P. O. Fanger, Thermal Comfort, McGraw-Hill Book Company, 1970
〔9〕 森正武、数値計算プログラミング補増版、岩波コンピュータサイエンス、1988
〔10〕 HP FORTRAN/9000 Programmer's Reference, HEWLETT PACKARD, 1991
〔11〕 赤坂裕、建築環境学1（木村建一　編）・第1章　気象データとその応用、丸善、1992
〔12〕 岩下剛、各地域におけるエネルギー消費の実態（5）鹿児島、IBEC No. 95 Vol. 17-2, pp.17～20、1996

| | | |
|---|---|---|
| *case 1* | 標準ケース | 図1に示した条件設定 |
| *case 2* | ﾌｧｻﾞｰﾄﾞ北 | 開口面が北向きに正対 |
| *case 3* | 軽構造 | 外壁，内壁の躯体ｺﾝｸﾘｰﾄの替わりに木構造を仮定 |
| *case 4* | 高断熱 | 外壁ﾌｫｰﾑﾎﾞﾘｽﾁﾚﾝの厚200㎜を仮定 |

■表1　数値実験1　条件

| 状態遷移確率曲線 | 冷房・on→off | 冷房・off→on |
|---|---|---|
| *case A* | ① | ③ |
| *case B* | ② | ③ |
| *case C* | ① | ④ |
| *case D* | ② | ④ |

■表2　数値実験2　状態遷移確率付与条件

| | *case 1* | *case 2* | *case 3* | *case 4* |
|---|---|---|---|---|
| 最大負荷[kcal/m$^2$h] | 158.2 | 136.5 | 174.2 | 158.2 |
| 8月積算負荷[Mcal/m$^2$月] | 8.533 | 3.687 | 13.405 | 8.702 |

■表3　$10^4$回試行後の期間負荷、最大負荷平均値（数値実験1）

| | *case A* | *case B* | *case C* | *case D* |
|---|---|---|---|---|
| 最大負荷[kcal/m$^2$h] | 146.5 | 145.4 | 153.3 | 151.6 |
| 8月積算負荷[Mcal/m$^2$月] | 12.443 | 12.787 | 10.365 | 10.934 |

■表4　$10^4$回試行後の期間負荷、最大負荷平均値（数値実験2）

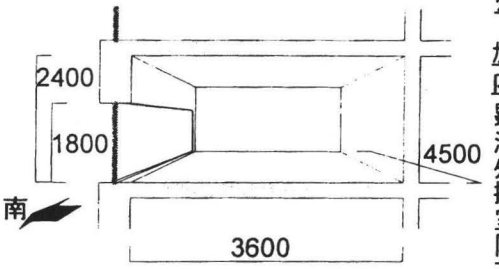
| 屋外条件 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
|---|---|---|---|---|
| 室内条件 | 32.2 | 31.5 | 30.9 | 30.2 |
| 0.2 | 156.3 | 156.3 | 156.3 | 156.3 |
| 27.8 | 9.763 | 9.763 | 10.045 | 10.280 |
| 0.3 | 161.0 | 161.0 | 161.1 | 161.0 |
| 28.4 | 7.680 | 7.680 | 7.583 | 7.583 |
| 0.4 | 164.6 | 164.6 | 164.6 | 164.6 |
| 28.7 | 6.333 | 6.333 | 6.577 | 6.577 |
| 0.5 | 167.9 | 167.9 | 169.2 | 169.2 |
| 29.0 | 5.654 | 5.654 | 5.250 | 5.250 |

条件上段：図2の状態遷移確率の値
　/下段：その時のSET*
数値上段：最大負荷[kcal/m$^2$h]
　/下段：8月積算負荷[Mcal/m$^2$月]

■図6　リブのない短柱の座屈曲線

| | |
|---|---|
| ケース1 | 在室率一定(1.0)<br>内部発熱は顕熱：3～31kJ/(m$^2$h)(時変)，<br>潜熱：13kJ/(m$^2$h)(時不変) |
| ケース2 | 在室率は正規確率分布(図 3)に従い、室の在・不在を判定<br>内部発熱は顕熱 31kJ/(m$^2$h),潜熱 13kJ/(m$^2$h)に在室確率<br>(図 10 の値)を乗じる |

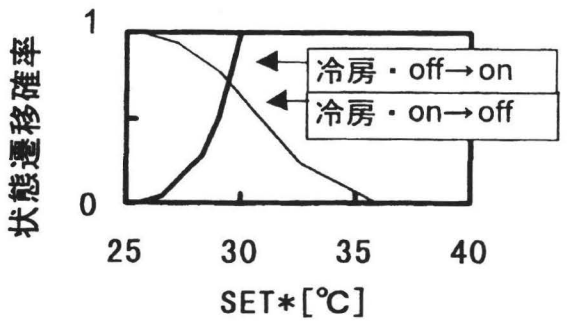
■表6　多教室モデル数値実験条件



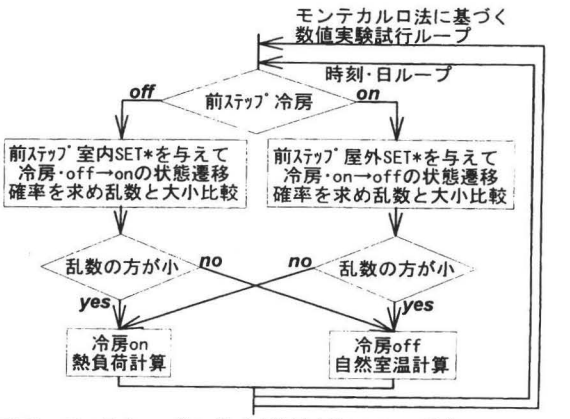

※各条件は標準ケース条件設定を示す

αo=20kcal/m²h℃(固定)+RC200
外壁 +ホームホ゜リスチレン50
+ブ゜ラスタ10+αi=8kcal/m²h℃(固定)
ガ゜ラス 5mm標準(入射角特性考慮)
内壁 αi+ブ゜ラスタ10+RC150+ブ゜ラスタ10+αi
顕熱内部発熱 10～120kcal/m²h(時変)
潜熱内部発熱 50kcal/m²h(一定)
外界条件 標準気象デ゜ータ・福岡(7月助走)
換気回数 冷房時0.3回/h 停止時3回/h
室内設定条件 24℃, 60%rh
隣室温度条件 (自室+外気)/2
7月は常時冷房停止
潜熱負荷への壁体吸放湿は無視

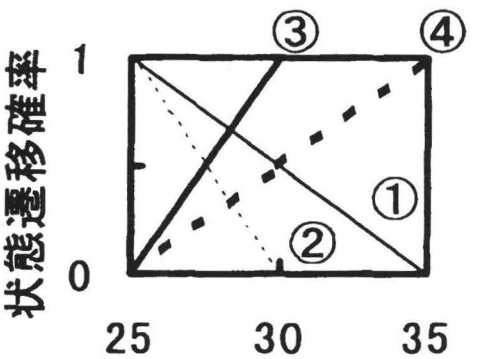
■図1 標準ケースモデル



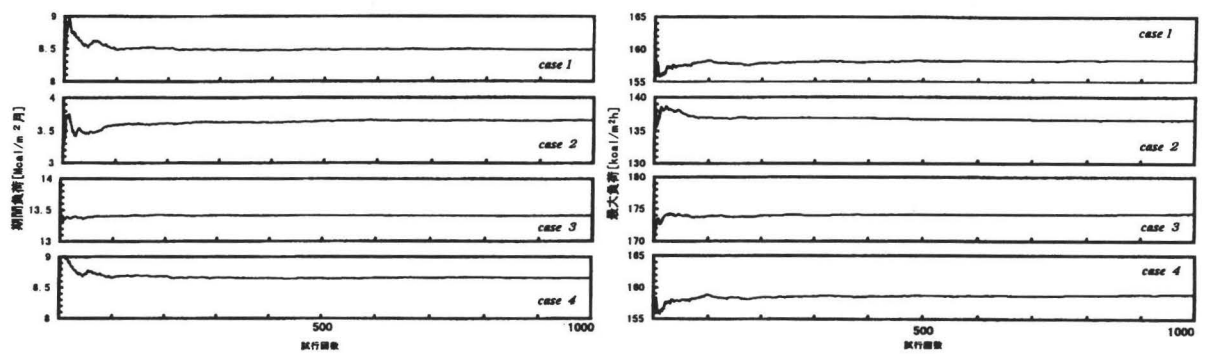

■図2 数値実験1で付与した状態遷移確率



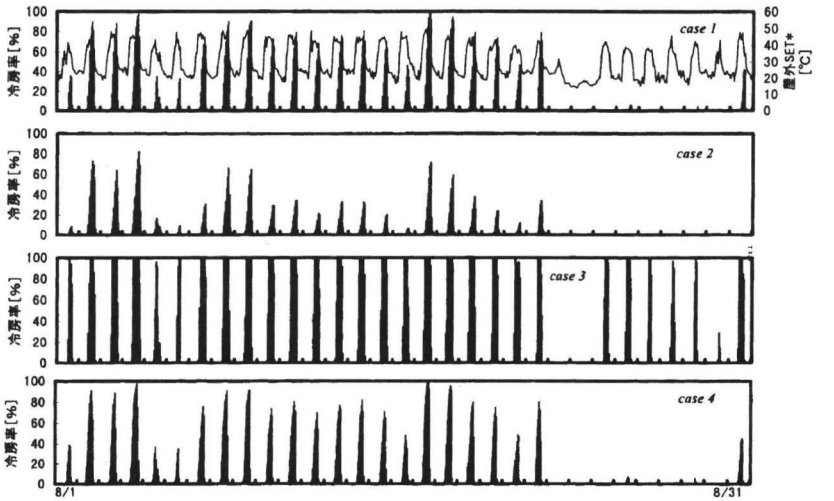

■図3 モンテカルロ法に基づく数値実験における計算フロー



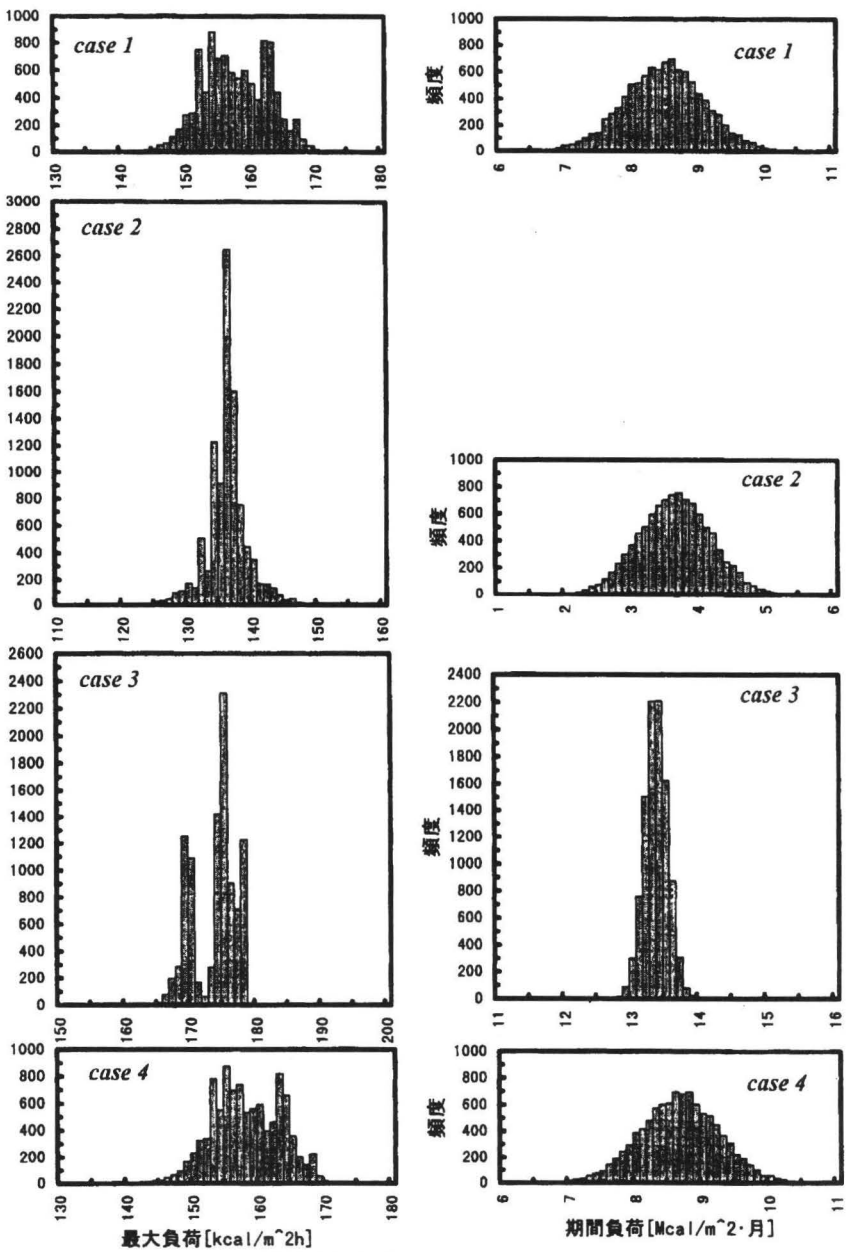

■図4 数値実験2で付与した状態遷移確率



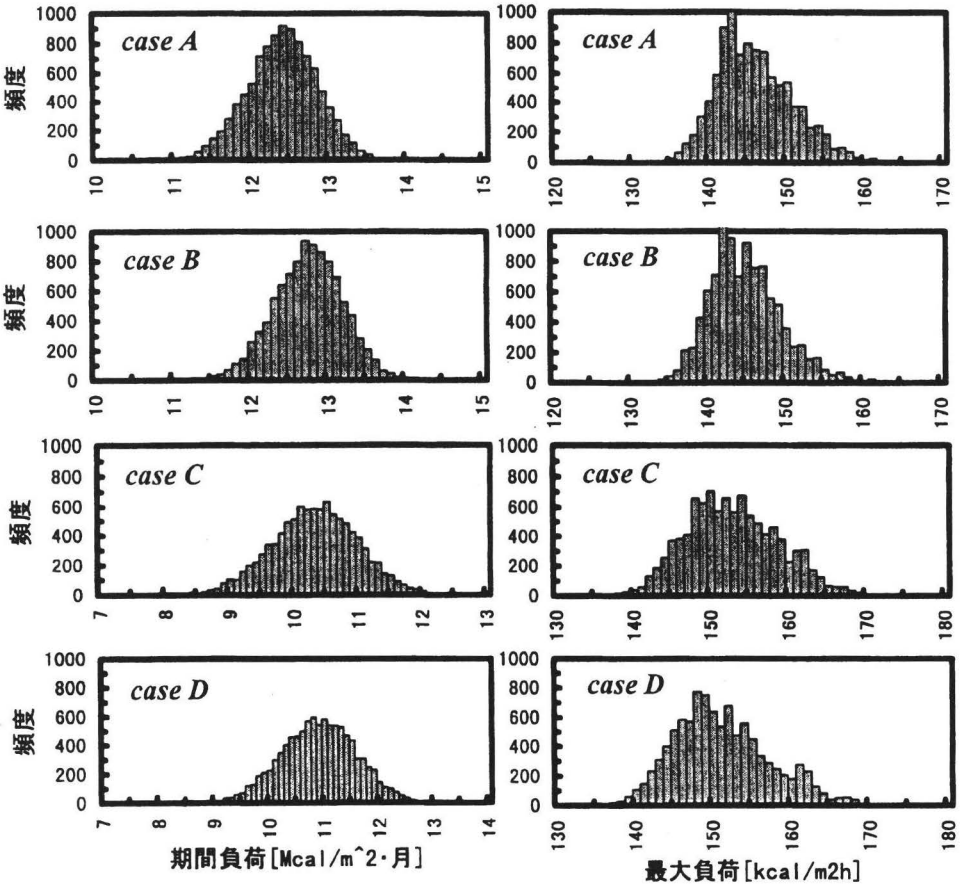

■図5 試行$10^3$までの期間負荷、最大負荷の平均値の推移（数値実験1）



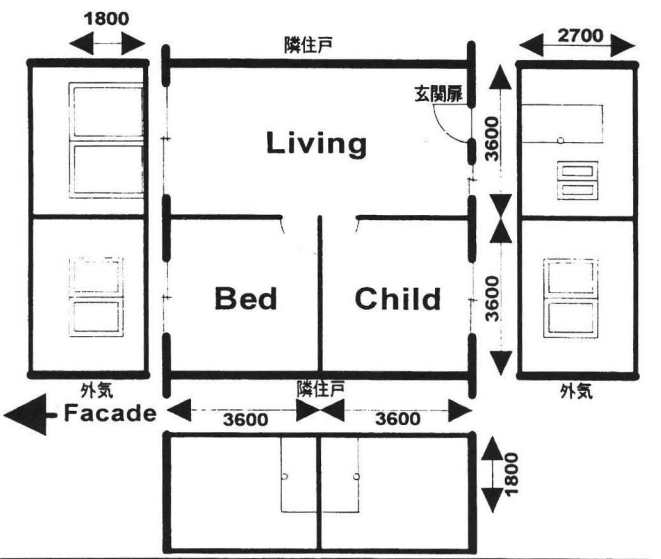

■図6　時刻別冷房率（数値実験1）




■図7　期間負荷、最大負荷発生頻度分布（数値実験1）

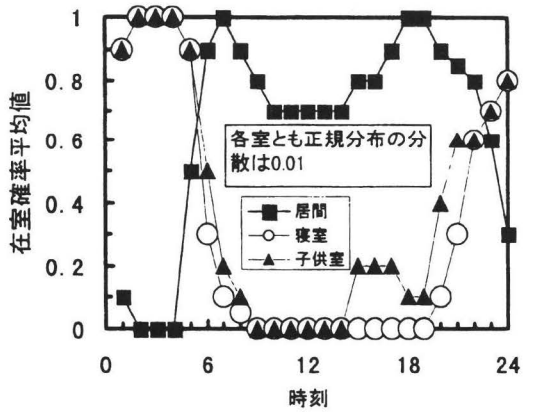



■図8　期間負荷、最大負荷発生頻度分布（数値実験2）

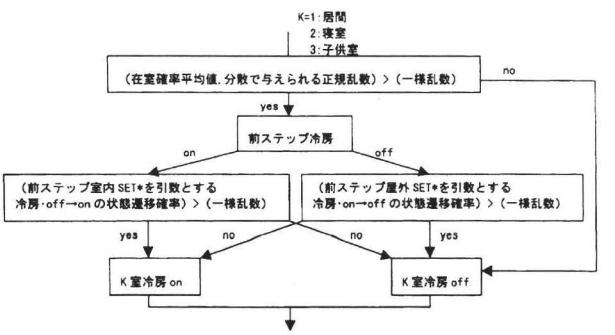



| | |
|---|---|
| 外壁 | (外気)+ﾓﾙﾀﾙ 20+ﾌｫｰﾑﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ 50+RC200+ﾌﾟﾗｽﾀ 10 |
| 内壁 | ﾌﾟﾗｽﾀ 10+RC150+ﾌﾟﾗｽﾀ 10 |
| 床・天井 | ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ 50+RC200+空気層 500+ﾌﾟﾗｽﾀ 20 |
| ガラス | 5mm 標準単層，入射角特性考慮 |
| 開口条件 | 対象室が冷房時には窓，扉は全閉，冷房停止時は全閉，ただし居間の玄関扉のみ常時閉鎖 |
| 外界条件 | 標準気象データ・福岡（7月助走） |
| 冷房設定条件 | 24℃, 60%RH |
| 隣住戸温室度条件 | 自住戸自室と同一 |
| ファザード | 南 |
| 7月の冷房発停は8月と同様の取り扱い | |

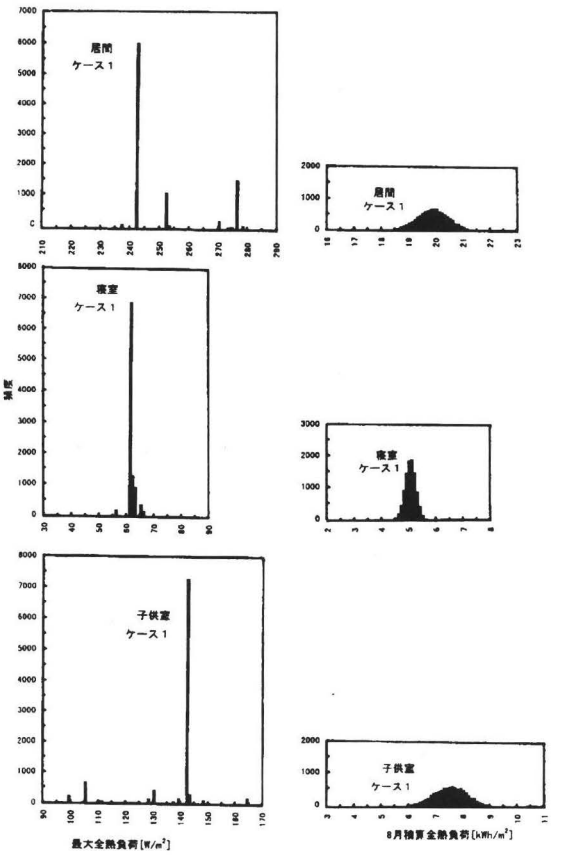
■図9　計算モデル概要



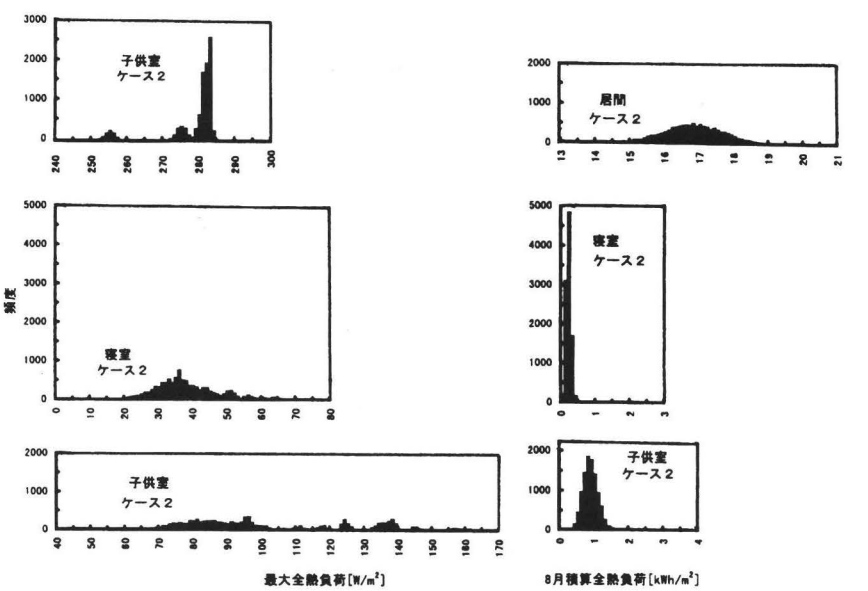

■図10　各室の在室確率平均値、分散与条件




■図11　ケース2　計算フロー




■図12　ケース1　各室最大負荷、期間負荷発生頻度




■図13　ケース2　各室最大負荷、期間負荷発生頻度

# 1—18 住宅の建築意匠・室内温熱環境・居住者の意識・ライフスタイルの整合性について

京都大学
西　森　文　佳

## 1．序論

近年、地球環境問題の深刻化に伴い、地球温暖化の原因と言われる$CO_2$の排出量削減が全世界的な課題として注目を集めている中、建築部門で誘発される$CO_2$は、日本国内での排出量の約33％を占め、さらに、内約60％が建築運用による排出量であることは注目に値する。しかし、この様な現状にも関わらず、住居面積の拡大、健康・快適性向上への要求、住宅設備の高度化・大型化といった居住性の向上に関するニーズの増大から、わが国の民生部門のエネルギー使用量は増加の一途をたどっている。よって、建築運用の内、特に住宅運用に関するエネルギー消費の削減は重大な課題であることがわかる。

これまで冬季については数多くの研究成果と、高気密・高断熱など住宅性能の向上により、省エネルギーや快適な室内環境の実現が可能となってきた。一方で、蒸暑地での軽率な断熱・気密化の促進や、住宅密集の影響などから、新たに夏季温熱環境の悪化とそれに伴う空調エネルギーの増加が問題となりつつある。夏季空調については「冷房病」なる問題や、人工空間に対する抵抗から、「差し控えたい」との意見が多く、自然通風による温熱環境の改善が最も有効な手段と考えられる。しかし、自然通風の利用には、設計段階での工夫（通風計画）が必要となるため、温熱環境に対する設計者の積極的な取り組みがなければ十分な効果があげられない。最近では、住宅密集やプライバシーの問題から自然通風の利用が難しく、設計の自由度や手軽さから人工空調に頼った設計が多く見受けられるようになった。

そこで、本研究では、夏季の自然通風による快適室内環境の実現と、空調エネルギーの削減の一つの方策として、設計段階での工夫による自然通風手段を導く。

## 2．本研究の目的・構成

通風が夏季室内温熱環境改善に大変重要であるにも関わらず、最近では住宅密集やプライバシーなどの問題からその確保が難しくなってきている。そこで、従来の‘吹抜ける風’ではなく、空気の比重量の差によって生じる‘上下間の空気流動（重力換気）’に着目する。これまで、伝統的町家や実験住宅で重力換気による温熱環境改善の効果が確認されてきた[1, 2]。本研究では、実際の住宅の吹抜け空間を居住状態で実測し、重力換気の効果を確認すると共に、重力換気を効率良く行う為のデザイン手法を導く。吹抜け空間は、近年、断熱・気密など冬季住宅性能の向上に伴い、その空間的魅力か

ら好まれる傾向にあるため、夏季温熱環境的な有効性が認められれば、設計計画上重要な空間となるものと期待される。

本研究は、重力換気の効果を確認するためのアンケート・実測調査と、それによって明らかになった重力換気に必要な設計条件に対し、有効なデザイン手法を導くための文献調査、の以上２つから構成される。

## 3．調査概要

アンケート調査：実測対象住宅に対し、1997年８月上旬（夏季)、12月中旬（冬季）の２回実施した。

夏季実測調査：対象住宅は近畿圏に建つ吹抜けを持つ戸建住宅５件で、その概要はTable. 3-1に示した。1997年８月上旬に実施し５件の重複する期間（1997年８月３～10日の８日間）を有効データとして使用した。主な実測点は、吹抜け部分の上下温度分布（FL、FL＋50、FL＋1200、CL－1000、CL－100、CL)、湿度、グローブ温度、および他居室２部屋の室温、外気温で、熱電対を用いて測定し、10分間隔で自動記録した。

実測と同時に、居住者の在室状況、開口部・間仕切りの開閉状況、空調機器使用状況の記録を依頼した。

冬季実測調査：夏季実測住宅の内【NO. 3】１件に対し、1997年12月12～17日に実施した。測定方法は夏季実測とほぼ同様である。

文献調査：過去５年間（1993～1997）の「新建築住宅特集」に掲載された住宅作品の中から、重力換気による室内温熱環境の改善を意図したものを選出した。

## 4．アンケート調査結果・考察

Table. 4-1に住宅の満足度と夏季空調使用時間を示した、デザイン面での満足度は他項目の満足度と相関しており、夏季室内温熱環境が５件中最も良好であった【NO. 5】を除く【NO. 2】【NO. 3】では、空調使用時間や実際の温熱状況に比べ居住者の評価が高い。よって、デザイン面での満足度が家全体の満足度に大きく影響し、設計計画におけるデザイン面での充実が充実が重要であることがわかった。

一方、Figure. 4（a）から、デザイン偏重により夏季室温に悪影響が表れ、逆にFigure. 4（b）から、熱的快適性を設計段階で考慮した場合には、室温にその効果が表れていることがわかる。また、夏季の空調は、光熱費や健康上の問題から差し控えが希望されており、設計段階での工夫により空調によらない自然状態での快適温熱環境の実現は、その要求や前述の改善効果から見ても重要であることがわかる。よって、デザイン面の充実に加え、温熱環境を考慮した設計の重要性が伺え、その手法の確立が必要であることがわかる。

## 5．夏季実測調査結果・考察

Table. 5-1に各住宅の全測定期間中の平均上下温度分布を示した。上昇率とは天井高の違いによる影響を取り除くため、１mごとの温度上昇を示したもので、【NO. 1】～【NO. 5】にかけてその値が低下している。つまり、順に上下温度差が解消されていることを示している。これは重力換気の効果の違いで、その詳細について以下の順次示す

【NO. 1】冬季の効果が優先された高気密・高断熱住宅の特徴的な例で、風通しが悪く排熱が行われにくいため、吹抜け上部が熱溜まりとなり、高温で上昇温度差が大きい。吹抜け上部に天窓が設けられているが、西面開口のため夏季は日射の影響が大きく、遮蔽板により閉鎖されている。よって、重力換気を期待する場合、開口面の方位に注意が必要であることがわかる。(Figure. 5-1)

【NO. 2】上部開口がなく、重力換気が期待できないため上下温度分布が大きい。屋根裏が大きいことによる断熱効果と、床材の蓄冷効果から、通風状態が悪いのに比して室温が低く抑えられている。本住宅は、重力換気の効果は得られないものの、床材の蓄冷効果から日中は換気を行わない方が低温を保持できる等、通風以外の要素が夏季室内温熱環境に大きく影響した特殊な例であった。(Figure. 5-2)

上下温度差が大きい以上２件は、上記の理由から重力換気の効果がえられなかったことから、以下３件の上下温度差の低下が、重力換気による効果であることが伺える。

【NO.3】Figure. 5-3に８／３-５の夜間の室温状況を外気温との差で示した。天窓・南面の開放が行われていた８／４夜間（０：00-５：50）の平均室温は1.3℃で、天窓が閉鎖されていた８／３、８／５両日に比べ1.1～1.2℃の室温低下が見られた。

しかし、下部開口の開放面積の変化に伴いその効果が変化し、天窓のみの開放ではほとんど効果がみられなかったことから、重力換気と風力換気の効果を併せて利用した場合にのみ効果があることがわかった。これは、東西（横長）方向に天井勾配がなく、上昇した暖気が天井付近で水平に拡散し、天窓付近に熱溜まりが集中しないためと考えられる。(Figure. 5-4)

よって、上部開口からの熱溜まりの排気を効率よく行うため、上昇暖気の集約を促す天井形状とすることが必要である。

【NO. 4】【NO. 3】で問題となった天井熱溜まりの拡散が解決され、かつ、吹抜け上部開口が常時開放可能であるため、重力換気の効果は室温の低下に表れている。(Figure. 5-5) しかし、上部開口の位置が低いため熱溜まりが解消されにくく、２階各室にその影響が見られる。日中は入口扉の開放により通風が確保されているものの、就寝時は閉鎖され、日中の残留熱が排気されないため特に高温となっている (Figure. 5-6)。

よって、上部開口の位置は熱溜まりの最頂部とし、また、熱溜まりの排気が行われにくい上階室への上昇暖気の流入を避けるため、重力換気効果を利用する範囲を明瞭にする必要がある。

【NO. 5】　Figure. 5-7に、上部換気窓の連続開放時（8／3　12：00～8／4　11：50）と連続閉鎖時（8／6）の平均上下温度分布を示した。換気窓開放時は明らかに室温低下が見られ、重力換気の効果が確認できる。本住宅は【NO. 3】【NO. 4】で問題となった天井形状や開口位置の問題が解決され、十分な重力換気効果が得られたが、換気窓の開閉が容易でないため、その効果があまり利用されていない。また、【NO. 3】も同様であったが、上部開口が天候の影響を受けやすいため、外出・就寝時は閉鎖されていることが多く、重力換気の効果が得られにくいことも問題であった。

よって、上部開口は、開閉方法や常時開放に対する工夫が必要であることがわかる。

## 6．冬季実測結果・考察

Figure. 6-1に全測定期間と暖房使用時の上下温度分布を示した。上下温度差は平均2.8℃であったが、暖房機器使用時では、平均4.8℃、最大で10.0℃と大変大きくなっている。上下温度差が大きいことの影響は、アンケートで暖房時の足下の寒さが指摘され、床暖房が希望されていることから、居住者の実感として現われている。

吹抜けをもつ大空間では、上下温度差が大きく、暖房効率も悪いため、高気密・高断熱、床暖房、空調範囲限定など、冬季温熱環境に対する配慮が必要であることがわかる。

## 7．文献調査結果・考察

夏季実測結果で明らかになった問題点から、重力換気を効率よく行う際に必要な設計条件をまとめ、その解決工夫例を文献事例から導いた。ここでは、解決策を求めるとともに、5件のみの事例的な実測結果を、今後の設計活動の参考となる一般解へと高めることを目的として調査を行った。

実際の設計活動では様々な工夫例があると考えられるが、ここでは事例から得られた工夫例を、その一例として紹介する。

1）天井形状：熱溜まりの排気を効率よく行うため上昇暖気の集約を促す屋根形状とする。

上昇暖気の集約が最も効率よく行われると予想される屋根形状をFigure. 7-1に図示した。

2）開口位置：熱溜まりの最頂部に開口を設ける。

熱溜まりの最頂部に開口を設けるにあたり、以下4点の手法がみられた。

・天窓、換気用小窓など、排気用に窓開口を設ける。

・屋根への出入口を兼ねた扉開口を利用する。

・屋根裏に開口部を設ける。この場合、天井面に暖気上昇口を設ける。

・排気用ファンを設ける。

3）開口部詳細：開口部（特に上部開口）は、常時開放が可能となるよう工夫する。

○上部排気窓の開閉手段の工夫例を以下に示す。

・ハシゴ昇降により、手動で行う。

・階段昇降により、手動で行う。この場合、以下に示す３つの手法が見られた。

／屋上、テラスへの出入口を兼ねた開口とする

／上階廊下上部に開口を設ける

／キャットウォークなど、窓開閉のために特別な足場を設ける

・電動、手動遠隔操作

・雨感知自動開閉

○外出、就寝時も常時開放可能な開口とする工夫例を、下部、上部開口に分けて示す。

・下部開口：防犯／ジャロジー窓

／中庭（外部開口閉鎖時も、中庭に対し開放可能。）

／エキスパンドメタル防犯通風戸

／通風状態の変化可能なシャッターブラインド

／ポスト兼用通風用スリット

：天候／掃き出し（滑り出し）窓

／軒の出を大きく取る

／広いパティオ空間を設ける

・上部開口：天候／ジャロジー窓

／掃き出し（滑り出し）窓

／軒の出を大きく取る

／雨感知自動閉鎖機能を装備する

／排気用ファン（風見鶏と連動し風向きにも対応する工夫）

／中庭（戸外なので上部開口に対する配慮は必要ない）

4）換気範囲：重力換気の効果を利用する範囲を明瞭にする。

○重力換気の効果を家全体で利用する場合、各室を連続した空間構成とする工夫が必要となる。その工夫例を、水平方向、上下方向に分けて以下に示す。

・水平方向／欄間（伝統的、現代住宅へ応用）設ける

／間仕切りを最小限にし、建具を引戸なども開放時の通風を妨げないよう工夫する

／壁面にパンチングメタルを設ける

／壁面に通風穴を設ける

・上下方向／床面の一部にガラリ、スノコを設ける
／天井面に通気穴を設ける
／上階床付近に通気窓を設ける

## 8・結論

アンケート・実測から、吹抜けを用いた重力換気の効果を確認し、吹抜けが居住者の要求、温熱環境的効果から、夏季の良好な室内温熱環境実現に大変有効であることがわかった。(ただし、冬の温熱環境を考慮した上で行われなければならない。)

文献調査から、重力換気を効率良く行うための設計条件を以下４点にまとめ、その工夫例を導いた。

1）熱溜まりの排気を効率よく行うため、上昇暖気の集約を促す屋根形状とする。
2）熱溜まりの最頂部に開口を設ける。
3）開口部（特に上部開口）は、常時開放が可能となるよう工夫する。
4）重力換気の効果を利用する範囲を明瞭にする。

## 参考文献


1）石田秀樹、荒谷登、佐々木隆、絵内正道：開放系住居の夏の環境特性　町家の冷気積層型の上方開放空間、日本建築学会計画系論文報告集　第408号、pp. 23-31、1990年２月。
2）村上周三、小林信行、加藤信介、赤林伸一：住宅の自然通風に関する実験的研究（その１）実測と風洞模型実験による天窓の通風効果を中心として、日本建築学会計画系論文報告集　第372号、pp. 10-20、1987年２月。
3）宮武良和、鄭華美、尾山誠、永村一雄、中根芳一、秦義一：吹抜け空間をもつ住宅の快適環境実現のための基礎的研究（その１）実測からみた天窓開閉による室内空気温度分布性状の考察、日本建築学会大会学術梗概集（北陸)、pp. 735-736、1992年８月。

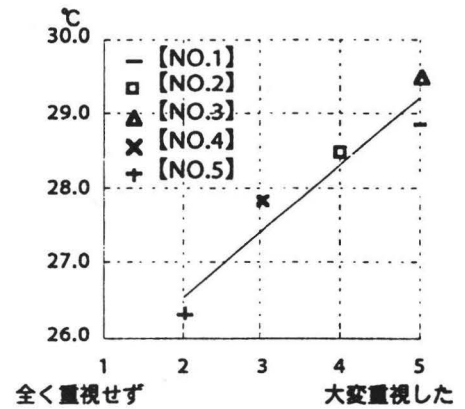
| | 【NO.1】 | 【NO.2】 | 【NO.3】 | 【NO.4】 | 【NO.5】 |
|---|---|---|---|---|---|
| 所在地 | 兵庫県<br>芦屋市 | 大阪府<br>豊中市 | 大阪府<br>豊中市 | 兵庫県<br>明石市 | 神戸市<br>北区 |
| 延床 | 271m² | 291m² | 172m² | 144m² | 120m² |
| 構造 | 2×4 | 木造在来 | RC+S造 | 在来<br>木造 | 改良在来<br>木造(OM) |
| 断熱 床 | U50 | 特になし | 特になし | G100 | U50 |
| 壁 | G100 | | | G100 | G100 |
| 屋根 | G150 | | | G150 | G250+S50 |
| 開口 | 3重 | | | | |
| 吹抜高 | 4914 | 5480 | 5330 | 7000 | 6427 |
| 家族<br>構成 | 夫婦<br>子供1 | 夫婦<br>子供2 | 夫婦<br>子供3 | 夫婦<br>子供2 | 夫婦 |

＊断熱材　U：ｳﾚﾀﾝ　G：ｸﾞﾗｽｳｰﾙ　S：ｽﾀｲﾛﾌｫｰﾑ
＊断熱材、吹抜高　単位mm

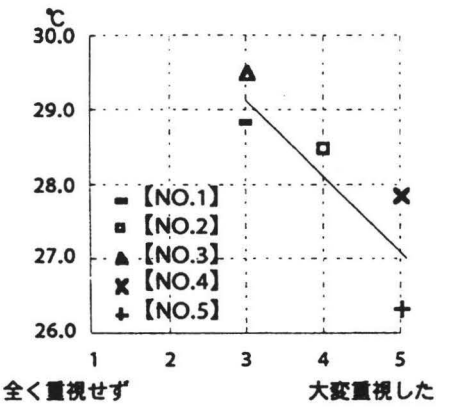
■Table.3-1　住宅概要

| | 【NO.1】 | 【NO.2】 | 【NO.3】 | 【NO.4】 | 【NO.5】 |
|---|---|---|---|---|---|
| ﾃﾞｻﾞｲﾝ面の満足度　外観 | 満足 | 満足 | 満足 | 普通 | 満足 |
| 内装 | 普通 | 満足 | 満足 | 普通 | 満足 |
| 平面計画 | やや満足 | 満足 | 満足 | 普通 | 満足 |
| 断熱・気密 | 不満 | 満足 | 満足 | やや満足 | 満足 |
| 風通し | 普通 | 普通 | 満足 | やや満足 | 満足 |
| 換気 | 普通 | 満足 | 満足 | 普通 | 満足 |
| 熱環境的立地条件 | 普通 | 満足 | 満足 | 普通 | 満足 |
| 夏季の快適性 | やや<br>不快 | かなり<br>快適 | やや<br>不快 | やや<br>不快 | かなり<br>快適 |
| 夏季空調使用時間<br>居間（時/日） | 2.9 | 6.6 | 1.6 | 2.0 | 設置<br>なし |
| 夏季空調使用時間<br>寝室(子供室)（時/日） | 1.1 | 1.0 | 2.3 | 設置<br>なし | 設置<br>なし |
| 計 | 4.0 | 7.6 | 3.9 | 2.0 | ー |

■Table.4-1　住宅の満足度




■Figure.4（a）住宅のデザイン性重視度と室温の関係

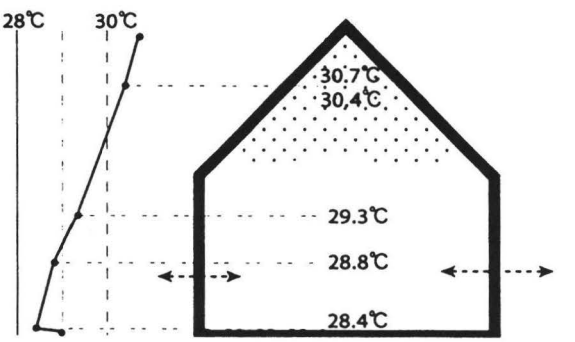



■Figure.4（b）住宅の熱的快適性重視度と室温の関係

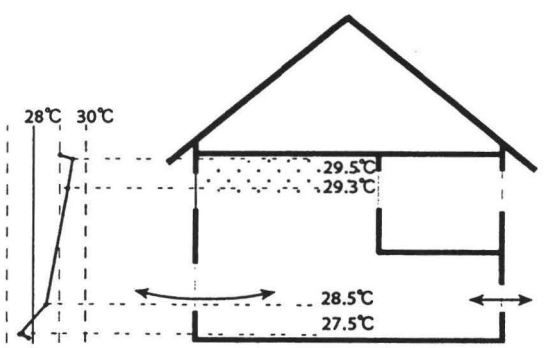
| | FL+<br>50 | FL+<br>1200 | CL-<br>100 | 上下<br>温度差 | 上昇率<br>(℃/m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 【NO.1】 | 28.4 | 28.8 | 30.7 | 2.3 | 0.48 |
| 【NO.2】 | 27.5 | 28.5 | 29.5 | 2.0 | 0.37 |
| 【NO.3】 | 29.0 | 29.5 | 30.7 | 1.7 | 0.33 |
| 【NO.4】 | 27.5 | 27.9 | 29.2 | 1.7 | 0.25 |
| 【NO.5】 | 25.6 | 26.3 | 27.1 | 1.5 | 0.24 |

＊　特に表示のない項目の単位は（℃）
＊　上下温度差は〔CL-100〕-〔FL+50〕

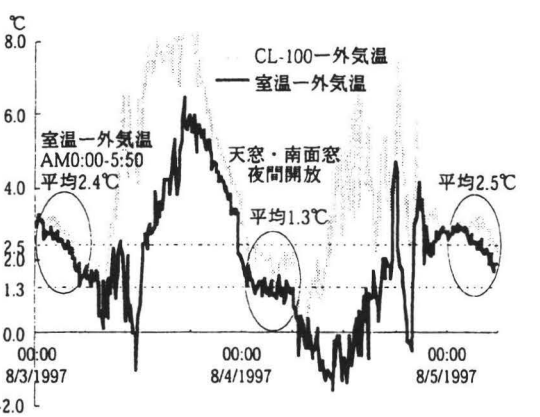
■Table.5-1　平均上下温度分布



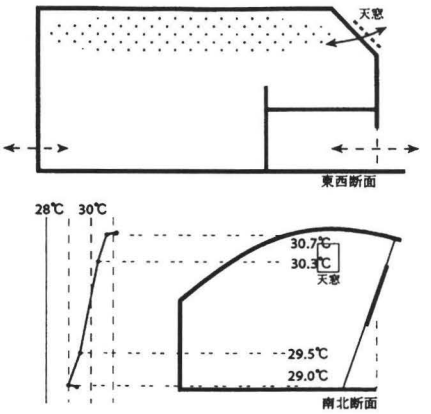

■Figure.5-1【NO.1】吹抜け概略図と平均上下温度分布



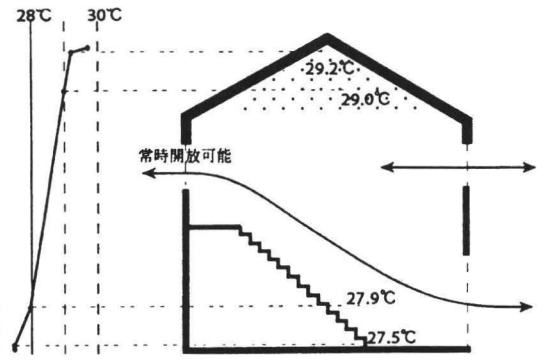

■Figure.5-2【NO.2】吹抜け概略図と平均上下温度分布



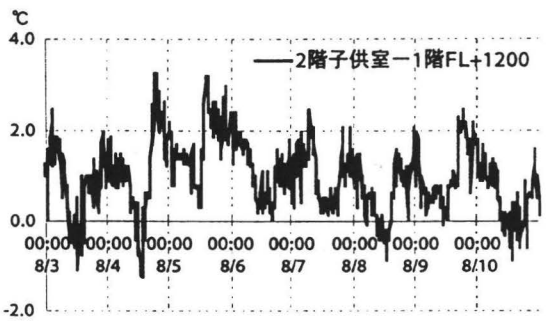

■Figure.5-3【NO.3】天窓開放時の重力換気による室温変動



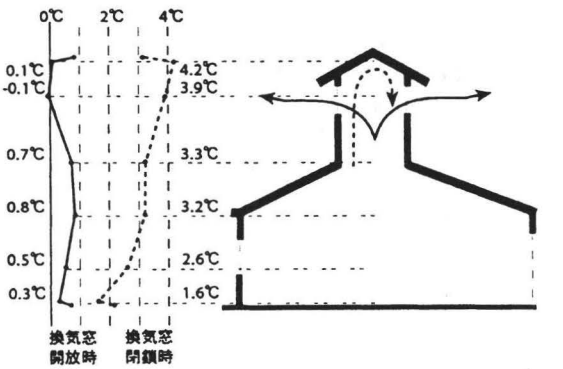

■Figure.5-4【NO.3】吹抜け概略図と平均上下温度分布



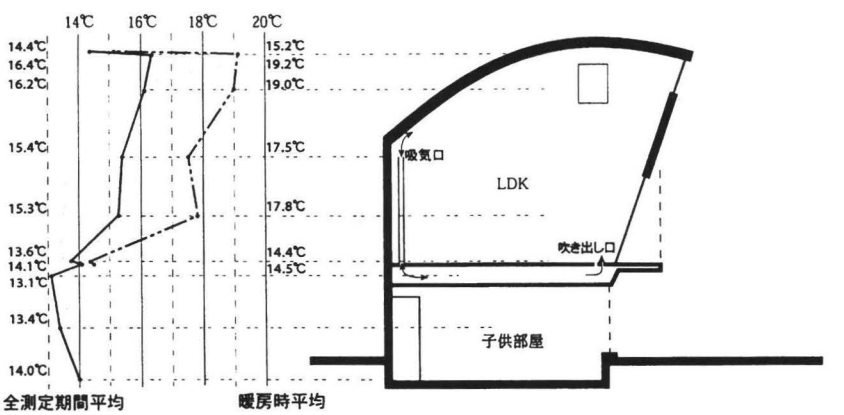

■Figure.5-5【NO.4】吹抜け概略図と平均上下温度分布



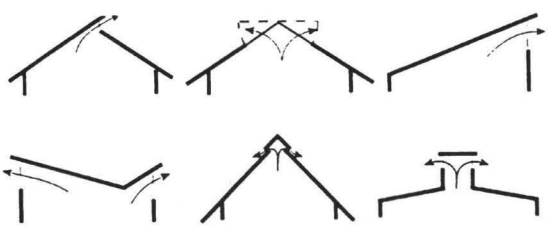

■Figure.5-6【NO.4】全測定期間　上下階温度差




■Figure.5-7【NO.5】換気窓開放・閉鎖時の平均上下温度分布




■Figure.6-1【NO.3】平均上下温度分布（全測定期間平均・暖房時平均）



■Figure.7-1　重力換気に適した屋根形状例

# 1—19　居住環境におけるカビ(真菌)の動態調査研究

お茶の水女子大学大学院　人間文化研究科
博士後期課程人間環境科学専攻　相　原　真　紀

## はじめに

最近の住環境は建築技術の発展やライフスタイルの変化などに伴い、真菌（カビ）が発生しやすい状況にある。真菌はいったん発生すると全滅させることは極めて困難であり、人体・建築物などにも悪影響を及ぼしている。

例えば、真菌はアトピー性皮膚炎、喘息、鼻炎などのアレルギー性疾患や、肺炎の一因に挙げられている。特にアレルギー性疾患は国民病とも言われ、今後さらに真菌を含めたアレルゲンに対する関心は増大すると予想される。

また建築材料である木材はもとより、アルミニウムなどの金属やコンクリートなども真菌が発生し、建築材料の基質の劣化・腐敗の原因となっている。このようにカビが及ぼす影響は無視できないほどに拡大し、この傾向はますます進んでいくと考えられる。

そこで本研究は、真菌による汚染実態を把握するために、住環境における空中真菌および付着真菌について動態調査を行った。

空中真菌についてはこれまでにも報告がなされてきたが、その多くは落下法により測定されたものであり、必ずしも十分な測定法が確立されてない。本研究では、フィルターを用いたエアーサンプラーによって真菌を測定することにより、密度分布が究明されるか検討した。さらに、その成績から真菌の粒径とフィルター口径の相関性についても検討した。

付着真菌については、1996年から開始している調査を継続し、真菌の月別推移、優占種の確認および発生箇所の特定を行った。

## 研究対象および方法

### 1．空中真菌

ハイボリュームアンダーセンサンプラーを用いて調査を行った。

ハイボリュームアンダーセンサンプラーはフィルターの口径サイズにより１～４層とバックアップフィルター（BF）の５段で構成されている（図１）。フィルターの口径サイズは１段目7μm以上、２段目3.3～7μm、３段目2～3.3μm、４段目1.1～2μm、BF1.1μm以下である。これを560L/minの吸引速度で７日間連続作動させ、吸入空気中の粒子を捕集した。ただし、BFについては１日ごとにフィルターを交換した。

測定場所は北海道、東京都、神奈川県の３地区とし、北海道では４回、東京では２回、神奈川では３回測定を行った。

回収したフィルターは、滅菌水と混ぜ十分混和した後、段階的に希釈し、その0.1mlを真菌用培地であるクロラムフェニコール添加ポテトデキストロース寒天（PDA）培地およびM40Y寒天培地に塗抹した。これを25℃、１週間培養し、生菌数（CFU）の測定ならびに同定を行った。

### ２．付着真菌

神奈川県横浜市内の鉄筋コンクリート造２階建て賃貸集合住宅の１室において、壁や床などに付着する真菌（付着真菌）の調査を行った。この住宅は1987年竣工、延べ床面積49m$^2$、居住者は社会人女性１名である。間取りを図２に示す。

調査は毎月１回行った。なお、本調査は1996年６月から継続して行っているものである。

室内106ヶ所の測定点（表１）において、10cm×10cmの範囲を滅菌スタンプスプレードで拭き取った。これをPDA培地、M40Y培地に塗抹し、25℃で一週間培養後、生菌数の測定ならびに同定を行った。

また室内の温度・湿度をＴ型熱電対、湿度センサーにより測定し、データロガーで30分ごとに自動記録した。

### ３．基礎実験

１）発育温度・水分活性試験

水分活性0.75～0.97に調製した10種の培地に、調査住宅由来の真菌を接種し、13、25、36、42℃で培養し、経時的に集落形成の有無ならびに集落の直径を計測した。

２）真菌細胞活性試験

直径８mmの滅菌ろ紙の中央部に胞子懸濁液0.1mlを接種し、13、25、36、42℃の恒温器内に放置した。このろ紙を一定期間ごとに取り出し、滅菌水と混ぜ、段階的に希釈した0.1mlをPDA培地に塗抹した。これを25℃で１週間培養後、（CGU）の測定を行い、細胞活性の変化をみた。

## 結果および考察

### １．空中真菌

ハイボリュームアンダーセンサンプラーのよる検査結果を表２～４にまとめた。表は各地域ごとにまとめ、フィルター１～４段、BFの順に成績を示している。真菌については、糸状菌（カビ）と酵母（Yeasts）に分け、それぞれの生菌数を表示した。主な真菌には、各フィルターで検出の明らかに多い菌種のみを記載した。

北海道における成績は表２のとおりである。糸状菌のCFU/gは$10^3$～$10^4$であり、フィルターに依存せずほぼ一定であった。BFでは、ほとんど$10^3$/g台かそれ以下であり、菌数としては著しく少なか

った。

東京での結果（表３）をみると、フィルターの口径サイズが大きいほど菌数が多かった。すなわち、口径サイズの大きいほど捕集性が高く、１段目では$10^3$/gであったのに対し、２、３、４段になるにつれて$10^4$、$10^3$/gと減少した。このことから明らかにフィルターの口径サイズに依存して真菌が捕集されていた。BFでは、ほとんど$10^2$/g台かそれ以下であり、明らかに菌数は少なかった。

神奈川県における結果（表４）は、東京における結果とほぼ同様であった。すなわち１段目から４段目までのCFUは$10^5$～$10^3$/gとなり、フィルター口径の大きいものほど捕集率は高かった。BFでの真菌捕集は少なく、この結果は、北海道、東京、神奈川とも同じ傾向にあった。

また、ハイボリュームアンダーセンサンプラーは上段から下段にかけて口径が小さくなることから、真菌が各層のフィルターのどこまで捕集されるかが重要であり、その点について検討した。つまり、フィルターの１段目は7μm以上、２段目3.3～7μm、３段目2～3.3μmである。一方、真菌細胞の大きさは一般に小さいものでPenicilliumなど3μm前後、単細胞のAspergillusは4～6μm、Cladosporiumは5～8μmである。さらに大型の真菌細胞では、多細胞性となり、Fusariumの10～30μm、Alternaria、Curvulariaの10～50μmとなる。このようにフィルターの口径により理論的には３段目あたりまでは真菌捕集されるが、それ以下の口径フィルターでは捕集されないことになる（図３）。実際、１～３段での真菌捕集は１、２、３段の順に多く、$10^5$/gから$10^3$～$10^4$/gと、真菌は小口径フィルターになるにつれて通過不可能になっていた。しかしながら、４段目でも捕集が確認され、さらに下層のBFでもCFUこそ少ないものの同じ結果であった。

### ２．付着真菌

付着真菌は、測定点による明らかな差が見られた。特に収納、押入れ、洗面台下、ソファ下、畳下、洗面台下など、閉鎖的な空間において特徴的な分布がみられた。

例えば、ソファ下ではCladosporium（クロカビ）が検出真菌の約50％を占めた（図４）。また、菌数の月別推移をみると、春から夏にかけて減少し、秋以降増加する傾向がみられた（図５）が、1997年の調査においてもこれとほぼ同様な傾向を示した。

このように特徴的な分布がみられた箇所は、どこも相対湿度が高くなっている傾向がみられ、ソファ下では室内空気の相対湿度と比べ約10％高かった。また、夏に検出数が少なかった原因としては、温度の影響が考えられる。真菌の発育温度・水分活性に関する基礎実験の結果から、真菌は30℃以上になると活性が低下するものが多く、特にCladosporiumは高温に弱いことがわかった。そのため、ソファ下のような傾向を示したものと思われる。

## まとめ

空中真菌については、今回ハイボリュームアンダーセンサンプラーを用いて調査を行ったが、フィルターの口径サイズと捕集真菌とが必ずしも一致するとはいえなかった。このような結果は、サンプ

ラーの構造的特性によるものかあるいはサンプリング後のフィルター汚染によるものか今後明らかにする必要がある。

また、本サンプラーでは真菌細胞を560L/minという非常に高流速下に１週間という長時間さらすことになる。そのため細胞が死んでしまうという可能性も考えられる。そこで短時間の捕集やローボリュームサンプラーでの結果をあわせて比較する必要がある。

ローボリュームについては調査をはじめた段階である。ローボリュームアンダーセンサンプラーはフィルターの口径サイズにより３段で構成されており、フィルターの口径サイズは１段目10μm以上、２段目2.5～10μm、３段目2.5μm以下である。これを流速３L/minで任意時間作動させる。この結果をハイボリュームの結果と照らし合わせ、比較検討し、信頼性の高いデータを得たいと考えている。

付着真菌については、２年半にわたる貴重なデータが得られた。この調査により、空気の動きが少ない閉鎖的な空間で菌数が多く、しかも優占種が存在することが確認された。その優占種はその箇所の温・湿度環境との相関がみられた。

一般に雨が多く高湿となる梅雨の時期にカビが発生するというイメージが強いが、本調査では秋以降増加するという傾向を示した。そのため、梅雨以外の時期においても注意が必要であるといえる。

さらに真菌細胞活性試験から、貧栄養、低水分の状態でも25℃以下では比較的長期間活性維持をしていることがわかった。そのため目視による真菌の発生が認められない場合でも、真菌は胞子の状態で存在し続け、湿度の上昇や結露などなんらかのきっかけで大量発生する危険性があることが示唆された。

現在、これまでの動態調査をもとに実験を行っている。特に本調査で最も頻繁に分離された真菌の１つであり、一般の住宅においても風呂場のタイルの目地や台所などでよくみられるCladosporium（クロカビ）を研究対象とし、住環境における防カビ対策上の基礎データを得たいと考えている。

## 研究発表等

相原真紀、田中辰明、李憲俊、庄司麻子、中西礼子：
　居住環境における真菌の消長とその環境要因、
　第16回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会（1998.4、東京）
相原真紀、田中辰明、高鳥浩介、庄司麻子、中西礼子：
　居住環境に付着する真菌の年内変動、防菌防黴学会（1998.5、東京）
中西礼子、田中辰明、高鳥浩介、庄司麻子、相原真紀：
　居住環境の微気象に影響される真菌分布について、防菌防黴学会（1998.5、東京）
相原真紀、田中辰明、中西礼子：居住環境における好湿性真菌の推移、
　日本家政学会第50回大会研究発表（1998.5、東京）
相原真紀、田中辰明、李憲俊、庄司麻子、中西礼子：

集合住宅での付着真菌の分布および分離真菌の発育生理、

平成10年度空気調和・衛生工学会学術講演会（1998.8、東京）

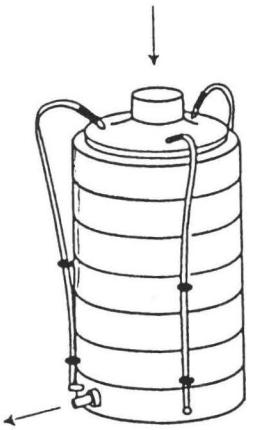
相原真紀、田中辰明、高鳥浩介、李憲俊、庄司麻子、中西礼子：

住環境にみるCladosporiumの種分布、防菌防黴学会（1999.5、大阪）

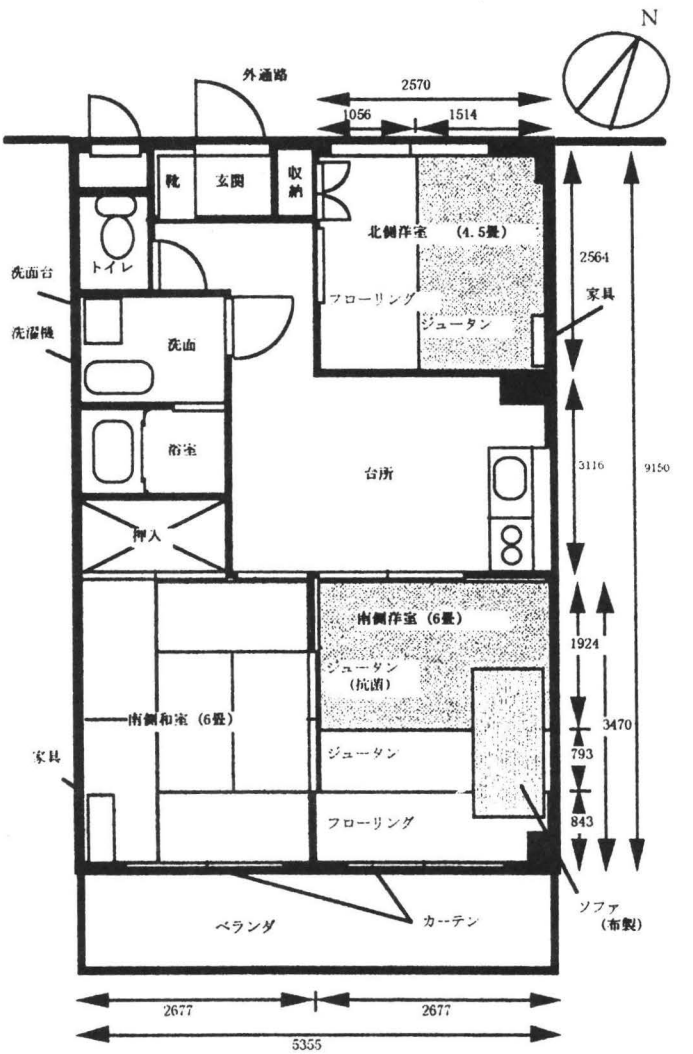
相原真紀、田中辰明、高鳥浩介、李憲俊、庄司麻子、中西礼子：

住宅にみる付着真菌とそれに及ぼす温度・湿度の影響、

空気調和・衛生工学会研究論文（査読中）



■図1　ハイボリュームアンダーセンサンプラー




■図2　調査住宅の間取り

| 部屋 | 測定場所 | 位置 |
|---|---|---|
| 北側洋室（4.5畳） | フローリング | 北 |
| | | 中央 |
| | | 南 |
| | ジュータン | 北 |
| | | 中央 |
| | | 南 |
| | 外廊下側壁 | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 東側壁（中央） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 東側壁（家具裏） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 収納 | 下 |
| | | 横 |
| | 窓 | 上 |
| | | 下 |
| | カーテン | 上 |
| | | 下 |
| 玄関～台所 | 玄関床 | 洋室側 |
| | | 中央 |
| | | トイレ側 |
| | 玄関～台所床 | |
| | 台所床 | 北東 |
| | | 北西 |
| | | 中央 |
| | | 南東 |
| | | 南西 |
| | 流し下 | |
| | 戸棚 | |
| | 南洋室側壁 | 上 |
| | | 下 |
| | 西側壁（中央） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 換気扇 | |
| トイレ | 床 | タンク下 |
| | 北側壁 | 上 |
| | | 下 |
| | 南側壁 | 上 |
| | | 下 |
| | 換気扇 | |
| | タンク裏 | |
| 洗面 | 床 | |
| | 洗面台下 | |
| | 洗濯機裏側壁 | |
| | 北側壁 | 上 |
| | | 下 |
| | 換気扇 | |
| エアコン | フィン | |
| | フィルター | |
| | 吹き出し口 | |

| 部屋 | 測定場所 | 位置 |
|---|---|---|
| 浴室 | ドア | 上 |
| | | 下 |
| | 南側壁 | 上 |
| | | 下 |
| | 西側壁 | 上 |
| | | 下 |
| | 天井 | 北西 |
| | | 中央 |
| | | 南東 |
| | 換気扇 | |
| 南側洋室（6畳） | ジュータン（抗菌） | 東 |
| | | 西 |
| | ジュータン | 東 |
| | | 西 |
| | フローリング | 東 |
| | | 西 |
| | ソファ下 | |
| | 東側壁（北側） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 東側壁（南側） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 窓 | 上 |
| | | 下 |
| | カーテン | 上 |
| | | 下 |
| 南側和室（6畳） | 畳 | 北東 |
| | | 北西 |
| | | 東 |
| | | 中央 |
| | | 西 |
| | | 南東 |
| | | 南西 |
| | | 家具裏 |
| | 南洋室側壁（北側） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 南洋室側壁（南側） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 西側壁（中央） | 上 |
| | | 中央 |
| | | 下 |
| | 押入れ | 上 |
| | | 下 |
| | 窓 | 上 |
| | | 下 |
| | カーテン | 上 |
| | | 下 |
| | 畳 | 裏面 |
| | | 床面 |

■表1　付着真菌の測定点

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5603 | 26.2 | $8.0\times10^2$ | <10 | $5.4\times10^3$ | <6.8×10 | |
| 2 | 5603 | 7.9 | $1.2\times10^3$ | <10 | $2.7\times10^4$ | $<2.3\times10^2$ | *Eurotium, Aureobasidium* |
| 3 | 5603 | 5.2 | $3.2\times10^2$ | $7.2\times10^2$ | $1.1\times10^4$ | $2.5\times10^4$ | *Eurotium* |
| 4 | 5603 | 3.7 | $1.6\times10^2$ | $1.6\times10^2$ | $7.6\times10^3$ | $7.6\times10^3$ | |
| BF平均 | 800 | 30.5 | 8.3×10 | 1.1×10 | $4.1\times10^3$ | $5.0\times10^2$ | |
| B1 | 800 | 33.8 | 6.4×10 | <10 | $2.4\times10^3$ | $<3.7\times10^2$ | |
| B2 | 800 | 31.3 | 8.0×10 | <10 | $3.2\times10^3$ | $<4.0\times10^2$ | |
| B3 | 800 | 25.0 | $1.6\times10^2$ | <10 | $8.0\times10^3$ | $<5.0\times10^2$ | |
| B4 | 800 | 20.0 | 8.0×10 | <10 | $5.0\times10^3$ | $<6.3\times10^2$ | |
| B5 | 800 | 56.3 | 4.8×10 | 1.6×10 | $1.1\times10^3$ | $3.6\times10^2$ | |
| B6 | 800 | 16.3 | 6.4×10 | <10 | $4.9\times10^3$ | $<7.7\times10^2$ | |

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5673 | 55.0 | $2.4\times10^3$ | 8.0×10 | $7.7\times10^3$ | $2.6\times10^2$ | *Eurotium, Penicillium* |
| 2 | 5673 | 12.2 | $2.4\times10^2$ | $4.0\times10^2$ | $3.5\times10^3$ | $5.8\times10^3$ | *Eurotium* |
| 3 | 5673 | 6.6 | $1.6\times10^2$ | 8.0×10 | $4.3\times10^3$ | $2.2\times10^3$ | |
| 4 | 5673 | 6.2 | 8.0×10 | $1.6\times10^2$ | $2.3\times10^3$ | $4.6\times10^3$ | |
| BF平均 | 805 | 34.1 | 7.8×10 | 1.5×10 | $3.0\times10^3$ | $6.1\times10^2$ | |
| B1 | 805 | 37.3 | $1.3\times10^2$ | <10 | $4.2\times10^3$ | $<3.3\times10^2$ | |
| B2 | 805 | 42.2 | 4.8×10 | 1.6×10 | $1.4\times10^3$ | $4.7\times10^2$ | |
| B3 | 805 | 23.6 | 8.0×10 | 3.2×10 | $4.2\times10^3$ | $1.7\times10^3$ | |
| B4 | 805 | 34.8 | 4.8×10 | 1.6×10 | $1.7\times10^3$ | $5.7\times10^2$ | |
| B5 | 805 | 44.7 | 8.0×10 | <10 | $2.2\times10^3$ | $<2.8\times10^2$ | |
| B6 | 805 | 32.3 | 8.0×10 | <10 | $3.1\times10^3$ | $<3.9\times10^2$ | |
| B7 | 805 | 23.6 | 8.0×10 | <10 | $4.2\times10^3$ | $<5.3\times10^2$ | |

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5654 | 9.7 | $1.6\times10^3$ | <10 | $2.9\times10^4$ | $<1.8\times10^2$ | *Eurotium* |
| 2 | 5654 | 4.2 | $9.6\times10^2$ | <10 | $4.0\times10^4$ | $<4.2\times10^2$ | *Eurotium* |
| 3 | 5654 | 3.5 | $2.4\times10^2$ | <10 | $1.2\times10^4$ | $<5.1\times10^2$ | *Phoma* |
| 4 | 5654 | 2.1 | $4.0\times10^2$ | 8.0×10 | $3.3\times10^4$ | $6.7\times10^3$ | *Eurotium* |
| BF平均 | 808 | 21.5 | 4.7×10 | <10 | $3.0\times10^3$ | $<7.2\times10^2$ | |
| B1 | 808 | 32.2 | 4.8×10 | <10 | $1.8\times10^3$ | $<3.8\times10^2$ | |
| B2 | 808 | 21.0 | 3.2×10 | <10 | $1.9\times10^3$ | $<5.9\times10^2$ | |
| B3 | 808 | 9.9 | 4.8×10 | <10 | $6.0\times10^3$ | $<1.3\times10^3$ | |
| B4 | 808 | 19.8 | 8.0×10 | <10 | $5.0\times10^3$ | $<6.3\times10^2$ | |
| B5 | 808 | 34.7 | 6.4×10 | <10 | $2.3\times10^3$ | $<3.6\times10^2$ | |
| B6 | 808 | 11.1 | <10 | <10 | $<1.1\times10^3$ | $<1.1\times10^3$ | |

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5688 | 18.1 | $4.0\times10^3$ | <10 | $3.9\times10^4$ | <9.7×10 | *Eurotium* |
| 2 | 5688 | 7.4 | $1.2\times10^3$ | <10 | $2.9\times10^4$ | $<2.3\times10^2$ | *Eurotium, Cladosporium* |
| 3 | 5688 | 4.0 | $9.6\times10^2$ | $2.4\times10^2$ | $4.2\times10^4$ | $1.0\times10^4$ | *Eurotium* |
| 4 | 5688 | 4.6 | $6.4\times10^2$ | <10 | $2.5\times10^4$ | $<3.8\times10^2$ | *Eurotium* |
| BF平均 | 813 | 24.9 | 8.2×10 | 1.3×10 | $4.7\times10^3$ | $<7.1\times10^2$ | |
| B1 | 813 | 22.1 | 9.6×10 | <10 | $5.3\times10^3$ | $<5.6\times10^2$ | |
| B2 | 813 | 303.8 | 8.0×10 | <10 | $3.2\times10^2$ | $<4.2\times10^2$ | |
| B3 | 813 | 17.2 | $1.4\times10^2$ | <10 | $1.0\times10^4$ | $<7.2\times10^2$ | *Penicillium* |
| B4 | 813 | 22.1 | 8.0×10 | <10 | $4.5\times10^3$ | $<5.6\times10^2$ | |
| B5 | 813 | 22.1 | 8.0×10 | <10 | $4.5\times10^3$ | $<5.6\times10^2$ | *Penicillium* |
| B6 | 813 | 20.9 | 6.4×10 | 3.2×10 | $3.8\times10^3$ | $1.9\times10^3$ | |
| B7 | 813 | 40.6 | 3.2×10 | <10 | $9.7\times10^3$ | $<3.0\times10^2$ | |

■表2　北海道における成績

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5740.372 | 10.0 | $1.8\times10^4$ | $1.6\times10^2$ | $3.1\times10^5$ | $2.8\times10^3$ | *Cladosporium, Penicillium, Eurotium, Curvularia* |
| 2 | 5740.372 | 4.8 | $2.2\times10^3$ | $2.4\times10^2$ | $7.8\times10^4$ | $8.7\times10^3$ | *Cladosporium, Penicillium, Eurotium, A.versicolor* |
| 3 | 5740.372 | 4.4 | $8.8\times10^2$ | <10 | $3.5\times10^4$ | $<4.0\times10^2$ | *Cladosporium, Penicillium* |
| 4 | 5740.372 | 6.2 | $2.4\times10^2$ | <10 | $6.7\times10^3$ | $<2.8\times10^2$ | |
| BF平均 | 820.053 | 27.0 | $1.4\times10$ | <10 | $9.3\times10^2$ | $<5.3\times10^2$ | |
| B1 | 822.964 | 21.3 | <10 | <10 | $<5.7\times10^2$ | $<5.7\times10^2$ | |
| B2 | 809.380 | 24.6 | <10 | <10 | $<5.0\times10^2$ | $<5.0\times10^2$ | |
| B3 | 816.738 | 38.0 | <10 | <10 | $<3.2\times10^2$ | $<3.2\times10^2$ | |
| B4 | 825.228 | 35.1 | <10 | <10 | $<3.5\times10^2$ | $<3.5\times10^2$ | |
| B5 | 612.978 | 30.7 | $1.6\times10$ | <10 | $8.5\times10^2$ | $<5.3\times10^2$ | |
| B6 | 1038.044 | 28.4 | <10 | <10 | $<3.4\times10^2$ | $<3.4\times10^2$ | |
| B7 | 815.040 | 10.9 | $3.2\times10$ | <10 | $3.6\times10^3$ | $<1.1\times10^3$ | |

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5730.016 | 5.1 | $6.0\times10^3$ | <10 | $1.3\times10^5$ | $<3.4\times10^2$ | ◎*Cladosporium, Alternaria, Penicillium, Botrytis, Arthrinium* |
| 2 | 5730.016 | 2.9 | $1.3\times10^3$ | <10 | $4.5\times10^4$ | $<6.0\times10^2$ | *Penicillium, Cladosporium, Arthrinium, A.versicolor* |
| 3 | 5730.016 | 5.0 | $4.0\times10^2$ | $8.0\times10$ | $2.4\times10^4$ | $4.8\times10^3$ | *Penicillium* |
| 4 | 5730.016 | 8.1 | <10 | <10 | $<2.2\times10^2$ | $<2.2\times10^2$ | |
| BF平均 | 814.717 | 24.2 | $1.4\times10$ | <10 | $1.1\times10^3$ | $<6.2\times10^2$ | |
| B1 | 708.632 | 27.2 | <10 | <10 | $<5.2\times10^2$ | $<5.2\times10^2$ | |
| B2 | 785.042 | 20.4 | <10 | <10 | $<6.2\times10^2$ | $<6.2\times10^2$ | |
| B3 | 795.796 | 19.7 | <10 | <10 | $<6.4\times10^2$ | $<6.4\times10^2$ | |
| B4 | 949.182 | 28.1 | <10 | <10 | $<3.8\times10^2$ | $<3.8\times10^2$ | |
| B5 | 868.810 | 33.5 | <10 | <10 | $<3.4\times10^2$ | $<3.4\times10^2$ | |
| B6 | 740.328 | 32.4 | $1.6\times10$ | <10 | $6.7\times10^2$ | $<4.2\times10^2$ | |
| B7 | 855.226 | 8.4 | $3.2\times10$ | <10 | $4.5\times10^3$ | $<1.4\times10^3$ | |

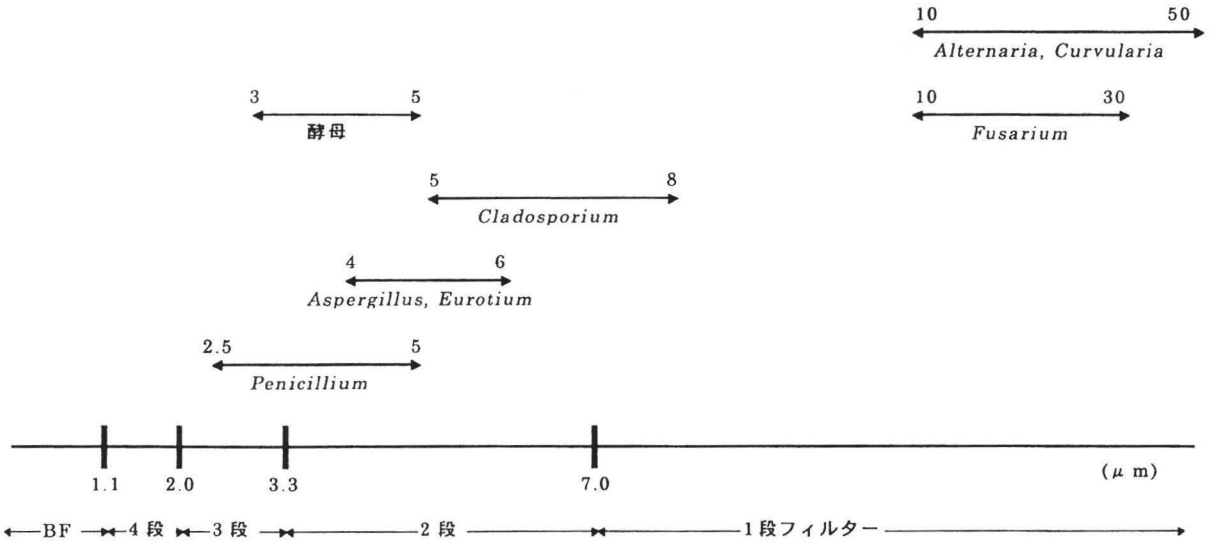
■表3　東京都における成績　　◎特に多い

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5699.213 | 18.8 | $6.8\times10^4$ | ＜10 | $6.4\times10^5$ | ＜$9.3\times10$ | ◎*Cladosporium, Penicillium, Alternaria, Trichoderma, Epicoccum, Fusarium, A.niger* |
| 2 | 5699.213 | 9.0 | $4.2\times10^3$ | $3.2\times10^2$ | $8.1\times10^4$ | $6.2\times10^3$ | ◎*Cladosporium, Penicillium, Alternaria* |
| 3 | 5699.213 | 6.6 | $1.3\times10^3$ | ＜10 | $3.4\times10^4$ | ＜$2.7\times10^2$ | *Alternaria, Cladosporium* |
| 4 | 5699.213 | 6.8 | $4.8\times10^2$ | ＜10 | $1.2\times10^4$ | ＜$2.6\times10^2$ | |
| BF平均 | 814.173 | 46.2 | $6.4\times10$ | ＜10 | $2.3\times10^3$ | ＜$3.1\times10^2$ | |
| B1 | 812.210 | 80.6 | $1.6\times10$ | ＜10 | $2.4\times10^2$ | ＜$1.5\times10^2$ | |
| B2 | 822.255 | 44.4 | $3.2\times10$ | ＜10 | $8.7\times10^2$ | ＜$2.7\times10^2$ | |
| B3 | 815.040 | 33.0 | $2.4\times10^2$ | ＜10 | $8.9\times10^3$ | ＜$3.7\times10^2$ | *Penicillium,Alternaria* |
| B4 | 810.810 | 33.2 | $9.6\times10$ | ＜10 | $3.6\times10^3$ | ＜$3.7\times10^2$ | |
| B5 | 812.210 | 37.2 | $1.6\times10$ | ＜10 | $5.3\times10^2$ | ＜$3.3\times10^2$ | |
| B6 | 810.775 | 27.2 | $4.8\times10$ | ＜10 | $2.2\times10^3$ | ＜$4.5\times10^2$ | |
| B7 | 815.913 | 68.1 | ＜10 | ＜10 | ＜$1.8\times10^2$ | ＜$1.8\times10^2$ | |

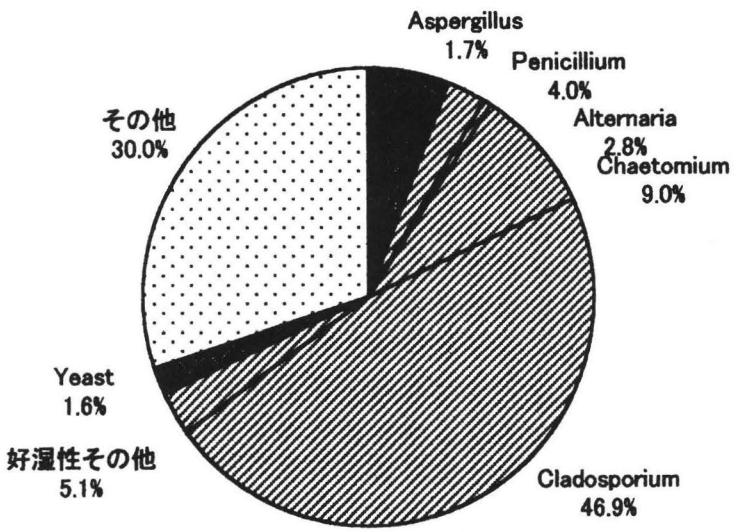
| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5648.513 | 27.0 | $9.6\times10^3$ | ＜10 | $6.3\times10^4$ | ＜$6.6\times10$ | *Cladosporium, Penicillium* |
| 2 | 5648.513 | 10.3 | $1.7\times10^3$ | ＜10 | $2.9\times10^4$ | ＜$1.7\times10^2$ | *Alternaria, Cladosporium, Penicillium* |
| 3 | 5648.513 | 7.4 | $1.2\times10^3$ | ＜10 | $2.9\times10^4$ | ＜$2.4\times10^2$ | *Alternaria, Cladosporium* |
| 4 | 5648.513 | 9.8 | $4.8\times10^2$ | ＜10 | $8.7\times10^3$ | ＜$1.8\times10^2$ | *Cladosporium* |
| BF平均 | 806.930 | 61.0 | $5.4\times10$ | ＜10 | $1.7\times10^3$ | ＜$2.3\times10^2$ | |
| B1 | 804.784 | 43.6 | $6.4\times10$ | ＜10 | $1.8\times10^3$ | ＜$2.9\times10^2$ | |
| B2 | 812.808 | 76.5 | $1.6\times10$ | ＜10 | $2.6\times10^2$ | ＜$1.6\times10^2$ | |
| B3 | 819.315 | 86.8 | $1.6\times10$ | ＜10 | $2.3\times10^2$ | ＜$1.4\times10^2$ | |
| B4 | 802.305 | 66.8 | ＜10 | ＜10 | ＜$1.8\times10^2$ | ＜$1.9\times10^2$ | |
| B5 | 816.515 | 76.9 | $4.8\times10$ | ＜10 | $7.6\times10^2$ | ＜$1.6\times10^2$ | |
| B6 | 812.210 | 31.3 | $1.9\times10^2$ | ＜10 | $7.6\times10^3$ | ＜$3.9\times10^2$ | *Penicillium* |
| B7 | 780.576 | 45.2 | $3.2\times10$ | ＜10 | $9.1\times10^2$ | ＜$2.8\times10^2$ | |

| | 通気量 | 粉塵濃度 | CFU／Filter | | CFU／g | | 主な真菌 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $m^3$ | $\mu g/m^3$ | 糸状菌 | Yeasts | 糸状菌 | Yeasts | |
| 1 | 5684.265 | 19.5 | $1.1\times10^4$ | ＜10 | $1.0\times10^5$ | ＜$9.0\times10$ | *Cladosporium, Chaetomium* |
| 2 | 5684.265 | 7.7 | $1.3\times10^3$ | $8.0\times10$ | $2.9\times10^4$ | $1.8\times10^3$ | *Penicillium, Cladosporium* |
| 3 | 5684.265 | 5.2 | $5.6\times10^2$ | ＜10 | $1.9\times10^4$ | ＜$3.4\times10^2$ | *Alternaria* |
| 4 | 5684.265 | 7.3 | $2.4\times10^2$ | $2.4\times10^2$ | $8.1\times10^3$ | $8.1\times10^3$ | |
| BF平均 | 812.038 | 43.7 | $1.4\times10$ | ＜10 | $5.7\times10^2$ | ＜$3.4\times10^2$ | |
| B1 | 795.230 | 31.3 | ＜10 | ＜10 | ＜$4.0\times10^2$ | ＜$4.0\times10^2$ | |
| B2 | 837.680 | 38.1 | ＜10 | ＜10 | ＜$3.1\times10^2$ | ＜$3.1\times10^2$ | |
| B3 | 809.380 | 50.0 | $1.6\times10$ | ＜10 | $4.0\times10^2$ | ＜$2.5\times10^2$ | |
| B4 | 827.985 | 59.7 | ＜10 | ＜10 | ＜$2.0\times10^2$ | ＜$2.0\times10^2$ | |
| B5 | 789.570 | 74.3 | ＜10 | ＜10 | ＜$1.7\times10^2$ | ＜$1.7\times10^2$ | |
| B6 | 812.210 | 18.5 | $3.2\times10$ | ＜10 | $2.1\times10^3$ | ＜$6.7\times10^2$ | |
| B7 | 812.210 | 33.9 | ＜10 | ＜10 | ＜$3.6\times10^2$ | ＜$3.6\times10^2$ | |

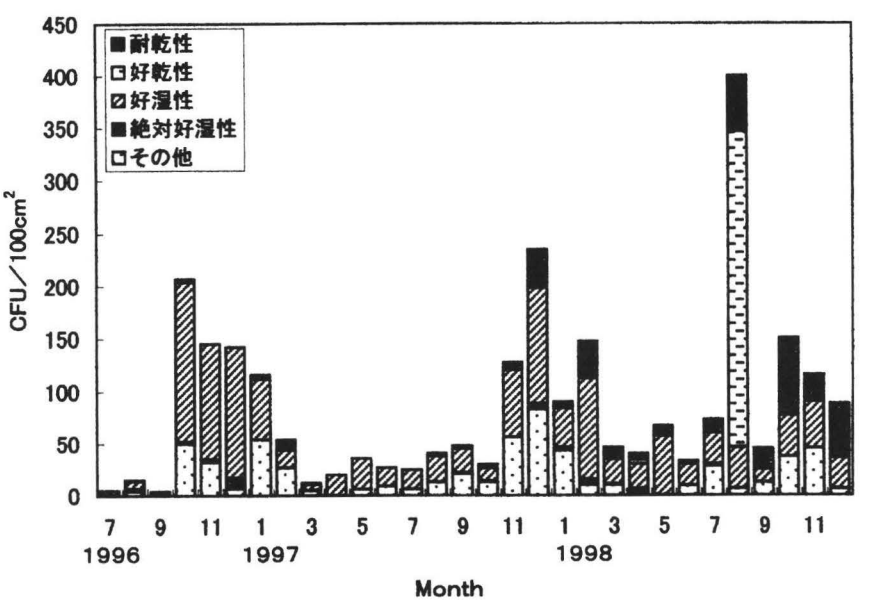
■表4　神奈川県における成績




■図3　主要真菌細胞の大きさ




■図4　ソファ下における真菌の種類




■図5　ソファ下における真菌の月別推移

# 1－20 住環境とアトピー性皮膚炎
## －その相互関連と対策の方向を探る－

名古屋工業大学　工学部　社会開発工学科
教　授　水　谷　章　夫
名古屋大学　医学部　健康社会医学
助教授　須　藤　千　春

### 1．はじめに

近年アトピー性皮膚炎、気管支喘息、花粉症などのアレルギー性疾患が世界的に増加している。わが国でも1960年代までこれら疾患は比較的まれであったが、1991年の厚生省の調査により国民の約３割が何らかのアレルギー症状の経験を有し、急増していることが示された（厚生省平成３年国民保健福祉動向調査)。

これら疾患の主要なアレルゲンが室内塵生息性のチリダニ類に由来することが判明し、住環境―ダニ―疾患の相互関係が注目されるようになった。すなわちアルミサッシや新建材による住宅の気密化、断熱化、冷暖房の普及などにより住環境が温暖湿潤化し、高湿を好むチリダニ類が増え、ダニ・アレルギーが増加してきたと推論されている。このような考えを住環境湿潤化説とよぶことができるが、一般住宅における温湿度変動とチリダニの生息分布に関する実態調査は極めて少ない。また湿潤化説には次のような疑問が残る。

その第一は近年の都市環境の温暖乾燥化で、その影響により室内環境も温暖乾燥化していると推測される。また住宅の気密化、断熱化、暖房により一般的に室内温度は上昇し、相対湿度は低下し、冷房は除湿を伴う。核家族化、有職主婦の増加、外食産業の普及、家庭電化などにより家庭内の生活活動や水分発生量は低下し、室内熱発生源は増加している。また地域的にみるとアレルギー性疾患の有症率は湿潤な郡部よりも乾燥した都市部で高く、湿潤化説と矛盾する。すなわち近年生活住環境が温暖乾燥化し、アレルギー性疾患の発症や悪化と関連している可能性も推察されるので、湿潤化説は再検討を要すると考えられる。

そこで本研究では一般住宅およびアトピー性皮膚炎患者宅の生活住環境の実態、特にチリダニ類の生息分布と住環境や温湿度との関連、都市化による気候の変化とその室内気候への影響、およびそれらとアトピー性疾患の発症、悪化との関連等を検討し、アトピー性疾患の予防対策の方向を探ることを目的とした。

### 2．チリダニ類の生態学的特徴

まずチリダニ類の生態学的特徴を概観した。室内塵からは約150種のダニが検出されているが、主

要なアレルゲン生産者であるチリダニ科のヤケヒョウヒダニ（以下、ヤケと略す）とコナヒョウヒダニ（コナ）は検出数の60～90％を占め、殆ど全ての家庭から検出され室内塵優占種である。チリダニは無気門亜目の属し、0.4mm以下の大きさで肉眼ではみえない。この科のダニは全て動物の巣や寝所に生息し表皮落屑物（フケ）を食べている。自活性であるが、餌を他の動物に依存しているという意味からは寄生的でもある。また室内環境という生息場所の特徴から示唆されるように、他の生態系に生息するダニ類と比較して耐乾性の高いダニである。

ヤケとコナは形態学的、生態学的に類似し、主要アレルゲンに交差抗原性もみられるので、チリダニ類、ヒョウヒダニ類と総称されることが多いが、両種の生活史や湿度要求性、分布はかなり相違し住み分けている。一般的にヤケは湿度要求性が高く西欧、ハワイ、沖縄、北陸地方などの湿潤な環境で優占し、コナは湿度要求性が低く、休眠性の長期発育休止若虫が出現するので、東欧、韓国、北米などの内陸部の乾燥した環境で優占している（表１）。

## ３．居住環境要因とチリダニ類の分布

ヤケとコナの世界的分布は異なるが、表日本の都市部ではヤケとコナの割合がほぼ１：１で、その比率が家庭によって大きく異なる。そこで家屋構造別に両種ダニの分布に影響する要因を検討した。木造住宅ではヤケ優占率（ヤケ数X100/（ヤケ数＋コナ数）と部屋比率（部屋数/家族数）とに負の相関がみられた（図１）。部屋比率の低い家庭では家族数が相対的に多く、生活活動や人体からの水分発散量が多くなるので、室内の湿潤度が高く、ヤケ優占率が高くなったと推定された。一方、部屋比率の低い家庭では相対的に部屋数が多く、生活活動が低く乾燥しているので、コナが優占すると推定された。また寝室と居間のヤケ優占率を比較した結果、居間のヤケ優占率の高い家庭が多くみられた。居間の生活活動は寝室よりも高く、台所や浴室などの水分発生源も近いことによると推定された（図２）。

高層集合住宅では地表面からの高度が増すと湿度が低下する。また風の遮断物も少なくなり風速が高まる。このため高層階では風力換気が高まり、室内湿度が低下すると推定される。しかし一般の高層集合住宅では階層のみならず、家族数、部屋数、生活活動なども複合的に室内温湿度およびダニ類の生息分布に影響していると推定されるので、階層の影響の検出が困難である。そこで室内構造のみならず居住者数、室内生活活動などの相違が少ないと考えられる単身赴任者寮（名古屋市）および独身者寮（豊田市）において階層のダニ分布に及ぼす影響を調査した。

名古屋市の市街部および豊田市の郊外部に位置する７階建て（A）と11階建て（B）の２棟においてダニ調査を行った。その結果、階層が高くなるとヤケ、イエササラダニ、ツメダニ、ホコリダニなどが減少したが、コナでは階層による一定の増減傾向が認められなかった（図３、４）。この原因として階層が高くなると湿度が低下し、湿度要求性の高いダニの生息分布に不適当になると推定された。そこで名古屋市内のＡ棟において各階の温湿度変動を調査した結果、高層階では低層階よりも室内湿度がやや低く、降雨や風などの影響の大きいことが示された（図５、表２）。また両棟のダニ相を比

較して、豊田市の鉄製窓枠のB棟は名古屋市内のアルミサッシのA棟よりもダニ相が、特に1階では複雑で、室内湿度が高いと推定された（青木ら、1998)。以上の結果からヤケは湿潤な家庭で、コナは乾燥した家庭で優占し、両種ダニの分布や比率は室内環境の微気象的な特徴、特に湿潤・乾燥の指標になると考えられた。

## 4．ダニ相の経年的変化および地域的差異

室内微気象の湿・乾燥的な変化の方向を探るため、1985年と1995年のヤケ優占率｛ヤケ数X100/(ヤケ＋コナ数)、50%以上ではヤケの、50%以下ではコナの優占を示す｝を比較した。その結果1985年にはヤケとコナの優占家庭の比がほぼ1：1であったが、1995年には約1：5になり、コナ優占家庭の増加、ヤケ優占家庭の減少が示され、室内環境が近年著しく乾燥化していると推定された(図6)。またアトピー環境研究会・名古屋が1996～1998年に行った調査結果でも、名古屋市内ではヤケ優占家庭が極めて少なく（1/31)、市外ではヤケ優占家庭もかなりあった（13/50)。すなわち市内の家庭では全般的に室内湿度が低く、市外では室内湿度の高い家庭もかなりあると推察された(表3)。

## 5．都市気候の変化、特に温暖乾燥化

室内環境の湿度低下の一因として都市化による外気の温暖乾燥化の室内への影響がまず推測された。そこで名古屋気象台観測の1891年から1996年までの年平均温度および相対湿度の推移を検討した（図7)。名古屋気象台は1923年に現在地に移転し、当時の年平均気温は約14℃、相対湿度は約75%であり、1945年頃まで大きな変化は見られなかった。1950年頃から温度が徐々に上昇し、湿度は顕著に低下したが、1985年頃から温度上昇、湿度低下がほとんど停止している。すなわち名古屋地方では過去50年間に気温は2℃上昇し約16℃に、相対湿度は10%低下し約65%になった。なお降水量は年間平均で約1500mmで、年度による変動が大きく一定の増減傾向は認められなかった。

以上から名古屋地方の気候変動は温暖化傾向がほとんど認められなかった戦前期、1950年から1985年頃までの経年的に著しく温度が上昇し、湿度が低下した温暖乾燥化期および現在の温度上昇、湿度低下がほとんど停止した停滞期の3期に分けられると考えられた。

このような温暖乾燥化は大都市部では普遍的にみられ、ヒートアイランド現象と呼ばれている。その原因として都市への人口集中、地表面の人工物化、特に宅地、工場用地、舗装道路、下水道等の拡張、増加、エネルギー消費／廃熱量の増大および水田、畑などの透水地面の減少などが指摘されている（山下、1998)。名古屋地方の環境も戦後大きく変化し都市気候との関連が推察されるが、詳細は現在分析中であり、省略する。

## 6．室内気候の変化、特に湿度低下

一般住宅における通年的な温湿度変動に関する資料は極めて少ないが、アトピー環境研究会・名古屋では1996年から月に2、3戸の割合でアトピー性皮膚炎患者宅の温湿度を30分間隔で3～5日間測定し、100戸以上の調査を完了している。そこで各住戸の平均温湿度を求め、名古屋気象台観測の1935年および1995年の外気温湿度との関連を検討した（図8）。

1935年の外気の最高湿度は8月の87%、最低は3月の68%であったが、1995年では8月でも73%、3月には53%になり、両年のクリモグラフは乖離した。一般的に開放的な在来型木造住宅における室内外の湿度差は最大でも10%以下と推定されるので（宮野ら、1990；青木、1999)、1935年頃の住宅内の年平均湿度は70%前後で、1995年の外気湿度よりも高かったと考えられる。

これに対してアトピー皮膚炎患者宅では調査月に拘わらず50～60%RHの家庭が多く（雨天の日を除く)、室内外の湿度差が10%以上の家庭が多くみられた（図9)。すなわち都市化による湿度低下に加えて、住宅の気密化、断熱化、冷暖房などによって室内温度が高くなり、室内湿度が50～60%の家庭が多くなっていると考えられた。しかしこれらは3～5日の短期間の測定結果であり、偶発的な要因も大きく影響していると考えられる。そこで名古屋市内の立地条件や構法の異なる一般住宅5戸において通年的に室内外の温湿度を測定し、夏季に室内塵性ダニ類の調査を行った。

## 7．名古屋市内の一般住宅における通年の温湿度変動とダニ相

温度湿度の測定およびダニ調査を行った住宅の概要を表4に示した。温湿度測定器（タバイエスペック製、RS-10）を室内、屋外に設置し、1997年6月から1年間測定した。ダニ調査は1997年6月から10月まで2週間毎に5回、また1998年にも同時期に4回行った。室内塵の採集、ダニ検出は青木ら（1998）の方法によった。各住宅の室外の温湿度測定結果を図10、11に示した。コナラなどの茂った風致地区のA宅の夏季外気温は市街地のB～E宅よりも2℃程低かったが、秋・春にはほぼ同等になった。また夏季の外気湿度はA宅では他の住宅よりも約10%高かったが、秋・冬には55%前後になり他の住宅との差が小さくなった。すなわちA宅周辺では市街地の住宅周辺と比較して、夏季に温度が低く、湿度が高いが、秋・冬には顕著な相違がなくなり、コナラなどの着葉、落葉との関連が推察された。

各住宅の室内温湿度を図12、13に示した。夏季室温に住宅間で冷房の有無による顕著な差異を認めなかったが、冬季には暖房していないA、B宅およびC宅の老人室では室温が約10℃で、暖房していた若夫婦のC～E宅では約17℃であった。このような温度差を反映して、A宅では室内湿度が他の住宅に比して約10%程高く、年平均湿度が65%、暖房していたC～E宅では10月から3月の5カ月間の平均湿度が50%以下になり、特にC宅では2～3月の湿度が40%以下であった。B宅では年平均湿度が55%で、中間的な値であった。

各住宅から検出されたダニ平均数とその組成率を図14に示した。A宅ではヤケが約50%、コナ

30%、非チリダニ類が13%であったが、B宅ではヤケが23%に低下し、コナが67%になり、C～E宅ではヤケが約５%に著しく低下し、コナは74～92%になった。すなわちA宅では湿度が高いことによりヤケが優占し、B～E宅では湿度が低くコナが優占したと推定された（表５）。以上から現代の名古屋地方では外気年平均湿度が約65%に低下し、住宅の気密化、断熱化、冷暖房などの影響により室内湿度はさらに10%程低下するので、年平均室内湿度が50～60%の家庭が多くなり、ヤケの生息分布に不適になっていると推定された。

## 8．生活環境の乾燥化とアトピー性疾患

近年における生活住環境の温暖乾燥化はアトピー性疾患の発症、悪化にも関係していると推察される。すなわちアトピー性皮膚炎患者の皮膚は保湿機能の低いことが特徴的で鳥肌様皮膚、乾燥皮膚（atopic dry skin）と呼ばれている。このため乾燥した環境では経皮的な水分喪失が進み、掻痒性皮疹が起こりやすくなる。その例証としてアトピー環境研究会の調査した患者家庭では暖房器具の使用率が、一般家庭の約50%と低いことが挙げられる（図15）。すなわち暖房に伴う乾燥によって皮膚炎が悪化する（痒みが増す）ので、患者家庭では暖房器の使用率が低いと推定された（小島、斎藤、1998）。

小島らはさらに高湿度（30℃、70%RH）と低湿度（25℃、40%RH）におけるアトピー性皮膚炎患者６人と健常者10人の皮膚温、皮膚水分率、乾燥感を比較した。高温湿度下でアトピー性皮膚炎患者の皮膚温は健常者よりも約0.5℃高く（図16）、低湿度下では皮膚水分率が有意に低下し（図17）、乾燥感も強いことが示された。特に患者の１人は低湿度で約10分後から眼瞼周囲の痒みを訴え、乾燥により皮膚炎の悪化することが実証された（小島、1999）。

気管支喘息や花粉症でも生活住環境の乾燥化が発症や悪化に関係している可能性が高いと推察される。すなわち1920年から10年毎の外気の月別の平均相対湿度を求め、これら疾患の有症率との関連を検討した結果、これら疾患が全国的に増加し始めた1970年代から気管支喘息の好発月である９～11月およびスギ花粉症の好発月の４～５月の湿度が著しく低下し、その傾向は1980年代、1990年代と強くなり、有症率の増加との関連が示唆された（図18）。

以上の結果は気管支喘息や花粉症の増加と都市化による温暖乾燥化との関連を強く示唆した。そこでアトピー性疾患増加に共通する一因として生活住環境の乾燥化を提唱する。

乾燥化説は地域的な有症率の相違をも説明する。一般的にアトピー性疾患の有症率は郡部よりも都市部で高く、都市化現象と言われているが、その原因は十分に説明されていなかった。図19に藤田保健衛生大学の上田教授らの調査した名古屋市（人口215万人）、小牧市（15万人）、鳳来町（1.5万人）におけるアトピー性皮膚炎の有症率の経年的推移を示した。有症率は大都市の名古屋市が最も高く、郊外都市の小牧市が中間的で、山間部の鳳来町が最も低い。このような地域差の一因として上田（1998）は人口密度および住構造の差異を指摘している。すなわち人口密度と温度上昇、湿度低下とに強い関連がみられ（山下、1998；青木、1999）、人口密度の高い都市ほど温暖乾燥化が大きいの

で、地域的な有症率の差異の背景に温暖乾燥化が関連していると推察される。また経年的な有症率の高まりにも都市化の進展や生活住環境の変化に伴う温暖乾燥化が関係していると推察される。

## 9．乾燥によるアトピー性疾患の発症・悪化のメカニズム：軸策反射説

アトピー性疾患の発症や悪化には多くの要因が関係し、不明なところも多いが、一般的にはアトピー性素因を基礎として、アレルゲン特異的なIgE抗体、肥満細胞、好酸球を主軸とするアレルギー炎症と温湿度などの非特異的な反応が考えられている。非特異的な発症、悪化の機序として最近、知覚神経の軸策反射が注目されている（佐藤ら、1995)。

アトピー性皮膚炎患者の皮膚では天然保湿成分（アミノ酸やセラミド）の含有量が低く、乾燥した環境では不感蒸泄による経皮的水分喪失が亢進しやすい。その結果、皮膚の浸透圧が変化し、知覚神経が刺激され、求心性伝導と同時に側枝への逆行性伝導が起こり、側枝末端からサブスタンスP、CGRPなどの神経ペプタイドが放出され、その薬理的作用により紅斑（毛細血管の拡張)、膨診（血管透過性の亢進)、掻痒性皮疹が起こる。また肥満細胞や好酸球などの炎症細胞が脱顆粒を起こし症状が拡大すると推定されている（図20)。このような知覚神経の反射は軸策反射とよばれ、気管支喘息や花粉症の発症や悪化にも関与していると考えられる（須藤、1998)。

## 10．まとめ

近年の都市化や生活住環境の変化によって室内が著しく温暖乾燥化し、ダニ相の変化およびアトピー性疾患の発症や悪化、増加に関係していると推察された。したがってアトピー性疾患の予防対策はダニなどのアレルゲンの除去、暴露回避と同時に、皮膚や粘膜の過乾燥を防止するように生活住環境の適度な湿潤化を図ることであると言える。我々の提唱した乾燥化説では、従来の湿潤化説と予防対策の方向が全く異なる。すなわち湿潤化説ではチリダニ類が湿潤な環境に多い事実から、高湿を好み乾燥に弱いと推定し、住環境の乾燥化を推奨している。しかしチリダニ類の耐乾性は高く、日常生活下での湿度制御によるダニ発生抑制は困難である。また室内環境は近年著しく乾燥化しており、乾燥化がアトピー性疾患の重要な発症、悪化要因であると推定されるので、湿度環境の実態を無視して過度の乾燥化を推奨することは罪悪であるとも言える。今後、都市化の進展や地球環境の温暖化に伴い生活住環境の乾燥化がさらに進み、アトピー性疾患のみならず熱中症、脱水症、高齢者の乾皮症、インフルエンザなどの増悪化も懸念される。特に温帯モンスーン気候の湿潤な環境に順化してきた日本人は乾燥に対する抵抗性が低いと推定されるので（オリックス球団のイチロー選手でさえ米国アリゾナ州で脱水症を起こしたことは、その例証ととれる)、生活住環境の過乾燥対策は重要である。換言すれば快適で健康的な湿度環境の創造は医学、建築学を始め関係諸領域の重要な検討課題であるとも言える。

## 参考文献

須藤千春（1999）：チリダニ類の生態および温湿度変動からみた室内環境の乾燥化とアトピー性疾患。環境技術、28：167-173。

青木　哲ら（1998）：高層集合住宅における階層の室内塵性ダニ類の分布に及ぼす影響。日生気誌、35：133-144。

青木　哲（1999）：都市・室内気候とダニ相との相互関連。名古屋工業大学大学院工学研究科修士論文。

山下脩二（1998）：都市の気候環境、都市環境学事典（吉野正敏、山下脩二編）、p 1 -57、朝倉書店、東京。

宮野則彦ら（1990）：寝室および便所の温湿度変化から見た居住環境の考察。日生気誌、27：57-70。

小島昌幸（1999）：アトピー性皮膚炎患者の住環境に関する研究。名古屋大学大学院工学研究科修士論文。

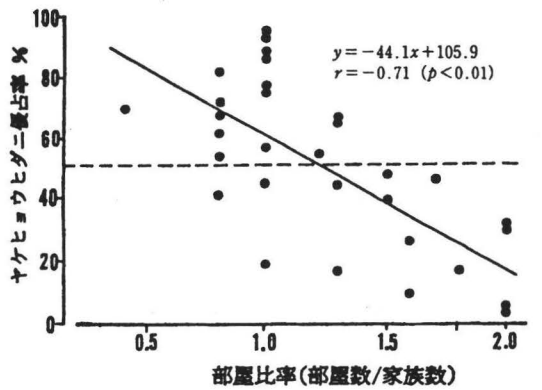
上田　宏（1998）：アトピー性皮膚炎は増えているか。皮膚臨床、40：870-873。

佐藤昭夫ら（1995）：自律機能生理学。pp. 378-378、金芳堂、東京。

須藤千春（1998）：生活環境の変化と人体生理および環境病の３者間における相互関連。アトピー性皮膚炎と住環境。1998年度アトピー環境研究会・名古屋調査研究中間報告書。43-63。

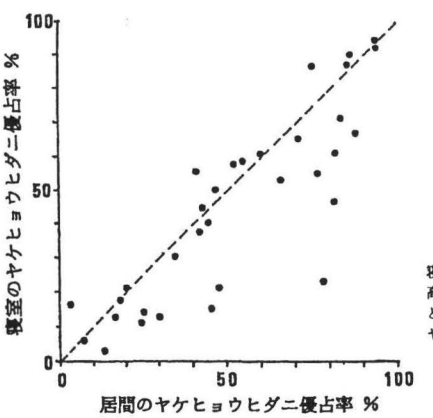
■表1　コナヒョウヒダニとヤケヒョウヒダニの湿度要求性、分布および季節消長などの比較

| | コナヒョウヒダニ | ヤケヒョウヒダニ |
|---|---|---|
| 臨界平衡湿度 | 65% RH | 73% RH |
| 増殖開始時湿度 | 47～50% RH | 55～60% RH |
| 優占家庭の湿度 | 51.5% RH | 63.5% RH |
| ピーク時の湿度 | 60～70% RH | 80～90% RH |
| 発育好適湿度 | 60～70% RH | 75～80% RH |
| 発育休止若虫 | 出現する | 一般的でない |
| 地理的分布 | 北アメリカ，韓国<br>内陸地方，山岳部 | 西ヨーロッパ，沖縄<br>海岸地方，平野部 |
| 気候的分布 | 比較的乾燥した地方 | 比較的湿潤な地方 |
| 個体数季節変動 | 夏季と冬季の差は大<br>比較的規則的 | 夏季と冬季の差は小<br>不規則，環境の影響大 |
| 集団構造の変動 | 冬季に若虫率が増加 | 季節的変動は小さい |



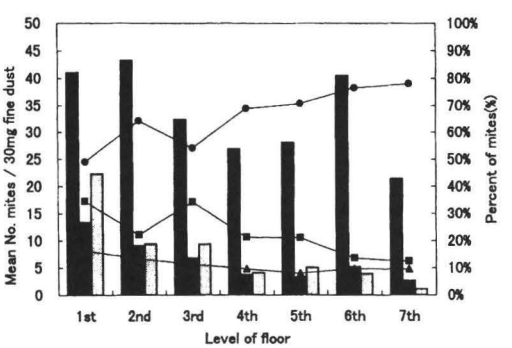

部屋比率1.2以下ではヤケヒョウヒダニが優占し，1.5以上ではコナヒョウヒダニの優占する傾向が認められ，生活活動の影響が大きいと推定された．
ヤケヒョウヒダニ優占率
＝ヤケヒョウヒダニ数×100/チリダニ数

■図1　木造住宅におけるヤケヒョウヒダニ優占率と部屋比率（部屋数／家族数）との関係



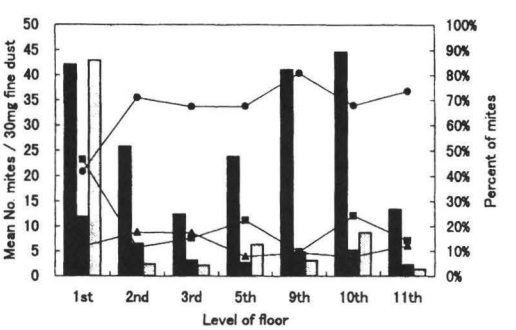

寝室よりも居間の優占率の高い家庭が多く，居間の生活活動が高く，水分発生源も近いことによると推定された．点線は居間と寝室の優占率が等しいことを示す．
ヤケヒョウヒダニ優占率
＝ヤケヒョウヒダニ数×100/チリダニ数

■図2　居間と寝室におけるヤケヒョウヒダニ優占率の関係



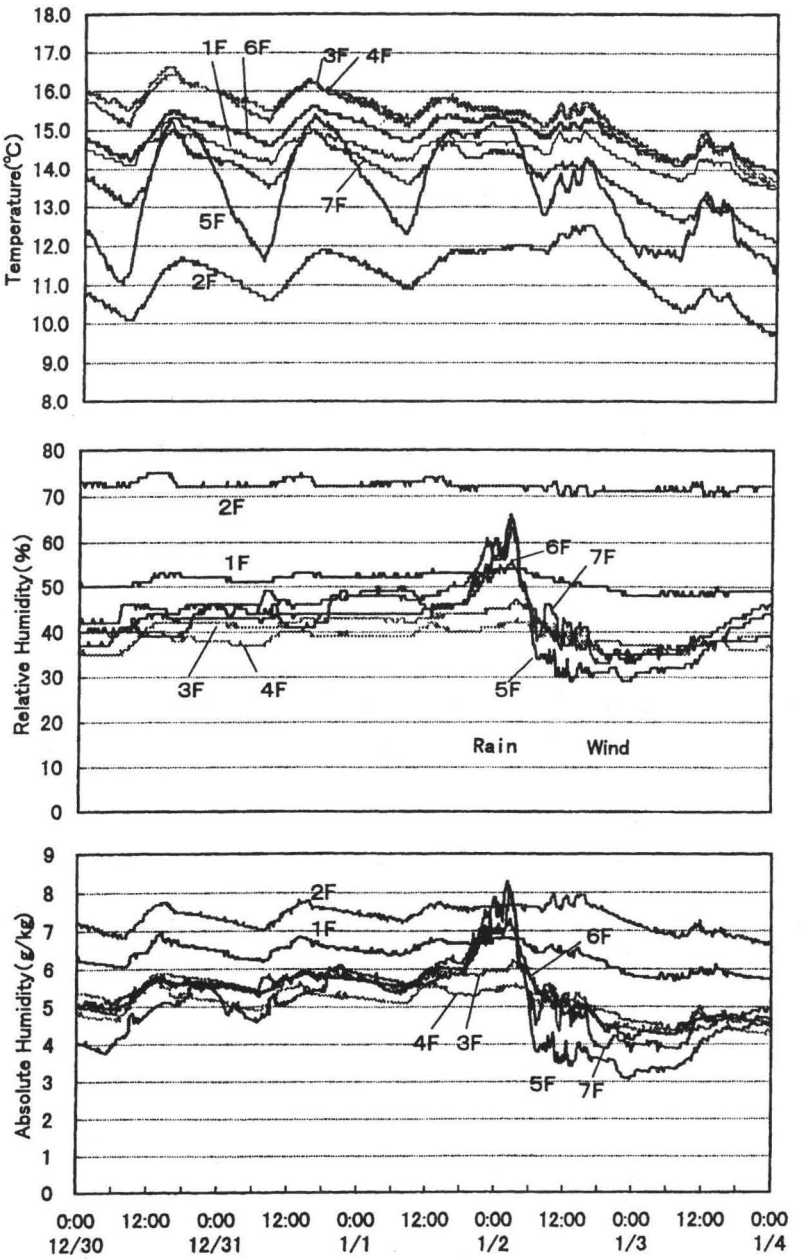

Effect of floor levels on the distribution of *Dermatophagoides farinae*, *D. pteronyssinus* and non-Pyroglyphidae in Building A. Number and percent of *D. farinae* (■, -•-) *D. pteronyssinus* (■, -•-), and non-Pyroglyphidae(▽, -■-).

■図3　名古屋市内のA棟における階層とダニの分布。コナヒョウヒダニは階層にかかわらず分布したが、ヤケヒョウダニ、非チリダニ類は高階層で減少した。




Effect of floor levels on the distribution of *Dermatophagoides farinae*, *D. pteronyssinus* and non-Pyroglyphidae in Building B. Number and percent of *D. farinae* (■, -•-) *D. pteronyssinus* (■, -•-), and non-Pyroglyphidae(▽, -■-).

■図4　豊田市内のB棟におけるダニの分布。コナヒョウヒダニは階層と一定の傾向がみられなかったが、ヤケヒョウヒダニ、非チリダニ類は高階層で減少した。

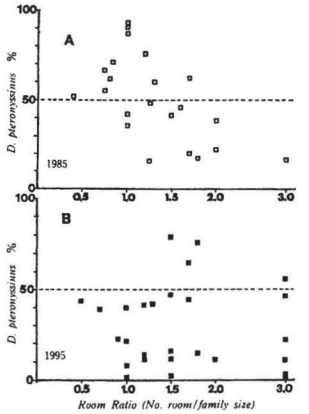



■図5　名古屋市内のA棟における階層と温湿度変動

■表2　名古屋市内のA棟における階層と温湿度（1996年12月30日～1997年1月4日）

| Floor level | Room number | Temperature (C°) Mean ± S.D. | C.V. | Relative humidity (%) Mean ± S.D. | C.V. | Absolute humidity (g/kg DA) Mean ± S.D. | C.V. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1st | 109 | 14.5 ± 0.37 | 2.6 | 51.1 ± 1.75 | 3.4 | 6.3 ± 0.34 | 5.4 |
| 2nd | 201 | 11.2 ± 0.66 | 5.9 | 72.2 ± 1.05 | 1.5 | 7.3 ± 0.31 | 4.2 |
| 3rd | 305 | 15.3 ± 0.67 | 4.4 | 40.9 ± 2.59 | 6.3 | 5.4 ± 0.50 | 9.3 |
| 4th | 404 | 15.4 ± 0.64 | 4.2 | 38.2 ± 2.10 | 5.5 | 5.0 ± 0.40 | 8.0 |
| 5th | 505 | 13.4 ± 1.24 | 9.3 | 41.5 ± 7.39 | 17.8 | 4.9 ± 1.08 | 22.0 |
| 6th | 607 | 14.9 ± 0.41 | 8.4 | 41.9 ± 4.62 | 11.0 | 5.4 ± 0.68 | 12.6 |
| 7th | 703 | 13.8 ± 0.69 | 5.0 | 44.6 ± 5.86 | 13.1 | 5.3 ± 0.84 | 15.8 |
| r | | 0.18 | | − 0.52 | | − 0.66 | |

DA, dry air; S.D., standard deviation; C.V., coefficient of variation (S.D./mean × 100); r, correlation coefficient.

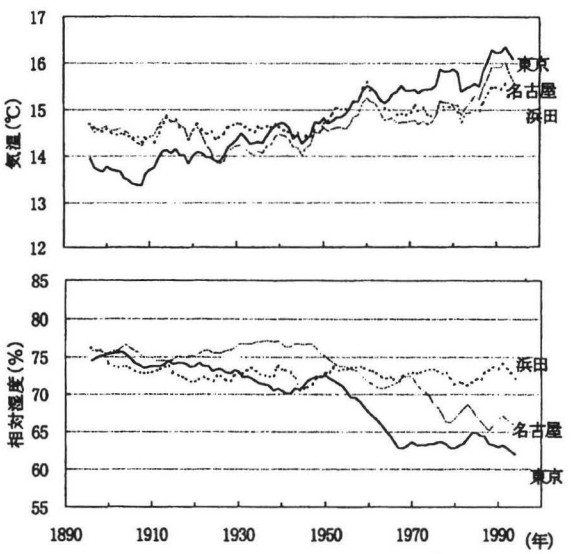



■図6　1985年と1995年のヤケヒョウヒダニ優占率の比較
1985年にはヤケヒョウヒダニ優占家庭とコナヒョウヒダニ優占家庭がほぼ1：1であったが、1995年にはヤケヒョウヒダニ優占家庭が減少し、室内環境が近年乾燥化していると推察された。

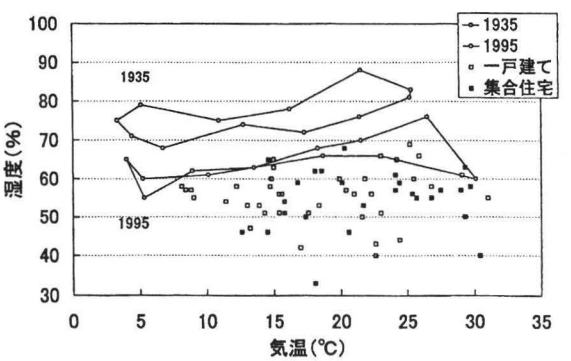
■表3　名古屋市内と市外におけるチリダニ優占家庭の分布

| 地域 | Ｄｐ優占家庭 | Ｄｆ優占家庭 | 合計 | 有意性 |
|---|---|---|---|---|
| 市内 | 1 | 30 | 31 | P<0.01 |
| 市外 | 13 | 37 | 50 | |
| 合計 | 14 | 67 | 81 | |

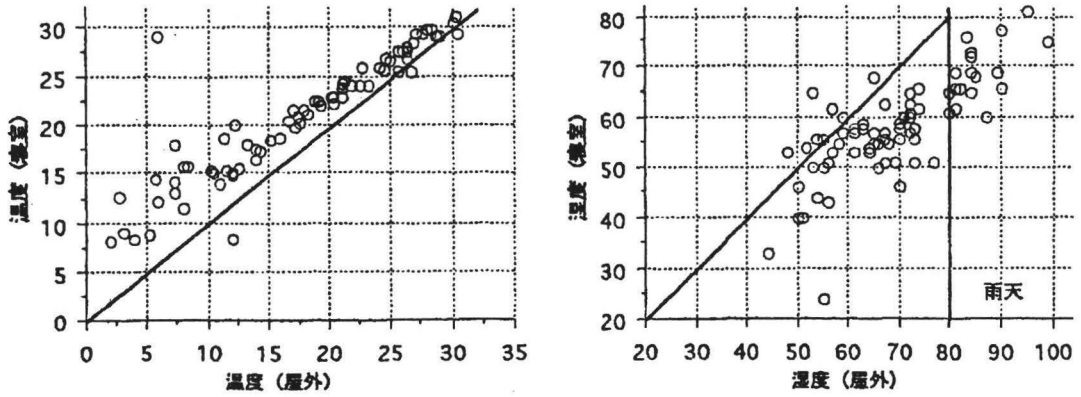
Dp優占家庭またはDf優占家庭はそれぞれヤケヒョウヒダニあるいはコナヒョウヒダニがチリダニ検出数の50%以上を占めた家庭を示す。名古屋市内ではヤケヒョウヒダニ優占家庭の少ないことが注目される。




■図7　名古屋、東京、浜田における気温（上図）および相対湿度（下図）の経年的変化の比較
名古屋、東京の1930年代の年平均気温は約14℃であったが、その後徐々に上昇し、1990年代になると東京では約2.3℃上昇し16.2℃に、名古屋では約2℃上昇し16℃になった。浜田では約1℃の上昇であった。年平均相対湿度はいずれの地域でも1900年代には約75%で、東京では戦前にも徐々に低下し、特に戦後に顕著に低下し1970年代には約63%になった。名古屋、浜田では戦前の変化が小さかったが、名古屋では1950～1970年代にかけて顕著に低下し、現在では約65%になっている。浜田では顕著な低下をみなかった。




■図8　名古屋地方の1935年、1995年の外気温度、相対湿度およびアトピー性皮膚炎患者宅の寝室の温度、相対湿度
1935年と1995年の温度、湿度を比較する近年では温暖乾燥化が顕著でクリモグラフは乖離した。室内湿度が50～60%の患者家庭が多く、集合住宅の室内温度は戸建て住宅に比して高い傾向がみられた。



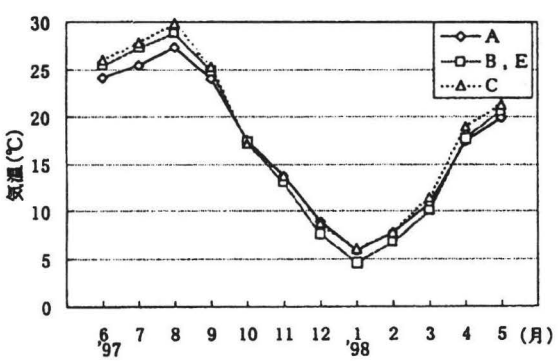

■図9　アトピー性皮膚炎患者宅における温度（左欄）と湿度（右欄）室外と室内の関係

■表4　温湿度およびダニ調査を行った住宅の概要

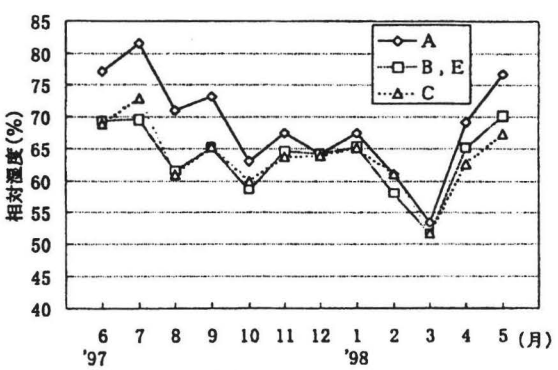
| | A部 | B部 | C部 | D部 | E部 |
|---|---|---|---|---|---|
| 所在 | 守山区 | 守山区 | 中川区 | 守山区 | 守山区 |
| 立地条件 | 風致地区 | 新興住宅地 | 市街地 | 新興住宅地 | 新興住宅地 |
| 周辺環境 | 樹木繁茂 | 畑散在 | 民家密集 | 水田散在 | 畑散在 |
| 建築構造 | 木造平屋建 | 木造平屋建 | S造２階建 | RC造7階建 | 木造2階建 |
| | 真壁造 | 真壁造 | | マンション | 高気密型 |
| 建築年数 | 築67年 | 築45年 | 築22年 | 築20年 | 築１年 |
| | 改築後52年 | 改築後35年 | 改装後３年 | 居住後17年 | |
| 居住者数 | ２人 | ２人 | ７人 | ３人 | ４人 |
| 家族構成 | 老夫婦 | 老夫婦 | ３世代 | 夫婦と子 | 夫婦と子 |
| 備考 | | E部と同一敷地 | | | B部と同一敷地内 |

■表5　温湿度およびダニ調査を行った部屋の概要

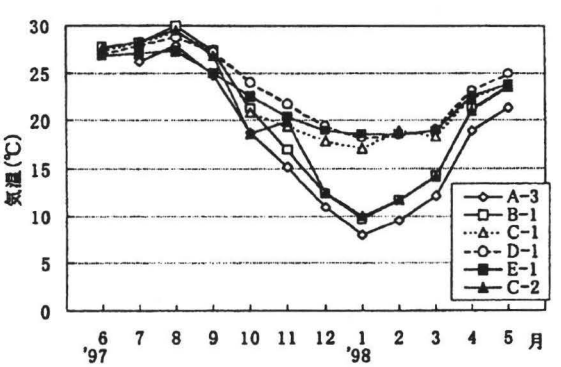
| | | | | | | | 温湿度測定 | | ダニ調査 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 記号 | 部屋名 | 床材 | 冷房 | 暖房 | 使用割合 | 年間 | 追加 | 97年 | 98年 |
| A-1 | 客　間 | 畳 | | こたつ | 中 | ○ | | ○ | |
| A-2 | 和　室 | 畳 | | | 小 | ○ | | ○ | |
| A-3 | 書斎兼寝室 | ｶｰﾍﾟｯﾄ | AC | AC | 大 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| A-4 | 台　所 | ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ | AC | | 中 | | ○ | ○ | ○ |
| B-1 | 居　間 | 畳 | AC | こたつ | 大 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| B-2 | 寝　室 | 畳 | AC | AC | 中 | ○ | | ○ | |
| B-3 | 食　堂 | ｶｰﾍﾟｯﾄ | | | 中 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| C-1 | 居　間 | ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ | AC | AC | 大 | ○ | | ○ | |
| C-2 | 老人室 | 畳 | | | 小 | ○ | | ○ | |
| C-3 | 寝　室 | ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ | AC | AC | 中 | ○ | | ○ | |
| D-1 | 洋　室 | ｶｰﾍﾟｯﾄ | | | 小 | ○ | | ○ | |
| D-2 | 和　室 | 畳 | AC | | 中 | ○ | | ○ | |
| D-3 | 居　間 | ｶｰﾍﾟｯﾄ | | ﾎｯﾄｶｰﾍﾟｯﾄ | 中 | | | ○ | |
| D-4 | 子供室 | ｶｰﾍﾟｯﾄ | | | 中 | ○ | | ○ | |
| E-1 | 居　間 | 畳ｺｰﾅｰ | AC | AC | 大 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| E-2 | 食　堂 | ﾌﾛｰﾘﾝｸﾞ | AC | AC | 中 | | ○ | ○ | ○ |
| E-3 | 和　室 | 畳 | AC | AC | 小 | ○ | | ○ | |
| E-4 | 寝　室 | 畳ﾍﾞｯﾄﾞ | AC | AC | 中 | ○ | | ○ | |



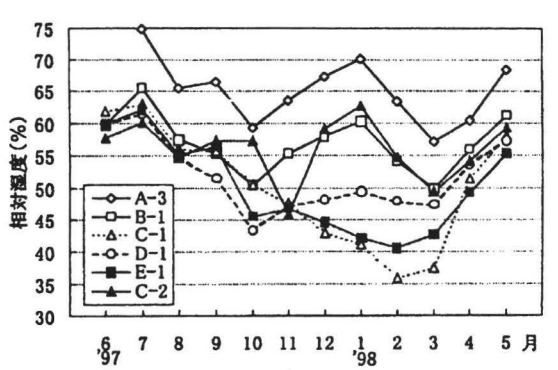

■図10　外気月平均気温の変化



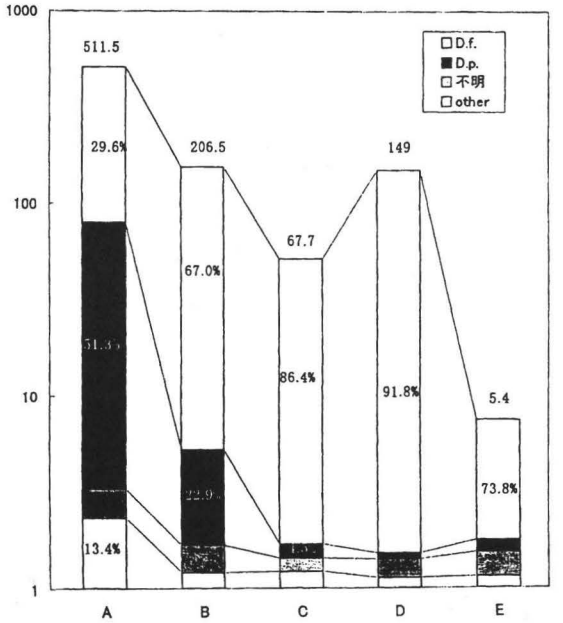

■図11　外気月平均相対湿度の変化



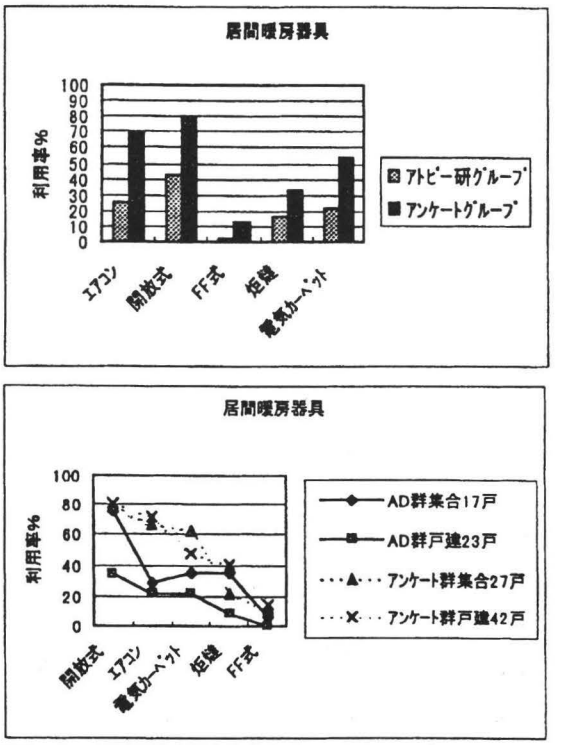

■図12　室内月平均温度の変化



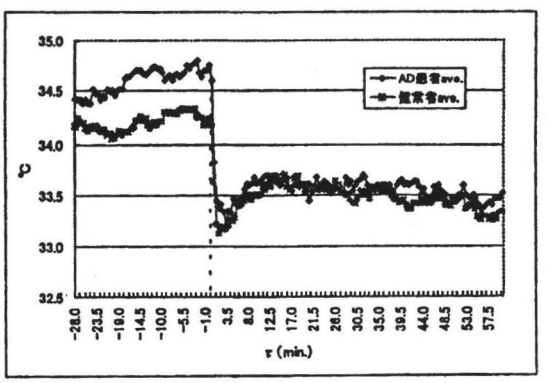

■図13　室内月平均相対湿度の変化



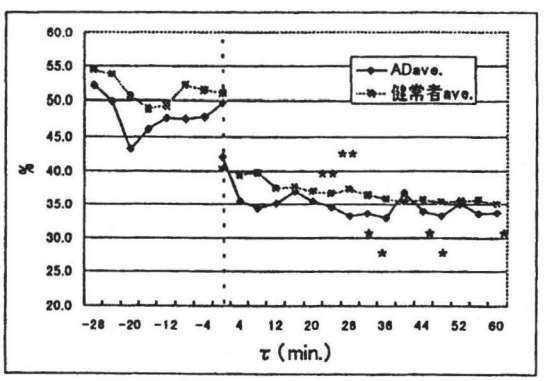

■図14　各住宅から検出されたダニ類の平均値と組成率
A宅の年平均湿度は65%、B宅57%、C～E宅約50%であった。A宅ではヤケヒョウヒダニが優占し、非チリダニ類は著しく減少した。C宅は中間的な値であった。



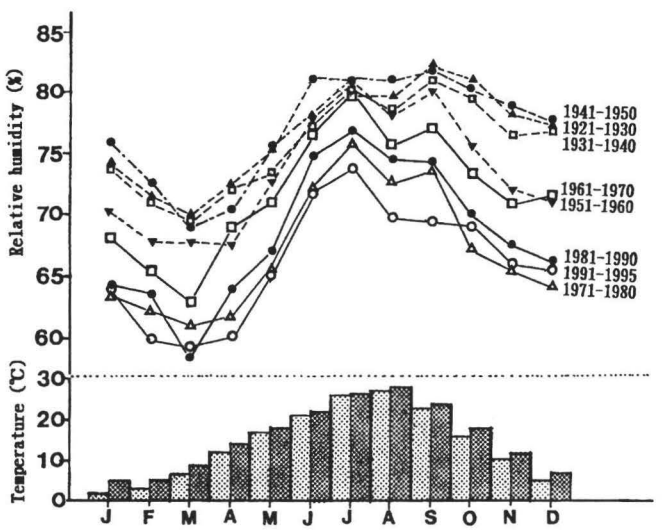

■図15　アトピー性皮膚炎患者宅（アトピー研グループ）と一般住宅（アンケートグループ）の居間における暖房機の利用率
暖房機の利用率がアトピー性皮膚炎患者住宅では一般住宅の約半分であった。左図：全体、右図：住宅タイプ別




■図16　アトピー性皮膚炎患者と健常者の前腕皮膚温の比較。
前室（30℃、70%RH、30分）において患者の皮膚温は健常者よりも約0.5℃高かったが、実験室（25℃、40%RH、60分）では差異を認めなかった。皮膚温の上昇は発汗機能の異常によると推定された。

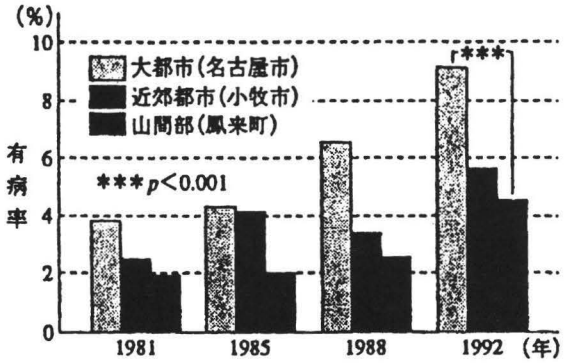



■図17　アトピー性皮膚炎患者と健常者の皮膚水分率の比較
前室において患者の皮膚水分率は有意に低く、実験室においても低い傾向がみられた。特に患者の一人は実験室で約10分後から目の周囲の痒みを訴えた。

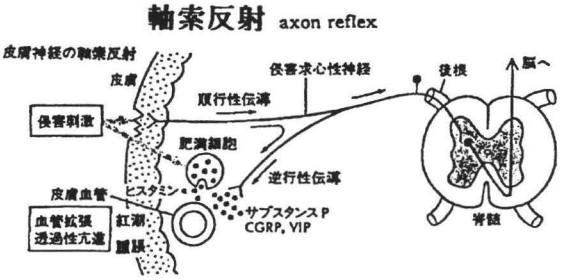



■図18　1921年から10年毎の月別平均相対湿度の推移（上段）と1921-1930年と1991-1995年の月別平均気温（下段）

相対湿度の推移から1921-1941年までの高湿度期、1951-1961年の湿度低下開始期、1971年以後の湿度低下期の3期に分けられた。アトピー性疾患は1970年代から増加し始め、1980年代には顕著に増加している。また気管支喘息の好発月の9～11月およびスギ花粉症の好発月の3～4月の湿度低下が顕著で、湿度低下とアトピー性疾患増加との関連性が示唆された。




■図19　名古屋市、小牧市および鳳来町におけるアトピー性皮膚炎の有病率の推移
地域的には名古屋市の有病率が高いが、3地域とも経年的な上昇傾向が認められ、特に山間部の鳳来町でも増加していることが都市化との関連で注目される（上田（1998）より引用）。




■図20　皮膚における軸策反射
傷害刺激（掻爬、乾燥など）により知覚神経が刺激され、求心神経伝導と同時に側枝への逆行性伝道が起こり、側枝末端から神経ペプタイドが放出され、その薬理作用により紅潮、腫脹、痒みが生じる。肥満細胞の脱顆粒により症状が拡大すると推定されている（佐藤ら（1995）より引用）。

# 1—21　景観材料におけるバリアー形成要因の把握と解決方法の研究

神奈川大学　工学部　建築学科
教　授　高　橋　志保彦

## 1．研究の背景と目的

21世紀には人類の70%が都市に住むことになるという。また、わが国においては、高齢社会にすでに突入した。あらゆる人々、すなわち障害を持つ人も、高齢者も、女性も、子供も、健常者も、安全で安心して生活できる生活環境の構築が求められ、「高齢者、身体障害者等が円滑に利用できる特定建築物の建築の促進に関する法律（ハートビル法）」や「製造物責任法（PL法）」」が制定され、各自治体の「福祉のまちづくり条例」、「景観条例」も整備されつつある。

現実の都市空間におけるバリアー（障壁、障害）の存在は極めて多岐にわたり、錯綜した状態にある。景観材料がバリアーを解消するために対応すべき内容については、建築の外部空間から、都市のオープンスペースまであらゆる場所に見ることができる。人の移動のための空間、さまざまな生活活動が営まれる多種多様な屋外公共空間まで含めた拡がりの中で、実際にどのようなバリアーが存在しているかを検討してみる必要がある。

都市空間を形成する背景としての法律や諸制度との関連をも把握することも重要であり、さらに気候風土や文化性の要因まで含めた生活環境の中からバリアー解消に向けて景観設計や景観材料が対応すべき「緊急性の高い項目」を明確化し、その解決を設定する必要がある。

本研究は、実態調査において都市空間に関わるバリアー形成要因の構造的把握から、その解消に向けての最適の解決方法を得ようとするアプローチをとる。そのアウトプットは、よりよい景観形成に求められるデザインへの指針にもなる。バリアー解消の解決方法を、対症療法的な手法を超えて導き出すことで、「安全」「安心」「快適」な都市空間を実現する景観設計と景観材料の要件として明確化し、ケースによっては提案を行う。これが本研究の目的である。

## 2．バリアーフリー路上調査からみた問題点

### 2.1　調査の概要

#### 2.1.1　調査の目的

毎日の生活に欠かすことのできない街の道路にどのようなバリアーが存在しているかを知るため、白杖歩行者および手押し車椅子また高齢者を念頭に置き、本研究委員会の委員が日常通勤に利用している道路の実態調査を行った。調査は12箇所で行った。

### 2.1.2　調査項目と方法

a）調査項目

バリアーフリーに関する実態調査を実施するにあたり、白杖歩行者、車椅子利用者および高齢者が安全に歩道を歩行するために調査項目と測定基準をあらかじめ定めた。調査項目には①有効幅員　②舗装状態　③段差　④勾配　⑤横断勾配　⑥電柱　⑦街路灯　⑧交通標識　⑨マンホール・ハンドホール　⑩地上機器　⑪放置自転車・バイク　⑫街路樹、植え込み、花壇、ベンチ　⑬問題となる立て看板等を調査した。

b）調査方法

調査対象とする場所においてあらかじめ決めた調査項目と調査基準を基に住宅地図（縮図1/500）にバリアーと思われる項目をプロットし集計した。

c）調査基準

調査基準値は表2-1-1に示す基準とした。

### 2.1.3　調査場所

①東京都渋谷区西原３丁目付近

②藤沢市鵠沼松が岡１～２丁目付近

③神奈川県横浜市戸塚区JR戸塚駅付近

④東京都港区高輪３丁目地内

⑤愛知県半田市雁宿町付近

⑥千葉県習志野市袖ヶ浦３丁目～津田沼５丁目付近

⑦横浜市鶴見区JR鶴見駅～鶴見図書館付近

⑧小田急電鉄玉川学園駅前～東玉川学園１丁目付近

⑨JR新宿駅南口～渋谷区千駄ヶ谷５丁目付近

⑩JR新宿駅周辺

⑪埼玉県北足立郡吹上町JR吹上駅付近

⑫愛知県常滑市港町付近

を調査した。

## 2.2　実態調査からみた問題点と解決策

### 2.2.1　実態調査からみた問題点

1）設　計

歩道、路側帯の設計においては、幅員、切下げ部の段差、電柱、街路灯、各種標識柱、地上設備の位置、誘導ブロックの位置、勾配等に問題がある箇所があった。

個々の具体的な問題点として

①照明柱・電柱・交通標識等の設置位置が悪く、車椅子の通行を妨げている。

②歩道切り下げ部に車椅子走行に妨げとなる段差がある。

③歩道や単断面道路の横断勾配に問題があり、車椅子の歩行性が確保されていない。

④迷惑駐車・駐輪（視覚障害者誘導ブロック上の駐車・駐輪、車椅子の歩行の障害となる駐車・駐輪）がある。

⑤マンホールによる視覚障害者用誘導ブロックの分断がある。

⑥横断歩道の中に、マンホールや鉄製支柱がある。

⑦横断歩道部に、幅広のスリットをもつグレーチングが設置されている。

⑧連続する歩道の幅員の違いがある。

また、付帯設備においても、

①階段手摺りが、最下段まで延長していない。

②一貫性のないスロープ、例えば単体でスロープであっても目的地まで行けない場合がある。

③駅構内と駅周辺の誘導ブロックに連続性がなく障害者への配慮が不足している。

④車椅子の介護者がおり、エスカレーターがあっても、車椅子の乗る幅がない。また、エスカレーターを利用しても、次に階段があり一人の介護者では路上に出られない。

⑤車椅子利用者が改札からエレベーターを使用する場所に行くまでにかなりの距離がある。

など設計に問題点が見出された。

2）施　工

施工においては設計上または道路構造上の問題点はあるが、施工方法等を工夫することによって解決すると思われる。個々に見れば、

①白杖歩行者、車椅子歩行者および高齢者が安定走行の障害になる歩道の横断勾配が多い。

②視覚障害者用誘導ブロックの設置方法、位置、障害物、設置されている所、されていない所等、統一された施工ではなく不十分な箇所が多い。

③交差点周辺の視覚障害者用誘導ブロックの設置場所および設置方法について、不十分な箇所が多い。

④視覚障害者用誘導ブロックが白杖歩行者にわかり易い場所への設置、勾配、段差を取るように心掛けていない。

3）維持管理

道路の維持管理は概ね良好であるが、以下のような問題点がある。

①道路の舗装材に使われているインターロッキングブロック、コンクリート平板、タイル舗装の補修材料にアスファルトを用いて修理しているため、つぎはぎが多く不陸が多い。

②歩道の地盤沈下等で凸凹がひどく、メンテしないと逆に危険度が高い箇所がある。

③歩道等において汚れたり角欠けしたインターロッキングブロック、平板、縁石の破損、舗装の部分的な沈下、不陸、段差、工事跡の凸凹、側溝蓋の破損、紛失、ガードレールの曲がり、塗装の退色、剥離、視覚障害者用誘導ブロックの退色、汚れが目立つ舗装がある。

④植樹体の覆土が減り、歩道と段差を作っている。

⑤立て看板のはみ出し、騒色、油系の汚れが歩行環境を悪化させている。

4）景観材料

バリアー対策の一環として、景観材料を考慮した素材をも漸次使用されている例が多くなって来ているが、コスト的な面もあり現状では、

①舗装材として具備すべき充分な強度、滑り抵抗値、磨耗性、誘導性を有している材料が使われていない。

②舗装材としての排水、不陸、滑り、歩行性、色彩、車椅子等の歩行性に配慮した景観材料が少ない。

③視覚障害者用誘導ブロックは原則として黄色を用いるが、場所、状況によってまちまちで分かりにくい。

④グレーチングに白杖をとられる危険性のあるものがある。

⑤景観重視の視覚障害者用誘導ブロックは障害者にとって紛らわしい。

⑥コスト的な課題もいれるべきではないか。

⑦場所に合った照明、標識等がない。

⑧側溝等に使われている幅広のスリットを持つグレーチングが多い。

5）その他

人間の生活行動のはみ出しのコントロール手法として、商品、立て看板、鉢植え等のはみ出しや、放置自転車、違法駐車などの通行障害物に問題がある。また、行政のバリアフリーに関する計画もトータルできちんとしたものを持っているかもしれないが、現状はできるところからやればよいという感じで、部分部分でしか実施されていないように思える。事例として、

①歩道スペース内にある街灯、街路樹。

②駅前広場の駐輪により幅員が半減されている。

③店舗の種類により、駐輪が多い。

④アメニティを高める植栽が障害物になっている。

等が挙げられる。

### 2.2.2　実態調査からみて考えられる解決策

問題となる箇所を写真に撮り、設計、施工、維持管理、景観材料、その他に分け考えられる解決策をCG等を使い提案した。一例を紹介する。

## 3．生活者歩行ツール・道路・景観材料の実態調査からみた問題点と解決策

生活者歩行ツール・道路・景観材料の問題点を把握するため、生活者歩行ツール（3.1）、歩道幅員（3.2）、歩車道段差（3.2）、グレーチング（3.3）、舗装材の目地（3.4.1）や滑り抵抗値（3.4.3）、道路標識（3.5）、透水性舗装（3.6）についての調査を行い改善・解決に向けての提

案を行う。

ここでは生活者歩行用ツール（3.1）の実態調査の一部と歩道幅員（3.2）の問題点と解決策を例として掲げておく。

### 3.1　生活者歩行ツールの実態調査

生活者歩行ツールの問題点を把握するため、婦人靴ヒール底寸法、盲人用杖の石突、車椅子の車輪幅、ベビーカーの車輪幅、及びショッピングカートの車輪幅の実態調査を行った。

#### 3.1.1　婦人靴ヒール底寸法　図3-1-1、-2　表3-1-1参照

ブロック舗装等、目地を有する舗装の歩行安全性は、ヒールの高い婦人靴を履く女性にとって重要な問題である。このため婦人靴におけるヒール寸法のアンケートによる実態調査を行った。調査対象者は24才～58才の女性44名で、所有するヒール高さ40mm以上の婦人靴256足の回答を得た。この結果では、ヒールの底については、長さ10mm未満（8～9mm）のものが2足、幅10mm未満(8～9mm）のものが8足ある。長さ10mmのものが7足、幅10mmのものが15足あり、目地構造を有する舗装材料によっては目地（3.4）エキスパンションや道路付帯設備（グレーチング（3.3）等）により、ヒールがはまり歩行に障害をきたすこともある。

### 3.2　歩道幅員および歩車道段差の問題点と解決策

#### 3.2.1　歩道幅員の問題点と解決策

a）道路の構造……複断面と単断面

道路には車道と歩道のある複断面と、歩道がなく車道だけの単断面道路がある。歩行者の安全のために歩道があることは望ましいことは言うまでもない。道路幅員が大きい（広い）場合、歩道を設置することが可能であるが、わが国の都市の道路（街路）は狭いものが多く、歩道のない単断面道路が数多く存在する。歩道を敷設するにはおおよそ8m以上の幅員をもたなければならない。

b）車両交通と複断面形成……最小幅員の歩道（単位：mm）

今、8m幅員の道路にどのような歩道を敷設できるかを検討してみる。

(A) 車道における車輌の通行を一方通行とし、1台が駐停車していても他の車が通過できるには、車道幅員は5m500である。その場合道路の両側に幅員1m250の歩道が敷設可能である。

(B) Aと同様に一方通行とし、1台が駐停車していても他の車がかろうじて通過できる車道幅員は4m500である。その場合、道路の両側に幅員1m750の歩道が敷設可能である。

(C) 車両は一方通行で駐停車禁止とすると、車道幅員は3m500で、その場合道路両側に2m250の歩道が敷設可能である。但し、消防自動車（梯子車）がアウトリガー（固定する足）を広げて消防活動をする場合、幅員が4m500必要であるので、防災上は（B）又は（A）の方がよい。

## 4．バリアーフリー調査研究の総括

都市の外部空間からバリアーを除き、究極的にはユニバーサルデザインを行うために、現在どのようなバリアーが存在するかをチェックする必要がある。その項目を下に挙げ、項目によってはそれらの改善方法を提案として書き記す。

### 4.1　都市の外部空間におけるバリアーチェックと改善方法

### 4.2　まとめ

本研究によって、現況の都市の外部空間にはまだまだバリアーが存在していることがわかった。それらを検証し、どうすればバリアー要素を除去、改善できるかを検討したが、それらをまとめると次のようになる。

1．「バリアーフリー路上実態調査」において、道路におけるバリアーの状況を把握することができた。

2．バリアーの状況を「バリアー指数」として整理し、バリアー指数によって道路評価を行うことができた。

3．「駅のバリアーフリー実態調査」を30駅で行うことによって、駅のバリアーフリー化の一般的動向を含めた状況を把握することができた。

4．路上実態調査から問題点を具体的に指摘し、改善方法をCG等により提案することができた。

5．生活者歩行ツールの寸法―ハイヒールのかかと寸法、白杖の先端寸法、車椅子のキャスター幅、ベビーカーの車輪幅、ショッピングカートの車輪幅を調査し、データとして整理することができた。

6．道路構造と道路幅員及び歩車道段差の問題点を列挙し、その解決策を提案することができた。

①歩道の幅員

②歩車道段差を０にする可能性

③藤沢市の地図を用いて、複断面、単断面道路の割合を調査し、複断面すなわち歩道を有する道路はたかだか全体の12.7％であることがわかった。

7．生活者歩行ツールの寸法から、

①排水溝、排水桝の蓋、特にグレーチング等の隙き間の寸法や設置向き

②貼り舗装、敷き舗装の目地の寸法

の検討と提案をすることができた。

8．舗装路面の滑り抵抗値をリストアップした。

9．路面舗装材及び舗装方法と地球環境を考え、保水性、透水性のある材料及び工法により、ヒートアイランド防止、温暖化防止、水たまり防止を考察した。

10．景観向上とバリアーを除去するための現況の改善策を検討した。

①歩道巻込部の誘導ブロックの敷設のしかた

②道路標識及び各種支柱の改善

③共架及び添架の推進

11. 音声案内誘導方式の現状を調査した。

12. 路上の街具類（ストリートファニチュア類）の考察を行い、バス停、公共トイレ、水飲み、サインの検討を行った。

13. 都市の外部空間におけるバリアーチェック及び改善方法を表にしてまとめることができた。

## 5．おわりに

本研究は、景観材料推進協議会を構成する企業から選出された委員８名と主査２名により構成されたバリアーフリー研究委員会を平成10年に発足させ、研究を始めた。

路上の実態調査から始め、バリアーの問題点をあげ、その改善策、解決法を検討し、ものによっては提案までを行うことができた。

各委員及び事務局の御努力に深甚なる謝意を表し、（財）トステム建材産業振興財団の御理解に心より感謝申し上げます。

尚、当報告書に関心をお持ちの方はバリアーフリー研究委員会事務局（景観材料推進協議会 TEL03-5640-0903）までご一報いただければ詳細についての資料提供をさせていただきます。

## バリアーフリー研究委員会名簿

| | | |
|---|---|---|
| 主　査 | 高橋志保彦 | 神奈川大学　工学部　建築学科　教授 |
| 主　査 | 小滝　一正 | 横浜国立大学　工学部　建設学科　教授 |
| 委　員 | 古村　　満 | アイエルビー株式会社　常務取締役 |
| 委　員 | 南部　　惇 | アサノピーシー工業株式会社　常務取締役　生産部長 |
| 委　員 | 菰田　朋子 | 株式会社アスク　建材営業本部　建材営業部　技術グループ　主査 |
| 委　員 | 高井　智代 | 株式会社INAX技術統括部　空間デザイン研究所 |
| 委　員 | 池田　典弘 | 株式会社キクテック　開発部　課長 |
| 委　員 | 池平　博幸 | 小糸工業株式会社　電機営業本部　係長 |
| 委　員 | 有方　直美 | 前田道路株式会社　技術本部　事業開発部　技術開発課 |
| 委　員 | 斉藤　　武 | 吉野理化工業株式会社　東京支店　課長 |
| 協力者 | 坂口　睦男 | 日本道路株式会社　技術本部　技術研究所　第１研究室<br>福祉道路担当　主任研究員 |
| 事務局 | 山本　征夫 | 景観材料推進協議会 |
| まとめ協力 | 小川　克彦 | ㈱高橋志保彦建築設計事務所 |

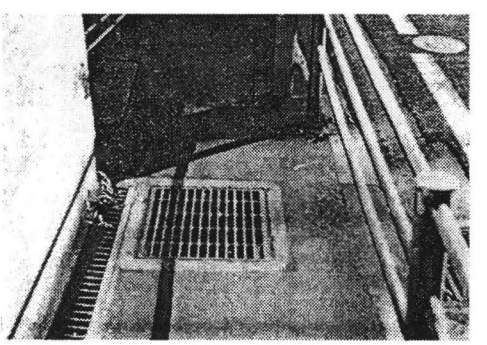
| 項　目 | 基　準 | 備　　考 |
|---|---|---|
| 有効幅員 | 有効幅80cm以上 | 安心して通行するため道路有効幅80cm以上の測定 |
| 舗装状態 | 舗装材表層の凹凸量２cm以下 | 舗装材料の良否で白状歩行者、車椅子歩行者の歩行に影響し、平坦性が重視されるため |
| 段　差 | ２cm以下 | 横断歩道や交差点と車道が交差するような場合、車椅子のキャスターが小さいため歩行不可能な２cm以上の測定 |
| 勾　配 | %(東京都規格) | 車椅子進行方向に向かって８%以上を測定 |
| 横断勾配 | 度以下 | 車椅子進行方向の左右傾斜で車椅子が安全な部分にはみ出さない傾斜角度を測定する |
| 電　柱 | | 有効幅を狭めている障害物のため本／mを調査する |
| 街路灯 | | 〃 |
| 交通標識 | | 〃 |
| ﾏﾝﾎｰﾙ・ﾊﾝﾄﾞﾎｰﾙ | | 車椅子歩行者の安全歩行を阻害するため個数と段差を調査する |
| ベンチ | 通行用に供する部分の幅員2m以上(横断) | 有効幅を狭めている障害物のため個数と有効幅／mを調査する |
| 地上機器 | | 有効幅を狭めている障害物のため個数／mを調査する |
| 放置自転車・バイク | | 有効幅を狭めている移動可能障害物のため調査する |
| 植樹桝・植え込み | | 有効幅を狭めている障害物のため調査する |
| 立て看板 | 歩道路上に置いてはいけない | 〃 |

■表2-1-1　調査基準値

景観材料

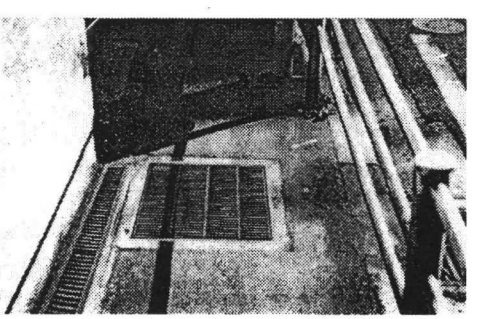
● 問題点

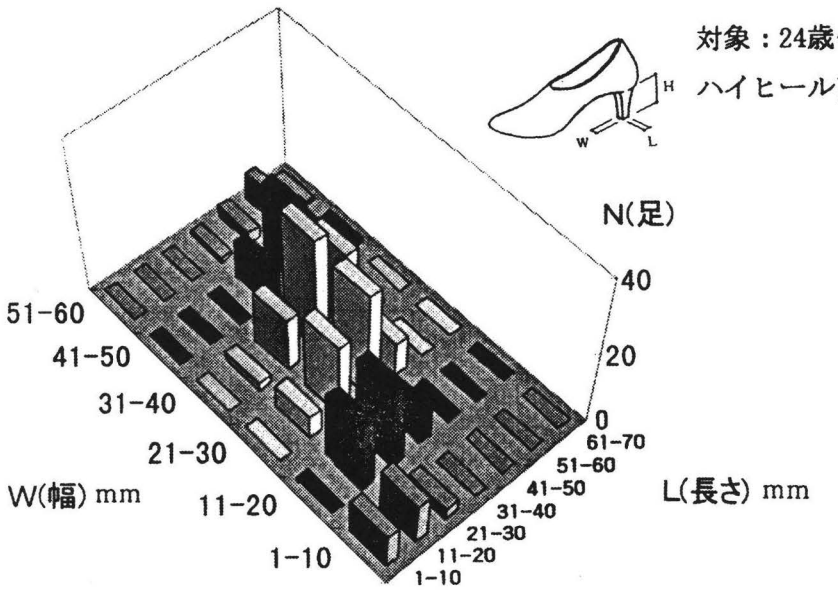
グレーチングのスリット幅が大きく、通行方向に沿って設置されているため、車椅子やベビーカー、ショッピングカー等の車輪がはまり込む恐れがある。



◎ 考えられる解決策

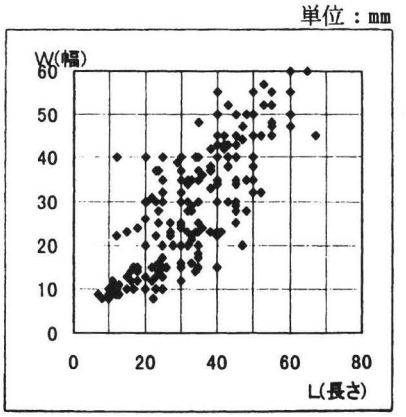
スリット幅の狭いグレーチングを使用し、走行方向に垂直となるように設置する。






■図3-1-1　婦人靴ヒール実態調査

単位：㎜

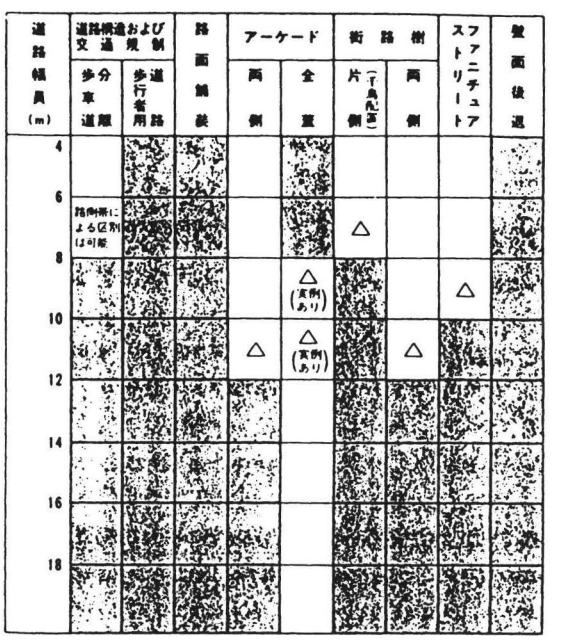



■図3-1-2　婦人靴ヒール幅（W）長さ（L）

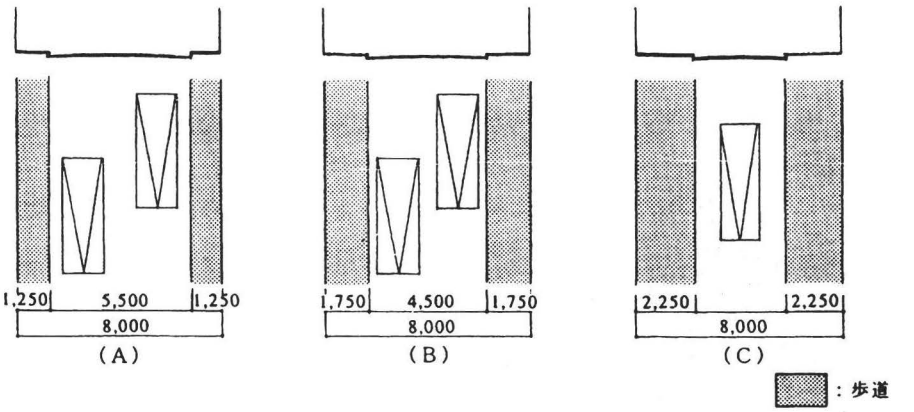
単位：㎜

| W（幅） | L（長さ） | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1-10 | 11-20 | 21-30 | 31-40 | 41-50 | 51-60 | 61-70 | 総計 |
| 1-10 | 9 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| 11-20 | 0 | 18 | 22 | 9 | 1 | 0 | 0 | 50 |
| 21-30 | 0 | 6 | 20 | 28 | 9 | 0 | 0 | 63 |
| 31-40 | 0 | 2 | 14 | 30 | 21 | 1 | 0 | 68 |
| 41-50 | 0 | 0 | 0 | 10 | 21 | 8 | 1 | 40 |
| 51-60 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 7 | 1 | 12 |
| 総計 | 9 | 37 | 59 | 78 | 55 | 16 | 2 | 256 |

■表3-1-1　婦人靴ヒール幅（W）長さ（L）




（出展：ショッピングモールの設計計画　高橋志保彦著／彰国社）




| チェック項目 | 問題点・必要条件・改善方法 |
|---|---|
| 1. 歩道 | |
| ・歩道の有無 | ・8m以上の道路には歩道をつける。 |
| ・路側帯は安全か | ⇒路側帯の白線の内側の材料や色を変える。 |
| 2. 歩道幅員 | |
| ・1m200～1m550あるか | ・車椅子と歩行者のすれ違い可能寸法 |
| ・1m850あるか | ・車椅子同士のすれ違い |
| 3. 歩道の舗装面及び舗装材 | |
| ・平滑か | ・凹凸は危険、歩きにくい |
| ・滑りやすくない | ・雨天時の滑りやすさ⇒摩擦係数<br>・推奨値を決める |
| ・硬過ぎないか | ・硬過ぎると疲れやすい⇒適度な粗面がよい |
| ・目地が歩きにくい原因になっていないか | ・目地の寸法⇒7㎜以下がよい<br>・目地の頻度⇒あり過ぎると歩きにくいが滑り防止には役に立つ。 |
| 4. 歩道上の誘導ブロック | |
| ・必要な箇所にあるか | ・色彩は周辺部分と輝度比、明度比で対比効果を出し、原則的には黄色がよい。<br>・都市景観としては美しいとは言えない。<br>⇒美的かつ安全なブロックの開発の必要性 |
| 5. 交差点部の歩道の切り下げ | |
| ・段がないか | ・車椅子、高齢者、幼児、全ての人々にとって望ましい段差か（現状20㎜）<br>⇒段差0への技術的方策 |

■表4-1-1　都市の外部空間におけるバリアーチェックと改善方法

| チェック項目 | 問題点・必要条件・改善方法 |
|---|---|
| 6. 歩道上の障害物 | |
| ・電柱（電力柱、電々柱）が邪魔か | ・歩行障害、景観阻害が邪魔か⇒地中埋設 |
| ・標識類、ミラーポールが邪魔か | ・歩行障害を起こさないよう技術的方策<br>⇒添架（共架）、ポールの曲げ |
| ・違法占用物がないか<br>（商品のはみ出し、置き看板, 放置自転車） | ・モラルの徹底<br>・取締の強化, 罰則規程の強化 |
| 7. 排水溝（街渠、地先、L型、U型）の蓋は車椅子、白杖、ハイヒール、ベビーカー、ショッピングカートの通行に配慮しているか。 | ⇒車椅子等のキャスター、白杖の先、ハイヒール等が入り込まないように寸法を決める<br>（特にグレーチング） |
| 8. スロープは利用しやすいか | ・スロープは8%以下の勾配にする。<br>・幅員は1 m200以上（車椅子と歩行者のすれ違い：1 m200～1 m500） |
| 9. 横断歩道橋は安全かつ快適に利用できるか | ⇒エレベーター、スロープ付きの場合は問題ないが、階段だけのものは撤去する。 |
| 10. 道路照明（車道照明、街路灯）は適正配置されているか | ・安全、防犯、景観に考慮して設置 |
| 11. バス停にシェルターがあるか | ・雨天時、強風時、陽差しの強い日に必要 |
| 12. トイレが適切な場所にあるか | ⇒多機能トイレの増設<br>⇒トイレサポートシステムの確立（公共トイレと公開トイレのネットワークづくり）<br>⇒トイレマップの作成 |
| 13. 適切な街具（ストリートファニチュア）があるか | ・休憩街具としてのベンチ |
| | ・衛生街具としての水飲みスタンド<br>⇒車椅子対応 |
| | ・情報街具としてのサイン（案内サイン、誘導サイン、定点サイン、注意・指示サイン）<br>・必要箇所には点字付サイン、音声案内付サイン |
| 14. 緑陰があるか | ⇒夏の強い陽差しを遮る街路樹 |

■表4-1-1　都市の外部空間におけるバリアーチェックと改善方法（つづき）

# 1—22 米国のホームインスペクター養成制度に関する研究

## カリフォルニア州の養成機関におけるケース・スタディを通して

大阪樟蔭女子大学　学芸学部
教授　一　棟　宏　子
岐阜女子大学　家政学部
教授　中　野　迪　代

### Ⅰ　本研究の目的

日本の住宅産業はこれまでフロー中心で、スクラップ・アンド・ビルドを進めてきた。近年、住宅水準の向上とともに住宅の長寿化が進み、今後は中古住宅の売買が活発になると予測される。中古住宅市場の拡大には、住宅の質の維持と安全性の保証が前提となる。質の保証には購入前の住宅検査制度が重要で、今後、その需要が増大することは必至である。このような観点から、筆者らは米・豪の中古住宅購入前検査制度について、その有効性について研究を行ってきた。本研究はその一環として、中古住宅購入前検査に携わるインスペクター（以下ホーム・インスペクターと称す）の役割に焦点をあて、米国の養成機関のシステムと教育内容、資格、受講者の意識について現地調査を行う。中古住宅購入前検査制度が実効あるものになるかどうかは、ホーム・インスペクターの資質によるからである。

そこで、本研究は米国のホーム・インスペクターの養成機関において、現地体験的調査を通じて、養成機関のシステムや教育プログラムを把握する、養成機関で受講中のホーム・インスペクター予備群の属性（性別・現職等）や、ホーム・インスペクターという職業に対する彼らの意識と期待・目標について把握する。また、ホーム・インスペクターの職業組織と業態の状況を把握し、資格試験や社会的評価について居住者やインスペクター等にインタビュー調査を行い、ホーム・インスペクターに要求される役割と資質、ホーム・インスペクター養成における有効性と問題点について考察する。

### Ⅱ　本研究の方法

前項で述べた本研究の目的を達成するために、以下の方法を用いた。

1．1998年8月17日～22日米国カリフォルニア州、オーシャンサイド市にあるホーム・インスペクター養成機関 Inspection Training Associates（以下の文中ではITAと称す）が実施する5日間コースの講習会に参加し、その体験を通じて、プログラム内容、教材、教授方法等の有効性と問題点を検討した。

2．同ITAのコース受講者に対してアンケート調査とインタビューを実施し、彼らの属性（性別・年齢・職業体験、現職等）を把握し、ホーム・インスペクターという職業に対する彼らの意識や期待・目標について分析した。

3．ホーム・インスペクターの全国的職業組織の資料を収集し、就業者数の推移、業態など活動状況を把握した。また、資格試験の実施状況とその内容の検討を行った。今回、研究対象に選定したのは、米国における全国的ホーム・インスペクターの職業組織として1976年に設立され、インスペクターの約半数の会員を擁する American Society of Home Inspectors（以下の文中ではASHIと称す）である。また、本研究における養成機関の調査対象としてカリフォルニア州のITAを選定したが、そのため、カリフォルニア州における職業組織である California Real Estate Inspectors Associates（以下の文中ではCREIAと称す）についても資料収集を行い、その活動実態もあわせて把握、分析した。

4．1998年９月27日～30日、カリフォルニア州／ロサンゼルス近辺の住民、ホーム・インスペクター、ホーム・オーナー組織に対するインタビュー調査を実施、ホーム・インスペクターの仕事内容への認識や社会的評価を把握した。

5．1998年10月１日～４日、ネバダ州／ラスベガス／リビエラホテルにおいて、ITAの主催でインスペクションEXPO'98が催された。このEXPOは専門知識や技術に関する種々の講座を開くだけでなく、インスペクションに関連する器具類販売、図書、保険会社、情報・ソフトの提供会社等が参加しており、最新情報を収集したり、インスペクターが自分のレベルアップを目指して参加する。また、インスペクター相互の社交場としても機能している。ここでは、養成機関の校長Kevin O'Malleyに対するインタビュー調査を実施した。

6．以上の結果を総合的に検討し、ホーム・インスペクターに要求される役割と資質、インスペクター養成機関の有効性と問題点について考察した。

## Ⅲ　結果と考察

### １．米国におけるホーム・インスペクションの普及の推移（表１-１）

表１-１は、1975年から1997年までの米国における経済状況（インフレーション率、失業率、利率）と中古住宅販売戸数、ホーム・インスペクション推定実施率、ホーム・インスペクション実施推定戸数の推移を示している。この表は1998年10月４日インスペクションEXPOにおいて、CREIAのScott Clements会長が行った講演で用いられたものである。

このデータによれば、中古住宅販売戸数のうちホーム・インスペクションが実施された比率は、1975年ではわずか１％に満たない数であり、10年後でも６％以下であったが、1987年ごろから10％台に増加、さらに1992年には20％台へと加速し、1997年には30％台へと急激に増加の一途をたどっている。特に、1995年から1997年の間には、約100万戸のホーム・インスペクションが行われたことになる。

ASHIでは、ホーム・インスペクションの実施率をCREIAよりもさらに多く1991年で約25%、年間約100万戸を超えると推定、1998年では全国平均で45%、大雑把にみて年に1850万戸になると見積もっている（注、HOME INSPECTION・MARKET REPORT（January, 1998）より）。

こうしたホーム・インスペクションの増加の背景には、消費者の安全に住宅を購入したいというニーズが主要因であるが、ホーム・インスペクションに対する保険が普及したことや、たとえば、カリフォルニア州においては住宅の売買取引の際、売主は過去５年間にその住宅で起こったできごとを買い手に情報開示しなければならないという法律が施行されたこと等も見逃せない要因といえよう。

ASHIでは、現在、ホーム・インスペクションビジネスが約46億ドルにのぼっていることを報告、そして、2000年までには多くて中古住宅の65%、年間266万５千戸にインスペクションが増加すると予想している。

## ２．資料にみる全米のホーム・インスペクターの実態

ASHIはアメリカとカナダでフルタイムやパートタイムで働いているインスペクターが、約１万人いると見積もっている。約４千人の会員（志願者を含む）を擁しているASHIは、インスペクターのほぼ半数近くを占めている。

表I-2は、ASHIの会員（志願者を含む）数の推移を示しているが、会員は過去５年間で約50%以上の増加を続けている。

## ３．米国におけるホーム・インスペクターの職業組織とその役割

ホーム・インスペクターの代表的な職業組織としてASHI（1976年設立）があげられる。北米全体に約55箇所の支部をもち、前項でも述べたように、会員は約４千人を擁し、インスペクターのほぼ半数をカバーしている。このほかに、全国的な職業組織にNational Association of Home Inspectors, Inc.（1987年設立）等がある。ここではASHIを例にあげ、目的、会員資格、活動実態を報告し、その役割について考察する。

### １）ASHIの目的

ASHIは1976年に、広く社会に住宅検査が認知され、インスペクターの技術を高めることを目的に、NPO（ノンプロフィット・オーガニゼーション）として設立された。北米において最も古く権威ある職業組織であり、会の仕事は会員の教育とコミュニケーション、マーケティングの支援にある。

### ２）会員の資格

インスペクターは最初必ず、志願者として加入しなければならない。志願者はたとえば、ASHIの支部活動やいろいろな教育機会への参加、仕事のエラーに対する保険への加入、月刊誌の定期購読など、会員として多くの利益を受けることができる。

しかしながら、志願者の利益は限定され投票権もないので、会員になることが推奨されている。会員になるためには、志願者の期間（最低６カ月）に、ASHIの２つのテストに通ること、最低250件の住宅検査の実績と、その有効性を示すことが要求されている。志願者は会社やグループでなく個人

のみであり、その権利を委譲することはできない。

3）会員の利益

会員になることで得られる利益は、大きく二つに分けられる。第一は、ASHIの年次総会、展示、技術的な刊行物、資料、ビデオ、議事録、検査実施の学習、月刊誌の定期購読、インターネットを通した会員フォーラムや要求があり次第、情報が書類として即座に返されるプログラム等、さまざまなプログラムへの参加と情報入手の機会が広く提供されることである。第二は、たとえば、インスペクターのリストアップサービス、顧客に配布する技術的資料や、市場において消費者へのアピール（信用)、ASHIの独占的な保障保険等の加入、行政の許可や規則の監視等、仕事を行う上で必要になるマーケティング活動のサポートを行っていることである。

4）会員の義務

ASHIは独自の倫理コードを持っており、会員がそれに従うことを義務づけている。倫理コードは住宅検査を行う一定期間中、会員が仲介や不動産の販売、修理業といった他の業種と区別ができるよう、こうした行動を禁じている。ASHI会員のロゴの使用についても、すべてASHIの要求に従うこと、加えて、会員になった後でも、教育の単位を毎年続けてとり、会の方針や規則を維持することが義務づけられている。

5）資格試験

ASHI会員の資格試験は、住宅構造の知識、欠陥の認識、ASHIの検査実施基準、倫理コードの理解度がテストされる。試験は全米どこでも受験でき、３時間で140ドル。電子テストセンターにおいて実施される。試験は厳しく、ASHIの基準に合う住宅検査をするのに必要な、広い視野にたった技術的、実際的な職業的情報をカバーしており、特定の資格に含まれる試験の細かい情報が必要とされる。

資格試験は、筆記試験にとどまらず、実地経験も検討される。すなわち、ASHIのレポート確認プログラムは、250件の住宅検査実績レポートの中から何件かを徹底的にチェックし、基準にしたがっていることを厳重にチェックされる。

6）会員の種類と会費

会員は正会員（年会費＄260）と会員志願者（＄80の申し込み金と年会費＄235）のほか、以下に示す賛助会員と引退会員の種類もある。

・賛助会員＝インスペクターとその職業のための製品やサービスを提供するグループや個人。(年会費＄600。年次総会における１ブース料金を含む)
・引退会員＝インスペクションにこれ以上従事しないASHI会員（最低５年の会員資格が要求される。年会費＄95)

7）検査のための教育トレーニング

住宅検査は、技術的な訓練や経験が要求されるため、明確な規律がある。いくつかの州では規則はあるが、連邦政府が決めたアカデミックな、あるいは職業的なカリキュラムではないので、個人は自分自身で職業的な訓練をつんでいく責任がある。

ASHIの支部は年間を通じて、さまざまな教育セミナーやワークショップを提供している。ASHIの年次大会は1月に催され、何十という技術セッションやビジネスセッションがあり、インスペクターのために多様な展示やショーケースの製品、サービスが見られる。

なお、ASHIと同じく古い歴史をもつCREIA（1976年）の場合、会員は毎年30時間以上の教育プログラムを受講し、専門知識や最新の情報を得ることにより、会員の資質を維持しようとしている点が注目される。

8）ホーム・インスペクション市場の将来性

検査されたインスペクションの実数を推測するために、NARの年間住宅売買平均数である4100万戸にASHIが売買に先立ってインスペクションされたと見積もった％をかける。1991年には25％、あるいは年間約100万戸を超えると推定している。今日、ASHIは全国平均で45％、それは大雑把にみて、年に185万戸になると見積もっている。

9）ホーム・インスペクターに要求される条件

今日、インスペクション業界はブームになっているが、どのインスペクターも適切に検査できる能力があるわけではない。それだけに、ASHIの会員資格は、インスペクターを探すときに最も重要な必要条件になる。多くの消費者はインスペクターの経験や職業的資質を判断したりするには、あまりにもいろんな条件に左右されやすい。インスペクターの訓練は机上の知識ではなく、実地の経験から得られる。保証書や保険証書が知識や経験に取って代わるわけでなく、自力で得た経験と教育こそがインスペクターの能力をつくるのである。

その意味で、南東ペンシルベニア州、南ニュージャージー州、北デラウエアー州のホームページに掲載している「ホーム・インスペクターの選び方、10のこつ」は、インスペクターにどんな条件が要求されているかを簡潔に表していると思われるので、以下に紹介する。

例　「ホーム・インスペクターの選び方、10のこつ」

(南東ペンシルベニア州、南ニュージャージー州、北デラウエアー州のホームページより)

ホーム・インスペクターの選択に注意を払えば、購入者は新しい住宅を見つけた興奮と混乱との間の不安が軽減される。ASHIは、住宅を購入しようとする人が地域の数人のインスペクターを呼び、彼らの資質を確かめ、適切な人を選ぶためにあらかじめインタビューを行うことを提案する。

以下は、その質問項目である。

① ASHIの公認会員であるか。
② ASHIの基準にそってインスペクションとレポートがなされているか。
③ インスペクション会社でどのくらいの期間ビジネスを続けているか。
④ インスペクターは特に、住宅建築に経験があるか。
⑤ 会社が行ったインスペクションに基づいて修理や改築を申し出るか、これは利益の食い違いの種になるだろう。
⑥ インスペクションにどのくらいの時間がかかるか。(平均2～3時間、それ以下では充分でない)
⑦ コストはどのくらいか。

⑧ インスペクターは時宜を得た方法で書かれたレポートを満たしているか。

⑨ インスペクターは立ち会うのをすすめるか。これは貴重なチャンスである。立ち会いの拒否は危険信号を掲げていることになる。

⑩ インスペクターは教育プログラムに参加し、新しい専門知識を得る努力を続けているか。

### 4．免許について

これまでASHIの例をとりあげて、組織やインスペクターの資格、活動実態、その将来性についてみてきたが、現実にはこのような組織に属していない人も多く、インスペクターの教育や経験、および技術的な水準もさまざまである。ホーム・インスペクションの市場が拡大するにつれて、インスペクター業界への新規参入者と、逆にトラブルのために転職を余儀なくされるケースも多く、訴訟も増加する傾向にあるようである。

そのため、トラブルをなくし、インスペクターの質を確保するために、今後は行政サイドで免許や法律による消費者保護対策が強化されていく傾向がみられる。既に免許が必要な州もあるが、現在、免許を課すべきかどうかを検討している州もある。また、免許に要求される資格や内容も州によって異なっている。

従って、実際のインスペクターの職業的地位や評価は州によって異なっているが、ここでは、インスペクションEXPO'98（1998.10.4）におけるASHI会長John Palczukの講演要旨から、各州の免許状況の概要を報告する。（ただし、各州の免許情報についてその後の検証を行っていない。）

#### 1）各州における免許について

①アラバマ州

・liability insuranceを見せる必要がある。

・ASHI、Veterans Administration、Home Builders Associationのうち、いずれかの証明書が必要。

・高校卒業証書

・100件のホーム・インスペクションの経験

②アーカンソー州

・ASHIの倫理コードに従わなければならない。

・10万ドルのliability insuranceが必要。

・１年間は自分がインスペクションした住宅を修理できない。

③アリゾナ州

・４年間の実地訓練とテスト

④カリフォルニア州

・自分がインスペクションした住宅は修理できない。

⑤ジョージア州

・インスペクションで何があったか書かれた書類を渡す。

⑥メリーランド州

・顧客とASHIで交わされたインスペクション同意書

⑦ニュージャージー州

・ASHIの試験をパスすること。

・高校の卒業証書。

・他のインスペクターと実施した250件のホーム・インスペクションの経験。

⑧ニューヨーク州

・ニュージャージー州と同様。

⑨ノース・カロライナ州

・ニュージャージー州と同様。ニュージャージー州はノース・カロライナ州を模範として作った。

⑩オレゴン州

・Construction, Contractor's Boardからの証明書

・保険

⑪ロード・アイランド州

・各種のインスペクターがいるだけ

⑫サウス・カロライナ州

・S. C. Residential Builder's Commissionにファイルされること。

・インスペクターの管理下で１年間の経験を得ること。

・Residential Builder's Commissionが認めた人の証明書。

⑬テネシー州

・新しい住宅に関するインスペクションのみ免許が必要。

・免許のある建設業者、または、州の消防署員

・ASHIまたは州のインスペクション証明書

⑭テキサス州

・Texas Real Estate Licensing Boardによる資格が必要

・トレーニングをつんだインスペクターの弟子として、または教育をうける。

⑮ウイスコンシン州

・州の試験にパスすること。試験はASHIのものをモデルとしてつくられた。

・ホーム・インスペクターは法的に２年間の責任を負う。

★免許を検討中の州

①イリノイ州

②マサチューセッツ州

・委員会に登録すること。

・配管工、電気技士、建築家として２年間の経験を証明するもの

・ペーパーテスト

③ペンシルベニア州

・はっきりした基準はない

・免許取得と政府への登録

・将来的には、二つ目の法案としてASHIへ登録することを盛り込む。

2）ネバダ州の免許

インスペクションEXPO'98（1998.10.4）におけるBarry Penzel（ネバダ州Dept. of Business & Industry Real Estate Division）の講演より要旨をまとめた。

免許は、1万ドルの保証保険に加入していること、100ドルの登録費を払うことが条件となっている。免許には、3つのレベルがある。

・レジデンシャル・インスペクター

4戸1の住宅まで、また、10000平方フィート以下の商業用建物を検査できる。

・ジェネラル・インスペクター

どんな住宅でも、どんな商業用建物でも検査できる。200のインスペクションの経験（商業用は25）が必要である。

・マスター・インスペクター

他のインスペクターを査定できる。

400の検査の経験が必要（商業用は50）

基本的には、ASHIと同じシステムを使っている。ただし、州のテストを受けなければならない。これまでの合格率は60%である。

5．ホーム・インスペクターの養成機関における5日間コースの体験

カリフォルニア州のホーム・インスペクター養成機関の調査対象としてITAを選定した。それは、筆者たちが1997年9月カリフォルニア州フレズノ市において、ホーム・インスペクションに関連する人たち（不動産業者、インスペクター、銀行、行政機関等）のインタビュー調査や居住者のホーム・インスペクションに対する意識と住情報に関するアンケート調査を実施したこと、また、ホーム・インスペクターの実験的ケーススタディの研究を実施してきたというこれまでの研究過程から、今回もカリフォルニア州における養成機関を研究対象とした。

ITAの選定にあたっては、ASHIのホームページに掲載されていたことと、前回の調査で、インスペクターたちの推薦があったことによっている。その後、ITAがInspection EXPO（前述）を実施し、全国のインスペクターに対して、インスペクションに関する新しい情報の提供と教育のレベルアップを目指した機会をもっていることを知り、研究対象選定の妥当性を確認した。

ITAでは、2週間コース（85時間、$2950）、5日間集中コース（50時間、$1450）、イブニング・クラス、通信教育コース（$1495）、1日特別クラス（$125〜225　プール・スパ検査コース、

モービル・ホームコース）等を提供している。

なお、今回体験的調査は５日間集中コースを選定した。このコースを体験し、教育のしかた、教員と教育システム、学生の学習効果等について報告する。

**１）研究対象コースの概要**

Home Inspection-Fast Track Course ＃4

日時：1988年８月17日～22日

参加者：21名（筆者を除外）

参加者のプロフィール：別項６．アンケート調査結果参照のこと。

**２）日別コースカリキュラム内容（講師と教材）**

**＊第１日（講師Kevin O'Mary）**

Module A-The Scope of Inspection　　2 hours

まず、参加者のプロフィールとその目的を紹介。ペアになって、相手の名前、出身地、バックグラウンド、目的、強化したい事項、弱点、インスペクションでどれだけの収入を得たいか、自分の地域におけるインスペクションの費用、最終テストにおける得点予想の各項目にわたってインタビューを行い、互いにどんな目的で受講したか。何を目指すべきか等の確認を行い、授業の導入とする。

教育は自分の技術と知識を充実させ、身分の安定と保護のために重要であることを強調。

インスペクターの組織を紹介。インスペクションの歴史と経過の説明。特に、カリフォルニアの場合、1986年ディスクロージャーを定めた法律が実施されて以降、インスペクションの件数が飛躍的に伸びてきた経過を説明。事故の発生（裁判沙汰）とその対策として保険の有効性と重要性を述べる。

Module B-The Home Inspection Business　　2 hours

インスペクターとして何が必要であるか、知るべき項目をテキストにそって説明。

Module C-Report Writing　　2 hours

報告書の作成には特に注意が必要であることを強調。見てわかる範囲で誠実に書くことが重要であり、決して推察をしないことを説明。

報告書には記述式とチェックリスト式、その折衷式がある。レポートの実例を比較することで、チェックすべき項目のもれがないかどうかを実習。互いに意見交換をすることで「レポートのよい書き方とは」を考えさせる。ASHIの例をあげて説明。具体的に書くことを推め、特に湿気の害には要注意であることを強調。

(教材：Marketing Your Business—Alternate Ideas and Press Releases
A Training Manual for Home Inspectors American Society of Home Inspectors
Home Inspection Study Guide to the ASHI Training Manual)

**＊第２日（講師Jim Turner）**

インスペクターとして仕事に大切なのはDED、すなわちDetect（欠陥を見抜く）、Evaluate（評価する）、Direct（解決への方向づけを行う）である。

法規。全国的にBC（建築法規）がカバーする範囲を指摘。州ごとに法規が異なるので要注意。地盤、災害（台風、地震）による構造等への影響等の基礎的知識を概説。（補強金物についてのビデオ、台風、地震の被害と影響についてのビデオ）

Module D-Structure　4 hours

Module E-Exterior　4 hours

放課後、コンピュータを使ったレポートの記入について説明。

（教材：Home Reference Book Study Guide
Home Inspection Study Guide to the Uniform Building Code
A Training Manual for Home Inspectors American Society of Home Inspectors）

＊第３日（講師Micheal Casy）

模型教材を使って屋根の構造、屋根材の説明。特に、雨漏りのしみ、水溜りができているところを要注意。（屋根のスライド①②）

Plumbingに関して一般的に見える範囲のみを扱い、中までみない。し尿浄化槽はインスペクションの対象ではない。住宅の経歴を聞いて押さえておくべきことを強調。放課後、８時くらいまで質問の受け付け。

Module F-Roofing　4 hours

Module G-Plumbing　4 hours

（教材：Residential Plumbing Inspection—Guide for Home Inspectors
Electrical Inspection of Existing Dwellings）

＊第４日（講師Micheal Casy）

設備検査を行うべき範囲を説明。電気設備、暖房システム、エアコン設備の説明。実物、ビデオを使って説明。

Module H-Electrical　4 hours

Module I-Heating　4 hours

Module J-Central Air Conditioning　4 hours

＊第５日（講師Jim Turner、Micheal Casy）

午前中、２グループに分かれインスペクションの実地見学。一階建て中古住宅（住民がいない）ケースを見る。説明しながら実際にインスペクションを行い、レポートを書くところを見学する。見るべきポイントを指摘。特に、見たままを書くこと、推測を書くと裁判沙汰になるケースがあるので書きすぎないよう注意を促す。

午後、試験に関する補習。

（教材：Residential Plumbing Inspection—Guide for Home Inspectors

Electrical Inspection of Existing Dwellings)

3）スケジュール

トレーニングは５日間：

朝食つき。各自、朝食（果物、マフィン、ペーストリーとコーヒー、ジュース、水）をとりながら歓談。昼食は各自とる。午後はクッキーと飲み物が用意されている。

最初の日は午前７時半頃から集まり始める。２日目からは８時頃から登校する人が多い。授業はほぼ時間どおりに行われるが、スライド、ビデオ等に時間がかかる場合が多く、終了は午後６時過ぎることが多かった。また、２回ほど質問を受け付ける日を午後８時くらいまで設けていた。

1st 8:30am-10:00am

2nd 10:10am-12:00pm

Lunch Break 12:00pm-1:00pm

3rd 1:00pm-3:00pm

4th 3:10pm-5:30pm

## ６．ホーム・インスペクター養成講座受講者に対するアンケート調査

アメリカにおいて、中古住宅を安全に売買する上で、ホーム・インスペクター制度は一定の役割を果たしている。しかし、現状ではホーム・インスペクターの仕事について、必ずしも免許資格が要求されているわけでなく、資格の取得を課した州においても、資格の取得条件は大きく異なる。

たとえば、カリフォルニア州ではインスペクターに課せられている事項は「検査した住宅について修理等の仕事を行ってはいけない」というものだけであり、インスペクターの仕事に資格は必要とされていない。そこで、インスペクターはどのように仕事の訓練を受け、実際に仕事を進めているのか、どのようにインスペクターの仕事の質を確保しているのか。必要とされる資質は何なのかを探るために、ホーム・インスペクターの養成制度の受講者を対象に、どんな動機と目的をもって養成機関の講習会に参加しているかを把握するため、アンケート調査を実施した。以下は、アンケート調査の集計結果を分析したものである。

### １）受講者のプロフィール

①性別（図６-１）

受講者21人のうち20人までが男性で、圧倒的多数を男性が占めている。ASHIの調査資料においてもインスペクターの女性比率は２％弱と少ない。また、第３回インスペクションEXPOにおける女性参加者もわずか６％程度であった。

②年齢（図６-２）

受講者の年齢層は30～60代まで幅広いが、30代から40代が７割を占めている。

③家族型（図6-3）

年齢でみたように、30～40代が中心であり、その家族型は夫婦＋子供／片親＋子供の世帯が７割(15人）で最も多い。次いで夫婦世帯（５人)、単身者と続く。

④現在の職業（表6-1）

General Contractor、土木技師、不動産鑑定士、ビルのメンテナンス、配管工、大工、設備関係のデザインと設置、ラドン・テスト等、建設関係の仕事に携わっているものが16人で最も多い。他方、消防士や弁護士、鉄道会社に勤務しているもの、自営業、退職者も含まれて、受講者の職業は多様である。

⑤これまでの転職回数と経験した職業（表6-2、表6-3）

転職経験がない者はわずか４人のみであったが、その職業はいずれもGeneral Contractorであり、経験年数は十数年から三十年と長いのが注目される。その他の人については１回～８回まで、平均すれば４回強転職している。そしてまた、経験してきた職業の内容は多岐にわたっている。たとえば、今回の受講者で唯一の女性（40代前半）の場合、公立学校教師からデイケアセンターに従事し、次いで不動産業者、不動産鑑定士と職業を変えている。また、30代後半の男性の場合、建設業に１年、病院に２年、消防署に12年勤務し、３回転職経験がある。なお、自営業でさまざまな職業を経験しているケースも５人ほどみられた。

⑥受講者の所有資格について（表6-4）

何らかの資格を所有する者は10人（47.6%)。そのうち、General Contractor建設業者登録免許(3)、Building Contractor (2)、Plumbing Contractor配管工事業者登録 (2)、Electrical Contractor電気工事業者登録（1)、Real Estate不動産業者登録（1)、Appraiser不動産鑑定士(1）のように、建設、不動産関係の資格を有しているものの比率が高いが、その他、消防士、弁護士等の資格もみられた。

⑦受講者の居住地域とITAの評判

受講者の居住地域は、カリフォルニア州10人、コロラド州５人、テキサス州、オレゴン州、ニューメキシコ州、フロリダ州、ワシントン州、ジョージア州各１人であった。アメリカの西部および南部が中心であるが、相当広範囲にわたっている。数ある養成機関のうちからITAを選んで来ているのであるから、当然その評価は高い。ASHIやCREIAの雑誌（４人)、あるいはインターネット（３人）を通じて参加した受講者は1/3であったが、大多数は知り合いのインスペクターや家族、友人の口コミから評判を聞き、選択していることがわかる。

2）ホーム・インスペクターの仕事について

①ホーム・インスペクターの資格に、興味をもった時期

最も古くから興味をもっていた人は６年前（１人）であるが、１年以内と答えた人が12人で過半数、その他は２～３年前頃と答えている。インスペクターの資格に興味を持った時期はここ２、３年のうちで、ホーム・インスペクションが広く普及してきた時期とほぼ重なっているといえよう。

②ホーム・インスペクターの仕事に興味を持った理由（図６-４、多項目回答）

ホーム・インスペクターの仕事に興味を持った理由として「仕事自体がおもしろい」「自分のペースで仕事できる」「経済的に利益がある」を約７割の人があげている。また、「今の仕事に役立つ」と答えたのは約４割であり、「社会的な評価がよい」を理由に挙げた人は２割に満たなかった。

③ホーム・インスペクター養成機関についての情報源（図６-５、多項目回答）

友人（６人）や家族・親戚（４人）から情報を得た人が多い。また、直接インスペクション会社・組織あるいはホーム・インスペクター（５人）、不動産業者（１人）を通じて知った人もいる。中には、自宅の検査を頼んだ際に情報を得たと答えた人もいる。その他、仕事や仕事仲間（３人）を通じて、新聞・雑誌（３人）や本（２人）、インターネット（２人）で情報を得たという回答が見られた。総じて、人を通じて情報を得ている比率が圧倒的に高い。

④ホーム・インスペクターの知り合いの有無（図６-６、６-７）

７割の人にホーム・インスペクターの知り合いがおり、その約半数を友人が占めている。

⑤ホーム・インスペクターの仕事の予定（図６-８）

21人中20人までが今後インスペクターの仕事につく予定である。「独立して仕事する」のは５人にすぎず、「会社に入って仕事する（12人）」が約半数を占めている。

⑥受講を今後の生活でどう活用するか（図６-９、多項目回答）。

「今の職場で資格を活かす（２人）」より、「ホーム・インスペクターになる（20人）」や「会社を経営する（７人）」ために受講している人が圧倒的に多い。

⑦ホーム・インスペクターの社会的評価（図６-10）

「あなたはホーム・インスペクターの社会的な評価をどのように考えていますか」という問いに対して、５段階評価で回答を得た。「非常によい」５点、「よい（９人）」４点、「ふつう（８人）」３点、「悪い（３人）」２点、「非常に悪い」１点として評価を点数化してみると、全体における評価の平均点は3.3点であり、「ふつう」より若干よい程度にとどまっている。

⑧ホーム・インスペクターの将来性（図6-11）

ホーム・インスペクターの仕事の将来についてみると、「不安がない」人は1/4強であり、７割の人が将来インスペクターとして働くうえで何らかの不安を抱えていることがわかる。

⑨将来に対する不安の内容（図6-12、多項目回答）

不安の内容には、主に「経験がない（９人）」「信用がない（６人）」等があげられ、「収入の安定（５人）」という経済的不安よりも、これから自分が継続的に仕事を行っていくうえで、経営に結びつく実績の重要性が意識されているといえる。

⑩ホーム・インスペクターの資質と経営の成功（図6-13、図6-14、多項目回答）

ホーム・インスペクターとして最も要求される資質には、「誠実さ（13人）」「専門的知識（13人）」「豊富な経験（９人）」「信用（８人）」「経営感覚（７人）」等があげられているが、さらに、ホーム・インスペクターが経営的に成功するには、「経営感覚（16人）」を真っ先にあげる人が多く、次いで「誠実さ（10人）」「信用（10人）」「専門的知識（９人）」等をあげ、前者の条件とは若干異なっていることがわかる。

⑪ホーム・インスペクターのニーズと有効性評価（表6-5）

全員が今後ホーム・インスペクターのニーズは増えると思っているものの、実際に住宅を購入する際に有益かどうかでは、「大変有益・有益（13人）」と７割弱が肯定的であるのに対して、「わからない（３人）」のほか、無回答者も５人みられた。

なお、このアンケートの回答者は21人という少人数である。また、数ある養成機関における１コースの受講者の事例調査であり、とうていホーム・インスペクターになろうとしている人の意見を代表したものではないが、この調査が社会的認識や評価を反映したものとみることができる。

## ７．ホーム・インスペクターの仕事内容への認識や社会的評価

### １）養成機関ITAの校長に対するインタビュー調査

・実施日時：10月３日

・対象者：ITA校長Kevin O'Maly

・場所：インスペクションEXPO'98会場のホテル

#### (1) インスペクションEXPOについて

EXPOの参加者は、１年目200人、２年目230人、３年目（1998年）325人（女性20人）と、年々増加している。最新の業界の動きなど、情報を得る場として、会員の知識や教育のレベルアップを図る場として、また、会員相互の情報交換の場と目的としており、その役割を果たして成功し

ている。

**(2) 教育機関について**

以下の各質問を前もって準備し、インタビューで回答を得た。

**①1997年1年間におけるコースごとの受講者数。そのうち、テストに合格した人の割合（合格率）。**

1週間コース　120（80%合格）

2週間コース　90（99%）

通信教育　　150-200（90%）

**②ホーム・インスペクターとして実際に仕事を始める人の割合をコースごとに教えてください。**

試験を通った人の80%がインスペクターとしてビジネスを始める。ほとんどが自営する。やめる人は仕事に対する動機づけが弱い。自信がない。資金を集められない等が原因である。

**③これまでの受講者数、ホーム・インスペクターになった数、そのうち、現在インスペクターをやめた人はどの程度いるか。もし、これらの数を示した統計的な推移の資料があればいただきたい。**

受講後3カ月間は支援している。その間しか状況は把握できていない。

試験合格者80%のうち、10%はインスペクターの仕事をやめる。

受講した学生のうち30-40%が継続的に仕事をしていると思う。

**④より専門的な再教育を受けたいと思う人に対する、プログラムを用意しているか。**

年間コース数（約12回）。

- Commercial Building Inspection
- Expo
- Pool & Spa
- Expert Witness
- Mobil Home

**⑤ASHIのホームページに、ホーム・インスペクターの養成・教育機関が掲載されているが、それ以外に把握している養成機関名を教えてください。ASHIに載せている養成機関は、どのような基準で紹介しているのか。他に、college等でも、Home Inspectorの養成機関があると聞いている。どこに、どのようなコースがあるか知っている機関を教えて下さい。**

- ASHIのホームページに載せる基準は別にない。
- ネバダ州ではホーム・インスペクターのコースがある。(Barry Penzelに話を聞くこと)
- ホーム・インスペクターの資格が必要な州は、テキサス、ネバダ、ノースカロライナ、サウスカロライナ、ニュージャージー、アーカンソー、その他

**⑥ITAが他の養成機関と異なる特徴は何か。他の養成機関についての評価を記入して下さい。**

- 州政府から教育施設の免許をもらっている点が他と異なる。
- サイドビジネスでやっているところや金もうけのためにやっているところが多いが、ITAでは教育を専門にやっており、スタッフ数と規模が大きい。講師を他の機関から招いている。学

生のニーズに応えるようサポートを行っている点と、教育の質が異なる。

・フロリダ州から専門学校の免許をもらっている。免許には３段階がある。

第一段階の免許をもらっているが、それが一番難しい。第二段階は州の中に建物が必要。

⑦ホーム・インスペクターあるいはビジネスとして成功するためには、何が必要か。そのための、手段をITAはどのように提供しているか。

・インスペクターには、Education（technical skill)、Dedication（献身的に)、Communicationが大切といつも教えている。

・また、ホーム・インスペクターにとって、顧客に対する報告書は大切である。その報告書のマニュアルであるコンピュータ・ソフトを作っている。

⑧ITAだけでも、通信教育、２週間、５日間、１日のコースがある。しかし、受講者のほうも、経験や以前に受けた教育にかなり差がある。これまで住宅や建築に関してあまり経験や知識がない受講者にとっても、インスペクターとして働くのに十分な教育を与えられているか、考えを述べて下さい。

・初めて仕事を始める人には、２週間の教育を受けるのを勧める。最低限の知識を授けるが、後は自分自身の努力による。意欲（motivation）が大切である。５日間のコースは、建築家、エンジニア、建設業の経歴がある人が多い。経験を積むことが必要。実地訓練も提供している。

⑨全国的なホーム・インスペクターについて年次的な推移を示す統計があれば、教えて欲しい。（ホーム・インスペクターの数、事務所の数、やめる人の数、事務所の規模の分布、年商額、住宅市場の中でインスペクションを受ける家の比率など）

・ホームインスペクターの数の推移はASHIに聞くこと。

⑩訴訟事件はどの程度起こっているか。全国の大体の数とその内容を具体的に教えて下さい。また、ホーム・インスペクターに対する訴訟についての記事が載っている新聞、雑誌などの文献を教えて下さい。

・アラン・インシュランス（会社名）に聞くこと。

⑪ホーム・インスペクターあるいはビジネスの将来性についてどう思っているか。

・毎年、50%程度で急速にのびている。今から５年くらいで伸びはあまりなくなるだろう。ケビンが始めた16年前には2.5%程度のホーム・インスペクターしかいなかったので、規則は必要なかった。しかし、今市場が大きくなっているので、こうした免許が必要になっている。

・免許に関する規制は５年くらいのうちにできるだろう。しかし、免許・規則は必ずしもよいとはいえない。銀行や地主（家主)、保険に対して免許が必要とされるようになるだろう。

・免許の内容は大きく違う。たとえば、お金さえ払えば（30ドル）資格がもらえるところもあるし、２年間の実地訓練が要求されるところもある。従って、教育が大切。そのために、質のいい教育を提供し続けることが必要である。

2）ホーム・インスペクターに対するインタビュー調査

ここでは、ホーム・インスペクターとして現在働いている人が、どのような経歴で、職業を始めたか、そして自分の職業に対して、どのような意見と見通しをもっているかを調査した。

・対象：Daniel Meisel（34歳）
・日時：1998．9．27
・場所：カリフォルニア州／ロサンゼルス北部のSanta Barbara

ダニエルは、現在、ホーム・インスペクターとして独立、仕事を行っている。彼は、CREIAの志願者であり、ホーム・インスペクターの仕事を理解しやすいよう、まず、CREIAの組織について説明を補足した。

(1) CREIAの組織の概略について

CREIAは1976年に設立。同じ年にASHIが設立された。一般消費者と住宅検査の専門職のために、情報、教育とトレーニングを提供することで、両者を支援している。CREIAはサンディエゴに本部をおくNPO（ノンプロフィット）の職業組織である。カリフォルニア州全体に支部を持ち、数百人のメンバーと志願者にサービスを提供している。CREIAのメンバーはまず、志願者として参加し、入会試験合格後メンバーとなり、倫理コードと検査実施基準を遵守しなければならない。そして、毎年30時間の教育を継続して受けなければならない。

CREIAの使命は、

・住宅検査業界を代表すること。
・ユニークで、専門的な実施基準に従って、不動産検査を実施し、技術を向上させること。
・教育を通して、倫理的、技術的基準を維持することでリーダーシップをとること。
・消費者の保護を強化し、会に対する認識を高めることである。
・メンバーシップは２つのレベル＝Certified Professional Inspectorとただのメンバーの２種類、メンバーになる前の段階志願者からなる。
・月２時間は、いろんな分野の専門家から講義を受ける。
・CREIAで禁止していることは、検査した住宅の工事を行ってはいけないことのみである。

(2) ダニエルの経歴

ダニエルは大学でBusiness EconomicsとEnvironment Studyの２つの学士をもっている。大学卒業後は、ビルディング・コンサルタント会社を設立、省エネ、健康に関するコンサルタントを行う。その後、ホーム・インスペクション・ビジネスの顧客と出会い、ホーム・インスペクションのことを学んだ。最初２年間は弟子として一緒に仕事をすることになったが、実際は６年間行った。

職業訓練校としてのITAの評判はとてもよいようである。２週間の授業の他、実地訓練のトレーニ

ングがあるのでよい。訓練が十分かどうかは個人の経歴による。建物の古さ、様式によってむずかしさに差があり、古い建物ほどむずかしいという。

(3) 仕事の環境について

サンタバーバラ付近では、インスペクターは30人程度と推測しているが、パートが多く、本職は少ないと思う。やめる人も少ない。裁判沙汰になると、頻繁にそれにかかわらなくてはならないので、仕事ができなくなる。

サンタバーバラは小さな町なので、評判が仕事に影響する。評判がよければ、5年に1回（全国平均引っ越し回数）は需要があるので、仕事に困らない。自分は一般消費者に対する広告を出したことがない。顧客から問い合わせがあれば、自分のやってきた仕事の経歴とレポートのサンプルを渡す。顧客はそれをもとに仕事内容と評判を確かめることができる。

仕事を引き受けるのは、売り手から3％、builder, broker, realtor 1％、買い手から96％で、圧倒的に買い手から頼まれる仕事が多い。たまには、弁護士、保険会社、管理会社から受ける場合もある。

サンタバーバラ付近では、中古住宅の売買に関して80％が住宅検査をしていると思う。住宅の値段が高い地域では、検査の比率が高まる。

(4) インスペクターの将来性について

従来、建設業者が住宅検査を行ってきたという経緯から、男性の仕事とみなされてきた。女性が住宅検査の仕事に向いているかどうかについてみると、今なお偏見はあるが、女性の仕事として不都合はない。むしろ、女性の方が顧客に対してストレスを与えないため、今後は需要が増すと思う。

検査の仕事には、2つの重要な側面がある。技術的専門性と顧客とのコミュニケーションの能力である。特に、信頼性が重要である。

将来、社会的に免許が要求されるようになると予想される。免許はあっても、仕事内容が保証されているわけではないので、自分自身は必要とは思っていない。免許資格は最低限の基準を満たすのみなので、依頼する場合には、インスペクターの実績を調べる必要がある。

3）住宅検査を行った世帯に対するインタビュー調査

ここでは、住宅を購入する際に、住宅検査を現実に行った世帯に対して、その評価を調査した。

・対象世帯の家族構成：4人家族（夫29歳、妻24歳、子供4歳、0歳）
・調査日時：1998年9月27日
・場所：カリフォルニア州／ロサンゼルスの北部、車で約1時間の場所、治安はいい

(1) 現在の住宅の入手状況

現在の家は引っ越し直後で、改装の途中である。敷地140feet×40feet（4500平方フィート）、住

宅1400平方フィート。21年間老人夫婦が住んでいた３寝室１バスルームの住宅を買い、台所を改造した。前の住人がデイ・ケア（子供を預かる）をやるため、パティオを部屋に改造していた。

不動産業者に住宅を探してもらった。価格は＄172,000。台所とバスルームは大切なので改造、改造費は約＄4,500（まだ精算していない)、計＄176,500かかった。ただし、手を入れたので、もし売るとしたら＄195,000には売れると思う。

改造は不動産業者の勧めで行った。工事は自分でやっている。情報は本や友人から得た。特に、夫はHome Depot （ホーム・センター会社）のマネージャーをしたことがあるので、友人から情報を得やすかった。改造は実際やってみると、そんなに難しくはないが、時間がかかる。もし、自分がHome Depotに勤めていなかったら、やっていなかったかも知れない。

### (2) 引越し前の住宅について

５年前にHUDのプログラムで住宅を購入、今年売却して買い換えた。住宅はタウンハウスで、床面積1,045平方フィート。＄87,000で購入。ふつうであれば、＄95,000～＄96,000の価格がかかったと思う。前の住人が銀行から借金し、返済できなかったので競売にかけられた住宅を買った。内部は相当ひどい状態で、修理には＄3,500をかけた。修理代は不動産業者がアレンジしたので、費用はどこからだしたのかはっきりわからない。

購入にあたって、HUDのFHAからローンの保証を得た。そのために、利子は３％安くなった。ただし、その住宅を住める状態に修理するのには、HUDの基準にあうようにしなければならない条件があった。たとえば、鉛の入ったペンキを使ってはいけない（はがして塗りなおした)。地震対策として、ボイラーを固定させる必要があるなど。その他の改造として、業者に頼んでカーペットを張り替え、網戸をやり替えた。

### (3) ホーム・インスペクターについて

今回、住宅を買う前にインスペクターを頼んだ。２時間半くらいかけて一緒に住宅を見て回った。インスペクションに＄250かかった。売り手もつきあった。インスペクターにより、便器の下の部分に水漏れがあったことを指摘された。自分が修理できない部分なので、売り手に修理をしてもらった。見つかった問題点を理由に、値下げの交渉を少し試みたが、ふつうよりは安い買い物だと思ったので、それほど強硬に主張したわけではない。

インスペクターを雇ってよかったと思う。自分では見つけられない欠陥を指摘してくれた。不動産業者の紹介で依頼したが、インスペクターを雇うことは大切だと思う。なお、住宅の95％は見える範囲であり、見えない部分の欠陥についてそれほど懸念はしていない。

シロアリ検査は売り手が行った。この検査がないと銀行はローンを組んでくれない。平面図や住宅の修理などの経歴を書いた記録は特にもらっていないが、情報開示制度があるので、建物の状態はわかる。

## Ⅳ　結論

米国の中古住宅市場において安全な住宅を入手するために、ホームインスペクションについて一般居住者の認識は普及し、そのニーズは拡大の一途をたどっている。全米的なホーム・インスペクターの組織であるASHIは、1998年のホーム・インスペクションの市場を中古住宅売買の45%、約185万戸と見積もっており、46億ドルの大きなビジネスに成長してきたと報告している。このように急成長を続けるホーム・インスペクション産業を支えるために、ホーム・インスペクターの数は増加しつつある。それは大きな資本を必要とせず、免許制度がないために容易に誰でも参入することができることが要因であろう。

ASHIはこれまでホーム・インスペクターの質を確保、向上させるために、入会に際して試験や実地の経験を積むことを課し、会員相互の情報交換や教育の場を提供してきた。しかし、その一方で、どの会員組織にも属さず保険にも加入しないで、トラブルの多発や訴訟により業界を去るホーム・インスペクターも多いと聞く。このような状況から居住者の利益を保護し、ホーム・インスペクターの質を保つために免許制度を義務づける州も増えている。

今回は、ホーム・インスペクター養成機関において体験的に５日間集中コースを受講し、受講者にアンケート調査を実施した。さらに、自己研鑽のために最新知識や技術の情報を得る場であり、同時にインスペクター相互の情報交換の場でもあるインスペクションEXPOに参加し、その状況を視察した。また、インスペクターや居住者、養成機関の校長にインタビューを実施することにより、ホーム・インスペクターに要求される資質とは何か、また、その質を確保するために、どんな教育を行い、どのような方法がとられているか、また、その効果等について考察した。

### １．ホーム・インスペクターに要求される資質

#### １）インスペクター養成講座受講による体験的分析

「集中５日間コース」では、時間内に教えるべき内容が多く、かなり密度の高い授業が行われ、使用テキストも相当数にのぼる。授業はテキストのほかに、屋根材料や設備の見本、ビデオ、スライド、レポートの実例コピーを使って、実際的、効率的に進められる。このコースはある程度建設業、建築関係の経歴がある人向きで、知識の総ざらいと整理を行い、Certificationを得るための手段として適切なコースといえる。ホーム・インスペクションの仕事を始めるに最低限度の知識と事業を行うためのノウハウは教えられるが、経歴のない人がこのコースを受け、実際に仕事を始めるまでには相当の経験が要求されよう。その意味で、１日、５日間、２週間、通信教育等、さまざまな教育コースが用意されているが、自身の知識と経験によって自分にふさわしいコースの選択をすることが肝心である。

受講者の受講態度は熱心である。概して受講料が高く、投資した時間と経費を考えると、受講者は熱心にならざるを得ない状況がよくわかる。図書コーナーは全国組織の資料等を備えて、インスペクターとして知っておくべき資料やネットワークの情報提供を行っている。

特に日本との違いは、古い住宅が数多く残っており、それぞれの時代に使われてきた住宅の構造、

設備等のチェック事項が異なり、多くの機種に対応しなければならないことである。したがって、インスペクターは相応の知識がないと古い住宅のチェックができないし、新しい知識も要求されるので、インスペクター相互の情報を交換する場は大切である。

### 2）ホーム・インスペクターを目指す人たちのプロフィール

前項養成機関において、集中５日間コースの受講者21人について、彼らの属性（性別・年齢・職業経験、現職等）や、ホーム・インスペクターという職業に対する彼らの意識や期待・目標について把握することを目的に、アンケート調査とインタビューを実施した。

これまでに何らかのかたちで建設分野の仕事に携わってきた人が、ホーム・インスペクションの普及によるニーズの増大を見越して、また、自分の経験を活かせる職業としてインスペクターに魅力を感じ、参加した場合がほとんどである。これまでホーム・インスペクションと全く関わりを持たない分野からの参加者は４人と少ない。特殊なケースとして、もともと建設関係の仕事が多い弁護士がカリフォルニア州の法律改正をきっかけとして、インスペクターの仕事に興味をもち、インスペクション分野の知識を今の仕事に活かす目的で参加した例があった。年齢は30～40代が中心ではあるが、３割弱が50代以上で退職者も含まれ、年齢層は幅広い。これまで建設関係は男の仕事とみなされてきた経緯から、現在のところ女性の参加者は少ないが、将来的には顧客にストレスを与えないという観点から、女性の仕事として徐々に増加が見込まれる。受講は現在の仕事に活かすより、独立して仕事を始めたいとする人が多い。

### 3）ホーム・インスペクターに要求される資質

ホーム・インスペクターの仕事については、全員が今後ニーズが増えると見ている。しかし、職業として実際に仕事を始めるにはやはり不安が伴う。仕事を続けるには、いかに経験をつんで自分の専門技術をみがき、顧客の信用をかちとるかという点に集約されよう。その意味で、インスペクターに要求される資質は、専門的技術と誠実さをあげた人が多く、経営的に成功するには経営感覚も必要とされている。さらに常識や人とのコミュニケーション等、対人能力をあげた人も幾人かみられた。なお、こうしてホーム・インスペクターの仕事に関心を抱いた契機には、親戚や友人、あるいは実際に働いているインスペクターから口コミで情報を得た人がほとんどであるが、インターネットも情報提供に一役買っていることがわかる。

### 4）ホーム・インスペクターの質確保と支援体制

インタビュー調査やインスペクションEXPOにより、ホーム・インスペクターの質確保の動向をさぐった。先に述べたように、免許制度を採用する州は増加しつつある。ASHIは会員に独自の試験と教育を提供してきた立場から、これまで免許制度には反対してきた。免許が与えられたからといって、その質が保証されるとは限らない、というのがその理由である。インスペクターとしての実際的な仕事の能力を高めるためには、インスペクター自身の自覚と努力が必要とされるからである。

しかし、社会的な趨勢は免許制度の実施へと動いている。５年以内には免許制度が広く全米に普及するだろうと予測する人もいる。現実には、ASHIのとってきたシステムをベースにした制度を採用する州が多いことから、ASHIも各州における政策への対応が変化してきたようだ。ASHIの組織や会員としての利益を守ることにこだわり、不適切なインスペクターの横行を許すようでは、インスペクション業界全体の評判を下げることになり、決して得策とはいえないからである。

州によって免許取得に課せられる内容は大きく異なっているが、州行政による免許制度の目的は、「居住者保護」である。すなわち、居住者が適切にインスペクターを選択し、インスペクション時のトラブル回避を支援することである。条件の内容はおおまかに３つに分類できる。第一は、試験と実地経験を要求することで、インスペクターの質の最低基準を確保すること、第二は、トラブルにそなえて賠償保険等を課すもの、第三は、修理や改装工事を勧めるためにインスペクションを行う等、インスペクション以外の利益が目的で事業することを排除するもの、に分けられる。たとえば、カリフォルニア州では、「インスペクションを行った住宅の修理等の工事を行ってはいけない」と検査が第三者的立場で公正にされることを法律に盛り込んで、上記の第三の項目だけを課している。

その意味で、これまでASHIやCREIAがインスペクターの質の保証を得るために、会員に課してきた教育の続行義務と会員相互のコミュニケーションは、質確保とトラブル回避の役割を果たすために、有効なシステムであったといえる。特に、免許取得後における会員の能力を高め、インスペクションの質を維持していくことで、今後も組織の存在意義は保たれていくであろう。

## ２．日本におけるホーム・インスペクター制度の可能性

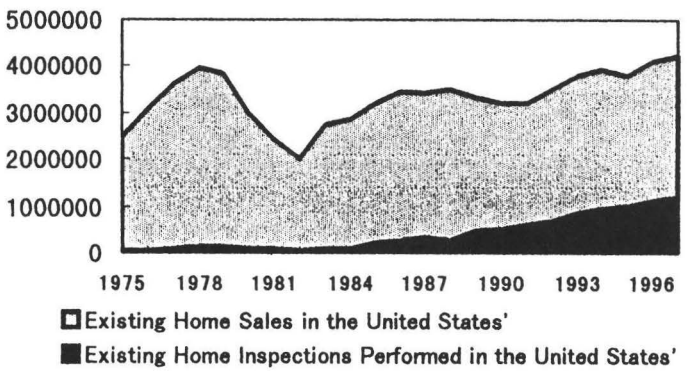
米国に比べて、日本ではスクラップ・アンド・ビルドによる住宅の建て替えが促進されてきたこと、また、転居の機会が比較的少ないことから、中古住宅市場は小さい。しかし、最近では住宅の品質が向上し、住宅を長く使う条件は整ってきている。住宅をよりよい状態で管理・改善し、住みこなしていくために、住宅の現状を点検し、どんな手入れが必要であるかを視野にいれて、住宅の付加価値を高めていくことが大切になる。特に、現在あらゆる分野において、消費者の自己責任が強調されているが、住宅の場合は、居住者が責任をもって住宅を管理するには、あまりにも多くの知識が要求されるため、専門家のアドバイスや協力は不可欠である。そのため、比較的安価で、建物の状態を点検・把握できる米国のホーム・インスペクターのシステムは、大いに参考にされるべきといえよう。

最近では、日本においてリフォーム産業の市場が拡大し、ビッグビジネスへと成長するにつれ、異業種からもリフォームビジネスへ参入するケースが増えつつある。さらに、顧客や工事の受注の拡大を目指して、企業が独自に点検を行ったり、たとえば「屋根診断士」といった点検者の資格を設ける傾向もみられる。しかし、健全なリフォーム産業の育成を目指すなら、「消費者保護」の視点が大切になる。少なくとも、米国のホーム・インスペクター制度が採用している最小限のルール、点検業務と修理、リフォーム工事の利害が一致しない第三者による点検システムが参考となる。このような観点から、米国のホーム・インスペクター制度に学ぶべき点は多い。

| | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inflation | 4.19% | 4.68% | 5.82% | 9.82% | 14.72% | 12.47% | 5.33% | 1.72% | 1.78% | 1.17% | 0.10% |
| Unemployment | 9% | 8% | 7.50% | 6.50% | 6% | 8% | 7% | 8.75% | 10.00% | 8% | 7% |
| Interest Rates | 9.10% | 8.79% | 8.96% | 10.36% | 12.90% | 14.79% | 16.82% | 13.62% | 13.42% | 13.18% | 11.26% |
| Exosting Home Sales in the United States | 2,476,000 | 3,064,000 | 3,650,000 | 3,986,000 | 3,827,000 | 2,973,000 | 2,419,000 | 1,990,000 | 2,719,000 | 2,868,000 | 3,214,000 |
| Estimated Home Inspection Usage in the States' | <1% | <2% | <2% | <3% | <3% | <3% | <3% | <3% | <3% | <3% | <6% |
| Estimated Home Inspection Performed in the United | 44,500 | 61,000 | 73,000 | 119,500 | 114,500 | 89,000 | 72,500 | 59,500 | 81,500 | 86,500 | 192,840 |

| | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inflation | .378% | 4.51% | 4.61% | 3.67% | 5.04% | -236.00% | 1.47% | 0.68% | 2.79% | 3.12% | 2.47% | -1.63% |
| Unemployment | 7% | 6.75% | 5.75% | 5% | 5% | 6% | 7.25% | 7.25% | 6.75% | 6% | 5.30% | 4.80% |
| Interest Rates | 9.31% | 10.65% | 10.61% | 9.74% | 9.67% | 8.50% | 8.22% | 7.17% | 9.20% | 7.20% | 7.60% | 7.10% |
| Exosting Home Sales in the United States | 3,474,000 | 3,436,000 | 3,513,000 | 3,345,000 | 3,211,000 | 322,000 | 3,520,000 | 3,802,000 | 3,945,000 | 3,812,000 | 4,087,000 | 4,215,000 |
| Estimated Home Inspection Usage in the States' | <8% | <10% | <12% | <14% | <15% | <18% | <20% | <22% | <24% | <26% | <28% | <30% |
| Estimated Home Inspection Performed in the United | 277,500 | 343,600 | 421,500 | 45,800 | 513,500 | 578,500 | 704,000 | 836,000 | 947,000 | 991,000 | 1,100,000 | 1,200,000 |

■表1-1　ホームインスペクションの推移

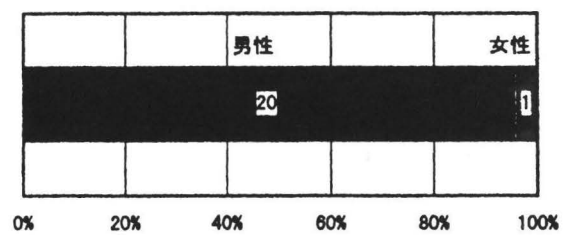



■図1-1　ホームインスペクションの推移

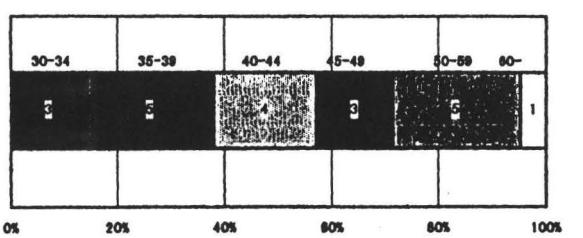
| 年 | 正会員 | 候補者 | 計 |
|---|---|---|---|
| Jan. 1,1991 | 892 | 1,253 | 2,145 |
| Jan. 1,1993 | 1,183 | 2,003 | 3,186 |
| Jan. 1,1995 | 1,491 | 3,150 | 4,641 |
| Jan. 1,1997 | 1,645 | 2,251 | 3,896 |
| Jan. 1,1998 | 1,808 | 2,229 | 4,037 |

*SOURCE: American Society of Home Inspectors, Inc.*

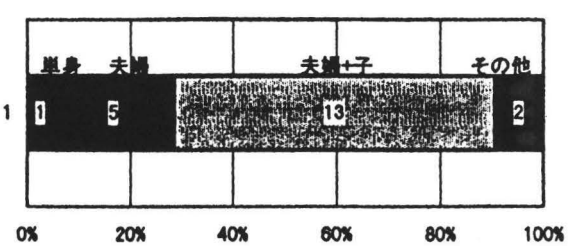
■表1-2　会員数の推移




■図6-1　性別




■図6-2　年齢




■図6-3　家族型

| | | | |
|---|---|---|---|
| General Contractor(建設業) | 4 | 消防士 | 1 |
| 土木技師 | 1 | 鉄道会社 | 1 |
| 不動産鑑定士 | 1 | 弁護士 | 1 |
| ビルのメンテナンス | 1 | 退職者 | 1 |
| 配管工 | 1 | 自営業 | 1 |
| 大工 | 1 | | |
| 設備関係のデザインと設置 | 1 | | |
| ラドン・テスト | 1 | | |
| 建設関係 | 4 | | |
| 土地家屋調査士 | 1 | | |

■表6-1　現在の職業

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0　回 | 4 | 4～5回 | 1 |
| 1　回 | 2 | 8　回 | 1 |
| 2　回 | 1 | 数　回 | 2 |
| 3　回 | 5 | 不　明 | 1 |
| 4　回 | 4 | | |

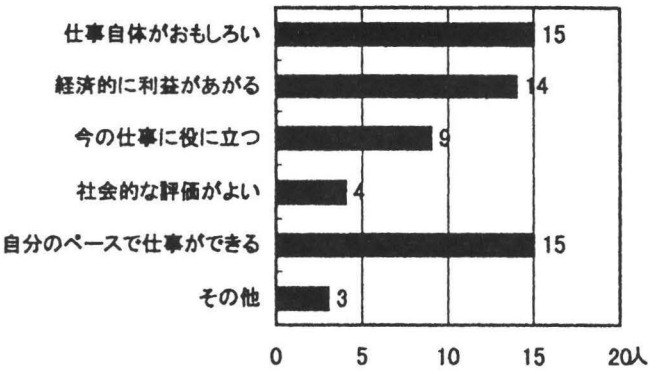
■表6-2　転職回数

| | |
|---|---|
| 宇宙エンジニア | 土木エンジニア |
| 自営 | 運送業 |
| 会社員 | 高速道路エンジニア |
| 公立校教師 | 建設業 |
| デイ・ケアオペレータ | 屋根工事業者 |
| 不動産業 | 病院 |
| コック | |

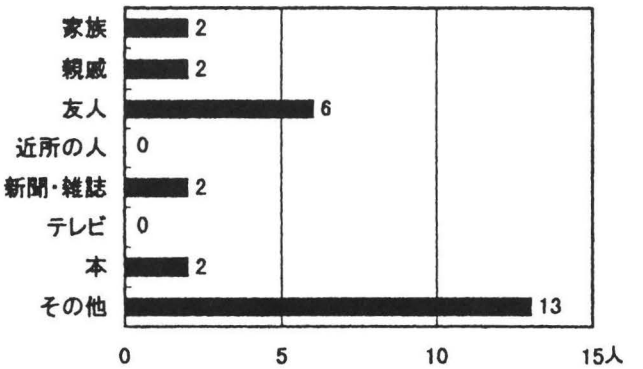
■表6-3　主な前職

| | |
|---|---|
| General Contractor License | 3 |
| California Contractor License | 1 |
| California Real Estate　License | 1 |
| Certified Residential Appraiser | 1 |
| Realtor License | 1 |
| Plumbing | 1 |
| Pest Inspection | 1 |
| A.S.Fire Science | 1 |
| Rescue System Instructor | 1 |
| Building Contractor License | 1 |
| PE Colorado Minnesota | 1 |
| Electrical Contractor | 1 |
| Attorney at Law | 1 |
| No | 11 |

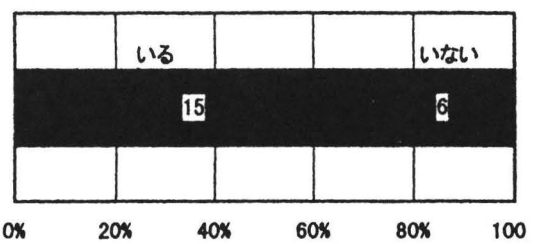
■表6-4　所有資格



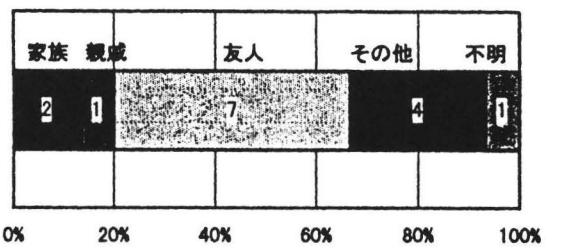

■図6-4　資格を取る理由



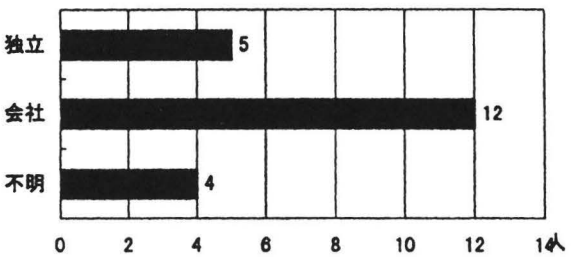

■図6-5　資格のことを何から知ったか



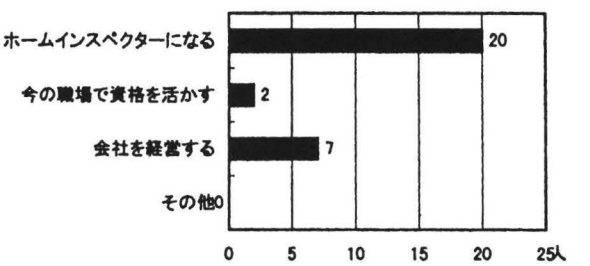

■図6-6　知り合いにホームインスペクターはいるか



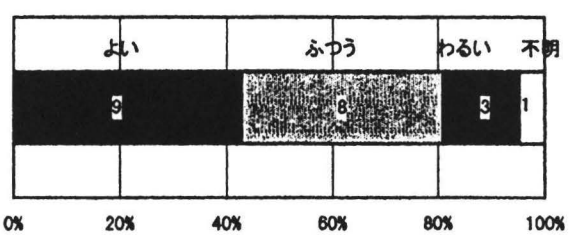

■図6-7　それは誰ですか



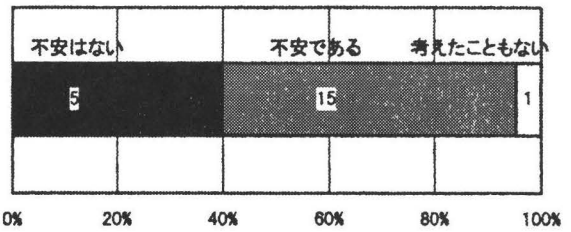

■図6-8　個人でするのか会社で活用するのか
（1人が両方に回答したものを含む）



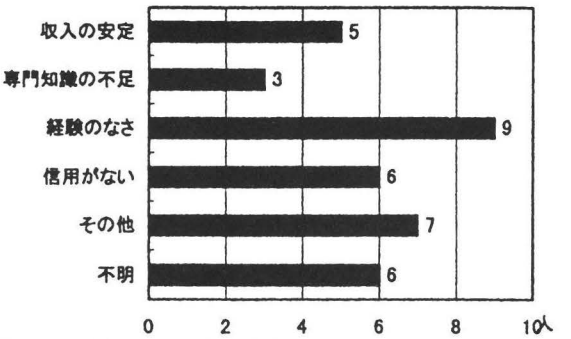

■図6-9　資格を今後どのように活かすか



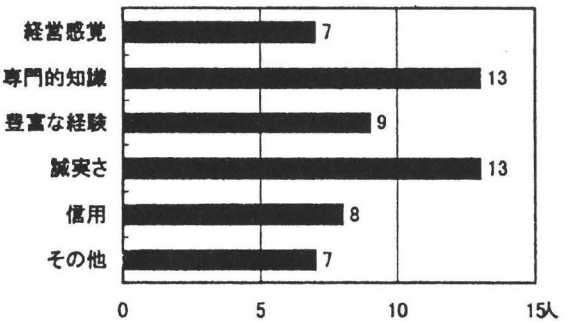

■図6-10　ホームインスペクターの社会的な価値



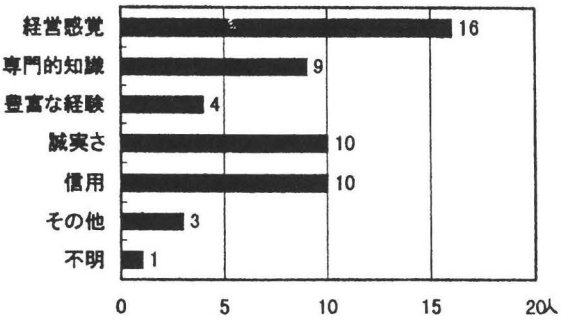

■図6-11　ホームインスペクターの将来性




■図6-12　どんな点に不安があるのか




■図6-13　最も要求される資質はなにか

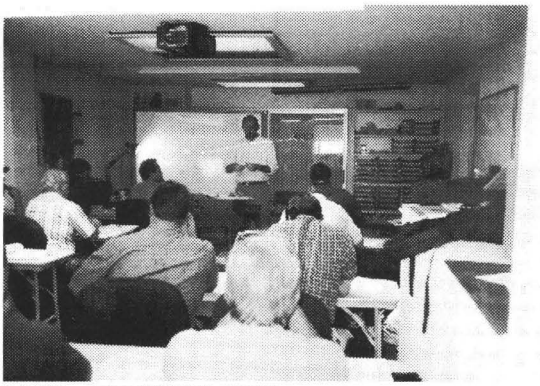



■図6-14　経営的に成功するためには

| | |
|---|---|
| 大変有益 | 8 |
| 有益 | 5 |
| 有益でない | 0 |
| わからない | 3 |
| 不明 | 5 |

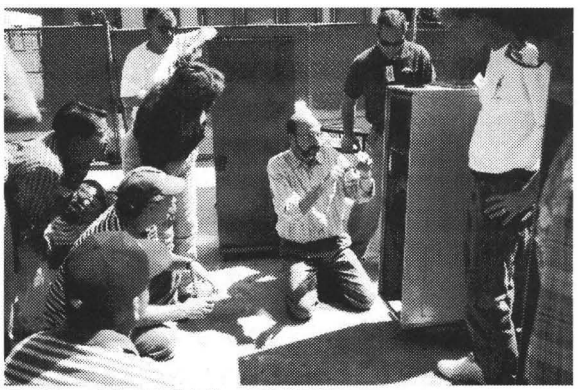
■図5　変形性状

■ITAにおける授業

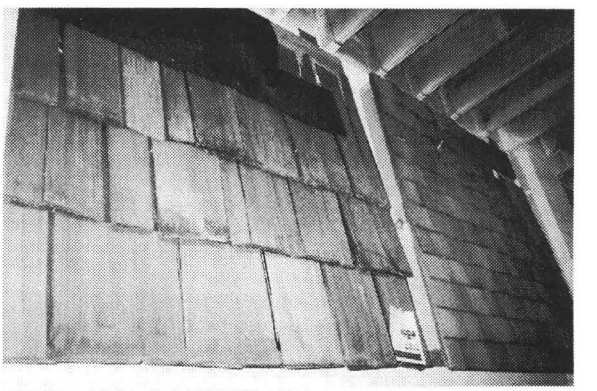


■写真1　ITAの授業風景（講義）

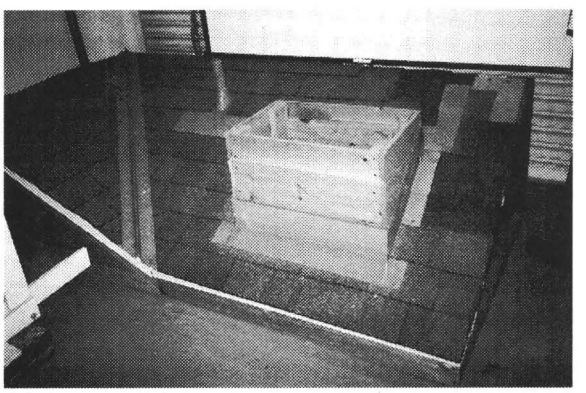
■写真2　実物の設備を使った授業風景1



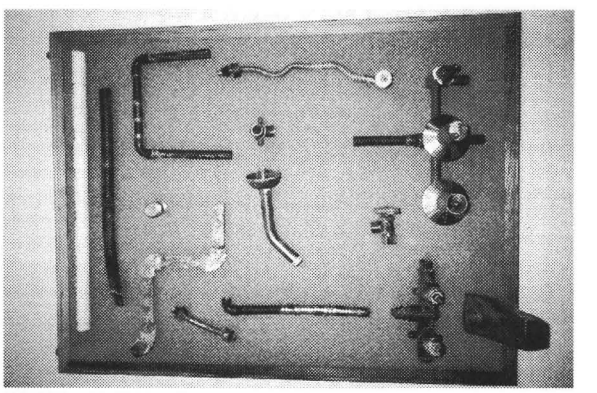
■写真3　実物の設備を使った授業風景2



■写真4　授業に使う屋根材料の見本



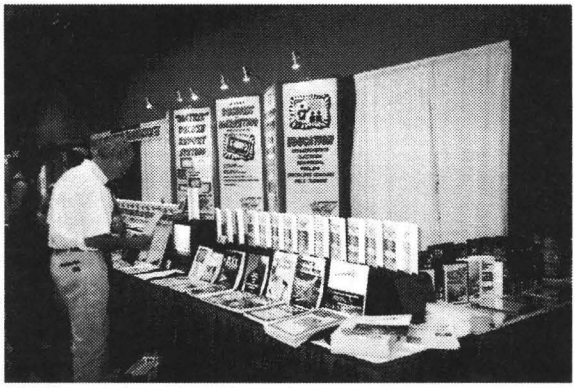
■写真5　同 屋根模型



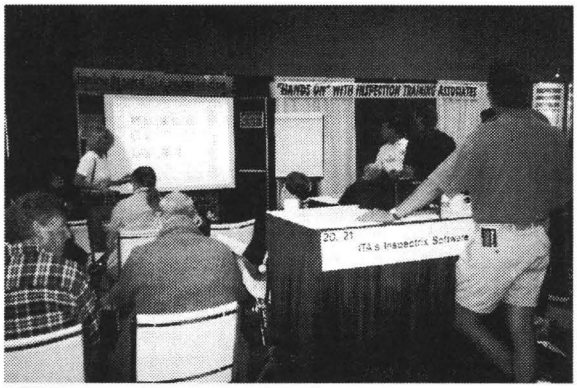
■写真6　同 配管用具

■写真5　同 ヒーター内部

## ■インスペクションEXPO'98の会場



■写真1　ビデオ・図書販売コーナー



■写真2　コンピュータ・ソフトのデモンストレーション

■写真3　インスペクション用道具類の販売コーナー

■写真4　展示室の隅に朝食コーナーが設けられている

# 1—23 住宅の生産性向上を目指した建築材料の生産性尺度に関する研究

早稲田大学理工学部建築学科
教 授 嘉 納 成 男

## 1．緒言

建築材料そのものの取り扱い易さ（加工、組み立て、運搬、廃棄物処理）と施工性との関連を中心に取り上げ、住宅生産プロセスの合理化を目指した研究はいまだ十分に為されているとは言えない。このため、生産プロセスにおける建築材料の位置付けを明確にし、生産の場における建築材料と生産性の関係を明らかにする必要があると考える。

本研究は、従来研究が難しいとされていた建築作業の生産性の把握とその生産性の予測方法の確立を目指して研究を進めている。

## 2．本研究の背景と目的

### 2.1 本研究の背景

住宅生産における生産性向上やコスト削減を目指した多くの研究がなされているが、その主たる研究分野は、(1) 建物の新たな仕組みを検討した構法研究的アプローチ、(2) 作業者が行う作業時間を短縮する作業研究的アプローチ、(3) 施工の機械化や自動化を目指した機械化施工的アプローチ、等であった。筆者もこれらの研究を永年に亙って携わってきた。しかし、今後予想される、労働者の高齢化・不足への対応、労働災害の撲滅、コストダウン、品質保証への要請に対して、建築材料そのものが有する生産性について検討を加えるべきであり、材料開発的な生産性向上のアプローチが必要になってきている。

### 2.2 本研究の目的

本研究では、建築工事における生産プロセスにおいて、建築材料の形態や取り付けの仕組みがどの様に作業者による手作業の生産性に影響を与えているかを調査するとともに、施工に対する建築材料が作業手順に及ぼす影響を分析し、施工現場での建築材料自身の生産性を把握する生産性尺度を求める方法論を確立し、生産性向上を目指した建築材料開発の方向性を明らかにすることを目的としている。

## 3．研究の方法

### 3.1　調査対象

集合住宅の内装仕上げ工事を対象として作業の実態調査を行った。図.１に本工事の建物平面図、図.２.に１階平面図・配置図、図.３.に建物立面図を示す。

### 3.2　調査方法

調査は、１名の作業者で実施する作業を継続して測定する方法をとり、各工事の状況について、あらかじめ作成した測定システムを使ったモバイルコンピュータと、ビデオカメラを用いた作業時間の測定、作業内容の調査を行った。本システムは、基本的には、作業内容、作業特性、作業場所、作業時間等の測定を行うために開発したものである。

## 4．研究の計画と進捗状況

調査期間とその対象工事は、表.１.のとおりである。

## 5．今までに得られた成果

### 5.1　内装建築部材別における作業構造の分析

本研究では内装仕上げ工事を対象としているが、内装仕上げ工事の中でも、特に仕上げの下地部分の工事についての調査・分析を行った。図.４.に示すように、天井・壁木軸工事、置き床工事、天井・壁ボード張り工事の３つの工事についての調査を行った。

時間研究は、対象とする作業の内容や測定に要求される精度によって、次に示す作業分割の単位の中から適当な単位を選択し、その粗さで作業を分割しながら行った。図.４.で示した各工事は、以下のような作業レベルに分割される。

(1) まとまり作業：職種・工法、施工する部位などに注目して分割する作業の区分であり、週間工程表や工事日報で用いられる単位である。

(2) 単位作業：分割の粗さは、まとまり作業と要素作業との中間で、加工・組立・検査・運搬などの単位で分割する。

(3) 要素作業：特定の材料や機械・工具にかかわる一連の動作のまとまりで、時間研究の最小単位である。

以上の作業分類の定義に基づき、各工事のおいて、まとまり作業、単位作業、要素作業に分類を行った。まず、まとまり作業について説明する。まとまり作業において作業準備、片付け・清掃、小休止、手持ち、その他の５つの作業を基本作業と定義する。以上に各工事固有の作業を加えた作業で構成する。これに対して、単位作業は、図面参照、寸法当り、下地ならし、墨出し、加工、取付、小運

搬、移動、検査の９つの共通する作業に分類を行った。内装仕上げ工事の下地工事における単位作業は、図面参照→寸法当り→下地ならし→墨出し→加工→取付→検査に、小運搬、移動を加えた繰り返し作業で構成されている。単位作業の下に位置する要素作業も、基本的にはいずれのまとまり作業でも共通した作業で構成されるが、その工事特有の作業が加えられたり、共通した作業がない場合もあり得る。しかし、粗く見ていくといくつかの決まった要素作業で、単位作業、まとまり作業が構成され、さらにまとまり作業が集合の一つの工事を構成している。

まとまり作業は、それぞれの工事の中でも異なった特性を持っている。ここで、まとまり作業を中心にして、実際の作業の流れに沿って表現した。これによって、部材に焦点を当ててどのように作業が流れていくかも同時に見ていくことが出来る。その表現方法として、３次元のCADを用いた。躯体工事では、昨今、頻繁に使われているが、内装仕上げ工事は作業者に作業を依存する割合が多いため、用いられていない。これを使うことによって、よりわかりやすく表現でき、かつ、表現したい部分だけを取り出すことができるというメリットがある。

### 5.2　時間測定による生産性の調査分析

今回、内装仕上げ工事は、図.5.に示すB'タイプの一住戸（約55m²）における天井・壁木軸工事、置き床工事、天井・壁ボード張り工事の工事についての調査分析を行うが、まず、その３作業全体のデータについて述べる。

ここで、各工事における作業時間と、その割合及び各工事の人工数について述べる。各工事の作業時間と人工数についてまとめたものを表.2.に示す。

また、全体工事における、各工事の作業時間の割合を示したものを図.6.に示す。また、ここでの作業面積であるが、壁に関しては、壁の面積を意味している。天井、床は、天井、床の面積を用いた。

表.2.の人工数を見ると、ほとんどが0.07人・h/m²～0.09人・h/m²であるが、天井ボード張り、置き床工事のパーティクルボード張りが0.13人・h/m²、0.12人・h/m²であり、天井・壁木軸工事に比べ、作業時間がかかることがわかる。天井ボード張りは、不安定な足場かつ、高所作業と言う条件で、大きな部材の取付作業であることと、置き床工事のプラスターボード張りは、床のレベルをそろえながらの作業であり、他作業とは、作業内容の特性が異なるために、このように生産性の低下が見られたと考えられる。

また、天井・壁木軸工事における、出入り口枠取付作業は、0.33人・h/m²と圧倒的に生産性が悪いことが分かる。最終的な表面に出る仕上げ工事であるため、生産性の低下は避けられないが、セミユニット化が図られているが、更に改良すべき部位である。

次に、図.6.の一住戸における作業時間の割合を見てみると、天井・壁木軸工事が５割近い割合を占め、ついて、天井・壁ボード張り工事が４割近い値を占め、置き床工事は、２割程度のウェイトを占めている。ここから見ても分かるように、天井・壁木軸工事が、内装仕上げ工事の下地になる部分の工事において、もっとも手間がかかると言える。ただ、他現場では、責任の問題から、床木軸工事である、キワ根太取付は、置き床工事に含む場合もある。この場合はどの作業も、同じような割合に

なることが予想される。

### 5.3　木軸工事におけるBASIC MOSTによる生産性の調査分析

本調査の対象とした工事は、内部仕上げ工事における木造間仕切り壁の軸組工事である。調査範囲は、作業者一人が行う、一戸分の壁軸組工事の作業開始から作業終了までの作業量とする。調査は作業者の動きをビデオで撮影して、録画画面による分析を行った。図.7.には調査を行った住戸の間仕切り平面図を示す。

作業測定は繰り返し作業を行う作業者の寸法当たりから部材取り付けまでの作業を１サイクルとして決めて、表.3.に示す如く、各サイクルを構成する作業を要素作業と単位動作に分類して、各単位動作別に回数、歩数、時間の測定を行った。また、各サイクルごとの実測値をストップ・ウォッチを用いて測定した。作業測定は余裕、非作業を除く、取り付け作業の１サイクルで行う、表.3.の要素動作で分類した作業のみを対象にする。

作業者は間仕切りが位置する取り付け場所、使用する材料がある材料置き場、材料の加工のために卓上丸鋸、作業台がある加工場の間を移動しながら作業を行う。各部材はきわ間柱、間柱、横胴縁の順に取り付けられる。横胴縁の取り付けが終了すると作業者は次の取り付け場所に移動する。

作業時間は単位動作に基づき、MOSTインデックス値を求めて、作業測定から求めた各サイクルを構成する各要素作業にインデックス値を与えて設定する。分析の中でMOSTインデックス値がないハンマーを用いる材料の位置合わせはストップ・ウォッチによる測定から時間値を求めた。

以上のMOST作業時間設定の方法による各集計値はMOSTインデックス値に変換する各単位動作の実施回数と、MOSTインデックス値を持っていない図面確認、ハンマーを用いる材料の組み立て、位置合わせはストップ・ウォッチによる直接測定によって時間を記録した。また、各サイクルごとにMOST時間値の検証のためにストップ・ウォッチによる実測を行った。測定の分析は各材料の作業特性によって以下の５項目に分類して集計を行った。

(1) 縦材―間柱、両端を台輪と土台に釘止めする
(2) 横材―横胴縁、間柱とビス止めまたは釘止めをする
(3) コーナー材―きわ間柱、部材同士の釘止めと両端を台輪と土台に釘止めする
(4) ドア・窓周り―方立て、きわ間柱と釘止めをする
(5) 補強材―きわ間柱、部材同士の釘止めをする

測定の分析結果本調査で分析されたサイクル数は200回、使用された材料の数量は261本であった。

MOST作業測定による軸組工事の取り付けにおける１サイクルの平均時間は0.0212時間であった。この時間値の取り付けサイクル発生回数に対する一日８時間作業に対して合計許容誤差が±５％以内にあることが期待される場合の許容誤差のグラフを図.8.に示す。図に示す如く、本調査では200回のサイクルに対する取り付け作業の平均時間であるので、信頼水準93.15％で±５％の正確さである。

MOST方法の仕上げ工事での適用性を検証するために、取り付け作業の各サイクルのMOST作業

分析値と各サイクル別にストップ・ウォッチで測定した実測値との関係を各部材の作業形態別に図.９.、図.10.、図.11.、図.12.、図.13.、図.14.に示す。

以上の図に示す如く、各部材ごとに取り付け作業の各サイクルの作業時間が短くなるとMOST分析値の方が高く、作業時間が長くなると実測値の方が高くなる傾向がある。横材の場合は、作業の特性から長いサイクルの作業より短い作業時間が多いため、他の部材に比べてMOST時間値の方が実測値より高い傾向を示している。すべての部材における、MOST時間分析による作業時間は実測値と概ね80%以上の相関関係にあり、木造軸組工事においてMOST時間分析による作業時間設定は有効である。

作業調査データから分析した取り付け作業における全サイクル数は200回、使用した部材は261本である。表.４.には取り付け作業における実測値とMOST時間値の１サイクルの平均値と標準偏差を示す。同表に示す如く、各部材毎の平均値はMOST時間値の方が高い値を示す。図.15.には取り付け作業における実測値とMOST時間値の各部材別の作業時間を示す。同図に示す如く、各部材の全作業時間に対する実測値とMOST分析値における各部材毎の時間の割合が判った。

## ６．これから期待される成果

建築生産の生産性を向上させるためには、従来作業法方や作業手順を改善することに多くの労力が掛けられてきた。しかし、本研究でも明らかな如く、生産性の向上は作業の対象となる建築材料や部材の特性によって大きく左右されている。今後、建築生産の生産性向上においては、建築部材が生産性向上を目指した設計並びに納まりの仕組みを有することが必要になる。

今後、この研究をさらに展開することによって、建築材料・部材とその取付生産性の関係を解明し、その生産性をさらに改善することが期待される。

## ７．残る問題点と対策

建築工事における各種作業の生産性の測定は、現場における工事原価と密接に関連しているため、企業はそれを公にすることに積極的ではない。このことが、調査研究を難しくしているばかりでなく、生産性向上の研究が進まない原因の一つでもある。建築作業の生産性の向上は、我が国における建築工事のコスト縮減に向けて重要な国家課題でもあり、建築業界ならびに、建築材料メーカが積極的に調査研究が進めていくことが必要である。

## ８．研究発表の実績及び予定

本研究については、下記の論文を執筆した。

１）蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性分析に関する研究―Basic MOSTを用いた木造

間仕切り壁の軸組工事の調査分析―、1999年３月、日本建築学会関東支部研究報告集
２）蔡　成浩、嘉納　成男：建築工事における生産性に関する研究―MOST手法を用いた作業時間の推定方法に関する研究―、1999年７月、第15回建築生産と管理技術シンポジウム

## ９．実用化計画

本研究で実施した生産性調査方法および生産性の予測方法については、今後さらに調査を繰り返しながら、その実用化のための精度を確保していく。

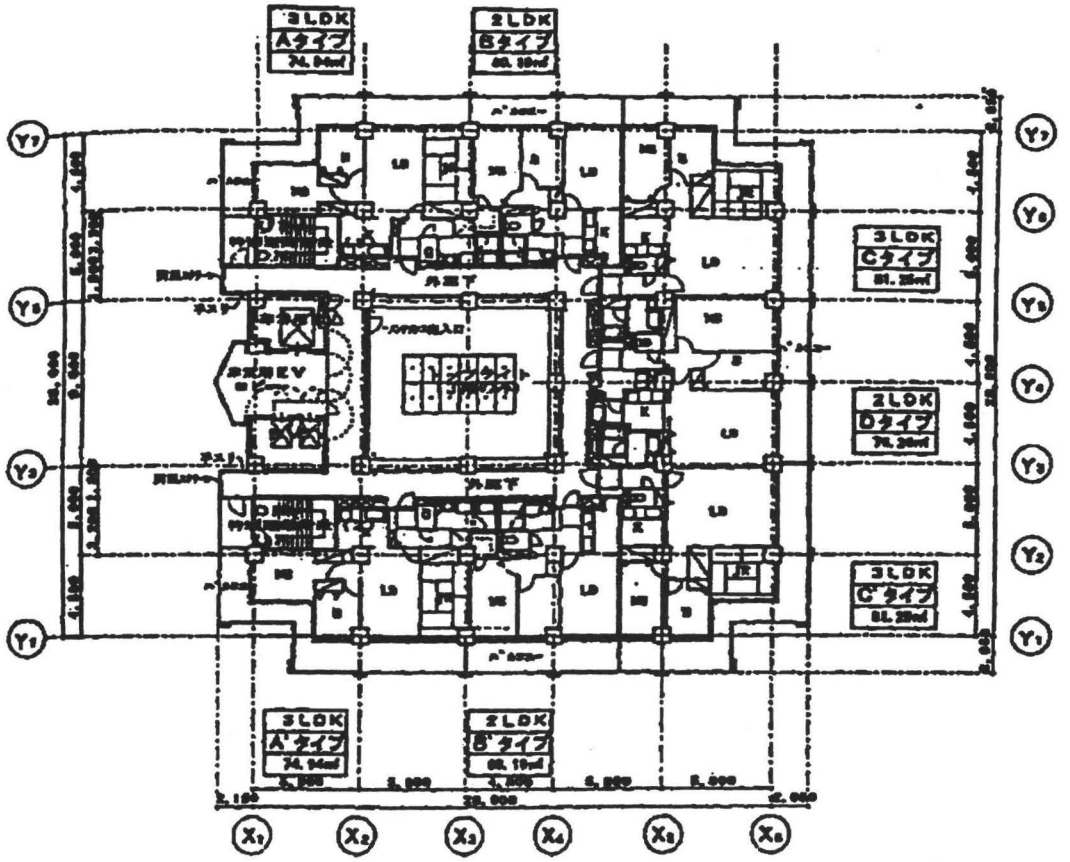
## 10．結言

本研究では、建築工事における内装仕上工事について生産性の測定を実施し、その生産性の把握とともに、パームトップコンピュータによる測定システムの試行、並びにMostの手法の適用による生産性の推定モデルの作成を行った。

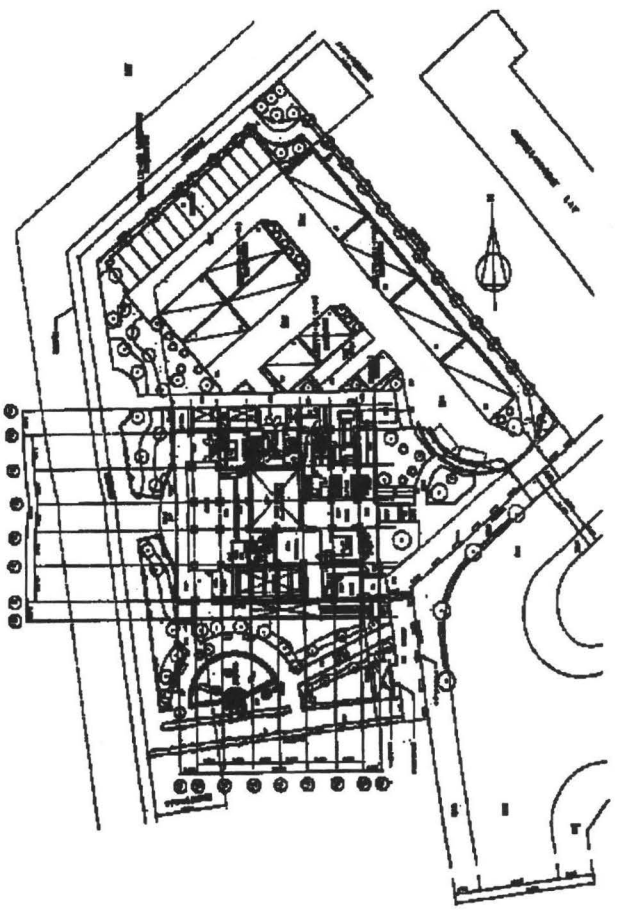
測定は、１つの工事現場のみであったが、仕上工事について１住戸についての軸組み作業、天井・壁ボード作業、置き床工事等を開始時から終了時までを調査することが出来、その工事全体に要する総労働生産性を求めることが可能になった。

また、MOST手法の適用では、軸組み作業における作業動作についての時間推定モデルを求めることによって、軸組み作業の正確な生産性の予測が可能であることを確認することが出来た。

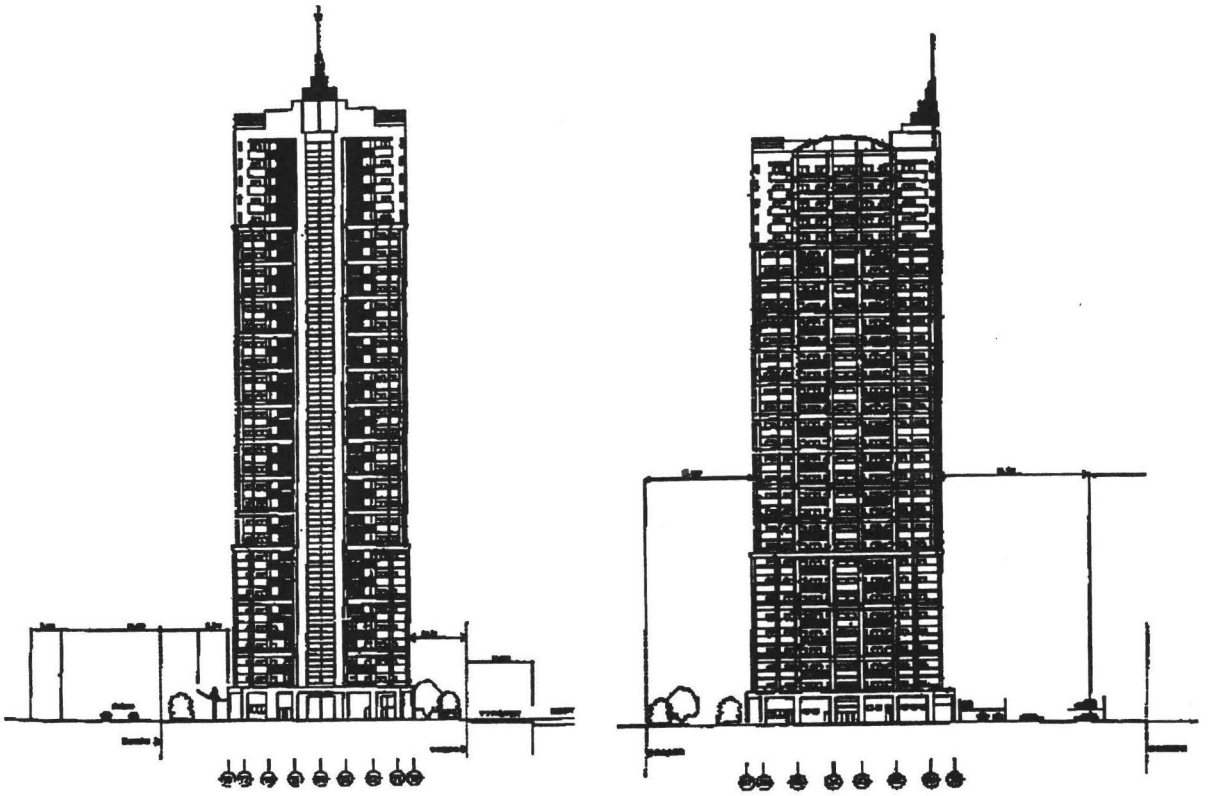
以上の研究成果より、仕上工事における生産性をその設計内容や取り付け部材等の納まり状況から推定することが出来ることが明確になった。今後、複数の工事現場における作業を測定することによって、その作業性の推定制度を向上させていく必要がある。




■図.1.　建物の平面図



■図.2.　1階平面図・配置図

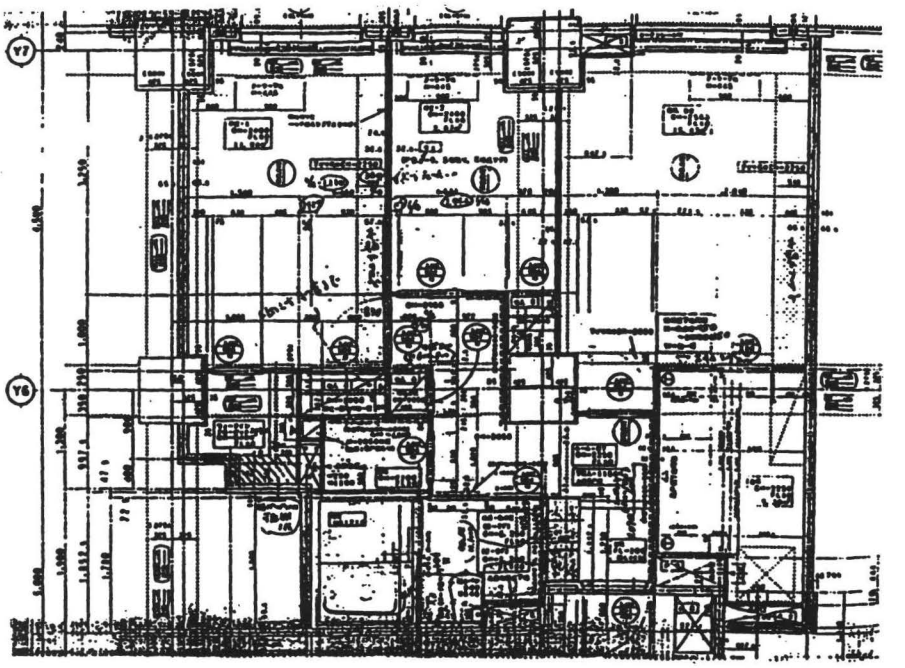


■図.3.　建物立面図

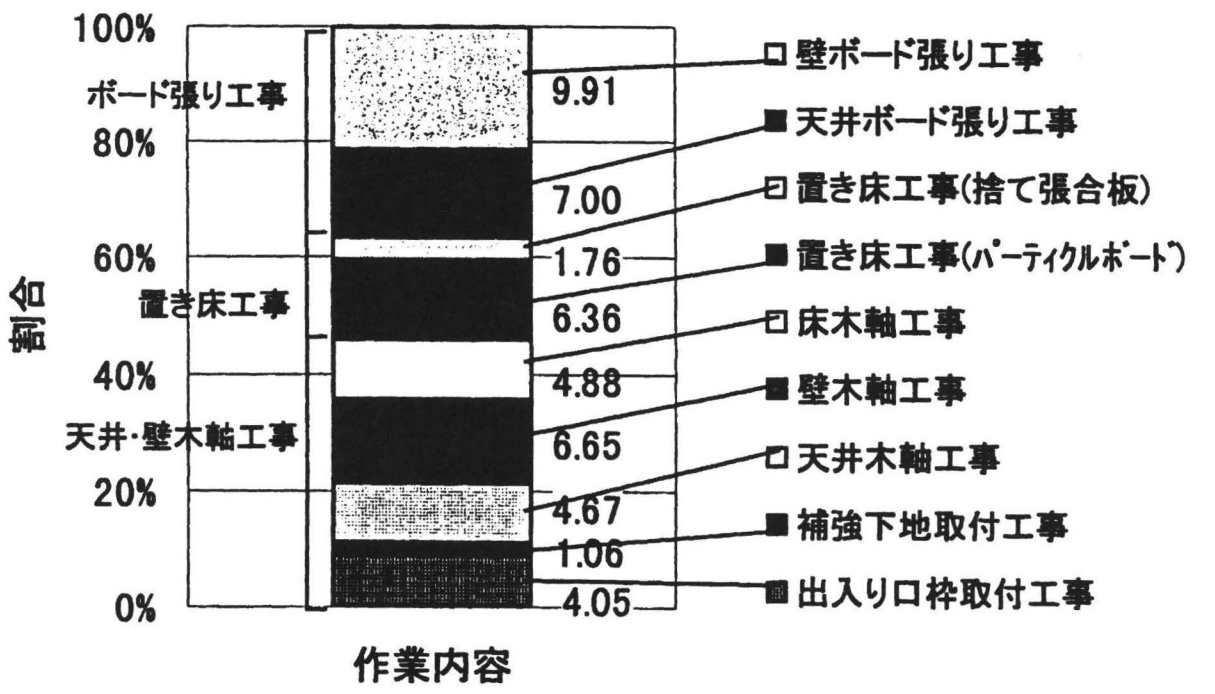
| 調査日 | 対象工事 |
|---|---|
| 1998年7月29日 | 木軸工事 |
| 7月30日 | 木軸工事 |
| 7月31日 | 木軸工事 |
| 8月 1日 | 木軸工事 |
| 8月 3日 | 置き床工事 |
| 8月 4日 | 置き床工事、ボード張り工事 |
| 8月 5日 | ボード張り工事 |
| 8月 6日 | ボード張り工事 |

■表.1.　調査日程

■図.4.　内装仕上げ工事の対象工事



■図.5.　B`タイプ住戸の平面図




■図.6.　内装仕上げ工事における一住宅当たりの作業時間の割合

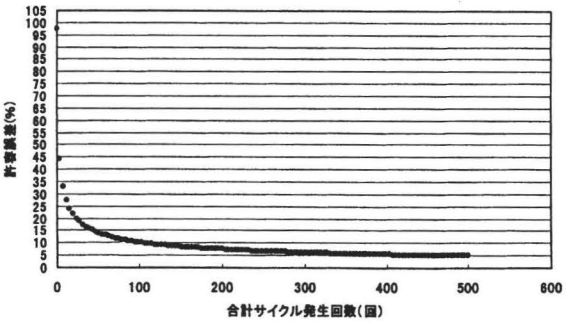
| 作業内容 | | 延作業時間(h)<br>(一住戸) | 延作業面積(㎡)<br>(一住戸) | 人工数(人・h/㎡)<br>(一住戸) |
|---|---|---|---|---|
| 天井・壁<br>木軸工事 | 天井木軸工事 | 4.67 | 54.72 | 0.09 |
| | 壁木軸工事 | 6.65 | 86.88 | 0.08 |
| | 床木軸工事 | 4.88 | 54.72 | 0.09 |
| | 出入り口枠取付工事 | 4.05 | 12.20 | 0.33 |
| | 補強下地取付工事 | 1.06 | — | — |
| ボード張り<br>工事 | 天井ボード張り工事 | 7.00 | 54.72 | 0.13 |
| | 壁ボード張り工事 | 9.91 | 124.12 | 0.08 |
| 置き床工事 | 置き床工事(ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ) | 6.36 | 54.72 | 0.12 |
| | 置き床工事(捨て張合板) | 1.76 | 26.69 | 0.07 |

■表.2.　各工事の一住戸における作業時間と人工数

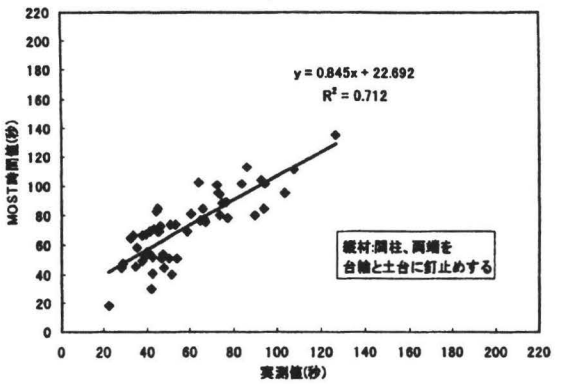
| 要素作業 | 単位動作 |
|---|---|
| 寸法当たり | 差し金で寸法を測る |
| | 巻尺で寸法を測る |
| 寸法記す | 巻尺で材料に寸法を記入する |
| | 取り合い部位に材料を当てて寸法を記入する |
| 移動 | 取り付け場所と材料置き場の間の移動 |
| | 材料置き場と加工場の間の移動 |
| | 加工場と取り付け場所の間の移動 |
| 加工のために材料を取る | 材料を取る |
| | 材料を選ぶ |
| 材料を加工する | 材料を卓上丸ノコギリで切断する |
| | 材料を移動丸ノコギリで切断する |
| | 材料をノコギリで切断する |
| | 材料を鑿で加工する |
| 材料の位置合わせ | ハンマを用いて取り合い位置に材料を合わせる |
| 材料の取り付け | エア釘打ちで取り付ける（木材） |
| | エア釘打ちで取り付ける（コンクリート） |
| | エアビス打ち取り付ける |
| | タカ打ちで取り付ける |
| 脚立の使用する | 脚立を上る |

■表.3.　木造間仕切り壁の軸組み立ての作業の要素作業別分類

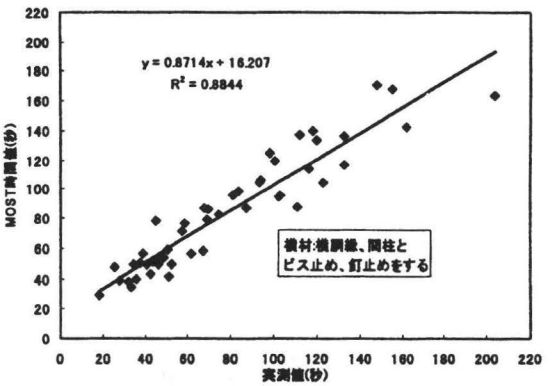
■図.7. 調査の対象にした住戸の間仕切りの平面図



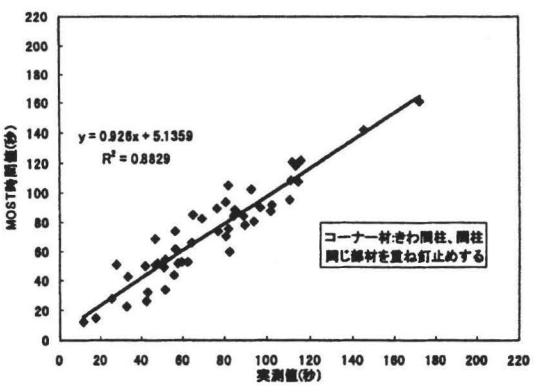

■図.8. 取り付け作業におけるサイクルの回数に対する許容誤差



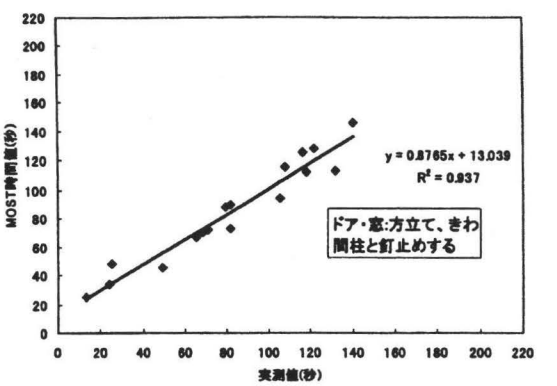

■図.9. 取り付け作業の実測値とMOST時間値の関係



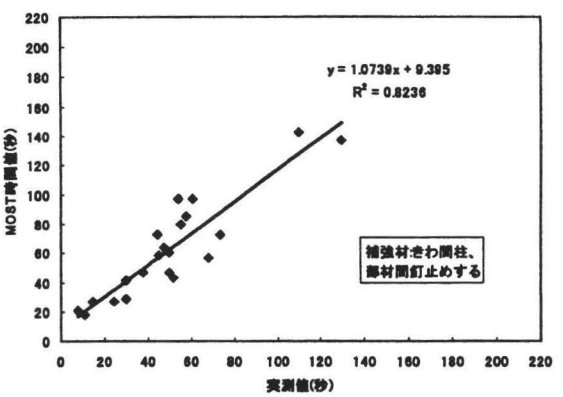

■図.10. 取り付け作業の実測値とMOST時間値の関係



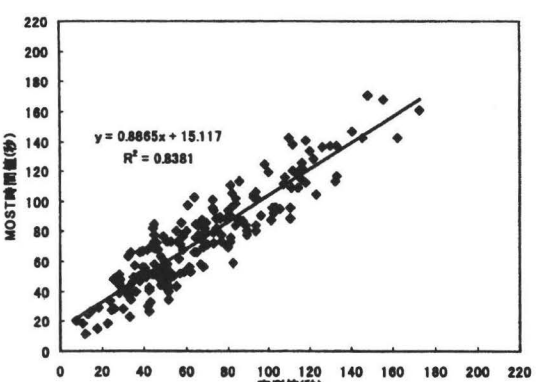

■図.11. 取り付け作業の実測値とMOST時間値の関係




■図.12. 取り付け作業の実測値とMOST時間値の関係



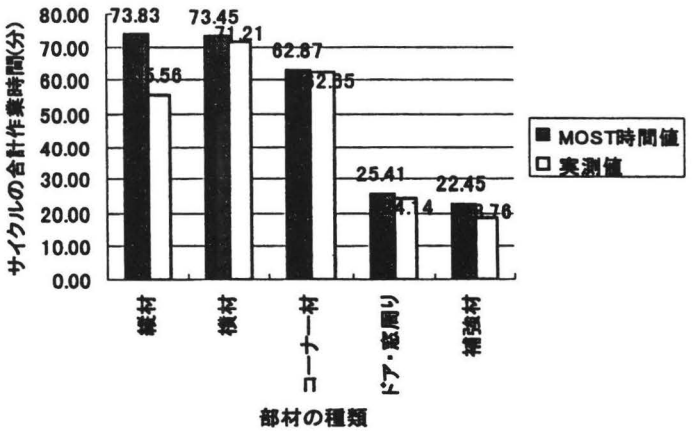

■図.13. 取り付け作業の実測値とMOST時間値の関係




■図.14. 取り付け作業の実測値とMOST時間値の関係

| 部材 | サイクル数(回) | 1サイクル当たり材料本数(本) | 1サイクル当たりの作業時間 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 実測値(人・秒／1サイクル) | | MOST時間値（人・秒／1サイクル) | |
| | | | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 |
| 縦材 | 58 | 1.25 | 57.48 | 23.03 | 72.34 | 25.23 |
| 横材 | 51 | 1.31 | 83.78 | 48.30 | 86.23 | 40.54 |
| コーナー材 | 51 | 1.19 | 73.70 | 32.13 | 73.96 | 32.06 |
| ドア・窓周り | 18 | 1.22 | 80.46 | 38.58 | 84.70 | 34.27 |
| 補強材 | 22 | 1.72 | 51.15 | 29.16 | 59.79 | 34.66 |
| 合計 | 200 | 1.44 | 69.70 | 36.89 | 76.40 | 33.91 |

■表.4.　取り付け作業1サイクル当たりの平均作業時間の比較




■図.15.　取り付け作業の各部材別作業時間

# 1—24 住宅生産におけるDo It Yourself手法の成立条件に関する研究 技術的、経済、文化的諸条件の検討

工学院大学　工学部　建築学科
助教授　遠　藤　和　義

## 1．研究の背景

### 1-1　クローズドシステム中心の工業化

日本の戦後の住宅政策、住宅供給を概観すると、まずは住宅不足解消のため、プレファブ化、工業化等の手法を用いたクローズドなシステムによる大量供給の推進が中心であった。これにより、住まい手と作り手は明確に分化し、住宅の意味付けも「建てるもの」から「買うもの」へと移行していった。結果的に、住まい手による住宅の施工、維持管理への関与の機会は減り、住まい手の住宅に関する伝統的な技術、知識の多くも失われていった。

しかしながら、日本の住宅生産システム全体が、状況の様々な変化の中で変革の機を迎えていることは論を待たない。現状の住宅生産は、工務店を中心とした「在来システム」と「プレファブ化、工業化されたクローズドシステム」の対立的な構図として描き得るが、これに対する何らかのオルタナティブが求められていると言ってよい。両システムの対立構造は、現場作業者等の技能体系、部品化等の技術体系、プライスなどの共通性に加えて、ともに専門家おまかせの旦那的住まい手を相手とすることによって安定的であった。本報告書では、そのオルタナティブとして、住まい手の住宅生産への自覚的参加、いわゆるDo it yourself（DIY）の可能性について考察する。

### 1-2　DIYとは

現状、DIYの輪郭は多分に曖昧であるが、日本ドゥ・イット・ユアセルフ協会は、「住まいと暮らしをよりよいものにするために、補修、改善、維持、管理などを自らの手で行い、快適な生活空間を創造すること」と定義している。その始まりは、第二次世界大戦後のヨーロッパにおける荒廃した都市や住宅に対する住民による自力の復興にあると言われている。とくにイギリスでは、DIYをスローガンとした市民運動が起こり、住宅の維持管理、改修に関する「Do it yoursaf」誌も発刊された。その後、1960年代に入ると、まず米国で住宅関連の建材、商品を総合的に品揃えした本格的なDIYer向けのホームセンターが現れ、消費者ニーズをとらえて成功し、海外にも同様の業態が広まった。結果、欧米を中心に、住宅の新築、維持管理、改修等の手段としてDIYは広く普及し、それによるコストダウンやストック価値向上の効果も一定に評価されている。

以上の経緯からして、DIYの意味内容自体には相当の変化があったと考られる。現状、DIYを外形的に定義するとすれば、次のようなキーワードが考えられる。

①工業化された部品、部材生産（大量、多品種少量を問わない）

②流通システム（ホームセンター、建材マーケット）の存在

③現場での専門家による施工、マネジメントの部分的あるいは全面的な住まい手による代替

④自覚的（自己実現、趣味…）な住まい手、DIYerの存在

これにそって考えると、欧米にとどまらず、東南アジアを始めとする第三世界の国々における事例も、解釈としてこの範疇に含めることができる。1980年代以降の国際的分業の進行、Niesの台頭等により、日本や欧米で使用される建材の生産は東南アジア各国にシフトしている。そして、国内に中古も含めたそれら建材の流通システムが存在し、DIYが社会的コストの抑制や専門技能者の不足を補っている。これらの国々で実践されているコア・ハウジングやサポート・インフィル型の住宅供給も住まい手によるDIYを前提とした試みと言ってよい。現地でよく耳にする「gotong royong（相互扶助）」の精神は先のヨーロッパ復興時のDIYや日本の「結」にも通じるところがある。

つまり、ここで設定したDIY的なるものの存在は、経済・社会の状況や文化に横断的で、むしろ、何らかの形でにこれにDIYを組み込むことは住宅生産のグローバルスタンダードと言ってよい。

### 1-3　DIY導入の背景

近年、住宅生産をとりまく状況の変化の中で、様々な立場からDIY導入に向けた動きが認められる。その背景を以下に摘記する。

①コストの透明性の確保とコスト低減への要請

日本の生産システムは、請負という契約方式によってブラックボックス化されており、それがコストの不透明性にもつながっていることは否めない。また、いくつか調査結果や、住まい手の実感として、住宅の内外価格差も問題となっている。

②小規模・個別散在の増改築需要へのシフト

近い将来、新設住宅着工は相当にダウンするとの予測がある。当然、需要は増改築にシフトすると考えられるが、これについては、現在でも生産性の低さ、コスト高が指摘され、プロに依存した施工には一定の限界がある。

③技能労働者の不足

近い将来、技能労働者の減少が予測されるが、これの機械化、プレファブ化等による代替には限界がある。

④余暇時間増によるライフスタイルの多様化

労働時間の減少、高齢化等によって余暇時間は増え、住宅に対する住まい手の姿勢も自己実現指向、環境・健康指向等、多様化する傾向にある。

⑤規制緩和

作業そのものを規制してきた資格制度等に緩和の兆しがある。

⑥流通の高度化

多品種少量生産システムの普及や流通システムの高度化については触れるまでもないが、ホーム

センターは増加の一途にあり、海外大手の参入も検討されている。

⑦簡易な施工法の普及

バブル経済期の労務不足を補うため簡易な施工法の開発が相当に進み、関連の部品、部材等もかなり流通している。

### 1-4　DIYの現状と可能性

その一方で、日本におけるDIYの導入、普及については否定的な見解も少なからず指摘されている。例えば、建材の生産、流通もクローズドシステムの強い影響を受け、住まい手がホームセンター、DIYショップ等で手にする建材の価格は大手住宅メーカーの仕入値より相当高いという実態もある。さらに、行政の許認可制度によって、設備関係の施工には住まい手の施工可能部分に強い制約があること等である。

しかしながら、こうした阻害要因のあるなかで、多品種少量生産システムの普及、建材流通システムの高度化、輸入建材の導入、ユーザーのライフスタイルの変化などのプラス要因、また職業としての「農業」に対する余暇活動としての「園芸」のようにDIYには新たな産業分野形成への期待も向けられている。こうした動向、現状の理解が本研究の背景である

## 2．研究の目的と研究の方法

本研究では、以上の背景をふまえ、日本の住宅生産におけるDIY手法の成立条件を技術的、経済・社会・文化論的観点から検討することを目的とする。その方法としては、DIYの先進国である米国、ヨーロッパ各国の技術的、経済・社会・文化論的背景を明らかにし、DIY成立のメカニズムを分析する。その上で、日本の現状において成立、普及しうるDIYの要件を整理する。

研究の方法は以下の６段階からなる。

### 2-1　文献調査

日本、海外でDIY手法成立に関わると考えられる要因を主に統計的資料の収集・分析によって検討する。例えば、建設労働者賃金、余暇時間、建材流通システム、建材価格、施工単価、住宅価格等が挙げられる。

さらに、各国のDIYに関する雑誌、文献、How-to本・ビデオ、ホームセンターの広告などを中心に収集・分析を行った。また、インターネットを利用し、各国のホームセンターなどについての情報を収集した。

### 2-2　ヒアリング調査

ホームセンター業者の全国的組織である日本ドゥ・イット・ユアセルフ協会にヒアリング調査を行い、DIY業界の現状等に関する資料、情報等を収集した。

### 2-3　ホームセンターの実態調査

首都圏でホームセンターを展開しているドイト、東宝日曜大工センター、ジョイフル本田を対象として、その販売品目、販売価格、DIYerに対するサポート内容等について調査を行った。

### 2-4　DIY先進国現地調査

ドイツ、米国等を対象に現地調査し、以下の点について明らかとする。

①DIY事例の収集（新築時、維持管理時のDIYの実態）

②DIYに対応したプランニング、構工法上の工夫の収集

③建材開発におけるDIYへの対応、要素技術

④DIY向け建材の種類、範囲

⑥建材流通システムの分析（流通形態、ルート）

⑥建材価格

⑦DIYに対応したマニュアル等の整備状況

### 2-5　DIYに対する一般ユーザーの意識調査

以下に示す事項を明らかにすることによって、日本におけるDIYに対する消費者意識・ニーズの把握を試みた。

①消費者のDIYに対する選好の実態

②ホームセンターにおける購買活動の実態

③コストセーブ、作業時間を指標としたDIY選択の条件

④DIYの経験の実態

⑤道具に対する知識の実態

### 2-6　資料整理・考察

以上の調査をふまえ、DIY成立のメカニズムを検討する。当然各国でDIY成立の要因は異なることが予測され、そこに存在する多様な要因を、技術的、経済・社会・文化論的観点から整理する。その上で、日本の現状において成立、普及しうるDIYの形態を考察する。

## 3．研究の計画と進捗状況

### 3-1　平成７年度の計画と進捗状況

平成７年度計画では以下の項目の実施を計画し、研究の方法で示した内容を実施した。

①文献調査

②ヒアリング調査

### 3-2　平成８年度以降の計画と進捗状況

平成８年度以降の計画では以下の実施を計画し、研究の方法で示した内容を実施した。

①ホームセンター調査

②DIY先進国実施調査

③DIYに対する一般ユーザーの意識調査

③資料整理・考察

## 4．DIY先進国の実態調査

### 4-1　ドイツ

(1) DIY手法の導入された住宅の類型

ドイツはヨーロッパの中でもとくにDIYが盛んで、国民の７割程度がDIYを実践し、その市場規模は1990年時点で約４兆1700億円に達している。ドイツのDIYを取り上げる積極的理由は、そこでDIYを可能としている状況が日本の現状の生産システムの特性と対比的な点にある。DIYは本質的に個別性が強く、全体的な把握は難しいが、文献やヒアリングなどの分析から、新築時のDIYの形態として、住まい手がすべてを手配して、主にプロの技能者作業を行う「直営マネジメント＋部分的DIY」、ハウスキットを購入して住まい手が施工を行う「ハウスキット」、設計や躯体等の難しい作業はプロがおこない、比較的簡単な仕上部分を住まい手が施工する「Ausbau（DIY導入型メーカー任宅)」に分類することが可能である。以下に、それぞれについて実例を示しながら説明する。

①キット住宅

現地ではBausatsと呼ばれ、住宅一棟分の材料・設備一式、必要な工具、揚重機、オペレーターなどの手配までメーカーが供給し、住まい手が自ら組立てる方式である。これを専門に扱う雑誌も数誌発行されている。その規模や仕様は、庭に建てる小屋風のものから150m$^2$を超える本格的なものまで様々である。ドイツでも一定規模以上の建築物については建築許可、竣工時の検査が義務付けられるため、メーカーは必要に応じて許可用の図面作成、手続きなどを代行する。一般的に大がかりとなる躯体部分は、当然施工性が考慮されており、写真１にもあるALCブロックによるものや、重機さえあれば１日で建方可能な木製の大型パネル、さらに写真２に示すようなレゴ型の発泡スチロール型枠を用いたRC造等がある。発泡スチロール型枠は高度な技能を要する型枠工事無しでRC躯体の構築を可能とし、数社が様々なシステムを開発、販売している。写真２に示す250×250×500mmのレゴ型の型枠をモジュールとするシステムもその一つである。ごく軽量のブロックは写真３に示すように人力で積み上げられ、それを捨て型枠としてコンクリートを現場打ちする。型枠は複雑な設計にも対応できるよう様々な役物が用意され、鋸やカッターナイフ等で簡単に加工もできる。また、支保工のシステムも用意されているため、勾配屋根、スラブ等の水平部位にも対応する。コンクリート打設やスラブ、屋根等難しい箇所はメーカーによる指導、あるいはメーカー手配の作業者と共同で施工する

ことも可能である。

②直営マネジメント＋部分的DIY

そもそもドイツでは、通常、日本のように工務店や住宅メーカーに工事一式をまとめて発注する方式をとらない。伝統的に、住まい手は各専門工事を担当するマイスターを時間給で直接雇用して工事をすすめる。住宅メーカーといえどもマイスターが社会的に非常に強い力を持っているため、こうした制度、組織の存在を前提とせざるを得ない。工事中のマネジメントは、建築家に依頼するか、日本の直営のように住まい手自らが行うので、システムの透明性は高い。ドイツでは、この直営によるマネジメントもDIYの範疇に含めている。加えて、住まい手は建築家やDIYアドバイザーの支援のもと、自ら施工可能な部分についてはマイスターに頼まずDIYとすることもできる。

ヒアリングによれば、一般的にドイツでは建築家が住まい手の要求を聞いてDIYを組み込んだ設計とすることに積極的で、住宅メーカーやマイスターも住まい手と一緒に工事を行うことに好意的であるという。ただし、住まい手には、マイスターの質の低下と高い時間給がDIYの誘引とする意見もある。マイスターの時間給は固定であり、そこには社会保障（養成費、雇用保険等）に関わる間接的な費用も含まれる。

③DIY導入型メーカー住宅

ドイツには日本の最大手クラスのような規模の住宅メーカーは存在しないが、各地域を拠点とする中規模の住宅メーカーは多数存在し、多種多様な構造や構法の住宅を、敷地探しから建設資金の調達、アフターメンテナンスに至るまでのフルサービスで供給している。日本の住宅メーカーと似る部分も多いが、施工プロセスへの住まい手の関与については、在来的な分離発注の考え方がベースにあるため、日本のシステムとは大きく異なっている。

これらのメーカーが供給するものにAusbau（半完成住宅）と呼ばれるタイプがある。このシステムでは、メーカー側が施工を担当する主に躯体部分と、仕上げを中心とする住まい手がDIYで施工可能な部分に区別されている。住まい手は、メーカーからのコンサルティングを受けながら、DIY可能部分をメーカー側の施工とするか、DIYとするかを選択できる。その際の判断材料として、メーカーは各工事の施工難易度や必要工具等、またDIYによるコスト低減分を明示している。図表１はあるメーカーの力タログにあるAusbauのオプションとその価格を示したものである。メーカーに全て任せるか、仕上げ工程をDIYとするか、小屋裏の扱いによって価格が細かく設定されている。また、屋根、建具、タイル、設備などの部分についてDIYとプロが施工した場合の価格がそれぞれ明示してある。つまり、ドイツのメーカー住宅では、住まい手の都合に応じて、様々なレベルのDIYが可能となっている。

写真４は木製の大型パネルによるAusbauの施工手順を示している。この場合、躯体はメーカーが完成させ、屋根瓦や外壁となるレンガ積みはDIYでおこなう。

図表２は、Ausbauのバーチャート工程表で、縦軸は工種、機軸は月を示す。図中、線種で各工事

の難易度が「DIY可」、「熟練工の援助要」、「熟練工の指導要」、「熟練工による施工」のレベル分けで明示されている。これによってDIY可能部分の集中する仕上工事を夏期休暇中に実施しようと思えば、着工時期が逆算できる。この例では、10ヵ月の工期を要し、日本の標準的なプレファブ住宅の工期90日との差は歴然としている。

(2) ホームセンター

ドイツにおけるDIYの実態と背景を考察するうえで、ホームセンターや建材メーカーの存在が重要なのはいうまでもない。日本ではしばしば問題となる、DIYerがホームセンターで購入する際の材料価格と大手住宅メーカーなどがクローズドな流通システムによって実現する価格の差について、ドイツの状況はあまり明確にできなかった。

いずれにせよ、ドイツでは、建築工事費は実費精算とする場合が多く、プロの材料購入価格も発注者に明示される。視察したホームセンターでは、プロとDIYerの両方を相手とし、同価格で販売していた。また、DIYer向けの建材にも様々な工夫が見られた。例えば、壁紙はプロ用の120cm幅に対して、DIYer向けに60cm幅のものがあり、女性一人でも作業できるようになっている。

### 4-2 米国

(1) ホームセンター

米国におけるDIYビジネスは巨大で、Home lmprovement Research Institueによる1996年の推定によれば、材木店とホームセンターによるDIY市場は約1,000億ドルで、2000年には1,200億ドルに達するという。

図表３は、最大手ホームセンターの市場規模を示している。比較的小規模の小売業者や卸売業者はこれに含まれておらず、実際の市場規模はこの数字を大きく越える。

図表３市場の拡大：専門家向けと消費者向け
専門家と消費者の住宅改善関連市場（単位：10億ドル）

住宅改善関連の業界は、最近まで、多数の小規模でローカルな流通ルートから供給を受ける、何万もの家族経営の金物屋から成り立っていた。それに対して、最近20年間、とくにこの10年で、この市場におけるチェーン店の勢力拡大と商品構成の拡張が小売業界をすっかり変えた。小規模な金物屋もまだ存在するが、10年前に比べて、大量多品種の品揃えとDIYerの問題解決を支援する専門的サービスを提供する大規模なホームセンターが圧倒的に優勢となっている。ホームセンターによる住宅改善市場は、プロ向け販売とDIYer向けの２部門からなり、その間に厳密な線を引く事はできない。その理由は以下の通り。

・建設業者や職人が入手可能なほとんどの商品はDIY市場でもほぼ同価格で入手できる。

・建築部品、金物、工具や材料を扱う卸売業者の多くはDIYer向けにも販売する。

(2) Hechinger社の概要

ここでは、米国でヒアリングの対象としたHechinger社についてその概要を示す。Hechingerは、住宅とガーデニングの改善、補修のための製品とサービスで先行する専門小売業者である。

Hechingerは1972年に株式を公開し、現在NASDAQ株式市場で取引きれている。本社はメリーランド州のランドオーバーにある。

その始まりは、1911年に当時エンジニアだったSidney Hechingerが建物を解体し、転売用の部品を回収するビジネスを始めた事にある。彼は再利用のため、古い材木から釘を抜き、使用済みブロックをクリーニングし、鋳鉄管を溶かした。後に、彼は新品の材料も加えて、Hechingerホームセンターをスタートさせた。

第一次大戦後まで、ビジネスは特定の拠点を持たなかった。それは、部品再生の現場から直接出荷された。1919年になって、ワシントンDCに最初の店を置き、1933年には４店舗に拡張し、1941年にはバージニア州に材木販売店も持った。新店舗はホームセンターの概念を明確にし、成長するDIY市場に対応して、取り扱い商品を拡大（約40,000種の商品、1940年代は5,000種）させた。

1990年にHechingerはHome Project Centerの概念を導入し、ファッションホームセンター等で好評な、顧客サービスの充実を強調した。また、顧客が購入したいが、それらの取付まではしたくないという場合には、様々な据付けサービスも提供している。

1996年には117店舗（64店舗のHechingerと53店舗のHome Quarters Warehouses）を有し、北はメイン州から南はアラバマ州、ミシシッピ州、西は力ンサス州にまで位置し、総売上高は1987年の５億8,800万ドルからさらに上昇して20億ドルを超えた。

(3) DIYer向けのマニュアル、ビデオ、教育

米国では、DIYer向けの教育コースが、高校、職業学校、コミュニティカレッジに存在、住宅建築、家具製作で「手作り」コースを教えている。加えて、ほとんどの書店でDIY市場に向けた多数の専門雑誌を置いている。そこでは、テーブル、キャビネット、ベッドフレーム、園芸用具を収納する物置小屋の製作のプランが掲載されている。

さらに、Home DepotやHechingerのような大規模ホームセンターの多くは芝生のスプリンクラーシステムの設置、トイレの補修、ビニールタイルの床貼り、デッキ製作、芝生の手入れ方法等のトピックに関する無料のハウツーコースを設けている。それらのコースは、通常、週末か夕方に開かれる。各ホームセンターは幅広いDIYプロジェクトに関する書籍、ビデオ、パンフレットを大量に品揃えしている。

## 5．我が国におけるDIYの現状について

### 5-1　DIYに対する一般ユーザーの意識調査の結果の概要

(1) 調査の概要

ここでは、本研究の一環として実施した「住宅建設・維持管理に対するDo lt yourselfの導入に関する消費者の意識調査」の集計結果を述べる。調査対象は、一般ユーザーで、調査票の配布および回収状況は、配布3220票に対し、有効回答2359票、回収率73.3%であった。

(2) 調査項目

調査項目は、研究目的を受けて、大きく８問からなり、その大要は以下のとおり。

①回答者とその家族の概要

②現在の住まいの概要

③DIYに対する選好

④ホームセンターにおける消費活動

⑤コストセーブ、作業時間を指標としたDIY選択の条件とその選択理由

⑥部分、部分ごとのDIYの経験と今後の指向

⑦部分、部分ごとのDIYの程度

⑧工具に対する知識、利用経験

(3) 調査結果の概要

以下に、調査結果を摘記する。

①DIYに対する選好

・世帯主は約半数がDIYを「好き」、「どちらかと言うと好き」と回答した。

・一方、家族は、40%強が「嫌い」、「どちらかと言うと嫌い」と回答し、世帯主と家族では選好が異なった。

・DIYを「好き」な理由として、「コストセーブ」の他に「作り方を考えられる」、「自分でデザインできる」といった自己実現的な回答が世帯主で60%程度を占めた。

・「嫌い」な理由では、「作業が面倒や苦手」、「作業時間の問題」といった意見が多くみられた。

・DIY商品開発時の留意すべき点として、「価格」や「一般的な道具の使用」、「高度な技術を要さない」の指摘があった。

②ホームセンターでの消費活動

・ホームセンターでの消費活動の経験率は、世帯主、家族共に90%を超えている。来店の理由は、「交換・修理のため」が最も多く、その頻度は「必要に応じて」が半数を占める。

③DIY選好とコスト、作業時間の関係

・組立家具でキットと完成品のどちらを選択するかについては、コストセーブや作業面の要因が作用している。また、DIYせずに完成品を選択と答えたものでも条件が満たされれば、DIYとするという意見もあった。

④DIY経験と今後の指向

・部位・空間（外部、内部、水廻り）によってDIYの経験は異なる。
・外部は、作業面の安全性も関係し、過去の経験、今後の指向ともにDIYに前向きな回答は少ない。
・内部に関して、今後、作業によってはDIY化される可能性があるとする回答もあった。
・水廻りに関しては、各種規制や専門的知識を要する部分が多いため、過去の経験、今後のDIYへの指向も低い。

⑤部位・空間別、作業別DIYの実態

・外壁工事や水廻り部分の大がかりな交換・修理に関しては専門業者に依頼する指向が強い。
・壁紙やカーペットの張り替えといった内部での作業に関しては、自分や家族が行うという意見がみられる。
・清掃や電球の交換といった日常のメンテナンスについては、近年、専門の代行サービスが出現しているが、基本的には消費者自らが行う場合が多い。

⑥工具に関する知識の程度

・軽作業時に使用する工具（金づち、のこぎり、ドライバー等）に関しては世帯主、家族ともに知識があり使用経験もある。
・電動工具、水廻り作業に使用する工具（電動丸のこ、電動サンダー、ウォーターポンププライヤー等）に関しては、世帯主の工具に対する知識、使用経験ともに高い。一方、家族にはほとんど使用経験がない。
・全般に、消費者の扱える工具の範囲は、一般的なものに限定される。

⑦DIY指向別による分析

・様々な回答者のグルーピングを試みた結果、ここではDIYに対する意識である「好き」、「普通」、「嫌い」、今後のDIYの普及の予測「普及する」、「わからない」、「普及しない」の２軸によって９つのグルーピングを提案した。
・世帯主は、「好き普及する」グループが最も多く、家族は「普通普及する」グループが最も多い)。
・ホームセンターにおける消費活動の頻度は、世帯主、家族共に指向の程度が下がる（好き普及する→嫌い普及しない）に応じて、徐々に低下する。
・指向の程度が下がるに従い、世帯主、家族共に組立家具で「完成品」を選択する回答が増加し、

「組立キット」の回答は減少した。

・完成品選択の理由は、指向の程度が下がるに従って、「作業が面倒」という回答が増加し、コストセーブを理由とする回答は減少した。

・組立キット選択の理由は、指向の程度が下がるに従って「DIYが好き」が減少するが、「コストセーブに魅力がある」という回答は増加している。

・指向の程度によって、今後DIY商品開発時に留意すべき点には異なる傾向がみられた。

・指向の程度が低くなるにつれて、「一般的な工具の使用」、「自由度が高い」は下がる。

・指向の程度の低いグループは、「短い作業時間」、「道具・材料のパッケージ化」、「体力を要さい」を挙げた。

・過去にDIYの経験が少なくとも、今後、普及の期待される部分もあった。

・指向の程度と工具に対する知識の程度は必ずしも一致しない。指向の程度が高くとも工具に対する知識の乏しい層も存在する。

### 5-2　ホームセンターの事例調査

(1) 調査の概要

日本に米国流の大型のホームセンターが誕生したのは1972年である。その後、日本のDIY市場は平成７年度の年間総売上高で約3兆1,500億円に達し、過去一貫して上昇している。この背景にはDIYへの関心の高まりとともに、ホームセンター店舗数の急増があげられる。

ここでは首都圏でDIYer向けに大規模ホームセンターを展開しているドイト、ジョイフル本田ホームセンター、東宝日曜大工センターを対象に訪問・ヒアリング調査を行った。調査内容は、販売品目、販売価格、DIYer支援のDIYスクールやレンタル工具などの実施状況、DIYアドバイザーの設置状況等である。

DIYアドバイザーとは1983年に通産大臣認定の資格制度としてスタートし、DIYerに対する、DIYの正しい理解の促進、DIYの作業、DIY用品選択の際に助言指導を行うことを目的としている。

(2) ドイト

ドイトは埼玉県を中心として一都五県に合計で23の販売店を持ち、プロからDIYerまで広く対応している。販売品目は木材、工具、建築金物、塗料から住宅設備機器、インテリア用品、園芸、ペット用品、カー用品など、１店舗平均45,000点に達する。DIYer支援として、「電動工具の使用方法」や「ウッドデッキの作り方相談会」、そして、ドイト商品研究所で通信販売している輸入家具キットを使った「カントリー家具を自分流に作る」などの各種セミナーを週末に実施している。また、レンタル工具として電動ドリル、電動丸鋸、切断機など、合計で16種類の工具が用意され、１日当り300円から1,000円で借りることができる。ドイト合計で208名、１店舗平均９名のDIYアドバイザーを抱える。また、「モルタル壁とブロックの塗り方」、「壁紙の貼り方」といったHow-Toパンフレットが約70種類ほど用意され、無料で配布されている。

(3) ジヨイフル本田ホームセンター

ジョイフル本田ホームセンターは、昭和50年に創業し、DIY用品、インテリア用品、家電品、DIYerおよびプロを対象とした各種の資材・素材、ジョイフル本田USAから輸入した本場米国の商品等計12万点の商品を取り揃える。あえて多店舗化を指向せず、千葉県を中心に合計３店舗で総売上（1995年６月期）677億円を上げる。一店舗は日用雑貨を扱う本館、資材館、鋼材館、エクステリアセンター、ペットセンター等から構成される。

調査対象としたジョイフル本田ホームセンター八千代店の特徴は資材館の存在で、主にプロ向けの製品構成をとっている。品目数では他の２社を圧倒しているが、レンタル工具やDIYer向けのスクール等は実施しておらず、DIYアドバイザーも９店舗合計で10名と少ない。

(4) 東宝日曜大工センター

東宝日曜大工センターは、世田谷区と調布市に２店舗あり、取扱商品は主に木材、内外装建材、建築金物、工具、エクステリア資材、住宅設備機器、園芸用品などで、販売価格は立地も影響して若干高めである。レンタル工具は行っていないが「東宝日曜サークル」というDIY教室を実施している。東宝日曜大工センター成城店の隣にある東宝・成城住宅公園内のセンターハウスで年に十数回、無料で開講している。内容は季節に応じて、夏休みの木工工作、秋の園芸、年末のふすまの張り替えなど比較的ビギナー向となっている。

## ６．欧米と我が国のDIYerを取り巻く環境の差異

以下に、我が国とDIY先進国である欧米を比較し、DIYerを取り巻く環境の差異を以下に摘記する。

(1) 法的規制

日本のDIY普及の障害として、各種の規制を問題とする場合がある。各種調査によると、欧米各国も日本と同程度の規制は設けられている。しかしながら、力タログ、マニュアル類の記述やホームセンターの品ぞろえから、自己責任の原則により、規制はさほど厳しく運用されていないのが実態と考えられる。

(2) 習慣

DIY普及を阻害している要因の一つとして、DIY先進国である欧米との習慣や文化の相違がある。米国では、日本のように土地の価値に大きな比重を置くのではなく、住宅そのものの価値の評価を重要視する。そのための価値を維持するため、日常の修理や補修は自分で行うことが多い。

一方、日本では住宅にオーナー自身が手を加えて、リフォーム、リニューアルするような習慣があまりない。また場合によって、それは住宅の価値を低下させる。また、諸外国では、DIYを趣味として捉えているが、そのような感覚も希薄である。

(3) 材料

DIY普及の背景には、メーカーによるDIY用商品の積極的な開発がある。DIY先進国では窓、ドア、キット式キッチンなどがホームセンターで販売され、DIYer向けによく配慮がなされている。日本のホームセンターでも、ドアや床材等販売されているが、とくにDIY用に開発されたものではなく、施工性、技能レベル、必要な工具等、DIYerにとってハードルが高い。

(4) 価格

DIY先進国のホームセンターでは、同一の作業をプロが施工した場合とDIYで行った場合の価格が比較されている。また、多くのホームセンターにおいて、DIYerに対してもプロと同価格で販売されている。日本の場合はそれに相当の差異のあることが、ヒアリング等でわかっている。

(5) 道具

米国のホームセンターでは、レンタル用の道具・機械が普及している。200〜300種類を時間単位、日単位、週単位、月単位で借りることが可能である。また、小型のブルドーザー、モルタルミキサー、足場など日本ではDIYerが全く手を出さないものも借りることが可能で、日本ではがプロの領域とされている部分もDIY化されている。しかし、日本では道具の所有率が低く、またレンタル工具を行っているホームセンターも少ない。

(6) 技術

DIY先進国ではDIYerへの教育システムが確立している。米国ではホームセンターに付随してDIY教室が実施され、ドイツでは工具メーカーが安全な使用法等についてスクールも開催している。また、DIYe向けの雑誌・文献も豊富である。それに対し、日本では、一部でDIYスクール等が実施されているものの、How-To本や雑誌もまだ少く、DIYerが簡単に技術を身に付ける環境は整っていない。

(7) 安全対策

DIYにおける安全性の確保はその普及を考えるうえで重要な問題である。ドイツ国内では、年間約10万件のDIY中の事故が発生しているという。大手工具メーカーのボッシュ社はDIYアカデミーを持ち、安全教育・啓蒙活動に力をいれ、大手ホームセンターのOBIは電話による相談窓口を開くなどの対策を講じてはいるが、決定的な防止策とはなっていない。日本でも本格的な普及段階に入る前に先手を打つ必要がある。

## 7．現状の問題点と今後期待される成果

当面おこなっていく技術開発の分野には、住み手が住宅建築に参加するための検討項目として設計システム、建築・施工システム、資材・生産システムなどがあり、供給側であるメーカーなどが解決

すべき課題は多い。

特に日本では住宅構法や建設システムなどが欧米とは異なることから、この違いを意識した日本型といえる「住み手参加型住宅建設システム」の構築を目指すことも必要である。たとえば、設計システム関連では住宅の規格化・標準化の推進、合理的設計手法やコストシュミレーションの開発により、設計段階でもDIYをしやすくする。また、資材・生産システム関連では部品・部材の開発やローコスト化はもちろんのこと、商品多品種化により選択肢の幅を広げることも大切である。

当然のことながら、この技術開発分野での課題をクリアしていくことが、技術開発以外の分野の整備をも促すことができる。それは両方の分野が並行して成長していくことが、日本型DIYを高い完成度に押し上げていくことになるだろう。

## 8．研究発表の実績および予定

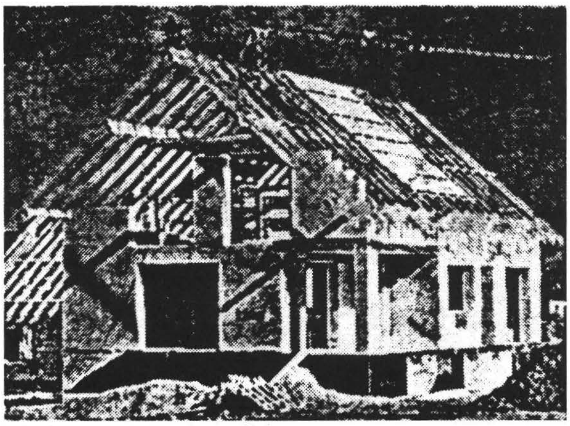
本研究に関する研究発表の実績および予定は以下の通り。今後、建築関連雑誌等への投稿を予定している。

①1997年度工学院大学卒業論文「住宅生産へのDIY導入に関する基礎的研究」

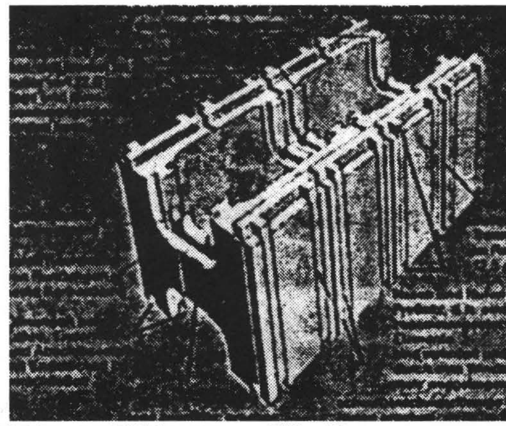
②日本建築学会関東支部研究発表会にて「住宅生産へのDIY導入に関する基礎的研究」を発表予定。

## 9．実用化計画

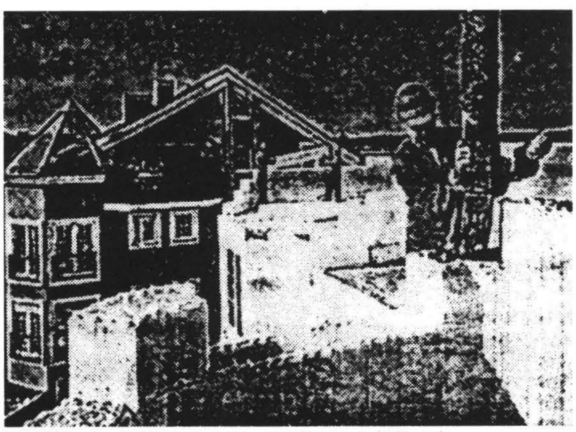
今後、研究代表者の関わる通産省での技術開発、また、建設省関連の委員会等での検討において、本研究で得られた知見を一般に還元し、DIY技術の実用化、普及に関わる予定である。



■写真1　ALCによるキット住宅



■写真2　レゴ型発泡スチロール型枠の例



■写真3　レゴ型発泡スチロール型枠による躯体工事

| Haustyp<br>Preisbeispiele in DM<br>単位＝ドイツマルク<br>(1マルク＝85円) | Ausbaustufe (住宅全体の完成度)<br>Dachgeschoß (小屋裏の完成度)<br>Dachneigung/Kniestock (屋根勾配) | Grundausstattung: Ausbaufertig (仕上げ前まで)<br>zum Ausbau vorbereitet (仕上げ下地まで) | Ausbaufertig<br>ausgebaut (仕上済) | Fast fertig (完成済)<br>zum Ausbau vorbereitet (仕上げ下地まで) | Fast fertig<br>ausgebaut (仕上済) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Edition 020** | | | | | |
| Satteldach oder Walmdach (寄せ棟屋根) | 22°/00 | 112.000,-* | — | 167.700,-* | — |
| Satteldach (切妻屋根) | 34°/40 | 141.200,- | 135.000,- | 206.900,- | 254.930,- |
| Satteldach | 38°/40 | 143.200,- | 138.200,- | 208.900,- | 257.330,- |
| Satteldach | 45°/00 | 142.100,- | 136.700,- | 207.000,- | 255.830,- |
| **Edition 100** | | | | | |
| Satteldach | 34°/40 | 140.700,- | 154.600,- | 166.500,- | 247.700,- |
| Satteldach | 38°/40 | 142.700,- | 157.000,- | 168.500,- | 250.100,- |
| Satteldach | 45°/00 | 141.600,- | 155.300,- | 167.400,- | 240.600,- |
| Satteldach | 45°/40 | 146.500,- | 161.000,- | 172.300,- | 254.100,- |
| **Edition 200** | | | | | |
| Satteldach oder Walmdach | 22°/00 | 123.700,-* | — | 182.400,-* | — |
| Satteldach | 34°/40 | 151.300,- | 164.500,- | 220.630,- | 268.170,- |
| Satteldach | 38°/40 | 153.600,- | 167.900,- | 222.730,- | 270.570,- |
| Satteldach | 45°/00 | 152.900,- | 166.900,- | 222.030,- | 269.570,- |
| **Edition 210** | | | | | |
| Satteldach oder Walmdach | 22°/00 | 123.200,-* | — | 181.700,-* | — |
| Satteldach | 34°/40 | 151.000,- | 164.000,- | 219.920,- | 267.400,- |
| Satteldach | 38°/40 | 153.100,- | 168.400,- | 222.730,- | 270.570,- |
| Satteldach | 45°/00 | 152.400,- | 167.400,- | 222.030,- | 269.570,- |
| **Edition 230** | | | | | |
| Satteldach oder Walmdach | 22°/00 | 136.900,-* | — | 197.200,-* | — |
| Satteldach | 34°/40 | 164.700,- | 180.600,- | 235.530,- | 305.070,- |
| Satteldach | 38°/40 | 166.800,- | 183.000,- | 237.630,- | 307.470,- |
| Satteldach | 45°/00 | 166.100,- | 182.000,- | 236.930,- | 306.670,- |
| **Edition 250** | | | | | |
| Satteldach oder Walmdach | 22°/00 | 164.500,-* | — | 229.500,-* | — |
| Satteldach | 34°/40 | 192.300,- | 212.900,- | 267.000,- | 330.230,- |
| Satteldach | 38°/40 | 194.400,- | 214.900,- | 269.900,- | 330.630,- |
| Satteldach | 45°/00 | 193.700,- | 213.900,- | 269.200,- | 329.630,- |
| **Edition 300** | | | | | |
| Satteldach oder Walmdach | 22°/00 | 154.000,-* | — | 220.500,-* | — |
| Satteldach | 34°/40 | 179.500,- | 197.800,- | 256.430,- | 313.300,- |
| Satteldach | 38°/40 | 182.400,- | 202.000,- | 259.330,- | 316.580,- |
| Satteldach | 45°/00 | 182.000,- | 201.300,- | 258.930,- | 315.000,- |

**Optionen für Ausbaustufe „Ausbaufertig"**

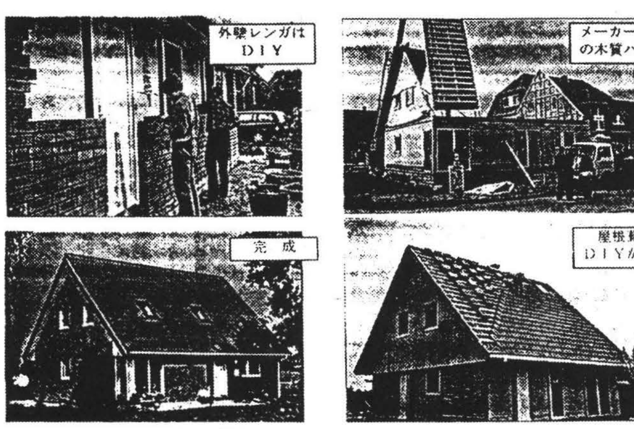
| | |
|---|---|
| **Heizungsanlage, fertig eingebaut** (暖房設備工事) | |
| Heizungsanlage mit Öl- oder Gas-Standheizkessel für Schornsteinanschluß, inkl. Warmwasserspeicher, Heizkörper im EG | ab DM 20.650,- |
| Heizungsanlage mit Gastherme inkl. Warmwasserspeicher, Heizkörper im EG, Abgasführung übers Dach | ab DM 21.400,- |
| **Elektroinstallation im EG*, fertig eingebaut** (電気設備工事) | ab DM 6.350,- |
| **Sanitärinstallation im EG*, fertig eingebaut** (給排水衛生設備工事) | ab DM 5.190,- |
| **Estrich im EG*, fertig verlegt** (床コンクリート工事) | ab DM 4.176,- |

**Optionen für Ausbaustufe „Fast fertig"**

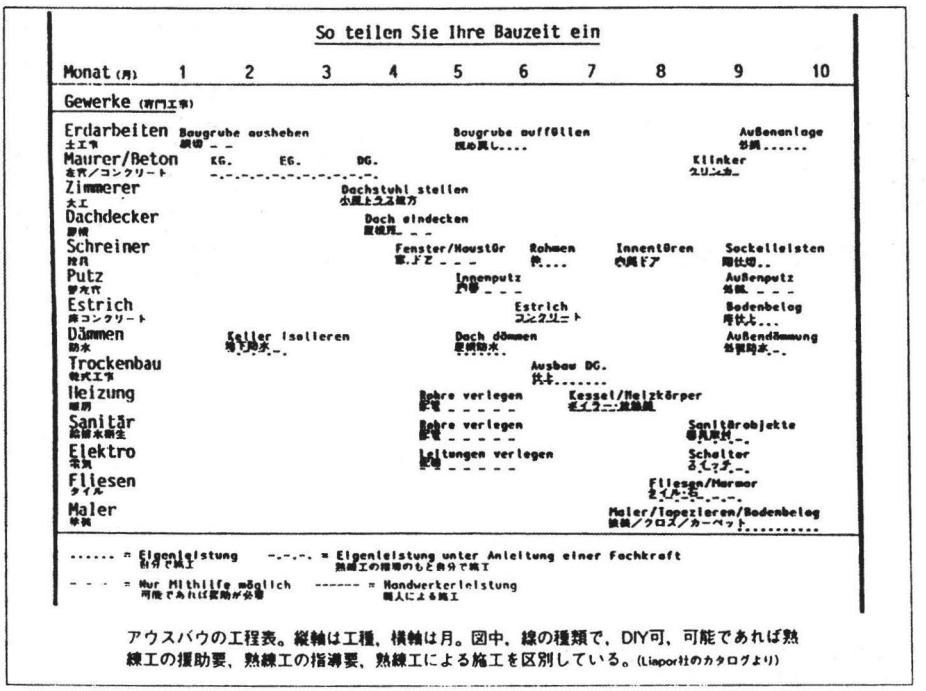
| | |
|---|---|
| **Zimmertüren, einbaufertig** (建具工事) | |
| Preisbeispiel: | |
| Zimmertüren, 1 flügelig, inkl. eingebauter Zarge, z. B. für Edition 100, 200 und 210 | |
| Macoré hell/dunkel, Kunststoff weiß - Holzstruktur | ab DM 2.225,- |
| Eiche hell/dunkel, Buche | ab DM 2.825,- |
| **Sanitärausstattung/Wand- und Bodenfliesen** (サニタリー部分の壁床タイル仕上げ工事) | |
| Preisbeispiel: | |
| Wand- und Bodenfliesen, fertig verlegt und verfugt, mit Montage der Sanitärobjekte inkl. Armaturen | |
| Badezimmer EG | ab DM 9.330,- |
| Badezimmer DG | ab DM 8.930,- |

アウスバウ（Ausbau）の価格表。メーカーにすべて任せるか、仕上げ工程をDIYとするか、小屋裏部屋の仕上げをDIYとするかによって価格が異なる。また屋根、建具、タイル、設備など様々な部分について、DIYとプロ施工の場合の価格が明示してある。(Twin House社のカタログより)

■図表1　Ausbauのオプションとその価格

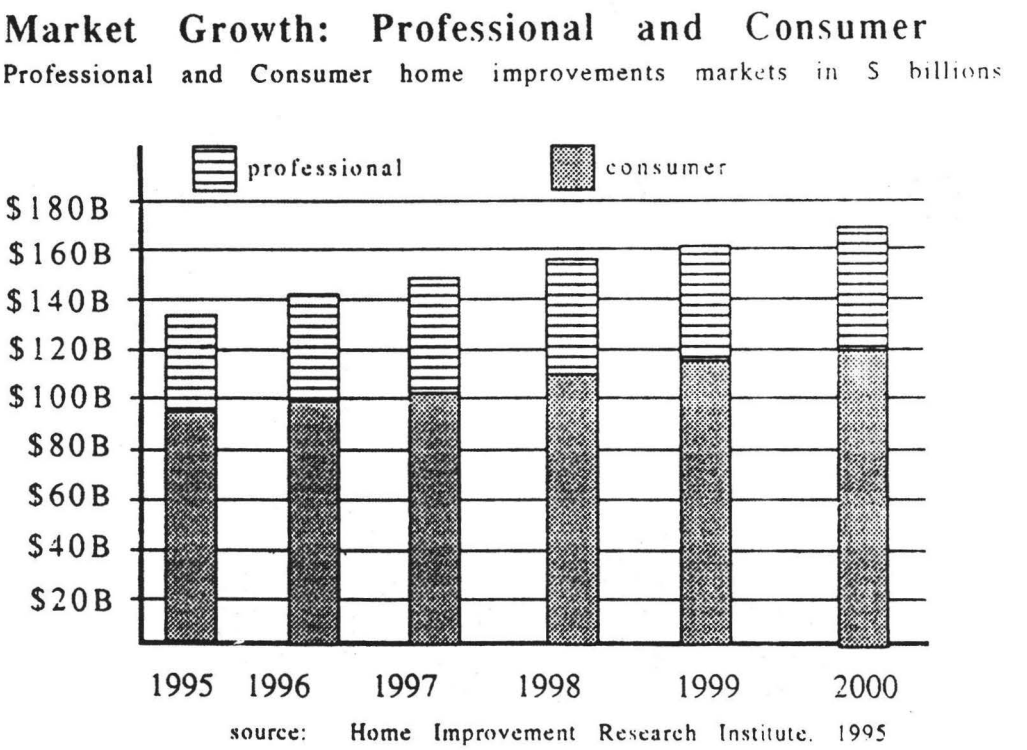



■写真4　Ausbauの施工手順




アウスバウの工程表。縦軸は工種、横軸は月。図中、線の種類で、DIY可、可能であれば熟練工の援助要、熟練工の指導要、熟練工による施工を区別している。(Liapor社のカタログより)

■図表2　Ausbauの工程表




■図表3　市場の拡大：専門家向けと消費者向け
専門家と消費者の住宅改善関連市場（単位：10億ドル）

# 1—25 近代から現代の住宅における建築材料と構法の変遷

東京理科大学　工学部　建築学科
教授　真鍋恒博
東京理科大学　工学部　建築学科
助手　加藤雅久

## 1．研究の背景と目的

住宅建築に用いられる材料は、時代の流れと共に様々な理由で変化してきた。それに伴い、材料を受け入れる住宅の構法も変化してきた。しかし、江戸時代までの建築物及び現代の著名な建築物に関しては、建築史等の分野で様々な記録が残されているが、一般的な住宅構法の変遷が学術研究の対象とされた例はほとんど見られない。今後の住宅構法の方向性を考えるにあたり、近代から現代までの住宅の材料と構法の変遷を把握するとともに、変遷の理由や必然性を把握しておく必要がある。

一般に普及した材料や構法は、各時代の主流であったにもかかわらず、普通のものであるが故にその記録はほとんど残されていない。それらの変遷を知る手掛かりとしての資料の一つに、一般的な住宅の建て方や仕組みについて書かれた古書という情報源がある。古書は変遷研究の対象にされてることが少なく、情報の整理方法も提案されていない。

そこで本研究は、近代から現代までの日本における一般的な住宅の構法を古書によって調べ、それらを体系的に整理する方法を提案すると同時に、一般的な住宅の構法の変遷を俯瞰することのできる資料の作成を目的とした。

## 2．研究方法

本研究では、住宅に関する古書や雑誌記事などから内外装仕上げ構法に関する記述を抽出し整理した。まず実例や設計例、住宅の建て方などを紹介してある古書を選び、図書館からの複写や古書の購入によって資料を収集し、一般的な住宅の材料と構法に関する記述を抽出した。抽出した情報はデータベース化し、時代と構法の２軸からなるマップに配置し、変遷を体系的に整理した資料を作成した。

## 3．研究の計画と進捗状況

### 3-1．研究の計画

①古書リストの作成

市販されている古書や、関連学会や研究機関、図書館等で複写可能な古書の中から、本研究に関連

のあると思われる古書のリストを作成する。

②文献の収集と解題

上記の古書リストを参考に、関連学会や研究機関、図書館等での資料複写、及び古書店からの購入によって文献を収集する。収集した文献は分類した上で、一部について解題を作成し、資料としての有用性を検討する。

③材料と構法の抽出及びデータベースの作成

解題情報を参考に、住宅の材料・構法に関する情報が抽出可能な文献を選定し、各部位の下地・仕上材料と構法に関する情報を抽出する。抽出した情報は部位別にデータベース化し、検索可能な状態にする。

④変遷マップの作成

データベースをもとに、各部位ごとに、「材料・構法」と「年代」の２軸からなる表を作成し、そこにデータNo.をプロットした変遷マップを作成する。

⑤考察

作成した変遷マップについて、各部位の材料・構法の変遷と、その変遷の要因となる時代背景を考察する。

3-2．進捗状況

①古書リストの作成

市販されている古書や、関連学会や研究機関、図書館等で複写可能な古書の中から、住宅材料・構法に関する情報があると思われる古書416冊をリストアップし、タイトル・著者名・発行年等のリストを作成した。古書の種類の内訳は、住宅の建て方や実例186冊、設備および水まわりの材料・構法43冊、その他の各部構法・各種材料76冊、建築全般に関するもの55冊、材料学・建材総合資料37冊、施工・見積・仕様関連14冊、辞書・事典類５冊であった。このデータ自体も建築構法関連図書データベースとして活用することができ、今後の変遷研究などの際に参考にすることができる。

②文献の収集と解題

収集した文献から41冊（住宅の建て方や実例17冊、設備および水まわりの材料・構法１冊、その他の各部構法・各種材料４冊、建築全般に関するもの18冊、辞書・事典類１冊）を選び、資料としても有用性を検討するために、著者・出版社・出版年代・内容について解題を作成した（図１）。

③材料と構法の抽出及びデータベースの作成

解題情報をもとに、収集した文献から、住宅の材料・構法に関する情報が抽出可能と思われる23冊を選んだ。

情報の抽出にあたっては、住宅の各部位面を内部と外部に分類し、内部では床・内面壁・天井、外部では屋根と外面壁について、下地・仕上の材料と構法を抽出することとした。また内部における室用途を、居室部分と非居室部分とに分類した。居室には寝室・女中室・居間・客間・和室・応接室・子供室など、時代や用途によりさまざまな名称があるが、それらの違いが構法に与えている影響は少ないと思われるので、まとめて居室として扱うこととした。非居室部分については、用途により仕上げが異なると思われるので、台所・便所・浴室・廊下・玄関の各室に細分類した。

また、古書から得られる記述には、著者の意見・一般論の説明・実例など様々な種類がある。これら記述の性格の違いは、構法の変遷を把握する上で重要な差異となるため、記述の性格によって、以下の４種類に分類した。

１）実例

写真が確認できたものや実例ということが明記してあるもの。

２）推定

実例ということが確認できないものなど、一般的な文献の記述を「推定」とした。「…があった」などの記述があり、おそらく当時実在したと思われるものであっても、あくまで実例と区別するために、この様な情報も推定とした。

３）推奨

「…を使用するのがよい」・「…の方がよい」などの記述がある情報は、当時その構法が推奨されていたものとみなして、「推奨」とした。

４）否定

推奨とは反対に、「…は良くない」などの記述がある情報を「否定」とした。

以上の分類観点に沿って、内容分析の対象とした23冊の文献から材料・構法を抽出した結果、抽出件数は合計804項目（床229、内面壁185、天井165、外面壁93、屋根132）となった。これを部位別に表にまとめた。

古書のうち、実際の設計例を記した部分については、それぞれの設計例ごとに抽出し、表にした。これにより、ひとつの住宅設計例において、それぞれの部位をみることにより、当時の部位間の材料や構法の関連性や、一般的な住宅全体の仕上げなどを把握することができるようになった。

条件ごとに分類した部位別の抽出表からは、各部位における材料や構法の変遷を把握することができ、一方設計例ごとの抽出表からは、当時の住宅全体の仕上や構法の様子や、部位間の関連性を見ることができる。

以上のようにして抽出した情報を、データベースに入力し、検索可能な状態にした（図２）。また構法に関する図がある場合には、資料カードとして整理した（図３）。

④変遷マップの作成

構法の年代と内容を的確に検索できるように、データベースをもとに、各部位ごとの変遷マップを作成した。各データNo.の前には、●実例、○推定、□推奨、▲否定といった、情報の種類の記号も表記した（図4）。

この変遷マップにより、部位別の内外装材料と構法の変遷の全体を俯瞰することができるとともに、データNo.からデータベースへの検索も容易にし、必要なときに抽出表にもどり、各項目の詳細な情報を検索することができる。

⑤考察

データベースや変遷マップをもとに、各部位について考察をおこなった。以下にその概要を述べる。

1）全般の概要

戦前戦後を通じて、床には畳と板張り、天井には竿縁天井、屋根には日本瓦や亜鉛鉄板などがみられた。これらの構法が近代から現代までの日本の住宅において、長い間一般的なものであることがわかる。一方特定の時代にのみ記述がみられた仕上としては、戦前では、床にはリノリウム・コルク・フローリングブロック、内面壁には漆喰・土壁・砂壁・紙壁紙、和洋折衷住宅における洋室天井には、漆喰、外面壁には板張り、人造石洗出しなどが多く見られた。また昭和46年以降では、床には合板に化粧板を張った複合フローリング、内面壁には化粧合板やビニールクロス等の新建材、洋室天井にはボードやクロスが多く見られた。

また同種の仕上材でもその詳細を見ると、床のフローリングは、フローリングブロックから複合フローリングへ、内面壁の壁紙は紙からクロスへ、といったように、その材料には変化が見られる。とくに床の場合、戦前の古書の記述によると、フローリングブロックは「最も贅沢な方法」であったが、戦後の複合フローリングは、「食堂や寝室などにおいて使用頻度が高く」なっており、構法の変化に伴い、その価値も変わっていることが読み取れた。

2）床の概要

・畳・板・コルク・リノリウムなどの乾式構法のものが多く見られた。
・畳と板張りは戦前戦後を通じて見られた。
・戦前にはリノリウム・コルク・フローリングブロックが見られ、戦後は「フロア」として知られている複合フローリングが見られた。

3）内面壁の概要

・戦前には、漆喰・土壁・砂壁・紙壁紙が見られた。
・戦前の壁紙には紙が使用されていたが、戦後にはビニールクロスが見られるなど、同じ様な仕上げ方法でも材料の変化が見られた。

4）天井の概要

・竿縁天井などの木造在来構法に加え、ボード・クロスなどの乾式構法のものが多く見られた。
・湿式構法は昭和初期の漆喰天井に集中して見られたが、これは和洋折衷住宅などの洋室天

井であった。

5）外面壁の概要

・戦前戦後を通じて、約30種類もの仕上げをみることができた。

・戦後に板張りが規制されたことを反映し、板張りの外壁は戦前に集中して見られた。

6）屋根の概要

・柿板葺き・木賊葺き・とち葺きなど、いまではあまり見られなくなった板葺きの屋根をみることができた。

## 4．今まで得られた成果

各部位の仕上材料ごとに、用語の分類・備考をもとにした、構法・普及・室用途・時代・使われ方などの考察を行った。この考察により、各仕上材料の特徴と、文献から得られたそれぞれの構法に関する内容を把握することができた。また多種多様な情報の整理方法を提案する点において、本研究では古書に見られる構法に関する情報について、いろいろな試行錯誤の結果、その抽出・整理方法を提案することができた。

抽出した内外装下地・仕上の材料・構法のなかには、例えば「テックス」「ドンゴロス張り」「ズック張り」など、現代では忘れられた材料・構法もあった。こうした材料・構法は業界でも資料が残っていることはまれで、現在残存している大正・昭和初期の住宅でも、内外装下地・仕上は改修されていることが多いため、本研究で抽出した情報により、当時の内外装下地・仕上の様子を確認できた意義は大きい。

## 5．これから期待される成果

今回は23冊の文献に絞ったが、本研究による情報の抽出・整理方法を用いて、より多くの文献から情報を抽出することにより、各時代の一般的な住宅の材料・構法の変遷をより詳細かつ広範囲に示すことが出来ると考えている。また各時代の著名な建築作品や、コンペティションなどを対象に加え、一般的な住宅のデータと比較することで、それらが材料・構法の側面でどのような意味をもっていたのか示すことができる。さらに、本研究の手法は、映画・漫画・文学作品といったような、異なるメディアにも適用可能であり、それぞれの作品に時代の特徴がどのようにあらわされているのか知ることも可能であると思われる。

## 6．残る問題点と対策

本研究において、対象とした文献の年代が不連続であり、それがそのままデータの偏りとなり、現段階では、年代ごとの比較や変遷の全体像の把握には十分に至っていない。また、今回対象とした古

書からは、構法の詳細な内容については不明なものが多いこともわかった。今後はさらに別の種類の文献を対象としたり、より多くの文献を対象とすることによって、年代の偏りを少なくするなどして、内容を充実させる必要があろう。

本研究では古書から抽出した情報を明確な観点に基づいて分類整理したが、第三者が本研究の手法を用いて年代や構法を比較検証できるような実用的なツールとするためには、一連の手順をわかりやすく記しておく必要もある。

## 7．研究発表の予定

本研究の結果を直ちに研究発表する予定はないが、「6．残る問題点と対策」において指摘した点に基づいて内容を充実させれば、学会などで研究発表も可能であると考えている。

## 8．実用化計画

本研究は古書の資料性に着目した基礎研究であり、すぐに何らかの実用化に結びつくものではない。本研究がきっかけとなり、このような古書の資料性に関する研究がすすみ、古書が材料・構法の変遷を辿る資料の一つとして位置付けられること、また、そのことを通じて、古書の滅失に少しでも歯止めがかかればよいと考えている。

本研究で作成した変遷マップなどの資料は、歴史的な住宅の構法調査を行う上で有用な資料になる。近現代建造物の調査では、これまでの建築史的な調査手法とは別に、工業化、標準化といった構法的な観点が必要になると思われる。歴史的建造物を構法の観点から調査する試みはまだ始まったばかりであり、一般的な住宅が構法調査の対象となることは希であるが、今後、登録文化財の増加に従って、一般的な住宅の構法調査も順次行われていくことが予想される。本研究のデータをさらに充実させれば、住宅構法調査での一つのものさしとして利用できると考えている。

■図1　文献の解題（一部）

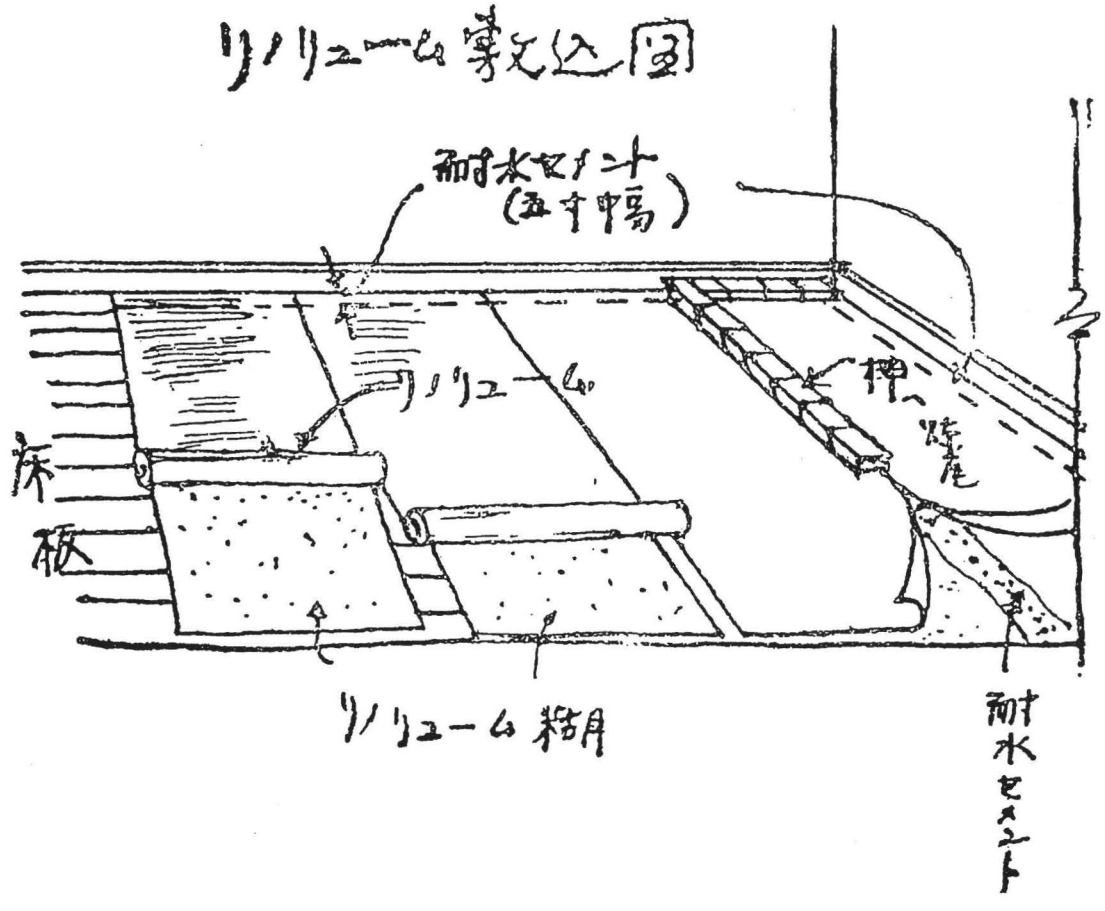
| No. | 書名 | 著者・編者 | 出版社 | 版元 | 版 | 解題情報 | 抽出状況 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 『建築工事仕様便覧』 | 小国己一 | 建築書院 | ①明治 | 38 | ・文章主体、木材接合図あり、本文266頁<br>・石、木材などの材料に関する記述<br>・（前） | □未抽出 |
| 96 | 『建築土木材料便覧』 | 田口俊一 | 博文館 | ①明治 | 40 | ・文章主体、本文282頁<br>・材料の性質などについて細かく書かれている | ■98頁から100頁までの屋根仕上げのみ |
| 10 | 『建築工事仕様見積』 | 河津七郎・吉田全三 | 大日本工業学会 | ②大正 | 4 | ・文章主体、本文315頁<br>・いろいろな材料に関する記述、仕様<br>・学校における仕様見積の教科書、参考書になればよいとしている | ■工事の部から中心に抽出 |
| 7 | 『千円以下で出来る理想の住宅』 | 鎌田賢三 | 鈴木書店 | ②大正 | 7 | ・文章主体、本文212頁<br>・四百円から千円までの実例５例あり、材料・平面あり | ■５例抽出 |
| 13 | 『三千円以下で出来る趣味の住宅』 | 納屋松蔵 | 鈴木書店 | ②大正 | 9 | ・文章と住宅間取範例半々ぐらい<br>・本文101頁、各室ごとの記述あり<br>・間取範例は各例ごとに、解説（１頁）・仕様書・平面図（おそらく実例ではない）<br>・仕様書は、甲・乙・丙の等級に分れており、各等級ごとに坪単価・価格・重要材料の記述あり | ■第10例のみ |
| 11 | 『建築構造の知識』 | 横山信 | アルス | ②大正 | 14 | ・文章主体、本文338頁、図多し<br>・各部位（壁・床・屋根）、入口、窓の記述あり<br>・かなり細かい項目に分れて書いてある | ■壁の外装以降から抽出 |
| 15 | 『木造家屋切組図解』 | 藤根大庭 | 洪洋社 | ③昭和 | 2 | ・床・小屋組・窓枠・長押・階段等の接合部等の詳細な図84図<br>・巻末にいろは順の用語集あり<br>・（前）家に限らず家具などの木工の為に書かれたもの | □未抽出 |
| 18 | 『和風を主とする折衷小住宅』 | 保岡勝也 | 鈴木書店 | ③昭和 | 2 | ・37図面、実例か否かは不明<br>・各図ごとに場所・坪数・構造・職業・家族・基礎・軸組・床組・小屋組・内部・外部・屋根及樋・設備・建具畳・価格の記述あり、各３行ずつ程度<br>・大正12年以降に参与したものの内から35種を選んだもの | ■第28図、29図、31図を抽出 |
| 17 | 『図解本位各種建築構造』 | 内山太市 | 鈴木書店 | ③昭和 | 3 | ・文章主体、図あり、本文187頁<br>・軸組、床、天井、壁、屋根などに各部位に関する記述<br>・細かい部分に着目した記述<br>・窓の種類等、分類が詳細・（前）なし | □未抽出 |
| 19 | 『朝日住宅図案集』 | 朝日新聞社 | 朝日新聞社 | ③昭和 | 4 | ・昭和４年に応募した中小住宅案500案から厳選した85案をまとめたもの<br>・各案ごとに、設計者、建築費、構造、坪、各室に関する記述、結構細かい平面図、立面図、矩計図、断面図あり<br>・衣食と比較すると、住の改善は遅れており、洋式住宅が見直されている時代 | ■・２、７、14、16、22、26、40号型を抽出 |

■図2 データベース（床の一部）

| 書名 | No. | 元号 | 年 | 部位 | 室細分類 | 構法(仕上げ／下地／躯体) | 備考 | 図面No. | 項目 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 建築構造の知識 | 11 | 2T | 14 | 床 | 非居室 | 記述なし | ○タイル／— | 「多くはコンクリート面に施されるものであるが、便所手洗所等の一部分を限り板張の上にタイルを敷込む場合もしばしばある」「コンクリート面へ約四五分の厚さモルタルを敷き、表面の目地はおよそ一分乃至二分五厘の大きさに仕上げられる」「板張りの上へタイル張りをやるのは勿論変則であって、遂には板の腐食を免れないが、もしこれを施すとすれば、板面へ桟木を打付け、厚くモルタルを敷いてタイルを伏せるか、或いは板面へ鉄網を張り詰めモルタル塗りの上、タイルを張込む」「床敷タイルとしてはビーバータイル【意味不明】、ラッバータイル【意味不明】、コルクタイル等陶磁器以外の種類も多い」 | P232 | F012 |
| | | | | | | テラス・玄関・浴室・便所 | ○人造石／セメントモルタル | 「コンクリート上へ下塗りとしてセメントモルタルを約五六分の厚さに塗り、次に上塗りとしてセメントモルタルに大理石、蛇紋石、その他の石の細かな砕石を混ぜたものを約五六分の厚さに塗り、その凝固するのを待って刷毛で洗い出しに仕上げるか、或いは砥石を以て研出しに仕上げるので、壁面の人造石塗とほぼ同様であるが、壁の場合よりも原料を堅練りとし、かつ厚さを厚く塗る」 | P233 | F013 |
| | | | | | 居室 | 記述なし | ○絨氈／— | 「洋風室内の敷物としては絨毯が絨毯が最上の物とされている」「床面に敷き込むには下地として糸竪むしろ【意味不明】を敷き、その上に絨氈を鋲留する」 | P375 | F014 |
| | | | | | | | ○リノリウム／— | 「洋室内の普通の敷物として広く用いられているもの」「亜麻仁油、コルク粉、木材粉、樹脂、顔料等を適当に配合したものを黄麻布に圧搾して付着させたもので、耐水質なので拂拭掃除に便利であり、弾力に富み足触りが柔らかく、且価格も比較的安いので需要を博している」「上物は厚さ厚く下等品は薄い、厚さ２ミリ、２．５ミリ、３ミリ位のものが普通品である」「床面へ敷き込むにはリノリユームベースタアと称するにかわ膠着剤及び防水セメント等を以て床板またはコンクリート床面へ張合わせるのでその張合わせ目を板片で押し付けて十分に付着した後取外す」 | P376 | F015 |
| | | | | | 非居室 | 記述なし | ○ズック／— | 「床敷物として用いられるズックは亜麻糸及び黄麻糸で織製したもので縞麻布、無地麻布等がある」「幅は普通二尺五六寸で、床全面を敷き詰める場合は少なく、廊下階段等の通路に布幅１枚或いは２枚を繋ぎ合せて敷くことが多い」「価格は安いが、足触りが荒く、色合いも汚れやすく、且忍耐力に乏しいから一時的の用途の外不適当である」 | P378 | F016 |

■図3　資料カード（一部）

| | |
|---|---|
| 部　位：床 | 項目No.：F015 |
| 文献名：建築構造の知識 | |
| 文献No.：　11 | 出版年：大正14年 |
| 掲載頁もしくは図面名：<br>P376 | |
| 居室／非居室：居室 | |
| 室名称：記述なし | |
| 構法(仕上げ／下地／躯体)：<br>○リノリウム／ | |
| 備　考：「洋室内の普通の敷物として広く用いられているもの」「亜麻仁油、コルク粉、木材粉、樹脂、顔料等を適当に配合したものを黄麻布に圧搾して付着させたもので、耐水質なので拂拭掃除に便利であり、弾力に富み足触りが柔らかく、且価格も比較的安いので需要を博している」「上物は厚さ厚く下等品は薄い、厚さ２ミリ、２．５ミリ、３ミリ位のものが普通品である」「床面へ敷き込むにはリノリユームペースタアと称するにかわ膠着剤及び防水セメント等を以て床板またはコンクリート床面へ張合わせるのでその張合わせ目を板片で押し付けて十分に付着した後取外す」 | |



| 西暦 | 和暦 | 畳 | 板 | 縁甲板 | 二重床 | 寄木張 | パーケットフロア | フローリング | フローリングブロック | 化粧合板板張り | タイル化粧板 | コルク | コルクタイル | 石 | 煉瓦 | タイル | リノリウム | ビニロール | アスタイル | カーペット | モルタル塗 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1910 | M4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1911 | M4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1912 | T1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1913 | T2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1914 | T3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1915 | T4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1916 | T5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1917 | T6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1918 | T7 | ●F001<br>●F004<br>●F006<br>●F008 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1919 | T8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1920 | T9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1921 | T10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1922 | T11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1923 | T12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1924 | T13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1925 | T14 | | | | ○F010 | ○F011 | | | | | | ○F017 | | | | | ○F015 | | | ○F014 | |
| 1926 | S1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1927 | S2 | ○F024<br>○F028 | ○F018<br>○F022<br>○F027 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1928 | S3 | ●F030<br>●F034<br>●F040 | ○F046 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1929 | S4 | ○F051<br>○F057<br>○F058<br>○F062<br>○F066<br>○F072<br>○F078 | ○F061<br>○F076<br>○F079 | ○F047<br>○F065<br>○F075 | | | | ○F050 | ○F056<br>○F074 | | | ○F073<br>○F077 | | | | ○F060 | ○F055 | | | | |
| 1930 | S5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1931 | S6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1932 | S7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1933 | S8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1934 | S9 | ○F091 | | | | | | | ○F089 | | | ○F088 | | | | | ○F092 | | | | |
| 1935 | S10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1936 | S11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1937 | S12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1938 | S13 | | | | ○F093 | ○F094 | | | ○F095 | | | ○F096 | | | | | | | | | |
| 1939 | S14 | ●F098<br>●F101<br>○F129<br>○F132<br>○F137 | □F113<br>□F114<br>□F115<br>○F131 | ●F100 | ●F102 | ●F103<br>●F111<br>○F125<br>○F135 | | | ●F105<br>○F126 | | ○F138 | ○F112 | ○F136 | | | ●F099 | ○F127 | | | | |
| 1940 | S15 | | | | | | | ○F140<br>○F143<br>○F146 | | | | | | | | | | | | | |
| 1941 | S16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1942 | S17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1943 | S18 | | ○F149<br>○F150 | ○F151 | | ○F152 | | | | | | | | | | ○F155 | | | | | ○F154 |
| 1944 | S19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1945 | S20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1946 | S21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1947 | S22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1948 | S23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1949 | S24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1950 | S25 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1951 | S26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1952 | S27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1953 | S28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1954 | S29 | | | ○F166<br>□F168 | | ○F167 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1955 | S30 | ○F182 | ●F183<br>□F169 | | | | | | | | | | | ○F185 | ○F186 | | | | ○F187 | | |
| 1956 | S31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1957 | S32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1958 | S33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1959 | S34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1960 | S35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1961 | S36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1962 | S37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1963 | S38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1964 | S39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1965 | S40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1966 | S41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1967 | S42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1968 | S43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1969 | S44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1970 | S45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1971 | S46 | ○F190 | | | | | | | | | | | | | | | | ●F189 | | ●F188 | |
| 1972 | S47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1973 | S48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1974 | S49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1975 | S50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1976 | S51 | | | ○F206 | | | ○F203<br>○F209<br>○F213 | ○F204<br>○F208<br>○F212 | | ○F210 | | | | | | | | | | ○F205<br>○F207<br>○F211 | |

■図4　変遷マップ（床）

# 1－26 石川県内の建築に関わる職人の現状
## －耐久性評価の基礎－

金沢工業大学
助教授 浦　憲親

### 1．本研究の背景と目的

木造軸組住宅を主に施工する大工・工務店は、全国で17万業者あるといわれ、地域的な住宅構法技術を保有［1］し、地域や施主との関わりを中心とした伝統的な生産システムを継続している。しかし、業界や一般経済への対応［注1］や住宅の構造材のプレカット化［注2］等による大工技能の変化、労働環境のみ整備などが大きな課題となっている［注3］。本調査の目的は上述した課題を検討する基礎資料とするため、主に木造軸組住宅工事を行う大工・工務店の保有機能・技術等の実態及びその合理化・近代化の方向を総合的に捉える事である。

そこで、研究内容は、以下の点を中心に構成している。

①新設住宅着工戸数全体に占める調査回答者が施工した着工戸数の割合より、回答者が住宅市場に提供する住宅の種類を明らかにし、住宅産業における大工・工務店の機能・役割を位置づける。

②年間住宅着工戸数や従業員数などの大工・工務店の基本的な経営基盤を明らかにする。

③回答者の意識より、今後の大工・工務店の動向について検討する。

### 2．研究の方法

本研究は、表1に示す「石川県内の建築に関わる匠の現状」［3］のうち大工を対象とし、在来木造住宅の建設を主業務とする業者にアンケート調査を実施する。アンケートの内容は表2に示す。アンケート回収後、データを整理し、回答者の実態と意識から課題及び改善策を提案する。

また、調査対象者の条件は、石川県金沢市及び小松市の石川県建築組合連合会に加入し、建築許可登録を行っており、2人以上の従業員を雇っている者としている。調査地域を図1に示す。

### 3．今までに得られた成果

#### 1）調査用紙の配布・回収結果

調査は郵送調査法で行った。調査期間は10週間とし、その間3回に分け、その時点で返送されていない対象者に葉書による催促状を郵送した。

調査用紙の配布・回収結果を表3に示す。配布数は全体で401件、無回答等を除いた有効回答率は42.4%と郵送調査法としては、高い回収率である。

2）アンケート調査の集計結果について

集計結果を要約すると、以下の通りである。

①経営基盤

業者の設立は、全体的に高度成長期をきっかけに'65～'84年の20年間に集中しており、事業主も１代目が７割以上を占める。従業員数４人以下が半数を占め、年間工事高2000～6000万円ほどの小規模な業者が多い。また、最近の不況の影響を受け、受注が不安定な状況である。

地域的な特徴として、金沢市は従業員数４人以下が半数で、新築工事は例年３、４件が多く、工事高の平均は１億円を超える。小松市では従業員数４人以下が７割を超え、工事高の平均は７千万円台で比較的不安定である。

②経営形態

全体の７割強は個人業者で、建築工事業または大工工事業の建築許可登録を行っている。一級建築士を取得している回答者は極めて少ないが、６割以上は二級建築士を取得している。

地域的な特徴として、金沢市は個人業者が５～６割を占め、そのうち２割が法人企業への形態を考えている。小松市では個人企業が９割を占め、大工工事業の許可登録をしている者が比較的多い。

③経営者（回答者）の属性

全体の平均年齢は56.8歳である。前職業は大工職が８割以上で見習い期間は５～６年が最も多い。

地域的な特徴として、金沢市は見習い期間５～６年、小松市では７～８年が最も多い。

④工事範囲

全体的に取引業者及び工事範囲は極めて狭い。その範囲は、時間的には90分以内で、同一市内及び近隣地域である。

地域的な特徴として、金沢市は最も離れた工事先までの時間は60～90分が多いが、小松市では30～60分が最も多い。この差異の原因は、交通事情との関連と同時に、金沢市の工事範囲がベッドタウンである野々市町及び松任市まで及んでいる事が言える。

⑤施工した住宅戸数

全体的に工事内容は、住宅工事が中心で新築と増改築の割合はほぼ等しい。

地域的な特徴として、金沢市は貸家の工事、ツーバイフォー工法及びプレハブ工法の工事が比較的多く、小松市では在来工法による持家がほとんどの工事である。

⑥施工した住宅の規模

全体的に代表的な住宅の規模は、坪単価40～50万円台、床面積40～50坪、工期90～150日である。

地域的な特徴として、金沢市は50万円／坪台の工事が半数を超え、比較的工期は短い。しかし、小松市では40万円／坪台の工事が半数を超え、床面積は大きく工期は長い。

⑦受注方法

全体的に営業職員はほとんどおらず、受注先は知人・血縁関係が多い。現在、回答者の４割強は

受注対策を行っていないが、今後は６割弱がアフターサービスの拡充などの対策を行うとしている。また、組織的な受注を望む回答者は３割弱しかいない。

地域的な特徴として、金沢市は紹介による受注経路が比較的多く、受注方法として他の業者との協力を望んでいる者は２割強いる。小松市では知人・親類の施主が多く、下請けによる受注を望む者は１割強しかいない。

⑧設計業務

全体的に設計職員はほとんどおらず、５割強が必要ないと答え、自社設計率は高く、７割強を占める。

地域的な特徴として、金沢市は「部屋の大きさ」や「外観の色」の要求が多いが、小松市では「住宅規模」や「金額」が多く、自社設計率は比較的高い。

⑨構法・工法技術

全体的に合理化手段として、機械プレカットが最も回答者に取り入られている。そのほかに、材料の価格及び量の節約や技能者の技能水準向上などが、今後の中心的な手段である。また、近代的な施工技術が今後の業績に大きく関わるとした意見が多い。地域的には、金沢市の方が合理化の意識が強い。

地域的な特徴として、金沢市はプレカット部材の導入が進んでおり、施工技術に関する講習会の出席は比較的に積極的である。小松市ではプレカット部材を一部に使用する割合が高く、今後の業績は新しい施工技術が重要とする者が多い。

⑩大工技術と育成

全体的に大工の手作業技術は、建築物の品質に大きく影響される認識にあり、特に、「材料の選定・木の特性判断」や「段取り・準備」、「墨付け」が重要とされる。しかし、以上のような伝統的な技能の習得と同時に、新しい技術に対する関心を望む意見も多い。また、職業訓練学校による大工育成の意見も多数ある。

地域的な特徴として、金沢市は今後の大工の育成方法として、「現在の見習い方法」と「職業訓練学校」とする割合がそれぞれ４割強であるが、小松市では「現在の見習い方法」が半数を超える。

⑪要望・問題点

全体的に現在抱えている問題点は「受注の減少」が最も多いが、「職人の技能低下」も２割強を占める。また、運転資金及び大工の雇用福祉等に関わる者に強い要望があり、問題点との関連がみられる。

地域的な特徴として、金沢市は「金融公庫資金の支払い早期化」を望む割合が４割弱で最も多いが、小松市では「大工の地位の確立」を望む割合は４割強で最も多い。

⑫後継者問題

全体的に後継者がいない回答者は５割弱を占め、将来の不安から継がせたくない意見も２割弱ある。この事から、今後の業者数は減少していく事が考えられる。

地域的な特徴として、金沢市は後継者のいない者が４割であるが、小松市では5.5割を占め、事

業の継続に積極的ではない。

⑬職人大学

全体的に金沢職人大学校の役割として、職人文化保存に役立つとした意見は半数を超えるが、工務店の業績に役立つとした意見は３割弱で、職人文化保存と業者の業績は同様でない事が明らかである。

地域的な特徴として、金沢市は講座内容の認知度は高いが、小松市ではその割合は低い。

⑭組織化

全体的に「フランチャイズ」、「協業化」、「メーカーの下請け」の組織化は、ともに拒否的な回答が多い。特徴的なのは、「メーカーの下請け」が最もその回答が多いのに対し、参加する意向も最も多い事である。

地域的な特徴として、金沢市は「フランチャイズ」に参加する意向が２割強で比較的多いが、小松市では「協業化」に参加する意向が３割弱で比較的多く、「メーカーの下請け」には特に拒否的である。

⑮大工・工務店の優れているところ［記述］

最も多い意見は「施主との親密感・情報交換」に関するものである。また、それに関連する「アフターサービス」や「仕事対応・責任」が優れていると言った意見も多い。

## ４．課題及び改善策

①住宅建設全体では、「持家」及び「木造」の住宅工事が増加しており、回答者は、その点において今後も対応できる。しかし、「在来工法」の減少や「公庫融資住宅」工事が少ないため、市場に対する役割を果たしていくには、「公庫融資住宅」をはじめとする規定及び需要に対する工法改良の対策が必要であるが、実際は積極的な採用がみられない。そこで、規定化の採用には、十分な性能の確保と利便性を客観的に示し、生産者側が理解し、認められる内容が必要である。

また、今後も伝統的な施工技術による工事を意向している業者については、上述した住宅供給の大きな流れとは異なった市場での存続が考えられる。そこで、文化保存の面からも、それらの業者及び個人の技術や構法・工法の集約を量る事が必要である。

②回答者の抱える問題点として、受注の減少や収益率の低下といった経済的なものと同時に、大工技能の低下や仕事内容の変化・減少等の技術的な問題が多く指摘される。また、建築組合等に対する要望として、運転資金及び大工の雇用福祉等に関連するものが多い。建築基準緩和については要望も多く、今後導入される住宅性能評価及び性能表示等の規定化は大きな課題となる。

また、これらの要望は業者の規模及び地域に大きな差がみられる。

更に、木造建築物の品質向上のために、免震構造等の工法開発や部材の工業製品化などが推進されているが、本調査によって建築物の品質に大きな影響を与えるとされた大工技能に対しての規定は整っていない事が明らかになった。今後、その技能について、建築物に対する影響を客観的に示

す事ができれば、技能者の質や建築物の品質向上及び大工地位の向上につながると考えられる。そのためには、技能の評価方法やそれを支える制度の確立が必要である。

③回答者のほとんどは、木造在来工法による住宅を施工する個人業者で、従業員数は４人以下、新築工事を例年２件前後行う。平均工事高については、金沢市が約9,600万円、小松市が約6,000万円で大きな差がみられる。この事は、調査した大工・工務店とメーカー業者との住み分けで、住宅産業が成り立っている事が伺える。また、回答者に後継者がいる者は半数にすぎず、見習い大工の受入に対しても積極的な意見は少ない。つまり、後継者の激減及び見習い大工の受入縮小によって、業者の減少は急激に進行すると考えられる。その中でも、事業規模を拡大しようとする者は２～３割ほどあり、受注拡充や組織の加入、近代的な施工技術の導入、低コスト重視など積極的な対策意識を持っている。

また、施工技術について、回答者の多くは、大手メーカーよりも技術・質の良さが優れており、これまでの業績は伝統的な施工技術において支えられてきたと意識している。しかし、新技術の導入の必要性を感じている者が極めて多く、合理的な意識変化がみられる。

## ５．これから期待される成果

現在、地域住宅生産の近代化や住宅の性能表示化などの規定化が進められている。しかし、生産者側の技術的な問題が明らかであるにも関わらず、それが取り上げられる事はほとんどない。そこで、本調査によって明らかになった大工・工務店の実態及び近代化に対する意識を公的な場で公表する事によって、住宅生産・供給の近代化の方策や住宅に関する規定等に対して、生産者側の立場からの問題点を指摘できると考えている。

更に、大工の資格制度や技能者育成に対する回答者の意見は、現状の方策の目的とは必ずしも一致していない事が明らかになった。この点についても、現実の声に即した方策を講ずる事ができると考えている。

## ６．残る問題点と対策

本調査では、石川県における大工・工務店の実態及び意識を全体的に明らかにした。しかし、調査の範囲は一部に限定され、対象者も一部の組織加入者としている。本研究の目的は、業者の組織化・体系化の可能性をさぐる事にある事から、今後の調査は包括的な範囲を対象とし、全体的な実態を把握する必要がある。

また、本調査では対象者の意識を中心に回答を求めた。そのため、技術に関する項目については、主観的な結果しか得られれていない。今後、部材及ひ加工法等の実地調査を行い、客観的なデータから実態を把握していく必要がある。更に、伝承技術を用いる大工・工務店が減少する傾向にある事は事実であり、職人大学校など技術の伝承のあり方を検討していく事も今後の課題として挙げて

おきたい。

## 7．研究発表の実績及び予定

1）研究発表の実績

①浦憲親、高山誠、半谷裕彦：建築材料の耐久性と技術との関わりについての評価試案、第40回学術研究報告会 日本大学工学部、pp. 267～270、1997.12

②浦憲親、岡島広末智、高山誠：材齢初期に圧縮加重を受けた高強度コンクリートの品質その2、日本建築学会大会学術梗概集（九州）、pp. 793～794、1998.9

③浦憲親、磯貝健、高山誠、半谷裕彦：水セメント比の異なるコンクリートの混合に関する基礎実験、第25回セメント・コンクリート研究討論会論文報告集、pp. 179～184、1998.10

2）研究発表の予定

①加水を受けたコンクリートの品質に及ぼす脱型時期の影響第53回セメント技術大会、1999. 5

②石川県の建築に関わる匠の現状［Ⅱ－1研究概要；大工・工務店］日本建築学会北陸支部研究報告集、1999. 7

③石川県の建築に関わる匠の現状［Ⅱ－2大工・工務店の近代化意識］日本建築学会大会学術梗概集、1999. 9

④石川県の建築に関わる匠の現状［Ⅱ－3大工技能と育成］日本建築学会大会学術梗概集、1999. 9

## 8．実用化計画

本調査の実用化計画はない。しかし、「5.これから期待される成果」で述べたように、本研究を公表する事により、現在の住宅生産の近代化や資格制度等の問題点を指摘し、現実の声に即した方策を講ずる事ができると考えている。

今後は、前掲表1に示す大工・工務店以外の匠に関わる人々について、調査したいと考えている。

## ［謝辞］

研究費は、平成8年度（第5回）(財)トステム建材産業振興財団の提供を受けています。

石川県庁の土木部建築住宅課の方々には、本研究のテーマについてご示唆いただきました。また、調査にご協力いただいた、石川県建築連合会会員の皆様に厚くお礼申し上げます。

［注1］平成9年3月24日に建築審議会より提出された「二十一世紀を展望し、経済社会の変化に対応した新たな建築行政にあり方に関する答申」において、主要な施策の一つとして「地域住

宅産業の構造改革と支援施策」の中に、「合理化工法等の開発・普及」や「資材等流通の合理化の推進」などの対策が盛り込まれている。

[注２] 現在のプレカット工場数は700工場を超え、木造住宅のプレカット加工棟数は20万棟を超えている［2］。

[注３] ［注２］と同様に「技能者の確保・育成の推進」が盛り込まれている。

## 参考文献

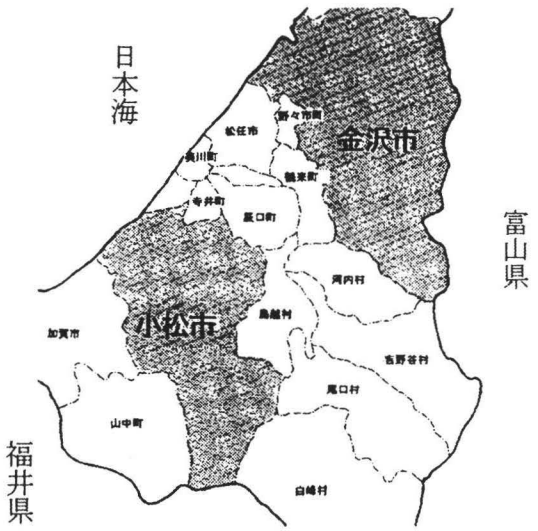

［1］例えば、藤沢ら：木造住宅の生産組織に関する研究その１、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、pp.1551～1552、1983.9など

［2］全国木造住宅機械プレカット協会:機械プレカット工場の現状と将来展望調査報告書、1997.3

［3］浦ら：石川県の建築にかかわる匠の現状［1-1、研究概要；森林組合］、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿)、pp.1199～1200、1996．9

| 職業 | 備考 |
|---|---|
| 林業 | 生産者 |
| 大工 | |
| 石工 | |
| かわら | |
| 板金 | |
| 左官 | |
| たたみ | |
| 建具 | |
| 表具 | |
| 造園 | |
| その他 | とび職など |

■表1　建築にかかわる匠 [3]




■図1　調査地域

| 調査項目 | 設問数 |
|---|---|
| 1. 経営基盤 | 8問 |
| 2. 経営形態 | 4問 |
| 3. 経営者(回答者)の属性 | 3問 |
| 4. 工事範囲 | 3問 |
| 5. 施工した住宅戸数 | 7問 |
| 6. 施工した住宅の規模 | 3問 |
| 7. 受注方法 | 7問 |
| 8. 設計業務 | 5問 |
| 9. 構法・工法技術 | 9問 |
| 10. 大工技術と育成 | 7問 |
| 11. 要望・問題点 | 3問 |
| 12. 後継者問題 | 5問 |
| 13. 職人大学 | 3問 |
| 14. 組織化 | 3問 |
| 15. 大工・工務店の優れているところ(記述) | 1問 |
| | (計:71問) |

■表2　調査内容・項目と設問数

| 数 / 地域 | ①配布数(件) | 回答数(件) – ②有効回答数 | ③その他※ | 回答率(%) (②+③)／① | 有効回答率(%) ②／① |
|---|---|---|---|---|---|
| 金沢市 | 219 | 101 | 12 | 51.6 | 46.1 |
| 小松市 | 182 | 69 | 25 | 51.6 | 37.9 |
| 合計 | 401 | 170 | 37 | 51.6 | 42.4 |

※その他とは、他業種、個人、高齢、退職等の理由で調査用紙を返送してきた者や回答不可能と連絡があった者及び無回答の者である。

■表3　調査用紙の配布・回収結果

# 1—27 家庭科における建築設備・住教育に関する研究

(社)空気調和・衛生工学会
正会員 田 中 辰 明
(お茶の水女子大学生活科学部教授)

## はじめに

建築設備教育は学校教育の中では工業高等学校の建築学科では当然の事ながら専門教育として行われている。しかし一般教育、すなわち普通高等学校では家庭科教育の中で行われているに過ぎない。1998年現在我が国の18歳人口は減少したとは言え162万人である。その内高校３年生の人口は145万人である。その多くが普通高等学校に在籍しており、ここで行われる教育の国民に及ぼす影響は極めて大きい。現在普通高等学校において行われる建築教育は家庭科教育だけであり。その中に当然建築設備教育も含まれる。高等学校教育は生徒の進路、職業の選択に大きな影響を与えている。「高等学校教育で生徒が建築に興味を持ち大学で建築を専攻した、さらに建築設備を専門とした」という可能性もあるのであるが、現状はどうであろうか？建築界、建築設備界が優れた人材を確保しようとすれば高等学校の教育で行われている建築教育、これは実際には家庭科教育で行われているのであるが、これにも注目をして頂きたいものである。

## １．中等教育における家庭科教育のカリキュラムの現状

普通高等学校で建築教育、建築設備教育が行われるとすると、これは家庭科教育で行われているのが現状であることは前書きで述べた。高等学校教育は文部省の指導要網によって行われている。これに従い授業の内容や、時間数が定められる、従って文部省の検定を受ける教科書も当然この指導要網によって書かれる。現在では「高等学校学習指導要網解説　家庭編」という本が文部省から出されている。この方針に従って記述された教科書は現場での教育に大きな影響を与える。現在家庭科教科書は、「家庭一般」、「生活一般」、「生活技術」の３種類が出版されている。家庭科担当教員の裁量で使用する教科書は決められる。現在使用されている教科書は平成９年に検定を受けたものであるが、その前は平成５年に検定を受けた教科書が使用されていた。「家庭一般」は平成５年度検定では５社、５種類、平成９年度検定では６社７種類の教科書が出版されている。平成５年度検定では５種類の教科書の平均ページ数は224.2ページで住生活の占められたページ数は24.8ページである。これに対し食生活は53ページ、衣生活は42.2ページとなっている。平成９年度検定では７種類の教科書の平均ページ数は223ページで、その内住生活に割かれたページ数は23.9ページで、むしろ平成５年度検定よりも減少している。これに対し食生活は52.1ページ、衣生活は42.1ページになっている。また「生活一般」では平成５年度検定では６社７種類、平成９年度検定では４社６種類の教科書が出版さ

れている。この内平成５年度検定では平均ページ数が211ページで住生活の占めるページ数は14である。これに対し食生活には21.7ページ、衣生活には21.4ページが割かれている。平成９年度検定の平均ページ数は212.3ページ、この内住生活には25.8ページが割かれている。食生活には33.3ページ、衣生活には44.8ページが割かれている。

## ２．日本の中等教育における建築設備・住教育の問題点

学校教育で建築設備・住教育が行われるとすると、工業高等学校建築学科を例外とすると普通高等学校では家庭科教育である。しかし、教育内容は「高等学校学習指導要網、家庭編」によるもので、住居教育に割かれる時間は被服、食物に比べて極めて少ない。また現在家庭科の教員となっている者の学生時代の専攻は殆どが被服、食物であり、住居を専攻した者は極めて少ない。家庭科教育は極めて広い分野が含まれており、教員はどうしても自分が得意とする分野の教育に力を入れる傾向がある。住居分野は専門家が家庭科教員になっていないこともあり、授業に力が入れられないのが現状である。家庭科教育は大学に入試に無いことから、受験を大切にする高等学校ではどちらかというと軽視される傾向にある。しかし現在では男女必修になり重要視されてきてはいる。東洋の格言に「衣食足って礼節を知る」という言葉があるように生活の基盤である衣食住の中で我が国の場合は被服と食物の教育に力点が置かれてきた。従って国民に健全な住居観が育っていない。そのような事もあり我が国の住居は先進国の中で極めて劣悪な状態で残ってしまっている。住宅も住むためのものよりも、投機の対象になったり、地球環境を口にする割には住宅の寿命も短く世代の交替等を契機に簡単に建て替えが行われ、省資源、省エネルギー、省廃棄物に反することを行っている。これでは社会資本の充実は望めない。ましてや建築設備教育など、現在の家庭科教育では期待されていない。極めて例外的なその分野に興味を持つ一部教員により行われているのが現状である。

現在の家庭科教員はかつての家政学部出身者または教育系大学（○○大学教育学部）出身者が殆どである。これらの教育機関で住教育がどう行われているかが問われるのであるが、かつては家政学部に住居学科があった場合にその出身者が家庭科教員になった場合もあった。しかしこの数は徐々に減少し、最近では皆無と言って良い状態にまでなってしまった。これは折角住居を専攻して家庭科教員になっても、教育現場では自分の専門でない食生活、衣生活の教育時間数が多い、家庭科教員採用にあたり実技と称して裁縫や調理の実技が課せられるなどが原因となっている。そして家政学部住居学科の学生は家庭科教員になることを断念し、設計事務所や建築施工会社に勤める傾向が定着してしまったのである。このような事から折角住居を専攻した学生が家庭科の教員にならない、家庭科教員は多くの場合被服、食物の専門家で占められるという傾向が続き、教科書も教員により選択されるので、当然の事ながら住生活より衣生活、食生活にページを割くと言う悪循環が生じてしまったのである。しかし熱心な教員はその中においても自分が専門外である住居教育を行おうと努力する。その場合教員がどのような事に困っているかを調査した結果がある。

## 3．中等教育に関係する教員の調査結果

平成７年８月にお茶の水女子大学で高等学校家庭科教員を対象に「文部省産業教育指導者養成講座」が開催された。これに出席した57名の教員を対象にアンケート調査を行った。文部省産業教育養成講座に参加した教員はどちらかというと全国から選抜された意識の高い教員である。そういう教員からのみ意見を集めたのでは偏りが出るので、ごく一般の家庭科教員からも意見を集めるべくＳ県で行われた家庭科教員研修会でもアンケートを実施した。アンケート回答者は65名である。いくつかの質問のうち、特に次の８点に焦点を当てて解析を行った。

1）学生時代の専攻
2）家庭科で力を入れている分野
3）住居教育で力を入れている分野
4）住居教育に割く時間（年間）
5）住居教育のための勉強法
6）住居を教える上での問題点
7）日本の住居が粗末なのは、家庭科で住居教育の比重が軽いからである。
8）家庭科で住居教育に力を入れれば日本の住居は良くなる。

## 4．調査結果の分析と考察

文部省産業教育指導者養成講座に参加した家庭科教員とＳ県の高等学校家庭科教員研修会に参加した教員に対するアンケートから次の事が判明した。

1）学生時代の専攻

住居学を専攻した教員はわずか３％にすぎない。一方「被服」「食物」を専攻した教員は76％にのぼり全体の3/4を占めている。換言すれば「被服学」「食物学」専門の教員によって現在の家庭科教育が行われているという事になる。

2）家庭科で力を入れている分野

家庭科教育で「住居」に力を入れて教育を行っている教員はわずか１パーセントであった。自分自身の専門が住居でない教員が殆どであるからこの結果も当初から予想された通りである。

3）住居教育で力を入れている分野

住居教育に割かれる時間は４～10時間というのが45％で一番多く、このような少ない時間で住居教育で力を入れている項目を問っても無駄ではあるが、回答の結果は「住生活と環境」と回答した教員が42％、次いで「住生活と管理」「住居の設計」がそれぞれ17％と続いた。

4）住居教育に割く時間（年間）

46％の教員が住居教育に年間で割く時間は４～10時間と回答している。次いで3時間以下が18％、11～15時間が16％と続く。

5）住居教育のための勉強法

住居分野に専門知識のない教員は、授業を行うために特別な勉強が必要になる。勉強方法は「住居展示場の見学」と回答した教員が37%、「本（雑誌を含む）を読む」と回答した教員38%と身近なものを利用していることが明らかになった。

6）住居を教える上での問題点

住居を教える上での問題点は次のように意見が二つに分かれた。

第一に

・教材が少ない
・授業の展開の仕方が分からない
・専門知識の不足
・見学場所がない
・研修の機会がない
・時間が足りない

など住居の授業は必要だが、授業方法が分からないといった「住居教育積極派」の回答がある。

第二に

・自宅の図画を描かせる場合に、家庭環境の差やプライベートな面に大きく関わる。
・土地問題や金銭問題など高校生には解決できない問題が絡むので、住居の教育は行っても仕方がない。
・生徒の関心か薄い。

など住居教育を家庭科で行うことに疑問を感じたり、住居を学校教育の一環として扱うことに疑問を持つ「住居教育無関心派」の回答がある。

7）日本の住居が粗末なのは、家庭科で住居教育の比重が軽いからである。

この設問に対し「家庭科教育とは関係か無い」と回答した教員は34%、「そんな事はない」と回答した教員は31%であった。この設問に対する賛成意見を持つ教員は少数であることが判明した。

8）家庭科で住居教育に力を入れれば日本の住居は良くなる。

この設問に対しては「その通り」と回答した教員は20%で、「そんな事はない」と回答した教員の28%を下回った。この設問に対しては「国の住宅政策に原因がある」、「日本人の住意識が低い」、「日本は土地が狭い」などのコメントが添えられた。

## 5．建築設備社会教育に対する将来の展望

建築設備は建築の機能を発揮させるため極めて重要な位置を占めているのは言うまでもない。しかし建築設備技術者がどのように養成されるか、学校教育がどのように行われるか等はっきりしない点が多い。工業高校や大学の建築学科では建築設備技術者の教育は行われている。もちろん建築設備といっても暖房、冷房、空気調和換気設備、電気設備、衛生設備など極めて幅が広く全ての教育が木目

細かく行われているとは考えられない。建築設備分野でも優秀な学生を引き込むことは重要である。したがって高等学校の学生に建築設備の教育を施し、大学で建築設備教育を受けるように仕向け、建築設備業界に引き入れることが出来れば都合が良い。この為には普通高等学校では家庭科教育がその機会を担っている。しかし現状の家庭科教育では住教育さえ満足に行われていないのが現状である。将来は家庭科教育での住居教育に力を入れ、その為には大学で住居を専攻した学生を家庭科教員として採用できるような体制作りが必要である。

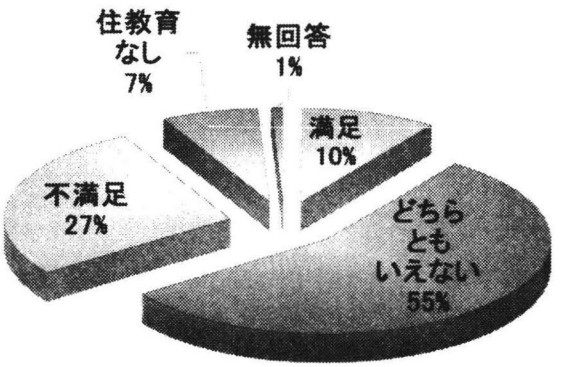
## 6．住教育の副読本の必要性

今後住居を専攻した学生により多く家庭科の教員になってもらうにしろ、現状では住居を専攻しなかった教員が家庭科の教育しているという事実は否定できない。またアンケートの結果からも教員が住居教育に苦労している事も明確になった。そして自らが勉強するべき副読本を必要としている事も明らかになった。住居教育は現在の環境問題と極めて近い関係にある。もし副読本ができるとすると「その目次は次のようなものか望ましい」という結論を現場の先生方に対するアンケート調査、並びに聞き取り調査の結果得た。

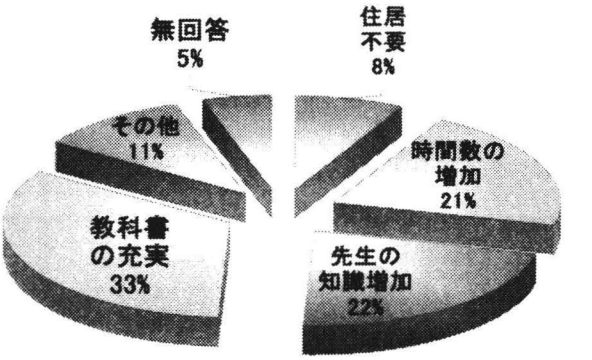
1．住居の歴史
2．我が国の住宅事情
3．我が国の住宅政策
4．住居の計画
5．住宅の設備計画
6．住宅の構造計画
7．住宅の維持管理
8．住宅と防災
9．住宅と地球温暖化
10．エネルギー問題
11．都市インフラストラクチャー
12．住宅と健康問題

## 7．おわりに

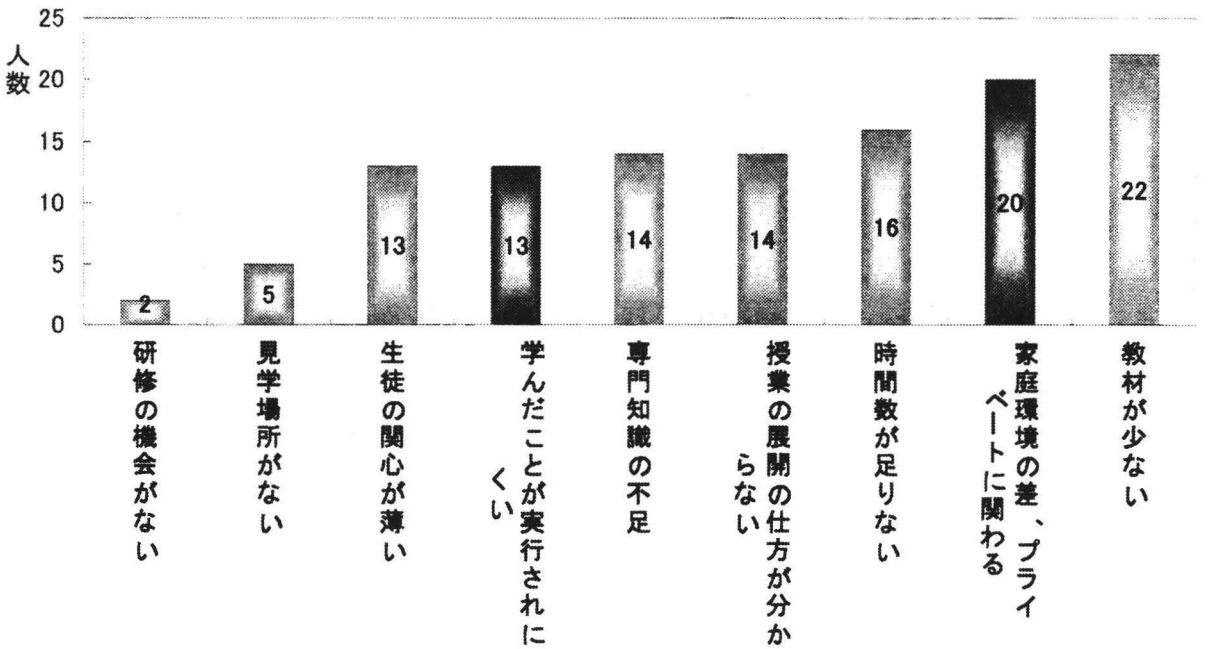
(財)トステム建材産業振興財団から研究助成を得、高等学校の家庭科教育について幅広く調査をする事が出来た。そして様々な問題点が浮き彫りになった。今後日本人各人が健全な住居観を身に付けていく上で特に家庭科における住居教育が大切になるであろうし、日本の住居を良くしていく上で必要な事である。貴重な研究をさせて頂いた(財)トステム建材産業振興財団に深甚なる謝意を表するものである。



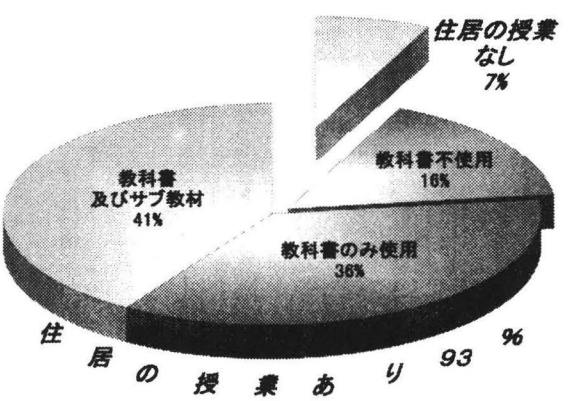

■Fig.1　住居の授業に対する満足度（学生に対するアンケート）



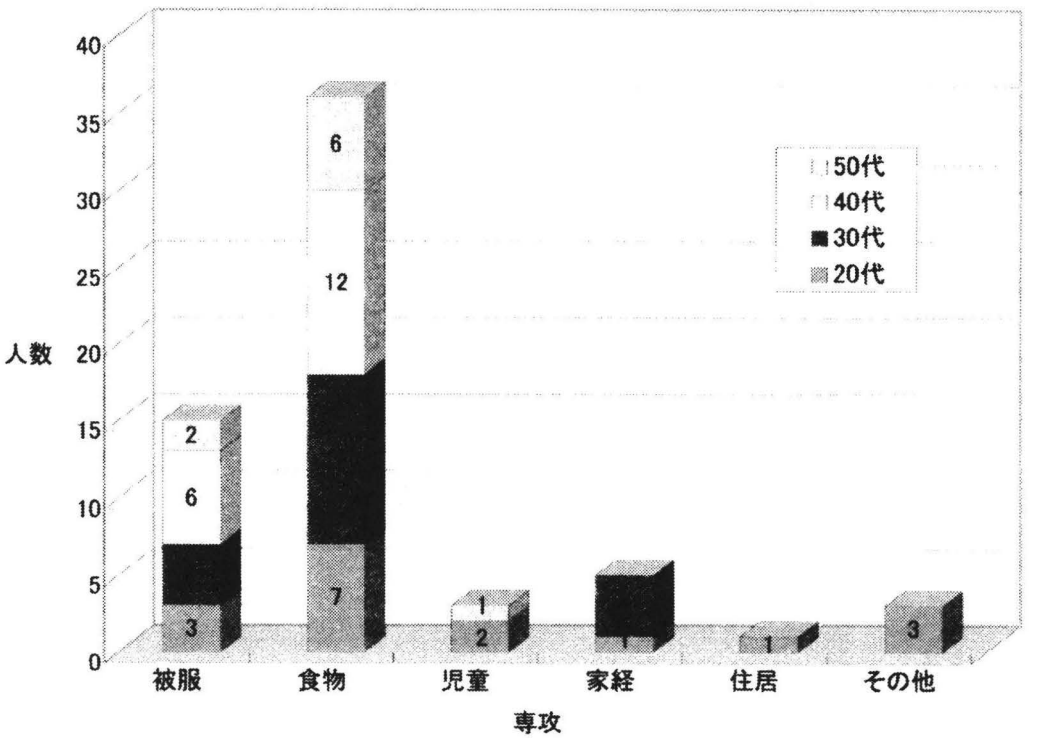

■Fig.2　住居の授業に対する希望（学生に対するアンケート）



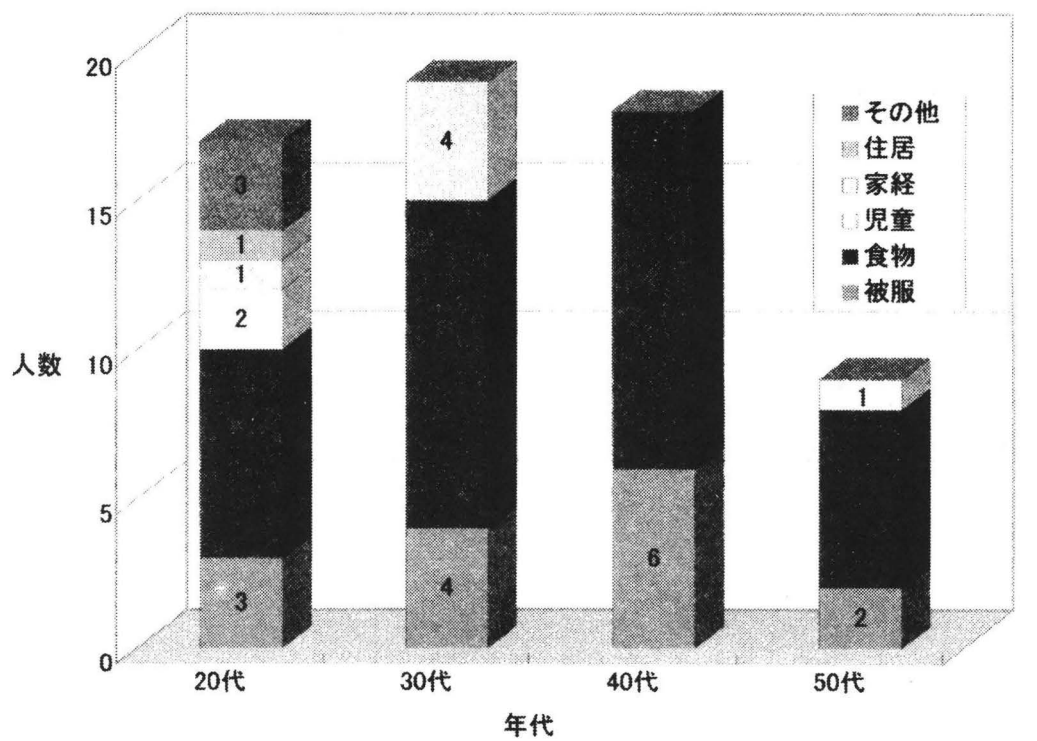

■Fig.5　住居を教える上での問題点



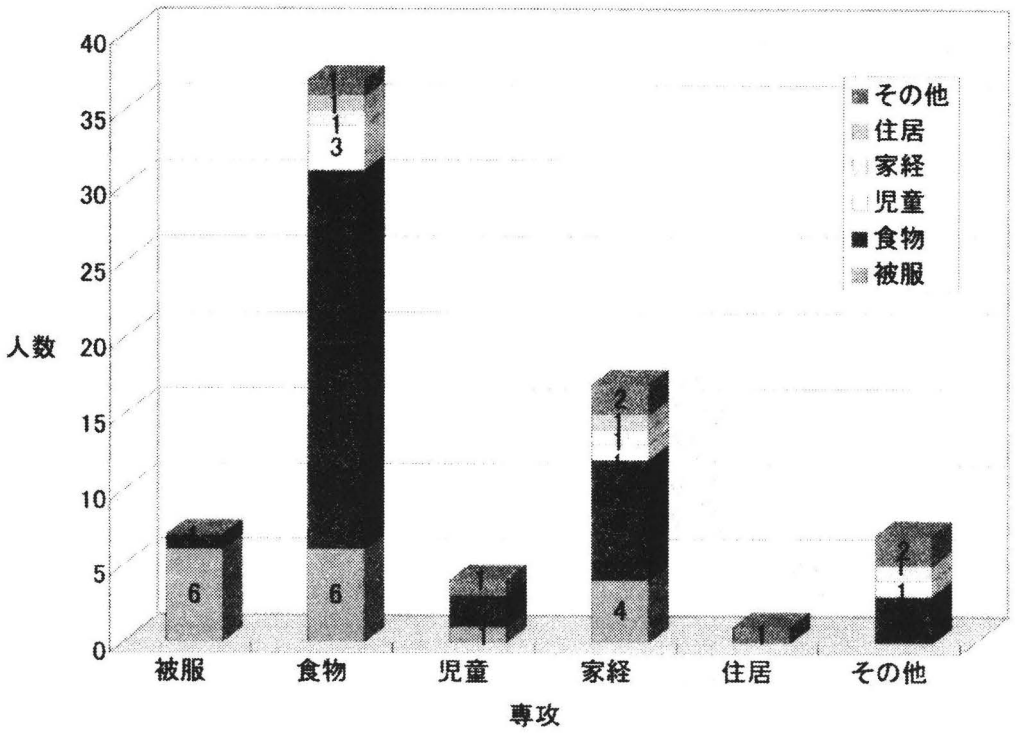

■Fig.7　住居の授業での教科書の使用度（学生に対するアンケート）



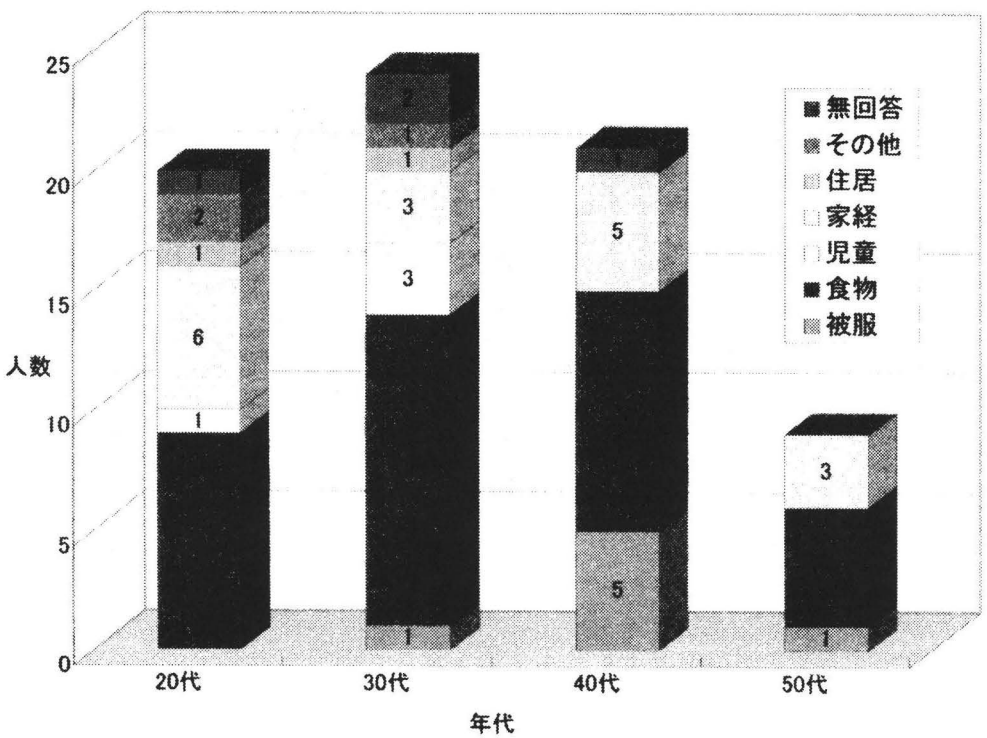

■Fig.4-1-17　学生時代の専攻（専攻別）



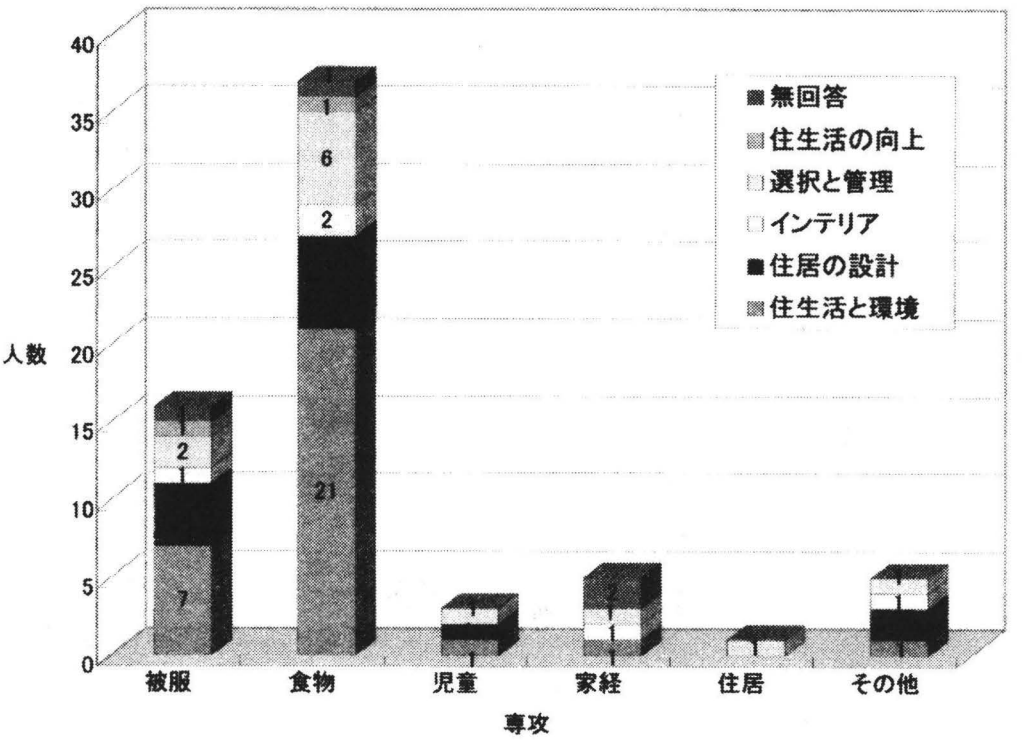

■Fig.4-1-18　学生時代の専攻（年代別）



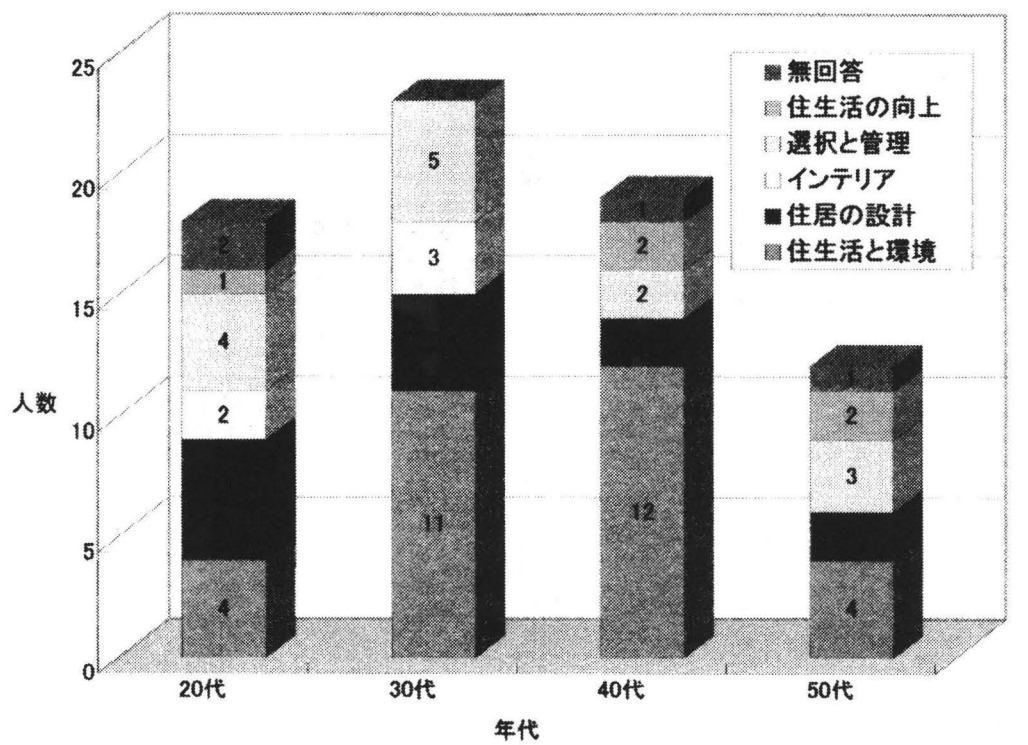

■Fig.4-1-19　家庭科教育で力を入れている分野（専攻別）



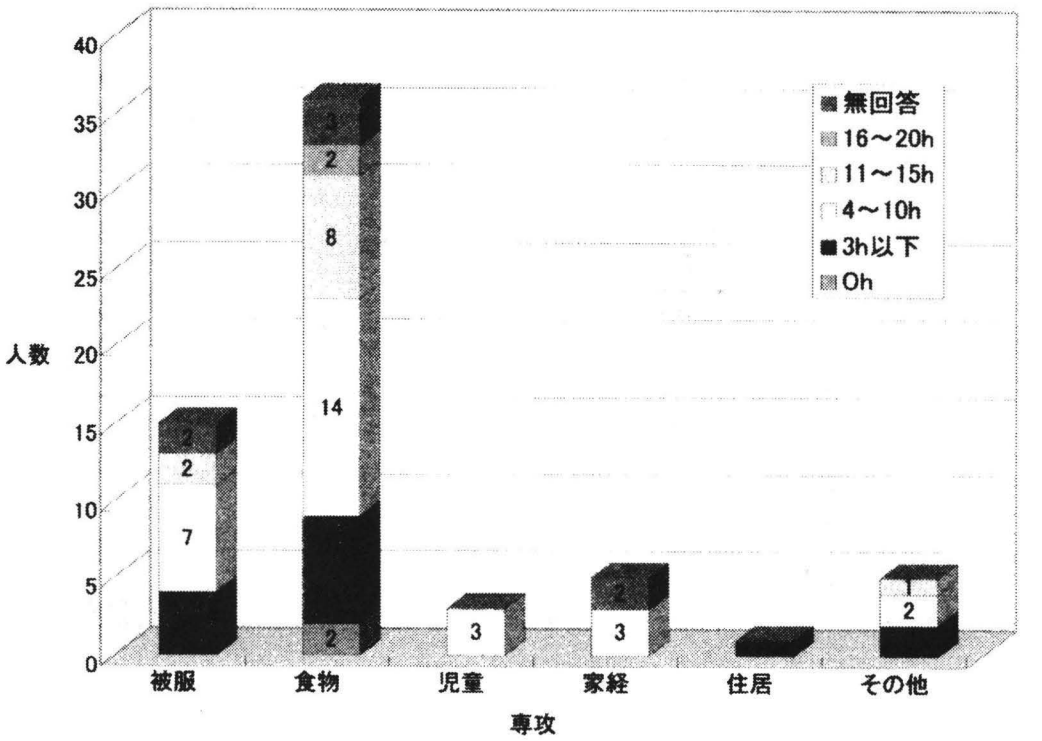

■Fig.4-1-20　家庭科教育で力を入れている分野（年代別）



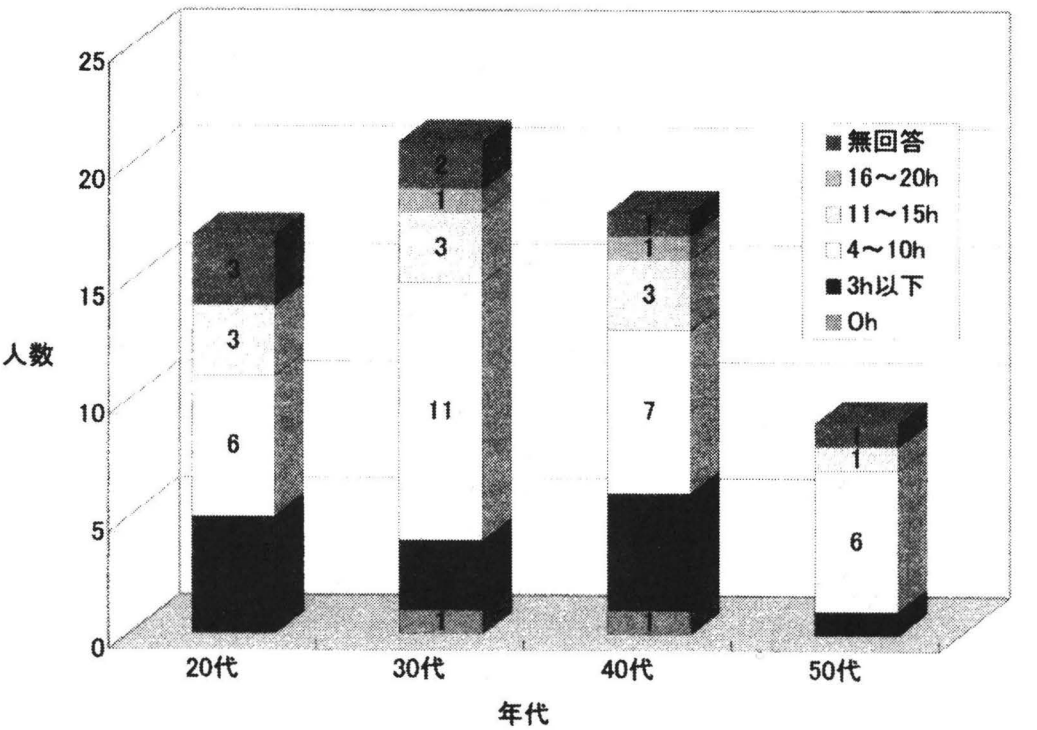

■Fig.4-1-21　住居教育で力を入れている項目（専攻別）



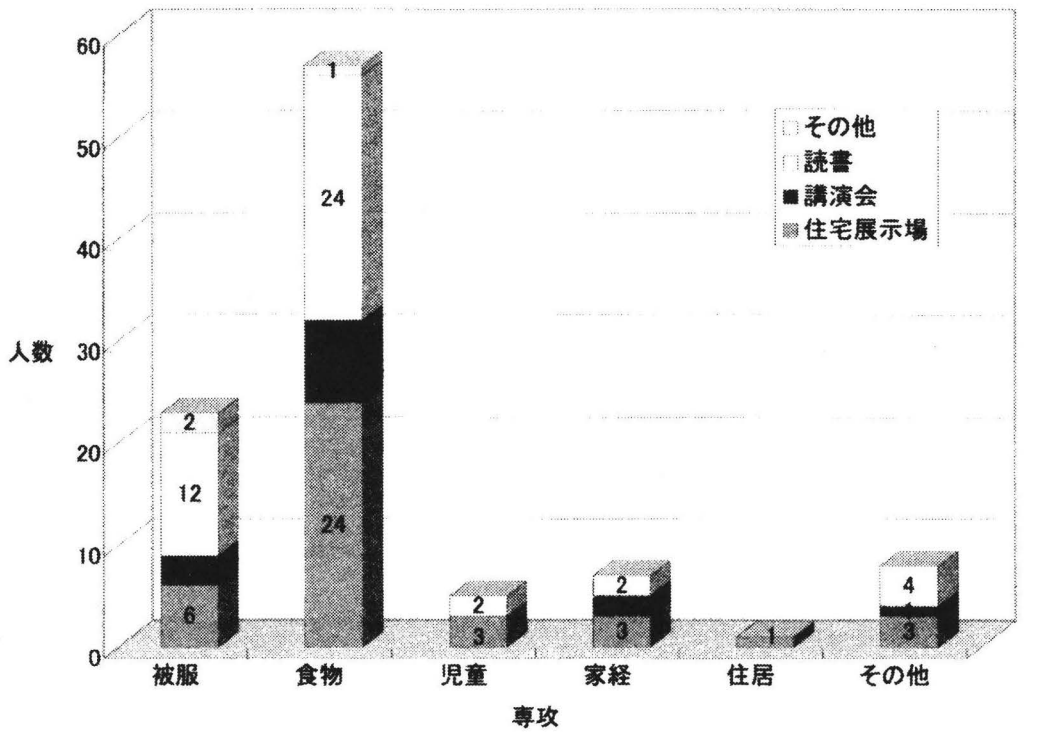

■Fig.4-1-22　住居教育で力を入れている項目（年代別）



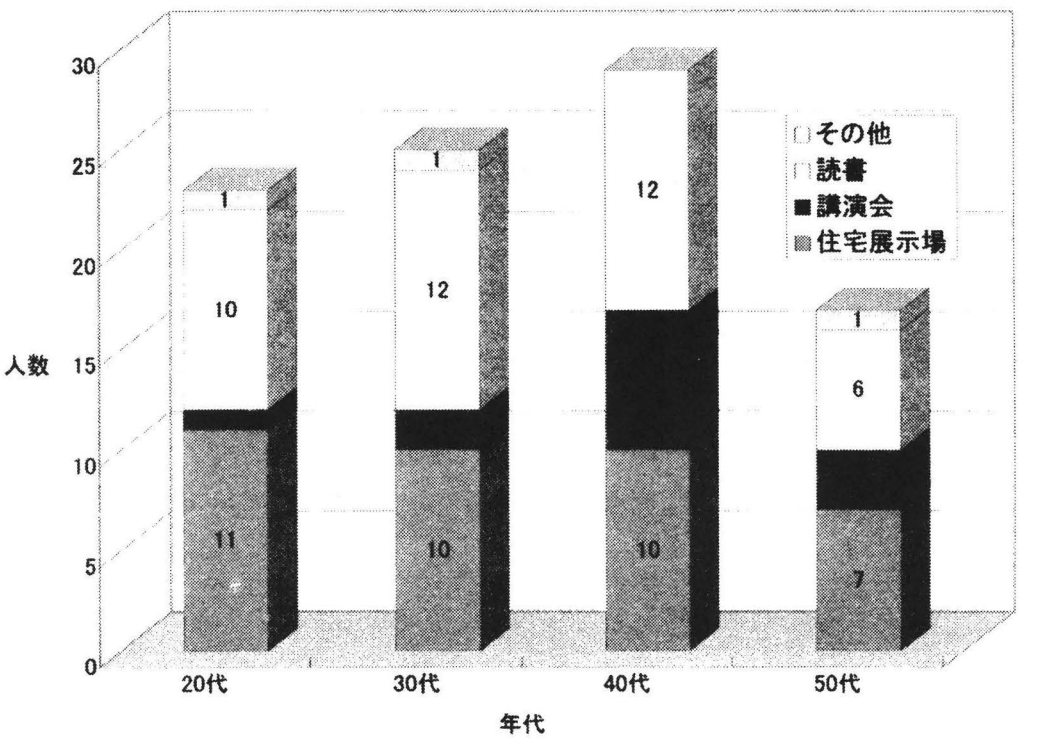

■Fig.4-1-23　住居教育に割く時間（年間）（専攻別）



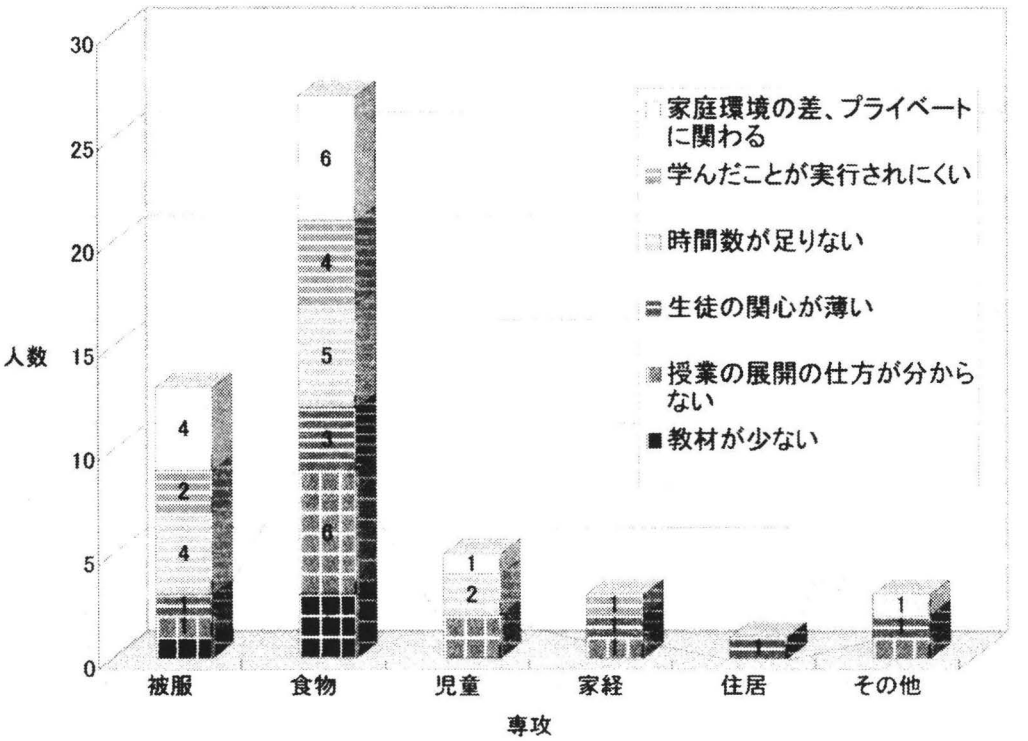

■Fig.4-1-23　住居教育に割く時間（年間）（年代別）



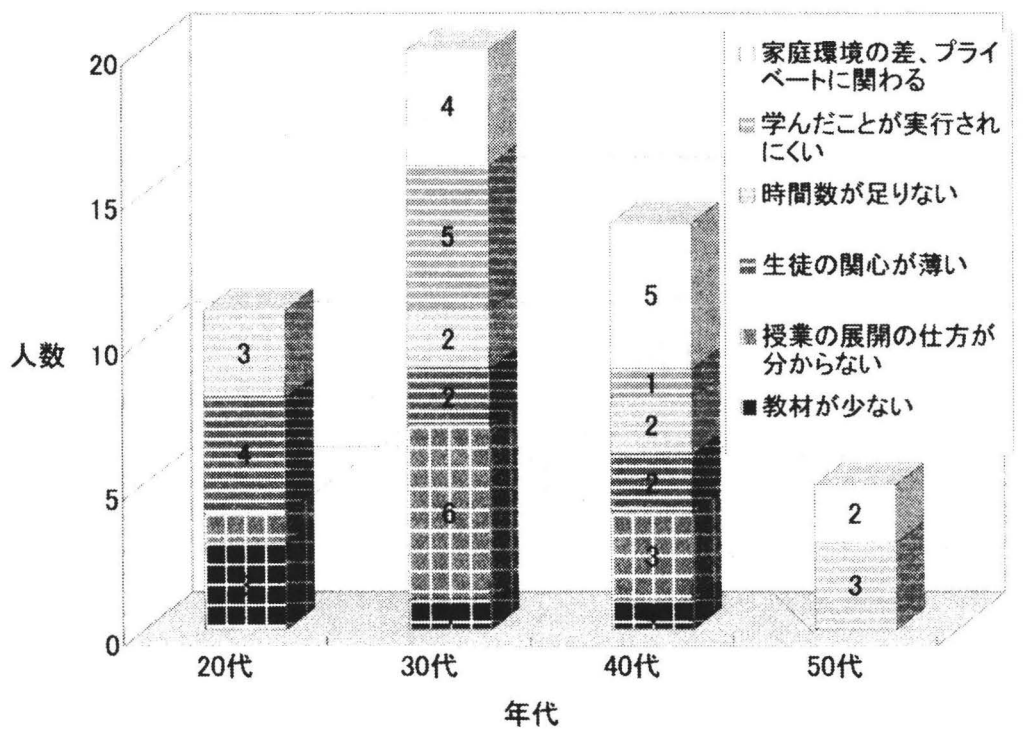

■Fig.4-1-25　住居教育のための勉強方法（専攻別）



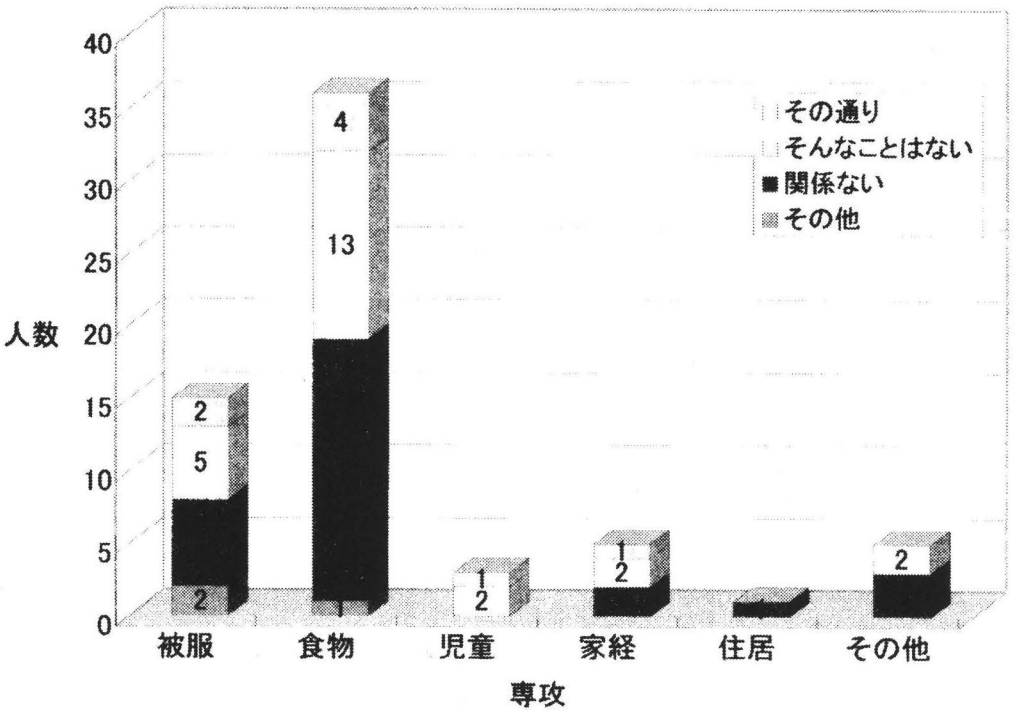

■Fig.4-1-26　住居教育のための勉強方法（年代別）



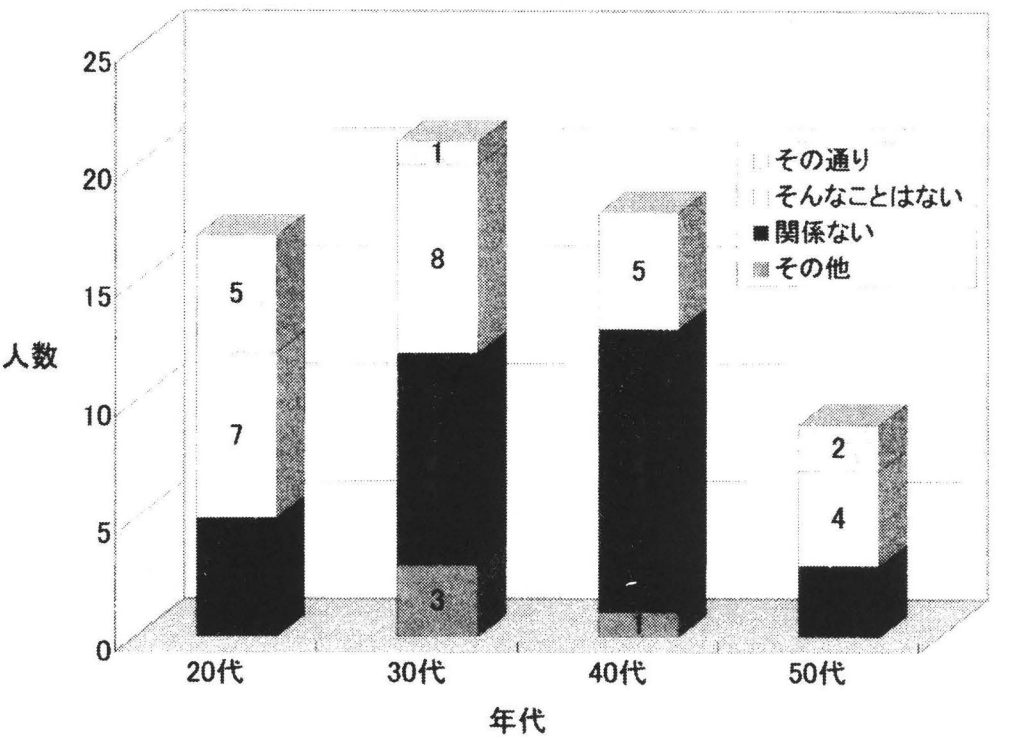

■Fig.4-1-27　住居を教える上での問題点（専攻別）



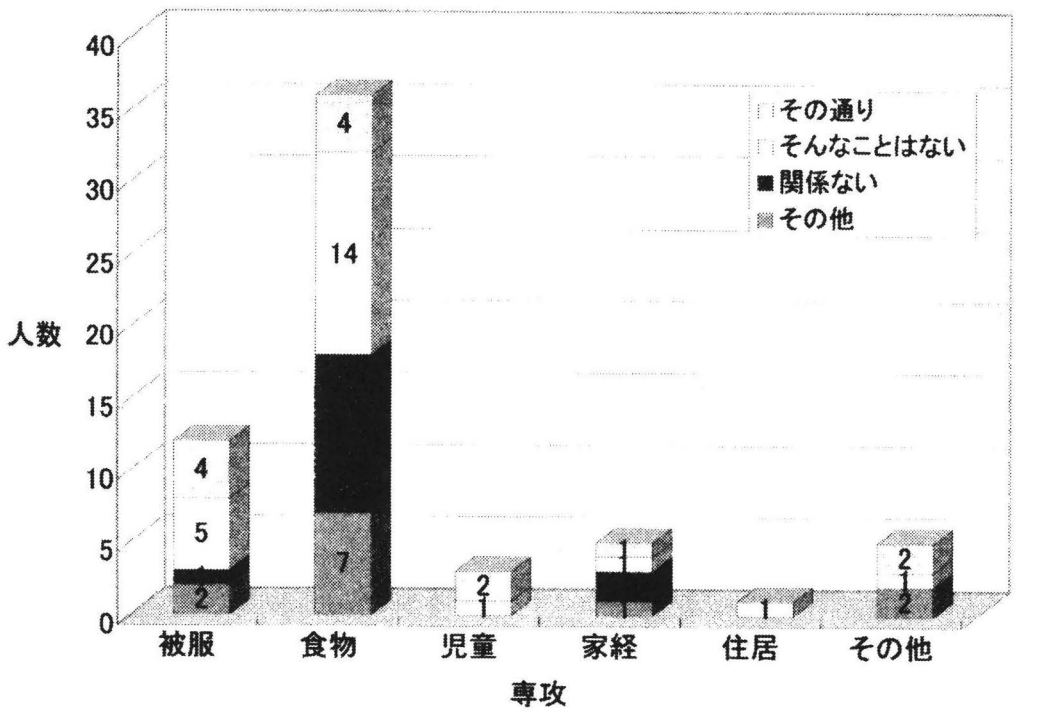

■Fig.4-1-28　住居を教える上での問題点（年代別）



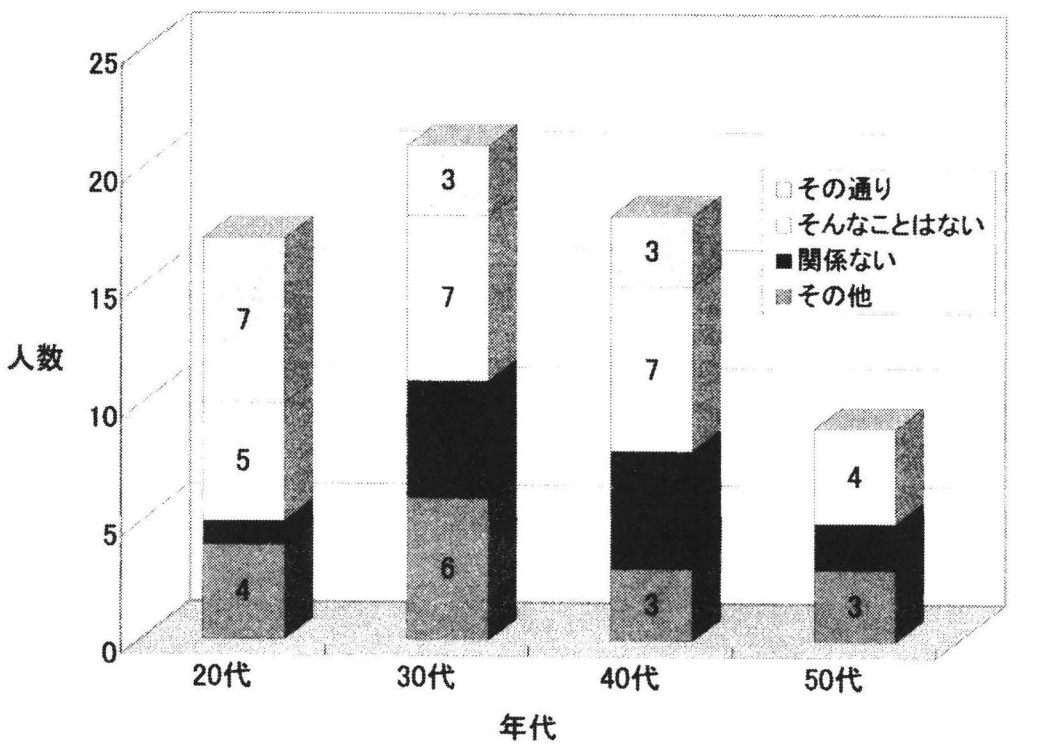

■Fig.4-1-29　日本の住居が粗末なのは家庭科で住居教育の比重が軽いからである（専攻別）




■Fig.4-1-29　日本の住居が粗末なのは家庭科で住居教育の比重が軽いからである（年代別）




■Fig.4-1-31　家庭科で住居教育に力を入れれば日本の住居は良くなる（専攻別）




■Fig.4-1-31　家庭科で住居教育に力を入れれば日本の住居は良くなる（年代別）

| | A社 | B社 | C社 | D社 | E社 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| カラー口絵（見返し含む） | 14 | 13 | 12 | 14 | 11 | 12.8 |
| 目次 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2.6 |
| 家庭一般とは | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1.8 |
| 家庭生活と経済 | 47 | 50 | 38 | 52 | 36 | 44.6 |
| 食生活 | 54 | 54 | 56 | 46 | 55 | 53 |
| 衣生活 | 32 | 42 | 46 | 42 | 49 | 42.2 |
| 住生活 | 26 | 28 | 23 | 30 | 17 | 24.8 |
| 保育 | 28 | 30 | 34 | 28 | 41 | 32.2 |
| ホームプロジェクト | 11 | 3 | 4 | 6 | 8 | 6.4 |
| 索引 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3.4 |
| 総ページ数 | 221 | 228 | 220 | 228 | 224 | 224.2 |

■Table.5-1-1　家庭一般 ページ配分比較（平成5年度検定）

| | A社 | B社 | B社 | C社 | D社 | F社 | G社 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| カラー口絵（見返し含む） | 14 | 17 | 14 | 14 | 14 | 13 | 14 | 14.3 |
| 目次 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2.7 |
| 家庭一般とは | 1 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2.4 |
| 家庭生活と経済 | 50 | 48 | 42 | 40 | 52 | 36 | 48 | 45.1 |
| 食生活 | 56 | 50 | 56 | 56 | 50 | 55 | 42 | 52.1 |
| 衣生活 | 42 | 36 | 44 | 42 | 42 | 49 | 40 | 42.1 |
| 住生活 | 28 | 20 | 24 | 22 | 28 | 17 | 28 | 23.9 |
| 保育 | 30 | 28 | 30 | 32 | 28 | 41 | 33 | 31.7 |
| ホームプロジェクト | 3 | 6 | 3 | 7 | 5 | 8 | 5 | 5.3 |
| 索引 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2.3 |
| 総ページ数 | 230 | 213 | 216 | 222 | 230 | 227 | 222 | 223 |

■Table.5-1-2　家庭一般 ページ配分比較（平成9年度検定）

| | A社 | B社 | C社(1) | C社(2) | D社 | E社 | F社 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| カラー口絵（見返し含む） | 13 | 12 | 10 | 10 | 14 | 10 | 13 | 11.7 |
| 目次 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2.7 |
| 生活一般とは | 2 | 4 | 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 |
| 家庭生活と経済 | 34 | 48 | 40 | 0 | 52 | 42 | 40 | 36.6 |
| 食生活 | 24 | 28 | 0 | 24 | 24 | 32 | 20 | 21.7 |
| 衣生活 | 18 | 28 | 0 | 26 | 32 | 20 | 26 | 21.4 |
| 住生活 | 18 | 14 | 0 | 16 | 18 | 18 | 16 | 14 |
| 保育 | 42 | 44 | 22 | 20 | 34 | 39 | 44 | 35 |
| 家庭生活と情報 | 20 | 20 | 0 | 19 | 26 | 18 | 26 | 18.4 |
| ホームプロジェクト | 4 | 7 | 4 | 0 | 6 | 5 | 2 | 4 |
| 索引 | 4 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2.4 |
| 総ページ数 | 246 | 248 | 136 | 120 | 252 | 225 | 255 | 211 |

■Table.5-2-1　生活一般 ページ配分比較（平成5年度検定）

| | A社 | C社(1) | C社(2) | C社(3) | D社 | F社 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| カラー口絵（見返し含む） | 14 | 10 | 10 | 14 | 14 | 13 | 12.5 |
| 目次 | 3 | 3 | 3 | 5 | 3 | 1 | 3 |
| 生活一般とは | 2 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 1.5 |
| 家庭生活と経済 | 48 | 40 | 0 | 40 | 52 | 40 | 16.7 |
| 食生活 | 46 | 16 | 24 | 40 | 38 | 36 | 33.3 |
| 衣生活 | 42 | 55 | 28 | 56 | 44 | 44 | 44.8 |
| 住生活 | 26 | 10 | 16 | 27 | 29 | 47 | 25.8 |
| 保育 | 46 | 22 | 20 | 42 | 35 | 26 | 31.8 |
| 家庭生活と情報 | 22 | 0 | 19 | 19 | 24 | 22 | 17.7 |
| ホームプロジェクト | 3 | 4 | 0 | 4 | 5 | 7 | 3.8 |
| 索引 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2.3 |
| 総ページ数 | 253 | 138 | 122 | 254 | 254 | 253 | 212.3 |

■Table.5-2-2　生活一般 ページ配分比較（平成9年度検定）

| | 平成5年度検定 | | | | | 9年 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A社 | B社 | C社(1) | C社(2) | 平均 | A社 |
| カラー口絵（見返し含む） | 14 | 13 | 10 | 10 | 11.8 | 14 |
| 目次 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3.5 | 3 |
| 生活技術とは | 2 | 4 | 1 | 0 | 2 | 2 |
| 家庭生活と経済 | 46 | 48 | 26 | 0 | 30 | 48 |
| 食生活 | 44 | 32 | 35 | 0 | 27.8 | 40 |
| 衣生活 | 24 | 23 | 24 | 0 | 17.8 | 24 |
| 住生活 | 16 | 13 | 12 | 0 | 10.3 | 12 |
| 保育 | 24 | 24 | 22 | 0 | 17.5 | 26 |
| 情報 | 20 | 24 | 0 | 36 | 20 | 22 |
| 電気・機械 | 18 | 24 | 0 | 36 | 18.5 | 18 |
| 園芸 | 20 | 24 | 0 | 32 | 19 | 20 |
| ホームプロジェクト | 2 | 6 | 0 | 3 | 2.75 | 3 |
| 総ページ数 | 237 | 240 | 134 | 120 | 182.8 | 238 |

■Table.5-3　生活技術 ページ配分比較

# 2－1　第21回 学生建築設計優秀作品展<br>第４回 学生CAAD教育の現場展

有限会社レモン
代表取締役社長　松　永　太　郎

実施計画書に従い、平成10年５月21（木）～５月24日（日）の４日間にわたり、『第21回学生建築設計優秀作品展』並びに『第４回学生CAAD教育の現場展』を開催いたしました。以下にその概要を記します。

## 本企画の背景と経緯概略

1978年から継続的に実施して参りましたこの企画は、建築系大学・専門学校で、各々推薦された卒業制作の優秀作品（原図及び模型）を一同に介し、極めて創造性に秀でた作品をより多くの方々に紹介する「学生の情報発信の場」として機能しています。

当時、この呼びかけに賛同いただいた７大学により第１回展が始まり、今回で第21回展を迎えました。その間参加校は関東全域28校35学科に広がり、各大学、専門学校の担当者からも高い評価を得、建築系の学生、設計実務関係者の方々にも親しまれて参りました。

又、近年の建築設計業界におけるCAD化は、実社会（設計実務）だけではなく、教育の現場にも確実に浸透しており、学生の作品の中で、或いは計画の発想の段階で巧みに取り入れられています。そうした状況についても、今後の重要な側面と認識し、第18回展より「学生CAAD教育の現場展」を同時に開催してきました。本年度も、大阪、京都、九州の諸大学を含む29校30学科の参加を頂き実施しました。

さらにこの間、CAAD・ステージにおいて学生によるプレゼンテーションを行うなど、建築関係者と社会における役割と可能性についても追求しております。

## 本企画の目的

(1) 本展覧会の役割は、教育現場と実社会（設計実務）の双方に開かれた、有効な情報回路として機能し、互いに有益な情報交流・交換の場を形成することを目的とする。

(2) 出品される学生の作品は、時代の課題を反映したものであることから、本展を通じ、今後あるべき人間社会の快適な居住空間とは何かを、教育と実務現場の双方から考え、社会に問うという意義を持つ。

(3) 本展覧会は、学生及び学校間の交流を密にする場であり、互いの活動状況を知り、また、互いに学び得ることで、その向上を促す接点となることを目指す。

## 実施内容

名　　称　【第21回　学生建築設計優秀作品展】
　　【第４回　学生CAAD教育の現場展】

会　　場　東京都千代田区神田駿河台１－６　お茶の水スクエア「アートプラザ」
　　お茶の水スクエア「ルーム６」

会　　期　平成９年５月21日（木）～５月24日（日）４日間

時　　間　午前10：00より午後８：00まで（最終日は午後５時まで）

展示内容　前年度卒業制作作品―学校推薦（オリジナル図面及び建築模型）
　　展示パネル（図面・パース）、ビデオ、デモンストレーション等

後　　援　社団法人・日本建築家協会
　　社団法人・日本建築士会連合会
　　社団法人・東京建築士会

特別協賛　財団法人・トステム建材産業振興財団

協　　賛　25社

会期中入場者数　4,172名　21日（木・晴天／952名）、22日（金・晴天／1,068名）
　　23日（土・晴天／1,279名）、24名（日・雨天／873名）

来場者分布　大学・専門学校生（86.8%）
　　教育・研究（4.8%）
　　企業・設計事務所・ゼネコン（7.2%）
　　一般・その他（1.2%）

出品料　無料

入　場　料　無料

作　品　集　体裁：B4判変形　頁数：80頁　部数：1,500部

開催告知　ポスター、チラシを学校（全国約100校）・企業に配布
DMを学校（約400校）・企業（約100社）に送付

セミナー　CAAD展会場内にて『'98 CAADセミナー』を開催

■参加校

神奈川大学工学部建築学科
慶應義塾大学環境情報学部
工学院大学工学部建築学科
芝浦工業大学工学部建築学科
芝浦工業大学工学部建築工学科
芝浦工業大学システム工学部環境システム学科
昭和女子大学生活科学部生活美学科
多摩美術大学美術学部建築科
千葉工業大学工学部建築学科
千葉大学工学部建築学科
東海大学工学部建築学科
東京家政学院大学家政学部住居学科
東京芸術大学美術学部建築科
東京工業大学工学部建築学科
東京工芸大学工学部建築学科
東京大学工学部建築学科
東京デザイナー学院建築デザイン専攻建築デザイン科
東京電機大学工学部建築学科
東京都立大学工学部建築学科
東京理科大学工学部建築学科
東京理科大学工学部第II部建築学科
東京理科大学理工学部建築学科
東京YMCAデザイン研究所建築科
東洋大学工学部建築学科
日本女子大学家政学部住居学科
日本大学生産工学部建築工学科
日本大学短期大学部建設学科
日本大学理工学部海洋建築工学科
日本大学理工学部建築学科
法政大学工学部建築学科
武蔵工業大学工学部建築学科
武蔵野美術大学造形学部建築学科
明治大学理工学部建築学科
横浜国立大学工学部建設学科
早稲田大学理工学部建築学科

（28校35学科）

■同時開催「第3回学生CAAD教育の現場展」参加校

大阪大学工学部環境工学科
大阪芸術大学芸術学部建築学科
京都芸術短期大学専攻科デザイン専攻建築デザインコース
京都工芸繊維大学工芸学部造形工学科
京都造形芸術大学大学院芸術学部芸術研究科環境デザインコース
熊本大学工学部環境システム工学科

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
芝浦工業大学システム工学部環境システム学科
中央工学校インテリア工学科
筑波大学第３学群社会工学類都市計画専攻
東海大学工学部建築学科
東京大学大学院工学系研究科建築学専攻
東京家政学院大学家政学部住居学科
東京芸術大学美術学部建築科
東京工芸大学工学部建築学科
東京テクニカルカレッジデジタルデザイン建築学科
東京電機大学工学部建築学科
東京都立大学工学部建築学科
東京理科大学工学部第Ⅱ部建築学科
東京YMCAデザイン研究所建築科
東洋大学工学部建築学科
日本大学生産工学部建築工学科
日本大学理工学部建築学科
日本電子専門学校環境デザイン科・CADデザイン科
文化女子大学家政学部生活造形学科インテリアデザインコース
法政大学工学部建築学科
武蔵工業大学工学部建築学科
武蔵野美術大学造形学部建築学科
早稲田大学大学院理工学研究科

(29校30学科)

## 出展作品の概要及び今回展における作品群の傾向

21回を迎えた1998年の「学生建築設計優秀作品展」は、前回と変わらない、若々しい創造性に満ち溢れた作品を集めて、開催されました。

21世紀を間近に迎える現在、建築をとりまく世界が、どのようにそれぞれの作品に反映され、また、そうした条件が、どのように創造の現場に活かされているのか、そうした観点から、今回の作品群の傾向を振り返ってみたいと思います。

今回の展覧会では、やはり、世界的にも、あるいは我が国においても、時代の大きな転換期を迎えている現在という時点に対する認識を色濃く反映している作品がめだちました。

転換期の課題は、情報をめぐる環境の変化、大気汚染などの環境問題、教育をめぐる様々な問題を始め、人々の生活の仕方、あるいは、生死の問題などをめぐって現れてきます。

ある意味では危機であり、ある意味では大きな希望の時でもある現在、今回の作品群では、そうした課題を真剣に見つめ、正面から取り組んだものばかりと言えます。

とりわけ、そうした課題を、先入見的な概念や観念で解こうというのではなく、むしろ流動する多様な交通や交流の現場での発生そのものに見ていこうとする、きわめて創造的な試みが多く見られるのが、今回の大きな特徴と言えます。その中から、幾つかをご紹介させていただきます。

神奈川大学の数坂幸生さんは、その「空隙楼」で、意識と存在、物体と精神などの二面性の空隙に目を向け、そうした問題が、町という場に流動的に発生してくるような作品を、設計しました。こうした根本的な問題に、創造性を向けることを強いるのが、現在という時点なのかもしれません。

慶應大学の南雲淳子さんも、町という場に現れる多様な人間関係の姿を許すような、新しい駅のコンセプトを提案しています。こうした場における様々な交通の姿を考えようという姿勢は、芝浦工業大学の田中大造さんの「流れのある町」にも共通しています。人やものや情報が自由に交流し、出来

事が発生する「交通の現場」に目を向けています。

武蔵野美術大学の渡辺佳代子さん、武蔵工業大学の山本寛之さんは、それぞれその築地市場のプロジェクトで、同じような「交通の現場」である市場という場の持つヴァイタリティやエネルギーを、それをめぐる都市にも広めていこうと試みています。

日本大学の小川博央さんは、人の流れ、出会いそのものを喚起する場を都市のなかにふたたびとりもどそうとしています。同じく横浜国立大学の高木昭良さんは、都市空間に、スパイラルという概念によって時間的に新しい多様性をもたらす立体公園を設計しています。

日本大学の神浦泰子さん、また日本大学の山田徹さんは、それぞれ「子どもの育つ場所」「参加型図書館」で、閉鎖的ではない、周囲や環境との多様な交通を許す、新しい形態の学校や図書館を提案しています。こうした場に対して開かれた学校という概念は、日本女子大学の石井晶さんの「NETWORK SCHOOL」の設計テーマそのものとなって現れています。

昭和女子大の浅田真理子さんは「臨海副都心を楽しむための３つの提案」として、多摩美術大学の石井さんは「海をみにいく、よこはま・みなと」として、それぞれ、大都市に住む人々の海あるいは水辺への根元的な憧れをテーマに作品にしています。

東京電機大学の三輪田真人さんは、その作品「父は山、母は海、兄は空」で、そうした憧景が発生する人類の意識の進化過程に目を向けています。やはり、ここにも根元にさかのぼって考えようとする姿勢が、はっきりと見られます。

東京理科大学の鶴田智子さんは、東京エコロジーセンターで、また、おなじく東京理科大学の廣瀬大祐さんは、「TOKYO FILTER」で、もはや待ったなしの状態にまで至った環境問題を、実際的に解決するための提案を行っています。環境問題の緊急性に対する鋭い認識が現れています。

明治大学の蔵品誠さんは、「アンダーグラウンド」で、早稲田大学の吉村昭範さんは「2013年へのファイナルカウントダウン」において、自明とされている現在の世界が消滅し、新しい時代が開始する予感に満ちた象徴的な作品を設計しています。

同時開催の「第４回学生CAAD教育の現場展」ではヴェネツィアでの国際コンペで、最優秀賞を受賞した京都工芸繊維大学の〔The Theater As A Memory Device〕をはじめとする、数々の力作が寄せられました。建築の概念、その表現、形態などに対する本質的な思考をコンピューターを使うことによって深めていこうとする作品が、目立ちました。

## 今後への課題

出品校の増加、展示パネル・模型の規模大型化により、限られたスペースでの展示が困難になってきている。又、CADを利用した作品が著しく増加しているため、近年の設計製図のCAAD化への流れを考慮し、平成７年より、「学生CAAD教育の現場展」を同時開催するなど、本企画の規模自体も拡大し、運営自体にも大きな影響を及ぼしている。

又、今後もCAD作品が増加して行く傾向が見られ、会場での展示方法も図面・模型の他にハード

(パソコン、ビデオ等) によるプレゼンテーションも行われる等、適切な準備、対応を考えて行かなければならない。

さらに、参加を希望する教育機関がますます増加していることが、今後とも大きな課題となっている。

## 今後に向けて期待される効果

建築の分野における展覧会ではあるが、現在人類がかかえる最も大きな課題である人間と環境について学ぶ学生にも建築との関連性から参加をしてもらうようになった。

純建築系の学生と互いに情報交換を行うことによって、互いに影響し合い、各々の意識、研究がより向上し、大きな力となって社会に還元されるのではないだろうか。

ただ、優れた作品がそこにあるというだけではなく、そういった観点からも、この展覧会を継続して行くことは、今後も、建築設計関係者にとって常に新鮮で、貴重な情報を提供し続けて行くことができる非常に有意義であり、無限の可能性を秘めた出会いの場として機能して行くものと確信している。

## '98来場者（学校）

青山製図専門学校
愛知工業大学
ICSカレッジオブアーツ
岩倉高校
インリンガ外語学校
宇都宮大学大学院
江戸川女子高校
大阪芸術大学
大阪女子大学
大塚テキスタイルデザイン学校
神奈川大学
神奈川大学大学院
学習院大学
関西大学
関東学院大学
関東学院大学大学院
川崎市立川崎総合科学高等学校
北里大学
京都大学
京都大学大学院
京都工芸繊維大学
京都造形芸術大学
共立女子大学
共立女子短期大学
国立音楽大学
国際共立学園
共栄学園短期大学
熊本大学
熊本大学大学院
群馬大学
桑沢デザイン研究所
慶應義塾大学
慶應義塾大学大学院
工学院大学
工学院大学専門学校
神戸大学
駒澤大学
攻玉社学園攻玉社専門学校
小山学園
小山工業高等専門学校
国士舘大学
埼玉大学
埼玉工業大学専門学校
芝浦工業大学
芝浦工業大学大学院
順天堂大学
昭和大学
昭和女子大学
昭和女子大学短期大学
城西大学
上智大学

信州大学
スペースデザインカレッジ
駿台予備校
成蹊大学
聖徳大学
専修大学
洗足学園短期大学
多摩美術大学
瀧野川女子学園
中央大学
中央工学校
千葉工業大学
千葉工業大学大学院
千葉県立幕張総合高校
千葉大学
千代田工科専門学校
千代田工科芸術専門学校
筑波大学
筑波大学大学院
筑波研究学園専門学校
津田塾大学
デジタルハリウッド
桐陰横浜大学
東海大学
東海大学大学院
東海工業専門学校
東京医療秘書福祉専門学校
東京大学
東京大学大学院
東京学芸大学
東京学芸大学附属小金井中学校
東京設計学校
東京理科大学
東京理科大学大学院
東京YMCAデザイン研究所
東京電機大学
東京電機大学大学院
東京工科専門学校
東京工業大学
東京都立大学
東京デザイナー学院
東京テクニカルカレッジ
東京工芸大学
東京工芸大学大学院
東京農業大学
東京農工大学
東京芸術大学
東京芸術大学大学院
東京造形大学
東京工学院専門学校
東京家政学院大学
東京医科歯科大学
東京商科学院
東京立正女子短期大学
東邦大学
東洋大学
都立工芸高等高校
都立航空高等専門学校
新田高校
TORONTO UNIVERSITY
長岡造形大学
名古屋工業大学
名古屋市立大学
名古屋造形芸術大学
名古屋造形大学
日本デザイン専門学校
日本大学
日本大学短期大学
日本大学大学院
日本女子大学
日本電子専門学校
日本工業大学
日本工学院専門学校
バンタンＪカレッジ
一橋大学
文化女子大学
文化学院
防衛大学
法政大学
ポリテクカレッジ東京
ポリテクカレッジ群馬
松山高等技術専門学校
武蔵野美術大学
武蔵工業大学
明治大学
明治薬科大学
明治大学附属明治高校
名城大学
明治学院大学
茗渓学園高校
横浜国立大学
横浜国立大学大学院
読売東京理工専門学校
立教大学
早稲田大学専門学校
早稲田大学
早稲田大学大学院

（順不同・敬称略）

## '98来場者（企業・一般）

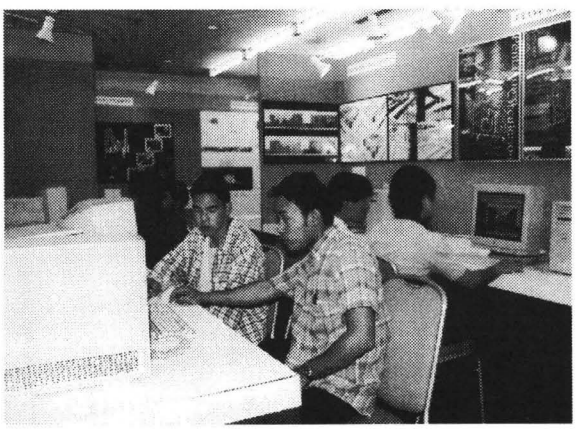
アイエス建築企画
愛知県庁
アイ・バン
IBMシステムエンジニアリング
アーキ・キャドシステム
ARCHIVESTA
アクアハウス
アークス建築研究所
明野建築研究所
朝日エテック
旭硝子
アップルコンピュータ
天草病院
アルコム
アルテ　ミュゼオ　ヤブタ
アルモ設計
アンペール
石川県庁
池下設計
市川建築設計事務所
一色建築設計事務所
イトーキ
イメージアンドメジャーメント
入江三宅設計事務所
インフォマティクス
ウエップジャパン
内野建設
浦野設計
AEA総合計画事務所
NTTファシリティーズ
Sテック建築計画工房
エス・バイ・エル
エプソン
エム・ティ・エィ
大林組
岡田新一設計事務所
岡村製作所
奥村組
オデッセイ　オブ　イスカ
オリエンタルランド
鹿島建設
柱設計
川口工建
川口土木建築工業
川鉄情報システム
関電工
キャノン
キャノン化成
共和コンクリート工業
銀流
一級建築士事務所・空間協同
グラフィソフト
警察庁
K'S HOME PLANNING
ゲームアーツ
K・Y・サービス
建材試験センター
建設省
玄都市設計
鴻池組
コトブキ
五洋建設
近藤建設
佐藤印書館
サービスマスター・ジャパン
三秀社
JR東日本建築設計事務室
JCB
SHIPS
清水建設
ジャスコ
ジェトロ
住宅都市整備公団
彰国社
城南電研一級建築士事務所
昭和建装
新建築社
杉崎レンダリング事務所
鈴木商館
ステッドラー日本
スリーディーイノベーションズ
セガ・エンタープライゼス
SEN設計
船場
全郵政
総合高津中央病院
ソニー
第一勧銀
第一制作室
大成建設
大東京火災海上保険
ダイヤコンサルタント
高輪・建築計画・総合研究所
タケツー
タスクシステム
多田建設
立山アルミ
タラオ・ヒイロ・アーキテクツ一級建築士事務所
筑摩書房

TEAMコム
中央住宅
中央設計
銚子市役所
デジタル・エディット
手塚建築研究所
テール
電通
トーイン
陶器二三雄建築研究所
東京都　建設局
東芝
東芝機械プレスエンジニアリング
東急工建
東興産業
東京労働金庫
東宝映像美術
東レ建設
東和システム
トステム
十千万
トッパン・フォームズ
内外地図
中村彰建築研究室
中村多喜彌商店
西島建築設計
日経BP社
日建設計
西水元福祉館
日本エネルギー研究所
日本オラクル
日本軽金属
日本設計
日本設備企画
日本ソフト
日総建
沼土都市建築研究所
NOA設計室
野生司環境設計
博報堂
服部設計
服部都市建築設計事務所
浜崎正吾建築デザインアトリエ
東日本旅客鉄道
ピコインターナショナル
びこう社
福島構造設計
藤木工務店
富士銀行
富士通
富士通ミドルウェア
フジテレビ
フジタ
プランテック総合計画事務所
ベストデザイン
ベニーエステートサービス
北陽
ホルベイン工業
ホルベイン画材
前田アトリエ
前田建設工業
前田建築事務所
マックス
松永建設
馬庭建築設計事務所
松本設計
マルタ設計
丸紅
三浦工務店
ミクス
ミサワホーム
三菱地所
三菱レイヨン
ミューズ
武藤工業
モア設計室
森ビル
森緑地設計事務所
安宅設計
柳学アーキテクツ
山商
大和工商リース
山根電気工業
Yui建築
郵政省
郵船不動産一級建築工事務所
湯本建築事務所
横浜市福祉局
横浜市役所
横浜信用金庫
ローザ

(順不同・敬称略)

第21回学生建築設計優秀作品展
第4回学生CAAD教育の現場展
開会期間：1998年5月21日(木)～5月24日(日)
開催時間：AM10:00よりPM8:00まで
（最終日はPM5:00まで）
開会場所：お茶の水スクエア「アートプラザ」(建築展)
お茶の水スクエア「ルーム6」(CAAD展)
入場料：無料
主催者：レモン画翠
後援者：社団法人・日本建築家協会
社団法人・日本建築士会連合会
社団法人・東京建築士会
特別協賛：財団法人・トステム建材産業振興財団
協賛費
アップルコンピュータ株式会社
株式会社アートプリントジャパン
株式会社イメージアンドインパーメント
株式会社インフォマティクス
エーアンドエー株式会社
オートデスク株式会社
グラフィソフトジャパン
松下株式会社
富士ゼロックス株式会社
ミック・ジラー・日本株式会社
有限会社メリーティーイノベーションズ
株式会社ＫＭデザインセンター
十千万株式会社
株式会社中村多容建築所　NACO国分寺支店
業務高能社サービスセンター
株式会社富士製図
富士通ビデオウェア株式会社
株式会社ベントレ・ッシステムズ
有限会社ボイス
ホルベイン画材株式会社
ホルベイン工業株式会社
マックス株式会社
株式会社ミュー・ズ
武蔵工業株式会社
（協賛金額順・五十音順）
レモン
画翠
東京都千代田区神田鍛冶町1-5-5
TEL 03-3253-6034

第21回学生建築設計優秀作品展
LEMON



# 2－2　建築CAD基礎教育支援システム

釧路工業高等専門学校
学校長　芳　村　　仁

## 1．教育支援システムの目的

平成６年度から全学利用のワークステーションCADシステムが導入されたが、20台と数少なく、一斉授業が出来ず、制約をうけた変則カリキュラム構成・過密時間割を強いられていた。この状況を改善すべく建築学科では学生１人１台の一斉授業を目指してコンピュータを用意してきたが台数不足であった。

そこで、基本的に１クラス40人の学生を対象とした一斉授業を目標としてマシン台数の充実をはかるために、CADを含めた多面的設計教育の展開を目的として本CADシステムを導入した。
(なお、本システムは本校建築学科 千葉忠弘助教授を中心に導入及び利用計画が立案された)

## 2．ＣＡＤ教育システム構成

システム構成は当初パソコン複数台のみの構成であったが、出力部分の機能が必要不可欠となり、パソコン２台とカラープリンター１台、増設記憶装置、ネットワークカード他となった。

本システムの利用計画内容は以下の通りであった。

(1) CAD概論として「簡単なドローイング（線分の描き方)、簡単な編集（複写、移動、削除について）単位等の設定方法、部品の作成、画層の設定作成、ハツチング、寸法、出力」等の建築CADの基礎を学ぶ。

(2) CAD演習として「３次元CADの基礎（モデリング、レンダリング）演習、各自作品のCADデータ化」を行い、建築CADの応用力をつける。

(3) コンピュータ環境論として「コンピュータ機器構成、ネットワーク環境概論（インターネットを中心に）電子メール、WWWを用いたコミュニケーション論および実習」を学ぶ。

(4) 卒業研究として、「論文のドキュメント電子化、設計（各自の自主テーマによる作品づくり・エスキスから清書までデジタルデータによる処理)」に利用する。

(5) 建築視聴覚教育として「各種建築の作品をネットワークによって検索、あるいは市販のCD-R0Mによる作品鑑賞」があげられる。

これらの計画に則り、平成９年度は全学利用のワークステーンヨンCADシステムと併用し、上記(1) の２次元を中心とする基礎的CADの補習、および、(4) の卒業研究（特に３次元CADを含む設計を行った学生２名の作品は本学科の優秀作品として建築学会に推薦された)、(5) のインターネッ

トを中心とした視聴覚教育に、主として利用した。

## 3．システム利用状況

導入したシステムはハード的にも、ソフト的にもCAD初心者には利用しやすい環境で、利用した学生、指導された教官、ともに評判がよかった。このような利用しやすいシステムが多数あれば、コンピュータアレルギーの多い建築学科学生には教育効果があり、建築・建材産業への人材育成につながることが再確認された。また、本システムの利用は、後述するCADシステム導入、今後の効果的教育展開のための基礎的資料となった。

こういった状況において、（本システム導入後）以前から建築学科が要求していた一斉授業に対応できる建築CADシステムが文部省により予算化され、９年度末に、パソコン40台のCADシステムが学科CAD室内に設置された。

CAD室に設置された機器は、ネットワーク（100BASE-TX）によって接続されたPower Macintosh 4400/200および15インチデイスプレイ40台で、パソコン初心者の多い建築学科学生にわかりやすい、ユーザーインタフェイスの優れたMacOSが導入された。これにAt Easeというユーザ管理ソフトによって運営されている。

これにより、本システムは当初の目的に沿って台数補充、および出力機能として利用された。

そこで10年度は建築学科待望の一斉授業が可能となり、新しいカリキュラムが再編成された。

新しいカリキュラムは、まず４年前期に週４時間の２次元CADを中心とした「建築CAD」、これと併行にCAD提出を前提とする週６時間の「建築設計製図」が組み合わされ、実に週の３分の１を、パソコンに向かうという集中的講義を行った。このほか、３年後期にCAD演習の前段階としてコンピュータのリテラシイ（パソコン利用のための環境学習）教育、あるいはインターネット体験を行う「情報処理Ⅰ」、また４年後期には実験実習に必要となる表計算、初歩的言語、３次元CADの基本概念（モデリング）を学ぶ「情報処理Ⅱ」が実施された。

具体的な「建築CAD」の内容は以下の通りである。なお、CADソフトはマッキントッシュでは有名なMiniCADを利用している。MiniCADはオブジェクト指向のCADであるため、建築図面を描く前に、フロッピーデイスクを描いて基本的な作図技法（線分の描き方、線分の編集、変形、複製）を学んだ。続いて簡単な平面図、断面図をトレースさせることにより、壁の編集、部品（シンボル）の概念、レイヤの概念を理解させて、効率的２次元CADの作図をマスターさせた。（なお、講義の進め方は、毎時間質問票を提出させることにより、学生の理解度を把握し、次回に前回の再確認と質問への回答を行った。この質問票による進め方は学生に評判が良かった。）これらを習得させたのち、「建築設計製図」の科目と連携し、各自が構想した博物館建築をCADを用いてエスキス（構想図）、および清書させた。これによって、手書きによるエスキスから離れたため、設計製図を苦手としていた学生の学習意欲も向上したと思われる。

次に「情報処理Ⅰ」の内容は以下の通りである。ここではオペレーションシステム（OS）の理解、日本語入力、ワープロによるプレゼンテーション、また、電子メールの利用を推進するためにメールによる質問票作成を行い、リテラシイ教育の導入を行った。また、「情報処理Ⅱ」では表計算ソフトによる建築実験データの分析、統合ソフト（ドロー系を含む）によるレジュメ作成を行い、問題解決からプレゼンテーンヨンまでの流れを習得させた。あわせて３次元CADの基本概念を理解させるために、簡単なモデリングの実習を行った。

５年の「卒業設計」では、自らの問題意識を膨らませて、自由テーマによるレンダリングを施した３次元CADによる設計もなされた。卒業設計の作品は10年度においても本学科の優秀作品として選ばれ、CAD教育の効果が顕著になった。

CAD教育に関わる今後の予定は、ネットワークによる（設計グループ内、あるいは部外との）協調設計の体験が可能となるCADソフト（Vector Works）を導入し（10年度末導入）、単なるCADオペレータ養成ではない、設計者自らが図面の電子化・管理を行い、建築界のデジタル情報化に対応できる人材を養成したいと考えている。

なお、この２年間で充実した設備となり、情報処理教育、設計製図以外の講義に利用されだした。たとえば、「都市計画」ではマスタープランを公開している自治体ホームページを検索させ、その事例をレビユーし、テキストの補助を行った。このほか、放課後の自主的学習はもちろん、WWW,電子メールによる就職活動の利用も見られる。

写真は小製図室を改修した建築CAD室（４年「建築CAD」の講義風景）

本申請購入分とあわせて、42台のパソコンが導入された。

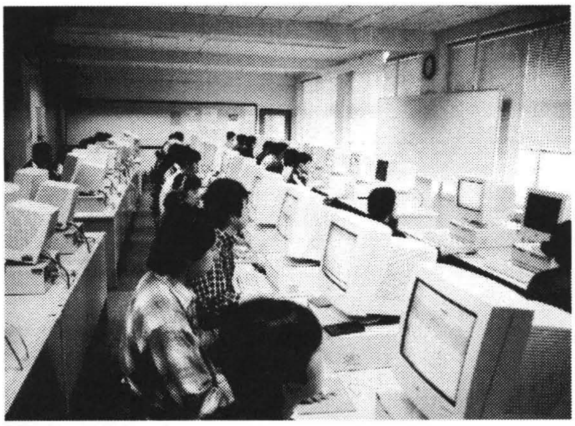
学生はヘッドホンをしながらCAI的自主学習が可能。

図面は４年「建築設計製図」の提出図面の一例

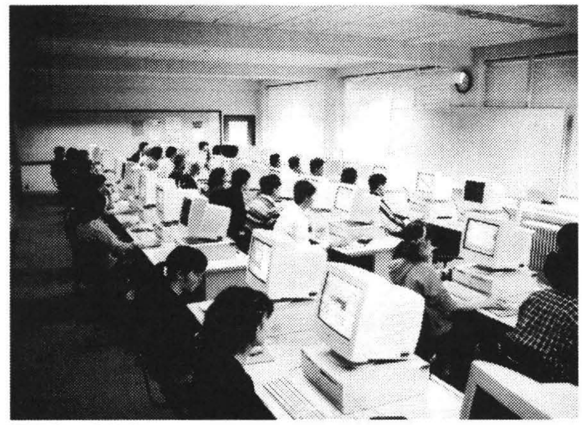
「建築CAD」「建築設計製図」の２講義を合わせて週10時間の実習を行い、半年間で２次元CADを習得させた。

５学年では３次元CADを用いた卒業設計を行っている。

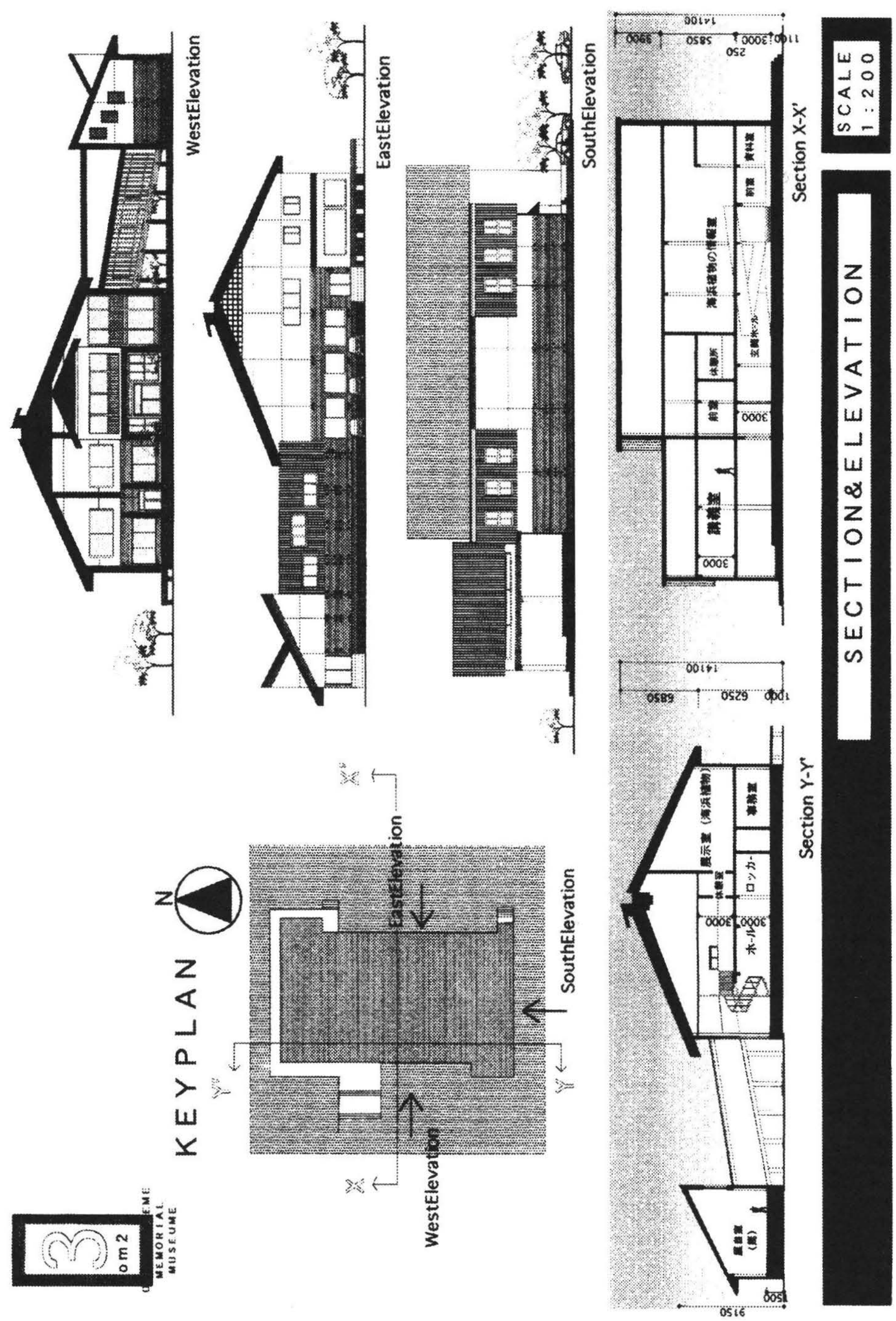
今後は個人設計のみならず、グループ設計もしくは他高専の学生とネットワークを用いて共同設計の実習を試行したい。



■図● ●●●



■図● ●●●


WestElevation
EastElevation
SouthElevation
Section X-X'
Section Y-Y'
SCALE 1:200
SECTION&ELEVATION
KEYPLAN
N
MEMORIAL
MUSEUME

■図● ●●●

# 2－3　3次元CADを用いた建築・都市環境設計支援システム

徳山工業高等専門学校
校長　西　口　千　秋

## 1　申請テーマの背景

### 1）CADを用いた建築設計環境の変化

2次元ドラフト用のCADは建築設計の実務レベルでは定着し、教育機関においても設計製図の授業に取り入れられるようになった。このような2次元CADは、従来の手書き作業をパソコンに置き換えられたという印象があり、集合住宅や病院のように同じ平面パターンの繰り返しのある図面や、打ち合わせ後に図面変更の出てくる場合では有効に機能するが、建築設計をエスキス段階から支援する道具としては物足りない部分が残っていた。

近年はパソコン性能が向上し、立体を扱う3次元CADも普及してきた。立体を扱い、パースまで自在にこなす3次元モデラーが比較的安価で手に入るようになってからは、パソコンの画面の中に模型のパーツを並べていく感覚でデザインができるようになり、エスキスの段階から活用されている。しかし、現在のパソコン環境で単体建築を設計することに大きな問題はないが、建築の仕上げの材質感を表現しようとしたり、都市計画レベルの建築群を扱うには非常に負荷の高い演算処理がコンピュータに要求されるため多大な時間を要するのが現実である。

### 2）本校のCAD教育への取組みの経緯

本校土木建築工学科では、実務に使えるCADを卒業設計や設計製図の授業に取り込む努力を10年前から続けている。初期段階では2次元ドラフトを目的として、当時主流であった16ビットパソコンでも動作可能なCADソフトを入手し、プロッターはA1版ケント紙が使えるフラットベッドタイプのものを用意して、試行錯誤の上、卒業設計を総てCADで作成できる環境を整えた。その後、ハードウェアとソフトウェアの充実を図り、線画レベルの2次元CADを第4学年で全員が履修するようになった。

最近では、建築系の学生の中に建築設計演習や卒業設計で3次元モデルを作成するCADを駆使して設計する者が出てきた。しかし、学生の作り上げようとする建築イメージがコンピュータの性能の限界によって表現できないことがあり、設計本来の創意工夫以前のパソコンの取り扱いの時点で時間を費やすこととなり、設計教育に支障をきたしていた。

そこで、本校における3次元CADを用いた設計教育において、立体構成が複雑な上に大量で多品種の部材や仕上げ材料を用いる建築物の材質感を表現でき、さらに都市計画レベルでの建築群を扱うことのできるシステムが、今後の建築設計教育活動に必要となってきていた。

## 2　申請テーマの目的

本テーマは、３次元CADを用いた完成度の高い建築設計および都市環境設計を、教育段階から学生に体験させることを目的とする。

具体的には、３次元CADを用いた建築設計における仕上げの材質感表現、都市計画レベルの建築群のリアルな表現を短時間で映像化し、多様な創作イメージを繰り返し作成し確認することにより、学生の設計の質を高めるものである。

## 3　計画の概要

申請テーマにおける設計支援システムは、本校既存の２次元CAD設備と３次元モデル設計環境の延長上に位置付け、本システムの運用により、CADを用いた総合的な設計環境の充実を計画した。

すなわち、単体建築モデル作成までは既存システムを活用するが、建築の仕上げ材料データの付加や建築群のデータ処理の部分を本システムが受け持つこととなる。実際には、２次元図面の作成および立体モデル作成の後、本システムで太陽光線や材料のテクスチャを定義して、外観・室内パースを作成、さらに、視点を移動させてアニメーションを作成する。

教育カリキュラムとの関連では設計製図や実験実習の改善を計画した。具体的には、土木建築工学科の建築設計演習と卒業研究、及び専攻科環境建設専攻における環境建設工学演習の設計教育カリキュラムの最終段階に本システムを活用する。

また、本システムは建築物に限らず立体の設計に汎用性があるため、工学実験や創造演習の立体の設計作業における活用も計画した。

さらに、過去の卒業研究で蓄積した本校建築物の立体データがあるため、学校建築群のキャンパス改善計画にこれを活用することを計画した。この本校建築物の画像は学校紹介などの機会にも用いることを計画した。

## 4　完結した実施内容

この実施計画に基づいて導入された機器により、２次元図面の作成および３次元立体モデル作成の後、太陽光線や材料のテクスチャを定義して、外観・室内パースを作成、さらに、視点を移動させてアニメーションを作成することが可能となった。この一連の作業で発生する大量のファイルを記録保存することも可能となった。

以下に、本テーマで計画していた実施項目ごとに、その完結した実施内容を報告する。

### １）建築設計演習（1998年５月）

まず、学生に対して３次元CADを用いた建築設計における仕上げの材質感表現をサンプルデータ

で紹介した。現状のコンピュータシステムでどの程度の表現が可能であるかを認識させるのに役立った。さらに、演習課題の完成予想図を本システムを用いて作成させる予定であったが、演習時間の不足と学生の人数に対して３次元CAD設備が不足するため、実施されなかった。

### ２）競技設計への参加（1998年７月）

学生を対象とする競技設計に、希望者をつのって参加させ、本システムの運用による、質の高い設計表現を自らの手で実現させる予定であった。実際は、設計案をまとめることに多くの時間を費やし、プレゼンテーション効果を高める作業に時間を裂くことに限界があったため、既存の２次元CAD設備を用いたもので応募するに留まり、３次元CADを用いた作品は作られなかった。

### ３）校内見学会（1998年８月３日、11月14日）

本校へ進学を希望する中学生、及び中学校の進路指導教官に対して毎年夏と秋に２回行われる本校見学会において、本校建築物の既存立体データを用いて学校紹介した。

具体的には、中学校へ配布するポスターに本校建築物の立体データから作成した静止画像（図１）を用いた。このデータは学内にあるすべての建築物および敷地の測量データを含んでおり、これまでの設備では画像処理をするために多大な時間を要していたが、本システムを用いることで処理時間の短縮化が実現した。

また、自由見学の際に、本校土木建築工学科建築コースの学生作品展示の会場で、本校キャンパスの建築群をアニメーションで表示し、見学会参加者に好評を得た。図２は約20秒間のアニメーションの中から抜粋した静止画像を連続的に示したものである。

### ４）環境建設工学演習（1998年10月）

この授業は本校専攻科環境建設工学専攻１年生の後期に行われる。建築関係のカリキュラムを希望する学生に対しては都市計画レベルの建築群のリアルな表現をサンプルデータで紹介した。さらに、演習課題により景観設計を実施する際に本システムを用いる予定であるが、授業時間数と学生人数に対する３次元CAD設備の不足から２次元CADの建築設計で終わった。

### ５）卒業研究中間発表会（1998年11月７日、11月８日）

11月の学園祭に合わせて行われる第５学年の卒業研究中間発表会では、ポスターセッションが行われた（写真１）。このポスターセッションとは、学生一人がA0版のポスター１枚を展示し、教官や他の学生からの質問に答えるものである。土木建築工学科建築コースの学生に、本システムで作成した３次元の静止画像の出力を利用した作品があった（図３、図４）。卒業設計を選択した学生は、この時期は設計のエスキス段階のため、３次元の立体画像作成まではいたっておらず、ポスターの内容は設計主旨や計画方針が中心で、本システムを利用した画像は示されていない。

6）卒業研究発表会（1999年２月24日、25日）

第５学年の卒業研究発表会では、卒業設計を行った学生の中に３次元CADを用いた設計の発表があった。その際、設計建築物の外観、内観透視図の立体静止画像の提示が行われた。写真２および写真３は発表風景を記録したビデオ映像の一部を静止画像として示したものである。

卒業設計の締め切り時期と作業量の関係から、建築物のアニメーションを用いたプレゼンテーションは実施できておらず、３次元の静止画像の出力に留まった。建築物の材質感の表現も、設計建築物のモデル化が完了した後で試行錯誤しなくてはならない作業があるため、ガラスの透明感や太陽光線による陰影などの部分的な表現に終わった。また、敷地内の樹木を立体で表現することも今年度の設計では時間的な限界でなされていない。

## 5　これから期待される成果

本システムの導入により、第１に教育カリキュラムとの関連で、設計製図や実験実習の説明段階でのモデルの提示や製図の模範的な設計例の３次元アニメーションを教材として準備し、学生の理解を助けることが期待される。これを実施するには担当教官による教材づくりが必要となる。教材の提示により立体構成や空間の把握が容易になり、学生の課題に対する理解力と設計能力向上が期待される。

第２に、本システムを用いると卒業設計でこれまで以上の効果が現れるものと期待される。すなわち、卒業制作の製作過程で本システムの運用に関するノウハウが蓄積されていくことにより、年度を重ねるごとに作品のレベルアップが期待されるのである。本システムは、設計した建築物の立体形状を確認し、それを元にしたデザイン変更のサイクルを繰り返し、質の高い設計を可能とすることから、CAD操作の習熟度が高まる程、作品のレベルも高まるものと期待している。

第３に、学生の課外活動として行われている建築競技設計への参加の際に、本システムの利用により説得力の有る提案が可能となり、上位入賞の可能性が高まる。しかし現状では、第５学年の夏休みに競技設計へ参加しているため、それ以前に学生が本システムの操作に習熟していることが条件となる。

第４に、地域の建築関係の企業で設計システムが検討される場合の先進事例として技術情報提供が可能となり、地域協力の面でも効果が大きい。以前から、本校に対して地元の設計事務所や工務店からCAD導入に関する相談依頼が度々あり、本校のシステムを紹介することで対応してきた経緯がある。近年は特に３次元CADに対する質問が増えており、本校のシステムを実例として紹介することができるようになった。

第５に、本校建築物の立体データを用いた学校建築群のキャンパス改善計画にこれを活用することが期待される。具体的には本校建築物の増改築計画の検討段階で本システムを利用したいと考えている。

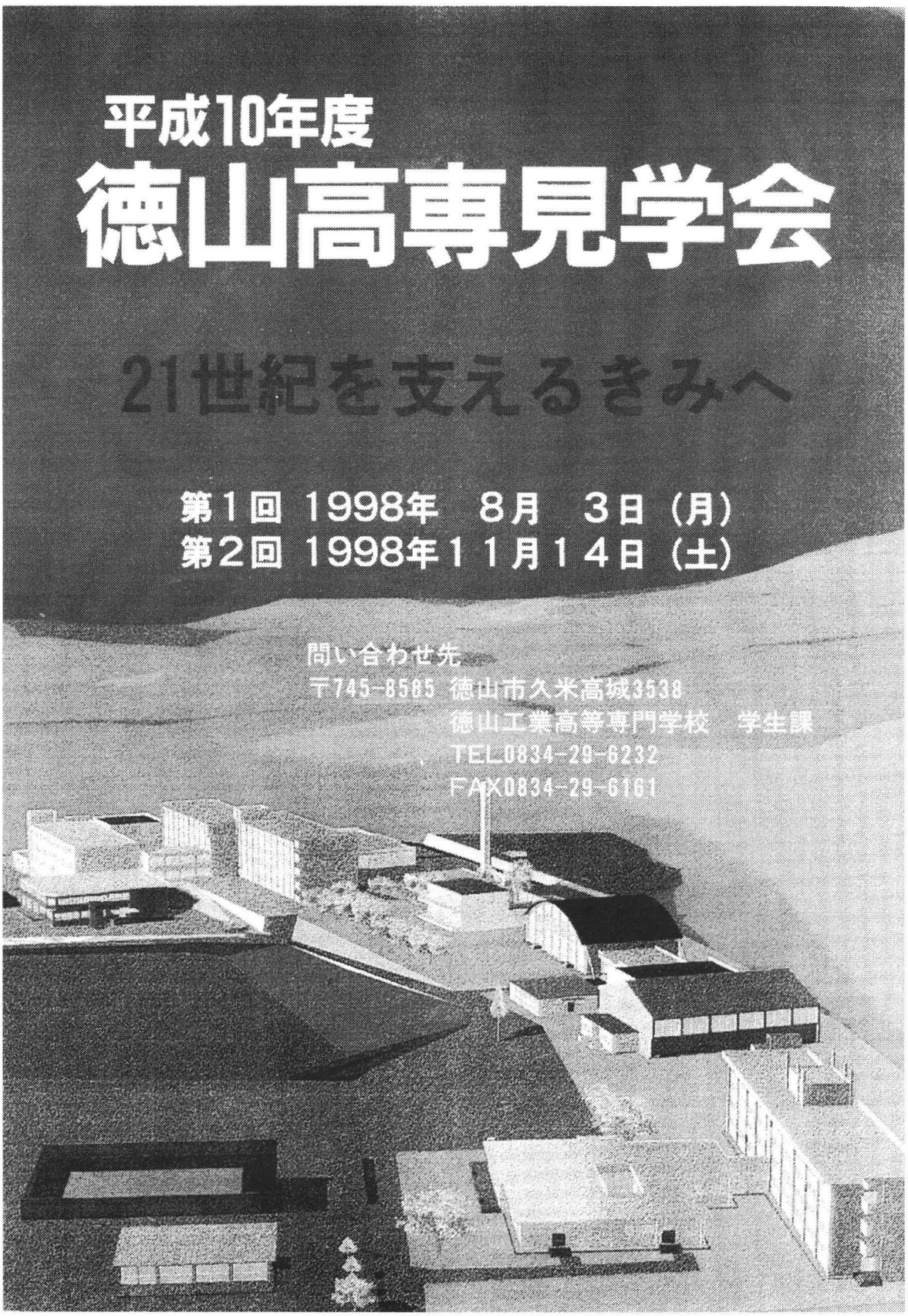
## 6　問題点と対策

本システムの問題点は、学生がCADの操作に慣れるまでに時間がかかるため、限られた学校の授業時間内で操作技術を修得するには至らないことである。

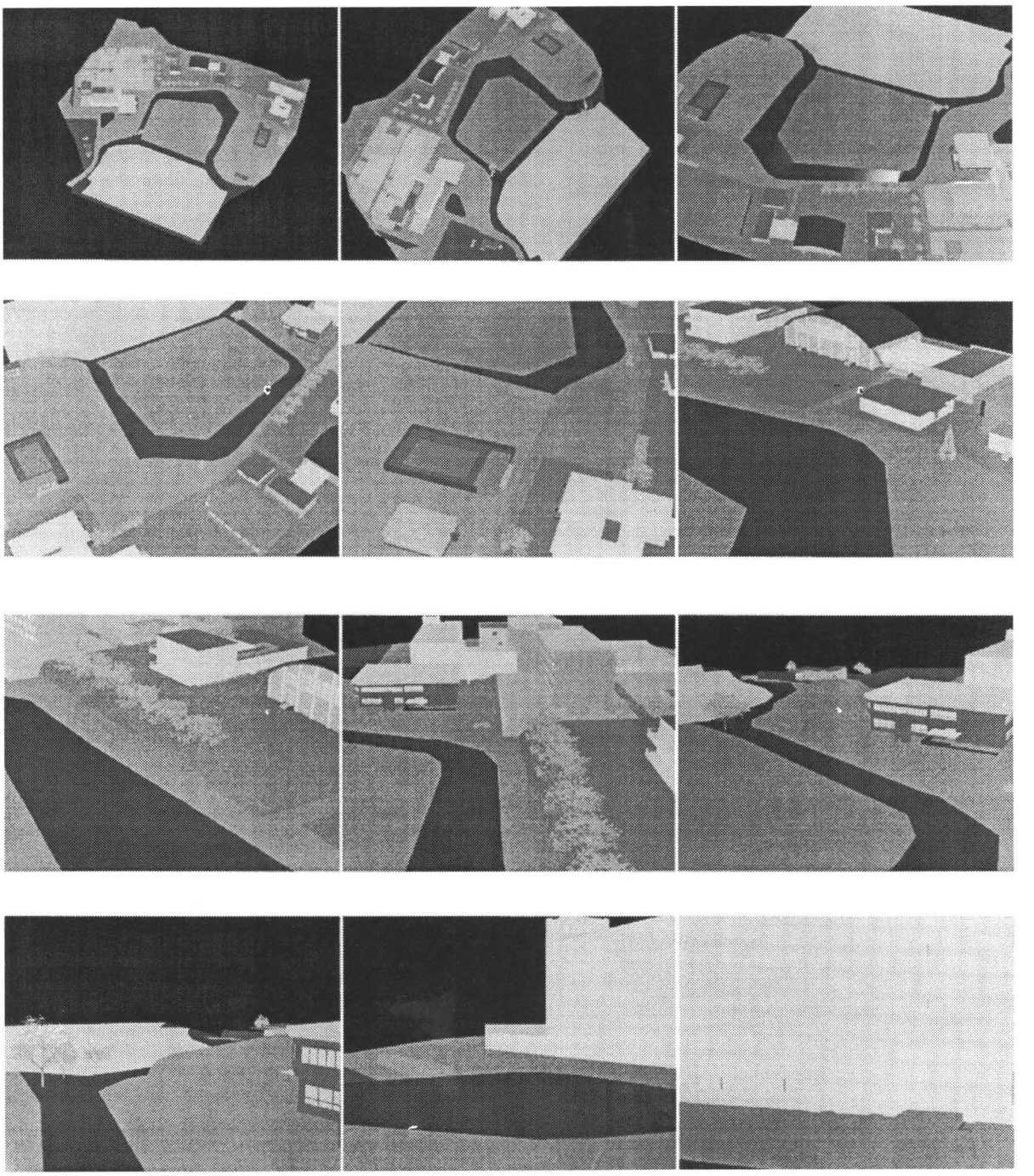
この対策として、卒業設計段階で材質感の表現など、高度なテクニックを駆使し、提出期限内に完成させるためには、第４学年で実施させる建築設計演習の課題を３次元モデルで作成するなどの、早い段階からの３次元CAD利用が必要である。低学年の情報処理の授業時間に３次元CAD操作の演習科目を設け、設計の道具として簡単に使えるようなカリキュラム上の工夫が必要となろう。

次に挙げられる問題点は、３次元CADの機器構成から考えると本システムは単独で長期に渡って使用する卒業設計などに適しており、授業や演習で同時に複数の学生の使用には適していないことである。

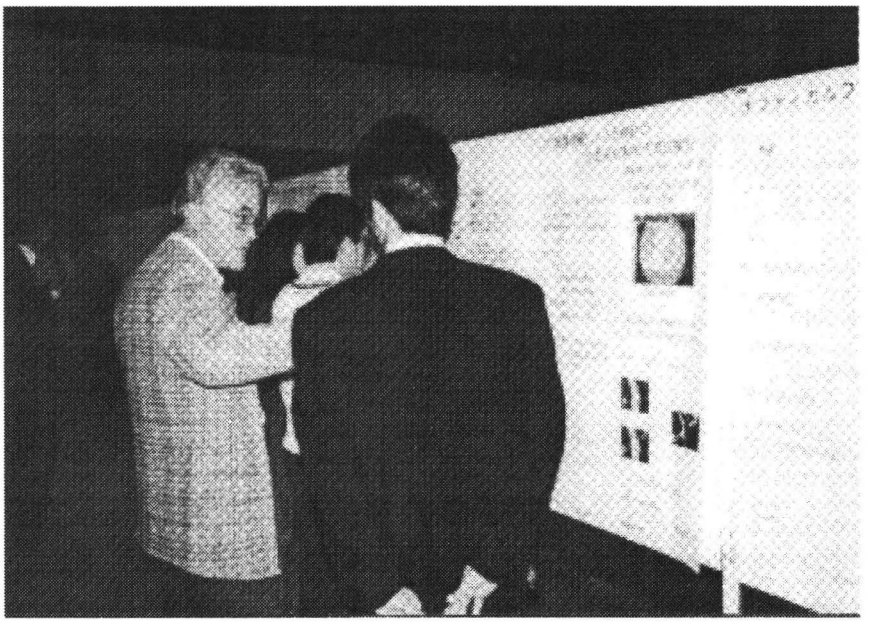
この問題点に対しては、今後、本システムと同水準以上のものを複数設置することを検討している。このことにより、複数の学生に対して低学年から３次元CADによる建築・都市環境設計を体験させることができ、学生全体のレベルアップにつながると考えている。


平成10年度
徳山高専見学会
21世紀を支えるきみへ
第1回 1998年 8月 3日（月）
第2回 1998年11月14日（土）
問い合わせ先
〒745-8585 徳山市久米高城3538
徳山工業高等専門学校 学生課
TEL0834-29-6232
FAX0834-29-6161

■図1

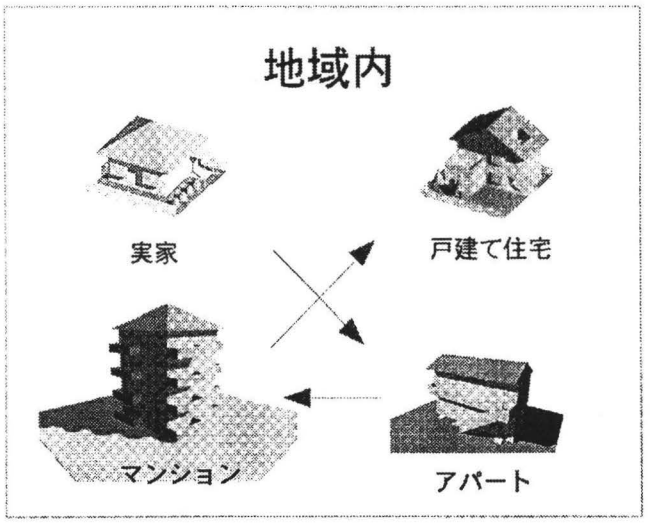


■図2　本校キャンパスのアニメーション画像

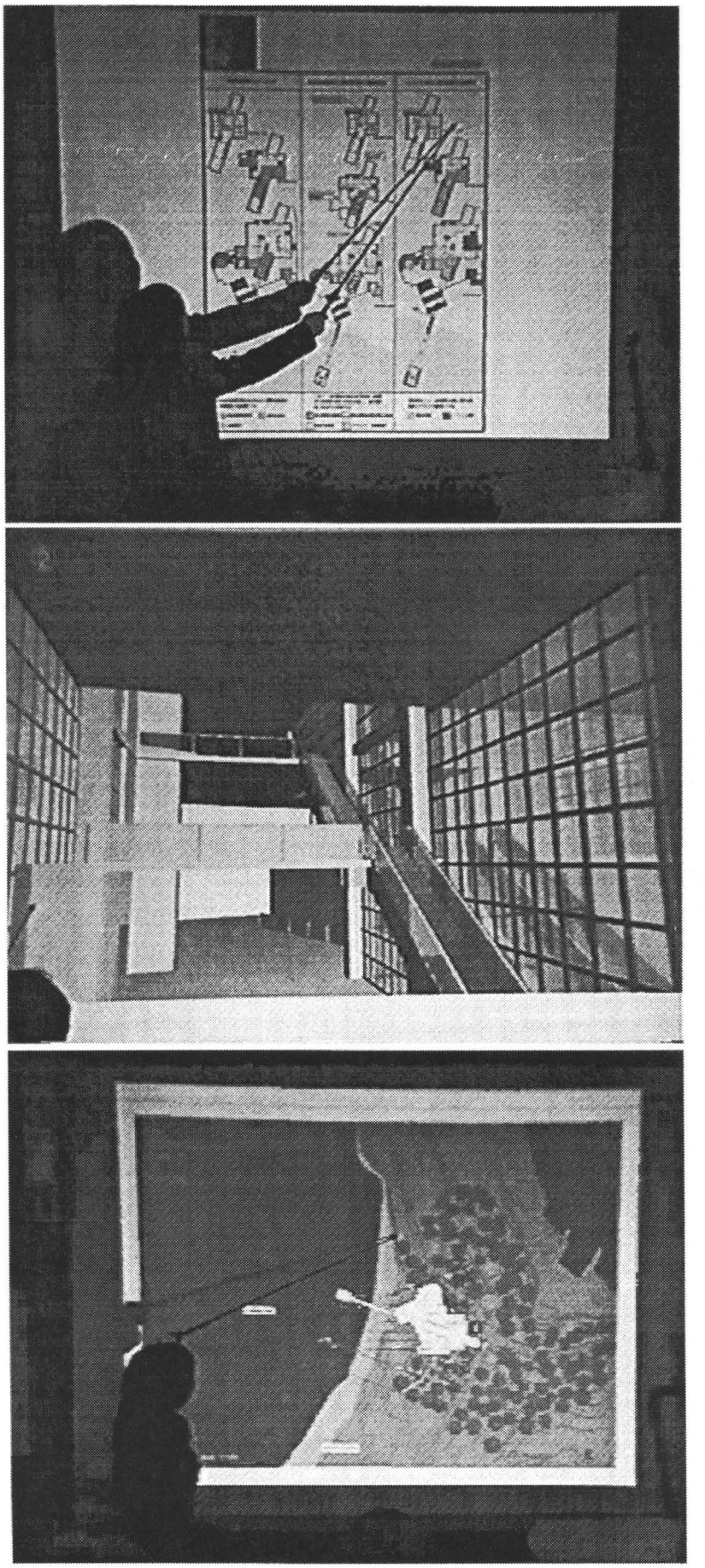


■写真1　卒業研究中間発表会ポスターセッション

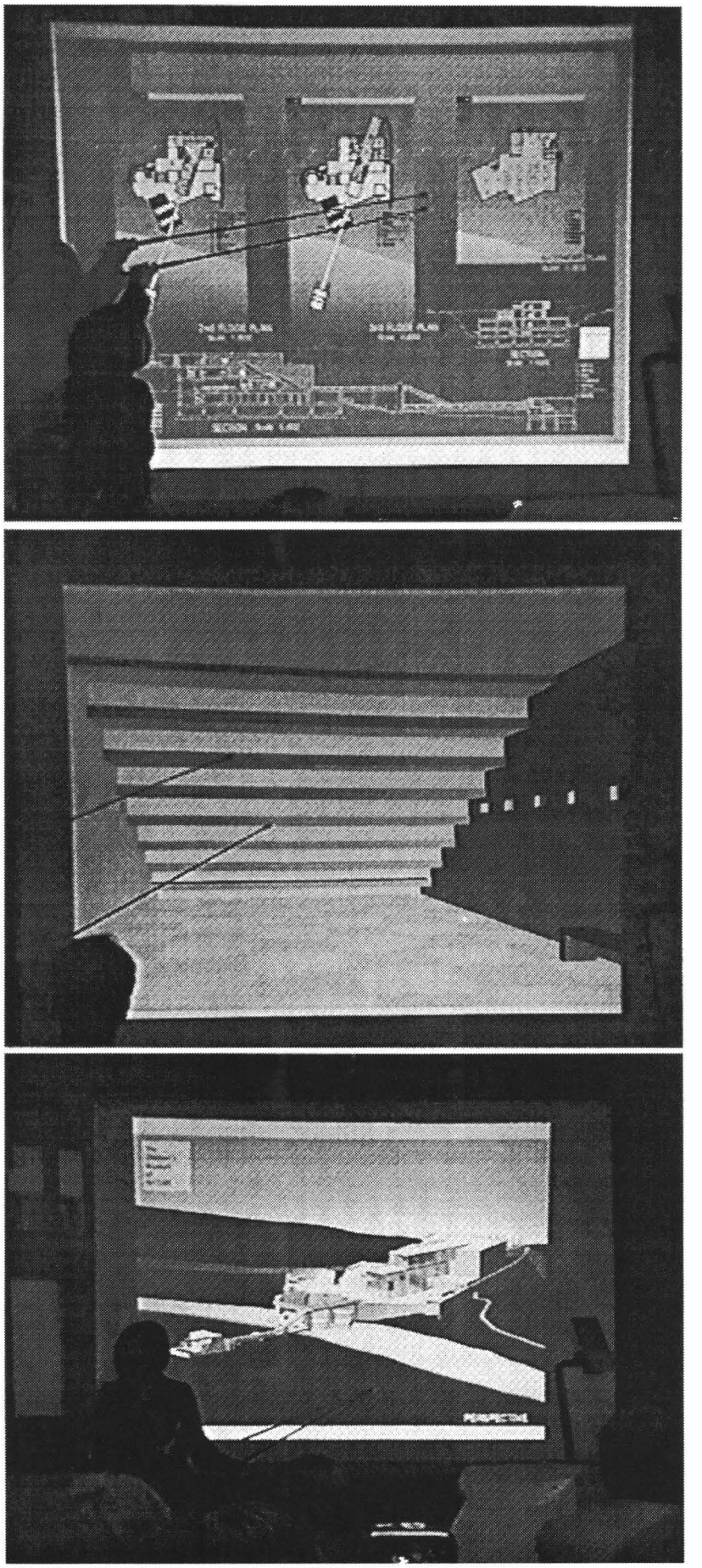
■図3　卒業研究中間発表ポスター




■図4　ポスター部分拡大



■写真2　卒業研究発表会



■写真3　卒業研究発表会

# 3－1　国際女性建築家・研究者会議「環境共生時代の居住環境を考える」
## ―高齢化社会への視点と省資源居住環境のあり方をめぐって―

UIFA国際女性建築家会議第12回日本大会
実行委員長　松　川　淳　子

### (1) 本研究の背景と目的

本研究は第12回国際女性建築家会議（UIFA'98）が日本で開催されることを背景に、特に居住環境について、高齢化と省資源の視点から考えることを目的とした。

### (2) 研究の方法

第12回国際女性建築家会議（UIFA'98）の開催は実行委員会によって運営されたが、本研究はその過程に織り込んで行なわれた。

### (3) 研究の計画と進捗状況

①視点の明確化

UIFA'98のテーマは『環境共生時代の人・建築・都市』であるが、論文を募集するに当たり、A．人と環境　B．建築と環境　C．都市と環境　D．その他　の分類を行った。居住環境は主としてB．建築と環境に含まれてくると考えられる。

これらの作業は平成10年２月初めに発送された2ndサーキュラー作成までに、プログラム部会が担当して議論された。また研究会議は横浜市民公開シンポジウムの形で、「明日のすまいとまちを考える――日本から世界へ、世界から日本へ」と題して行なうことを４月に決定した。

②海外研究、事例の収集

発表概要は２カ国語表記を原則として上記分類によって募集、72件が寄せられ、実際に会議場で発表されたのが56件だった。そのうち居住環境に関するものは23件あり、海外から８件、日本から15件だったが、海外のものは環境問題からの視点が多く、日本のものは高齢社会への視点が多かった。

③視察資料の作成

日本における視察事例として、墨田区京島、一寺言問まちづくり地区、世田谷深沢環境共生住宅、次太夫堀公園、横浜市新本牧を選び、見学者が100人以上となるためコース分けし、緻密な時間配分計画を立てた。資料は３カ国語で準備した。

④視察の実施

９月４、５、６日に世田谷区、墨田区、横浜市の視察を実施した。視察後のアンケートを見ると、海外参加者も東京の山手と下町、そして郊外拠点それぞれの住環境の課題に対して、深い理解を示してもらえた。アンケートの結果については報告書p. 45、p. 54・55にまとめてある。

⑤研究会議の実施

研究会議の構成員としては、UIFA JAPON副会長小川信子氏を中心として、アメリカ、デンマーク、コートジボアール、ドイツ、韓国、ブラジル、ハンガリー、フランス各国に参加を依頼した。議論によって、各国の伝統や経済状況による相違があると同時に、共通して抱えている問題があることも認識され、持続可能な発展に向けて努力する必要性が認識された。この会議のまとめは報告書p. 46～53に記載してある。

⑥成果のとりまとめ

大会用に「プログラム・予稿集」、「ツアー資料集」を各１冊、報告書２冊を作成した。

## (4) 今までに得られた成果

UIFA'98日本大会では大会アピールを採択し、女性建築家の視点を社会的に示した。弱者を尊重する生活環境づくりと地球への環境負荷の軽減のために、世界の女性たちの美しい相互連関である『レースワーク』によって、活動を広げていくことが約束された。

## (5) これから期待される成果

UIFA'98日本大会では多数の実行委員が中心に、海外からの参加者と活発な交流が行なわれた。これが財産となって、今後の広がりが期待される。

## (6) 残る問題点と対策

次回国際女性建築家会議の開催地は日本大会で決定しなかったため、大会アピールの具体化が個人レベルに任された状況にある。大会を成功させた組織のエネルギーを、今後の研究活動に生かしたい。

## (7) 研究発表の実績及び予定

大会終了後、大会アピールなどの成果が多くの新聞で報道された。(日刊建設工業新聞、建設通信新聞、京都新聞、女性ニューズ、朝日新聞…掲載順)

また雑誌などに研究成果発表の機会が与えられた。(「建築ジャーナル」11月号、「住宅」11月号、「IAWAニューズレター」秋号、「建築士」1月号、「建築の研究」2月号)

今後は記録ビデオなどを用いての報告が、千代田区男女共同参画センターで予定されている。

## A 人と環境

**セッション1**
議長：コートジボアール、チュニジア、

A：人と環境
A1 女性建築家の活動と役割
A2 子供と都市環境
A3 環境の構成要素

A1
・土井 由美（日本）
「フランク・ロイド・ライトが残した設計事務所とコミュニティーは今」

A1
・竹田 恭子（日本）
渡会 有子、楠原 素子、山本 ヒカル、原田 愛子
「集まった人が対等平等で仕事をする事業体」

A2
・ドナ・デュネー（アメリカ）
「学習の場所：環境の中の子供たち」

A2
・槇島 邦江（日本）
「子供の生活に見る都市化」

A2
・定行 まり子（日本）
「商・住混合開発地における子供の生活環境について一台場地域を対象として」

A3
・ルドミラ・フラゴロフスカ（ポーランド）
「視界の限界を示す方法について」

A3
・矢川 麻紀子（日本）
田村 明弘
「感覚時間による場と人との交感作用の指標化」

A3
・バーバラ・シュミット・キルシュベルグ（ドイツ）
「光の空間」

**セッション2**
議長：アメリカ

A：人と環境
A4 自立を支援するライフスタイル
B：建築と環境
B1 環境に配慮した建築

A4
・宮坂 慶子（日本）
「ウォーターフロントの超高層のすまいもいい」

A4
・牛山 美穂（日本）
「ふれあいの場をもつ集合住宅に関する研究」

A4
・喜多 素子（日本）
・奥 友見
坂井 慶子、高田 浩二、二木 利江、山崎 知代
「参加による環境共生型まちづくりの手法」

A4
・清沢 亜紀子（日本）
ALCC
「都市と女性」

A4
・寺尾 信子（日本）
グリーンヴィレッジ宇津木台プロジェクトメンバー
「公的機関で実施されている日本のコーポラティブハウジングの成果について」

## B 建築と環境

**セッション2**
議長：アメリカ

A：人と環境
A4 自立を支援するライフスタイル
B：建築と環境
B1 環境に配慮した建築

B1
・インゲボルグ・クーラー（ドイツ）
「空間と物体の芸術」

B1
・ナディア・スタマトバ（ブルガリア）
「地質構造と芸術構造」

B1
・コーネリア・セポニック（ドイツ）
インゴ・フォン・ラムドール
「環境と融和する工業用建築物：環境保護の夢物語か資金調達可能な現実の話か」

B1
・ミカエラ・ヴェロニカ・マキシム（ルーマニア）
「ルーマニアにおける歴史的僧院と自然環境」

**セッション3**
議長：アルゼンチン、ブラジル、エクアドル

B：建築と環境
B2 環境適応の技術と工法

B2
・栗山 礼子（日本）
「住宅の内装材を環境共生の視点で考える」

B2
・ザイガ・ゲイル（ラトヴィア）
イヴェダ・シブーエ
「リガの木造住宅」

B2
・ジェ・オック・ユン（韓国）
「韓国の伝統住宅の受動的設計原則・技術」

B2
・高橋 満季（日本）
江澤 能子、北島 富美子、堤 香津子
「在来工法の技術と文化」

B2
・シー・ファー・ベー（韓国）
「環境保護の選択肢としての鉄骨住宅」

B2
・芦川 弓（日本）
中村 晃子
「アースポート 東京港北NTビル」

B2
・田中 厚子（日本）
「自然との融合：日米の住宅と引き戸」

B2
・傅克誠（中国）
「北京四合院の住環境特性」

B2
・全貞ユン（日本）
田村 明弘
「温度が異なる部屋間を歩行移動した後の総合的温冷感及び中立温に対する温冷感評価」

**セッション4**
議長：ドイツ、スウェーデン

B：建築と環境
B3 地球環境や文化の建築への影響

B3
・リリアナ・セビック（クロアチア）
「島が見せる表情」

B3
・佐藤 久美子（日本）
「地方都市における煉瓦建築物の保存と再生」

B3
・ヘレナ・マリア・タラヴァイネン（フィンランド）
「閉ざされた工業地域から開かれた文化の中心へ」

B3
・ミルカ・チェルネヴァ・ブリズナコフ（アメリカ）
「母なる自然への愛情による設計」

B3
・イー・ファン・クー（中国）
「文化共生時代における北京の建築文化環境」

B3
・マリア・アンナ・フェイエッシュ（ハンガリー）
「ハンガリーの建築術と環境との調和」

B3
・マリア・アンジェリカ・ダ・シルヴァ（ブラジル）
マリア・デ・ファチマ・デ・メロ・バルレット・キャンベロ
「ラグナー・ガーデンの緑化」

B3
・キン・ウェイ（中国）
「高原の環境保護居住の持続可能性に関する研究」

**セッション5**
議長：ラトビア、インド

B：建築と環境
B4 高齢者との共生
C：都市と環境
C1 都市と安全

B4
・吉田 あこ（日本）
「加齢黄変化視界下のインテリア一仕上げ材料の選定」
金岡 智子（日本）
「加齢黄変化視界での介護制服色の変化と選定」

B4
・岡村 珠穂（日本）
「重度障害者の自立生活へ向けての住宅」

B4
・風間 初美（日本）
鈴木 奈穂美
「安全安心まちづくり(3)」
・石川 弥栄子（日本）
「東京都のシルバーピアについて」

B4
・高橋 尚美（日本）
渡辺 喜代美
「都営住宅の現状とこれから」

B4
・寺本 麗子（日本）
石川 弥栄子、北村 和代、猪坂 ひろ子
「住み慣れた地域に住み続けることを支援する地域施設」
・小池 和子（日本）
片岡 泰子、小嶋 美紀子、松尾 登志子
「住み慣れた地域に住み続けることを支援する地域施設」

## C 都市と環境

**セッション5**
議長：ラトビア、インド

B：建築と環境
B4 高齢者との共生
C：都市と環境
C1 都市と安全

C1
・ヴィクトリア・ブリン・ファインバーグ（アメリカ）
平井 美栄子
「1994年1月17日午前4時31分、米加州ノースリッジで起こったこと」

C1
・永島 恵子（日本）
「安全安心まちづくり（1）」
・稲垣 道子（日本）
佐藤 千佳
「安全安心まちづくり（2）」

C1
・宇野 久美子（日本）
新良 京子
「安全安心まちづくり（4）」

C1
・山本 佳世子（日本）
森下 英治
「東京都における公共緑地整備に関する研究」

**セッション6**
議長：韓国、中国

C：都市と環境
C2 環境に配慮した都市

C2
・エレナ・シーレ（スウェーデン）
「連続性としての都市環境：都市居住者に対する機会の均等」

C2
・クロチルド・バイ（コートジボアール）
ヨランダ・ドゥクール
「人々の住環境における建築物の影響」

C2
・ディアンヌ・エリオット・ガイヤー（アメリカ）
「維持可能なまちの開発」

C2
・クレア・ヴィオリカ（ルーマニア）
「持続可能な地下鉄道交通システム」

C2
・須永 健子（日本）
・北本 美江子
松川 淳子、大江 佳子、戸井田 明子
「街づくりにおける歴史遺産の活用一深川 その、人と時間の共生」

**セッション7**
議長：フランス

C：都市と環境
C3 都市のバリアフリー
C4 都市の構成要素
C5 環境保全に果たす女性の役割

C3
・山本 典子（日本）
安野 能里子、内田 紀子
「バリアフリーの視点で見た地元商店の研究」

C3
・ガートルード・クリンゲ・ガルスター（デンマーク）
「尊厳ある一生を送る」

C4
・松本 暢子（日本）
藤崎 宗幸
「既成市街地の住環境改善における小公園の果たす役割」

C4
・横溝 久美子（日本）
定行 まり子
「住宅地における生活道路の環境評価に関する研究」

C4
・向井 愛（日本）
福館 哲美
「都市内運河の風の道としての働きとまちづくりへの提案」

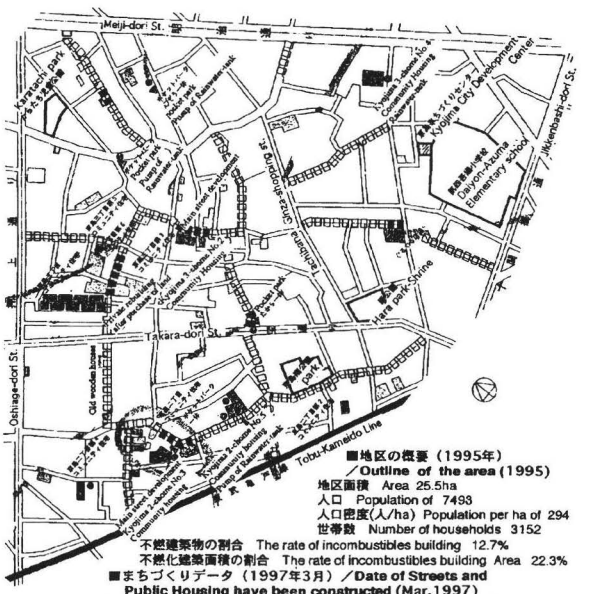
C4
・中井 和子（日本）
「農村景観に配慮した住環境整備計画」

C5
・古村 伸子（日本）
「第三世界の持続可能な発展ージンバブエにおける協同組合の可能性」

C5
・グラシエラ・シュミット（アルゼンチン）
・イネス・グエンベレナ
「都市の創造者たる女性」

図　発表リスト

## Kyojima area
## 京島まちづくり地区

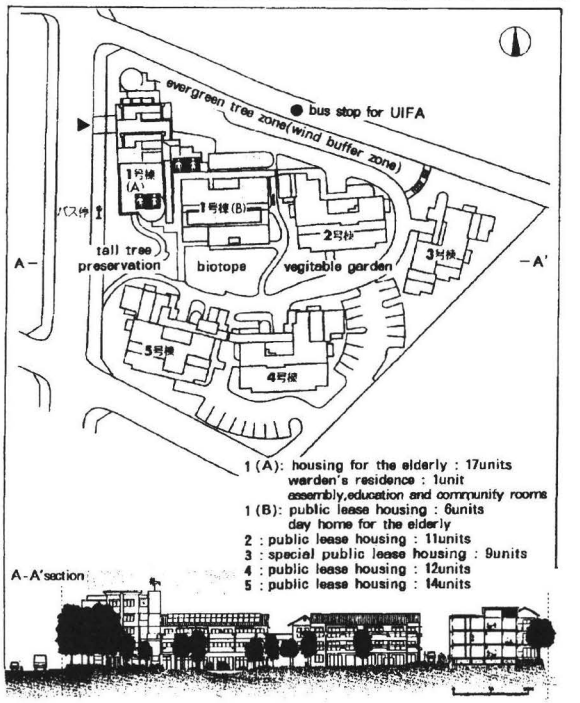



■地区の概要（1995年）
／**Outline of the area (1995)**
地区面積　Area 25.5ha
人口　Population of 7493
人口密度(人/ha) Population per ha of 294
世帯数　Number of households 3152
不燃建築物の割合　The rate of incombustibles building 12.7%
不燃化建築面積の割合　The rate of incombustibles building Area 22.3%

■まちづくりデータ（1997年3月）／**Date of Streets and Public Housing have been constructed (Mar.1997)**
道路拡幅整備箇所　Street development　57（延長　length 831m）
コミュニティ住宅の建設　11 buidings of Community Housing
Amount of constructed community dwellings 90（戸）


（財）墨田まちづくり公社　京島まちづくりセンター
／Kyojima City Development Center
〒131　東京都墨田区京島三丁目60-10　3-60-10 kyojima,Sumida-ku, Tokyo


## Fukazawa Symbiotic Housing
## 深沢環境共生住宅




1 (A): housing for the elderly : 17units
warden's residence : 1unit
assembly,education and community rooms
1 (B): public lease housing : 6units
day home for the elderly
2 : public lease housing : 11units
3 : special public lease housing : 9units
4 : public lease housing : 12units
5 : public lease housing : 14units

**Le quartier Kyojima** (d'une superficie de 25.5ha) s'est échappé des endommagements guerriers de 1945. Les gens des autres quartiers dépourvus de leurs maisons s'y sont installés, accélérant ainsi la surpopulation dans ce quartier, ce qui pose actuellement des problèmes : la concentration des maisons en bois viellies, les terrains et habitations trop étroites, l'absence de l'aménagement routier, la viellissement de la population et l'exode des jeunes. Cependant, à partir de l'enquête sur la reconnaissance de la formation de la ville, menée en 1978 par la ville de Tokyo, les habitants ont commencé s'engager dans l'aménagement du quartier. Avec l'application du projet de l'aménagement du quartier Kyojima, les travaux sont actuellement menés autour d'un bureau local pour améliorer l'environement d'habitation et construire des nouvelles maisons communautaires.

Il y a 4 objectifs :

1. réalisation d'un environnement convenable pour Kyojima ;
2. rapprochement des leux d'habitation et de travail pour intégrer l'habitation, le commerce et l'industrie ;
3. sécurité et résistibilité au grand séisme, et
4. popluation de plus de 10 mille pour la ranimation de la ville.

**Kyojima Town Development Area** (25.5ha) is the zone saved from the war damage in 1945. Since the neighbor sufferers came to take up their residence here, overpopulation has been promoted. At this area, there are a number of problems including congestion of deteriorated wooden houses, conditions of undersized lots and houses, unimproved roads, aging residents, outflow of younger generations. Taking an opportunity of the research made by Tokyo Metropolitan Government in 1978 in respect of the intentions for town development, the town development started with participation of residents. Under the Kyojima Area Dwelling Environment Improvement Project, improvement of dwelling environment with a strongpoint at the on-site office and construction of the community housing are in progress.

Objectives of Town Development:

1.Town with good dwelling environment suitable to Kyojima

2.Town where residential, commercial and industrial areas are integrated and offices are near to homes

3.Safe and earthquake-resistant Town

4.Vitalized town where more than 10,000 persons are settled

**京島まちづくり地区（面積 25.5ha）は、昭和 20 年の戦災から免れ、周辺からの罹災者が住み着き、過密化が進行した地区である。老朽木造住宅の密集、狭小な敷地と住宅状況、道路の未整備なまま、居住者の高齢化や若年層の流出などの問題を抱えている。昭和63年の東京都によるまちづくり意向調査をきっかけに、住民参加によるまちづくりに取り組んでいる。京島地区住環境整備事業等の適用を受け、現地事務所を拠点とした住環境の改善として、コミュニティ住宅の建設などが行われている。**

**まちづくりの目標　1 京島にふさわしい良好な居住環境のまち**
**2 住商工が一体化した職住近接のまち**
**3 大震災に強い安全なまち**
**4 人口1万人以上が定着する活気あふれるまち**

■ C'est une résidence collective de 70 appartements créé avec le thème de "symbiose avec l'environnement" lors de la reconstruction d'une résidence municipale viellie, mettant en considération les personnes âgées et handicapées. Une salle de réunion et un centre de service à domicile y ont été mis en place. Les travaux de construction ont commencé en 1997. Le projet, mené avec la participation des habitants, avait pour objectif de réaliser "la préservation des environnements globaux" par économie d'energie et utilisation efficace des ressources, "l'affinité avec les environnements" en respectant le climat régional, et enfin "la sécurité, la santé et le confort environnmental". Ces objectifs se traduisent par utilisation des matériaux recyclables, maintien des arbres et des puits, végétation sur les toits, adoption du pavage perméable, respect des ventilations dans le terrain et le bâtiment, mise en place du biotope et du jardin potager, etc.

■ The collective housing site for 70 houses planned with consideration of the elderly and the handicapped under the theme of compatibleness with environment taking an opportunity of reconstruction of deteriorated pubic houses. The meeting room and the day-service center for the elderly are also provided together. Residents took part in planning aiming at realization of "Preservation of Global Environment" through energy conservation and effective use of resources, "Adaptability to Peripheral Environment" taking account of locality such as regional climate and natural features and "Safe, healthy and comfortable living environment". Such objectives are represented as the features of recycled construction material, preserved trees and wells, adoption of greenbelt on the rooftop and water permeable pavement, consideration on ventilation of the site and houses, placement of bio-tope and vegetable gardens.

**■老朽化した公営住宅の建て替えに際し、環境共生をテーマとし、高齢者、障害者への配慮を加えて計画された７０戸（障害者向け３戸、高齢者向け１７戸を含む）の集合住宅地。集会室、高齢者在宅サービスセンターも併設されている。竣工は１９９７年。日本における環境共生住宅の先導事例である。計画は居住者参加で進められ、消エネや資源の有効利用による「地球環境の保全」、気候風土などの地域性を考慮した「周辺環境との親和性」美しいデザイン、豊かな緑住性を含む「居住環境の安全・健康・快適性」の実現がめざされた。それらは建材の再利用、樹木や井戸の保全、屋上緑化や透水性舗装の採用、敷地や住戸の通風への配慮、ビオトープや菜園の設置などの特徴となって表れている。**

図　視察資料

## 世田谷

総回答者数　135（複数回答可）

1）最も興味深かったプロジェクト

| | 回答数 |
|---|---|
| a.深沢環境共生住宅 | 57 |
| b.次太夫堀公園 | 63 |
| c.いらか道 | 33 |

2）深沢環境共生住宅について最も良いと思った点

| | 回答数 |
|---|---|
| a.建材の再利用 | 29 |
| b.樹木・井戸の保全 | 52 |
| c.屋上緑化 | 65 |
| d.敷地・住戸の通風 | 31 |
| e.ビオトープ・菜園 | 48 |
| f. 高齢者・障害者への配慮 | 44 |
| g.その他 | 14 |

## 墨田

総回答者数　79（複数回答可）

1）最も興味深かったプロジェクト

| | 回答数 |
|---|---|
| a.すみだ生涯学習センター | 39 |
| b.京島地区 | 22 |
| c.一寺言問地区 | 21 |

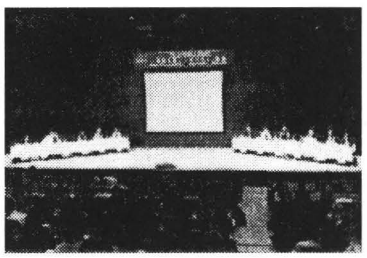
2）墨田ツアーで最も良いと思った点

| | 回答数 |
|---|---|
| a.まちづくりの手法 | 17 |
| b.生活スタイル | 34 |
| c.住民参加のまちづくり | 37 |
| d.住商工のまちづくり | 17 |
| e.大震災に強い安全なまち | 8 |
| f. 雨水利用と「路地尊」 | 33 |
| g.「寺島のみち」 | 2 |
| h.リサイクルセンター「旧古路地」 | 4 |
| i. 区民農園「向島有季園」 | 2 |
| j. その他 | 0 |

図　視察後のアンケート結果

## 市民公開シンポジウム・横浜――明日のすまいとまちを考える

### (1) 概要



■ 日時

98年 9月 5日（土）14:00～16:30

■ 会場

横浜ランドマークプラザ 5階　ランドマークホール

■ テーマ

「明日のすまいとまちを考える
――日本から世界へ、世界から日本へ」

■ 内容

世界中から集まった建築、地域や都市の環境の研究と創造に携わる女性たちが、日本の旧いまち・新しいまち、東京や横浜を見学し、人と自然との共生の仕方について自国の問題と比較検討しながらそのあり方を議論した。

このシンポジムは市民公開のシンポジウムであり、各国の環境共生や多様な人々の共生の報告を受けながら、21世紀に向けて「すまいとまち」のあるべき姿、これからの女性建築家の役割などについて市民とともに考えた。

■ プログラム

1 開会
- 挨拶――ド・ラ・トゥールUIFA会長
- パネリスト紹介

2 主題展開
- 日本のまちの感想とコメント
- 自国の「すまいとまちづくり」についての動向

3 意見交換
- 会場の参加者との意見交換
- パネリストからのコメント

4 まとめ
- コーディネーター、サブコーディネーターによる21世紀の「まちやすまい」のあり方

5 閉会
- 挨拶

■ 主催

UIFA

■ 共催

横浜市・社団法人　日本建築学会

## (2) コーディネーターおよびパネリストからのメッセージ
### ――シンポジウム当日の資料から再録――

### ■ コーディネーター

**小川　信子（日本）**

UIFA JAPON副会長
北海道女子大学教授
日本女子大学名誉教授　工学博士
住生活学・建築計画学・地域計画
現在のテーマ：子どもの環境・高齢者の環境などについて研究と調査など。

21世紀にむけて、生活環境のよりよいあり方を各国の代表者と共に語り、市民の方々と考える貴重な機会に、よりよい交流ができるように願っています。

**ミルカ・ブリズナコフ（アメリカ合衆国））**

ヴァージニア科学技術研究所
ヴァージニア州立大学名誉教授
人工的環境に対する女性の貢献についての研究など。

生態系バランスは経済価値を決定する究極的な要素でなくてはならないと思います。

### ■ パネリスト

**1.高秀秀信（日本）**

横浜市長
土木工学博士

活力ある福祉社会をめざして、福祉の充実、地域経済の活性化に取り組んでいます。市民や専門家の皆様と、まちづくりについて日頃考えていることを話し合いたいと願っています。

**2.ガートルード・ガルスター（デンマーク）**

UIFAデンマーク会長
建築家（応用芸術学修士）
建築・都市計画・再開発専攻・社会学

デンマークで国家機関が病人や障害者、高齢者に提供している住宅条件とそこで生活する人の経験が、社会的弱者の生活条件に関心を持つ人たちの役に立てば幸いです。

**3.シー・ファ・ベー（韓国）**

建築家　キュンウォン大学教授
地域計画

将来の住宅には二つの大きな傾向があります。一つはグローバリズム、もう一つはローカリズム（伝統）です。韓国では、前者は住宅施設、建材、機能に反映されており、後者が住宅設計と、地域計画、ライフスタイルに現れています。

**4.クロチルデ・バイ（コートジボアール）**

建築家　地理学者
都市及び地域計画

発展途上国における住宅・都市・地域開発の諸問題、自然環境と調和したライフスタイルを実現する方法。

**5.コーネリア・チェポニク（ドイツ）**

ラムドール＆チェポニク所属の建築学士
環境との調和を図った建築
ドイツにおける生態学事例、産業建築及び計画管理について

環境との調和を図りながら建築の経済性が達成できたら。これは今後の建築の哲学となるでしょう。建築コストをはじめ、建て替え・解体コストなど、建築物の全ライフサイクルコストを考慮する必要があります。

**6.鈴木博之（日本）**

（社）日本建築学会副会長
東京大学大学院工学系研究科
建築学専攻教授
建築史学

大きな場所で、
大きな問題を語りましょう。
小さな声にも耳を傾けながら。

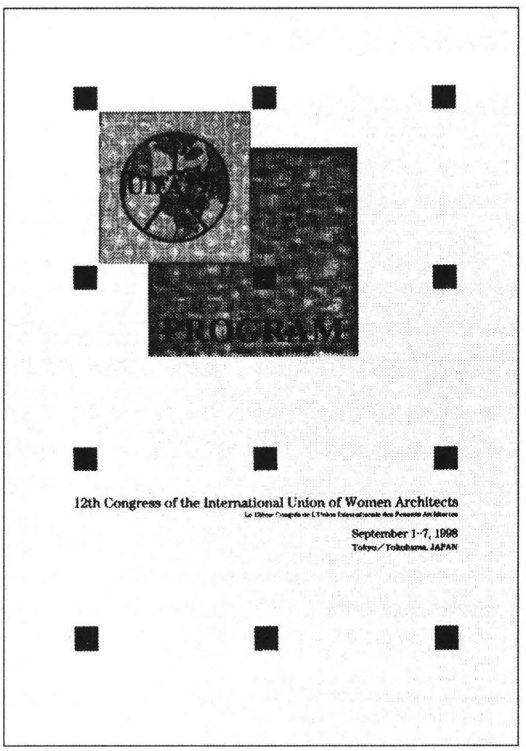



図　プログラム・予稿集

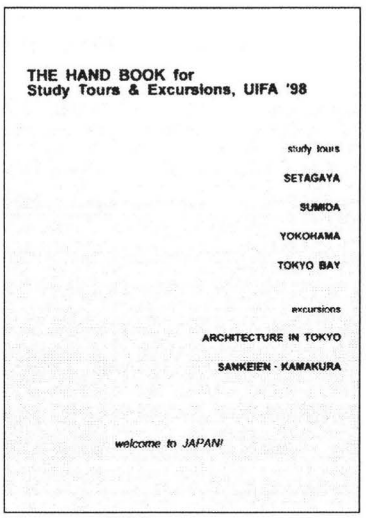



図　ツアー資料集

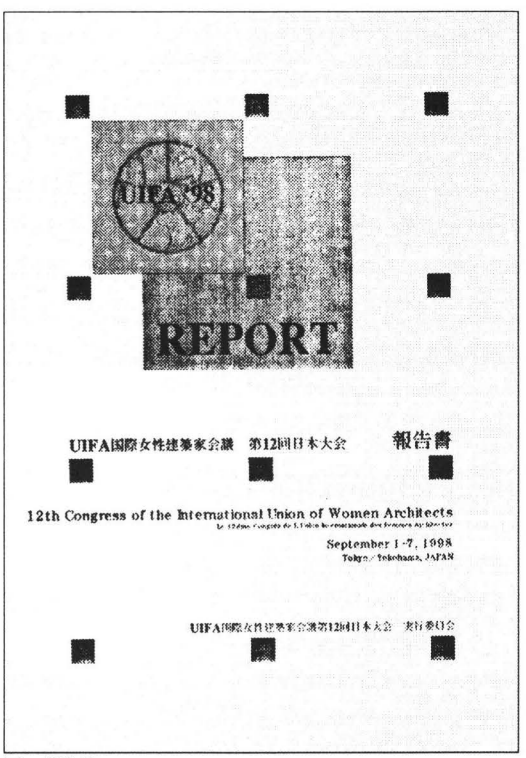



図　報告書

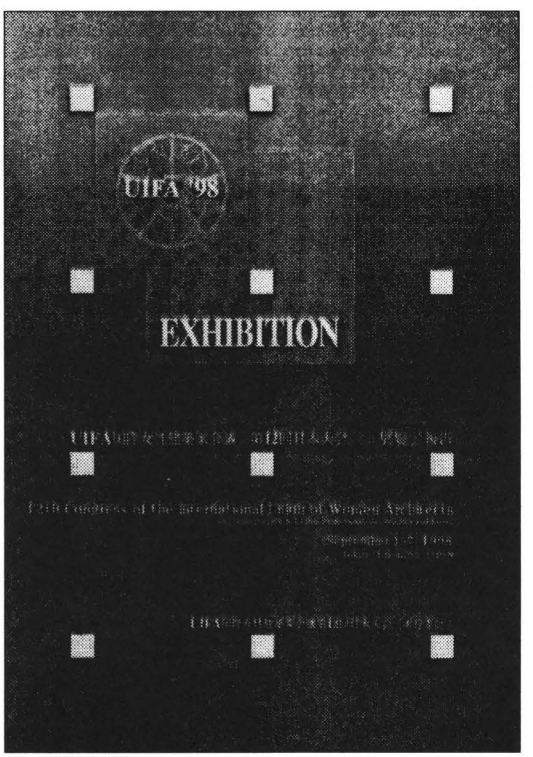



図　展覧会報告

# UIFA国際女性建築家会議第12回日本大会宣言

UIFA（国際女性建築家会議）第12回日本大会は、1998年9月1日より1週間にわたり、世界31カ国から集まった300人にのぼる、建築、都市の創造と研究に関わる女性たちによって開催された。

本大会のテーマは、「環境共生時代の人・建築・都市—21世紀における新しい調和的関係を模索しながら」である。テーマに沿って、56の発表があり、43の作品が展示された。

主張された主な意見は次のようにまとめられる。

①女性は都市の主要な創造者である。また、つねに原点から発想することが出来、長期的な視点に立つことが出来る利点を活かして、この分野における専門家としての役割を自覚し、自らの力を高めてゆかねばならない。

②子どもや高齢者、障害を持つ人々などへの環境的対応に配慮し、それぞれが自己決定出来る社会、それを支援する社会をつくる努力をするべきである。

③地域に固有の自然環境、地域に固有の歴史や文化、産業を大切にし、地域で積み重ねられてきた生活を大事にする保存や修復、再生・再利用を考えたい。こうした努力が省資源につながるはずである。

④職人の技術を保存、継承、発展させるべきである。

⑤廃棄物を生まない、または出来るだけ廃棄物の少ないデザインを考えよう。

⑥身体と結びついた感覚を大切にし、五感を大切にしてデザインしよう。

⑦地域における情報の大切さに着目し、災害時の助け合いに役立てよう。災害時には物的サポートのみならず、心理的サポートも大切である。

⑧復興の計画は「元どおり」にするのではなく、「もっとよくする」という姿勢で行なうべきである。

私たちはこれらの意見をふまえ、次のような提案をしたい。

①地球環境が危機にあることを意識し、その良好な保全と創造のための普及・啓発をすること。

②環境教育を重視し、次の世代に伝えること。

③身体感覚を大事にし、五感を大切にした仕事をすること。

④それぞれの地域の自然、社会、歴史、文化環境の固有性を大切にし、固有の技術を継承、発展させること、これが省資源につながること。

⑤人と人との関わりを大事にし、自己決定と相互支援の出来る社会を作ること。

⑥地球の安全と平和に対して、女性として強く発言していこう。

女性はその利点と特徴を活かして、様々な分野で活躍している。この大会で発表された、たくさんのレポートや作品がそれを証明している。女性の就業とその継続を支援し、この力を活かすことが21世紀の地球環境に貢献すると私たちは確信する。

情報交流の仕組みを確立し、世界の女性の「レースワーク」をつくることによって、UIFAの活動を更に強化し、よりよい環境の創造に貢献しよう。

1998年9月6日

| 種類 | 名　称 | 年 | 月 | 日 | 発　行 |
|---|---|---|---|---|---|
| 新聞 | 日刊建設工業新聞 | 1996 | 11 | 26 | 日刊建設工業新聞社 |
| 新聞 | 日刊建設工業新聞 | 1998 | 1 | 29 | 日刊建設工業新聞社 |
| 新聞 | 日刊建設産業新聞 | 1998 | 1 | 29 | 日刊建設産業新聞社 |
| 新聞 | 建設通信新聞 | 1998 | 1 | 29 | 建設通信新聞社 |
| 新聞 | 建設通信新聞 | 1998 | 2 | 5 | 建設通信新聞社 |
| 新聞 | 日本経済新聞 | 1998 | 2 | 18 | 日本経済新聞社 |
| 新聞 | 神奈川新聞 | 1998 | 3 | 5 | 神奈川新聞社 |
| 新聞 | 神戸新聞 | 1998 | 3 | 11 | 神戸新聞社 |
| 新聞 | 愛媛新聞 | 1998 | 4 | 3 | 愛媛新聞社 |
| 新聞 | 女性ニューズ | 1998 | 7 | 30 | 全国婦人新聞社 |
| 新聞 | 建設通信新聞 | 1998 | 8 | 5 | 建設通信新聞社 |
| 新聞 | 読売新聞 | 1998 | 8 | 14 | 読売新聞社 |
| 新聞 | 読売新聞 | 1998 | 8 | 28 | 読売新聞社 |
| 新聞 | 女性ニューズ | 1998 | 8 | 30 | 全国婦人新聞社 |
| 新聞 | THE DAILY YOMIURI | 1998 | 8 | 31 | 読売新聞社 |
| 新聞 | 日刊建設工業新聞 | 1998 | 9 | 3 | 日刊建設工業新聞社 |
| 新聞 | 建設通信新聞 | 1998 | 9 | 4 | 建設通信新聞社 |
| 新聞 | 毎日新聞 | 1998 | 9 | 5 | 毎日新聞社 |
| 新聞 | 朝日新聞 | 1998 | 9 | 5 | 朝日新聞社 |
| 新聞 | 神奈川新聞 | 1998 | 9 | 6 | 神奈川新聞社 |
| 新聞 | 日刊建設工業新聞 | 1998 | 9 | 8 | 日刊建設工業新聞社 |
| 新聞 | 建設通信新聞 | 1998 | 9 | 8 | 建設通信新聞社 |
| 新聞 | 京都新聞 | 1998 | 9 | 9 | 京都新聞社 |
| 新聞 | 女性ニューズ | 1998 | 9 | 10 | 全国婦人新聞社 |
| 新聞 | 建設通信新聞 | 1998 | 9 | 17 | 建設通信新聞社 |
| 新聞 | 京都新聞 | 1998 | 9 | 24 | 京都新聞社 |
| 新聞 | 朝日新聞(夕刊) | 1998 | 9 | 30 | 朝日新聞社 |
| | | | | | |
| 雑誌 | 建築東京 | 1997 | 4 | | 東京建築士会 |
| 雑誌 | 建築士 | 1997 | 8 | | 日本建築士会連合会 |
| 雑誌 | 建築士 | 1998 | 1 | | 日本建築士会連合会 |
| 雑誌 | 新建築 | 1998 | 3 | | 新建築社 |
| 雑誌 | 建築士 | 1998 | 3 | | 日本建築士会連合会 |
| 雑誌 | 公園緑地 | 1998 | 3 | | (社)日本公園緑地協会 |
| 雑誌 | COMPE & CONTEST | 1998 | 3 | | GALLERY・MA |
| 雑誌 | 新建築／jt | 1998 | 3 | | 新建築社 |
| 雑誌 | 日経アーキテクチュア | 1998 | 4 | 20 | 日経BP社 |
| 雑誌 | 建築東京 | 1998 | 4 | | 東京建築士会 |
| 雑誌 | 空気調和衛生工学 | 1998 | 4 | | 空気調和・衛生工学会 |
| 雑誌 | JIA NEWS | 1998 | 4 | | (社)日本建築家協会 |
| 雑誌 | 建築士事務所 | 1998 | 4 | | (社)日本建築士事務所協会連合会 |
| 雑誌 | コア東京 | 1998 | 4 | | (社)東京都建築士事務所協会 |
| 雑誌 | 室内 | 1998 | 4 | | 工作社 |
| 雑誌 | NIKKEI WEEKLY | 1998 | 4 | | 日経BP社 |
| 雑誌 | 日経アーキテクチュア | 1998 | 7 | 13 | 日経BP社 |
| 雑誌 | 住居の会だより | 1998 | 7 | | 日本女子大学住居学科同窓会 |
| 雑誌 | 女性教養 | 1998 | 7 | | (財)日本女子社会教育会 |
| 雑誌 | O-cubeセミナーガイド | 1998 | 8 | | (株)リビングデザインセンター |
| 雑誌 | 建築ジャーナル | 1998 | 11 | | 企業組合　建築ジャーナル |

表1　UIFA国際女性建築家会議 第12回日本大会 新聞・雑誌記事掲載リスト

# 4－1　ミニマルな住まい

社団法人 日本建築学会
事業理事　村　上　處　直

建築関係５団体が主催して、「ミニマルな住まい」と題されたシンポジウムを実施しました。

この企画は同じ主催者により、建築会館ホールで催された「住まいのかたち」というテーマの展覧会と平行して実施されました。その内容は、1990年代、そして後にくる2000年代を前提にして、住まいのあり方とは一体どうあるべきかであるかという問題に絞られます。

以下、シンポジウムで展開された議論を総括して、若干の私見を加えて整理してみます。

## 生物学的生存圏の復権

このシンポジウムは、早大教授で、日本建築学会長（当時）の尾島俊雄氏の基調講演で始まりました。尾島氏の指摘は、このシンポジウムの母体となる「アーキテクチュア・オブ・ザ・イヤー展」が今回で５回目になることから、それまでの経緯と内容をまとめて、現在まさに建築の原点が問われているのではないか、そしてその原点というものは場合によっては革命的な思考とパラレルであるのでは、ということに及びました。現在は世紀の変わり目という時期で、19世紀末のアドルフ・ロースの、墓標とモニュメントこそが本来的な建築であるという言説を参照して、実際に千年単位の建築でその点が顕著に現れてきたことが指摘されます。さらに尾島氏の表現を用いれば現世利益型のタイプと、来世利益型のタイプというかたちで分類されてくるわけです。そういう大きな建築の分類を前提に考えてみるとこの百年というのは、産業革命が起こり、そのなかで例えば国家、企業、産業、いわば法人としての性格をもつ現世利益型の建築が跳梁跋扈してきた。それが従来の生物的な環境―バイオスフィア―を食いつぶした時代であるというかたちになるわけです。

しかし現実にそこに存在するのは生身の人間である、ということを、我々は大分前から気付いていて、ではこれをどうするかという問いかけがなされてきた。最近はやりの言葉で言えば、サステナビリティ「持続可能性」の問題が浮かび上がってくるわけです。そういう時に何を考えるべきか。「住まいのかたち」展は、一種の生物学的生存圏つまりバイオスフィアを前提とした住まいが主題となっており、その原点が例えばゲルであるとか、土や木の家、ヤオトンや小屋というものに現れている。本来的にはこういう生物学的な生存に関わる問題からスタートして議論を起こすというのが、今回のシンポジウムの趣旨となっています。

その時、特に考慮しなければいけないのが、地球に対する我々の責任に他なりません。例えば人間が生活、さまざまな行為を行う時に発生する種々な負荷というものが地球にどれだけインパクトを与えているかを真剣に考えなければならない。この150年を振り返ってみてもその負荷の増大は大変な

ものとなってきて、21世紀はその負荷をいかに軽減するかということに大きな努力をされなければいけない。しかもその負担を与える要因としては人間の欲望、むしろ個人の持っている内面的な問題ということになるのではないか、ということが尾島氏によって指摘され未来に対する警鐘となったわけです。

以上の基調講演を受けて、第一セッションと第二セッションが行われました。

## 住宅のデザインとシステム

第一セッションには４人のパネラーと司会の木下壽子さんが出席しました。先ずもって２人の建築家の方がそれぞれ住宅の設計手法、特徴についてプレゼンテーションをしました。最初に秋山東一さんは、素材の供給や工務店における施工のプロセスが、建築家のデザインにうまく結びついたかたちでの方法論を立て、ロジスティックスとデザインの関係を論じました。自動車に対応するような一種のキット化、もしくは部品化を一方で考え、同時に誰でもができるという意味でのセルフビルドの多様なシステムを組み込んだ住宅が必要である。それによって、いろんな人がアクセスできる、現代風の木造打ち放しの住宅というものが達成されている、という体験に基づく住宅論を展開しました。

それを受けて牛田英作さんはそれとは全く違うタイプの「soft and hairy house」、いうならば巣のような住宅の設計プロセスについて話を進めました。クライアントとの幸運な出会いがあって、そこからある種の想像力を刺激するイマジナリーな性格をそなえ、同時に植生を生かした環境調和性の特質をも与えられた住宅が出来上がっていく、と言う話です。

この２人の建築家に続いて、構法を専門とする松村秀一さんが住宅産業全体の説明を行い、昭和30年代に、在来構法による住宅が全体の９割近くを占めていたが、今日では年間百数十万戸の住宅が建設される中で、ハウスメーカーやゼネコンが様々なかたちでからみ合った、昔とは大きく違ったシェアの構図が発生していることを指摘しました。

しかも現在の住宅の特徴は、住宅が部品に支配されている点が特徴的です。部品と建築の関係は、松村さんの見解では、二つの方法―バックミンスター・フラーの方法と、チャールズ・イームズの方法に分けられます。例えばフラーの方法が部品開発を行って、「そのための特別な部品」を作るのに対し、イームズの場合は、市場に存在している部品を使って、それをアセンブリーして住宅の中に持ち込んでいく。そこには部品開発は起こらない。ちなみに、ジャン・プルーベ的なものはむしろ一人の人間つまりは設計者の中で完結したシステムとなっている、というような例を示しました。

## 住環境の主体

この３つのプレゼンテーションを受けて、論議が交わされました。私が聞いていて面白かったのが、最近はいろんな意味で『弱体化』あるいは『疲弊』という現象が起きているという指摘です。例えば

在来構法を得意とする工務店が弱体化している。あるいは建築家の職能そのものが疲弊している。要するにみんな大変だという状況になっているわけです。このことは建築の将来に対する危機感に端を発しているわけです。それ以外の問題として、例えば住宅のタイプに関して、住宅メーカーは何故中庭タイプの住宅を作らないか。日本では何故それが受けないのだろう、という論議もあったり、あるいは、建築家とメーカーの関係を考える際、住宅づくりがいわば個人の欲望の表出であることを考慮すると、それに建築家やメーカーが関わるのは本質的な困難さを抱えているという、職能の難しさの話もありました。さらには土地問題に関係して、郊外とは何かという問題提起も語られました。というのは、今まで開発されてきた様々な住宅は主として郊外での建築を前提としている。ところが昨今の現象として神戸の事件に表されるように郊外のモラルの崩壊が顕著化してきており、郊外なるものの心理やライフスタイルにも立ち入らざるをえない。

もう一つ重要なのが、住まい手の参加に関する問題です。先ほど個人の欲望によって住宅を作るという話がありましたが、この逆の側からいえば、住まい手はその設計段階、あるいはその中身を決めていく段階で自ら何を決めることができるかが問われるわけです。そして、こういう問題を議論した後で、住環境が、歴史的価値のなかで持続的に形成されてきている。つまり長い時間をかけて住宅の環境ができているのだという認識が共通して提出されました。これは非常に重要な問題で、個々の住宅は、リフォームされたり、増改築されたりして常に変化しているということを知らなければならない。ストック型社会は、その種の変化を自ら組み込んでいなければならない、ということが認知されるようになったわけです。そこに出てくるのが環境形成の問題です。環境形成の主体はどうなるかということは、住宅という物理的なシェルターをつくるということから離れてもっと大きな視点から、住まいをつくる、住環境をつくるという発想に議論を展開していなければならないということに連なるわけです。

## 市街地の今日的課題

続けて第二セッションが行われました。３人の専門家に対して司会の鵜飼哲矢さんが議論を発したわけですけれど、ここではもう少し大きな視点から、社会的なゴールを設定して議論がなされました。最初に村上處直から、住宅と防災、そして時間に対する建築の寿命の問題が指摘されました。具体的に火災の事例を引き、単に火事に強いということではなく、建築材料やその中身の問題に立ち入って、総合的な角度から、災害というものを考えなければならないということです。日本の建築は寿命が短いからこれをどう考えるのか。あるいは日本の建築に特徴的な最小限的な考え方は逆にいえば宇宙開発に役立つような建築の考え方である。さらに阪神・淡路大震災の事例を引いて、その様々な災害は一面からではなく非常に多様な角度から議論されるべきだという指摘がだされました。

この発表に引き続き、上手正行さんの方から、リサイクルに関係する話が技術論としてなされました。材料の話として、ミサワホームで開発したミサワウッド、つまり視覚的に優しくフレキシブルな材料を作る、あるいは広葉樹の室内空間を再現する、という具体的なゴールの下で開発がなされた経

緯が詳しく紹介されました。その中で「100%リサイクル住宅」はまさにリサイクルのサーキットそのものを住宅にしたようなもので、資源の有効利用が大きなテーマとなっているわけです。技術的には粉体工学の問題なども指摘され、新たな技術論の枠組みが提示されました。

これを受けまして、岡部憲明さんからプレゼンテーションがありました。テーマとしては、住宅の集合化の問題が中心となり、近代社会のなかでの集合化とはどういうことであったのかというところから話が始まりました。その中で20世紀の初めにできたヘルシンキの郊外の住宅が参照され、郊外の緑の中で住むという社会居住モデルがここに成立したという議論が出てきました。そういう歴史的背景に及ぶ議論の上に、SI21という、東京の密集市街地を前提とした防災性と土地の有効利用の問題を前提として計画された集合住宅のプロジェクトが紹介されたわけです。SIというのはサポートとインフィルという意味です。長期耐用の構造体と必要に応じて交換可能のインフィルを組み合わせた、時間のプロセスを持った住宅というものをきちんと考えなくてはならない。加えて集合住宅のタイポロジーをきちんと捉えなくてはならないという議論も提出されたわけです。

## 住宅産業と社会的デマンド

これらのプレゼンテーションを受けてディスカッションが行われました。その中のトピックをいくつか拾ってみますと、司会者の方から環境は戦術なのか、あるいは戦略なのかという問題提起がなされたのに対し、戦略面から見て例えば防災性向上のためのヴォイド空間のシステム化、あるいはランドスケープの組み入れ、さらには建築の長寿命化の問題が提出されました。寿命の問題は建築基準法にも関係しており、法制面の整備が大いに求められます。また、日本人は美意識があるのかないのかという日本人のセンスに関わるようなデリケートな問題も出てきました。

それから、リサイクルかリフォームかについて、社会的なゴールとしてどこに我々のコンセンサスを置くべきかというような議論もありました。そしてまた、今後の住宅産業のあり方として、大々的な淘汰が非常に近い将来起こりうるであろう。しかも現在かつての年間120万戸という着工戸数が70万戸に減少することが目前に迫っていますし、その中で企業間の競争も激化してきている。その一方で、日本は世界でもまれな住宅をみんなで造る国であり、その意味で住宅産業が健全な国であるという楽観論も強調されました。当然その住宅や建築に対するメンテナンス・テクノロジーの将来性も大いに必要になってくるはずです。

## 日本人はどう住むべきか

以上が議論の内容ですが、これに対して私自身のコメントを若干加えさせて頂きます。建築会館で行われた展覧会、「住まいのかたち」が企画された背景のひとつには、ある種の時代認識というものがあるわけです。その内容をはかるには、例えば1995年の阪神・淡路大震災の様に噴出した諸問題を言い換えてもよいかも知れません。これは必ずしも地震それ自体の問題ではなく、近代日本が培っ

てきた様々な価値観が今大きく変容を迫られている時期だということです。例えば国家というかたちで言いますと、近代的な明治国家が成立してきて、現代に至ってそのひとつの根幹であった官僚制がどうやら危ない。軍隊の制度は1945年になくなりましたけれども、そういう江戸時代から戊辰戦争を経て成立してきた近代国家の内容がどうやら今根底的に価値観を問われている。その次の新しい来るべき社会のモデルはどこにあるかという議論が本来的にはなされなければならないだろう。これは都市のさまざまな制度に関わる問題であり、先ほどの土地問題なんかもまさにそこに関係するわけです。その中で、話を非常に単純化して、「日本人はどう住むべきか」という議論の仕方をすることもできる。先ほど神戸の例を挙げたのは、防災とか環境といった様々な要因によって戦後の住宅生産、住宅設計、工法原理が相当大きなかたちで条件や基盤を変えつつあるのではないか。しかも我々はむしろそれらを意図的に変えていくべき状況に達しているだろうという気がしているわけです。ちなみに私自身は、その来るべき社会はある種の保全型社会であろうと考えてます。変化のきっかけがたまたま、1853年のペリー来航、1995年の震災というかたちで表象化され、その地下水脈としての状況がドラスティックに変わっているという意識を持っているわけです。そこに新しいパラダイム形成が当然幅広く議論されなければなりません。

## 21世紀への指標

そこでここでは状況変革のためにいくつかの問題点を私の方で整理してみます。先ず第一の歴史観という問題が挙がってきます。言い換えると、日本の近代をどのように総括するのかということです。現代とは明治維新以降であったのか、あるいは17世紀以来の江戸幕府ができて、城下町が建設されて日本の新たな都市基盤が整備された時期から300年もしくは400年のスパンで整理するかによって、ずいぶんなものの見え方が違ってくるわけです。つまり我が国固有の環境形成を考える上で、やはり何百年単位のものの考え方が必要なのです。

それから特に郊外の問題。郊外というのは世界的にみて19世紀後半以降の現象ですが、郊外に対する価値観というのは日本では決定的に欠けているわけです。むしろ欧米の方が、郊外を都心部と差異化することで新しい住宅モデルを作ることが可能になっている。田園都市のモデルはその具体例です。アングロサクソン系やスカンジナビア系ではそれが非常に成功したかたちになっている。ところが日本には郊外に対して、集合性という観点では非常にプアーな発想しかできない。企業群がいろんなモデルを作ってはいるけれど、これは先程日本の新しい住宅生産はやはり郊外を前提としてつくっているという話がありましたけれど、どうも成熟しているようには見受けられない。郊外鉄道といったインフラ面での成功と較べると、郊外住宅地モデルの不在を先ず顧なければならない。それからもう一つの問題として、住まうということに対する意味について。これは確か松村さんが指摘されたことなのですが、住宅ということだけでは言い切れないようなもっと総合的な価値観ということで、人間の非常に基本的な行為である、住む、あるいは住まうということを生活、文化、技術、そしてその総体から考えていくことが改めて必要なのではないかという点です。技術論的には住宅の部品化にど

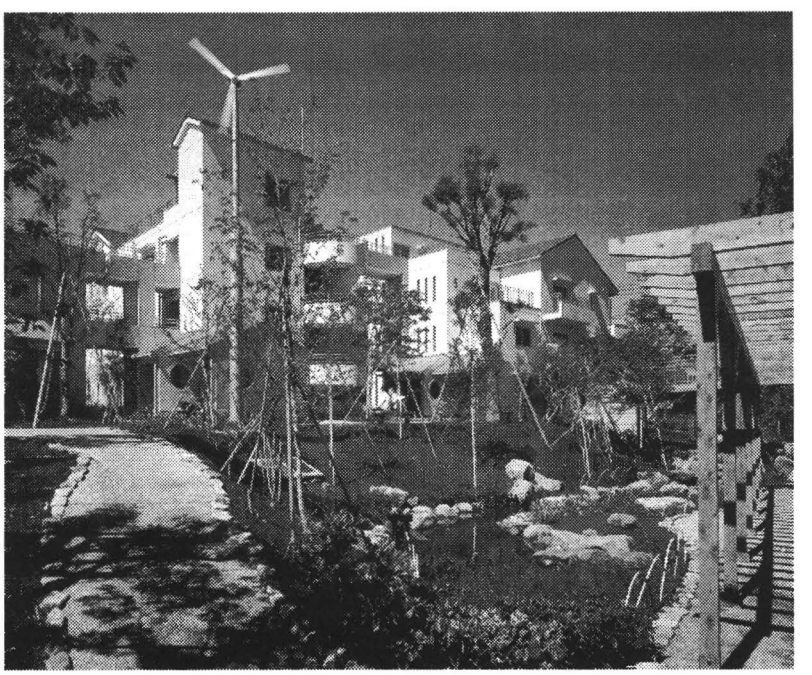
う対応するかということになりますし、文化的に言えば、住まうというライフスタイルに関係するような問題で、これは今のところまだオープンエンドの議論かもしれませんが、これは様々な制度と関係して議論されねばならないと思っています。その中で浮かび上がってくる問題として、環境形成の主体が誰であるかも問われています。つまり住まうということは広く言えば環境に関わることでありますけれども、それをこれからもまだ時間的に継続する環境に対して、それを誰がつくり、誰が維持していくかということなんですね。メンテナンス・テクノロジーの問題であるとか、長期耐用型のものとか、いろんな問題が先ほどの議論の中で出てきたわけです。と同時にその主体がどういう意志を持っているか、つまり非常に単純な意味でそこに住む人達や環境をつくろうとする人たちは何を考え何を実行するかということなのです。先ほど個人の欲望として家を造るという話がありましたが、それを超えるような主体の意志というのはあるのか。しかし、それはあくまでも尾島氏の言葉でいう「生身の人間」に立ち戻った上での意志だろうと思います。

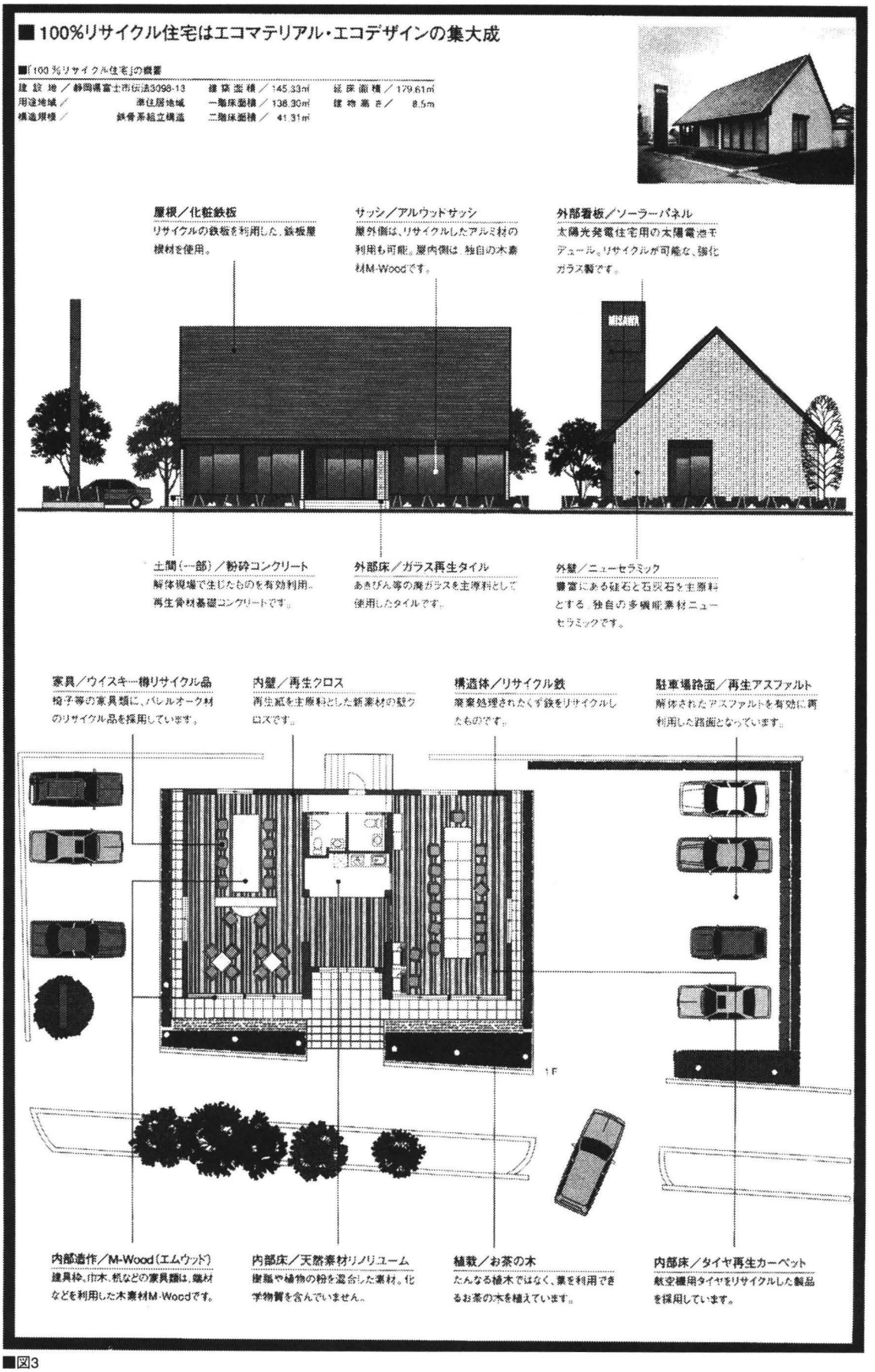
## バイオスフィアの時代

最後に、これは何度も指摘されたことですが、教育の問題を指摘しておきます。最近、環境教育という言葉がはやっていますけれども、これをまさに生身の人間が環境に対してどういう関わりをもつか、さらにどういう責任をとるか、そしてどういうビジョンを持つか、ということに大いに繋がっているわけです。残念ながら日本の場合そうした環境教育の方法論がまだ熟し切っていない。これは欧米と比較した場合に大いに反省させられるところです。社会総体として早急に「参加」の問題を含め、人間が環境に対してどう関わってくるかと考える場をつくっていかなければならない。まさに今日ここに集まった建築関係の諸団体はそういう責任を負っています。と同時に、そのことは建築という職能の再定義をうながすことになるかもしれません。最近建築家が疲れている、という表現が先ほどありましたけれども、そのことは自分を様々な社会的な制約の下に、非常に狭い領域に閉じ込めて苦悶しているということにも繋がります。特に住宅の設計で、些細な事柄に終始して、全体が見えなくなってしまう話はよく聞く。わかり易くいうと、建築家は今後どうやって社会性を回復するのかということですが、このあたりが先ほどから議論されてきた論点のひとつとなっています。

そこで、最初に尾島先生が指摘した、バイオスフィアの時代をどう総括するのかいうことになりますが、要は成熟した生身の人間として、先を見据えた努力をしなければならないということです。技術論的な面から言いますと、環境の持続可能性、要するに、長持ちして、我々が非常に身近に感じることのできるような環境、また我々自身が主体であることを意識させるような場をどう形成し、そこで登場する個々の課題に答えていかねばならないということになります。

'97アーキテクチュアオブザイヤー展
住まいのかたち
会期：1998年2月21日(土)-3月2日(月)
会場：建築会館
主催：日本建築学会 日本建築家協会
日本建築士会連合会 日本建築士事務所協会連合会
建築業協会 毎日新聞社
後援：東京都 予定
賛助：財トステム技材産業協賛財団
プロデューサー：三宅理一
会場デザイン：坂 茂
■図1


■図2


■100%リサイクル住宅はエコマテリアル・エコデザインの集大成
■「100%リサイクル住宅」の概要
建設地／静岡県富士市伝法3098-13
用途地域／準住居地域
構造規模／鉄骨系組立構造
建築面積／145.33㎡
一階床面積／138.30㎡
二階床面積／41.31㎡
延床面積／179.61㎡
建物高さ／8.5m
屋根／化粧鉄板
リサイクルの鉄板を利用した、鉄板屋根材を使用。
サッシ／アルウッドサッシ
屋外側は、リサイクルしたアルミ材の利用も可能。屋内側は、独自の木素材M-Woodです。
外部看板／ソーラーパネル
太陽光発電住宅用の太陽電池モデュール。リサイクルが可能な、強化ガラス製です。
土間（一部）／粉砕コンクリート
解体現場で生じたものを有効利用。再生骨材基礎コンクリートです。
外部床／ガラス再生タイル
あきびん等のガラスを主原料として使用したタイルです。
外壁／ニューセラミック
鹿沼にある硅石と石灰石を主原料とする、独自の多機能素材ニューセラミックです。
家具／ウイスキー樽リサイクル品
椅子等の家具類に、バレルオーク材のリサイクル品を採用しています。
内壁／再生クロス
再生紙を主原料とした新素材の壁クロスです。
構造体／リサイクル鉄
廃棄処理されたくず鉄をリサイクルしたものです。
駐車場路面／再生アスファルト
解体されたアスファルトを有効に再利用した路面となっています。
1F
内部造作／M-Wood（エムウッド）
建具枠、巾木、机などの家具類は、端材などを利用した木素材M-Woodです。
内部床／天然素材リノリューム
樹脂や植物の粉を混合した素材。化学物質を含んでいません。
植栽／お茶の木
たんなる植木ではなく、葉を利用できるお茶の木を植えています。
内部床／タイヤ再生カーペット
航空機用タイヤをリサイクルした製品を採用しています。

■図3

# 4－2　公開シンポジウム「シックハウジングの現状とその対策」

住まいと環境・東北フォーラム
理事長　吉　野　　博

トステム建材産業振興財団より助成を受けた住まいと環境・東北フォーラムの公開シンポジウム「シックハウジングの現状とその対策」が平成10年７月４日（土）、午後１：00から５：00、仙台市情報・産業プラザ「アエル」で開催された。

本シンポジウムは、(社) 空気調和・衛生工学会東北支部、(社) 建設設備技術者協会東北支部の共催、(社) 宮城県建築士会（青年部連絡協議会・女性部会)、東北電力㈱、シャノン販売東北㈱、森永エンジニアリング㈱、新木造住宅技術者協議会東北地区本部の協賛、(社) 日本建築学会東北支部研究委員会環境部会の後援を得て、開催された。

シンポジウムでは、池田耕一（国立公衆衛生院、部長)、寺澤政彦（てらさわ小児科医院、院長)、田辺新一（お茶の水女子大学、助教授)、吉野　博（東北大学、教授、住まいと環境・東北フォーラム理事長)、小泉雅生（㈱シーラカンス）の各氏がそれぞれの分野での報告を行った後、全体討論をした。

まず、吉野が開会の挨拶に立ち、住まいと環境・東北フォーラムの活動内容と今回のシンポジウムの趣旨について説明し、シックハウス問題はマスコミでも大きく取り上げられている社会問題であり、この問題に対して正しい情報を得て、理解を深めるために企画したことを述べた。また、プログラムの内容とパネリストについて紹介した。

池田は「室内空気汚染の人体への影響」と題する講演を行い、まず汚染物質として話題となってるホルムアルデヒドの発生源、健康影響、測定例について述べ、発生源としては、合板、カーペットのみならず、本からも発生すること、健康影響としては、目の刺激や炎症から許容値が定められているが、発ガン物質でもあること、また、戸建住宅や集合住宅の調査では、建設直後は濃度が高いが数年すると低くなる、夏でも窓を閉め切って冷房すると濃度が高いことなどについて述べた。次に、揮発性有機化合物VOCに関して、その定義、健康への影響、測定例について示し、TVOCでは１$m^3$当たり0.3mg以下であれば問題がないこと、測定値は住宅によってばらつきが大きいことを述べた。また、これらの許容量は健常な人の場合であり、化学物質過敏症と呼ばれる人の場合には状況が異なることを述べ、この問題に関してビデオで紹介した。

寺澤は、小児科医として患者を診ている立場から、「室内空気汚染の現場から」と題する講演を行い、まず新築住宅に入居した人の20％が何らかの症状があったことを調査結果から明らかにし、次に具体的な例を示した。新築住宅に入居した方が下痢や喘息症状が生じた例、顔が赤くなって痒くなる例、湿疹が急激に悪化した例、防虫剤が原因で具合が悪くなった例について示した。また、自分の医院の診察室のホルムアルデヒド濃度が高かったので、移転新築を考えホルムアルデヒド、VOCが

０となるように建築材料を吟味して建設したことを述べ、そのときに工夫した事柄について紹介した。

田辺は、発生源対策に関して報告し、まず化学物質による空気汚染が問題となってきた背景について述べ、新築住宅の戸数が欧米に比べて多いこと、断熱・気密性能が高くなってきていること、熟練工が少なくなって建材を接着剤で貼り付ける工法が一般的であることなどを指摘した。次に健康住宅研究会において優先取り組み物質である３物質３薬剤について、発生源や対策について示し、ホルムアルデヒドについては発生量によって規格が決められており、発生量の少ない建材を選ぶ必要があるが、床暖房の場合には床材が熱せられ発生量が多くなるので注意が必要であること、換気が重要であることなどを述べた。

吉野は、「換気による空気汚染の防止」と題して講演し、空気汚染の原因の一つは建物の気密化であるが、気密化は快適性の向上、壁内結露の防止、省エネルギーの要請などから必要であり、また換気を適切に行う上でも大切であることを述べた。次に、換気計画の基本である必要換気量の算出方法について解説し、一人当たり20から30$m^3$/hの換気量が確保されれば、問題が生じにくいことを述べた。次に、機械換気や自然換気の方法とその特徴や換気経路の考え方について示し、押し入れやクローゼットのなかにも空気が循環するような換気経路を計画する必要があることを述べた。また、室内空気の汚染の計算例を紹介し、機械排気方式の場合には２階の部屋では換気量が少なくなり汚染濃度が高くなることがあるので、各室に排気口を設ける必要があることを述べた。

小泉は「室内空気汚染防止のための設計計画」について講演し、通産省のハウスジャパンという住宅開発プロジェクトにおいて、健康性と省エネルギー性を配慮した実証棟の設計の基本的な考え方、材料の選定、施工の考え方などについてスライドを用いて解説した。平面的には中央部にコアを配し、外周部にはロの字状に動線をまわし、その間に居室が確保されている図式となっていること、換気、通風について配慮したことなどを述べた。また、材料については、健康性や断熱・気密性の確保という観点から選定し、例えば、ガラスは真空のペアガラスにしたこと、断熱材の選定には苦労したこと、塗料については有機溶剤を使用していないものを選んだことなどについて述べた。

以上５人の報告の後、休憩時間を挟んでパネルディスカッションを行った。多くの質問や意見が会場から投げかけられ、例えば、シックハウジングに関する団体の有無、ハウスメーカーと生活者との間での責任の問題、輸入住宅での汚染問題、空気汚染の簡便な測定方法、化学物質過敏症の診断方法、アトピー性皮膚炎に罹った息子のためのリフォームの方法、炭の空気清浄効果、ベイクアウトついて、ダクト内のほこりにつく菌類の問題などについて質疑が行われた。

# 化学物質室内空気汚染—設計・施工時の対策

お茶の水女子大学生活科学部　田辺新一

## 1．はじめに

これまでの、日本の住宅における空気汚染は、石油ストーブなどの解放式燃焼器具やカビ・ダニの問題が中心であった。もちろん、現在でもこれらの問題は大きい。日本で現在建設されている集合住宅や戸建住宅はかなり気密性が高く、開放式燃焼器具すなわち排気のないストーブを使用すると室内の一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（$CO_2$）、窒素酸化物（$NO_x$）などの濃度は相当に高くなる。一方で、気密化と新建材の増加による化学物質の問題が顕在化してきた。図１に人体と様々な空気汚染物質を示す。住宅の空気汚染問題は、ますます根深くなっている。

健康住宅研究会は、化学物質室内空気汚染に関して表１に示す、優先取組物質を指摘した。もちろん、住宅にはそれ以外にも多くの化学物質が使用されている。従って、これら６種類の物質・薬剤を対策すれば全ての問題が解決するわけではないことを強調しておきたい。

## 2．健康住宅研究会の設計・施工ガイドライン

健康住宅研究会の設計施工分科会では、「設計・施工ガイドライン」と「ユーザーズマニュアル」が取りまとめられた。わずか30ページ弱の「設計・施工ガイドライン」作成過程でも実に700件以上の修正意見、コメントがあった。あるコメントは、もう少し踏み込んで記述をして欲しいというものであったり、あるコメントは明確な証拠がないのに否定的な記述をしては困るというものであった。化学物質が住宅生産に欠かせないものになっていることを痛感させる。

対策としては、「化学物質の放散量が少ない建材、施工材を用い、換気量を増加させる」ということが大切だといくら机上でわかっていても、現実の設計や施工時には、経済的理由や工期の関係で思い通りに行かないことが多い。例えば、入居日が決まっているような時、工事を急ぐため建築業者が速乾性の接着剤を用いたり、充分な乾燥期間を取れないこともあるわけである。あるいは、自然素材が良いとわかっていても経済的理由から全ての内装材に用いることが出来ないこともあるであろう。

住宅メーカーや工務店や設計事務所が設計に注意しておくポイント、施工時のポイント、引き渡しのポイントなど注意すべき点は多い。設計、施工時の対策に関しては、研究途上や技術開発途上のことが多く、定説が確定していない項目も多くある。しかし、少しでも化学物質の放散を少なくするためにはどのように対処すれば良いかを述べる。また、様々な建材、施工材が用いられているため、全く化学物質を避ける住宅建設も難しいという現実もあるのである。なお、この解説は、著者の責任で関連する項目を加えているため、ガイドラインの内容そのものは原典を参照のこと。

## 3．基本原則

化学物質の室内濃度に関しては一般的に以下の基本原則がある。この基本法則を理解しておけば設計、施工時の定性的ではあるが適切な対応が出来る。

1）化学物質の室内濃度は、それを放散する建材、施工材（接着剤、塗料など）の使用量が多くなればなるほど高くなる。従って、適切な選択を行えば放散量が低減できる。例えば、3LDKのマンション（集合住宅）では、非常に大ざっぱに灯油２缶ぐらいの接着剤を用いている。
2）一般的に室内濃度は竣工時に最も高く、時間の経過とともに減少する。しかし、冬季に竣工した場合、夏季に向けて増加する場合もある。
3）温度が高くなると放散量は増加する。
4）換気量を増加すれば室内濃度は減少する。
5）内装材の影響が大きい。ホルムアルデヒドに関しては、フローリング材の壁装材の影響が大きい。しかし、家具や開放式の燃焼器具も化学物質を発生させる。

## 4．住宅の計画時と設計時のフロー

住宅の計画・設計時の検討フローを図２に示す。

**住まい手の条件：**

設計者は、住まい手が化学物質の影響を受けやすいかどうかを確認する。もし、住まい手が化学物質に関して過敏である場合には、それを設計者に申告すること。場合によっては、専門医の相談を受けることも必要である。過敏症やその体質を持つ居住者に対しては設計条件が非常に異なる。在室時間や自然換気の可能性などの生活様式、生活スタイルなどを設計者に把握してもらう。

敷地条件の把握、配置・平面の計画：

敷地形状を把握し通風・換気への配慮を行う。概算ではあるが、ホルムアルデヒドは室温10℃の上昇で放散量が約２～３倍増加する。庇を上手く利用することで夏季の直達日射を防ぐなどの工夫が必要となる。夏季のすだれなども放散量の減少のみではなく冷房費削減の効果も期待できる。

構造・工法等の条件の把握：

住宅がどのような構造なのか、どのような工法なのかによって建材、施工材の種類、気密性が異なる。住宅の特徴をよく把握しておくことが必要となる。すなわち、住宅の種類、メーカーによって放散量が異なる。

**建材・施工材の仕様の計画：**

放散量の少ない建材を使用すれば気中濃度は減少することは先に述べた。その点で、適切な内装材

の仕様検討、基礎・床材の仕様検討は最も重要な点である。表1に優先的取組物質を含む可能性がある建材施工材の例を示す。

定量的に気中濃度を検討するためには、材料からの放散量のデータが必要となるが、現状では充分なデータがそろっていない。合板、ボード類、フローリング材の選定には、日本農林規格（JAS）のホルムアルデヒドに関する等級が役立つであろう。場合によってはホルムアルデヒド吸着材なども利用される。また、壁紙に関しては、壁装材料協会の「生活環境の安全に配慮したインテリア材料に関するガイドライン（IMS)」が参考になる。接着剤には、有機溶剤の含有量が比較的少ないエマルジョン系のものがある。最近、種々の新接着剤が販売されるようになってきたが、メーカーからMSDSと呼ばれる製品安全データシートを入手して確認するとよい。塗料に関しても同様である。

**基礎・床下の仕様検討：**

施工によるところが大きいが、ベタ基礎を用いる、薬剤に汚染された空気ができるだけ室内に流入しない床下換気口、吸気口を設ける。窓位置に配慮することが有効である。耐腐朽性、耐蟻性のある樹種の心材を用いるなどの方法がある。

**換気計画：**

気密性が高い住宅では自然換気のみでは必要換気量を満たせない可能性がある。そのような場合、機械換気が必要となることを認識する必要がなる。集合住宅の場合には台所、浴室、トイレに局所換気用システムを設置する場合が多いため、例えばこれらを運転させて換気量を確保するなどの工夫もできる。エネルギー消費の観点からは、換気量をむやみに増大させるのではなく、汚染物質の放散量を低下させるよう努力する。外壁の給気口、換気用小窓や室内ドアにアンダーカットやガラリ、室間に通気口を設置する。逆流防止機能のついた換気扇を使用するなどが考えられる。しかし、寒冷地や室内外温度差が大きい場合には、温熱環境を悪化させる。その場合には、給気口の側に冷暖房機器を設置する、熱交換機能のついた換気扇を設置するなどの対策が有効である。

## 5．施工時の検討フロー

シックハウス対策のためには施工方法の検討は大きな役割を持つ。施工に当たって、現場施工する接着剤、塗料等の種類・使用量を目的に応じて適切に指示し、現場において適切な施工管理をすることが重要である。例えば、繊維系断熱材の場合は防湿層を室内側にきちんと施工することが溶剤を室内側に侵入させないために有効である。防蟻に関しては前述したように施工が特に重要である。最近は、従来の油剤、乳剤による散布方法に加えて飛散や放散の少ない施工法の開発が行われているので、ユーザーの意向とコスト、安全性、施工者の経験を判断して施工方法を決定する。また、ユーザーとともに施工業者から対応法の説明を受ける。日本しろあり対策協会では施工業者に「調査確認書」を作成させ、注意事項の確認を求めるように指導している。国民生活センターが1996年に行ったアン

ケート調査によれば、372世帯の防蟻剤による施工を行った世帯のうち68軒すなわち20%弱の大変高い確率で何らかの被害が起こっている。

充分な養生期間、乾燥期間を確保するため工期の設定・管理が重要となる。特に施工時に接着剤の塗布から張り付けまでの乾燥期間（オープンタイム）を適切に取ること、充分な換気を行った上で施工から入居までの期間を充分おくことが推奨される。オープンタイムが不足すると溶剤が残存して、施工後も溶剤が残ることがある。必要な乾燥期間に関してはメーカーに問い合わせる。

建材からの化学物質の放散量は工事直後に多いため、工事期間中や入居までの間、換気を行うことが有効である。日本接着剤工業会の調査によれば換気を充分に行うことを前提として施工から入居まで14日程度期間をおくことを目安としている。家具・戸棚やシステムキッチンなどの扉も工事期間中や入居までの間開放しておく配慮が有効である。

## 6．ベークアウト

ベークアウトという入居前に室温を上昇させる暖気運転を行い換気を行って化学物質の放散を促進する方法がある。有効性が検証されている途中ではあるが、表面に塗布されているようなVOCには有効であるが、ホルムアルデヒドのように材料中に含まれるものに関しては有効性が検証されないようである。図4に呂らによるベークアウト効果を確認した実験を示す。化学物質の種類によっては過度にベークアウトに頼ることは避けなければならない。

## 7．引き渡し時の注意項目

良い計画・設計が行われても間違った方法で施工が行われては要求性能を満たすことはできない。ここでは、図3に示した施工から引き渡しまでのフローに従って注意すべき点を説明する。

充分注意されて計画、設計、施工が行われても居住者の生活方法によっても問題が引き起こされる。ユーザーズマニュアルなどを作成して、入居者への換気についての指導と情報提供を行うことが必要である。家具、カーテン、カーペット、殺虫剤、防虫剤、ワックスや暖房・厨房の燃焼機器、喫煙などでも化学物質は放散されている。米国での指摘によると、新築時を過ぎるとこれらの生活起因のものが50%程度を占めると言われている。換気に十分注意するとともにこれら生活起因の放散源を室内になるべく持ち込まないようにすることである。

また、今後引き渡し時に気中濃度がガイドライン以下になるように求めるユーザーや管理者も出現してくると思われる。引き渡し後の問題発生、訴訟やトラブルを未然に防ぐためにも入居者に対する情報提供は非常に重要なこととなってくる。

## 8．空気中濃度の推定

設計・施工ガイドラインでは、まだ現状の研究やデータが不充分であったため、詳細に述べることが出来なかったが、換気と化学物質放散量との関係で気中濃度は、どのように予測されるのであろうか？

図５に床面積20m$^2$（4m×5m)、天井高さ2.5m、室容積50m$^3$、全内表面積85m$^2$の部屋を想定した場合の換気回数と気中濃度の関係を示す。簡易化のため外気濃度を０としている。ホルムアルデヒドを例に取ると、表面積当たりの放散量が0.05mg/m$^2$hの場合、対象の部屋の気中濃度を厚生省指針の0.1mg/m$^3$以下にするためには約１回/hの換気が必要であることがわかる。ホルムアルデヒドの放散速度は、Fl仕様の住宅でも新築時は0.05mg/m$^2$h程度はあるため、最初の数カ月は充分な換気が必要である。

## 9．怖いリフォームの時

計画・設計・施工・引き渡しのフローを定量的に把握していくためにはまだ多くの課題が残されている。特に、気中濃度予測のために建材放散量データベースの充実が望まれる。その他、気中濃度の精度の良い推定方法、放散量測定のチャンバー規格整備なども需要である。引き渡し時の気中濃度測定時の測定条件、測定法も今後の焦点となるであろう。また、リフォームに関しても考慮しなければならない。居住したまま工事が進められたり、竣工から入居までの日数が短いこともあり一層注意が必要である。化学物質過敏症となった例は、リフォーム時のものが非常に多いと専門家は述べている。

## 10．情報開示と選択

ホルムアルデヒド、VOCなどの化学物質は、様々なところに含まれている。個々の製造者は、個別の放散量は基準値以下であることを主張しても、それらが多く集まればやはり放散量は多くなる。設計者や建設業者も納入される部材にどのような化学物質が含まれているのかわからないことが多い。良い材料を選択できるようにするためには、まず材料に関する正直な情報が必要となる。カナダなどでは建築家に対し、材料のデータを提供している機関がある。そのリストをみて設計者が適切な選択をすればよい。コスト上昇が問題となるかもしれないが、設計者は施主に正確に内容を説明することが大切である。

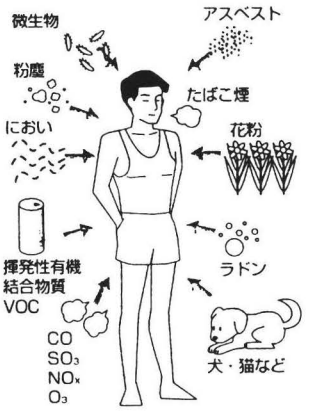
マンションや戸建住宅では、早晩購入や販売条件として、引き渡し時の化学物質の濃度、将来廃棄した場合の汚染物質排出量などが議論されるようになるであろう。このマンションのスラブ厚は、20cmなので音の問題は大丈夫ですといった内容は現在でもあるが、これが、このマンションのホルムアルデヒドは、引き渡し前には、0.05ppm以下ですというようなラベルも出現するだろう。

## 【参考文献】

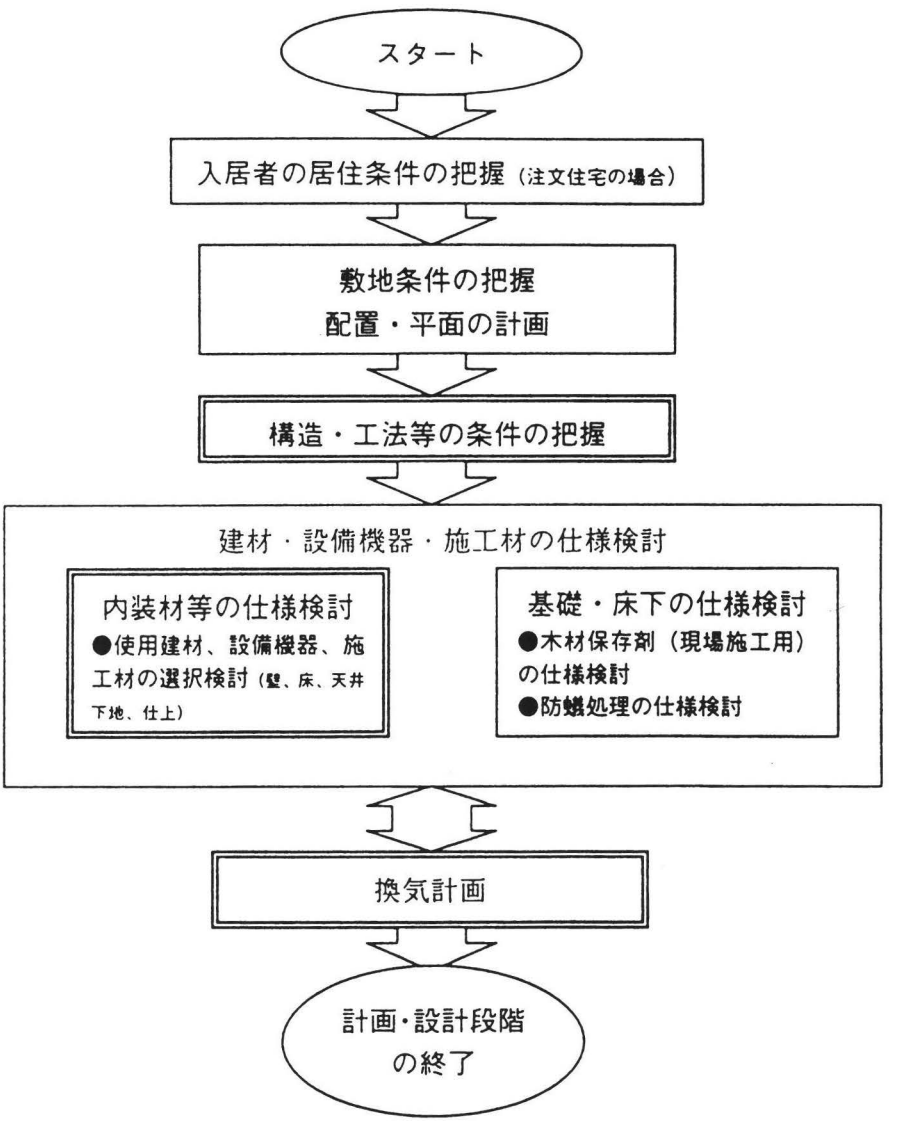
健康住宅研究会、設計・施工ガイドライン、健康住宅研究会、1998年

健康住宅研究会、ユーザーズマニュアル、健康住宅研究会、1998年

田辺新一、室内化学汚染―シックハウスの基礎と対策、講談社現代新書、1998年7月、発売予定



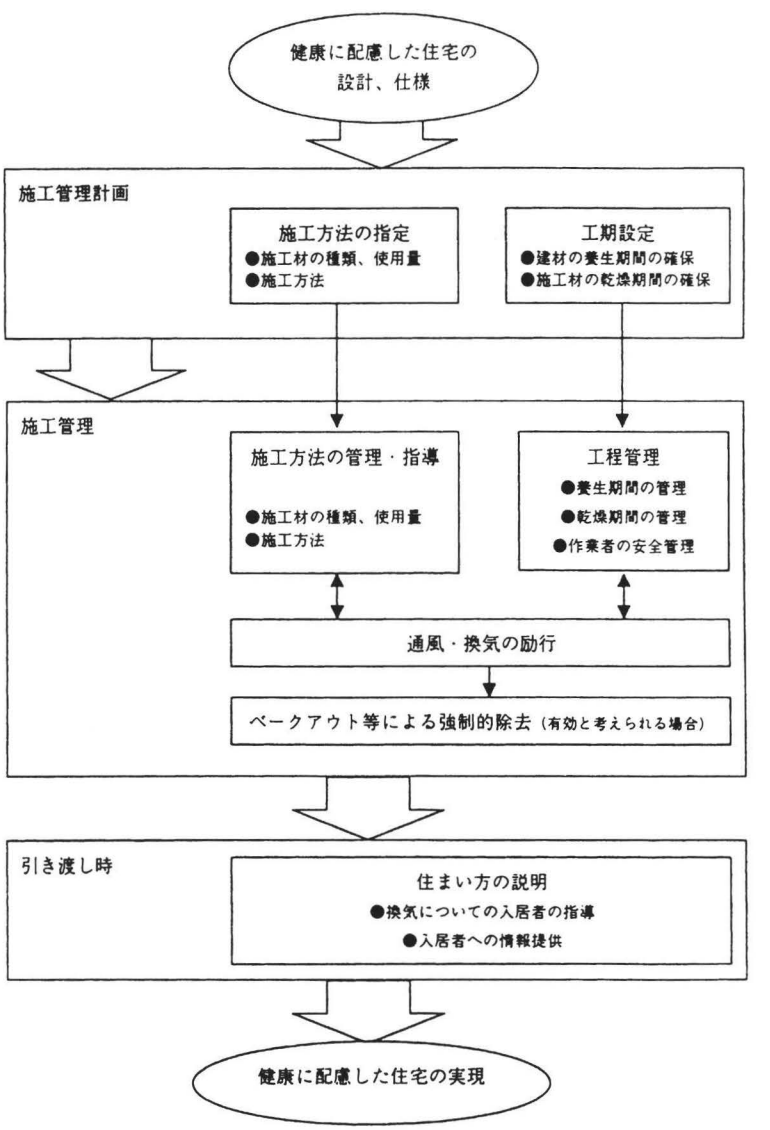

■図1　人体と様々な室内空気汚染物質



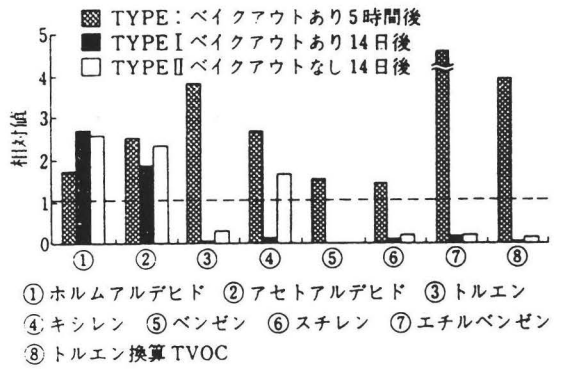

■図2　住宅の計画・設計時の検討フロー

| ＜建材など＞ | 含有可能性のある優先的取組物質 |
|---|---|
| 合板、パーチクルボード | ホルムアルデヒド |
| 化粧合板 | ホルムアルデヒド |
| 集成材 | ホルムアルデヒド |
| 断熱材（ガラス繊維） | ホルムアルデヒド |
| 複合フローリング材 | ホルムアルデヒド |
| ﾋﾞﾆｰﾙｸﾛｽ（塩化ビニル製品） | 可塑剤 |
| 防蟻剤 | 有機リン系、ピレスロイド系薬剤 |
| 木材保存剤（加圧注入） | トルエン、キシレン |
| 木材保存剤（表面処理） | 有機ﾘﾝ系、ﾋﾟﾚｽﾛｲﾄﾞ系薬剤、ﾄﾙｴﾝ、ｷｼﾚﾝ |
| 油性ペイント | キシレン |
| アルキド樹脂塗料 | キシレン |
| アクリル樹脂塗料 | キシレン |
| 油性ニス | トルエン、キシレン |
| ＜上記以外の接着剤＞ | |
| 壁紙施工用でん粉系接着剤 | ホルムアルデヒド |
| 木工用接着剤 | 可塑剤 |
| クロロプレンゴム系接着剤 | トルエン、キシレン |
| エポキシ樹脂系接着剤 | キシレン、可塑剤 |
| ｴﾁﾚﾝ酢酸ﾋﾞﾆﾙ樹脂系ｴﾏﾙｼﾞｮﾝ | トルエン、キシレン、可塑剤 |
| ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ（溶剤）系接着剤 | トルエン |

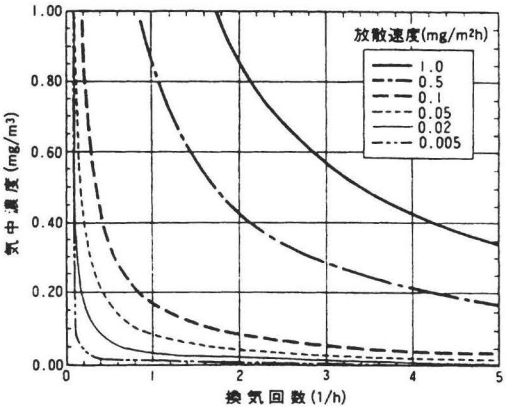
■表1　優先的取組物質を含む可能性がある建材・施工剤の例




■図3　施工から引き渡しのフロー




■図4　ベークアウトの効果




■図5　換気量と室内化学物質濃度との関係

# 室内化学物質汚染の防止対策としての換気

東北大学教授　吉野博

化学物質による室内換気汚染が問題となってきた背景には、原因となる化学物質を含む建材、家具、調度品、住宅設備、各種薬剤などが家庭内に持ち込まれるようになってきたこと、そしてまた住宅の気密度が増し隙間からの自然な換気が行われにくくなってきたことが挙げられる。前者に関しては、化学物質を含むそれらの使用を可能な限り抑えることや、入居前に化学物質を発散させてしまうこと[*1]が対策として考えられよう。後者の気密性能の向上に関しては、背景として省エネルギーに対する社会的な要請や快適性に対するニーズの増大が挙げられ、住宅に対する新省エネルギー基準[*2]にも寒冷地では気密住宅とすることが規定されており、気密化は大きな流れとして捉える必要がある。したがって室内空気汚染を防止するためには、室内を適切に換気することが最も重要であるということになる。ただし、住宅の断熱化は肯定しても、気密化は室内空気汚染の元凶であるとしてこれを否定する建築設計者、技術者は未だかなり多いのが現状である。

そこで本稿では住宅を対象とした換気のあり方と、その前提として気密性能を確保することの重要性について解説する。

## 気密化と室内空気質

### ・気密化の目的と気密性能の現状

気密性能とは、その建物がどの程度気密であるか、またはどの程度隙間があるかを示す住宅性能の一つである。近年、新築住宅の気密性能は格段に向上してきているが、気密化の目的は以下のとおりである。

①隙間風の防止による快適性の向上

②隙間風による暖冷房負荷の低減

③壁体内結露の防止

④設計で意図した換気性能の確保

上記の①②の目的に関して特に異論はないであろう。③の壁体内結露とは、暖房時に室内側から侵入する水蒸気が壁体内で冷えて水滴となることである。その結果断熱性能が低下し、木材が腐朽するおそれがあるためにこれは避けなければならない。また、断熱性能を高めれば、その分だけ結露発生の可能性が高くなる。したがって、防湿層を断熱材の室内側に設ける必要があり、隙間をなくすための気密層を防露の役割も兼ねて敷設するのが一般的方法である。④は、室内空気汚染の防止のために重要である。適切なレベルの気密性能が確保されない場合には、設計時に意図したとおりに換気経路（後述）が実現されず、十分に換気されない空間がでてくる可能性が生じるからである。

そこで、平成４年２月に改正された新省エネルギー基準では気密性能に関する規定が盛り込まれ、地域区分Ⅰ（北海道）では気密住宅（床面積当たりの相当隙間面積（以下、隙間面積と略称する）が

5cm²/m²以下）とすること、地域区分Ⅱ（青森県、秋田県、岩手県）では気密住宅とするよう努めるものとすること、としている。また、最近の新築住宅における断熱・気密化の傾向や地球温暖化問題などを背景に、いわゆる次世代省エネルギー基準案[★3]が住宅・建築省エネルギー機構の中に設けられた委員会[★4]で作成されたが、その中の気密規定には日本全国一律に、隙間面積を5cm²/m²以下とすること、地域区分Ⅰ、Ⅱでは2cm²/m²以下とすることが盛り込まれている。ちなみにカナダR2000住宅の技術指針[★5]では、約1cm²/m²の隙間面積を確保すること[★6]が規定されている。

なお、住宅の気密性能に関する評定制度が住宅・建築省エネルギー機構で平成4年度より開始され、評定を受けた工法は平成9年12月で50件[★7]となっている。

現実の新築住宅においても、寒冷な地域では隙間面積が2cm²/m²を下回ることは珍しくなくなり、工務店や住宅メーカーの一部ではいかに小数点以下の小さな値が出るかを競っている向きもある。どの程度の気密性能が要求されるべきかについては、現実の環境条件の下で設計の意図どおりに換気が行われるかどうかで判断する必要があり、その面からいえば気候条件や換気システムにもよるが1～2cm²/m²もあれば十分[★8]である。いたずらに気密化に走ることは意味のあることではない。

**・気密性能と室内空気質**

気密性能の高い住宅において十分な換気が行われない場合には、室内の空気汚染が問題となる。気密性能との関連で居間において空気汚染濃度（この場合は二酸化炭素（$CO_2$）濃度）を調べた例[★9]を図1に示す。$CO_2$の許容量に関していえば、それ自体の害を評価する場合、5,000ppmぐらいまでは人体への影響はないとされているが、室内空気の全般的な汚れ具合を示す指標として用いる場合は、1,000ppmの値が用いられてきた。図によれば、開放燃焼型の石油ストーブを使用している住宅の$CO_2$濃度は、他の住宅に比べて大きな値を示しており、4,800ppmに達している住宅もある。また、隙間面積が約5cm²/m²以下になると、それらの住宅を除いても$CO_2$濃度の高い住宅が出現している。しかし、居室の連続換気を行っているカナダR2000仕様の住宅の$CO_2$濃度は低く維持されており、換気の効果が明確に現れている。

隙間面積が5cm²/m²の住宅の漏気量は、試算によれば、内外温度差20℃、風速4m/sで建物が密集している地域では、0.3回/h程度と推定され、やや少ないと判断される。したがって、5cm²/m²以下の気密住宅においては、開放燃焼型ストーブの使用は避けるべきであり、化学物質による空気汚染を防止するためにも、居室に対する常時換気を前提として外気を各室に確実に導入するように換気設計を行う必要がある。

## 換気計画

**・必要換気量**

換気計画とは、必要な換気量を必要な場所に供給するための換気システムを建物全体として考えることである。そのためには必要換気量を算出することが第一の課題となる。

必要換気量は、人体に影響のないレベル、すなわち許容濃度と汚染物質の発生量とが明らかであれば簡単に算出[★10]出来る。しかしながら、この両方が明らかになっている物質は極めて少ない。主な汚染物質の許容濃度に関しては、空気調和・衛生工学会の換気規格[★11]の中に表１のようにまとめられている。同表の下欄には、いわゆる化学汚染物質としてホルムアルデヒドとTVOC（総揮発性有機化合物）の値が示されている。しかし、これらの物質の発生量データは十分でないため個々の物質に対する必要換気量を求めることは現状では不可能に近い。そこで発生量のデータが整うまでは、$CO_2$の許容量である1,000ppmを根拠として算定することになるが、その場合には一人当たり20～30$m^3$/hの必要換気量[★12]となる。また、新省エネルギー基準の解説書[★13]によれば、住宅における各室の必要換気量は表２のように示されており、居室における数値は一人当たり20$m^3$/hとなっている。気密な住宅の場合には常時、この量を確保する必要がある。

ちなみに必要換気量に関して米国暖房冷凍空調協会の規格案[★14]では、事務所建築の場合には、在室者一人当たりの必要換気量、在室者数ならびに同時在室率から求まる値と、それとは別に化学汚染物質に対する必要換気量（床面積当たりの必要換気量と床面積から求める）を合計して求めることが規定されている。

**・換気方法と換気経路**

換気方式としては、送風機を用いる第１種、第２種、第３種の機械換気と送風機を用いないパッシブ換気がある。第１種機械換気は外気を供給するための給気機と室内空気を排出する排気機の両方を備えたシステム（強制給排気システム）である。第２種は給気機のみで換気口から室内空気を排出する方式、第３種は排気機のみを備え給気口から外気を導入するシステム（集中強制排気システム）である。したがって室内の圧力は第１種の場合は給気機・排気機の能力によって調整が可能、第２種の場合は室内が正圧、第３種の場合は負圧となる。住宅では室内の湿気が壁体内に侵入しないように負圧とすることが望ましく、第２種機械換気は住宅では一般には用いられない。第１種、第３種のシステム概念図[★15]を図２、図３に示す。パッシブ換気は排気筒を設けた自然換気システムであり、送風機を用いずに室内外の温度差による浮力効果と外部風による誘引効果を利用して換気するシステムである。

換気経路とは、どの部屋に外気を取り入れるか、その外気をどのように経由させてどこから排気するかといった換気空気の道筋のことである。基本的には、汚染物質や臭い、水蒸気、熱などの発生が少ない居間、寝室などの居室に外気を導入し、それらの発生が多い空間、すなわち台所、浴室、便所などから排気する。

ただし、厨房用の必要換気量は300～400$m^3$/hと他のスペースの換気量に比べて圧倒的に大きく、厨房換気扇を運転した場合に、台所以外の部屋の居住性を乱すおそれがある。また運転時は室内圧が低下するので、半密閉燃焼器具からの逆流による不完全燃焼などが生じる可能性が大きく、運転時間が極めて短いこともあるので、他の換気経路とは独立させることを基本とする。

また、結露防止のために押入などの収納スペースにも外気が抜けていくように換気経路を考えるこ

とも必要である。床下空間における空気汚染が心配される場合には居室の空気を床下に導き、床下空間に設けた排気口から直接排出するという方法も有効である。第１種、第３種の換気経路の例★15を図４に示す。以下に換気システムの特徴を示す。

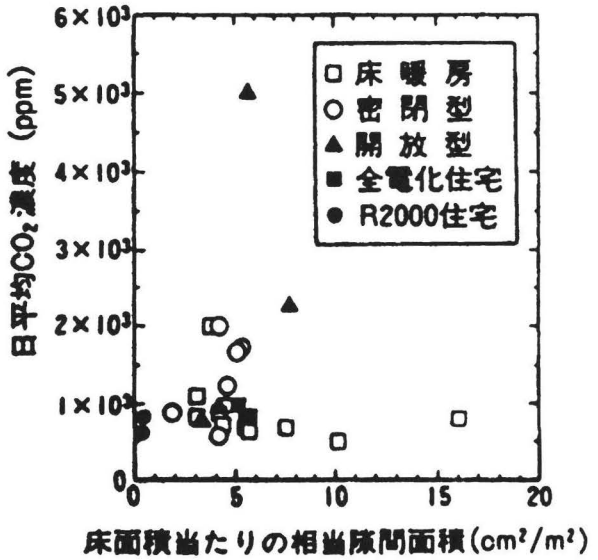
強制給排気システム：圧力のバランスが取りやすく制御性に優れ、安定している。各室への空気の分配が容易である。また熱交換器や暖房システムとの組合せが可能などの長所がある。ただし、設備費は比較的高い。

集中強制排気システム：外気を壁から直接導入する場合が多く、快適性を損なうおそれがあるので、給気口の形状・位置を考慮する必要がある。放熱器の脇に給気口を設けて余熱する方法もある。設置費が割安なので気密住宅ではよく用いられている。ただし、浮力効果が大きいときは、２階の外壁に設けた給気口から外気が十分導入されず、換気不足となる場合がある。

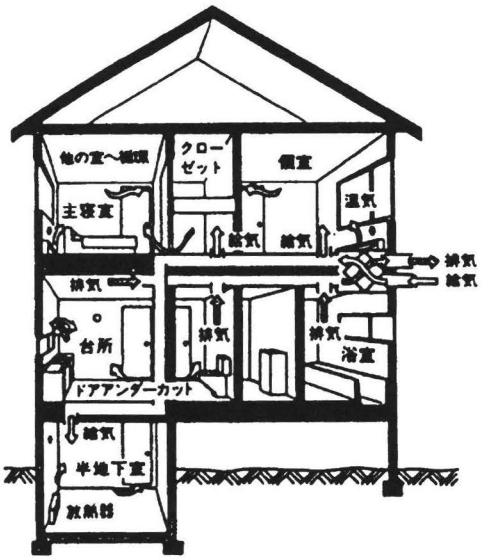
パッシブ換気システム：送風機を使わずに換気が出来るということで注目され、近年研究が盛んに行われている。短時間の変動を問題としなければ、ある時間の幅で換気量は確保出来るようであり、北海道では試験的に実在住宅に導入★16されている。図５に適用例★15を示す。温度差や風圧が駆動力として不十分な場合に備えて、補助用のファンを設けることも考えられる。

第３種機械換気やパッシブ換気の場合に、予熱のために外気を直接室内に導入しないで床下を経由させたり、地中のパイプを通したりすることも考えられ、それらの実施例もあるが、その際には床下の空間やパイプの中で汚染の発生がないような処置が必要である。

以上の方式のほかに、各室ごとに給気・排気を単独に行うことも考えられ、北海道では各居室に熱交換換気扇を設置している例も多いようである★17。




■図1　気密性能と居間の$CO_2$濃度との関係[*9]




■図2　共生給排気システムの概念図[*15]

（a）　総合的指標としての汚染質と設計基準濃度

| 汚染質 | 設計基準濃度 | 備考 |
|---|---|---|
| 二酸化炭素 | 1,000 ppm | ビル管理法の基準を参考とした。 |

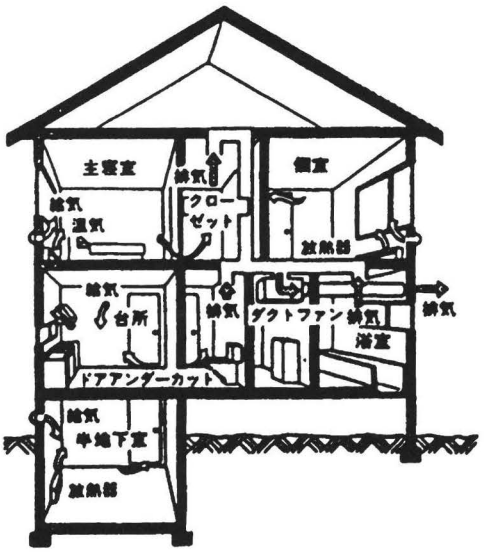
（b）　単独指標としての汚染質と設計基準濃度

| 汚染質 | 設定基準濃度 | 備考 |
|---|---|---|
| 二酸化炭素 | 3,500 ppm | カナダの基準を参考とした。 |
| 一酸化炭素 | 10 ppm | ビル管理法の基準を参考とした。 |
| 浮遊粉塵 | 0.15 mg/m³ | 〃 |
| 二酸化窒素 | 210 ppb | WHOの1時間基準値を参考とした。 |
| 二酸化硫黄 | 130 ppb | WHOの1時間基準値を参考とした。 |
| ホルムアルデヒド | 80 ppb | WHOの30分基準値を参考とした。 |
| ラドン | 150 Bq/m³ | EPAの基準値を参考とした。 |
| アスベスト | 10本/l | 環境庁大気汚染防止法の基準を参考とした。 |
| 総揮発性有機化合物（TVOC） | 300 μg/m³ | WHOの基準値を参考とした。 |

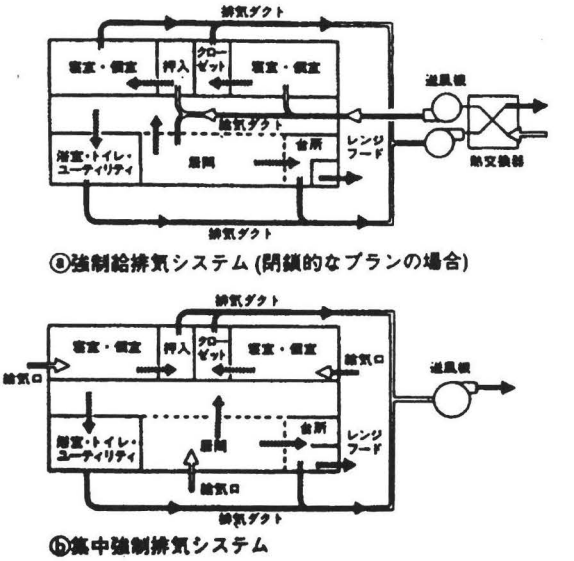
■表1　室内空気汚染の設計基準濃度[*11]

| 家全体の換気量：0.5回/h | | | |
|---|---|---|---|
| | 室の種類 | 使用時 | 常時（最小） |
| 室別の排気量 | 台所<br>・ガス熱源（フード付） | 30KQまたは300m³/hの大となる方（K：理論廃ガス量、Q：燃料消費量） | 60 m³/h |
| | ・電気熱源 | 300 m³/h | 60 m³/h |
| | 浴室 | 100 m³/h | 40（20）m³/h |
| |便所 | 40 m³/h | 20 m³/h |
| | 洗面所 | 60 m³/h | 20 m³/h |
| | 洗濯所 | 60 m³/h | 20 m³/h |
| 室別の入外気導量 | 居間・食堂<br>寝室・地下室（納戸） | | 20 m³/h・人<br>20 m³/h |

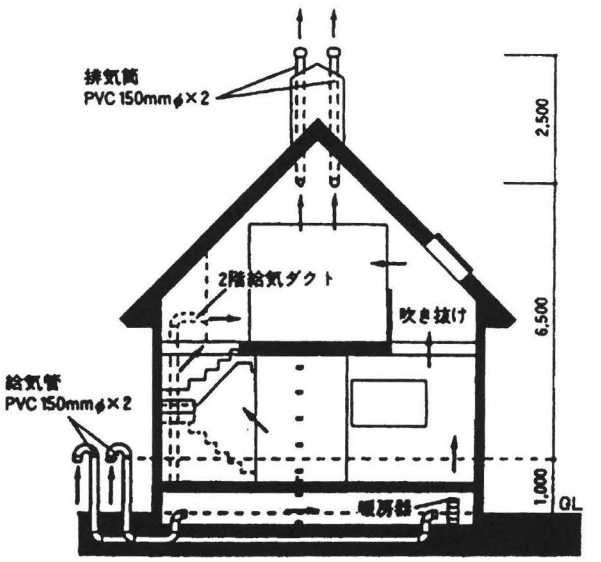
■表2　機械換気設備を設置している気密住宅における必要換気量の目安[*13]




■図3　集中強制排気システムの概念図[*15]




■図4　換気経路の例[*15]




■図5　パッシブ換気システムの実施例[*15]

# 室内空気汚染防止のための設計計画

（C＋A：シーラカンス　アンド　アソシエイツ）
小泉　雅生

ここでは、先日竣工した実験棟の例をあげて、その設計・施工管理のプロセスに沿って、室内空気汚染防止のための設計計画についての報告を行う。

## ■ハウス・ジャパンの概要

今回我々が計画した建物は、通産省主導の「ハウスジャパン―生活価値創造住宅開発プロジェクト」の中間実証棟である。７カ年にわたるプロジェクトの中間時に研究・開発途上の技術を検証するための実験施設であり、プロジェクト参加企業の各研究テーマが盛り込まれている。形式・規模としては住宅であるが、実際に人が住まうわけでもないし、またモデルハウスとして量産化されることを目指しているわけでもない。だが、21世紀の住宅像を探るというプロジェクト全体の主旨にのっとり、実験施設として単に各社の研究テーマ・開発技術をひとつの建物の中に納めるだけではなく、さらに健康性への配慮、高断熱・高気密化への対応をすることが、設計上のテーマとして織り込まれている。

## ■平面・断面計画について

平面計画の上でも、未来の住宅像を探るべく幾つかの提案を行っている。まず住宅をその機能的な側面から

①中に住まう人間の実際的な活動領域である「居室」

②そこでの活動をサポートするための水廻りや収納といった諸室や設備機器の設置スペースとしての「コア」

③居室へのアクセスのために確保された空間である「動線」

の３つに還元してとらえ、それをどう１軒の住宅の中で組み合わせるかをスタディしている。この建物では、平面の中央部に「コア」が一列に配置され、外周部に変形したロの字状に「動線」が回り、その間に「居室」が確保されるという図式となっている。結果として出来た平面は、伝統的な民家のいわゆる田の字型プランを連想させるものとなった。

外周部に動線を設けたのは、居室に対する熱環境的な緩衝領域となることを期待したからであるが、民家の場合の外気と連続的につながっていく広縁に対し、敷地に十分の大きさがとれない都市的な状況では外周部の位置付けもおのずから変わってくるだろう。隣棟が迫っていて水平方向の風通しが確保しにくい敷地を想定し、ここでは周囲の開口部を地窓程度に限定し、中央部のコア上部に開閉可能なトップライトを設置することで、圧力差を利用して自然換気が行われるように考えている。夏期の熱取得量の大きい西面については開口部を設けず、屋根材をそのまま垂直面に葺き下ろす考え方とし、

屋根同等の断熱性能を確保している。また、コアの上部は吹き抜けとなっており、トップライトからの光が1階までおりてくるかたちとなっている。この設備機器が集約されたコアは、いわば住宅の中での「裏」であるが、環境的にはそれが裏返しされて光と風の出入りする外界への窓、すなわち「表」として機能している。

## ■材料について

この建物では健康性に配慮した住宅として、使用材料について健康性（ホルムアルデヒド、VOCの発生量を抑える)、高断熱・高気密への対応といった観点から選択を行っている。

材料の選択にあたっては、各建材メーカーから提示されるデータを参考にすることとなるが、それらは材料単体としてのデータでしかない。合わせて、その材料がどのような施工方法を要求し、その過程で用いられる材料は何であるかを認識し、それらの副次的な材料の安全性を同時に確認する必要がある。すなわち、固定方法、下地材、下地処理、目地の処理などを合わせて考慮しなければならない。幸い今回は実験グループの協力を得て、素材や材料を実際に事前に計測することが可能であり、できるだけ現場で採用する工法に近い状態でサンプルを作成して計測を行っている。逆に、現場での工法とは異なった形でサンプル作成をせざるを得ないときには、基材・下地材の影響が出ないようにその選定には十分の配慮が必要だろう。

健康性に配慮した材料選択を行う場合、自然素材を利用した建材を選択するケースが想定されるが、そういった建材は比較的小さなメーカー・代理店のみが扱っている場合が多い。そういったケースでは往々にして在庫がない、納期がかかるといった問題が生じたり、そもそもそれらの情報を入手することに多くの時間と労力をさかなければならない。また、商品としては存在していてもある程度のロットとならないと対応してもらえない、あるいは極端に割高になるなど、個別の設計事務所レベルでは入手が困難というケースもある。

総じて、現状では材料の情報収集・実際の材料入手にかなりの労力を必要とする。しかし、近年各材料メーカー・ユーザーの意識は高まっており、上記のロットの問題などは健康性に配慮した材料が普及してくれば自然と解決されるだろう。より容易に情報・材料の入手ができるようになることを期待したい。

実際に今回の建物で使用した材料は、土台はひのき材として防腐・防蟻処理をせずに用いている。下地合板についてはF1の規格を満たしたラワン合板としている。これはCOFI他複数のメーカーが手がけており、比較的入手が容易である。断熱材は様々な製品があるが、断熱性能・リサイクル性・施工法（隙間なく施工ができるか）・経済性（コスト）・製造時や燃焼時の問題など、各製品とも一長一短で選択に迷うところであるが、水平面と西面については断熱性能を重視して押出発泡系の材料を、南・北・東の壁面は自然素材である羊毛を用いている。仕上げ材料については、リサイクル性なども考慮し一部実験的にガラスそのものを内装の仕上げ材料とした。他の部分は、壁・天井はプラスターボードに水性ペイント、床フローリングなどの木部は有機溶剤を用いない塗装（オスモカラー）を基

本としている。また、開口部についてはガラス自体の性能を上げるべく真空ガラスにLOW-Eペア加工を施し３重ガラスとし、ガラス厚18mmで熱貫流率K＝0.74という数値を達成している。

建材についてはここ１年で大手の建材メーカーのカタログにF1、F2といったグレードが記載される様になってきた。それに比べると、キッチンや洗面台・家具などの仕上ユニットや木製建具については、空気汚染に対する対策が立ち遅れているようで、今回の設計段階（9705-9710）では既製品での対応は不可能であった。家具、木製建具ともに表面の化粧単板やフラッシュパネルの製作過程での接着剤の使用が問題となった。家具については厚手のF1合板（無垢）による制作物の塗装仕上げとしたが、重量や仕上がりのグレード感、耐久性などに課題が残された。建具についても、F1仕様の既製建具は大きさやグレードの制約があり、今回は参加企業の協力により何とか対応できたが、実際の設計の現場ではかなりの困難を伴うものと思われる。しかし、健康性に関する建材の状況は刻々変化しており、設計時に比べて現在ではだいぶ対応が容易になった部分もあり、今後さらによい方向に向かうであろう。

## ■施工監理

材料メーカーの意識が高まりつつあると先に述べたが、それに比して現場の職人レベルでの意識改革にはまだまだ時間がかかるのではないかという印象を持っている。慣行でつい接着剤を併用してしまうといったところがあり、現場にはいる前に監督及び職人に十分な説明を行い、理解を求めることが肝要だろう。この現場では、現場監督と協議した上で、計測結果の優れた接着剤を現場に常備し、各下職の持ち込む接着剤を用いさせないというルールとした。

また、塗装については一般の塗料に比べ色むらが出やすい、タッチアップがしにくいといった点があるので、施工上の配慮と共にクライアントにも理解を求めておく必要があるだろう。

## ■最後に

室内空気汚染防止のためには、使用材料に細心の配慮をすることはもちろん、先に述べてきたように容易に換気が行われるような平面計画・断面計画や実際の現場での施工状況をふまえた構法が要求される。すなわち室内空気汚染防止は、環境工学的な観点だけでなく、材料・建築計画・建築構法さらに流通などの幅広い知識と意識を持って設計にのぞまなければ実現しないと考えている。設計者にはこれらの状況を総合的に判断する役割が期待されるのだろうが、同時にもう少しこういった入り組んだ情報を、整理された状態で簡便に得ることができるシステムの整備や材料学の専門家の出現が待たれるところである。

# 室内空気汚染の人体影響

## シックハウス症候群（住宅におけるシックビルディングシンドローム）の影響

国立講習衛生院

池田　耕一

| 濃度(ppb) | 訴え率(%) | 刺激の程度* |
|---|---|---|
| 1,500～3,000 | 20%<br>30%以下 | 7～10<br>5～7 |
| 500～1,500 | 10～20%<br>30%以下 | 5～7<br>3～5 |
| 250～500 | 20% | 3～5 |
| 250以下 | 20%以下 | 1～3 |

（注）＊刺激指標（文献に示された臨床的影響から導かれたスケール）

10：強い目，鼻，喉への刺激，強い不快感，強い臭気

7：中程度の目，鼻，喉への刺激，中程度の不快感

5：弱い目，鼻，喉への刺激，弱い不快感

3：軽微な目，鼻，喉への刺激，軽微な不快感

1：感知し得る程度の目，鼻，喉への刺激，感知し得る程度の不快感

0：影響なし

■表15　人がホルムアルデヒドに被曝したとき受ける刺激[7]

| 建築物 | 測定場所 | 時間値(ppb) |
|---|---|---|
| マンション | 居間 | 83 |
| | 寝室 | 125 |
| | 子供部屋 | 48 |
| オフィスビルA | 事務室 | 1～41 |
| 公共図書館 | 閲覧室 | 28 |
| 同 | 同 | 35 |
| オフィスビルB | 本館 | 47 |
| | | 71 |
| 映画館A | | 1～9 |
| B | | 35 |
| 病院 | 待合室 | 25 |
| | 診療室 | 13 |
| オフィスビルC | 喫茶室 | 40 |
| | | 63 |
| 大規模家具店 | | 60 |
| プレハブ住宅A | （新築） | 42～200 |
| B | （築7年） | 2～67 |
| デパートA | 家具売り場 | 2～79 |
| | 玩具売り場 | 40 |
| | 乳児休憩室 | 29 |
| B | 大工用品売り場 | 44 |
| | カーペット売り場 | 89 |
| スーパーマーケットA | 雑貨売り場 | 65 |
| | | 32 |
| | | 57 |
| | 飲食店 | 4～42 |
| B | 洋服売り場 | 7～36 |
| | 雑貨売り場 | 30～65 |
| 一般住居A | 居間 | 8～45 |
| | | 12～125 |
| B | 居間 | 172 |
| | 寝室 | 136 |
| | 台所 | 145 |
| C | 居間 | 197 |
| | 子供部屋 | 290 |
| | 台所 | 107 |

■表16　わが国におけるホルムアルデヒドの室内測定結果の例

(a) モデルカー組立作業

| 条件 | 作業者位置（机上 0.3 m） | | | | | 作業者の 1 m 後方（床上 1.2 m） | | | | | 作業者の 2 m 後方（床上 1.2 m） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | シクロヘキサン ppm | アセトン ppm | 酢酸 n-ブチル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルエン ppm | シクロヘキサン ppm | アセトン ppm | 酢酸 n-ブチル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルエン ppm | シクロヘキサン ppm | アセトン ppm | 酢酸 n-ブチル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルエン ppm |
| 作業中 | 3 | 9 | — | — | — | 2 | 8 | — | — | — | <1 | 2 | — | — | — |
| | 3 | 13 | — | — | — | 3 | 12 | — | — | — | 3 | 11 | — | — | — |
| | 4 | 12 | — | 4 | — | 5 | 17 | — | 6 | — | 4 | 15 | — | 5 | — |
| | 5 | 15 | — | 3 | — | 6 | 21 | — | 4 | — | 5 | 16 | — | 4 | — |
| | 5 | 16 | — | 5 | — | 5 | 16 | — | 5 | — | 4 | 12 | — | 3 | — |
| | 5 | 19 | — | 5 | — | 5 | 18 | — | 6 | — | 5 | 19 | — | 3 | — |
| 作業後 | 6 | 20 | — | 5 | — | 7 | 24 | — | 8 | — | 6 | 22 | — | 7 | — |
| | 4 | 16 | — | 4 | — | 5 | 17 | — | 6 | — | 5 | 18 | — | — | — |

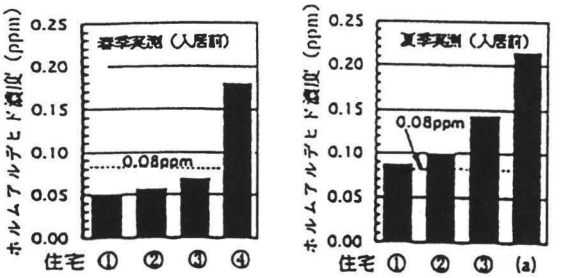
(b) 油性塗料刷毛塗り仕上げ作業

| 条件 | 作業者位置（机上 1.2 m） | | | | | 作業者の 1 m 後方（床上 1.2 m） | | | | | 作業者の 2 m 後方（床上 1.2 m） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 炭化水素類 ppm | 酢酸ニチル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルニン ppm | キシレン ppm | 炭化水素類 ppm | 酢酸ニチル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルニン ppm | キシレン ppm | 炭化水素類 ppm | 酢酸ニチル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルニン ppm | キシレン ppm |
| 作業中 | 3 | 2 | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| | 7 | 7 | 2 | 2 | 8 | 4 | 3 | 1 | 1 | 4 | 5 | 4 | 2 | 2 | 6 |
| | 10 | 11 | 2 | 3 | 11 | 8 | 8 | 2 | 3 | 9 | 7 | 7 | 1 | 2 | 8 |
| | 16 | 16 | 3 | 5 | 19 | 13 | 13 | 1 | 3 | 15 | 9 | 10 | 1 | 2 | 11 |
| | 22 | 25 | 2 | 6 | 25 | 16 | 16 | 1 | 3 | 17 | 15 | 16 | 1 | 3 | 14 |
| | 21 | 21 | 1 | 5 | 23 | 19 | 19 | 1 | 5 | 21 | 22 | 22 | 2 | 5 | 16 |
| 作業後 | 25 | 25 | 1 | 5 | 25 | 20 | 22 | 1 | 5 | 23 | 15 | 16 | 1 | 3 | 16 |
| | 27 | 29 | 2 | 6 | 29 | 26 | 27 | 2 | 5 | 28 | 26 | 28 | 1 | 5 | 28 |
| | 25 | 29 | 1 | 3 | 27 | 26 | 28 | 2 | 3 | 27 | 26 | 29 | 2 | 6 | 27 |
| | 20 | 25 | 1 | 2 | 20 | 20 | 24 | 2 | 3 | 21 | 20 | 23 | 1 | 2 | 25 |
| | 19 | 19 | 1 | 2 | 15 | 24 | 24 | 2 | 2 | 19 | 20 | 23 | 1 | 4 | 18 |

(c) スプレー塗料吹き付け作業

| 条件 | 作業者位置（机上 1.2 m） | | | | | 作業者の 1 m 後方（床上 1.2 m） | | | | | 作業者の 2 m 後方（床上 1.2 m） | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | プロパン ppm | ジメチルエーテル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルニン ppm | キシレン ppm | プロパン ppm | ジメチルニーテル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルニン ppm | キシレン ppm | プロパン ppm | ジメチルニーテル ppm | メチルイソブチルケトン ppm | トルニン ppm | キシレン ppm |
| 作業中（一本目） | 48 | 60 | 49 | 52 | 50 | 42 | 57 | 84 | 96 | 40 | 27 | 33 | 56 | 70 | 45 |
| 作業後 | 144 | 96 | 243 | 264 | 210 | 138 | 93 | 243 | 176 | 160 | 138 | 183 | 302 | 205 | 260 |
| | 126 | 84 | 264 | 276 | 225 | 102 | 66 | 243 | 240 | 213 | 114 | 75 | 210 | 165 | 180 |
| | 108 | 69 | 231 | 200 | 150 | 86 | 72 | 243 | 210 | 190 | 103 | 69 | 192 | 150 | 150 |
| | 63 | 64 | 264 | 230 | 238 | 72 | 54 | 200 | 160 | 135 | 68 | 60 | 168 | 170 | 135 |

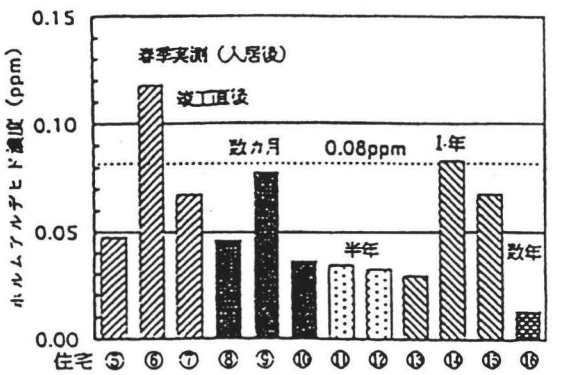
■表24　VOCのわが国の測定例[50]

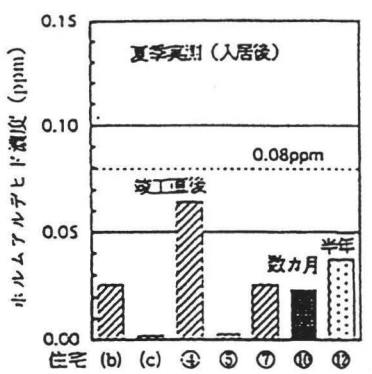



■図2（1）我国の集合住宅における実測例（入居前）[31]

| 国　名 | 基準値(ppm) |
|---|---|
| 外気基準 | |
| アメリカ | 0.1 |
| 室内基準 | |
| 日　本 | 0.08 |
| アメリカ | |
| カリフォルニア | 0.2 |
| | 0.05（新築） |
| ミネソタ | 0.5 |
| ウィスコンシン | 0.2 |
| デンマーク | 0.12 |
| オランダ | 0.1 |
| スウェーデン | 0.1（新築） |
| | 0.4～0.7 |
| ドイツ | 0.1 |
| 労働衛生基準 | |
| アメリカ | 3.0（8時間平均値，OSHA） |
| | 5.0（最大値，OGHA） |
| | 2.0（最大値，ACGIH） |
| | 1.0（30分平均値，NIOSH） |

■表17　ホルムアルデヒドに関する各国の基準[31]



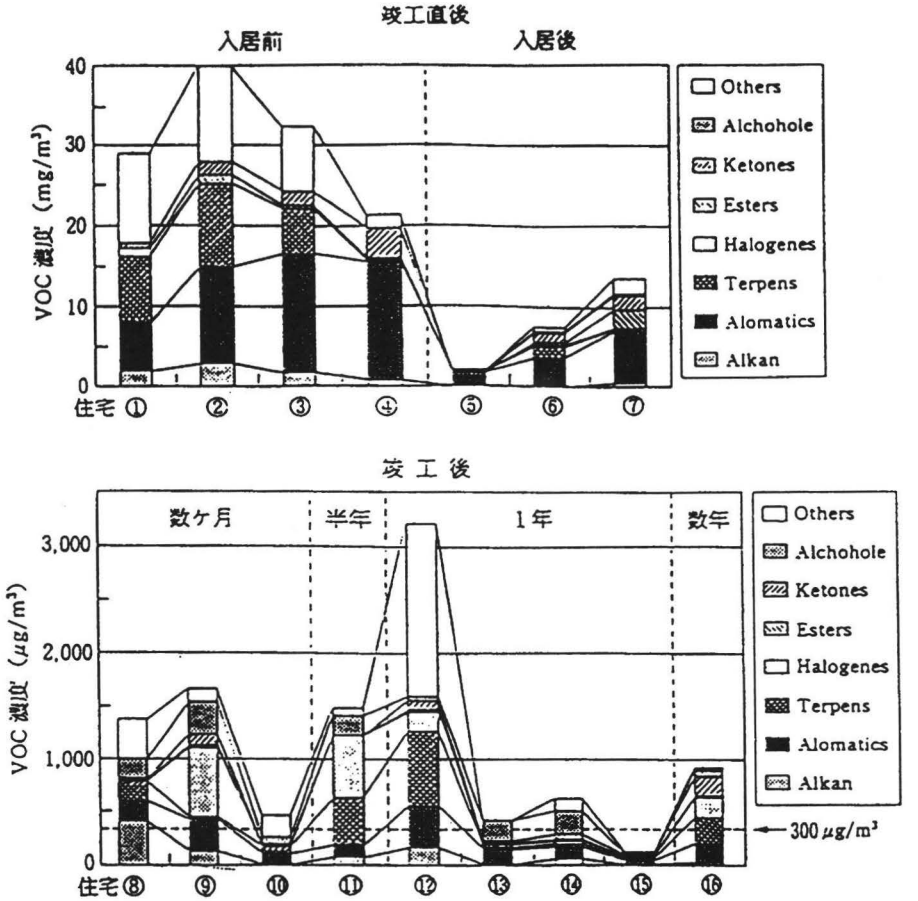




■図2（2）我国の集合住宅におけるホルムアルデヒド濃度実測例（入居後）

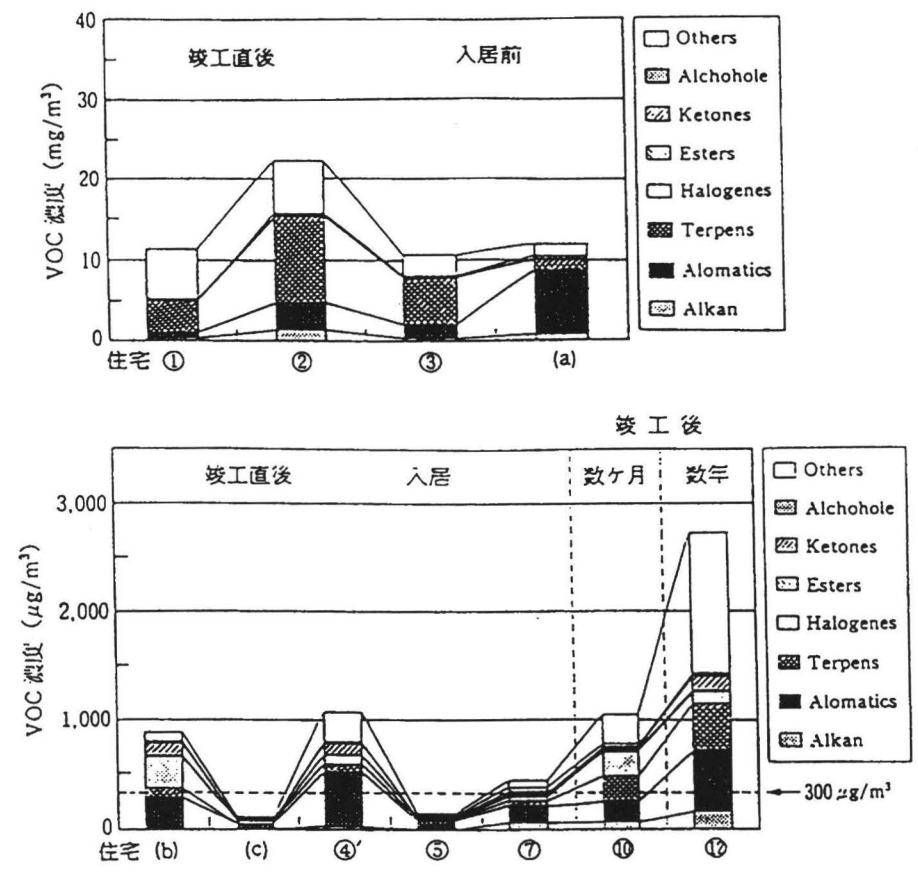
| VOCの分類 | 濃度（$\mu g/m^3$） |
|---|---|
| アレカン | 100 |
| 芳香族炭化水素 | 50 |
| テルペン | 30 |
| ハロカーボン | 30 |
| エステル | 20 |
| アルデヒドケトン（ホルムアルデヒドを除く） | 20 |
| その他 | 50 |
| VOCsの統計（目標値） | 300 |

（注）個々の化学物質の濃度は，属する化学物質類の濃度の50%を超えてはならない。またTVOCの10%を超えてはいけない。

■図6　リブのない短柱の座屈曲線




■図6（1）我国の集合住宅室内におけるVOCの実測例[51]（春季実測）




■図6（2）我国の集合住宅室内におけるVOCの実測例[51]（夏季実測）

# 室内空気汚染の現場から

寺澤小児科医院

寺澤　雅彦

21世紀になっても人間は動物であることに変わりはありません。

きれいな空気を吸い、きれいな水をのみ、汚染のない安全な食べ物を食べなければ生きてはいけません。そんな当たり前のことに気付けば今の様々な問題を解決する方法は必ずみつかると思います。

昨今の報道をみると、対症療法ではすぐに立ち行かなくなるのは目に見えています。多少苦しくても原因を絶つことをしないと問題はさらに深刻になってしまいます。

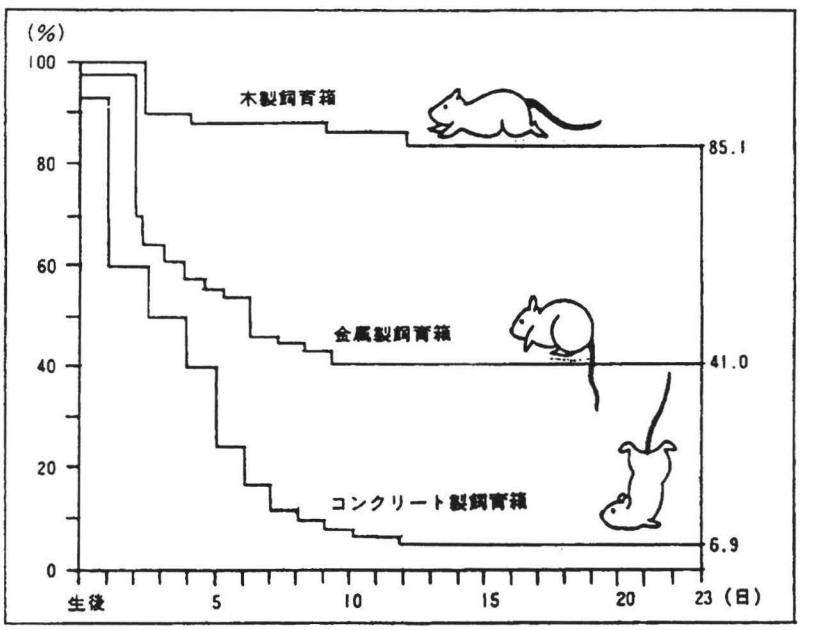
## ２１世紀でも人間は動物である

もし途切れたらどれだけ生きられるか

| | |
|---|---|
| 空気・酸素 | 3分 |
| 水 | 10日（14400分） |
| 食物 | 30日（43200分） |

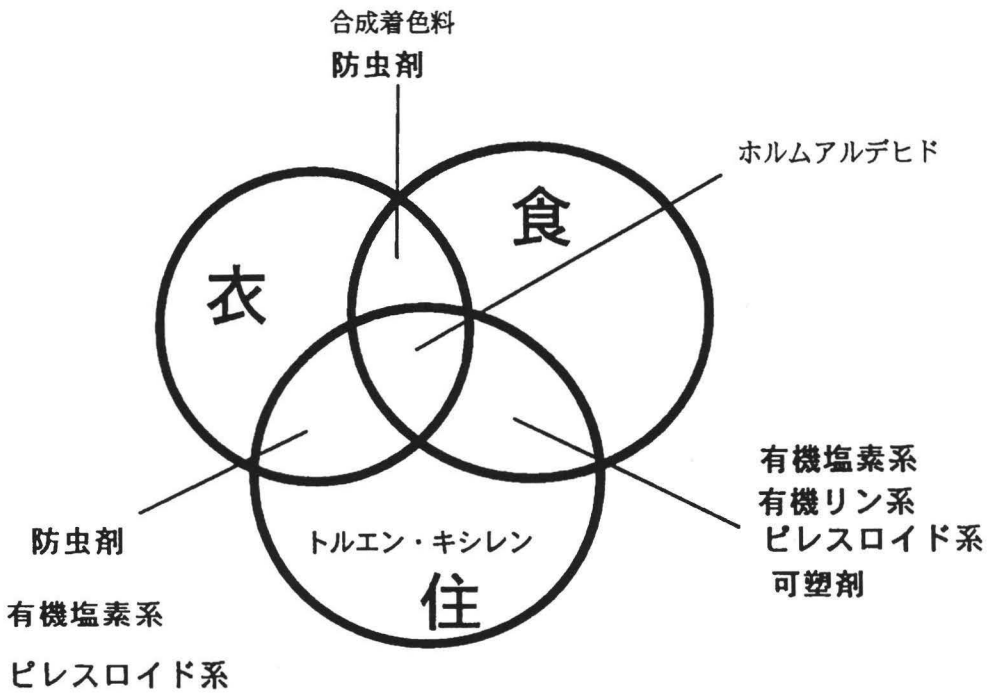
## 住む家によって寿命が違ったら？

マウスの生存率




静岡大学による研究結果より

# 食品と住宅に共通して含まれる毒性物質




太字は環境ホルモンまたは可能性のある物質

| | | 食品 | 住宅 |
|---|---|---|---|
| ホルムアルデド | 発ガン性<br>皮膚・目・粘膜刺激<br>真珠貝・カキ養殖に被害 | フグ・エビに残留 | 接着剤・合成樹脂<br>クロス・家具・<br>構造用集成材・断熱材 |
| トルエン | 中枢神経の麻痺<br>皮膚・目の刺激<br>ぜんそく | | 塗料の有機溶剤<br>接着剤・<br>木材保存剤 |
| キシレン | 中枢神経の麻痺 | | 塗料の有機溶剤<br>接着剤・木材保存剤<br>可塑剤の原料 |
| 木材保存剤 | 有機リン系殺虫剤　神経毒<br>有機塩素系殺虫剤　発ガン性<br>有機ヨウ素化合物 | 食品に吸着・残留<br>輸入穀物のポストハーベスト農薬 | フローリング<br>土台 |
| 可塑剤<br>（柔らかくする） | フタル酸エステル等　発ガン性<br>有機リン系　神経毒 | 学校給食パンに残留<br>（クロルピリフォスメチル+ＴＣＥＰ）<br>ＰＣ食器から溶出 | 塩化ビニール壁紙<br>カーテン（難燃剤）<br>断熱材・接着剤 |
| シロアリ駆除剤 | 有機リン系殺虫剤　神経毒<br>有機塩素系殺虫剤　発ガン性<br>ピレスロイド系 | 輸入穀物のポストハーベスト農薬<br>食品に吸着・残留 | 床下・室内の木材・<br>土壌 |

# 編集後記

平成9年度研究助成の成果をまとめ、第6回研究助成成果報告書と致しましたので、お届け致します。

研究者の方々には編集にご協力戴きまして有り難うございました。

禁 無 断 転 載

**第6回（平成9年度）研究助成成果報告書**

2000年3月31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
トステムショウルーム東京7階
TEL. 03－5626－1008
FAX. 03－5626－1033