第9回（平成12年度）
研究助成成果報告書

2003年5月

財団法人トステム建材産業振興財団

はじめに

安定した経済の成長と発展の下で、我々はより豊かで快適な住生活環境の向上に向け、あらゆる可能性を求め、これを追求しています。

換言すれば、長寿社会に適応した、高気密、高断熱、高機能化等々、新技術工法や建築材料、設備機器など、ハード面に対するニーズは、高度化、多様化してきておりますが、このような社会の多様なニーズに応えるため、住宅建材産業は、更なる社会環境の変化を先取りして、より良い生活空間を提供できる建材技術の開発を、積極的に取り組むことが要求されています。

トステム建材産業振興財団では、平成4年度より、「住宅・建材分野における調査・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。

本年は財団設立12年目を迎えますが、平成14年度までの助成先は延べ275件、助成金額は3億778万円に達しております。

今回の助成成果報告書は、第9回（平成12年度）に助成を行なったものの成果報告書をまとめたものであります。

これらの有意義な研究成果が、これからの住宅・建材産業の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・その他成果発表会、さらに自主事業の運営を図っていきたいと存じますので、よろしくご支援、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
理事長　潮田　健次郎

目　　次

はじめに

第１部　調査研究

１－１　竹材の木造住宅部材への有効利用に関する研究 (99-03)
大分大学　工学部　福祉環境工学科　教　授　井上 正文 …… 1

１－２　在宅療養者の住環境に関する研究（感染防止面からのアプローチ） (99-06)
東海大学 医学部 感染症学科　講　師　永倉 貢一 …… 19

１－３　住宅政策等が住宅部品・建材の発展に与えた要因に関する研究 (99-11)
九州芸術工科大学 環境設計学科　教　授　片 野　博 …… 23

１－４　健康住宅のための天然物を利用したシロアリ被害防止法(フィジカルバリアー)の開発に関する研究 (99-14)
秋田県立大学 木材高度加工研究所　教　授　土居 修一 …… 57

１－５　乾式施工パネル用の高耐久・高靭性セメント系複合材料開発に関する研究 (99-15)
秋田県立大学 建築環境システム学科　教　授　山田 寛次 …… 73

１－６　構造と仕上げ材の一体化を考慮したアルミニウム住宅構造システムの開発 (99-17)
名古屋工業大学　教　授　小野　徹郎 …… 89

１－７　視覚特性を考慮した階段・段差の見え方評価 (99-24)
奈良女子大学大学院 人間文化研究科　助教授　井上 容子 …… 95

１－８　基礎床暖房方式の熱的性能評価手法に関する調査研究 (99-25)
大阪市立大学 工学部 環境都市工学科　助 手 鍋島 美奈子 …… 119

１－９　バグ法による建材から発生する VOC 排出速度測定法の確立 (99-27)
東京大学大学院 新領域創成科学研究科　教　授　柳沢 幸雄 …… 131

１－10　超高齢社会を考慮したニュータウンの再生手法に関する研究 (99-28)
椙山女学園大学 生活科学部生活環境学科　助教授　村 上 心 …… 181

１－11 伝統的住民に高断熱高気密を施工する手法の確立と普及に関する研究 (00-02)
（有）安井設計工房　取締役　安井 妙子 …… 193

１－12 ガラス材を透過した日射の熱変換効果に関する実験的研究 (00-04)
熊本県立大学　環境共生学部　教　授　中村 泰人 …… 205

１－13 悪臭成分分解機能を有する新規住宅建材に関する調査・研究 (00-05)
室蘭工業大学　工学部　応用工学科　教　授　杉岡 正敏 …… 221

1－14 雑壁と床を考慮した軸組木造住宅の地震応答と壁量の関係に関する研究
(00-07) 豊田工業高等専門学校 建築学科　助教授　山田 耕司 …… 231

1－15 高耐久性住宅構築のための躯体内の掃気に関する研究
(00-13) 北見工業大学　機械システム工学科　教　授　坂本 弘志 …… 253

1－16 断熱材の位置とカビ発生に関する研究
(00-14) お茶の水女子大学　生活科学部　教　授　田中 辰明 …… 277

1－17 アルミニウム外装建材クリーニング剤の評価研究
(00-16) 科学技術庁 無機材質研究所 工学博士・主任研究官 和田健二 …… 353

1－18 家具に起因する室内ホルムアルデヒド(HCHO)濃度低減対策に関する研究
(00-17) 千葉工業大学 工学部建築学科　教　授　小峯 裕巳 …… 363

1－19 住宅用視界および採光制御高分子フィルムの開発
(00-18) 岐阜大学 工学部　助教授・工学博士 武野明義 …… 391

1－20 スギ樹皮・葉等の生物材料を用いた住宅用断熱材の開発
(00-19) 東京大学大学院　農学生命科学研究科　助教授　信 田 聡 …… 399

1－21 気象衛星画像を用いた住宅用太陽光発電システムの地域別発電量予測の実証的研究
(00-21) 福山大学 工学部 建築学科　助教授　上谷 芳昭 …… 473

1－22 建築材料の可視～遠赤外域のふく射特性計測に関する研究
(00-22) 岡山大学 工学部　助教授　吉田 篤正 …… 485

1－23 環境対応型アルミ建材のための粉体塗装システムの研究
(00-24) 茨城大学 工学部 電気電子工学科　教授・理学博士 竹内　学 …… 503

第2部　人材育成・論文

2－1 東京オリンピック代々木体育館の模型製作
(00-08) 長崎大学 工学部 構造工学科　助教授　松田 浩 …… 533

2－2 窓開閉行為の要因に関する申告調査、観察、室内環境測定による研究
(00-11) 京都大学大学院　工学研究科　博士課程　鈴木玉実 …… 541

第4部　研究発表会・シンポジウム

4－1 景観材料普及促進シンポジュウム「景観材料と環境の調和」
(00-25) 景観材料推進協議会　審議役　森田 博 …… 551

1－1　竹材の木造住宅部材への有効利用に関する研究

大分大学　工学科　福祉環境工学科
教授　井上正文

≪はじめに≫

竹は古来より我々日本人にとって最も身近な材料の一つであり、仕上材や造作材などの建築材料、籠やザルといった生活用具、その他玩具などに利用されてきた。しかしながら、我が国ではプラスチック系材料など様々な材料が氾濫する現在、竹の材料としての需要は減少している。そればかりか近年では竹のもうひとつの身近な姿であるタケノコさえ、外国からの輸入がその需要の大半を占めるようになっている。

このような竹の需要の大幅な減少に伴って、これまである程度、人の手で管理されてきた竹林は、今や、スギやヒノキの植林地を侵食し深刻な被害をもたらし、住宅地に広がったものはその地下茎が住宅の基礎や給排水管を破壊するなどの被害を引起こすなど問題となっている。これは、わずか3～5年ほどで完全に成長するという、竹の成長の早さによるものともいえ、その資源量が無尽蔵に近いことの裏返しであるといえる。

本研究は、このような竹材を大量に使用する手段として、建築構造材への使用をめざすものである。現在でも中南米地域では、竹材を建築構造材として使用することも一般化している。しかし、竹材を使用した場合、建築構造物として一定の強度性能を保持するためには、その接合法に工夫が必要である。接合部を縄で縛る接合法（写真1参照）や、材同士を組み、込栓を打ち込むことで固定する接合法（写真2参照）のような従来から使用されている接合法では、高い剛性や強度を確保することはできない。そこで、これに替わる接合法として、竹の中空部に何らかの充填材を挿入し、著者らが木材接合法として開発した「接合金物と接着剤を併用した接合法」[1)2)3)]（以下、<本接合法>とする。）を応用し竹材同士または竹材と木材との接合法を提案する。<本接合法>を用いることで図1に示すような様々な形状の接合が可能となる。

≪Ⅰ.新しい竹材接合法の強度性能≫

Ⅰ-1　接合金物と接着剤を併用した接合法

図Ⅰ-1に<本接合法>の概略を示す。<本接合法>の接合金物にはTタイプとSタイプの2種類が用意されており接合部の形状、施工状況によって選択できる。本実験では、仕口接合部にはSタイプ金物（直径18mm、長さ70mm）を継手接合部にはTタイプ金物（直径18mm、長さ150mm）を使用した。接着剤は発泡性ポリウレタン系樹脂接着剤を使用した。また、本実験では<本接合法>以外の接着剤使用箇所（充填材としての木材と竹の接合等）もこれと同じ接着剤を使用した。

接合金物の形状や接合部の施工手順及び耐力の算定方法等の詳細は参考文献[1)2)3)]を参照されたい。また、本実験での接着剤の養生期間は14日間とした。

Ⅰ-2　仕口の引張実験

材を直角に接合させた接合部（仕口接合部）の引張実験を行った。試験体の仕様及び使用竹材の寸法を表Ⅰ-1に示す。試験体の形状と寸法を図Ⅰ-2に示す。なお、表Ⅰ-1中のL1、L2は図Ⅰ-2中で示す寸法である。各シリーズの接合部の断面詳細を図Ⅰ-3に示す。 今回の試験体では、中空部の充填材として小径のスギ材（BT-t-wシリーズ）と無収縮モルタル（BT-t-mシリーズ）を採用した。なお、下部支持点に接する部分の竹中空部には支圧による竹材の破壊を防止するため、すべての試験体に対して無収縮モルタルを充填した。 また、加力ジャッキが取り付く試験体上部は、竹の繊維方向の割裂強度の低さを考慮し、端部に鋼管を挿入し、無収縮モルタルを充填して固定し、鋼管をジャッキに取り付け加力する形式を採用した。

Ⅰ-2-1　供試材

本実験に使用した竹の種類は大分県産のマダケで、あらかじめ油抜き処理されているものを使用した。

Ⅰ-2-2　試験体の製作方法

以下に試験体の製作手順について述べる。

BT-t-w シリーズ

①所定の断面を有する竹を選定し、寸法どおり切りそろえる。
②横材となる竹を木口面から２つに割り（写真Ⅰ-1 参照）、接合部となる中央の節に納まるようにスギ材を加工する。
③加工したスギ材に接着剤を塗付して接合部となる中空部に挿入し、同じ接着剤を用いて竹を貼り合わせる（写真Ⅰ-1 参照）。
④縦材の接合部となる中空部に納まるようにスギ材を加工し、接着剤を塗布して挿入する。この際、挿入する長さは各試験体ともに 15ｃｍとする。
⑤横材、縦材ともにドリルを使用し、接合金物挿入用の穴をあける。なおこの際、木工用では切削が急激すぎて竹材が割れてしまうため鋼材加工用ドリルを使用した。この時、横材の接合部突き合わせ部分に鋼製の特殊なドリル（写真Ⅰ-2 参照）を使用して 50mm のきり欠きを入れる。ただし、竹の形状が正円形ではないため、ナイフや、やすりを用いた調整が必要である。
⑥下部支持点及び加力ジャッキ取付け部分に無収縮モルタルを充填する。
⑦加工した各部材を、突き合わせた状態で固定する。
⑧接合金物を挿入し接着剤を注入する（写真Ⅰ-3 参照）。

挿入するスギ材は寸法を考慮し、あらかじめ円形に加工されたものを用意したが、実際は竹内部の複雑な形状にあわせるためにかなりの加工が必要であった。

BT-t-m シリーズ

①所定の断面を有する竹を選定し、寸法どおり切りそろえる。
②横材の接合部の突き合わせ部分に鋼製の特殊なドリル（写真Ⅰ-2 参照）を使用して径 50mm の穴をあけたのち、ナイフや、やすりを用いて穴の大きさを調整する。
③②であけた穴から無収縮モルタルを充填する。この時、モルタルには接合金物挿入用のスペースを確保するため、グリースを塗った木材の丸棒を硬化前のモルタルに挿入しておく。
④竹に接合金物挿入用の穴を鋼材加工用ドリルを用いてあける。
⑤縦材となる竹の接合部に一節分無収縮モルタルを全充填する。この時も横材と同じく接合金物挿入用の穴を設けておく。
⑥下部支持点及び加力ジャッキ取付け部分に無収縮モルタルを充填する。
⑦加工した各部材を突き合わせた状態で固定する。
⑧接合金物を挿入し接着剤を注入する（写真Ⅰ-3 参照）。

Ⅰ-2-3　実験方法

図Ⅰ-4 に実験に使用した加力装置と変位測定位置を示す。加力はオイルジャッキを使用した。装置の支持は支持側及び加力ジャッキ側ともにピン支持となるようにした。荷重の測定はロードセルによって行い、図Ⅰ-4 に示すように各部の変形の測定は変位計を用いて行った。載荷は、単調引張載荷で行った。

Ⅰ-2-4　実験結果

図Ⅰ-5 に各シリーズの代表的な試験体の荷重と接合部の開きの関係を示す。初期剛性、強度ともにスギ材充填の試験体（BT-t-w シリーズ）がモルタル充填の試験体（BT-t-m シリーズ）よりも上回っている。

写真 Ⅰ-4 及び、写真Ⅰ-5 にそれぞれのシリーズの代表的な破壊性状を示す。BT-t-w シリーズは、各試験体とも横材の曲げが進行した後、同材の側面のきり欠き部分付近に割れが発生し耐力を低下させ、その割れが進行して竹材を引き裂くことで終局となる（写真Ⅰ-4 参照）。BT-t-m シリーズは、すべての試験体で接合部分の縦材中空部に充填したモルタルと縦材の付着切れにより最終状態に至り、竹材には全く破壊はみられない（写真Ⅰ-5 参照）。

図 Ⅰ-5 に各試験体の最大耐力を示す。接合金物と接着剤の付着切れによって破壊すると仮定した場合の接合部の耐力の理論値[1)2)3)]は 953.7kgf となり、各試験体ともその値を下回っている。これは、破壊性状からもわかるように接合金物と接着剤の付着切れによる引抜けではなく、BT-t-w シリーズでは竹の割裂、BT-t-m シリーズでは竹とモルタルの付着切れによって最大耐力が決定されているためであると思われる。また、BT-t-m シリーズの最大耐力が極端に低いのは、竹内部の表皮と充填したモルタルの付着力が低かったためであると思われる。一方、BT-t-w シリーズでは理論耐力値をわずかに下回るものの、ほぼ同程度の値となっている。なお、理論値は接合金物の単位表面積当たりの付着耐力を 45kgf/cm^2 としたときの値である。

充填材として小径スギ材を使用した BT-t-w シリーズでは、耐力及び剛性において比較的良好な結果が得られた。しかし、このシリーズは加工段階でかなりの手間がかかるため施工方法に改良を加える必要がある。また、BT-t-m シリーズでの施工は BT-t-w シリーズに比べ容易だが、かなりの重量になることや高い強度が得られないなどの問題があり、両シリーズとも実用化に向けて多くの課題を残している。

Ⅰ-3 継手の引張実験

試験体の仕様及び使用竹材の寸法を表Ⅰ-2 に、試験体の詳細寸法を図Ⅰ-7 に、接合部の詳細を図Ⅰ-8 に示す。本実験の試験体では、竹材中空部に充填材としてスギ材を採用した。なお、＜Ⅰ-2＞の仕口の引張実験結果から、モルタルによる充填は、材軸方向の引張に対しての耐力が極めて低いことが明らかになったので採用しなかった。加力ジャッキとの接合は、竹の繊維方向の割裂強度の低さを考慮し、試験体上部及び下部の端部を鋼管に挿入し無収縮モルタルを充填して補強した。この鋼管をジャッキ及び支持点に取付けて加力する形式を採用した。

Ⅰ-3-1 供試材

本実験に使用した竹材は＜Ⅰ-2＞で使用したものと同様のものである。

Ⅰ-3-2 試験体の製作方法

以下に試験体の製作手順について述べる。

①所定の断面を有する竹を選定し、所定の寸法に切りそろえる。

②竹の接合部となる竹材中空部に納まるようにスギ材を加工し、接着剤を塗布して挿入する。各試験体とも挿　入する長さは 15cm とし、スギ材の挿入される 15cm 以内に節がある場合は、節を削り取りヤスリで平坦にした後スギ材を挿入する。

③鋼材加工用ドリルを使用し、接合金物挿入用の穴と枝　管挿入用の横穴を開ける（写真Ⅰ-6 参照）。木工用ドリルを使用しないのは、切削時に竹材に割れを生じさせないためである。

④下部支持部及び上部加力ジャッキ取付け部分を鋼管に挿入後、無収縮モルタルを注入する。

⑤①～④までの作業を行った部材を、突き合わせて固定し本接合法によって接合する（写真Ⅰ-7 参照）。

Ⅰ-3-3 実験方法

図Ⅰ-9 に実験に使用した加力装置と、変位測定位置を示す。加力はオイルジャッキを使用した。試験体の支持は、単純引張にするため支持側及び加力ジャッキ側ともにピンとなるようにした。荷重の測定はロードセルによって行った。変位の測定は、変位計を用いて接合部の開き、及びジャッキ取付け部と試験体端部とのずれを測定した。載荷は、単調引張載荷で行った。

Ⅰ-3-4 実験結果

図Ⅰ-10 に各試験体に対する荷重と接合部の開きの関係を示す。また、写真Ⅰ-8 に代表的な破壊性状を、図Ⅰ-11 に最大耐力を示す。破壊性状は各試験体いずれも竹と充填スギ材間の接着剤の剥離による充填材の抜けであり、接合金物の接着剤の付着切れによる引抜けは起こらなかった。

各試験体の耐力には大きなばらつきが生じた。これは、充填材であるスギ材と竹材の内壁の隙間に接着剤が完全に注入されず充填状態に差が生じたためであると考えられる。

具体的に述べると、極端に耐力の低い BI-t-w1 試験体では、竹の内側表面の凹凸が大きいため内部で竹材と充填スギ材の隙間が大きくなり、十分な接着力が発生しなかったためであると考えられる。

これに対し、耐力及び剛性ともに高いBI-t-w-2試験体では、竹材内部表面と充填スギ材間の接着剤の充填状態が良好だったため、接着力が増大したと考えられる。

BI-t-w-3試験体も、スギと竹の間の隙間がほぼ完全に接着していたことが確認できた。

これらの接着剤の充填性を改善するためには、竹内部における表皮の除去や挿入するスギ材に溝を刻むなどの処理が必要である。

Ⅰ-4　仕口の曲げせん断実験

試験体の仕様および使用竹材の寸法を表Ⅰ-3 に示す。試験体の詳細及び接合部詳細は、＜Ⅰ-2＞と同様である。竹材中空部の充填材として小径のスギ材（BT-b-wシリーズ）と、無収縮モルタル（BT-b-mシリーズ）を採用した。なお、下部支持点に接する部分の竹材中空部には、支圧による竹材の破壊を防止するため、無収縮モルタルを充填した。また、加力ジャッキと試験体の取付け部分は、仕口引張試験体の場合と同様、コンクリートを充填した鋼管で補強し、ジャッキに取付けて加力する形式を採用した。

Ⅰ-4-1　供試材

本実験に使用した竹材の寸法を表Ⅰ-3に示す。

Ⅰ-4-2　試験体の製作方法

＜Ⅰ-2＞で述べた仕口試験体製作手順と同様である。

Ⅰ-4-3　実験方法

図Ⅰ-12 に実験に使用した加力装置及び変位測定位置を示す。加力はオイルジャッキを使用し行った。横材は支点間隔 60ｃｍで完全固定した。荷重の測定はロードセルによって行い、図Ⅰ-12 に示す各部の変位の測定は変位計を用いて行った。加力は図Ⅰ-12 に示す方向に単調載荷によって行った。

1-4-4　実験結果

図Ⅰ-13 に各シリーズの代表的な荷重と加力点位置の水平変位との関係を示す。また、各試験体の最大曲げ耐力を、図Ⅰ-14 に示す。初期剛性はモルタルを充填したBT-b-mシリーズのほうが高いことがわかる。これは充填材であるモルタルの剛性が、スギ材の剛性に比べ高いことが影響していると考えられる。各シリーズの試験体において、変形の進行に伴う耐力低下は見られない。

BT-b-wシリーズでは、縦材に割れを生じた後、横材の切り欠き部分を跳ね上げるようにして終局状態となった(写真Ⅰ-9参照)。

BT-b-mシリーズでは、竹材への割れはほとんど見られず、モルタルが接合金物の先端を頂点とする円錐状（コーン状）に破壊した(写真Ⅰ-10参照)。

Ⅰ-5　まとめ

本研究の一連の実験では、竹材中空部への充填材として、スギ材と無収縮モルタルを使用した。スギ材については耐力及び剛性ともに比較的良好な結果が得られた。しかし、加工段階において多くの手間が必要である。また、加工精度のばらつき、特に竹の木口からスギ材を挿入する際、全体を竹の内部形状に合わせることは困難であり、内部に隙間ができる。この隙間が接合部の性能に大きく影響すると考えられるので、今後改良を施す必要がある。無収縮モルタルを使用する場合、充填材の加工の手間は少ないが、引張力を受ける竹材と充填材との付着力に問題がある。今後は今回試みた充填材だけでなく、施工性能に優れた充填剤を選定する必要がある。

≪Ⅱ．竹材を筋違に用いた木造軸組耐力壁の性能≫

≪Ⅰ≫で開発した接合法を用いて、竹材を木造骨組の筋違に使用した場合の耐震性能を把握するため、片筋違の水平加力実験を行った。

II-1 供試材

スギ材（105mm 正角〈柱・桁〉・30×105mm 平割〈間柱〉）、ヒノキ材（105mm 正角〈土台〉）および竹材（φ67.1～86.2mm）を使用した。なお、木材の曲げヤング係数は 4.3～11.0×103MPa であった。

II-2 試験体の製作方法

試験体の形状および寸法を図II-1に、試験体のリストを表II-1に、接合部の詳細を図II-2に示す。筋違の面外座屈防止のために間柱を取り付けたものと、間柱を取り付けていないものの２種類をパラメータとし、各シリーズ３体ずつ、計６体を製作して実験を行った。試験体の軸組の寸法は幅 1415mm、高さ 2730mm である。竹筋違端部と柱－桁・土台接合部との取合部分の接合法は以下の通りである。竹材の両端の中空部へ充填材（スギ材）に接着剤を塗り挿入し、柱－桁・土台隅角部の形状に合うように切断した（写真II-1 参照）。それを軸組に取り付け、金物挿入用の穴をあけ、これに接合金物（S-type-70mm）をおさめ、コーキングガンにより枝管から接着剤を注入し、目視により接着剤の充填が確認できたのち、込栓を打ち養生した（図II-2 参照）。柱－桁・土台接合部は、ほぞに面外よりコネクターを挿入し接合した（写真II-2 参照）。間柱のある試験体（B-CPH-a シリーズ）の間柱－筋違の取合部は、交差する部分で竹を半割にし充填材を挿入し、間柱と挿入した充填材を切り欠き（写真II-3 参照）、間柱と竹をビス止めした。接着剤には発泡性ウレタン系樹脂接着剤を使用した。接着剤の養生期間は 14 日とした。

II-3 実験方法

加力装置を図II-3 に示す。試験体の土台は鋼製のブラケットとアンカーボルトにより２点で加力フレームに緊結した。土台のずれ防止のためのストッパーを取り付け、加力フレームの上部には竹筋違の面外変形の防止のために振れ止めを取り付けた。載荷は復動オイルジャッキを用い、引側を正、押側を負とし、正負交番繰返し載荷とした。なお、載荷プログラムについては表II-2 に示す。荷重はジャッキ端部に取り付けたロードセルで測定し、変位は図II-3 に示す７箇所で測定した。

II-4 実験結果と破壊性状

図II-4 に各試験体の荷重－変位曲線を示す。間柱のある試験体（B-CPH-a シリーズ）は、３体とも、３サイクル正加力時に上側の柱－竹筋違接合部での接着剤と接合金物との付着が切れ、柱と竹筋違との隙間が開き始め、荷重低下に至った（写真II-4 参照）。負加力時では、３サイクル付近から間柱－竹筋違のとりあいの部分で竹を切り欠いた部分から割れが生じ始め、次第に竹筋違が間柱とともに面外に座屈し、荷重が低下した（写真II-5 参照）。

間柱のない試験体（B-CPH-n シリーズ）の破壊は、n2、n3 試験体で、正加力時には、３サイクル目で土台側の柱－竹筋違接合部の接着剤と接合金物の付着が切れ、柱・土台部と竹筋違の隙間が開き始め、荷重低下に至った。負加力時には、４サイクル目でほぞ部に挿入した接合金物により、ほぞが支圧破壊を起こし、柱が土台から引き抜け荷重低下となった（写真II-6 参照）。間柱のない B-CPH-n3 試験体においては、土台に割れを伴っていた。間柱のない B-CPH-n1 試験体においては、試験体を固定するために土台に取り付けたアンカーボルトの土台へのめり込みが見られた。正加力時には５サイクル目で、土台側の柱－竹筋違接合部の接着剤と接合金物の付着が切れ、荷重が低下し、負加力時には、５サイクル目で柱が土台から引き抜け耐力低下に至った。

II-5 最大耐力および壁倍率

図II-5 に各試験体の最大耐力を示す。なお、比較のため同仕様の骨組に二つ割のスギ材を筋違に用い、接合部にコネクター接合を使用した試験体（CPH-h1、2）（以下、CPH-h シリーズとする。）と、住宅金融公庫仕様の一般的な施工方法である Z マーク金物（山形プレート・筋違プレート）を使用した試験体（Z1-h1、2）（以下、Z1-h シリーズとする）の最大耐力[1]も同時に示す。間柱のある試験体（B-CPH-a シリーズ）は、間柱－竹筋違の取合部で、筋違を切り欠いたため座屈により耐力が低下し、間柱のない試験体（B-CPH-n シリーズ）より耐力が低くなった。しかし、間柱のある試験体の最大耐力は Z マーク金物を用いた Z1-h シリーズ試験体とはぼ同等の値であった。間柱のない試験体（B-CPH-n シリーズ）は、負加力時において、竹の座屈が起きず圧縮筋違としての機能を維持し続けたため、CPH-h シリーズ試験体と比べかなり耐力が上回っている。

図II-7に各試験体の壁倍率を示す。なお、比較のためCPH-hシリーズ試験体とZ1-hシリーズ試験体の壁倍率も同時に示す。表II-3に壁倍率の算出に用いた各試験体ごとの実験データを示す。壁倍率はほとんどの試験体で最大荷重時変形角の1/2の変形時荷重（P3）で決定した。間柱のある試験体は、Z1-hシリーズ試験体と同等の壁倍率を示し、間柱のない試験体は負加力時において壁倍率が3程度と、9cm角材を筋違として入れた軸組と同等値となることが明らかになった。

II-6　まとめ

実験結果から、竹を筋違に用いた場合の耐力壁の強度性能が明らかになった。間柱を取り付けた場合、間柱と竹筋違の取合部に問題があり、正加力時、負加力時の耐力・壁倍率はほぼ同等の値であった。それに対し、間柱を取り付けず、竹に何の切欠加工も加えなかった場合は、負加力時に筋違が座屈を起こさず、圧縮筋違として機能し続け、高い耐力・壁倍率を示した。竹を筋違として使用する場合、竹に切り込みなどの加工を加えず、そのまま使用したほうが耐力・壁倍率の上昇に効果があることが明らかになった。

≪III．竹材接合法の家具への応用≫

≪I≫で開発した接合法を用いて、椅子の試作を行ったので、その製作工程や製作上の問題点について述べる。

III-1　椅子の試作

図III-1に示すような形状の椅子を製作した。≪I≫より充填材には、十分な強度が確保できるスギ材を使用した。座面・背もたれの形状、寸法、高さなどについては人間工学に基づき「室内インテリア事典1・家具篇」[5]を参考にした。

III-1-1　材料の選定

骨組に使用した竹材および、座面・背もたれに使用した割竹は、大分県産のマダケで、あらかじめ油抜き処理されたものを使用した。接合金物については、すべての接合部で、Sタイプ金物（直径18mm、長さ70mm）のものを、接着剤には発泡性ポリウレタン系樹脂接着剤を使用した。なお、<コネクター接合>以外の接着剤使用箇所（充填材としての木材と竹の接合等）もこれと同じ接着剤を使用した。また、竹の中空部に充填する充填材には円形のスギ材を、座面・背もたれの割竹固定用の桟には60mm角のスギ材をそれぞれ使用した。

III-1-2　製作工程

以下に、竹を使用した椅子の製作工程を順に示す。

I.骨組に使用する竹材は、外径が50mm（図III-1中①～④）と70mm（図III-1中⑤～⑦）の2種類で、それぞれの部材を必要な長さに切り揃える。

II.充填材であるスギ材を竹の中空部の形状にあわせ、かんな等で加工する（写真III-1参照）。

III.加工したスギ材と竹材内部に、一様に接着剤を塗り竹材の木口面からスギ材を挿入する。図III-1に示す⑥の竹材は、中央部にスギ材を充填するため竹材を2つ割にしスギ材を挿入する（写真III-2参照）。

IV.接着剤が硬化したのを確認し、それぞれの接合部に特殊な刃（ホルソー）を用いて、突き合わせる竹材の外径と同じ大きさ（50mmまたは70mm）の穴をあける（写真III-3参照）。

V.IVであけた穴より、突き合わせる竹材が大きい場合は、その形状にあわせ穴の大きさを、ノミやヤスリを用いて調節する。

VI.接合金物挿入用の穴をあける。竹材の部分は、鋼材用ドリルを用いて穴をあける。これは、木工用ドリルを使用すると、切削が急激すぎて竹が割れてしまうためである。次に、それぞれの部材を突き合わせ、仮組みし、刃を木工用ドリルに換え必要な深さ（80mm）まで穴をあける（写真III-4参照）。

VII.60mm角のスギ材（座面・背もたれの桟）を必要な長さに切り揃える。曲面を描いた型紙を材に貼り、卓上糸鋸盤（ラクソー）で形どうりに切り出す（写真III-5参照）。その後、紙ヤスリで仕上げをする。桟と骨組の竹材とも<コネクター接合>で接合するため、桟に接合金物挿入用の穴をあける位置を確認

し、穴をあける。骨組の竹材にも鋼材用ドリルを用いて穴をあける。

Ⅷ.それぞれの接合部に接合金物を挿入し、枝管より接着剤を注入し、込栓を打ち込んで養生する（写真Ⅲ-6 参照)。養生は、ボードに固定し、ゴムで縛って接合部を固定し行った（写真Ⅲ-7 参照)。なお、座面・背もたれの桟と骨組の竹材の間は、粘土で接着剤が漏れるのを防いだ。十分に養生したのちボードやゴムを取りはずす。

Ⅸ.座面・背もたれには、丸竹を 20mm 幅で割った竹を使用し、これを 60mm に切り揃え、内側を平らにするため節を取り除き、かんなをかける（写真Ⅲ-8 参照)。

Ⅹ.桟に木工用ボンドを塗り、割竹を釘で桟に固定する（写真Ⅲ-9 参照)。このとき、竹に釘をそのまま打つと割れてしまうため、予め竹に小径のドリルで穴をあけておく。木工用ボンドを養生する。

以上で製作終了である。写真Ⅲ-10 に完成した椅子を、写真Ⅲ-11 に着席の様子を示す。

Ⅲ-1-3　製作上の問題点

竹に接合用の穴をあけた後、この穴に突き合わせる竹の径にあわせて、ヤスリやナイフで調整する作業で、非常に手間がかかる。このため、この一連の作業の簡略化・自動化が望まれる。竹中空部への充填材は、スギ材のような固形材料であると、竹の形状にあわせ加工する作業にかなりの時間と労力を必要とする。そのため、なんらかの湿式の充填材を選定することで製作時間の短縮、工程の簡略化が可能であると考える。

また、今回使用した接合金物は、木材接合用に開発されたものであり、最小の金物でも竹材の径に対しては大きく施工しにくい。家具の場合、建築構造物のような強度は必要ないため小型なものでよく、新たに竹材接合用の接合金物の開発が必要である。また、接合金物の小型化により、椅子全体の重量を小さくすることが可能であると考える。

Ⅲ-2　椅子の疲労強度試験

新しい竹材接合法を用いた椅子の強度を把握するため、JIS S1021-(1991)に基づき疲労強度試験を行った。

Ⅲ-2-1　試験体

図Ⅲ-2 に示す椅子を新たに製作した。座面には、厚さ 12mm の構造用合板を２枚接着したものを使用した。骨組との接合は、接着剤を塗り釘どめした。

Ⅲ-2-2　試験方法

写真Ⅲ-12 に試験装置を示す。試験は、椅子の後脚を回転金具により床面に固定し、座面に重りを載せ、背もたれに取り付けたワイヤーを引張ることで前脚を浮かせ、その状態から落下させ衝撃を与えるといった一連の動作を繰り返して行った（写真 3-13 参照)。今回の試験で採用した重り、前脚を浮かせる高さ、繰り返し回数は、それぞれ 60kg、10cm、5000 サイクルである。

Ⅲ-2-3　試験結果

試験開始前から、竹材表面には製作段階で生じたひび割れが存在した（図Ⅲ-3 参照)。これらのひび割れは竹材表皮のみに生じており、竹材内部までは至っていなかった。試験開始後、このひび割れの若干の進行が認められた。また、3000 サイクルあたりから接合部に新たなひび割れが生じ始めた（図Ⅲ-4 参照)。これらのひび割れも竹材表皮のみに生じたものであった。試験終了後、すべての接合部において引き抜けや、がたは全く生じておらず、十分使用可能な状態であった。

Ⅲ-3　まとめ

新たに開発した竹材接合法により接合した竹製の椅子の製作工程において、いくつかの問題点が把握できた。充填材であるスギ材を竹の中空部の形状にあわせ加工する作業及び、接合部で突き合わせる竹材の形状にあわせ穴の大きさを調整する作業に多くの手間と時間を要する。そのため、加工作業の簡略化・自動化が求められる。また接合金物は、竹材の径に対して大きく、施工しにくいため、竹材接合用に小型かつ軽量な接合金物の開発が必要である。また、接合金物の小型化・軽量化により、椅子全体の重量を小さくすることが可能である。

疲労強度試験において、引き抜けや、がたが全く生じず、接合部は十分な強度を有していた。
今回は、新しく開発した竹材の接合法の有効性を把握するために、実際に椅子を試作した。座面・背もたれの形状、高さなどについては、座った感じに違和感はなく問題なかった。しかし、実用的にするには、充填材等の改良が必要であり、軽量で施工性に優れた充填材を開発することが課題である。

≪まとめ≫

本研究では、著者らが開発を行ってきた＜本接合法＞を竹材の接合に応用し、強度・剛性に優れた竹材接合法の実現することをめざし、各接合部（継手、仕口）の基礎的な強度性能の把握を行うとともに、竹材の中空部に充填する材料の検討を行った。これにより、充填材にスギを用いることで、十分な強度性能を持った接合が実現可能であることが明らかとなった。

これに引き続き、開発した竹材接合法を用いて、竹材を木造軸組の筋違として使用した耐力壁について、その耐震性の把握を行った。これにより、間柱を取り付けず、竹に何の切欠加工も加えなかった場合は、負加力時に筋違が座屈を起こさず、圧縮筋違として機能し続け、高い耐力・壁倍率を示し、製材を用いた一般的な筋違耐力壁よりも優れた性能を持つことが明らかとなった。

また、この接合法の家具製品への応用の可否を検討するため、2種類の椅子を試作した。これにより製作の際の問題点や重量の問題など、実用化に向けた問題点が明らかとなった。また、試作した椅子を用いて、JIS に基づく疲労強度試験を行った。その結果、試験終了後も十分な強度を保っており、十分実用の耐えうる耐久性を有していることが証明された。

最後に、この竹材の接合法の開発は、強度・剛性性能の更なる向上や、竹材自身の耐久性向上あるいは、加工工程の簡略化など様々な課題を有しており、今後様々な角度からの改良及び検討が必要である。しかし、その応用範囲は、家具、建築造作材に留まらず、建築構造を構成する部材や建築構造体にまで及ぶと考えている。この開発により、竹林で朽ち果てている竹材が少しでも使用され、これが二酸化炭素中の炭素の固定化に多少なりとも役立ち、地球温暖化防止の一助となれば幸いである。

<参考文献>

1)後藤　靖他3名
新しい木材接合法とその応用-筋違入り木造骨組への応用-
日本建築学会技術報告集,第5号, pp102-107,1997,12
2)井上正文他3名
接着剤と接合金物を併用した木質構造継手合部に関する実験的研究
日本建築学会構造系論文集,No.489,pp.59-66,1996.11
3)井上正文他3名
接着剤と接合金物を併用した木質構造仕口接合部に関する実験的研究
日本建築学会構造系論文集,No.498.pp.105-111,1997.8
4)井上正文他2名
接着剤と接合金物を併用した木質構造仕口接合部に関する実験的研究（その2）継手の引張実験
日本建築学会九州支部研究報告,第34号,pp.233-236,1994,3
5)小原二郎
室内 インテリア事典1・家具篇　第4章　家具と人間工学,
1979.7.5　工作社

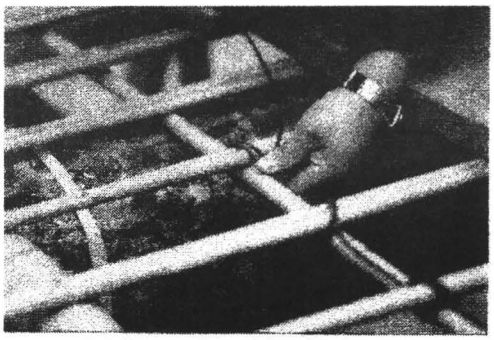


写真１　縄で縛る接合

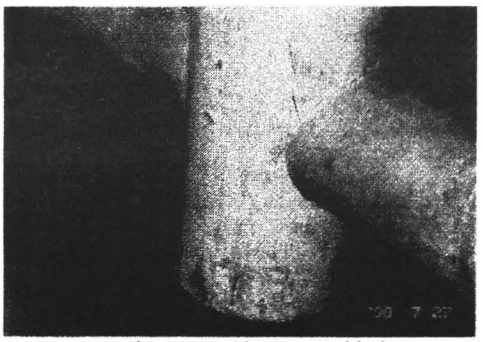


写真２　込栓による接合

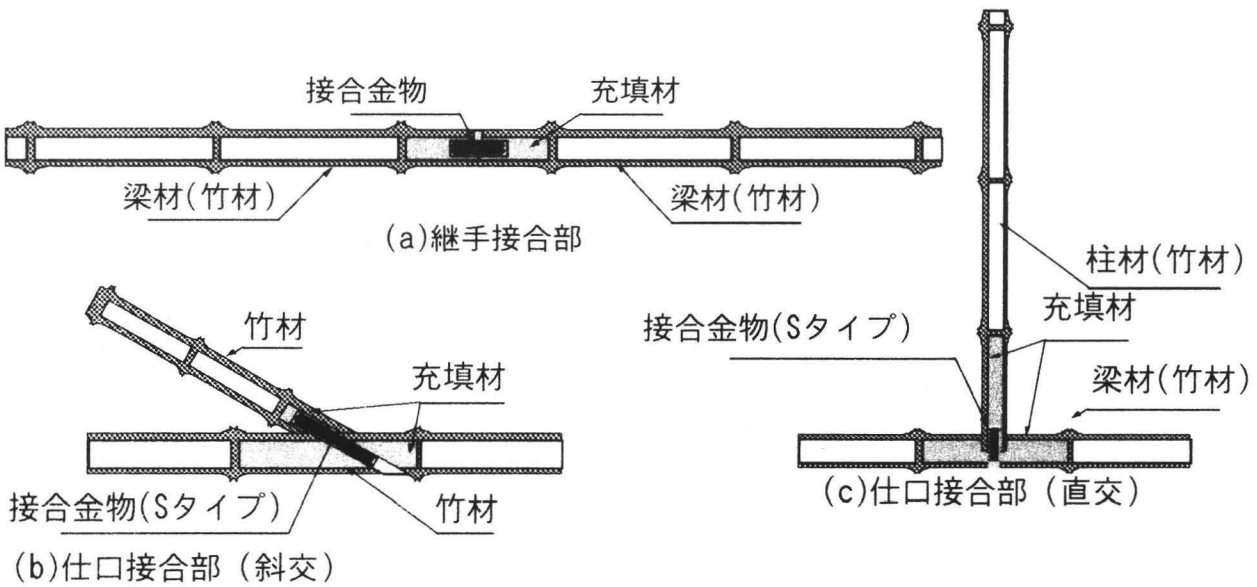
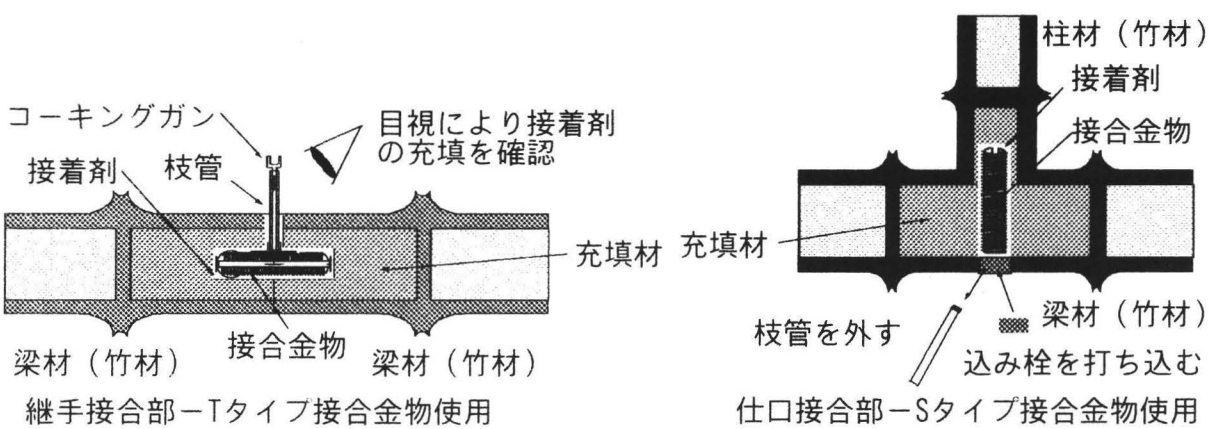


図１　新しい竹接合法の概念

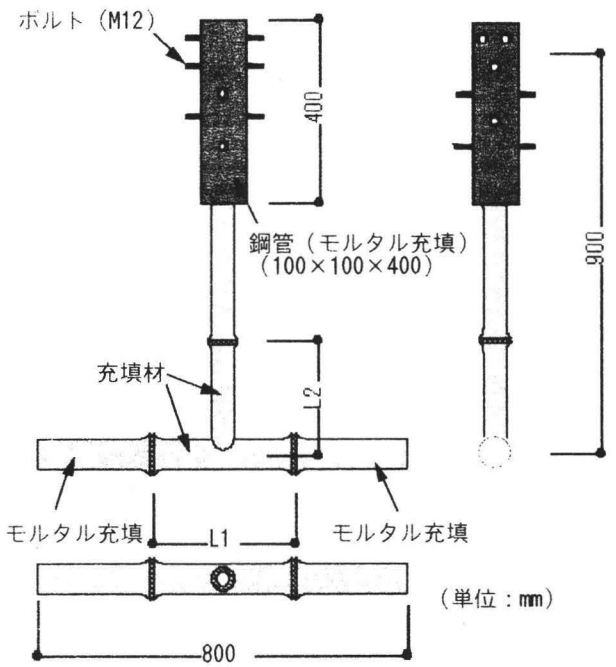


図Ⅰ-1　施工法の概略

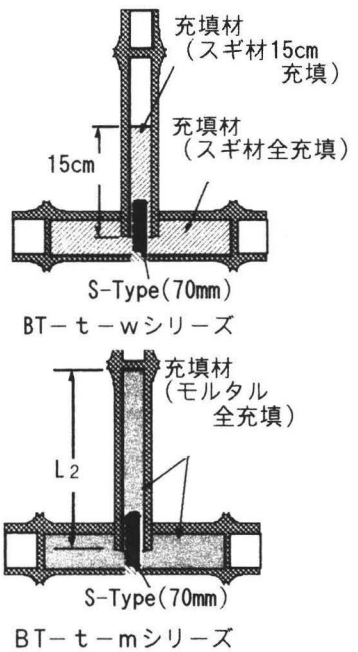
表Ⅰ-1　試験体の仕様及び仕様竹材の寸法

	充填材	横材			縦材		
		内径	外径	L1	内径	外径	L2
BT-t-w-1	スギ材	65	72	291	42	54	155
BT-t-w-2		63	74	372	72	54	301
BT-t-w-3		62	71	380	38	50	256
BT-t-m-1	モルタル	66	76	350	42	51	177
BT-t-m-2		67	81	294	43	54	184
BT-t-m-3		66	77	330	43	51	184

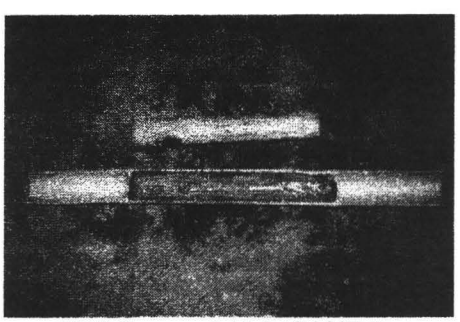
（単位：mm）



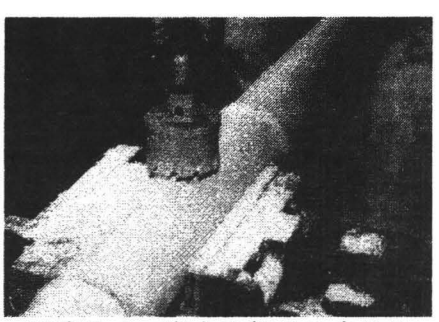
図Ⅰ-2　試験体の形状・寸法



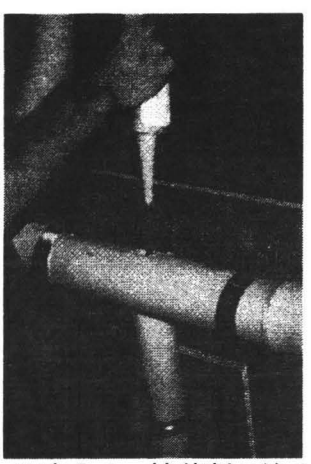
図Ⅰ-3　接合部の詳細



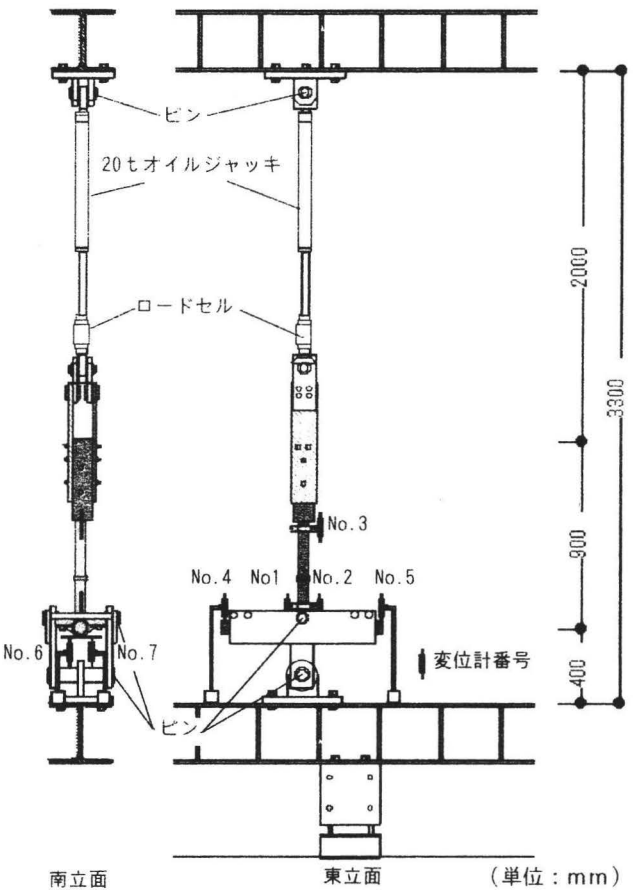
写真Ⅰ-1　スギ充填材挿入



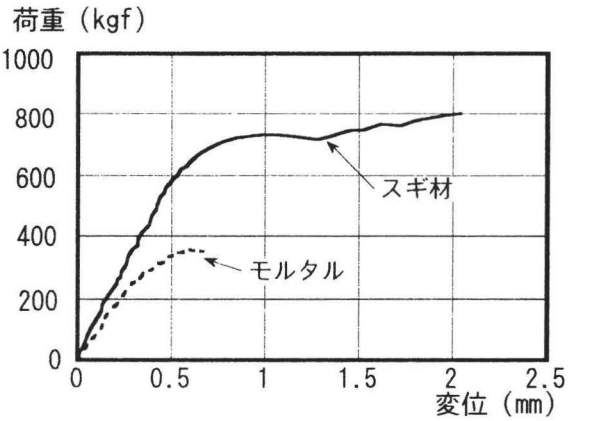
写真Ⅰ-2　突合せ部分の穴あけ



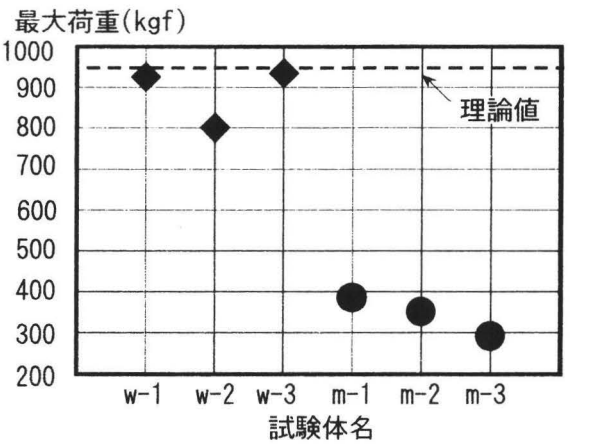
写真Ⅰ-3　接着剤の注入



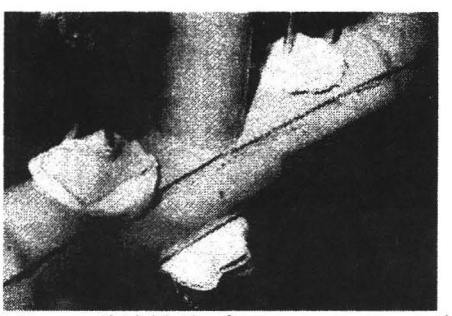
図Ⅰ-4　加力装置



図Ⅰ-5　荷重－変位曲線



図Ⅰ-6　各試験体の最大耐力



写真Ⅰ-4　破壊性状（BT-t-w シリーズ）

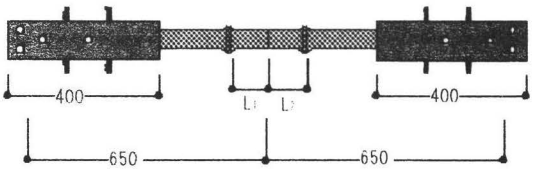


写真Ⅰ-5　破壊性状（BT-t-m シリーズ）

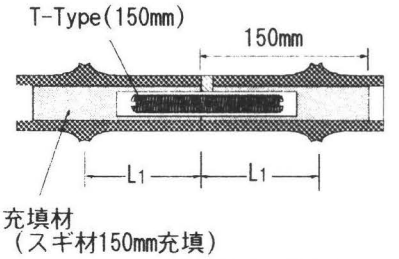
表Ⅰ-2　試験体の仕様及び使用竹材の寸法

試験体名		充填材	内径	外径	L1(図Ⅰ-7)
BI-t-w-1	上部材	スギ材	49	58	265
	下部材		44	52	28
BI-t-w-2	上部材		52	64	18
	下部材		45	55	121
BI-t-w-3	上部材		48	56	143
	下部材		48	55	24

(単位：mm)



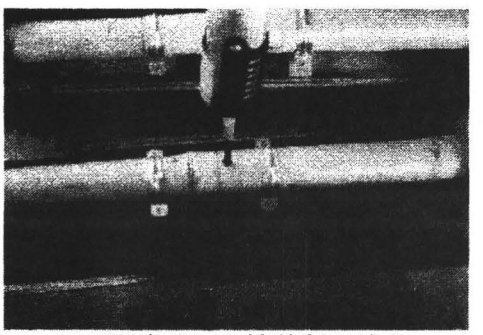
図Ⅰ-7　試験体の寸法



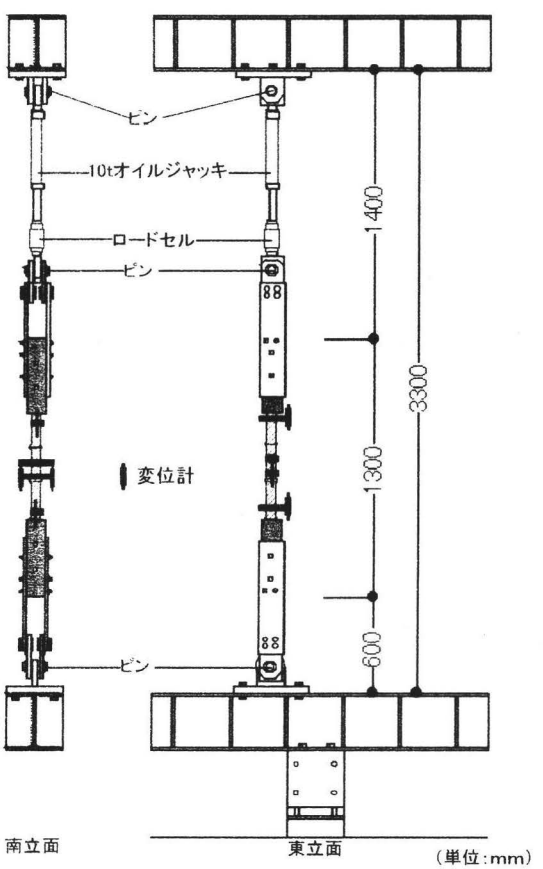
図Ⅰ-8　接合部の詳細



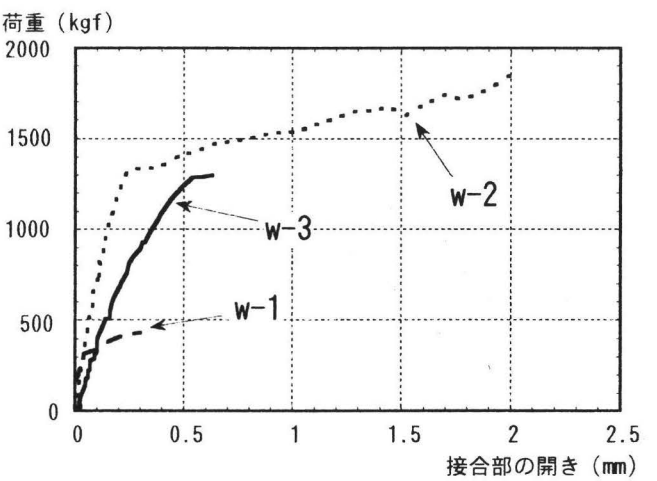
写真Ⅰ-6　枝官挿入用の穴あけ加工



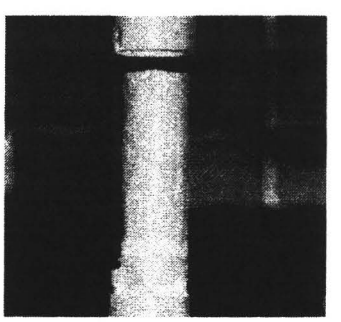
写真Ⅰ-7　接着剤の注入



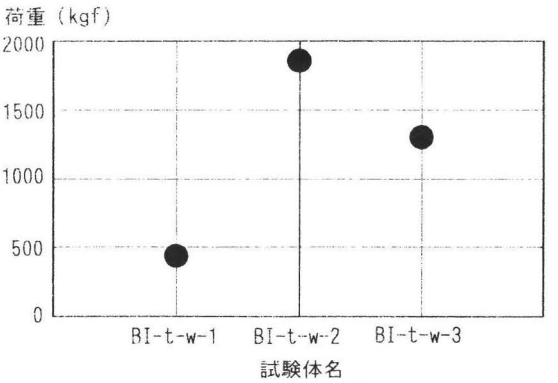
図Ⅰ-9　継手引張実験　加力装置



図Ⅰ-10　各試験体の荷重－変位曲線



写真Ⅰ-8　破壊性状（BI-t-w シリーズ）

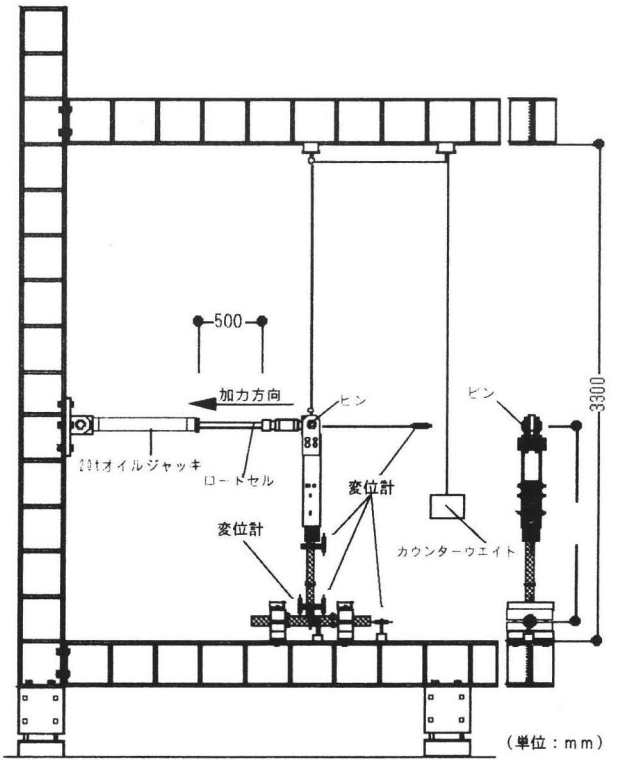


図Ⅰ-11　各試験体の最大耐力（BI-t-w シリーズ）

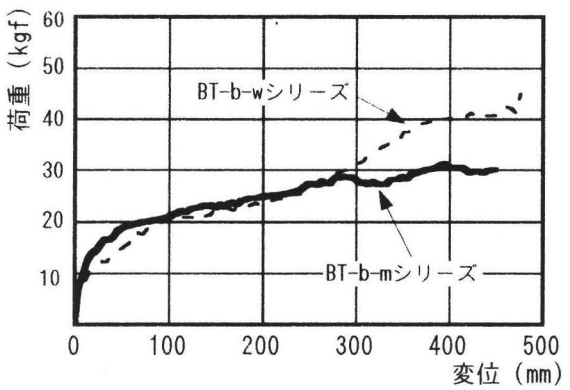
表Ⅰ-3　試験体の仕様及び使用竹材の寸法

	充填材	横材			縦材		
		内径	外径	L1	内径	外径	L2
BT-b-w-1	スギ材	63	75	380	37	48	145
BT-b-w-2		66	79	336	44	54	155
BT-b-w-3		63	74	208	44	52	270
BT-b-m-1	モルタル	66	76	218	45	54	181
BT-b-m-2		67	81	263	34	51	206
BT-b-m-3		63	75	230	38	51	210

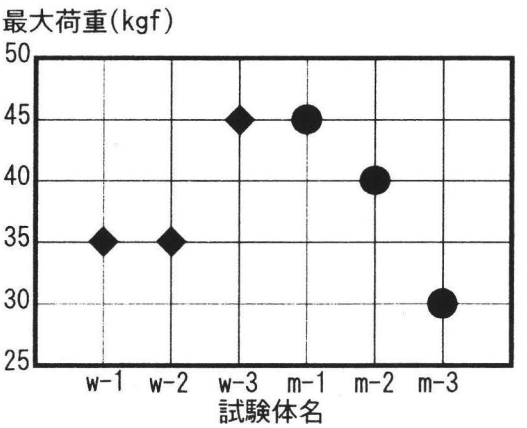
（単位：mm）



図Ⅰ-12　仕口の曲げ実験　加力装置



図Ⅰ-13　代表的な荷重-変位曲線



図Ⅰ-14　各試験体の最大モーメント

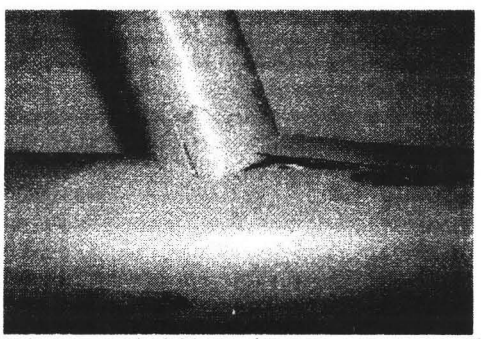


写真 1-9　破壊性状（BT-b-w シリーズ）

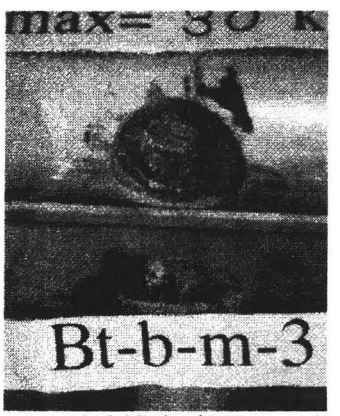
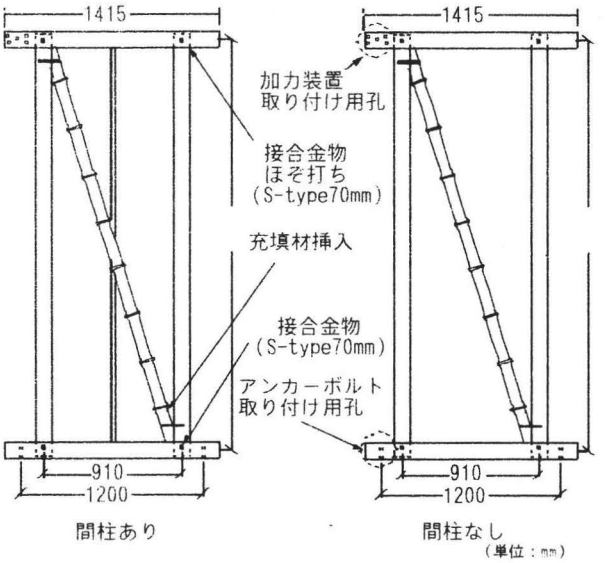


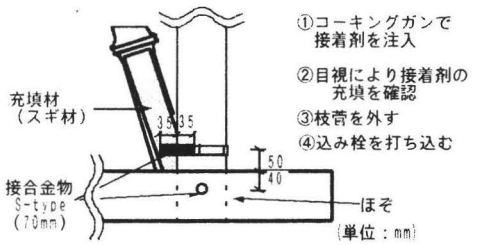
写真 1-10　破壊性状（BT-b-m シリーズ）



図II-1　試験体の形状・寸法

表II-1　試験体リスト

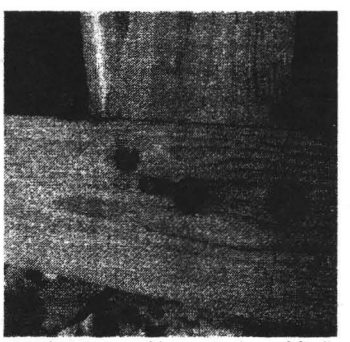
試験体名（シリーズ）	間柱	接合形式（接合金物）		載荷方法
		桁・土台ー柱	柱ー筋違	
B-CPH-a	有	Stype-70mm ほぞ打ち	Stype-70mm (水平)	正負交番繰返し載荷
B-CPH-n	無	Stype-70mm ほぞ打ち	Stype-70mm (水平)	



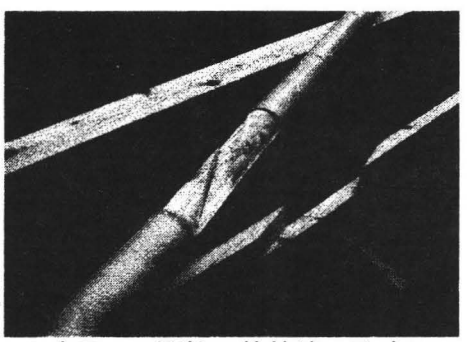
図II-2　竹筋違端部接合部の詳細と施工法



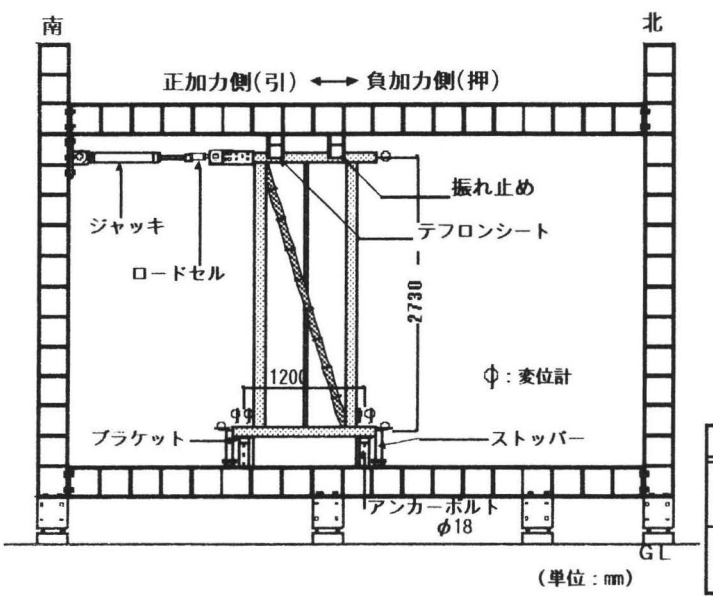
写真II-1　竹の切断



写真II-2　柱ー土台の接合



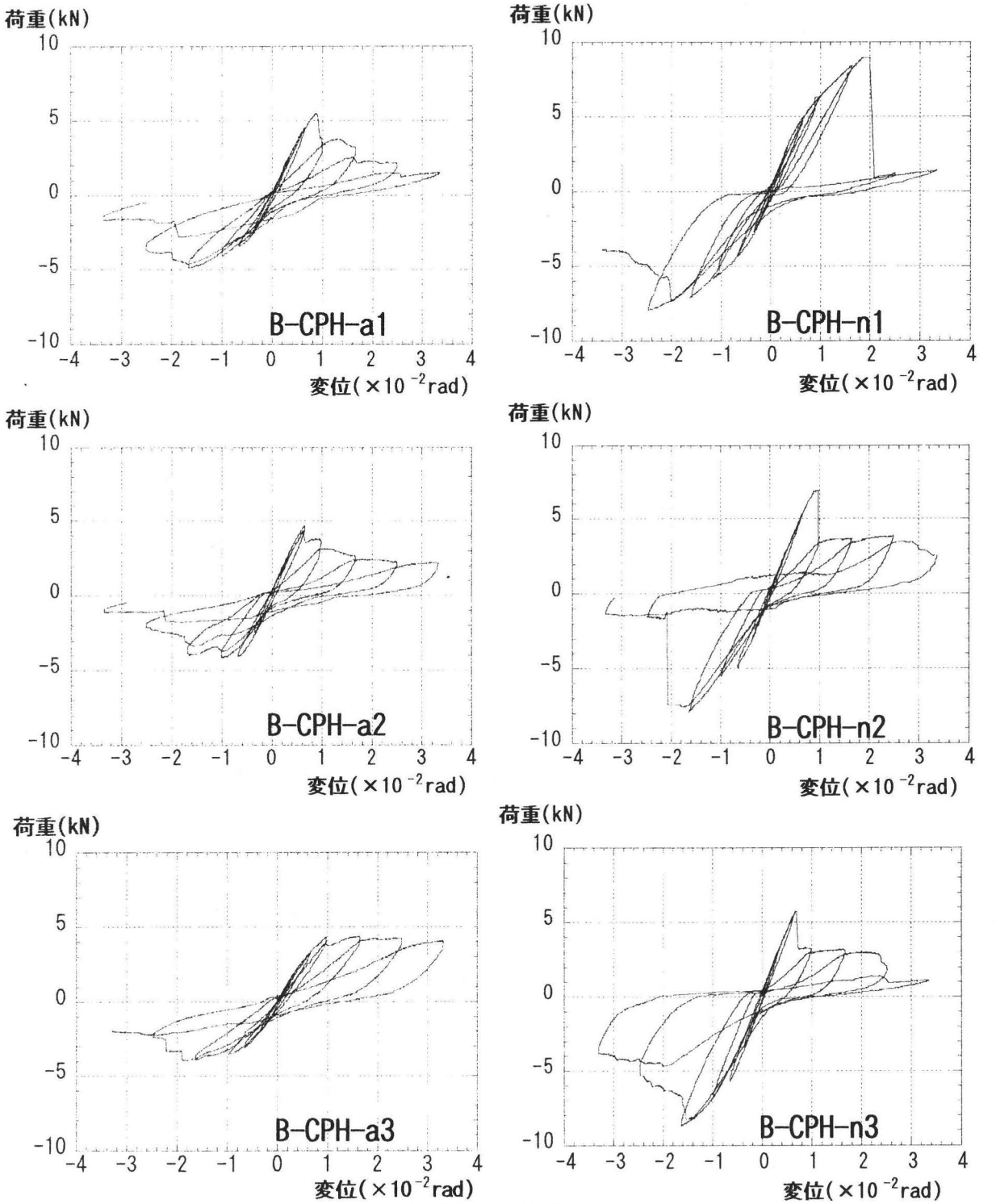
写真II-3　間柱ー竹筋違の取合い



図II-3　加力装置

表II-2　載荷プログラム

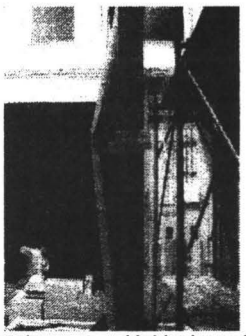
サイクル	1	2	3	4	5	6
正加力（部材角）	1/300	1/150	1/100	1/60	1/40	1/30
負加力（部材角）	1/300	1/150	1/100	1/60	1/40	1/30



図II-4　各試験体の荷重－変位曲線



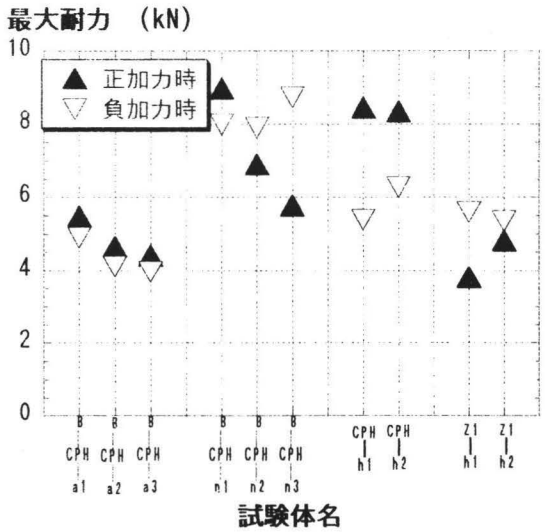
写真II-4 柱と竹筋違の隙間



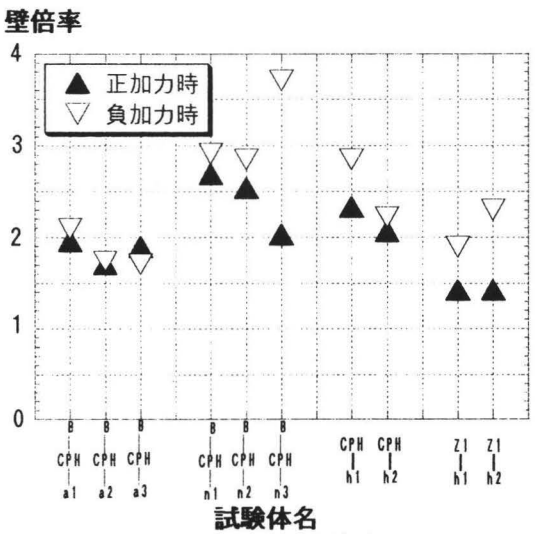
写真II-5　竹筋違の座屈



写真II-6　柱の引抜け



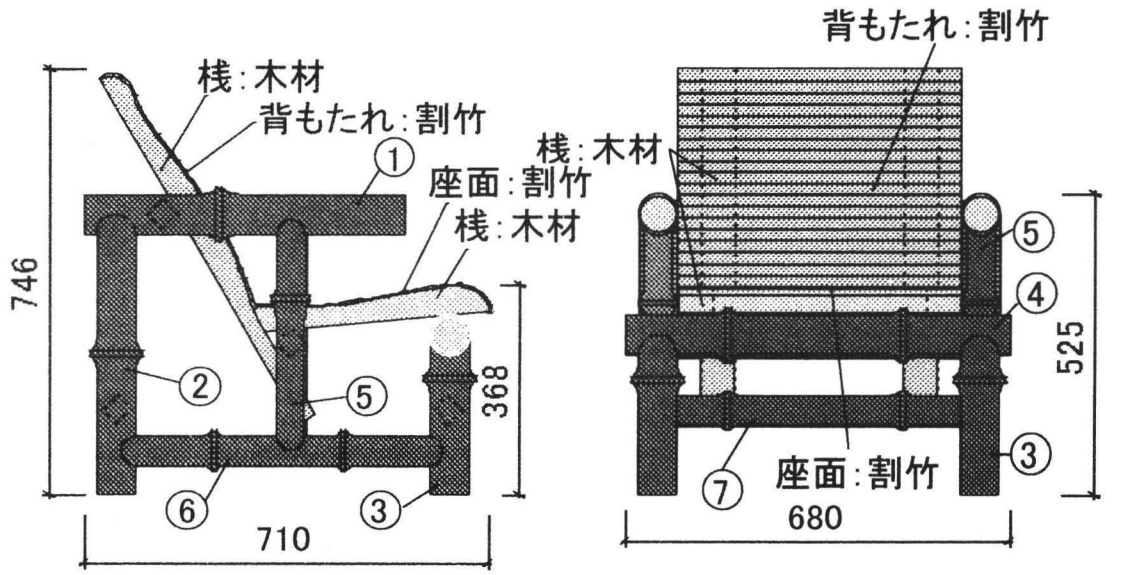
図II-5　最大耐力



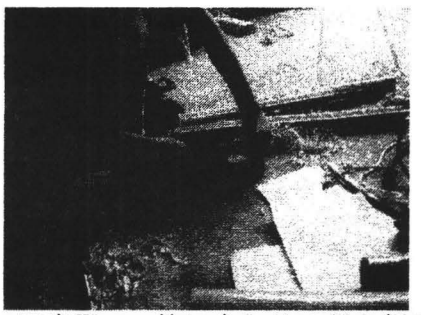
図II-6　壁倍率

表II-3　各試験体の実験データ

試験体名	加力方向	最大荷重 (kN)	平均 (kN)	P1(kN) 1/120rad	P2(kN) 2/3max	P3(kN) 1/2δ	決定荷重	壁倍率
B-CPH-a1	正	5.488		5.292	3.659	2.989	P3	1.93
	負	4.900	正	3.675	3.267	3.283	P2	2.11
B-CPH-a2	正	4.655	4.851	3.724	3.103	2.646	P3	1.71
	負	4.116	負	3.920	2.744	2.695	P3	1.74
B-CPH-a3	正	4.410	4.328	3.822	2.940	3.332	P2	1.90
	負	3.969		3.332	2.646	2.744	P2	1.71
B-CPH-n1	正	8.967		5.635	5.978	4.165	P3	2.69
	負	3.969	正	4.949	5.325	4.508	P3	2.92
B-CPH-n2	正	6.909	7.219	6.419	4.606	3.920	P3	2.54
	負	7.889	負	4.704	5.259	4.410	P3	2.85
B-CPH-n3	正	5.782	8.199	3.234	3.955	3.136	P3	2.03
	負	8.722		5.831	5.815	5.733	P3	3.71



図Ⅲ-1　試作した椅子の形状・寸法（単位：mm）



写真Ⅲ-1　竹に合わせスギを削る



写真Ⅲ-2　竹を割って充填材挿入

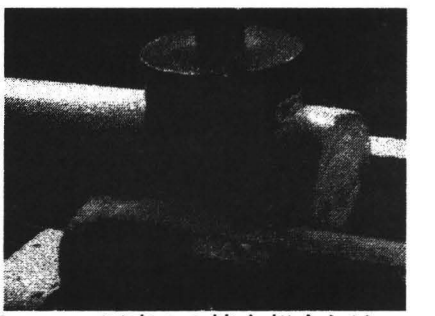
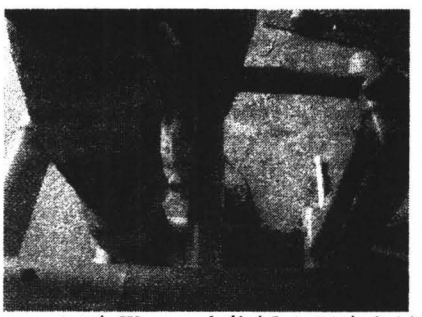
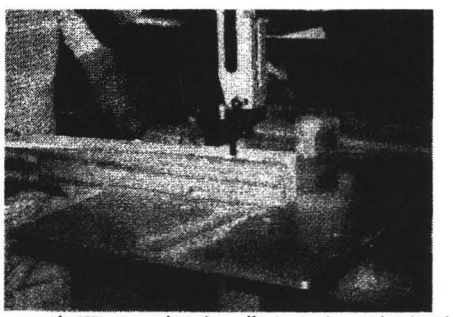


写真 3-3 接合部穴あけ



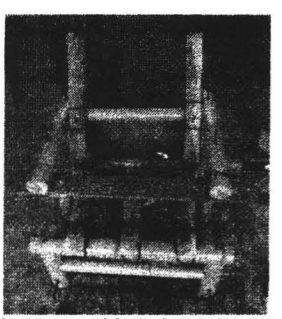
写真Ⅲ-4　金物挿入用穴あけ



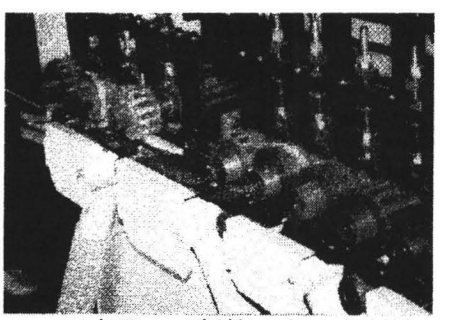
写真Ⅲ-5　座面・背もたれの切り出し



写真Ⅲ-6　接着剤の注入



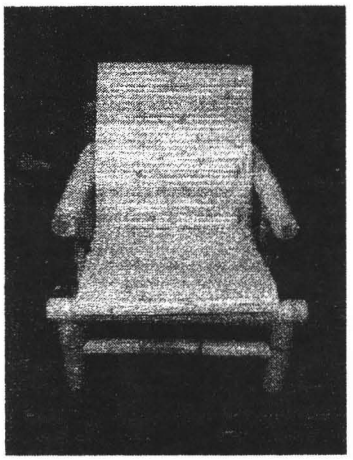
写真Ⅲ-7　接合部の仮止め

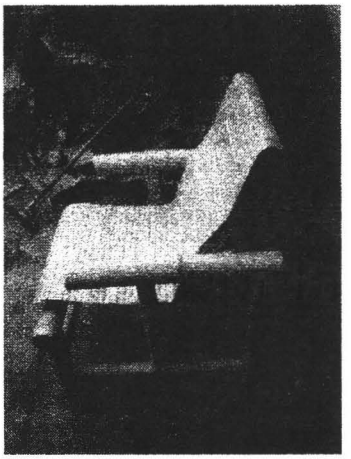


写真Ⅲ-8　割竹のカンナがけ



写真Ⅲ-9　割竹を釘で桟に固定

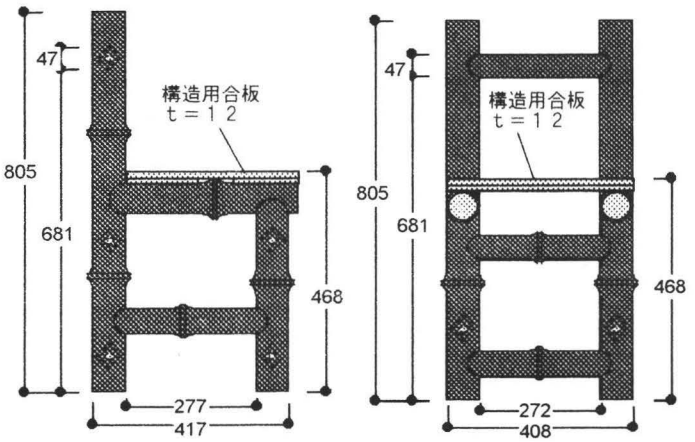




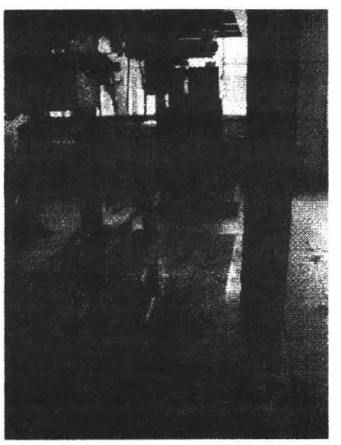
写真Ⅲ-10　完成した椅子



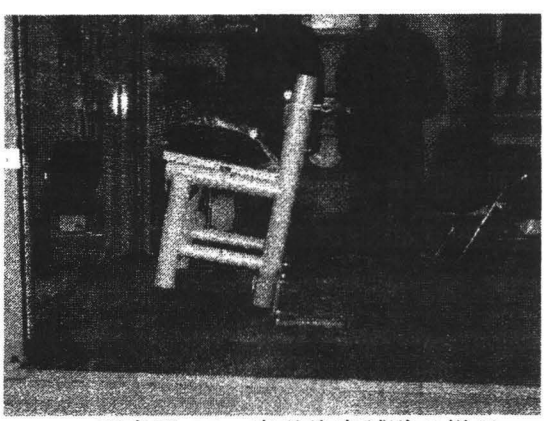
写真Ⅲ-11　着席した状態



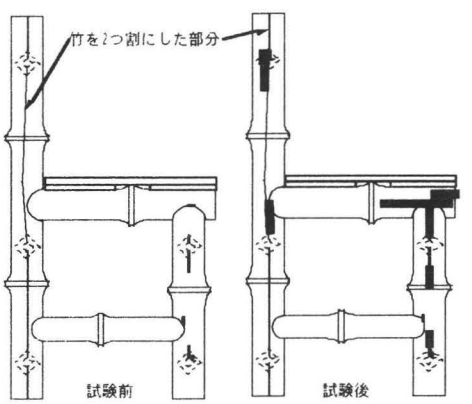
図Ⅲ-2　疲労強度試験用椅子の形状・寸法



写真Ⅲ-12　試験装置



写真Ⅲ-13　疲労強度試験の様子



図Ⅲ-3　試験前後のひび割れの様子

1－2　在宅療養者の住環境に関する研究（感染防止面からのアプローチ）

東海大学　医学部 感染症学科
講師　永倉貢一

①本研究の背景と目的

国民の四分の一が高齢者となる高齢社会を迎えるにあたって，在宅で医療を受ける療養者が年々増加している。これらの在宅療養者がカンジタ気管支炎や喘息，結核，疥癬などの感染症に罹っていることは以外と知られていない。医学サイドでの感染防止策に加え，特定の病原体が増えない住宅つくりを考える時期にきている。本研究助成は在宅療養者が感染症に罹らず快適に暮らしうる住宅に関する医学情報をえることを目的とした。

②研究の方法

約１００軒の在宅療養者宅のカンジタ菌やダニの浸淫度を調べ，簡易オゾン発生機ならびに光フォトン発生機などで除菌するとともに，在宅療養者のアレルギー症状を調べ，採血後，総 IgE 抗体価，各病原体に対する抗体価を測定し，除菌前後の結果を比較する。

③研究計画と進捗状況

本目的のために，当初，２年間で１００軒の在宅療養者宅での調査を計画し，その旨申請スケジュールに記載した。しかし，在宅者の事前了解が得られなかったり，調査のために療養者宅を訪問すると掃除されて調査が不可能であった例が多く，現在までに調査は１２軒しかなされていない。その１２軒でも病原体量の季節変動が大きく，また在宅療養者も顕著なアレルギー症状をしめさず，除菌前後の比較ができる状態ではなかった。そこで，２年目より室外から室内へのダニの侵入事例調査，同じくスギ花粉の侵入量調査，高齢者施設での疥癬疫学調査を追加した。

④現在までに得られた成果

1. 室外のトリの巣に発生したダニの室内への侵入事例

研究概略：ある病院の小児科病棟のエアコン室外機の裏にハクセキレイが営巣し，その巣に湧いたトリサシダニが室内に侵入した。本ダニはウイルス性脳炎を媒介するが幸い，吸血被害者はいなかった。以下の 2. の成果とともに，アルミサッシの通気性に問題をなげかけた。（研究発表１）

2. 外からのスギ花粉の侵入調査

研究概略：例年１月から３月にかけて，スギ花粉が舞い，これによるアレルギー患者が多く出現する。そこで同時期に，室外飛散花粉量と室内各所の花粉落下量との関連を調べた。対象は一般木造家屋２軒，簡易軽量鉄骨家屋２軒とコンクリート住宅（アパート）２軒である。室内にセロファンテープを設置し，１２時間毎に回収し落下花粉数をカウントした。その日の気象条件は気象庁データを参考とし，家人の室内への出入りも記録した。同じ日でも花粉総落下数は木造で高く，軽量鉄骨家屋とコンクリート家屋で低い傾向にあった。さらに，室内で花粉落下数が一番多いのは住居構造に関係なくいづれも玄関で，次いで居間，寝室＝子供部屋，トイレの順に下がった。玄関ではドアに近いところに落下数が多く，さらに風の強い日に多いことからスギ花粉はおそらくドアの隙間から室内に入ったと想像される。さらに，夜しか使わない寝室でも昼間の花粉落下数が観測された。コンクリート家屋での調査では寝室のアルミサッシ窓とカーテンの間に多く落下していた。これらのことは，アルミサッシ窓は気密性が高いが，開閉式の窓では上下に開閉のために隙間があり，この隙間を経て花粉が室内に入ったと考えられる。（研究発表２）

3. 高齢者関連施設での疥癬ダニの疫学調査

研究概略：ある特別養護老人ホームで入所 50 人中 26 人が感染する普通疥癬の集団発生があり，その疫学調査をおこなった。感染者の ADL(activity of daily life:自活度の指標)と疥癬発症頻度を調べると，ADL５のねたきりの女性が主感染者だった。だが，感染者居室の吸引ゴミの検査で疥癬ダニの虫卵や虫体は検出されなかった。疥癬ダニの感染には，手指や衣類を介した直接伝播，寝具や畳部屋での間接伝播と免疫不全による疥癬ダニの異常増殖者（ノルウェー疥癬者）からの室内汚染の３経路伝播が考えられるが，少なくとも重症度が低い普通疥癬では疥癬ダニの室内汚染はないと考えられた。（研究発表３）

この結果を受けて，神奈川県内の高齢者関連施設を対象とした感染実態調査をおこなった。県内の高齢者関連施設の 73.3%で，５年間で１施設平均 2.95 件の発生があり，発生総数の約半数が集団発生であった。ノルウェー疥癬者が原因となった例は少なく，集団発生でダニによる室内汚染があった例はなかった。（研究発表４）

⑤これから期待される成果と⑥残る問題とその対策

前述したように，十分な対象者がえられなかったために在宅療養者のアレルギー疾患と病原体との関係を明らかにすることはできなかったが，住環境とくに生活環境因子が居住人の免疫能に与える研究を旭川医大吉田貴彦教授と共同でおこなっている。対象は３才児検診にきた子供で，住宅外環境因子（大気観測データ，幹線道路や大規模プラント近傍の居住か否か）と住宅内環境因子（住居形態，居住歴，床材質，喫煙者やペット飼育の有無，暖房器具形態）と，液性免疫の指標とした総 IgE 抗体価，抗麻疹抗体価，ダニおよび食餌抗原特異的 IgE 抗体価，細胞性免疫と液性免疫の比（IFN-ｶﾞﾝﾏ／IL-4mRNA の発現比）との関連を調べた。これらのデータからは住宅内環境因子が３才児の免疫能に与える影響は少なく，むしろ住宅外環境因子（居住地域関係）や子供の出生順位が影響を及ぼしていることがあきらかになった。したがって，在宅療養者のアレルギー疾患と病原体との関係もほぼ同様であると考えられ，今後，環境因子が在宅療養者だけにこだわらずに高齢者全体の免疫能に与える影響を調べていく必要がある。

⑦本助成金受領明記の研究発表実績と予定

1. Nagakura ら(1998) Detection of fowl mites inside two hospital rooms. Tokai J Exp Clin Med 23:173-176.
2. 永倉貢一ら(2002) 室内スギ花粉落下数と花粉症発症との関連 投稿準備中。
3. 永倉貢一ら(2000) 特養ホームでの疥癬の集団発生とその流行防止. 環境感染, 15:332-337.
4. 永倉貢一ら(2001) 神奈川県の高齢者関連施設での疥癬発生の実態. 環境感染, 16:216-219.
5. 吉田貴彦ら (2002) 厚生科学費報告「生活環境汚染物質による小児での毒性評価のための免疫指標の開発に関する研究」

⑧実用化実績　　なし

１－３ 住宅政策等が住宅部品・建材の発展に与えた要因に関する研究

九州芸術工科大学　環境設計学科
教授 片野　博

1.本研究の目的

本研究は、住宅建設に関わる技術革新はその時代の社会的要請と密接な関係にあり、特に住宅政策との結びつきが強いとの仮定に立ち、戦後の住宅復興期から多様化、高品質が求められている今日までを対象に技術開発の足跡を明らかにしつつ、過去の住宅政策の実態を解明し、今後の技術開発のあり方を示すことを目的としている。この背景には、我が国の住宅建設は、民間供給による建設量を別にすれば、技術開発は、その殆どが住宅政策＝官庁の指導（先進的な政策策定担当者）の下で行われた事実にある。更に官による技術指導は、住宅建設の促進と高品質化に対して、その政策等が大きな影響を与えてきたが、元来、技術開発を含む住宅施策は「官」に所属する担当官が将来を見据えつつ立案するものであっても、行政機構上の特性から一過性を避け得ない状況もあり、過去においては類似的政策が幾度にわたって立案された経緯さえ存在していた。すなわち、長期的な視野から観察すれば、同類に位置付けられる政策が多く立案され、計画年度の終了とともに継続性もなく忘れ去られるものが散見できる。従って本研究では、「温故知新」と同一化されるべきではないが、過去の技術開発の遺産を継承しつつ新たな開発を政策上に求めることも意図し、この際に本研究によって作成されるデータベース化された資料が過去の成果を知るために有意となると考えられる。

平成13年1月から「建設省」は行政改革の一環から「国土交通省」に改組され、本研究では、奇しくも戦前の内務省の事務を受け継ぎ、戦後では「戦災復興院」を端緒として「建設院」を経て、昭和25年に設置された「建設省」が戦後の住宅政策に取り組んだ足跡を辿るとことになった。

2.本研究の方法

本研究は、その目的で述べたように過去の政策、住宅建設技術開発を文献資料をもとに明らかにすることにある。以下では、資料の収集方法と分類・整理方法について述べる。

2.1 資料収集方法

研究にあっては、建築生産技術に関与した住宅政策を悉皆的に収集することを第一とした。従来この種のデータは「年誌」や「社史」等に掲載されたものをベースにすることが多く、評価の定まらない最新の話題は言及されることが少ない。しかし、本研究にあっては可能な限り新しい時代までを対象に含めることとし、さらに一定の認識のされ方（住宅政策と技術関連の捉え方）がなされている一つの編集方針をもつ雑誌を基幹資料とした。すなわち、昭和26年の発足以来適時的に住宅政策と技術開発のトピックを掲載してきた（社）日本住宅協会が刊行している機関誌「住宅」より関係のある記事を全て取り上げることとした。内容的には、特集号のような詳細に述べられたものから、各種メディアの住宅関連情報を収集した「トピック」欄に該当するものまでを含めた。加えて各方面の専門誌・建設白書等から不足分を補った。

同協会発足以前の住宅政策と住宅部品等の開発の関係は、住宅建設基準や戦後期の建築関係雑誌（この中でも、「復興情報」が資料収集に中心をなした。その他では、「新建築」や「建築文化」、「建築技術」等が該当する）から関連記事を収集することで対応した。以上のよう

な資料収集により平成期までの住宅政策を網羅的に抽出することができたと判断している。

2.2 データの分類・整理方法

このようにして収集したデータを時間的な流れに沿って提示するために年表の形式にまとめる作業を行なった。データのまとめに関しては下記に示すような時代区分を行ない、住宅政策の流れと技術開発の関係性が明確化になるように図った。データの収集にあっては、単に表題（あるいは項目）だけでなく、当該の政策や技術についての内容が簡単に理解できる抄録を作成することとした。本来この作業は、抄録でなく詳細な情報によって示されるべきであるが、本研究は、この種の領域の端緒であり、総合化されたデータベースの構築は継続的な研究課題としたい。

2.3 時代区分

我が国の恒常的な住宅政策は、昭和 41 年を開始年とする「住宅建設５箇年計画」によって行なわれ、その後は５年を単位として、住宅政策上の目標を樹て、課題を設定し、これの達成に努めてきた経緯がある。戦後の住宅政策の流れ（足跡）を辿るためには、昭和 20 年から平成 12 年に及ぶ約 55 年間をいくつかの時代区分に分けて示したほうが理解しやすい。そこで本研究では、社会的に認知されている住宅建設上の区分を「住宅建設５箇年計画」に求めた。そして、これ以前は、住宅復興期（昭和年 20～29 年)、経済成長期（昭和 30～39 年）として時代区分を設定した。

この「住宅建設５箇年計画」による区分が、住宅政策とその達成のための技術開発を捉える、あるいは位置付ける最良のものとは断定できないので（例えば、政策に係わる技術開発の出現時期のタイムラグ、あるいは、国際問題を踏まえた住宅政策等との関係)、今後の研究成果を踏まえ、より適切な時代区分を提示する必要がある。

3. 研究の成果

ここでは、主たる事項を簡単に紹介しながら、戦後の住宅政策と建設技術の関係を示すことにする。

戦後の住宅政策の変換点をとらえると、第一にほぼ明確な住宅政策の関与のあり方に違いが見いだせる。すなわち、プレキャスト工法にあるような国によるハード開発の指導（トップダウン）から民間開発の導入（ボトムアップ）にシフトした時期が存在する。具体的には米国で行なわれた「オペレーション・ブレークスルー」に触発されて、昭和 45 年にコンペ形式の案の募集と、これを千葉県の幕張で試作した「パイロットハウス事業（低層、中高層)」と、規格された平面形式から、地域の条件を加味した公共住宅の建築計画とこれの個別的要素を考慮した建設に転換するＮＰＳ（ニュー・プラン・シリーズ）が該当する。この期を境に「躯体供給システム」「内装システム」等のサブシステム開発が行なわれるようになり、従前のトータルシステムとは視点を替えた取り組みが政策としてもなされるようになった。いわば、量不足を脱した住宅建設にあって、生活のみならず、経済活動の活発化に伴い生産方式までの多様化が社会に生じ、これを如何に活用するか、一種の民活の促進に政策が切り

替えられて今日に至ったといえよう。公共施設（事業）のＰＦＩ（Private　Financial Investment）導入はこの種の政策として最もホットなものといえよう。以下では、住宅政策の視点と構法の発展の視点に分けて研究の成果を要約して述べる。

３．研究の成果

ここでは、主たる事項を簡単に紹介しながら、戦後の住宅政策と建設技術の関係を示すことにする。

3.1 住宅政策の変遷

我が国における住宅政策は、第二次大戦の戦災による 420 万戸もの絶対戸数不足を解消する事に始まり、都市不燃化の重要性を多くの人々に認識させた。この結果、「耐火・不燃化構造の推進」と「木造建築の排除」が重要な要素となり、GHQ の指導の下に政府が民間を先導する（建築研究所で技術開発）事で住宅生産の工業化と住宅の耐火・不燃化推進が図られた。このような考えからプレハブ住宅の開発が推進され、必然的に木質系プレハブ住宅、軽量鉄骨導入による鉄骨系プレハブ住宅が技術開発を経て誕生し、住宅不燃化政策の観点からも切望され、軌道に乗ることとなった。

30 年代の技術開発は住宅公団に拠るところが多い。発足時から PC 板工法の開発を建研の援助を受けて行い、コンクリート集合住宅の建設技術により短期間に大量建設を実現した。鉄骨系でも同様に行政側の配慮が加わり、住宅構造としての使用が可能となった。更に、公共住宅の大量供給に向けて標準化・プレハブ化が推進され、KJ 部品の出現により規格型住宅が採用される過程に置いても政府は強い行政指導を行った。しかし、一方では中期住宅建設計画が同時期に重複し、且つ、他の計画と比較すると目標設定も繰り返されるといった問題がうかがえる。

昭和 41 年、第一期五箇年計画は「一世帯一住宅」を目標と掲げ、戸数計画を特徴に策定された。本計画により建設省は工場生産住宅の普及を第一目標に、官・民の住宅建設工業化の動向を一体化する中層プレハブ住宅規格統一要綱（SPH）を策定した。しかし、一方では、建設省が主催となって Operation Brake Through を手本にした工場生産化の高い新工法の開発を目標にパイロットハウス技術考案競技が開かれ、脱規格型の動向も見て取れ、政策としての方向性が変容している。

第二期五箇年計画では、一期から引き続く「一世帯一住宅」をまかなうべく、公団や公社において分譲集合住宅の供給が本格化し、マンションが誕生した。加えて建物の機能を整理し、「性能」という客観的指標で評価する研究がなされ、優良住宅部品（BL）制度が策定された。芦屋浜高層住宅プロジェクト技術開発協議等でこの概念が用いられ実現に至った。しかし、オイルショック以降は高度成長を前提に開発されたシステムは見直しを迫られた。尚、住宅不足戸数が充足されたため、政策における量の追求は終了した。

第三期五箇年計画では、質の向上を力点に据えるため居住水準を設置した。このような室

内改善の要求に応えるため、政府主体で躯体建築システムとモ　デュラー・コーディネション（MC）を開発し、既存の工業化住宅とは大きく異なる二段階供給システム・メニュー方式を用いた建設が進行した。又、オイルショックの見直しから、省エネ法が制定され強力な公庫融資を携えた開発が進み、更に、政府による第一弾在来構法の見直しの影響で 2×4 が一般普及した。しかし、建設・通産両省主催のハウス 55 プロジェクトは地域固有の生産システムを無視してしまい、大量供給には至らなかった。

第四期五箇年計画では、引き続き居住水準の向上を念頭に進行され、Century Housing System、シルバーコーポレーション賃貸住宅制度等の実施に至った。更に、在来構法を見直すべく合理化促進計画・性能補償制度を政府が策定し、地域性を重視した計画である家づくり 85、HOPE 計画を実施する事で自治体指導型の政策が盛り込まれ、都市計画においては住都公団を設立し、大規模再開発事業の権能が同公団に与えられた。

第五期五箇年計画では、高まる質への対策から、更なる指標（誘導居住水準）の設定を行った。建設省はコストダウンを含めた技術革新を必要とし、部品化・工業化に努めたが（優良住宅供給促進制度、工業化住宅認定制度)、同時期に通産省が類似した施策（新工業化住宅プロジェクト）を行った。高齢者対策事業には建設・厚生・都がそれぞれの構想を打ち出し、最終的には建設・厚生合作で制定したシルバーハウジング構想をその対策にあてた。更に、多様化する社会状況に応えて数種の住み分けが可能な可変型中高層住宅を実用化した。また、地域木造住宅供給促進制度によって、三度、在来構法の見直しが図られ、従来制定されていた三制度の統合再編を行った。

第六期五箇年計画では、90 年代を通じた住宅対策を推進し、建設技術の方向性提示・民間誘導する建設技術研究開発のビジョン等、長期ビジョン化する体制を整えた。環境問題の出現より省エネから環境共生へ建基法改正時に問題意識が移行された。高齢者対策、マンション建て替えが盛んに実施され、通産省（生活価値総合住宅開発プロジェクト）・住都公団（シニア住宅）等建設省以外の行った政策が多く登場した時期でもある。このような事例より、住宅政策における建設省の影響力が薄れてきた時代と言える。

第七期五箇年計画では、都市の住宅整備の立ち遅れが考慮され、優良な住宅供給と共に都心居住の推進が打ち出された。一方では公・民の連携強化が必要との判断より民間資金で建設する特定優良賃貸住宅を引き上げ官民の負担を見直している。建設省主催の住生活ビジョン 21 の特徴は、躯体内装独立構造のスケルトン住宅であった。建設省は高齢者向け優良賃貸住宅制度によって民間支援を行い、実際の政策としては高齢者対策と環境共生が主流で、グループホーム・エコロジー住宅、他方において通産省ではウェルフェアテクノハウス・エコハウスがそれぞれ実施された。これらのジャンルの住宅政策において、通産省はその貢献から、もはや建設省と同等の機能を有した機関となった。

これまで述べてきたように、住宅政策における実行要件の背景には、行政と民間の多様な関わり方の変遷が見て取れた。しかし、住宅政策が市場流通するまでの過程には、住宅建設の研究開発における尽力無くして達成する事は不可能であったという背景があり、今後は相互間の関連性を捉える必要があるといえる。

3.2 住宅構法の変遷

住宅建設技術の歴史を振り返ると、戦後当初は、戦災の影響により住宅政策においても量の確保が第一課題であったことから、新工法・新材料の開発が主流となり、様々な住宅建設構法が誕生した。ここでは、現在の建築構法の基礎となった各構法の成立した背景と政策との関係を述べる。

(1) 木造構法

木質系プレハブ構法の始まりは､住宅営団が戦中に開発したパネル式住宅を一部手直しし、昭和 20 年に閣議決定した「越冬用応急簡易住宅」30 万戸建設に端を発する。一方、軍需工場では民需転換を図るため、大量建設に乗り出し、昭和 21 年に生産開始されたプレモス・クラケン等を使用した、戦後のプレハブ住宅の起こりと呼ばれる木造住宅を建設した。しかし、昭和 25 年以降、不燃住宅が台頭すると木造プレハブは減少を辿り、コンクリートブロックによる「不燃化住宅」に主流が移っていく。その後、昭和 30 年代半ば、ようやく永大産業・三井木材工業・ミサワホーム等がプレハブ住宅会社として企業化した。当時の住宅生産企業の内訳は木材供給業者・住宅供給業者が多かったが在来構法やツーバイフォー工法に変更する企業が後を絶たなかった。その後、昭和 50 年中頃から在来構法を見直し、地域性を重視した住宅生産システムの確立を目指す事業が計画され、昭和 58 年の「家づくり 85' 計画」「HOPE 計画」はその代表である。この間に、昭和 55 年を開始年とする「木造住宅振興モデル事業」(住宅・木材技術センター)、「(社) 日本木造住宅産業協会」の設立 (昭和 61 年) や「地域木造供給促進事業」の創設、地域的特性生かした良好木造団地を建設する「ウッドタウンプロジェクト」(昭和 62 年)、「木造住宅生産近代化促進事業」等があった。

(2) ブロック造構法

ブロック造構法は、民間に建築技術の研究所がなかったため、公共住宅の建設に起因し誕生した。昭和 22 年、当時「庶民住宅」と呼ばれていた公営住宅として実験的に建設されたことを発端とし、昭和 23 年に建設院建築局による「工場生産住宅供給要綱」が発表された。これを契機に戦後初のブロック住宅 (都営：錦糸町) が着工され、昭和 24 年には建設省のブロック会議にて「工大式」、「東建式」、「佐々木式」、「ＢＫアッシュ」等の選定が行われた。しかし、戦後しばらくは設計基準が存在せず、設計基準の確立は急務とされ、昭和 27 年「特殊コンクリート構造設計基準 (案)」の作成になった。更に、同年、「日本工業規格」によってブロックの品質を定める基準 JIS A5406「空胴コンクリートブロック」が発表される等、発展のきざしがみえたが、30 年代をピークに次第に姿を消した。以降の技術開発は、「コンクリートブロック協会」を中心に行なわれ、シェル部を薄くし、補強鉄筋量を多くした一種の鉄筋コンクリート造としたシステムが開発され、３階以上の住宅にも適用可能であった。しかしながら、時代は工業化を迎え、小回りの効く部品を用いた多様な設計に対応できるシステムも労賃、技量等の問題から大きな展開を得られずに終わってしまった。この理由の一つに、住宅政策の中で、主要な住宅構法に位置づけられていなかった点も指摘できる。

(3) 鉄筋コンクリート造

a　ティルトアップ工法（住宅公団）

ＰＣ版構法の開発は、住宅公団に拠るところが大きく、同公団は設立年度の昭和 30 年から開発に着手し、建設省建築研究所にティルトアップ工法の開発を委託した。その後、公団は昭和 36 年、量産方式の実用化についての３ケ年計画「建設合理化に関する要綱」を作成し、昭和 38 年単層養成方式プラント試作、昭和 41 年になると、初めて 4 階建から 5 階建の 65-5N-2DK-PC 型（公団標準設計）が日本建築センターの評定を受けた。しかし、昭和 45 年ＳＰＨ（中層プレハブ住宅規格統一要綱）が導入され、ＨＰＣ構法が登場し、開発自身は止まる事となった。

b　公営低層住宅のＰＣ化

昭和 35 年に公営低層住宅のＰＣ化は、標準設計として（社）日本不燃建築協会の認定を受け、生産が本格化した。当時の公営住宅の開発目標は低層・小規模・ローコスト住宅にあり、昭和 37 年には「量産公営住宅実施要領」が策定され民間躯体メーカーが東京街道団地に１棟ずつ５棟 21 戸の試作を行った。この中で「トヨタライトハウス式」と「ゴーセイ式」の２種類が採用され、以降の量産公営住宅の基礎を築いた。さらに、公営住宅の地方的建設の特質により、関東や近畿圏以外の地域でも、この工場が設置され、後のコンクリート系プレハブメーカーが地方的に展開できた点は注目できる。

c　公営中層プレハブ住宅

その後の公営住宅では中層化が進められ、昭和 41 年に都議会が「住宅建築工業化の基本構想」計画を打ち出した。更に、昭和 44 年には「住宅産業工業化の長期構想」を図るため「公営住宅法」を改正し、公営住宅建替分は高層または中層とする事でプレハブ化を法令上で制定した。このような状況から中層 PC 版工法の体系化を目標に昭和 45 年「中層プレハブ住宅規格統一要領（ＳＰＨ)」が策定され、基準寸法が提示されている。

d　高層住宅

昭和 27 年、佐藤武夫氏がハワイからメタルフォーム（型枠）を持参した事により鉄筋コンクリート造の新しい開発が始まる。その後、スライディングフォーム工法への発展を経て、昭和 30 年には日本住宅協会がメタルフォームによる公営住宅の設計図を作成し、住宅建設分野へ乗り出した。さらに、民間技術の導入を行うべく「芦屋浜プロジェクト技術提案競技」を実施、一方、公団や公社においては分譲集合住宅の供給が本格化し、民間供給の高級分譲集合住宅（マンション）が現れた。

(4) 鉄骨構造

a　軽量鉄骨構造

戦後の鉄骨住宅は「不燃家屋の多量生産方式」（昭和 21 年 5 月発行）の中で紹介されたことに始まる。本書は、工事の合理化を促進させる提案（軸部：鉄骨、壁内：乾式不燃材料を充填）であったが、当時の生産業者は、簡便に不燃化可能なブロック構法に開発の主流があ

ると認識していた。また、当時の軽量鉄骨造は品質の均一性が得られず、加工性の高いアルミニウムが注目され、昭和 24 年には米国技術を導入したＪＡＣＯＭアルミニウム組立住宅が登場し、東京三宅坂に見本住宅を建設した。

昭和 29 年にはプレス形鋼と鋼板使用の都営軽量形鋼住宅が建設され、八幡製鉄所（株）光製鉄所内の工場施設の場合には、翌年中之島製鋼が生産・販売するＬＧＳ部材の断面形状・性能を検討する役割を持っていた。

b　重量鉄骨構造

住宅建築用の重量鉄骨の発展は「H形鋼」との関連が強い。我が国の純鉄骨建築は八雲小学校に始まり、32 年には日本鋼管（株）がH形杭を販売した。圧延H形鋼は八幡製鉄所三大形工場にて 300x300㎜ の試圧延（昭和 34 年）されたのが最初で、翌年にはこの圧延鋼材を使用し八幡製鉄所（株）の和歌山白浜寮が建設された。一方、極厚H形鋼を生産していた堺製鉄所花田社宅では、高層プレハブ住宅のはしりとされるモノH構法を用いた７階建が建設された。昭和 42 年の鋼材クラブ主催コンペ「住宅団地に建つ鋼構造高層アパート」の結果は業界設計部の圧勝に終り、高層アパートの技術開発は公的機関よりも、民間に蓄積されていることが明らかになった。

その後、重量鉄骨構造は米国の「Operation Break Through」を手本に建設省が主催した、工場生産化レベルの高い新工法開発を目標に提案を求めた「パイロットハウス技術考案競技」（昭和 45 年）のスチールブロックで見て取れる。同様に、その後建設された芦屋浜高層住宅プロジェクト入選案「ＡＳＴＥＭ」、広島基町住宅等においても住宅の高層化と鋼材の間には不可欠の関係があった。

3.2 生活の多様化と住宅建設技術

昭和 55 年、住戸数において一応の充足を満たした政府の政策は、国民生活の多様化の影響から質の向上を目指し、建設計画の目標も前節で述べてきた構法の開発（ハード）から室内重視（ソフト）へシフトした。ここでは、国民生活の多様化に対応すべく行われた技術開発の変遷と住宅政策との関わりを述べる事とする。

(1) マンション建て替えの支援

住宅リフォーム（増改築・模様替え）は、昭和 58 年既存住宅の診断技術や合理的な施工技術を研究する「(財) 日本住宅リフォームセンター」が建設省の支援を受けて設立されたことに端を発する。同センターでは「住宅用リフォーム部品」の開発が進められ、昭和 59 年「住宅リフォーム促進事業」を制定した。この事業制定を背景に、建設省は昭和 60 年、地方公共団体と民間のタイアップによって「公営住宅総合建替モデル事業制度」を事業化した。開発は、「混合化方式」によって進められ、天井や壁を撤去する「2 戸 1 改造」と「1 部屋増築」を平行して使用するリフォームシステム技術が採用された。

平成 3 年、建設省は、自治体や住宅関係団体の協力を得て、分譲住宅の「建て替えマニュアル」を作成し、将来の問題に対して事前に対策を施した。平成 11 年には、欠陥住宅問題があとを絶たない事から、住宅版ＰＬ法ともいえる「住宅品質確保促進制度」を制定した。

この中では、「瑕疵担保責任期間の10年義務付け」が生産技術関係として注目された。

また、建設省と住宅金融公庫は「リフレッシュ住宅融資制度」（平成 3 年）を創設し、中古マンションの流通促進をはかり、結果的に「マンションリフォームマネジャー資格者制度」（平成 4 年）が「(財) 日本住宅リフォームセンター」（昭和 59 年設立）の手により実施されることになった。

(2) 躯体と内装システムの分離（スケルトン住宅）

「スケルトン住宅」とは、建物をスケルトン（構造躯体等）とインフィル（間取り内装等）に分離し、両者を別の仕組みで設計供給する理念に基づき、入居者ニーズへの対応（インフィルの可変性）を可能にしつつ、建物の公共財としての側面（スケルトンの長期対応性）を高めることを狙いとして発生した。住宅都市基盤公団は昭和 60 年、構造躯体や配管等の本体部分を賃貸して、室内の内装・間仕切り・流し台等は入居者が自由に作れる方式を、同公団における初フリープラン住宅「スケルトン賃貸住宅」として東京練馬の「光が丘パークタウン」を建設した。

このような政策が可能となった理由は、住宅部品開発センターにおける「躯体・仕上分離方式」、「内装システム試作研究」＝MC（モデュラーコーディネーション）の確立に拠る所が大きい。更に、昭和54年住宅都市基盤公団が示す数種の仕様から居住者が選択できる「メニュー方式」、住み手側が話し合いで個々の要求を活かす「コーポラティブハウス」、躯体のみを販売し内装工事は居住者側に任ねる「二段階供給方式」等も登場した。さらに、多様な住要求に対して、建設省は家族構成に応じて間仕切りが移動でき、省資源・エネルギーの図れる「Century Housing System」を昭和57年に推進した。

以後は、種々のプロジェクトを経ながら、建設省は「住生活ビジョン２１」を制定（平成 8 年）し、ここでも「スケレトン賃貸住宅」が採用され、建築研究所を中心とした「総合技術開発プロジェクト」の成果から内装や設備の変更・補修が容易な「マンション 100 年住宅」政策が策定されるに至った。

(3) 高齢者対策事業（バリアフリーの振興）

ここでは、来るべき高齢化社会の到来に対して行われた一連の住宅政策の影響で生じた技術開発が関係する。

建設省は昭和 60 年、高齢者の安全且つ快適な在宅生活を支援する居住環境つくりを目指し、新たに建設する住宅について高齢化社会に対応する一定水準の設計・設備面での配慮を行い、結果的に工事単価が引き上げられた。又、同時期に建設省建築研究所では将来の長寿社会に備えて、高齢者住宅の安全性と快適性を目指し、玄関・風呂場・階段に手摺りを設け、堀込み式湯船・滑りにくい床等の開発が行われた。更に、同所は昭和62年、防災用感知器、電動開閉ドア、小型低速エレベーター、家族構成が変わっても対応できる可変間仕切りの導入に着手した。

その後は、建設省住宅局の所管で「(財) 高齢者住宅財団」（平成 5 年）が設立され、高齢者用住宅の指針つくりのほか、民間計画の「シニア住宅」についての事業認定を行なって

来た。

(4) 環境共生・省エネ住宅

戦後の住宅政策の中では比較的新しい話題に属する。通産省は、昭和 48・54 年のオイルショックの教訓から、住宅の設計・構造の改善により暖冷房における省エネルギーを推進するため「省エネ基準法」を昭和 54 年に制定し、その結果、建設省によって住宅の断熱構造化が図られ、住宅金融公庫による割増貸付制度が設けられた。さらに、平成２年になると「地球温暖化防止行動計画」が決定され、平成 3 年の建築審議会の答申の中でも建築物の省エネルギー対策が示され、(社) 日本ツーバイフォー建築協会による「R-2000 住宅認定事業」が実施された。続いて平成 4 年より「環境共生住宅」の開発が官民共同で行われ、平成 5 年には「高気密・高断熱省エネ基準」が導入された。これを契機に以後も環境共生、持続可能社会の実現を目指す政策が出されることになった

最近では、「環境共生住宅」の調査研究をはじめとして、平成 11 年には「住宅・建築エネルギー機構」は環境共生住宅に対して二つの基準をもって、その具備すべき条件を具体化させた。また、住宅建設と有機溶剤の関係で問題になっているシックハウス対策もこのカテゴリーに含まれる話題といえる。

(5) 超高層建築

昭和 38 年に建築基準法が改正され、それまでの 31mの高さ制限が廃止され「超高層建築」が出現するようになった。昭和 40 年に建築基準法第 38 条の特設を受けた霞ヶ関ビルは、初めて超高層ビルとして竣工した。方向性の無い組立ボックスの柱が設計の主流となる中で、ユニバーサル・H形鋼からユニバーサル・ボックスが開発された。この開発には、大規模な需要が必要であったが，昭和 54 年芦屋浜高層住宅にてこの方式を実現させた。

昭和 63 年、「ＨｂｘＲＣ工法」が初めて公団住宅に採用された。従来のＳＲＣ工法に比べると鉄筋方式の梁が採用され、柱の断面積が縮少できることによって、建築コストの大幅ダウンを図った。さらに、平成元年、角形鋼管コンクリート造を大川端 RC21 地区の 37 階建て超高層住宅に初採用し、工事に着手した。更に建設省では、平成２年「超高層居住研究会」を発足させ、超高層住宅における居住環境のあり方や供給・計画方法等について検討を開始した。

平成 6 年になると、地上 1000 メートル、耐用年数 1000 年以上の「超々高層ビル」実現に向けて大手ゼネコン６社と設備メーカーが官との合同により「ハイパービルディング研究会」も設置されている。

４．これまでに得られた成果

今回の研究助成に対しては、以下のような成果が得られた。

a. 戦後の復興期の住宅不足を解消する、建設量の確保を目的とした初期の工業化住宅構法（民間の技術開発によるもの）が様々なアイデアのもとに展開されてきたが、絶対量の解消にはいたらず、概ね試行段階で終わった

b. その後の量の確保は、特に耐火住宅にあっては、住宅公団を中心とした技術開発に委ねられ、公的機関の技術開発指導が大きく住宅生産方式を変革させた。

c. 量から質の変換期においては、標準化の弊害を解消するため、地方的居住形態を尊重し、さらに地方のもつ生産技術を積極的に活用する政策に転化された。この中でもＮＰＳの果たした役割は大きい。そして、この考え方は民間技術開発を積極させる政策に展開され、米国のオペレーション・ブレークスルーの考え方を受けた、パイロットハウス試作と連結されることとなる。官による絶対的な技術開発がある種の限界に達した結果ともいえ、これの発端は昭和 35 年以降に企業化し、今日のプレハブ会社にいたった「工業化住宅認定制度」あるいは、初期に行われた「部位別性能評価」の研究実績が大きく関わっていた。

d. 住宅建設における地方性は、地場型産業の育成から取り上げられ、工業化を前提とした民間技術開発の後に積極的に取り組まれている。この中でも、地方住宅建設＝在来木造の等式が政策上もみられ、各地から地域振興を目的とするアイデアが提出され、「家造り８５」、「ウッドタウンプロジェクト」等の展開を生みだした。しかしながら、プレハブ住宅、ツーバイフォーのシェアー拡大を前に、政策の理念と現実との乖離が存在し、ダイナミックに展開される経済活動を無視した住宅開発に限界を生じさせたともいえる。

e. そして、最近の話題になると、「長大重高」型の技術開発そのものに批判が向けられ、地球環境との共存化、高齢者・消費者保護が社会的に要求され、技術のあり方そのものを変貌させてきている。従って技術開発の規範となる住宅政策は、全人格的な問題を視座に入れながら、火急的テーマに対応することが急務となった。換言すれば、狭義の住宅政策でなく社会政策の一部として今後のあるべき住宅像をとらえ、そこから実現化させる手段（技術開発）を探求する、従来にない新たな取り組みが求められていると言えよう。

以上のような戦後から現在に至るまでの住宅政策とその技術開発の関係を明らかにし、その結果の一部を巻末の資料編に収録した。従来は居住水準の変遷と住宅政策との関連を視座においた研究は多くみられるが、本研究のような着眼点からの研究は、ごく限られたものしか散見できないので、貴重な成果が得られたと判断できる。

５．これから期待される成果

我が国の戦後から今日に至る住宅建設は、量の確保から質への転換、さらにはパラダイムシフトによる、住宅を取り巻く社会的環境の変化、すなわち社会が求める住宅そのものの変化等を経験してきた。今回まとめた資料は、これらの話題が殆ど含まれているともいえ、今後の新たな住宅に関する局面が登場しても、何らかの過去の類似的事象が発見できる。温故知新として過去を重視するわけではないが、少なくとも過去の出来事が正しく理解できれば、今後生ずるであろう問題に、正しい舵取りをもって初期段階から対応できるはずである。

６．残された問題点と対策

今後の研究としては、さらなる住宅政策の分類化と得られたデータから、主体構造別、部

品・建材別に副領域を選出し、これに携わった政策と技術関係の関わりを示す年表を作成することが残されている。この年表は単に時系列に配置されるだけでなく、技術の面でも他の要因との関わりがとらえられる多元的座標を用いることが不可欠であろう。あるいは新たな居住様式（長期居住、高齢者対策等）や持続可能型社会（省資源型住宅、建材の再利用等）の要請を踏まえた技術開発が住宅以外の政策によってどのように展開してきたかの実態を解き明かす作業が残されている。この中では国内的と言われる住宅問題を国際化のキーワードの中で位置づける必要があろう。

また、本研究の中心はいわゆる技術の発展にあるが、広く技術論の立場に立ち社会と技術の関係から住宅の発展過程を明らかにする仕事が今後残されている。従って本研究の延長線上には、技術のプライオリティーを問う研究が存在している。

7．研究発表の実績

a. 片野博、谷岡宗昭、「我が国の住宅政策が技術開発に与えた影響とその結果について（戦後～昭和55年）、日本建築学会九州支部研究報告第40号、２０００年３月、pp97～100

b. 片野博、谷岡宗昭、「我が国の住宅政策が技術開発に与えた影響とその結果について（昭和年～現在）、日本建築学会九州支部研究報告第40号、２０００年３月、pp101～104

住宅政策年表１（戦後復興期：昭和20～29年）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
S20	1945	・戦災復興院設置 ・戦災地復興計画基本方針閣議決定 ・日本規格協会設立 ・商工組合法により日本建設工業統制組合設立	・建築調査令公布 ・住宅緊急措置令公布	・「罹災都市応急簡易住宅建設要綱」閣議決定 ・建築学会長　内藤多仲、内閣総理大臣並びに戦災復興院総裁宛に建議「新建築構造の研究を基礎として技術的に資材難を克服する事云々」 ・木造新庶民住宅実態調査
S21	1946	・罹災都市借地家臨時処理法公布 ・特別都市計画法制定（戦災復興関係） ・地代家賃統制令公布 ・臨時建築制限令公布 ・日本木材需要団体連合会設立 ・（社）復興住宅技術協会設立 ・住宅営団従業員組合、住宅復興会議設置を決定 ・住宅生産同業会（のちの工場生産住宅協会）結成 ・セメント統制会解散、セメント工業会設立 ・工場生産住宅協会設立 ・木材統制法	・住宅営団の応急住宅多量生産化の研究	・連合軍用宿舎等建設要綱 ・「復興住宅展示会」於東京、朝日新聞社主催、戦災復興院、住宅営団後援（６社） ・ＧＨＱ「占領軍及び家族用住宅の建設計画に関する件」覚書発表（２万戸発表：デベンデントハウス（「ワシントンハイツ」） ・戦災都市計画及び住宅対策に関する建議追補第２、３号、建築学会（建築システムの具体的提案を示す） ・プレモス（山陰工業）、クラケン生産開始（倉敷絹織） ・木材緊急確保のため国有林、公有林の積極的払下決定 ・連合軍総司令部、セメント規格（LD24号）を指示
S22	1947	・新日本建築家集団創立 ・臨時炭坑労務者住宅建築規制 ・開拓者資金金融法公布 ・臨時建築等制限規制公布 ・都会地転入抑制法公布 ・（社）日本建材協会設立 ・鋼材クラブ設立 ・木造需給連盟結成 ・（社）日本建材協会設立 ・板硝子協会設立 ・日本サッシ協会設立		・神奈川、広島県、福岡県に特殊コンクリート造の公営住宅建設決定 ・佐々木式ブロック造（日本復興建材工業所施工）東京中央区店舗付住宅 ・「昭和２２年度住宅基準」戦災復興院 ・第１回工場生産住宅展示会（東京渋谷）、工場生産住宅協会主催（パネル工法３　軸組工法協７） ・第２回工場生産住宅展示会（於大阪） ・物価庁告示第１８３号をもってセメント統制額改訂 ・臨時炭鉱労務者住宅建設資材確保要領 ・物調法に基づく「指定生産資材割当規則」公布
S23	1948	・建設院発足（戦災復興院・旧内務省国土局が統合） ・建設省設置法公布、建設省発足 ・消防法制定 ・都会地転入促進法廃止 ・工業技術院発足 ・（社）不燃住宅協会設立 ・日本学術会議法公布 ・都市不燃化促進同盟発足 ・日本鉄鋼連盟設立 ・日本セメント協会設立 ・耐火煉瓦協会設立	・第一回住宅統計調査実施	・日本建築学会は建設省の委託をうけ、特殊コンクリート造に関する委員会を設置 ・東京上野公園で８～１２坪の小住宅の展示 ・戦後初のＲＣ公営住宅アパート「高輪アパート」竣工 ・米軍放出資材による戸山ハイツ着工 ・武蔵野工産住宅（都営住宅）建設決定 ・「昭和２３年度住宅基準」建設省（「簡易耐火構造」に佐々木式コンクリートブロック、工大式組立鋼筋コンクリートがのせられる） ・建設院建築局「工場生産住宅供給要領」発表 ・組立耐火建築（株）（日本プレコンの前身）設立
S24	1949	・建設業法制定 ・住宅局の設置 ・広島、長崎特別都市建設法 ・建築制限緩和 ・工業標準化法実施 ・住宅対策審議会設置 ・全日本建設技術協会設立 ・工場公害防止条例制定（東京都） ・不燃化促進議員連盟発足		・東京戸山ヶ原に鉄筋モデルアパート完成 ・戦後初の都営ブロック住宅着工（錦糸町） ・建設省ブロック会議にてコンクリートブロック造選定（工大式、東建式、佐々木式、ＢＫアッシュ） ・建築研究所、日本建築学会耐震試験委員会、東工大田辺研究室の共同研究によりプレコン（２階建て）実大振動実験 ・我が国発のレディーミックスコンクリート製造（東京業平橋イワキセメント） ・木材、普通ポルトランドセメント、高炉セメント等統制解除
S25	1950	・建築基準法 ・建築士法公布 ・住宅金融公庫設立 ・国土総合開発法公布 ・首都建設法公布 ・臨時建築制限規則廃止 ・全国コンクリート製品協会設立 ・日本建設材料協会	・住宅金融公庫融資住宅建設基準 ・第２０回国際都市計画及び住宅問題会議開催（アムステルダム）	・国鉄宿舎昭和２５年度以降不燃化実施 ・簡易耐火構造住宅展示会建設省東京都主催、於東京新宿区、中野区（２０社出品）（ＢＫ式、ＡＳＢ、中西式東洋、山形Ｂ式、Ｈ式ブロック等） ・建築研究所は軽量コンクリート使用（公務員住宅、東京新宿に初めて技術指導） ・各種コンクリートブロック工法による公営住宅試作活発 ・コンクリートブロック製造機械米国より輸入（ブロックマシン「カーバック」） ・火災砂利使用の軽量コンクリートの実験 ・高張力鋼WEL-TEN50 開発
S26	1951	・公営住宅法制定 ・官庁営繕法制定 ・土地収用法公布 ・日本都市計画学会創立 ・森林資源総合対策協議会発足 ・大阪市住宅建設促進協議会結成		・八幡製鉄所鉄筋アパート第１期工事完成（桃園） ・ＰＣコンクリート組立工法活発 ・朝鮮戦争の影響による建設資材の高騰 ・ＡＥ剤の使用始まる ・メタルラス生産過剰 ・戦後初めてPC鋼線及び鋼より線を生産販売（住友電工）
S27	1952	・建築基準法改正（建ぺい率規定緩和等） ・耐火建築促進法制定 ・道路法公布 ・宅地建物取引業法公布 ・日本住宅協会設立 ・日本建築士会連合会設立 ・公営住宅建設３カ年計画策定 ・農地法公布		・日本建築学会「特殊コンクリート構造設計基準（案）」発表 ・長野県の公営住宅、ブロック造に移行（浅間軽石） ・佐藤武夫氏メタルフォーム紹介 ・合板業界にホットプレス普及 ・フレキシブル板販売 ・鋼材生産４８５万トンで戦前最高（昭和１３年）を突破 ・文部省／日本火災学会／全国私有物件災害共済会　「木造住宅防火要領」（特に木造学校を中心として）
S28	1953	・産業労働者住宅資金融通法制定 ・北海道防寒住宅建設等促進法公布 ・日本不動産協会設立 ・東京住宅生活協同組合結成 ・鋼材倶楽部需要開拓委員会 ・日本メタルラス調整組合委員会 ・全国建築石材工業会設立 ・日本コンクリートブロック協会設立	・統計局による第二回住宅統計調査	・建築工事標準仕様書ＪＡＳＳ発刊 ・ＰＳコンクリート構造設計要領案発表 ・神奈川県で不燃住宅（ブロック軽石コンクリート）を奨励 ・ブロック建築に建設技術奨励補助金交付される ・日本相互銀行本社ビル（全溶接ビルの最初） ・スライディングフォーム工法 ・鋼管足場の使用 ・押出型材によるアルミサッシ誕生 ・FRP波板の企業化 ・ビニルアスベストタイルの生産開始 ・高張力鋼 WEL-TEL 販売開始 ・建設省告示第１４６７号異型鋼優遇措置
S29	1954	・土地区画整理法制定 ・特別都市計画法廃止 ・（社）産業住宅協会設立 ・（社）日本サッシ協会設立	・大阪府千里丘陵に人口１５万人のニュータウン建設構想 ・住宅金融公庫法の一部改正（宅地取得造成融資・分譲住宅融資）	・現場発泡コンクリート工法試験開始 ・「５５型低廉不燃公営住宅（ローコストハウス）実施計画建設省「横式コンクリートブロック」強度試験結果表添付 ・都営軽量鋼住宅建設（星野昌一博士案、但しプレス成型軽量型鋼と鋼版使用） ・建設省告示（1305号）により、外壁の帳壁の耐火試験による耐火構造指定公布 ・ステンレス流し台（薄板溶接）サンウェーブ ・現場発泡コンクリート試験研究開発

住宅政策年表２（経済復興期：昭和30～40年）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
S30	1955	・日本住宅公団発足 ・住宅融資保険法公布 ・北海道立寒地建築研究所発足 ・（財）第１住宅建設協会設立 ・（財）日本住宅福祉協会設立 ・日本建築学会薄板構造委員会発足 ・（社）日本軽量鉄骨建築協会設立 ・（社）全国建設業協会設立 ・プレストレストコンクリート工業会発足	・住宅建設十ヶ年計画策定 ・第二期公営住宅建設三箇年計画国会承認	・ＰＳコンクリートを浜松駅工事に使用 ・公団現場製作 P.C.Tilt-up 工法の開発、建築研究所に委託 ・Masprect 工法実用化、万年真性式 ・「平家建特殊コンクリート構造設計基準 ］ ・公営ＬＧＳテラスハウス標準設計 ・「日本軽量鉄骨建築協会」設立 ・中之島製鋼（株）軽量型鋼製造（我国初の軽量建築用鋼材） ・日本住宅協会：メタルフォームによる公営住宅の設計図完成 ・軽量形鋼（LGS）生産開始（中之島製鋼所）
S31	1956	・首都圏整備法制定 ・都市公園法公布 ・科学技術庁発足 ・日本道路公団発足 ・日本建築協会発足 ・日本ブロック建築協会発足 ・国際建築技術協会設立	・首都圏整備委員会発足 ・初の高層アパート竣工（晴海団地） ・公団千里ニュータウン建設着手	・金岡団地（公団第一号住宅）竣工 ・標準設計方式採用（55／56型） ・住宅金融公庫法改正（軽量形鋼も簡易耐火構造に認定される） ・レディーメードスチールサッシ、６Sサッシ（三機工業） ・ステンレス流し台（深絞り）サンウェーブ ・FRP連続成形方式の開発無アルカリ、ガラス繊維の国産化
S32	1957	・建築基準法改正（道路内建築制限、建ぺい率規定等） ・駐車場法制定 ・（社）日本硬質繊維板工業会設立 ・（社）日本左官業組合連合会設立	・住宅金融公庫法の一部改正（中高層耐火建築物融資） ・住宅建設五箇年計画策定 ・宅地建物取引員制度発足	・公団２Ｆテラスハウス４戸を試作完成（試作４、５号）東京練馬区ノ宮 ・ステンレス浴槽開発（国鉄） ・アルミニウム窓枠等の製造技術導入（米）
S33	1958	・（財）日本労働者住宅協会発足	・大阪千里ニュータウン着工 ・第三期公営住宅建設三箇年計画国会認証 ・第三回住宅統計調査実施	・都営高層アパート晴海（前川事務所） Super Structure ・公団多摩平団地にて８戸建９棟の大量建設 ・公営住宅にモデュラーコーディネーション採用 ・アルミサッシ販売（不二サッシ） ・インシュレーションボード技術導入 ・ポリウレタンフォームの製造技術導入 ・建築設計計画基準委員会「木造建築耐久設計要領」策定
S34	1959	・建築基準法・施行令改正 （防火区画、耐火性能、内装制限、簡易耐火構造、用途地域関連規定整備等） ・首都高速道路公団発足 ・首都圏の既成市街地における工業等制限法公布 ・（株）日本不燃建築協会に改組 ・建築業協会（財団法人）設立	・公共住宅用規格部品（ＫＪ）協議会発足 ・（社）ステンレス協会設立 ・公営住宅法の一部改正	・大和ハウス「ミゼットハウス」発表 ・Ｈ型鋼の量産開始 ・準不燃材料、難燃材料に対する試験告示公布 ・押出方式により波板が生産される（硬質塩ビ板） ・ハニコーム層（壁用芯材）技術導入 ・構造標準委員会木構造分科会「木構造設計規準案」発表
S35	1960	・住宅地区改良法制定 ・自治省新設 ・地理調査所を国土地理院と改称 ・日本住宅公団材料試験室新設（建築研究所内） ・日本住宅協会ＫＪ委員会設置（ＫＪ委員会の事務引継） ・（社）全国住宅供給公社等連合会設立	・住宅建設五箇年計画 ・住宅困窮世帯３６％（住宅実態調査） ・第一回住宅需要実態調査実施	・中層55-4H-2DKを対象に設計検討 ・建築研究所内に２／３のスケールの試験体をつくりテスト ・大成建設技術研究部実大の４Ｆ試作住宅（１棟８戸） ・第４回ＣＩＢ火災研究会議（ロンドン）開催 ・プレハブメーカー出揃う（永大、大和、積水ハウス、ミサワ） ・「公共住宅用部品」 KJ部品、最初の指定
S36	1961	・建築基準法・施行令改正（特殊建築物防火規定強化、特定街区制度等） ・日本住宅公団法一部改正（施設の建設・管理） ・新住宅建設後五箇年計画策定 ・防災建築街区造成法制定 ・建築基準法改正（特定街区制度発足） ・首都不燃建築公社発足 ・新技術開発事業団発足 ・規格建具工業会設立	・第四期公営住宅建設三箇年計画国会承認 ・首都圏整備委員会、研究学園都市構想発表 ・丹下健三、東京計画 1960	・４Ｆ（２Ｋ）共同住宅３２戸実施工事 ・「建設合理化に関する要綱」 （３ヶ年計画・量産方式等の研究・実用化についての計画） ・「量産公営住宅推進に関する要綱」建設省決定 ・「簡易平屋建量産住宅（ＭＬＣ）実施要領」 ・公団用メタルフォーム予備実験　於建築研究所 ・発泡コンクリート版（ALC）導入 ・構造標準委員会木構造分科会「木構造設計規準・同解説」 ・低層量産住宅・中層住宅の新工法（ PC,MF）の開発
S37	1962	・新産業都市建設促進法制定 ・量産公営住宅推進協議会発足 ・大都市再開発問題懇談会発足 ・宅地制度審議会発足 ・建築物用地下水の採取規制 ・日本住宅パネル工業協同組合設立 ・（社）東京労働者住宅協会設立 ・「プレハブ建築懇談会」結成 ・日本住宅パネル工業協同組合設立（パネ協、規格建具１３社） ・ＦＲＰ関係業界懇談会設立（のちの硝子繊維構造材工業会）	・全国総合開発計画閣議決定 ・公団高蔵寺ニュータウン計画を発表	・4S-3DK,24戸実験工事 （IHの国産第１号、キャタピラクレーンによる Tilt up） ・公団東京赤羽団地で戦後最大の実物火災実験を実施 ・建築生産近代化促進会議（設計の模型に公共住宅のプレハブ化推進策の施策を出す） ・「量産公共住宅推進協議会」閣議決定、結成（民間） ・不燃組立構造住宅は公庫総裁の認定となる（昭和３７年度９システムを設ける） ・公庫不燃組立構造住宅認定８社が中心となり、「プレハブ建築懇談会」を結成（民間） ・公団メタルフォームを調査研究（公団量産試験所内　62-4N-2DK-MF型８戸）
S38	1963	・建築基準法・施行令改正（容積地区制度、高層建築物への内装制限強化） ・宅地債券に関する法律制定 ・新住宅市街地開発法制定 ・近畿圏整備法制定 ・プレハブ建築協会設立 ・（財）建材試験センター設立 ・国立防災科学技術センター発足 ・日本建設産業協会発足 ・住宅金融公庫法・日本住宅公団法の一部改正（宅地債権制度）	・都市計画住宅連合５０年記念会議開催（アーヘン） ・第四回住宅統計調査実施	・公団量産試験所設立（東京国領） ・プレ協「プレハブ建築の部位別性能基準に関する研究」 ・３８年度公営住宅に軽量鉄骨プレハブ方式採用 ・この頃から現場高圧ボルト、工場溶接が一般化する（Ｈ型鋼の普及） ・公団専用開発、東京北三谷団地（ 63=4N-2DKMF型336戸） ・建築生産近代化促進協議会総会 ・国産ALC生産開始 ・高温・高圧蒸気養成された軽量気泡コンクリートパネル使用規準を建設省住宅局指導課長より通達
S39	1964	・工業整備特別地域整備促進法公布 ・建設省高層建築物構造審査会発足 ・日本建築綜合試験所設立（大阪） ・日本カーテンウォール工業会設立 ・第１回日本建築祭開催 ・日本防火シャッター工業会発足 ・産業労働者住宅資金融通法等の一部改正（貸付対象拡大）	・第２７回都市計画住宅連合国際会議（イスラエル） ・宅地制度審議会鑑定評価基準答申 ・宅地審議会設置	・量産試験所内に簡易単層養成方式によるテストプラントを設置（中層、ＲＣの試作） ・「リブ付薄肉コンクリート中型パネル　量産公営による組立コンクリート造設計要領」 ・昭和３９年度よりプレ協による量産公営住宅は標準設計 ・公庫「工場生産住宅承認制度」（木造プレハブ住宅も認定） ・公団（東京竹ノ塚団地、 63-4N-2DKMFHF 型、神奈川善行団地 64-5N-3K-MF 型） ・カミュ・ポノム氏「建築生産近代化方策について」
S40	1965	・地方住宅供給公社法公布 ・（財）日本建築センター発足 ・日本鋼構造協会設立 ・日本コンクリート会議設立 ・（社）ＡＬＣ協会設立 ・建設省計画局に宅地部設置 ・建設省住宅局建築指導課に市街地建築指導室設置 ・建設省に建築審議会設置 ・（財）住宅改良開発公社発足	・「丸の内景観対策懇談会」 ・宅地審議会「新市街地の開発に関する制度の確立について答申」「地価対策について答申」 ・住宅金融公庫法の一部改正（住宅改良資金）	・千葉市郊外作草部団地－中層フラット 496戸（日産２戸の移動式プラント公団により設置） ・調布市神代団地 4F2DKP24戸（特64-4N-2DK-PC 型）公団実用建設第１号 ・ＰＳ工法中層量産公営住宅開発（建築研究所＋プレ協） ・都議会：苦情により軽量鉄骨によるプレハブ住宅を昭和　41年度より建設中止） ・木材資源利用合理化推進本部「プレハブ工法による木造住宅設計競技」入賞案発表

住宅政策年表３（第一期五箇年計画時代：昭和41～45年度）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
S41	1966	・住宅建設計画法制定 ・流通業務市街地の整備に関する法律制定 ・古都における歴史的風土の保存に関する特別措置法公布 ・中部圏開発整備法公布 ・日本勤労者住宅協会法公布 ・建設省骨材対策協議会発足 ・日本住宅開発協会設立 ・（社）日本厨房機器工業会設立 ・全国防腐木材工業組合設立	・第２８回都市計画住宅連合国際会議開催（東京） ・第１期住宅建設五箇年計画閣議決定（「一世帯一住宅」６７０万戸（１３４万戸／年平均）） ・建設省、国土建設の長期構想案公表 ・住宅建設後五箇年計画閣議決定 ・第二回住宅需要実態調査実施	・公団標準設計（65-5N-2DK-PC型を日本建築センターの評定を受ける ・住宅公団建築部に量産課設置 ・「公共住宅設計の標準化」建築研究所にて実験 ・建設省「住宅建設工業化の基本構想」（今後材料及び部品の工業化をさらに推進させるとともに住宅の大部分を工業化した住宅（工場生産住宅）の普及を図ってゆく） ・「中層共同住宅建設の工業化促進要領」定まる（躯体の工業化内装及び設備の工業化を併行して行う） ・各社大型ＰＣ工場設立 ・鉄筋組立プレハブ化試作 ・第５回プレストレストコンクリート国際会議開催（パリ） ・ロータンク付き床上排水型洋風便器 ・硬質木片セメント版サイディング（三井木材）
S42	1967	・下水道整備緊急措置法公布 ・公害対策基本法公布 ・（社）日本建設業団体連合会発足 ・住宅建設工業化促進連絡会議の設置 ・（財）日本勤労者住宅協会発足 ・住宅金融保健法の一部改正（対象拡大）	・千里ニュータウン完成 ・東京海上ビル美観地区問題 ・宅地審議会「都市地域における土地利用の合理化対策についての答申」 ・建築審議会「建築関係法制整備の答申」	・東京都、プレ協に公営住宅標準設計を委託 ・南極昭和基地に木造プレハブ住宅 ・セメント業、１００％完全自由化業種となる ・合板型枠　１００万枚／月産突破
S43	1968	・都市計画法・同施行令成立 ・住宅宅地審議会・都市計画中央審議会発足 ・騒音規制法公布 ・（財）日本高層住宅協会設立 ・文化庁設置 ・建築金物規格普及会設立 ・（社）全国生コンクリート共同組合連合発足 ・土地問題懇談会設置	・研究学園都市関係都市計画事業決定 ・建設省、住宅問題懇談会、土地問題懇談会設置 ・第五回住宅統計調査実施	・建築審議会、建築生産近代化の第１次答申 ・今年以後「量産公営住宅実施委員会」の監修の下に標準設計作業班が行う ・昭和４３年度特命査察「住宅建設の工業化の現状と対策について」（低下量産公営住宅は見込薄、民需を図れ） ・移動式大型型枠によるネガプレ工法 ・霞ヶ関ビル完成 ・火災による事故防止対策の強化について住宅局長通達
S44	1969	・建築基準法施行令改正（防火・避難規定；竪穴区画、地下街防火区画等） ・都市再開発法公布 ・地価公示法公布 ・日本住宅公団法の一部改正（市街地再開発法施行） ・公営住宅法の一部改正（高額所得者明渡し請求・建替事業） ・建設省住宅局に建築生産企画室設置 ・建設省に土地鑑定委員会設置 ・（社）全国市街地再開発協会発足 ・建築設備士協会設立 ・人工軽量骨材協会設立 ・（社）全国共同住宅協会設立 ・（社）日本管工事設備士協会設立	・新全国総合開発計画閣議決定 ・東京江東防災再開発基本構想 ・筑波研究学園都市綜合起工式	・米国 Operation Break through　HUD（住宅都市開発省）のコンペ入選２２社 ・ＰＳ構法による８Ｆアパート実物大実験（建築研究所） ・建設省「住宅生産工業化の長期構想」 ・公営住宅法改正第２３条４第４号、公営住宅建替分は高層又は中層とした（公営住宅の中層、高層プレハブ化） ・スペースユニット工法 ・FF型温風暖房機（リンナイ） ・構造標準委員会木構造分科会「集成木材設計規準案」作成
S45	1970	・建築基準法・施行令改正　（執行体制、建築監視員、違反是正措置、集団規定整備、排煙設備、避難階段、構造基準等見直し等） ・水質汚濁防止法公布 ・道路構造令公布 ・中央公害対策本部設置 ・日本住宅物流センター発足 ・住宅産業標準化委員会（ＪＩＳ化）設置 ・（社）住宅産業開発協会設立 ・（社）不動産センター設立 ・住宅設備システム協会設立 ・地価対策閣僚協議会（基本方針決定）	・地価公示法による第１回公示 ・東京都風致地区条例 ・住宅宅地審議会答申（今後の住宅政策）	・建設省、建築技術開発懇談会設置 ・住宅宅地審議会及び建築審議会「建築生産近代化方策に関する答申」 ・「パイロットハウス技術考査競技」（戸建７案、連続建１案、共同建９案） ・ＰＳ工法都営中川第１団地　8F,１０４戸 ・「中層プレハブ住宅規格統一要綱」（ SHP）（建設省、都道府県公団公社民間企業の住宅建設工業化の動きを一体化、体系化する） ・鋼材高騰 ・超早強セメント発売 ・建築基準法施行令に基づく耐火構造の初の通則的指定公示

住宅政策年表４（第二期五箇年計画時代：昭和46～50年度）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
S46	1971	・環境庁発足 ・国際開発センター発足 ・建設政策審議会発足 ・海洋科学技術センター発足 ・（財）住宅産業情報サービス設立 ・（社）教育施設開発機構（ＲＩＥＦ）設立 ・（社）日本住宅設備システム協会設立 ・（社）日本パーティション工業会発足 ・ホームビルダー研修会設立 ・鋼管ぐい協会設立	・第２期住宅建設五箇年計画 ・住宅産業振興五箇年計画（建設省・通産省） ・多摩ニュータウン第１次入居開始 ・農地所有者等賃貸住宅建設融資利子補給臨時措置法公布 ・住宅金融公庫法の一部改正（受託積立預金者融資） ・積立式宅地建物販売業法公布	・公団、HPC工法の標準設計化 ・「公共住宅用中層量産住宅標準設計（ SPH）管理運営要綱」定まる ・建設業協会「日本木工具展」開催
S47	1972	・新都市整備法公布 ・熱供給事業法施行 ・住宅局に住宅生産課設置 ・都市局に都市政策課設置 ・国土総合開発推進本部設置 ・（財）公庫住宅融資保証協会設立	・建設省総合技術開発プロジェクトの発足決定 ・住宅生産工業化促進費補助制度発足 ・住宅金融公庫法の一部改正 ・がけ地近接危険住宅移転事業制度発足 ・新国土建設長期構想（思案）策定	・「芦屋浜高層住宅プロジェクト技術提案競技」発表 ・「住宅生産工業化促進費補助制度」建設省 ・公団LMF(Large Metal Form 工法）実験棟建設 ・建設省「木造住宅供給合理化促進の方針に関する構想」発表 ・プレハブ建築技術者教育制度の創設
S48	1973	・建築基準法施行令改正（防火・避難規定、特殊建築物の内装制限強化等） ・（財）住宅部品開発センター設立 ・（財）日本建築設備安全センター設立 ・（財）日本建築防災協会設立 ・（財）日本昇降機安全センター設立 ・（財）国土技術開発研究センター設立 ・資源エネルギー庁発足 ・日本緑化センター設置	・筑波研究学園都市営繕建設本部発足 ・特定家賃住宅建設融資利子補給制度発足 ・第六回住宅統計調査実施 ・工業化住宅性能認定制度発足 ・第四回住宅需要実態調査実施	・公団KEPの研究開始、 BL部品の創設と平行して進められる ・工業化住宅性能認定規定発表（建設省告示第２０３１号） ・広島基町アパート（人口地盤）スーパーストラクチュア ・住宅部品開発センター「内装システム試作研究」 ・木構造設計規準・同解説を大幅改定した「一般木構造設計基準」と「集成木材設計基準」の２編 ・木造着工面積、総着工面積の３６．４％
S49	1974	・国土庁発足 ・国土利用計画法公示 ・生産緑地法 ・地域振興整備公団設立 ・プレキャストコンクリートカーテンウォール工業会設立 ・同和対策事業特別措置法施行令の一部改正	・建設省、全国土地価格公示 ・建築審議会「市街地環境整備の促進のための方策に関する答申」	・優良住宅部品認定制度の創設 ・わく組壁構法（２×４）告示 ・耐アルカリ性ガラス繊維及び GPCの製造技術導入（英国） ・農林省、枠組み壁工法構造用製材の日本農林規格制定 ・林野庁、木質建材認証勧告制度発足 ・建設省住宅局、木材の需給流通・価格の安定化に関する調査
S50	1975	・大都市地域における住宅地等の供給の促進に関する特別措置法 ・都市再開発法改正（第二種市街地再開発事業、再開発促進区域、個人施行者） ・振動規制法成立 ・文化財保護法改正（伝統的建築物群保存地区） ・宅地開発公団発足 ・（財）日本建築士事務所協会連合会設立 ・（財）日本建築積算協会設立 ・（社）日本建設大工・工事協会設立 ・枠組み壁工法普及協議会設立	・建設省、公共住宅用中層量産住宅標準設計新系列（ＮＰＳ）の設定 ・住宅宅地審議会「今後の住宅政策の基本的体系についての答申」 ・過密住宅地区更新事業発足	・躯体建設システム中層（２３システム応募、６システム試作建設） ・八王子マンションのガス爆発（ HPC）PC床版のあり方再考 ・全熱交換型換気扇（三菱電機） ・軸組工法による木造平屋建、実大構造実験（水平加力試験） ・木造着工面積、総着工面積の４６．８％

住宅政策年表５（第三期五箇年計画時代：昭和51～55年度）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
S51	1976	・建築基準法改正（日照規制追加、防災の強化等） ・（社）全国鐵構工業連合会設立 ・（社）日本ツーバイフォー建築協会設立 ・木造住宅用優良接合金物推進協議会設立 ・木造在来工法住宅と森林資源を守る連絡協議会設立	・第３期住宅建設五箇年計画（質の向上、ＮＰＳ） ・住宅・都市及び地域計画国際連合（IFHP）兵庫会議	・建築審議会「建築生産近代化の推進のための方策に関する答申」 ・躯体建設システム低層（１１システム応募、６システム試作建設） ・新住宅供給システム開発プロジェクト（ハウス５５）システム提案競技設計 ・ＫＥＰ　ＩＩ ・公団量産課「HPCデザインマニュアル編集」 ・性能保証制度発足、（性能保証登録機構） ・準不燃材料及び難燃材料の指定（建設省告示第１２３１号） ・建設省、在来工法による木造建物の震動性状に関する研究実施
S52	1977	・公団住宅問題対策委員会設置 ・住宅宅地総合対策推進委員会発足 ・（財）日本住宅総合センター設立 ・（財）日本住宅・木材技術センター設立 ・（財）住宅産業研修財団設立 ・日本防災システム協議会発足 ・石膏ボード工業会設立 ・（社）日本バルコニー工業会設立	・第３次全国総合開発計画閣議決定 ・建築政策懇談会設置 ・財形持家個人融資制度発足	・公団量産課廃止 ・公団「民間開発された住宅による住宅建設」制度化する ・中水道システム採用（奈良平城ニュータウン） ・ＧＯＤ試作庁舎（大蔵省財務部筑波出張所） ・枠組み壁構法技術基準改正 ・KJ部品一括してBL部品化 ・建設省「木造在来工法合理化計画」策定 ・住宅金融公庫、木質系プレハブ住宅「不燃構造」に認定 ・全建総連、木造住宅軸組工法施工規準作成 ・２×４工法の普及促進事業
S53	1978	・大規模地震対策特別措置法公布 ・建築保全センター発足 ・（社）日本膜構造協会設立 ・コープ住宅推進協議会設立 ・第七回住宅統計調査実施 ・第五回住宅需要実態調査実施	・住環境整備モデル事業 ・住宅宅地関連公共施設整備促進事業制度発足	・建築審議会「住宅等の建築物における省エネルギー対策の推進方策に関する検討」 ・公共住宅用部品（ＫＪ部品）を建設大臣認定の優良住宅部品に統合 ・BL部品１２９社　２４３タイプ認定 ・住宅ストックに占める木造住宅の比率は８１．７％（住宅統計調査） ・日本住宅公団、木造分譲住宅建設（ツーバイフォー工法の導入）
S54	1979	・エネルギーの使用の合理化に関する法律公布 ・建築物防災対策要綱制定 ・（財）住宅生産振興財団設立 ・全国建築仕上協会設立 ・木造住宅振興議員連盟発足	・特定住宅市街地総合整備促進事業 ・住宅宅地審議会「新しい住宅事情に対応する住宅政策の基本体系はいかにあるべきかについて答申」 ・住宅・都市政策委員会第一次報告（明日の居住環境の創造） ・特定住宅市街地総合整備促進事業制度発足	・建築審議会「市街地環境の整備促進のための方策について答申」 ・建築物防災対策要綱制定 ・公団、住宅設備機器に「メニュー式」採用 ・（財）日本住宅・木造技術センター、在来木造住宅の実大火災実験実施 ・日本建築防災協会、日本建築士会連合会「木造住宅の耐震診断法」まとめる ・タウンハウス方式の普及促進
S55	1980	・都市計画法・建築基準法改正（地区計画等） ・建築基準法施行令改正（新耐震設計法） ・都市再開発法改正（都市再開発方針） ・（財）住宅建築省エネルギー機構設立 ・ＪＩＣＡ筑波インターナショナルセンター（ＴＢＩＣ）設立 ・建設産業建材研究所発足 ・公営住宅等家賃対策補助金要綱	・住宅宅地審議会「新しい住宅事情に対応する住宅政策の基本的体系について答申」 ・都市防災不燃化促進事業	・日本住宅・木材技術センター、部品化木造住宅の試作研究 ・日本住宅・木材技術センター、間伐材利用住宅 ・（財）建設業振興基金「木造工事近代化モデル計画」発表 ・住機能高度化推進プロジェクト ・木造住宅振興モデル事業開始 ・住宅性能保証制度発足

住宅政策年表６（第四期五箇年計画時代：昭和56～60年度）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
S56	1981	・行政改革推進本部発足 ・環境アセスメント法提出 ・住宅・都市整備公団発足 ・（財）住宅部品開発センター、性能試験所設立（筑波） ・（社）鉄骨建設業協会設立 ・構造家懇談会発足	・住宅宅地審議会「現行家賃制度の改善についての答申」 ・第４期住宅建設五箇年計画 ・第4期地方住宅建設五箇年計画策定	・建築防災計画評定制度 ・構造化懇談会発足 ・木造３階建て住宅、ツーバイフォー工法、木質系パネル工法によるタウンハウス、建築基準法３８条の特認をうけ建設に着工
S57	1982	・マンション管理規約通達 ・臨時行政調査会基本答申 ・（財）性能保証住宅登録機構設立 ・（財）建築技術教育普及センター設立 ・都市計画法における線引き制度運用改定通達 ・木造賃貸住宅総合整備事業制度	・住宅性能補償制度の実施	・枠組壁工法を用いた建築物の構造方法に関する告示 ・建設省、センチュリーハウジングシステム構想の基本計画発表 ・省エネルギー技術の評価制度発足
S58	1983	・臨時行政調査会基本答申 ・建築士法改正（木造建築士制度創設等） ・建築基準法改正（建築確認、検査制度合理化） ・浄化槽法公布 ・特別借地方式導入 ・マンション法改正案要綱（管理組合制度、多数決決定制度等） ・首都改造構想案 ・リフォームセンター設立	・日本住宅会議開催 ・市街地住宅総合設計制度 ・地域住宅計画（ＨＯＰＥ）発足 ・建設省、規制緩和による「都市開発の促進方策」をまとめる ・住宅敷地整備事業制度の通達 ・市街地住宅等共通整備事業制度要綱	・建築施工管理技術検定発足 ・優良省エネルギー建築技術認定制度の発足 ・いえづくり８５プロジェクト ・インテリア・コーディネーター資格制度
S59	1984	・新集合住宅開発プロジェクト ・フリープラン賃貸住宅制度創設 ・建物の区分所有法及び不動産登記法改正 ・（財）マンション管理センター設立 ・（財）日本住宅リフォームセンター設立 ・（社）日本不動産学会設立 ・住宅経済懇談会設置 ・総務庁発足 ・特定民間再開発事業認定事務所等の実施 ・地方都市中心市街地活性化計画の推進 ・景観憲章策定	・OECD都市レビュー視察 ・優良再開発建築物整備促進事業 ・地区再開発促進事業制度 ・快適環境整備推進対象地（アメニティータウン） 20カ所指定 ・シェイプアップ・マイタウン計画 ・住宅団地景観形成改善モデルプロジェクト（団地メークアップ作戦）	・建設省、建設産業ビジョン研究会発足 ・準不燃、難燃材料の指定を改正 ・住宅リフォーム促進事業開始 ・「スケルトン（骨格）賃貸住宅」 制度実施 ・シルバー・コーオペレーション賃貸住宅制度（老人提供公社住宅）
S60	1985	・ハウジングマスタープラン（公営住宅建て替えモデル事業制度） ・国土建設の長期構想 ・「最低居住水準見直し」答申 ・地域特別賃貸住宅制度 ・（社）再開発コーディネーター協会設立 ・（財）日本建設情報総合センター設立 ・（財）マンション管理センター設立 ・宅地開発指導要綱問題相談室設置 ・高齢者福祉・住宅施策連携研究会設置	・シビックトラスト制度 ・住宅宅地審議会「新しい住宅事情に対応する住宅・宅地政策の基本的体系についての答申」 ・住文化研究協議会発足 ・まちづくり特別対策事業	・建築設備資格者制度発足 ・木造住宅生産近代化促進事業の創設 ・増改築相談員制度の創設 ・日米林産物協議開始 ・４×８面材導入のための２×４工法技術基準告示の改正 ・新都市型集合住宅システム開発プロジェクト（新都市ハウジングプロジェクト）「永住型マンション」 ・公団初フリープラン住宅「スケルトン賃貸住宅」 ・21世紀マンション計画 ・ALC（軽量気泡コンクリート）住宅 ・燃料電池実用化計画研究 ・地域高齢者住宅計画づくり（ペア住宅等） ・シルバーマンション

住宅政策年表７（第五期五箇年計画時代：昭和61～平成２年度）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
S61	1986	・（社）日本木造住宅産業協会設立 ・（財）アーバンハウジング設立 ・日本ログハウス協会 ・日中建築住宅産業協議会 ・長寿社会対策大綱 ・都市地価問題検討委員会発足 ・21世紀の住宅像に関する調査報告（ 3世代同居・高齢者住宅等） ・優良老人ホーム設置運営指導指針 ・東京インナーハーバーエリアディベロップメントプラン（東京湾奥総合開発計画）提言	・第５期住宅建設五箇年計画 ・地区住環境総合整備事業要綱 ・宅地開発ビジョン策定 ・地域特別賃貸住宅・地域高齢者住宅・地域住宅計画の通達 ・地代家賃統制令の失効 ・建築審議会「今後の住宅需要動向に対応した生産供給体制の整備のための方策に関する第一次答申」、「経済社会の変化に対応した市街地環境整備の方策に関する答申」 ・第4次都市公園整備計画	・木造建築研究フォーラム ・丸太組構法技術基準告示制定 ・地域優良木造住宅建設促進事業の創設 ・ハウジングシステムコンペ実施 ・インナーシティーハウジング（ I.C.H.） ・インテリジェントビル（高度情報化建築物） ・新配管システム（センチュリー・ハウジング対応）
S62	1987	・建築基準法・施行令一部改正（木造建築物制限合理化「木造3階建て」、建築物形態制限合理化） ・総合設計制度の活用の推進 ・都市田園複合居住用住宅融資（マルチ・ハビテーション）制度 ・都市居住更新事業 ・リーディングプロジェクト ・セカンドハウス融資 ・センチュリーハウジング推進協議会発足 ・都市共同居住委員会設置 ・21世紀のニューライフタウン研究会設置 ・（社）新日本建築家協会設立 ・（社）型式浄化槽協会設立 ・（財）住宅都市工学研究所設立	・都市居住更新事業 ・国際居住年 ・インテリジェントシティー構想 ・東京湾テクノポリス構想 ・臨海部副都心開発基本構想	・住都公団初の木造一戸建て住宅 ・工業化住宅認定制度、優良住宅部品認定制度、優良省エネルギー建築技術等認定制度の民間団体への移行 ・高齢者コミュニティ建設事業 ・ウッドタウンプロジェクト開始 ・シルバーハウジング構想（介護者の住む住宅） ・可変型中高層住宅（フレックス・マンション） ・インテリアプランナー資格制度創設 ・建築物性能等認定事業登録制度の創設 ・住宅生産イノベーションプロジェクト ・準防火地域における３階建木造建築物の規制緩和（法改正関連） ・長寿社会における居住環境向上技術の開発
S63	1988	・都市再開発関連公共施設整備促進事業を制度要綱 ・都市再開発法・建築基準法改正（再開発地区計画） ・大都市地域における優良宅地開発の促進に関する緊急措置法公布 ・優良住宅供給促進制度 ・優良住宅地段階整備誘導計画制度 ・農住土地利用計画区域制度 ・「大都市勤労者のための市街地住宅確保について」報告 ・「新住宅供給方式研究会」設置 ・「生涯居住型都市共同住宅研究会」設置 ・「同潤会アパートを建て替える会」発足 ・ゆとりある住生活委員会発足	・第4次全国総合開発計画推進法案「多極分散型国土形成促進法案」 ・建設省、土地対策推進会議設置 ・住情報交流拠点整備事業の創設 ・ゆとりある住生活推進プロジェクト ・地下空間利用事業技術開発委員会発足 ・ＦＭ研究委員会 ・住宅情報化推進協議会発足 ・いえづくり‘８５推進協議会 ・東京リバーシティー構想 ・未来型複合多機能都市（札幌・北九州市）	・高品質工業化住宅認定事業 ・高品質木造住宅認定事業 ・ハイクオリティ住宅認定事業 ・21世紀マンション計画（新素材実験開始） ・老朽公団住宅の建て替え本格化 ・ケア付賃貸住宅（ケアハウス） ・シルバーコロンビア計画 ・建設ロボ導入 ・「Hb-RC（ハイブイリッド RC）工法」採用 ・「シルバーピア」高齢者集合住宅 ・フレンドビラ（貸物便別荘：未使用家具の収納スペース）
H1	1989	・道路法・建築基準法改正（道路内建築制限緩和） ・土地基本法公布 ・大都市地域住宅供給促進緊急措置法案要綱 ・マルチハビテーションセット融資 ・定期借地権新設 ・民営賃貸用特定分譲住宅制度 ・住宅インセンティブゾーニング制度 ・中高層再開発研究会発足 ・（社）日本建築構造技術者協会設立 ・（社）建築設備技術者協会設立 ・住宅建設業団体連合会設立 ・東京集中メカニズム調査委員会 ・外国人の建築士資格適用基準の改正	・住宅月間の制定 ・住宅の情報化推進方策 ・業務核都市基本方針	・木造住宅合理化システム認定事業 ・地域木造住宅供給促進事業 ・新工業化住宅開発プロジェクト ・スーパー３０１条に基づく日米林産物協議開始 ・21世紀住宅開発プロジェクト 7ヶ年計画 ・アール・エム（ RM）建築 ・中高層住宅市街地誘導型再開発地区計画制度 ・鋼管コンクリート超高層住宅 ・大都市地域市街地住宅誘導促進法（市民住宅供給） ・地域リロケーション住宅 ・シニアハビテーション構想
H2	1990	・都市計画法・建築基準法改正（「住宅地高度利用地区計画」、「用途別容積率型地区計画」、「避休土地利用転換促進地区計画」） ・大都市法改正 ・大都市勤労者住宅貸付制度 ・地下利用ガイドプラン ・リフレッシュ住宅融資制度 ・高規格堤防促進事業 ・新婚家庭家賃補助制度 ・マンション建て替えマニュアル作成 ・（社）リビングアメニティ協会設立 ・環境共生住宅研究会発足 ・都市農地活用支援センター設立 ・通産省「生活文化産業協議会」設立 ・超高層居住研究会発足 ・同潤会アパート再開発準備会	・住宅宅地審議会「経済社会の発展に対応したゆとりある住生活を実現するための住宅宅地施策についての答申」 ・建築審議会「今後の住宅需要動向に対応した生産供給体制の整備のための方策に関する第二次答申」 ・都市住宅再生推進会議（都市住宅再生元年） ・「都市景観の日」 10.4制定	・21世紀型都市ビジョン策定（アーバンリゾート、シニアライフ、高度情報、快適環境、ビジネスリゾート、国際ビジネス、トータルマネジメント都市） ・「環境共生住宅」開発 ・甲種防火戸及び乙種防火戸の試験方法の告示 ・「ステップ持ち家（社宅）」構想 ・丸太組構法技術基準告示の改正 ・中高層住宅生産供給高度化プロジェクト ・木造共同住宅の防火性能向上技術開発（建設技術の緊急研究） ・日米林産物協議決着

住宅政策年表８（第六期五箇年計画時代：平成3～7年）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
H3	1991	・建築基準法改正（3階木造住宅集合住宅・複合建築認可） ・生産緑地法改正 ・「借地借家法」改正要綱（定置借地権制度新設） ・「住み替え希望者登録制度」創設 ・民営賃貸用特定分譲住宅の借り上げ方式拡充 ・新地域振興法制定 ・地方分権特例制度導入 ・日本建築主事会議発足 ・同潤会アパート再開発準備組合 ・（財）区画整理促進機構設立 ・建設政策研究センター設立（建設省初シンクタンク） ・（財）都市農地活用支援センター設立	・第６期住宅建設五箇年計画 ・新臨海都市「東京テレポートタウン計画」 ・アーバンリゾート都市整備構想 ・行政拠点地区整備方針 ・地方拠点都市整理法 ・国土庁「業務集積都市」構想 ・都市開発促進のための新たな事業手法の整備 ・ダウンゾーニング（誘導容積率）制度	・住宅に係わるエネルギーの使用の合理化に関する設計及び施工の指針告示の全面改正 ・Ｒ－２０００住宅認定事業 ・優良工業化住宅認定事業 ・優良な木造軸組住宅認定事業 ・ハイクオリティー住宅認定事業 ・優良ツーバイフォー住宅認定事業 ・簡易耐火建築物と同等の防火性能を有する木造建築物等の技術基準の建築基準法第３８条に基づく一般認定 ・木造３階建共同住宅等の技術基準の建築基準法第３８条に基づく一般認定 ・新世代木造住宅の開発事業 ・ＬＶＬ、ＢＮくぎ等の導入、構造上の制限の合理化を行うための技術告示の改正 ・優良な住宅の指針 ・住宅建設技能者養成対策の推進及び同指針の策定 ・「シニア住宅」年金活用賃貸住宅 ・「ライジングタウン」工場併存型住宅 ・公営住宅併設制度
H4	1992	・建築基準法改正　（木造３階建共同住宅を含む準耐火建築物の規定、新用途地域等） ・都市計画法改正（用途地域細分化、地区計画拡充、市町村マスタープラン等） ・世界都市博覧会「東京フロンティア」事業計画案作成 ・「借地借家法」施行 ・「住宅省エネ新基準」改正 ・国有地競争入札再開 ・新経済五箇年計画策定 ・経済審議会「生活大国五箇年計画」答申 ・都市環境推進研究会発足 ・日本マンション学会設置 ・（財）建設行政情報化センター設立 ・（社）住宅生産団体連合会設立	・林野庁「森林都市構想」 ・生活密着型指標導入 ・国際フォーラム「集合住宅の快適な住まい方と管理」 ・市街地総合再生事業	・優良集合住宅認定事業 ・ちきゅう住宅認定事業 ・多世代共生・交流の中核的機能を持つ新生活拠点整備を重点としたシニアライフ都市整備事業 ・環境共生住宅建設推進事業の創設 ・中古マンションの建築性能評価技術の検討 ・省力化設備投資促進のための開銀融資の開始 ・建築・住宅コスト低減総合対策の開始 ・住宅生産における資源の有効利用の推進の検討開始 ・マンションリフォームマネージャー資格制度 ・「高気密・高断熱省エネ基準」　R-2000 最終目標 ・「インフラ（社会資本）整備に関する建設技術研究開発」 ・21世紀住宅開発プロジェクト（省エネ住宅） ・「バリアフリー住宅」
H5	1993	・特定優良賃貸住宅の供給の促進に関する法律 ・建築基準法施行令改正（準耐火構造規定） ・公営住宅法改正 ・臨時行政改革推進審議会「特殊法人再編合理化」提案 ・マンション建替型優良再開発建築物整備促進事業 ・「高規格住宅融資」賃貸住宅適用 ・「輸入住宅」普及促進　輸入関税撤廃 ・建設会社格付け廃止施行 ・宅地開発指導要綱（宅地開発規制緩和） ・（財）高齢者住宅財団設立「高齢者住宅国際フォーラム」開催	・建築審議会「住宅の地下室に係る容積率の取り扱いについて（中間報告）」 ・「都市環境計画」普及活動 ・エコシティー（環境共生都市）推進事業 ・「拠点都市」インフラ整備事業、アクションプログラム作成 ・ファッションタウン構想	・住宅建設コスト低減に関するアクション・プログラムの策定 ・環境共生住宅市街地モデル事業の創設 ・超々高層ビル（ハイパービルディング）技術開発
H6	1994	・大都市法改正 ・特定優良賃貸住宅供給促進制度拡充 ・新入札・契約方式「技術提案総合評価方式」（工事プロポーザル方式、透明・競争性確保） ・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 ・建築基準法改正（住宅地下室の容積率制限合理化） ・市街地再開発新手法決定（戸建て住宅等の貢操建築物を認める） ・VE（バリュー・エンジニアリング）設計段階にも適用 ・（財）土地総合研究所「定期借地権活用住宅研究会」設置 ・（財）高齢者住宅財団設立 ・「住宅・宅地対策総合推進本部」設立 ・住宅宅地審議会「都心居住検討委員会」設置 ・「土地バンク」設立検討 ・住団連「定期借地権制度研究会」設置	・都市区画整理事業規制緩和 ・「建設技術五箇年計画」策定（営繕、機械、下水道、河川等13分野） ・都市再生計画支援事業	・新世代木造住宅供給システム認定事業 ・ロングライフ住宅開発供給推進 ・住宅建築コスト低減対策推進事業の創設（ローコスト工法開発） ・建設新技術開発促進融資制度の拡充 ・環境共生住宅推進会議の設立 ・生活価値創造住宅開発プロジェクト ・「プライス・ YOU」（自由間取り、低コスト、生活提案型） ・高齢者対応住宅「ウェルフェアテクノハウス」 ・「介護付高齢者住宅」事業検討 ・「WAC（ウェル・エイジング・コミュニティー）事業」暗礁乗り上げ10箇所で断念 ・「ユーメイク住宅」
H7	1995	・地方分権推進法成立 ・都市計画法、建築基準法改正（地区計画拡充、斜線制限等合理化） ・都市再開発法改正 ・大都市法改正 ・「応能家賃制度」制定 ・「都心居住型総合設計制度」創設 ・「長寿社会対応住宅設計指針」策定 ・「市街地住宅整備組合」制度 ・「定期借地権付住宅提供」提唱 ・「建築物の耐震改修の促進に関する法律」施行 ・「リーディングプロジェクト事業」創設（低コスト、一定水準住宅認定） ・ISO14000 適用検討 ・火災予防審議会　「東京直下地震を踏まえた地域防災力向上策など耐震対策」答申 ・住都公団兵庫県南部地震緊急支援本部 ・断熱普及促進連絡会議発足 ・21世紀の住生活ビジョン研究会発足 ・財）ベターリビング住宅部品ＰＬセンターを設置 ・海外住宅部品活用支援センターの設置	・すまいアップ事業 ・生活価値創造住宅開発プロジェクト ・「防災ニュータウン」建設決定 ・マルチメディア都市整備	・住宅産業近代化促進事業 ・「新工業化住宅生産技術・システム開発プロジェクト」（「コスト・コンシャス住宅」、「未来住宅」、「エネルギープラス住宅」着手） ・「スチール住宅」木材と鉄骨部材混在型　2×4工法住宅開発 ・「シルバーハウジング」

住宅政策年表9（第七期五箇年計画時代：平成8〜12年）

元号	西暦	法令制定・改正・各種組織	住宅・都市関連事項各種制度	建築構造、構法、材料
H8	1996	・住宅金融公庫法改正（返済方法変更制度） ・宅地開発の新たな方向と今後の展開について報告「定期借地権住宅」公的補助 ・中古住宅品質補償制度導入 ・固定資産税評価替え ・国土庁　地価監視緩和通達 ・経済審議会　行動計画（アクションプログラム）委員会設置 ・土地政策審議会　特別地区計画制度答申 ・シックハウス症候群問題対策提案	・第7期住宅建設五箇年計画 ・公営住宅法改正（補助合理化、供給方式多様化、建替要件緩和、新家賃決定方式、入居資格的確化 等） ・シビックコア地区整備制度（官公庁施設を核に街づくり） ・グリーンプラン 2000	・生活福祉空間ガイドライン ・住生活ビジョン 21（「スケルトン賃貸住宅」、「リバースモーゲージ」等） ・高齢者住宅整備強化事業 ・「環境共生住宅（エコロジー住宅）」
H9	1997	・特殊法人・認可法人の整理合理化決定（監視機関設置等） ・「公共事業支援統合情報システム（建設　CALS/EC）アクションプログラム」提案 ・「建設リサイクル推進計画 97」 ・住宅審「中高層共同住宅標準管理規約」答申 ・建築審議会「建築基準法見直し」答申（住宅性能表示、容積率規制緩和、民間建築確認） ・規制緩和推進計画策定 ・会計検査院　住都公団重点調査 ・工技院「ウェルフェアテクノハウス」設置 ・大気汚染防止法改正（ダイオキシン排出、産廃焼却場規制等）	・次世代都市整備事業 ・総合土地政策推進要綱策定（低利用地の集約と活用、密集市街地の整備、都心居住の推進） ・密集市街地整備促進法案	・高層住居誘導地区の創設（中高層住宅の容積率引き上げ） ・「グループホーム」登場（高齢者向け自立促進共同住宅） ・住都公団「シニア住宅」積極参入 ・「スケルトン住宅」技術開発
H10	1998	・中央省庁等改革基本案成立「国土交通省」提案 ・建築基準法改正（容積率の優遇、建築確認・検査の民間導入、性能規定の導入） ・住金庫「住まい広がり特別融資」創設 ・PM（プロジェクト・マネジメント）規格化方針検討 ・「建設廃棄物リサイクル法案」 ・「建築改修工事共通仕様書」改定 ・筑波研究学園都市「研究学園地区建設計画」、「周辺開発地区整備計画」全面改定 ・「金融再生トータルプラン推進協議会」設立 ・民間都市開発推進機構「再開発・土地有効利用支援センター」設置 ・住都公団「土地有効利用事業推進本部」設置	・第7期住宅建設五箇年計画修正（建設戸数縮小、住宅金融公庫貸付戸数縮減等） ・高齢者向賃貸住宅供給促進制度 ・住都公団「個人向け分譲住宅割賦譲渡業務廃止」 ・都市計画法改正案（地区計画の策定対象地域の拡大） ・「敷地整序型土地区画整理事業」促進（「街区高度利用区画整理事業」面積 1ha〜0.5ha面積緩和） ・「全国都市整備戦略（UDS）」案提出 ・NPO法（特定非営利活動促進法）	・「優良田園住宅建設促進法案」 ・「エコハウス」環境対応型住宅普及事業（自然エネルギー活用システム、高度情報通信システム、廃棄物リサイクルシステム等） ・「100年住宅」耐用年数 100年のマンションを補助する政策策定 ・特定優良賃貸住宅制度改正 ・産構審「生活価値創造住宅開発プロジェクト」 ・借地借家法改正案「定期借地権」導入 ・不動産の証券化等の活用による都市開発事業 ・住宅解体届け出制成立
H11	1999	・住宅・都市整備公団廃止　都市基盤整備公団発足 ・汚染土壌対策調査 ・「特例市」制度創設 ・「都市再生対策」（「産業構造転換に即した都市製作研究会」設立） ・建設産業再生プログラム ・宅地「格付け」制度検討 ・エコセメント規格制定方針 ・経団連「未利用工場用地情報センター」 ・住宅金融公庫融資制度改正案	・生活空間倍増戦略プラン（住宅40　/人） ・地球温暖化対策大型都市公園「平成の森」 ・大都市居住環境整備推進制度 ・日建連「防災立体都市構想」 ・住宅宅地審議会「福祉連携住宅政策」	・住宅品質確保促進制度成立（瑕疵担保責任機関　10年義務付け、高品質住宅の検索システム導入） ・高齢者向け優良賃貸住宅制度 ・住宅・建設省エネルギー機構「環境共生住宅」認定制度 ・「次世代情報化住宅」情報部材開発

住宅生産技術関連年表１：木造系

元号	西暦	木造構法関係
S19	1944	・大蔵省建築研究室・文部省・建築学会が協力開発「木構造計算基準」、「木造建築物の強度計算」
S20	1945	・木造新派民住宅実態調査 ・越冬用応急簡易住宅（営団によって開発された「応急工員住宅」利用）
S21	1946	・国有林・公有林の積極的払い下げ ・木材薪炭生産規制 ・「工場住宅生産協会」を設立 ・建設省建設本部が沼津技術員の養成所にて「工場生産住宅」の講習会 ・「プレモス」（山陰工業）、「クラケン」（倉敷繊維）
S22	1947	・第1回工場生産住宅協会展示会（東京渋谷） ・第2回工場生産住宅展示会（大阪天王寺） ・復興院建築局内に「試作家屋審査部会」設置 ・「プレモス」（炭住・国鉄宿舎に使用） ・組立建築メーカー多数設立されたが存続せず
S23	1948	・工場生産住宅供給要領（建設院建築局）発令 ・量産住宅指定業者制度発足 ・在来構法との比較表の掲載「23年度住宅基準」 ・組立耐火建築（株）（日本プレコンの前身）設定 ・工場生産住宅協会九州支部設立（生産住宅展示会）
S24	1949	・建設省住宅局設置 ・国庫補助住宅の設計基準に「工場生産住宅」
S25	1950	・「不燃化住宅」に主流が移る ・ユタカプレコン（後の昌田コンクリート）設立 ・「プレモス72型」（チェリーコールマン両氏邸）
S26	1951	
S27	1952	
S28	1953	
S29	1954	
S30	1955	・大和ハウス設立 ・パイプハウス（官公庁用仮設現場プレハブ生産）
S31	1956	・民間「ブロック造」建築住宅 ・東京玉川用賀団地6戸（東急不動産）
S32	1957	・トヨライトハウス開発（昌田コンクリート試作第１号）
S33	1958	・トヨライトハウス試作住宅1階4戸
S34	1959	
S35	1960	・プレハブメーカー出揃う（永大、大和、セキスイハウス、ミサワ） ・積水化学五個年計画発表
S36	1961	・松下電工住宅事業部第1号試作住宅「松下1号型」
S37	1962	・ミサワホーム発表 ・NKホーム発表 ・「日本プレコン第一強簡易耐火公営住宅」発表
S38	1963	・大成プレハブ設立 ・ナショナル建材（株）設立
S39	1964	・「川鉄式ユニット」 ・日本ホームズ（株）設立 ・ダイケンホーム（株）設立
S40	1965	・大栄住宅（株）設立
S41	1966	
S42	1967	・ミサワホーム「南福昭和基地」
S43	1968	・「住宅産業新しい主役.経済成長の新しい主役」内田潭、中央公論年3月
S44	1969	・久保田軽量鉄骨プレハブ住宅「GPA-1.2.3.型」 ・「ミサワホーム空輸実験」
S45	1970	・「大成バルコン」 ・「大栄プレタメゾン」
S46	1971	
S47	1972	・「プレハブ建設技術者教育制度」
S48	1973	・「（財）住宅部品開発センター」 ・「永大産業ローコスト住宅」
S49	1974	
S50	1975	
S51	1976	・「性能保証制度」 ・「在来工法による木造建築の振動性状に関する研究」 ・「7×7工法」 ・「性能補償制度」発足（性能保証登録機構） ・「ユニット住宅」開発着手（トヨタ）
S52	1977	・「木造在来工法合理化促進計画」 ・「木造住宅軸組工法施工基準」 ・「住宅・木材技術センター」 ・「（株）日本木質構造材料協会」 ・「軸組工法による木造住宅合理化に関する設計考案募集」 ・「木質系プレハブ住宅を不燃構造に認定」
S53	1978	・「日本住宅公団の木造分譲住宅建設（2×4工法導入）」
S54	1979	・「在来木造住宅の実大火災実験」
S55	1980	・「木造住宅振興モデル事業」 ・「日本住宅・木材技術センター」部品化・間伐材木造住宅試作
S56	1981	
S57	1982	・「木造賃貸住宅密集地区整備事業」
S58	1983	・「家づくり85」プロジェクト」 ・「HOPE（地域住宅）計画」
S59	1984	
S60	1985	・「木造住宅生産近代化促進事業」 ・技術開発プロジェクト「新木造建築技術の開発」
S61	1986	・「木造建築研究フォーラム」 ・「地域優良木造住宅建設促進事業創設」 ・「（社）日本木造住宅産業協会」設立 ・「住環境計画研究室」
S62	1987	・「建築基準法改正」で規制緩和 ・「公団木造一戸建て分譲住宅第一号（神戸市垂水区）」 ・「優良住宅供給促進制度」 ・「ウッドタウン・プロジェクト」 ・「木造3階建（高さ制限・防火壁設置義務等）の防火制限の合理化」 ・「注文住宅生産システム」
S63	1988	・「高品質木造住宅認定制度」 ・「木造住宅生産近代化促進事業」の統合・改編 ・「いえづくり85」の普及
H1	1989	・「市街地住宅密集地区再生事業」 ・「木造住宅合理化システム認定制度」実施
H2	1990	・「木造共同住宅の防災性能向上技術開発」 ・「日米林産物協議」決着
H3	1991	
H4	1992	・「木造３階建て共同住宅の技術基準」
H5	1993	
H6	1994	・「新世代木造住宅供給システム認定事業」
H7	1995	
H8	1996	
H9	1997	・「日本2×4建築協会」認定
H10	1998	
H11	1999	

住宅生産技術関連年表２：ブロック系

元号	西暦	ブロック造構法関係
S20	1945	
S21	1946	
S22	1947	・石材振興会　日本建築学会共催「石造住宅設計図案」の懸賞応募 ・佐々木式ブロック造（日本復興建材工業所施工：東京都中央区店舗付住宅） ・アッシュコンクリート（住宅供給株式会社）東京品川にて試作
S23	1948	・「工場生産住宅供給要綱」発表　建設院（戦災復興院・旧内務省国土局が統合）建築局 ・昭和23年度広島県営庶民住宅（佐々木式複式ブロック） ・「昭和23年度住宅基準」建設院（付：佐々木式コンクリートブロック、工大式組立鋼筋コンクリートがのせられる ・米国人がブロックマシーン「ケント」輸入 ・新日本通商、ブロックマシーン「フレミング180」輸入　朝日石綿、秩父セメントへ売却
SS4	1949	・戦後初の都営ブロック住宅着工（錦糸町） ・建設省ブロック会議にてコンクリートブロック造選定（工大式、東建式、佐々木式、BKアッシュ） ・建築研究所、日本建築学会耐振試験委員会、東工大田辺研究室の共同研究によりプレコン（2階建）実大振動実験 ・バスキン式：東京鉄道局宿舎、日本ブロック建設（株）施工 ・昭和24年度川崎市営住宅（プレコン） ・BK式ブロック造　昭和24年度都営アパート（港区、赤坂） ・住供ブロック：昭和24年度群馬県営住宅16戸、茨城県営住宅16戸、岡山市営住宅16戸
S25	1950	・建築研究所は軽量コンクリート使用（公務員住宅、東京新宿）に初めて技術指導 ・チチブホローブロック：新宿NHK放送局庁舎 ・アッシュコンクリート造：昭和25年度、富山県営住宅4坪16戸 ・アサマブロック造（11.4坪の塩川邸）ただし屋根部はRC ・名古屋市営ブロック造住宅 ・軽石コンクリート造住宅（浅間軽石）千駄ヶ谷公務員住宅東鉄工業が購入し据え付ける ・松井建設、ブロックマシーン「カーパック」輸入、大森工場にて新島軽石使用 ・東洋ブロック工業（後の東洋ゴーセイ）設立 ・「B1型」コンクリートブロック生産開始
S26	1951	・PCコンクリート組立工法活発
S27	1952	・長野県の公営住宅。ブロック造に移行（浅間軽石） ・宮本物産ブロックマシーン「フレミング100」輸入：宇部スレートへ売却 ・北海道のブロック工場30に達する（品質、強度不揃い）
S28	1953	・神奈川県で不燃住宅（ブロックブロック軽石コンクリート）を奨励 ・ブロックマシーン「ゴーコープ」輸入 ・ブロック建築に建設技術補助金交付
S29	1954	・ブロック造モデル住宅展（福岡県住宅協会） ・大阪府営のブロック造住宅大量建設 ・「ブロック造設計施工要項」発表：北海道ブロック建築指導所 ・「ブロック建築について」住宅金融公庫建設指導部パンフ ・ブロック工養成始まる（東京都品川職業補導所） ・ブロック富士物産、ブロックマシーン「ベッサーH-バイブラパック（全自動成形機）輸入：小野田ブロック工場（神戸）へ売却 ・「B1型」ブロックメーカー120社（フレミング社ブロックマシーン使用22社） ・ブロック生産機械の減価償却問題となる
S30	1955	・「平屋建特殊コンクリート構造設計基準」建築学会より発表（特にローコスト公営住宅用）

住宅生産技術関連年表３：鉄筋コンクリート系

元号	西暦	鉄筋コンクリート（ティルトアップ工法）
S30	1955	・住宅公団設立 ・公団現場製作P.C.ティルトアップ工法の開発、建研へ委託 ・東京新宿木村屋総本店3階建独身寮、万年真正式Maspreco工法
S31	1956	・大成建設横浜支店掃部山社員寮（1棟8戸Maspreco工法） ・建研構内に2F24　/戸実物建物試作 ・公団千里ニュータウン建設着手 ・標準設計方式採用（55/56型） ・軽量鉄骨テラスハウス4戸試作
S32	1957	・Maspreco工法の特許を譲り受ける ・サーモコン試作（テラスハウス4戸） ・公団2Fテラスハウス4戸を試作完成（48.5　/戸、試作4.5号）東京練馬
S33	1958	・大成建設技術研究所設立 ・高層アパート晴海（前川事務所） Super Structure ・大成建設技術研究所設立 ・公営住宅にMC（モジュラー・コーディネーション）採用 ・試作テラスハウス4戸（改良設計）
S34	1959	・大成建設技術研究部3Fの研究（Maspreco工法） ・東海パルプ家族アパート公団名古屋地所特別分譲 2Fテラスハウス114戸建設 ・呉羽化学宿舎4棟29戸テラスハウス（大成ティルトアップ） ・公団ティルトアップ2Fテラスハウス（世田谷弦巻団地、大成協力）
S35	1960	・高根台団地（3DK：614戸） ・辰己団地（166戸） ・建築研究所内に三分の二スケールの試作体を作り中層 55－4N－2DKの設計検討 ・大成建設技術研究部4階建実大実験（1棟8戸） ・公団住宅にトヨタライトハウス式
S36	1961	・「建設合理化に関する要綱」量産方式の確立・実用化についての 3ケ年計画 ・住宅公団4F2K共同住宅32万戸実験工事
S37	1962	・草加松原団地（3DK：595戸） ・石川島播磨重工業の特別分譲住宅 4S－3DK24戸建設（設計：品川多美二、施工：大成建設）IHIの国産第一号タワー型キャタピラクレーン使用 ・公団東京赤羽団地
S38	1963	・量産試験場設立（東京国領）
S39	1964	・量産試験場内に簡易単層養成方式プラント設置（中層 RCの試作）4F2DK8戸
S40	1965	・調布市神代団地4F2DK24戸（特64－4N－2DK－PC型）公団実用建設第1号 ・千葉市郊外作草部団地（中層フラット 496戸）日産2戸の移動式プラント公団設置（貸与）
S41	1966	・千葉あやめ台団地、千草団地設立 ・65－5N－2DK－PC型（公団標準設計）日本建築センターの評定を受ける ・公団本社建築部に量産課設置
S42	1967	・神奈川県営川上第二団地4F48戸
S43	1968	・霞ヶ関ビル ・大阪ガス実験住宅
S44	1969	
S45	1970	・「第一期住宅建設五箇年計画」策定 ・SPH（中層プレハブ住宅規格統一要綱 ・味の素川崎工場（3棟85戸）5FPC2DK ・民間資本のPC工場4戸

住宅生産技術関連年表４：低層鉄筋コンクリート系

元号	西暦	鉄筋コンクリート（公営低層住宅）
S32	1957	昭和32年　・公団中型リブ付パネル構法試作第1号（東京世田谷弦巻町）1棟2戸試作（豊田コンクリート）
S33	1958	
S34	1959	
S35	1960	・池田内閣の所得倍増計画（従来の建設量の約2.5倍を目標） ・住宅建設五箇年計画制定 ・（社）日本不燃建築協会の認定を受ける（標準設計）
S36	1961	・「量産公営住宅推進に関する要綱」 ・「簡易平家建量産住宅（MLC）実施要領」 ・「建築生産方式の将来-特に量産住宅の果す役割について」午見章（大阪住宅建設協議会「住宅建設」第2号） ・トヨタ自動車工業聖心社宅（2階建8戸）内装に木製パネル組立式取入れ
S37	1962	・建築生産近代化促進会議（設計の模型に公共住宅のプレハブ化推進策の製作を出す） ・「量産公共住宅推進協議会」結成（民間） ・「量産公共住宅推進協議会」閣議決定 ・東京街道団地（東京大和町）にて各躯体メーカーが一棟づつ計5棟21戸を試作、プラン55LC-4型 ・関東、中京、関西の3地区で合計835戸の低層量産公営住宅建設 ・量産公営2階建試作家屋（建築研究所構内） ・「日本住宅パネル工業協同組合（パネ協）」設立
S38	1963	・「プレハブ住宅」日本住宅協会編発行（量産公営住宅のテキスト）
S39	1964	・「リブ付薄肉コンクリート中型パネル（量産公営住宅型）による組立コンクリート造設計要領について」（住建発87号・量産公営の普及を図る） ・量産公営住宅はプレ協が標準設計の委託をうける ・「量産公営住宅標準設計作成小委員会」
S40	1965	・公営中層住宅の誕生

元号	西暦	鉄筋コンクリート（公営中層プレハブ住宅）
S40	1965	・PS工法中層量産公営住宅（建研とプレ協共同研究） ・都議会が住民の苦情により軽量鉄骨によるプレハブ住宅昭和 41年度より建設中止
S41	1966	・「公共住宅設計の標準化」建研「中層共同住宅建設の工業化促進要領」建設省 ・「中層共同住宅建設の工業化促進要領」定まる（躯体の工業化・内装及び設備の工業化を併用して行う） ・第一期住宅建設五箇年計画合理化建設「一世帯一住宅」 670万戸（134万戸/年平均） ・住宅局長通達　内法高1800、階高2600、階数巾1600等の標準寸法決定（公共住宅の躯体工事の量産化） ・ワッフルスラブ開発
S42	1967	・公営住宅神奈川県笹山団地216戸
S43	1968	・公営住宅神奈川県笹山団地216戸
S44	1969	・3FPC公営住宅の開発 ・神奈川県営川上第2団地（4階建48戸） ・建設省「住宅産業工業化の長期構想」 ・PS工法による8階建アパートの実物実験（建研）
S45	1970	・「中層プレハブ住宅規格統一要領（SPH）」が策定（建設省、都道府県公団公社民間企業の住宅建設工業化の動きを一元化、体系化する） ・都営住宅中川第1団地（8階建104戸）
S46	1971	・「公共住宅用中層量産住宅標準設計（SPH）管理運営要綱」定まる ・8タイプの公共住宅用中層量産住宅の設計が完了 ・第二期住宅政策五箇年計画 ・10階建の耐力実験
S47	1972	・建設通産省より質空間構成材に関する基本寸法（100、2400）の提案（住宅工業生産設備のユニット化を促進） ・SPH基準寸法（基準寸法900、補助寸法150、浴室1800×1200、便所900×1200）
S48	1973	
S49	1974	・MD型（Mass Production Duplex type ）開発重要の伸び悩みのため使用されず
S50	1975	昭和50年　・公共住宅用中層量産住宅標準設計新系列（NPS）制定
S51	1976	・第三期住宅政策五箇年計画制定
S52	1977	
S53	1978	
S54	1979	
S55	1980	
S56	1981	・第四期住宅政策五箇年計画 ・PS工法による10階建アパートの評定

住宅生産技術関連年表５：高層鉄筋ンクリート系

元号	西暦	鉄筋コンクリート（高層住宅）
S27	1952	・佐藤武夫氏ハワイからメタルフォームを持参し、宇都宮登氏と日本メタルフォーム（株）を設立
S28	1953	・スライディングフォーム工法 ・特殊公告昭和28年6月23日「組立式コンクリート型枠」（発明者 Takeo Sato）
S29	1954	・新日本メタルフォーム（株）設立（八幡製鉄所が買収） ・メタルフォーム試用（建築研究所と試用検討）富士製鉄（株）荻窪アパート、栄喜堂店舗RC3階
S30	1955	・日本住宅協会：メタルフォームによる公営住宅の設計図作成
S31	1956	
S32	1957	
S33	1958	
S34	1959	
S35	1960	
S36	1961	・公団がメタルフォーム予備実験を建築研究所にて実施
S37	1962	・公団メタルフォームを調査研究（公団量産試験場内） 62－4N－2DK－MF型8戸
S38	1963	・公団専用開発（東京北三谷団地） 63－4N－2DK－MF型336戸
S39	1964	・東京竹ノ塚団地63－4N－2DK－MFHF型236戸 ・神奈川県善行団地64－5N－3DK－MF型360戸
S40	1965	
S41	1966	
S42	1967	
S43	1968	・大型MF型開発
S44	1969	
S45	1970	・超高層アパート開発研究委員会設置
S46	1971	
S47	1972	・工業化工法による芦屋浜プロジェクト技術提案競技実施 ・住宅生産工業化促進費補助制度発足 ・公団LMF（Large Metal Form ）工法の実験棟建設

住宅生産技術関連年表６：軽量鉄骨系

元号	西暦	軽量鉄骨
S25	1949	・ジャコム（JACOM=アルミニューム組立住宅）見本住宅建設（１戸、東京三宅坂）
S25	1950	・オールアルミニウムの住宅試作（東大生研、星野昌一）
S26	1951	・クオンセット軽量組立式工法（米国より）
S27	1952	
S28	1953	・広瀬鎌二氏自邸（SH-1）、SHシリーズ（軽量鉄骨住宅）の発端但し、SH-1は重量鉄骨使用
S29	1954	・八幡製鉄所㈱光製鉄所の施設を軽量鉄骨で建設（但しプレス形鋼） ・八幡製鉄所㈱名古屋支店社宅にプレス形鋼を使用 ・都営軽量形鋼住宅建設（星野昌一博士案、但しプレス形鋼と鋼板使用） ・大和ハウス工業官公庁用仮設現場プレハブ（パイプハウス）生産開始
S30	1955	・公営LGSテラスハウス標準設計 ・「日本軽量鉄骨建築協会」設立 ・中之島製鋼㈱軽量型鋼の製造販売（我国初の計量建築用建材）
S31	1956	・公庫法の改正ー軽量形鋼も簡易耐火構造に認定される ・日本鋼管LSG製造販売
S32	1957	・富士製鉄、川鉄商事LSG製造販売
S33	1958	・阪急不動産オールスチール組立ハウス販売
S34	1959	・「建設用鋼材研究委員会」設置 ・建築基準法一部改正（木造耐火構造に簡易耐火構造が加えられる） ・富士製鉄系、大和ハウス「ミゼットハウス発表」

住宅生産技術関連年表７：重量鉄骨系

元号	西暦	重量鉄骨造
S30	1955	・八雲小学校（溶接Ｈ150×150）
S31	1956	・東京空港郵便局（溶接Ｈ300×300）
S32	1957	
S33	1958	・日本鋼管⑭400×400×12溶接Ｈ杭販売
S34	1959	・八幡製鉄所、三大形工場にてＨ形鋼の製造開始（Ｈ-300×300）
S35	1960	・住宅公団新日吉台団地（44棟、310戸）にＨ形鋼杭採用約3,000t ・和歌山白浜に寮建設（Ｈ－300×300、４Ｆ建）
S36	1961	
S37	1962	・極厚Ｈ試圧400×400×5.6×8 ・八幡製鉄⑭堺製鋼所にてＨ形鋼製造開始（Ｈ形鋼専門工場） ・Ｇコラム
S38	1963	・逆Ｈ構法（モノＨ構法）ホテルニューオータニ用に大成建設と共同開発
S39	1964	・堺製鉄所、花田社宅逆Ｈ構法（モノＨ構法）７Ｆ建、床壁版、ＰＣ（Tilt up）
S40	1965	
S41	1966	・富士製鉄名古屋製鉄所、上野台社宅７Ｆ、56戸建設 ・八幡製鉄⑭扶桑住宅（４Ｆ、3棟92戸）東京三鷹
S42	1967	・鋼材クラブ主催コンペ「住宅団地に建つ鋼構造構想アパート」発表、業者設計部の圧勝 ・昭和42年君津の大和田団地、公団公営民間住宅建設に
S43	1968	
S44	1969	・川崎製鉄＋清水建設にＨＰＣ、千葉県園生アパート（川崎社宅11Ｆ2棟154戸）
S45	1970	・建設省告示台1306号｛レベル以上の鉄骨橋梁加工メーカーが行っていた溶接についての優遍措置を講ずる一技術向上の助成｝
S46	1971	・清水建設、住宅用ＰＣ板量産化のため国内初の自動連続生産プラント「シミズケイクスィングシステム」を西独より導入、本格量産化
S47	1972	
S48	1973	
S49	1974	
S50	1975	・八王子マンションのガス爆発（ＨＰＣ）ＰＣ床版のあり方再考

住宅生産技術関連年表８：中高層集合住宅建て替え

元号	西暦	中高層集合住宅建て替え
S56	1981	・第四期住宅建設五箇年計画（「国土建設の長期構想」を定める）
S57	1982	
S58	1983	・マンション法改正案（建設省の法制審議会民法部会がマンションの所有、管理等を定める） ・（財）日本住宅リフォームセンター（住宅用リフォーム部品の開発等）
S59	1984	・住宅リフォーム促進事業（公営住宅の老朽化対策）
S60	1985	・21世紀マンション計画（燃料電池発電、ゴミ燃料化システム）通産省 ・ペア住宅（地域高齢者住宅計画） ・（財）マンション管理センター（分譲マンション対象） ・ハウジングマスタープラン（公営住宅総合建替モデル事業制度）「２戸１改造」、「１部屋増築」、公団・公社・民間の用地的混合化を推進 ・大規模な建物に修繕計画（建設省が義務づけ）旧同潤会代官山アパート
S61	1986	・インナーシティーハウジング（I.C.H.）構想の第一号、東京都世田谷区の環状7号線周辺の3地区
S62	1987	・住宅リフォームを内需拡大の柱に（住生活改善研究会報告）経済企画庁
S63	1988	・建替事業の本格化（住都公団建設６７万戸の対策）
H1	1989	・兵庫県西宮市で全国初の公団分譲住宅建て替え事業（住宅1棟が4階建てから7階建てに）
H2	1990	・「地域リロケーション住宅」建設（活用後、低所得者向け住宅とする）
H3	1991	・リフレッシュ住宅融資制度（２００万円の加算融資制度）建設省、住宅金融公庫
H4	1992	・「マンションリフォームマネジャー資格制度」導入（（財）日本住宅リフォームセンター） ・「マンションリフォーム推進協議会」設立
H5	1993	
H6	1994	
H7	1995	
H8	1996	・「性能基準評価方式」導入（新築住宅） ・「住宅性能基準の評価方式」、「中古住宅品質保証制度」導入（中古住宅）
H9	1997	
H10	1998	
H11	1999	・「住宅品質確保促進制度」制定（責任期間１０年、検査システム、性能表示等） ・「住宅リフォーム推進会議」設置

住宅生産技術関連年表９：スケルトン住宅

元号	西暦	スケルトン住宅年表
S48	1973	・「内装システム試作研究」＝MC（（財）住宅部品開発センター）
S49	1974	
S50	1975	・「躯体建築システム中層」（23システム応募、6システム試作建設）
S51	1976	・「躯体建築システム低層」（11システム応募、6システム試作建設）
S52	1977	
S53	1978	
S54	1979	・「メニュー方式・コーポラティブハウス・二段階供給方式」公団に導入
S55	1980	・「住機能高度推進プロジェクト」制定
S56	1981	
S57	1982	・Century Housing System 発案、｛標準耐用年数60年・修繕可能期間100年の「60型」等、5タイプ（RC造・在来木造・2×4等）｝
S58	1983	・「インテリアコーディネーター資格制度」（通産省：インテリア産業協会担当） ・「建築施工管理技術検定」（建設省：（財）建設業技術センター担当）
S59	1984	
S60	1985	・「永住型マンション」構想（コンクリートの劣化防止、マンションの修繕箇所のみを交換）耐用目標年数１００年 ・「スケルトン（骨格）賃貸住宅」第一号、東京練馬「光が丘パークタウン」にRC5F2LDK10戸・3LDK30戸 ・「建設設備資格者制度」（建設省：（財）建築技術教育普及センター担当）
S61	1986	・「インテリアプランナー資格制度」（建設省：（財）建築技術教育普及センター担当）
S62	1987	・可変型中高層住宅（フレックスマンション）実用化
S63	1988	・可変型中高層住宅（フレックスマンション）建設（単独増改築、メゾネット方式を採用） ・新・都市ハウジングプロジェクト（スペース創生・自悠プラン・賃貸分譲融合供給方式・主体居住空間）
H1	1989	・「新工業化住宅プロジェクト」制定（システム工法・生産技術開発、シミュレーション・システム採用）通産省
H2	1990	
H3	1991	・「建て替えマニュアル」作成
H4	1992	
H5	1993	
H6	1994	・「ユーメイク住宅」（住都公団主催）
H7	1995	
H8	1996	・「住生活ビジョン21」制定（良質な住宅整備、長寿社会を支える住生活サービス充実、地域を支えるまちづくり） ・「リバース・モーゲージ（逆抵当融資）」、「住生活ビジョン 21」に導入
H9	1997	・「スケルトン賃貸住宅」、「住生活ビジョン 21」に導入

住宅生産技術関連年表１０：高齢化対策住宅

元号	西暦	高齢化対策年表
S59	1984	・「シルバー・コーポレーション賃貸住宅制度」制定（老人提供公社住宅） ・「住宅経済懇談会」設置（住宅政策のあり方を検討）
S60	1985	・高齢者社会対応仕様を規定（手摺り・バリアフリー・エレベーター等） ・「地域高齢者住宅計画」制定 ・シルバー・ハウジング構想（建設省：地域高齢者住宅計画と、厚生省：ホームシルバー制度の融合）
S61	1986	
S62	1987	・「高齢者コミュニティ建設事業」制定（新しいライフスタイル、福祉サービスの提供）
S63	1988	・全国初「ケア付き賃貸住宅」登場（京都市下京区） ・「シルバーピア」創設・「シルバーピア開発促進検討委員会」設置
H1	1989	
H2	1990	・「高齢者対応型モデル住宅」建設（厚生省の「ケアハウス」が手本）東京都 ・「シニアハビテーション構想」（一時払い年金保険を活用した“終身居住型”賃貸住宅供給システム） ・労働省が介護サービス付の専用マンションを初めて建設
H3	1991	・「シニア住宅」（住都公団が横浜市緑区内「港北ニュータウン」に第一弾建設）
H4	1992	
H5	1993	・「（財）高齢者住宅財団」設立、（住宅局住宅設備化所管：「シニア住宅」の事業認定、長寿社会対応住宅設計マニュアル作成） ・「高齢者住宅国際フォーラム」（開催・運営（財）高齢者住宅財団）
H6	1994	
H7	1995	・「長寿社会対応住宅設計指針」策定 ・「シルバーハウジング」事業化 ・「シニア住宅認証制度」設置
H8	1996	・「高齢者住宅整備強化事業」制定
H9	1997	・「グループホーム」（自立促進型）
H10	1998	・民間支援の賃貸住宅整備に乗り出す
H11	1999	・「高齢者向け優良賃貸住宅制度」制定

住宅生産技術関連年表１１：環境共生住宅

元号	西暦	環境共生住宅年表
H3	1991	・「環境共生住宅」開発に着手（排出レベル50％程度削減、排水20％再利用等の設置） ・「R-2000」（日本2×4建築協会が定める優良住宅）
H4	1992	・「地球温暖化防止行動計画」政府により採択 ・「環境共生住宅研究会」設立（建設省住宅局主唱、自治体・民間企業主体） ・「都市環境推進研究会」発足 ・「住宅省エネ新基準」改正
H5	1993	・「環境共生住宅地区整備事業」創設 ・「エコシティー（環境共生都市）」推進 ・「高気密・高断熱省エネ基準」「誘導基準」導入 ・「未来の家」モデルハウスに着手（通産省の「21世紀住宅開発プロジェクト」の一環）
H6	1994	・「環境共生住宅市街地モデル事業」実施地区指定 ・「環境共生住宅」、「エコシティー（環境共生都市）」建設省政策リーディング事業に ・「環境共生住宅推進会議」発足（環境共生住宅研究会が母体）
H7	1995	
H8	1996	・「エコロジー住宅」採用 ・「性能基準評価方式」に着手（「住宅都市工学研究所」等公的機関に調査委託）
H9	1997	・「ウェルフェアテクノハウス」新規3棟設置
H10	1998	・「特定優良賃貸住宅」制度改正 ・「エコ素材住宅（エコハウス）」実施（アルミ利用）
H11	1999	・「環境共生住宅」経緯等発表（住宅・建築省エネルギー機構）

住宅生産技術関連年表１２：超高層建築

元号	西暦	超高層建築年表
S38	1963	・「建築基準法」改正（高さ制限の廃止＝超高層建築の出現）
S39	1964	
S40	1965	
S41	1966	
S42	1967	
S43	1968	・霞ヶ関ビル竣工（建築基準法第３８条の特設による。普通H形鋼と極厚H形鋼構成） ・帝国ホテル新館認可（後の超高層ビル鉄骨標準ディテール）
S44	1969	
S45	1970	
S46	1971	
S47	1972	
S48	1973	
S49	1974	
S50	1975	
S51	1976	
S52	1977	
S53	1978	
S54	1979	・芦屋浜高層住宅（ユニバーサル・ボックスの需要例） ・「日形断面柱設計施工標準」刊行（全国鉄鋼工業連合会）
S55	1980	・建築基準法改正
S56	1981	・新耐震設計法施行（日の字H形鋼から組立H形鋼へ）
S57	1982	
S58	1983	
S59	1984	
S60	1985	・「ALC（軽量気泡コンクリート）住宅」建設化
S61	1986	・長期耐用コンクリート開発（大林組）
S62	1987	・「HRC－35」開発（ＲＣ造の超高層住宅システム）
S63	1988	・「Hb－RC（ハイブリットRC）工法」公団住宅に採用
H1	1989	・角形鋼管コンクリート造初採用（大川端RC21地区の37階建て）
H2	1990	・「超高層居住研究会」発足
H3	1991	
H4	1992	・「建設技術研究開発のビジョン」策定
H5	1993	
H6	1994	・「ハイパービルディング研究会」設置（地上１０００メートル、耐用年数１０００年以上目標） ・「冷間成形角形鋼管評価規制」発行
H7	1995	・「建築工事標準仕様書JASS6鉄骨工事」改定（日本建築学会） ・兵庫県南部地震
H8	1996	
H9	1997	
H10	1998	
H11	1999	

１－４ 健康住宅のための、天然物を利用したシロアリ被害防止法（フィジカルバリアー）の開発に関する研究

秋田県立大学木材高度加工研究所

教授　　土居修一

１．本研究の目的と背景

木造住宅の大敵－シロアリ被害防止のために使用される有機リンなどの薬品による「化学物質過敏症」が問題となっている。この問題を解決するために、低毒性の薬品への移行はもちろん、薬品をできるだけ使用しないで工法的にシロアリの攻撃を遮断することが要求されている。そこで、従来から予備的に検討されているフィジカルバリアーを強化する目的で、木材をはじめ、多くの植物に含まれるフラボノイド類などを併用することによって、バリアーの物理的効果だけでなく、フラボノイド類などへのシロアリの忌避効果を積極的に利用することによって、その効果をさらに強化することを目的とした。

２．研究の方法

この研究の目的達成のためには、フラボノイド類の忌避性に関する実験室的検討のみならず、フラボノイド類を効率的に抽出する工業的プロセスを視野に入れた安全な抽出法も検討しなければならない。また、最終的には、住宅床下及びその周辺に設定できる、天然ゼオライトなどの砕石と微量のフラボノイド類などを組み合わせたフィジカルバリアーのモデルによる野外試験による評価が不可欠である。したがって、研究は次節で示す３つの方法によって構成された。

３．研究の計画と進捗状況

第１年度（２０００年４月－２００１年２月）

○イエシロアリ、ヤマトシロアリ両者の侵入阻止にもっとも適したゼオライトの粒度分布を検討する：基本的に終了

○実験室的規模で、ゼオライト、フラボノイド、あるいはゼオライト＋フラボノイドのバリアー層の効果を検討する：基本的に終了

第２年度（２００１年４月－２００２年２月）

○フラボノイド類の簡易、且つ効率的な抽出法を検討する：基本的に終了

○フラボノイド類以外の抽出成分の効果について、実験的規模での検討を行う：現在、他の抽出成分を検索中

第３年度（２００２年４月－２００３年９月）

実験的規模で確認された有効な組み合わせで、野外試験による効果の検証を行う：予備的実験を設定したが、野生動物による妨害などで、中断、新たな実験法を検討中である。

４．これまでに得られた成果

４．１ゼオライトの粒度別侵入阻止効果の検証

従来から、バリア層が１０ｃｍ以上のもので、適切な粒径の石などで形成されていれば、シロアリの侵入が阻止されることが知られている。しかしながら、１０ｃｍという厚さのバリア層を住宅床下全面に敷き詰める事はコスト面、工法面など様々な制約があって実用性に乏しい。そこで、本実験では、バリア層をできる限り薄くできる、適切な粒度範囲を明らかにすることを目的とした。

４．１．１　実験

バリア層として天然ゼオライト（東北ゼオライト工業製）を供試した。使用した粒径範囲は、０．１ｍｍ以下、０．６～１．５ｍｍ、１．５～３．０ｍｍ及び３．０～５．０ｍｍの４段階である。これらのゼオライトを、図１に示すようなＨ型試験容器の、一方の垂直管の最上面に敷設し、その上に餌木をおいた。その後、直ちにイエシロアリ(*Coptotermes formosanus*)あるいはヤマトシロアリ(*Reticulitermes speratus*)を所定頭数導入し、経時的にバリア層に侵入する日数を測定、併せて餌木の重量減少率とシロアリの生存頭数を計数した。

４．１．２　結果と考察

フィジカルバリアの素材としては、石英、バーミキュライトなどが従来から検討されている。本研究では地場産業振興や地域循環型社会の形成にも寄与できる可能性を考慮して、秋田県二ツ井管内で採掘され、主として農薬担体持体や土壌改良材などとして販売されているゼオライトを供試した。これらの粒径は、市販されているものをそのまま使用できるようシステムを立ち上げる為に選択された。

ヤマトシロアリとイエシロアリは、我が国の木造住宅に被害を与える主要なシロアリ種であるが、両者間で、コロニーの規模、生態などが異なるため、その防除システム構築ためにはこれら２種を供試しての試験を行うことが必要である。特に、前者は、被害の規模が後者より小さいが、沖縄から北海道南部まで分布しているため、これに対する効果を確認する事は必須である。

表１にヤマトシロアリの結果を、表２にイエシロアリの結果を示す。ヤマトシロアリの場合には１．５～３．０ mm 粒径のものを３ｃｍ敷設すれば貫通を阻止することが明らかであるが、イエシロアリでは、わずかの貫通を許し餌木が重量減少を示した。これらの結果から、１．５～３．０ mm の粒径のものを３ｃｍ敷設すればシロアリの貫通をほとんど阻止できることが明らかになったが、完全な効果は得られていない。しかも実際の敷設では厚さむらを生じるので、その欠点をフラボノイド類などでカバーすることが要求される。

４．２フラボノイド化合物の化学構造別忌避効果の予備的検証

カラマツ材から実験室的にＭｅＯＨで抽出したフラボノイド類、及び試薬として市販されている一連のフラボノイド類を濾紙にしみこませて、シロアリの摂食活動抑制力を調べた予備的検討で、カラマツ材中に合計で１．５％程度含まれているクエルセチン、タキシホリン、ナリンゲニンが大きな忌避効果を持つことが明らかとなった。そこで、これらを効率よく抽出して、バリアの強化に用いることができる可能性が大きいと判断できた。４．３ではこれらのフラボノイドを水系で効率的に抽出する方法を検討した結果を述べる。

４．３　カラマツ材からのフラボノイド抽出法の検討

４．３．１実験法

原料として北海道産のカラマツの帯鋸屑を用いた。抽出操作は、アラビノガラクタンの分離を目的とする冷水抽出と、フラボノイドの分離を目的とする熱水抽出の二段階とした。図２にそのフローを示す。

４．３．２　結果と考察

カラマツ木粉の冷水―熱水逐次抽出のねらいは、冷水でシロアリ摂食促進物質であるアラビノガラクタンをできるだけ抽出し、それに続く熱水抽出ではシロアリ忌避物質であるフラボノイドを効率的に抽出することにある。したがって、各抽出物中のフラボノイド含有量、炭水化合物の構成比率などを抽出法の良否評価の指標とした。カラマツから約５．４％のアラビノースとガラクトースが冷水抽出された。一方、熱水抽出では、抽出温度が抽出物収率、抽出物中の炭水化物率および糖組成に大きな影響を与えた。表３に各抽出条件下でのフラボノイド収率を示す。冷水抽出では、アラビノガラクタンが効率的に抽出されるが、それにともなってフラボノイドも０．５２％と、半分近くが同時に抽出されてしまうことも明らかにされた。このことが反映して、続く熱水抽出では、フラボノイドの最大収率は、０．４４％（７０と８０℃での抽出率）となった。これと冷水抽出によるフラボノイド収率を合わせると０．９６％に達し、カラマツ材に含まれるフラボノイドの約９０％が水系で抽出されることがわかったのであるが、糖類の一定以上の混入は、シロアリ忌避剤としてフラボノイド類を使用する上での障害となる。したがって抽出法の改良が必要であると推定されたが、とりあえず、以上の方法で分離した抽出物のシロアリによる生物検定を試みた。

４．４熱水抽出物のヤマトシロアリ摂食活動に及ぼす影響

４．４．１実験法

各抽出物のシロアリに対する検定はペーパーディスクにサンプルを含浸させて強制的あるいは選択的に摂食させ、そのときの摂食行動に与える影響で判断する方法である（図３：この場合は選択摂食試験、強制摂食の場合は検体が一つ）。

４．４．２結果と考察

フラボノイド及び炭水化物組成の近似している６０Ｅ，７０Ｅ，８０Ｅの３択摂食試験（図４）を行った。これらのヤマトシロアリに対する忌避効果はこの図から明らかなように、コントロールの重量減少率が７０％以上の時、いずれの画分も２％以下となっており強く摂食阻害することが明らかとなった。ただし、この試験におけるディスクへの抽出物吸収量は、材中濃度の２倍及び４倍であった。安定的な忌避効果を維持するには材中濃度の数倍は必要であることを暗示する。種々の温度で抽出された画分の忌避効果には、フラボノイドと他の成分とのバランスが微妙に影響していることが予想される。いずれにせよ、以上の一連のシロアリ摂食試験結果から、６０～９０℃での熱水抽出物はメタノール抽出物の示した完璧なシロアリ忌避効果には多少及ばないが、十分な摂食阻害活性を持ち、シロアリ忌避剤として利用できる可能性が明らかとなった。特に８０Ｅはメタノール抽出物並みの高い阻害活性を示していることから、最も有力なものと思われる。

以上と同様の検討をイエシロアリに対して行った場合でも、ほぼ同様の現象が観察された。なお、ヤマトシロアリとイエシロアリ両者の摂食試験ではシロアリ種の違いだけではなく、試験法に若干の違いがあるので、摂食量の絶対量などに相違があるが、各抽出物の持っている摂食への影響は共通していた。このことは、抽出物の両シロアリへの適用が可能であることを示唆する。しかしながら、これまでの検討では、当初意図していた、冷水抽出で摂食促進作用を持つアラビノガラクタンを除去、続く熱水抽出でフラボノイド類を抽出するという方法は完成していないといえる。主要な問題点は、最初の冷水抽出段階でフラボノイドの半分がアラビノガラクタンとともに溶出してしまうこと、その結果として、熱水抽出物中のフラボノイド収率がメタノール抽出の半分にとどまってしまうこと、１００℃近くの高温ではフラボノイドの変質が大きいことなどである。そこで、両成分のより良好な分離法とフラボノイド収率の向上をめざした抽出操作の改良を試みた。

４．５．　カラマツ水系抽出条件の改良

４．５．１　実験法

基本的には、前述した方法と変わらないが、水と木粉の比、抽出時間、温度、撹拌の有無、の条件を変えて抽出した。得られた冷水及び熱水抽出物について、化学分析により炭水化物の糖組成、フラボノイド各成分の構成について定量した。

４．５．２　結果及び考察

当初の抽出操作では、冷水抽出段階でアラビノガラクタンをできる限り除去するという考えから、大量の水を使った。抽出に使用した水と洗浄水をあわせると、木粉との液比は約１：３５になった。結果として、ほとんどのアラビノガラクタンを抽出できたが、同時に、フラボノイドの約半量も抽出されてしまった。このことと、抽出物回収時の水の除去に要するエネルギー等を考慮すると、抽出時に

使用する水の量はできる少ないほうが望ましい。そこで、ここでは抽出操作の可能な限界に近い１：５の液比での抽出を試みた。抽出フローは図２と同様であり、液比だけが異なる。液比１：５の条件下で得られた抽出物の収率及び炭水化物の分析結果から以下のことが明らかとなった。

冷水抽出物収率（表４）は、室温の場合 CW-1E + CW-2E と CW-1sE + CW-2sE がほとんど同じで、撹拌の有無は収率に影響しない。５℃下での冷水抽出収率は幾分低下したが、その程度はきわめてわずかである。大量の水を使った冷水抽出物（ＣＷＥ）の収率（6.5%）は、これらの収率より高いが、後に触れるように、フラボノイドの溶出を抑制した分を考慮すると、今回採用したいずれの抽出条件でもアラビノガラクタンの大部分を溶出させることができたのではないかと思われる。また、冷水抽出を複数回行った場合、抽出時間にかかわらず、２回目以降の抽出収率は徐々に小さくなる傾向にあり、一回目の約 1/8 ～1／10 となった。したがって、アラビノガラクタンはどのような冷水抽出操作でもきわめて短時間のうちに、殆どが抽出されると推定された。

熱水抽出については、室温及び５℃下での静置冷水抽出２４時間系列の残さに限って行った。８０℃、４８時間熱水抽出で得られた抽出物総量の収率はそれぞれ３．１と３．２％で、冷水抽出段階での抽出温度にはほとんど関係がなかった。また、炭水化物の混入率も殆どおなじであった。なお、当然ではあるが、熱水抽出では時間が長くなるとともに抽出物総量の収率が増加する。

２）各抽出操作によるフラボノイド収率とそれらの構成比

当初の冷水抽出では、メタノールで抽出されるフラボノイド量の約半量分（０．５２％）がＣＷＥ中に混入していた。この値と比較すると、低液比（１：５）の冷水抽出では、いずれの条件でもフラボノイドの混入をかなり抑えることが明らかである。室温下での抽出では、撹拌の有無がフラボノイドの混入率にほとんど影響を及ぼさない。むしろ、抽出温度の影響が大きく、５℃でのフラボノイド混入率は室温下のおよそ半分になる。もちろん、抽出時間の短いほどフラボノイドの混入率を少なくする事ができる。今回試みた冷水抽出条件のうち、ＣＷ５－１Ｅが最もフラボノイドの混入率が少なかったが、冷水抽出―熱水抽出、という一連の操作を考慮すると、炭水化物のほとんどを溶出し、且つフラボノイドの混入率が１／５以下になるＣＷ５－１Ｅ＋ＣＷ５－２Ｅが適当であろうと思われる。念のため、ＣＷＥとＣＷ５－１Ｅの摂食行動に及ぼす影響を調べた結果(図５)、後者ではフラボノイドの混入率がきわめて少ないことを反映して、摂食促進効果を持つことが明らかとなった。

５．これから期待される成果

本研究で、カラマツ材からフラボノイド類を効率的に、しかも水系で抽出する方法をほぼ確立できたので、これをゼオライトなどに適切な方法で展着させて、シロアリのフィジカルバリアを構築できる可能性が高くなった。今後は、実際に

シロアリ駆除製品などを製造している民間会社などと連携して、その効果が確実に上がる方法を確立していく。また、フラボノイド抽出過程で、分画できたアラビノガラクタンを蒸煮処理したカラマツ材に添加して、ベイトシステムに用いる餌としての性能がどの程度向上するか、これについても、実証的検討によって実用化を促進する。なお、冷水抽出でのフラボノイド混入および熱水抽出でのアラビノガラクタンの混入を完全に防ぐことは困難なので、両成分を実用的に利用するためには、木材工業レベルで粗抽出した後濃縮してから、化学プラントを持つ工場に移してメタノールで精製すれば、さらにこれら抽出物の特徴を生かすことにつながると考えられる。

6　残された問題点と対策

本研究で、フィジカルバリアに使えるゼオライトの適性粒度、これを強化するフラボノイドの効率的抽出法が明らかに出来た。ただし、これらを組み合わせた野外試験がまだ成功していない。その主因は、実験法の不備にある。これは、野外試験の場合の他動物による障害を考慮しない、ごく小さな床下モデルを使用したことにあると判断される。今後、モデルを適切な大きさにして野外試験でこのバリアの有効性を実証する予定である。フラボノイド以外の抽出物については現在実験室規模で検討しているが、現在のところ、検討している化合物の効果はフラボノイドより大きく、且つ食毒性を持つことが示唆されており、今後の発展が期待できる。

7　研究発表の実績と予定

本研究の大部分は、日本木材学会大会あるいは国際学会で口頭発表されている。また、関連したコピーなどを添付する。なお、現在フラボノイド類の効率的抽出法に関する論文を準備中である。この論文の草稿も添付する。

8　実用化計画

フラボノイドとゼオライトを組み合わせたバリアに関する特許を民間会社と共同で申請している。野外試験の結果がきちんと出れば、この会社を核として実用化への取り組みを始めることになろう。

表１　ヤマトシロアリによる貫通試験結果

バリア層種類	バリア厚（ｃｍ）	貫通に要した日数	餌木の重量減少率（%）
コントロール	0	1	７２．７
ゼオライト	1	1	７２．２
0.6-1.5 mm	3	1	１３．２
ゼオライト	1	1	７４．８
1.5-3.0 mm	3	未到達	0
ゼオライト	1	2	６４．０
3.0-5.0 mm	3	2	６６．２

表２　イエシロアリによる貫通試験結果

バリア層種類	バリア厚（ｃｍ）	貫通に要した日数	餌木の重量減少率（%）
コントロール	0	1	２８．８
ゼオライト 0.6-1.5 mm	1	1	１２．４
	3	3	４．８
ゼオライト 1.5-3.0 mm	1	1	１３．７
	3	1	１．４
ゼオライト 3.0-5.0 mm	1	1	１２．１
	3	3	３．９

表３　抽出条件によるフラボノイド収率の相違

抽出法	フラボノイド収率（％w／w）
メタノール抽出	1.08
冷水抽出	0.52
50℃熱水抽出	0.29
60℃熱水抽出	0.41
70℃熱水抽出	0.44
80℃熱水抽出	0.44
90℃熱水抽出	0.38
100℃熱水抽出	0.08

*カラマツ材絶乾重量当たりの収率

表４　水抽出における各条件下でのフラボノイド混入率及び収率

抽出条件	混入率あるいは収率（%）
２０℃・撹拌４８時間（ＣＷＥ）	０．５２
２０℃・撹拌２４時間・１回（ＣＷ－１Ｅ）	０．０９
２０℃・撹拌２４時間・２回（ＣＷ－２Ｅ）	０．０５
２０℃・静置２４時間・１回（ＣＷ－１ｓＥ）	０．１０
２０℃・静置２４時間・２回（ＣＷ－２ｓＥ）	０．０７
８０℃・静置４８時間	０．７２
５℃・静置２４時間・１回（ＣＷ５―１Ｅ）	０．０４
５℃・静置２４時間・２回（ＣＷ５―２Ｅ）	０．０５
８０℃・静置１２時間	０．６４
８０℃・静置２４時間	０．８３
８０℃・静置４８時間	０．７５
２０℃・静置１２時間・１回	０．０４
２０℃・静置１２時間・２回	０．０３
２０℃・静置１２時間・３回	０．０２

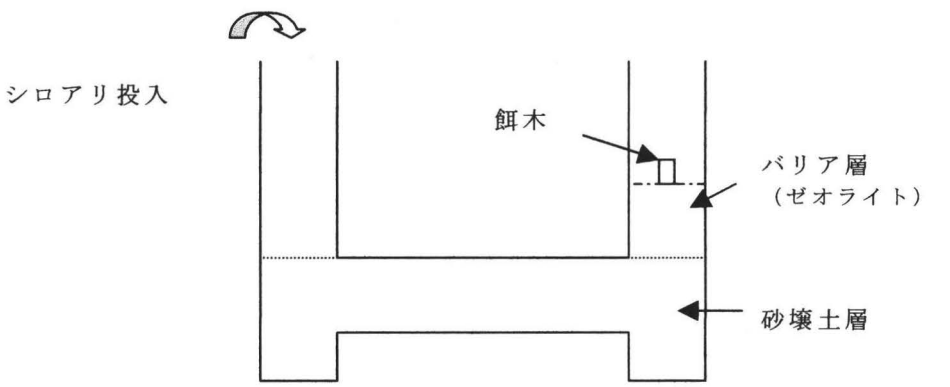


図１　バリア層の性能試験法

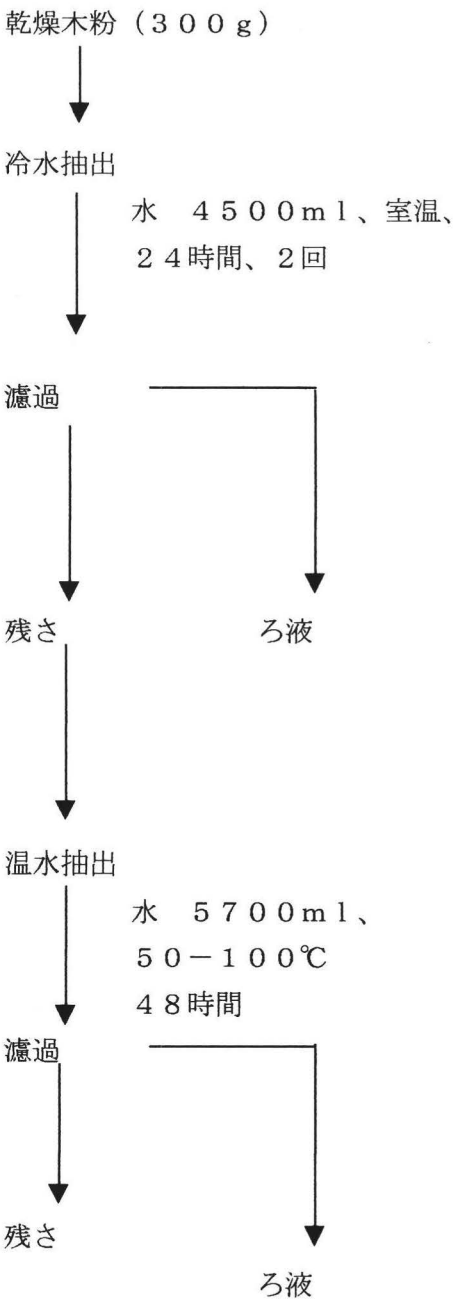


図２　カラマツ鋸屑木粉の抽出工程

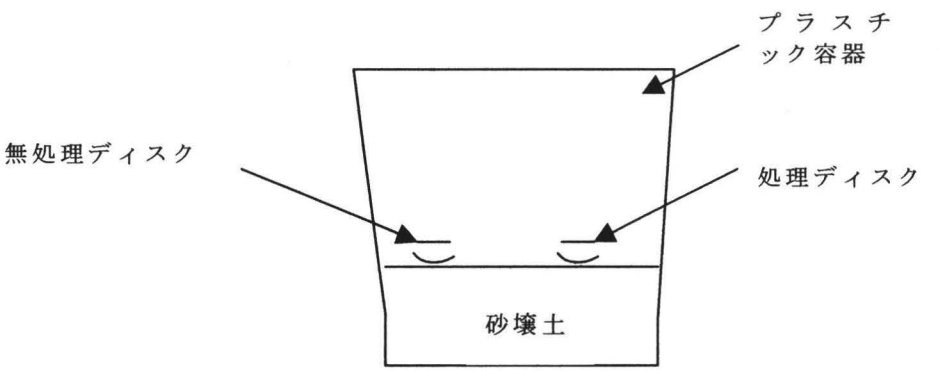


図３　ペーパーディスクを用いた選択摂食試験

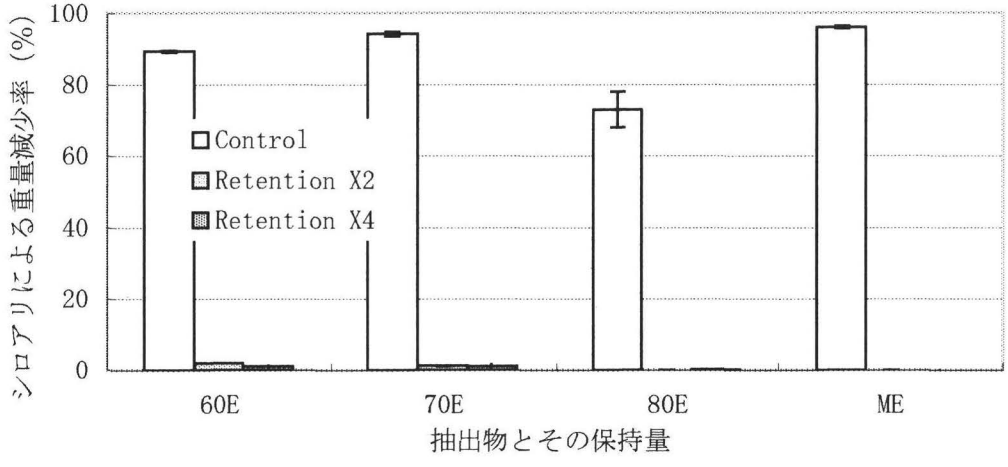


図４　各条件で得られた抽出物を添加した濾紙のヤマトシロアリによる重量減少率
（３択摂食試験）

＊ 60E, 70E, 80E と ME は 60 ー 80 ℃水抽出物 及び MeOH 抽出物を意味する。X2, X4はそれぞれ供試材中の含有量の２、４倍相当保持量。エラーバーは標準誤差。

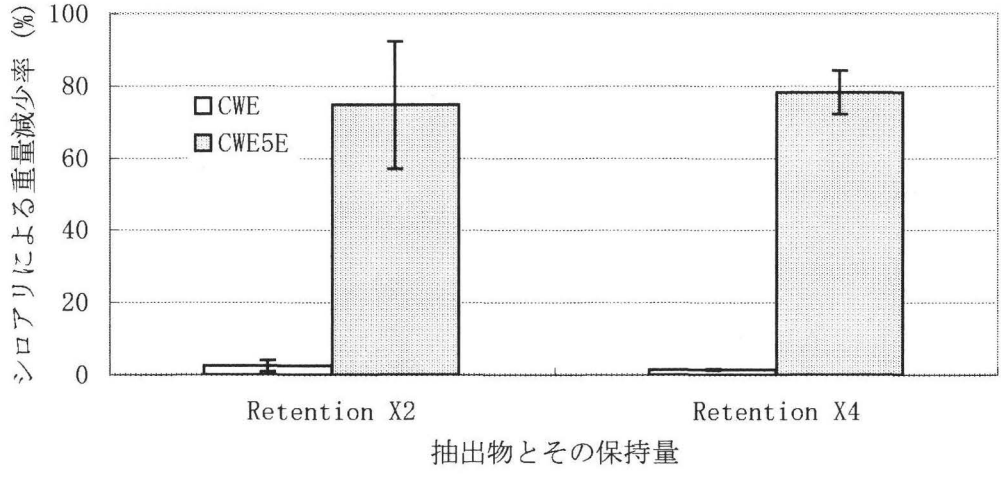


図５　冷水抽出物含浸濾紙のヤマトシロアリによる重量減少率
（５択摂食試験）

注: CWE と CWE5E はそれぞれ室温抽出と５℃抽出を意味する。コントロールの重量減少率は7.3%(SE=5.8)．エラーバーは標準誤差。

１－５ 乾式施工パネル用の高耐久・高靭性セメント系複合材料開発に関する研究

秋田県立大学　建築環境システム学科
教授　山田寛次

1.　本研究の背景と目的

押出整形板，ALC版などのセメント系パネルは，住宅，低層ビルの内外装材料として年間400万㎡以上使用されている。これら乾式施工パネルは，近年，木材資源への対応を考慮した打込型枠への用途展開が計られるなど，今後とも必要不可欠な材料であると考えられる。しかし，両者共に，今日の建築材料に要求される多岐にわたり高度な性能を満足しているとは言い難い。

パネル材料の物性として必要なのは，下記の項目である。

・現在の押出成形材では劣っている加工性，ひび割れの分散性に優れること，
・ALC版のように錆びる鉄筋で補強する必要がないこと，
・凍結融解による劣化にも強く耐久性に優れること
・環境，安全面での要求として，環境負荷の少ない原料からなること，
・　一部の押出成形材で原料としている石綿の混入のないこと，
・原料として何らかの廃棄物を再利用できること，
・それ自身が最終的に廃棄物になったとき再利用可能であること

しかし，以上の性質を有する理想的な材料はない。実際，単一の装置から製造される単一材料ではすべてを満足することは困難で，多種材料の複合化，傾斜機能化または設計上の組み合わせなどで対応する必要があるものと思われる。その場合に肝要なのは，まずベースとなる材料として，バランスのとれた構造性能，耐久性能を有する配合を見いだすことである。次いで，材料設計的なアプローチで，使用部位に適した複合化を考えるのが現実的であろう。

以上の背景のもと，本研究では，環境，安全面で配慮がなされ，バランスのとれた構造性能，耐久性能を有する短繊維補強セメント系複合材料を見いだすことを目的としている。

2．研究の方法および得られた成果

2.1　成形に関する検討

(1) 成形方法の検討

目標とする薄板部材を経済的に成形するには，抄造，プレス，押出，打ち込み，圧延成形が考えられる。それらの長所，短所を検討したのがTable－１である。それぞれ，長所と短所があり完全なプロセスというものは存在しないが，これらのうちから，靭性向上が可能であることと，短所が少ないことを重要視して，押出成形を選んだ。又，商用イメージのプロセスを前提に，養生はオートクレーブによる高圧蒸気養生(最大1MPa)を実施することを決め

た。促進養生の方法としては蒸気養生もあるが，強度の向上，収縮の低減には高圧蒸気養生が優れているためである。

(2) 調合の検討

既往の文献，特許から調合材料を調査した結果，粉体としては，セメント，微粉末充填材，粉末珪石，細骨材などを主体とすることが分かった。特徴的なことは，かなりの研究において，石綿を含んだ調合をベースに検討していることであるが，時代の要請として石綿は排除される方向にあることから，全く含まない調合をベースとすることとした。又，使用する短繊維はパルプ，ビニロン，ガラス，ポリプロピレン，鉱物繊維(ﾜﾗｽﾃﾅｲﾄ，雲母など)，新素材(炭素繊維，アラミド繊維など)があることが分かった。その内，高圧蒸気養生に耐え，耐久性に優れるほか，経済性，安全性，ポリプロピレン容器廃材などの再使用という可能性においても優れているポリプロピレン(PP)繊維を主要な繊維と考えることとした。現在の高靭性繊維補強複合材料は，水中養生されたビニロン繊維補強複合材料が主流であるが，今後の工場生産パネルには，提案する方法がベストの組み合わせであると考える。

(3) 成形機

実験に必要なニーダー，押出機，オートクレーブを手配した。事前に試し練りをしたところ，押出成形されるような粘度の高いマトリックスの混練においてもニーダー，オムニミキサー，モルタルミキサーのいずれもが使用可能なことが判明した。従って，混練には，主に実験室のニーダーをメインに使用することとした。実験室に設置した押出機はバレル直径が75mmの真空押出成形機であり，15mm×40mm および40mm角の試験体が製造可能である。繊維引抜試験，引張軟化挙動測定などの物性値測定，曲げ試験などにはこの小型押出試験体を使用した。又，学内では成形できない，内部に補強筋を挿入した試験体や大型試験体については，大型押出機を運転しているメーカーで製作された試験体を使用することとした。

2.1.2 成形性に関する実験

(1) 成形性の検討

押出成形性の研究では，守，馬場らの研究があり，曲げ強度，曲げ弾性率の決定要因，成形可能な範囲の決め方等について，石綿入りの材料に関する実験がなされている。但し，押出成形に混入する水，メチルセルロース，パルプなどが成形性にどのように関係しているかの検討はなされていない。通常，押出成形材料には多様な材料が調合されるが，それらが成形性(押出性と保形性)に対して，どのような性能を付与するかについて検討した。

特にメチルセルロースは価格が高く，その意義と添加量が成形性に与える影響は把握しておく必要がある。又，パルプと水の添加量の関係も調査しておく必要がある。

(2) 成形性と材料の物性値

成形性を論じている研究には，Benbowらの提案する実験式[1]，守らの提案式[2]があるが，今回対象としている材料と成形性についての関係を論じている研究はない。一方，スクリュー式押出機による押出成形で最も理論化が進んでいるのは，プラスチック成形の分野である。純プラスチックのレオロジーモデルは，ニュートン体であるが，第一次の近似として参考になると考えられる。工業用プラスチック材料の押出成形理論[3]によると，押出可能であるの

は，スクリュー回転による推進流れと，ダイ部分での圧力(バックプレッシャ)による逆流れとの差から計算される，式(1)の流量Qが正の値を持つことである。

$$Q = \pi D2\ H \sin\theta \cos\theta \{6N \leqq (H \tan\theta / L) (H / D)(\Delta P / \eta)\} / 12 \quad ------ \quad (1)$$

ここで，Q: 押出流量，D: 押出機バレル直径，H: 押出機スクリューとバレルの間隙，θ：スクリューの角度，N: スクリュー回転数(rps)，L: 押出機バレル長さ，ΔP: 押出圧力(Pa)，η：材料の粘性係数(Pa･s)，である。

一方，ΔPは，ダイ部分で材料が受ける力の状態から，圧縮，伸張流れによって受ける圧力Peとせん断流れによる圧力Psとに分けて考えられる。

$$\Delta P = Pe + Ps \quad ---------- \quad (2)$$

ここで，ΔP: 押出圧力，Pe: 圧縮，伸張流れに影響される押出圧力，Ps: せん断流れに影響される押出圧力，である。

なお，Peを支配する物性値は，塑性加工との関連から推察できるように材料の降伏強度である。また，Psを支配するのは，材料がダイ壁面との間で粘性と摩擦とによるせん断作用を受けて生じる抵抗力，およびその抵抗を受けて材料がせん断変形しつつ流動するためのせん断強度である。

以上述べた既往の研究から，押出性に影響を与える材料物性値は，降伏強度，せん断強度，粘性係数，摩擦係数の4つに整理できる。また，保形性は，材料の降伏強度に最も大きく影響されると考えられる。

(3) 測定方法

押出成形の吐出速度と同程度の速度(11mm/min)に於ける以下の物性値を調査した。降伏強度は土質試験の圧縮試験機を用いて円筒型枠で成形した試料(直径32.5mm，高さ65mm)の一軸圧縮強度によって評価した。粘性と摩擦の総合的抵抗力はベーン貫入抵抗試験で総合的な評価が出来ると考え，同じ圧縮試験機を用いて，ベーンを貫入させて評価した。このとき，試料は円筒型枠に入ったままである。また，剪断強度は土質試験用の剪断試験機を用い，直径60mm，高さ120mmの試料を一面剪断して評価した。

調合は既往の研究[4]の物性値を念頭に，そこで用いた水/セメント比，混和剤率を中心にパラメトリックに変え，Table-2のように定めた。

(4) 実験結果

実験から，下記のことが明らかになった。これらから，成形性に関しては，調合すべき材料の種類と量を絞り込むことができ，より少ない範囲の中から，靭性向上に関する調合を検討することができるものと考えられる。

・ MCの効果

添加により材料が塑性的になり，内部摩擦角が減少するため，圧力の高い押出成形では閉塞防止に有効である。反面，粉体周りの水膜の粘度を上げるため，粘着力を増し，

一軸圧縮強度，剪断強度を若干上昇させる。今回の実験では1%の含有で十分な効果が現れた。

・ パルプの効果

添加により一軸圧縮強度，剪断強度を急激に上昇させる。その理由は，パルプの吸水と絡み合いとによるものであろう。また，一定量以上の添加により，一軸圧縮時の荷重-変形性状がシャープにまた変形剛性が大きくなるため，保形性には有効に働くと考えられる。

・ 雲母の効果

同じ繊維成分としてのパルプと比較すると，成形性に対しては際だった特徴が無く，硬化後の物性値との関係で評価できると考えられる。

・ 水-粉体比の限界

材料を塑性限界以上の状態に保持する水分量が必要であるが，パルプの調合量を念頭に置く必要がある。

2.1.3 検討結果

以上の結果から，メチルセルローズは1%に，水-粉体比は塑性限界の近辺で注意深く設定すれば良いことが分かった。また，パルプ繊維の量は絡み合いにより保形性には有効であることと，主に水の量との関係で決められることが分かった。

2.2 繊維補強複合材料の靭性向上に関する検討

2.2.1 実験

(1) 試験の内容

PP繊維量の異なる4調合を選択して，繊維量と靭性，強度がどのような関係にあるかを調査した。実験に用いた調合のPP繊維容量比(Vf)は，G1(Vf=1.80%)，G3(Vf=3.51%)，G5(Vf=5.18%)，G7(Vf=7.56%)で，水-セメント比，水-粉体比がほぼ等しくなるように調合を定めた。調合表をTable-3に示す。

それぞれの調合毎に，養生がオートクレーブ養生(AC養生)と28日間の水中養生(W28)の2ケース，試験時含水率が絶乾(D)と湿潤(W)の2ケースを組み合わせて，4種類の試験条件を設定した。

曲げ試験は，支点間距離160mmの中央集中載荷で実施し，荷重と載荷点下のたわみを連続的に計測した。たわみは測定レンジが5mmの高感度型変位計を使用して，最大で4mmまで計測した。なお，載荷速度は0.5mm/分とし，試験体数はそれぞれの条件でN=3とした。

各条件の代表例(3体の内で荷重が中央値を示した供試体)の曲げ試験結果の荷重-たわみ関係をFig.1～4に示す。

(2) 曲げ挙動の特徴

荷重-たわみ曲線の図から，曲げ挙動の特徴として下記の点が明確になった。

・ 初亀裂強度

全ての調合について，湿潤状態よりも絶乾状態の方が初亀裂荷重が高い。また，オート

クレーブ養生の方が水中養生よりも高い。

・ 初亀裂後の挙動

初亀裂後の保持荷重は，PP繊維量の増加に伴って大きくなる。これは，曲げ最大荷重は引張合力の大きさによって決まるためであると考えられる。また，G5，G7調合の水中養生，湿潤状態試験では，亀裂が複数貫入しながら荷重は漸増し続けるため，疑似塑性状態(Pseudo-plastic)となる。

2.2.2 考察

曲げ試験片の破断面を観察したところ，本研究の条件では，PP繊維のVfが小さくなると，曲げ破断面に現われる平均繊維長さは短くなる傾向を示した。それら試験片のSEM観察からPP繊維が破断していることが観察され，平均繊維長さの減少は繊維破断の結果であると考えられる。本研究で，Vfが最大(7.56%)のG7調合の場合に，オートクレーブ養生，湿潤状態試験でも，繊維が破断せず理想的な引き抜き状態になり，高靭性の曲げ挙動となった。

以上のことから，曲げタフネスの向上はVfに比例すると言うよりも，繊維破断が引き抜けに転化するVfを境にタフネスが急に向上する可能性があると推察される。つまり，靭性向上には可能な限りVfを高くすることが必要である。

2.3 連続繊維補強筋で補強された梁の検討

2.3.1 試験体製作

(1) 材料と調合

試験体に用いた材料調合をTable-4に示す。R調合はD調合に比べPP繊維を約2倍含む高靭性調合である。使用したセメントは平均粒径が15.1μmの普通ポルトランドセメント，シリカ成分には平均粒径が12.7μmの粉末珪石と5号珪砂，繊維成分にはPP繊維を長さ6mmに切断したものと故紙セルロースパルプ繊維を用いた。また，成形助剤として20℃で2%水溶液の粘度が30Pa･sのメチルセルロースを用いた。

補強筋は直径10μmの高強度，高弾性炭素繊維をエポキシ樹脂に含浸し，60,000本束ねて引抜成形したもの(以下CFRPと略称)で，物性値をTable-5に示す。この補強筋の大きな特徴は付着力を上げるために引抜成形後，ブレーダーによって外層に合成繊維を編み込んでいることである。この合成繊維は，内部の樹脂含浸炭素繊維からにじみ出した樹脂と一体化して硬化し，強固な凹凸層を形成している。

(2) 製作

材料は秤量した後，アイリッヒミキサーで乾式で3分間，加水後5分間の混練をし，その後，ニーダーで3分間の混練をしてすぐに押出成形した。押出成形機はオーガー直径が150mmの真空押出成形機で，先端の金型は幅600mm，厚さ50mmの開口を持ち，CFRP筋と共に材料を押出すことができるようになっている(Fig.5参照)。

押出された成形体は3時間静置し，その後，養生室内で温度が55℃，湿度が95%の条件で6時間の1次養生をした。 次いで，オートクレーブ釜内で，温度150℃，6時間の高温高圧養生をした。養生後，成形体を必要な幅と長さに切断して試験体とした。

2.3.2　物性値

(1) マトリックス

既往の研究と同一方法によって材料の物性値を測定した。ここで，ひび割れ幅との関係で求められる引張軟化挙動などの物性値は，クラックバンドモデルと同様な考えによって，ひび割れ幅相当の変形がひび割れ間隔内で均一化したと仮定し，歪みに対して記述した。

(2) CFRP補強筋の付着強度

補強筋をブロック形状の繊維補強モルタルに埋め込んで引き抜くことにより，付着強度を測定した。埋め込むCFRP補強筋は長さ70mmで，そのうち40mmを定着し，残りの30mm側を引抜いた。なお，引抜き長さのうち中央部から10mmにはテフロン製のテープを巻き，付着力が働かないようにして，長さ20mmの平均付着強度として評価した。この評価法は，太径の連続繊維補強筋に関して一般的な試験法[5)-7)]を参考に考案したもので，付着割裂を防止し，本研究の補強筋に対して安定した結果を出せる方法である。

型枠内に各調合の繊維補強モルタルを詰め込み，他と同様に養生した後，クリップゲージで開口変位を測定しながら，速度0.5mm/分で引き抜いた。その結果，補強筋最外層の樹脂が破壊しつつ引き抜け，両調合とも平均付着強度は約15.1Mpaで，差が無かった。この値は，RC構造における異形鉄筋の許容付着応力13)と比較して数倍であり，引張強度との比は，異形鉄筋に近いと考えられる。

2.3.3　両引き試験

押出成形体から，CFRP補強筋が厚さの中央になるように切出し，研磨後，幅方向に両側からそれぞれ深さ10mmのノッチを切込み，両端に鋼板を接着して，両引き試験を実施した。マトリックス部分(400mm)の伸びを計るために，表裏両面にπゲージを装着して，速度0.2mm/分で引張り，荷重とπゲージの出力変位を記録した。

2.3.4　曲げ試験

曲げ試験体は，各調合につき補強筋のあるものと無いものを準備した。ただし，R調合試験体で補強筋を持つものは，幅を変えた2種類準備し，補強筋比が1：2になるようにした。

曲げ試験は，最大荷重10kNの油圧式サーボ試験機を用い，変位制御方式で行った。載荷方法は，支点間距離1,200mm，載荷点間距離180mmの2点集中載荷で実施し，荷重と荷重点，中央点下のたわみを連続的に計測した。なお，載荷速度は0.5mm/分とした。

2.3.5　実験結果と考察

(1)　マトリックスの違いによる両引き試験結果の違い

Fig.6には，両引き試験の結果に加えて，既往の研究[4)]のファイバー要素モデルによる計算値，および補強筋単独が荷重を分担すると仮定した計算値とを併せて示している。図から分かるように，ひび割れの分散に伴ってテンションスティフニング効果が徐々に減じ，最終的に補強筋だけが引張力を分担している。

単純引張試験で評価した付着強度では差がなかったのに，両引き試験の挙動には大きな差が生じた。この理由は，付着試験では，最外層樹脂の破壊によって引抜が始まるため，マトリックスには影響されないのに対して，両引き試験では，ひび割れ，補強筋の滑りと付着割裂を生じながら，複雑に付着力を喪失していくため，マトリックスの物性値に依存するためであると考えられる。

岡村の著書[8]を参考に，RC構造の慣用式である式に従ってひび割れ間隔を計算し，その結果を実験値と比較してTable-5に示す。この表から分かるように，R-1試験体では両者は良く対応しているが，D-1試験体では付着割裂の影響が大きく現われ，ばらつきが大きい。

$$L = 2\frac{AFt}{\Psi \tau_b} \qquad \text{- - - - - - - - - - - - - (3)}$$

ここで，L ： 最大ひび割れ間隔，A ： マトリックスの有効面積，Ft ： マトリックスひび割れ強度(D-1 ： 3.18MPa， R-1 ： 2.91MPa)，ϕ： 補強筋の周長(11.6mm)，τb: 最大付着強度(15.1MPa)，である。

また，Table-6には，ひび割れ時の応力と，著者が既往の研究7)で用いた13.5mm角，長さ27mmの試験体の引張強度を比較して示す。両者は大きく異なっており，補強筋のノッチ効果，またはひび割れ強度の寸法効果[9]が大きく作用しているものと推察される。

(2) 曲げ挙動

各曲げ試験体の荷重-たわみ関係をFig.7に，結果をTable-7，8に，ひび割れ状況図をFig.8に示す。

・初期ひび割れ強度

Table-7に示す初期ひび割れ強度を見ると，特に補強筋のないD-B試験体では強度は高く，概ねTable-6に示す小試験体の引張強度に近いが，補強された試験体では低くなる。

・無補強試験体の曲げ挙動

特徴的なのは，R-B試験体で，たわみが2mmから6mmのところで豊かな靭性を示したことである。これは，既往の研究[10]でも見られた現象で，初期ひび割れの周りに細かいひび割れが分散したためと推察される。この効果によってR-B試験体の靭性値(ﾀﾌﾈｽ・ｲﾝﾃﾞｯｸｽI-10)は，D-B試験体よりもはるかに大きい値を示した。

・補強試験体の曲げ挙動

D-11試験体では，初期ひび割れ後ほぼ一定荷重でひび割れが分散し，その後，若干のひび割れが分散しながら荷重は増大して，最終的に補強筋が破断した。これは良く知られたACKモデル[11]の曲げ挙動と同様の結果であった。しかし，R-11，R-22試験体では，明確な初期ひび割れを示さず，徐々に曲げ剛性が低下し，3mm程度たわんだ段階からほぼ一定剛性で荷重は増大し，最終的に補強筋が破断した。

曲げ部材に関するRC構造の慣用式[12]で予測したひび割れ間隔と実験値とを比較してTable-8に示す。これから分かるように，両調合とも下式による最大ひび割れ間隔と矛盾するものではないが，R-22試験体だけが計算値の6割になったことが特徴的である。

$$L = \frac{k_4 C}{1.45}\left(1 + 0.18\frac{e_s}{C}\right) \quad \text{- - - - - - - - - - - - - (4)}$$

$$L = 4C + 0.7(e_s - \phi) \quad \text{- - - - - - - - - - - - - (5)}$$

ここで，L ： ひび割れ間隔，k4 ： 定数 (5.4)，C ： かぶり厚さ，es ： 鉄筋間隔，ϕ ： 補強筋の直径である。

2.3.6 まとめ

短繊維単独では高靭性の曲げ挙動を得るためにかなり大量の繊維を調合しなければならないが，以上見てきたように少量の連続繊維補強筋を挿入することにより，R調合のようなPP繊維が1.7%の場合でも，高靭性の曲げ挙動を現出できることが明らかになった。このことは，PP繊維を多量に調合することが困難な不燃材料にあっても，高靭性の複合材料を提供できることを意味する。

また，本研究で提案したように，最終的な曲げ挙動を，材料物性値から予測できる手法を明らかにした。このことは，調合を変えるたびに大きな試験体による曲げ挙動を試験する必要がないことを意味する。つまり，試験片レベルの材料物性値を把握しておけば，最終的な試験体による曲げ挙動をシミュレーションすることができ，調合設計は効率化できると考えられる。

3. 今までに得られた成果のまとめ

本研究により得られた成果をまとめると以下のようになる。

(1) 押出調合を決める場合の調合材料の種類と量

押出成形する場合，調合すべき材料の種類と量について検討した。その結果，メチルセルローズは1%に，水-粉体比は塑性限界の近辺で注意深く設定すれば良いことが分かった。また，パルプ繊維は絡み合いにより保形性には有効であること，その量は主に水の量との関係で決められることが分かった。

(2) PP繊維単独によるセメント複合材料の靭性向上

補強繊維として，PP繊維だけを調合したセメント複合材料の靭性向上がどの程度可能か検討した。その結果，本研究では，Vfが最大(7.56%)のG7調合の場合に，オートクレーブ養生，湿潤状態試験で，繊維が破断せず理想的な引き抜き状態になり，高靭性の曲げ挙動を現出した。

(3) 連続繊維筋とPP短繊維によるセメント複合材料の靭性向上

少量の連続繊維補強筋を挿入することにより，R調合のようなPP繊維が1.7%の場合でも，高靭性の曲げ挙動を現出できることが明らかになった。このような複合材料は本研究の目的とした高靭性セメント系複合材料と言える。しかも用いた材料はCFRP補強筋，セメント，粉末珪石，PP繊維等であり，更にそれらが真空押出成形されているの

で，耐久性上，全く問題が無いことが既往の研究の結果から明らかになっている。従って高耐久性複合材料であるとも言え，研究の目的は達した。

さらに，最終的な曲げ挙動を，材料物性値から予測できる手法を明らかにした。このことは，調合を変えるたびに大きな試験体による曲げ挙動を試験する必要がないことを意味する。つまり，試験片レベルの材料物性値を把握しておけば，最終的な試験体による曲げ挙動をシミュレーションすることができ，調合設計は効率化できると考えられる。

4. これから期待される成果

本研究により，押出成形に関する調合設計の基礎となる事柄と繊維補強された部材の曲げ挙動をシミュレーションする方法が確立した。これらの成果を用いることにより，押出成形パネルの調合検討から部材設計に至るまでの過程が効率化されると考えられる。

5. 残る問題点と対策

連続繊維で補強する場合にはコスト的にも，設備についても制約が多いため，短繊維単独で高靭性の曲げ挙動を現出する方向の研究が求められる。現在，そのような複合材料にはVF(ビニロン繊維)補強セメント系材料が知られるようになってきたが，PP繊維でも可能かどうかの研究が必要である。最近，製造方法を変えたPP繊維，表面に親水基で修飾したPP繊維などの新しいPP繊維も上市されているので，これらの物性値を調べ，靭性が改善されるかどうかを検討する必要がある。さらには，現在用いられる長さ（概ね6mm-12mm）以上の長さを持つ「短繊維」の検討によって，PP繊維でも高靭性の曲げ挙動を現出できるかもしれない。今後は，これらの点について検討を加えていく所存である。

6. 研究発表の実績と予定

以上の研究に対して，下記3件の発表を行った。なお，今後の発表予定はない。

(1) 山田寛次，石山　智：セメント系押出成形材料の押出成形性を考慮した調合設計の基礎的検討，日本コンクリート工学協会,年次論文集 Vol.22,No.2,P49～54,2000年6月

(2) 山田寛次，三橋博三：高強度連続繊維筋で補強された繊維強化セメント系複合材料梁の曲げ靭性向上に関する考察，日本建築学会構造系論文集 No.537,P1～6,2000年11月

(3) 山田寛次，三橋博三：Constitutive Model for Flexural Behavior of High Performance Cementitious Composite，3rd International Conference on Concrete under Severe Conditions，2001年6月，P1658～1665

7. 実用化計画

適当なスポンサーが見つかれば，開発された技術を発展させて実用化ができると考えられる。特に発展途上国では，押出成形パネルのような大量生産品を受け入れる可能性が高いと思われるので，現地の植物繊維などを使用した調合を提案すれば，技術を生かすことができよう。

8. 引用文献

1) Benbow, J. J.: The dependence of output rate on die shape during catalyst extrusion, Chemical Engineering Science, Vol. 26, pp. 1467-1473, 1971

2) 守明子，馬場明生：セメント系建築材料の押出成形における製造プロセス制御方法の開発，日本建築学会構造系論文集，No.456，pp.1-10，1994.2

3) 村上健吉　監修：押出成形，プラスチックエージ，pp.98，1989.12

4) 山田寛次，三橋博三：ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ短繊維補強ｾﾒﾝﾄ系押出成形材料の高靭性化のﾒｶﾆｽﾞﾑに関する考察，日本建築学会構造系論文報告集，No.520，pp.1-8，1999

5) 土木学会編：連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)，ｺﾝｸﾘｰﾄﾗｲﾌﾞﾗﾘｰ88，361ページ，1996.9

6) 日本コンクリート工学協会編：連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書，215ページ，1997.7

7) 日本建築学会・構造委員会，新素材ファイバー補強構造小委員会編：連続繊維補強材のコンクリート構造への応用，103ページ，1998.12

8) 岡村甫：コンクリート構造の限界状態設計法(第2版)，共立出版，183ページ，1988.

9) 山田寛次，三橋博三：ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ短繊維強化押出成形体の引張強度の寸法効果に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1114，pp.227-228，1999.9

10) 山田寛次，三橋博三：パルプサンドを混入したポリプロピレン短繊維補強押出成形体のタフネスに関する一考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，pp.439-444，1995.

11) Aveston, A., Cooper, G. A. and Kelly, A.: Single and Multiple Fracture, The Properties of Fibre Composites, Proceedings of Conference. National Physical Laboratories, IPC, Science and Technology Press, UK, pp.15-24, 1971.

12) 大塚浩司，庄谷征美，外門正直，原忠勝：鉄筋コンクリート工学-限界状態設計法へのアプローチ(第2版)，技報堂，212ページ，1993.

Table 1 Available methods of manufacturing cement composites material

	長所	短所
抄造	大型部材を経済的に成形できる。 成形の実績は多い。	複雑形状は成形できず、単なる平板の成形に向いている。 親水性でない繊維は使用しにくい為、靭性改善に大きな制約がある。少しでも厚くなると、成形が困難と考えられる。
プレス成形	金型に対応して、いかなる複雑な形状でも成形できる。 繊維、粉体の厚み方向への傾斜配置が簡単と考えられる。	大型部材の製作のためは大型機械が必要になる。一般に小型部材向きと考えられる。
押出成形	金型に対応して、いかなる複雑な形状でも成形できる。 成形された材料の物性値は非常に優れている。特に、繊維を多量に混入できるため、靭性を大幅に向上させられる。	成形には技術を要する。
打込成形	型枠に対応して、いかなる複雑な形状でも成形できる。	量産向きではない。 繊維などを混入することにより、ﾜｰｶﾋﾞﾘﾃｨが低下して、成形が困難になるため、靭性改善に大きな制約がある。 一般に薄板の成形は困難。
圧延成形	大型部材を経済的に成形できると考えられる。 繊維、粉体の厚み方向への傾斜配置が簡単と考えられる。	実績がない。 物性値の優れた材料を圧延成形できるか否かは不明。

Table 2 Mixproportion

Mix	Water	MC	Mica	Pulp	Mix	Water	MC	Mica	Pulp
a0	25	0	0	0	B1	25	1	5	1.77
a1	25	1	0	0	B2	25	1	5	1.15
a2	25	2	0	0	B3	25	1	5	1.00
Z0	25	1	5	2	B4	25	1	5	0.85
A1	26.9	1	5	2	B5	25	1	5	0.62
A2	28.8	1	5	2	C1	25	2	5	2
A3	30.8	1	5	2	C2	26.9	2	5	2
A4	32.7	1	5	2	C3	28.8	2	5	2
A5	34.6	1	5	2	C4	30.8	2	5	2
A6	36.5	1	5	2	D1	25	1	4.2	2
					D2	25	1	1.9	2

Table 3 Mix proportions of G1,G3,G5 and G7-mix

		Cement	Silica power	PP fiber	MC	Water	Wet B.D.
B.D.	gr/cm3	3.10	2.65	0.91	1.27	1.00	
G1	gr/1Litre	839.37	799.50	16.39	24.58	384.95	2.06
G3	gr/1Litre	817.77	778.95	31.93	23.95	383.21	2.04
G5	gr/1Litre	804.32	766.04	47.11	23.56	376.14	2.02
G7	gr/1Litre	783.46	746.17	68.83	22.94	367.11	1.99

Table 4 Mixproportion of D and R-Mixture

Mix	Unit	Cement	Silica Element	PP fiber	Pulp	Additives and Water
D	(Vol. %)	24.6	30.2	0.8	2.2	42.2
R	(Vol. %)	32.8	28.7	1.4	0.8	36.3

Table 5 Mechanical properties of CFRP bar

Diameter	Tensile Strength	Tensile Modulus	Area		Bond Strength
			Total	Carbon Fiber	
(mm)	(GPa)	(GPa)	(mm^2)	(mm^2)	(MPa)
3.7	1.258	147.6	10.74	4.53	15.1

Table 6 Experimental Tensile Strength Evaluated by Two Different Tests

Mix	Tensile Strength by Direct Tension Test (MPa)						Tensile Strength by Small Specimen
	1	2	3	4	5	Average	(MPa)
D-1	3.37	3.18	3.34	-	-	3.30	6.12
R-1	3.15	2.91	2.94	3.92	4.69	3.52	5.80

Table 7 Flexural Test Results

Specimen	Flexural Strength at 1st Crack (MPa)	Flexural Toughness (I-10) -
D-B	6.71	1.51
D-11	4.74	-
R-B	3.95	6.80
R-11	3.45	-
R-22	4.34	-

Table 8 Experimental and Predicted Crack Pitch

Specimen	Experimental		Predicted Crack Pitch	
	Numbers of Cracks -	Average Crack Pitch (mm)	By Eq. (2) (mm)	By Eq. (3) (mm)
D-11	10	66	52	53
R-11	17	53	52	53
R-22	20	49	87	89

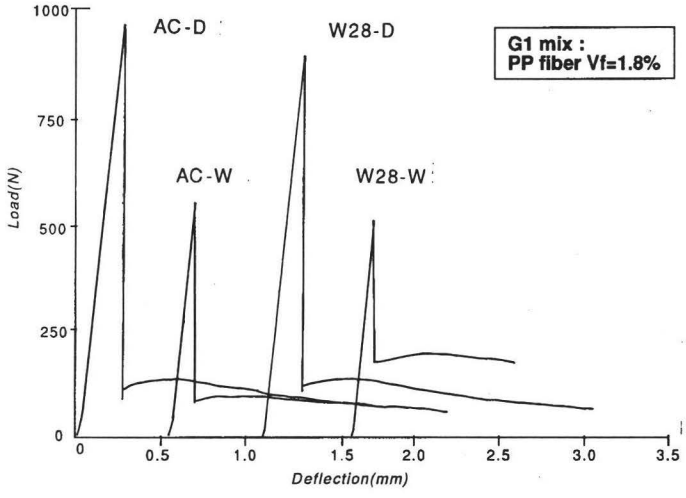


Fig.1 Load-Deflection Relation (G1)

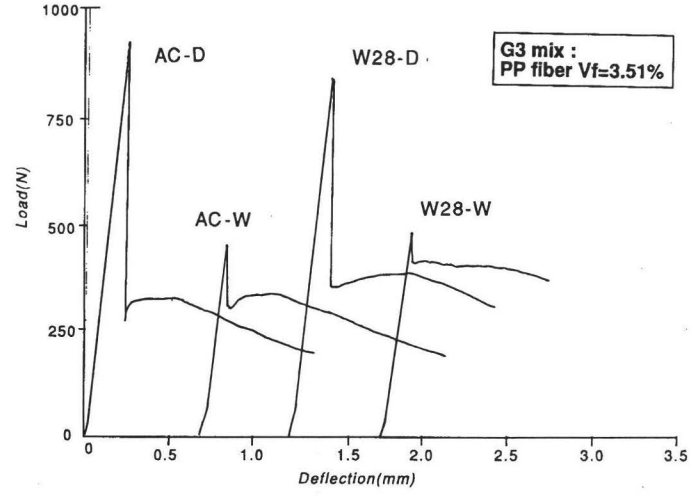


Fig.2 Load-Deflection Relation (G3)

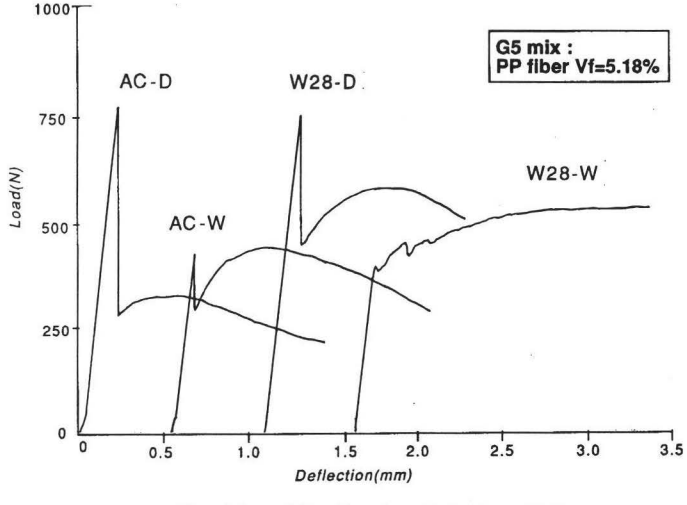


Fig.3 Load-Deflection Relation (G5)

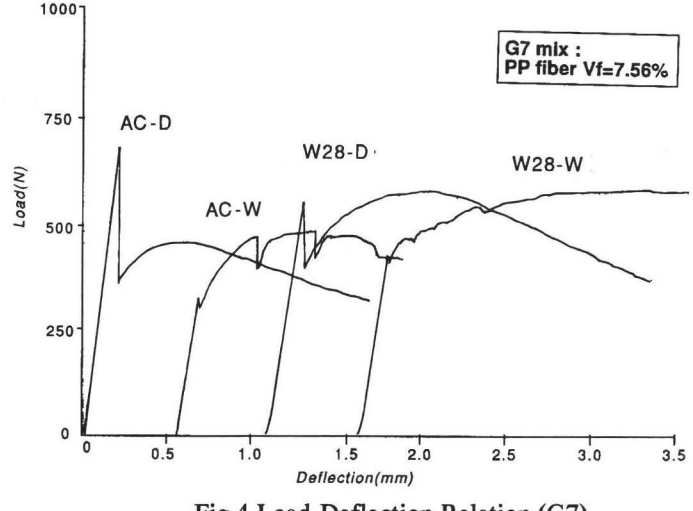


Fig.4 Load-Deflection Relation (G7)

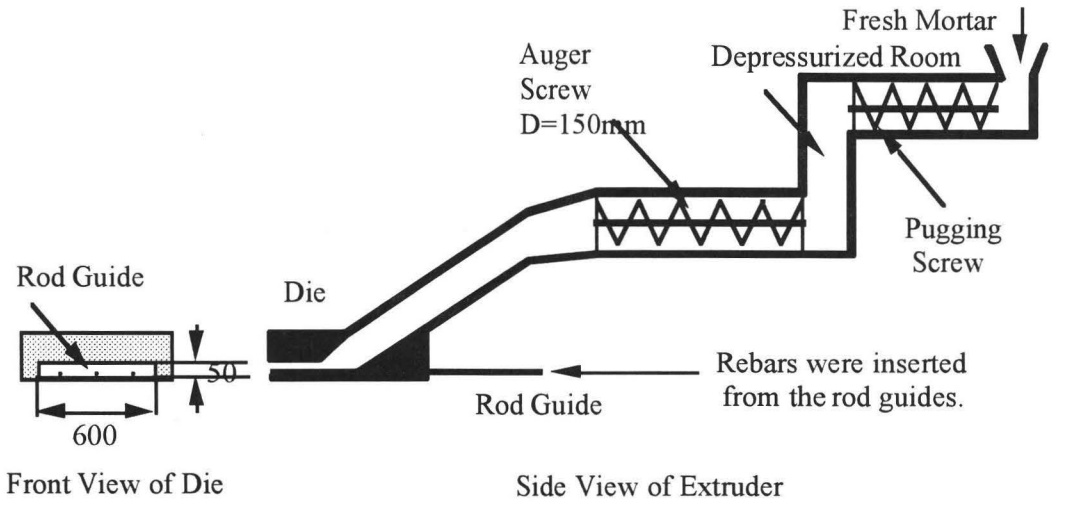


Fig.5 Extruder provided with rod insert guide to reinforce the composites with CFRP bars

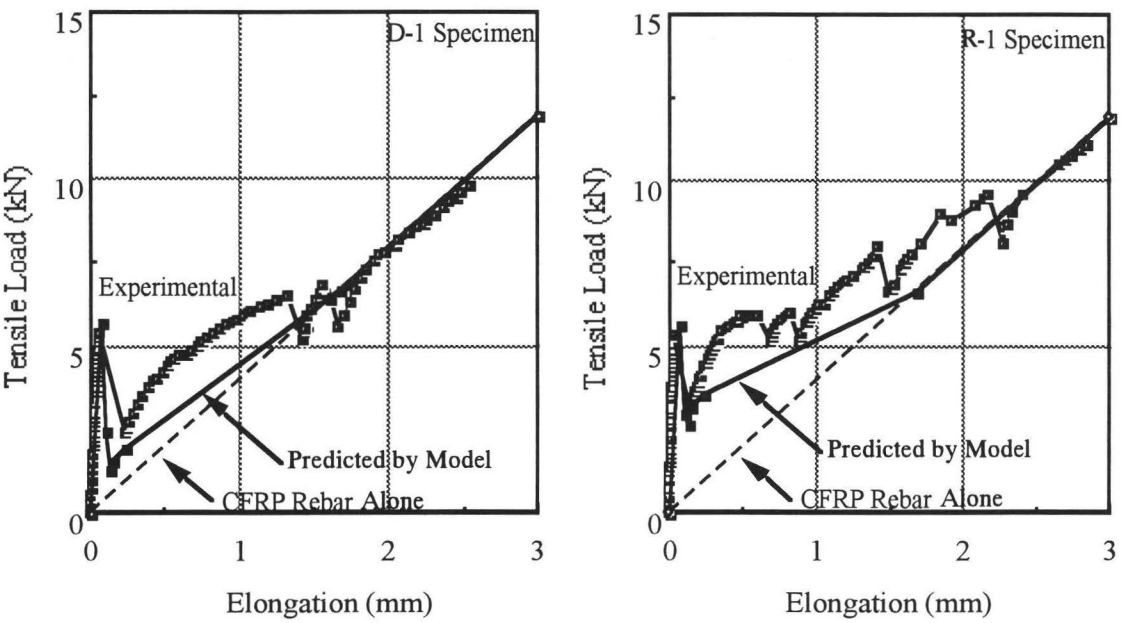


Fig.6 Load-elongation Relation of Direct Tension Test Specimens

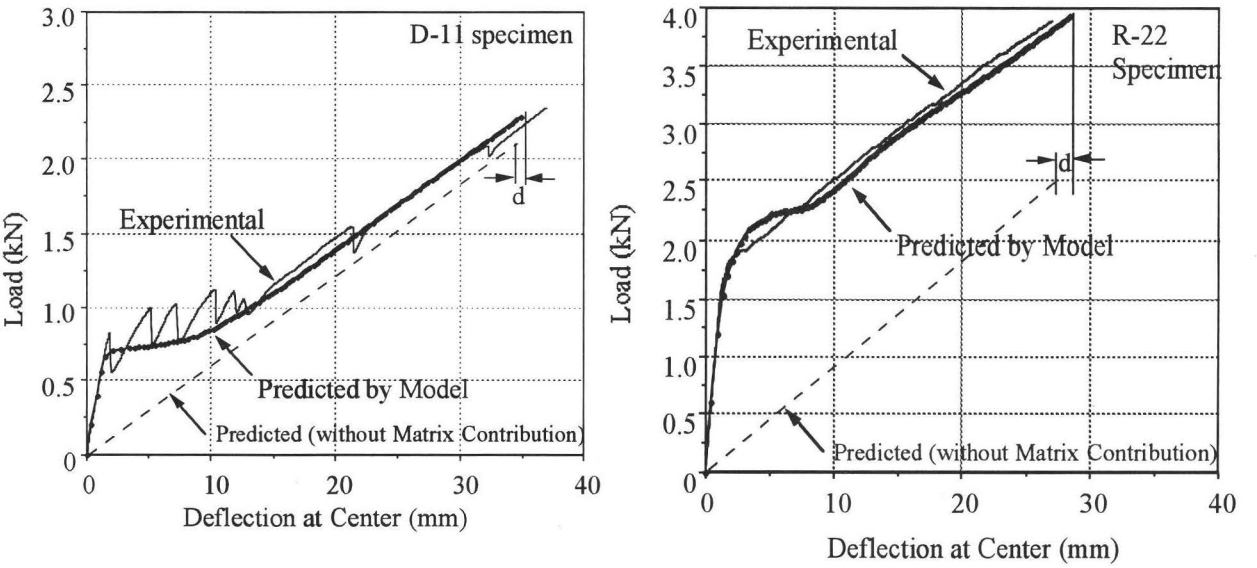


Fig.7 Experimental and Predicted Load-deflection Relation of Specimens Reinforced with CFRP Rebar

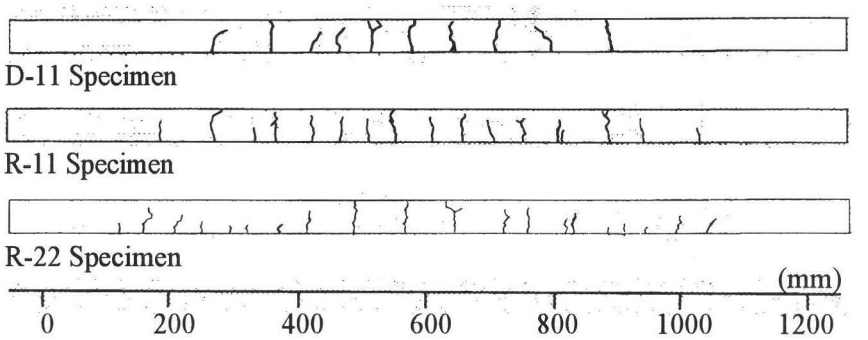


Fig.8 Final crack patterns

1－6 構造と仕上材の一体化を考慮したアルミニウム住宅構造システムの開発

名古屋工業大学　工学部　共同研究センター長
教授　小野徹郎

1. 本研究の背景と目的

今、アルミニウムを建築構造材として利用しようとする動きにはアルミニウムの再利用性や押出し加工性の良さが大きな理由としてあげられるが、他にもアルミニウムは、軽裏性，耐食性，意匠性などの優れた特性がある。これらを建築構造に利用すれば、建築構造計画や意匠の多様化への対応，構造設計の自由度の拡大，建築構造の耐久性の向上が図られる。特に、アルミニウム合金は、他の材料にない優れた加工性をもち、押出成形により容易に任意の断面形状の加工ができることから、その特性を生かして構造材と２次部材との一体成形が考えられる。しかし、２次部材が取り付くためには材の変形が問題となる。そこで、応力を受け持つ部材（軸力材）と、仕上げ材を兼ねた２次部材を分離した、アンボンド柱を提案する。これは、軸力材と分離した部材を補剛材として機能させることにより、軸力材の座屈補剛及び、仕上げ材の変形防止という相乗効果を期待するものである。

研究は１）任意断面に対するリブの評価を行うリブ付き部材の解析と評価、２）アンボンド柱の座屈実験を行っている。アンボンド柱の実験では断面形状は接合ディテールや等方性などの理由から軸力材を十字断面、横座屈に対する抵抗性や仕上げ材も兼ねること等の理由により補剛材を矩形の閉断面を提案した。

2. 研究方法、実験概要

2-1　試験体概要

表１に試験体の一覧を、図１に試験体断面形状を示す。実験パラメータは、細長比、補剛剛性、偏心量とした。細長比は λ =200 を最大とし、λ =150、λ =100、λ =70、λ =40 の５種類とした。補剛剛性は、補剛材なし、補剛材のついたものは補剛材の内断面を一定とし、板厚をパラメータとして t =2mm、 t =3mm の３種類とした。圧縮力は中心圧縮と 5mm 偏心圧縮とした。この 5mm 偏心は断面の核の中に入っている。試験体記号は「偏心有無（C、E）・細長比（40 ～ 200）－補剛材有無（B、N）・補剛材板厚（2、3)」とした。

また、歪ゲージは、十字型断面軸力材は中央と中央からL/4と材両端に、補剛材は材長の中央と、中央よりL/8、L/4と材両端に張り付けた。また、補剛材が軸力を負担しないよう材両端を 50mm カットし、十字型断面軸力材と補剛材の中央が同じになるようにセッティングした。

2-2　素材引張試験

各試験体についてJIS5、6号試験片により素材引張試験を行った。図２に素材引張試験の応力－歪度関係を示す。縦軸を応力度 σ (N/mm^2)、横軸を歪度 ε で表している。応力－歪度関係は全ての試験片で降伏棚をもたないラウンドハウス型となった。表２に引張試験より得られた各素材の機械的性質を示す。アルミニウム合金は明瞭な降伏点をもたないため、降伏応力度 σ_y は0.2%オフセット耐力を用いた。また、降伏歪度 ε_y は、降伏応力度 σ_y をヤング係数Eで除した値とした。

次に、各素材引張試験結果の応力－歪度関係をMenegotto-Pinto modelにより数式表現する。Menegotto-Pinto model は次式（１）のように表される。

$$\sigma = E_\infty + \frac{(E - E_\infty)}{\left\{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^R\right\}^{\frac{1}{R}}} \cdot \varepsilon \qquad \text{式（1）}$$

ここで、Eは各素材のヤング係数で、Rは材料定数である。各素材の応力－歪度関係を近似したものを図３に、またその時の諸定数 ε_0, R, E_∞ の値を表３に示す。なお、この値は $\varepsilon \leqq 0.015$ のデータを使

用して近似させたものである。

また、軸力材となる十字断面材について短柱圧縮実験を行った。その結果を表２に、Menegotto-Pinto modelで$\varepsilon \leqq 0.025$のデータを使用して応力－歪度関係を近似したものを図３に、その時の諸定数ε_0, R, E_∞の値を表３に示す。

2-3　実験方法

図４に実験装置概要を示す。載荷は図４に示すようにアムスラー型試験機により、材端条件を両端ピン支持とし単調圧縮載荷を行った。支点は、材長と座屈長さとを等しくするために、回転中心が部材端と一致するように設計されている。試験体の端部には鋼製の治具を取り付け、これを支点上の四方から２本ずつ、計８本のボルトで締め付けることにより試験体を固定した。試験体位置の微調整は、このボルトを回転させることによって行った。弾性範囲の30～40%程度の荷重をかけ、ストレインゲージの値の差から偏心距離を計算し、中心圧縮材においては支点の回転中心と試験体の重心軸とが一致するように、偏心圧縮材においてはその値が５ｍｍになるよう試験体の設置位置を調整した。

3. アンボンド柱の性能評価

表４に実験結果を示す。座屈耐力P_{cr}は実験の最大耐力としている。また、ε_{cr}はP_{cr}時の中央平均軸歪である。軸力材のみの部材に関してはsin半波の曲げ変形を示した。補剛材の付いた部材はsin半波の曲げ変形が進み、最終的には部材中央部が局部座屈を起こした。しかし、λ=70、λ=40の部材は補剛材材端で局部座屈を起こし破断したため、実験装置のピン支点が拘束した時点で実験を中止した。また、すべての部材においてねじれ変形はみられなかった。

図５にλ=40、λ=100、λ=200の荷重－変形関係を示す。荷重は材の降伏荷重P_y、横軸は降伏荷重時の軸方向変形δ_yにより無次元化してある。補剛材の補剛剛性による耐力の上昇、偏心の影響による耐力の低下がみてとれる。図６に荷重－中央蔓外変形関係を示す。縦軸をP_y、横軸を材長Ｌで無次元化してある。C200-B2は座屈して曲げ変形が発生してからの耐力の伸びがほとんど見られないのに対し、C100-B2は曲げ変形発生後に最大荷重に達している。また、偏心圧縮材は載荷初期から曲げ変形が発生しているのが分かる。図７に細長比腹に各補剛剛性における座屈耐力の上昇率を示す。縦軸には細長比ごとに各試験体の最大耐力を軸力材のみの最大耐力により無次元化した値を、横軸には各試験体の曲げ剛性を軸力材の曲げ剛性で無次元化したものをとった。これより、細長比が大きい部材ほど補剛効果が高いことが分かる。図８は、縦軸に座屈応力度σ_{cr}、横軸に細長比λをとり、十字型断蔓軸力材の応力－歪度関係をMenegotto-Pinto modelで近似し、その接線係数E_tを用いた座屈曲線と座屈実験結果をプロットしたものである。接線係数E_tはMenegotto-Pinto modelをεで微分した次式で表される。

$$E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_\infty + \frac{(E - E_\infty)}{\left\{1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^R\right\}^{\frac{1}{R}+1}} \qquad \text{式（２）}$$

補剛材のついた試験体の座屈曲線は補剛材の曲げ剛性を弾性とし、次式で与えた。

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2}{\lambda^2}\left(E_t + E_0 \frac{I_0}{I}\right) \qquad \text{式（３）}$$

ここでE_t：十字型断面軸力材の接線係数、E_0：補剛材のヤング係数、I_0：補剛材の断面二次モーメント、I：十字型断面軸力材の断面二次モーメントである。

図８をみてわかるように軸力材のみの実験結果と接線係数E_tを用いた座屈曲線はよく一致している。

なお、今実験の十字型断面軸力材の接線係数E_tは、短柱圧縮実験の結果より求めた。

4.本研究で得られた成果

アルミニウム合金アンボンド柱の座屈耐力、補剛効果を評価するために座屈実験を行い以下の結果を得た。

1）十字型断面軸力材のみの座屈耐力は素材試験から求めた接線係数による座屈曲線とよく一致した。補剛材のついた試験体については、細長比が大きいものは接線係数E_tによる座屈曲線に一致するが、細長比が小さくなるにつれて実験値が座屈曲線を下回ってくる。これは、細長比が大きいものは部材の座屈耐力としての最大耐力時における変形が補剛材の弾性範囲にとどまっているためであり、細長比が小さくなるにつれて弾性範囲内におさまらず、塑性範囲まで達するためであると考えられる。

2）細長比が大きい試験体ほど、座屈耐力の上昇率が高い。これは、細長比が大きいほど座屈補剛効果が高いことを意味する。

3）本実験結果はアンボンド柱の実用性の高さを示し、仕上げ材と一体となったアルミニウム部材の実用化に方向を与えた。

リブ補強柱に関しては以下のことが得られた。

1）有限要素法解析により幅厚比の大きい薄板を含めたアルミニウム短柱のリブを有するモデル、リブを持たないモデル、共に局部座屈耐力を追跡できることを示した。

2）リブを持たないモデルについて、その最大応力度とGeneral Yield法により求めた座屈応力を平板の耐力評価式を用いて近似できることを示した。

3）リブによる補剛効果を考慮した等価幅厚比を求め、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することにより表した。

4）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表した。

5．研究発表の実績

「アルミニウム建築構造設計規準：第４章４．２圧縮材」アルミニウム建築構造協議会、2001年７月

「アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究(その27)端部をカットしたマルチリブを有するアルミニウム部材の局部座屈耐力」日本建築学会大会学術講演梗概集、1999年９月

「アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究(その32)アルミニウム合金十字型断面アンボンド柱の圧縮座屈実験」日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年９月

「アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究(その33)アルミニウム合金十字型断面アンボンド柱の座屈耐力評価」日本建築学会大会学術講演梗概集、2000年９月

「アルミニウム合金を用いた建築構造に関する研究(その61)マルチリブを有するアルミニウム部材の局部座屈耐力」日本建築学会大会学術講演梗概集、2001年９月

6．実用化計画

この結果を受けて実験住宅を建設した。

表1　試験体一覧

断面形状	材質	断面積 A (mm^2)	断面二次モーメント I (mm^4)	断面二次半径 i (mm)	断面係数 Z (mm^3)
軸力材1	A7003S-T5	825.4	141775.6	13.11	4562.1
補剛材(t=2mm)	A6N01S-T5	614.5	448108.9	27.00	12802.7
軸力材2	A7003S-T5	820.3	140089.0	13.07	4520.6
補剛材(t=3mm)	A6N01S-T5	891.4	681457.6	27.65	18943.3

試験体	L (mm)	λ	Py (N)	Pcr (N)
C40-N-1 C40-N-2 E40-N C40-B2 E40-B2	520	40 (39.8)	279553	373730
C70-N C70-B2	920	70 (70.4)		119396
C100-N E100-N C100-B2 E100-B2	1310	100 (100.2)		58887
C100-B3			238529	59433
C150-N C150-B2	1960	150 (150.0)	279553	26306
C150-B3			238529	26550
C200-N-1 C200-N-2 E200-N C200-B2 E200-B2	2650	200 (202.8)	279553	14390
C200-B3			238529	14524

( )内は実測値

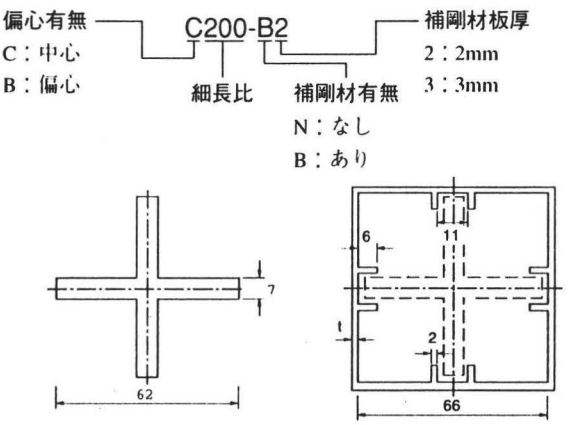


図1　試験体断面図

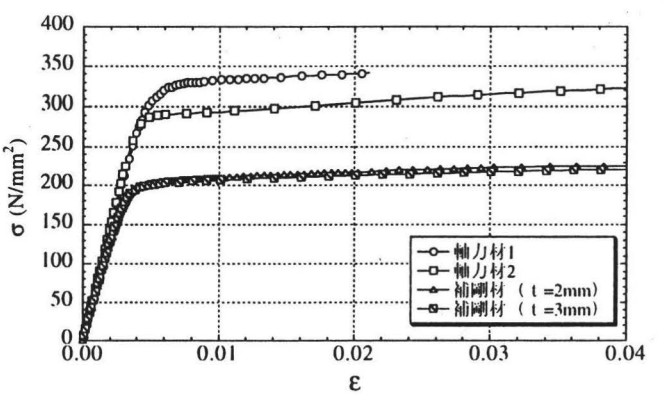


図2　素材の応力－歪関係

表2　素材試験結果による機械的性質

	E (N/mm^2)	ε_y	σ_y (N/mm^2)	σ_u (N/mm^2)
軸力材1	69468	0.00467	324.3	368.2
補剛材(t=2mm)	65054	0.00311	202.0	228.0
軸力材2	73768	0.00394	290.8	332.0
補剛材(t=3mm)	68371	0.00295	201.9	224.6
軸力材／stub	72221	0.00469	338.7	370.8

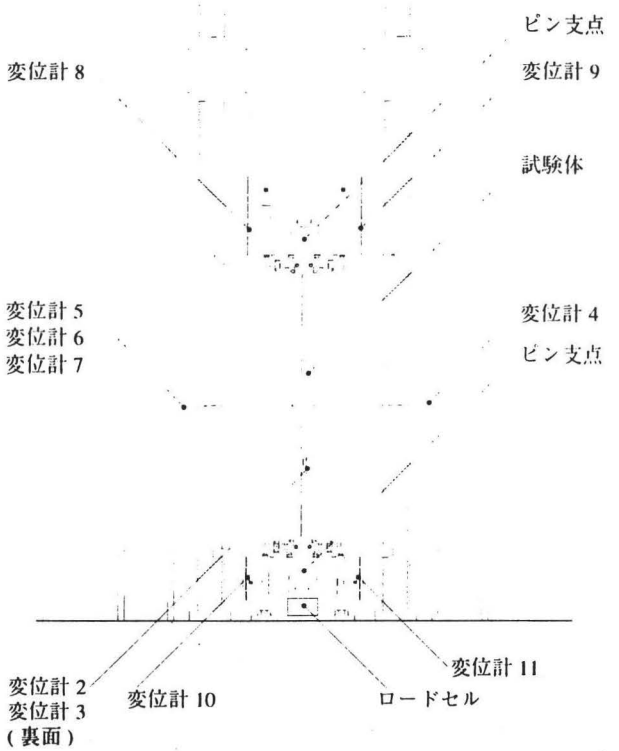


図 4　実験装置概要

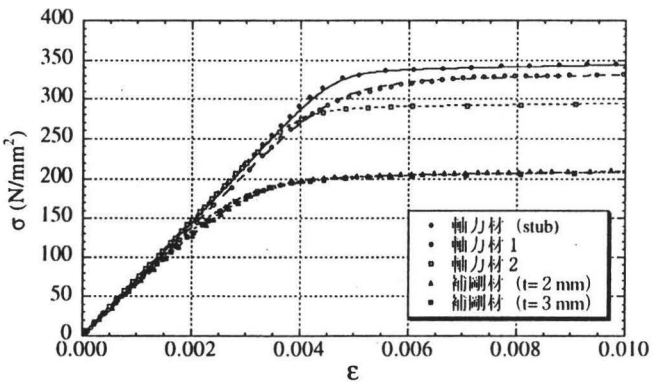


図 3　Menegotto-Pinto model による近似

表 3　Menegotto-Pinto model 諸定数

	E (N/mm²)	E_{sh} (N/mm²)	ε_{sh}	R
軸力材 1	69468	1148.71	0.00468	8.1127
補剛材(t=2mm)	65054	796.62	0.00313	5.3519
軸力材 2	73768	908.39	0.00392	10.6884
補剛材(t=3mm)	68371	592.45	0.00298	5.2023
軸力材／stub	72221	1457.67	0.00466	14.323

１－７ 視覚特性を考慮した階段・段差の見え方評価

奈良女子大学大学院　人間文化研究科
助教授　井上容子

1　本研究の背景と目的

1.1　本研究の目的

住宅内で生じるの事故の代表的なものに階段での事故が挙げられる。視機能および身体機能の衰えた高齢者にとって、階段は特に注意を必要とする個所である。階段は危険な場所であるという認識があり、高齢者は運動機能の低下もあって階段の昇り降りを慎重に行うため、年齢別に見て事故の発生件数が特に高齢者に多いわけではないが（文献29)、階段の昇降のしやすさに対する不満は高齢者に圧倒的に多い。適切な材料を用いて階段やその他の段差の識別を容易にし、より安全に使いやすくすることは快適に生活する上で重要である。

階段の昇降のしやすさに関する要因としては、寸法・勾配や手摺の有無という運動機能と関わりの深い寸法条件の他に、段差の見分け易さなどの視環境条件が昇降のしやすさに大きく関わっていると考えられるが、輝度対比や色対比の効果が系統立てて明らかにされていない。本研究では、見分けやすい段差の物理的条件について検討し、寸法条件と視環境条件との関わりを明らかにする。

また、住宅内では様々な年齢と視機能を有する人が共に生活している。加齢に伴う視機能の低下は多岐にわたるが、必要な明視性はその場で得られる視力に大きく依存している。そこで本研究では視機能の違いによる見え方の違いが実用上必要な範囲内で適切に予測評価できる資料とするために、年齢や個人の視力を実験変数として取り上げる。

1.2　階段の昇降のしやすさに関する既往の研究

階段の昇降のしやすさについては、寸法、勾配、手すりなどの構造的な部分と、明るさ、段の境界の見分けやすさ等の視覚的な部分とがあり、多くの要因が関係する。寸法、勾配については、建築基準法に踏面・蹴上・階段幅の各寸法や勾配の角度について、階段の昇降に適当とされる推奨値が出されている。照度についても、ＪＩＳ照度基準に階段空間の推奨照度が示されている。しかし、これらの値に十分な客観的根拠があるわけではない。このため、今日に至るまで、階段昇降の安全性の観点から、各種要因に関しての様々な研究がなされている。

実験研究における取り扱い変数は、段および段鼻の寸法、形状、材質、手すりという構造的なものと、階段の照明（明るさ、取り付け位置)、段仕上げの模様、目地、明度などの視覚的なもの両者について多岐に渡っている。これらの変数について、多くの研究者によって繰り返し実験が行われている。これは、各変数を系統立てて実験条件に組み込むことに時間的・技術的困難が伴い、必要に応じて実験研究が行われるためと考えられる。検討内容は寸法などの構造に関するもの（文献 20～28）と、照度や目地形状などの視覚に関するもの（文献１～19）に大別されるが、両者の関係に言及した研究はほとんど見られない。更に、色彩に関する系統立てた実験研究

や、視覚特性の実用的視標である視力を実験変数に組み込んだ研究も見あたらない。

一方、階段環境の実態については、事故や昇降に影響する要因に焦点をあてたアンケート調査報告はあるものの(文献29～31)、階段の現状はどうなっているのか、さらに、階段の昇降のしやすさに関わると考えられる要因が、実際に日常生活の中でどのように意識され評価されているのかについて、階段環境の物理条件の実態を踏まえて明らかにした研究は見られない。

1.3 本報告の構成

本報告は、112住戸356人を対象とした調査研究と、被験者による明視性、誘目性、および段昇降に関する評価実験からなる。以下に、次章以下の本報告書の構成を示す。

2．住宅の階段環境の現状把握
　①階段の物理条件の実態把握（実測調査）
　②住宅の階段での事故、昇降の難易に関する居住者の現状評価（アンケート調査）
3．色彩の明視性・誘目性への効果（視認実験）
4．段寸法および身体寸法の段評価への影響（昇降に基づく評価実験）
5．階段昇降における視環境条件と段寸法の関わり（昇降に基づく評価実験）
6．昇降しやすい階段設計に向けての今後の展開
7．参考文献
8．研究発表の実績および予定

2 住宅の階段環境の現状把握に関する調査研究

2.1 調査目的と調査内容

既往の実験および調査研究の結果をふまえ、未だ不明な点を明らかにすることを目的とする。特に、現状の階段の視認に関わる物理的条件の現状とそれに対する居住者の評価を年齢別に把握することを目的としている。調査内容は以下の2点に大きく分類される

①階段の物理条件の実態把握

住宅内の階段の現状を把握するために、階段の物理量や構成要素等を調査した。住宅の属性、階段まわりの平面図、階段計画、照度、照明器具、窓、踏面・蹴上・蹴込・階段幅寸法、階段空間に使用されている色や素材、手摺の有無等について調査した。

②住宅の階段での事故、昇降の難易に関する居住者の現状評価

上記調査住宅に住む居住者個人別に階段の「昇降のしやすさ」に関する意識を回答させた。階段に対する意識としては、視覚的要因である明るさ・色・素材に関するものを中心に取り上げた。

2.2 調査住宅、居住者属性の概要

屋内に階段がある住宅112戸、365人を対象としている。所在地は近畿地方43%、中部23%、関東・北陸13%、中国・四国・九州21%である。

住宅の平均延べ床面積は148.2㎡、居住年数は20年以上が約40%である。「住宅内に階段がある」という条件のもとでの調査のため、99%が一戸建てであり、また91%が持家である。

回答者365名のうち男性131名（36%）、女性234名（64%）である。年齢構成は「20歳未満」11.8%、「20～25歳」27.4%、「40～50歳」22.1%、「50～60歳」22.7%、「60歳以上」10.1%であ

る。世帯主および配偶者の平均年齢はそれぞれ 54.5 歳、50.1 歳で、子の平均年齢は 21.3 歳である。家族人数は平均 3.7 人で、4 人家族が最も多い。

2.3 結果および考察

2.3.1 昇降のし易さに関連する要因に関する居住者の意識

図 1 に、階段の昇降のし易さに関連する要因として挙げた各項目の選択度数を示す。物理環境としては寸法・勾配、手摺、明るさの順に選択した人が多い。また、段の境目の見分け易さに関連する要因を尋ねたところ、明るさに次いで色や素材、段鼻加工が挙げられている。

2.3.2 階段の物理条件の現状と居住者の評価

階段の昇降のし易さに関連する要因としての認識度が高い（図 1）、寸法、手摺、段鼻、素材、色、明るさについて、物理条件の現状とそれに対する居住者の評価を年齢別に検討して得た知見を以下に紹介する。

(1) 段寸法

「寸法・勾配」は建築基準法でも数値が決められている重要な部分であり、居住者の寸法・勾配に対する意識も図 1 に示すように高い。

図 2 に、112 戸の住宅屋内に設けられている階段寸法の測定結果を示す。円の大きさが度数に対応している。図中の網部が住宅内の階段として定められている寸法の範囲である。寸法的に建築基準法を満たしているものは全体の 97%以上である。しかし、建築基準法を満たしているにも関わらず、寸法・勾配に対する居住者の不満は多く、昇りにくいという申告が 13%、降りにくいが 17%ある。

図 3 に、昇り降りがしにくいと申告した割合を階段の勾配別に示す。勾配が大きくなり基準法の制定値に近づくと昇降に関する不満が多くなる。最低基準ともいえる建築基準法の値をかろうじて満たすのでは、昇降のしやすさは得られないといえる。尚、後述の実験結果より（4.3、5.5）、踏面 20cm 以下の階段は昇降しにくい階段であるといえるが、これが調査対象住戸の 20%以上を占めている。

また、踊り場の設置は、転落などに際して安全性の面で有効であるが、踊り場が設置されている階段はごく少数であった。住宅の延べ床面積の小さい場合は、少しでも部屋面積を確保しようとして階段などの通路面積は節約される傾向が強い。

(2) 手摺

「手摺」は年齢に関わらず重要な要素の一つとしてあげられているが、若齢者よりも高齢者にとって最も重要な要素の一つとなっている。手摺の設置割合は 57%であり、居住後に設置される場合が多い。高齢者の手摺の使用頻度は高く、約 90%が使用すると回答している。また、壁などを手摺の代わりに使用している場合も多く、これを合わせてると手摺の役割を果たすものが設置されている割合は 70%以上である。

(3) 段鼻

「段鼻加工」は、高齢者にとって段の境目の視覚的・触覚的認識や、滑り止めとして最も重要な要素の一つとなっている。しかし、段鼻加工がされている住宅は全体の 20%と低い。段鼻加工は建築時に設置されるのではなく、手摺と同じく、居住後に必要に応じて設置される場合が多い。

(4) 素材

「素材」は、木材の割合が最も高い。素材は段の境目の認識や段の高さの認識に関連する要因として十分に意識されているが、一般的な木材の使用では、段の認識に関して十分な配慮がされているとはいえない。しかし、安全性を考え、段鼻加工が施されているケースは上述のように低い。

(5) 色彩

「色彩」に関しては、素材として木材が多いため、YR 系での分布が多い。居住者は踏面・段鼻・壁の色を段の境目や段の高さの認識に関わる物理的要因として十分に認識しているが、それを現状に生かすことはほとんどされていない。踏面と段鼻に色差なしという階段条件の中では、約 4 割が「段の境目の認識がしにくい」と回答している。

(6) 明るさ

「明るさ」については、昼間の照度は比較的高く十分に照度が得られている住宅が多い。しかし、夜間の照度に関しては、ＪＩＳ照度基準を満たしている住宅は、かろうじて半数である。申請者の先行研究（文献 32）においても、夜間の明るさが足りない場所の一つとして階段があげられており、今回の調査によっても夜間の照度不足が確認される。

踏面の照度分布については、昼光照度は、窓の数や窓材料の影響により、上段部分で照度が高い場合が多い。階段では踏面の照度が均一である方が好ましく、照度分布を考慮した採光計画が必要である。照明器具は、階段部分と上階通路部分での設置の割合が高く、従って夜間についても階段の上部分の踏面照度が高く、下部分は低いという傾向がある。照明器具も窓と同様、照度が均一であるように配慮して計画する必要がある。

高齢者は若齢者に較べて視機能が低下しているため、明るさをより必要とする。そのため、階段昇降時の照明器具の点灯率が若齢者に較べて高い。このため、ある程度の明るさが得られることから、高齢者の明るさに関する不満の申告は比較的少ない。

2.3.3 小括

本調査により、住宅内の階段の物理的環境と、階段の昇降のし易さに関連する要因についての居住者の意識を明らかにすることができた。その結果、住宅内の階段は寸法的、視覚的面において問題があり、少なからぬ改善の余地があることが明確になった。

尚、総合評価としての階段の昇降のしやすさに関する評価では不満側の申告率は 20～30％を占めている。また、住宅内の階段であるために慣れの影響があるにも関わらず、階段事故の経験者は 36％と多く、これが階段昇降に関する諸要因に対する不満の申告率の高さに反映されていると考えられる。

また、階段の使用頻度は個人用の部屋の位置による影響が大きく、部屋が上階に位置する場合に階段の使用頻度は多く、部屋が下階に位置する場合での平均はほぼ 0 回/日であった。部屋の位置は年齢と関係があり、高齢になるほど部屋の位置は下階が多く、階段の使用頻度も低くなっている。しかし、高齢者のみの世帯が増加していく現状を考えると、高齢者の自立を支援するためには、寸法、手摺、段鼻、素材、色彩、明るさに配慮した安全性の高い階段計画が求められる。

3　色彩の明視性・誘目性への効果

3.1　実験の目的

ものの見えは、視対象物の条件、照明などの環境条件、見る者の視覚特性（例えば視力）が総合されて判断される。これまでに、無彩色視対象の場合について、背景輝度や視距離という環境条件、および視対象の大きさや輝度対比という視対象条件が見え方に如何に影響しているかを明らかにし、年齢や視力による個人差が大きいことを示している。その上で、各条件下での視認能力を個人の最大視力に対する比でとらえることによって、個人差の合理的取り扱いができることを確認している（文献33～35）。

そこで、本実験は、視力と年齢を実験変数に組み込んだ上で、視対象の明度、彩度、色相という色の三属性の明視性ならびに誘目性への影響を明らかにし、階段の見え方の検討に必要な基礎的知見を得ようとしたものである。

3.2　実験概要

実験は、有彩色ランドルト環視力表による細部識別閾の測定と、有彩色文書視標に対する誘目性に関する主観評価である。背景はランドルト環、文書、共に白（明度 L*＝85）である。視標の色条件は、L*a*b*表色系を用いて、色相、彩度、明度、色差を段階的に変化させている。視力表および文書視標の背景輝度は 7.1、71、710［cd/㎡］　の3段階に変化させている。視標面照度で表すと 30、300、3000［lx］である。なお、有彩色の結果との比較検討のために、無彩色の場合についても実験を行っている。

被験者を表1に示す。被験者には、目に疾病が無く、各人日常生活の中で不便を感じないように適切に矯正を行っている者を採用した。若齢者、高齢者、各3名の計6名である。各被験者各条件を3回ずつ被験している。

3.3　結果および考察

被験者の視力や年齢によって、各条件下で得られる細部識別閾や誘目性は異なるが、各人の最大視力を基準として結果を検討したところ、年齢や視力に関わらず定性的には同様の傾向が認められる。このため、本報告では4名の平均値を用いて結果を示すこととする。

図4に、有彩色ランドルト環（背景は白）による細部識別閾の測定結果を示す。色相、明度、彩度それぞれの細部識別閾への影響を示している。尚、図では、細部識別閾を切れ目方向が確認できる最小ランドルト環の切れ目巾（分）で表している。図にみるように、輝度対比が0.56～0.73とある程度確保されている場合には、色相や彩度の細部識別閾への影響はほとんどないと言える。明度については、ランドルト環の明度が小さくなると背景との輝度対比が大きくなる。この場合、無彩色では、識別できる切れ目の大きさが小さくなり視対象の明視性が向上していく。本実験では、輝度対比の変化範囲が0.39～0.73と狭く、背景輝度も 7.1　［cd/㎡］以上と比較的高いため、明度の影響は明瞭ではないものの、無彩色視対象の場合と同様の傾向が、有彩色の場合にも確認される。（文献36、38）

図5に、有彩色文書視標（背景は白）の誘目性の評価結果を示す。細部識別閾では僅かであった明度の影響が誘目性には明瞭に見られ、文字の明度が低くなると背景との輝度対比が大きくなるという視対象の明視性の向上とともに、誘目性も高くなる事が分かる。また、細部識別閾の場合には影響のみられなかった色相や彩度の誘目性への影響がみられ、彩度が高くなるほど誘目性

も高くなることが分かる。(文献37、39)

更に、背景との明度差が等しい（＝輝度対比が等しい）無彩色と有彩色の視標では有彩色の方が色差が大きい。この場合、両視標による結果を比較すると、細部識別閾は等しいが、誘目性は有彩色視標で高くなる。背景との色差が等しい場合は、無彩色の方が輝度対比が大きい。この場合は、細部識別閾、誘目性ともに両視標による結果は異なり、細部識別閾は無彩色の方が小さく、誘目性も無彩色の方が高い。また、視対象の輝度対比が比較的保証されている条件の下では、色差が一定の場合、明度の影響が彩度や色相の影響に比べて大きいといえる。(文献40)

3.4 小括

輝度対比を一定にした場合、明視性を左右する細部識別閾値に対する色相や彩度の顕著な影響は確認されなかった。しかし、誘目性などの作業者心理については色相や彩度の影響が確認された。明度は細部識別閾、誘目性の両者に影響する。

従って、階段の段差認識における明視性は、各面間の輝度対比を確保することが第一条件であり、色は明視性が確保されている場合に有効であると考えられる。また、色の誘目性が確認できたことより、注意を促すために色を用いることは効果的であると考えられるが、この場合の色の使用を明視性の確保と混同しないことが計画上の留意点となる。

尚、色彩の影響は被験者の視力に関わらず同様の傾向が認められるため、視対象の大きさや輝度対比の効果と同様に、彩度や色相の効果を個人の最大視力に対して相対的にみることで個人差を合理的に取り扱えると考えられるが、この点に関しては今後、更なる検討が必要である。

4 段寸法および身体寸法の段評価への影響

4.1 実験目的

視環境条件と段寸法との昇降評価への関わりを検討するに先立ち、蹴上・踏面寸法の違いが昇降評価に及ぼす影響、および個人の身体寸法が昇降時の段寸法の評価に及ぼす影響をあらかじめ把握することを目的としている。

4.2 実験条件

実験は3段からなる階段を昇降させた上で段寸法や昇降のし易さに関する評価を行う。段寸法は6種類である。実験室内の照度分布はほぼ均一であり、踏面照度（下から2段目の照度）は3.0、30［lx］の2条件である。被験者は若齢者女性8名、高齢者18名（男性、女性各9名）の合計26名である。

4.3 段寸法と昇降のしやすさ

図6に、昇り易さと段寸法の関係を、若齢者（女性8名)、踏面照度は30[lx]の場合について示す。段の昇り易さは、「昇りやすい」「やや昇りやすい」「普通」「やや昇りにくい」「昇りにくい」の5段階で評価している。図中のプロット（■）は検討に用いた段寸法を示している。図中の数値は昇りにくい側の評価をした人の割合（%）であり、数値が大きいほど昇りにくい階段と評価されたことになる。

図より、蹴上寸法が大きく、踏面寸法が小さい程、昇降しにくい傾向があるが、踏面寸法が20cm以下と小さくなると蹴上寸法に関わらず昇りにくさが決まる傾向がある。なお、高齢者の結果や、照度3.0[lx]の場合についても同様の傾向が認められている。(文献41、42)

4.4 足長と踏面寸法評価

図7に、踏面寸法の評価を足長群別に、踏面照度 30[lx]の場合について示す。全段寸法における昇りと降りの評価を合わせた結果であり、高齢者女性の場合と全被験者の場合について示している。踏面寸法の評価は、「問題あり、やや問題あり、問題なし」の三段階で行い、図の数値は各評価の申告数である。

図7は、足長が長いほど踏み面寸法に問題を感じる割合が増えることを示している。身長は年齢や属性と相関があり、足長と身長とには高い相関があるため、足長は年齢群や性別で分布が異なる。そのため各属性について検討したところ、全ての属性について、図7に示すように足長が長いほど踏面寸法に問題を感じる割合が増えることが確認されている。従って、階段や段差の昇降に関する検討は、被験者の身体寸法が昇降評価に影響を及ぼすことに留意して行う必要がある。

5 階段昇降における視環境条件と段寸法の関わり（文献 41、42）

5.1 実験の目的

昇降のしやすさには視環境と段寸法の双方が影響するが、これまで段差や階段についてなされてきた数多くの研究のほとんどが視環境条件（文献 1～19)、あるいは段寸法（文献 20～28)のいずれか一方について検討するにとどまり、双方の相互関係については検討されていない。

そこで本研究では、数段からなる段を実際に昇降させた上での評価実験の結果を基に、視環境条件と段寸法が昇降のしやすさに及ぼす影響について検討を行う。また、視認能力（個人の最大視力）や身体寸法（身長や足長）という個人の属性の影響についても検討を行う。

5.2 実験概要

5.2.1 実験条件

表2に実験に用いた段の条件を示す。実験の物理的変数には段寸法と視環境条件の双方を組み合わせており、全22条件である。段寸法は先行実験（4.3節、図6）の結果を参考にして決定し、蹴上げ寸法/踏面寸法=22/18、22/22、18/18（単位は cm)、および、昇降しやすく公共空間においてよく使用されている 18/30 の4条件について検討を行うこととした。床から最上段までの高さは約 90cm(4～5段)、横幅は 90cm とした。視環境条件としては、段鼻の色と踏面との輝度対比、踏面照度（下から2段目の照度）を変化させた。段鼻の幅は 3cm である。評価回数は基本的には各被験者各条件1回であるが、※印の条件は再現性の確認のため3回評価している。

5.2.2 被験者

被験者は、身体や目に疾患がない若齢者3名と高齢者4名である。若齢者は、平均年齢 22 歳、平均視力 1.4、平均身長 150cm であり、高齢者は平均年齢 73、平均視力 0.85、平均身長 150cm である。被験者の年齢と最大視力、および身長と足長の関係を図8に示す。年齢と視力には負の相関が認められ、身長と足長には正の相関が認められる。

5.2.3 評価項目

評価項目を表3に示す。表2に示す 22 条件全てにおいて、昇り、降り各々について、各項目の評価を行う。評価は、①量的評価、②質的評価、③総合的評価に大きく3分類される。

①量的評価とは視環境条件および段寸法の物理量そのものの大小に関する評価である。

②質的評価とは視環境条件および段寸法の物理量の良否についての評価である。

③総合的評価とは昇降のしやすさ、昇降時の怖さ、昇降を併せての点数評価である。

尚、点数評価は、各条件評価の最後に昇りと降りを合わせて10点満点で行う。

5.2.4 実験手順

被験者は実験室に入室後、室内の明るさに順応し、昇降を2回行う。その後、まず昇る時について評価を行う。次いで、降りる時について、同様の手順で評価を行う。各条件の最後に昇りと降りを合わせて10点満点で評価を行う。なお、昇降は一定速度（1歩/秒）で行う。

5.3 昇降評価と個人の属性の関係

階段の昇降に関連する主観評価に、身体寸法、年齢、視力といった個人の属性が影響することは当然予測される。各種視対象の明視性評価が年齢や視力によって大きく異なることは周知のことであり、著者らの先行研究においても確認されている（文献35)。身体寸法の評価への影響については被験者26名による先行実験で予め確認している（4.4)。

ここでは、被験者7名の結果を基に、被験者の各属性の評価への影響の度合いについて検討を行う。更に、段寸法や視環境条件という物理条件の影響との関係についても検討している。

まず、各属性と相関のある条件の割合を検討する。

図9は個人の5m視力と踏面の見やすさ評価の関係を示したものである。(1)視力が高いほど見やすさ評価が向上するといった当然の傾向を示す結果（属性の影響あり）ばかりではなく、(2)視力が変化しても評価が変化しない結果（属性の影響なし）や、あるいは逆に、(3)視力が高くなると評価が低下するという矛盾する結果（矛盾する結果）がある。

図10は個人の身長と蹴上寸法の高低評価の関係を示したものである。視力の場合と同様、(1)身長が高いほど蹴上が低いと評価する結果（属性の影響あり）もあれば、(2)相関が見られなかったり（属性の影響なし)、逆に(3) 身長が高いほど蹴上が高いと評価する結果（矛盾する結果）も見られる。

そこで、22の階段条件における昇りと降りの全44条件に対して、昇降評価に対して個人の属性の影響があるか否かを検討し、その割合を示したものが図11である。

視環境評価に対して視力が影響した結果は3～5割であり、視力の影響が見られないものが3～5割ではあるが、矛盾する結果の割合は2割に満たない。被験者7名の視力の違いが段の見やすさ評価に影響していといえる。

寸法評価に対して身長および足長が影響した結果は、昇降しやすさを除くといずれも3割以下であり、属性の影響がない場合が5割以上を占めている。これは、被験者の身体寸法に大きな差が無いためと考えられる。但し、昇降しやすさには、6割の条件に身長との相関がみられる。

以上のように、被験者の視力や身体寸法が評価に影響している。しかし、各評価に対して、寸法条件・視環境条件・個人の属性を説明変数として重回帰分析を行ったところ、大半の評価において個人の属性は説明変数から除去される。即ち、今回の視力や身長の変化範囲では、その違いの昇降評価への影響は大きくなく、寸法条件や視環境条件の違いによる影響の方が大きく現れているといえる。

また、各物理条件の変化に対する各被験者の傾向は、定性的には同様であることが確認されたため、以下、各物理条件の影響を示すに際しては、7名全員の結果を合わせて示す。

5.4 視環境条件が評価に及ぼす影響

図 12、図 13 に輝度対比および照度に関する評価結果を示す。軸は各評価の申告率を示しており、表 3 に網掛けで示した設計上最低限保証すべきカテゴリーに該当する申告の割合を示している。総合点については 8 点以上の申告率を示している。図より、段の見えに関する①量的評価および②質的評価は輝度対比や照度が大きいほど申告率が高くなることが分かる。一方、昇降のしやすさのような③総合的評価は、輝度対比や照度との明確な対応は見られない。

図 14 に、明度および彩度を揃えた場合の段鼻の色相の影響を示す。①量的評価には色による違いは見られないが、②質的評価や③総合的評価では無彩色より有彩色の方が申告率が若干高く、色の影響が伺われ、3 章に述べた基礎的知見の成立が確認されたと言える。しかし、輝度対比や踏面照度と比較すると、色彩が昇降評価に及ぼす影響は小さいといえる。

5.5 段寸法が評価に及ぼす影響

図 15～図 17 に、段寸法の影響について、視環境条件の場合と同様に、各評価の申告率を示す。

図 15 は踏面寸法の影響を示したものである。踏面寸法が 18cm の時は保証すべき評価範囲の申告率が非常に低いが、30cm に広がると申告率の増加も著しく、踏面寸法は、①量的評価、②質的、③総合的評価の全てに対して大きく影響している。

図 16 に蹴上げ寸法の影響を踏面 18cm の場合について示す。①から③のいずれの評価においても蹴上げが低い方が申告率が高くなっているが、図 15 に示した踏面寸法の場合に比べて申告率の変化は小さい。これは、両者の寸法変化量の違いもあるが、踏面 18cm という条件が圧倒的に評価に影響している為であると考えられる（4.3 節、図 6 参照）。

図 17 に勾配の影響を示す。①から③のいずれの評価においても勾配が小さいほど申告率が大きくなる傾向が見られており、踏面や蹴上げ寸法同様に昇降評価への影響は大きい。

5.6 昇りと降りの評価の比較

本実験では昇りと降りそれぞれについて昇降しやすさを尋ねている。一般に高齢者にとっては昇りよりも降りの場合に問題が発生すると言われている。しかし、本実験では高齢者よりも若齢者の方が条件による評価の違いが明瞭であり、昇りと降りの評価の違いも若齢者の方に明瞭に認められた。

図 18 は昇りやすさと降りやすさの評価を比較したものである。寸法的に昇降しやすい条件（蹴上 18cm、踏面 30cm）では、昇りと降りの評価はほぼ等しいが、昇降しにくい条件（蹴上 22cm、踏面 18cm）では降りる時の方が評価が低くなる傾向がある。

6 昇降しやすい階段設計に向けての今後の展開

以上の結果より、視環境条件と段寸法の昇降評価に及ぼす影響を概念的に描くと図 19（文献 42）のようになると考えられる。この図を、まず、平均的な身長や視力を持つ標準的な人に対して作成し、更に、身長や視力などの個人の属性の影響を検討条件に加えることができるようにするために、今後、定量的な検討が必要である。

本報告での実験の実施範囲は、図中の網部に該当し、段寸法に比べ、視環境条件は昇降のしやすさへの影響が小さい。明視性がより低い視環境条件では、段寸法と同様に視環境条件が昇降評価に大きく関わる可能性があり、この点についての検討が必要である。

また、今回は踏面の照度に十分順応した状態での実験であるが、実際には順応過渡の状態で昇降を行うことが多い。同じ視環境条件でも定常に順応している場合に較べ、順応過渡状態では被験者の視認能力が低下し、明視性が低くなっていると考えられ、この順応の問題についての検討が必要である。

更に、本報告では段数4～5段についての実験のみであるため、階段計画のためには、より段数が多い場合についても検討が必要となる。

7 参考文献

1）天神、布田、直井：照明器具の位置が階段の見やすさに及ぼす影響について、日本建築学会大会学術講演梗概集、5344、687-688、1990.10

2）布田、天神、直井：階段における段仕上げの目地パターンと段鼻の形状が段板の見やすさに及ぼす影響について、日本建築学会大会学術講演梗概集、5345、689-690、1990.10

3）小林、布田、直井：階段における段仕上げ柄パターンが各段の見やすさに及ぼす影響について、日本建築学会大会学術講演梗概集、5341、681-682、1991.9

4）布田、直井：階段における段表面の明度及び照度が各段の見やすさに及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、5342、683-684、1991.9

5）布田、岩井、直井：事故防止の観点より見た階段各段の見やすさに関する実験研究－各種視覚的要因の影響程度の比較－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5459、917-918、1992.8

6）布田、直井：視認性に影響を及ぼす各種要因に関する実験、事故防止の観点より見た各種階段視認性に関する研究（1）、日本建築学会計画系論文報告集、第450号、75-82、1993.8

7）中村、布田、岩井、直井：事故防止の観点より見た階段各段の見やすさに関する実験研究（2）－階段を昇る人にとっての見やすさについて－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5483、965-966、1993.9

8）布田、岩井、直井：事故防止の観点より見た階段各段の見やすさに関する実験研究（3）－実験結果を現実の階段の評価に適用する方法について－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5484、967-968、1993.9

9）島、布、岩井、直井、：事故防止の観点より見た階段各段の見やすさに関する実験研究（4）－段鼻部分の視覚的要因が見やすさに及ぼす影響－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5498、995-996、1994.9

10）布田、島、岩井、直井：事故防止の観点より見た階段各段の見やすさに関する実験研究（5）－現実の階段の調査および実験結果を適用したその評価－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5499、997-998、1994.9

11）布田、直井：各種視覚的要因の影響程度の比較、事故防止の観点より見た各種階段視認性に関する研究（2）、日本建築学会計画系論文報告集、第467号、121-126、1995.1

12）近藤、布田、岩井、直井：事故防止の観点よりみた階段各段の見やすさに関する実験研究（6）－ノンスリップ相当部分を含む異種の視覚的要因の影響の程度の比較－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5352、703-704、1995.8

13）布田、近藤、岩井、直井：事故防止の観点より見た階段各段の見やすさに関する実験研究（7）－ノンスリップ相当部分の視覚的影響を組み込む評価手法の改善－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5353、705-706、1995.8

14）近藤、布田、岩井、直井：事故防止の観点より見た階段各段の見やすさに関する実験研究（8）－提案した評価法と現実の階段の視認性との対応関係について－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5386、771-772、

15）延原、宮野、土井：段差の視認性に関する検討－照度調整下での実験－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5458、

1992

16）延原、宮野、土井、横田：段差の視認性に関する研究－アイカメラを用いた実験－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5482、1993

17）延原、宮野、土井、中根、横田：段差の視認性に関する研究－床の模様による視線誘導－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5497、1994

18）延原、宮野、土井、立入：段差の視認性に関する研究－歩行時の眼球運動－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5387、1996

19）松島、斉藤、斉藤：住宅の階段の照明条件、松下電工技報、No.55、19-23、1996.6

20）宇野・古瀬：住宅階段利用時のエネルギー負荷に関する検討、日本建築学会論文報告集、第345号、115-120、1984.11

21）古瀬、遠藤、宇野：安全性より見た階段の踏面・蹴上の最低寸法について－階段利用時の安全性確保に関する研究－、日本建築学会計画系論文報告集、第356号、24-29、1985.10

22）庄野、後藤、古瀬：高齢化社会に対応した住宅用階段滑り止めの機能要件に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、5403、1989

23）庄野、後藤、小西、古瀬：高齢化社会に対応した住宅用階段の滑り止めの機能要件に関する実験（その2）－階段滑り止めに対する心理的評価－、日本建築学会大会学術講演梗概集、5346、1990

24）永田：階段からの転落要因に関する基礎的な考察、階段の安全性から見た踏面・蹴上寸法の評価に関する研究　その1、日本建築学会計画系論文報告集、第439号、73-80、1992.9

25）永田：視覚に基づく踏面・蹴上寸法の検討　階段の安全性から見た踏面・蹴上寸法の評価に関する研究　その2、日本建築学会計画系論文報告集、第444号61-66、1993.2

26）永田：主観評価に基づく踏面・蹴上寸法の検討、階段の安全性から見た踏面・蹴上寸法の評価に関する研究　その3、日本建築学会計画系論文報告集、第456号、145-152、1994.2

27）高橋、川村、直井：階段の最適な蹴上・踏面寸法の関係式と昇降動作形態との対応に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、5373、745-746、1998.9

28）横井、小木、高橋、横山：昇降動作時の力学量、主観評価を用いた階段寸法評価の試み、日本建築学会大会学術講演梗概集、5362、723-724、1999.9

29）高橋、林玉、徳田：転倒事故に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、5357、1986

30）山本、甲賀：住宅における転落防止に関する研究（幼稚園児を持つ家庭を対象にしたアンケート、実測、ヒアリング調査）、日本建築学会大会学術講演梗概集、5397、1989

31）大嶋、宇野：使用者から見た安全な階段に関する研究、日本建築学会計画系論文報告集、第521号、159-165、1999.7

32）井上、大野：室内照度ならびに居住者の明るさに対する満足度、住宅内の照明環境に関する実態調査（その1）、日本建築学会計画系論文報告集、第507号、1-5、1998.5

33）井上、秋月、和田、田中：文書の読み易さと作業面の明るさに関する研究（その3）視距離の変動が視力並びに主観評価に及ぼす影響、照明学会全国大会講演論文集、182、1999.7

34）秋月、井上：視力および読み易さ・明るさ感評価に対する視距離の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学D1、417-418、1999.9

35）Inoue Y., Akizuki Y：The Optimal Illuminance for Reading, Effects of Age and Visual Acuity on Legibility and Brightness, Journal of Light & Visual Environment,23-33, Vol.22 No.1, 1998

8　研究発表の実績（36～39）および予定（40～42）

36）井上、秋月：明視性に対する色の影響（その 1）細部識別閾に関する定性的検討、照明学会全国大会講演論文集、p.215、2001.9

37）秋月、井上：明視性に対する色の影響（その 2）明視性評価を含む主観評価に関する定性的検討、照明学会全国大会講演論文集、p。216、2001.9

38）秋月、筒井、井上：視環境評価法に対する視標としての個人の最大視力の導入（その 2）色の三属性の細部識別閾への影響、電気関係学会関西支部連合大会講演論文集、G16-4、G343、2001.11

39）筒井、秋月、井上：視環境評価法に対する視標としての個人の最大視力の導入（その 3）色の三属性の明視性評価を含む主観評価への影響、電気関係学会関西支部連合大会講演論文集、G16-5、G344、2001.11

40）筒井、秋月、井上：明視性に対する色の影響（その 3）色差による検討、照明学会全国大会講演論文集、、2002.8

41）西村、秋月、井上：階段昇降における視環境条件と階段寸法との関わりについての研究（その 1）踏面と段鼻の輝度対比と階段寸法についての定性的検討、日本家政学会大会、2002.6

42）西村、秋月、井上：段昇降における視環境条件と段寸法の関わりについての検討、日本建築学会大会講演梗概集、2002.8

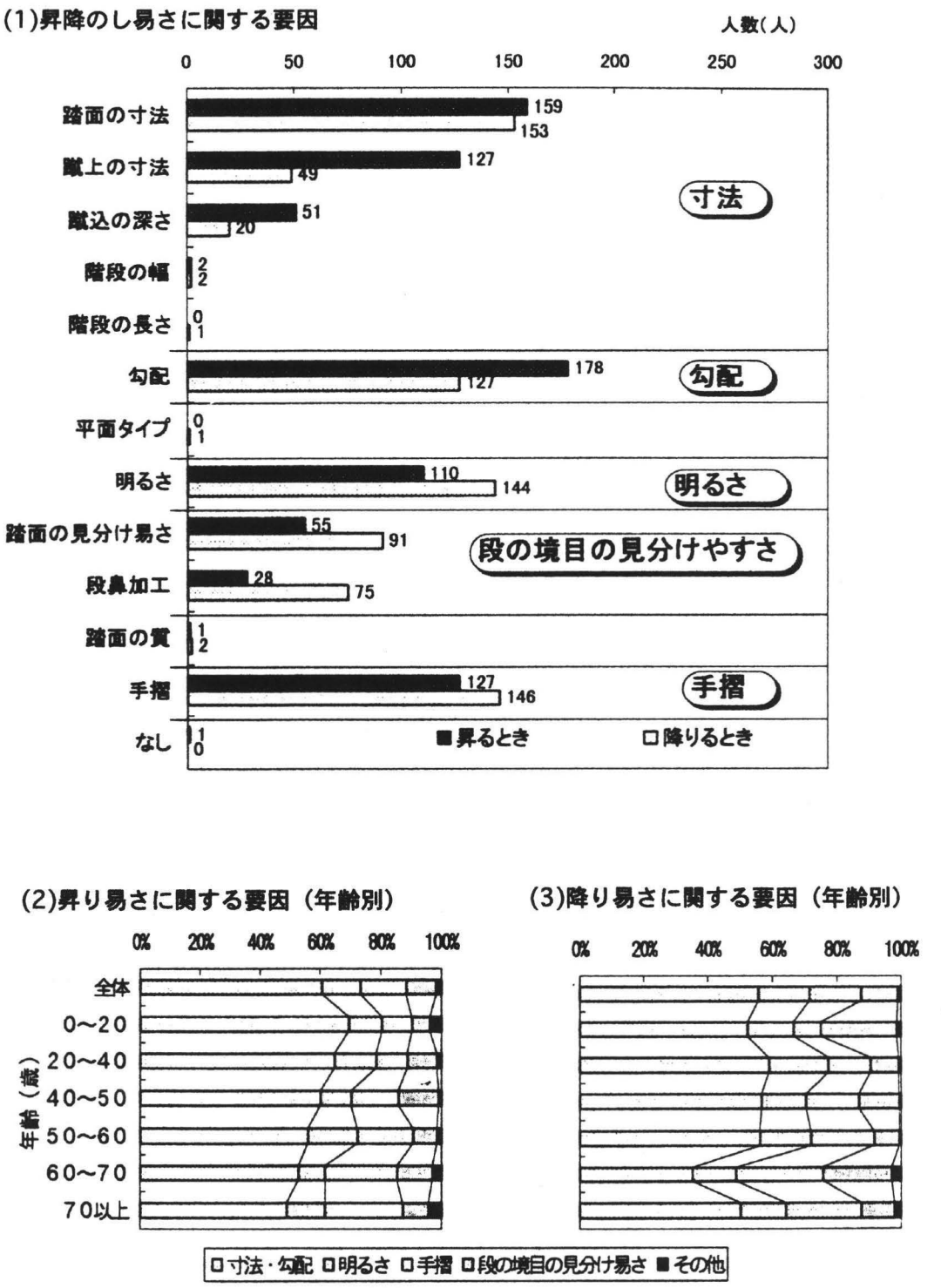


図1　昇降のし易さに関する要因（回答者365名）

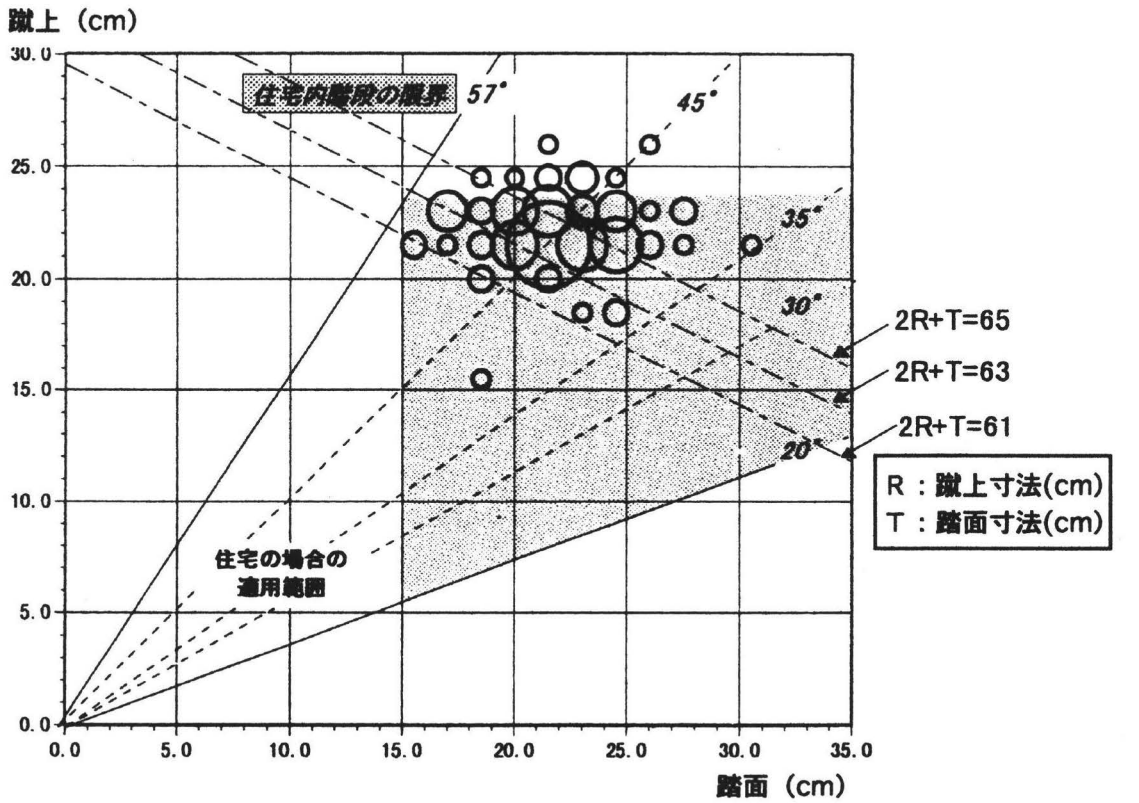


図２　住宅内の階段寸法の実態（112戸）

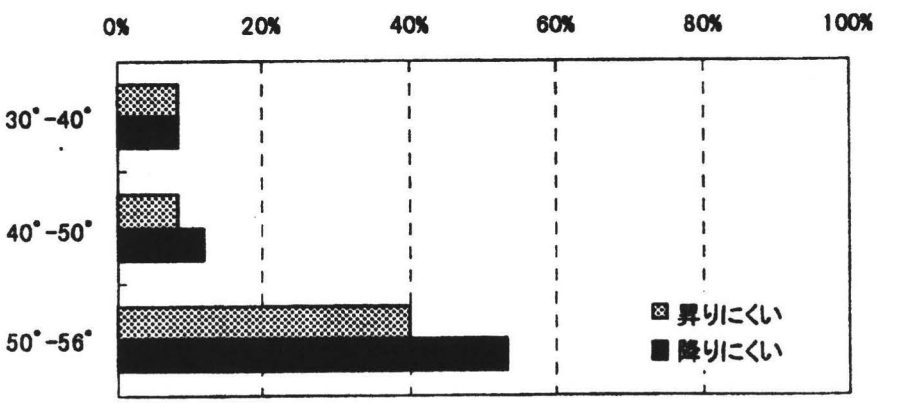


図３　階段勾配と昇降のしにくさ（112戸）

表３　評価項目

（網部は検討に用いた申告率の算出カテゴリー）

	①量的評価			②質的評価	③総合的評価
視環境条件	段境界の見分けやすさ	踏面の見やすさ	空間の見やすさ	段のみやすさの良否	昇降のしやすさ
	非常に見分けやすい	非常に見やすい	非常に見やすい	非常に良い	非常に昇り/降りやすい
	見分けやすい	見やすい	見やすい	良い	昇り/降りやすい
	普通に見分けられる	普通に見える	普通に見える	容認できる	容認できる
	多少見分けにくい	多少見にくい	多少見にくい	多少悪い	昇り/降りにくい
	やっと見分けられる	やっと見える	やっと見える	悪い	非常に昇り/降りにくい
	見分けられない	見えない	見えない	非常に悪い	
段寸法	踏面寸法	蹴上寸法	勾配	階段の形状の良否	昇降の際の怖さ
	非常に広い	非常に高い	非常に急	非常に良い	怖くない
	広い	高い	急	良い	あまり怖くない
	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない	容認できる	多少怖い
	狭い	低い	緩やか	多少悪い	怖い
	非常に狭い	非常に低い	非常に緩やか	悪い	非常に怖い
				非常に悪い	（昇りと降り合わせた）総合点
					１～10点（整数値）

表1　被験者

年齢層		年齢（才）	近点視力	5m視力	近点距離（cm）
若齢者	A	21	1.6	1.5	16.6
	B	30	1.8	1.5	32.9
	C	21	1.8	1.6	8.5
高齢者	D	76	1.0	1.0	38.5
	E	79	1.5	1.3	45.3
	F	71	1.0	1.5	39.4

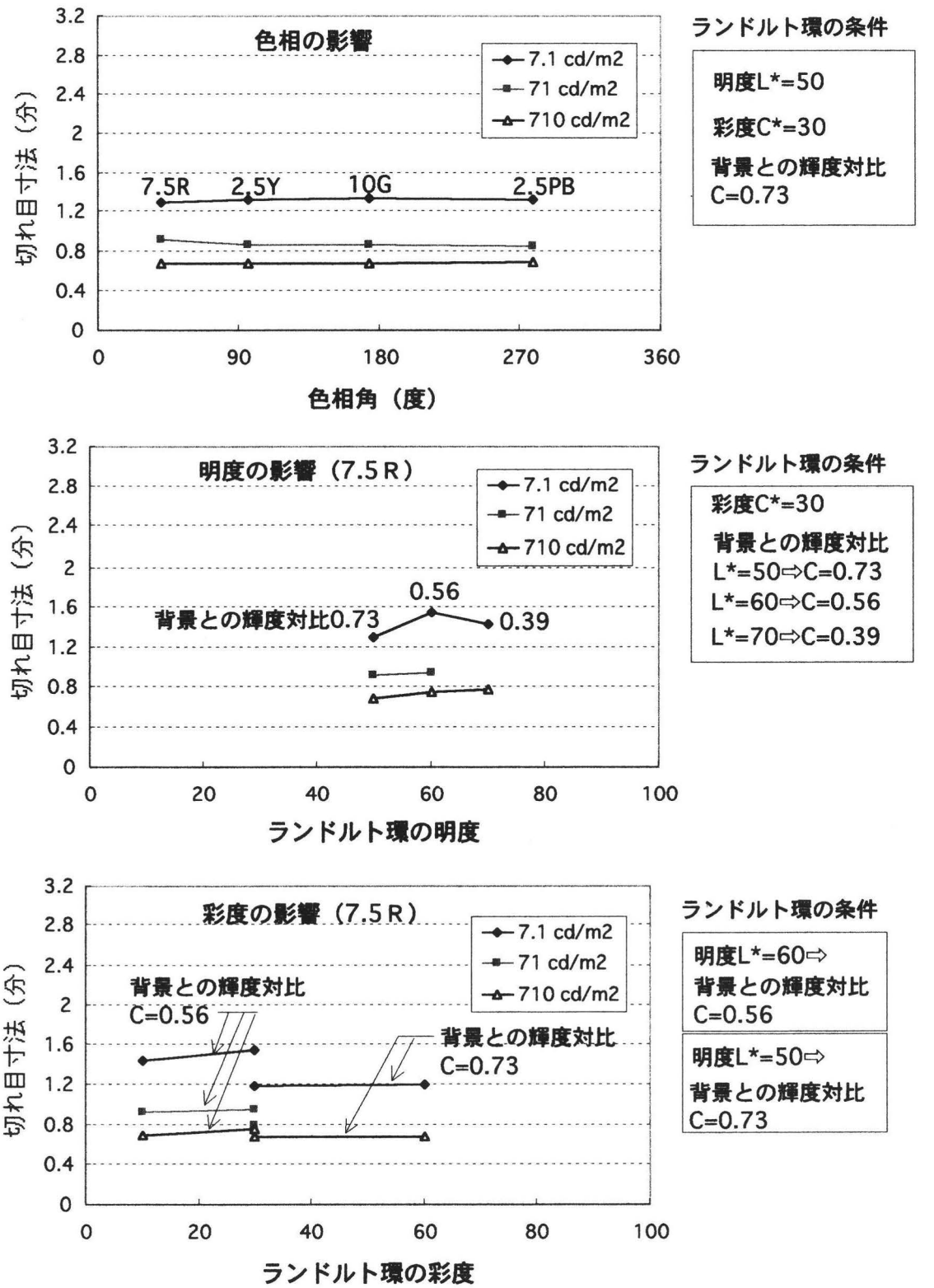


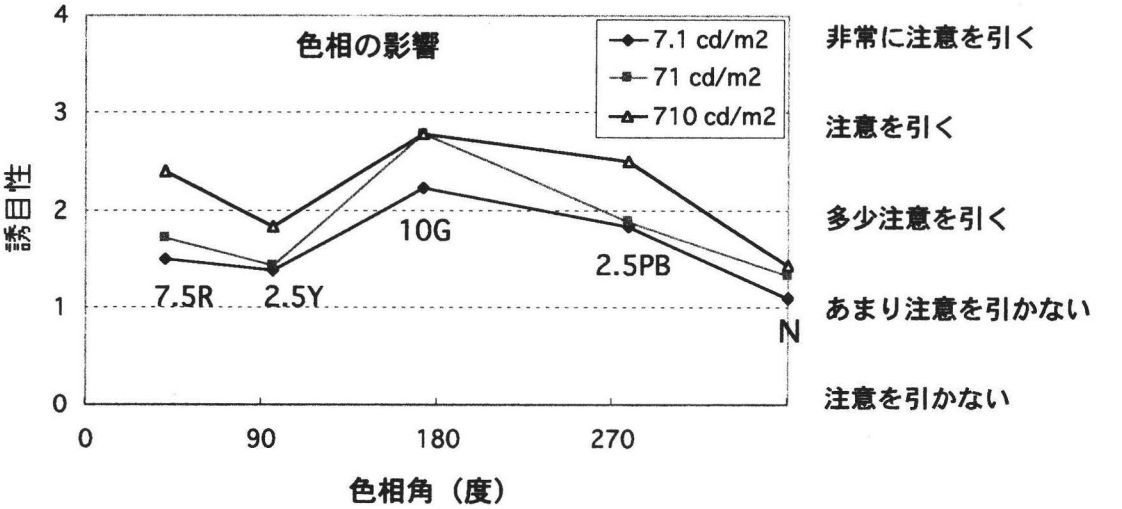
図4　細部識別閾への色の影響

文書文字の条件

明度L*=50

彩度C*=30

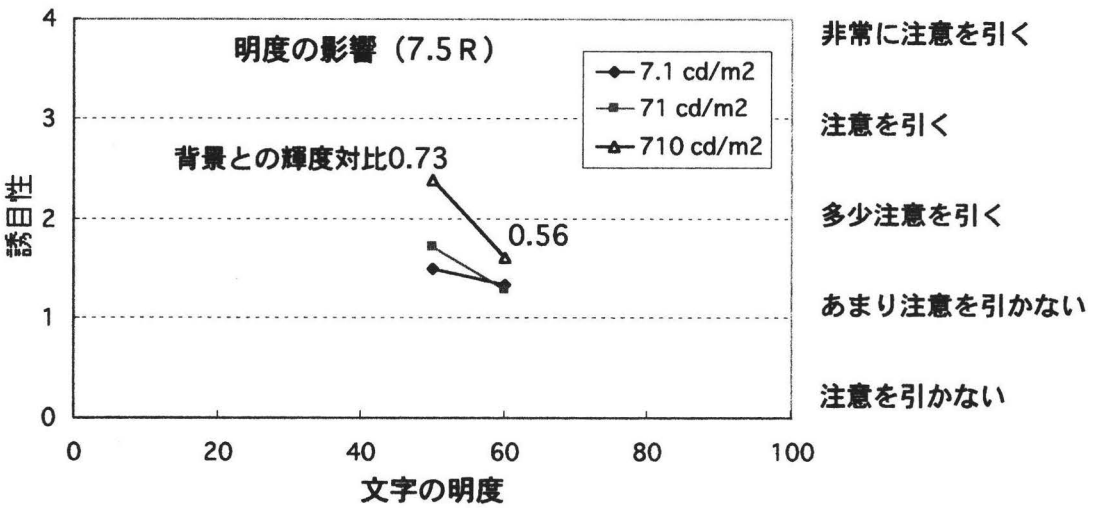
背景との輝度対比
C=0.73



文書文字の条件

彩度C*=30

背景との輝度対比
L*=50⇨C=0.73
L*=60⇨C=0.56



文書文字の条件

明度L*=60⇨
背景との輝度対比
C=0.56

明度L*=50⇨
背景との輝度対比
C=0.73

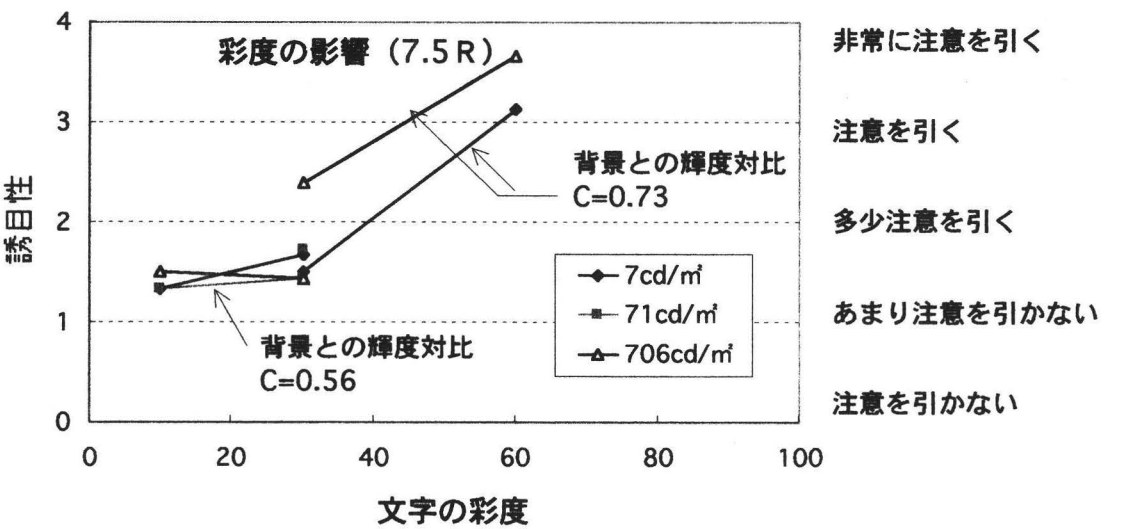


図5　誘目性への色の影響
（白地に有彩色文字の文書の場合、背景明度L*=85）

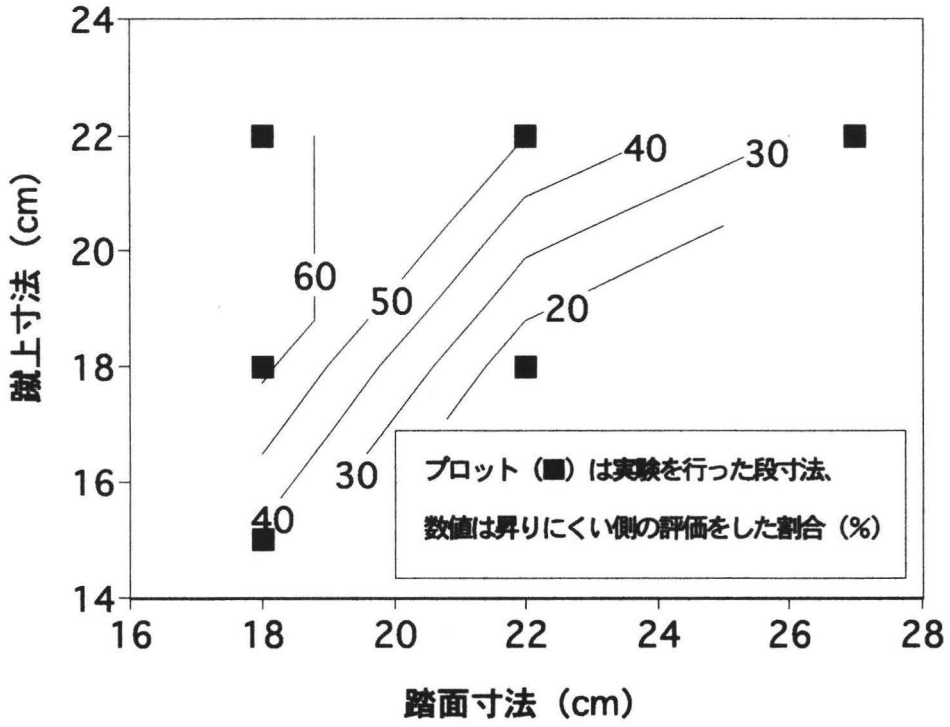


図６　段寸法と昇りにくさの関係（若齢者女性被験者８名による結果）

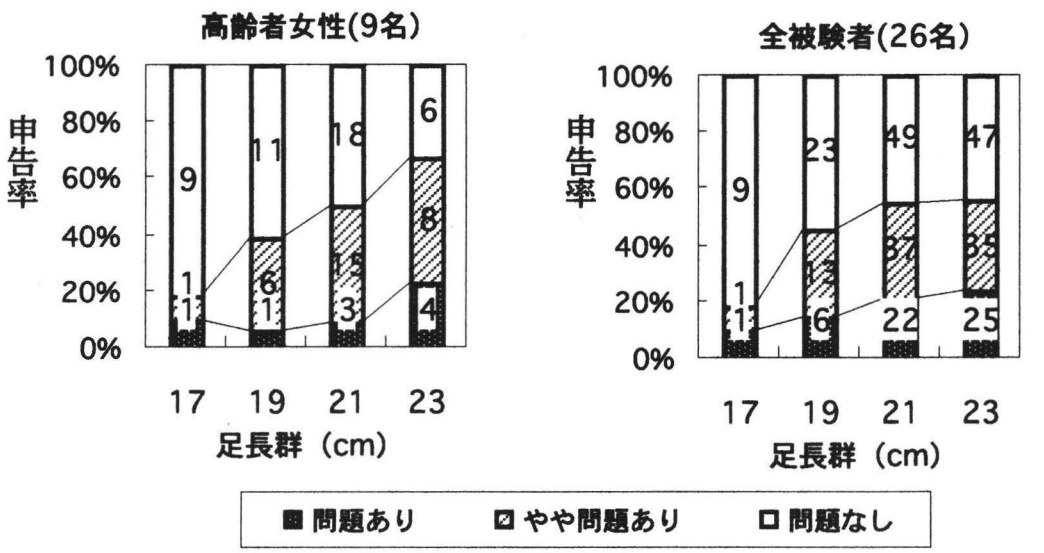


図７　足長と踏面寸法評価の各申告率

表２　実験条件

階段寸法			視環境条件			
蹴上(cm)	踏面(cm)	段数	段鼻色	対比*	踏面照度(lx)	
22	18	4	N9	0.15	0.3	-
			N7	0.49	0.3	30
			N5	0.80	0.3	-
			7R7/7	0.49	0.3	30
			6B7/7	0.49	0.3	30
			なし	なし	0.3	- ※
	22	4	N7	0.49	0.3	-
			なし	なし	0.3	-
18	18	5	N7	0.49	0.3	-
			なし	なし	0.3	-
	30	5	N9	0.15	0.3	-
			N7	0.49	0.3	30
			N5	0.80	0.3	-
			7R7/7	0.49	0.3	30
			6B7/7	0.49	0.3	30
			なし	なし	0.3	- ※

*対比：踏面と段鼻の輝度対比＝（踏面輝度－段鼻輝度）/踏面輝度

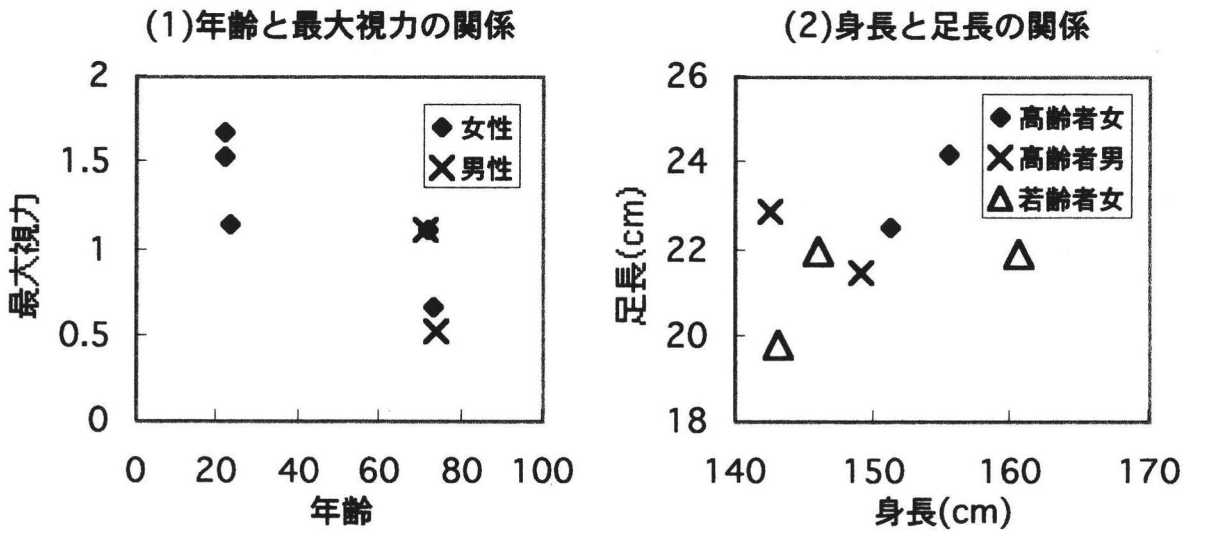


図８　被験者の属性

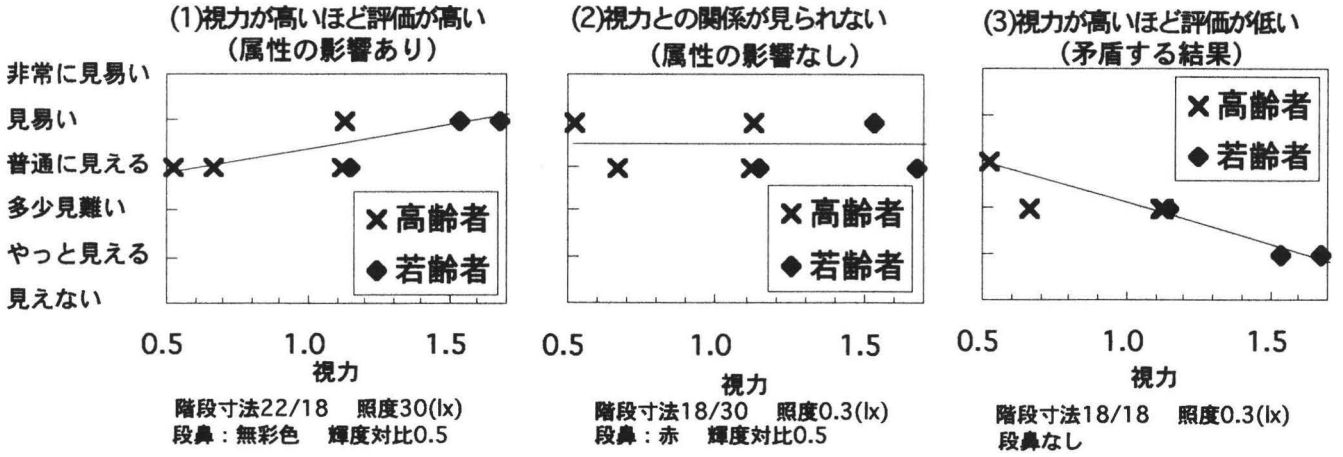


図9 視力と踏面の見やすさ評価 (降りる時)

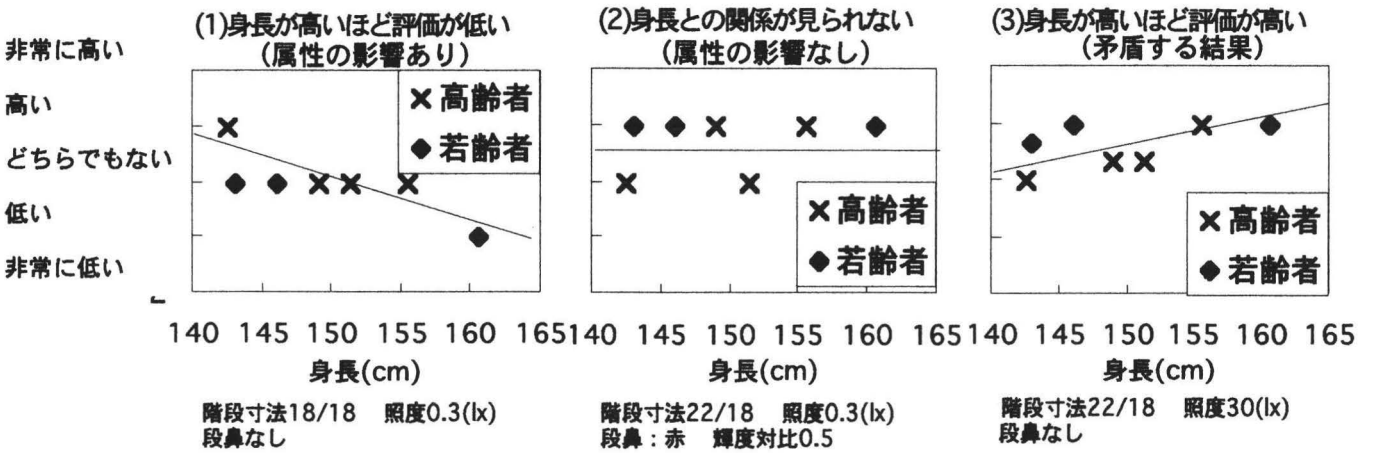


図10 身長と蹴上寸法の評価 (降りる時)

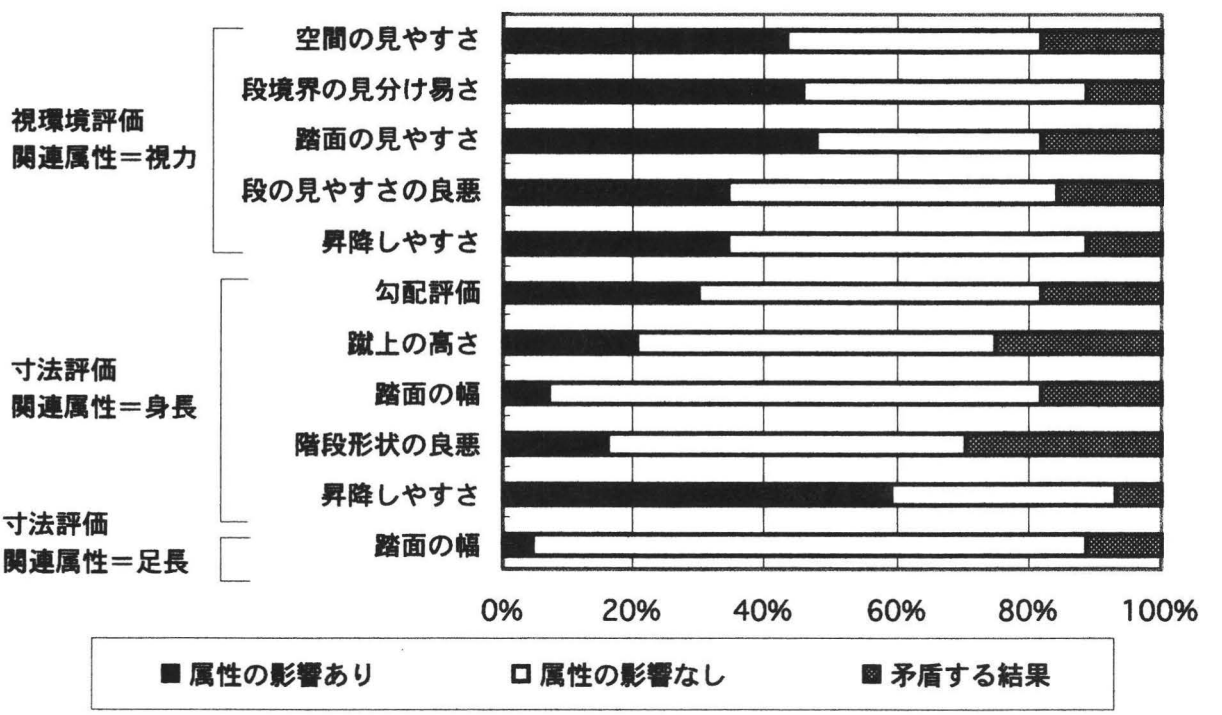


図11 階段評価に対する被験者の属性の影響

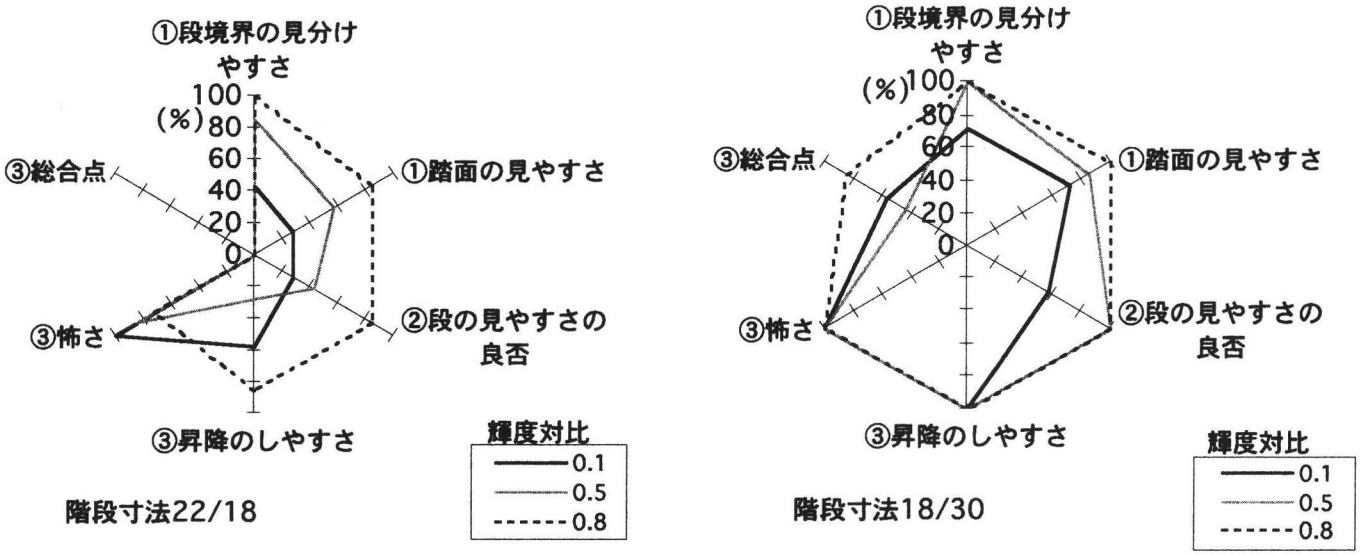


図12　段鼻と踏面の輝度対比の影響（踏面照度0.3［lx］、段鼻：無彩色、昇りの評価）

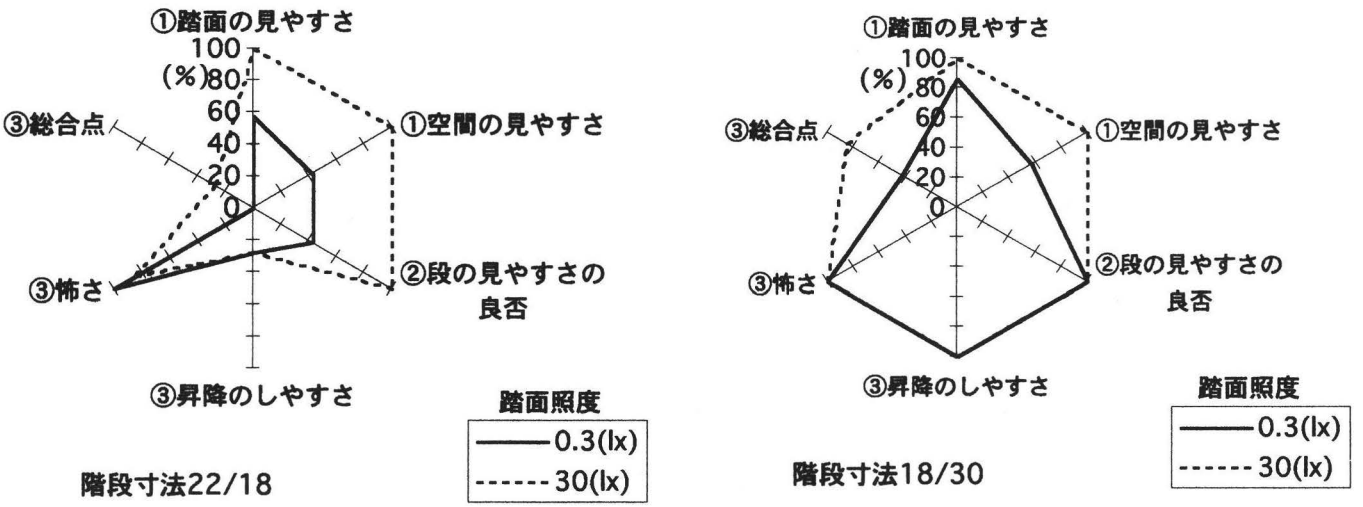


図13　踏面照度の影響（段鼻と踏面の輝度対比0.5、段鼻：無彩色、昇りの評価）

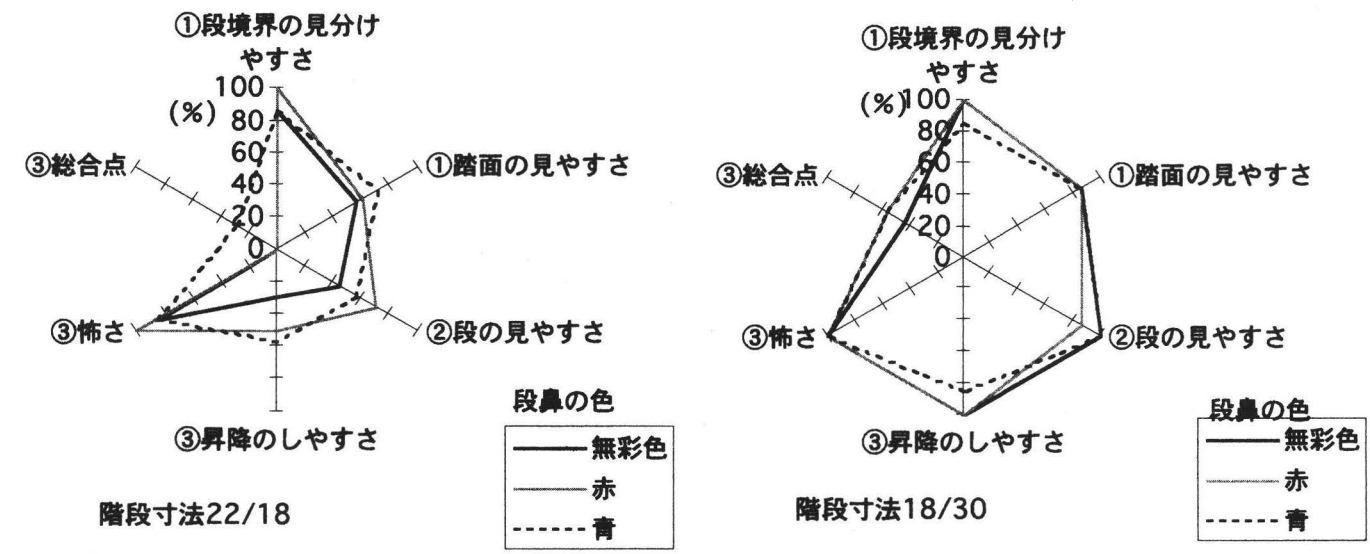


図14　段鼻の色相の影響（踏面照度0.3［lx］、段鼻と踏面の輝度対比0.5、昇りの評価）

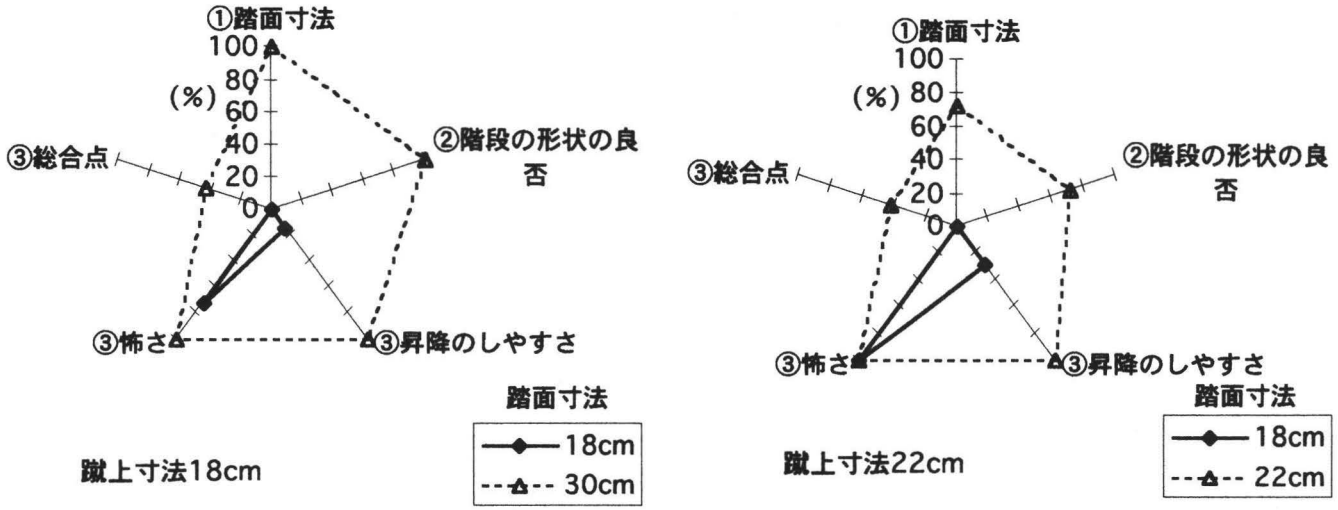


図15　踏面寸法の影響（踏面照度0.3［lx］、段鼻：無彩色、輝度対比0.5、昇りの評価）

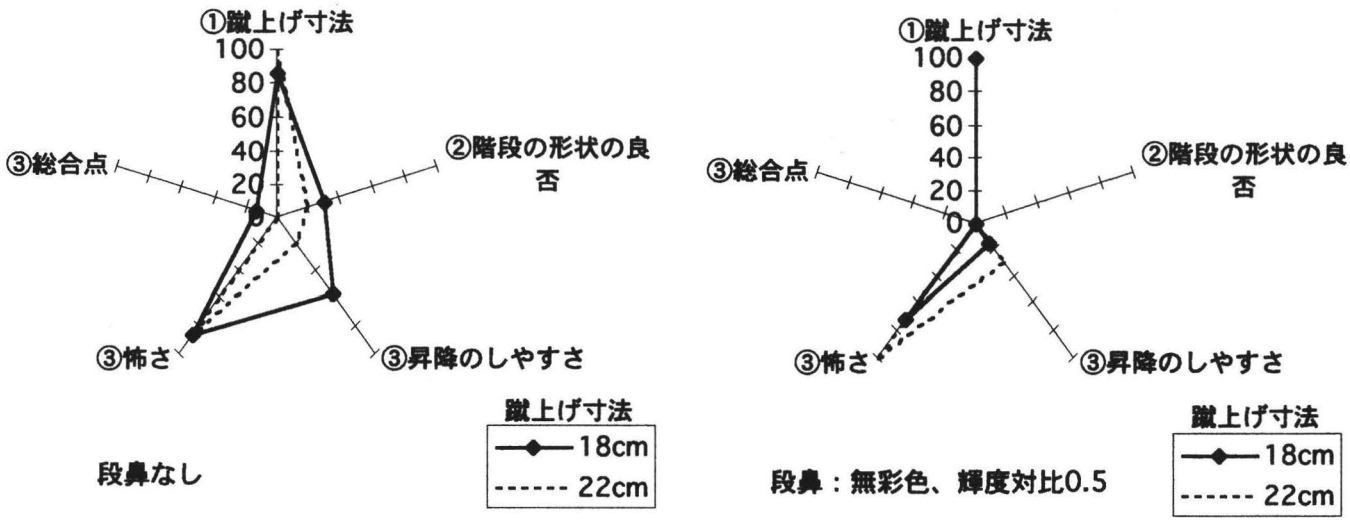


図16　蹴上寸法の影響（踏面照度0.3［lx］、段鼻：無彩色、踏面18cm、昇りの評価）

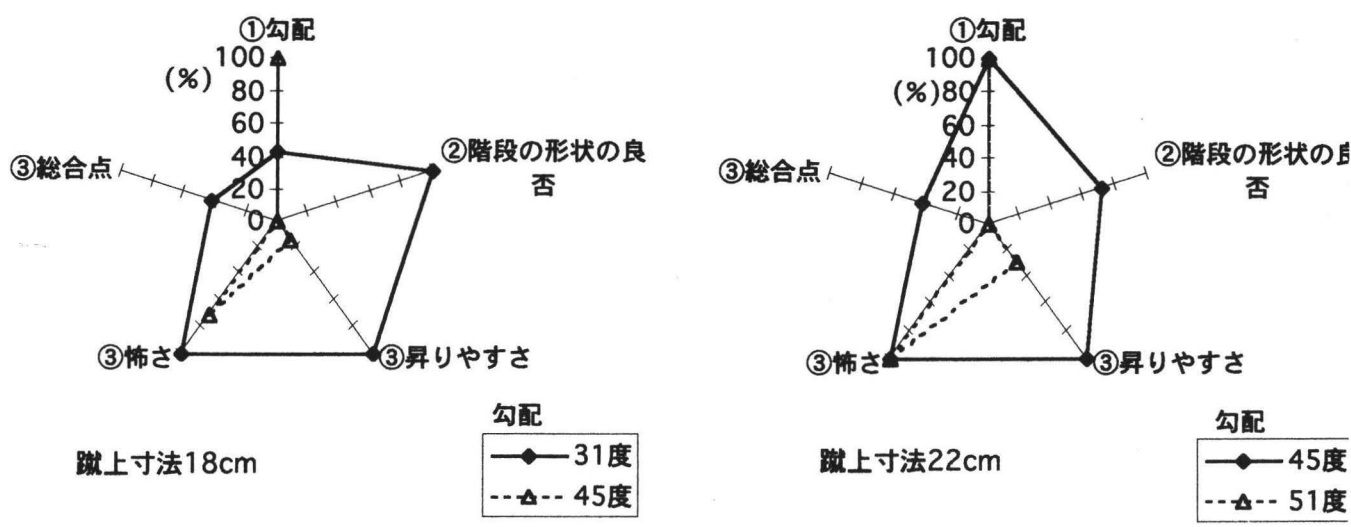


図17　勾配の影響（踏面照度0.3［lx］、段鼻：無彩色、輝度対比0.5、昇りの評価）

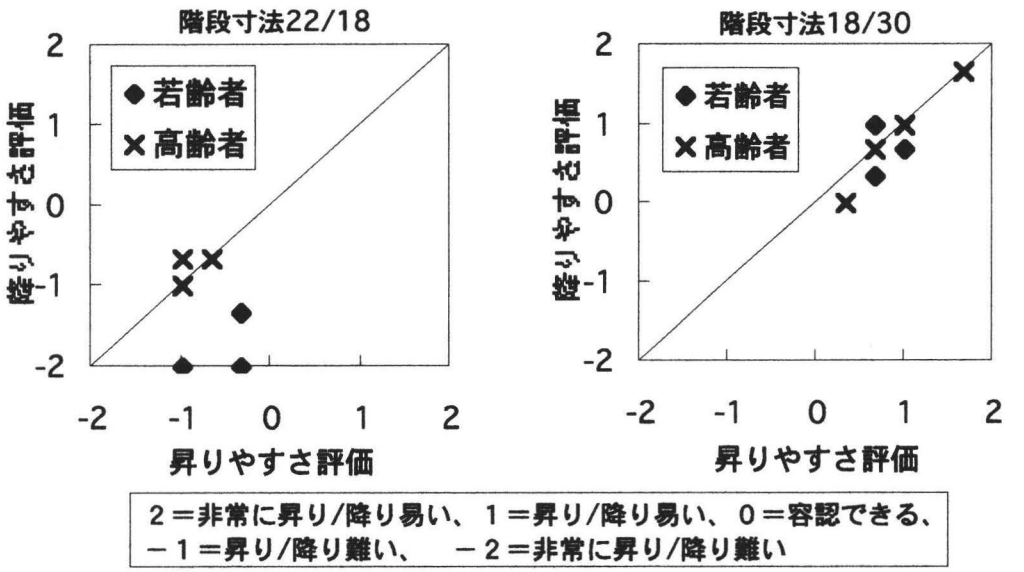


図18　昇りと降りの評価の比較（踏面照度0.3［lx］、段鼻なし）

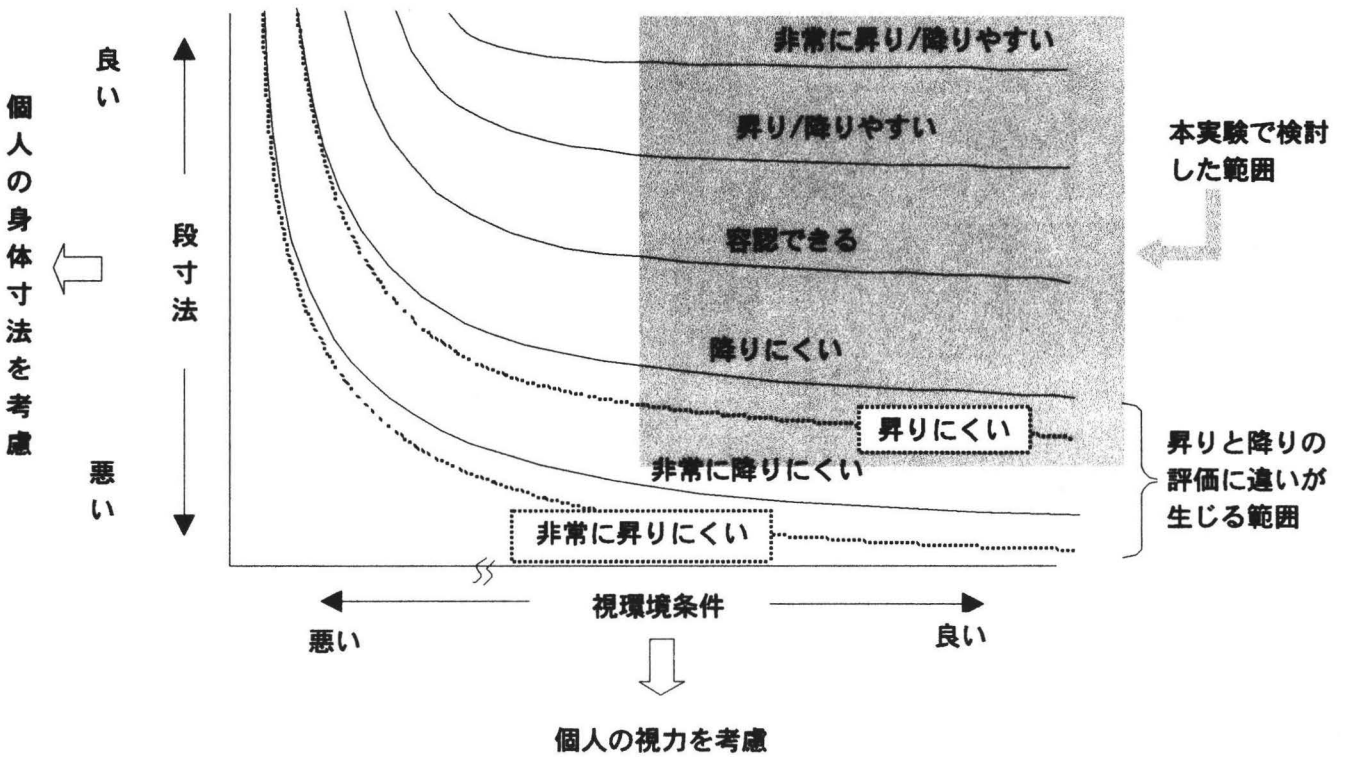


図19　昇降のしやすさへの段寸法と視環境条件の関わり（概念図）

１－８　基礎床暖房方式の熱的性能評価手法に関する調査研究

大阪市立大学大学院工学研究科
助手　鍋島　美奈子（研究代表者）
大阪市立大学大学院生活科学研究科
講師　長井　達夫　（共同研究者）

1.　研究の背景と目的

近年、温暖地でも基礎や床スラブの熱容量を利用した床暖房方式（以下、基礎床暖房と総称する）が採用されるようになっているが、ユーザーに対して、温暖地の生活スタイルに即した運転方法や、建物側の熱的性能と床暖房の運転効率に関する情報が十分にいきわたっているとは言い難い。本研究は快適性、経済性、安全性の観点から基礎床暖房方式の熱的性能を評価することを目標とした調査研究である。

2.　研究の方法

◎ 文献調査：安全性の評価をおこなうために、低温やけどに関する文献を中心にサーベイをおこなった。

◎ 数値解析：シミュレーションソフト TRNSYS を用いて、運転方法を快適性、経済性の評価をおこなった。

▲ 実測調査：国内外の基礎床暖房方式の建物にて実測を行う計画であったが、適当な物件がみつからず実施していない。

3.　研究の計画と進捗状況

「1999 年度助成金申請時の研究計画」

前半（1999 年 12 月～2000 年 11 月）：調査と実測

後半（2000 年 12 月～2002 年 03 月）：数値解析、性能評価手法の提案

「2002 年 3 月までの実際の進捗状況」

前半（1999 年 12 月～2000 年 11 月）：文献調査

後半（2000 年 12 月～2002 年 03 月）：数値解析

4. 今までに得られた成果

4.1『床暖房システムにおける床接触温の上限閾値について』

4.1.1 はじめに

床暖房は、多くの研究報告にあるように、暖房形態の中でも特に理想的な暖房方式で、ヨーロッパや中国、韓国において古くからとり入れられて来た。その起源はヨーロッパでは古代ローマ帝国までさかのぼることができる。また、韓国ではオンドルという床暖房方式が存在し、その始まりも、記録に残っているものでは三国時代（BC.108～AD.616）の高句麗であるとされている。日本では、昭和の初期に放射熱の存在を重視し、放射暖房が対流暖房に比べて効果があることが研究で見出されている。

ところが、断熱性能が悪く保温力の小さい日本家屋で床暖房をとりいれた場合、室内が暖まりにくく、さらに、立ち上がり性能がよくないという床暖房の特性を補おうとして、使用者が供給温度を上げてしまうことも少なくない。その結果、床表面温が上昇し、それとともに床接触温も上がり、タンパク質変成温度である42℃を超える危険性が考えられ、低温やけどの問題が懸念される。その上、連続運転より間欠運転の方が経済的であるという思い込みから、床暖房にも間欠運転を施し、運転開始時の床暖房の熱は冷えた床を暖めることだけに使われることになる。これも、壁体の熱容量を期待して、床内部を適温の状態で恒常的に維持することで快適温熱環境をつくり出す、という床暖房の特性を無視した使用法である。ここに、本来であれば床暖房では問題とならない低温やけどの問題が生じる。

そこで本研究は、床暖房システムにおける低温やけど防止策として、床接触温に着目し、その上限閾値を厳密に定めることができるのかどうか、既往研究を参考に探ることにする。

4.1.2 床接触温について

床接触温とは、人体の一部が接触しているときの人体と床との境界面の温度のことを指し、接触部分の人体表面温度に近く、床暖房の快適性や低温やけどに対する安全性の評価に重要な要素となる。

一方、床表面温は露出した床の表面温度を指し、エネルギー収支の観点からは床面から室内への供給熱量を決定する要素であり、温熱生理心理の観点からは放射環境を形成する要素のひとつである。

4.1.3 調査対象と項目

床暖房システムに関する既往研究をみると、その多くは、生理的快適性の面から室内温度と床表面温を検討しており、生理的・心理的安全性の面から、低温やけどを想定して行なっているものは少ないようである。現時点で、国内での床暖房による低温やけどの報告はないが、低温やけどの問題は回避できないものと思われる。低温やけどの医学的研究も調査対象とした。

4.1.4 低温やけどに関する研究

やけどは主に接触温度と時間の要素が合わさって発生する。

低温やけどの指標として、Moritz ら[1]が求めた皮膚やけどの閾値が今でも貴重なデータとして

多用されており、彼らによると、低温やけどの許容限界は、温度では44～51℃に閾値があり、接触時間との組み合わせでは、44℃－6時間から70℃－1秒となる。

低温やけどはこれら以外の要素も複雑に絡み合って、触っていて暖かいと感じる程度のものでも長時間接触していると発生すると言われている。

温度と時間以外に低温やけどの発生しやすい条件[2]として、下記の条件が挙げられる。

①血流による冷却効果が小さい
⇒圧迫、血管障害、血液循環不良、糖尿病患
②生体内産熱量が大きい
⇒子供
③体組織厚さが厚い
⇒肥満者

表1　低温やけどの報告症例

症例	年齢（性別）	深度［度］	原因	温度（＊実験値）
1	25(男)	Ⅲ	カン（中国の床暖房）	カン表面温：50～60℃
2	－	Ⅱ、Ⅲ	手術用保温マット	流水温水温：42℃以下
3	8症例 平均83.2	Ⅲ	風呂	湯温度：42℃ 湯出口付近：46℃(＊)
4	70(女)	発赤	電気カーペット	カーペット表面温：33℃ 接触境界皮膚表面温：50℃ 標準表面温度：37～48℃ （松下電器製品仕様より）
5	60(男)	Ⅲ	使い捨て靴用カイロ	最高温度：39℃ 平均温度：37℃ （桐灰化学製品規格より）
6	50代(男)	Ⅲ	あんか	標準表面温度：32～62℃ （松下電器製品仕様より）
7	50代(女)	Ⅲ	保温便座	便座表面温度：33～43℃ （INAX製品仕様より）
8	30代(男)	発赤	使い捨てカイロ	最高温度：63℃ 平均温度：53℃ （桐灰化学製品規格より）

4.1.5 床暖房に関する研究

温水式床暖房と電気式床暖房では、使用者が温度調節を自由に行う電気式床暖房の方が低温やけどの発生する危険性は高いと考えられている。ところが、床接触温の実験値をみると、温水式で42.1℃、電気式で42.8℃という結果もみられることから、両者とも低温やけどの危険性があると思われる。

また、床接触温測定装置であるEFCT計[3]による測定値は、人体接触温変化と近似しており、EFCT計による測定値の最高値が42℃未満であれば低温やけどの安全性は確保できるものとされている。しかし、寒冷地の建物や断熱性能が不十分な建物で暖房負荷を大きくしたい場合や、暖房の立ち上がり性能をよくすることを要求される場合を考えると、42℃を超える床暖房システムを排除するのは現実的ではないと思われる。

4.1.6 まとめ

概ね、床接触温が40℃を超えないような床暖房システムであれば、低温やけど発生の危険性は低いと考えられる。しかし、床接触温の上限閾値を一律に設けるのは簡単ではないと思われる。なぜならば、低温やけどの発生機構は複雑で、各個人の体質により許容温度は異なると思われるからである。今回、調査対象とした文献を見る限り、低温やけどが発生しやすい人を被験者としているものは少なく、床接触温の許容値を確定するのは難しいと思われる。

4.1.7 今後の課題

今回、床接触温の上限閾値を設定するまでには至らなかった。既往研究では、低温やけどが発生しやすい条件として、高齢者や障害者を対象とするものや、睡眠中を想定するものがみられなかった。低温やけどが発生しやすい条件で実験を行ない、そこで床接触温の許容値が求めることができれば、安全側の指標として有効なものとなりうるであろう。

4.2『蓄熱式床暖房の経済性と快適性について』

4.2.1 はじめに

蓄熱式床暖房の場合、蓄熱体であるコンクリートの熱容量（重量比熱×密度）は他の部材に比べて大きく、熱を放射するのに長けている。一方で、非常に熱の拡散率が高く熱が逃げやすい部材でもある。外部の気象変化による影響を最小限におさえ効率よく運転するには、断熱計画が重要であるとともに、生活スタイルに応じた運転方法を探る必要もある。平田ら[4]は数値解析によって蓄熱式床暖房の床の蓄熱性、外壁の断熱性能と温熱環境との関係を定量的に把握した。

本節では、床暖房の連続運転と間欠運転のシステムシミュレーションをおこない、両者のエネルギー消費量について比較検討をおこなう。

4.2.2 数値シミュレーション

暖房の運転パターンは連続運転と間欠運転×２の３パターン、住戸タイプは集合住宅と戸建住宅のそれぞれリビングとし、合計６パターンについて平均体感温度が 20℃になるよう暖房設定をした時のエネルギー消費等の比較をおこなった。

(1) 住戸タイプ

roomA: 集合住宅、連続運転１：スケジュール１
roomB: 集合住宅、間欠運転２：スケジュール２（平日朝なし）
roomC: 集合住宅、間欠運転３：スケジュール３（平日朝あり）
roomD: 戸建住宅、連続運転１：スケジュール１
roomE: 戸建住宅、間欠運転２：スケジュール２（平日朝なし）
roomF: 戸建住宅、間欠運転３：スケジュール３（平日朝あり）

(2) シミュレーション期間（暖房期間）とモデル

12 月 1 日～3 月 31 日の 4 ヶ月間とする。ただし、暖房の立ち上がりに 2 日程度と、時間がかかるため、適当な出力データを得るために、期間初日（12 月 1 日）より 2 日早めて 11 月 29 日より暖房を開始することにする。早めた 2 日間は床暖房本来の暖房機能を果たしているとはいえないので、この 2 日分のデータについては、エネルギー消費量の計算には含めない。

室モデル、床暖房モデルを表 1、2 に示す。

表1　roomA，B，C共通室モデル

集合住宅の中間階 南向きリビング（20㎡）・・・5m(W)×4m(D)×2.5m(H)			
壁	材質（室内側から）	厚さ	境界条件／外側の環境
北壁	10mm：PB 50mm：中空層 10mm：PB	120mm	隣室(自宅内)に接す／理想値
南壁	10mm：PB 50mm：断熱材 150mm：コンクリート その他：3㎡の両開き窓	210mm	外気に接す／気象データ入力
東壁	10mm：PB 150mm：コンクリート 10mm：PB	170mm	隣室に接す／理想値
西壁	東壁に同じ	〃	〃
床	10mm：WB 80mm：コンクリート（暖房パネル付） 50mm：断熱材 60mm：コンクリート	200mm	下階に接す／理想値
天井	20mm：WB10mm厚、2枚重ね 25mm：断熱材	45mm	上階に接す／理想値

表2　roomD，E，F共通室モデル

一戸建て（平屋）、陸屋根 南向きリビング（20㎡）・・・5m(W)×4m(D)×2.5m(H)			
壁	材質（室内側から）	厚さ	境界条件／外側の環境
北壁	10mm：PB 50mm：中空層 10mm：PB	70mm	隣室に接す／理想値
南壁	10mm：PB 50mm：断熱材 150mm：コンクリート その他：3㎡の両開き窓	210mm	外気に接す／気象データ入力
東壁	10mm：PB 50mm：断熱材 150mm：コンクリート	100mm	〃
西壁	北壁に同じ	70mm	隣室に接す／理想値
床	10mm：WB 80mm：コンクリート（暖房パネル付） 45mm：断熱材 65mm：コンクリート	200mm	床下、空気層／理想値
屋根	10mm：PB（プラスターボード） 120mm：コンクリート 30mm：モルタル 10mm：アスファルトルーフィング3層 30mm：押さえモルタル	200mm	外気に接す

床暖房モデルの断面図を下図1に示す。外径δのパイプに温水を流し、厚さd1の蓄熱体、すなわちコンクリートを暖めてゆっくりと放熱する仕組みである。パイプ下の断熱材は、暖房効果を上げるために必ず敷設される。

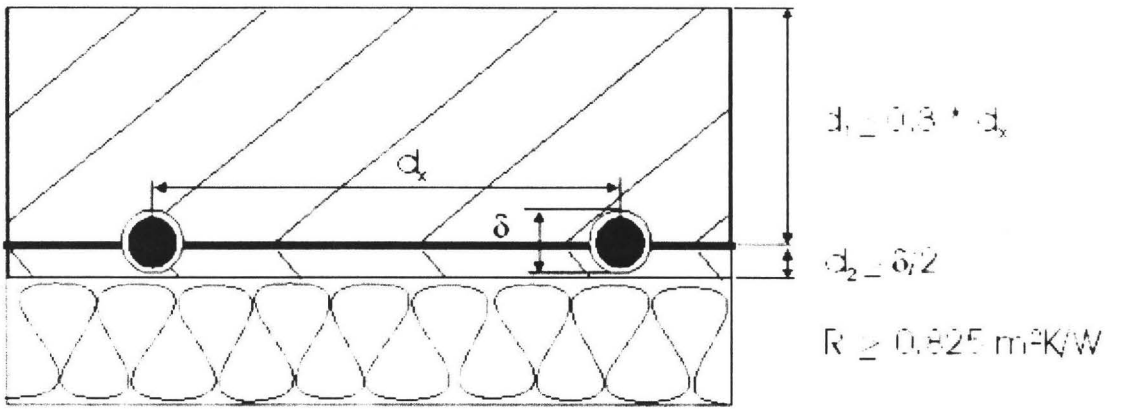


図1　床暖房モデル断面図

表3　温水パイプ設定

パイプ中心間の距離（dx）	200 mm
パイプ径（δ）	16 mm
パイプの厚さ	2 mm
敷設率	100%

(3) その他設定

初期温度、湿度は11月29日午前1時の外気を採用。在室人数はリビングに2人とした。

表4　roomA～F共通設定

初期温度		10.55℃	
初期湿度		64.55%	
室内の発熱	人	2人 軽作業に適した格好 座位、もしくは軽作業	発熱時間（在室時間帯） 平日／6:00～8:00、 18:00～24:00 休日／8:00～24:00
	電気	10W／m²	
換気		0.6回／h、隙間からの換気	

表5　暖房設定

運転スケジュール	スケジュール1	スケジュール2	スケジュール3
居室	roomA，D	roomB，E	roomC，F
平日（月～金）	連続	18：00～24：00 （1日1回運転）	6：00～8：00 18：00～24：00 （1日2回運転）
休日（土日）	連続	10：00～24：00 （1日1回運転）	8：00～12：00 18：00～24：00 （1日2回運転）
1週間の使用時間	168時間	58時間	60時間
流量	130kg／h		
制御方法	なし	水流を止める	水流を止める

(4) 出力データ

計算サイクルは1時間毎だが、今回開始日を 11 月 29 日にしたので1つの項目につき 2952 個（24 個／日×123 日）の数値が出てくる。ただし、床暖房の立ち上がり時の数値は、体感温度の平均値を算出する際には不適なので、はじめの 2 日間は計算に含めないこととする。しかし、データとしては連続／間欠の違いが表れると思われるので、暖房立ち上がり時（1 週間）の空気温度変化を見るその算出データを使うものとする。TRNSYS で出力するデータは次の項目である。

roomA～F 共通

・空気温度（℃）・重み付平均温度（℃）・居室内の湿度（%）・床の室内側表面温度（℃）・南壁の室内側表面温度・Si（℃）・南壁の室外側表面温度・So（℃）・パイプの出口の水温（℃）・不快指数（%）・PMV（単位なし）・外気温（℃）・外気の湿度（%）

roomA, B, C 共通

・南壁の室内側表面温度・Si（℃）・南壁の室外側表面温度・So（℃）

roomD, E, F 共通

・南壁の室内側表面温度・Si（℃）・南壁の室外側表面温度・So（℃）・東壁の室内側表面温度・Si（℃）・東壁の室外側表面温度・So（℃）

roomA～F 共通 2 次データ

・体感温度（℃）・消費エネルギー（MJ）・ランニングコスト（円）

4.2.3 結果と考察

図 2、3 より、集合住宅モデル roomA～C より戸建てモデル roomD～F の方が体感温度の変化が激しいことが読み取れる。表 6 から、roomE・F は平均体感温度 20℃を得るのに高温の水温設定が必要とわかった。他の 4 つの室モデルに比べ、温度差も大きく、経済性・快適性の両面から不利になると予測される。

(1) 集合住宅モデル roomA，B，C の比較

体感温度に大きな差異はなく（図 2)、室温の変化も似た傾向を示している（図 4)。外気に接する面積の少ない室では、運転方法による快適性の差異は小さいと考えられる。

エネルギー消費量についてガス料金の期間総計（ランニングコスト）でみると（表 7)、こまめに暖房を使用する roomC（間欠運転 3）がもっとも低コストとなり，roomA（連続運転 1）との差額は 970 円（roomA の期間総計の約 22%に相当する）であった。roomA（連続運転 1）と roomB（間欠運転 2）を比較すると，温水温度・運転時間は roomA が 22℃・168 時間，roomB が 25℃・58 時間と大きく異なるにもかかわらず，ランニングコストはほぼ同等であった．

(2) 戸建住宅モデル roomD，E，F の比較

集合住宅モデルに比べて，roomD，E，F の体感温度や室温，床表面温の変化傾向が大きく異なり（図 3、5)、運転方法によって快適性が左右されることがわかる。特に、roomE は床表面温が非常に高温（約 34℃）になるなど快適性、安全性の点で劣っているといえる。

エネルギー消費量についてガス料金の期間総計（ランニングコスト）でみると（表 7)、roomE（間欠運転 2)、roomF（間欠運転 3）が同程度でもっとも低コストとなり，roomD（連続運転 1）

と roomF との差額は 1,034 円（roomD の期間総計の約 3%に相当する）である。つまり、間欠運転にすると快適性が損なわれるにもかかわらず、ランニングコストでのメリットが小さいといえる。

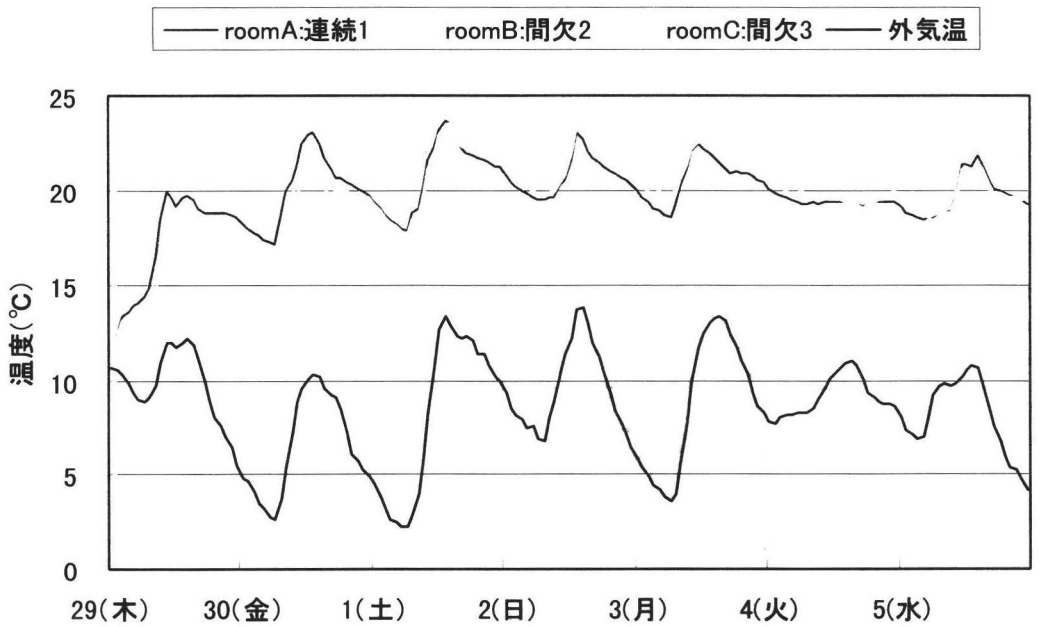


図 2　roomA～C 体感温度変化（11/29～12/5）

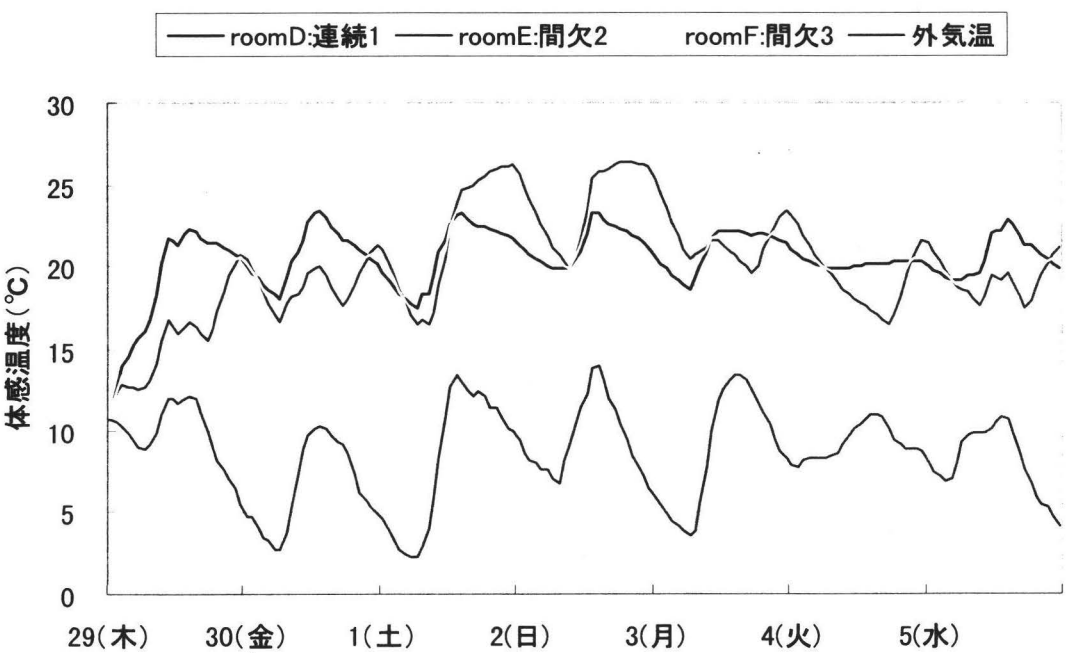


図 3　roomD～F 体感温度変化（11/29～12/5）

表6　最高値・最低値

	設定水温℃	体感温度℃	最大値℃	最小値℃	温度差℃
roomA	22.0	19.9	25.6	16.1	9.5
roomB	25.0	20.1	26.3	15.3	11.0
roomC	24.0	20.0	26.0	15.7	10.3
roomD	34.0	20.7	27.1	15.0	12.1
roomE	50.0	20.0	30.3	12.6	17.7
roomF	47.0	20.0	28.2	13.0	15.2

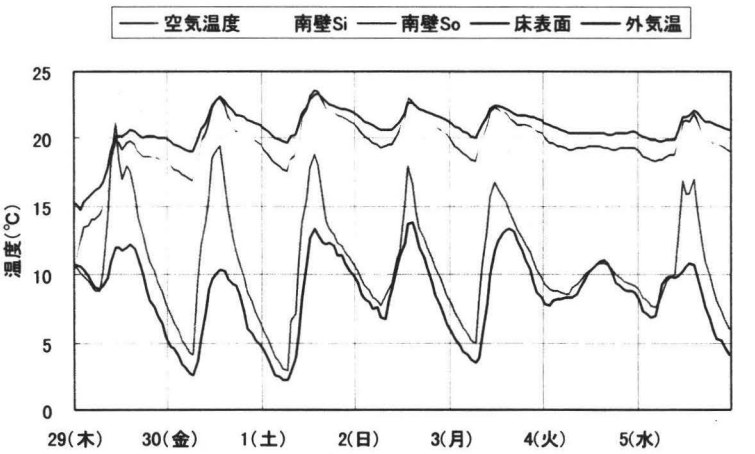
表7　roomA，B，C：エネルギー消費量

		roomA	roomB	roomC
運転スケジュール		連続1	間欠2	間欠3
設定水温（℃）		22.0	25.0	24.0
平均体感温度（℃）		19.9	20.1	20.0
エネルギー消費量（MJ）		1639	1663	1270
ガス換算消費量（m^3）		35.6	36.1	27.6
ガス料金（円）	12月	△ 895	980	◎ 733
	1月	1,184	△1,176	◎ 897
	2月	1,274	△1,216	◎ 954
	3月	△ 956	999	◎ 755
	総計	△4,309	4,371	◎3,339

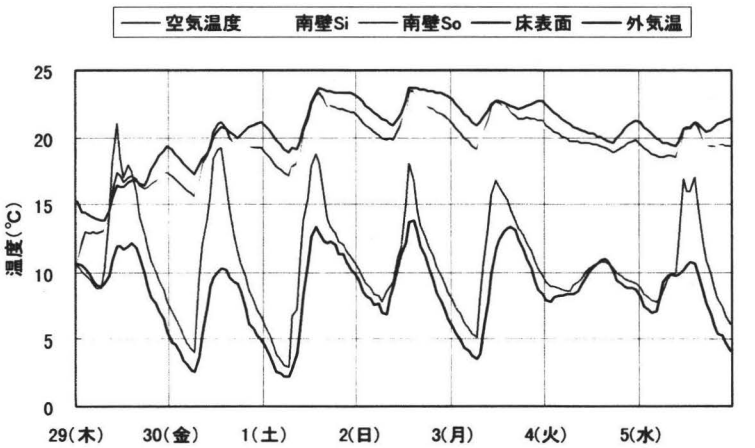
roomD，E，F：エネルギー消費量

		roomD	roomE	roomF
スケジュール		連続1	間欠2	間欠3
設定水温（℃）		34.0	50.0	47.0
平均体感温度（℃）		20.1	20.0	20.0
エネルギー消費量（MJ）		12314	11960	11921
ガス換算消費量（m^3）		267.4	259.8	258.9
ガス料金（円）	12月	8,146	△ 8,061	◎ 7,969
	1月	8,579	◎ 8,075	△ 8,178
	2月	7,992	◎ 7,490	△ 7,542
	3月	△ 7,658	7,811	◎ 7,652
	総計	32,375	△31,437	◎31,341

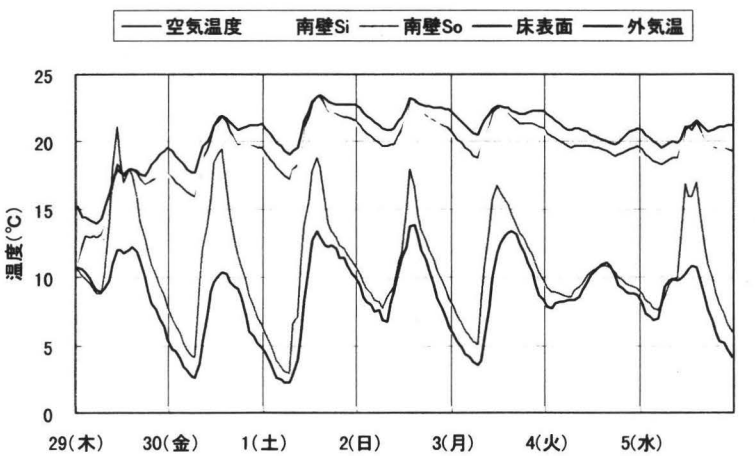
◎：1番目に経済的、△：2番目に経済的



roomA：室内の温度変化（11/29～12/5）

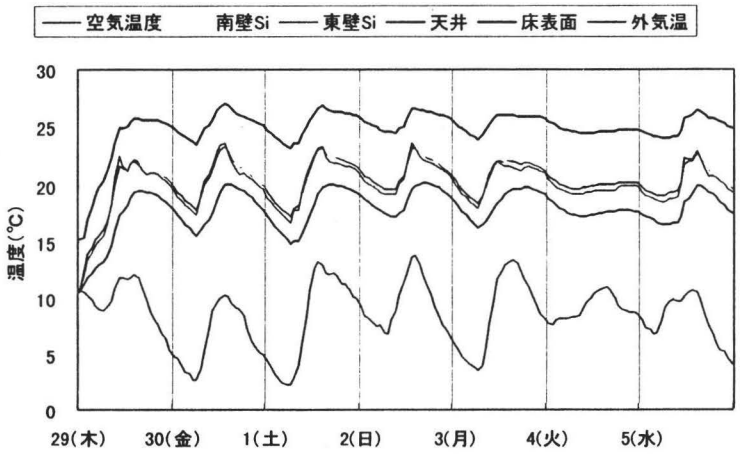


roomB：室内の温度変化（11/29～12/5）

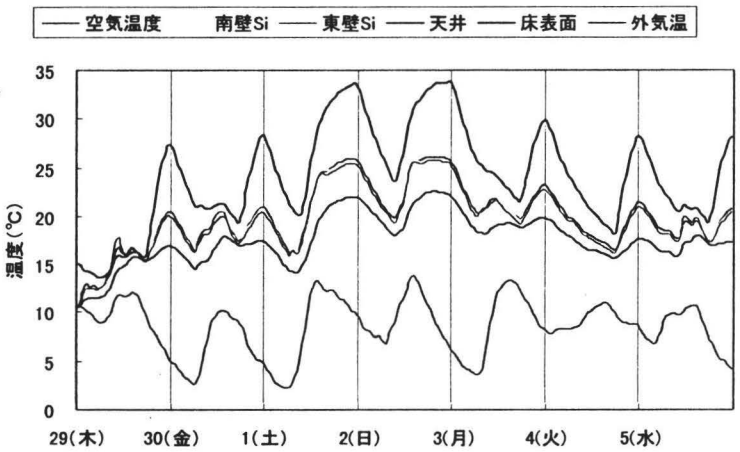


roomC：室内の温度変化（11/29～12/5）

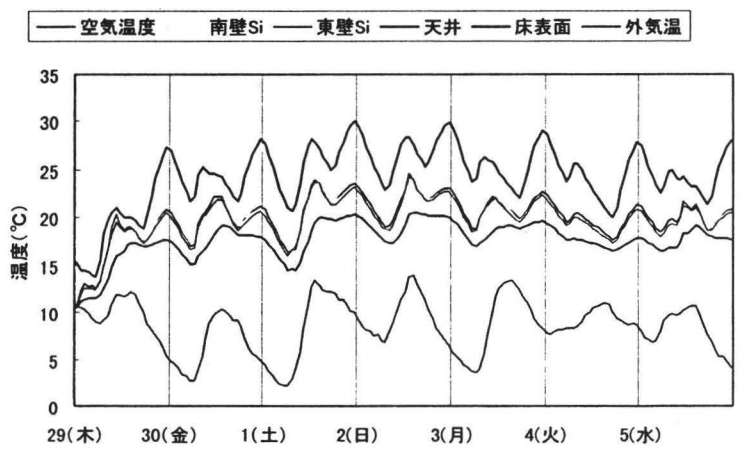
図４　集合住宅モデルの室温、壁温、床温変化



roomD：室内の温度変化（11/29～12/5）



roomE：室内の温度変化（11/29～12/5）



roomF：室内の温度変化（11/29～12/5）

図５　戸建住宅モデルの室温、壁温、床温変化

4.2.4 まとめ

蓄熱式床暖房のシミュレーションをおこない、以下の知見を得た。

・経済性

集合住宅の場合、床暖房費（ランニングコスト）は戸建住宅の 1/8 程度である。運転方法で比較すると、間欠運転 3 がもっとも低コストであった。戸建住宅も同様の結果であったが、連続運転と間欠運転とのランニングコスト差は小さい。

・快適性

蓄熱式床暖房の場合、立ち上がりの遅さは否めないので、間欠運転の評価は低くなってしまう。連続運転は一日の体感温度変化がもっとも小さく、低温水でも快適である。 ただし、集合住宅では、どんな運転方法でも快適性に大差はない。 戸建住宅では、間欠運転での快適性、安全性が低くなることがわかった。

5. これから期待される成果

今後、床暖房の快適性、経済性、安全性について、床暖房の運転方法だけでなく、床暖房方式の違いや、建物側の熱的性能との関係を明らかにしていくことで、ユーザーや設計者にとって有益な情報を提供していきたい。

6. 残る問題点と対策

今回は床下ありの戸建モデルについて検討をおこなったが、床下なしの戸建モデル（グランドオンスラブ）についても検討が必要である。さらに、実際に導入された建物での実測をおこない、数値計算の整合性を確認したい。

7. 研究発表の実績および予定

鍋島美奈子，永村一雄，深井一夫：温水床暖房の長時間接触事例と低温やけどの閾値，人間-生活環境系会議主催シンポジウム不均一環境の国際基準 -特に床暖房について-予稿集，pp.25-28，2000

8. 実用化計画

実用化に向けて、調査研究の結果を設計用の資料として整理することが重要と考えている。

【参考文献】

[1]A.R.Moritz and F.C.Henriques : Studies of Thermal Injury、 Archieves of Pathology Vol.23 No.5、pp.695－720、1947

[2]山田幸生：低温やけどについて、製品と安全、pp.2－8、1999

[3]深井一夫、永村一雄：床暖房システムの低温やけどに対する安全性の確保に関する研究 EFCT 計を用いた床接触温最高値の推定、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.369－372、2000

[4]平田勝彦、宿谷昌則：蓄熱式床暖房システムの数値解析 床の蓄熱性、建物断熱性、室内温熱環境、温水投入熱量の関係に関するケーススタディ、日本建築学会計画系論文集、No.419、pp.39-46、1991

１－９ バグ法による建材から発生する ＶＯＣ排出速度測定法の確立

東京大学大学院　新領域創成科学研究科
教授　柳沢幸雄

1. 本研究の背景と目的

1.1 緒言

住宅に使われているさまざまな建材や内装材、また、室内に置かれた電気製品や家具からは色々な揮発性有機化合物（VOCs）が放散されている。これらの VOCs に暴露することによって、居住者が目の痛み・頭痛・吐き気・アトピー性皮膚炎・身体疲労・ストレス・情緒不安定などの不快感や体調不良を訴えるケースが数多く報告されている。症状が多様で、症状発生の仕組みを含めて未解明な部分が多く、また、様々な複合要因が考えられることからシックハウス症候群と呼ばれている。

以前の日本の住宅における空気汚染では、石油ストーブなどの開放式燃焼器具やカビ・ダニが問題の中心であった。しかし近年では住宅の気密化と新建材の増加に伴い、シックハウス症候群のような室内化学物質汚染の問題の方が大きくなってきた。

1.2 サンプリングの分類

室内空気質を把握するために室内空気を捕集して分析をするわけだが、サンプリングはその方法によって「アクティブサンプリング」と「パッシブサンプリング」に、また、サンプリングの目的としては「室内空気中における濃度」と「発生源からのフラックス」に大別することができる。ここではこれらの分類について述べることにする。

1.2.1 アクティブサンプリングとパッシブサンプリング

サンプリング方法には、アクティブサンプリングとパッシブサンプリングの 2 つがある。

アクティブサンプリングとは、図 1 のようにポンプなどの動力によって空気を吸引し、吸着剤によって空気中に含まれている目的物質を捕集するサンプリング方法である。

それに対し、パッシブサンプリング法では、分子が自然に拡散して吸着剤表面に到達し、捕捉される現象を利用する。すなわち、吸着剤を測定対象空気中に放置しておくのみである。

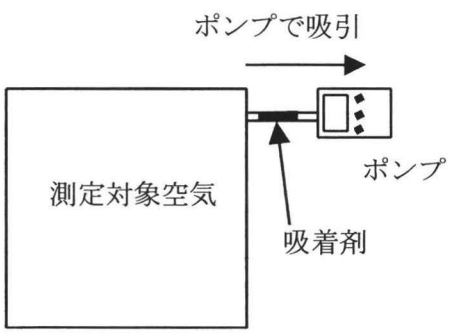


図 1　アクティブサンプリングの概要

1.2.2 濃度とフラックス

室内空気中における対象物質の濃度、もしくは発生源からの対象物質のフラックスのどちらかの情報を得るためにサンプリングは行われる。濃度を目的としたサンプリングからは、対象とした空気（室内）の化学物質汚染の度合いを知ることができる。

一方、フラックスとは発生源からの単位時間、単位面積辺りの放散量を表したものである。よって、発生源からの対象物質のフラックスを測定すれば、発生源の表面積も考慮して各発生源からの対象物質の放散量が求められ、また、複数の発生源を測定すれば発生源間の放散量の大小を把握することができる。

1.3 VOCs フラックス測定の重要性

対象室内の VOCs の濃度を測定しただけでは、指針値やガイドライン値等と比較して安全なのか、危険なのか、といった議論しか出来ない。安全なレベルの濃度であった場合には濃度測定のみでよいかもしれないが、高濃度であった場合には、影響の大きい汚染源を特定する必要性が生じてくる。そのためには、濃度の測定だけでは不十分である。

室内に放散量の多い汚染源があり、それによる室内の VOCs 濃度が無視できないほど大きい場合、その汚染源の除去というのが最も直接的でかつ有効な対策である。しかし、購入した高価な家具や、室内の壁紙、フローリングなど、強い発生源だと分っていても除去できない事情も考えられる。そのような場合には、必要な換気回数を把握した上で換気を行うことが望ましい。これらは各室内に固有の対処法であるが、長期的な展望としては、社会的に VOCs の放散が少ない材質を選択していくことが望まれる。

室内における各汚染源から放散される VOCs のフラックスを測定できると、上述の室内化学物質汚染の有効な対策、すなわち、汚染源の除去、必要換気回数の把握、VOCs の放散量が少ない材質の選択のどれもが可能となる。したがって、VOCs のフラックス測定は非常に重要だといえる。

1.4 既存の VOCs フラックス測定方法

放散される VOCs のフラックスは、気温、湿度などによって変化しうる。また、放散される量は経年変化していくので、実際に家屋でサンプリングをする際には、室内環境中の複数点を同時に測定する必要がある。フラックス測定装置の設置場所としては、天井、床、壁、棚、など実に色々な場所が考えられる。以上の観点から、フラックス測定装置は小型、軽量、安価であることが望ましい。既存のフラックス測定方法には、以下のようなものがある。

1.4.1 チャンバー法

VOCs を測定する際に一般的に用いられる方法である。ステンレス、またはガラス製のチャンバー中に試料を入れ、温度、湿度を一定に調節した空気をチャンバー内部へ通気する。VOCs を含んだ空気をチャンバーの出口で吸着剤によって捕集し、分析する[1]。チャンバー法は大型チャンバー法と小型チャンバー法に大別される。大型チャンバー法では、家具のような大きな建材もそのままチャンバー内に設置してサンプリングが可能である。小型チャンバー

には、試料の一部をチャンバー内に設置する方法と、材料表面にチャンバーを設置する方法とがある[2]。試料表面に設置するタイプのチャンバーについては次節の FLEC のところで述べ、ここではチャンバー内に試料を設置するタイプについてふれることにする。

小型チャンバー法は試料のサイズをチャンバー内に収まるような大きさにしなくてはいけないので、実際の室内環境中の測定に用いることはできない。大型チャンバー法を用いると家具は測定できるけれども、壁紙や建材などは試料を切り出す必要があるので小型チャンバー法と同様に実際の室内環境中の測定には適さない。また、チャンバーは 1 台数百万円と非常に高価なので、多量のサンプルを同時に測定するのは難しい[3]。

1.4.2 Field and Laboratory Emission Cell (FLEC)

FLEC は、直接試料表面に密着させてサンプリングを行う小型チャンバーの一種である。これは直径が 20cm 程度のお椀状の小型チャンバーで、清浄空気を装置内に流通させて吸着剤によって VOCs を捕集する。空気の湿度を一定かつ清浄に保つための装置や、ポンプが必要なので実際のフィールドでサンプリングを行う際には持ち運びが大変であり、また、複数点を同時に測定することが難しい。

1.4.3 パッシブサンプリング法を利用したフラックス測定装置（パッシブサンプラー）

チャンバーと FLEC がアクティブサンプリングによって VOCs を捕集するのに対し、パッシブサンプラーは動力を必要としないので「小型、軽量、安価、設置場所を選ばない」という望ましいフラックス測定装置の条件を満たしている。

吸着した物質の回収方法には溶媒抽出法と加熱脱着法がある。溶媒抽出法には採取した試料で複数回の分析が可能という利点があるが、溶媒を用いるために捕集された成分が希釈されて感度が低下する欠点がある。一方、加熱脱着法では同一試料の繰り返し分析は困難であるが、捕集物の全量をカラムに導入できるので、溶媒抽出法に比べてごく微量の捕集量でも分析できる。

既存のフラックス測定用パッシブサンプラーには前年度に神谷が作成したパッシブサンプラー[3]がある。捕集物質の回収方法は溶媒抽出法である。神谷の研究ではヒノキ板をサンプリングしたが、α-ピネンのような木材から多量に放散されている物質のみしか定量できず、感度の低さは実験でも示されていた。このままでは室内環境中の VOCs のフラックスを測定する装置としては不十分である。

1.5 必要な分析感度の推算

前節で紹介した神谷が作成したパッシブサンプラーでは定量できる物質がごくわずかで、それが問題であったので、室内環境中の VOCs を測定する際に必要な分析感度を推算することにした。

推算方法

推算に当たって、容積は $30m^3$ で、正方形の床面積が $13m^2$ の部屋に、VOCs を放散する発

生源があると設定した。発生源は壁 1 面に相当する 9m² で、この室内における唯一の発生源であるとする。また、室内は定常状態で、換気回数は 0.5 回/h であるとする。

神谷が作成したサンプラーと同形状のサンプラーを用いて 6 時間のサンプリングを行った場合、この発生源は定量下限値を超える Flux で VOCs を放散しているとして室内濃度を求める。定量下限値は既往の研究の値[3],[4]を用いた。換算結果を、厚生労働省が平成 10 年度に実際の家屋の室内濃度を測定した結果と共に以下の表 1 に示す。

表 1　室内濃度調査結果と定量下限値の比較

物質名	加熱脱着法の定量下限値	溶媒抽出法の定量下限値	厚生労働省 室内濃度測定結果 平均値
1,1,1-Trichloroethane	0.3	313	3
Toluene	0.7	313	98.3
m,p-Xylene	1.0	313	22.5

単位：$\mu g/m^3$

表 1 を見ると、溶媒抽出法の定量下限値は厚生労働省の室内濃度調査結果の平均値よりも大幅に高い。一方、加熱脱着法の定量下限値は厚生労働省の室内濃度調査結果の平均値よりも十分に低く、室内環境中の VOCs フラックスを測定することは十分に可能であるといえる。つまり、放散量が多くて危険な建材を特定するだけではなく、放散量が低い建材についてもそれが安全であることを定量的に示すことができることになる。溶媒抽出法におけるサンプリング時間は 72h であったことを考えると、加熱脱着法を用いることによって大幅なサンプリング時間の短縮も可能になると思われる。

1.6　研究の目的

本研究では、小型・軽量・安価である VOCs フラックス測定用パッシブサンプラーの開発を行うことを目的とする。短時間のサンプリングにおいても高感度の測定が行えるように捕集物質の回収方法としては加熱脱着法を選択し、この為に必要な吸着剤の選定、サンプラー形状の検討、定量下限や再現性の把握、実際の室内での調査などを行うものとする。

参考文献

[1.1] (財)日本化学繊維検査協会によるチャンバー法の紹介、
http://www.kaken.or.jp/news/2000/vol49_5.html#top
[1.2] 田辺新一（1998）『室内化学汚染』講談社現代新書
[1.3] 神谷勇樹（2001）「Development of Passive Sampler to Measure VOCs Emission Rate from Household Materials」、東京大学卒業論文
[1.4] 飯塚淳（2001）「VOCs への個人被曝量測定に関する研究」、東京大学卒業論文

2. 測定対象物質および分析方法

2.1 揮発性有機化合物の現状

揮発性有機化合物（VOCs）とは、沸点が 50℃-100℃から 240-260℃の有機化合物の総称[1]である。合板やビニルクロス、パーティクルボードなどの建材および塗料、接着剤には実にさまざまな VOCs が含まれていて、それらが室内中に放散されている。

2.2 規制状況

室内空気中の化学物質汚染による健康影響問題が国内で大きな懸念事項となっており、厚生労働省による室内濃度指針値策定作業が進められている。建材・施工材に利用されている可能性が高いもの、WHO の空気質ガイドライン等で指針値が提示されている化学物質、パブリックコメントからの強い要望のあった物質であるかなどを策定方針にして定められた指針値を以下の表 1 に示す[2]。

表 1　厚生労働省が策定した室内濃度指針値

化学物質	毒性指標	室内濃度指針値	
		$\mu g/m^3$	ppm
ホルムアルデヒド	ヒト吸入暴露における鼻咽頭粘膜への刺激	100	0.08
トルエン	ヒト吸入暴露における神経行動機能及び生殖発生への影響	260	0.07
キシレン	妊娠ラット吸入暴露における出生児の中枢神経系発達への影響	870	0.20
パラジクロロベンゼン	ビーグル犬経口暴露における肝臓及び腎臓等への影響	240	0.04
エチルベンゼン	マウス及びラット吸入暴露における肝臓及び腎臓への影響	3,800	0.88
スチレン	ラット吸入暴露における脳や肝臓への影響	220	0.05
アセトアルデヒド	ラットに対する経気道曝露による鼻腔嗅覚上皮への影響	48 (提案中)	0.03 (提案中)

2.3　測定対象物質

測定対象物質は、室内中で濃度の高い、もしくは検出される VOCs であり、かつ、接着剤や塗料に含まれているものという観点から候補をいくつか選び出してから絞り込むことにした。

室内空気中に存在する VOCs の濃度を測定した既往の研究[3],[4]において、濃度が高かったものを表 2 に示す。また、家具や建材、壁紙等に使われている接着剤や塗料に含まれている成分を表 3 にまとめた[1],[5]。

表 2、3 および VOCs の規制状況を踏まえて、測定対象物質としてはベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン、スチレン、トリメチルベンゼンを選定した。

表 2　既往の研究において室内空気中から捕集された VOCs[μ g/m^3]

	新築集合住宅[3]		屋外[4]
物質名	入居前(Oct. 1997) 居間（フローリング	入居後(Feb. 1998) 居間（フローリング）	
Dichloromethane	8.1	7.4	2.0
Benzene	4.5	2.3	7.4
Toluene	110	66	20
Ethylbenzene	70	32	4.0
m,p-Xylene	28	17	3.2
o-Xylene	16	22	3.0
Styrene	44	13	0.7
1,3,5-Trimethylbenzene	3.0	9.6	2.1
1,2,4-Trimethylbenzene	9.5	16	5.6
p-Dichlorobenzene	5.3	270	3.9

表 3　材料と発生する VOCs の例

材料	発生する VOCs の例	
有機溶剤[5]	トルエン	メチルエチルケトン
	キシレン	酢酸エチル
	ヘプタン	ブチルエーテル
	アルコール類	ブチルアルコール
清掃剤・ワックス[5]	エタノール	トルエン
	デカン	キシレン
接着剤[5]	ホルムアルデヒド	ヘキサン
	トルエン	アルコール類
	キシレン	アセトン
	トリメチルベンゼン	メチルエチルケトン

断熱材[1]	フェノール	フェノール
	スチレン	トルエン
	ベンゼン	n-ヘキサン
	ヘキサン	酢酸エチル
	メタノール	キシレン
	酢酸エチル	トリクロロエタン
	フタル酸ジブチル	

2.4　分析方法の検討

捕集したVOCsの分離には一般的にガスクロマトグラフ(GC)が用いられている[6]。質量分析計(MS)は高感度で選択性に優れ、ガスクロマトグラフ(GC)で分離できるほとんどの化合物に応答するため、GC の検出器として適している。実際の室内環境中の各種発生源から測定対象物質以外のものが放散される可能性は十分にあり、定性、定量の両方できることが必要である。また、室内環境中のVOCsには実に様々なものがあり、多成分の同時分析が望ましい。VOCsの分析方法にはGC/MS、GC/FID、HPLCなどがあるが、上記の条件を満たしているGC/MSを選択した。

2.5　VOCsを捕集して分析するまでの流れ

室内化学物質汚染の問題に取り組むためには、目的物質のサンプリング、吸着剤からの回収、分析という3つのプロセスを経るわけだが、前節までで本研究が各プロセスで選択した方法、サンプリングの目的が全て決定された。流れの概略を図1に示す。

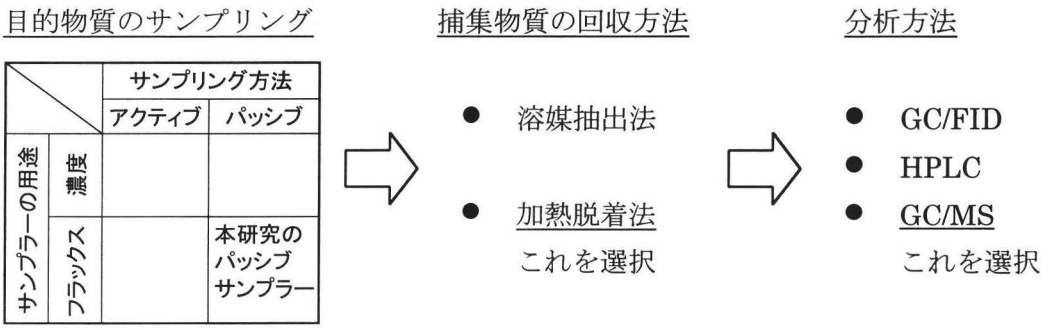


図1　本研究におけるサンプリングから分析までの流れ

参考文献

[2.1] 田辺新一(1998)『室内化学汚染』講談社現代新書

[2.2] 住まいの科学情報センター「WHO の空気質ガイドラインと室内濃度指針値」http://www.kcn.ne.jp/~azuma/news/Nov2001/011105.htm

[2.3] 内山茂久ら(1998)「新築集合住宅における有害大気汚染物質の挙動と発生源の特定」『千葉市環境保健研究所年報(第5号)』千葉市環境保健研究所

[2.4] ――――(1998)「室内・屋外環境における揮発性有機化合物の挙動」『千葉市環境保健

研究所年報（第5号)』千葉市環境保健研究所
[2.5] 東京都立衛生研究所環境保健部環境衛生研究科「室内を汚染している化学物質」
http://www.tokyo-eiken.go.jp/kankyo/indoorair/S1.html
[2.6] (財)日本環境衛生センター(2000)「有害大気汚染物質・測定の実際　第2版」

3. パッシブサンプラーの検討

3.1 緒言

開発するサンプラーに求められる特徴としては、第1章で述べたとおり小型、軽量、安価であることがあげられる。また、加熱脱着法を用いるので、吸着剤は目的物質を確実に吸着すると同時に、加熱によって速やかに脱着するようなものである必要がある。この章では、パッシブサンプラーの各部分の検討を行った。

3.2 吸着剤の検討

第2章で述べた通り測定対象物質は炭素数が6から12程度のVOCsである。この範囲のVOCsを捕集するのに適した吸着剤としてはTenax TA、Tenax GR、Carbotrap B、Carbopack Bがあげられる[1]。Carbosieve、Carboxenシリーズも VOCsの捕集によく用いられる吸着剤であるが、これらは吸着能力が強すぎて加熱によって速やかに目的物質が脱着しないという問題があるので、吸着剤の候補から除外した。

3.2.1 Tenax TA、Tenax GR

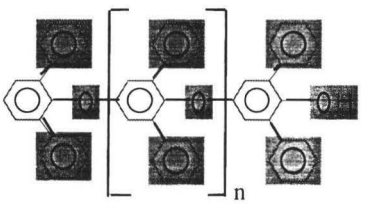


図1　Tenax樹脂の化学構造

Tenax 樹脂は極性を持つ非多孔性耐熱樹脂で、微粒子が集合して2次粒子を生成している[2]。Tenax樹脂の化学構造を図 1 に示す。物質の保持に関与する部位はフェニル基、酸素結合部、ポリマ末端の-OH 基であり、それぞれの部位に異なる相互作用で保持される。Tenax 樹脂はバックグラウンドが高く、また、加熱によって樹脂自体が熱分解を起こしてベンゼンが発生する、収縮が進行するといった問題点がある。

前年度の飯塚の研究[3]を参考にコンディショニングをしたTenax TAを内径47mmのステンレスシャーレに敷き詰めてサンプラーとし、再びATD専用のチューブに移すという作業を行ったが、Tenax樹脂が極性を持っているために静電気によってATD専用チューブやシャーレに付着してしまう粒子が多く、サンプリングごとの吸着剤粒子の損失が問題になりそうであった。

Tenax GRはTAの低分子物質（フレオン類）に対する保持力を改善するためにグラファイトカーボンブラック微粉を30%程度混入したタイプであるが、本研究ではそのような低沸点物質は測定の対象外であるので、やはりTenax樹脂特有のデメリットの方が大きいと思われる。

3.2.2　Carbotrap B、Carbopack B

どちらもグラファイトカーボンブラック（GCB）の一種である。GCB は活性炭と大きく異なった構造をとる。GCB は図 2 のように炭素原子の平面結晶一次粒子から構成され、物質のどの部位においても同様の疎水性無極性相互作用で保持される。Carbotrap と Carbopack の違いは粒度である。Carbotrap が 20/40 mesh であるのに対し、Carbopack は 60/80 mesh と細かい仕様になっている。Carbotrap B の B は表面積の大きさによる分類である。GCB の炭化水素保持容量の対数は表面積と比例するといわれており、炭素数が 5 から 12 程度の VOCs の捕集には「B」が最適である。GCB は 2,500℃以上の高温化でグラファイト化を行っているため、試料測定時の 300℃程度の加熱で分解物や共存物が溶出することはなく、加熱による変質も生じないという利点がある。

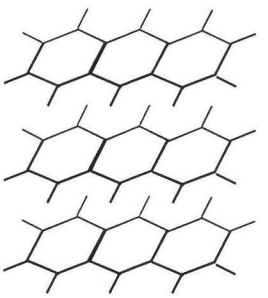


図2　GCB の結晶模式図

3.2.3　吸着剤の選定

本研究においては、自動加熱脱着装置（ATD）専用のチューブに充填された吸着剤を取り出してサンプリングに使い、サンプリング後再び ATD 専用のチューブに移すという特殊な吸着剤の使い方をする。そのため、吸着剤の移し変えのロスはできるだけ避けたい。同比重で質量あたりの表面積が等しいもの同士では、粒径が小さくなるほど吸着剤の損失における表面積の損失、すなわち吸着サイトの減少割合が大きくなってしまう。したがって、吸着剤の粒径は大きいほど移し変えにおける吸着サイトの損失を抑えることができると思われる。

以上の考察から、吸着剤は GCB のうち粒径の大きい Carbotrap B (20/40 mesh)を用いることにした。

3.3　サンプラーの形状の検討

既往の研究から一般室内中の境膜厚さは 10～20mm 程度[4],[5]と見積もられているので、パッシブサンプラーの拡散距離は数十 mm のオーダーにするのが望ましいといえる。

角がある四角のようなサンプリング面では、角はサンプラーの 3 面から熱放射を受けるので、サンプラー内の平均温度と比べるとの差が大きいと考えられる。すると、サンプラー内で温度勾配が発生し、内部で対流が起こりやすくなってしまう。そのため、サンプリング面の形状は円形が最適だと思われる。

図 3 のようにサンプラーの側面が建材に垂直に密着するようにすれば、サンプラーの捕集面積とサンプラーで覆われている建材の VOCs 放散面積は等しくなる。こうするとフラックスに補正を加える必要がなくなり、分析後の解析が楽になると思われる。

サンプリング後、1 つのパッシブサンプラーの吸着剤を分割して ATD 専用のチューブに詰め、別々に分析をすると装置による誤差が大きくなるので、1 つの

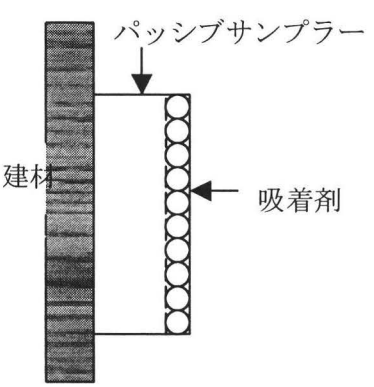


図 3　サンプリングの模式図

パッシブサンプラーに対して ATD 専用チューブは１本とした。ATD 専用のチューブの仕様は決まっており、チューブに充填される吸着剤の量の上限は自ずと決まってくる。吸着剤を ATD 専用チューブに最大量充填してチューブ内にガスを流通させた場合でも減圧度は問題になるほど大きくないようだったので[2]、最大量に近い量を充填することにし、各サンプラーの Carbotrap B は約 360mg ということになった。この量がサンプリング面隙間なく敷き詰められる必要があるので、サンプリング面の直径の上限は 40mm 程度と見積もられた。サンプリング面積が狭くなると単位時間あたりの捕集量が少なくなって、短時間で高感度のサンプリングという本研究の目的から遠のいていく。そのため、サンプリング面の直径は上限の 40mm 程度とした。室内環境中の壁紙や家具、扉などの表面積からすると、直径 40mm 程度のサンプリング面というのは十分に小さいので、「小型」という本研究で課したサンプラーの条件は十分に満たしている。

以上の考察からサンプラーとしては内径が 40mm 程度、深さが 10~20mm 程度のシャーレを用いればよいといえる。したがって、シャーレに吸着剤を敷き詰めたものがサンプラーの基本的な骨格である。

3.4　サンプラーの材質の検討

揮発性有機化合物をあまり吸着しないといわれている素材にはステンレスとガラスがある。ステンレスには衝撃に強いという利点がある反面、熱容量が小さいという問題点がある。また、ガラスには熱容量が大きいという長所がある一方で破損しやすいという短所がある。サンプラー内部で温度勾配が生じて結果として対流が起こってしまう危険性を重視し、サンプラーの骨格として用いるシャーレはガラス製とした。

3.5　パッシブサンプラーの詳細

前節まででパッシブサンプラーを構成する主要な部分の検討は終わったので、パッシブランプラーの組み立て方法を通して、パッシブサンプラーの詳細について述べることにする。

右の図４が組み立て完了後のパッシブサンプラーの断面である。まず、内径が 41mm、深さが 16mm のガラスシャーレの底に直径 1.5mm のテフロン丸棒で縁取りをする。これは吸着剤がシャーレの縁から流出することを防ぐためである。1.5mm という直径は吸着剤の１粒子の直径よりも少し長いという観点から選択した。吸着剤の粒径よりも短い直径にしなかった理由は後で述べることにする。材質は VOCs を吸着しにくいといわれているテフロン製にした。

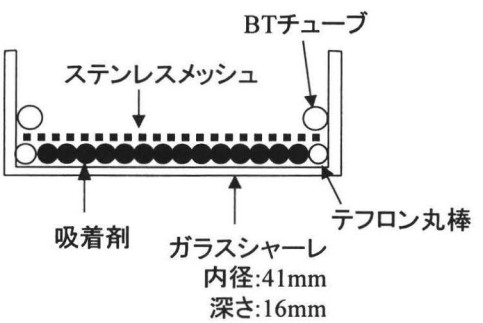


図４　パッシブサンプラーの断面

テフロン丸棒で縁取りした後にシャーレの底に吸着剤を敷き詰める。このままでは天井のサンプリングはできるが、床や壁のような場所にはサンプラーを設置することができない。そこで、吸着剤 Carbotrap B (20/40 mesh)の粒子よりも細かい mesh の網で吸着剤を固定す

ることを考えた。具体的には、VOCs を吸着しにくいといわれているステンレス製の 100 mesh の網で吸着剤表面を覆う。次に、外径が 3.17mm で内径が 1.59mm のフッ素樹脂製チューブ(BT チューブ)をシャーレの縁の沿わせ、ステンレス製のメッシュを固定する。ここで、シャーレの底に敷き詰めたのと同じテフロン丸棒を用いないのは、直径が 1.5mm のテフロン丸棒は柔軟すぎて不適格であったためである。より直径が太い丸棒を用いることも考えたが、直径が太くなると成形性に問題が出てくる。すなわち、きれいにシャーレの縁に沿わなくなる。そこで、直径は太いが中は空洞のチューブを選択し、柔軟な成形性を保ちつつ確実に網を固定することに成功した。

今、図 4 においてテフロン丸棒の直径が吸着剤の粒径よりも小さいと仮定する。すると、ステンレスの網は BT チューブと吸着剤によって固定されることになる。使用している吸着剤 Carbotrap B は非常にもろく、圧力がかかりすぎると粉々になってしまう。吸着剤が細かくなるとステンレスの網から流出してしまうので問題である。上記の仮定の元では確実に吸着剤 Carbotrap B は粉砕されて再利用が不可能になる。そこで、テフロン丸棒の直径は吸着剤の粒径よりも少し大きめに設定したのである。

サンプラーの構成部品を以下の表 1 にまとめておく。

表 1　サンプラーの構成部品一覧

ガラスシャーレ (Fine 製)(内径 41mm、深さ 16mm)
テフロン丸棒 [三井デュポンフロロケミカル製] (直径 1.5mm)
BT チューブ　(外形 3.17mm、内径 1.59mm)
ステンレスの網　(100 mesh)
Carbotrap B [SUPELCO 製]　(20/40 mesh)

3.6　サンプリングの流れ

ここでは、具体的にどのような手順を踏んでサンプリングから分析までの操作が行われるのかを簡単に説明する。

まずサンプリングに用いる吸着剤をコンディショニングする。コンディショニングの詳細については、第 4 章の「分析条件の検討」の節で述べてある。コンディショニングが終わった吸着剤は前節の要領でサンプラーに組み込まれ、測定対象の建材から放散される VOCs のサンプリングが行われる。サンプリングが終了したら吸着剤を自動加熱脱着（ATD）専用のチューブに移し、加熱脱着、GC/MS による分析を行う。分析が終わったチューブは再びコンディショニングにかけられ、サンプリングに使われる。

以上がサンプリングの流れである。

3.7　コストと重量

表 1 に示した各構成部品の購入価格、および使用量からパッシブサンプラー1 個にかかる材料費を算出すると、1400 円弱となった。その際、吸着剤は 50 回ほど再利用が可能なので、

購入価格を 50 で割って算出している。既存のチャンバーや FLEC といったアクティブサンプリングの装置が数百万円するのに対し、かなりの低コストであるといえる。

サンプラー1 個の重さは約 16g となり、天井や壁などのサンプリングにおいて全く問題のない重さである。

3.8 まとめ

実際の室内環境中における測定に適するよう、小型で軽量、安価な装置を開発するという本研究の目的に合うサンプラーを作成することが出来た。サンプラーの性能等に関しては、次章以降で考察するものとする。

参考文献

[3.1] Elizabeth A. Woolfenden et al. (1997) "Determination of Volatile Organic Compounds in Ambient Air Using Active Sampling Onto Sorbent Tubes", Compendium Method TO-17, United States Environmental Protection Agency, 11

[3.2] (財)日本環境衛生センター(2000)「有害大気汚染物質・測定の実際　第 2 版」

[3.3] 飯塚淳 (2001)「VOCs への個人被曝量測定に関する研究」、東京大学卒業論文

[3.4] Jianshum S. Zhang et al. (1995) "FIELD MEASUREMENTS OF BOUNDARY-LAYER FLOWS IN VENTILATEDROOMS", ASHRAE Transactions, 101, Part 2, 116-124

[3.5] Bruce A. Tichenor et al. (1993) "Fundamental Mass Transfer Model for Indoor Air Emissions from Surface Coatings", Indoor Air, 3, 263-268

4. 基礎実験

4.1 緒言

吸着剤に捕集した VOCs を加熱脱着装置で脱着させた後は、第 2 章で検討した通り GC/MS で分析することにした。この章では、実際に分析する際の諸条件について検討する。

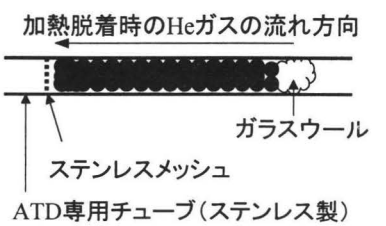


図 1　ATD 専用チューブの断面

4.2 加熱脱着時の分析条件の検討

本研究で用いる加熱脱着装置は自動加熱脱着（ATD）装置で、吸着剤は外径が 1/4 インチ、長さが 3.5 インチの専用ステンレスチューブに充填して分析にかけることになる。チューブ内では、図 1 のようにステンレスメッシュとガラスウールで吸着剤を固定している。

右の図 2 が装置の概略である。分析の際は、チュー

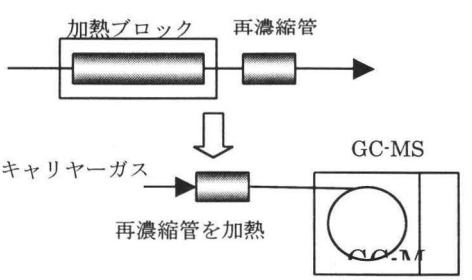


図 2　ATD 装置の概略

ブを加熱して VOCs を脱着させ、再濃縮管に一時的に溜める。その後、再濃縮管を加熱して GC に導入する仕組みである。設定する測定条件は加熱ブロックにおける加熱温度、時間、不活性ガス流量、および再濃縮管の VOCs 保持温度、加熱最高温度、最高温度保持時間、そして入りロスプリットと出口スプリットの有無である。文献や既往の測定例[1]を参考に、これらの条件を次のように設定した。

加熱ブロック

加熱温度：300℃、時間：10min、不活性ガス流量：約 100ml/min

再濃縮管

VOCs 保持温度：5℃、加熱最高温度：300℃、最高温度保持時間：10min

その他の条件

パージ時間：1min、入りロスプリット：無し、出口スプリット：約 1 対 15

入り口圧：13～14psi、トランスファーライン温度：225℃

吸着剤は測定後に残存不純物の加熱脱着を行うことで再利用が可能である。この作業をコンディショニングと呼ぶ。Carbotrap B のような GCB は、酸素の存在下で加熱すると表面が酸化して極性を持つといった特性の変化がおきてしまう[2]。そこでコンディショングには加熱脱着装置を使い、不活性ガスによってチューブ内の空気をパージした後に吸着剤の加熱を行っている。また、市販されている吸着剤はクリーニングされておらず、かなり不純物が吸着している。そのため、吸着剤をチューブに充填した直後は上述の再利用のための短い加熱脱着時間ではなく、長時間の加熱脱着を要する。これはエージングと呼ばれている作業である。既往の文献を参考にして、これらの条件を以下のように設定した。

エージングの加熱脱着条件

加熱温度：350℃、時間：12h、不活性ガス流量：100ml/min、パージ時間：1min

コンディショニングの加熱脱着条件

加熱温度：350℃、時間：60min、不活性ガス流量：100ml/min、パージ時間：1min

4.3 GC/MS の分析条件の検討

GC のカラムにおいて測定対象とした各物質が適当に分離されていることが望ましい。ピークが重なっていても MS で検出、定量することは可能であるが、感度が低くなる可能性がある。ここでは、GC の昇温条件や SIM モードにおける測定イオンなどについてまとめた。

4.3.1 使用する標準物質の検討

GC/MS で定性、定量を行う場合には、測定対象物質を含んだ標準溶液を装置に導入して検量線を引く必要がある。加熱脱着において、溶媒は加熱によって速やかに脱着されることが望ましいので、溶媒としてはメタノールを選択した。その上で、第 2 章で選定したような測定対象物質を含んでいて、かつ濃度が既知の標準原液として、揮発性有機化合物 Mix2 [SUPELCO 製]を用いることにした。以下の表 1 に、含まれている化合物を示す。

表 1　揮発性有機化合物 Mix2 [SUPELCO 製]に含まれている VOCs

Benzene	1,2,4-Trimethylbenzene
Toluene	p-Cymene
Ethylbenzene	n-Butylbenzene
m-Xylene	1,2,4-Trichlorobenzene
Styrene	Naphthalene
Bromobenzene	1,2,3-Trichlorobenzene
1,3,5-Trimethylbenzene	

GC/MS による分析の際に、表 1 の計 13 種の VOCs に関して定性、定量が出来るような分析条件を確立することにした。

4.3.2　GC カラムの昇温条件の検討

GC のカラムとしては、当研究室の飯塚が加熱脱着法を用いて VOCs を GC/MS で分析する際に使用していた HP1(Hewlett Packard 製)を用いることにした。各物質のピークはカラムとの相互作用の強さによって左右されるが、大抵 GC の温度がその物質の沸点の前後になった時点で現れる。以下の表 2 に測定対象物質の分子量と沸点を示す。

表 2　測定対象物質の物性

物質名	分子量	沸点（℃）
Benzene	78.1	80.1
Toluene	92.1	110.5
Ethylbenzene	106.2	136.2
m-Xylene	106.2	139.0
Styrene	104.1	146.0
Bromobenzene	157.2	155.6
1,3,5-Trimethylbenzene	120.2	164.7
1,2,4-Trimethylbenzene	120.2	170.0
p-Cymene	134.2	177.0
n-Butylbenzene	134.2	182.1
1,2,4-Trichlorobenzene	181.4	213.0
Naphthalene	128.1	210~217
1,2,3-Trichlorobenzene	184.4	221.0

沸点が近い物質同士は、緩やかな昇温条件で分離を確実にする必要がある。測定対象物質とした VOCs がきれいに分離されるカラムの昇温条件を検討した。

実験装置

Auto Thermal Desorption System (ATDS):ATD400　[Perkin Elmer Japan 製]

GC:HP6890 Series　[Hewlett Packard 製]

MS:HP5973 Series　[Hewlett Packard 製]

実験器具・試薬

10ml メスフラスコ [柴田科学製]

0.5ml ホールピペット [柴田科学製]

25μl マイクロシリンジ [Hamilton 製]

パスツールピペット

Auto Thermal Desorption(ATD)専用ステンレスチューブ [Perkin Elmer Japan 製]

吸着剤:Carbotrap B (20/40 mesh) [SUPELCO 製]

メタノール(純度 99.8%以上) [関東化学製]

揮発性有機化合物 Mix2 [SUPELCO 製](表 1 に示した 13 種 VOCs の混合溶液、各 2000μg/ml、メタノール溶媒)

実験方法

1) 揮発性有機化合物 Mix2 をホールピペットで 0.5ml とり、メスフラスコで 10ml にメスアップして各 100μg/ml の標準溶液とした。
2) マイクロシリンジで 10μl とり、吸着剤を充填した ATD 専用チューブ(コンディショニング済み)に導入した。
3) 表 3 に示した TDS における加熱脱着条件および GC の昇温条件を用いて SCAN モードで分析を行った。

表 3　TDS および GC の分析条件

TDS	
Desorption	300℃, 10min
Cold trap	5℃
Inject	300℃, 10min
GC	
Column	HP1 [Hewlett Packard 製]
	60m×0.32mm id, 5μm film
Column temp.	2min　5℃/min　3℃/min　4.5℃/min
	70℃ → 70℃ → 120℃ → 150℃ → 280℃

結果・考察

分析を行った結果、図3に示すようなクロマトグラムが得られた。定性・定量に問題がないほどよい分離結果になったので、この分析条件で実験は行うこととした。

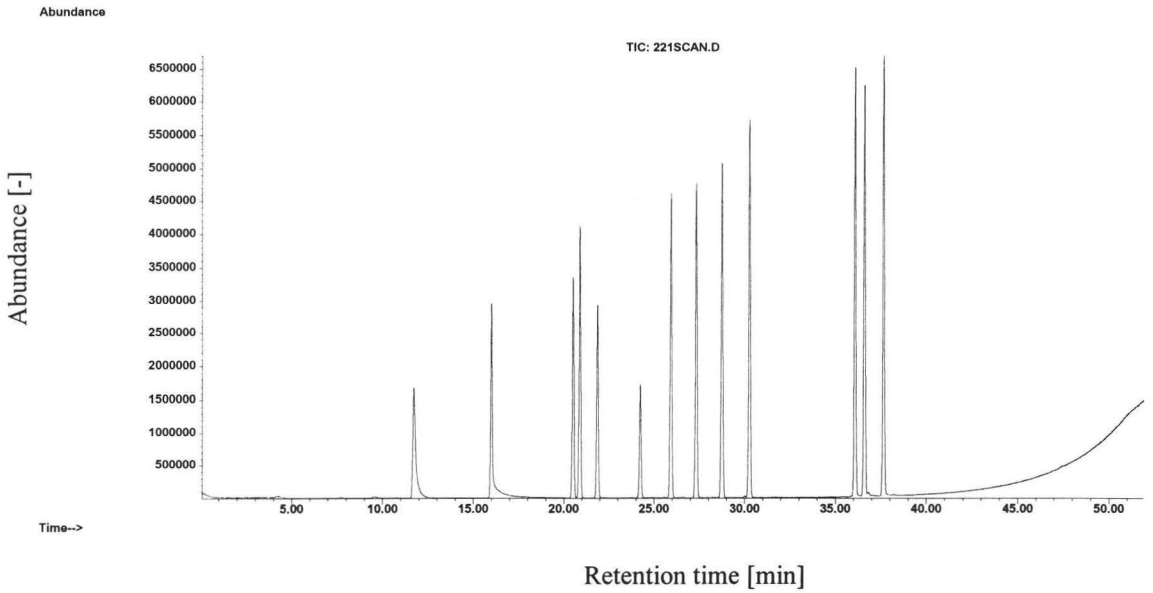


図3　13種類のVOCsの分離結果

4.4　SIMモードでの測定条件

GC/MSで分析する際には、SCANモードとSIMモードとある。SCANモードは、ある質量範囲のマススペクトルを全てモニターすることでスペクトルを得る分析のモードである。得られたスペクトルから構造情報を得て、化合物を同定することができる。しかし、MSの検出部で全てのイオンをモニターするので、ひとつのイオンあたりのモニター時間は短くなり感度は悪くなる。一方SIMモードでは、あらかじめ設定した質量数を持つイオンのみを選択的にモニターする。高感度、高選択性であるために複雑なマトリクス中の目的成分の微量分析に適している。表4にSIMモードにおける各物質のモニターイオンを示す。

表4　SIMモードにおける各物質のモニターイオン

Compounds	Target ion (m/z)	Quarifired ion (m/z)
Benzene	78	77
Toluene	92	91
Ethylbenzene	106	91
m-Xylene	106	105
Styrene	104	78
Bromobenzene	156	77
1,3,5-Trimethylbenzene	120	105
1,2,4-Trimethylbenzene	120	105
p-Cymene	134	119
n-Butylbenzene	134	91

1,2,4-Trichlorobenzene	182	180
Naphthalene	128	127
1,2,3-Trichlorobenzene	182	180

4.5　検量線の作成

捕集したVOCsはGC/MSで分析する。その際、検出器MSのアバンダンスから捕集量を求めるために検量線を引く必要がある。以下に検量線作成の手順を示す。

実験装置

Auto Thermal Desorption System (ATDS):ATD400　[Perkin Elmer Japan 製]
GC:HP6890 Series　[Hewlett Packard 製]
MS:HP5973 Series　[Hewlett Packard 製]

実験器具・試薬

10ml メスフラスコ [柴田科学製]
0.5ml ホールピペット [柴田科学製]
1ml ホールピペット [柴田科学製]
2ml ホールピペット [柴田科学製]
3ml ホールピペット [柴田科学製]
5ml ホールピペット [柴田科学製]
25μl マイクロシリンジ [Hamilton 製]
パスツールピペット
Auto Thermal Desorption(ATD)専用ステンレスチューブ [Perkin Elmer Japan 製]
吸着剤:Carbotrap B (20/40 mesh) [SUPELCO 製]
メタノール(純度 99.8%以上) [関東化学製]
揮発性有機化合物 Mix2 [SUPELCO 製](表1に示した13種VOCsの混合溶液、各2000μg/ml、メタノール溶媒)

実験方法

1) 揮発性有機化合物 Mix2（各物質 2000μg/ml）を 1ml のホールピペットでとり、メスフラスコで 10ml にメスアップして 200μg/ml の標準溶液とした。
2) 200μg/ml の標準溶液を 5ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、100μg/ml の標準溶液とした。
3) 100μg/ml の標準溶液を 5ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、50μg/ml の標準溶液とした。
4) 200μg/ml の標準溶液を 1ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、20μg/ml の標準溶液とした。
5) 50μg/ml の標準溶液を 2ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、10μg/ml

の標準溶液とした。

6) 20μg/ml の標準溶液を 0.5ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、1μg/ml の標準溶液とした。

7) 10μg/ml の標準溶液を 3ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、3μg/ml の標準溶液とした。

8) マイクロシリンジで各標準溶液を 10μl ずつとり、それぞれ吸着剤を充填した ATD 専用チューブ(コンディショニング済み)に導入した。溶媒であるメタノールのみを 10μl 導入したものをブランクとした。ブランクのサンプル数は 3 とした。

9) 表 3 に示した TDS における加熱脱着条件および GC の昇温条件を用いて SIM モードで分析を行った。

結果および考察

各物質の検量線の R^2 値を表 5 に示す。検量線の例として Ethylbenzene と 1,2,4-Trimethylbenzene のそれを図 4 に示す。

表 5　測定対象物質の検量線の R^2 値

物質名	R^2 値
Benzene	0.996
Toluene	0.997
Ethylbenzene	0.999
m-Xylene	0.998
Styrene	1.000
Bromobenzene	0.999
1,3,5-Trimethylbenzene	0.987
1,2,4-Trimethylbenzene	0.986
p-Cymene	0.993
n-Butylbenzene	0.986
1,2,4-Trichlorobenzene	0.987
Naphthalene	0.966
1,2,3-Trichlorobenzene	0.987

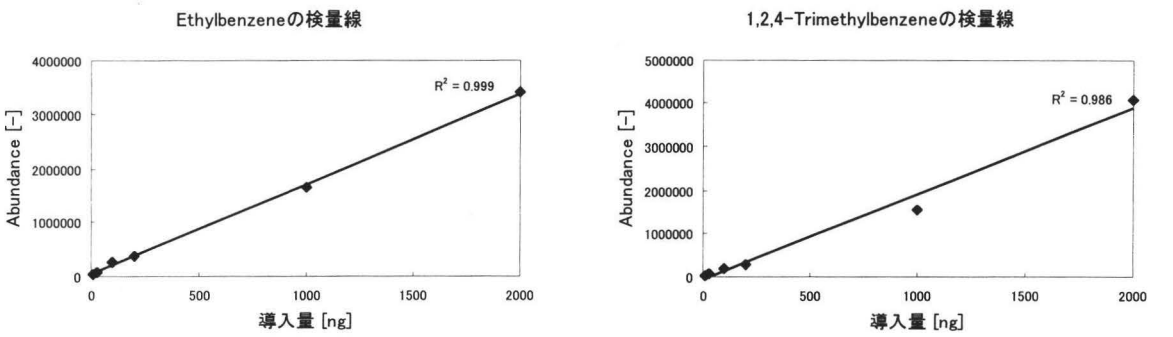


図 4　Ethylbenzene と 1,2,4-Trimethylbenzene の検量線

導入量が 2000ng までの検量線の場合、測定対象物質のほとんどについて精度の高い検量線が引けることが分かった。本研究においては建材を 24h 未満でサンプリングをするが、捕集される VOCs の量はおおむねこの検量線の範囲内に収まるので、定量に問題はない。導入量の上限を 1000ng として、10、30、100、200、500、1000ng といった導入量で検量線を引いた際にも同程度の精度で検量線が引けるので、このような範囲では精度のよい定量ができるといえる。

4.6　定量下限値

各物質について検量線作成の節で示したとおり、溶媒であるメタノールのみを 10μl チューブに導入したものをブランクとした。この溶媒ブランク(n=3)の標準偏差の 10 倍を定量下限値とした。溶媒ブランクのピークがノイズとみなされるほど低かった物質に関しては、検量線の直線性が保てなくなる導入量を定量下限値とした。以下の表 6 に各物質の定量下限値を示す。

表 6　各測定対象物質の定量下限値

物質名	定量下限値[ng]
Benzene	12
Toluene	212
Ethylbenzene	4.5
m-Xylene	5.0
Styrene	20
Bromobenzene	4.2
1,3,5-Trimethylbenzene	1.2
1,2,4-Trimethylbenzene	1.9
p-Cymene	3.6
n-Butylbenzene	2.1

1,2,4-Trichlorobenzene	17
Naphthalene	14
1,2,3-Trichlorobenzene	16

これをみると、明らかに Toluene の定量下限値だけが突出して高いが、これは実験室の隣に有機合成の研究室があるといったコンタミネーションによるものだと思われる。

室内環境中の VOCs は非常に低濃度である。したがって、加熱脱着法を用いて GC/MS で分析した本研究の定量下限値が、室内の建材から放散されるフラックスを測定するのに十分な感度を持っているかを確認する必要がある。この検討は、飯塚[1]の定量下限値を用いて第 1 章で行ったが、吸着剤、測定対象物質が異なるので再び計算してみることにする。室内濃度に換算するための手順は第 1 章と同じで、以下の通りである。

分析感度の推算

第 5 章で詳しく述べるが、吸着剤表面の VOCs の濃度は 0 とみなせる場合には、捕集量が求まると以下の式からその物質のフラックスを算出することができる。

$$J_A = \frac{N_A}{S_p \cdot T}$$

N_A:VOC"A"の捕集量

S_p:パッシブサンプラーの捕集面積

T:サンプリング時間

本研究で建材をサンプリングする際には 6 時間程度のサンプリング時間で VOCs の捕集を行うことが多いので、6 時間で定量下限値と等量の VOCs が吸着剤に捕集されるような速度で放散している測定対象の建材が室内にあると仮定した。部屋は床面積が 13m^2、容積 30m^3 と設定し、図 5 のように部屋の壁 1 面に上述の建材が存在するとした。換気回数 0.5 回/h における定常状態の室内濃度 C[μ g/m^3]は、物質収支式

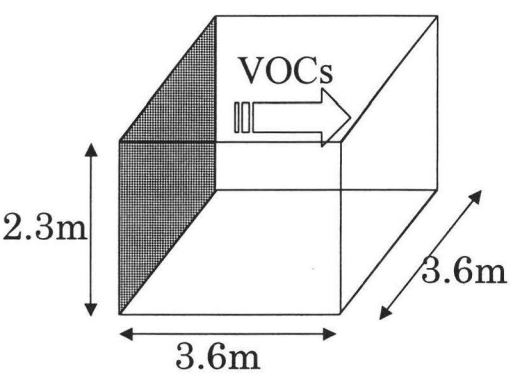


図 5　濃度換算用に設定した部屋

$C \cdot V \cdot N = J \cdot S$

部屋の容積：V[m^3]

発生源面積：S[m^{-2}]

換気回数　：N [回/h]

から算出することができる。

これを厚生労働省が定めた室内濃度指針値、および厚生労働省が平成 10 年度に調査した室内濃度測定結果と共に以下の表 7 に示す。

表 7　室内濃度調査結果と定量下限値の比較

物質名	加熱脱着法による定量下限値	厚生労働省による室内濃度測定結果	
		室内濃度指針値	室内濃度平均値
Benzene	0.8		7.2
Toluene	13.8	260	98.3
Ethylbenzene	0.3	3800	22.5
m-Xylene	0.3	870	24.3
Styrene	1.4	220	4.9
Bromobenzene	0.3		
1,3,5-Trimethylbenzene	0.1		4.2
1,2,4-Trimethylbenzene	0.1		12.8
p-Cymene	0.2		
n-Butylbenzene	0.1		
1,2,4-Trichlorobenzene	1.2		
Naphthalene	1.0		
1,2,3-Trichlorobenzene	1.1		

単位：$\mu g \cdot m^{-3}$

考察

対象物質、吸着剤は第 1 章と違うけれども、やはり加熱脱着法の定量下限値は一般の室内の VOCs 濃度よりも低く推算され、十分に低いフラックスまで定量できると再確認できた。分析感度に関しては、吸着剤として Carbotrap B (20/40 mesh)を用いることに問題はないといえる。

4.7　再現性

VOCs の脱着、分離、検出という一連の分析を行う ATD-GC/MS 系が、一定量の物質を導入した際にどの程度のばらつきを持って応答するかを把握する必要がある。ここでは、装置の再現性について調べたことをまとめる。

4.7.1　連続分析中の測定の再現性

通常、サンプリングが終わったチューブ（計２０本程度）は全て ATD-GC/MS 装置にかけ、連続して分析を行う。建材をサンプリングする際によく捕集される 200～500ng といった範囲において、連続分析中の装置の安定性を見るために以下の実験を行った。

実験装置

Auto Thermal Desorption System (ATDS):ATD400　[Perkin Elmer Japan 製]
GC:HP6890 Series　[Hewlett Packard 製]

MS:HP5973 Series　[Hewlett Packard 製]

実験器具・

10ml メスフラスコ [柴田科学製]
0.5ml ホールピペット [柴田科学製]
2ml ホールピペット [柴田科学製]
5ml ホールピペット [柴田科学製]
25μl マイクロシリンジ [Hamilton 製]
パスツールピペット
Auto Thermal Desorption(ATD)専用ステンレスチューブ [Perkin Elmer Japan 製]
吸着剤:Carbotrap B (20/40 mesh) [SUPELCO 製]
メタノール(純度 99.8%以上) [関東化学製]
揮発性有機化合物 Mix2 [SUPELCO 製](表 1 に示した 13 種 VOCs の混合溶液、各 2000μg/ml、メタノール溶媒)

実験方法

1) 揮発性有機化合物 Mix2 (各物質 2000μg/ml) を 0.5ml のホールピペットでとり、メスフラスコで 10ml にメスアップして 100μg/ml の標準溶液とした。
2) 100μg/ml の標準溶液を 5ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、50μg/ml の標準溶液とした。
3) 100μg/ml の標準溶液を 2ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、20μg/ml の標準溶液とした。
4) マイクロシリンジで 50μg/ml の標準溶液を 10μl ずつとり、ATD 専用チューブ 4 本にそれぞれ導入した。
5) マイクロシリンジで 20μg/ml の標準溶液を 10μl ずつとり、ATD 専用チューブ 5 本にそれぞれ導入した。
6) 表 3 に示した TDS における加熱脱着条件および GC の昇温条件を用いて SIM モードで連続分析を行った。

結果および考察

上記の濃度の異なる 2 つの標準溶液に関して、RSD を下の表 8 にまとめた。

表 8　測定の再現性

導入量[ng]	200	500
物質名	RSD [%] (n=5)	RSD [%] (n=4)
Benzene	11.1	8.2
Toluene	23.5	15.4
Ethylbenzene	19.1	13.5

m-Xylene	19.0	16.7
Styrene	18.6	19.1
Bromobenzene	17.9	11.0
1,3,5-Trimethylbenzene	19.7	14.8
1,2,4-Trimethylbenzene	19.3	14.7
p-Cymene	19.9	12.8
n-Butylbenzene	17.5	12.5
1,2,4-Trichlorobenzene	14.6	14.6
Naphthalene	33.5	23.0
1,2,3-Trichlorobenzene	15.9	13.4

表 8 から、多くの化合物に対して TD-GC/MS 系の再現性は 20%程度であることが分かった。溶媒抽出法を用いて GC/MS で分析を行った際の再現性も同程度だと報告されている。VOCs の揮発性や MS で物質の検出を行う際の感度のばらつきを考慮に入れると、この程度のばらつきは十分に起こりうると言える。各発生源から放散されている VOCs のフラックスのオーダーを把握できれば影響の強い汚染源の特定はできるので、この程度の再現性で問題はないと判断した。

4.7.2　分析ごとの測定の再現性

MS の感度はばらつくといわれている。そのため、一般に内部標準物質を各サンプルに入れて感度のばらつきを補正するといった処置がなされる。溶媒抽出法では抽出、希釈に用いる溶媒に内部標準物質を添加するので、内部標準物質を加えたことによるコンタミネーションは少ないと思われる。しかし加熱脱着法の場合には、各チューブに内部標準物質を添加しなければならず、そのコンタミネーションが大きいと思われる。加えて、検量線作成の節で述べた通り精度の良い検量線が引けていること、および連続分析の再現性がおおむね 20%以内に収まっていることを考慮に入れて、本研究では内部標準物質は加えずに分析を行うことにした。

MS の感度が実際にどれほどずれるのかを把握するために、作成・分析日時の異なる検量線を一つのグラフにまとめてみた。例としてスチレンと 1,2,4-トリメチルベンゼンの検量線を以下の図 6 に示す。

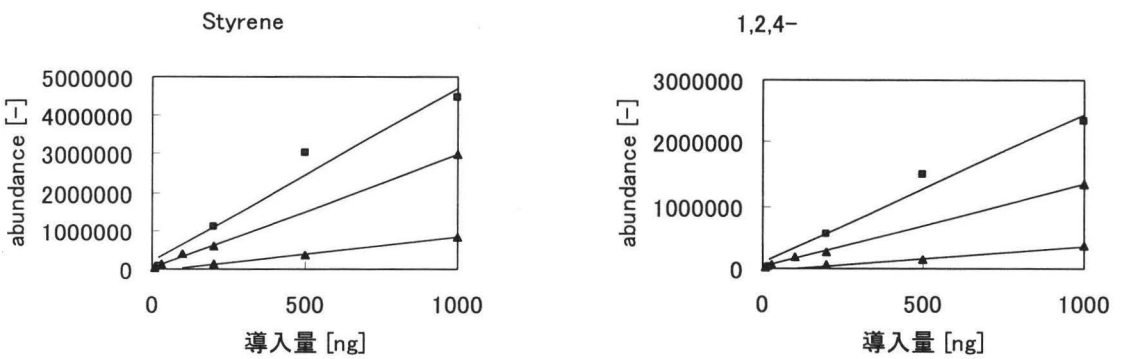


図 6　分析ごとの MS の応答

図 6 から、分析日時が異なると MS のアバンダンスは数倍異なることが分かる。この分析ごとのアバンダンスのばらつきに関しては、どの物質に関しても RSD が 70%程度となり、連続分析中の RSD が 20%程度の再現性と比べるとかなり大きい。

分析ごとのアバンダンスのばらつきが大きい原因としては、MS 自体の感度のばらつきと、加熱脱着装置 ATD-400 からの流入量の 2 点があげられる。「加熱脱着時の分析条件の検討」の節で触れた通り、加熱脱着装置では出口でスプリット比を設定して一部を GC に導入しないようにしているわけだが、装置の特性上このスプリット比を性格に設定することが出来ない。このために分析ごとに GC に導入される量は異なり、結果としてアバンダンスのばらつきを生じさせるのである。

4.8 まとめ

加熱脱着法を用いて GC/MS で VOCs を分析する際に必要な基礎データの収集を行った。定量下限値は低く、検量線も精度よく引けるため、この分析方法は一般の室内環境中の非常に低濃度の VOCs を定性、定量可能な優れた分析方法だといえる。

ATD-GC/MS は連続分析中の再現性は RSD が 20%程度とばらつきは少ないが、分析ごとに MS のアバンダンスのばらつきはかなり大きい。そのため、分析のたびに検量線は作成する必要があり、また検量線用の ATD 専用チューブとサンプリング後の吸着剤を充填した ATD 専用チューブは連続分析をする必要があることも分かった。

以上のような ATD-GC/MS の装置特性を踏まえた上で、本章で確立した分析条件によって VOCs の分析を行った。

参考文献

[4.1] 飯塚淳(2001) 「VOCs への個人被曝量測定に関する研究」、東京大学卒業論文
[4.2] (財)日本環境衛生センター(2000)「有害大気汚染物質・測定の実際　第 2 版」
[4.3] 神谷勇樹(2001)「Development of Passive Sampler to Measure VOCs Emission Rate from Household Materials」、東京大学卒業論文

5. 発生源の特性の把握

5.1 緒言

本研究では様々な発生源から放散される VOCs のフラックス測定用のパッシブサンプラーを開発することを目的としている。この章では、フラックスを求める際にどのような実験をする必要があるのかを考察する。

また、パッシブサンプラーを用いてサンプリングを行う際、各発生源のサンプリングした時の環境(温度、湿度、発生源の履歴など)に限定されずに、様々な環境に対応できるようにするにはどのような実験をすればいいのかも考察する。

5.2　パッシブサンプラーによってフラックスが算出される原理

発生源から空気中へ VOCs が放散されるにあたって、対流が起こらず、分子拡散のみが起こっているとすると、フラックスはフィックの法則にしたがっているので、

$$J_A = -D_A \frac{dC_A}{dx}$$

J_A:VOC"A"の Flux　　C_A:VOC"A"の空気中の濃度

D_A:VOC"A"の拡散係数　　x:発生源からの距離

と表される。室内空気中の VOC の濃度分布は境膜モデルを用いて図 1 のように表すことができ、フラックスは

$$J_A = D_A \frac{\Delta C_A}{L} = D_A \frac{C_{SA} - C_{iA}}{L} \qquad (1)$$

L;拡散境膜の厚さ

C_{SA}:発生源表面の VOC"A"濃度

C_{iA}:室内の VOC"A"濃度

となる。

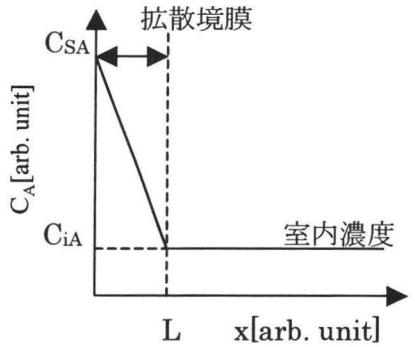


図 1　発生源からの距離と濃度の関係

パッシブサンプラーの内部では、分子拡散のみが起こるようにしてこの境膜部分を再現する。すなわち、建材にサンプラーを固定・密着させて放置し、サンプラー内部では下の図 2 のような濃度勾配ができるようにする。吸着剤表面の VOC"A"の濃度が建材表面の濃度に比べて十分に低いとみなせる領域では

$$J_A = D_A \frac{C_{SA} - C_{fA}}{L} \cong D_A \frac{C_{SA}}{L} \qquad (2)$$

C_{fA}:吸着剤表面の VOC"A"濃度

となる。

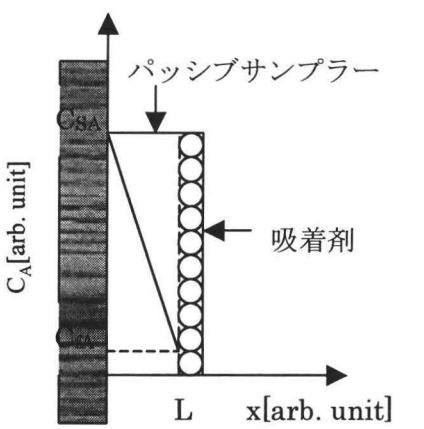


図 2　パッシブサンプラーの概要

実際にサンプリングをした際には、サンプラー内の真の拡散係数や建材表面の VOC"A"濃度が分からないので、(2)式によってフラックスを求めるわけではない。サンプリングから直接求まるのは吸着剤に捕集された VOC"A"の量なので、(2)式と同じフラックス J_A は

$$J_A = \frac{N_A}{S_p \cdot T} \qquad (3)$$

N_A:VOC"A"の捕集量

S_p:パッシブサンプラーの捕集面積

T:サンプリング時間

によって算出することができる。これがパッシブサンプラーをフラックス測定目的で使用する場合の原理である。

5.3　網の影響の検討

本研究で作成したパッシブサンプラーでは、吸着剤の前面にステンレス製の網がある。そ

の影響を評価し、第2節で述べたフラックスの算出方法に補正が必要なのかを検討した。

5.3.1　網の影響のモデル化

ステンレス製の網の表面に到達すると、ステンレス製の網で覆われていない領域をVOCsは拡散していくので、図3のようにモデル化して考える。図3において、Lは建材表面からステンレス製の網表面までの距離、L_fは建材表面から吸着剤表面までの距離である。

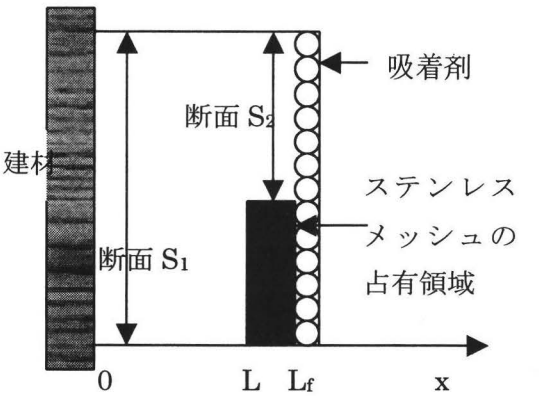


図3　サンプラー内部のモデル化

サンプラー内は定常状態で、建材からの距離がxの地点におけるVOCのフラックスをJ_xとする。ステンレス製の網の表面における物質収支式を立てると、

$$J_L \cdot S_1 = J_{L+\Delta x} \cdot S_2 \qquad (4)$$

となる。Fickの法則から

$$J_x = -D\frac{\partial C_x}{\partial x} \qquad (5)$$

したがって(4)式は

$$\left.\frac{\partial C_x}{\partial x}\right|_{x<L} \cdot S_1 = \left.\frac{\partial C_x}{\partial x}\right|_{x\geq L} \cdot S_2 \qquad (6)$$

と書き直すことが出来る。吸着剤表面ではVOCの濃度は0と近似してよいとすると(6)式は

$$\frac{C_0 - C_L}{L} \cdot S_1 = \frac{C_L}{L_f - L} \cdot S_2 \qquad (7)$$

となる。(7)式に作成したサンプラーに用いたステンレス製の網のS_2/S_1が0.35、L_f−L(すなわちメッシュの厚み)が0.1mmといった数値を代入してサンプラー内部の濃度分布を図にすると図4のようになった。図4では、網がある場合とない場合の濃度分布の差が分かりやすいようにL_f=1mmとしている。C_Nは網がなかった場合のx=LにおけるVOCの濃度である。網がある場合とない場合のフラックスの比、

$$\frac{C_0 - C_L}{C_0 - C_N} \qquad (8)$$

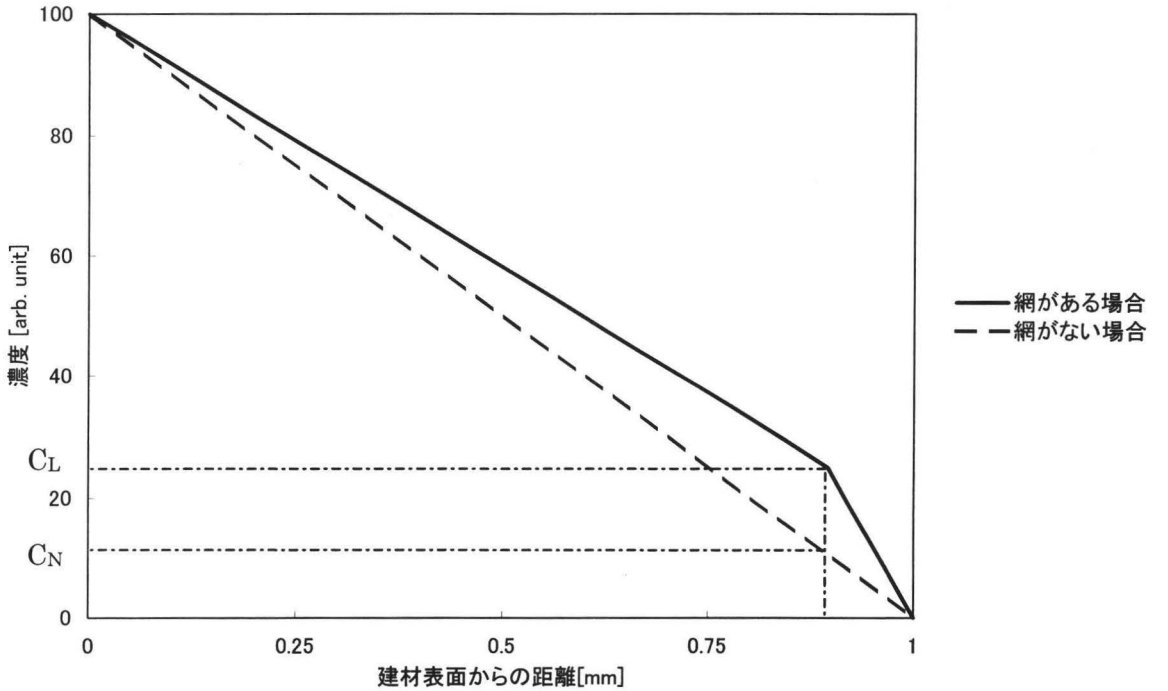


図 4　サンプラー内の濃度分布

を計算すれば、網があることによる単位時間あたりの捕集量の減少割合を見積もることが出来る。

5.3.2　網の影響の評価

作成したサンプラーの規格 L＝15mm を利用して(8)式の値を計算すると、0.98 となった。L＝2mm とすると 0.91 である。すなわち、網が存在する状態でサンプリングを行うと、実験結果のフラックスは網が存在しない場合の 9 割程度に相当することになる。分析装置の再現性が RSD20%程度であることを考えると、網の影響は無視しても構わないといえる。したがって、サンプリングで算出されたフラックスの補正は行わないことにした。

5.4　吸着剤表面の VOCs 濃度

吸着剤に捕集されている VOCs の量は、吸着サイトの被覆率や吸着剤表面の濃度といった要素で左右される平衡によって決まる。吸着剤の吸着サイトが十分に余っている場合には、吸着剤表面に達したほとんどの VOCs 分子は吸着剤に捕集されていると考えられる。しかし、捕集量が増えてくると、吸着剤の VOCs 表面濃度が建材の表面 VOCs に比べて無視できなくなってくる。

吸着剤表面の VOCs 濃度が建材表面の濃度に比べて十分に低く、0 とみなせる範囲では、捕集量はサンプリング時間に比例して増えると考えられる。やがて吸着剤表面の VOCs 濃度が建材表面のそれと近くなってくるとサンプリング時間を増やしても捕集量は増えなくなってくると思われる。(ここでは、建材はその内部に無尽蔵に VOCs を蓄えていて、建材表面の VOCs 濃度の減少はないものとしている。)

吸着剤表面をさまざまな既知の濃度下でサンプリングすることで作成したサンプラーにおける定量上限を算出することも可能である。しかし、本研究では実際の建材を使ったサンプリングで捕集されるVOCsの捕集量は本研究で作成する検量線の範囲内に収まっており、検量線の直線性は保たれていることから、定量上限を求める実験は行わないことにした。その代わり、測定対象物についてサンプリング時間を変えてサンプリングを行い、捕集量がサンプリング時間に比例しているかを確認することにした。

5.5 発生源の特性の把握

VOCs の捕集速度には、建材内部の拡散とサンプラー内の拡散が影響する。パッシブサンプラーを用いてサンプリングを行う際、どちらが律速段階となった状態でサンプリングを行っているのかを把握できれば、サンプリング結果から様々なガス境膜厚さの室内のシミュレーションへと応用範囲が広がる。そのためにはどのような実験をすればいいのかを考察した。

5.5.1 気相拡散距離と建材から放散されるフラックスの関係

いま、サンプラー内部では分子拡散のみが起こっているとし、建材表面から吸着剤表面までの距離を気相拡散距離と呼ぶことにする。フィックの法則が成り立っているので、フラックスは気相拡散距離の逆数に比例している。

ここで、気相拡散距離が無限に短くなる、すなわち建材表面に吸着剤表面が無限に近づいていくとする。すると、建材から放散されたVOCsはすぐに吸着剤に捕集され、建材内部の拡散の方が律速になると思われる。つまり、気相拡散距離がある一定の距離以上に長くなるとサンプラー内の拡散が律速になり、逆に短くなると建材内部の拡散が律速になると考えられる。建材内部の拡散が律速の段階においても、気相拡散距離が短くなるにつれて放散されるフラックスは少しずつ増えていくが、その増加量はサンプラー内部の拡散が律速だった段階に比べてかなり緩やかだと思われる。これを表したのが図5である。

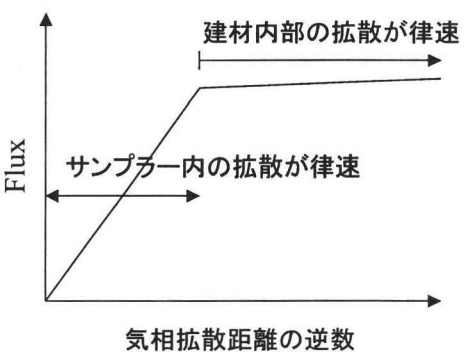


図5 気相拡散距離の逆数とFluxの関係

5.5.2 最大放散フラックスと最大表面濃度

図1において、建材内部の拡散が律速になっている領域のフラックスは一定だとみなすと、そこで近似したフラックスが測定した建材固有の放散能力のようなものを表すことになる。これを最大放散フラックスと呼ぶことにする。

一方、サンプラー内の拡散が律速の領域では、気相拡散距離と文献値の拡散係数を利用して第2節の(2)式から建材表面の濃度を推算することができる。この領域では、サンプラー内部の分子拡散に比べて十分に早い速度で建材表面からVOCsが放散されているとみなせるので、建材表面のVOCsの濃度は領域内でほぼ一定で、この濃度を超えることはないといえる。

そこで、この濃度を最大表面濃度と呼ぶことにする。

最大放散フラックスと最大表面濃度が求められれば、流体シミュレーションと組み合わせてあらゆるガス境膜の厚さにおいても室内濃度を予測することが可能になる。下の図 6 に気相拡散距離と濃度、フラックスの関係模式図を載せておく。

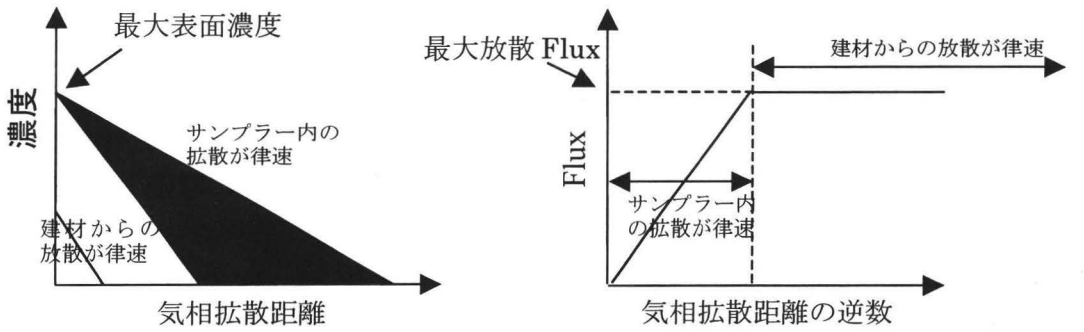


図 6　最大表面濃度と最大放散 Flux

5.6　まとめ

吸着剤の表面に網があることによる影響は無視できるほど少ないので、実験結果のフラックスを補正する必要はないことが分かった。

気相拡散距離を一点に限定してサンプリングを行うと、建材内部の拡散とサンプラー内の拡散のどちらが律速の段階で VOCs を捕集したのかがわからない。したがって、サンプリングした状況に話が限定されてしまう。気相拡散距離を変えてサンプリングを行うと、どちらか一方の領域のみしか見られなかった場合でも、実験で気相拡散距離を変えた範囲ではフラックスがどういう挙動を示すのかを予測することができる。また、建材内部の拡散とサンプラー内の拡散のそれぞれが律速の段階が見られるようなサンプリング結果になった場合には、最大放散フラックスや最大表面濃度のどちらも推算できると同時に律速段階が切り替わるガス境膜の厚さも推察することができる。

最大放散フラックスや最大表面濃度のような発生源の特性を把握するため、また、サンプリング結果と流体シミュレーションを組み合わせ、風や対流の有無によって変化する室内のガス境膜の厚さに対応して放散量の予測が可能になるようにするためには気相拡散距離を変えてサンプリングを行うことが非常に重要だといえる。

VOCs の捕集量が吸着剤表面の VOCs 濃度がほぼ 0 とみなせるような範囲であることを確認するために、上述のように気相拡散距離を変えると同時にサンプリング時間も変化させてサンプリングをする必要がある。

6. 合板のサンプリング

6.1　緒言

発生源の特性を把握するためには気相拡散距離を変えてサンプリングを行えばよい。(第 5 章参照)この章では、市販されている建材を用いてサンプリングを行った結果をまとめた。

6.2　予備実験

この実験は、測定対象物質や吸着剤の選定（それぞれ第 2 章、第 3 章参照）をしていたころに並行して行っていた実験である。

6.2.1　目的

ATD-GC/MS で分析するという実験操作やサンプリングに慣れる。また、使用する合板の放散量を大まかに把握する。サンプリング時間を変えて実験を行い、捕集量がサンプリング時間に比例するかを確認する。

6.2.2　測定対象建材

シナ共芯合板(東急ハンズで購入)

サイズは 300mm×220mm×4mm で、図 1 のように、シナ材同士を接着剤で張り合わせた構造をしている。

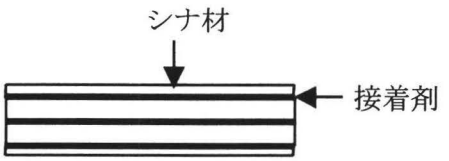


図 1　シナ共芯合板の断面図

6.2.3　サンプラーの作成

使用器具

ステンレスシャーレ（内径 47mm、深さ 15mm）
テフロン丸棒 [三井デュポンフロロケミカル製] (直径 1.5mm)
BT チューブ　(外形 3.17mm、内径 1.59mm)
ステンレスの網　(100 mesh)
Tenax TA [Enka Research Institute 製]　(60/80 mesh)

以上の器具を用いて第 3 章の「サンプラーの詳細」の節に示した手順でサンプラーを作成した。なお、ステンレスシャーレは前年度の神谷の研究[1]で使用されていた仕様のもの、Tenax TA は前年度の飯塚[2]の研究で用いていた吸着剤である。飯塚の研究に基づいて吸着剤のチューブ充填量は 200mg とし、吸着剤のコンディショニングは 300℃で 60 分とした。

6.2.4　サンプリング方法

実験室内で、シナ共芯合板の片面の異なる 6 箇所をサンプリングした。サンプリング時間は 1h のものを 2 箇所、3h のものを 2 箇所、5h のものを 2 箇所とし、同時にサンプリングを開始した。内径が 50mm のステンレスシャーレでサンプラーに蓋をし、アルミホイルで包んだものをトラベルブランクとし、サンプリング中同じ実験室内に放置しておいた。

6.2.5　分析

分析に際しては、飯塚の検量線の作成方法と分析条件[2]を参考にした。以下にその分析条件をまとめた。

加熱ブロック

温度：280℃、時間：7.0min、不活性ガス流量：75ml/min 程度（50～100ml/min）

再濃縮管

VOCs 保持温度：-30℃、加熱最高温度：300℃、最高温度保持時間：10min

その他の条件

1 次スプリット：なし、2 次スプリット：1:10～1:15

入り口圧：13～14psi、トランスファーライン温度：225℃

パージ時間：1.0min

GC カラム

HP1 [Hewlett Packard 製]（60m×0.32mm id, 5μm film）

昇温条件：70℃(5min hold) →2.5℃/min→ 160℃ →10℃/min→ 280℃

実験装置

Auto Thermal Desorption System (ATDS):ATD400 [Perkin Elmer Japan 製]

GC:HP6890 Series [Hewlett Packard 製]

MS:HP5973 Series [Hewlett Packard 製]

実験器具･試薬

10ml メスフラスコ [柴田科学製]

0.5ml ホールピペット [柴田科学製]

1ml ホールピペット [柴田科学製]

25μl マイクロシリンジ [Hamilton 製]

パスツールピペット

Auto Thermal Desorption(ATD)専用ステンレスチューブ [Perkin Elmer Japan 製]

吸着剤:Tenax TA (60/80 mesh) [Enka Research Institute 製]

メタノール(純度 99.8%以上) [関東化学製]

揮発性有機化合物混合標準原液Ⅱ [関東化学製](23 種 VOCs の混合溶液、各 1mg/ml、メタノール溶媒、23 種の VOCs については本章の章末を参照)

実験方法

10) 揮発性有機化合物混合標準原液Ⅱ(各物質 1mg/ml)を 1ml のホールピペットでとり、メスフラスコで 10ml にメスアップして 100μg/ml の標準溶液とした。

11) 揮発性有機化合物混合標準原液Ⅱ(各物質 1mg/ml)を 0.5ml のホールピペットでとり、メスフラスコで 10ml にメスアップして 50μg/ml の標準溶液とした。

12) 100μg/ml の標準溶液を 1ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、10μg/ml の標準溶液とした。

13) 50μg/ml の標準溶液を 1ml のホールピペットでとって 10ml にメスアップし、5μg/ml の標準溶液とした。

14) マイクロシリンジで各標準溶液を 10μl ずつとり、それぞれ吸着剤を充填した ATD 専用チューブ(コンディショニング済み)に導入した。溶媒であるメタノールのみを 10μl 導入したものをブランクとした。ブランクのサンプル数は 3 とした。

15) 検量線用のチューブとサンプリング用のチューブを ATD-400 にセットし、SIM モードで分析を行った。

6.2.6 分析結果および考察

トラベルブランクによる補正を行った上で定量できた物質は、Trichloroethylene、Toluene であった。これらの捕集量を以下の表 1 に示す。

表 1 各 VOCs の捕集量 [ng]

サンプリング時間 [h]	1.2	1.3	3.2	3.4	5.3	5.4
物質名						
Trichloroethylene	2.9	4.0	5.2	3.8	2.5	3.0
Toluene	N.D.<60	107	234	126	241	N.D.<60

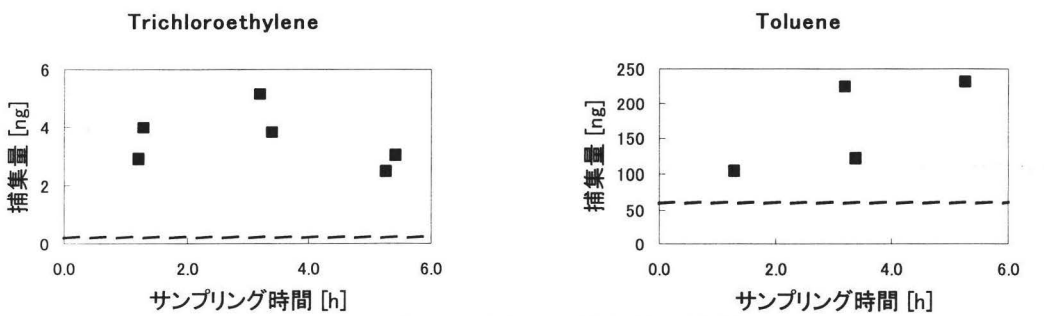


図 2 サンプリング時間と捕集量の関係

それぞれのサンプリング時間と捕集量の関係を図 2 にプロットした。破線は定量下限値である。これを見ると、捕集量はサンプリング時間に比例していない。この原因としては、第 1 に建材の不均一性が考えられる。接着剤が全面に均一に塗布されていないために放散量がばらつく、という可能性は十分にありうる。

第 2 の原因として、吸着剤表面の濃度がすでに無視できないほど高くなっていたという可能性が考えられる。すなわち、5 時間以内のサンプリングで、吸着剤表面の VOCs 濃度は合板表面の VOCs 濃度に近くなっていたという可能性である。

今回の実験においては上記のどちらの可能性も否定できない。もしも仮に合板の同一箇所における放散量が数日といった単位では変化しないことが分かったとする。そして、そのような範囲内でサンプリング時間を変えて同一地点においてサンプリングを行い、サンプリング時間に捕集量が比例していることが示せたとする。すると、吸着剤表面の濃度が飽和に近くなっていたという可能性は消え、建材の不均一性だと断言できることになる。

第 3 の原因として、捕集量が少なすぎることによるばらつきの大きさが考えられる。捕集

量が少なくなると測定の再現性も悪くなってしまう。加熱脱着法を用いると定量下限が下がるので、短時間のサンプリングが可能になってくるが、5 時間以内というのは捕集量をみても短すぎたと思われる。購入したシナ共芯合板はそれほど放散量が多くないことがわかったので、次の実験からはサンプリング時間をもう少し長く取るべきだといえる。

6.3 同一材質内の放散量のばらつきを調べるサンプリング

6.3.1 目的

合板のように接着剤によって接着されている板は、同じ材質であってもサンプリング箇所によって各種 VOCs の放散量は異なることが予想される。そこで、さまざまな箇所をサンプリングして放散量のばらつきを求めてみた。

6.3.2 測定対象建材

シナ共芯合板(東急ハンズで購入) 300mm×220mm×6mm

第 2 節で使用したものと構造は同じであるが、違うものである。

6.3.3 サンプラーの作成

以下の使用器具を使い、第 3 章の「サンプラーの詳細」の節に示した手順でサンプラーを作成した。

使用器具

ガラスシャーレ [Fine 製](内径 41mm、深さ 16mm)

テフロン丸棒 [三井デュポンフロロケミカル製] (直径 1.5mm)

BT チューブ (外形 3.17mm、内径 1.59mm)

ステンレスの網 (100 mesh)

Carbotrap B [SUPELCO 製] (20/40 mesh)

6.3.4 サンプリング方法

購入後アルミホイルに包んでおいた合板を開封し、周囲の VOCs 汚染を防ぐために 20 リットルのテフロンバッグに入れて 50℃のインキュベータ内に半日放置しておいた。その後、片面 3 箇所ずつ計 6 面のサンプリングを行った。サンプリング中は 50℃恒温のインキュベータ内にテフロンバッグごと静置し、サンプリング時間は 6 時間とした。

6.3.5 分析

第 4 章で確立した手法に基づいて検量線溶液の作成、ATD-GC/MS による分析を行った。

6.3.6 分析結果および考察

6 箇所の各 VOC の平均フラックスと定量下限値、RSD [%]を次の表 2 に示す。サンプリング中の温度を 50℃に設定したことで、放散量が多くなっている。

表 2 を見ると、物質によってフラックスのばらつきは大分異なるが、Ethylbenzene と

m-Xylene 以外で定量できたものに関しては、RSD がどれも 30%を大きく超えている。今回の実験では捕集量が定量下限値よりも大分多いので、ATD-GC/MS の再現性は RSD が 20%程度に収まっていると思われる。したがって、このばらつきの原因は主としてサンプリング箇所の違いによるものだと思われる。

表 2　各物質の平均フラックスと RSD

物質名	平均放散フラックス [μg/m²/h]	定量下限値	RSD [%]
Benzene	7.7	1.9	68
Toluene	680	117	58
Ethylbenzene	615	1.5	17
m-Xylene	915	1.5	14
Styrene	288	13.6	46
Bromobenzene	N.D.	1.5	-
1,3,5-Trimethylbenzene	218	1.5	102
1,2,4-Trimethylbenzene	561	1.5	41
p-Cymene	166	1.5	85
n-Butylbenzene	N.D.	1.5	-
1,2,4-Trichlorobenzene	N.D.	1.5	-
Naphthalene	25.1	1.5	39
1,2,3-Trichlorobenzene	N.D.	1.5	-

6.4　同一箇所でのサンプリング

6.4.1　目的

市販されている合板を用いてサンプリングする場合、経時的な放散量の変化を把握しておく必要がある。同一地点で数日の間サンプリングをする間、フラックスはほぼ一定とみなせるのか、経時的に無視できないほどの速さで減少していくのかを調べる。

6.4.2　測定対象建材

第 2 節と同じシナ共芯合板(東急ハンズで購入)　300mm×220mm×4mm

6.4.3　サンプラーの作成

以下の使用器具を使い、第 3 章の「サンプラーの詳細」の節に示した手順でサンプラーを作成した。

使用器具

ガラスシャーレ [Fine 製](内径 41mm、深さ 16mm)

テフロン丸棒 [三井デュポンフロロケミカル製] (直径 1.5mm)

BT チューブ　(外形 3.17mm、内径 1.59mm)

ステンレスの網 (100 mesh)
Carbotrap B [SUPELCO 製] (20/40 mesh)

6.4.4 サンプリング方法

購入した際の袋に入れて実験室内で保管していた合板を 20 リットルのテフロンバッグ内に入れ、50℃のインキュベータ内で半日放置する。サンプリングする場所は 1 箇所に限定し、ここで連続的にサンプリングを行っていった。インキュベータの温度を 50℃に設定したのは、購入日から 3 ヶ月あまり経過しており、またアルミホイルで包んで保存していなかったため、合板からの VOCs の放散量はかなり減っていると考えたからである。5 時間のサンプリングを行った。サンプル数は 4 本である。

6.4.5 分析

第 4 章で確立した手法に基づいて検量線溶液の作成、ATD-GC/MS による分析を行った。

6.4.6 分析結果および考察

4 本のサンプルの平均フラックスおよび定量下限値、RSD を以下の表 3 に示す。参考のために、表 3 の最右列に第 3 節の異なる箇所のサンプリングにおける RSD を載せた。

表 3 の 2 つの RSD を比べると、明らかに同一箇所でサンプリングを行った方がフラックスのばらつきが減少している。同一箇所において 2 日間に渡ってサンプリングを行ったわけだが、RSD はおおむね 20%程度となった。これは ATD-GC/MS 系の再現性の RSD と同程度であるので、数日といったオーダーではこの共芯シナ合板のフラックスは変化しないとみなしても問題はないといえる。Benzene や Toluene、p-Cymene は RSD が若干高めであるが、Toluene に関してはコンタミネーションが原因だと思われる。Benzene と p-Cymene に関しては、そもそも余り建材から放散されていないのでこのようにばらつきが大きくなったと思われる。

表 3 同一箇所のサンプリング結果

物質名	平均フラックス [μg/m²/h]	定量下限値	同一箇所 RSD [%]	異なる箇所 RSD
Benzene	6.8	1.5	39	68
Toluene	478	9.0	40	58
Ethylbenzene	45.0	0.8	13	17
m-Xylene	67.3	0.3	12	14
Styrene	32.3	1.7	14	46
Bromobenzene	N.D.	3.3	-	-
1,3,5-Trimethylbenzene	8.1	2.2	31	102
1,2,4-Trimethylbenzene	32.8	2.5	22	41

p-Cymene	7.0	4.3	35	85
n-Butylbenzene	N.D.	5.3	-	-
1,2,4-Trichlorobenzene	N.D.	1.5	-	-
Naphthalene	7.1	0.8	23	39
1,2,3-Trichlorobenzene	N.D.	1.5	-	-

6.5　中間まとめ

合板を用いてサンプリングを行う場合は、サンプリング箇所が違うと VOCs の放散量はかなり異なることが分かった。また、数日といったオーダーでは経時変化は無視できるほど少なく、放散量はほぼ一定とみなして問題はないといえる。したがって、サンプリング時間を変える、ないし気相拡散距離を変えてサンプリングを行う場合には、同一箇所で連続的にサンプリングを行い、かつサンプリング期間は数日間に収めるべきであると結論付けられた。

6.6　気相拡散距離を変えたサンプリング

6.6.1　目的

一般室内における壁面のガス境膜厚さといわれている 10mm 前後の範囲でサンプラーの気相拡散距離を変化させた場合に、VOCs のフラックスはどのように変化するのかを調べる。

6.6.2　測定対象建材

第 2 節と同じシナ共芯合板(東急ハンズで購入)　300mm×220mm×4mm

6.6.3　サンプラーの作成

使用器具

ガラスシャーレ [Fine 製](内径 41mm、深さ 16mm)
テフロン丸棒 [三井デュポンフロロケミカル製] (直径 1.5mm)
BT チューブ　(外形 3.17mm、内径 1.59mm)
ステンレスの網　(100 mesh)
Carbotrap B [SUPELCO 製]　(20/40 mesh)
テフロンディスク(直径 40.8mm、厚さ 4mm)

以上の使用器具を使い、第 3 章の「サンプラーの詳細」の節に示した手順でサンプラーを作成した。気相拡散距離を変える際には、テフロンディスクを任意の枚数だけシャーレの底に敷いた。

6.6.4　サンプリング方法

第 5 節の中間まとめに基づいて、合板のある特定の 1 箇所でサンプリングを行った。

実験 1

購入した際の袋に入れて実験室内で保管していた合板を 20℃のインキュベータ内で半日

放置した。気相拡散距離を 15、7、11mm と変化させて、それぞれ 6 時間のサンプリングを行った。15mm のサンプル数は 2 で、残りの気相拡散距離については 1 である。

実験 2

実験 1 の 10 日後に、テフロンバッグに入れて実験室内で保管していた合板を 20℃のインキュベータ内で半日放置した。気相拡散距離を 11、4mm と変化させて 6 時間のサンプリングを行った。11mm のサンプル数は 1 で、4mm のサンプル数は 3 である。

実験 3

実験 2 の 1 ヵ月後に、テフロンバッグに入れて実験室内で保管していた合板を 50℃のインキュベータ内で半日放置した。気相拡散距離を 15mm、7mm と変化させて、それぞれ 5 時間のサンプリングを行った。15mm のサンプル数は 3 で、7mm のサンプル数は 1 である。

6.6.5 分析

第 4 章で確立した手法に基づいて検量線溶液の作成を行い、ATD-GC/MS による分析を行った。

6.6.6 分析結果および考察

13 種の VOCs のうち、Bromobenzene、n-Butylbenzene、1,2,4-Trichlorobenzene、1,2,3-Trichlorobenzene 以外の物質が定量された。分析結果の一部を図 3 に示す。サンプル数が 3 のものは標準偏差をつけてある。また、サンプル数が 2 のものは平均値である。

ATD-GC/MS の再現性の RSD が 20%程度であることを考えると、どの実験に関しても各物質のフラックスは気相拡散距離の逆数によらず一定とみなせる。このような結果をもたらす可能性として、まず第 1 に今回の実験のサンプリング時間では、既に吸着剤表面の VOCs 濃度が建材表面と比べて無視できないほど高くなっていて、飽和状態に近くなっていたことが挙げられる。しかし、気相拡散距離を変える実験の途中でサンプリング時間を変えてサンプリングをした結果、サンプリング時間にほぼ比例して捕集量は増えているので、この可能性はかなり低いといえる。参考のために、実験 2 において気相拡散距離が 4 mm のサンプラーを用いてサンプリング時間を変えて捕集した結果を図 4 示す。サンプリング時間を 2 点しか変えていないので、捕集量がサンプリング時間に比例していると強くいえないが、どの実験においても捕集量はサンプリング時間に比例して増えるような傾向があったので、問題はないと思われる。

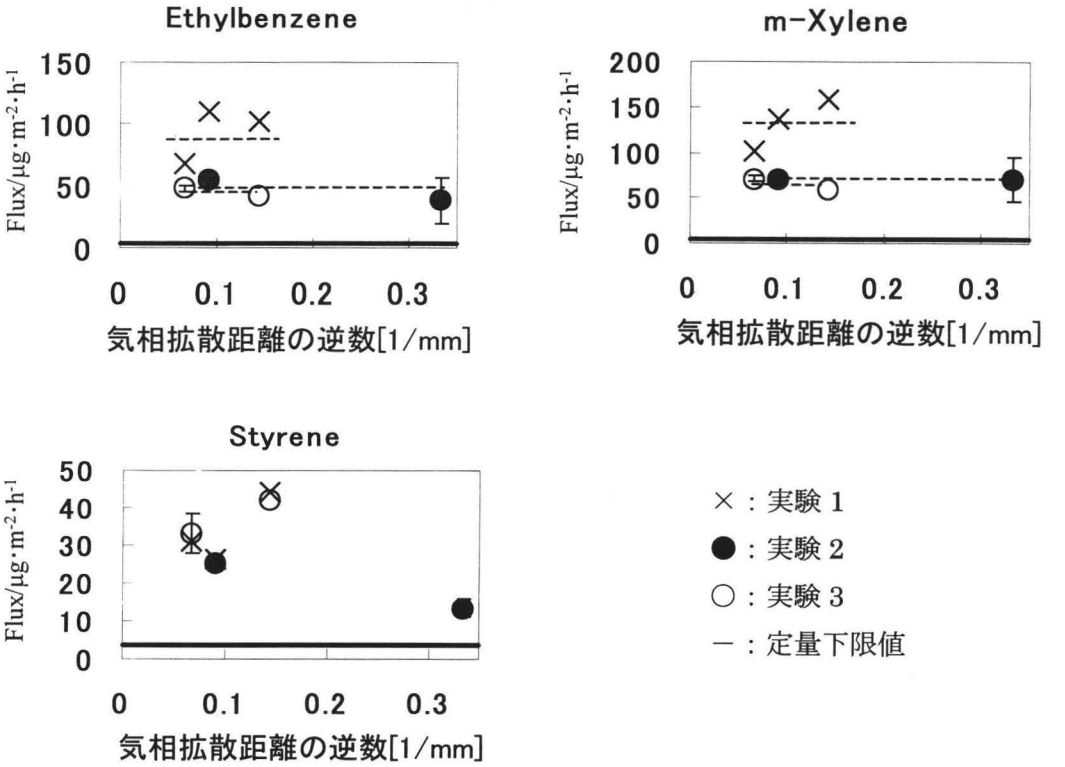


図 3　気相拡散距離とフラックスの関係

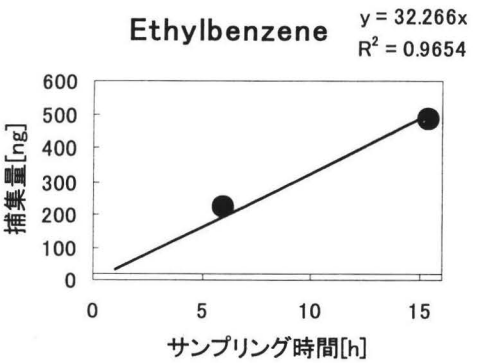


図 4　サンプリング時間
と捕集量の関係

第 2 の要因として、サンプラー内部で対流が起こっていた可能性が考えられる。本研究で用いているのと同じ形状のパッシブサンプラーを用いて可塑剤中のフタル酸エステルの放散フラックスを測定した大竹[3]の研究によると、可塑剤については図 5 のようにフラックスが気相拡散距離の逆数に比例している。すなわちフィックの法則が成り立っているので、サンプラー内では対流は起こっていないといえる。したがって、本研究で用いているサンプラー内部でも対流は起こっていないと考えられ、この可能性もきわめて低いといえる。

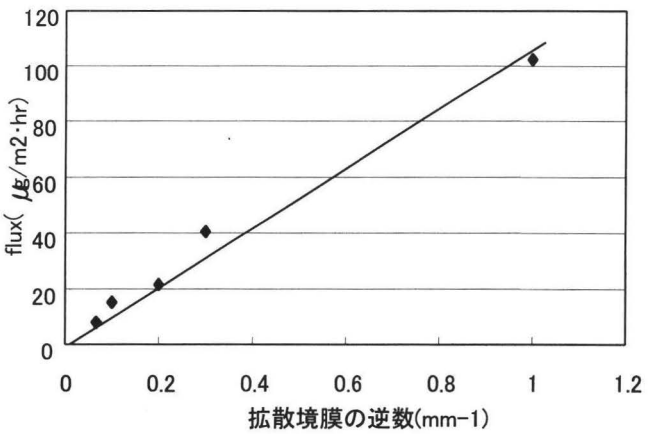


図 5　気相拡散距離とフラックスの関係(可塑剤の場合)

最後の可能性として、今回の実験で変化させたような気相拡散距離の範囲では建材内部の拡散が律速になっている、ということが挙げられる。フラックスが一定になった原因が上述の 2 点によるものである可能性は低いので、この可能性が最も高く、かつ妥当な解釈だと思われる。

VOCs の蒸気圧はフタル酸エステルのような SVOC よりも蒸気圧が高く、かつシナ共芯合板自体の VOCs 含有量が少なかったために、建材表面の VOCs 濃度は気相拡散距離に応じて変化し、最大表面濃度に到達しにくかったのだと思われる。逆に、フタル酸エステルはビニルクロスなどの表面には多量に存在し、蒸気圧も VOCs に比べると低いので、サンプラー内部の拡散が律速となり、建材表面はほぼ最大表面濃度になっていると思われる。

6.7　まとめ

実験に用いたシナ共芯合板では、気相拡散距離を 10±5mm の範囲で変化させても放散される VOCs のフラックスは一定であった。これは合板内部の VOCs の拡散が律速になっているためだと考えられる。

一般室内環境中の壁面のガス境膜厚さが 10~20mm 程度であることを考えると、この気相拡散距離の範囲では 1 点をサンプリングするだけで放散フラックスを代表できると思われる。

参考文献

[6.1] 神谷勇樹（2001）「Development of Passive Sampler to Measure VOCs Emission Rate from Household Materials」、東京大学卒業論文

[6.2] 飯塚淳（2001）「VOCs への個人被曝量測定に関する研究」、東京大学卒業論文
[6.3] 大竹貴光（2001）「可塑剤起源の有機酸エステル類による室内空気汚染に関する研究」、東京大学修士論文

章末付録

揮発性有機化合物混合標準原液Ⅱ［関東科学製]含有成分

1,1-Dichloroethylene	cis-1,3-Dichloropropene
Dichloromethane	Toluene
trans-1,2-Dichloroethylene	trans-1,3-Dichloropropene
cis-1,2-Dichloroethylene	1,1,2-Trichloroethane
Chloroform	Tetrachloroethylene
1,1,1-Trichloroethane	Dibromochloromethane
Carbon Tetrachloride	m-Xylene
1,2-Dichloroethane	p-Xylene
Benzene	o-Xylene
Trichloroethylene	Bromoform
1,2-Dichloropropane	p-Dichlorobenzene
Bromodichloromethane	

23 種 VOCs の濃度:各 1mg/ml、メタノール溶媒

7. 新築家屋の調査

7.1 緒言

実際の家屋を調査することによって本研究で開発したパッシブサンプラーの有用性や、問題点が浮かび上がってくると思われる。また、具体的にどの素材からどのような VOCs が放散されているのかも定量することができる。したがって、家屋のサンプリングを行う意義は十分にあるといえる。

7.2 目的

本研究で開発したパッシブサンプラーの有用性と問題点の把握、および汚染源の特定を目的として家屋のサンプリングを行った。

7.3 測定対象家屋

今回測定対象とした家屋は、京都の住宅展示場にある築 1 ヶ月程度の家屋である。住宅展示場の営業の人から化学物質臭が強いという苦情が寄せられたため、サンプリングをすることにした。測定日は 2002 年 1 月下旬である。天気は晴れであった。

7.4 使用したサンプラーの様式

第 6 章では、室内の境膜厚さといわれている 10 から 20mm の範囲でサンプラーの気相拡散距離を変化させても合板からの放散 Flux は一定であった。すなわち、この範囲では合板内部の拡散のほうが律速になっていると思われる。この特性は他の建材についても当てはまるとみなし、今回の家屋の調査では気相拡散距離を変えずにサンプリングを行い、そこから算出される Flux が通常のガス境膜の範囲では放散されているとして不都合はないと判断した。気相拡散距離を変えて実験をする場合は同一地点でサンプリングをしなくてはいけないので、各種発生源をできるだけ多くサンプリングするという観点からは損をすることになる。今回、気相拡散距離を変えないことによってサンプラーの設置場所数を多くすることができたわけである。

気相拡散距離は変えないことにしたので、どのサンプラーも基本的にガラスシャーレに吸着剤を敷き詰めた構造をしている。天井と床用のサンプラーは吸着剤表面にステンレスの網を敷き詰めたものとした。壁用のサンプラーについては、事前に実験室で天井および床用と同じ様式のものを設置したところ、吸着剤の分布が下半分に偏ってしまった。これではサンプラー内部での分子拡散に変化が生じてしまい、Flux を算出する際に補正をする必要性が出てくる。そこで、なるべくシャーレの底一面に均等に吸着剤が分布するように、図 1 のようにシャーレの底自身にも落下防止の摩擦となるようにステンレスの網を敷いた。

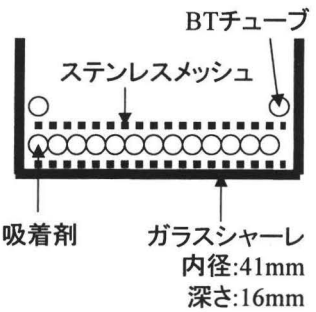


図 1　壁用のサンプラーの断面

7.5　サンプラーの作成、運搬

使用器具

ガラスシャーレ [Fine 製](内径 41mm、深さ 16mm)
テフロン丸棒 [三井デュポンフロロケミカル製] (直径 1.5mm)
BT チューブ　(外形 3.17mm、内径 1.59mm)
ステンレスの網　(100 mesh)
Carbotrap B [SUPELCO 製]　(20/40 mesh)

これらのうち、吸着剤以外のものはサンプリングの前日までに洗浄をすませ、80℃の恒温槽で乾燥させておいたものを用い、吸着剤は第 4 章で述べた条件でコンディショニングを済ませたものを使用した。

サンプリングの前日中に大学内の居室で吸着剤などを敷き詰めてサンプラーを作成しておき、ステンレスシャーレで蓋をした後、それぞれをアルミホイルで覆っておいた。この状態でサンプリング当日はサンプリング場所に向かい、サンプリングする場所で開封、設置を速やかに行った。

サンプリングが終了した後は速やかにサンプリング場所からサンプラーを取り外し、ステンレス製のシャーレで蓋をした後、それぞれをアルミホイルで覆って大学内の居室まで持ち

帰った。その後 ATD 専用のステンレスチューブに移した。

7.6 サンプリング

サンプラー設置場所

測定対象の家屋は建築面積 49 坪の 2 階建てで、サンプリング場所の候補としては洋室、和室、風呂場、トイレ、廊下、玄関など実にさまざまな場所が想定された。サンプラーの個数はブランク用の物も含めて 13 個と数に限りがあったこと、および第 6 章の合板を用いたサンプリングで分かった通り、同じ素材でも設置場所によって放散量が異なるという事情を考慮すると、できるだけ多くの素材をサンプリングすると同時に素材内のばらつきも把握した方がよいと思われる。以上の観点からサンプリング場所は洋室と和室という様式、内装がだいぶ異なる 2 つの部屋に限定し、その中でできるだけ多くの発生源をサンプリングすることにした。

具体的なサンプリング場所を次の表 1 にまとめた。表 1 において、サンプラー設置数が 2 以上のものは、同じ材質で異なる場所をその数だけサンプリングしたことを示す。また、トラベルブランクとは、測定対象であった和室において換気を行った後に開封してステンレスシャーレの蓋をはずし、すぐに閉めて蓋をセロハンテープで止め、再びアルミホイルで覆った状態で和室に静置しておいたサンプラーのことを指す。

表 1　家屋におけるサンプリング場所（計 13 箇所）

サンプリング場所	洋室		和室		台所			トラベルブランク
	天井	壁	畳	入洛	食器棚の棚板	食器棚の扉	床	
サンプラー設置数	3	3	1	2	1	1	1	1

方法

部屋の窓、引出しの棚、クローゼット、扉、廊下の窓などをすべて開け放ったまま 30 分ほど換気を行った。その後サンプラーを各発生源に設置した。サンプラーの設置場所への固定にはセロハンテープを用いた。すべてのサンプラーを設置完了後、換気のために開け放ったすべての箇所を閉め、サンプリング終了まではその状態を保った。ただし、途中のサンプラーの回収や見回りのための人の出入りは例外である。

実験室で合板のサンプリングを行っていた際には、インキュベータを使って温度を一定に保っていたが、実際の家屋における調査では室内の温度のコントロールは難しい。今回のサンプリングでは、和室は空調設備を何も稼動させない状態でサンプリングを行った。室内の気温は 13℃前後であった。一方、洋室と台所については、自動的に天井のエアコンが作動しており、設定温度は 23℃であった。

サンプリング時間

購入した合板をサンプリングした実験ではサンプリング時間を5時間から15時間程度の範囲に設定して特に問題なく定量出来ていた。捕集量が多すぎると吸着剤表面における濃度が0 と近似できなくなって算出したフラックスが過小評価につながる可能性があるが、合板を用いたサンプリングにおいて上述のサンプリング時間の範囲で吸着量はサンプリング時間に比例して増えていた。そこで、サンプリング時間を長くすることによって吸着剤の VOCs 捕集上限を超えてしまう危険性よりも、サンプリング時間を短くすることによる捕集量のばらつきの方が問題になると判断し、日帰りのサンプリングスケジュールの中で可能な限りサンプリング時間は長くすることにした。

以上の考えに基づいて、サンプリング時間は約 8 時間とした。

7.7 分析

サンプルを分析する際、GC/MS で分析する際には SCAN モードと SIM モードが存在する。加熱脱着においては 1 つのサンプルで 1 回しか分析が出来ないので、どちらのモードで分析するのかしっかり検討する必要がある。

第 4 章の SIM モードでの測定条件の節で述べた通り、SCAN モードは本研究が測定対象としている 13 種類の VOCs 以外の物質も定性出来るが、感度が悪くなると同時に、その物質の標準溶液がないので定量は既知の物質に換算して提示することになる。一方 SIM モードでは、13 種類の VOCs しか定性、定量できない代わりに、感度がよくなって微量分析が可能となる。

実際の家屋でサンプリングをしたのは今回が初めてで、おそらくこのようなチャンスはもうないということを考えると、SCAN モードで実際にどんな物質が放散されているかを把握してみたいとも思った。しかし、今回の家屋調査の目的は「サンプラーの有用性、問題点の把握」と「汚染源の特定」なので、感度が低くなってほとんどの物質について定量できなくなるという結果は避けるべきだと考えた。サンプルのうちの数個を SCAN で分析することも考えたが、表 1 に示した通りサンプル数およびサンプリング場所が限定されている関係でどのサンプルも貴重である。そこで、全サンプルを SIM モードで分析することにした。

第 4 章に書いた要領で検量線を作成し、検量線のチューブと家屋の測定に使ったサンプルのチューブを加熱脱着装置 ATD-400 にかけ、連続分析を行った。

7.8 分析結果および考察

測定対象としている 13 種類の VOCs について分析を行って捕集量を求めた。サンプリング時間は各サンプラーによって少しずつ違っているので、フラックスとしてトラベルブランクで補正した定量結果を次の表 2 および 3 に示す。

表 2 および 3 を見ると、接着剤や塗料、断熱材に含まれている Ethylbenzene や m-Xylene、Styrene、Trimethylbenzene といった VOCs が検出、定量されていることが分かる。測定した室内の完全混合、換気回数 0.5 回/h を仮定し、実験結果のフラックスを室内濃度に換算すると、厚生労働省が平成 10 年度に実際の数百戸の家屋を対象として行った室内濃度調査結果

の平均値から余りにも外れた値にはならないので、この分析結果は妥当だと思われる。Toluene は主として接着剤に含まれている VOC であるが、実験室のコンタミネーションが大きいために定量できなかった。

今回サンプリングした箇所の中では、洋室の天井と壁のクロスのフラックスがどの物質に関してもおおむね多かった。放散面積も考慮に入れると、サンプリングした室内において影響の大きい汚染源であるといえる。パッシブサンプリングをしている間、室内の VOCs 濃度を把握する目的でアクティブサンプリングも行っていた。アクティブサンプリングによる各物質間の濃度の比が、例えば天井をパッシブサンプリングによる各物質間のフラックスの比と似ていた場合、天井がその部屋の主たる発生源であると特定することができる。現段階ではまだアクティブサンプリングの分析結果が出ていないので、このように断定することはできず、より強い発生源の存在も否定できない。

化学畳にはスチレンが含まれているが、今回のサンプリングでも畳からスチレンが検出、定量されている。ここからも、この分析結果の妥当性が伺える。

洋室と和室のフラックスの大小には、VOCs の各種発生源中の含有量の違いが影響していると思われる。それと同時に、室内の温度の影響も無視できない。放散量は室内、建材自体の温度に依存しているはずなので、今回のフラックスから洋室と和室の比較をするのには限界があるといえる。

洋室の天井と壁についてはどちらも 3 点ずつサンプリングをしたわけだが、ビニールクロスのフラックスの RSD は 20%前後に収まっているのに対し、布クロスのフラックスの RSD は 70%を超えている。放散量がサンプリング箇所によって大きくばらつく材質もあれば、一定だとみなせる材質もあることが分かった。

表 2　新築家屋の洋室における各発生源の VOCs の放散フラックス[$\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$]

測定場所	天井				壁			
材質	ビニールクロス				布クロス			
物質名	No.1	No.2	No.3	RSD [%]	No.1	No.2	No.3	RSD [%]
Benzene	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.	
Toluene	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.	
Ethylbenzene	2.6	3.8	2.5	24	N.D.	3.2	10	111
m-Xylene	3.1	3.9	2.8	18	N.D.	4.7	9.2	86
Styrene	32	39	30	14	21	19	67	76
Bromobenzene	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.	
1,3,5-Trimethylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	2.0	72
1,2,4-Trimethylbenzene	5.8	7.7	5.5	19	2.6	3.6	12	87
p-Cymene	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.	
n-Butylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.	
1,2,4-Trichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.		N.D.	N.D.	N.D.	

Naphthalene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1,2,3-Trichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

注：表2において、N.D.とは表3の最右列に示した定量下限未満であることを示す。

表3　新築家屋の和室および台所における各発生源のVOCs放散フラックス[$\mu g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$]

測定場所	和室			台所				
	入洛		畳	食器棚:棚板	食器棚:扉	床		
材質 / 物質名	木粉・土等 No.1	No.2	化学畳	塩ビシート	コーティング済み塩ビシート	フローリング	注	
Benzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.<	3.7
Toluene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.<	13
Ethylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	1.0	4.2	N.D.	N.D.<	0.5
m-Xylene	N.D.	N.D.	N.D.	2.5	6.0	N.D.	N.D.<	1.6
Styrene	N.D.	3.2	8.0	11	3.9	4.4	N.D.<	1.8
Bromobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.<	1.1
1,3,5-Trimethylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	1.8	N.D.	N.D.	N.D.<	1.3
1,2,4-Trimethylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	14	6.0	5.2	N.D.<	2.1
p-Cymene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.<	1.7
n-Butylbenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.<	2.1
1,2,4-Trichlorobenzene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.<	1.1
Naphthalene	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.<	0.9
1,2,3-Trichlorobenzen	N.D	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.

e	< 1

注：表3において、N.D.とは表3の最右列に示した定量下限未満であることを示す。

7.9 まとめ

7.9.1 パッシブサンプラーの有用性

今回の測定において、作成したパッシブサンプラーはその形状によって測定場所が限定されることはなかった。軽量であるために床のみならず天井や壁のサンプリングにおいてもセロハンテープのみでしっかりと固定することが出来た。動力を必要としないこと、およびサンプラーが軽量であることは、サンプラーの運搬の際にも大きな利点として浮かび上がってきた。

作成したパッシブサンプラーは本研究で課した小型、軽量、どこでも測定可能という条件を満たしており、実際の家屋の調査にも適していることが確認できた。

7.9.2 パッシブサンプラーの問題点

本研究で用いている吸着剤は粒子状なので、シャーレの底に固定するためにステンレス製の網を用いた。床や壁のような場所をサンプリングする際にはステンレス網による吸着剤流出防止効果の有効性が問題になってくる。床のサンプリングの際には、吸着剤はシャーレの底に均一に広がったままで、網から漏出する吸着剤の量も少なく、問題なくサンプリングを行えた。

壁のサンプリングにおいては、第4節で述べた通りシャーレの底にも網を敷いたわけだが、それでも吸着剤はやや下半分寄りになっており、改良の余地があると思われる。ステンレスの網による固定をもっときっちり行えばこの問題は解決されるだろう。しかし、Carbotrap Bという吸着剤は非常にもろく、圧力がかかりすぎると粉々になってしまうためにこの手法は取れなかった。

サンプラーがガラス製であることについては、一長一短であると思われる。ガラスは熱容量が大きいので、手でサンプラーを設置するといった作業によるサンプラー内部の温度変化を少なくすることが出来る。また、同様の理由で日中の気温の変動によるサンプラー内部の温度変化も少なくすることが出来る。その一方で、破損しやすいという欠点もある。サンプラーの材質については検討が必要だと思われる。

7.9.3 測定結果から分かったこと

実際に家屋を調査する際には、室内の温度の影響を無視できない。部屋ごとのフラックスを比較して議論をするには、空調設備を利用してサンプリング中の温度変化をできるだけ抑え、かつ部屋間の温度差を少なくする、といった工夫が必要である。別な解決法としては、実験室レベルで温度を変えたサンプリングを行って温度特性を把握しておく、というものが挙げられる。

全ての発生源を有限なサンプラー数で網羅することは不可能である。サンプリングをする際は影響が大きいと予想される各種発生源をサンプリングするわけであるが、汚染源の特定

のためには室内濃度をサンプリングする必要もあるといえる。濃度のサンプリングについては、アクティブ、パッシブのどちらも各種サンプラーが市販されているので、それを用いればよいだろう。

サンプリング箇所によって大きく放散量がばらつく発生源もあれば、ほぼ一定にものもあった。実験室レベルで室内に使われている代表的な材質のサンプリングを行い、ばらつきの度合い等を把握しておくのが望ましいと思われる。

8. 結言

8.1 結言

近年、室内化学物質汚染の問題が顕在化してきている。この問題に対処するべく、パッシブサンプリング法を用いたVOCsの放散フラックス測定装置の開発を目的として研究を行った。

サンプラーで捕集したVOCsの回収方法には、溶媒抽出法と加熱脱着法の2つがあるのだが、本研究では、加熱脱着法を選択することにより、サンプリング時間を12時間程度に収めることができ、かつ十分 VOCs の濃度が低い領域でも定量ができることに注目し、ATD-GC/MS という装置系で分析することにした。ATD-GC/MS の再現性は RSD が 20%程度で、検量線の精度にも問題はなく、室内環境中の VOCs を分析する上で優れた分析方法であることが示された。

通常の室内のガス境膜厚さといわれている 10mm から 20mm の範囲で気相拡散距離を変えて合板のサンプリングを行ったが、フラックスに変化は見られなかった。作成したパッシブサンプラーの内部では対流は起こっていないと思われるので、気相拡散距離を変えてもフラックスがほぼ一定だったのは建材内部の拡散の方が律速になっているからだと思われる。したがって、家屋の調査を行う際には、10mm から 20mm の範囲である一点に気相拡散距離を限定してサンプリングをしても問題はないと結論付けられた。

上記の結論をもとに、実際の家屋の調査に当たっては気相拡散距離を 15mm に限定してサンプリングを行った。開発したパッシブサンプラーは小型で軽量であるため、設置場所が限定されることはなく、実際の家屋の調査に適していることが示された。また、安価であるために複数箇所のサンプリングが気軽にでき、この点でも有用性が高いといえる。8 時間という短時間のサンプリングで各種建材から放散されている VOCs の定量ができ、影響の大きい発生源を推察することができた。

本研究では、実験室レベルでのフラックス測定のみならず、実際の家屋の調査にも適したパッシブサンプラーを作成した。加えて、発生源の特性を把握するためのサンプリングと実際の家屋におけるサンプリングの方針を固めた。

8.2 展望、今後の課題

サンプラーの材質、吸着剤に関しては若干の問題が残った。ガラスは吸着剤が一面に均一に分布しているか、網が確実に固定されているかなど、サンプラー内部を目視で明確に把握

できるという点ではよかったが、破損の問題を考えると実際の家屋の調査にはやや不適切だといえる。吸着剤に関しては、測定対象物質の確実な捕集、加熱による速やかな脱着という観点ではCarbotrap Bに特に問題はないのだが、もろいためにATD専用チューブとサンプラー間の吸着剤の移し変えには不向きであった。また、壁のサンプリングにおいては、吸着剤がサンプリング面の下半分に偏りがちになるという問題点が浮かび上がった。そのため、吸着剤の変更、サンプラーサイズの減少、吸着剤の増量、もしくは解析の際にフラックスを補正するといった何らかの工夫が必要である。

パッシブサンプラーで測ったフラックスが室内環境中における実際のフラックスを表しているかどうかは本研究では示せなかった。理由は以下によるものである。まず、サンプリングの際は市販の建材を用いていたので、建材表面のVOCs濃度は未知であった。かつ、気相拡散距離を変えてもサンプラー内の拡散が律速の領域ではなかったので、サンプラー内の拡散係数を算出することができず、文献値と比較することができなかった。表面のVOCs濃度が既知の発生源（「擬似建材」と呼べるようなもの）を作成し、そのサンプリングをすることが必要だと思われる。サンプラーの定量上限も擬似建材のサンプリングを行えば明らかにすることが出来るだろう。現段階では、既存のチャンバー法やFLECによって得られるフラックスも室内環境中の真のフラックスだとはいえていない状況で、パッシブサンプラーもこの問題に関しては他のフラックス測定装置と同レベルである。

室内で一般によく使われている合板や、フローリングの板、ビニールクロスや布クロスなど代表的な素材に関しては、実験室レベルで気相拡散距離を変えてサンプリングを行うことにより、フラックスと気相拡散距離の逆数の関係から一般の室内環境における発生源の特性を素材ごとに把握しておくことが望ましいと思われる。こうすると実際の家屋の調査においてより的確なサンプリングが出来るだろう。

実際の発生源は多かれ少なかれサンプリング箇所によって放散量は異なっている。そこで、複数箇所をサンプリングして平均するといった工夫が必要になるわけであるが、サンプリング箇所を変えてサンプリングを行ったデータを集積すれば、そのばらつきから統計学的に代表フラックスを見積もるのに必要なサンプリング数を求めることが出来る。実験室レベルで代表的な素材ごとに放散面積あたりの必要サンプリング数を把握しておけば、実際の家屋の調査においてより的確なサンプリングが可能になるので有意義だといえる。

今後、上述のような基礎データを収集していくことで、素材ごとに特性を把握し、適当な気相拡散距離でサンプリングを行うことによって室内濃度シミュレーションが可能になるだろう。

9. 研究発表の実績及び予定

藤井　実, 今田智勝, 村瀬陽子, 柳澤幸雄, 室内化学物質濃度の予測・制御への化学工学的アプローチ, 平成13年度室内環境学会総会, 北とぴあ（東京）, 2001年12月

飯塚　淳, 篠原直秀, 藤井　実, 吉永　淳, 柳沢幸雄, VOCsへの個人被曝量の短時間測定に関する研究, 平成13年度室内環境学会総会, 北とぴあ（東京）, 2001年12月

村瀬陽子, 神谷勇樹, 篠原直秀, 熊谷一清, 藤井　実, 柳沢幸雄, VOCsの放散フラックス測定用簡易パッシブサンプラーの開発, 平成13年度室内環境学会総会, 北とぴあ(東京), 2001年12月

篠原直秀, 藤井　実, 柳沢幸雄, 建材からのカルボニル類のFlux簡易測定器の開発, 平成13年度室内環境学会総会, 北とぴあ（東京）, 2001年12月

篠原直秀, 藤井　実, 柳沢幸雄, Passive型Flux測定器を用いた室内化学物質発生メカニズムの解明, 化学工学会第67回年会, 福岡工業大学（福岡）, 2002年3月

Minoru Fujii, Naohide Shinohara, Alex Lim Sze Siew and Yukio Yanagisawa, Emission of organic acid esters into indoor, Indoor Air 2002 (The 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate), Monterey, California, June 30 – July 5, 2002, Proceedings pp955-960

藤井　実, 熊谷一清, 篠原直秀, 義之信司, 柳沢幸雄, フタル酸エステル類の室内放散に関する研究, 2002年度日本建築学会大会, 金沢工業大学（石川）, 2002年8月

熊谷一清, 藤井　実, 篠原直秀, 義之信司, 柳沢幸雄, パッシブ型放散量測定装置の開発, 2002年度日本建築学会大会, 金沢工業大学（石川）, 2002年8月

熊谷一清, 建材からの放散フラックス測定用パッシブサンプラー, 第6回分析化学東京シンポジウム2002機器分析東京討論会, 幕張メッセ（千葉）, 2002年9月

Kazukiyo Kumagai, Minoru Fujii, Akihiro Yamasaki, Naohide Shinohara and Yukio Yanagisawa, A New Passive Type Sampling Method for VOCs Emission Rate - Passive Flux Sampler for VOCs (PFS-VOCs), Int. J. Indoor Air Environ. Health に投稿準備中

謝辞

長期に渡り本研究に対して御助成、ご支援を頂きました財団法人トステム建材産業振興財団の関係各位に深く感謝の意を表します。

1－10　超高齢社会を考慮したニュータウンの再生手法に関する研究

椙山女学園大学　生活科学部生活環境学科
助教授　村上　心

1. 研究の背景と目的

戦後の大量な住宅不足に対し、集合住宅を中心に計画的な大量供給が行なわれた時期をマスハウジング期と呼ぶが、日本では 1960 年代から 70 年代前半の時期がこれに当たる。この時期に建設された集合住宅は、画一的な住戸プラン、住棟配置や質的な水準の低さから、70 年代後半には多くの先進国で見直しの対象となり、その後各種の方向転換がはかられてきた。しかし、それらの多くが今日も住まわれており、我が国を始めとするほとんどの先進国において住宅ストックの大きな部分を構成している。従って、マスハウジング期に建設された多くの住宅、殊に集合住宅を、今後とも住み続けるに相応しいストックとして、いかに手を加え、再生させるか、その手法を考えることが重要な課題である。特に、市場の約 8 割を新築が占めるという我が国のストック型住宅市場が、約半分を再生市場が占めている欧米的住宅市場へと転換して行くことが予想される中で、再生の内容、計画手法、制度、技術、資金、評価体制などのありようを提示することが今必要である。

本研究では、我が国における集合住宅再生の必要性を前提として、又、欧米日における先進的再生事例の収集による再生手法の類型を基に、①高蔵寺ニュータウン（日本・春日井市）・Bijlmermeer 団地（オランダ）を対象として、数十年という長期に渡る居住地の変容と再生のプロセスを把握し、②再生に関わる主体のインセンティブに着目した再生メカニズム・モデルの適用可能性を検証した上で、③高蔵寺ニュータウンをモデルとして、我が国の集合住宅再生における合意形成をより効率的に行う再生メニューの策定方法の提示を行うことを目的としている。

2. 研究の対象と方法

2.1 対象

本研究は、高蔵寺ニュータウン（日本・春日井市）、Bijlmermeer 団地（オランダ・アムステルダム市）を研究対象として、地域的視点から集合住宅を中心とした再生行為を比較検討・分析している。比較に当たっては、ベッドタウン型のニュータウンであること、建設時期、規模、計画趣旨などの共通点と、文化・法規・制度などの社会的背景、所有者・所有形態・居住者の属性と所得・人種などの均一性、バンダリズム・犯罪・失業などの存

在といった相違点に留意し、再生の条件・プロセスと再生効用・費用負担に関する考察を行った。

2.2 方法

(1) 集合住宅再生に対する住み手意識の抽出（アンケート調査）

アンケート調査の対象としたのは、高蔵寺ニュータウン・公団賃貸住戸：藤山台団地・岩成台西団地・中央台団地・高森台団地の32住棟，公団分譲住戸：藤山台団地・岩成台西団地の24住棟である。対象の選定においては、以下の視点を設定した。①高蔵寺ニュータウンにおいて、最も初期に建設され、同じ住棟形式・仕様を有する賃貸・分譲住棟：藤山台（賃貸)，藤山台（分譲)、②①と異なる立地特性・住棟形式・建設年を有する賃貸住棟：岩成台西・中央台・高森台（賃貸)、③①と異なる住棟形式・建設年を有する分譲住棟：岩成台西（分譲)、である。アンケート調査の実施時期は、賃貸住戸：配布・1999年12月3･4日；回収・1999年12月10･11日，分譲住戸：配布・2000年11月11･12･19･20日；回収・2000年11月19･20日である。留置方式で配布し、訪問方式で回収、不在の場合は郵送による回答返送を依頼した。回収率は、賃貸：32.2%，分譲：54.3%である。

(2) 団地再生プロセスの抽出（実地調査・インタビュー調査・文献調査）

上記日蘭2団地について、集合住宅住棟・住戸、団地内共用部、地域などの再生事例を収集した。高蔵寺ニュータウンについては、都市整備公団、日本総合住生活、各管理組合をインタビュー対象とした。Bijlmermeer団地に関する実地・インタビュー調査は、2001年6月13日～18日にかけて実施した。

3. 集合住宅再生の合意形成の枠組み

3.1 合意形成の枠組み

集合住宅の再生手法は、再生ニーズ・経済的条件・技術的条件等の様々な要因・条件によって選択される（図表1参照)。本研究では、集合住宅の再生における合意形成メカニズムを、合意に関わる主体が再生から得る効用（以下「再生効用」）と、主体の費用負担による非効用の関係に着目することにより記述している。即ち、合意という意思決定は、関連主体P1（住み手)・P2（所有主体)・P3（公共主体）の再生効用が、各々費用負担を上回ることによって成立するとした。更に、再生工事前にその成立を確認するプロセスが合意形成であるとする。再生効用を高める要因・条件としては、不具合程度が大きい・居住ニーズが高い等の項目が挙げられる。又、費用負担を減少させる要因・条件としては、施工技術の向上等による再生コストの減少・家賃補助や低利融資制度による負担の減少等の項目が挙げられる。

3.1　再生内容と関連主体の区分概念

再生効用の大きさを区分する為に「再生性能レベル（R レベル)」という概念を用いている（図表２参照)。又、集合住宅再生に関わる主体（プレイヤー）をP1（住み手)・P2（所有主体)・P3（公共主体)・P4（専門家）に区分し、合意形成に関わる主体の範囲により、「意思決定レベル（D レベル)」という再生内容の区分概念を設定した。

4.　分析内容と結果

4.1　再生効用と費用負担による再生行為の記述

日本の高蔵寺ニュータウンにおいては、ＲⅠ・Ⅱレベルを中心とする補修・改良が行われた。対してオランダの Bijlmermeer 団地においては、高い空室率と犯罪・バンダリズム・麻薬常用の増加を背景として、1983 年にＤⅠレベルを中心とする第１次大規模再生が行われたが、問題は解決に至らず P2(所有主体)の倒産という失敗に終わった。1992 年からは、再生性能レベルＲⅠ～RⅣ･意思決定レベルＤⅠ～DⅣに跨る第２次大規模再生が行われた。高蔵寺ニュータウンの集合住宅再生及び Bijlmermeer 団地の第２次大規模再生という２つの再生行為は、再生後に高い入居率を示していることから成功した再生例であると言える。これらの再生の成立要因に関して P1(住み手)、P2(所有主体)、P3(公共主体)の再生効用と費用負担の関係に着目した記述を行った。

例えば高蔵寺ニュータウンの賃貸集合住宅においては高い入居率を背景として図表 3 に示される費用負担と再生性能レベルの範囲において再生が行われた。この再生から P2(所有主体)は資産価値と市場競争力の保持という再生効用を得た。又、Ｐ１(住み手)は現住戸に対する複数の再生メニューと再生済住戸に対する入居可能性の提示により、再生効用の結果としての居住性能レベルの向上と、費用負担としての家賃上昇を比較した上で、効用が負担を上回る再生行為や賃貸住戸を選択することが可能となった。

又、Bijlmermeer 団地での第２次大規模再生におけるＤⅠ～DⅣ・ＲⅠ～RⅣに亘る再生行為は、Ｐ１(住み手)・Ｐ２(所有主体)・Ｐ３(公共主体)に各々再生効用を与えており、第１次大規模再生の失敗の要因は P1(住み手)の再生ニーズに応じた再生メニューが策定されなかったことにある可能性が高い。

4.2　P1（住み手）間の合意の成立条件に関する検討

意思決定に関わる複数の P1（住み手）が存在しているときには、P1 全体の再生効用の総和は費用負担の総和を上回っていると考えられる場合においても、個々の P1 に着目すると再生効用が費用負担を下回る P1 が存在する可能性が高く、効用が負担を下回る P1 にとっ

ては再生に賛成しないことが合理的行動となる。P1(住み手)の再生合意形成の成立条件として、複数のP1(住み手)の内どの程度の割合が再生に賛成すれば実行すべきであるとP1(住み手)が判断しているかをアンケート調査により明らかにした。

まず、アンケート調査対象の居住者属性を整理した上で、高蔵寺ニュータウンと現在の居住住戸に対するP1(住み手)の満足度を抽出した。賃貸住戸居住者においては、世帯主年齢50歳以上で2割～4割が一生住みたいと考えているが、この割合は世帯主年齢が若くなるにつれて減少し、20歳代・30歳代では約8割が将来戸建住宅へ住み替えたいと考えている。分譲住戸居住者では、全体の半数以上が現在の居住環境に満足しており、特に20歳代は9割以上が肯定的回答を示している。将来転出するとした場合の理由としては老朽化が最も多く部屋数・広さ・間取りの問題が続く。

P1(住み手)のDⅡ(住棟)・DⅢ(団地)レベルの再生に対する合意形成意識については以下の結果が得られた。

賃貸においては、DⅡ(住棟)レベルの再生に対して、「住民の合意は不要」という現状の再生決定上の枠組みを支持しているグループと、再生の計画には「過半数の合意が必要」と考えるグループ、及び、共用部の再生に対しては「全員の合意」の基に再生を計画・実施すべきであるとするグループの大きく分けて3種の意見が存在している。DⅢレベルの再生項目については、「合意必要なし」割合は10数%と低く「100%の合意が必要」とする割合が約30～40%と高い。これは、シェルターとしての外装部位についてはP2(所有者)に決定を委ね、建築物の安全・利便的性質に関わる部位及び団地(DⅡ)レベルに関わる部位についてはなるべく住民の意思を反映したい、という住み手の意思決定に関する傾向を示唆していると考えられる。属性別の回答傾向の特徴をみると、「エレベータ」・「廊下」に関しては「居住階数」が高い程「合意必要なし」割合が増加し、「世帯主年齢が60歳以上」は「合意の必要なし」及び「100%合意」にはっきりと回答が分かれ「無記入」の割合も約40%と他の10%以下に比べて高い、等の傾向がみられた。

分譲においては、DⅡ(住棟)・DⅢ(団地)レベル共に、「51～75%の合意が必要」「76～99%の合意が必要」の2つの回答グループが大半を占める。これは、区分所有法17条1項による「共用部分の変更」に関する3/4以上の議決規定、及び、同法18条1項・39条1項による「共用部分の管理」に関する1/2以上の議決規定の認識に基くものであると考えられる。属性別に回答の傾向をみると、「5～8階居住者」及び「世帯主年齢30歳代以下」において合意が必要と考える割合が総じて高い。「建替え」に関しては、「51～75%必要」割合が10数%、「76～99%必要」割合が約40%、「100%必要」割合が20数%という結果が得られた。区分所有法62条1項における区分所有者及び議決権の4/5以上という規定に対して、「合意緩和」「合意厳格化」の両意見が存在していることが明らかとなった。

4.3　P1(住み手)の属性の違いによる再生効用傾向の抽出

オランダ・Bijlmermeer団地を始めとする欧米団地再生事例より収集した192の再生ボ

キャブラリー項目に関して、再生項目に対するP1（住み手）の居住者属性による再生希望割合の差異に着目して、居住者属性の違いによる再生効用の大きさに関する傾向の抽出を高蔵寺ニュータウンにおいて行った。（図表4・5参照）

賃貸においてはＲⅠレベルの再生項目に対するアンケート時点での再生希望割合がＲⅡ・ＲⅢレベルに比して総じて高く、分譲においてはＲⅡレベルがＲⅠ・Ⅲレベルよりも高い割合を示した。この再生希望割合に再生実績割合を加えると、当然のことながら、ＲⅠレベル及びＲⅡレベルの一部再生項目に対する割合が上昇する。このことは、ＲⅠ(修理・修繕)レベル及び部分的なＲⅡ(改良・改修)レベルの再生が行われてきた高蔵寺ニュータウンの集合住宅において、賃貸住戸のＰ1(住み手)は現行の修理・修繕の結果に対して十分であるとは必ずしも思っていない可能性があり、分譲住戸のＰ1(住み手)は現在の居住性能を更に向上する為の再生希望を有していることを意味している。又、駐車場の改善・拡大という再生に関しては、賃貸・分譲共に極めて高い希望割合を示した。

賃貸住戸居住者の約7割、分譲住戸居住者の約9割が何らかの再生内容に対して再生希望を示しており、R レベル・D レベル共に、任意のレベルで希望回答数が多い居住者は、他のレベルにおいても同様の傾向を示した。例外として、「ＤⅠレベルの再生を多く希望し、ＤⅡ・Ⅲレベルの再生を殆ど希望しない」グループの存在が確認された。又、D レベルを軸とした分布に大きな団地間・住棟タイプ間の差異は認められず、R レベルを軸とすると住棟タイプ間に傾向の違いが存在していることが把握された。

Ｐ1(住み手)の属性と再生希望割合の関係については以下の特徴が抽出された。

① 間取り：賃貸では、現居住住戸面積が狭いＰ1において住戸面積拡大に対する希望割合が高く、居室収納の増設希望は、必ずしも住戸・収納面積とは関連していない。分譲では、賃貸と異なり、現居住住戸面積が狭いＰ1(住み手)とその他との面積拡大希望割合割合の差異はみられない。

② 居住階数：居住階数による再生希望割合の違いが抽出された再生項目に関して賃貸住戸居住者と分譲住戸居住者間での共通性は殆どみられない。賃貸においては移動の利便性に関して、又、分譲においては設備・配管に関しての再生項目について居住階の違いが再生希望割合に影響している。

③ 子供／老人の有無：「段差の解消」「手摺の設置」といった老人・子供に対する危険の排除や生活の補助に関する再生項目については、抽出された項目の違いはあるものの、賃貸・分譲共通して子供や老人が同居している回答世帯において希望割合が高い。賃貸においては、設備性能の向上に関する再生項目に関して「子供有」・「老人無」各グループの再生希望割合が高い。

④ 世帯主年齢：賃貸分譲共に、世帯主年齢「60 歳代以上」はＤⅠレベルの居住性能向上に関する希望割合が特に低い傾向があり、又、「30 歳代以下」は「構造体の補強」という安全性能向上・地球環境への配慮等に関する項目への希望割合が高い。これは、世帯主年齢の差による再生後に居住可能な期間の差が再生効用への期待値の差となって再生希望割合に影響していると考えられる。

⑤ 世帯人数：賃貸・分譲共通して、ＤＩ(住戸内)レベルの改善項目に関して単身世帯の希望割合が低い再生項目が多くみられる。

⑥ 世帯年収：賃貸においては、世帯収入が高いグループの再生希望割合が他に比して特に高い再生項目がみられず、逆に、世帯年収が低いグループが際立って高い希望割合を示した再生割合（2戸1改造・部屋の増設等）が存在している。これは、居住者の流動性が高い賃貸住戸においては世帯年収に応じた居住性能を有する住戸選択が比較的自由に行われており、結果として世帯年収が低いグループが平均的水準を下回る居住性能を有する住戸に居住しているという事実に起因している為であると推定される。

⑦ 居住年数／居住予定年数：賃貸の現住戸の居住年数に関しては、「居住11年以上」の水回り設備・内装更新に対する再生希望割合が高いが、これは「空家補修」再生を行う機会が無いことから劣化が進行している為であると考えられる。又、分譲の「居住10年以下」の構造体補強に対する再生希望は、建設後10～20年を経過した中古集合住宅を購入したことによる安全性の不安を示唆している。居住予定年数に関して、特に賃貸において顕著にみられる「一生住みたい」グループの希望割合が低い傾向は、居住環境への満足度の反映であると考えられる。

⑧ 2戸1の有無：2戸1改造後住戸の居住者による再生希望回答では、全体的に再生希望度合いが低いことがわかる。これは、間取り変更という大規模改造に伴って住戸内設備・仕上げ等の更新が行われた為であると考えられる。但し、「水回り設備」「防音」「外壁」「駐車場」の性能向上については、他グループ（8%～26%）に比して9%～37%と再生希望が各項目について6%～16%高い。

実際には、各P1（住み手）はこれらの各居住者属性の組み合わせによる属性を有していることから、Ｐ1(住み手)の再生項目ごとの再生希望も、居住者属性による正・負の再生インセンティブの組み合わせによって形成されている可能性が高い。

4.4 再生メニューの策定試論

P4(専門家)が提示すべき再生メニューにおける再生項目抽出方法の一つの試案として、前節において記述した居住者属性と再生希望傾向との関係に着目した成果を援用する可能性を提示した。即ち、前節で得た、①個別の再生項目に対する再生希望は、駐車場の拡大等の極く一部の項目を除けば50%にも満たない、②しかしながら、希望者が全く存在しない再生項目は殆ど存在しない、③再生項目によっては再生希望の割合が居住者属性と関係している、④再生項目毎に寄与する居住者属性の種類および寄与の度合いが異なる、という結果を踏まえて、居住者属性を説明変数とした再生希望に対する数量化Ⅱ類によるカテゴリースコアを算出し（図表6参照）、各Ｐ1(住み手)再生希望の推定判別を行った。図表7は、新しいエレベータの設置（ＤⅡ-RⅢ・分譲）に関する回答者の再生希望と居住者属性による推定とを組み合わせた存在割合を表現した例である。左軸は「アンケートで「YES」と回答した」割合、右軸は「「YES」と回答はしていないが属性による推定により「YES」

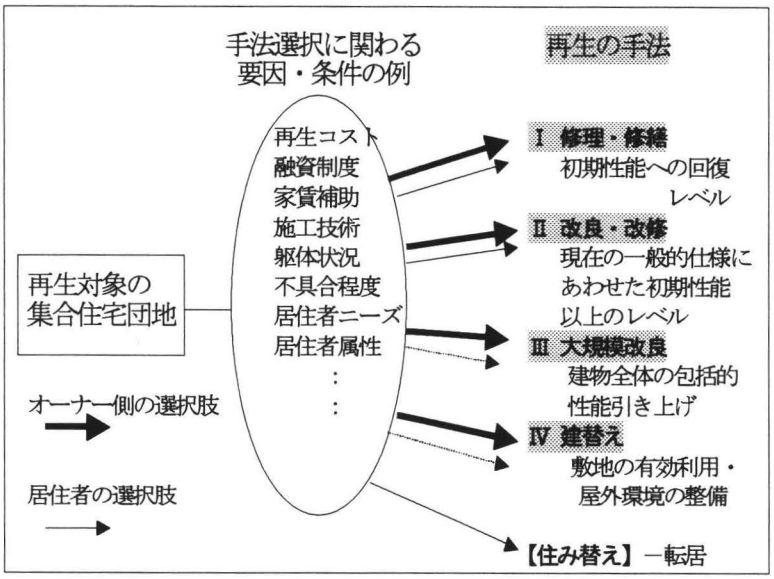
の可能性が高いと判断される」割合、下軸は「「YES」と回答せず推定も「YES」の可能性が低いと判断した」割合を示している。灰色部分は、2/3 以上の「YES：再生希望」範囲であるが、再生希望回答は 10 数%に過ぎず、2/3 以上に達することは勿論のこと過半数の賛成を得ることも困難であるようにみえる。しかしながら、居住者属性による再生希望判定が正であるグループを加えると点は矢印の方向へ移動し、岩成台西団地・T2（11 階建・EV 有）タイプでは、賛成が 60 数%に達する潜在的可能性があることがわかる。

居住者属性による再生希望の推定に用いたデータが高蔵寺ニュータウンに限られており、又、標本数も数百に過ぎない為、この結果をもって確実な再生希望推定を行ったとは断言できないものの、P4（専門家）による再生メニュー策定時の 1 つの有効な方法として用いることができる可能性がある。実際には、P4（専門家）は、再生項目抽出後に提示する再生メニューにより生じる再生効用と費用負担を P1（住み手）に対してできるだけ詳しく説明し、P1（住み手）による再生メニューの評価手続きが行われた後に工事内容を決定する必要がある。従って、ここで述べる再生メニュー策定方法は、再生メニュー案として提示すべき再生項目の絞込みに寄与する方法試論として位置付けられる。

5. まとめ

本研究では、P4（専門家）が提示すべき集合住宅再生メニューの抽出方法の試案として、再生希望の有無と居住者属性による再生効用に対する期待の大きさ傾向の違いに着目して、各 P1 の再生希望推定を行うことにより、再生計画時における P1（住み手）の希望割合が高い再生項目の抽出・絞込みを行うことができる可能性を論じた。我が国の社会的課題である超高齢社会への直接的な対応としては、属性において高齢者を含む世帯の再生希望が高い項目を即座に実行することが望ましい。しかしながら、属性と効用が異なる住み手全体の合意形成を考慮すると、再生メニューの策定には極めて専門的な方法論が求められる。

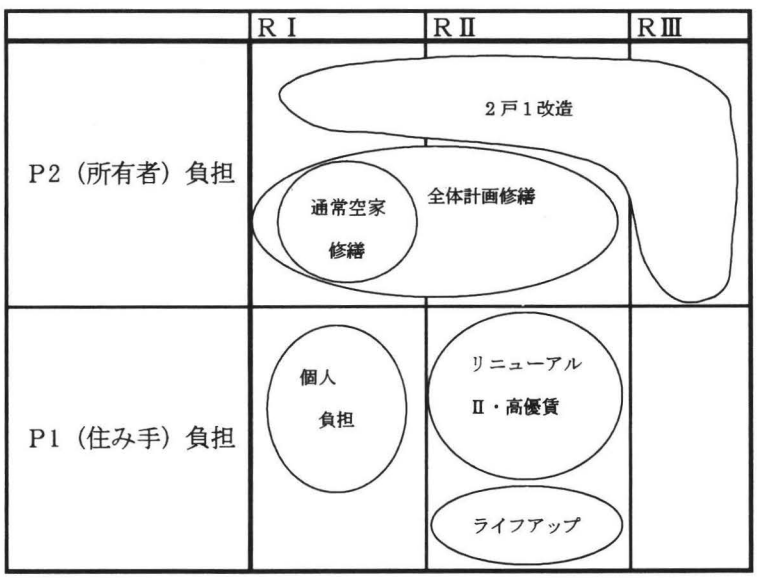
今後の研究上の展開としては、異なるコンテクストを有する集合住宅居住者、或いは、戸建て住宅居住者等に対しての適用可能性を検討し、コンテクストに応じた説明変数の抽出と重み付けを行うことが分析モデルとしての精度を上げる為に有効である。更に、高蔵寺ニュータウンにおいても、経年変化を観察することにより手法の効用と限界が確認できる。又、ニュータウン研究としては、集合住宅以外の建築機能へ対象を拡大することにより、ニュータウン全体の空間とその再生の在り様について記述・分析することが可能となる。これにより、超高齢社会を踏まえた地域的均衡の解析と評価へと研究内容を発展させる方向性が残されている。



図表 1
再生手法のイメージ図

再生レベル	RⅠ	初期性能への回復（修理・修繕）レベル	初期性能への回復
	RⅡ	時代性能への引き上げ（改良・改修）レベル	現在の一般的仕様にあわせた初期性能以上の再生
	RⅢ	空間性能の再生（大規模改良）レベル	空間への包括的性能引き上げ
	RⅣ	建替え・更新レベル	除却・新設
意思決定レベル	DⅠ	個人・世帯レベル	個人・世帯単位での意思決定
	DⅡ	住棟レベル	複数の住戸の集合体での意思決定
	DⅢ	団地レベル	複数の住棟の集合体での意思決定
	DⅣ	社会レベル	団地の外部を含めた社会的意思決定
関連主体	P1	住み手	集合住宅の居住者
	P2	所有主体	集合住宅の所有者
	P3	公共主体	住宅政策の決定・施行者、政府・自治体・公的機関など
	P4	専門家	建築家・建築業者・コンサルタントなど

図表 2
集合住宅再生に関連する
概念の整理



図表 3
高蔵寺ニュータウン
賃貸集合住宅再生の
費用負担と R レベル

		全体	間取り	2戸1	階数	子供の有無	老人の有無	世帯主年齢	世帯人数	世帯年収	居住年	居住予定年	家族型
DⅠ	居室　収納の位置・高さ変更	6%	○										○
	居室　収納増設	16%				◎○	◎	◎	◎				●
	居室　段差の解消	4%	●			◎	◎			○			○
	居室　畳からフローリングへ変更	9%	●			◎	◎						●
	居室　同じ素材で床の張り替え	7%	○			○					◎		○
	居室　壁・天井の塗替え	23%				◎○	◎		◎		◎		○
	居室　2戸1改造による部屋数の増加	9%								◎○			●
	居室　部屋の増設	8%	◎○			◎○	◎			◎		○	●
	浴室　ドアの修理・取替え	28%				◎	◎				◎		
	浴室　水栓金物の取替え	10%	●										●
	浴室　換気扇の設置・取替え	21%				◎	◎						○
	浴室　大浴槽の取替え	20%				◎							
	浴室　シャワー設置	14%	○										
	浴室　段差の解消	10%	○			◎	◎						○
	洗面室　水栓物の取替え	12%											○
	洗面室　洗面台の取替え	21%				◎	◎						
	トイレ　シャワートイレの設置	21%				◎	◎						
	トイレ　段差の解消	8%	●										●
	台所・食事室　レンジフードの取替え	19%					◎				◎		
	台所・食事室　水栓金物の取替え	19%									◎		
	台所・食事室　ガスコンロの取替え	13%	○				◎				◎		○
	台所・食事室　シンクの取替え	19%	○				◎				◎		○
	台所・食事室　システムキッチンの取替え	24%					◎				◎		
	台所・食事室　キッチンユニットの高さ変更	14%	●										
	台所・食事室　収納位置の高さ変更	16%											
	台所・食事室　収納増設	18%				◎○	◎						○
	その他　襖・障子の張り替え	16%											○
	その他　電気・電話回線の変更	7%	○			○							○
	その他　サッシの取替え	16%		◎									○
	その他　二重ガラスへ変更	11%				○							○
	その他　給湯設備の取替え	11%	○										●
	その他　壁に防音材を入れる	14%				◎○	◎	◎					○
	その他　床・天井に吸音材を入れる	18%											
	その他　セキュリティシステムの導入	10%				○							○
DⅡ	ベランダ　床の防水	18%				◎○	◎						○
	ベランダ　手摺の修理・取替え	20%				◎○	◎						●
	ベランダ　ベランダの増設	0%											
	ベランダ　ベランダの室内化	6%	◎●						○				●
	階段　子供・老人用の手摺を新たに設置	11%	○	◎		◎	◎						○
	階段　新しい掲示板の設置	2%	●			●		○	○	○		●	●
	エレベーター　新たなエレベーターの増設	3%	●		●	○			●	○		○	●
	廊下・踊り場　子供・老人用の手摺を新たに設置	5%	●						○			○	●
	郵便箱・宅配ボックス　新たに郵便箱を増加	2%	●						●	○	○	●	●
	郵便箱・宅配ボックス　宅配ボックスの設置	10%							◎			●	●
	エントランス　新しい照明器具にする	4%	●									○	○
	エントランス　スロープの設置	6%	●						○				
	外壁　外壁の塗替え	13%	●			○			○				○
	外壁　断熱材を入れる	3%	●					○	○			●	○
	構造体　構造の補強	10%	○				◎	◎○	◎			●	●
	屋上　防水シート張り	6%	●						○				●
	屋根　断熱材を入れる	3%	●						○			○	●
	共用設備　共聴アンテナの設置	7%											○
	共用設備　ソーラーパネルの設置	6%	○		○								○
	共用設備　雨水再利用システムの設置	6%						◎					○
	配管　配管の交換	6%							●				○
	配管　屋内配管を替える	11%						◎					●
DⅢ	外部空間　緑地帯・街路樹の増加	2%	●			○	○		●		○	○	●
	外部空間　街路灯の設置	12%	●										○
	公共施設　コノビニの設置	3%	●		○			●	○			●	●
	公共施設　ゲストルームの設置	1%	●		●				●	●			●
	公共施設　室内遊び場の設置	6%	●			○		◎●				●	●
	駐車場・駐輪場　駐車場増設	28%				◎	◎	◎	◎				
	駐車場・駐輪場　駐輪場増設	9%	○			○			◎○				●
	ごみ置き場　ごみ置き場の増設	9%				◎○	◎	◎	◎				○

●：$2.0 \leqq \frac{\text{最大値}-\text{最小値}}{\text{平均値}}$　○：$1.5 \leqq \frac{\text{最大値}-\text{最小値}}{\text{平均値}} < 2.0$　◎：居住者属性と再生希望項目の関係が高い項目

※但し、最大値・最小値からは標本数 10 未満の分類項目(間取り（5DK)、家族型（7・9・11・13・14・15・16 類）を除外している。

図表 4

賃貸集合住宅における居住者属性と再生希望の関係

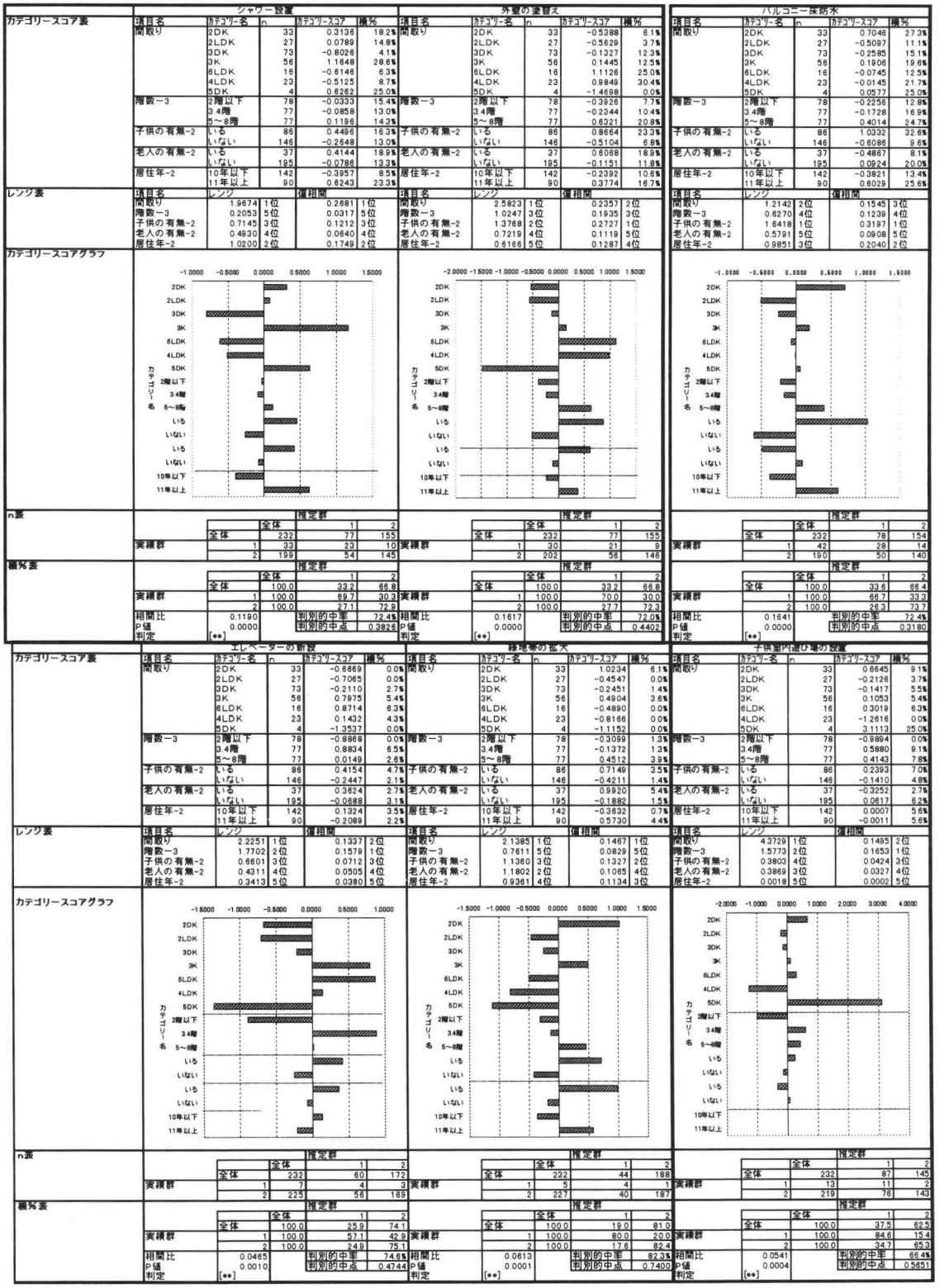
			間取り	階数	子供の有無	老人の有無	世帯主年齢	世帯人数	世帯年収	居住年	居住予定年数	家族型
DI	居室　壁を無くす	13%				◎	◎					○
	居室　収納の位置・高さ	12%						◎				
	居室　収納増設	12%					◎	◎	◎			○
	居室　段差の解消	9%				◎						○
	居室　床材の変更	36%										
	台所　ガスコンロの取替え	33%				◎						
	台所　シンクの取替え	21%				◎						
	台所　システムキッチンへ変更	30%				◎						
	台所　収納の位置	14%										○
	台所　収納増設	23%										
	浴室　浴槽の取替え	55%										
	浴室　シャワーの設置	30%										
	浴室　段差の解消	13%										
	浴室　手摺の設置	12%										
	洗面・トイレ　洗面台の取替え	43%										
	洗面・トイレ　段差の解消	9%										○
	洗面・トイレ　手摺の設置	13%										○
	洗面・トイレ　床の防水	12%										●
DII	階段　子供用・老人用の手摺設置	16%				◎	◎					
	階段　新しい掲示板の設置	5%										●
	廊下　子供用・老人用手摺の設置	0%										
	エレベーター　エレベーターの設置	13%		◎	◎	◎	◎					
	郵便　新たな郵便箱の設置	7%										●
	郵便　宅配ボックスの設置	6%										●
	エントランス　新しい照明の設置	6%				◎		○				●
	エントランス　スロープの設置	4%							○			●
	外壁　外壁の塗替え	27%										
	外壁　断熱材を入れる	5%				◎						●
	構造体　構造体の補強	12%					◎			◎		●
	屋上　屋上の防水シート張り	19%										●
	屋根　断熱材を入れる	5%				○		○			○	●
	共用設備　共聴アンテナの設置	17%		◎			◎					
	共用設備　ソーラーパネルの設置	6%					◎●		○			●
	共用設備　雨水利用システムの設置	7%	○				○					●
	配管　配管の交換	17%										○
	配管　屋内配管を替える	12%		◎								○
DIII	外部空間　緑地帯・街路樹の増加	4%				○		○				●
	外部空間　街路灯の設置	11%										●
	駐車場　駐車場の増設	29%					◎					○
	駐車場　駐輪場の増設	7%	○				◎○	◎				●
	公共施設　コンビニの設置	4%					◎●					●
	公共施設　ゲストルームの設置	6%						◎				●
	公共施設　子供用室内の遊び場の設置	4%	○		◎●		●	◎○		●		●
	ごみ置き場　ごみ置き場の設置	9%										●

●：$2.0 \leqq \frac{\text{最大値}-\text{最小値}}{\text{平均値}}$　○：$1.5 \leqq \frac{\text{最大値}-\text{最小値}}{\text{平均値}} < 2.0$　◎：居住者属性と再生 希望項目の関係が高い項目

※但し、最大値・最小値からは標本数 10 未満の分類項目(間取り（3K、5DK)、家族型（9・11・13・15・16 類）を除外している。

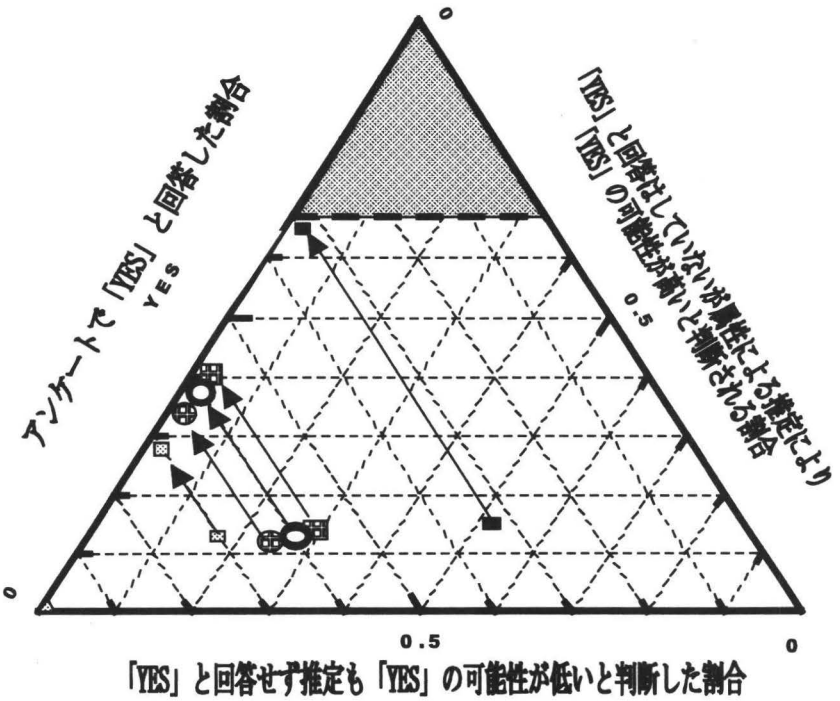
図表 5

分譲集合住宅における居住者属性と再生希望の関係



図表 6

賃貸：再生に対するカテゴリースコア（再生項目別）の例



分譲・DII・RIII　エレベータ
の設置



図表 7

再生希望と居住者属性判定(例)

１－11　伝統的住民に高断熱高気密を施工する手法の確立と普及に関する研究

有限会社 安井設計工房
取締役　安井妙子

表記研究の成果品として『古民家復権』を出版した。出版物の要約で報告書とする。

発行・発行日	みちのく伝統建築研究会　・　平成１３年１１月３日
著　　者	宮澤智士・安井妙子
装　　丁	本文２８０頁　・うちカラー８頁・詳細図集９頁・写真・指図等多数
発 行 部 数	３，０００部

★下記は著書の序文である。この中に主旨および目的を記した。

序文

わが国の伝統的な民家をのこし、子孫に伝えたい。この強いおもいが本書を作らせたのです。

古民家をなぜのこし伝えるか

わが国の伝統的民家は、世界に誇ることのできる美しさをもっています。民家は、子どもたちが伝統文化を体験し、誇りを持ちうる大切な資産です。わたくしたちの先祖が築いてきた民家を後世に伝えるという橋渡しは、現在生きているわたくしたちの義務であると考えます。民家をのこすという行為によって、ものを大切にすることをはじめ、さまざまな部分で価値観の転換を図らなければならないのです。

どのようにして伝統的な民家をのこし伝えるか

民家の保存の方法として、国は重要文化財などに指定して保存につとめてきました。指定文化財の大規模な保存修復には相当に厚い援助があります。都道府県や多くの市町村も文化財指定制度をもっています。

指定制度による指定は厳選主義で、多数の建物がその手からもれてしまっています。これを補う制度として最近、登録文化財制度が生まれました。文化財として登録し、ゆるやかに保存することをすすめています。

文化財をまもり、伝えていく方法は、時代を反映して徐々に変わってきています。民家の場合、建物を単に復原するのではなく、現在では文化財としての価値を持続しながら住むこと、そして上手に活用する方向に向かっています。ただ、民家はみなそれぞれ特徴をもち、家々による事情が違いますから、それにふさわしい保存、活用をしていく必要があります。

本書は、指定文化財・登録文化財の有無にかかわらず、伝統的な民家に住みながら保存するにはどうすればいいかを具体的に考え、それを実践した記録です。

東北地方にはまだ多くの古民家が現存しています。その多くは、もともとは美しい外観と建築空間をもっていたはずです。しかし、現代生活には不便だ、寒いなどの理由から、どの家も現状のままで生き続けることは難しく、あるものは空家になり、またあるものは取り壊される危機に瀕しています。

これらを救うには、どうすればよいでしょうか。伝統的な、民家本来の美しさを復権する

とともに、寒いという欠陥を除いて暖かい家に替え、台所・風呂・便所など水まわりを改善して使いやすくすることです。そうして快適に住める条件をととのえるのです。

わたくしたちの実践

安井は修復建築家として、古民家を高断熱高気密仕様により、屋内気候をコントロールし暖かい家にする実践をしています。さらに水まわりを２１世紀の生活に対応できるようにし、民家の復権に努めています。この方法で、これまでに十棟余の民家が息を吹きかえしました。今その普及に努めており、「ぶなの木学舎」宮澤邸もそのうちの一棟です。これらの家々の設計施工にあたっては、きちんとした理論と詳細な熱計算にもとづいた結果にしたがっています。しかし、理論や計算だけではできない実践の難しさがあります。数々の困難をのりこえた人々が、いま魅力的な空間のもと、寒さを気にしなくてよい生活を送っています。

宮澤は、長年にわたり古民家の研究にたずさわってきました。「ぶなの木学舎」は享和三年（１８０３）建築の２００年を経た古民家です。これに高断熱高気密の施工をし、近代的設備のもと、快適に住む実験の場として自ら住んでいます。

わたくしたちは、一人でも多くの人々が先祖から受けついだ民家で、しあわせな暮らしをしてほしいと願ってこの本をつくりました。　　（担当宮澤智士・安井妙子）

★第一章は「わが家に住みつづけたいのこしたい」と題し、「美しい古民家に暖かく住む」「北国の古民家再生」「もてあましていた古民家が宝物になる」の３つの文章を掲げ、古民家を断熱気密住宅にする設計に携わることになる切っ掛けや、残す意義と方法論を、古民家の持主のような建築関係者以外の人々にわかってもらう目的で書いた。　　（担当安井妙子）

★第二章は「我家が寒くなくなった」と題して十棟の家を具体的に報告している。それぞれ、改修前と改修後の平面図、立面図、透視図、模型写真、完成後の外観や内部の写真を多用し、本文の理解を助けるような編集をした。報告事項のみにならないよう、工事中のエピソードや、古民家の持主の苦労や悩みが伝わるような具体的で且平易な文章で、現在思い悩んでいる人々が希望と共感を持てるようにした。古民家の改修工事は大工をはじめ施工する様々な職種の職人の人柄や技量に負うところが多いので職人にも焦点を当てた。

1	鎌田家	国登録文化財　民家再生の原点
		わが家の再生　建築主鎌田昭一
2	佐々木家	あったかくしたい　はじめての試み
3	富永家	宝物はどこに　壊さなくてよかったね
4	海のみえる家	和風の別荘
5	遊佐家	国登録文化財　おばあさんが守った６０年
6	木村家	３０年放置の家を断熱気密にして次世代へ
7	上野家	昭和の家から江戸の家に住み替える
8	宮澤邸	越後の豪雪地に建つ「ぶなの木学舎」
9	白川郷合掌造り迎賓館	茅葺民家「好々庵」
10	おりざの森	国登録文化財　明治の民家を移築し農家民宿に変身

富永家・遊佐家の三ヶ月間の室内気候グラフと木村家（築１８年を断熱改修）の三ヶ月間の

室内気候グラフは別添。宮澤家のデータは、「古民家復権」参照。
十棟の修復とデータから得た結論を以下のようにまとめた。

よみがえれ古民家

ここにとりあげた家々は、「のこしたい、こわしたくない」という思いのこもったものばかりです。

そのおもいに応える方法を、わたくしは古民家の個性に合わせ、ひとつひとつ開発してきました。それぞれの家にほどこした処方箋は全て違っています。家の歴史、規模や構造、気候も予算もみな違っているからです。そこでいえることは、どんなにわたくしが努力しても、持主の力がなければ成功しないということです。みごとに再生させた人々は例外なくたいへんな努力と長い期間にわたりたくさんの困難を耐え忍び、もめごとをひとつひとつ解決してきました。そのごほうびとして、先祖の家は再び若い生命をふきこまれ、散らばっていた家族がもどり、大きな屋根の下での暮らしがはじまっています。

*

十棟の家々の修復をとおして、成功にみちびく鍵は持主とわたしくしが、信頼し合い、また尊敬し合うことだといえるようです。

施工者を加えて、三つの異なる立場の人々がそれぞれ対等な立場で責務をきちんと果たすことも大切です。お互いに信頼と尊敬の気持ちで接することが全ての分野のものづくりにかかわる仕事のうえでは大事です。お金を払う立場の人だけがえらいのではない、三者の共同作業なのです。

今から十数年前、はじめて鎌田家を訪れた時、お昼ごはんにラーメンを注文してくれました。まちから出前されてきたラーメンはすでにのびています。奥さんのさだ子さんはつけものやら何やらこまごまと用意しています。当主の昭一さんは早くいっしょに食べようと何度か台所に声をかけました。わたくしもじっとがまんして奥さんがすわるのを待ちました。「はいはい、いただきます」こたつにすわるまで彼は箸をとろうとしませんでした。わたくしたちはさらにのびたラーメンをいっしょにずるずるとすすりました。この瞬間に、「ここの仕事をしよう」と決めたのです。ご夫妻は最後まで尊敬に値する人々でしたし、わたくしや施工者を信頼してくれました。鎌田邸の大工棟梁の高橋久太郎さんは上棟式を執りおこなうにあたり、「わたしはこの家の単なる屋根替えの大工に過ぎない。ここで上棟式を取り仕切ったらこの家を建てた大工棟梁に申し訳がない」と遥か昔の棟梁に敬意を表しました。また「おりざの森」の大工棟梁二俣貢さんは他人が解体し部材となった一度も見たこともない建物を大雪の降りしきる中、一つの間違いもなく組立てました。難しい工期や予算と戦い終始にこにこと立ち働いていました。竣工間際現場が一段落したころ、病床にいる奥さんの看病をしながらがんばった仕事と本人から聞きました。

このような人々との出会いが古民家をのこす、しかも暖かくするという困難で魅力的な仕事を続ける原動力になっています。

*

宮澤邸「ぶなの木学舎」はそれまでと異質な仕事でした。ここではじめて解体移築という仕事に出会ったのです。

古くて、ごみにまみれているので、その美しさを正当にみとめられなかったり、不用となってしまい、こわされる運命の民家を助けるため、もらいうけることがあります。民家が今

までの土地や家族に別れをつげ、別の役目を持ってよみがえるのです。本来であればおなじ土地でその家族が住み続けるという保存活用の仕方が望ましいのでしょうが、違う土地で違う役割を担い再び生き続けることは壊されてしまいゴミになるよりはずっと有意義です。

解体移築の場合でもわたくしは、民家の構造や建築空間を大切にするため、復原することに努力します。けっしてみごとな梁やけやきの柱だけを選んで、あとは捨てるようなことはしません。最近、その地でどうしても生き続けられない民家二棟を解体した時は、土壁の土まで運びました。

民家を移築復原する行為と、一部古材を使って新築する行為は少し違います。復原してできた文化としての建築空間に価値を見出すことと、部材そのものに価値の大部分を見出すこととの違いです。また何棟かの民家の部材を使い一棟の家を建てることもあると聞きます。これはわたくしのおこなっている仕事とは違う分野の仕事です。

*

わたくしは先祖からの文化遺産である民家を未来にのこす橋渡しの役をしていると思っています。わたくしは建築にたずさわる者として、今を生きるひとりの大人として次の世代の子どもたちに、わたくしの父や母、祖父母、その前につらなる祖先たちがのこしてくれた文化を、手渡したいのです。建築を志したからには、建築文化という形のでのこすのがわたくしの役割です。民家を見てどう保存するかの判断をし、具体的に保存計画修理計画を立て、お金の心配から施工者の選定まで最良の総合計画を立案するのが実際の仕事です。わたくしの役割は楽器を演奏しないオーケストラの指揮者に似て、設計図の一枚も書かないのに全ての決定と指示をおこない、でき映えに責任を負います。

*

わたくしひとりの力でできることはあまりに少なく、民家の持主、調査設計の技術者、施工してくれる建築技術者や職人、製品をつくるメーカーと、たくさんの人々の力をもらってひとつまたひとつと暖かく暮せる民家ができていくのです。　　(担当安井妙子)

☆第三章は「民家研究者が築２００年の家にくらす」と題して、第二章で述べた十棟の内のひとつ、宮澤邸「ぶなの木学舎」の修理報告書として、伝統的技術・技法の維持・育成のための教科書的資料としている。宮澤智士博士は文化庁文化財保護部建造物課で文化財調査官、建造物課長としてたくさんの重要文化財の指定や修理にかかわってきた。日本中の何千という民家を実際に診て、修理方針を決定したりその価値判断をおこなっている。したがってこのような考察は宮澤智士博士以外に出来得ないことであろう。

起　古民家復権「ぶなの木学舎」は昭和38年にさかのぼる広田家住宅との出会いにはじまり、享和三年建築の広田家住宅が解体移築されて「ぶなの木学舎」となるいきさつである。

天　家屋の特徴では越後の典型的伝統民家「中門造り」の構造的特徴や解体調査の内容、２００年間の変遷などを民家研究者として解説している。

地一　解体・組立・施工では一級建築士復原設計者の立場で復原工事現場での経験や考察、施主の立場で疑問に思ったこと問題点などを指摘した。

地二　寒くない家の仕掛け　設備とその施工では、組立が終わった段階で設計者安井妙子と出会ったことにより、高断熱高気密施工を伴う復原工事に方針変更をした。その結果出来上がった空間の質や、設備について述べている。とくに三年以上に亘り連続して室内気候の計測と

実験をし、民家研究者、一級建築士、生活者のあらゆる立場から学問的、専門的にそして直感的に考察している。

人　住むでは完成後三年間の季節の移ろいに従った暮らしや高断熱高気密民家の住み心地、大空間を使っておこなわれた行事に触れ、寒くないことによって復原出来た伝統的民家の美しい大空間の魅力を強調し、高断熱高気密にすることが古民家を次世代に伝える有効な方法であることを自らの実践から結論付けている。

結　民家は神様からの贈り物では、建築は図面によって造るのだが、逆に図面にしたがって造るものではない。との理論から古民家が創り出す空間の全てをあらわすことはできない。「長い歴史を生きてきた建築は図面なし建築家なしの無名の職人の芸術である。」と近代以前の建築である民家を定義している。そしてこの項目は「ぶなの木学舎」の保存移築に大きく貢献し、復原工事に携わった大工樋口武が主役である。

優秀な職人ではあるが現代の合理主義に基づく建設システムの埒外にいる愛すべき職人達が伝統技術の担い手となっている。彼らが合理性とは程遠いところで技術の伝承を担っているということは古民家保存の一つの問題である。しかし一方では自分で工夫して、きちんと納める頼もしい集団である。この相反する特徴をうまく束ねることができれば、伝統文化の伝承にとって大きな力になるはずである。　　(担当宮澤智士)

★終章は「民家を子どもたちに伝えたい」という表題で、本研究の結論ともいえる宮澤博士の論文である。ここに全文を掲げる。

古民家復権

はじめに

わが国の伝統的民家を「子どもたちに伝えていきたい」という強い気持ちからこの本が書かれたことは最初に記しました。どのようにして伝えることが出来るでしょうか。

これまでは重要文化財などに「指定する」、登録文化財として「登録する」、また、集落町並み保存の一環である伝統的建造物として「特定して」伝えるなど、国や都道府県、市町村が法律や条例にもとづいて保存する方法がもっとも確実でした。行政機関によるこの保存手段は今後も続けられるでしょう。

いっぽう、古民家に「住むための改修」をくわえ、住宅を本来の住宅として実際に「住みながら」伝えていく方法があります。これまで本書で記述してきた「寒くない家」は、すべてこの方法によっています。この方法は、改修工事を注意深く実施すれば、民家の保存方法としてもっとも望ましいと考えられます。「寒くない家」は現在、東北地方を中心にして個人の家で徐々に進められつつあります。「寒くない家」を普及したい、この気持ちも本書を書かせた一因です。むろん、住むための改修をしたこれらの民家が今後、文化財として指定、登録の対象としてとりあげられることは大きな励みになります。

「寒くない家」の開発

わが国の伝統的な古民家は、二、三の点を改善すれば、十分にゆたかで快適な生活を営なみ住みつづけることが可能です。その第一点は「寒くない家」にすることです。われわれが現代的な生活を営むうえで、寒いことが古民家の大きな弱点の一つでした。本書ではこの点に主眼をおいて、隙間だらけの伝統的民家の、断熱気密の精度を高くし、これにともなって

水まわりや間取りに必要な変更をくわえるなどして、住まい全般の住性能を高くすることを提案しています。

これまでにも、台所や便所・風呂場などの水まわりを改善して住みやすくする改修工事は、多くの古民家でおこなわれてきました。また、十分でないとはいえ寒くなくする改造もおこなわれてきました。しかし、古民家を本当に寒くない性能のいい家にする改善はおこなわれないまま過ぎてきたのが現実でした。わが国では古民家に関する高断熱高気密の技術がまだ開発されていなかったのです。

「寒くない家」にする技術は、亜寒帯に属する北海道の新築住宅で開発されました。この技術がいまでは東北地方など本州の寒冷地にも普及してきています。１９９９年の３月に改正告示された通称「次世代省エネルギー基準」(「住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準」)によって、「寒くない家」の手法は全国的に取りいれられつつあります。

古民家を「寒くない家」として開発し普及に努めている人物が、安井妙子さんです。伝統的民家を「子どもたちに伝えたい」という彼女の強い気持ちがそれを支えていますです。

いい家の定義

いい家とはどんな家か、と多くの人が考え、いい家に住みたいとおもっています。人の一生のなかでもっとも高い買物の一つである住宅に関心をもつ人は大変に多くいます。ところがいい住宅になかなか巡りあえないのが現況で。いい住まいとはどんな建物でしょうか。

本書では、古民家を「寒くない家」にする手法である断熱気密度を高くして高性能にする住宅について考えました。

古民家を「寒くない家」にするには、かなり大規模な工事をともないます。寒くない家に改善するさいに、台所や便所・風呂場など水まわりの改善、そして若干の間取りの変更をすることになります。また、茅葺き屋根を鉄板や瓦葺きに替えることもあります。これら改修工事は、同じ規模の住宅を新築するとほぼ同程度であり、その費用も新築と同じくらい掛かると考えてよいでしょう。同程度の工事と費用の代償として、住みなれたわが家が快適で大変に魅力ある空間をもつ家としてあられわれます。古民家復権です。その結果として子どもたちに「いい家」を伝えることができます。

われわれは、伝統的民家に高断熱高気密の仕様を施し家全体の性能を高めることによって、住みよい住宅ができ、現在のところこの方法が伝統的民家を子どもたちに伝えていく最良の方法であると確信しています。

断熱気密高性能の家

「高断熱・高気密」の語、とくに「気密」の語をともなっていることから、外界から遮断された建築をイメージする人たちが少なからずいます。「高断熱・高気密」住宅に関しては、良い悪い、好き嫌い、そして反感があるなど、これまで建築界で対立があり現在も対立しています。「高断熱・高気密」を推奨しているもののなかには、「高断熱・高気密」という語自体がよくないという意見もあります。「高断熱・高気密」に反対する人たちの多くは、その建築内容を正確に理解していないところにあるとおもわれます。わたくしは、「高断熱・高気密」にした古民家に現に住んでいるのですが、「高断熱・高気密」の語は必ずしも適切で

あるとは考えていません。高断熱・高気密の語はいい家にする手段であって、その結果を表現していません。しかし、この仕様を施した民家がいい家であることに間違いありません。住んでみてそのことが一層よくわかるのです。同様の語を使うのであれば「断熱気密高性能の家」とでもするほうがよいでしょうか。また、この語から離れて「寒くない家」「暑くない家」とするのもいいようにおもいます。

「建築雑誌」の高断熱・高気密特集

社団法人日本建築学会の機関紙「建築雑誌」は、１９９８年４月号（Vol.113　No.1426）と１９９９年５月号（Vol.114　No.1438）の二回にわたって「健康建築」特集を組んでいます。第一回は「化学物質室内汚染」、第二回は「高断熱・高気密」をテーマとしています。「高断熱・高気密」特集は、建築家とエンジニアである環境工学者など２０人が、それぞれの立場から考える健康な住宅について論じ、意見を述べています。

この特集その他から気がつくことは、環境工学者は「高断熱・高気密」建築を推奨する立場をとっているのに対して、建築家には「高断熱・高気密」の内容を理解しようとせずに、風通しが悪い、省エネになっていない、文化財である民家をそのように扱っていいのかなど、「高断熱高気密」を毛嫌いしているらしい人たちが少なからずいることです。かれらは「高断熱高気密」がよくないというきちんとした根拠を示していないのです。

しかし、建築雑誌の特集で述べている建築家内井昭蔵氏、吉田圭二氏、石井修氏、環境工学者石原修氏、医師田中正敏氏の考え方、主張は大変に有効で参考になります。

内井昭蔵氏は、特集の巻頭言で総合的な立場から次のように述べています。

「画一的な道をたどる都市と建築、あまりにも自己中心的で自己主張の強い建築は、人間性と自然を欠くところに原因がある。健康な建築は人にイマジネーションをかき立て、創造性を生み出す建築である。健康と病は対立する概念ではない。病気をも許容できる都市、建築がのぞまれる。中立的立場から調整できるプロフェショナル・マスターアーキテクトの存在が必要である」。

吉田圭二氏は、「現代生活の容器としての住まいであれば、気密性・断熱性の確保は不可決であるから、開放性に加えて、これを損なうことなしに可能な閉鎖性が必要になる。開口部をいかに高性能なつくりにするかが課題である」と述べています。そして伝統的住宅空間への回帰、開放的な間取り、伝統構法を主張しています。

石井修氏は、関西の建築家で、本来自然がもっている機能を生かす住宅を主張しています。暖房は輻射暖房、床暖房を基本にしています。もろもろの条件がととのって始めて可能な住宅と考えられます。

石原修氏は、九州の住宅は「閉鎖可能な開放型住宅」であるべきことを提唱しています。

田中正敏氏は、医師の立場から、衣替えがあるように建物、住宅にも風土にあった、季節気候に応じた対策が必要であると述べています。

この特集の編集後記で、田辺新一氏は、「健康住宅には関心と反響が大きく、高断熱・高気密に反感を抱く人々が多い。いずれにしても人間・歴史・風土をふくめ省エネルギーの視点からとらえる、必要がある」と述べています。

わたくしたちは、環境や風土に反して建てられた建築を「これはＸＸ先生の作品ですから……」といって、我慢していなければならないほどお人好しでいいのでしょうか。このこ

とは特に公共建築に強く感じます。

古民家復権

環境工学者小玉祐一郎氏は、「建築雑誌」２０００年１２月号（Vol.115　No.1463）特集「行く世紀、来る世紀」のなかで「自然の柔らかな制御　人口環境技術のゆくえ」と題する次のような一文を認め、環境工学の２０世紀から２１世紀を見通しています。

「２０世紀はエネルギーの時代でもあり、室内気候を人工的に制御してきたが、この技術は世紀末に二つの壁にぶちあたった。

第一は、地球環境問題である。炭酸ガスの大量発生の問題。環境負荷の低減策をこうじるには、省エネルギーと建物の耐用年限を伸ばす。

第二は、均質化した居住空間の質である。技術者は完璧な制御を目的とするため、単調・均質で無味乾燥なものになりがちである。この結果から、２０世紀末には歴史性と地域性が再認識されるようになった。

上記の二つの壁を乗り越えようとする試みは、しばしば矛盾を抱え込む。建物はますます外界の環境から遮断されがちになり、断熱や気密、ボリュームを小さくする。身体性・等身大の意味がもう一度問いなおされなければならない。

居住性やエネルギー効率に執着するあまり、外部の環境に背を向けた建築は、物理的にも社会的にもふさわしくない。省エネに名を借りて偽悪な建築が横行するのでは、元も子もないし、豊かな都市環境をつくる展望にも欠ける。環境をいかに共有するか、環境の時代の大きな課題である。

環境制御技術の歴史は、地域の気候特性を読み、建築を工夫する長い第一世代から、２０世紀のエネルギーまかせの第二世代をへて、２１世紀は、パッシブデザイン、エコテクノロジーが、硬直化した人口環境技術を越える次の世代の技術として登場してきた。時代は自然との交換を許容する開放系へとシフトし始めている」

＊

わたくしは２１世紀、はじめての夏の一ヶ月を赤道直下のインドネシア、タナ・トラジャ県の開放系で建てられた建築で過し、人間も住まいも自然の一部であることをあらためて確認しました。

この地は乾期と雨期がある熱帯気候で６月から１１月までが乾期にあたります。ここで体験したことの一つは、標高が７００メートルあるとはいえ、気候は意外に涼しく湿度は低くないのに快適だったことです。レストランは竹の柱と梁、ヤシの葉で葺かれた屋根のみで壁や建具のまったくない全面開放の建物です。それが炎天の日中でも暑くないのです。ホテルの部屋は鉄筋コンクリートでしたが、窓の上部は開放で格子のみがとりつきます。トラジャでは最高級のホテルでも、快適に過せるので冷房設備がないのです。これはなぜでしょうか。現地で色々考えました。

トラジャは赤道直下のため昼と夜の長さが同じです。昼は晴れていても朝夕はだいたい曇っています。したがって日本より日照時間は少ないといえます。そのうえ山間地であることで夜はかなり気温が下がります。

快適性に影響を与えるものは空気温度・放射温度・気流・湿度の環境物理的要素と、活動量・着衣量の人間側の要素からなっているといいます。この六つの要素がうまく組み合わさ

ってトラジャのホテルやレストランの建物は快適だったのではないかと思われます。

ところが帰国してすぐに感じた日本の暑さは湿気が迫り来る暑さだったのです。トラジャのような熱帯は気候の起伏が単純です。これに対し四季の変化に恵まれるわが国は、北海道から九州まで、夏はそれなりに暑く冬もそこそこ寒いのです。台風もあれば大雪もあります。

このような複雑な気候条件のもとで、古民家を快適な住まいとして、しかも美しい自然環境をとりこみながら暮らすには、しっかりと知恵を絞らねばなりません。

とはいえまずは寒くない状態にすることを実現するだけでも民家は大変に快適な住まいに変わることを、わたくしは体験しています。三年をこの家で暮らしてみて寒くなくする技術は同時に暑くなくする技術であることも知りました。

古民家にこの技術を応用して快適に暮らしたい。この望みを実現することが古民家をのこし子どもたちに伝えるもっともよい方法であるとわたくしたちは考えます。

これから新築する住宅であればはじめからきちんとコントロールすることができるよう設計すればいいのです。しかしすでに建てられてから一世紀二世紀を経ている古民家ではそうはいきません。

民家の著しい特徴の一つは、地方色をもつことです。戸障子が多く開放的な家、茅葺の家、瓦葺の家、破損が大きい家などさまざまです。しかしどの家も寒いという悩みを抱えていることでは共通しています。古民家を文化遺産としての価値を保ちながら、屋内の温湿度をコントロールして寒さを取り除く。それには個性的な家々の特徴をシッカリ把握して、細かいところまで行き届いた工夫をしなければ快適な住まいは実現しません。

古民家は児玉氏のいう第一世代に地域の気候特性を読み、建築を工夫して建てられました。多少なりともエネルギーまかせの第二世代を翻弄されながら通過し、生き残ってきた家々が第三の世代である２１世紀を迎えたのです。

いま、本書でとりあげている古民家は、断熱気密を施し高い性能をもっています。それらの家々は現在及び未来を生き抜くべく気持ちよく暮せる家として次世代に引き継がれています。まさに「古民家復権」の実現です。　　（担当宮澤智士）

研究の成果

○　出版物『古民家復権』の新聞等の書評　（別添）

○　２００１年１０月２５日、みやぎ・ゆとりある住まいづくり推進協議会主催で「古民家復権」と題して講演会をおこなった。本書を同協議会が買い上げ参加者全員に配布して普及をはかった。アンケート結果をみると、参加者は古民家に大きな関心を抱いており、講演によりいっそう興味が深まったことがわかる。以下にその一部をを記す。

（申込者１９２名・詳細資料別添）

・古いものを大切にする気持ちを子どもたちに伝えていきたいと思います。
・父の実家は地区１５０年の民家でした。従妹の代であっさり新築、思い出のものが全て無になってがっかりです。
・実際に改修した家で講演会があればなお印象深い。
・団地住まいから築 112 年の家に嫁に来て冬は寒く泣きたい思いをしたものです。今は古い家を直して、子孫に伝えていきたいと思っています。

・古民家の空間に興味を持ちました。とても素敵な空間だと思います。
・古民家を守るための技術ももっと大切に守られていければいいですね。古民家を通じた人とのかかわりを聞きとても感動しました。
・新聞記事にして広く多くの方々に知らせてはどうか。
・移築した古民家の実地見学がしたい。
・講演をもっと聴きたかった。時間も短かった。本も帰ったらすぐ読みたい。

このほか次のような機会に普及を図る。

・東京電力主催　「住まいとまちづくり塾」
・ＮＰＯ木の建築フォラム主催　「古民家再生塾」
・社団法人日本住宅協会機関誌「住宅」１１月号
・塩ビ工業・環境協会「住宅セミナー」

○　保存と普及を図るため登録文化財に登録

本研究の一環として、１０棟目に掲げた「おりざの森」と仙台箪笥の老舗「門間箪笥店」農家レストラン「渋谷家住宅」の登録申請したところ平成１３年１１月１６日の文部科学省文化審議会が文部科学大臣に答申した。「おりざの森」は明治２３年建築とはいえ、用途も外観をも変えての移築復原である。文化財の概念をここまで広げ開発した文化庁の態度は古民家の保存活用にとって喜ばしい。　（告知の新聞記事別添）

○　保存を容易にするための補助金制度の開発と成果

農家民宿「おりざの森」は「平成１２年度　新山村振興等特別対策事業」による「地域資源活用総合交流促進施設整備工事」として位置付けられ総額２０００万円の農林水産省の補助金を受けた。このような古民家の移築が補助金の対象となることは、保存にとって喜ばしいことであり、小野田町の農政課の努力によるところが大きい。そのうえ地域やマスコミが関心を示し、報道は新聞雑誌テレビと多岐にわたり、他自治体からの視察見学が絶えない。

江刺市の千葉家はＮＥＤＯにシステム登録をおこない、平成１３年度の補助金３１０万円を受けた。古民家改修のシステム登録は１件のみである。３年間に亘る室内気候の計測と報告義務はデータの蓄積にも役立ち一石二鳥である。上記いずれもが時限立法であることが残念である。

研究の発展

技術や手法の確立は未だ道半ばであるが、普及のための手段として出版ができたことは大きな成果といえる。これからいっそうの伝統的民家の断熱気密改修をすすめ、寒いというだけで壊されることなく、１棟でも多く次世代の子どもたちに手渡すことができるようこの本を活用し普及に努めたい。

「ぶなの木学舎」宮澤邸では来年度からエアコンを設置し、夏期の室内環境とランニングコストに関する研究も開始する予定である。

別添資料リスト

◎「ぶなの木学舎」宮澤邸（1998.12.29‥1999.1.7）連続－停止－連続
◎「ぶなの木学舎」宮澤邸（1999.1.12‥1.16）遊佐家（1998.1.22‥1.26）連続と間欠の比較
◎「ぶなの木学舎」宮澤邸（1999.7.18‥7.28）無人のため締切
◎「ぶなの木学舎」宮澤邸（1999.8.1‥8.10）8.5～窓開放
●弘前木村邸（1999.8.1‥8.10）8.3～エアコン使用開始（築１８年改修後）
遊佐家改修前（1997.8.14‥8.17）
◎遊佐家改修後（1998.1.22‥1.30）間欠暖房
◎上野家改修後（1998.1.22‥1.30）間欠暖房
開口部ペア低断熱低気密新築住宅仙台平良邸（1998.1.22‥1.30）
◎富永家三ヶ月間の室内気候グラフ（2001.1.24‥4.7）
◎遊佐家三ヶ月間の室内気候グラフ（2001.1.21‥3.26）
●弘前木村邸三ヶ月間の室内気候グラフ（参考資料）（2000.1.23‥4.10）（改修後）
注
◎は高断熱高気密改修した全室暖房古民家、●は高断熱高気密改修した全室暖房の築１８年の住宅。
高断熱高気密古民家詳細図集、「ぶなの木学舎」宮澤邸の室内気候グラフ等のデータとその解説は『古民家復権』参照

書　評
日刊木材新聞
建設通信新聞

普及のための講演会告知パンフレット
講演会アンケート

登録文化財にして普及をはかり、関心を深める。答申を知らせる新聞記事
　当研究の一環として「おりざの森」・「渋谷家住宅」・「門間箪笥店」の３件７棟を手がけた。

1－12 ガラス材を透過した日射の熱変換効果に関する実験的研究

熊本県立大学　環境共生学部
教授　中村泰人

1．はじめに

ガラス板は建物の開口部において、視界を確保して光を採り入れる一方、空気の流通を遮断して熱の出入りを調節することによって、光学的また熱学的に重要な役割を演ずるところから、ガラス板メーカーはそれらの諸性能をカタログに記載して設計や使用の便を図っている。

それらの諸性能のうち、光学的性能としては、可視光には透過率と反射率、日射には透過率と反射率と吸収率、さらに紫外線には透過率が記載されている。これらの光学的性能は一般に、分光光度計を用いた法線方向からの入射の実験に基づいて表示されている。一方、熱学的性能としては、熱伝導による熱移動量を表す熱貫流率、日射の透過率に熱対流での流入成分を加えた日射熱取得率、さらにブラインドやカーテンなどの遮蔽物を有する場合の複合的な効果を表した遮蔽係数、などが表示されている。

ガラス板が実際に窓に装着された場合は、日射の窓面への入射は法線方向は稀で、ほとんど常に角度をもって入射するだけでなく、しかも、窓ガラスを通して光と熱とが複合して射入することになる。この点について近年は特に、地球温暖化防止に関連して、窓ガラスを通じての室内への日射熱の流入防止、ならびに室内からの放熱防止が重要な課題になってきている。これらの光と熱の複合効果を表示するには、カタログ記載の諸数値では十分でないと考えられる。というのは、カタログでは、日射の透過に関する光学的性能が法線方向入射を基準に表示されていることや、熱学的性能と光学的性能が別々に表示されていること、などが疑問を引き起こす理由としてあげられるからである。

そこで本研究では、ガラス板を通しての日射の光と熱の複合効果を表示するために、一種の熱量計（箱）を用いて実験を行い、熱透過率を定義することによって日射の熱変換効果を調べることとした。実験に際しては日射が当たる状態でガラス板の表面温度を測ることになるが、これまた正確な確立した方法がないため、それをも研究内容にとりいれることとした。すなわち、本研究は、

1）日射が当たるガラス板の表面温度の測定法を確立すること、

2）熱透過率を定義してガラス板を透過した日射の熱変換効果を明らかにすること、

の二つの目的を設定して行うこととした。

2．　日射が当たるガラス板の表面温度の測定法

2．1　日射量を用いた表面温度の表式の導出

日射が当たるガラス板の表面温度は、日射がガラスを透過することと、表面が鏡面状に平らであることのために、正確な測定が極めて困難である。そこで、極細熱電対・日射計

・放射温度計を用いてガラス板の表面温度を測定する方法を考案した。基本的な考え方は、センサーを用いることによって必然的に生じる測定誤差を、日射量を媒介にして補正することである。

図1を基にして、ガラス板表面の熱電対の温接点 θ_t に対する熱平衡式は、

$$a_t \cdot J = \alpha_{r,t}(\theta_t - \theta_r) + \alpha_c(\theta_t - \theta_a) + (1/r)(\theta_t - \theta_b) \quad (1)$$

で表され、ガラス板表面温 θ_g を測る位置における熱平衡式は、

$$a_g \cdot J = \alpha_{r,g}(\theta_g - \theta_r) + \alpha_c(\theta_g - \theta_a) + (1/r)(\theta_g - \theta_b) \quad (2)$$

で表される。ここに、

a_t：透明プラスチック・テープ表面の日射吸収率［-］

a_g：ガラス板表面の日射吸収率［-］

J　：ガラス板表面に入射する日射量［W/m²］

$\alpha_{r,t}$：透明プラスチック・テープ表面の放射熱伝達率［W/m²K］

$\alpha_{r,g}$：ガラス板表面の放射熱伝達率［W/m²K］

α_c：ガラス板表面の対流熱伝達率［W/m²K］

r　：ガラス板の熱抵抗［m²K/W］

θ_t：熱電対の指示する表面温度［℃］

θ_g：ガラス板の表面温度［℃］

θ_r：ガラス板表面から見た周辺の放射温度［℃］

θ_a：周辺の気温［℃］

θ_b：ガラス板背面の温度［℃］

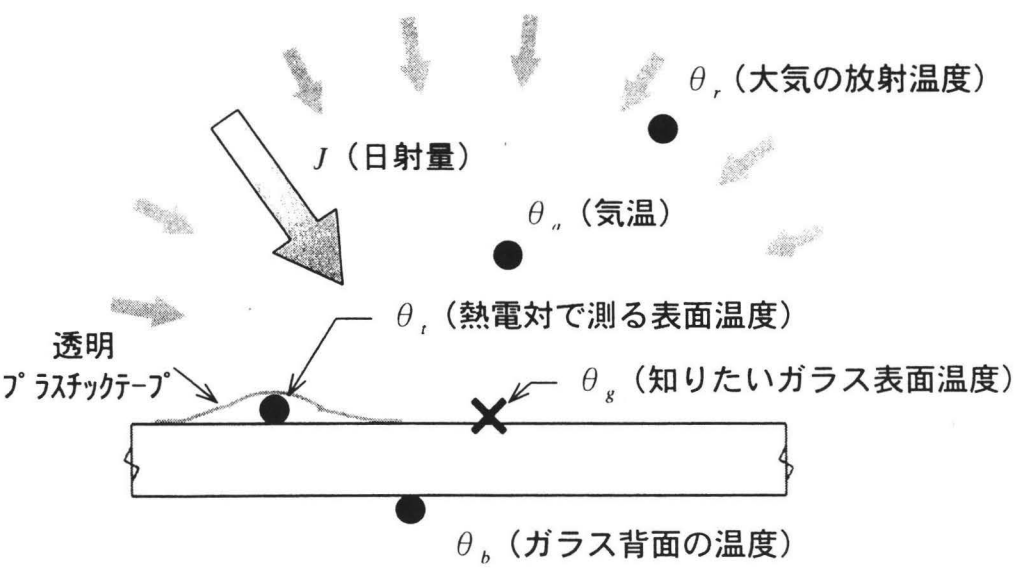


図1　ガラス板表面の熱収支関連項目

である。θ_t と θ_g の測定点は互いに近くに位置させるため、式(1)と式(2)の両者で対流熱伝達率は等しいとみて、α_c と置いている。

式(1)から式(2)を差し引き、変形して整理すると、ガラス板の表面温度について次の式が得られる。

$$\theta_g - \theta_t = \frac{(a_g - a_t)J - (\alpha_{r,g} - \alpha_{r,t})(\theta_t - \theta_r)}{\alpha_{r,g} + \alpha_c + (1/r)} \tag{3}$$

ここで右辺は、日射量 J と熱電対の指示する温度 θ_t を除くと、いずれも定数とみなすことができる。また、熱電対で測った表面温度 θ_t は、日射量 J に応じて比例的に変わると考えられるので、p, q を定数として、

$$\theta_t = p \cdot J + q \tag{4}$$

と表すことができる。

以上をまとめると、A, B を定数として式(3)は、

$$\theta_g - \theta_t = A \cdot J + B \tag{5}$$

で表せることになる。ここに、

$$A = \frac{(a_g - a_t) - (\varepsilon_g - \varepsilon_t)\kappa_t \cdot p}{\varepsilon_g \cdot \kappa_t + \alpha_c + (1/r)} \tag{6}$$

$$B = \frac{-(\varepsilon_g - \varepsilon_t)\kappa_t \cdot (q - \theta_r)}{\varepsilon_g \cdot \kappa_t + \alpha_c + (1/r)} \tag{7}$$

であり、さらに次の関係がある。

$$\alpha_{r,t} = \varepsilon_t \cdot \kappa_t \tag{8}$$

$$\alpha_{r,g} = \varepsilon_g \cdot \kappa_t \tag{9}$$

ε_t ：透明プラスチック・テープ表面の放射率 [-]

ε_g ：ガラス板表面の放射率 [-]

κ_t ：温度係数 [W/m²K]、定数とみなせる

A, B の値は式(6),(7)で求めるのではなく、ガラス板の表面温度 θ_g、熱電対による表面温度 θ_t、日射量 J、の実測値から直線回帰式を求めて決定する。ガラス板の表面温度 θ_g の測定には熱画像式の放射温度計が用いられる。

A, B が定まってからは、θ_g は θ_t と J とから、式(5)を変形して、

$$\theta_g = \theta_t + A \cdot J + B \tag{10}$$

で求められる。すなわち、式(10)が日射が当たるときのガラス板の表面温度 θ_g を、熱電対の測定値 θ_t と日射計で得られた日射量 J とを用いて算出する表式である。

2．2　結果と考察

実験には、日射の熱変換効果に用いた熱量箱を利用した。すなわち、天空の開けた屋外に、内容積が 30cm(深さ)× 80cm × 80cm で、厚さ 10cm の断熱材でできた上面の開いた

箱（熱量箱）を置き、その上面に厚さ 6mm、大きさ 90cm × 90cm のガラス板をのせて密閉し、ガラス板上面を表面温度の測定面とした。日中に測定を行ったので、熱流は上向きの状態である。

ガラス板上面の熱画像式放射温度計による表面温度の測定点の近傍で、次の４点のセンサーをセットした。

(0) E 型極細熱電対（ϕ = 0.076mm) プラスチック透明テープで貼りつけ（θ_{t0}）

(1) T 型熱電対（ϕ = 0.3mm) プラスチック透明テープで貼りつけ（θ_{t1}）

(2) T 型熱電対（ϕ = 0.3mm) アルミテープで貼りつけ（θ_{t2}）

(3) 小型放射温度計（θ_{t3}）

測定の記録にはデータロガーを使用し、熱電対測定には内臓の冷接点補償を用いた。ここで、(0)、(1)、(2) を主たる考察対象とする。

２．２．１　E 型極細熱電対の場合

熱画像式放射温度計による測定値を（θ_g）、また（θ_{t0}）を（θ_t）と表して、**図２**に全天日射量 J と（$\theta_g - \theta_t$）の関係を示す。結果は、極細熱電対でガラス表面温度を測ると、日射量にあまり関係なく、ガラス表面温度より２度ほど高めに出る、ということである。高めに出るのは、透明なガラスに対して、不透明な障害物があるわけだから、日射

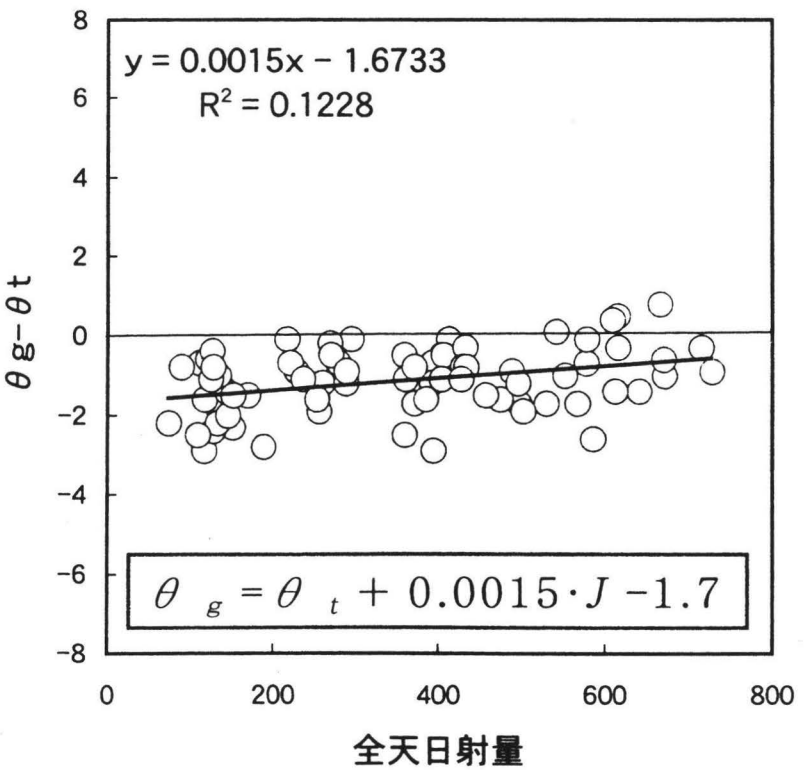


図２　日射量と温度差（$\theta_g - \theta_t$）の関係

の吸収によって、温度が高くなるのは当然の結果である。

図２では、温度差が日射量の増加とともに、わずかに増加している。この勾配は式(6)のAに相当するものである。式(6)で、分母は常に正、分子第１項の（$a_g - a_t$）は、熱電対の日射吸収率のほうが大きいはずだから負となるので、第２項は正でなければならない。ここで、$\kappa_t \cdot p$は正だから、したがって、（$\varepsilon_g - \varepsilon_t$）は負でなければならないことになる。これによると、プラスチックの透明テープの放射率はガラスのそれより大きいことになる。あり得ることである。式(7)のBについては、分子に含まれる（$q - \theta_r$）は、qが日射がないときのガラスの表面温であり、θ_rは大気放射の温度であるから当然（$q - \theta_r$）は負と判断できるので、Bは負となる。これは図２に示されているように、Bは負になっており、妥当な結果である。このように、図２の結果は合理的な説明がつくものであるから、結果の信頼性は高いといえる。

２．２．２　その他の場合

T型熱電対（ϕ= 0.3mm) をプラスチック透明テープで貼りつけた場合（θ_{t1}）は、ガラス表面温度より小さい日射量で約３度、大きい日射量で約２度、高く出ている。

T型熱電対（ϕ= 0.3mm) をアルミテープで貼りつけた場合（θ_{t2}）は、ガラス板表面温度より小さい日射量で約３度、大きい日射量で約４度、高く出ている。

参考として測定してみた小型放射温度計の場合（θ_{t3}）は、日射量にほとんど関係せずに、熱画像式放射温度計が指示するガラス板表面温度とほぼ等しい値を示した。

以上の結果から、用いた３種の熱電対のうちでは、極細熱電対の場合が日射量とほとんど関係しないので、日射が当たるガラス板の表面温度の測定法として推奨できるといえる。

3．熱透過率によるガラス板を透過した日射の熱変換効果

3．1　実験方法

図3に、実験に用いた実験箱と周辺の測定機器の配置を示す。前述のように熱量箱を水平に置き、内部の表面は日射の吸収をよくするために黒色の紙で覆い、上面にガラス板を載せて内部を密封した。ガラス板上面の表面温度測定にはE型極細熱電対を使用、熱量箱内部の気温測定にはT型極細熱電対を使用、床表面温測定にはT型熱電対を使用、壁および床の熱流測定には熱流計を使用した。熱量箱の周辺では、気温測定用に日射を遮蔽したT型極細熱電対を使用、風速測定には3次元超音波風速計を使用、そのほかに、精密級全天日射計、赤外放射計を使用した。データの収集にはデータロガーを使用し、日中測定を原則として、10時から15時までの記録が確実にできるように、すべて10秒間隔で記録を行った。

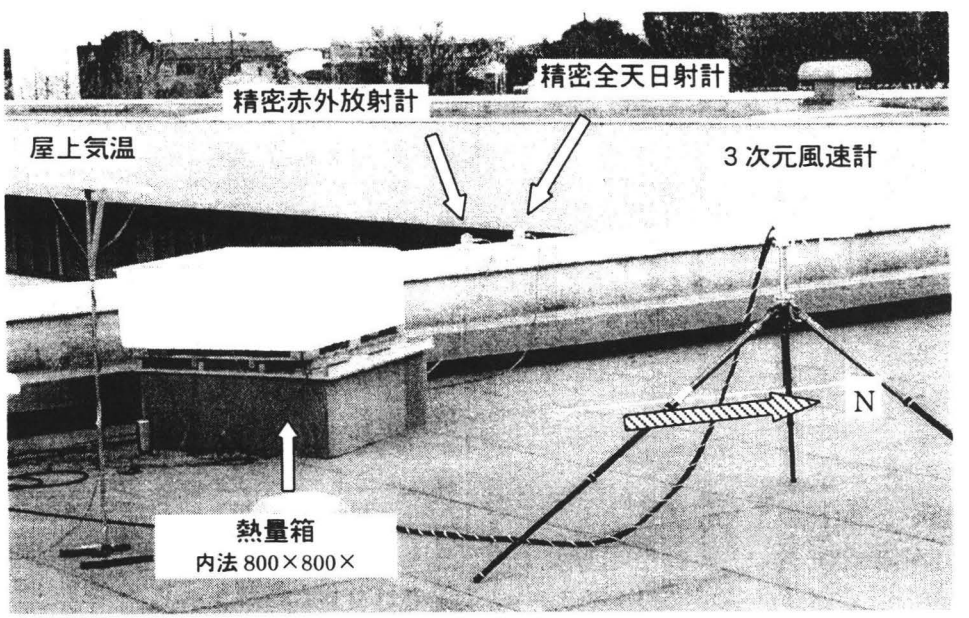


図3　実験中のガラス板をのせた熱量箱と周辺の測定機器の配置

3．2　実験に用いたガラス板の種類

表1に、実験に使用したガラス板の種類とカタログに記載されている性能値を抜き書きした。全部で9種類である。大きさはいずれも90cm ×90cm である。備考欄で室内側とは熱量箱の上面に水平に設置したガラス板の下方の室空間を指す。

表１　使用したガラスと性能のカタログ掲載数値

略称	ガ ラ ス 名	厚さ［mm］	可視光透過率［%］	日　射透過率［%］	日射熱取得率 η ［-］	備　　考
A	透明板ガラス	6	88.7	80.6	0.85	
B	熱線吸収板ガラス	6	59.1	60.7	0.70	
C	熱線反射ガラス レフライトＳ	6	63.3	62.4	0.67	反射面室内側
D	熱線反射ガラス レフライトＢ	6	42.1	48.6	0.58	反射面室内側
E	熱線反射ガラス ﾚﾌﾗｲﾄSｸﾞﾚｰ	6	42.0	47.2	0.55	反射面室外側
F	高性能熱線反射ガラス	6	32.0	29.2	0.45	反射膜面は室内側
G	複層ガラス	6+6+6	79.1	66.0	0.73	
H	複層 Low-E ガラス ﾍﾟｱﾏﾙﾁｽｰﾊﾟｰｸﾞﾘｰﾝ	5+6+5	67.6	33.7	0.45	Low-E は室内側で中空層側
I	複層 Low-E ガラス ﾍﾟｱﾏﾙﾁﾚｲﾎﾞｰｸﾞｸﾞﾘｰﾝ	5+6+5	68.2	33.7	0.39	Low-E は室外側で中空層側

３．３　日射の熱変換効果の表現

３．３．１　熱量箱各部の熱流量

上面がガラス板で閉じられた熱量箱に日射が当たったとき、ガラス板を透過して室内に入った日射熱は、壁と床が黒色表面であるためにほとんどが吸収され、室内の気温を高めるとともに、壁および床から伝導で室外へと逃げ、ガラス板からは伝導を通じて対流と放射で室外へ逃げていく。したがって、一定時間に対しては、次の熱平衡式が成立する。

$$Q_s = Q_i - Q_k - Q_r - Q_c \qquad (11)$$

ここに、

Q_s ：熱量箱内部で一定時間の間に蓄えられる蓄熱量［W］

Q_i ：ガラス板を透過して熱量箱の内部に入ってくる日射の透過熱量［W］

Q_k ：熱量箱の壁と床の内表面で吸収される伝導熱量［W］

Q_r ：ガラス板の外表面から長波長放射で失われる放射熱量［W］

Q_c：ガラス板の外表面から対流で失われる対流熱量［W］

式(11)の諸項は次のように表される。

（1）透過熱量 Q_i

$$Q_i = \tau \cdot J \cdot A_o \tag{12}$$

ここに、τ：熱透過率［-］、J：ガラス板の外表面が受ける日射量［W/m²］、A_o：ガラス板の熱量箱内の空気と接した部分の面積［m²］で、Jは日射計で測定される。

（2）伝導熱量 Q_k

$$Q_k = \sum_{j=1}^{n} q_j \cdot A_j \tag{13}$$

ここに、q_j：場所 j に貼った熱流計が示す伝導熱量［W/m²］、A_j：q_j が占める床および壁の面積［m²］である。壁には各面に1枚の熱流計、床には3枚の熱流計が貼られており、床面の熱流計が分担する面積は、それぞれ 1/3 とした。

（3）放射熱量 Q_r

$$Q_r = Q_{r1} + Q_{r2} \tag{14}$$

$$Q_{r1} = \varepsilon_g \sigma (T_g^4 - T_a^4) A_o \tag{15}$$

$$Q_{r2} = \varepsilon_g \sigma (T_a^4 - T_r^4) A_o \tag{16}$$

ここに、ε_g：ガラス板の外表面の放射率［-］、σ：ステファン・ボルツマン定数 5.67×10^{-8}［W/m²K⁴］、T_g：ガラス板の外表面の温度［K］、T_a：外気温（周辺の気温）［K］、T_r：ガラス板の外表面から見える大気の放射温度［K］である。T_g は場所により分布が生じたため、4ヶ所の測定値を平均して求められた。σT_r^4 は赤外放射計で測定された。

Q_{r1} は、外気温を基準として表された放射熱量である。後述するように、熱透過率 τ と比較すべきカタログに掲載されている日射熱取得率 η は、日射の透過成分に対流成分を加えたものであり、対流成分は内外の温度差がない基準温度に対して表現されているところから、比較ができるようにするために、外気温基準で表した熱量 Q_{r1} を、大気放射への損失を含む熱量 Q_r と区別して表現することとした。この表現によると、式(16)の Q_{r2} は、いわゆる夜間放射に相当するものになる。

（4）対流熱量 Q_c

$$Q_c = \alpha_c (\theta_g - \theta_a) A_o \tag{17}$$

ここに、α_c：対流熱伝達率［W/m²K］で、高さ1.5m で測った周辺の風速を v［m/s］とすると、$\alpha_c = 7.4 + 1.0\ v$［W/m²K］で表される。θ_a：熱量箱周辺の気温［℃］である。

（5）蓄熱量 Q_s

$$Q_s = C_p \cdot \rho \cdot V \frac{d\theta}{dt} \tag{18}$$

ここに、C_p：熱量箱の内部空間の比熱［J/kg·K］、ρ：熱量箱の内部空間の密度［kg/m³］、

$d\theta$：一定時間幅の熱量箱内部空間の温度差［K］、dt：一定時間幅［s］。解析ではdtとして１時間［3600s］をとった。なお、C_pには、ガラス板の容積の室内側の半分が含まれるとみなして解析した。

３．３．２　熱透過率τの定義

式(12)を用いて式(11)を表すと、

$$Q_s = \tau \cdot J \cdot A_o - Q_k - Q_r - Q_c \tag{19}$$

したがって、熱透過率τは、

$$\tau = \frac{1}{J \cdot A_o}(Q_s + Q_k + Q_r + Q_c) \tag{20}$$

となる。これが一般的な熱透過率τの定義式である。

しかし、この定義にはガラス板の外側の大気放射の効果を含んでいるが、前述のように、比較の対象とすべき日射熱取得率ηはそれを含んでいない。そこで、大気放射の効果を含まない熱透過率をτ_1と表して、τと区別して表現しておく。すなわち、大気放射を含まないQ_{r1}に対応して、熱透過率τ_1は、

$$\tau_1 = \frac{1}{J \cdot A_o}(Q_s + Q_k + Q_{r1} + Q_c) \tag{21}$$

で定義される。

３．４　熱透過率τ_1による日射の熱変換効果

３．４．１　ガラス板ごとの熱透過率τ_1の特性

（１）熱透過率τ_1　ガラスＡ（測定：2001年11月11日、天気：晴れ、太陽光入射角：50度以上）

図４に、ガラスＡの場合の各部放熱量の割合（式(21)の右辺の各項）と熱透過率を示す。ガラス板面への太陽光の入射角（法線方向が0度）は 最小で50度であった。図は、10時から15時までの１時間ごとの平衡状態を棒グラフで示してある。図中に、カタログに記載された日射熱取得率ηを●印の実線で示す。熱透過率は、日射熱取得率ηの比較の対象となる、式(21)で求めた熱透過率τ_1を□印の点線で示す。大気放射の効果を含めた正味の、式(20)で求めた熱透過率τは△印の破線で示す。

各部放熱量の割合を構成する蓄熱量、伝導熱量、対流熱量、放射熱量Q_{r1}の割合の和がτ_1である。蓄熱量は温度が上昇中の午前中は正であるが、午後は負に変わる。11時台と12時台の熱透過率τ_1が他の時間より小さく、このとき大気放射量も低くなっている。このことから、大気放射の影響が大きいことが考えられる。風速が0.5m/sと弱かったためか、ガラス面からの放熱量は対流成分より放射成分が多くなっている。

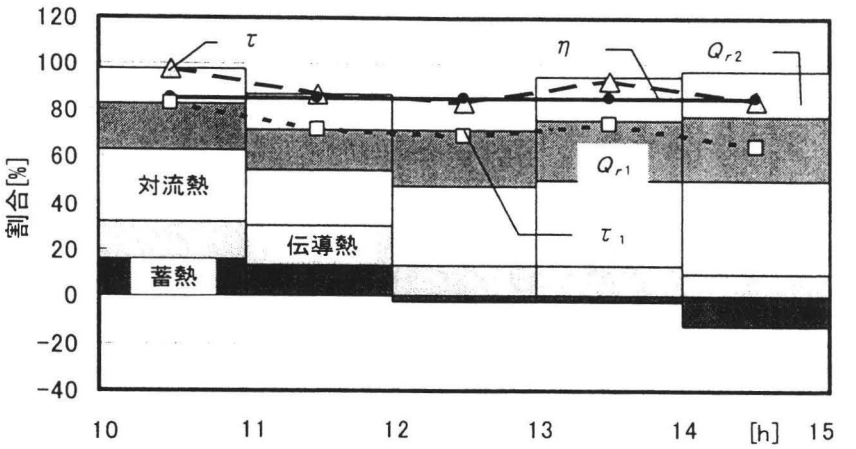


図４　ガラスＡ　各部放熱量の割合と熱透過率

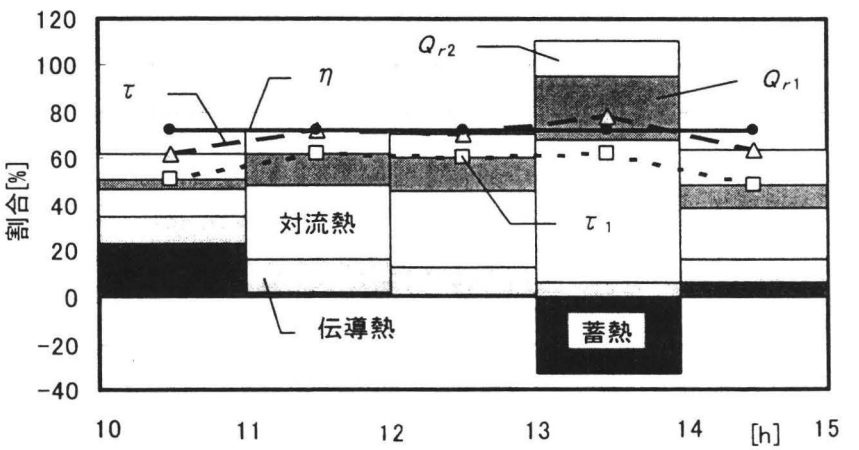


図５　ガラスＢ　各部放熱量の割合と熱透過率

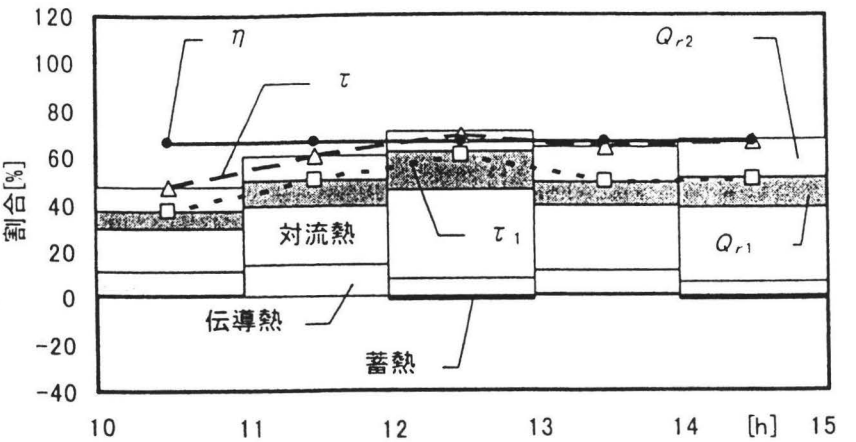


図６　ガラスＣ　各部放熱量の割合と熱透過率

τ_1と日射熱取得率ηとの比較では、いずれの時間もτ_1の方が小さい値を示した。大気放射を含めた熱透過率τはηと同等か、やや大きい値を示した。放射伝熱成分が大きいことから、ガラス表面の放射率を低くすることが放熱量を小さくするのに有効であると考えられる。

（2）熱透過率τ_1　ガラスB（測定：2001年11月28日、天気：晴れ、太陽光入射角：54度以上）

図5に、ガラスBの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

13時台の蓄熱量が負になっている。これは、それまで安定していた日射量が急激に減少し、その結果、箱内気温も急激に減少していることが原因であると考えられる。この日の風速は約0.4m/sと非常に弱いが、11時台から13時台にかけて対流熱成分の占める割合が大きくなっているのは、ガラス表面温度と外気温の差がガラスAの場合と比較して大きいためであると考えられる。蓄熱量以外の放熱量の割合はいずれも13時台に増加している。このとき日射量が減少し赤外放射量が増加している。この日射量減少と赤外放射量増加の両方の効果が放熱量の割合を増加させたと考えられる。換言すれば、曇天ではτ_1は増加するとみられる。

ηとの比較では、τ_1はいずれの時間もηより小さい値を示した。τは13時台を除くとηと同等かやや小さい値であった。

また、対流熱成分の次に高い割合を占めるのは放射熱成分であった。対流熱はガラス板の熱的性能に関わらず風や、外気温とガラス表面温度の差など外的要因に大きく影響を受けるが、放射熱成分はガラス板の熱的性能そのものが大きく影響する。このことからガラス表面の放射率を低くすることが放熱量を小さくするのに有効であると考えられる。

（3）熱透過率τ_1　ガラスC（測定：2001年11月16日、天気：晴れ時々曇り、太陽光入射角：52度以上）

図6に、ガラスCの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

ガラスAの場合と同様に午前中の蓄熱量は正で、午後は負に変わっているが、蓄熱成分が占める割合は非常に小さい。ガラスAの場合と比較して各熱流成分とも変化量が小さいが、放射伝熱成分が大きいのはガラスAと同様である。

ηとの比較では、いずれの時間もτ、τ_1ともにηより非常に小さい値であった。

（4）熱透過率τ_1　ガラスD（測定：2001年11月18日、天気：快晴、太陽光入射角：52度以上）

図7に、ガラスDの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

対流熱成分が放射熱成分よりも多くなっている。これは風速が約0.8m/sで、他の測定日

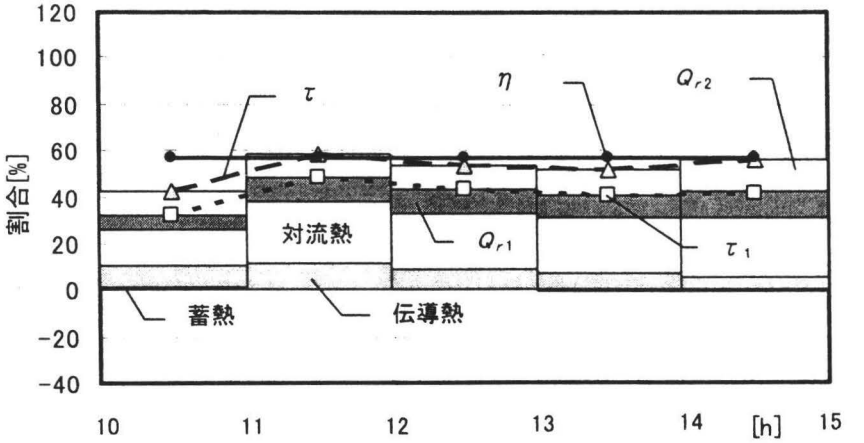


図７　ガラスＤ　各部放熱量の割合と熱透過率

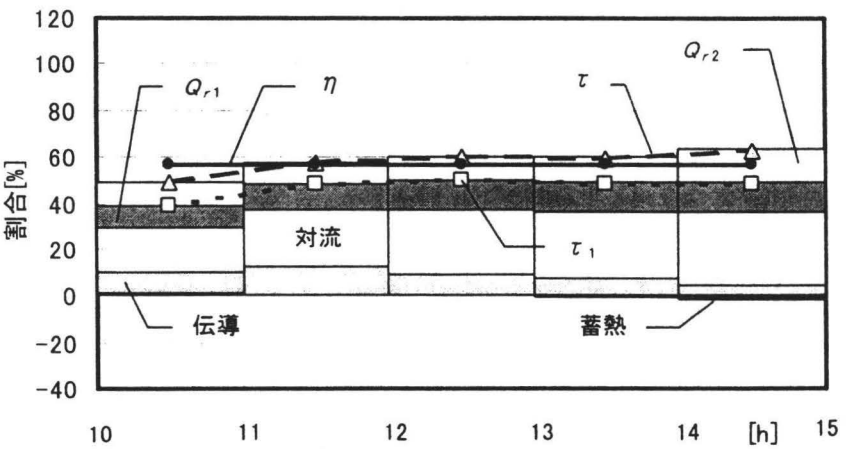


図８　ガラスＥ　各部放熱量の割合と熱透過率

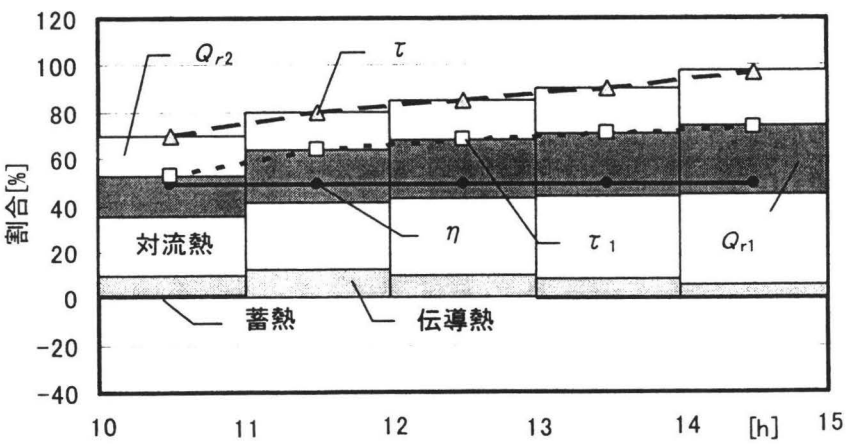


図９　ガラスＦ　各部放熱量の割合と熱透過率

と比較して風が強かったためであると考えられる。蓄熱成分が占める割合はガラスCの場合と同様に非常に小さい。

ηとの比較では、いずれの時間もτ_1はηより小さくなっている。τは10時台を除くとηと同等の値か、やや小さい値であった。

（5）熱透過率τ_1　ガラスE（測定：2001年11月19日、天気：快晴、太陽光入射角：52度以上）

図8に、ガラスEの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

各放熱成分とも変化量が小さい。これは日射量と赤外放射量が日中を通して安定していたためである、と考えられる。このことから、曇天状態では放熱量、熱透過率ともに変動が大きいと推測される。特に蓄熱成分が占める割合はガラスC、Dの場合と同様に非常に小さくなっている。一方、対流熱成分が占める割合は放射成分よりも大きくなっている。

ηとの比較では、τ_1はいずれの時間もηより小さいが、他のガラスの場合より比較的ηに近い値になっている。τは、午前中はηと同等の値か、やや小さい値を示しており、午後は同等の値か、やや大きい値を示している。

（6）熱透過率τ_1　ガラスF（測定：2001年11月20日、天気：快晴、太陽光入射角：53度以上）

図9に、ガラスFの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

熱透過率がガラスAと同じくらい大きい値を示した。τ_1はηより最大で約20％大きく、τはηより最大で約40％大きい値であった。

ガラスFは表1に見られるように、可視と日射ともに透過率がかなり小さく30％前後で、逆にそれだけ反射率が大きくなっている。反射膜面は室内側になっているので、カタログ値に誤りがないとすれば、ガラス板の表面に当たった日射はガラス内部に入り、大部分はガラス板の裏面で反射して外部へと戻ってきて、室内にはほとんど通り抜けないことになるはずである。結果は、他の例と異なってガラス板の表面温度が特に高くなっていることから、この解釈は妥当と考えられる。とすると、ガラス板の外表面からの対流および放射による放熱量を大きめに勘定している可能性がある。それらが小さい値であれば、熱透過率は小さくなると考えられる。

（7）熱透過率τ_1　ガラスG（測定：2001年11月07日、天気：晴れ、太陽光入射角：49度以上）

図10に、ガラスGの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

12時台だけが伝導熱量を除いて他の放熱量の割合が増加しているが、これはガラスBの場合と同様の理由であると考えられる。

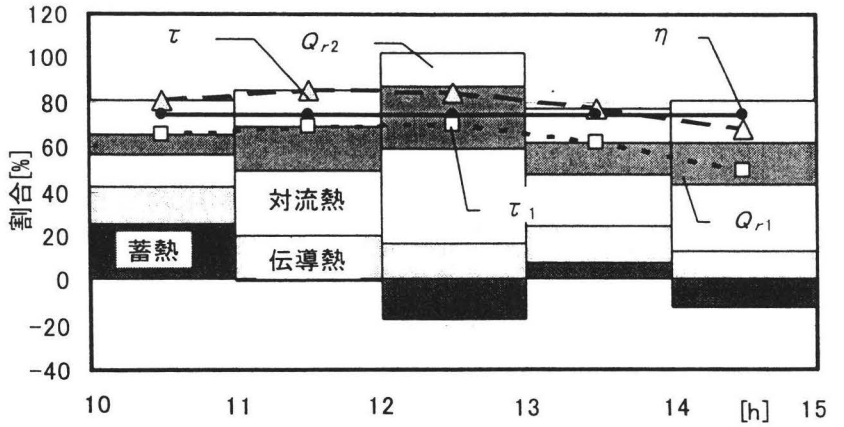


図１０　ガラスＧ　各部放熱量の割合と熱透過率

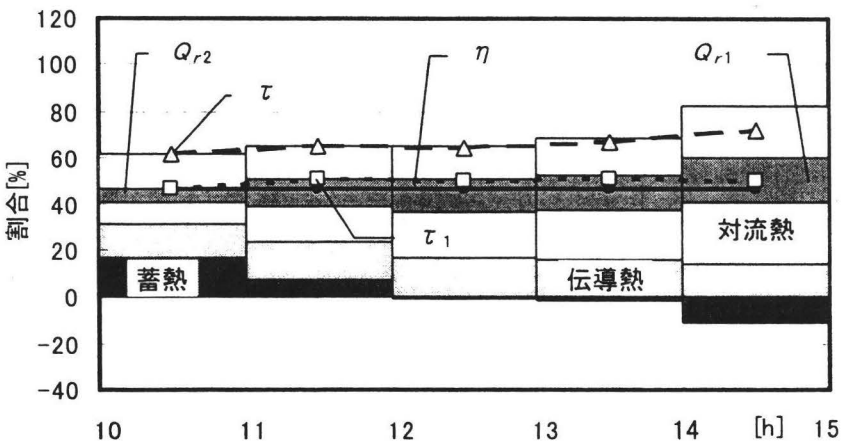


図１１　ガラスＨ　各部放熱量の割合と熱透過率

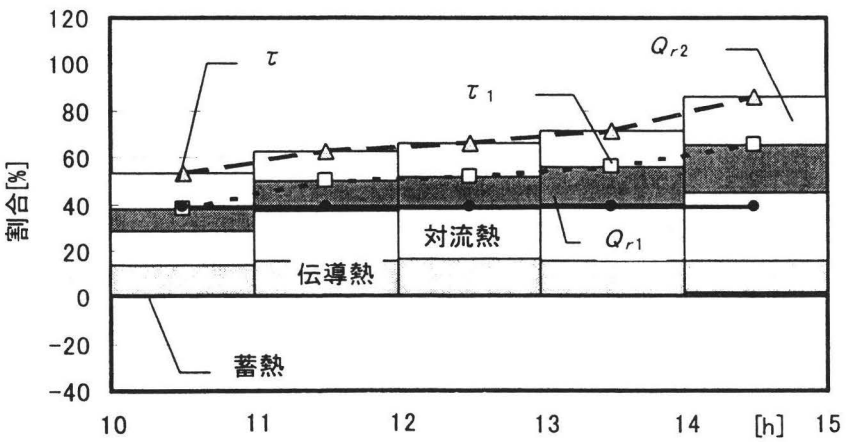


図１２　ガラスＩ　各部放熱量の割合と熱透過率

ηとの比較では、いずれの時間もτ_1が小さくなっている。τはηと同等である。

（８）熱透過率τ_1　ガラスH（測定：2001年10月31日、天気：快晴、太陽光入射角：47度以上）

図１１に、ガラスHの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

どの時間でも放熱量、熱透過率があまり変わらない。また、放射放熱量が対流放熱量より 1.4 ～ 2.6 倍も大きいことが注目される。風速は約 0.5m/s と弱かったが、晴天であったために夜間放射量が多かったことが主な原因と考えられる。

ηとの比較では、他の場合と異なりτ_1はηと同等か、やや大きい値を示している。一方、τはいずれの時間もηより大きい値を示した。

（９）熱透過率τ_1　ガラスＩ（測定：2001年11月04日、天気：晴れ、太陽光入射角：48度以上）

図１２に、ガラスＩの場合の各部放熱量の割合と熱透過率を示す。

蓄熱成分の占める割合が大きい点は他のガラスの場合と類似している。また、放射熱成分が対流熱成分より多くなっている。

ηとの比較では、τ、τ_1ともに徐々に値が上昇しており、ηとの差も徐々に大きくなっている。τ_1はηより最大で約20％大きく、τは最大で約40％大きい値を示した。これは、この日の天気が雲の多い晴れで日射量が安定していなかったことが関係していると考えられる。

３．４．２　考　察

９種類のガラス板について同一手法の実験を繰り返した結果、６種類は類似して、大気放射成分を除いた熱透過率τ_1がカタログ記載の日射取得率ηより10％前後小さい値を示した。これは、実験中の太陽高度が最大でも43度、したがって入射角は47度以上と、かなり傾いていたために、法線方向入射よりも実質的な透過率が減少し、その結果、透過熱量が減って放熱量も減ったと考えれば、熱透過率τ_1と日射取得率ηとは対応するといえなくもない。

熱透過率に大気放射の効果を加味してτで表すと、熱透過率は10％前後増加して、日射取得率ηに近い値となる。このことから熱透過率は、入射角が増大することによる透過率の減少と、大気放射が加わることによる放熱量の増加とが相まって、結果的にカタログ記載の法線方向入射の日射取得率ηと大差のない数値になっている、といえるかも知れない。これらの特性は晴天時を対象としたものであることに注意を要する。

９種類のうちの２種類は、ほぼ共通して、熱透過率τ_1が日射取得率ηより20％前後、高い値を示した。両者に共通する性質は、外気に面したガラス板の室内側に反射膜が装着

されているか、低放射率の面になっていることである。この場合、外部から入ってきた日射はガラス板の裏面で反射し、もとへと戻って外部へと出ていくエネルギーが大きいものと推察される。その結果、ガラス板表面から外部への放熱量が増して、式(21)で表される熱透過率τ_1が大きな値になることが考えられる。したがって、ガラス板の裏面が反射性の場合については、さらなる検討が必要である。

９種類のうちの残る１種類については、熱透過率τ_1が日射取得率ηとほぼ同等の値を示した。この場合は複層ガラスで、単層ガラスより対流放熱量の割合が小さいという、複層ガラスの特長が出ているが、複層ガラスの熱透過率についてもさらなる検討が必要である。

４．ま と め

ガラス板を通しての日射の光と熱の複合効果を表示することを目標に、日射の熱変換効果に関して、二つの目的で実験的研究を行った。

（１）日射が当たるガラス板の表面温度の測定法

１）ガラス板表面に極細（直径0.076mm）熱電対を透明プラスチック・テープで貼りつけることによって、安定した表面温測定ができることをしめした。

２）日射量が当たる状態でこの方法で測ると表面温度は２度ほど高めに出る。

（２）熱透過率を定義することによるガラス板を透過した日射の熱変換効果

１）熱透過率がガラス板を透過した日射の熱変換効果を表示するために用いることができる。

２）一般的なガラス板では、大気放射を考慮しない熱透過率（τ_1）は日射熱取得率（η）より低めな値を示す。

３）大気放射を考慮すると、熱透過率の値は高くなる。

参考資料

１）宮島教江・中村泰人・平川真由美：ガラス板の日射熱透過特性に関する実験的研究、日本建築学会研究報告・九州支部、第41号・２（環境系）、pp.369-272，2002.

２）中村泰人・平川真由美・宮島教江：日射が当たるガラス板の表面温度測定法　その１測定法の提案、日本建築学会研究報告・九州支部、第41号・２（環境系）、pp.385-388，2002.

１－13 悪臭成分分解機能を有する新規住宅建材に関する調査研究

室蘭工業大学　工学部　応用工学科
教授　杉岡正敏

１．緒言

本研究では住宅、病院及び公共施設内等で発生する悪臭成分を分解除去する機能を有する新規の住宅建材の開発に関する調査・研究を行ったものである。

本調査研究では悪臭成分の源として窒素化合物ではアミン類および硫黄化合物では硫化水素に着目して、これらの悪臭成分を分解して無臭の化合物に変換する機能を有する高活性な触媒の探索を行った。

この結果、本研究で見い出された高活性触媒を各種の住宅建材に添加することにより、悪臭成分を分解する機能を有した新規の住宅用建材を開発することが可能であることを明かにした。

以下に本調査・研究で実施した内容を（1）アミン類の分解、（2）硫化水素の酸化分解の２項目に分けて示す。

２．調査・研究実施内容

（1）アミン類の分解に対する種々のゼオライト触媒の活性評価試験

アミン類の代表としてイソプロピルアミン（以下ＩＰＡと略記）をとり上げ、このものの分解に対する種々の金属イオン交換Ｙ型ゼオライト（ＭｅＹと略記）の触媒活性を、

図１に示すようなガスクロマトグラフィーに微小反応管を接続したパルス反応装置を使用し検討した。なお、パルス反応装置を使用するＭｅＹの触媒活性の評価試験はヘリウムをキャリアーガス（流速 20ml／min）とし、反応温度 4500℃，触媒量 20mg、ＩＰＡ注入量２μｌの一定条件で行った。

表１にＩＰＡの分解に対する種々のＭｅＹの触媒活性を示す。この結果、ＩＰＡの分解に対する種々のＭｅＹの触媒活性は表１から明かなように、ＭｅＹ中の金属イオン（Ｍｅ）の種類によって大きく変化し、アルカリ金属イオンよりもアルカリ土類金属イオンおよび遷移金属イオンを用いた時が高いＩＰＡ分解活性を示すことが明かになった。とくに、遷移金属イオンである銀イオン（Ａｇ），ニッケルイオン（Ｎｉ）およびカドミウムイオン（Ｃｄ）を用いた時が著しく高いアミン分解活性を示すことが明かとなった。

また、ＭｅＹ中の金属イオンの電気陰性度と触媒活性との間には図２のような関係があり、ＭｅＹ中の金属イオンの電気陰性度が大きくなるほど高いアミン分解活性が

得られることが明らかとなった。とくに、銀イオン（Ag), ニッケルイオン(Ni)、カドミウムイオン(Cd)などの様に電気陰性度の大きな遷移金属イオンを用いた時が著しく高い触媒活性を示すことが明かになった。これは電気陰性度の大きな遷移金属イオンを含むMeYほどアミン類の窒素原子の電子対を引き付ける力が強いことに起因し、アミン類の吸着と分解に対してこれらAgY, NiY, CdYは触媒として有効に作用するためである

しかしながら、アミン分解に高活性を示すMeY触媒において、環境および人体に対する毒性の影響などは同等ではない。したがって、金属イオンの毒性の影響などを考慮すると、住宅建材に添加するMeYゼオライト触媒としては、CdY及びNiYは不適切であると思われる。一方、銀イオン(Ag)は殺菌および抗菌作用も有する金属イオンであり、環境および人体にとくに悪い影響を及ぼさない遷移金属イオンである。したがって、MeYゼオライト触媒に用いる金属イオンとしては銀イオン(Ag)を用いることが推奨される。

また、AgYゼオライトがIPAの分解に対して高い触媒活性を示すのは、上でも述べたように、アミン類に対して高い吸着能を有しているためであるが、AgYゼオライト触媒は酸素の活性化にも高い機能を有し、炭化水素化合物および有機窒素化合物などの有機化合物の酸化に対しても高い能力を有している触媒であることが知られている。したがって、住宅建材に添加するMeYゼオライト触媒としては、AgYゼオライト触媒を用いることが最も適しているといえる。

このように、環境および人体にとくに悪い影響を及ぼすことがないAgYゼオライト触媒を各種の住宅建材に添加することにより、悪臭成分であるアミン類を効率よく吸着し、その後空気中の酸素で酸化分解することにより無臭化できる高機能性住宅建材を開発することが可能であることが明かとなった。

（2）硫化水素の酸化分解に対する白金担時ゼオライト触媒 および金属酸化物触媒の活性評価試験

つぎに、悪臭を発する硫黄化合物の代表として硫化水素(H_2S)をとり上げ、この硫化水素の酸化分解に対する天然ゼオライト（クリノプチロライト）および合成ゼオライト（Y型ゼオライト）の触媒活性を検討した。活性評価試験のための実験には図３に示すようなガラス製閉鎖循環系反応装置を用いて行った。種々のゼオライト系

触媒による硫化水素の酸化分解反応は反応温度200℃、触媒量100mg，硫化水素圧10Torr＋空気圧100 Torrの一定条件で検討した。なお、硫化水素の酸化分解生成物である水(H_2O)、亜硫酸ガス(SO_2)および未反応の硫化水素(H_2S)の分析は反応装置に直結したガスクロマトグラフで分析した。

図４に硫化水素の酸化分解に対する種々のゼオライト触媒の反応開始２時間後の活性評価試験の結果を示す。なお、図中にはゼオライトとの比較のためにアルミナ(Al_2O_3)の場合の結果も示した。

この結果、天然ゼオライト（クリノプチロライト）、合成ゼオライト（NaY型ゼオライト）およびアルミナのみでもある程度硫化水素の酸化分解に活性を示し、水と亜硫酸ガスが少量生成した。しかし、反応開始２時間後でもかなりの量の硫化水素が反応装置内に残っているので、硫化水素の酸化分解に対するこれらのゼオライトのみでは触媒活性は十分ではない。

そこで、硫化水素の酸化分解に対するゼオライトの触媒活性をさらに向上させるために、これらのゼオライトに白金(Pt)を1wt%担持したPt/ゼオライト触媒を調製し、硫化水素の酸化分解に対する活性を検討した。この結果、図４に示すように、ゼオライトに白金を担時することにより、硫化水素の酸化分解に対してゼオライトの触媒活性は著しく向上し、硫化水素の酸化生成物である水(H_2O) および亜硫酸ガス(SO_2)を多量に生成した。特に1wt%Pt/NaY触媒では硫化水素は完全に酸化分解され、水と亜硫酸ガスに完全に変化することが明かになった。なお、0.5wt%の白金を担時したアルミナ（Pt/アルミナ）触媒においてもゼオライトの場合と同様に白金担時の効果が観察され、Pt/アルミナ触媒は1wt% Pt/ クリプチロライト触媒とほぼ同程度の活性を示した。

一方、アルミナの様な金属酸化物においても硫化水素の酸化分解にある程度の触媒活性が認められたので、種々の化合物に対してアルミナよりも高い酸化分解性能を有していることが知られている酸化クロム(Cr_2O_3)，酸化マンガン(MnO_2)および酸化タングステン(WO_3)などの金属酸化物の硫化水素の酸化分解性能を検討した。結果を図５に示す。

この結果、これらの金属酸化物の種類により硫化水素の酸化分解に対する触媒性能は大きく異なり、アルミナも含む触媒活性の序列は　WO_3>MnO_2＞Cr_2O_3、Al_2O_3であり、酸化タングステン(WO_3)が硫化水素の酸化分解に対して金属酸化物触媒の中では最も高い触媒活性を示した。

しかし、これらの金属酸化物の中では酸化タングステン触媒が最も高い性能を示したが、図２に示した白金を担持したNaYゼオライト（1wt%Pt/NaY）触媒の性能を超えるものではなく、硫化水素の酸化分解に対する高性能触媒としては1wt%Pt/NaYゼオライト触媒が最も高活性であることが明かとなった。

したがって、白金を担持したNaYゼオライト(1wt%Pt/NaY)触媒を住宅建材に添加することにより、硫化水素などの悪臭成分を酸化分解して無臭化する機能を有する高機能性住宅建材を開発することが可能であることが明かとなった。

なお、硫化水素は極微量でも悪臭を感じるが、亜硫酸ガスは微量では無臭に等しいので、住宅環境で発生する硫化水素の分解で生成する微量の亜硫酸ガスによる２次的な悪臭の影響はほとんどないといえる。

3. まとめ

本調査・研究では実験室の各種の化学反応装置を用いて、悪臭成分を分解あるいは酸化分解するための高性能触媒の探索を行った。しかし、本研究で行った実験の条件は反応温度および悪臭成分の濃度などにおいて、実際の室内環境の条件とは大きく異なっている。しかし、実際の室内環境における悪臭成分の濃度は、本実験のものと比べて数万分一から数百万分の一と極めて希薄な濃度であるので、本実験で得られた高活性触媒を住宅建材に添加した場合において、室内環境の温度（25℃付近）においても十分に触媒としての性能を発揮するものと考えられる。

したがって、本調査・研究で見い出した悪臭成分の分解に対する高性能なAgYゼオライト触媒またはPt/NaYゼオライト触媒、あるいはこれら両者の触媒を住宅建材に添加することにより、悪臭成分を分解する機能を有した新規の住宅建材を開発することが可能であることが明かとなった。

さらに、悪臭成分を分解する機能を有する高機能建材の開発のための今後の研究課題としては、空気中の酸素を用いる酸化分解機能と同時に、光触媒を添加して悪臭成分の光分解機能も有したさらに高度な機能を付加した超高機能性建材の開発も重要であろう。

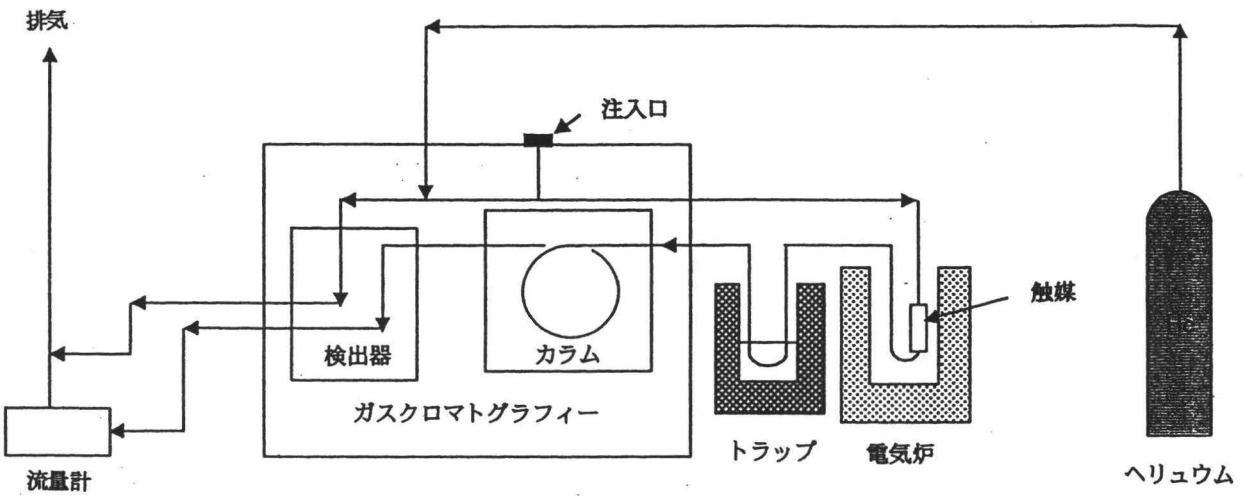


図１　　アミン類の触媒分解のためのパルス反応装置

表1　イソプロピルアミンの分解に対する種々の金属イオン交換ゼオライトの触媒活性(450℃)

MeY触媒	イオン交換率 (%)	電気陰性度	転化率 (%)
CsY	63.5	2.1	5.4
RbY	70.5	2.4	4.4
KY	91.8	2.4	10.9
NaY	—	2.7	35.2
LiY	70.3	3.0	33.9
CaY	73.8	5.0	88.1
AgY	93.9	5.7	100
MgY	69.2	6.0	89.5
HY	79.4	6.3	86.9
MnY	69.3	7.5	92.1
ZnY	78.6	8.0	94.5
CdY	75.2	8.5	100
NiY	68.8	9.0	100
PbY	90.6	9.0	92.1
CoY	71.4	9.0	87.7

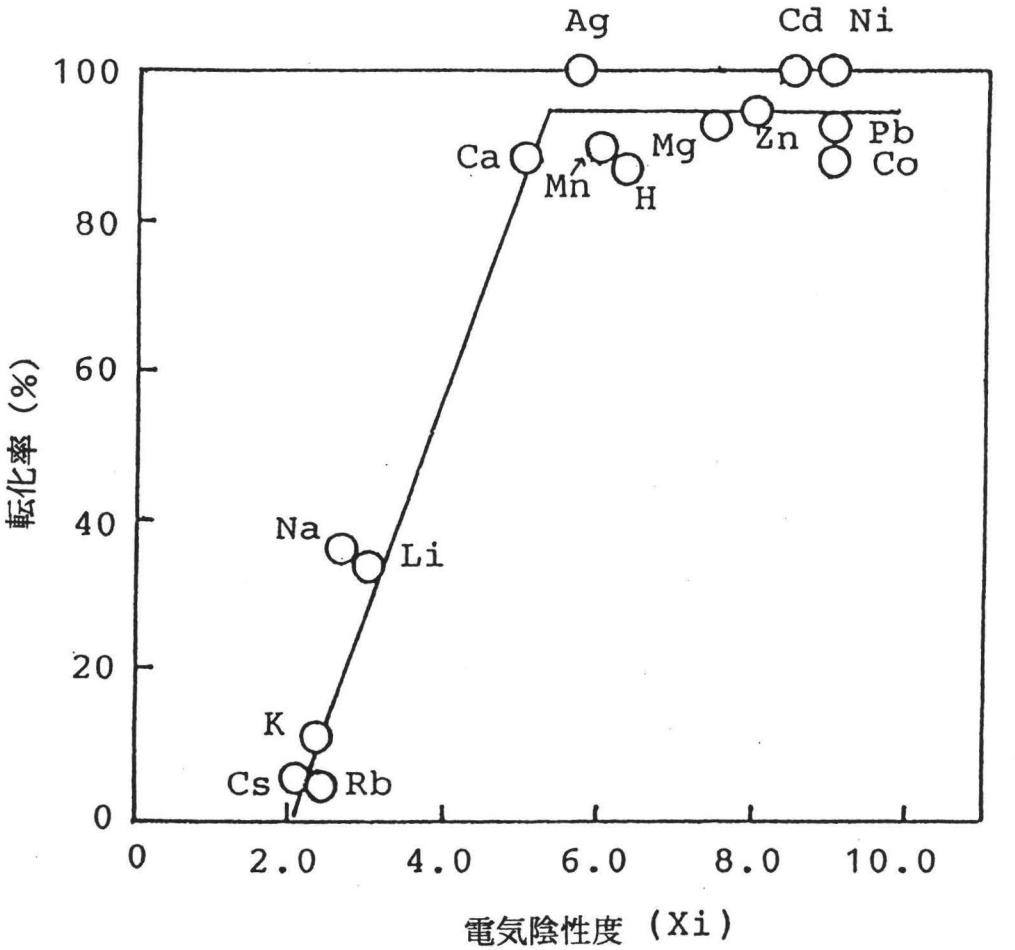


図２　　IPAの分解におけるMeY触媒中の金属イオンの電気陰性度と触媒活性との関係

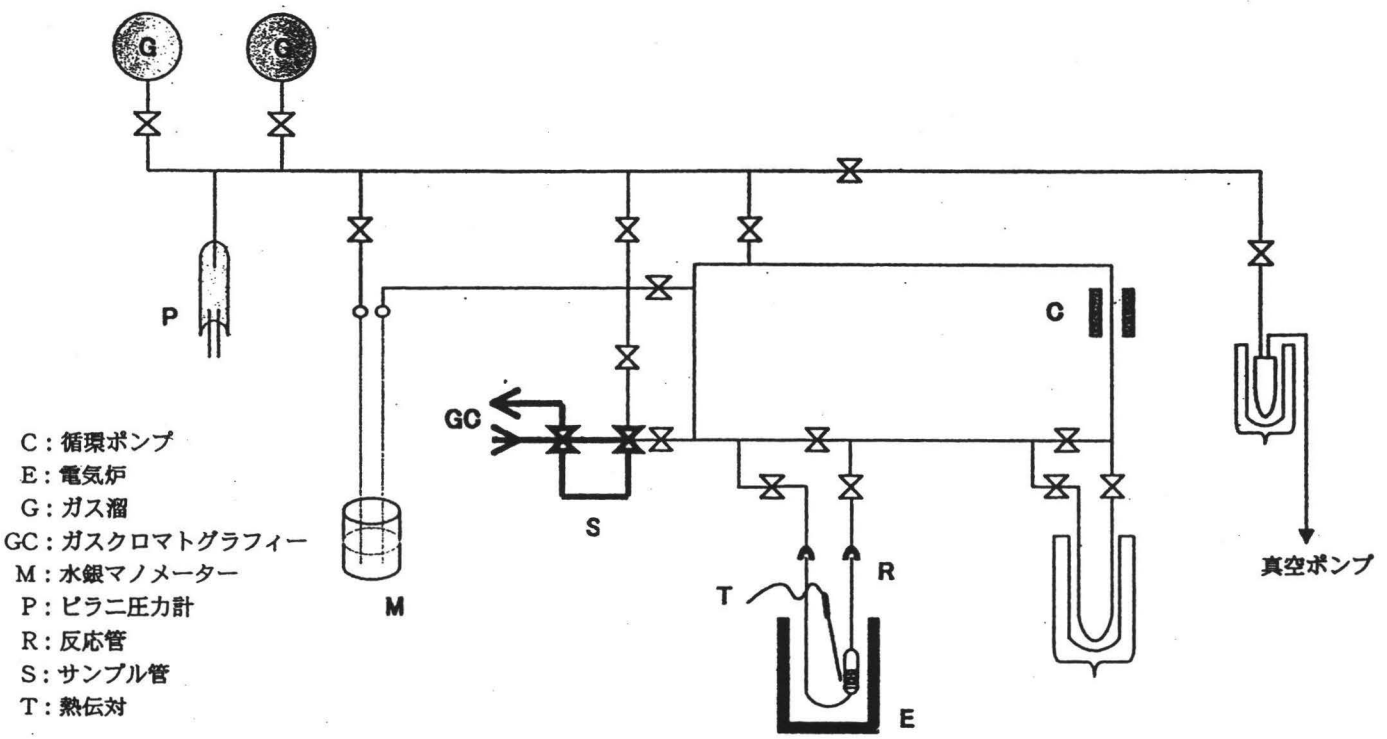


図３　　硫化水素の酸化分解のための閉鎖循環系反応装置

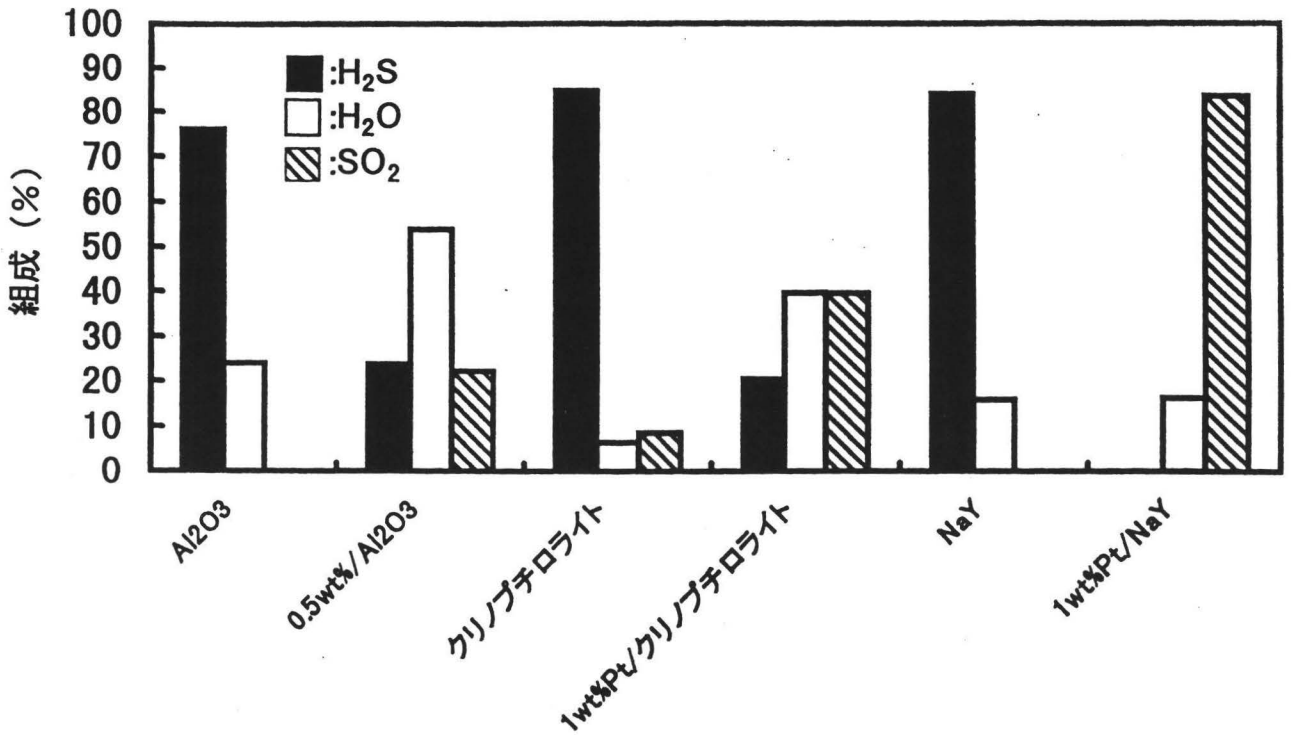


図４　　硫化水素の酸化分解に対するゼオライト触媒の活性(200℃)

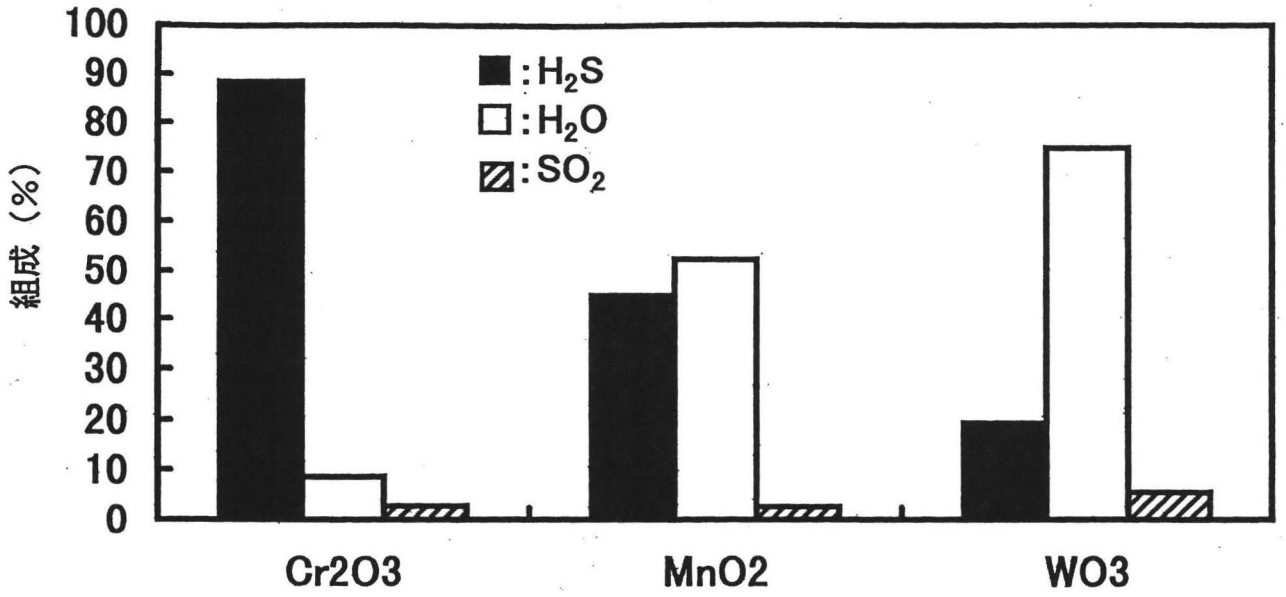


図５　　硫化水素の酸化分解に対する金属酸化物触媒の活性(200℃)

1－14　雑壁と床を考慮した軸組木造住宅の地震応答と壁量の関係に関する研究

豊田工業高等専門学校建築学科
助教授　山田耕司

本研究は，既発表の「床剛性と耐力壁線を考慮した在来軸組木造構法住宅の耐震性能評価に関する研究」（日本建築学会構造系論文集 第 525 号），「軸組木造住宅の雑壁量と固有周期・最大地震応答変位の関係」（日本建築学会構造系論文集 第 536 号）に引き続く研究である．しかし，河合により耐震壁等の履歴特性が明示されたため，本研究ではその成果（河合直人ら：在来軸組構法耐力壁の耐震性能　その２仮動的試験，日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），pp.135-136，1998）を取り入れることとした．１章では，既往の研究「軸組木造住宅の雑壁量と固有周期・最大地震応答変位の関係」で用いた解析モデルに河合の示した復元力特性モデルを代入して再計算し，申請者の用いた復元力特性モデルを用いた場合の計算結果と比較した．２章では，住宅の平面プランを用いた地震応答解析を行い，壁量等の説明変数でその地震応答性状の説明を試みた．

１．軸組木造住宅の耐力壁の履歴特性の違いによる最大地震応答変位の変化

１．１　序

既報では，軸組木造住宅の耐力壁の復元力特性に大胆な仮定を用いて計算を行い，雑壁量と耐力壁量および最大塑性率の関係を示した．今回，河合の復元力特性を用いて計算するに当たり，既報との違いを明らかにする必要がある．そこで，本章では既報の復元力特性（山田モデル）と河合の復元力特性（河合モデル）を用いて弾塑性解析を行い，その違いを明らかにする．

１．２　計算時の仮定

１．２．１　耐力壁量と壁量の分布

図１－１に文献 4)に示されるデータから抽出した１階と２階の充足率（耐力壁量/法定必要耐力壁量）の分布を示す。図より、１階充足率は 1.0～2.0 の間、２階充足率は 1.0～4.0 の間に分布し、２階充足率は１階充足率の 1.0～2.0 倍の範囲に分布していることが分かる。

図１－２に１階と２階の壁率（雑壁を含めた壁の実長さ(m)/床面積(㎡)）の分布を示す。壁率は１，２階とも 0.2～0.4 m/㎡の間に分布していることが分かる。また、表１－１に壁率と充足率の相関係数を示す。１階充足率と２階充足率間以外の相関係数が低いことが分かる。また、室内の壁では、壁の両面に面材が取り付けられることから、雑壁量は壁率中の実壁長の２倍程度存在すると考えられる。

以上のことから本報では、実際の建物では雑壁量が 0.4～0.8m/㎡になると考える。また、２階充足率と１階充足率の比は 1.0～2.0 の範囲にあると考える。

１．２．２　復元力特性

各階の復元力特性は、各階の耐力壁の実壁長さと雑壁量に以下に示す復元力特性を乗じたものとする。

１）既報の復元力特性（山田モデル）

図１－３に文献5)に示されるデータより推察される骨格曲線を示す。図中の石膏ボード雑壁の骨格曲線は1820mm*910mm*12mmの石膏ボードを使用し、@300mmで下地にビスで固定されているものとする。ビス留め接合石膏ボードの一面せん断試験の骨格曲線を変位量2.3mmで61kgfとなるBi-linear型として、文献6)に沿った方法で雑壁の終局耐力は計算すると162kgfとなる。また石膏ボード耐力壁(2730mm*910mm*12mm, @150mm)について同様に計算すると終局耐力は608kgfとなる。そこで、雑壁の骨格曲線を耐力壁の骨格曲線の0.26(≒162kgf/608kgf)倍と仮定した。

本報では、耐力壁として２つ割筋違い耐力壁を用いる事とするが、図１－３中の２つ割筋違い耐力壁の骨格曲線は、３つ割筋違い耐力壁の骨格曲線より初期剛性が劣っているので、３つ割筋違い耐力壁の骨格曲線を4/3倍（壁倍率の比=2/1.5）したものを使用する（壁倍率は２とする）。地震応答解析時の耐力壁の復元力特性は、図１－３を参考に図１－４(a)に示すTri-linear型の骨格曲線に図１－４(b)のような１次剛性で耐力が零まで戻るSlip特性の履歴ルールを適用する。

２）河合による復元力特性（河合モデル）

図１－５に文献9)に基づく骨格曲線を示す．なお，二割筋違の骨格曲線はは最大耐力が600kgf/m程度が壁倍率から妥当であると判断したので，三割筋違の骨格曲線と同じとした．また，石膏ボード雑壁の最大耐力を160-170kgf/mと考え，石膏ボード雑壁の骨格曲線はは石膏ボードの骨格曲線の0.33倍と仮定している．これらは山田モデルと比較すると，二割筋違耐力壁も石膏ボード雑壁も初期剛性が山田モデルより大きい．

３）変形比と減衰定数

変形比を層間変形角1/120radを基準として次式で定義する。

変形比＝各階の層間変形角／基準の層間変形角(1/120rad)　　(1)

減衰定数は、文献7)中の1/300rad程度の層間変形角を生じる２階建て木造住宅のSweep加振実験では、外壁サイディング無し・内装石膏ボード無し且つ壁量が施行令の1.5倍の場合で、8.5%～11.3%となっている。そこで本報では8%と設定した。

１．２．３　建物モデル

解析モデルは重い屋根の場合を想定し、１階建てモデルと２階建てモデルを以下のように設定した。但し２階建てモデルにおいては１階床面積と２階床面積が等しいものとする。床質量、耐壁量は文献8)を参考に、表２のように設定した。耐力壁量は施行令に示される耐力壁量を基準耐力壁量とし、１階の耐力壁量は基準耐力壁量の0.8, 1.0, 1.5, 2.0倍の値を取るものとする（以下、w08,w10, w15,w20と略す）。２階の耐力壁量は２階の充足率を１階の充足率の1.0,1.5, 2.0倍として２階耐力壁量＝２階充足率×２階の基準耐力壁量で計算する。雑壁量は１,２階共0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 m/㎡とする。

１．２．４　地震動波形

地震動波形は、日本建築センターで配布している地震動加速度波形の内、ELCENTEW, ELCENTNS, HACHINNS, TAFTEW, TAFTNSの最大速度を25,50 cm/secに変換したもの、および、同センターの設計用入力地震動Ｂ(BCJL1.WAA,BCJL2.WAA)を使用した。数値積分には、Newmark-β法を用い、β=0.25, 時間刻み0.005secで計算している。なお、以下では最大速度25cm/secの場合をレベル１、50 cm/secの場合をレベル２と称する。

最大変形比は各最大地震応答変形比中の最大値とする。

１．３　結果

１．３．１　雑壁量の最大変形比への影響

本節では雑壁量の地震応答変位への影響を考察する。図１－６，１－７に１階建てモデルの場合の最大変形比と雑壁量の関係を、図１－８～１－１１に２階建てモデル（１階床面積＝２階床面積の場合）の場合の関係を示す。図１－４に示す骨格曲線では、変形比 0.6（層間変形角 1/200rad）で雑壁が２次勾配に、変形比 1.0（層間変形角 1/120rad）で耐力壁が２次勾配に、変形比 3.0（1/40rad)近辺で耐力壁・雑壁とも３次勾配となる。そのため、最大変形比が 0.6，1.0，3.0 を越えないだけの耐力即ち壁量（耐力壁量および雑壁量）の有無が最大変形比の大きさに深く関与する。

雑壁量 0.4～0.8m/㎡の範囲において、１階建てモデルの場合にはレベル１時に最大変形比 1.0 程度以下に、レベル２時に最大変形比 3.0 程度以下に収まっている。しかし、２階建てモデルの１階では、レベル１時に最大変形比が 2.0 に近づく場合があり、レベル２時では 4.0(1/30rad)以下である。２階建てモデルの２階ではレベル２時においても 1.0 程度以下である。なお、図１－９，１－１１中の１階雑壁量の増加に伴う２階最大変形比の増加は、高さ方向の剛性バランスの改善による層間変形の均一化と考えられる。

一方、雑壁量 0.4 m/㎡未満の場合では、雑壁の耐力負担効果が期待できないため、１階の耐力壁量が建物耐力を規定し、１階耐力壁量が基準耐力壁量であってもレベル２時における１階の最大変形比は 7.5 を越える。従って、雑壁量が少ない建物では、耐力壁量の割り増し規定等が今後必要と考えられる。

以上の結果から２階建てモデルにおいては、雑壁量 0.4～0.8 m/㎡、２階充足率／１階充足率=1.0～2.0 の範囲であれば、２階の耐力壁量・雑壁量に関わらず、１階の耐力壁量と雑壁量により１階の最大変形比が決定されることが分かる。ただし、以上の考察は１．２．２節の仮定下の結論であり、今後、実際の耐力壁・雑壁の復元力特性を踏まえた更なる検討を要する。

山田モデルと河合モデルでの応答の相違は，骨格曲線からも分かるように河合モデルの方が初期剛性が大きいため，結果として応答も全体的に小さくなっている．しかし，全般的な傾向は似ていることが分かる．また，雑壁の影響が大きく雑壁量が多くなると耐力壁量の多少によらず応答が一定値に近づくことが分かる．

１．３．３　雑壁量を考慮した充足率と最大変形比の関係

充足率計算に雑壁を加え、雑壁量を考慮した充足率と最大変形比の関係を考察する。雑壁量を考慮した充足率は、雑壁の壁倍率を 0.5 として耐力壁量に算入し、その壁量を基準耐力壁量（１階建てモデルで 0.15m/㎡，２階建てモデル１階で 0.33m/㎡ ）で除して求めた。図１－１２，１－１３に雑壁量を考慮した充足率と１階の最大変形比の関係を示す。雑壁量を考慮した充足率と最大変形比とでは良い線形近似が得られ、残差の標準偏差も１階建てモデルのレベル１で 0.11,レベル２で 0.20、２階建てモデルの１階ではレベル１時で 0.15,レベル２で 0.30 である。従って今回用いたモデルの仮定が成り立つ範囲であれば、雑壁量を考慮した充足率により最大変形比を予測できると言える。

山田モデルと河合モデルでの応答の相違は，骨格曲線からも分かるように河合モデルの方が初期剛性が大きいため，結果として応答も全体的に小さくなっている．しかし，全般的な傾向は似ていることが分かる．

１．４　本章の結語

本報では、在来木造住宅の質点系モデルに対して雑壁量を考慮した地震応答解析を行い、その固有周期と最大層間変形に対する耐力壁量と雑壁量の影響を考察した。その結果、応答に対する雑壁の影響は既報の通りであるが，応答そのものは耐力壁の最大耐力の影響を大きく受けて小さくなっている．

1章の参考文献

1)木造住宅の地震応答解析　その1～その3,坂本功,大橋好光,日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）,C編,pp.2651-2652, 1984.10, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）,C編,pp.1237-1238, 1985.10, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）,C編,pp.1185-1186,1986.8
2)軸組木造住宅の弾塑性地震応答解析,中島安夫,日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿),C編,pp.167-168,1996.9
3)在来構法木造住宅の耐震安全性,松村和雄,山階光将,日本建築学会九州支部研究報告,第36号,pp.641-644,1997.3
4) 愛知県の在来軸組木造住宅の壁量に関する調査研究, 山田耕司, 第10回日本地震工学シンポジウム論文集,Vol.3,pp.3351-3356, 1998.11
5)建築耐震設計における保有耐力と変形性能1981,日本建築学会,p.41,1981.6
6)任意の釘配列で打たれた面材壁の弾塑性挙動の予測式,村上雅英,稲山正弘,日本建築学会構造系論文集,No.519,pp.87-93, 1999.5
7)木造住宅実大振動実験報告書,日本住宅・木材技術センター,pp.144-146,1996.10
8)建築物耐震基準・設計の解説,日本建築センター,p.9,1996.10
9)在来軸組構法耐力壁の耐震性能　その2仮動的試験, 河合直人, 岡部実, 渡辺一正, 日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）, pp.135-136, 1998
10)水平構面のせん断変形を考慮した等価線形化法の適用, 河合直人, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）, pp.203-204, 2000

２．床剛性と耐力壁線を考慮した在来軸組木造構法住宅の耐震性能評価に関する研究

２．１　序

２階建軸組木造住宅の耐震安全性は、一般には壁量で計算される。しかし、軸組木構造は、床組の面内剛性が他の構造形式より小さく、耐震要素の量のみで耐震性を評価するのは問題である。そのため、木造住宅の耐震診断法などでは、柱直下率や外周部・隅角部への壁配置の割合による評価[2)]が取り入れられ、耐震要素の配置バランスを評価している。一方、軸組木造住宅は、不整形な平面・立面形状の建物が多く、ＲＣ造や鉄骨造と違い剛接合・剛床を作成し難いことも知られている。そのため、平成１２年度には建設省告示に耐力壁のバランスを検討する項目が取り入れられようとしている。壁量以外での耐震性能評価として保有水平耐力を計算する場合がある。軸組木造住宅の保有水平耐力や床剛性に関する近年の報告として、柴田らが 18 棟の戸建て住宅の資料を基に木造住宅の保有水平耐力と必要保有水平耐力について論じている[3)]。また、村上らは水平構面の剛性を考慮した設計法を提案し、ねじれ応答に対する変位の補正方法を提起している[4)]。性能規定が運用されようとしている現在、軸組木造住宅でも保有水平耐力や地震応答結果が計算され、これまでの壁量による評価と何らかの関係が示されれば、設計時に有用である。

以上の観点から前報[5)]では、耐力壁線に注目し、床剛性を考慮した上で既存建物の保有水平耐力を算定し、床剛性の保有水平耐力への寄与を検討した。また、保有水平耐力と耐力壁線毎の壁量満足度の最小値,建物１階全体での壁量満足度とを比較した。その結果、床剛性の変更による保有水平耐力増分の平均は、耐力壁の最大変形角を 1/120rad まで変形を許した場合で 10～20%、1/30rad まで変形を許した場合で 6～10%程度期待できること、耐力壁の最大変形角を 1/30rad まで変形を許した場合には、1/120rad 時の耐力係数から計算できる 1/30rad 時の耐力係数より床剛性の大きさに拠らず平均で 20%大きいこと等が判明した。また、既報[6)]では、雑壁量をパラメータとした地震応答解析を行い、軸組住宅では、雑壁量を考慮して解析すべきことを示した。また既報で、雑壁を考慮して解析すべきことと木構造の床構面の耐力性状では、加振直交方向の壁量の加振方向の最大塑性率に与える影響が少ないことを示した。前報では、加振直交方向壁の耐震性能を無視し、床構面と加力方向の雑壁の剛性・耐力を考慮した保有水平耐力を既存軸組木造住宅の平面図を利用して計算し、保有水平耐力、耐力壁量、雑壁量の関係を検討し、壁量による保有水平耐力の下限の推定法を考察した。

そこで本章では、加振直交方向の壁の耐震性能を無視し、床構面と復元力特性と加振並行方向の雑壁を考慮した振動解析を既存の木造住宅プランを利用して解析し、最大応答変形と保有水平耐力、壁量の比較を行い、壁量などによる最大応答変形の推測式を提案する

２．２　各種仮定・使用する既存建物の壁量

２．２．１　建物モデルの仮定

建物モデルは図２－１のように耐震壁もしくは雑壁の存在する通り芯を壁線と設定し、壁線毎の水平力抵抗要素を耐震壁および雑壁の壁長と耐力特性を乗じて得られるせん断バネの和とし、床の荷重伝達特性も床の加力方向長さと壁線間距離に応じたせん断バネと仮定した。なお、加力直行方向の壁の剛性は無視し、重量のみ算定する。

建物重量は、保有水平耐力および最大塑性率を計算する場合は表２－１に示す値をとする。なお、建築基準法施行令では表２に示される床面積当たりの重量である。施行令に基づいた建物総重量は表２－１より算定した建物総重量に対して平均 93%, 標準偏差 4%であったので、表２－１の仮定はほぼ妥当と考えられる。

２．２．２　壁および床の骨格曲線と復元力特性

図２－２に文献 11)に基づく壁 1m 当たりの骨格曲線を示す．なお，二割筋違の骨格曲線は最大耐力が 600kgf/m 程度が壁倍率から妥当であると判断したので，三割筋違の骨格曲線と同

じとした．また，石膏ボード雑壁の最大耐力を100kgf/m程度と考え，石膏ボード雑壁の骨格曲線は石膏ボードの骨格曲線の0.33倍と仮定している．

履歴モデルは文献11)のBi-linear + Slip 型とし，一方向の最大耐力を越える経験最大変位を共有している．また、変形比を層間変形角1/120radを基準として次式で定義する。

変形比＝各階の層間変形角／基準の層間変形角(1/120rad)　　(1)

床の復元力特性は、文献9),12)を参考に図２－３のうち“河合（合板）”（２＊４と同じ），“合板”，“火打ち４”とした．“河合（合板）”は河合の文献[12)]を採用し，“合板改”，“火打ち４改”は文献９）骨格曲線の1/100rad時の耐力と同じになるように“河合（合板）”の復元力特性を低減したものである．計算時には図２－３の特性に加力方向の床の長さを乗じて剛性・耐力を算定した。

２．２．３　保有水平耐力の計算法

床剛性が低く偏心のある建物の床構面水平変位は、図２－４に示すように、剛体変位、剛体回転、床構面のせん断変形の和で表される。しかし、本報で扱っている床構面は剛性が低くせん断変形が生じやすい。また、直交壁による変位抑制は剛体回転にのみ有効である。既報[10)]では壁線間距離が3640mmで本報と同じ床の種類の場合においては直交壁の水平変位抑制効果が小さいことを示した。従って本報では、建物の剛体回転を無視し、算出する保有水平耐力では図１のように壁線毎の壁の水平耐力と床のせん断変形抵抗のみを考慮する。

地震荷重は各壁線が負担する範囲の建物重量に対して、Ai分布で加わるよう設定した。ここで、各壁線が負担する範囲は各壁線間の２等分点を境界として設定する．保有水平耐力は荷重増分法で計算し、最大荷重に達した時のベースシア係数を“保有水平耐力(Co)”と称する．

２．２．４　充足率の定義

建物内に存在する水平抵抗部材量の自重に対する比率を表す値として以下の充足率を定義する。

耐力壁充足率＝耐力壁量／所用有効壁長　　(1)

雑壁込充足率＝雑壁込壁量／(所用有効壁長×1.5)　　(2)

ここで、耐力壁量は“耐力壁長×壁倍率”、雑壁込壁量は“耐力壁長×壁倍率＋雑壁長*0.5”で計算する。所用有効壁長は文献1)に基づき、表３により算出した。図２－５に耐力壁充足率と雑壁込充足率の関係を示す．双方の間に良い相関が有ることが分かる．

２．２．５　使用する既存建物の耐力壁充足率

本報で使用した建物の延床面積、耐力壁充足率の分布を図２－５に示す。本建物群は既報[10)]で用いた２階建て在来軸組構法木造住宅の内の278棟で、平均延床面積は、144.9 ㎡である。なお当該建物の床の種類は不明である。本報では建物の梁間・桁行を考慮せずに各方向とも計算時のサンプルとする。従って、計算のサンプル数は556となる。１階耐力壁充足率の平均は1.42で、２階耐力壁充足率の平均1.81である。

なお、本報で使用した建物データの中には、２つ割筋違い以外の耐力壁（ほとんどが３つ割筋違耐力壁）が含まれているが、耐力壁量が同量になるように２つ割筋違いに換算した。

２．２．６　地震動波形

地震動波形は、日本建築センターで配布している地震動加速度波形の内、ELCENTEW, ELCENTNS, HACHINNS, TAFTEW, TAFTNSの最大速度を25,50 cm/secに変換したもの、および、同センターの設計用入力地震動Ｂ(BCJL1.WAA,BCJL2.WAA)を使用した。数値積分には、中間加速度法を用い、時間刻み0.005secで計算している。なお、以下では最大速度25cm/secの場合をLevel 1、50 cm/secの場合をLevel 2と考える。

最大変形比は各最大地震応答変形比中の最大値とし、Level 1の最大変形比を$\mu 1$、Level 2の最大変形比を$\mu 2$とする。

減衰定数は、文献 7)中の 1/300rad 程度の層間変形角を生じる２階建て木造住宅の Sweep 加振実験では、外壁サイディング無し・内装石膏ボード無し且つ壁量が施行令の 1.5 倍の場合で、8.5%～11.3%となっている。そこで本報では 8%と設定した。

２．３　結果

２．３．１　保有水平耐力の分布

図２－７に耐力壁充足率・雑壁込充足率と保有水平耐力の関係を示す．床の剛性・耐力が向上するにつれ，充足率との相関が良くなることが分かる．また，いずれの床の場合でも雑壁込充足率の方が耐力壁充足率より相関がよいことが分かる．図２－８に床の変更による保有水平耐力の増分を示す．床が４隅火打ちの場合において保有水平耐力が小さい場合は，床の剛性・耐力の増加により大きく保有水平耐力が増加する可能性が有ることが分かる．反面，増加が確約されているわけではないので注意が必要である．

２．３．２　最大変形比の分布

図２－９に Level 1 時最大変形比と Level 2 時最大変形比の関係、直線近似式を示す。図より全体的に１階の最大変形比より２階の最大変形比の方が最大変形比の分布範囲が広いことが分かる。また床の種類・階に関わらず、Level 2 時最大変形比は Level1 時最大変形比の約２～３倍になることが分かる．Level 1 時最大変形比に対して Level 2 時最大変形比が線形関係とならないのは、壁線間の荷重伝達特性が床の加力方法長さおよび床の荷重-変形特性により変化するためと考えられる。
図２－１０に１階最大変形比と２階最大変形比の関係を示す．Level 1 時および Level 2 時の双方において２階最大変形比は１階最大変形比以下である場合がほとんどである．従って，次節以降では，１階最大変形比のみを考察する．
図２－１１，２－１２に床の種類の変更による最大変形比の変化を示す。図より、Level 1 時および Level 2 時のどちらの場合でも、最大変形比は床の剛性・耐力が増大するほど、最大変形比減少が増加する傾向にある．また，４隅火打ち時最大変形比が大きいほど，床の剛性・耐力の増加に伴う最大変形比の減少が多い．

２．３．３　保有水平耐力・充足率と最大変形比の関係

図２－１３に保有水平耐力と最大変形比の関係、図２－１４に雑壁込充足率と最大変形比の関係、図２－１５に耐力壁充足率と最大変形比の関係を示す。、図中に直線近似式を示す。また，図中の△は総２階建で雑壁量が 0.4～0.8m/㎡、２階充足率と１階充足率の比が 1.0～2.0，１階充足率が 0.8～2.0 の範囲での，２質点系の応答結果を示している．
保有水平耐力と最大変形比では、Level 1 時ではほとんどの場合が最大変形比が 1.0 以下になり，保有水平耐力が 0.6 以下であると Level 2 時最大変形比が 1.0 を越える場合が多い．また、床の剛性・耐力が増加するにつれ，最大変形比の分布閾は狭く，かつ，値自体も小さくなる．
充足率と最大変形比の関係では、保有水平耐力と最大変形比の関係と似た傾向を示している．しかし，同じ条件下では保有水平耐力，雑壁込充足率，耐力壁充足率の順に近似直線の相関係数が低くなる．ただし，壁量充足率で応答を予測する際は，図より雑壁込充足率，耐力壁充足率のどちらを用いてもあまり大差は無いと判断できる．
２質点系の応答値と比較すると，今回の解析結果では２質点系の応答値の 1.2～2.0 倍程度の応答が出ていることが分かる．また２質点系の応答値は雑壁込充足率との相関が高いことも分かる．
次に保有水平耐力・充足率をパラメータとしたときの最大変形比の推測誤差を考える。推測誤差を次式で定義する。
推測誤差＝近似式の標準偏差／（2×1.96×定義域の標準偏差×近似式の傾き）　　(3)

結果を表２－４に示す。表より近似式の誤差の標準偏差は、定義域の変数により大きく変化し，変数の定義域から計算される値域の 20～60%程度あることが分かる。しかし，保有水平耐力による最大変形比の推測精度も決して高いとは言えず，設計時には注意して耐震性能評価をする必要がある．

２．３．４　最大変形比の上限の推定

前節の結果より，保有水平耐力・雑壁込充足率・耐力壁充足率による最大変形比の推測誤差には差が生じたが，本節では上限を考える．保有水平耐力・雑壁込充足率・耐力壁充足率の平均（μ）±1.96×各々の標準偏差（σ）での上限推定式（直線近似式に 1.96×近似式からの誤差の標準偏差；近似式からの誤差が正規分布で分布するとした場合の 95%信頼率の上限を意味する）を図２－１６に示す。図より耐力が小さい側（μ-1.96σ）における最大変形比はあまり変わらないが，耐力が大きい側（μ+1.96σ）における最大変形比は推定精度の高い順に小さい．また，雑壁込充足率による推定値と耐力壁充足率による推定値はほぼ等しい．従って，上限値を推測する範囲では，耐力壁充足率を用いても変わらないと判断できる．

２．３．５　保有水平耐力・充足率と最大絶対加速度の関係

図２－１７～２－１９に２階床レベルでの保有水平耐力・充足率と最大絶対加速度の関係を示す．どの場合でも保有水平耐力・充足率が大きくなるほど最大絶対加速度が大きくなる傾向があるが，level 1 時では，300～1000gal，level 2 時では，600～1200gal の範囲に分布しており，保有水平耐力・充足率との関係が有意に働くほどではない．

また，図２－２０に床の剛性・耐力の向上による最大絶対加速度の変化を示す．図より特徴だった一定の変化は無いことが分かる．

２．４．本章の結語

本報では、床構面と雑壁の剛性・耐力・復元力特性を仮定した上で、既存軸組木造建物の地震応答解析を行い、地震応答への床種類の影響を考察し、保有水平耐力・壁量との関係を考察した。その結果、本章では耐力壁,雑壁,床を簡単な骨格曲線で仮定するなどの問題はあるが、以下の知見が得られた。

・床の剛性・耐力が向上するにつれ，充足率との相関が良くなる．また，いずれの床の場合でも雑壁込充足率の方が耐力壁充足率より相関がよい．
・床が４隅火打ちの場合において保有水平耐力が小さい場合は，床の剛性・耐力の増加により大きく保有水平耐力が増加する可能性が有ることが分かる．反面，増加が確約されているわけではないので注意が必要である．
・１階の最大変形比より２階の最大変形比の方が最大変形比の分布範囲が広い．また床の種類・階に関わらず、Level 2 時最大変形比は Level1 時最大変形比の約２～３倍になる．
・Level 1 時および Level 2 時の双方において２階最大変形比は１階最大変形比以下である場合がほとんどであり，最大変形比は床の剛性・耐力が増大するほど、最大変形比減少が増加する傾向にある．また，４隅火打ち時最大変形比が大きいほど，床の剛性・耐力の増加に伴う最大変形比の減少が多い．
・同じ条件下では保有水平耐力，雑壁込充足率，耐力壁充足率の順に近似直線の相関係数が低くなる．ただし，壁量充足率で応答を予測する際は，図より雑壁込充足率，耐力壁充足率のどちらを用いてもあまり大差は無いと判断できる．
・level 1 時では，300～1000gal，level 2 時では，600～1200gal の範囲に分布しており，保有水平耐力・充足率との関係が有意に働くほどではない．
・床の剛性・耐力の向上による最大絶対加速度は．特徴だった一定の変化は無い．

２章の参考文献

1)建設省住宅局：木造住宅の耐震精密診断と補強方法, 1985
2)財団法人石川県建築住宅総合センター：木造住宅の耐震診断・改修指針とその解説（石川県内の伝統構法による在来木造住宅を中心に）, 1997
3)武田 寛, 柴田 拓二：木造住宅の保有耐力と壁量に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）, C-1, pp. 207-208, 1996
4)村上雅英, 稲山正弘：偏心を有する柔床壁式構造物の靭性設計法, 日本建築学会構造系論文集, No. 530, pp. 93-96., 2000
5)山田耕司：床剛性と耐力壁線を考慮した在来軸組木造構法住宅の耐震性能評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文集 第525号, pp. 79-84, 1999
6)山田耕司：軸組木造住宅における雑壁量と固有周期・最大塑性率の関係, 日本建築学会東海支部研究報告集, 第38号, pp. 265-268., 2000
7)日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能 1981, p. 41, 1981
8)村上雅英, 稲山正弘：任意の釘配列で打たれた面材壁の弾塑性挙動の予測式, 日本建築学会構造系論文集, No. 519, pp. 87-93, 1999
9)飯塚五郎蔵：木構造における水平構面のせん断耐力, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp. 1997-1998, 1980
10)山田耕司：愛知県の在来軸組木造住宅の壁量に関する調査研究, 構造工学論文集 Vol. 46. B, pp. 181-188., 2000
11)河合直人, 岡部実, 渡辺一正：在来軸組構法耐力壁の耐震性能 その２仮動的試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集（九州）, pp. 135-136, 1998
12)河合直人：水平構面のせん断変形を考慮した等価線形化法の適用, 日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）, pp. 203-204, 2000

3．まとめ

本研究では，軸組木造住宅でも保有水平耐力や地震応答結果が計算され，これまでの壁量による評価と何らかの関係が示されれば，設計時に有用であると考え，種々の仮定を取り入れつつ多数の実建物プランを利用して木造住宅の地震応答解析を行った．結果として，以下の知見が得られた．

・床の剛性・耐力が向上するにつれ，充足率（＝存在壁量／法定必要壁量）との相関が良くなる．また，いずれの床の場合でも雑壁も考慮した充足率の方が耐力壁のみ考慮した充足率より相関がよい．
・床が４隅火打ちの場合において保有水平耐力が小さい場合は，床の剛性・耐力の増加により大きく保有水平耐力が増加する可能性が有る．ただし，増加が確約されているわけではないので注意が必要である．
・同じ条件下では保有水平耐力，雑壁も考慮した充足率，耐力壁のみ考慮した充足率の順に最大変位応答との近似直線の相関係数が低くなる．ただし，壁量充足率で応答を予測する際は，雑壁込充足率，耐力壁充足率のどちらを用いてもあまり大差は無い．

今後の研究には２つの流れがある．１つは今回の解析でも行ったような多数の建物モデルに対し，より現実に近い仮定による解析である．とりあえずは加振直交方向の耐震要素の影響を考慮した解析を行い，今回の解析結果との相関性を考察し，今回の解析結果の精度を検証する必要がある．また，もう１つは，１棟の建物を部材レベルでモデル化し，その地震応答性状を簡易モデルによる応答性状と比較し，簡易モデルの有効範囲を明らかにするものである．

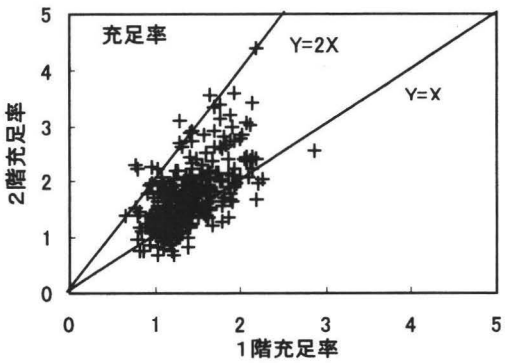


図１－１　１階と２階の充足率の分布

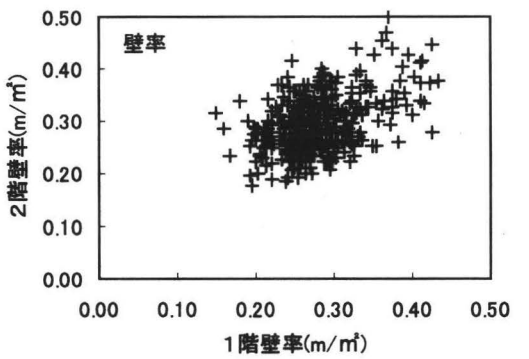


図１－２　１階と２階の壁率の分布

表１－１　充足率・壁率の相関係数

	1F充足率	2F充足率	1F壁率	2F壁率
1F充足率	1			
2F充足率	0.62	1		
1F壁率	0.26	0.29	1	
2F壁率	0.05	0.22	0.45	1

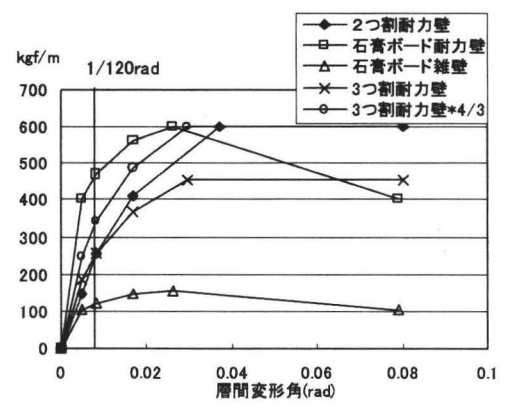
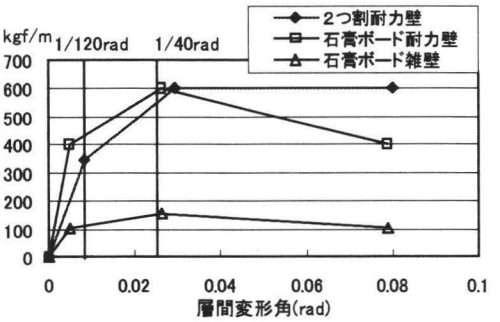
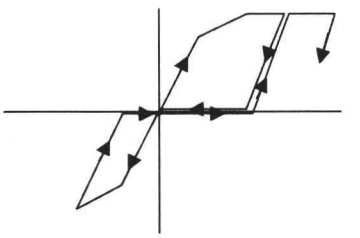


図１－３　壁1m当たりの骨格曲線（固有周期計算時）



(a)　壁1m当たりの骨格曲線



（b）履歴ルール

図１－４　壁1m当たりの骨格曲線と履歴ルール（地震応答解析時）

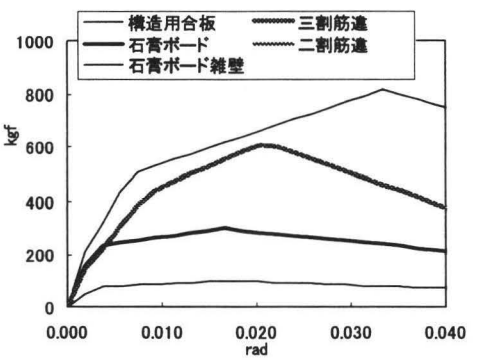


図１－５　壁1m当たりの骨格曲線

表１－２　床質量・壁量の設定

	１階建てモデル	２階建てモデル	
		１階	２階
床質量(kg/㎡)	150	170	150
基準耐力壁量(m/㎡)	0.15	0.33	0.21

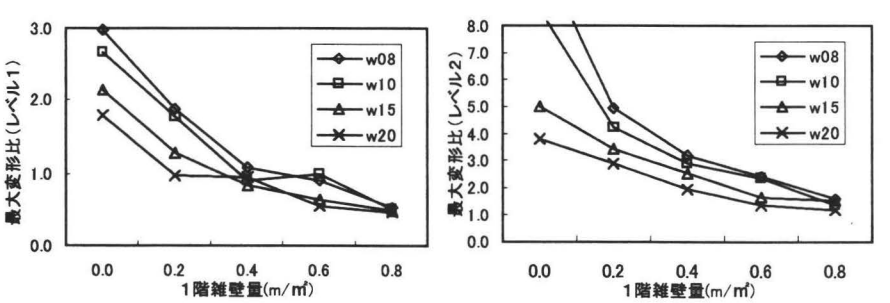


図１－６　山田モデルの最大変形比
（１階建てモデル）

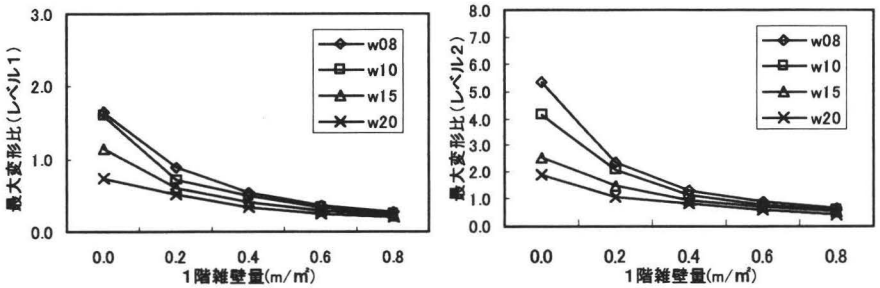


図１－７　河合モデルの最大変形比
（１階建てモデル）

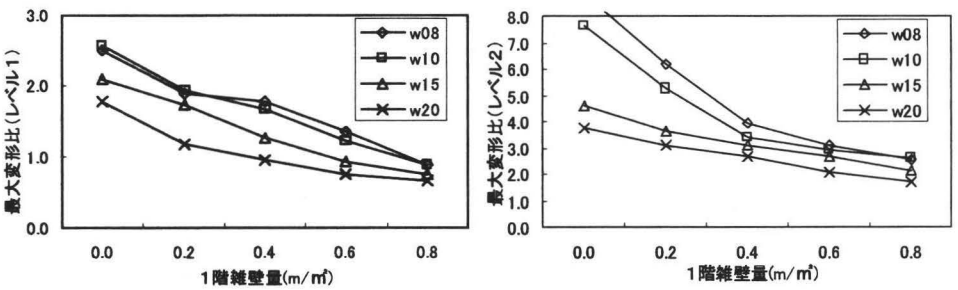


図１－８　最大変形比
（２階建てモデルの１階）山田モデル（２階床面積＝１階床面積の場合）
（２階雑壁量=0.6m/㎡，２階充足率/１階充足率=1.5）

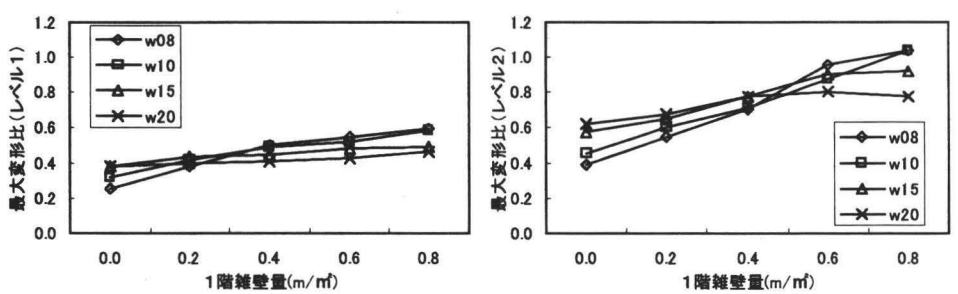


図１－９　最大変形比（２階建てモデルの２階）山田モデル
（２階床面積＝１階床面積の場合）
（２階雑壁量=0.6m/㎡，２階充足率/１階充足率=1.5）

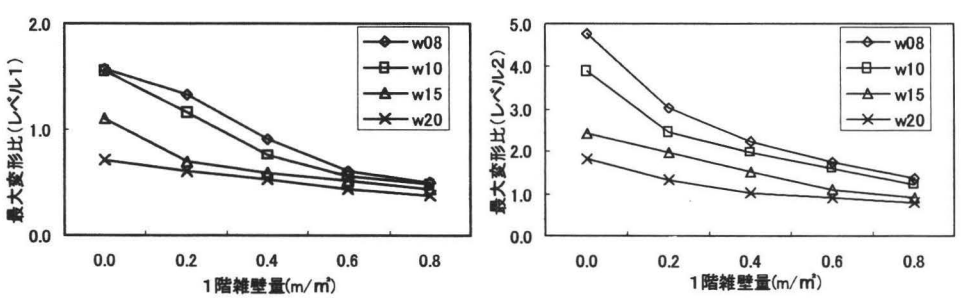


図１－１０　最大変形比（２階建てモデルの１階）河合モデル
（２階床面積＝１階床面積の場合）
（２階雑壁量=0.6m/㎡，２階充足率/１階充足率=1.5）

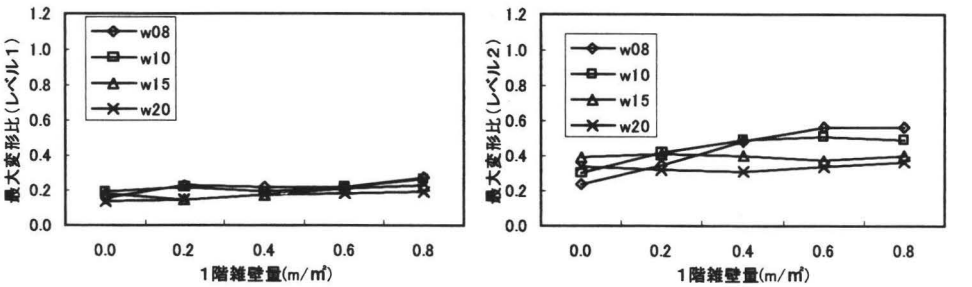


図１－１１　最大変形比（２階建てモデルの２階）河合モデル
（２階床面積＝１階床面積の場合）
（２階雑壁量=0.6m/㎡，２階充足率/１階充足率=1.5）

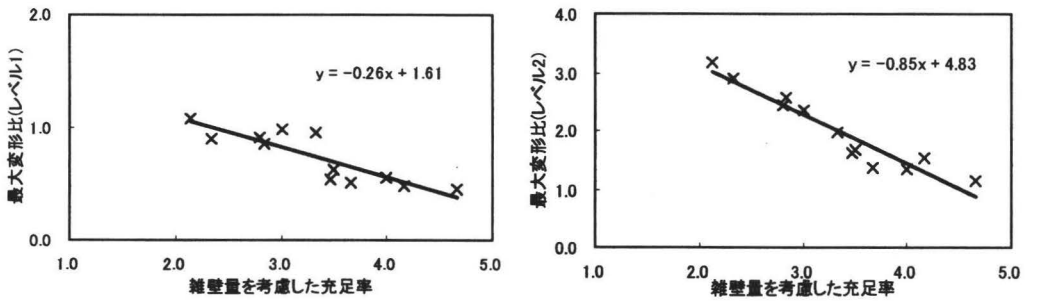


図１－１２　１階建てモデルの雑壁量考慮の充足率と最大変形比
山田モデル(雑壁量=0.4～0.8m/㎡)

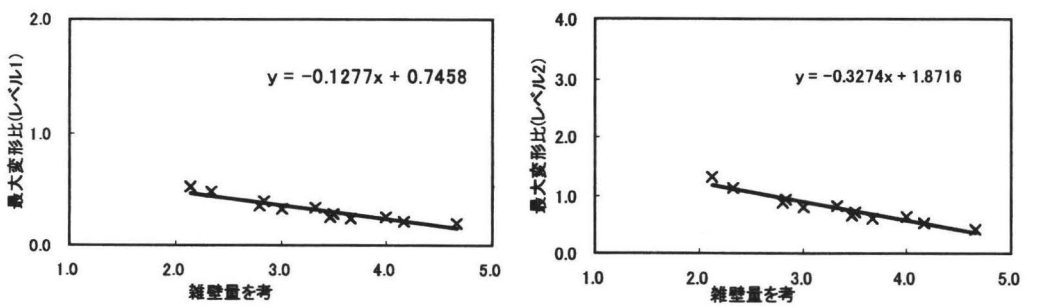


図１－１３　１階建てモデルの雑壁量考慮の充足率と最大変形比
河合モデル(雑壁量=0.4～0.8m/㎡)

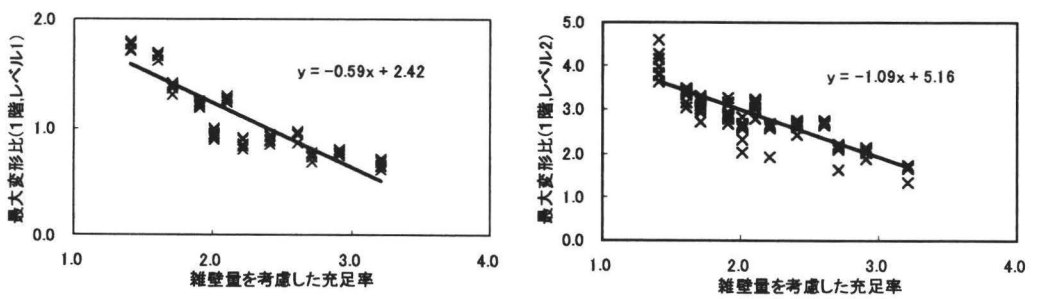


図１－１４　２階建てモデルにおける雑壁量考慮の充足率と最大変形比
山田モデル（２階床面積＝１階床面積の場合，雑壁量=0.4～0.8m/㎡）

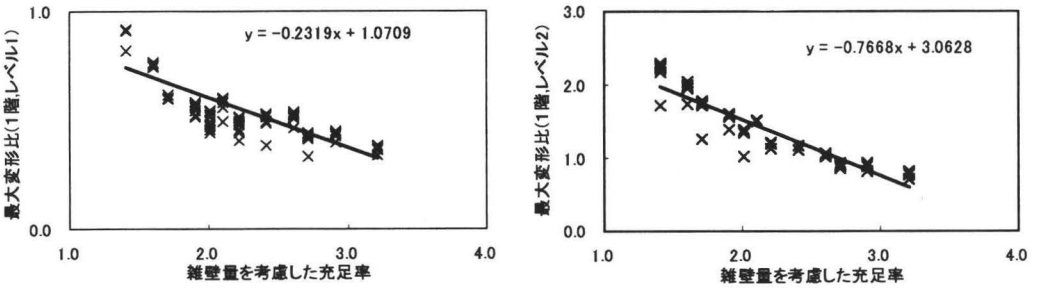


図１－１５　２階建てモデルにおける雑壁量考慮の充足率と最大変形比
河合モデル（２階床面積＝１階床面積の場合，雑壁量=0.4～0.8m/㎡）

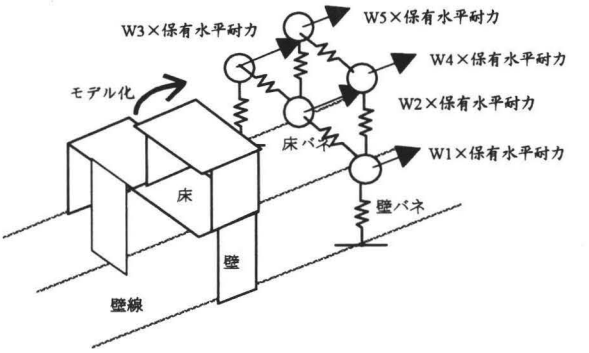


図２－１　壁線に基づくモデル化

表２－１　建物質量の仮定

項目	質量	備考
重い屋根	90 kg/㎡	施行令を参考（軒の深さは0.75mとする）
軽い屋根	60 kg/㎡	施行令を参考（軒の深さは0.75mとする）
外壁	190 kg/m	サイディング+軸組+ボード内壁
内壁	95 kg/m	ボード内壁+軸組+ボード内壁 （雑壁長は壁実長の２倍になる）
床	50 kg/㎡	施行令を参考
積載物	60 kg/㎡	施行令を参考

外壁・内壁は壁1mあたりの質量、その他は床面積１㎡あたりの質量

表２－２　床質量・壁量の設定

		２階建て	
		１階部	２階部
床質量		170kg/㎡	150kg/㎡
壁量	重い屋根	0.33 m/㎡	0.21 m/㎡
	軽い屋根	0.29 m/㎡	0.15 m/㎡

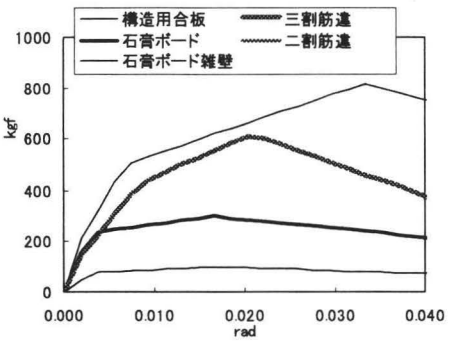


図２－２　壁 1m 当たりの骨格曲線

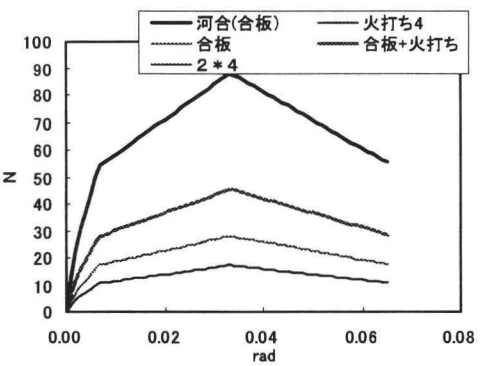


図２－３　床加力方向長さ 1cm 当たりの骨格曲線

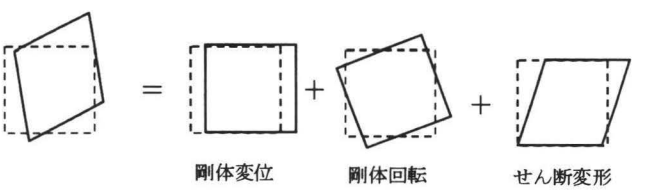
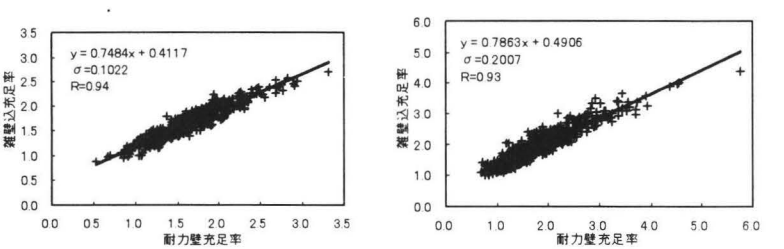


図２－４　床構面水平変位の分解模式図



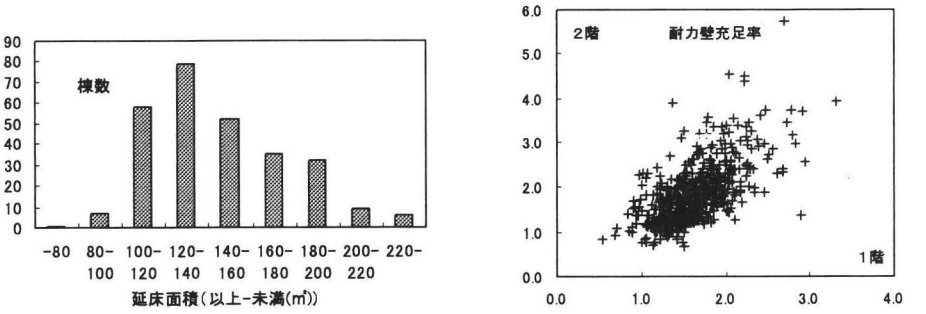
１階　　２階

図２－５　耐力壁充足率と雑壁込充足率の関係

表２－３　所用有効壁長(m)

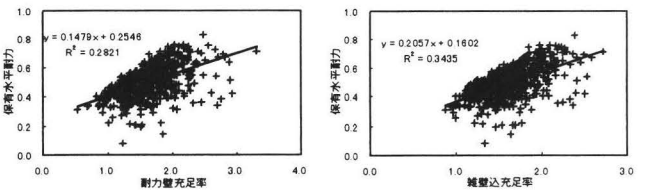
	１階	２階
軽い屋根	0.11 A_1 + 0.18 A_2	0.15 A_2
重い屋根	0.15 A_1 + 0.18 A_2	0.21 A_2

A_1, A_2：それぞれ１階，２階の床面積(㎡)

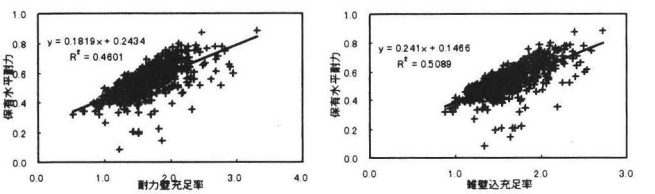


a）延床面積の分布　　b）耐力壁充足率の分布

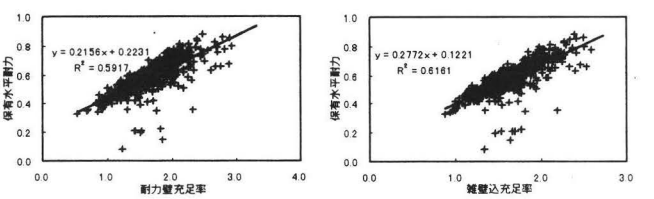
図２－６　使用した建物の特性



a）４隅火打

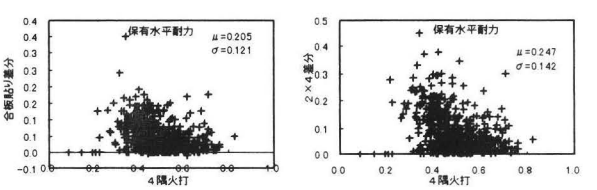


b）合板貼り



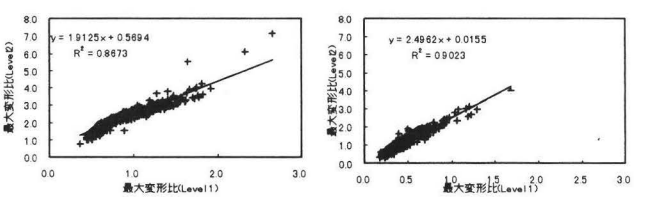
耐力壁充足率　　c）２×４床　　雑壁込充足率

図２－７　耐力壁充足率・雑壁込充足率と保有水平耐力の関係

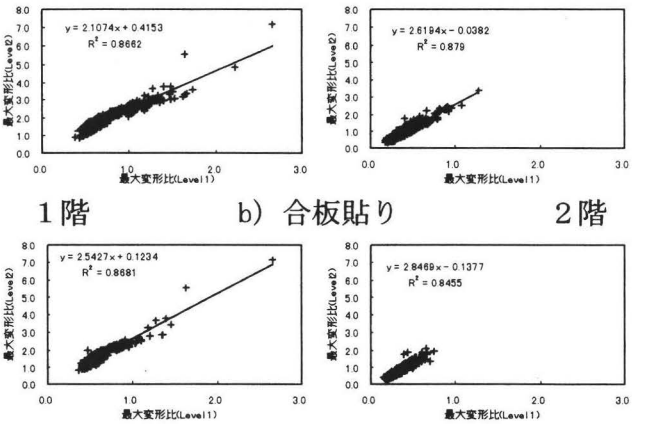


a）４隅火打ち→合板貼り　　b）４隅火打ち→２×４床

図２－８　床の変更による保有水平耐力の増分



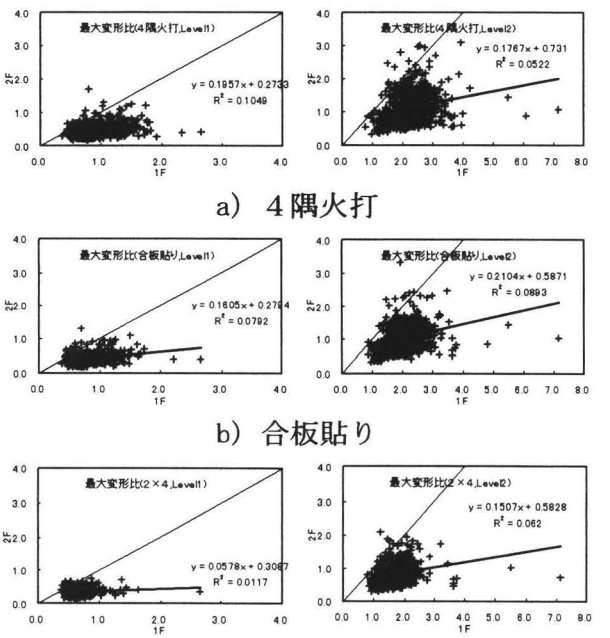
１階　　a）４隅火打　　２階



1階　　b）合板貼り　　2階

1階　　c）２×４　　2階

図２－９　Level 1時最大変形比とLevel 2時最大変形比

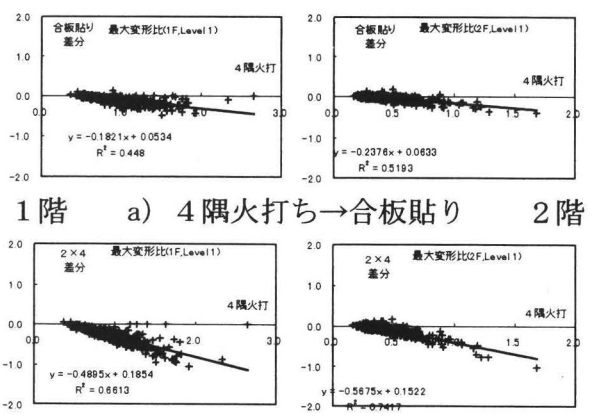


a）４隅火打

b）合板貼り

Level 1時　　c）２×４　　Level 2時

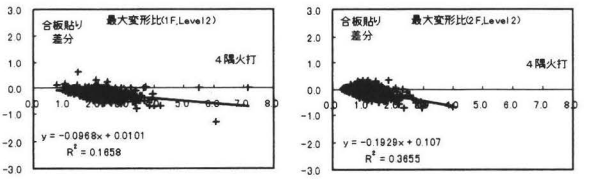
図２－１０　１階最大変形比と２階最大変形比の関係



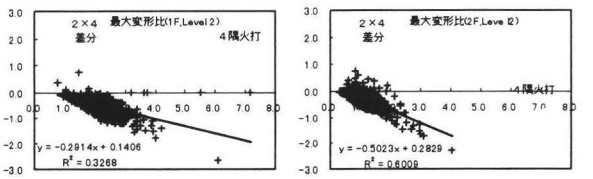
１階　　a）４隅火打ち→合板貼り　　２階

１階　b）４隅火打ち→２×４床　２階

図２－１１　最大変形比の床の変更による増分(Level 1)

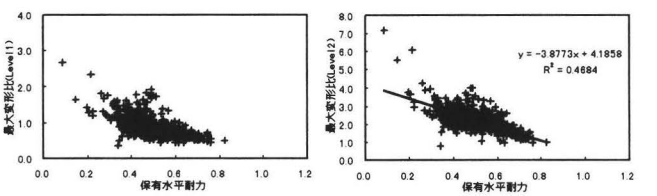


1階　a）４隅火打ち→合板貼り　２階

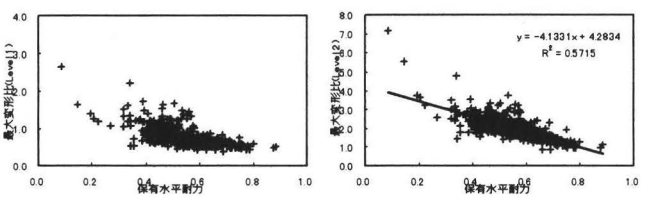


1階　a）４隅火打ち→２×４床　２階

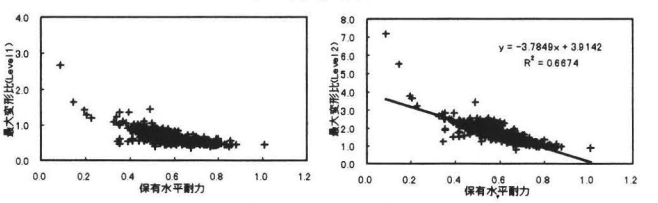
図２－１２　最大変形比の床の変更による増分(Level 2)



Level 1　　a）４隅火打　　Level 2

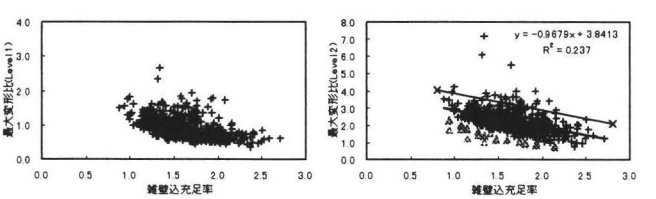


Level 1　　b）合板貼り　　Level 2

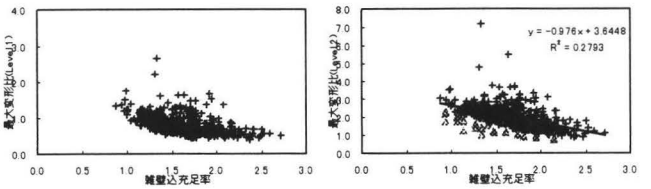


Level 1　　c）２×４床　　Level 2

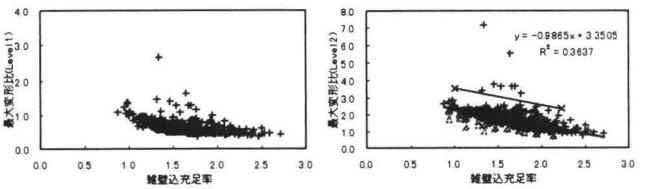
図２－１３　保有水平耐力と最大変形比の関係



Level 1　　a）４隅火打　　Level 2

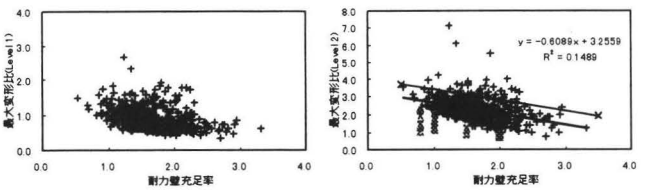


Level 1　　b) 合板貼り　　Level 2

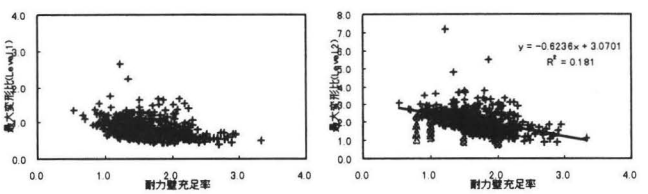


Level 1　　c) 2×4床　　Level 2

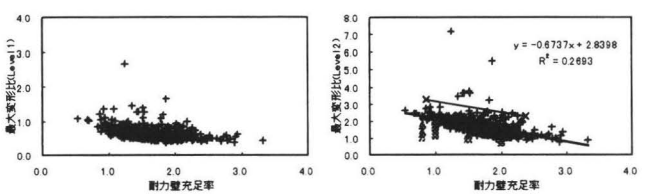
図2－14　雑壁込充足率と最大変形比の関係



Level 1　　a) 4隅火打　　Level 2



Level 1　　b) 合板貼り　　Level 2

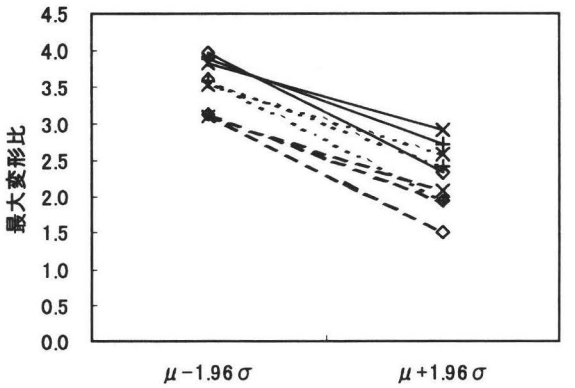


Level 1　　c) 2×4床　　Level 2

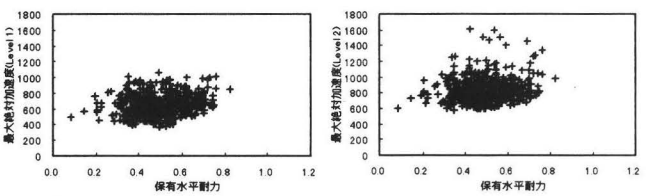
図2－15　耐力壁充足率と最大変形比の関係

表2－4　最大変形比の推測誤差

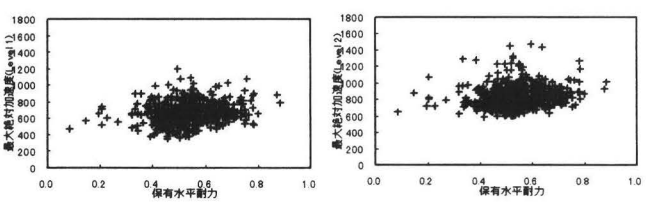
定義域の変数	床	定義域の標準偏差	近似式からの誤差の標準偏差	推測誤差
保有水平耐力	4隅火打ち	0.11	0.45	0.27
	合板貼り	0.10	0.37	0.23
	2×4	0.11	0.29	0.18
耐力壁充足率	4隅火打ち	0.39	0.56	0.60
	合板貼り	0.39	0.51	0.53
	2×4	0.39	0.43	0.42
雑壁込充足率	4隅火打ち	0.31	0.53	0.45
	合板貼り	0.31	0.48	0.40
	2×4	0.31	0.40	0.33



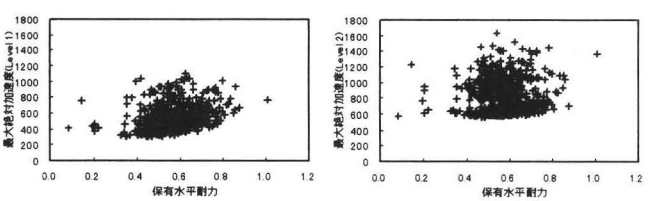
◇, ×, ＋：保有水平耐力,雑壁込充足率,耐力壁充足率による上限推定値
直線，点線，破線：４隅火打ち，合板貼り，２×４床の回帰式+1.96σ
図２－１６　Level 2時最大変形比の上限推定値



Level 1　　a）４隅火打　　Level 2

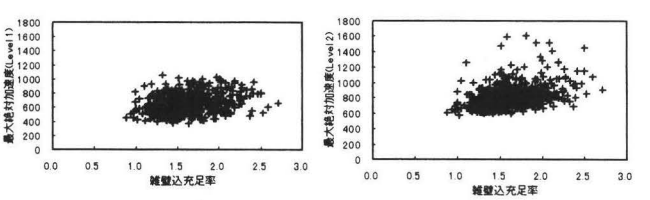


Level 1　　b）合板貼り　　Level 2

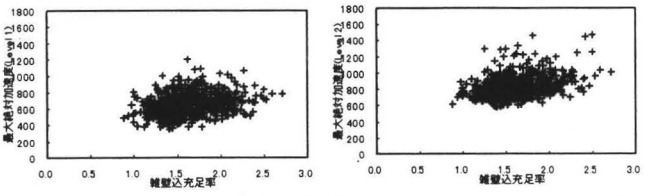


Level 1　　c）２×４床　　Level 2

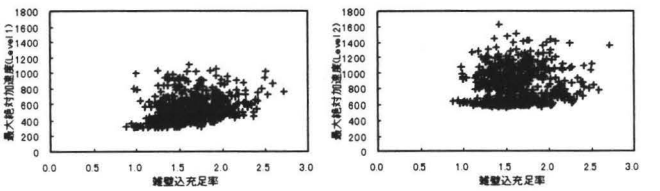
図２－１７　保有水平耐力と最大絶対加速度の関係



Level 1　　a）４隅火打　　Level 2

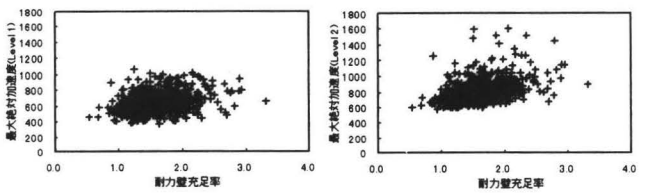


Level 1　　b) 合板貼り　　Level 2

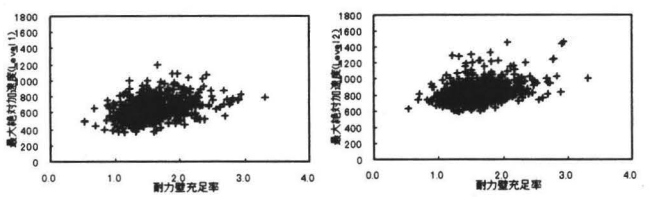


Level 1　　c) ２×４床　　Level 2

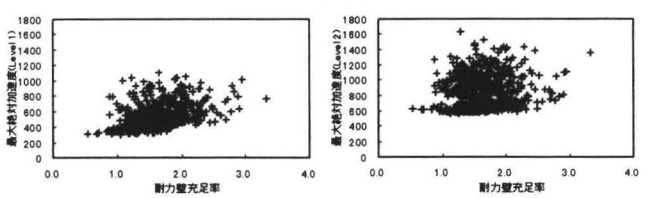
図２－１８　雑壁込充足率と最大絶対加速度の関係



Level 1　　a) ４隅火打　　Level 2

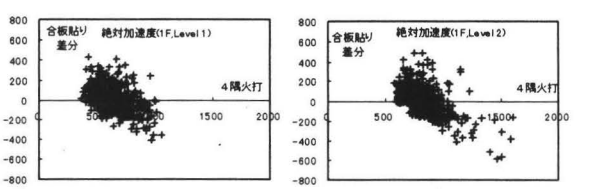


Level 1　　b) 合板貼り　　Level 2



Level 1　　c) ２×４床　　Level 2

図２－１９　耐力壁充足率と最大絶対加速度の関係



Level 1　　a) ４隅火打ち→合板貼り　　Level 2



Level 1　b) ４隅火打ち→２×４床　Level 2

図２－２０　最大絶対加速度の床の変更による増分

1－15　高耐久性住宅構築のための躯体内の掃気に関する研究

北見工業大学　機械システム工学科
教授　坂本弘志

1. 本研究の背景と目的

住宅の耐久性の向上は、木材資源の枯渇化と地球環境の両面から大きな課題となっている。住宅の耐久性の向上化の基本は、住宅の骨組である木材の腐朽を防止することである。これを実現するために自然風を活用し、住宅躯体内に発生する水分・水蒸気を外部に排出し、常時躯体内を乾燥状態に保つことが基本となる。そのために十分な躯体の掃気を行うための掃気技術の構築が極めて重要な課題となっている。

本研究はかかる実情に基づいて、躯体の掃気に関連するつぎに示す三つの問題に関して、実験並びに理論的取扱いを行い、躯体の掃気技術の構築を図ったものである。

(1) 数値シミュレーション解析による小屋裏空間の掃気量の評価。
(2) 数値シミュレーション解析による小屋裏空間の温度性状の評価。
(3) 壁体内に発生する水分・水蒸気の外部への排出機能を有する外壁通気層の機能と形状の評価。
(4) 雨水および吹雪浸入防止機能を有する棟並びに軒天換気部材の開発とその製品化。

2. 研究方法並びに試験装置

2.1 小屋裏空間および外壁通気層に生ずる掃気量の評価

小屋裏および外壁通気層内に生ずる掃気量は、風圧力に基づく風力換気力と外気との温度差に基づく温度差換気力によって発生する。風力換気力に基づく小屋裏および外壁通気層内の気流の流速の評価に当っては、建物外壁に生ずる風圧力が必要となる。本研究では測定部断面1.3m×1.3m、長さ10mの吹出し型風洞測定部内に実物の1/250なる、30度勾配屋根、並びに陸屋根を有する建物モデルを設置し、外壁表面上の風圧力を測定した。その1例として図1に30度勾配屋根の単独(周囲に建物がない)、並びに隣接立地(周囲に建物がある)および単独立地の陸屋根における風圧力を示してある。図中に示す風圧係数C_pは、次式で定義されるものである。

$$\left.\begin{aligned} C_{PW} &= (P - P_0)/(0.5\rho U^2) \quad \text{(風圧係数)} \\ P_W &= C_P \times 0.5\rho U^2 \quad \text{(風圧力)} \\ H_W &= P_W/\rho g \quad \text{(風圧ヘッド)} \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

ここで、P_0およびUは風洞内の基準静圧と流速で、Pは建物表面上の風圧力である。なお、建物モデル設置位置における風洞床面上に発達する境界層は、都市型大気乱流境界層に極めて近似したもので、境界層厚さは約350㎜で、式（1）に示す基準風速Uは境界層外側の流速である。このような建物表面上の風圧力に基づいて、外壁通気層内に生ずる気流の流速を算出できることとなる。

つぎに外気と小屋裏空間との温度差に基づく換気力は、つぎに示す関係式を用いることによって算出される。

$$
\left.
\begin{aligned}
&P_T(\text{負圧}) = h_1(\gamma_{out} - \gamma_{in}) \\
&P_T(\text{正圧}) = h_2(\gamma_{in} - \gamma_{out}) \\
&H_T = P_T / \rho g
\end{aligned}
\right\} \qquad (2)
$$

ここでγ_{out}およびγ_{in}は、外気および外壁通気層並びに小屋裏空間の空気の比重量、h_1およびh_2は、独立型外壁通気層(通気層が軒天で開放)では、中性帯から外壁通気層入口および出口までの高さであり、連続型外壁通気層(通気層が小屋裏に開放)では、中性帯から外壁通気層入口および棟換気口までの高さである。以上、式(1)と(2)から躯体内に気流の流れを発生させる換気力を算出できることとなる。具体的な各通気流路内を通過する気流の流速の算出方法は、以下に示すものとなる。

今図2(a)に示すように、一つの例として風が建物に直角に当たる場合を想定した時の連続型外壁通気層における、各換気口での風圧力の大きさをH_{1W}、H_{2W}、・・・H_{7W}とし、さらに図2(b)に示す温度差に基づくものをH_{1T}、H_{2T}、およびH_{3T}とすると、躯体内の各通気部における流速、並びに換気流量に関して、式(3)が成立する。したがって式(3)を解くことによって、各通気部の流速が算出できることになる。なお風圧力は、風向によって大きさ、並びに作用する方向(正圧か負圧)が異なるために、各風向におけるそれらの値を採用して計算を行った。また温度差に基づく圧力は、中性帯より下側を正、上側を負として計算を行った。具体的な計算は、図3に示す手順に基づいて行った。

$$
\left.
\begin{aligned}
&(H_{1W} + H_{1T}) - H_a = (\zeta_1 + 1)(V_1^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(風上側軒天換気口)} \\
&(H_{2W} + H_{2T}) - H_a = \{\zeta_a + (L/4m)\lambda + \zeta_e + 1\}(V_2^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(風上側外壁通気層)} \\
&(H_{3W} + H_{3T}) - H_a = (\zeta_3 + 1)(V_3^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(風上側棟換気口入口)} \\
&H_a - (H_{4W} + H_{3T}) = (\zeta_3 + 1)(V_4^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(風下側棟換気口出口)} \\
&H_a - (H_{5W} + H_{1T}) = (\zeta_1 + 1)(V_5^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(風下側軒天換気口)} \\
&H_a - (H_{6W} + H_{2T}) = \{\zeta_a + (L/4m)\lambda + \zeta_e + 1\}(V_6^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(風下側外壁通気層)} \\
&H_a - (H\ \ + H_{2T}) = \{\zeta_a + (L/4m)\lambda + \zeta_e + 1\}(V_7^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(妻側外壁通気層)} \\
&H_a - (H\ \ + H_{2T}) = \{\zeta_a + (L/4m)\lambda + \zeta_e + 1\}(V_8^2 / 2g) \\
&\qquad\qquad \text{(反対妻側外壁通気層)} \\
&Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 \\
&\qquad\qquad \text{(各通気部の流量)}
\end{aligned}
\right\} \qquad (3)
$$

ここではH_aは小屋裏空間内の圧力である。

2.2 小屋裏空間および外壁通気層内の温度評価

前節で述べた式(3)に含まれる外気と小屋裏空間の温度差に基づく圧力H_{1T}、H_{2T}、およびH_{3T}を算出するためには、天井断熱構造を有する小屋裏空間、並びに外壁通気層内の温度が必要となる。本論文では、小屋裏空間、並びに外壁通気層内の温度を求めるに当っては、図4および図5に示す解析モデルを設定し、熱移動方程式を用いて行った。なお解析に当っては、建物の外壁通気層は、縦胴縁材で455㎜間隔で区分されていることと、小屋裏空間内での気流は、ほぼ一様に拡散・均一化するものと考え、式(4)に示す非定常一次元熱移動方程式を採用して行った。

$$\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial X}\left(a\cdot\frac{\partial T}{\partial X}\right) \qquad (4)$$

ここでTは温度(℃)、tは時間、xは距離、aは温度拡散率で$a=\lambda/C_p$(λ：熱伝導率、C_p：容積比熱)である。式(4)を解に当っては、南側並びに北側の屋根面を、それぞれ3ブロックに等分割し、各ブロックの屋根法線方向について、時間に関しては後退差分、距離に関しては中心差分とした。また境界条件として、屋根表面温度T_{surf}と室内温度T_{room}を与えた。室内温度T_{room}は、夏期および梅雨期のいづれも26℃一定とし、屋根面温度T_{surf}は、屋根面の熱収支に基づいて決定した。具体的には、図4(b)に示す夏期の屋根面を例にとると、その熱収支はつぎのようになる。

$$\Sigma q_{Total}=q_a+q_b+q_c+q_d+q_e=0 \qquad (5)$$

ここで、q_aは屋根面の日射による吸収熱量、q_bは屋根材への移動熱量、q_cは降雨による移動熱量、q_dは対流熱伝達による移動熱量、そしてq_eは長波長放射による移動熱量である。移動熱量q_b～q_eの算出に当っての各諸量は、これまでの報告資料等に基づいて定めた。つぎに小屋裏空間の温度は、次式に示す熱量の出入の熱平衡式から算出した。

$$\Sigma q_{attic}=\Sigma\alpha'\cdot S_j\cdot(T_4-T_j)+\Sigma C_P\cdot Q_K\cdot(T_4-T_{out})=0 \qquad (6)$$

Σq_{attic} ：小屋裏空間に流出する熱量 (kcal/h)
α' ：総合熱伝達率 (= 12.9 kcal/㎡h℃)
S_j ：小屋裏空間室内側表面積 S_{TE} (㎡)
：小屋裏空間屋根側表面積 S_{YA} (㎡)
T_4 ：小屋裏空間温度 (℃)
T_j ：小屋裏空間室内側温度 T_3 (℃)
：小屋裏空間屋根側温度 T_5 (℃)

T_{out}　：外気温度（℃）
C_P　：容積比熱（＝0.24×1.205 kcal/m³h℃）
Q_K　：換気量（m³/h）（サフィックスKは流出入部位を表す）

したがって式(6)から、小屋裏空間温度T_4は、次式によって算出される。

$$T_4 = \frac{2 \cdot C_P \cdot Q_k \cdot T_{out} + \alpha \cdot \Sigma'(S_{YA} \cdot T_5) + \alpha \cdot \Sigma (S'_{TE} \cdot T_3)}{2 \cdot C_P \cdot Q_k + \alpha \cdot \Sigma' S_{YA} + \alpha \cdot \Sigma S'_{TE}} \qquad (7)$$

S_{YA}　：小屋裏の屋根側表面積（m²）
S_{TE}　：小屋裏の天井側表面積（m²）

また外壁通気層内の温度は、図５に示す解析モデルを設定し、同様の解析手法を適用することによって算出した。なお外壁を構成するサイディング材の各諸量として、表２に示すものを採用した。

2.3 外壁通気層による壁体内の水分排出量の評価

2.3.1 実験装置

実験に当っては、図６に示す2.5ｍ(横幅)×2.6ｍ(縦幅)×2.3ｍ(高さ)の大きさを有する恒温・恒湿室(タバイエスペック社製)を用いて行った。本装置は温度を－30℃～80℃、相対湿度を20％～95％の範囲で変化させることができるものである。外壁通気層を有する壁体モデルは、図６に示すように恒温恒湿室を２分割する形で、中央位置に設置し、一方を居室側、他方を外気側とした。居室側には、温湿度計、および室温を調整するための空調機、およびヒータ、並びに内壁に発生する結露を観測するための３台のCCDカメラが設置されている。外気側は温湿度計、および外気温湿度を与えるための空調機、ヒータ、および超音波加湿器が設置されている。外気側の温湿度は、ブロック線図に示すように、温湿度計および機器と接続された温湿度調整器によって制御した。また外壁通気層内の気流の流速は、外壁通気層入口部に設置したオリフィス装置によって検出し、制御した。

つぎに図７は、本実験で採用した外壁通気層を有する壁体モデルの詳細図を示したものである。壁体モデルは、以下に示す部材で構成されている。

① 内壁を室内側からの水蒸気の移動がないとするために厚さ10㎜のアクリル板
② 壁体内の水分保有を与えるための布
③ 厚さ100㎜（密度16 kg / m³）のグラスウール
④ 防風シート
⑤ 幅を７㎜～18㎜まで変化させることができる外壁通気層

⑥ 外壁としての厚さ12㎜のサイディング材
⑦ 外壁表面の温度調整を行うための面状発熱体を有する厚さ３㎜のアルミ板

なお、外壁通気層を有する壁体モデルの寸法は、幅455㎜×高さ1800㎜とし、居室側と外気側との境界壁の中央部に取り付けた。また外壁通気層を有する壁体モデル以外の境界壁の部分は、アクリル板、断熱材およびサイディング板で構成した。さらに恒温恒湿室の内壁と、境界壁の取り付け部はすべてアルミテープを貼って目張をし、居室側からの水蒸気の移動を完全に防止した。

2.3.2 実験条件とその設定

実験条件とする各諸量は、気象データに基づく風速、風向、外気温湿度、全天日射量、雲量、および降水量に基づいて算出した。各諸量の算出に当っての気象データは、１時間ごとの値を採用した。以下、実験条件とした各諸量の算出と設定方法について述べる。

(1)外気側の温湿度：外気の温湿度は、気象データに基づいて１時間ごとの値として、温湿度設定器に入力した。また外壁通気層入口の温湿度センサーによって検出された値が設定値と同一になるように、温湿度調整器でヒータ、空調機、および加湿器を制御することによって行った。この場合、設定値と検出値との差異は、±２%以内であった。

(2)外壁通気層内の流速：外壁通気層内の気流の流速は、前節で明らかにした式（３）に基づいて算出した。算出された流速は、１時間ごとの値として風速設定器に入力した。外壁通気層内の流速はファンによって生成し、ダクト中途に設けたオリフィス装置によって流速を検出した。この時検出された流速が設定値と同一となるように、調節器を通してインバータによるファンの回転数を変化させることによって行った。なお、外壁通気層内の流速と、オリフィスによって検出される流速との校正線図をあらかじめ作成し、設定を行った。また流速設定値と検出された流速との差異は、±２％以内であった。

(3)外壁温度：外壁温度は、小屋裏空間内の温度を求める場合と同様の手法で、図６に示す外壁温度計算モデルを設定して算出した。算出された外壁温度は温度設定器に入力し、外壁表面に取り付けた面状発熱体によって加熱して再現した。この場合、外壁温度を熱電対によって検出し、それが設定温度と同一になるように、温度調整器によって制御した。なお外壁の設定温度と検出されたそれとの相違は、±２％以内であった。

(4)居室側の温湿度:居室側の温度は、26℃と一定して行った。温度調整は空調機およびヒータによって行った。また居室側の湿度は内壁をアクリル板で構成し、居室側からの水蒸気の移動がないものとしたために、湿度の制御は行わなかった。

2.3.3 試験方法

外壁通気層の水分排出性能の評価は、厚さ10㎜のアクリル板で構成した内壁と断熱材との10㎜の隙間に、水分を保有する大きさ0.45ｍ×1.8ｍの布を取り付け、その保有水分の変化量を求めることによって行った。布の水分の変化量は、その上端部に取り付けたロード

セルによって、布の重量を測定することによって求めた。ロードセルは、温度の変化による零点のバランス変化を防止するために、温度20℃一定とした保温箱に取り付けた。ロードセルの精度は±1.0ｇである。また布から放出した水分は、外部へ放出されず、断熱材および内壁としたアクリル板に、水蒸気あるいは結露水として残留する場合もある。断熱材に保有される水分量は、断熱材内部の湿度、並びに結露水に基づく重さの増加量を測定することによって評価した。また内壁としたアクリル板に付着する結露水は、ガーゼで回収して、その重さを測定することによって評価した。実験は、通気層の幅を７㎜、12㎜、および18㎜の３通り変化させて行った。また測定期間は、各季節の１週間を抽出して行った。

３．本研究で得られた成果

3.1 小屋裏空間の換気量

図８(ａ)および(ｂ)は、1997年8月1日～10日における札幌、新潟、東京、福岡の４都市での、天井断熱構造の住宅小屋裏空間の換気流量の計算結果を示したものである。図の(ａ)は単独立地における連続型換気(外壁通気層が小屋裏空間つながる場合を連続型換気と称する)、(ｂ)は単独立地における独立型換気(外壁通気層が軒天で開放されている場合を独立型換気と称する)の場合である。また換気流量Ｑは、外壁通気層に設けられる縦胴縁の間隔455㎜に対応させた、幅455㎜の小屋裏空間を通過する１時間当りの値である。

まず図８(ａ)および(ｂ)に示す単独立地の場合には、外壁通気層が小屋裏空間に開放される連続型換気では、外壁通気層が軒天で外部に開放される独立型換気に比べ、最大で３倍程度となる換気流量が生じている。また隣接立地における場合も、連続型換気では、独立型換気に比べて、最大で２倍程度の換気流量となっている。このことから小屋裏空間の換気流量を増大させるためには、独立型換気よりも連続型換気が有利であることがわかる。さらに各都市における小屋裏空間の換気流量に大きな差異が生じており、とくに単独並びに隣接立地における連続型換気に顕著な差異が認められる。これは風力に基づいて生ずる換気流量の相違によるものと考えられる。以上の結果に示すように、各地域の気象条件、並びに建物の立地条件が与えられれば、小屋裏空間の換気流量の評価ができることとなる。

3.2 小屋裏空間の温度性状

図９は、北海道北見市における1999年7月11日～28日での住宅小屋裏空間の温度性状に関しての、計算値と実測値との比較を示したものである。建物は天井断熱、立地条件は隣接立地、換気方式は連続型換気である。本解析手法は小屋裏空間の温度性状をかなりの精度を持って評価できるものであると判断される。

つぎに図10(ａ)および(ｂ)は、1997年8月1日～10日における札幌、新潟、東京、福岡の４都市での、天井断熱構造の住宅小屋裏空間の温度性状の計算結果を示したものである。図の(ａ)は単独立地における連続型換気、(ｂ)は単独立地における独立型換気の場合である。また温度は、小屋裏空間の中間付近における値である。単独立地での連続型換気における小屋裏空間

の温度は、新潟、東京、および福岡のいずれにおいても、最大で40℃程度で、かつ、それは日中の限られた時間帯となっている。また札幌においては、小屋裏空間の温度は最大で35℃程度となっており、本州の各都市に比べて低い値となっている。一方夜間においては、いずれの場合も小屋裏空間の温度は、外気温にほぼ近い値となっている。一方単独立地での独立型換気の場合には、小屋裏空間の温度は、最大で50℃を越えるものもあり、連続型換気に比べてかなり高い値となっている。これは独立型換気では、小屋裏空間の換気は、軒天並びに棟のみによって行われるために、小屋裏空間の換気流量が少ないことに起因する。また隣接立地での、連続型換気における小屋裏空間の最高温度は、新潟、東京、福岡、札幌のいずれも、単独立地の連続型換気に比べて、若干高い値となっている。また独立型換気においては、小屋裏空間の最高温度は、単独立地における独立型換気の場合より若干低いが、あまり差はない。以上示した結果から明らかのように、単独並びに隣接立地のいずれも、連続型換気が小屋裏空間の温度上昇を抑制する上で、独立型換気に比べて有利であることがわかる。

つぎに図11は、小屋裏空間の換気流量を変化させた場合の温度性状を示したものである。評価に当たっては、東京を対象とし、夏期(1997年８月１日～10日)における単独立地での連続型換気について行った。小屋裏空間の換気流量は、図８(ａ)に示す値を基準とし、それを0.1～3.0倍変化させた。換気流量を図８(ａ)に示す値の0.1倍とした場合の小屋裏空間の温度は、最も高い場合には53℃となり、図８(ａ)に示す換気量(1.0Q)の場合に比べて10℃程度高いものとなっている。また換気流量が増加するにしたがって、小屋裏空間の温度は低下するが、換気流量の増加とともに、その減少割合は小さくなる。とくに換気流量を2.0～3.0倍と大きくしても、小屋裏空間の温度は高々２～３度程度の減少をみるにすぎない。したがって、換気流量が図８(ａ)に示すものに比べて小さい場合には、小屋裏空間の温度はかなり上昇するが、それよりも大きくしても顕著は温度の低減はみられない。

3.3 外壁通気層による壁体内水分の排出

外壁通気層による壁体内の水分排出性能の評価に当っては、夏期、梅雨期および冬期について行った。また外壁通気層の幅を７㎜、12㎜および18㎜の３通りについて実施した。図12は東京の夏期における外壁通気層の水分排出量を示したものである。ここで外壁通気層による水分排出量の評価は、以下の方法で行った。

(1) 壁体内に発生する水分量は、防湿シートを通して室内からの水分移動量と枠組木材からの水分発生量との和とした。

(2) 外壁通気層による水分排出量と(1)で求めた水分発生量とを比較することによって、その性能の評価を行った。すなわち排出量が発生量より大きくなれば外壁通気層としての性能を有することになる。

図12に示すように、外壁通気層の幅が12㎜を越えると、壁体内に発生する水分を排出できることがわかる。図13は夏期における札幌、東京、新潟、宮崎での厚さ７㎜の外壁通気層の水分排出量の性能を示したものである。外壁通気層の幅が７㎜の場合には、いずれの地域においても、発生する壁体内の水分を排出できないことがわかる。

つぎに図14は梅雨期における札幌、東京、新潟、宮崎での厚さ12㎜の外壁通気層の水分排出性能を示したものである。厚さ12㎜の場合には、いずれの地域でも、壁体内に発生する水分は十分に排出できることがわかる。さらに図15は東京における冬期の外壁通気層の水分排出性能を示したものである。厚さ7㎜および12㎜のいずれも壁体内に発生する水分は、外壁通気層によって十分に排出できることがわかる。とくに夏期並びに梅雨期に比べて、外壁通気層の水分排出量はかなり大きくなる。これは外壁通気層内に流入してくる外気の湿度が低いために、躯体内の水蒸気の移動・拡散が促進されることによる。

3.4 小屋裏換気部材の開発

報告書のページ数の関係上、別紙の印刷物に記載してある。

4. 期待される成果並びに今後の課題を要約すると以下のようになる。

(1)各地域の気象条件（風速、風向、温度、日射量、雨量、積雪量）が与えられれば、小屋裏の掃気量並びに温度性状を評価できるシミュレーション計算手法の確立を図ることができた。

(2)シミュレーション計算結果に基づいて、夏期並びに冬期における各地域の住宅小屋裏の温度性状を明らかにした。

(3)今後開発される小屋裏の各種換気部材並びに換気方法に関して、本研究で構築したシミュレーション解析手法を適用することによって、その性能を評価できることになった。

(4)今後実物住宅における小屋裏の掃気量並びに温度の評価を行い、本シミュレーション手法の妥当性の評価が必要である。

(5)外壁通気層の水分排出性能を評価する手法の確立を図ることができた。

(6)今まで不明であった外壁通気層の最小限の幅(12㎜)を評価することができた。

(7)今までほとんど不明であった外壁通気層の水分排出機能に関して、定量的に明らかにすることができた。

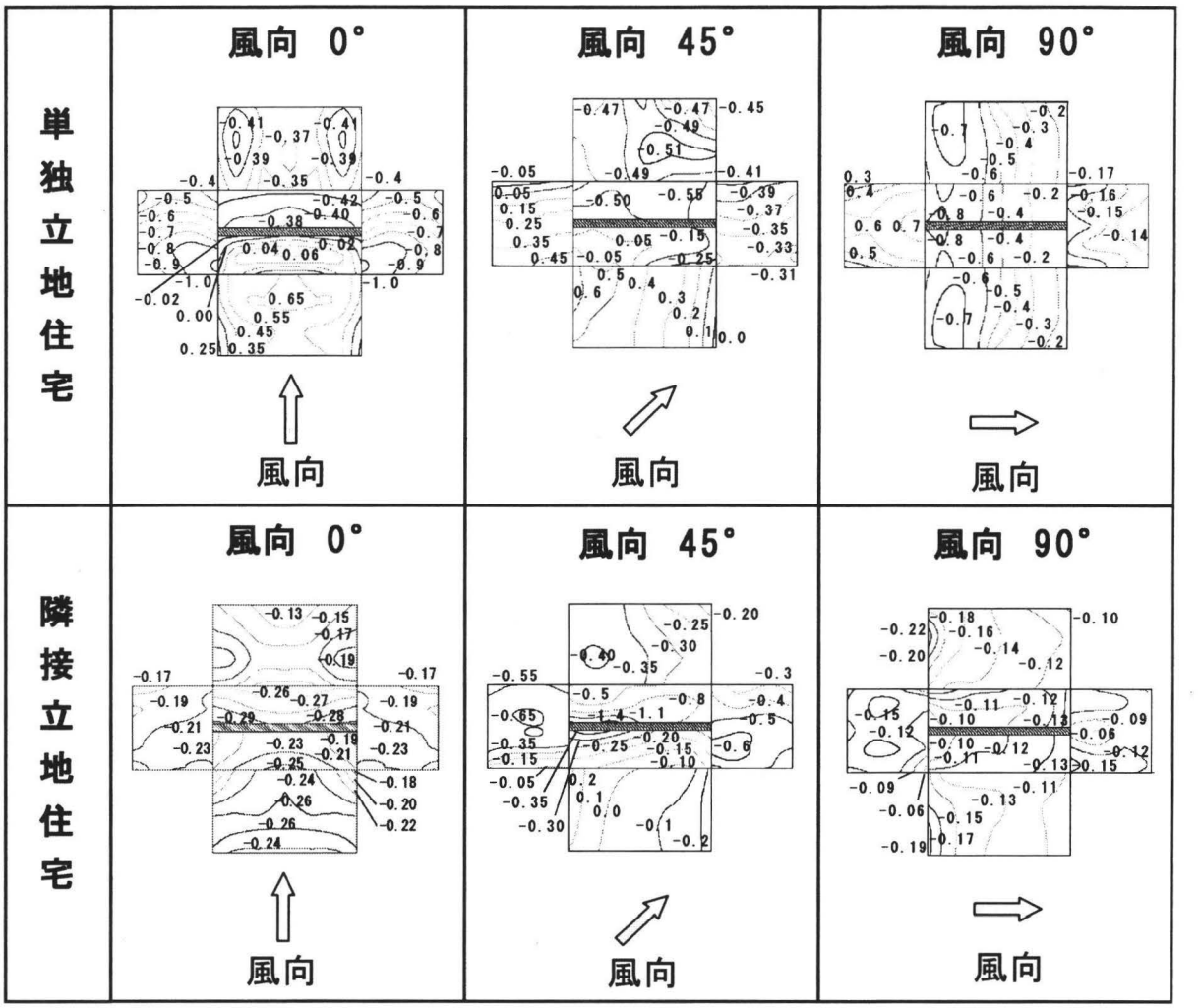
(8)横胴縁、防火役物を有する縦胴縁、スリットを有する横胴縁の種々の形状を有する外壁通気層の水分排出機能に関する評価が今後の課題となる。

(9)報告書のページ数の関係上割愛したが、新しい小屋裏の換気部材の性能評価手法の確立が図られ、本手法は今後の研究開発に重要な役割を果たすものと期待される。

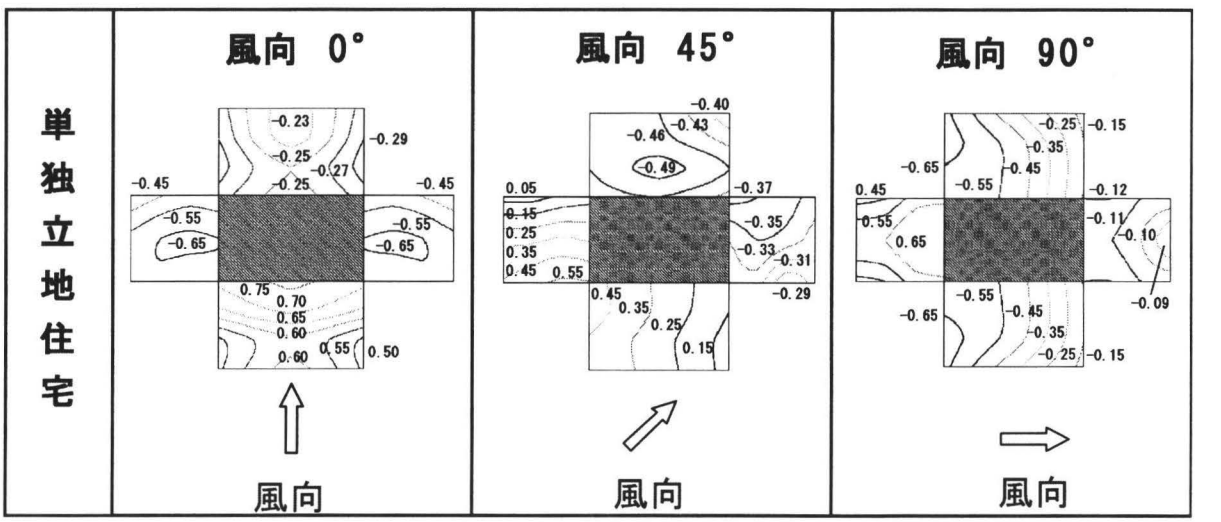
(10)新しい小屋裏換気部材の開発が行われた。本開発部材は、暴風雨並びに暴風雪時における雨水並びに吹雪の小屋裏への浸入が完全に防止される。

(11)開発した棟並びに軒天換気部材は、従来のものよりも換気性能は高く、夏期では小屋裏の平均温度は外気のそれと比べて5℃以内に押さえることができる。また冬期では外気平均温度にほぼ等しくすることができる。

(12)本研究成果は、近い将来建築学会論文集にまとめて、投稿する予定である。

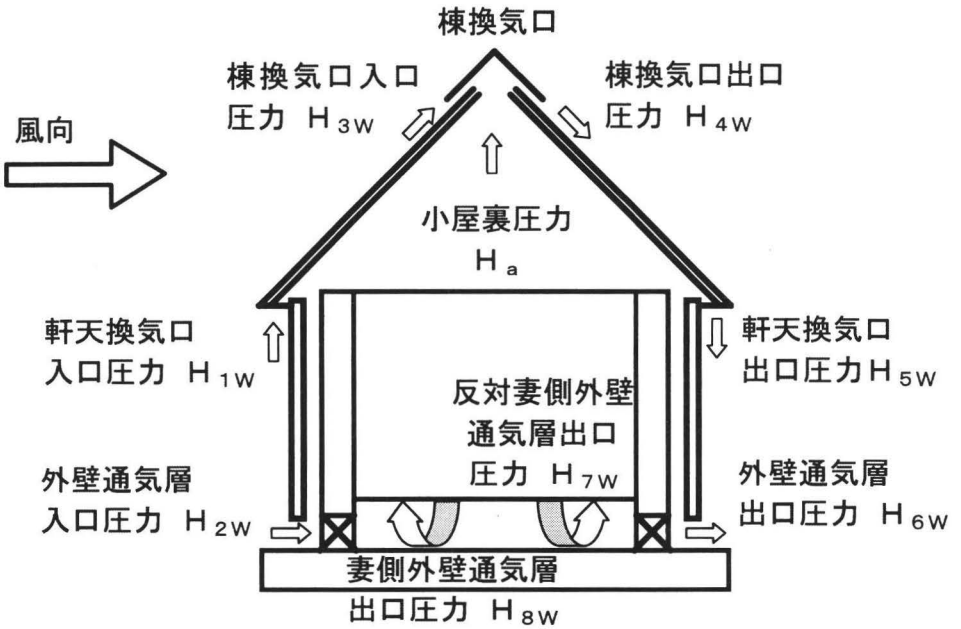


（a） 落雪屋根 （30° 標準屋根）

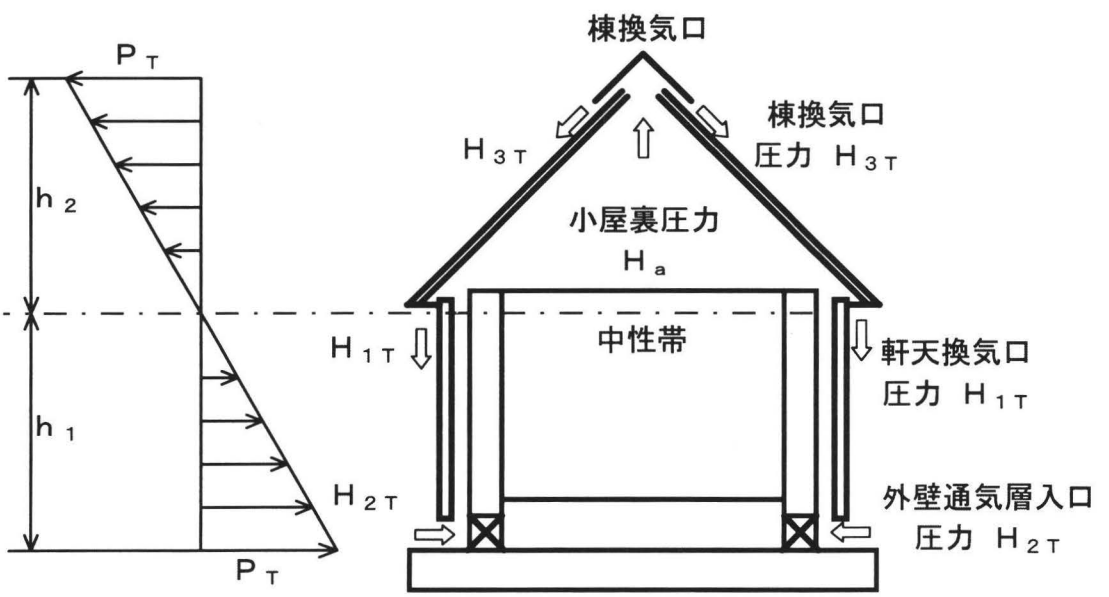


（b） 無落雪屋根 （陸屋根）

図１ 建物外壁面風圧係数



（a） 風力による発生圧力



（b） 温度差による発生圧力

図２　躯体掃気のしくみ

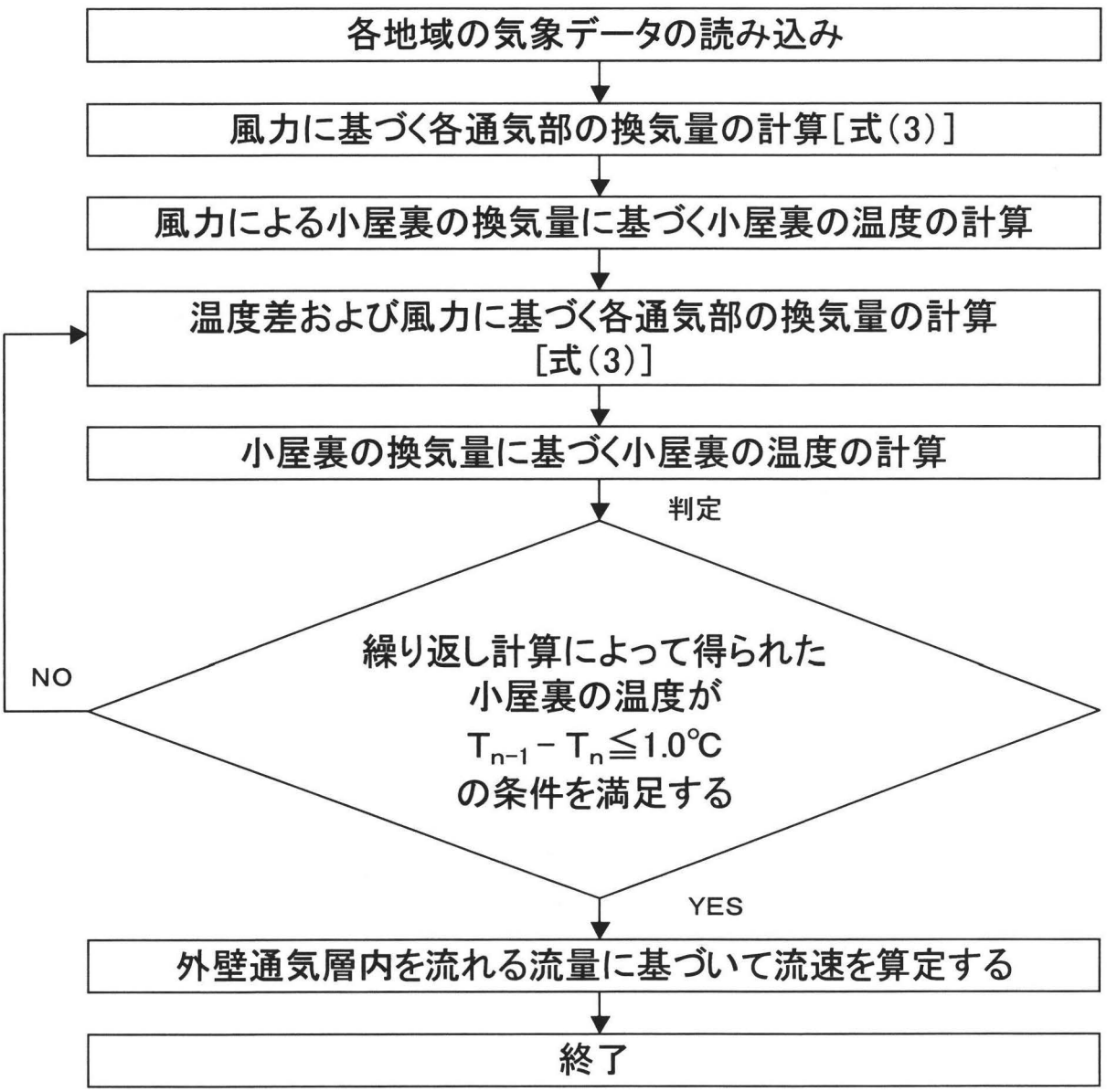
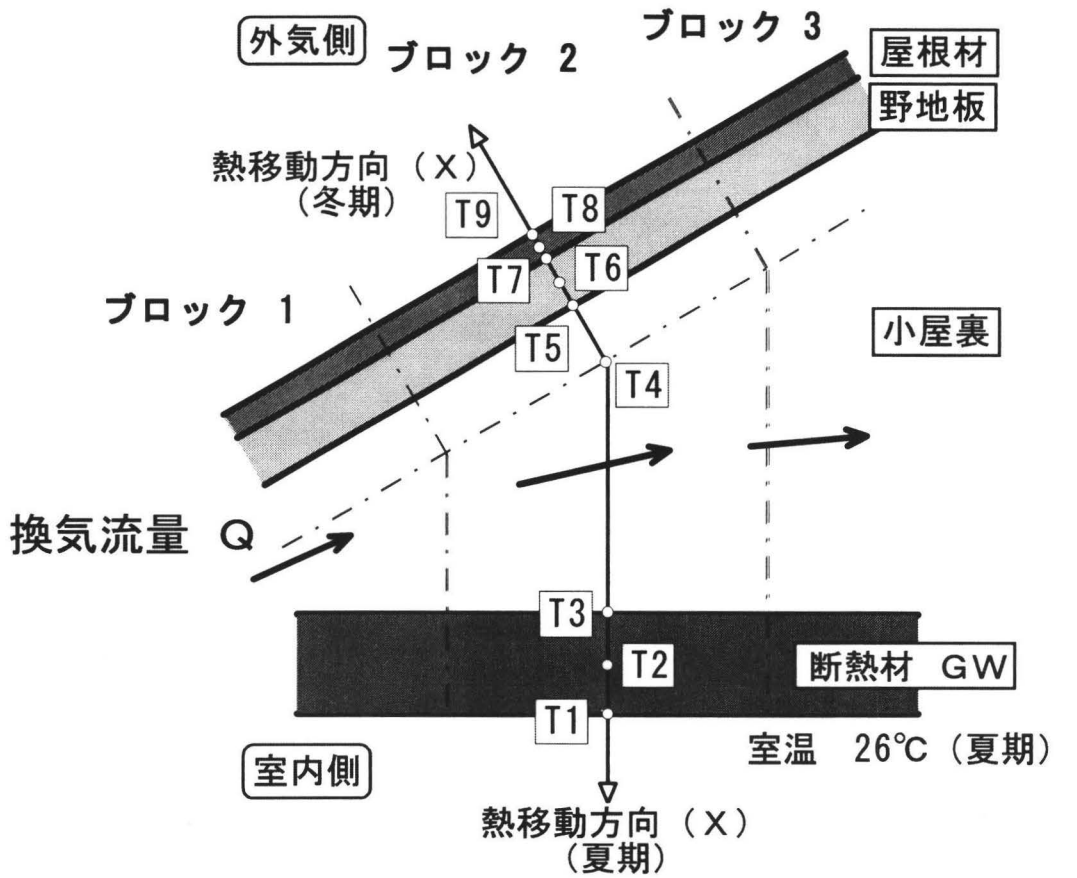
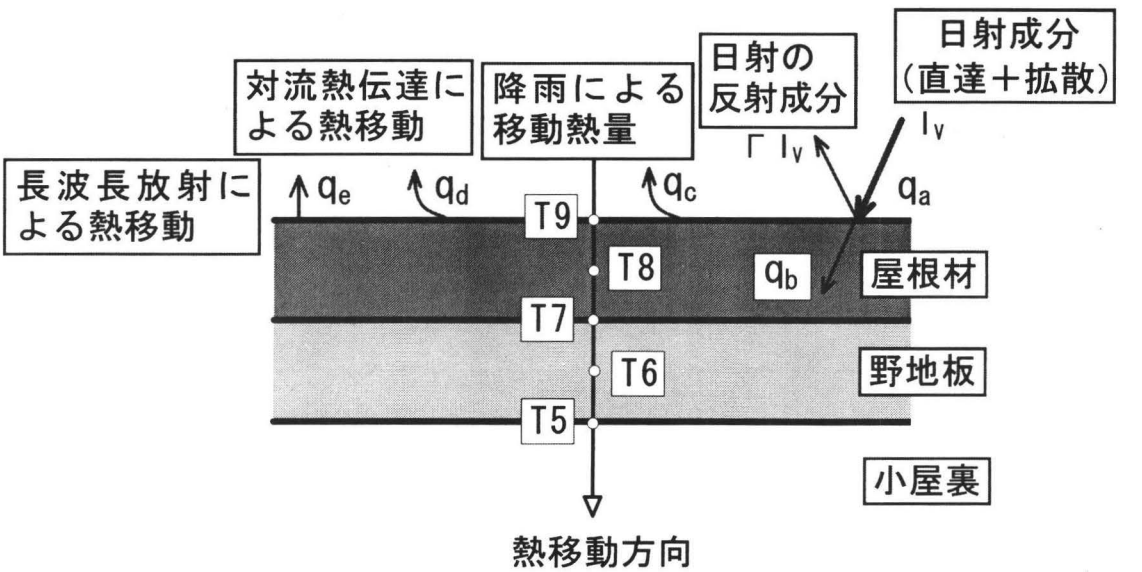


図３　小屋裏および外壁通気層内の流速の計算手順



（a）温度計算モデル



（b）屋根表面の熱収支（夏期）

図４　小屋裏空間の温度解析モデル（天井断熱）

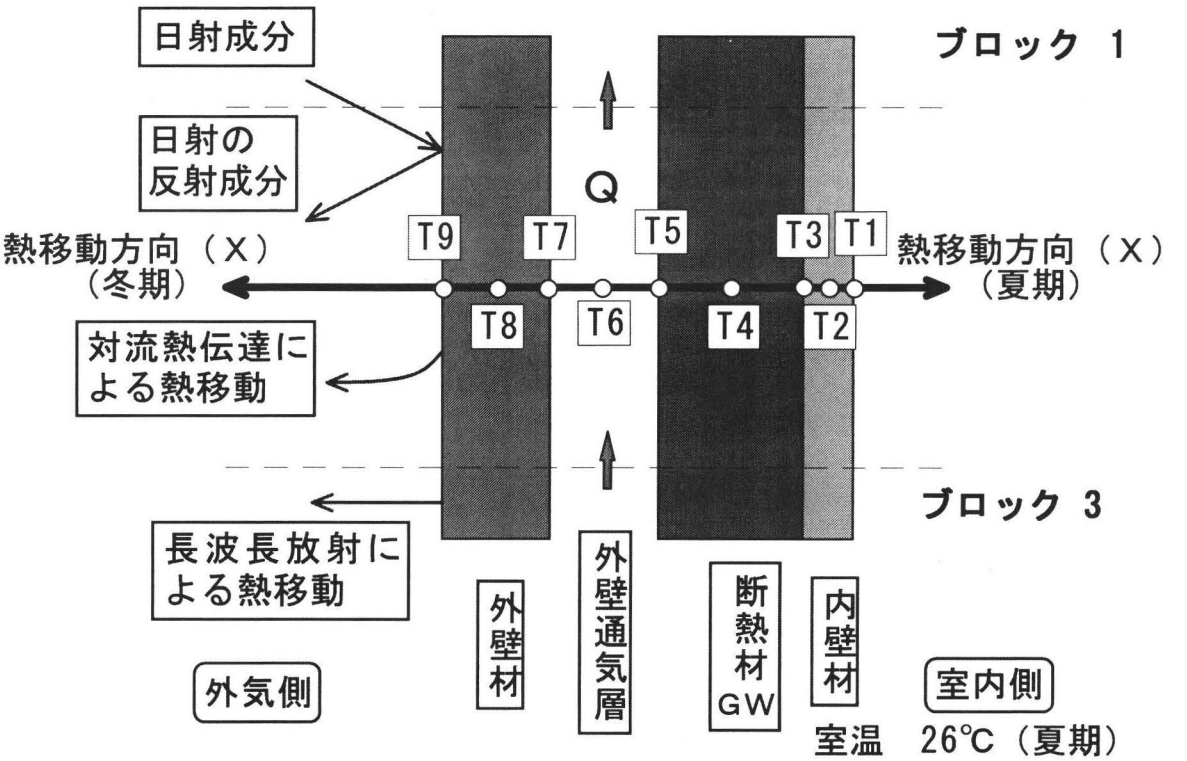


図５　外壁通気層内温度計算モデル

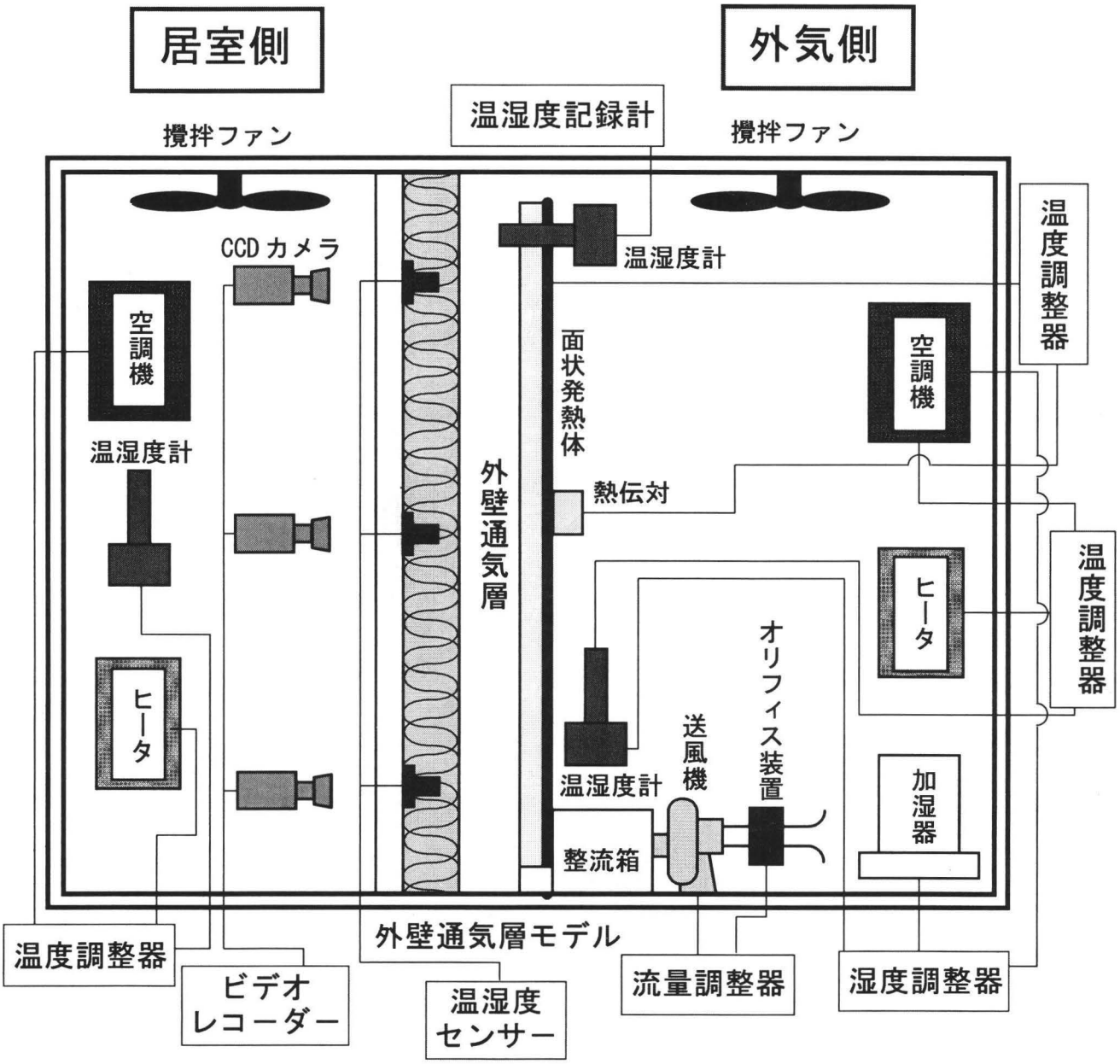


図６　外壁通気層による水分排出量評価試験装置

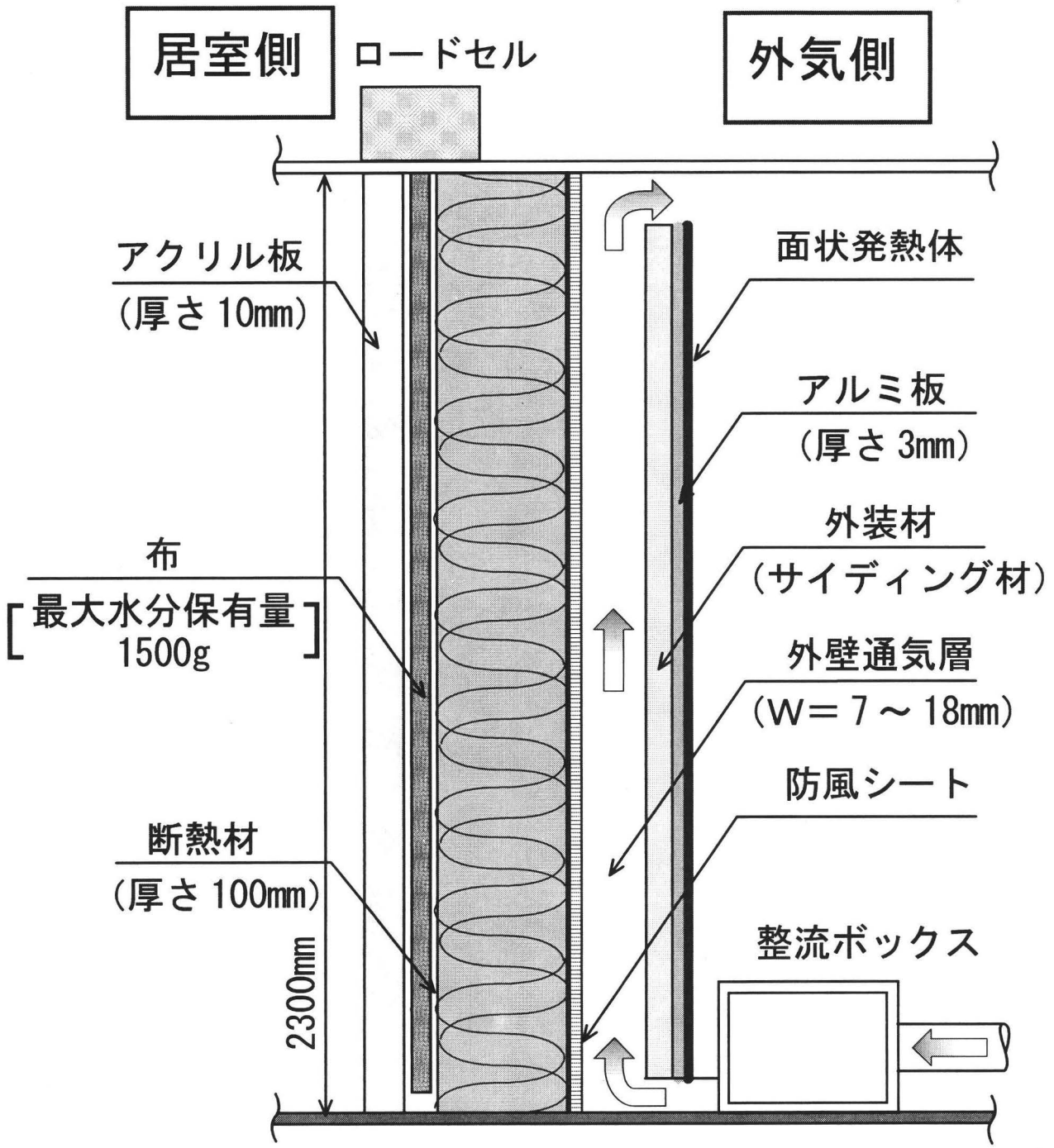


図7　外壁通気層を有する壁体モデル

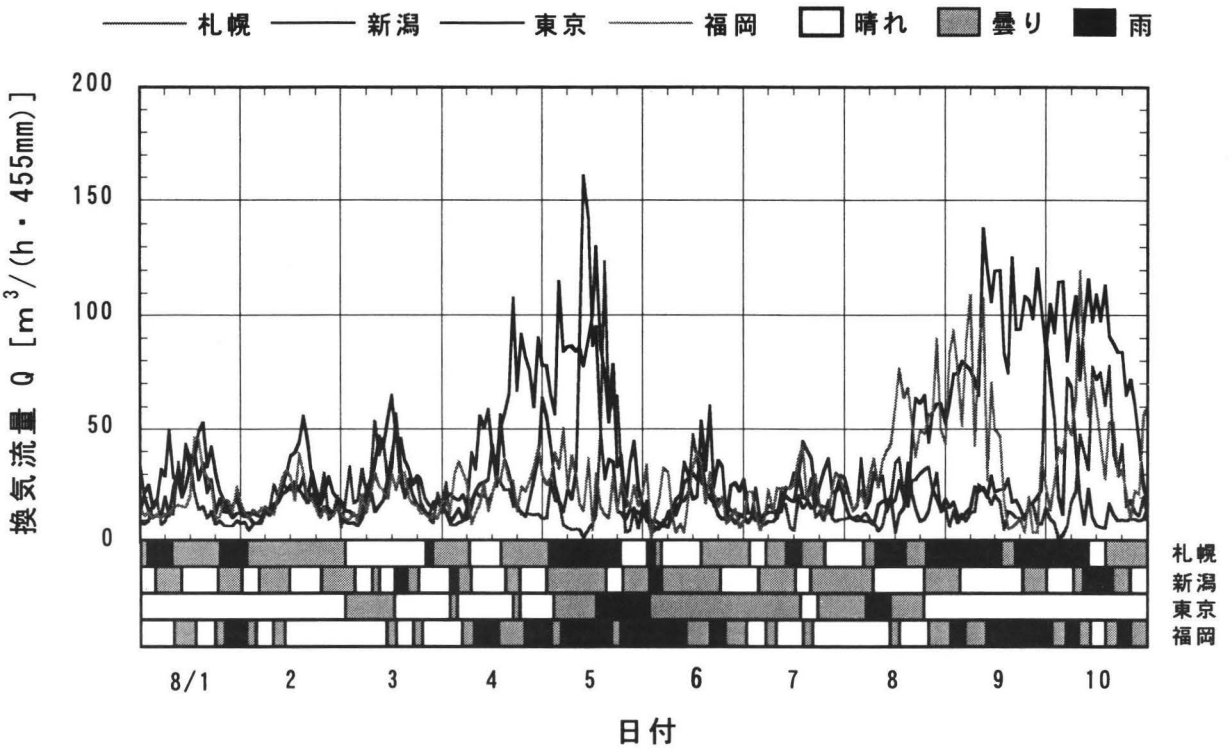


図8(a)　単独立地における連続型換気の場合の小屋裏空間の換気流量

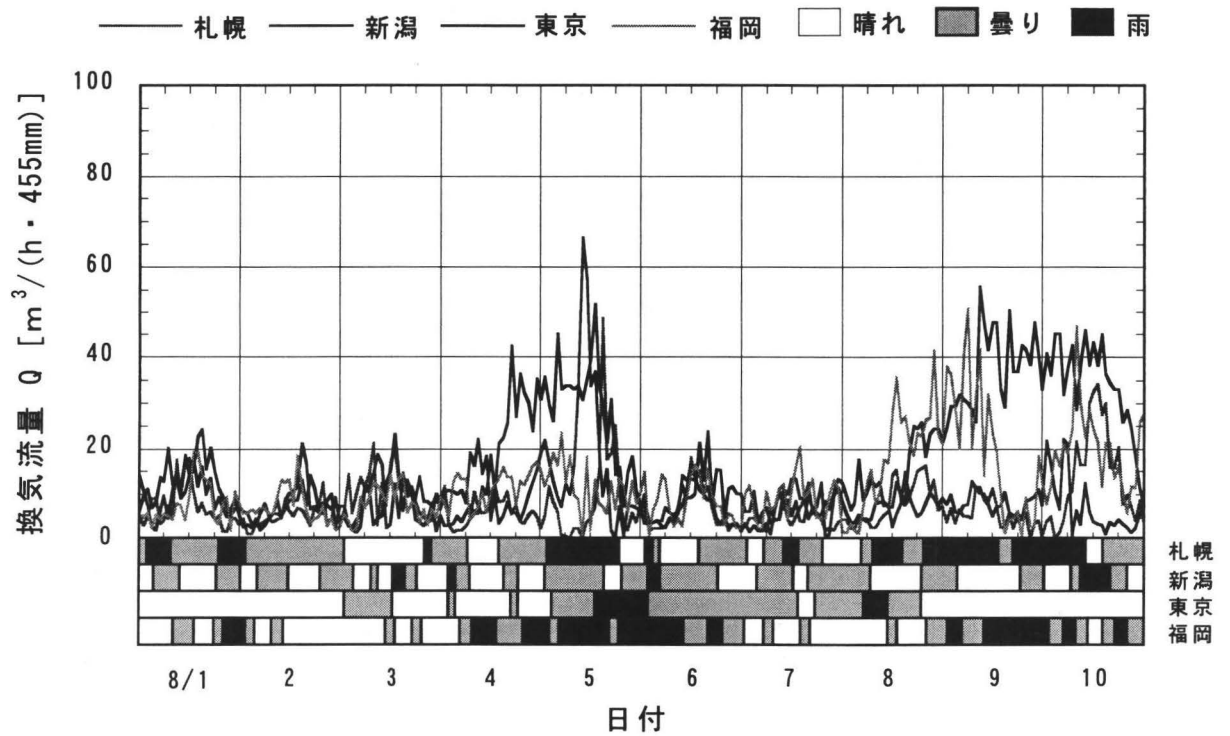


図8(b)　単独立地における独立型換気の場合の小屋裏空間の換気流量

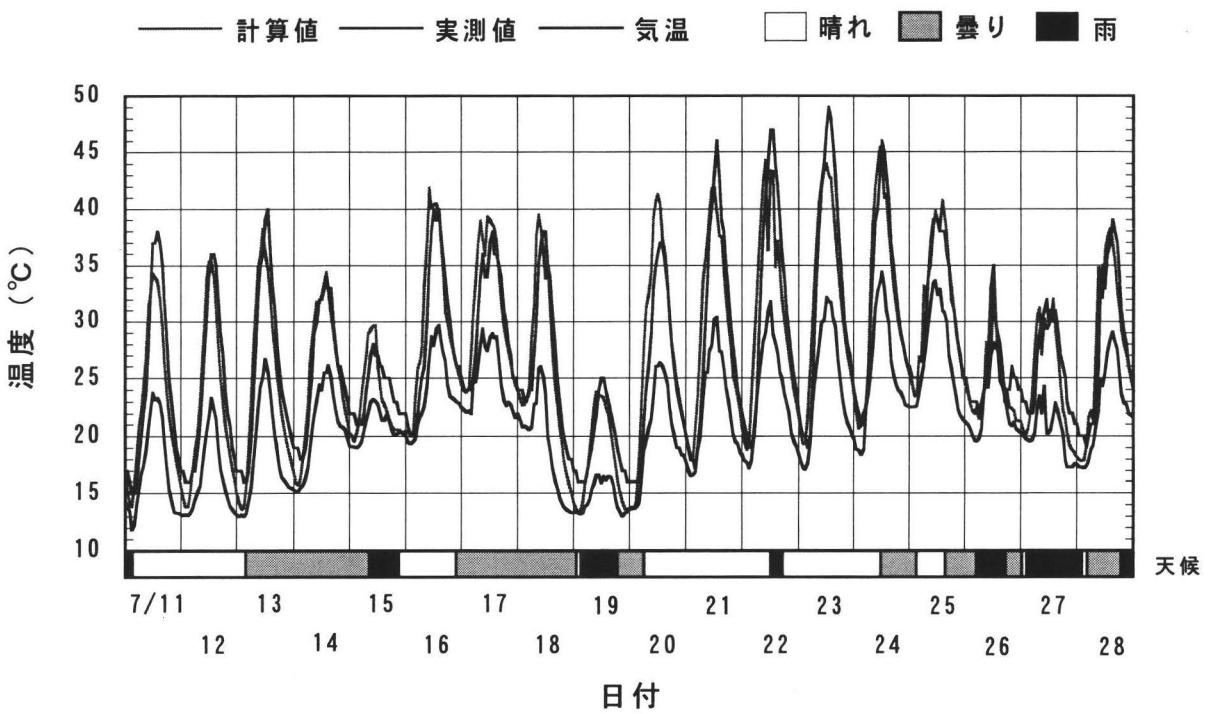


図９　小屋裏空間の温度性状に関する計算値と
実測値の比較（ 1999 年　北見 ）

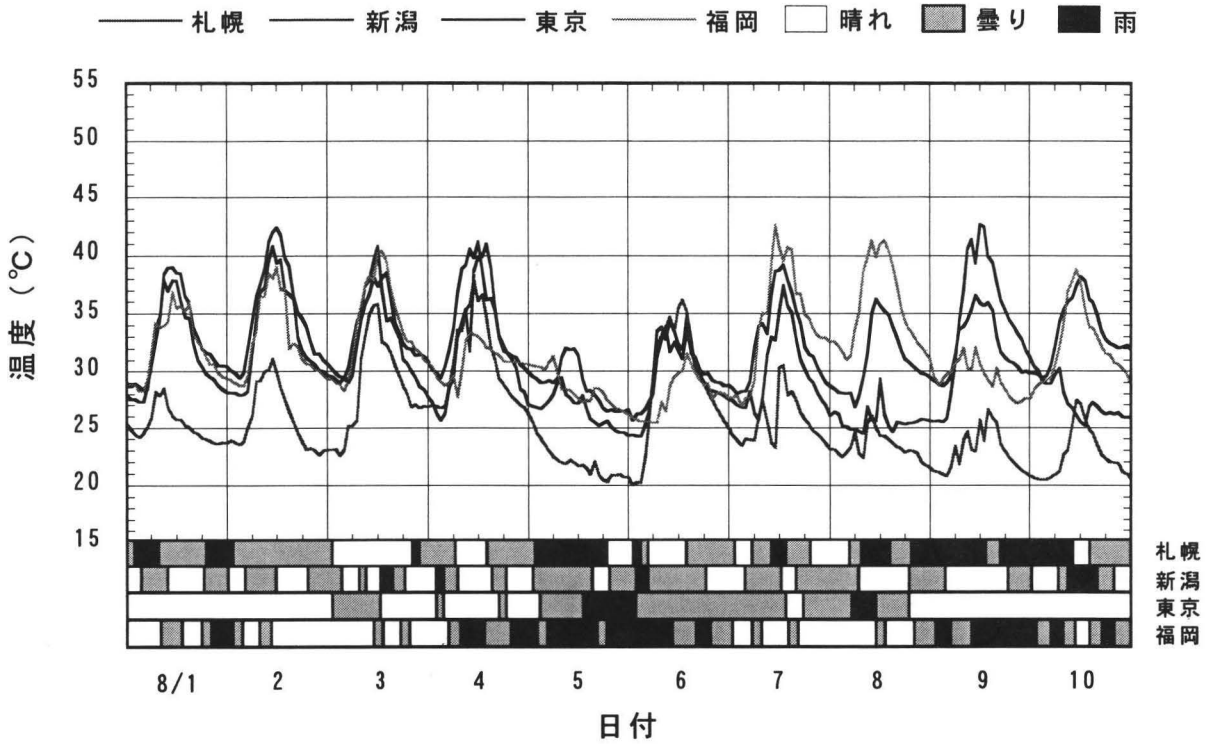


図 10(a)　単独立地における連続型換気の場合の小屋裏空間の温度性状

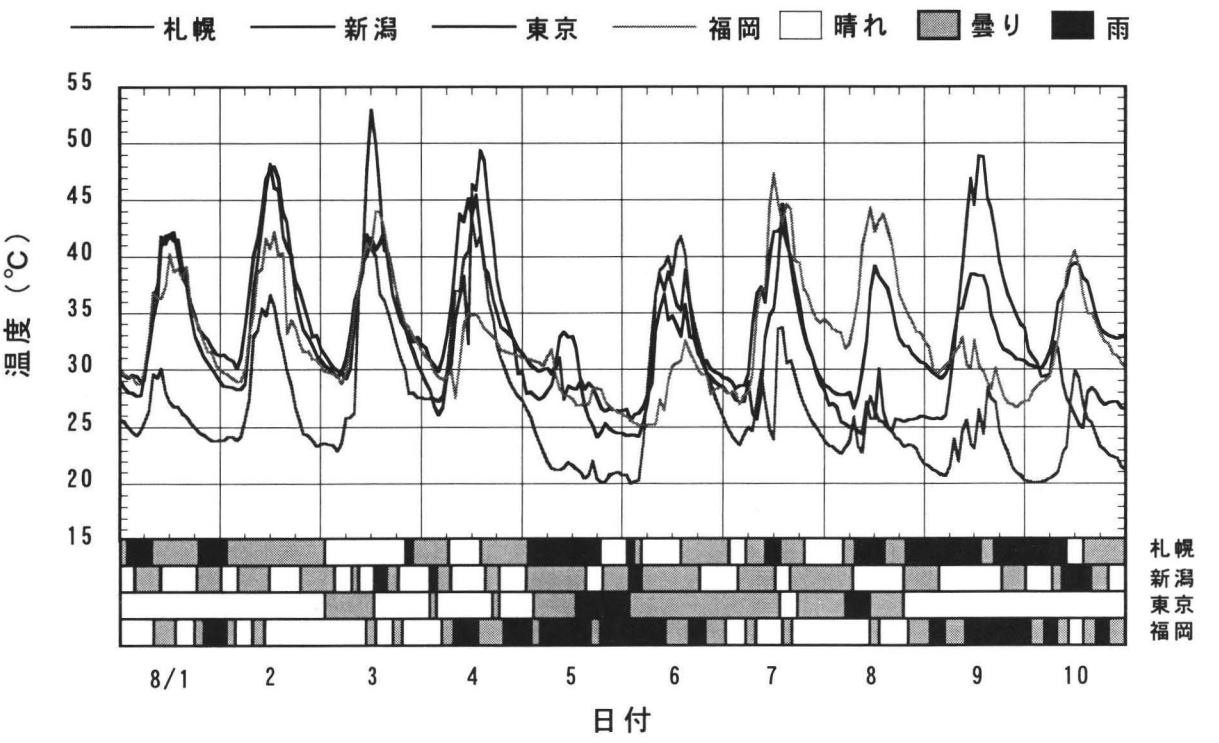
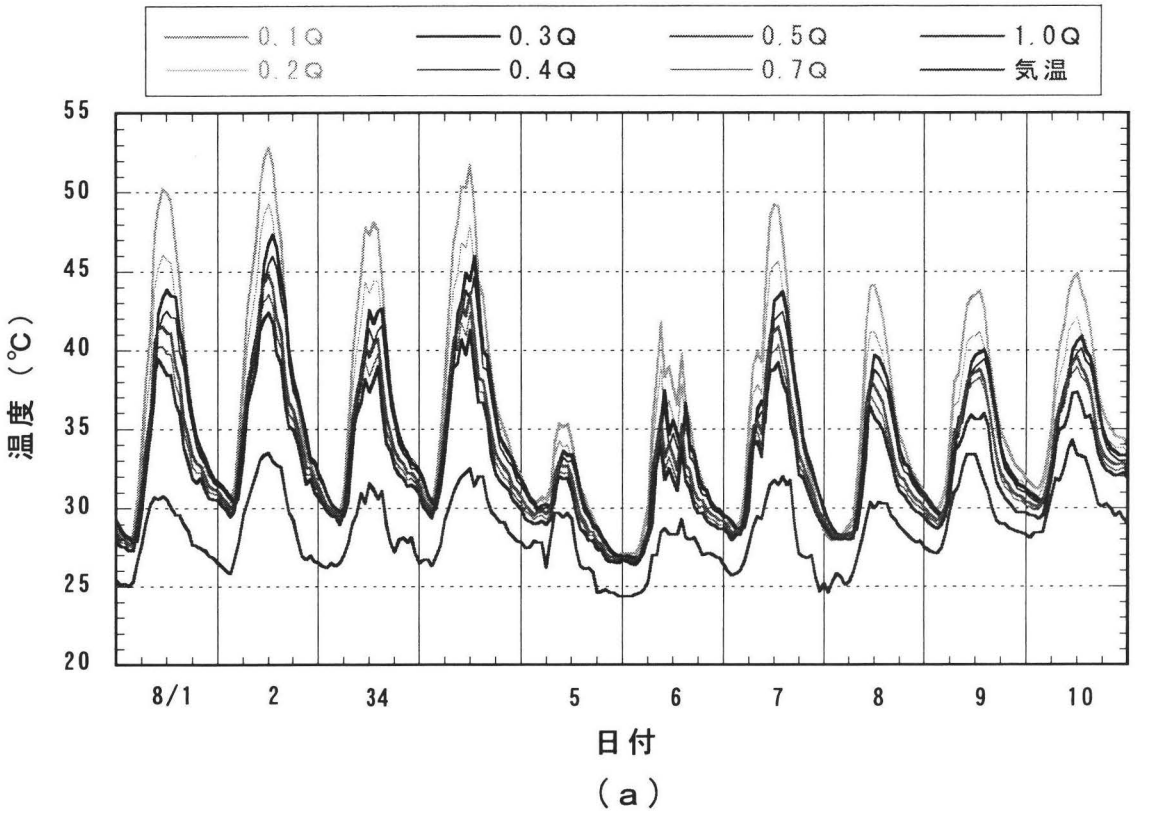
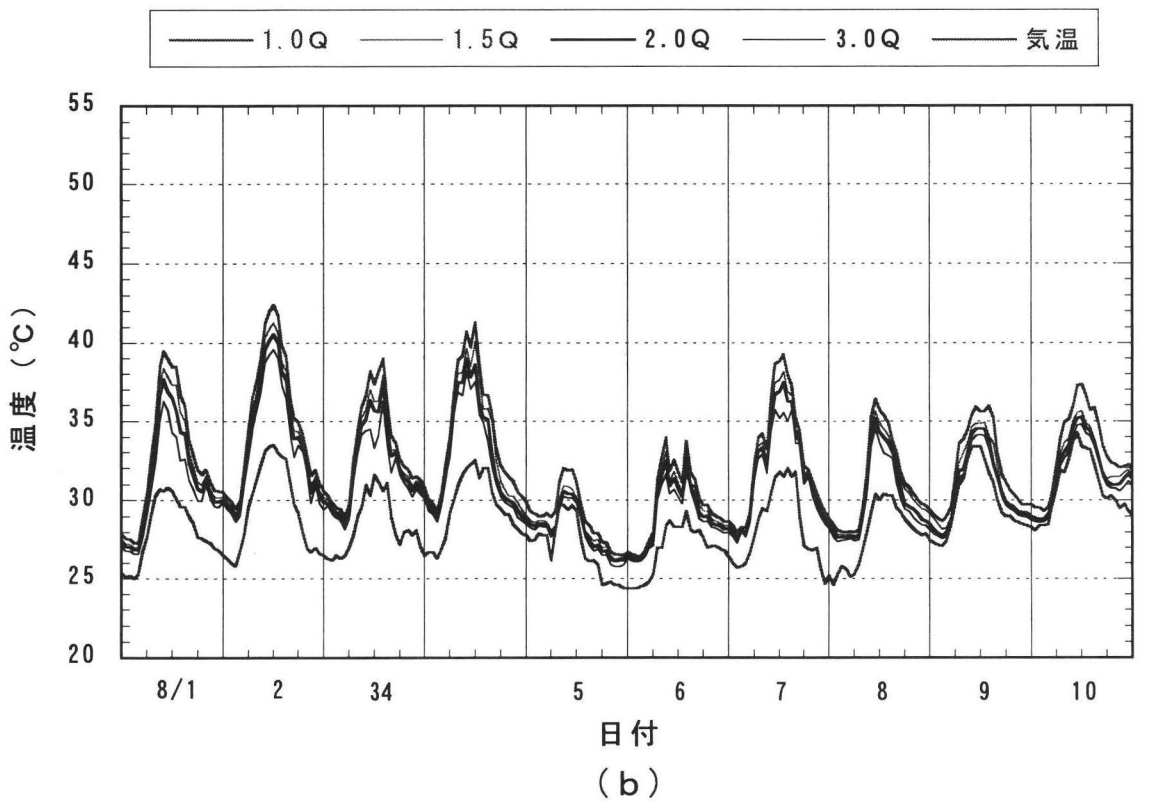


図 10(b)　単独立地における独立型換気の場合の小屋裏空間の温度性状



（a）



（b）

図11　単独立地における連続型換気の場合の換気量の相違による小屋裏空間の温度性状（ 東京，夏期 ）

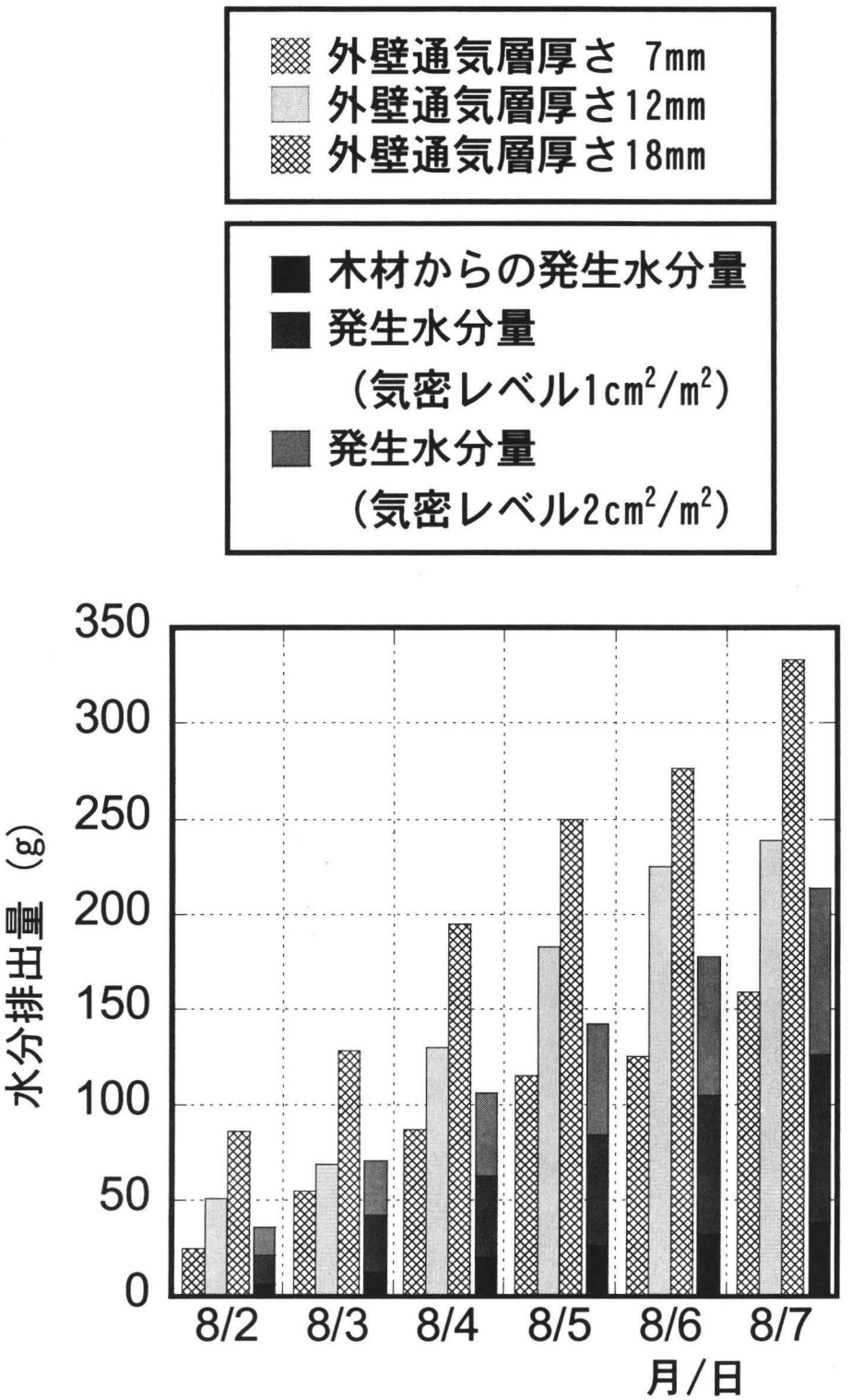


図12　隣接立地北側における連続型換気の場合の外壁通気層厚さの相違による水分排出量

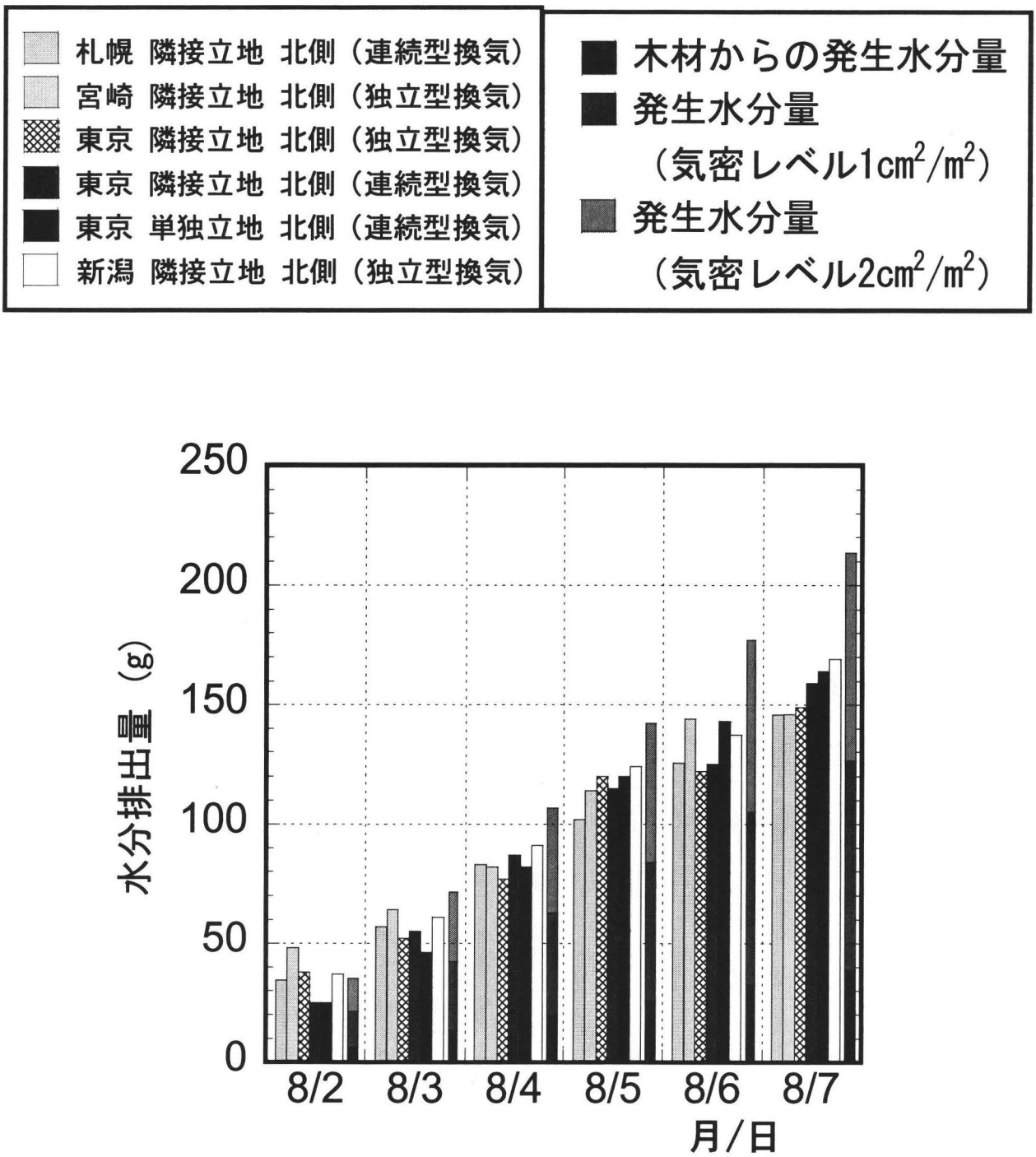


図13　夏期における各地域での外壁通気層厚さ７mm
の場合の水分排出量の評価

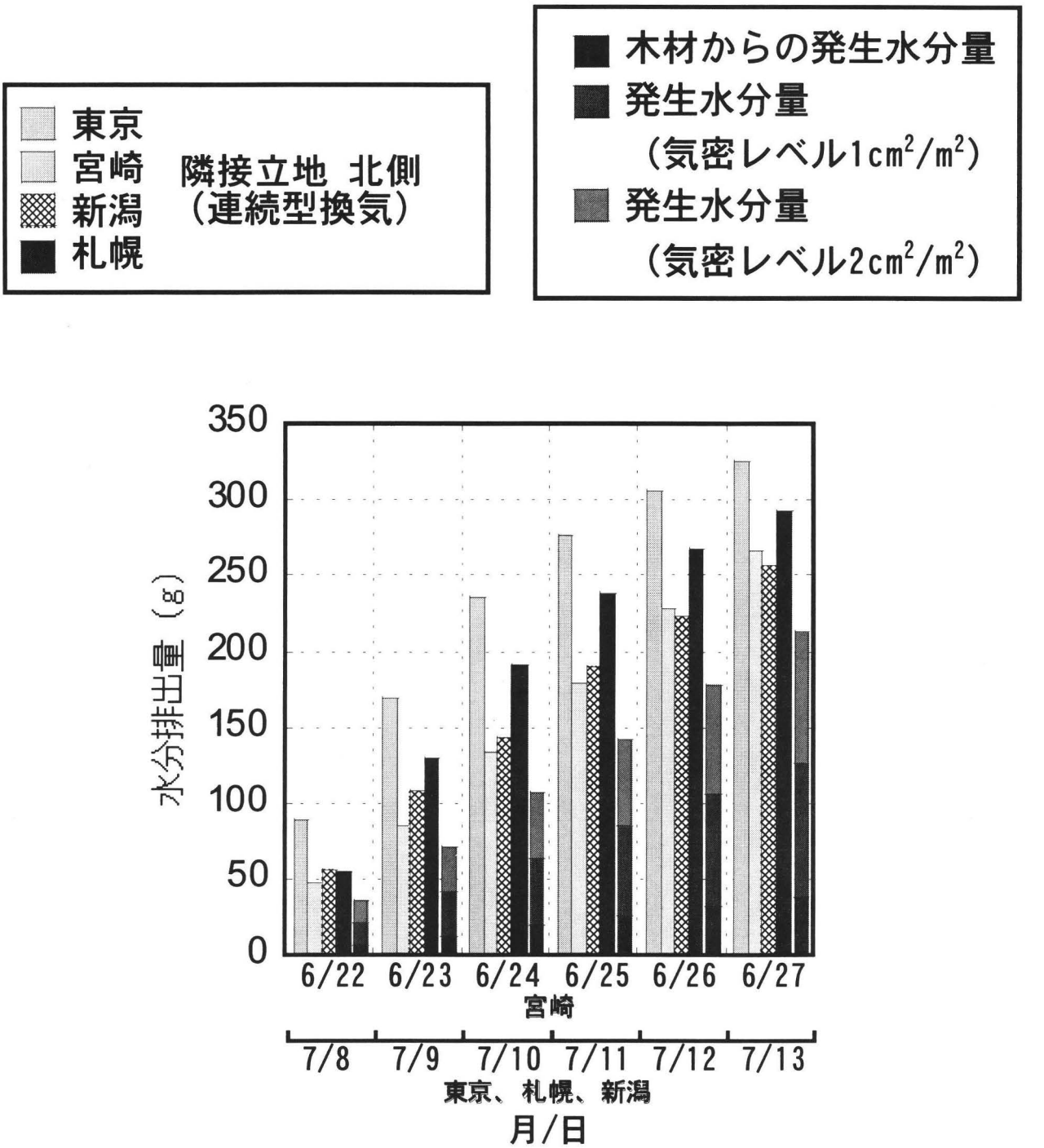


図14　梅雨期での連続型換気における外壁通気層厚さ12㎜の場合の水分排出量の評価　（各地域、梅雨期）

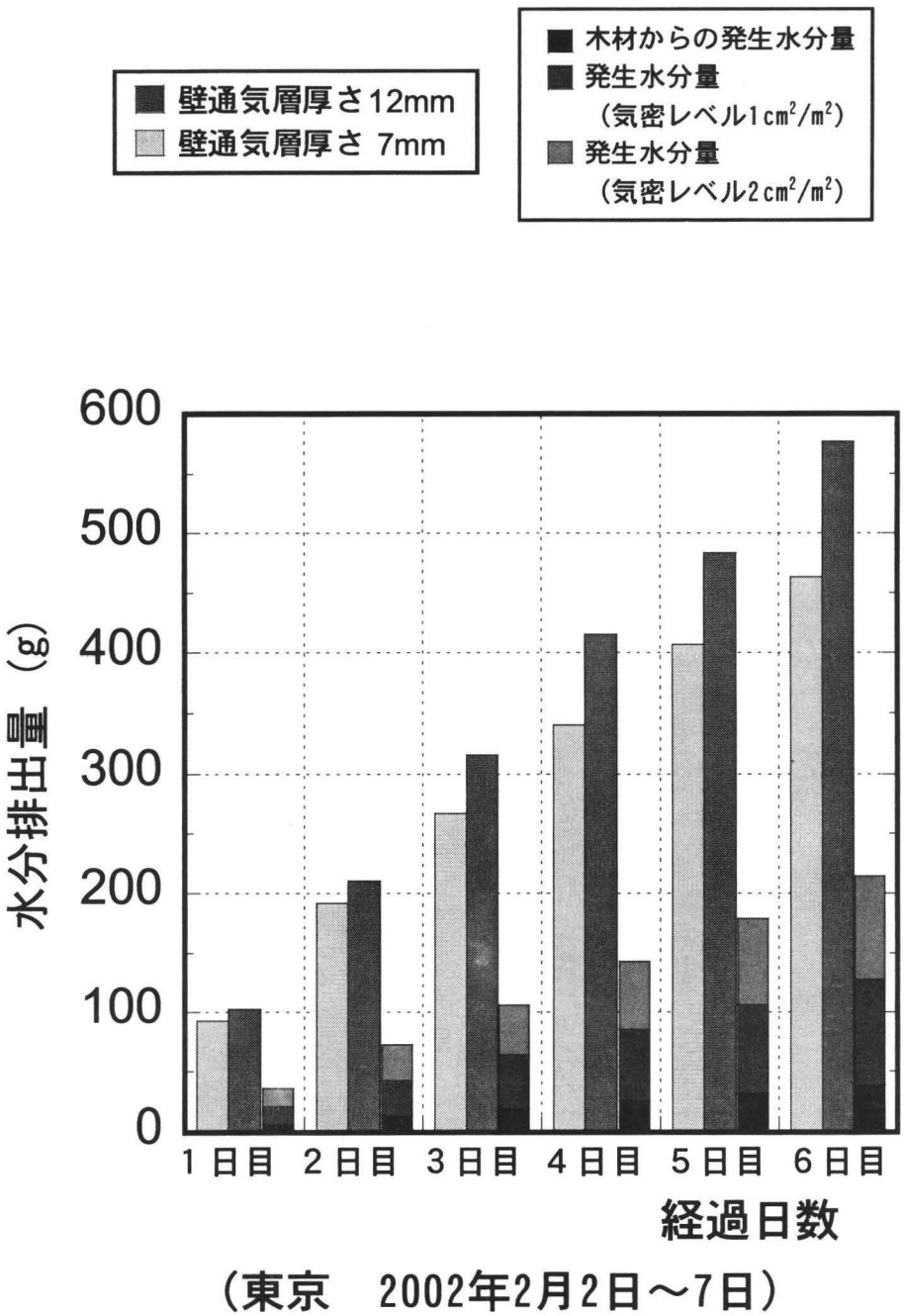


図15　冬期における縦胴縁外壁通気層の水分排出（東京）

１－16　断熱材の位置とカビ発生に関する研究

お茶の水女子大学　生活科学部
教授　田中辰明

第一章　　緒言

１－１　本研究の目的

わが国の住宅は夏を凌ぎやすく設計されてきた南方型のものであった。従来断熱をする習慣がなく、１９７３年に起きた石油危機を契機に断熱をする機運が高まってきた。それまで、明確な断熱の仕様書もなく、工事の行いやすい「内断熱工法」が主流になってしまった。「内断熱工法」は、建物の内側に断熱材を入れる方式であり、室内で発生した水蒸気が外壁の内部で結露を起こし、これがカビ・ダニを助長し,日本に蔓延しているアトピーや喘息などアレルギーの主な原因となっている。これに対しドイツやスウエーデンなどの寒地では当時から、建築全体をすっぽり包み込む「外断熱工法」が一般的であった。近年になって我が国でも建築物における断熱材の重要性が認識され、「外断熱工法」のコンクリート住宅が注目を集めてきている。「外断熱工法」は結露を発生させにくく、また断熱性も高く省エネにもつながるといわれている。しかし、これらの実態は必ずしも正しく調査され明確にはされていない。そこで本研究では外断熱住宅の居住性、断熱性、結露発生に関する実態を把握することを目的とし、１）北海道外断熱住宅調査　２）外断熱改修された長野県公営住宅調査　３）北海道住宅真菌調査　を行った。

第二章　断熱・結露・真菌に関する基礎知識

２－１　断熱について

断熱とは、ある素材を使って屋外からの熱を入れないように遮断し、エネルギーの消費を抑えながら、室内の温度を保つための技術である。

単に断熱といっても、断熱材の種類にも繊維系のものから合成樹脂系のものまで、さらにその内容を分類していくと、非常にたくさんのものになる。現在、断熱に使われている材料としては、ポリスチレンや硬質発泡ウレタンなど発泡プラスチック系のものや、グラスウールやロックウールといった繊維系のものが多く利用されており、セルローズファイバーやインシュレーションボードなど木質繊維系のものもある。

発泡スチロール系のものは湿気を通しにくく、断熱性能の高いものが多い。形状としても外断熱施工には適しているものが多く、施工性も優れている。繊維系の断熱材について、グラスウールはコストが安く施工しやすい面で広く利用されている。しかし、壁の中に施工することが多いことから壁体内結露の原因になりかねず、また吸湿性が高いことからも断熱性能を低下させる結果となることもあるようだ。ロックウールも同じ繊維系でよく利用されている。繊維系材のデメリットは、吸湿性・透湿性があることだ。そのため、断熱工事で防湿処理を完全に行わなければならず、この工事を誤ると、水蒸気を吸って断熱材は濡れ、最悪な事態にもなりかねない。とくに、グラスウールは吸湿性がない。グラスウールはわずかな湿気でも熱伝導率が上昇し熱を伝えやすくなるため、湿気から保護しなくてはならない。そのために、ポリエチレンフィルムやアルミニウムハ箔を施し、水蒸気を遮断する必要がある。

また、断熱材を躯体のどこに入れるかといった位置による分類をすると、外断熱、内断熱、中断熱等々、８種類に及ぶ。(Fig.2-1) このうち欧米諸国で最も普及しているのは外断熱工法であるが、わが国においては内断熱工法がほとんどである。これら断熱工法に関しては、**２－４**で詳しく述べる。

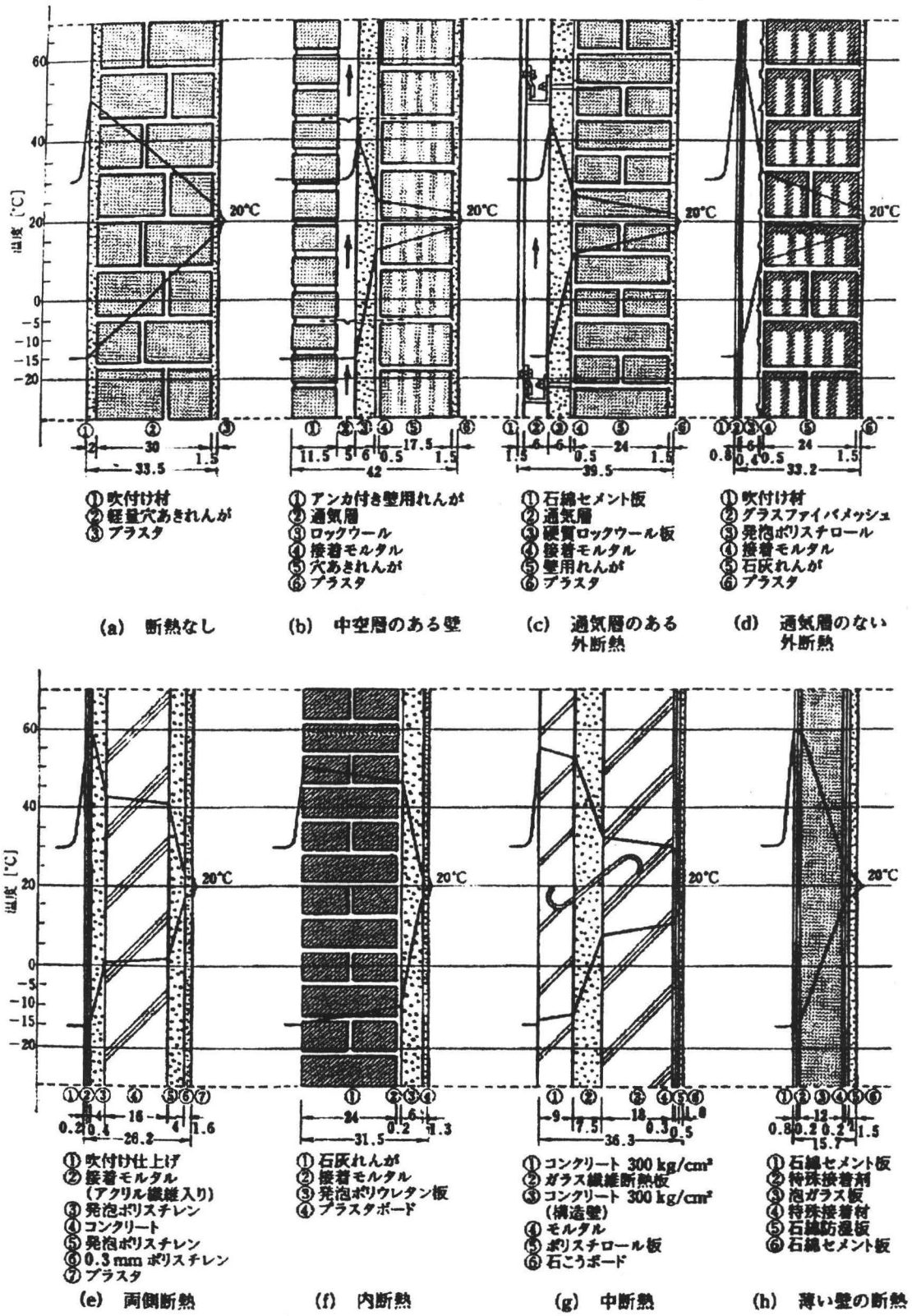


Fig. 2-1 断熱方法の分類

２－２　結露について

２－２－１　結露発生のメカニズム

冷たい水の入ったグラスに空気が触れるとグラス表面に水滴がつく。ここで、湿り空気が冷たいグラスによって温度が減少し、相対湿度が上昇する。そして、ついには飽和状態（湿度100%）になる。このとき、空気が飽和状態になるときの温度をその空気の露点温度という。

結露現象は建物躯体にも生じる。冬になると、冬の室内側の外壁、ガラス面や窓に水滴がついていることがある。結露状態が続くと、内装材の壁クロスが湿ったり、壁表面にカビが発生するなど多くの問題を引き起こす。また、壁内部にも結露は起こる。これにより、壁ないの断熱材、間柱、外装材の室内側が湿ったり、カビが発生する。このように、結露には、私たちの目に見える壁表面やガラス面で発生する『表面結露』と、目に見えないところで発生する『内部結露』がある。また、結露はその発生状況によって『夏期結露と冬期結露』に分けられる。以下に、これらについての説明を記す。

『表面結露』

表面結露は、窓ガラスや壁の内表面温度が室内空気の露点温度以下になると、室内の水蒸気がガラスや壁表面で凝結をして結露となる現象をいう。表面結露の起こりやすい部位は、断熱性が悪く、表面温度が周囲より低下する外壁の隅角部や熱橋部、サッシュ回り、窓表面である。

『内部結露』

内部結露とは、室内から外気に向かって流れる途中で露点温度以下になっているところで発生する結露のことである。一般的に、冬の暖房時に室内水蒸気圧が外気より高い時に起こるが、材料内において、飽和水蒸気圧を実際の水蒸気圧が上回ると結露領域となる。

『夏期結露と冬期結露』

夏期結露は、高温多湿の空気が温度の低い空気に流れ込み、湿度が上昇し、これにより結露が促進されるものである。夏期結露は熱容量が大きく高断熱構造の建物で発生しやすい。一方、冬期結露は一般的に断熱性の不足によって生じる。

結露による被害には次のようなものがある。

・カビ・ダニの発生
・腐朽菌による建物の損壊
・コンリートの劣化
・家具や建具の膨張
・床の滑り

などが挙げられる。それらは建物自体に害をもたらすだけではなく、我々自身の健康にも被害をもたらす。

とくに、近年、高気密高断熱の住宅が増え、住宅内に湿気がこもりやすくな

っており、カビ、ダニなど住宅に要因があるアレルギーの問題が急増している。住宅はカビにとって、最適な生育環境である。カビの分泌する色素には、赤、黒、青、白、などがあり、広く深く浸透し、しみとなる。飛散した胞子は喘息、アトピーを中心としたアレルギー、肝硬変などの疾病の原因にもなる。

住宅は、ダニにとっても最適な生育・繁殖環境である。また、ダニの栄養分にはカビも含まれている。ダニの繁殖条件としては温度 20～30℃、湿度 60%以上（最適は 60～80%R.H.）である。ダニも、喘息、鼻炎、結膜炎、などの原因となる。

カビのよる家屋被害でもっとも損害の大きいのは、ナミダタケによる木造床の陥没である。ナミダタケのような腐朽菌は、木材のセルロースやリグニンを栄養分とするため、住宅の主用材料である木材を腐らせ、耐久性を著しく損なう。ナミダタケの生育の最適温度は、16～22℃で、寒冷地の木造床組を好むが、最近では東京付近でも被害が起きて裁判沙汰にもなっている。

結露の発生は、建物の場合、居住者の生活様式と、内外の温湿度環境が複雑に絡み合って生じる。その原因として下の表にあるものが考えられる。

Table.2-1　結露の背景

	建物部位、居住状態	温度あるいは湿度の関係（作用因子）
1	鉄筋コンクリートと木造	換気量と透湿量に差異があり、鉄筋コンクリートは絶対温度が平均化する。
2	暖房室と非暖房室	暖房湿が熱および水蒸気の流出源となり、非暖房室の温湿度の影響する。
3	北側暖房と南側暖房	冬の北風の影響によって結露発生に違いがある。
4	暖房器具の種類	水蒸気の発生源になるものとならないものがある。
5	冷熱橋(ヒートブリッジ)、隅角部	一般平面部より表面温度が低くなる。隅角部は空気がよどむ。
6	開口部、サッシ	ガラス、金属部が非常に低い温度になる。室内の気密度に大きい影響がある。
7	収納庫、天井裏	空気温度が低くなり、高相対湿度になる。
8	台所、浴室	水蒸気の発生源になる。
9	間仕切り	隣室の温度降下、湿度降下に影響する。
10	内装仕上げ材	吸放湿のあるなしで表面温度のあらわれ方が異なる。
11	家具	置き方によって家具裏面の空気流、熱伝達が異なる。
12	居住者の生活環境温湿度	高湿度生活者ほど結露しやすい。
13	日照率	冬の洗濯物を室内に干すと湿度が上昇する。
14	家族構成	家族の構成と住まい方は全般に影響がある。

２－２－２　ヒートブリッジ

図のように、部分的に熱を良く伝えて室内の表面温度が低くなる所を冷熱橋という。この部分では、冬の場合は室内側のその部分で大幅な温度降下を生じ、夏には温度上昇を生じる、特に冬の場合を、冷橋と呼ぶが、広義に熱橋と呼ぶ。熱橋では、部位全体の熱貫流率が増大して熱損失が増大する。また、表面温度低下により、結露が生じる。

設計において熱橋をつくらないことが望ましいが、やむを得ず、補強材に鉄などを用いる場合には、その面積をなるべく小さくし、内外装材と熱橋部間に断熱材を挟み込んだり、低温側に断熱材の良いものを用いることが効果的である。

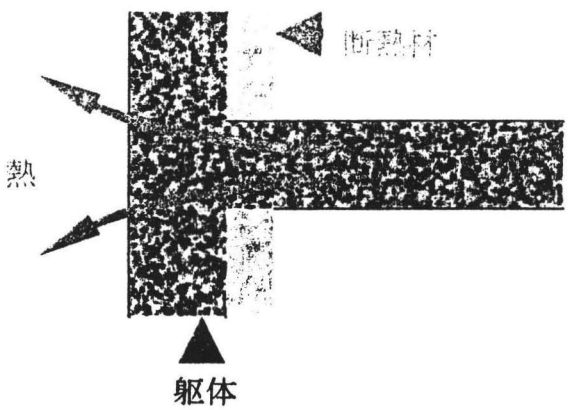


Fig. 2-2　ヒートブリッジ

２－３　真菌について

２－３－１　生態分布

真菌は我々の生活環境を含め著しく広い範囲に生息しており、ここでは特に人間の生活環境中にみる真菌の動きをしめした。

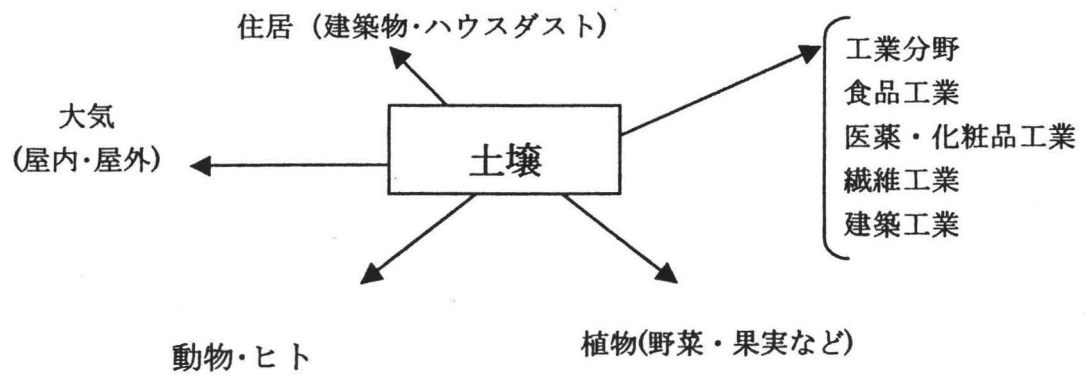


Fig. 2-3　真菌の自然界での動き

土壌　：元来真菌は土壌を発生の起源とする。土壌中の真菌をみると非常に数多く、１グラム中１０^{5}～１０^{7}個含まれる。

水　　：水中での真菌は二通りあり、もともと水環境に分布する水生真菌と陸から湿性環境に入り込んで行く好湿性真菌がある。

大気　：大気中にも数多くの真菌が浮遊している。その主だったものとして、*Cladosporium* 、*Alternaia*、 *Fusarium*、 *Penicillium* などが知られている。

植物　：植物病原性菌の多くを真菌が占める。

ヒト・動物：ヒト・動物に関しては、感染症、中毒、アレルギーの原因となる真菌がある。

ハウスダスト：ハウスダストの真菌は１グラム中１０^{5}～１０^{6}個認め、その種類は比較的少ない。中でも好乾性真菌と耐乾性真菌が主要となる。

２－３－２　真菌の発育条件

真菌の生育を支える主な環境要素として、酸素・温度・湿度・水素イオン濃度（ｐＨ）・水分（水分活性）・栄養があげられる。これらの要素の条件により真菌は活発に生育したり、生育を休止したり、死滅したりする。

① 酸素

ほとんど全ての真菌は発育する際に呼吸や発酵を行い、酸素を必要とする。(絶対好気性)。

② 温度

真菌の代謝に必要な発酵の温度に関係し、それぞれ異なる適温を持つが、多くは25℃～30℃を至適温度としている。

一般的に、至適生育温度によって、真菌は３つに分類される。

高温性菌	40℃以上を至適とする
中温性菌	20℃～30℃を至適とする
低温性菌	0℃～20℃で発育可能

この最適温度域から分かるように、日本のような気候風土や気密性にとんだ快適な屋内環境では真菌は発生しやすい。温度が30℃を超えたり、１０℃を下回ると、住環境に見られる多くの真菌の生育活性は低下しがちである。つまり、住環境下にみられる真菌の多くは、人間の生活しやすい環境と同じ温度域を至適としていることがわかる。

③ 湿度

一般的に住環境における真菌は湿度が高いところを好む。

本研究では至適温度の違いにより真菌を４つに分類した。

絶対好湿性菌	相対湿度９８％程度を好む
好湿性菌	相対湿度９０％以上を好む
耐乾性菌	相対湿度８０～９０％を好む
好乾性菌	相対湿度７５～80%を好む

④ 水分（水分活性）

基質中には結合水と自由水が存在する。結合水とは基質分子に結合して束縛されている水分のことであり、自由水とは基質分子の吸着力から解放された水分のことである。真菌はこの自由水を利用して発育する。この水分は水分活性（Ａｗ：Water Activity）で表され、

Ａｗ＝基質溶液中の水蒸気圧／純水の水蒸気圧

である。Ａw値が０．６５以上で真菌は発育可能であり、より発育しやすいのはＡw値が０．８５以上のときである。Ａｗ×１００が相対湿度ＲＨ（%)となる。

⑤ 水素イオン濃度（ｐＨ）

大部分の真菌はｐＨ４～８の範囲内で発育するが、真菌自身の代謝作用（有機酸の生成やアンモニアの酸化等）によって周囲のｐＨに影響をあたえ、多くの場合酸性に傾ける。

⑥ 養分

真菌は従属栄養型であり、細胞壁を通して低分子物質を吸収することによりエネルギー源を補給する。

糖質　：主にブドウ糖、その他麦芽糖、ショ糖、果糖など
蛋白質：ﾍﾟﾌﾟﾄﾝ、ｸﾞﾙﾀﾐﾝ酸、ｱｽﾊﾟﾗｷﾞﾝ酸等ののｱﾐﾉ酸,ｱﾝﾓﾆｳﾑ塩等
脂質　：脂肪、ﾘﾝ脂質、脂肪酸等を細胞の代謝に利用
無機質：リン、カリウム、ナトリウム、マグネシウム、鉄等微量
ビタミン類を必要とする病原性の真菌も一部存在する

栄養過多になるとかえって発育が出来なかったり菌糸伸張が著しくなってしまう。これに対し乾燥した基質や高糖度、高塩分基質上でよく発育し、高浸透圧下に耐える真菌のことを好稠性真菌という。

２－３－３　主な真菌とその分類

真菌の種類は５～６万種とも１０万種ともいわれている。とにかく莫大な数であるが、実際我々の生活に関わっているのは数十～数百種程度である。

一般に空気中から捕集される真菌の優先種は近似している。

藻類
菌類
- 分裂菌類(細菌)
- 変形菌類
- 真正菌類(かび類)
  - 接合菌類
  - 子のう菌類
  - 担子菌類
  - 不完全菌類

(形態による分類)

本研究では、居住環境に主に見られる数種類の真菌を耐乾性真菌、好乾性真菌、好湿性真菌、絶対好湿性真菌の４つに分類した。

耐乾性真菌

湿度 80～９０%の比較的乾いた環境を至適とする。

Aspergiullus 属菌

現在世界に 200 種程度存在していて人間生活に非常に関わりの深い真菌の一群。和名で、こうじ菌属という。*Penicillium* と同様に自然界に広く分布している。
人間環境のバイオクリーンを考える時に、もっとも関係の深い真菌として注目されている。

・*Aspergiullus　versicolor*

世界各地に分布している。ハウスダスト中に含まれる。中毒：かび毒のステリグマトシスチンがある。ステリグマトシスチンは日本で発見された発ガン性かび毒。*Aspergiullus　versicolor* のほとんどがステリグマトシスチンを産生する。
「*versicolor*」はｖａｒｉａｂｌｅ　ｃｏｌｏｒ　の意味で多種多様な色調を呈することに由来する。有用な防御法は、薬剤、フィルター除去、脱酸素、UV 照射。

・*Aspergiullus　flavus*

熱帯～温帯にかけて存在する中温～高温性真菌。土壌、食品、ハウスダストにふくまれる。中毒:かび毒アフラトキシン産生、病原性:日和見病原性真菌、まれに肺感染。
天然発ガン性物質で最強のアフラトキシンを産出し、肺ガンを招く。
有用な防御法、薬剤、フィルター除去、脱酸素、熱処理。

・*Aspergiullus　o c hraceus*

熱帯～温帯にかけて存在する中温～高温性真菌。土壌、繊維、ハウスダスト中に分布している。中毒：かび毒オクラトキシン A,B,C，ペニシリン酸である。発ガン性かび毒のオクラトキシンは肺ガンを引き起こす。
有用な防御法は、薬剤、フィルター除去、脱酸素。

・*Aspergiullus　niger*

和名クロコウジカビ。カビ抵抗性試験 JIS－Z－2911 などに供試される代表的な真菌。世界各地に存在する中温～高温性真菌。土壌、空中、繊維、ハウスダスト中に含まれる。有用な防御法は、薬剤、フィルター除去、脱酸素、湿熱。

Penicillium 属菌

温帯から寒帯にかけて、人間の環境のいたるところに分布しているペニシリウムという真菌の一群。種族は 500 を超えるほどであるが、そのほとんどが共通した性質を有しており、同定は単に *Penicillium* とすることが多い。和名をアオカビという。乾燥に強く、中温性真菌である。

一般的に我々の周辺環境の空中浮遊真菌を採取し培養すると、*Penicillium* と *Aspergiullus* が非常に多く分離される。*Aspergiullus* との違いは分生子柄の分生子頭は円頭状ではなくて、ほうき状の分生子を作る点で、先端は小びん状の細胞からなり、その先に分生子を連鎖状に形成するのが特徴である。

コロニーは発育初期には白色であるが、分生子頭の形成、成熟にしたがって菌種によってはそれぞれ、青緑色、灰緑色、黄緑色、灰白色、淡桃色などを呈する。

好乾性真菌

湿度 75～80%の乾いた環境を至適とする。

高浸透圧環境または基質にあっても十分発育可能とする真菌群で、たとえば塩分、糖濃度の高い基質、乾燥状態を維持した基質で発育する。乾燥に強いことから胞子の状態で長期に生存し、適度な条件がくわわると緩慢しながら侵入し始める。

・*Aspergiullus　restrictus*

世界各地に分布している中温性真菌。土壌、食品、繊維、ハウスダスト中に存在する。好稠性真菌で PDA 培地ではほとんど発育しないため分離培地として M40Y 培地を用いる。ハウスダストでの分布が著しい。中毒、病原性、アレルゲン性については不明。

・*Eurotium*

和名カワキコウジカビ　中温性真菌である。

好湿性真菌

湿度 90%以上の湿った環境を好む。

- 偏性好湿性
- 通性好湿性

偏性好湿性

・*Aureobasidium*

俗名黒色酵母様菌　世界各地に分布する中温性真菌。土壌、空中、繊維、河川、風呂目地。日和見病原性真菌。

有効な防御法は高温、薬剤、紫外線、オゾン、フィルター除去、乾燥、脱酸素。

・*Mucor*

中温～高温性真菌である。ムーコル症を引き起こす。食品の汚染に対しても有害である。

通性好湿性

・*Alternaia* 属菌

和名ススカビ　アルタナリアと呼ばれるクロカビの一種できわめて分布が広い。特に湿性環境に広く分布し、中温域でよく発生する。*Cladosporium* 属菌と近縁のもので、そのほとんどが植物病理性のものとみられている。クーラー内部のプラスチック面にも異常に発育し、冷気の中に胞子を混入して放出し、喘息の原因となる。

・*Chaetomium*

和名ケタマカビ　中温性真菌である。セルロース分解能が強い真菌として本菌と *Torishoderma* が知られている。住環境で高湿となった場合大量発生する。

・*Cladosporium* 属菌

和名クロカワカビ　クラドスポリウムと呼ばれる真菌の一族で９種類が基本種として知られている。住宅の内外に黒色の汚染物を認めたら、ほとんどが本属菌である。モルタル、コンクリート、エマルジョンペイント、クーラーの内部、シャワーカーテンなどを浸する真菌である。

コロニーは通常暗オリーブ褐色から黒色

高温、低湿、乾燥に対する抵抗力が強く、一般の防かび剤に対する薬剤抵抗性が強い。

絶対好湿性真菌

湿度９８％程度の特に湿った環境を好む。

・Yeast(s)

イースト菌類。一般に単細胞状で菌糸系とならない（仮性菌糸は菌種により形成する場合がある）。酵母はその形態状の特徴から、言い換えると実用的な便利さからつけられた微生物群なので、類縁関係を異にする菌の集合である。したがって、分類学上 Yeast（＝酵母）といった単語はない。この酵母は、子のう菌、一部の担子菌、不完全菌に属する。この中には、有用なパン酵母、醸造用酵母、核酸酵母などがある。また、反面植物に病原性を示す菌や動物、人の真菌症を起こさせる菌もある。

２－４　断熱工法の背景

1973 年のオイルショック後、ドイツやスウェーデンでは、建築物理学の分野の研究を進め、建物の省エネルギーと耐久性、そして結露・カビ問題の解決のため、外断熱工法に踏み切り、現在では欧米諸国で広く普及している。外断熱工法は建物全体を断熱材ですっぽり覆うため、建物躯体の耐久性を向上させ、またヒートブリッジをつくらないことから断熱性と結露防止に優れている。

一方、高温多湿な我が国においては、従来建物は夏に過ごしやすい事に配慮されて建設されてきており、断熱に対する配慮はほとんど無いのと同然であった。戦後、鉄筋コンクリートの住宅が建設されるようになり、当時はスチールサッシュにより気密性が低く隙間風が入り自然に室内換気が行われていたので、壁体での結露も少なかった。昭和 30 年代後半からアルミ製サッシュが出回り徐々に建物の気密性が良くなってきた。しかしそれと同時に壁体に結露が起こりさらにそこにカビが発生するという事故が増大した。そこで結露防止を目的に断熱が行われるようになった。しかし当時の日本では防火対策を重視しており、その規制の上で比較的コストが安く施工のしやすい内断熱が主流となり、鉄筋コンクリート住宅やマンションのほとんど９９％が内断熱または無断熱となっている。内断熱とは建築構造体の内側、つまり室内側に断熱材を入れる方法である。この場合、構造上断熱材を切り張りしなければならないため、断熱欠損が生じやすく、また、外気の温度・湿度に同調しやすいため、結露が発生しやすい。この結露によってカビが発生し、さらにこれを餌としてダニがやって来るといった室内環境が生じるようになった。カビやダニは日本に蔓延しているアトピーや喘息などのアレルギーの主な原因となっており、これに苦しむ家庭が増えてきているのが事実である。断熱性においては、断熱欠損箇所にヒ

ートブリッジをつくり、熱損失をともなう。また、必要とする部屋だけ冷暖房するには内断熱が省エネルギー的であるとも考えられるが、冬期の場合住宅内に温度差をつくるため、浴室、便所など非暖房箇所で高齢者が倒れるなどの事故も生じている。また、外側である建物躯体の温度
が外気温に同調し大きく変化すること、これに加え、カビの繁殖により躯体が蝕まれてしまうことが原因で、建物の耐久性も低下させている。日本が欧米諸国と比較し建物寿命が非常に短いのは、このうち断熱が原因とされている。

ドイツ、スウェーデンなど住宅先進国では内断熱を間違った方法として認識しており、とくに鉄筋コンクリートに内断熱をしないことは常識となっている。

Table.2-2

外断熱工法	内断熱工法
建物の外側に断熱入れる 《外断熱の欠点》 ・普及の遅れによる瀬工事のコスト高 《外断熱の長所》 ・ダニ・カビの発生を防止 ・ＶＯＣの発生防止 ・建物の耐久性の向上 ・地球環境にやさしい ・既存の建物に断熱改修しやすい ・暖冷房が切れても急激な室温変化がない	建物の内側に断熱材を入れる 《内断熱の長所》 ・施工時のコストがかからない 《内断熱の欠点》 ・内部結露を起こしやすい ・ダニ･カビの発生による健康被害がおこる ・建物の耐久性･寿命の低下 ・地球温暖化への影響 ・断熱改修しにくい ・暖房を切った後、急激に室温が低下する ・ＬＳＣ（ライフサイクルコスト）

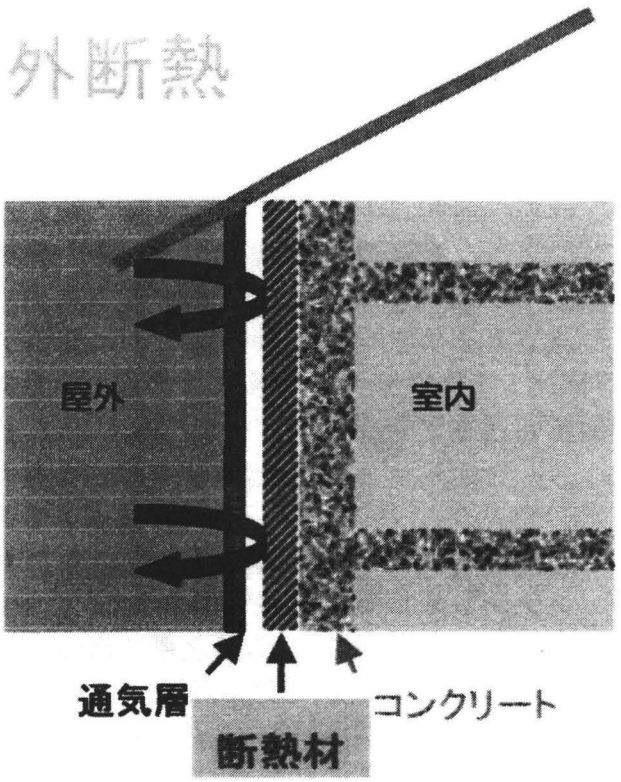


Fig. 2-3　外断熱住宅の構造と外気の流れ

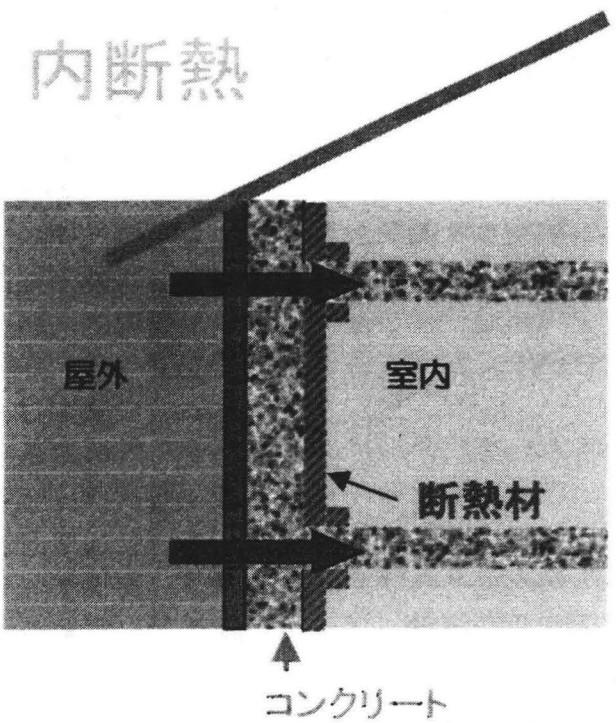


Fig. 2-4　内断熱住宅の構造と外気の流れ

２－５　外断熱の有効性

１）　耐久性の向上

従来の建物は、夏は太陽の直射に、冬は雨風に素肌をさらしているようなものであるが、厚い断熱層で覆われた外断熱の躯体は、その大きな熱容量が生かされて、一年を通して室温に近い安定した状態を維持し、振幅は夏から冬にかけての穏やかな一年サイクルで、変動幅はせいぜい１０℃前後である。この大きな熱容量が室温の安定化に大きく寄与することになり、同時に寒冷気・風雪・酸性雨などから保護されたコンクリートは、正常であれば理論的に１００年の耐久性の可能性を高めるとされている。

２）　省エネ暖冷房による経済性

外断熱工法は、建物躯体全体を熱材材で覆うため、熱容量の大きいコンクリートにいったん暖まった、または冷やされた熱は逃げにくく、連続して暖房する寒冷地では特に省エネ効果が得られる。

暖房は、札幌のような地域で、在来の戸建住宅の１／１０、近年の断熱・気密住宅の１／５程度、在来マンション（内断熱）と比較しても１／３程度のエネルギーで済むようになり、顕著な省エネが期待できる。冷房は東京の試算例では、在来マンションの８割前後で、効果は暖房ほど著しくないが、夏に外気温が高くなる地域ほど、省エネ冷房の可能性が高まる。

一方で、外断熱で気密になると、開口部からの直射は、直接的に室温上昇につながるため、可動の庇や日除けなどの対策も重要になることがわかる。

全国的にみると、外断熱によって、夏期冷房時の電力需要のピークカット対策の可能性を高めながら、暖房も含めて、地球温暖化対策としての CO_2 削減にも大きく寄与することになる。

２）　結露防止と居住性の向上

冬期、外断熱によって、躯体温度が室温に同調する空間においては、結露発生要因の一つである温度差の問題は完全に解消され、結露しにくい。また、**参考文献１１**における躯体内部結露計算のシュミレーションでは、断熱材の位置をコンクリートの内側から外側に変化させることで、かなりの結露防止が期待されることがわかっている。

「外断熱にすると夏期結露が生じる」すなわち「夏は冬と逆で外気温度の高い方から水蒸気が外から室内側に入る」という意見もあるが、夏期の外気温の最高温度は東京の場合せいぜい３２℃、室温も冷房を行って２５℃と想定しても、その差は７℃程度である。しかも、３２℃の外気温度が一日中続くわけではない。それに対し冬期は、外気温度が０℃、室温は２０℃が標準で、その差は２０℃もある。寒冷地ではこの差はさらに広がることになる。これを考慮すると冬期結露を防止することが優先であり、夏期結露を根拠に外断熱を反対することはできなかろう。実際、東京で２０年前に建てられたある外断熱住宅では、結露の発生は２０年間全く無かった。

このように、結露・カビ・ダニと連鎖反応としのような一連のアレルゲン対

策と、快適な温湿度と適性換気で、人にやさしい住まいの実現が、外断熱住宅によって可能になる。

外断熱工法は建築物理学上正しい方法とされており、ISO 断熱委員長アーネ、エルムロート氏も外断熱を今後 ISO の基準に入れる方向にあるとしている。その理由を、「建築物を高寿命化し、エネルギーの省力化を図り、かつそこの住む人の健康のためにも良いことが立証されているから」だと語る。ただし、これには条件があって、「通気層を確保し、全館暖房をすること、そして換気計画も忘れてはならない」といっている。

第三章　北海道外断熱住宅調査

３－１　アンケート調査

３－１－１　目的

外断熱工法の住宅は、断熱性がよく断続的でなく継続的に暖房する寒い地域では特に効果的である、また結露が起こりにくいためカビも発生しにくいなどといわれているが、実際我が国で建設された外断熱工法の住宅は非常に少なく、それらの実態は正しく調査され明確にはされてはいない。そこで先駆的に建てられた北海道の外断熱工法住宅の居住者を対象にアンケートを実施し、温熱環境，結露・カビの発生を中心とした室内環境、居住性を調査した。

３－１－２　方法

《アンケート対象住宅》

北海道で新築または改築時に外断熱が施工されて10年以内の集合住宅または戸建て住宅100軒を対象に2000年8月に郵送調査法で行った。

《アンケート項目》

アンケートには外断熱に関する認識度、室内環境、外断熱住宅にかわっての総合評価、また、室内環境に影響する生活様式、住宅、居住者の基本的な情報を得るための項目も加えた。

１）外断熱住宅の認識度
２）室内環境
・内断熱住宅と比較
　（夏季･冬季の室内熱環境,冷暖房の効き具合,カビの発生状況,騒音）
・夏季および冬季における結露発生の有無と結露発生部分
　（内断熱住宅および外断熱住宅居住時）
・室内臭気内容（内断熱住宅および外断熱住宅居住時）
３）総合評価
・外断熱住宅に替わってよかったと思うか否かとよかったと思わない理由
・その他気づいた点、変わった点
４）生活様式（冷暖房使用状況，換気状況，湿気状況、水蒸気発生状況など）
５）住宅の基本情報
６）居住者特性について

次に配布したアンケートを示す。

Ⅰあなたのお住まいは外断熱住宅といいます。外断熱についてどの程度ご存知ですか。以下の中から１つ○をつけてください。

非常によく理解している／少し理解している／名前だけ知っている／名前自体聞いたことがない

Ⅱあなたの住宅の快適性についてお伺いします。

・内断熱の住宅に住まわれていた時と比較して、以下の事例について各々の選択肢の中から最もあてはまるものに、断り書きのない限り１つだけ選び○をつけてください。

a) 冬季における室内熱環境

たいへん寒くなった／やや寒くなった／変わらない／やや暖かくなった／たいへん暖かくなった

b) 夏季における室内熱環境

たいへん不快になった／やや不快になった／変わらない／やや快適になった／たいへん快適になった

c) 冷暖房の効きぐあい

たいへん悪くなった／やや悪くなった／変わらない／やや良くなった／たいへん良くなった

d) 室内におけるカビの発生

非常に生えやすくなった／やや生えやすくなった／変わらない／やや生えにくくなった／非常に生えにくくなった

e) 外部からの騒音

非常にひどくなった／ややひどくなった／変わらない／やや軽くなった／非常に軽くなった

・以下の質問ににについてお答えください。

f) 内断熱の住宅に住まわれていたとき、夏または冬、壁に結露が発生していましたか。　**はい／いいえ**

☆“はい” を選択された方にお伺いします。結露は、夏と冬でそれぞれどの部分で発生していましたか？

（複数選択可）

夏　　窓／外部との壁／部屋の間仕切壁／天井／床／その他（　　）

冬　　窓／外部との壁／部屋の間仕切壁／天井／床／その他（　　）

g) 現在の外断熱のお住まいでは室内に結露は発生しますか？　**はい／いいえ**

☆　“はい”を選択された方にお伺いします。結露は、夏と冬でそれぞれどの部分で発生しますか？

（複数選択可）

夏　　窓／外部との壁／部屋の間仕切壁／天井／床／その他（　　）

冬　　窓／外部との壁／部屋の間仕切壁／天井／床／その他（　　）

h) 室内における臭気（一時的ではなく常に感じる臭気を選んでください）　（複数選択可）

☆上記で選択されたものの中で現在の外断熱住宅に住む以前にはなかった臭いをすべてお書き下さい。

（　　）

i） 外断熱の住宅に変わって良かったと思いますか。　**はい ／ いいえ**

☆ その理由は何ですか。

（　　）

◎その他、お気づきの点、現在のお住まいでの問題点などがありましたらお書き下さい。

（　　）

Ⅲ　あなたが現在お住まいの住宅についてお伺いします。

a) 現在のお住まいに入居されたのはいつですか？　　昭和・平成（　　）年　（　　）月

b) 延べ床面積をお書き下さい。例）2LDK　70㎡　北向き　　（　　）

c) 入居時の設計変更、入居後のリフォームなどされていましたらその内容をお書き下さい。

（　　）

Ⅳ　あなたの現在の住宅での住まい方についてお伺いします。

a)　暖房器具は次のうち、主にどれを使っていますか?　当てはまるものに○をつけてください.

石油ファンヒーター／ガスファンヒーター／電気ファンヒーター／石油ストーブ／ガスストーブ／電気ストーブ／パネルヒーター／オイルヒーター／その他（　　）

b) 暖房器具を使われる時期はいつ頃ですか。　（　　）月　～　（　　）月　／　使わない

c) 冷房器具を使われる時期はいつ頃ですか。　（　　）月　～　（　　）月　／　使わない

d) 換気はどのように行っていますか。次の中から最もあてはまるものに○をつけてください。

よく窓を開けるようにしている／よく換気扇を回すようにしている／あまり換気をしない／全く換気をしない

e) 加湿器を１日にどのように使いますか。次の中から最もあてはまるものに１つ○をつけてください。

１日中／起きている間中／つけたり消したり／外出中／就寝中／その他／もっていない・使わない

f) 除湿機を１日にどのように使いますか。次の中から最もあてはまるものに１つ○をつけてください。

１日中／起きている間中／つけたり消したり／外出中／就寝中／その他／もっていない・使わない

h) 空気清浄器を１日にどのように使いますか。次の中から最もあてはまるものに１つ○をつけてください。

１日中／起きている間中／つけたり消したり／外出中／就寝中／その他／もっていない・使わない

i)　最近、洗濯物を室内干しすることがありますか。次の中から最もあてはまるものに１つ○をつけてください。

ほぼ毎日／　週３～４回／　週１～２回／　週１回未満／　室内干しはしない

j) 台所で１日に平均何回調理しますか。　　**０～１回／　1～２回　／　２～３回**

Ⅴ　あなたが現在お住まいの住宅の居住者についてお伺いします。

a) あなた（アンケート記入者）の年齢層と性別を次の中から１つずつ選んでください。

年齢層　**１０代／２０代／３０代／４０代／５０代／６０代／７０代／８０代／９０代以上**

性別　　**男　／　女**

b) 居住者の人数はあなたを含めて何人ですか。　　（　）人

c) 居住者の中に建物や室内空気質が原因のアレルギーや、アトピーをお持ちの方がおられましたらその症状、原因、症状が始まった時期とその方の現在の年齢をお書きください。

症状（　　）　原因（　　）

始まった時期（　　）　年齢層（　　）代

アンケートにご協力ありがとうございました。

３－１－３　結果

回答数：32 件（３２％）

居住者、居住建物に関する情報を Fig.3-1～Fig.3-6 に示す。

各項目に対する回答を、外断熱の認識度－Fig.3-7、室内環境－Fig.3-8～Fig.3-16、総合評価－Fig.3-17、Fig.3-18、生活様式－Fig.3-19～Fig.3-25 に示す。居住年数が１年未満という居住者が多く（Fig.3-4）、無回答の項目があったがそれは除きパーセンテージで表示したものである。

１）外断熱に対する認識度

居住者の意識は実際住んでいるにもかかわらず非常に低かった。（Fig.3-1）

２）室内環境

外断熱住宅にかわる前と比較して、冬期の温熱環境については、「非常に暖かくなった」または「やや暖かくなった」と感じている居住者が約 70%と多かった。（Fig.3-8）　夏期の温熱環境については、「変わらない」と感じている居住者が比較的多かった。（Fig.3-9）　冷暖房の効きについては「非常に良くなった」または「やや良くなった」と感じている居住者が 60%と比較的多かった。（Fig.3-10）　カビについては「変わらない」との回答が約半数でその他はばらついた結果となった。非常に生えやすくなったとの回答もあった。（Fig.3-11）外部からの騒音については、「変わらない」との感じている居住者が約 70%と多かった。その他は「非常に軽くなった」または「やや軽くなった」であった。（Fig.3-12）

室内結露については、夏、冬ともに発生しており、発生件数は内断熱とほぼ変わらなかった。（Fig.3-13）冬の発生箇所は、外断熱、内断熱ともに窓が圧倒的に多く、次に外壁であった。（Fig.3-14, 3-15）

室内臭気については、外断熱にかわる前から感じられていたという臭いが多く、特に外断熱に問題があるわけではないという結果であった。（Fig.3-16）

３）総合評価

「外断熱にかわって良かった」と感じている居住者が 70%と多かった。（Fig.3-17）　一方、「良かったと思わない」については、以前と特に変わった点がないことを理由にあげた居住者が３人、カビの発生が多くなったことを理由にあげた居住者が１人であった。

４）生活様式

全体的に湿気が特に高いと推測できる住居はなかったが、冬には解放式ストーブを 1 日中焚いたり、洗濯物は毎日室内干しすることが北海道では一般的だとのコメントを得た。

《回答者に関して》

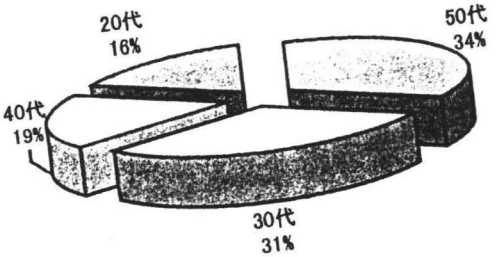


Fig.3-1 年齢

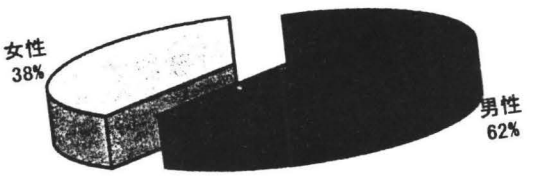


Fig.3-2 男女比

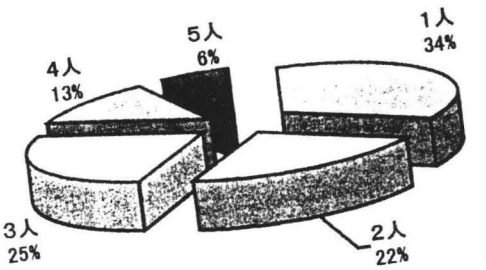


Fig.3-3 居住人数

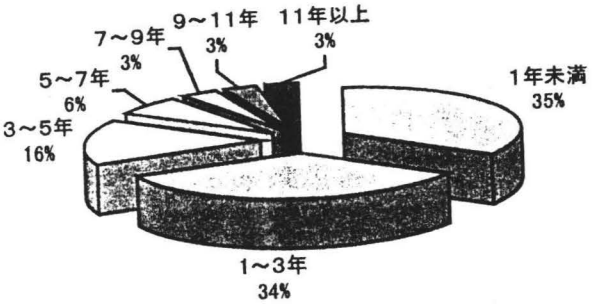


Fig.3-4 居住年数

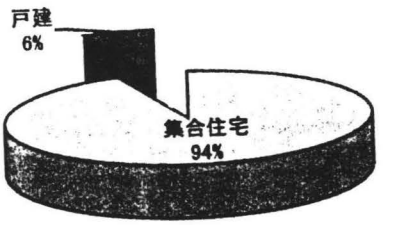


Fig.3-5 建物形態

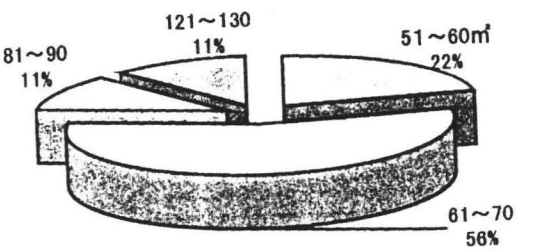


Fig.3-6 延べ床面積　（平均72.89㎡）

《各項目に対する回答》

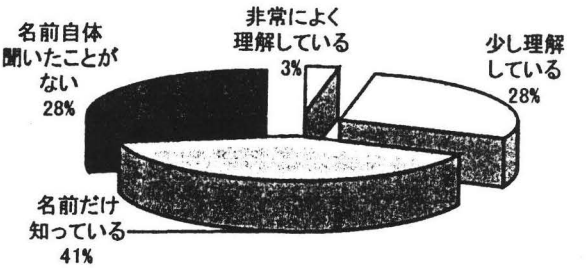


Fig.3-7 外断熱の認知度

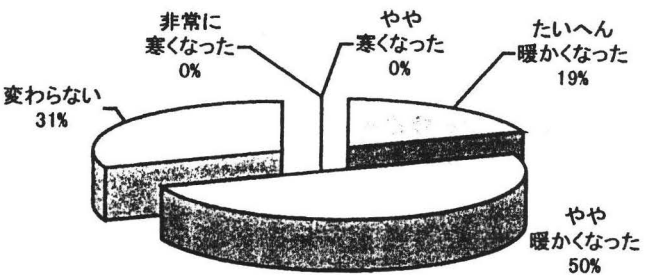


Fig.3-8 冬季温熱環境

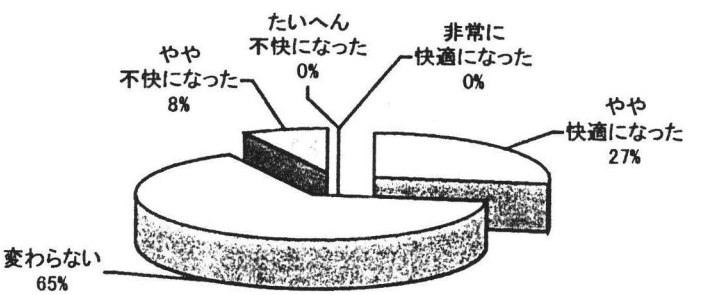


Fig.3-9 夏季温熱環境

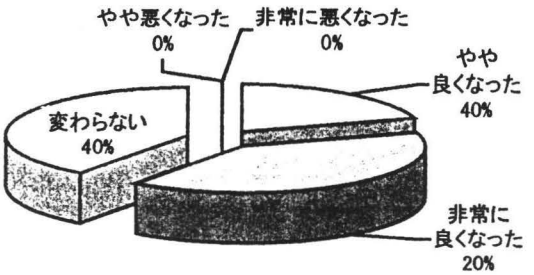


Fig.3-10 冷暖房効果

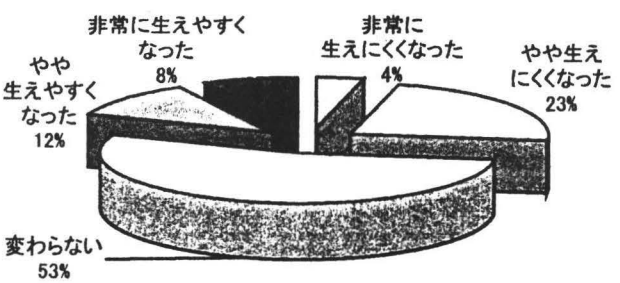


Fig.3-11 カビ

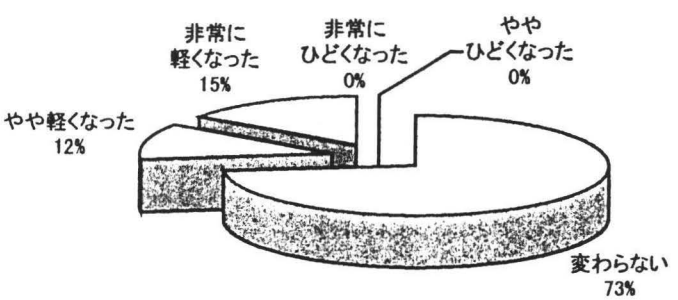


Fig.3-12 外部からの騒音

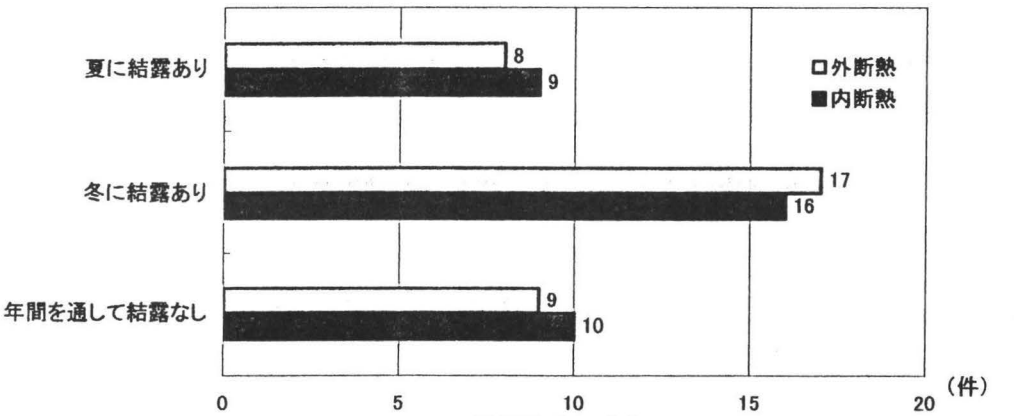


Fig.3-13 結露発生の有無

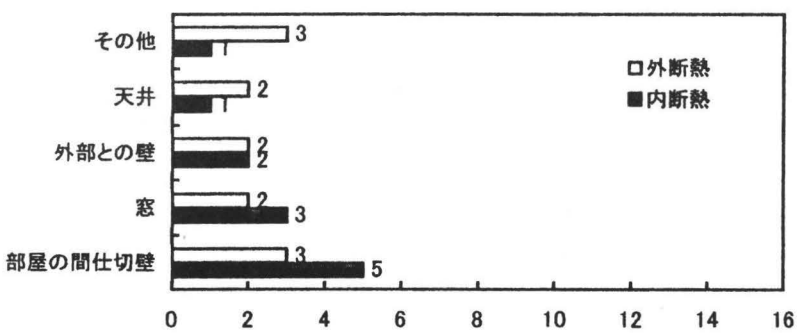


Fig.3-14 結露発生箇所(夏)

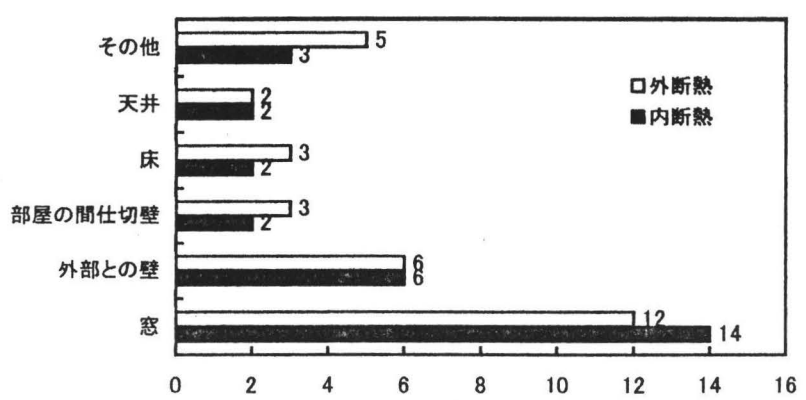


Fig.3-15 結露発生箇所(冬)

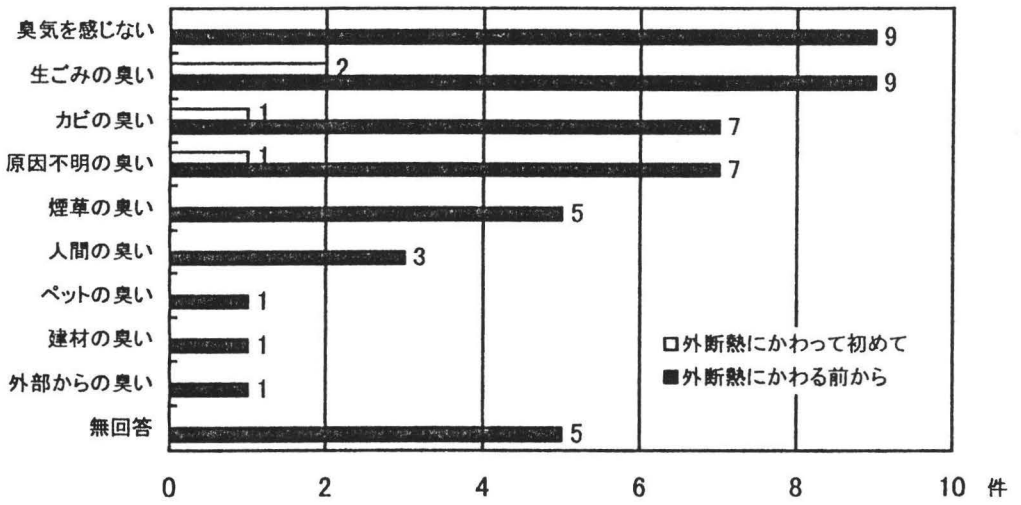


Fig.3-16 室内臭気

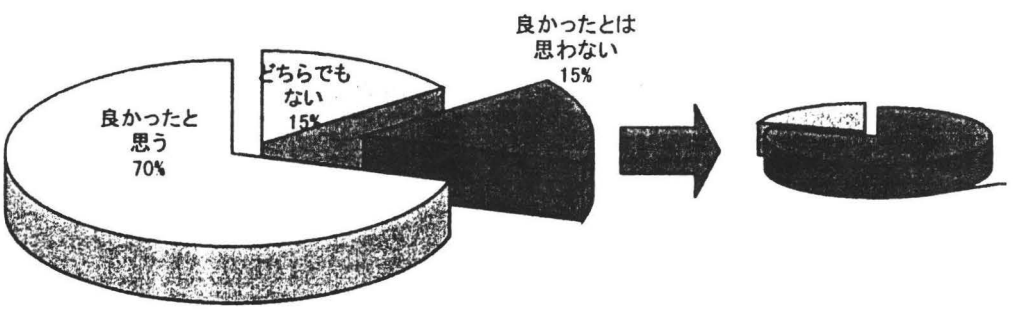


Fig.3-17 総合評価
ー外断熱にかわってー

Fig.3-18 良かったと思わない理由

－生活様式に関する問い－

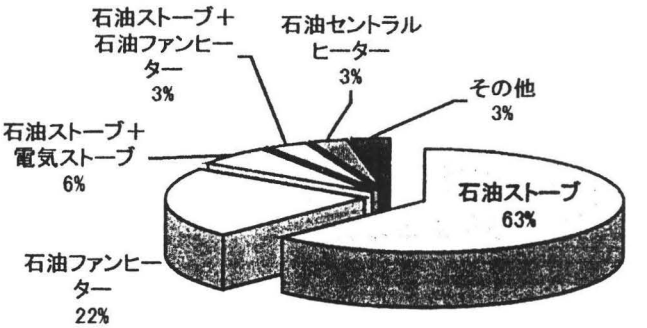


Fig.3-19 主な使用暖房器具

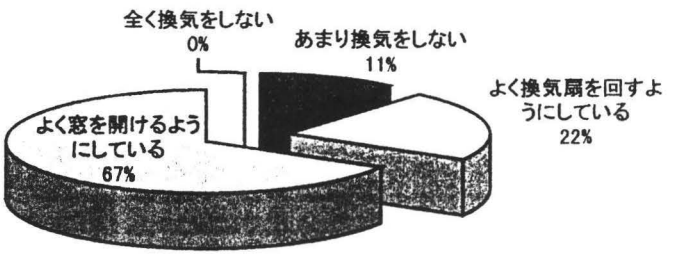


Fig.3-20 換気状況

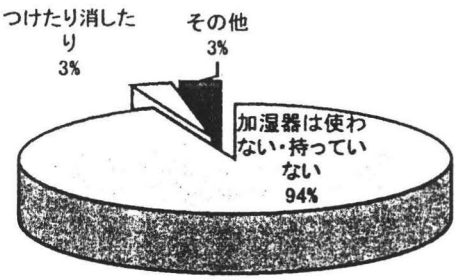


Fig.3-21 加湿器の使用状況

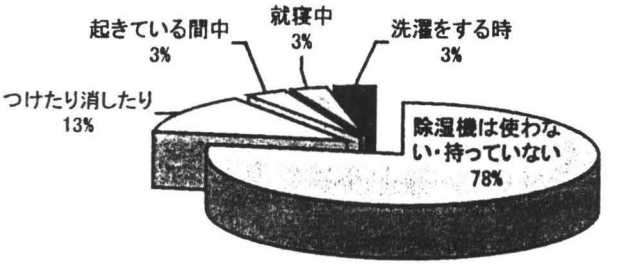


Fig.3-22 除湿機の使用状況

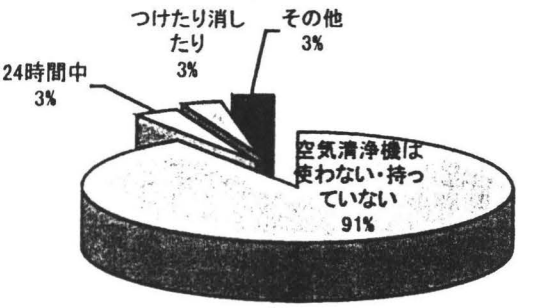


Fig.3-23 空気清浄器の使用状況

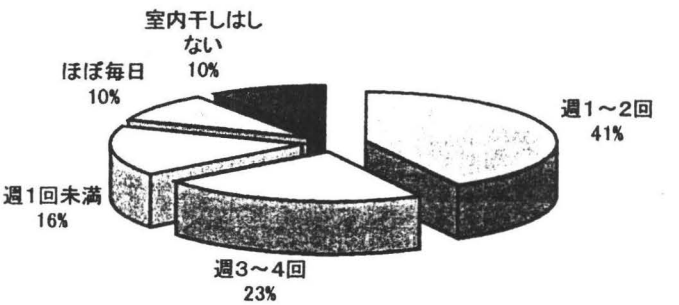


Fig.3-24 夏の室内干し頻度

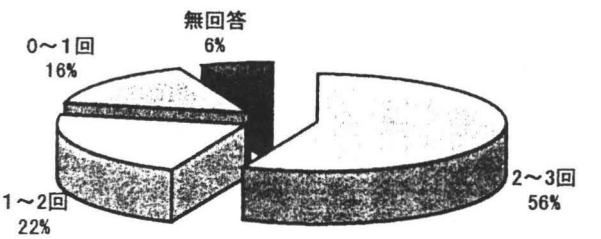


Fig.3-25 1日の平均調理回数

３－２　追跡調査

３－２－１　目的

第１章のアンケート調査において、カビの発生が特に多いとの回答が得られたのはある集合住宅に集中していた。よってその原因を確かめるため実際にこの集合住宅の調査を行った。

３－２－２　方法・結果

建物の調査として、建物の外側より外断熱の施工箇所を確認した。また、室内の結露・カビ発生においては、アンケート回答を得たうちの１軒の住宅内を調査し、同時に居住者の生活様式を調査し照らし合わせた。

＜調査日＞
平成 12 年 11 月 17 日（金）

＜調査建物＞
集合住宅 N――構造・規模：鉄筋コンクリート造・３階建て
築年数：３０年以上・２～３年前外断熱に改修
断熱材：EPS　５０mm



Fhoto.3-1　集合住宅 N の外観

＜調査住宅＞

H邸―――家族構成　父・母・息子２人の４人家族

入居　平成６年８月

窓　一枚ガラス･二重窓

暖房　暖房器具･･･灯油ポータブルストーブ

使用方法･･･使用する部屋において人の居る間のみ20℃に設定

暖房時も特に除湿器等は使用していない。

洗濯物　夏季は室外干し冬季は室内干し（雨の日は室内干し）

調理　１日１～２回

冬季温熱環境・夏季温熱環境・冷暖房の効き　改修前と変わらない

室内カビ　改修後、非常に生えやすくなった

室内壁結露　改修後、発生するようになった

＜真菌測定について＞

＝測定場所＝　H 邸（１階･中住戸）―１.物置倉庫　２.浴室前　３.寝室

(Table.1 に参照)

Table.3-1　各部屋の室温、湿度、状況

		室温	湿度	状況
1	倉庫	17.3℃	42.3%	外壁は無断熱 常に暖房は行わない 壁面にカビの著しい繁殖がみられる
2	浴室前	15.4℃	54.1%	外壁は無断熱 常に暖房は行わない 洗濯機ヨコにカビの繁殖がみられる
3	寝室	15.2℃	49.2%	押入れ部の外壁は無断熱 暖房は就寝直前のみ（調査時は無暖房） 結露・カビはほとんどみられない
参考	居間	20.4℃	50.8%	部屋出入り口は常時開口 起きている間中暖房（調査時も暖房中） 結露・カビは特に目立ってみられない

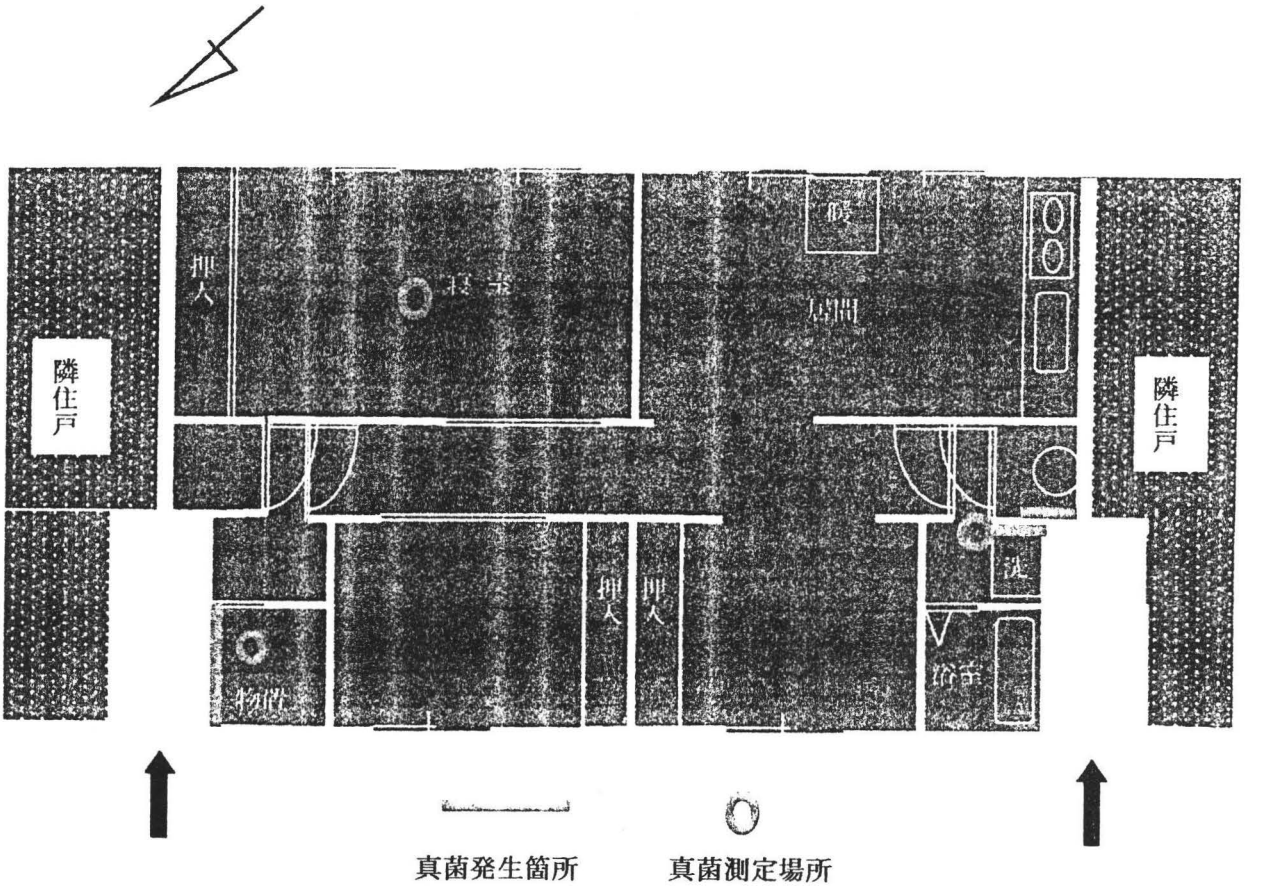
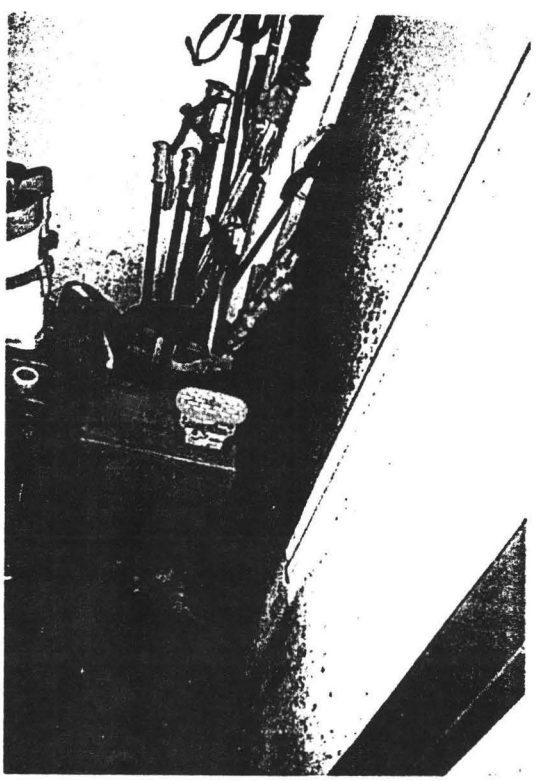
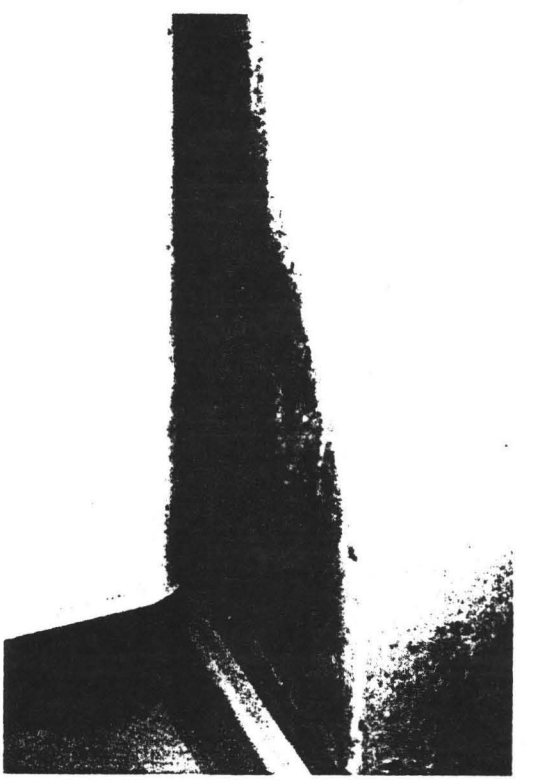


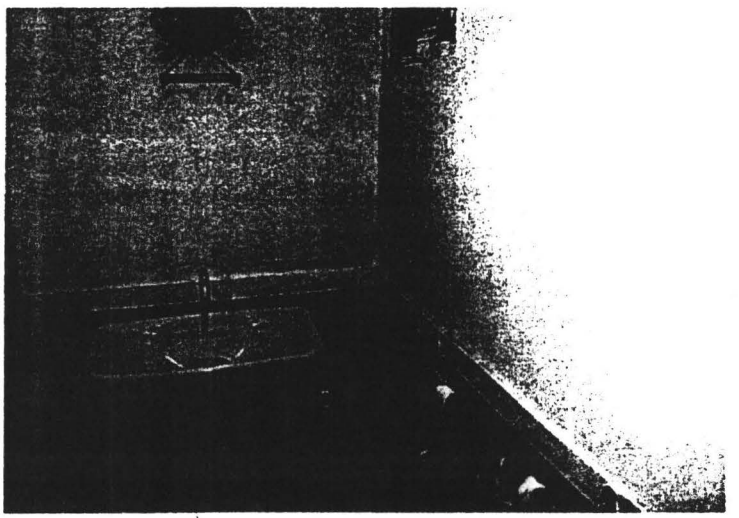
Fig.3-25　H邸・間取り－1



Fhoto.3-2　カビの繁殖@倉庫



Fhoto.3-3　カビの繁殖@洗濯機ヨコ



Fhoto.3-4　カビの繁殖@トイレ

＝測定方法＝

上記３ヶ所の測定場所の床中央部において空中浮遊菌、落下菌を以下の方法で各々測定した。また、カビが肉眼で観察された倉庫（外壁カビ発生箇所）、浴室前（洗濯機横壁の結露発生箇所）において付着菌を採取した。

空中浮遊菌

【使用器具】

・ BIOTST RCS エアーサンプラー（グンゼ産業株式会社）

遠心ファンにより空気を培地に吹き付け菌を捕集する。遠心衝突法。
簡便で信頼のおける計測器であり、一般的現場で用いられる。
アガーストリップとよばれる専用の培地を使用する。

・エアーサンプラー専用培地（グンゼ産業株式会社）

アガーストリップ HS（真菌用）・・・・・・・・・・各測定場所につき 1 枚
アガーストリップ GK-A（一般培地）・・・・・・各測定場所につき 1 枚

・恒温器　IS 800（ヤマト科学株式会社）

【方法】

RCS エアーサンプラーを使用し、測定する各居室の中央付近において培地をセットし、8 分間（空気量 320L）採取する。比較のため、一般細菌用の培地でも測定を行う。測定中は人、風の動きによる影響を抑えるためにドア、窓などは閉め、平穏な状態を保つ。

空中落下真菌測定

【使用器具】

・ PDA 培地、M40Y 培地……各測定場所につき 1 枚ずつ

PDA――好湿性真菌の分離・同定，保存に用いられる最も一般的な培地

M40Y――好調性真菌の分離・同定に用いられる培地

・ストップウォッチ

・恒温器　IS 800（ヤマト科学株式会社）

【方法】

測定する各居室の中央付近に PDA 培地、M40Y 培地それぞれ 1 枚ずつ並べ、シャーレの釜を 10 分間開放する。測定中は極力平穏な状態を保つ。

付着菌測定

【使用器具】

・滅菌綿棒

・PDA 培地

・恒温器　IS 800（ヤマト科学株式会社）

【方法】

倉庫外壁、浴室前の洗濯機ヨコの壁に繁殖している付着菌を滅菌綿棒で採集し、シャーレに塗抹する。

＜培養・同定＞

測定後、各培地｛ＰＤＡ培地、Ｍ４０Ｙ培地、アガーストリップ（酵母真菌用培地）は２５℃の恒温器器にて７日間培養、アガーストリップ（一般細菌用培地）は３０℃にて、２日間培養し、その後コロニー数をカウントし、同定を行った。

＜真菌測定結果＞

空中浮遊菌

Table.3-2　測定場所別空中浮遊菌数（CFU／m^3）

測定場所	真菌数	一般細菌数
倉庫	718.75	421.875
浴室前	87.5	387.5
寝室	112.5	484.375

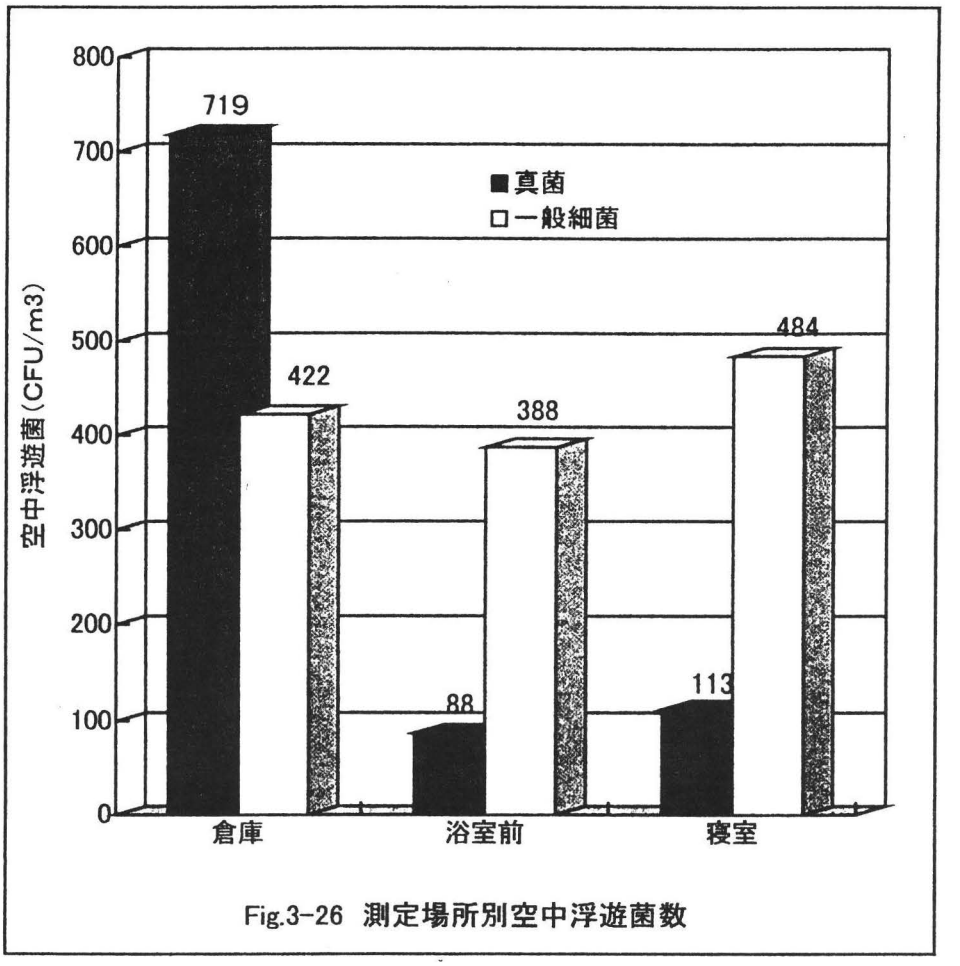
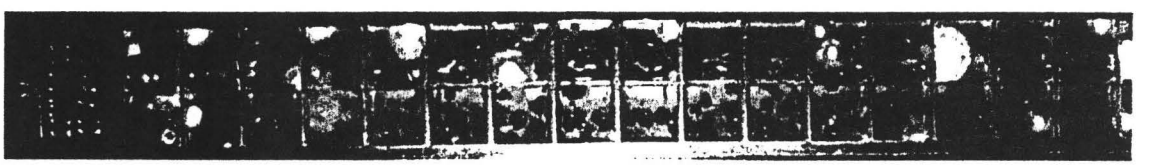
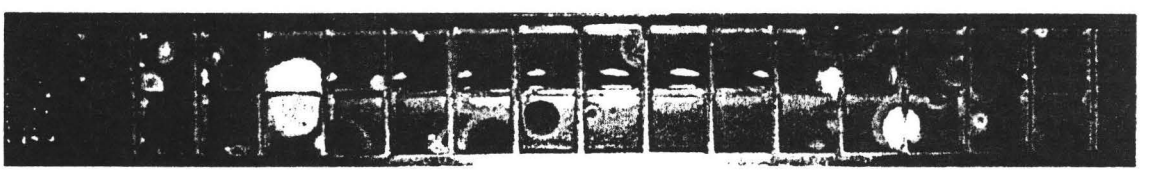


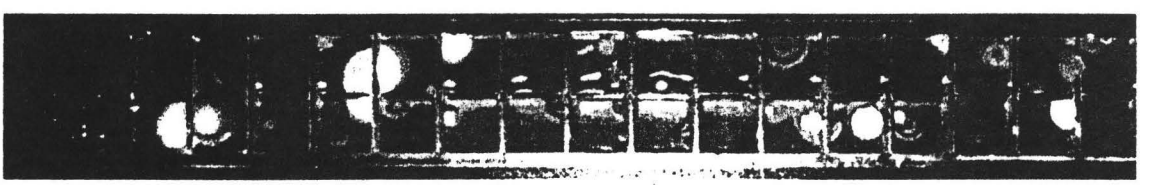
Fig.3-26 測定場所別空中浮遊菌数



Fhoto.3-5 空中浮遊真菌@倉庫



Fhoto.3-6 空中浮遊真菌@浴室前



Fhoto.3-7 空中浮遊真菌@寝室

空中落下菌

菌数

落下真菌数の結果を Fig.3-27、Table.3-3 に示す。

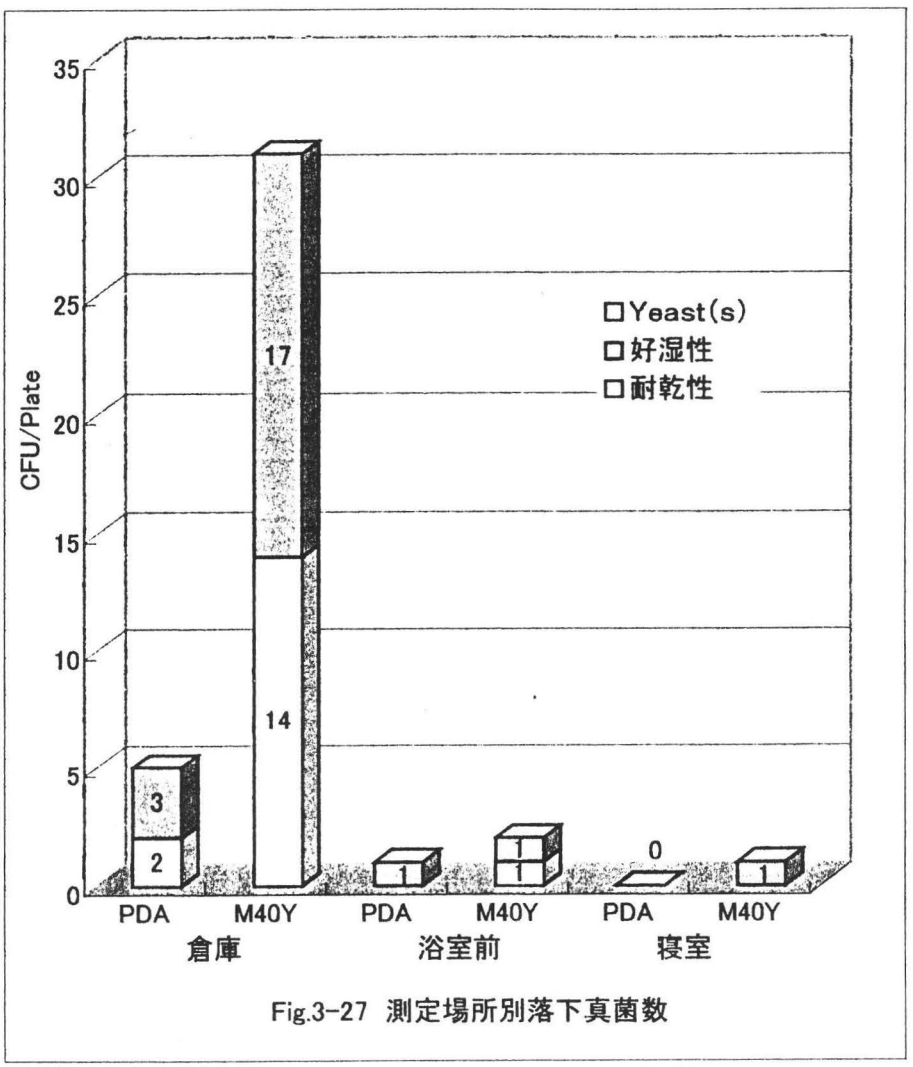
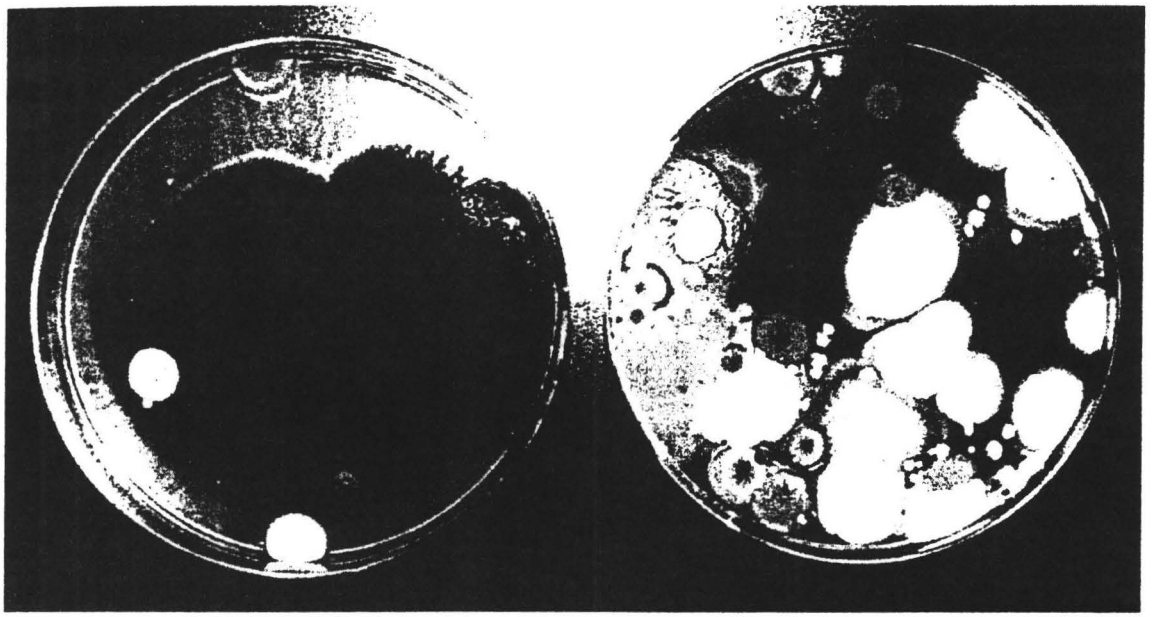


Fig.3-27 測定場所別落下真菌数

Table3-3　落下真菌

		物置		浴室前		寝室	
性質	Sample	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y
	Count	5	31	1	2	0	1
耐乾性	*Aspergills*						
	A. flavus						
	A. fumigatus						
	A. niger						
	A. ochraceus						
	A. versicolor						
	A.						
	A.						
	Emericella						
	Paecilomyces						
	Penicillium	2	14		1		
	Scopulariopsis						
好乾性	*A. restrictus*						
	Eurotium						
	Wallemia						
偏好湿性	*Absidia*						
	Aureobasidium						
	Botrytis						
	Mucor						
	Rhizopus						1
通好湿性	*Acremonium*						
	Alternaria	2	3				
	Arthrinium						
	Chaetomium						
	Cladosporium	1	14	1	1		
	Curvularia						
	Epicoccum						
	Fusarium						
	Geotrichum						
	Mycelia						
	Niigrospora						
	Phoma						
	Trichoderma						
その他							
Yeast(s)							
放線菌							



Fhoto.3-8　落下菌@倉庫

付着菌

菌種

倉庫・・・*Cladosporium*

洗濯機ヨコ・・・*Cladosporium*



Fhoto.3-9　付着菌@倉庫



Fhoto.3-10 付着菌@洗濯機ヨコ

国際的に見るとイタリーのイプサラにある No.12 Commission of the European Communities Indoor Pollution Unit. はエアーサンプラーによる空中浮遊一般細菌数、空中浮遊真菌数に関する次の判断基準を示している。(Table.3-3) これが欧州で一般的に使用されているものであり、本実験でもこれを使用して評価を行う。

Table.3-4　空中浮遊菌数、空中浮遊一般細菌数の判定

真菌数 (CFU／m^3)	一般細菌数 (CFU／m^3)	判定
＜２５	＜５０	非常に少ない
＜１００	＜１００	少ない
＜５００	＜５００	どちらでもない
＜２０００	＜２０００	多い
≧２０００	≧２０００	非常に多い

この判断基準に従った今回の測定結果を Table. 4 に示す。

Table.3-5　空中浮遊菌数の判定

	真菌	一般細菌
物置	多い	どちらでもない
浴室前	少ない	どちらでもない
寝室	どちらでもない	どちらでもない

真菌調査の結果で、肉眼で観察してカビが最も繁殖していた倉庫においては、空中浮遊真菌，空中落下真菌ともに、採取された菌数も多かった。

H 邸は、もともと２つの住戸であったものを入居時に間の仕切りを裂き１つにリフォームされている。よって倉庫は入居する以前は浴室であったとのことだ。また、南西側の玄関は現在使用さていない。

この図面と照らし合わせながら外断熱の施工箇所を調査したところ、Fig.3-28 に示すように断熱欠損が生じていることが判明した。

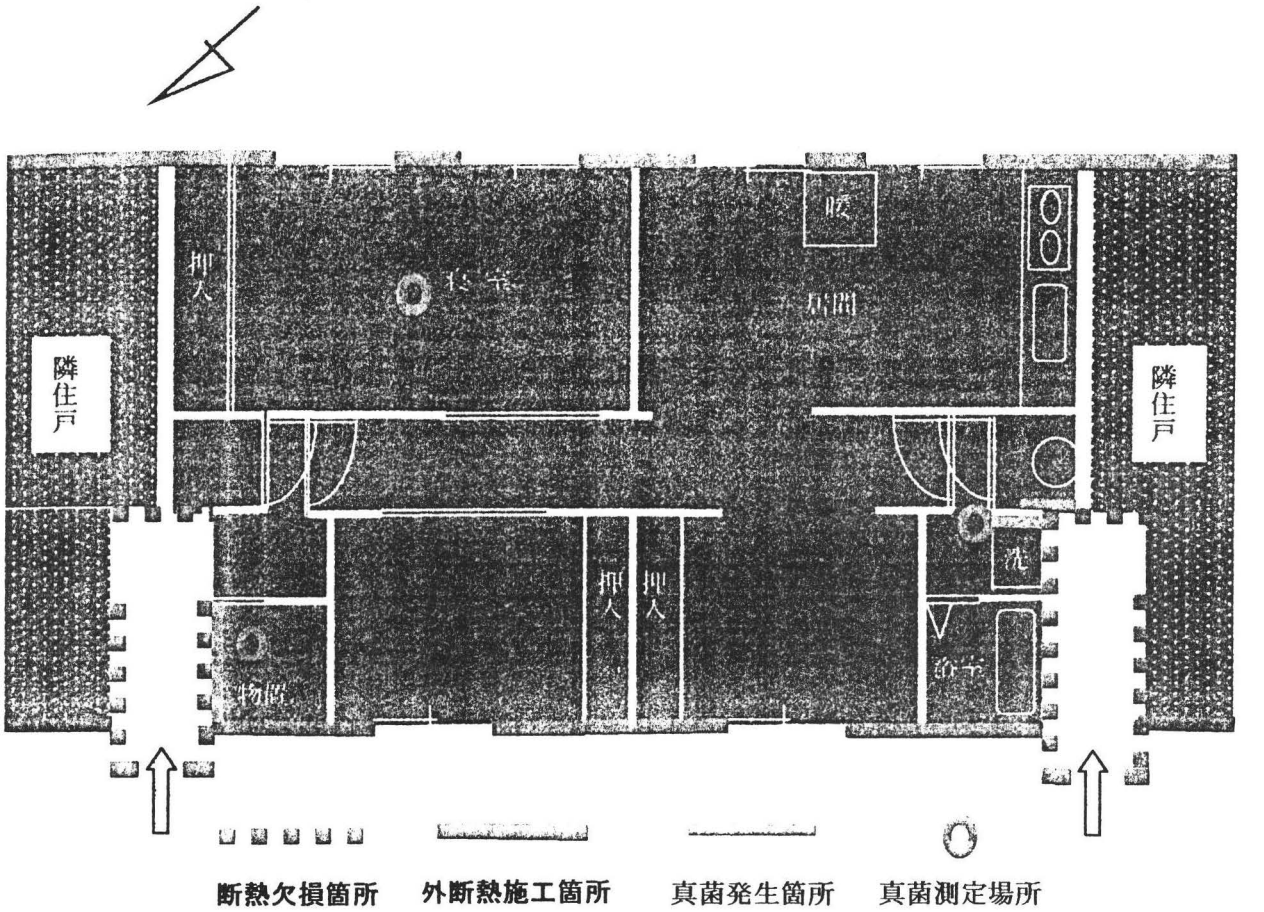


Fig.3-28　H 邸·断熱欠損箇所

これは建物入口から玄関にかけての空間の壁部分である。このエリアは一見建物内のようにみえるが、建物入口の引き戸は気密性が低く、また居住者による開け閉めも頻繁なため、実際この部分の壁は外気にさらされているにほぼ等しい。つまり外壁に相当すると考えなくてはならない。しかし改修時にはこの部分に外断熱を施さなかったため、返ってここに結露が集中しさらにカビも発生したと推測される。最もカビがひどく繁殖していた物置の北東側壁(Photo.3-2)はちょうど断熱欠損部分にあたることが判明した。また、もう１箇所カビの繁殖が起こっていた洗濯機周り(Photo.3-3)およびトイレ西側壁(Photo.3-4)も同じく断熱欠損部であった。

このように外断熱施工のされていない部分があるということは住宅内の断熱性にも影響し、居住者から「寒い」「住居内で温度差を非常に感じる」「1階は床が冷たく特に寒い」などのコメントを得た。特に寒いと感じている場所は無断

熱部周辺であった。また、１階の床が冷たい原因として、無断熱部分からのヒートブリッジが考えられる他に、床下開口が開いたままであったことがあげられる。(Fhoto.3-5) 冬季は閉口させるものであることに居住者が気づいていなかったのである。

また、調査を行っていないＨ邸向かいの住宅においても、寒さ，カビ発生箇所・状況はほぼ同様であるということだ。

３－３　考察

アンケート調査において、外断熱住宅にかわって結露、カビが多くなったとの回答がいくつかあったが、追跡調査よりその原因が断熱欠損にあることが判明した。欠損箇所は建物内部で一見外壁とは捉えにくい場所であるが、外気にさらされているにほぼ等しいカビはこの断熱欠損部の壁室内側に集中して起こっていた。調査にあたったのは１軒のみであるが、その他の集合住宅においても改修により外断熱を施した場合特にこのようなケースが多く発生していることが懸念される。また、断熱欠損はヒートブリッジをつくり、本来の外断熱の断熱性を軽減させてしまう。さらに、居住者の知識不足により冬季に床下開口を開いたままであることも、そこから冷気が躯体に伝わってしまい断熱性を損ねる原因となっている。このようなケースがいくつかあったにもかかわらず、アンケート結果では外断熱になって暖かくなったとの回答が 70%得られたため、外断熱住宅の断熱性は高いといえよう。

騒音、臭気については、外断熱の特異性、問題点はみられなかった。

結露やカビの発生に深い関わりがあるとされる生活様式においては、特に湿気が高いと推測される住居もなかった。しかし、アンケートは夏期の実施であったため、冬期の結露・カビ発生と生活様式（水蒸気発生）との因果関係は追求できなかった。回答者のコメントより、北海道では冬期においては洗濯物を室内干しすることが一般的であるという情報を得、これに加え、解放式の石油ストーブを 1 日中焚き、さらにその上でお湯を沸かすなどによる大量の水蒸気発生も想定すると、北海道を代表とした寒い地域では特に万全な結露対策を組み込んだ外断熱設計・施工が重要視される。

第四章　長野県外断熱改修住宅調査

４－１　目的

内断熱や無断熱により結露やカビの発生が著しい集合住宅において住人からの苦情により改修工事を行うケースも多くなっている。外断熱は建物（躯体）の外側から施すため住人が住んでいながら工事を行うことができる点でも内断熱より優れている。しかし、わが国では外断熱施工に熟知した建設者が少なく、謝った方法で施工を行っているケースが多いといわれている。

近年、漸く公営住宅にも外断熱が適用され始めている。公営住宅は、築後 30 年を超えるあたりから、半数以上が政策的に空家とされ、補充せずに取り壊しを待つ、という行政施策があり、早いものでは２０年頃から適用されるケースもあり、早々に植物状態化して、わずか３０年そこそこで取壊される。既存建物の外断熱改修に力を入れ、省エネと耐久性の確保に配慮してきた北欧の国々とは大きな差がある。公的建物の再生のためには、瀕死の公営住宅の外断熱改修に踏み切るのも一つの方法とされているのだ。

本研究では、もともと無断熱であった築２０年の建物を結露による被害が多く発生したため外断熱に改修したという長野県の公営住宅において、建物調査（実際の施工内容の確認）および居住者を対象としたアンケート調査（結露・カビ、断熱性の変化を問う内容が中心）を行い、外断熱改修工事の実態と改修による効果を把握することを目的とした。

４－２　方法

４－２－１ 建物調査

《調査対象住宅》

対象住宅は長野県諏訪市にあるＳ団地の集合住宅３棟である。この３棟は昭和 51 年 10 月 1 日に建てられた建築面積のみ異なる全く同じ施工内容の建物である。これらは、新築時は無断熱であったが、その後外壁の結露による被害が多かったため、平成 9 年から平成 11 年の 3 年間で外断熱に改修する工事が行われたものだ。



Fhoto. 4-1　対象集合住宅（北・出入り口側）



Fhoto. 4-2　対象集合住宅（南・ベランダ側）

４－２－２　アンケート調査

２０００年１２月、対象住宅３棟(150 世帯)全ての住戸のポストに室内環境に関するアンケート用紙を投函し回答を郵送してもらうという方法で行った。アンケート内容を以下に示す。

Ｉあなたのお住まいは１９９７年～１９９９年の間に北側の外壁を外断熱工法に改修されました。

外断熱についてはどの程度知っていますか？以下の中から１つ○をつけてください。

非常によく理解している／少し理解している／名前だけ知っている／名前自体聞いたことがない

Ⅱ　あなたが現在お住まいの住宅についてお伺いします。

・以下の質問にお答えください。

a）現在の住まいに入居されたのはいつですか？　　西暦（　　）年　（　　）月

b）あなたの住宅は角住戸ですか？中住戸ですか？また、角住戸の場合西側ですか？東側ですか？次の３つの中から１つだけ選んで○をつけてください。　　東側角住戸／　西側角住戸／　中住戸

c）窓または壁においてリフォームされていましたら、その内容をお書きください。

（　　）

Ⅲ　あなたの住宅の居住性についてお伺いします。

・外断熱に改修する以前と比較して、以下の事例について各々の選択肢の中から最もあてはまるものに、断り書きがない限り１つだけ選び○をつけてください。

a）冬期における室内熱環境

たいへん暖かくなった／やや暖かくなった／変わらない／やや寒くなった／たいへん寒くなった

b）夏期における室内熱環境

たいへん快適になった／やや快適になった／変わらない／やや不快になった／たいへん不快になった

c）冷暖房の効きぐあい

たいへん良くなった／やや良くなった／変わらない／やや悪くなった／たいへん悪くなった

d）室内における結露の発生

非常に少なくなった／やや少なくなった／変わらない／やや多くなった／非常に多くなった

e）室内におけるカビの発生

非常に生えにくくなった／やや生えにくくなった／変わらない／やや生えやすくなった／非常に生えやすくなった

f）外部からの騒音

非常に小さくなった／やや小さくなった／変わらない／やや大きくなった／非常に大きくなった

・以下の質問ににについてお答えください。

g）改修前、夏または冬、室内の壁に結露が発生していましたか？　　はい／いいえ

☆　“はい”　を選択された方にお伺いします。結露は、夏と冬でそれぞれどこに発生していましたか？

夏　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／　部屋の間仕切壁　（複数選択可）

冬　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／　部屋の間仕切壁

h）現在（改修後）、室内の壁に結露は発生しますか？　　はい／いいえ

☆“はい”を選択された方にお伺いします。結露は、夏と冬でそれぞれどこに発生しますか？

夏　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／部屋の間仕切壁　（複数選択可）

冬　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／部屋の間仕切壁

ｉ）改修前、夏または冬、室内の壁にカビが発生していましたか？　　はい／いいえ

☆“はい” を選択された方にお伺いします。結露は、夏と冬でそれぞれどこに発生していましたか？

夏　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／部屋の間仕切壁　（複数選択可）

冬　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／部屋の間仕切壁

ｊ）現在（改修後）、室内の壁にカビは発生しますか？　　はい／いいえ

☆“はい”を選択された方にお伺いします。カビは、夏と冬でそれぞれどこに発生しますか？

夏　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／部屋の間仕切壁　（複数選択可）

冬　　南側の外壁／　北側の外壁／　東側の壁／　西側の壁／部屋の間仕切壁

☆現在における結露またはカビの発生に関する問い｛（ｉ）または（ｊ）｝で“はい”を選択された方に、お伺いします。以下の質問に関して、結露またはカビの発生する部屋について（浴室は除く）お答えください。

（※発生している部屋が複数ある場合は、特に発生の著しい部屋についてお答えください。

1）その部屋の方位と用途を簡単にお書きください。方位（　　）・用途（　　）例：寝室

2)その部屋で、暖房器具は次のうちどれを使っていますか？当てはまるものに○をつけてください.

石油ファンヒーター／ガスファンヒーター／電気ファンヒーター／石油ストーブ／ガスストーブ／電気ストーブ／パネルヒーター／オイルヒーター／その他（　　）

3）その部屋で、暖房器具は一日にどのように使いますか？次の中から最もあてはまるものに１つ○をつけてください。

２４時間／その部屋に居る間／つけたり消したり／暖房器具はない・使わない／その他（　　）

4）その部屋内の換気はどのように行っていますか。次の中からあてはまるものに○をつけてくだい。よく窓を開けるようにしている／よく換気扇を回すようにしている／あまり換気をしない／全く換気をしない

5）最近、その部屋内でどの程度洗濯物を干していますか？次の中から最もあてはまるものに１つ○をつけてくださいほぼ毎日／　週３～４回／　週１～２回／　週１回未満／　その部屋内では干さない

6）水蒸気を発生させたりコントロールする器具を使っていましたら使用状況をお書きください。

（　　）

・最後に以下の質問にお答えください。

◎外断熱の住宅に改修されて良かったと思いますか？　　良かったと思う　／　良かったとは思はないまた、その理由をお書きください。（　　）

◎　　その他、気付いた点、現在の住宅での問題点などありましたらお書きください。

（　　）

４－３　結果

４－３－1　建物調査結果

施工内容は、以下に示す内容であった。

各棟･北側外壁・・押出し発泡ポリスチレンフォーム（ＥＰＳ）外断熱３０mm

各棟･両妻面・・・吹付発泡ウレタン外断熱・サイディング張り

外断熱が施されたのは冬に低温となり結露の発生しやすい北側と妻側のみであった。しかも、同じ外断熱でも妻側は非常に簡易的なものであった。

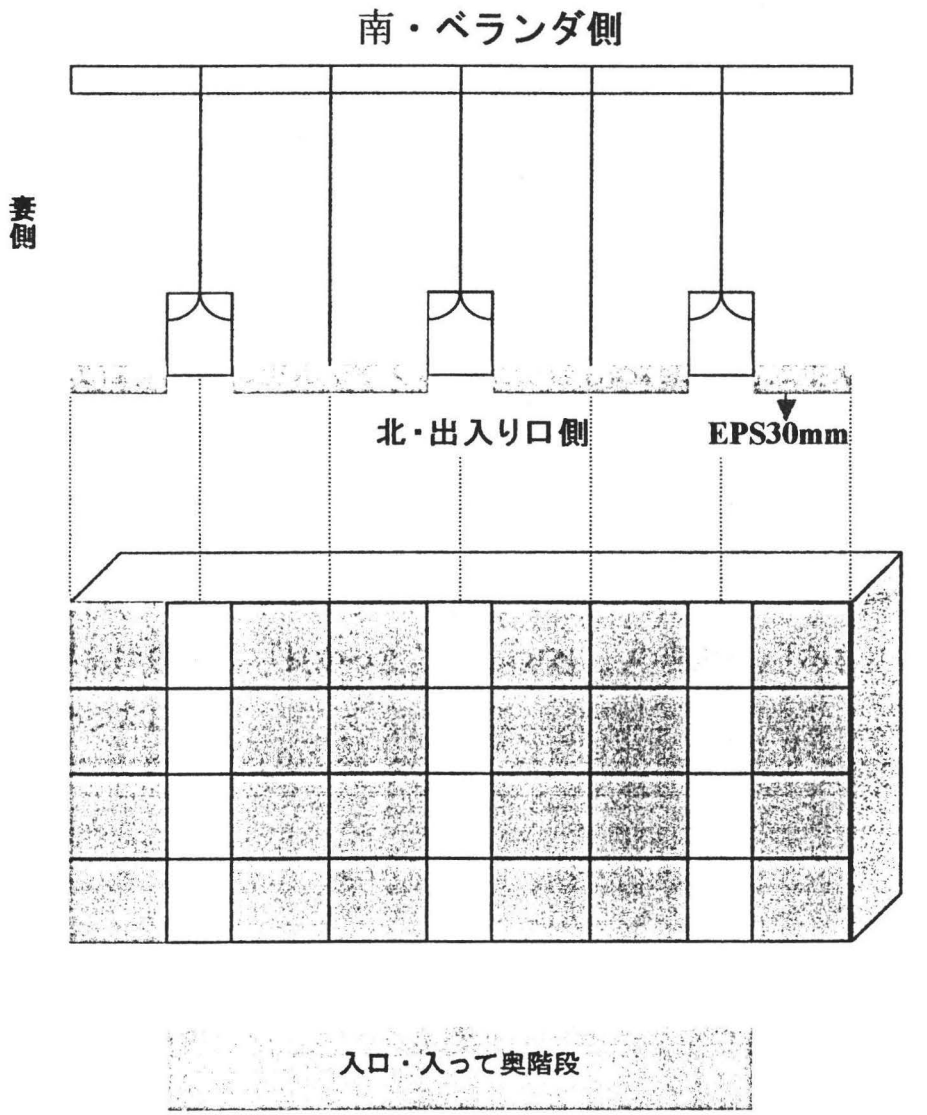


Fig. 4-1　対象住宅断熱材施工箇所

４－３－２　アンケート調査結果

回答率･･･９％（14 件）

Fig.4-2～Fig.4-15 にアンケート結果を示す。

14 件のうち、改修前から住んでいたという回答者は 9 名であった。当然改修前に関する問い、改修前との比較に関する問いは、この９名からしか回答を得ることができなかった。結露とカビ発生の有無に関する問い以外は得られた 9 回答の中の結果としてまとめた。

外断熱に関する認識は「名前だけ知っている」または「名前自体聞いたことがない」との回答が約 80%と、非常に低かった。

冬季温熱環境は、改修前と比較して「やや暖かくなった」との回答が過半数得られた。

夏季温熱環境は、改修前と比較して「変わらない」との回答が約 80%と多かった。

結露に関しても、改修前と比較して「変わらない」との回答が約 80%と多かった。しかし、改修前と後での結露発生の有無に関する回答結果(Figure　)を見ると、「結露なし」の割合が改修後に増加していることがわかる。

カビに関しては、非常に生えやすくなった住居もあれば非常に生えにくくなった住居もあるというように住居によって様々である。

騒音に関しては、「変わらない」との回答が約 70%と多かった。

総合評価では、「外断熱に替わって良かったと思う」と回答した人は 60%でその理由としては、「カビ・結露が発生しなくなった」または「カビ・結露が少なくなった」があげられた。「良かったとは思わない」の理由は、「あまり変わらないから」であった。

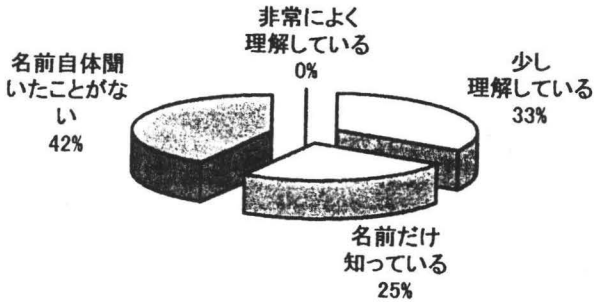


Fig.4-2 外断熱に関する認識

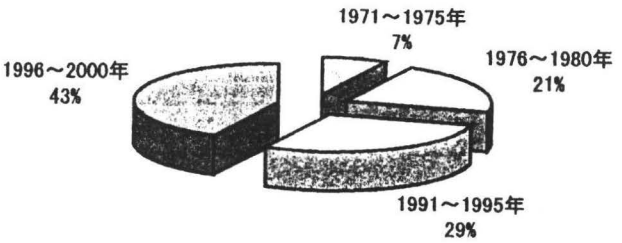


Fig.4-3 入居年

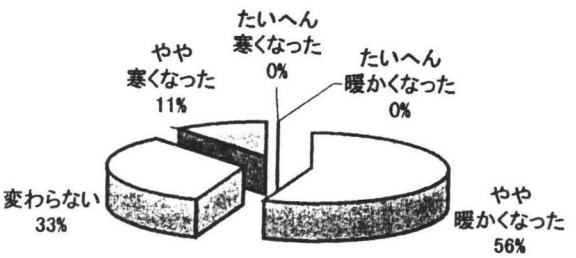


Fig.4-4 冬季温熱環境

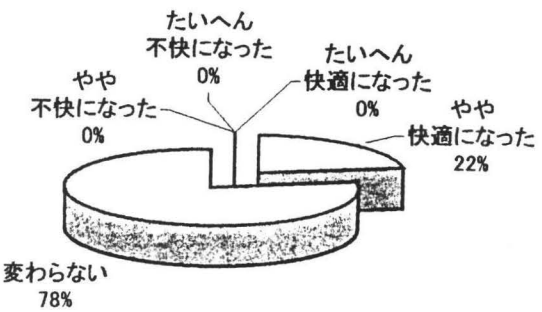


Fig.4-5 夏季温熱環境

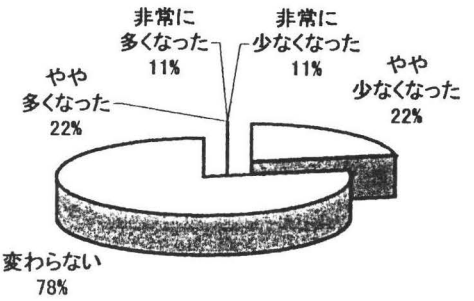


Fig.4-6 結露の発生

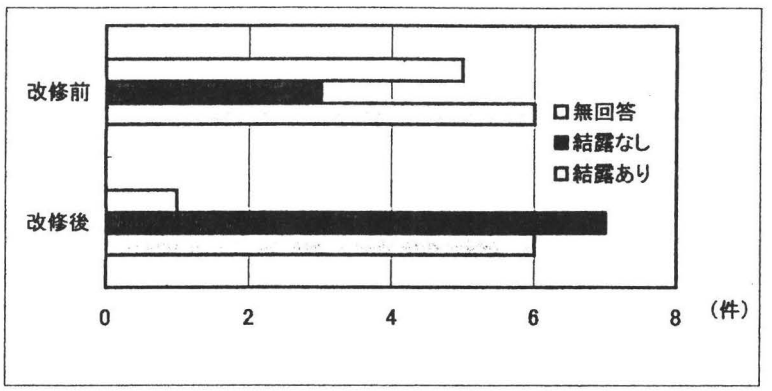


Fig. 4-7 結露の有無（改修前—改修後）

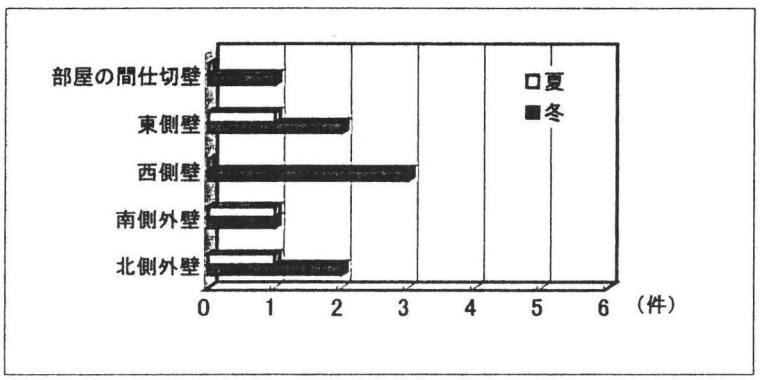


Fig. 4-8 結露発生箇所（改修前）

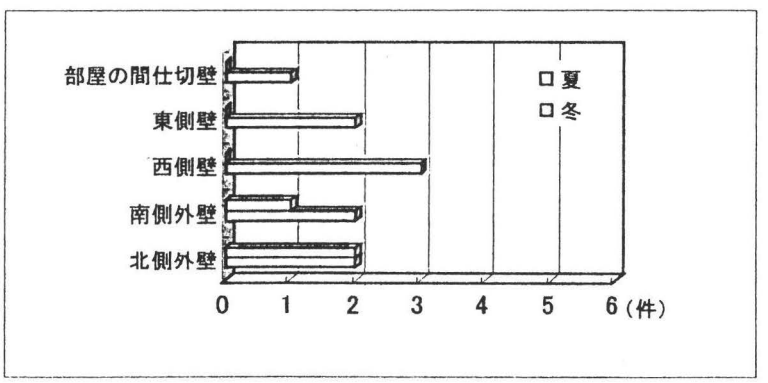
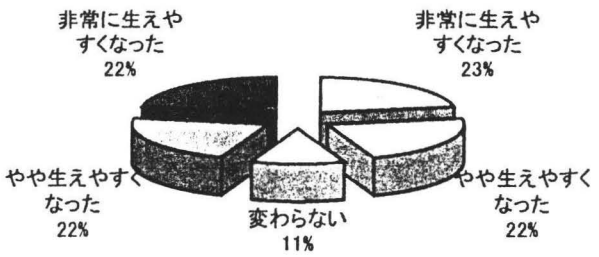


Fig. 4-9 結露発生箇所（改修後）



Firure.4-10 カビ

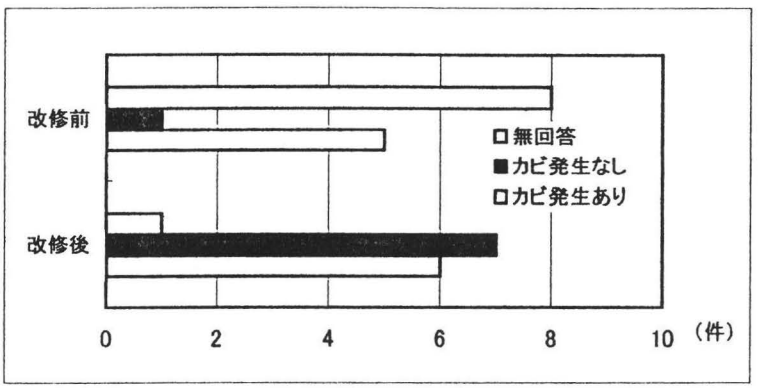


Fig. 4-11 カビ発生の有無

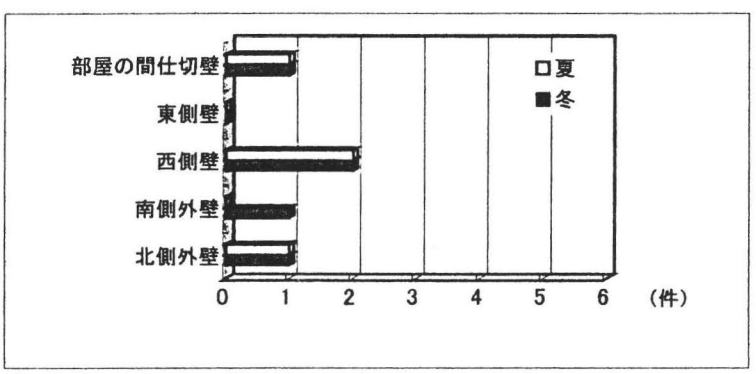


Fig. 4-12 カビ発生箇所

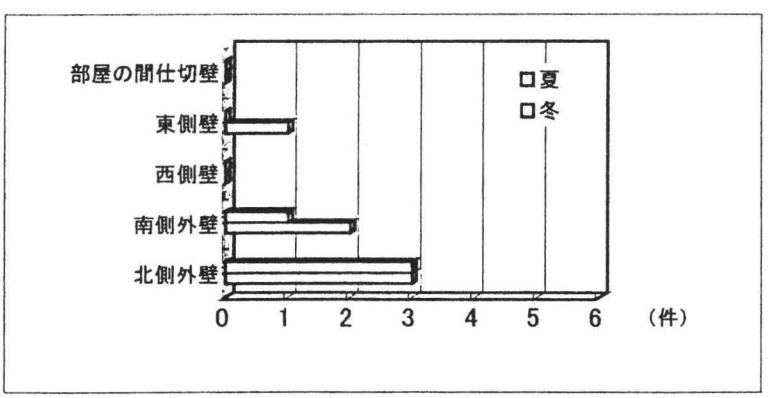


Fig. 4-13 カビ発生箇所（改修後）

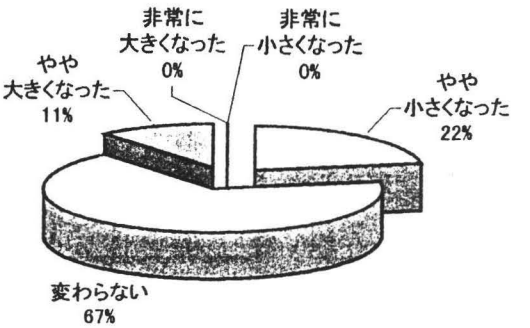


Fig.4-14 騒音

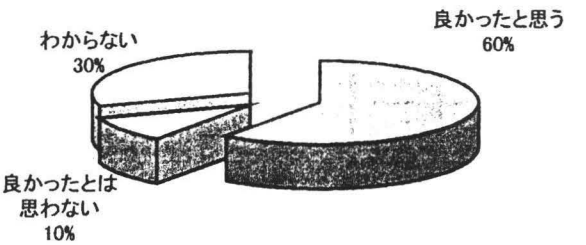


Fig.4-15 総合評価—外断熱び改修されて—

次に、結露発生箇所およびカビ発生箇所について、アンケート上の回答者からの情報を基に作成した。ただし、改修後に入居したという回答者（6名）については，改修前の状況は載せていない。

北側においては改修前と比較すると、7軒中6軒は結露が見られなくなっており、残り1軒も状態はよくなっているという。カビに関しては4軒が発生しなくなっており、1軒が改修前と変わらない、残り1軒が改修後に発生するようになった、という結果だ。改修後に入居した6名については1軒のみ、結露、カビいずれも発生している。しかし、この住居は毎日この北側の部屋内に洗濯物を干しているということで、室内湿度が高いことが原因のひとつになっていると考えられる。また壁とは別に、北側天井にカビが生えているというコメントも1回答者より得られた。南側の結露・カビ発生においては(1軒)改修後も変わっていない。東および西側においては、玄関側（階段・通路側）の壁を中心に改修前、改修後とも、同じように発生していた。

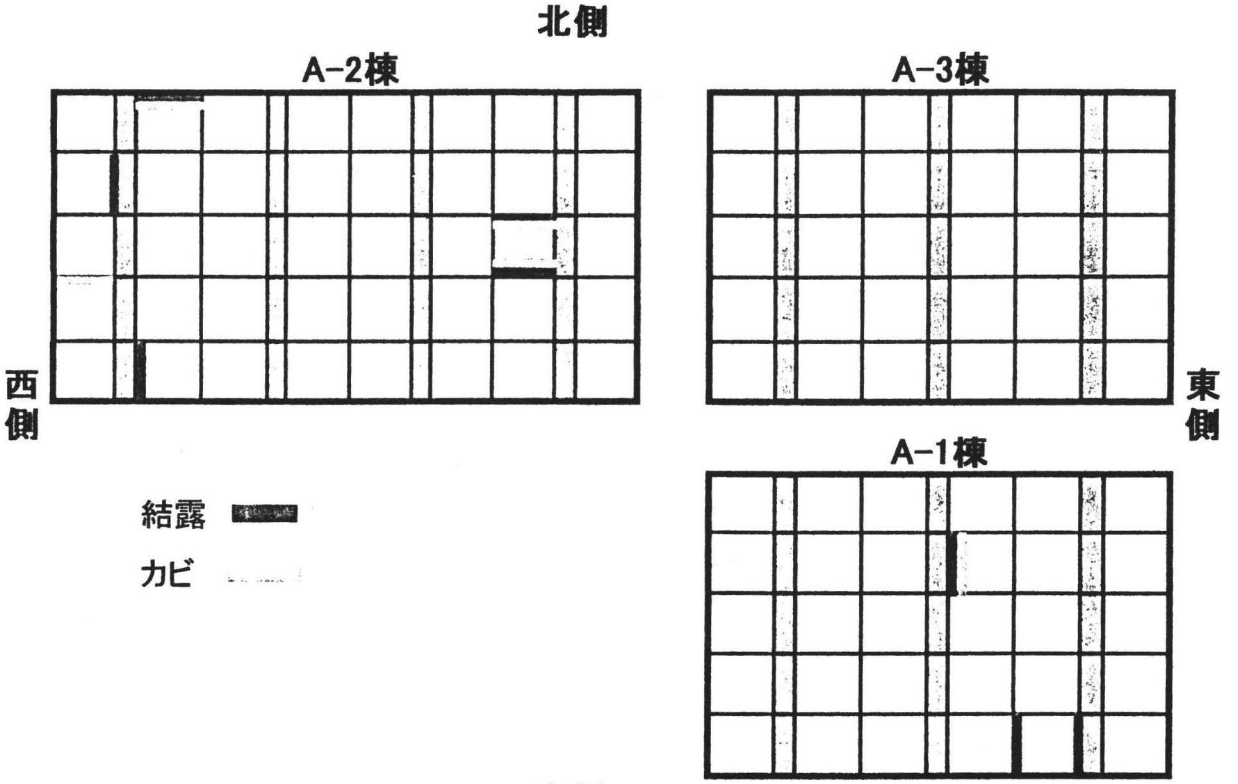
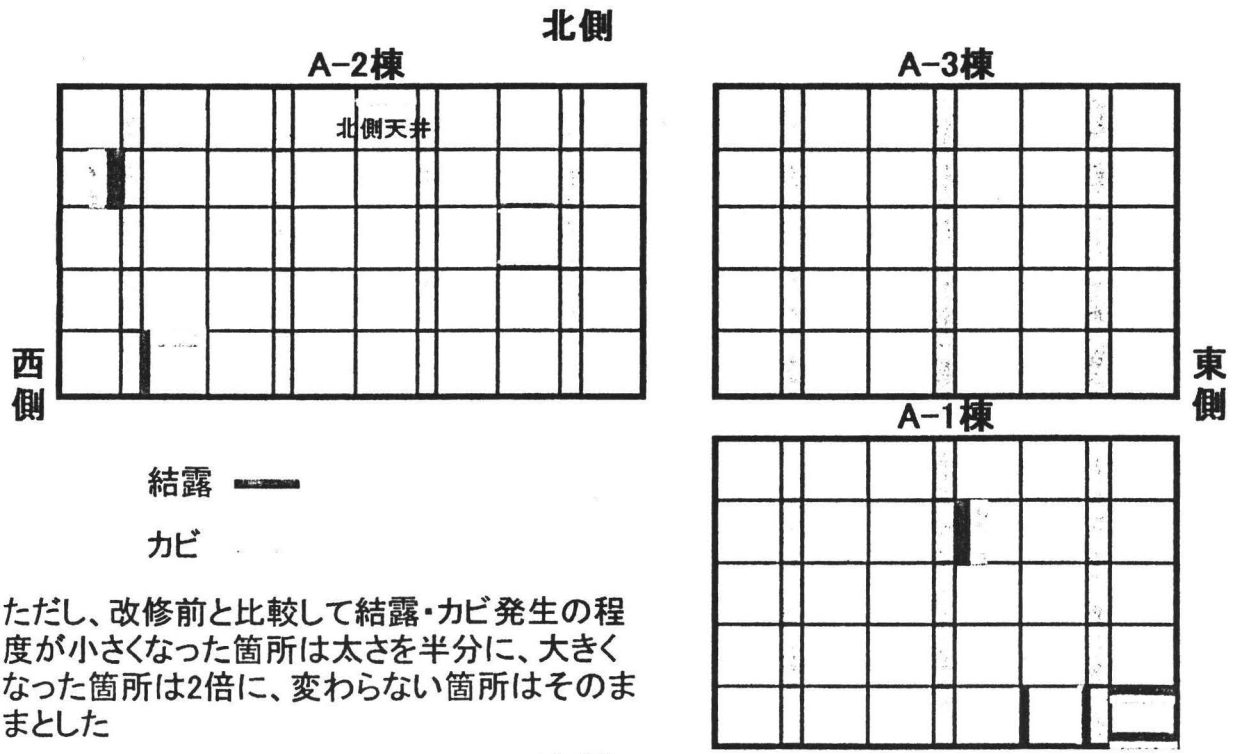


Fig.4-16 改修前の結露・カビ発生箇所



ただし、改修前と比較して結露・カビ発生の程度が小さくなった箇所は太さを半分に、大きくなった箇所は2倍に、変わらない箇所はそのままとした

Fig.4-17 改修後の結露・カビ発生箇所

４－４　考察

アンケート調査では、改修後の断熱性、結露・カビ防止に対する評価は低かった。改修を行った北側の壁においては、結露、カビが無くなったまたは少なくなったという住戸が多かった一方で、生活調査によりその部屋での水蒸気発生が多いと想定される住戸においては、改修前より結露・カビが悪化しているケースもあった。また、最上階の住戸の北側では、外壁からつながる天井においてカビが生えているとのコメントがあり、天井に断熱材を施さなかったためと考えられる。最も結露・カビが悪化した場所は、第三章・北海道外断熱住宅アンケートの追跡調査にあたった集合住宅Ｎにおいて断熱欠損となっていた部分に相当する箇所（玄関前周辺の壁）であった。この集合住宅の場合、建物入り口の扉は常に開放されているという状態にあり玄関前周辺の壁は外気にさらされているにほぼ等しいにもかかわらず外断熱を施さなかったため、この部分に冷熱や水蒸気がたまって結露し、さらにカビが集中したものと考えられる。この建物の断熱材の厚さは３５ｍｍであった。「新省エネ基準による住宅断熱の設計から施工まで」に掲載されている《新省エネ基準（平成４年改正告示）による断熱化工法の設計・施工方法》によれば、この地域での鉄筋コンクリート造住宅外壁における断熱材の厚さの基準は４５ｍｍとなっている。ここで、この基準は建物外側全体（屋根または天井、床、土間床等の外周部）を外断熱施工する際の基準であり、また、ドイツやスウェーデンでは外壁まわりはどの断熱材でも１５０～２００ｍｍとるのが一般的であり、わが国の基準値はかなり低いものである。この集合住宅の場合、改修されたのは北側外壁と妻側のみであり南側や天井など無断熱のままの箇所が多い点や、窓を締め切っていても隙間風が多くて寒いという窓面の気密性の低さも考慮すると、断熱性の向上さらに結露を防止するには、一部の外壁に３５ｍｍという断熱材を張るだけでは不十分であり、さらに結露・カビに関しては暖房をすることで躯体内の温度差が広がり、返って悪化するケースもあるのだ。

アンケート結果で冬の暖かさ、結露・カビ防止について高い評価が得られなかったのは、これら施工内容が原因である。そもそも、この施工内容で外断熱を評価することはできない。この集合住宅の改修は、住人の高まりを配慮した当面の措置で、長期的な配慮はされていないに等しい。問題は、公的建物だけに、それが標準として常識化することである。このような問題の解決のためにも、真の外断熱の普及が急がれる。

第五章　北海道住宅真菌調査

５－１　目的

日本の約 99%を占める無断熱や内断熱のコンクリート住宅では結露が起こり高湿度状態となりカビやそれを餌とするダニが発生させ、これが日本で蔓延しているアトピー性皮膚炎や喘息などアレルギーの主な原因となっていることが報告されている。これに対し、欧米で広く普及している外断熱の住まいではダニ・カビに起因する健康被害はほとんどないといわれている。

本研究では北海道で先駆的に建てられたいくつかの種類、状況の外断熱の住宅において真菌（カビ）を調査することを目的とし、夏期・冬期に空中浮遊菌（真菌、細菌）、空中落下真菌の測定を行った。また、比較対照のため、内断熱工法、外張り断熱工法の住宅についても調査を行った。

※夏期・冬期で測定住宅は異なる

５－２　方法

《測定実施日》

Table.5-1 夏季測定実施日

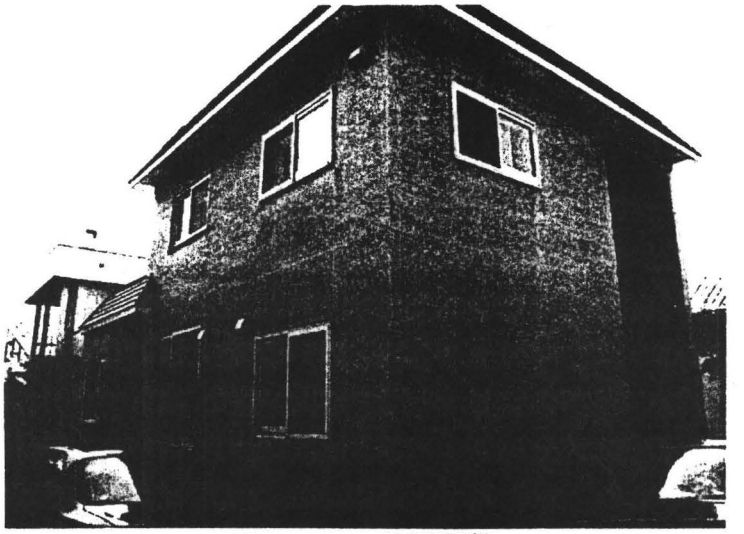
	測定日
外張断熱	2000／7／28
外断熱Ａ	2000／7／28
外断熱Ｂ	2000／7／29
内断熱ａ	2000／7／29
内断熱ｂ	2000／7／29

Table.5-2　冬季測定実施日

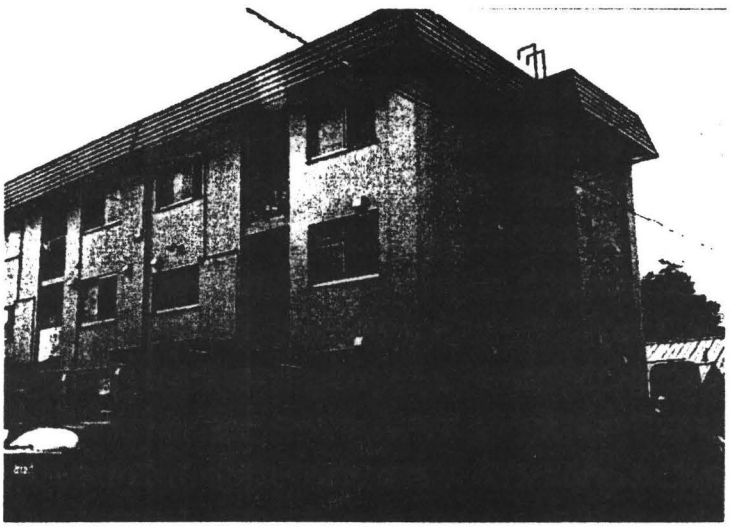
	測定日
外断熱Ｘ	2000／11／18
内断熱ｘ	2000／11／18
内断熱ｙ	2000／11／18

Table.5-3 各建物に関する基本的情報

	断熱材(種類・厚さ)	構造･規模	築年数
外張断熱 (戸建住宅)	ＥＰＳ(ビーズ発泡ポリスチレン) 50mm	木造 ２階建て	8年
外断熱Ａ (集合住宅)	ＥＰＳ(ビーズ発泡ポリスチレン) 50mm	鉄筋コンクリート造 ３階建て	7年
外断熱Ｂ (オフィス)	ＧＷ(グラスウール)・ 150mm	鉄筋コンクリート造 ３階建て	3年
内断熱ａ (集合住宅)	ＸＰＳ(押し出し発泡ポリスチレン) 35mm	鉄筋コンクリート造 ５階建て	15年
内断熱ｂ (集合住宅)	ＸＰＳ(押し出し発泡ポリスチレン) 35mm	鉄筋コンクリート造 ８階建て	20年
外断熱Ｘ (戸建住宅)	ＧＷ(グラスウール) 225mm	鉄筋コンクリート造 ３階建て	3年
内断熱ｘ (集合住宅)	ＸＰＳ(押し出し発泡ポリスチレン) 35mm	鉄筋コンクリート造 ３階建て	20年
内断熱ｙ (集合住宅)	ＰＵＦ(ポリウレタンフォーム) 35mm	鉄筋コンクリート造 14階建て	14年



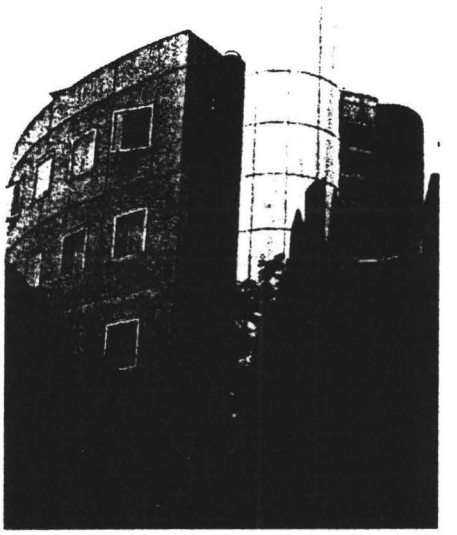
Fhoto.5-1　外張断熱



Fhoto.5-2　外断熱Ａ



Fhoto.5-3　外断熱Ｂ



Fhoto.5-4　内断熱ａ



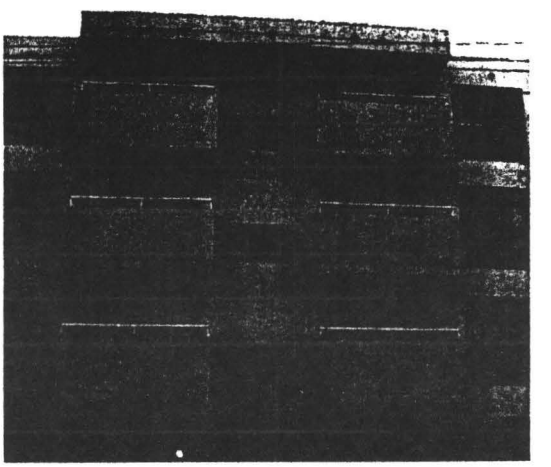


Table.5-4　測定住宅

	測定場所１	測定場所２
外張断熱	１階　リビング　（Ａ－１）	２階　ダイニング（Ａ－２）
外断熱Ａ	１階　南側和室　（Ｂ－１）	１階　北側和室　（Ｂ－２）
外断熱Ｂ	３階　応接室　（Ｃ－１）	２階　オフィス　（Ｃ－２）
内断熱ａ	３階　リビング　（ａ－１）	３階　寝室　（ａ－２）
内断熱ｂ	４階　リビング　（ｂ－１）	４階　北側和室　（ｂ－２）
外断熱Ｘ	２階　リビング　（Ｘ－１）	３階　子供部屋　（Ｘ－２）
内断熱ｘ	１階　南側寝室　（ｘ－１）	１階　北側寝室　（ｘ－２）
内断熱ｙ	５階　リビング　（ｙ－１）	５階　子供部屋　（ｙ－２）

《実験器具》

・ BIOTEST　RCS エアーサンプラー（グンゼ産業株式会社）
・ エアーサンプラー専用培地（グンゼ産業株式会社）
　アガーストリップ HS（真菌用）
　アガーストリップ GK-A（一般培地）
・ PDA 培地
・ M40Y 培地
・ ストップウォッチ
・ 滅菌スタンププレード（栄研器材）
・ 10cm×10 cmの枠
・ 恒温器　IS 800（ヤマト科学株式会社）

《実験方法》

空中浮遊菌測定

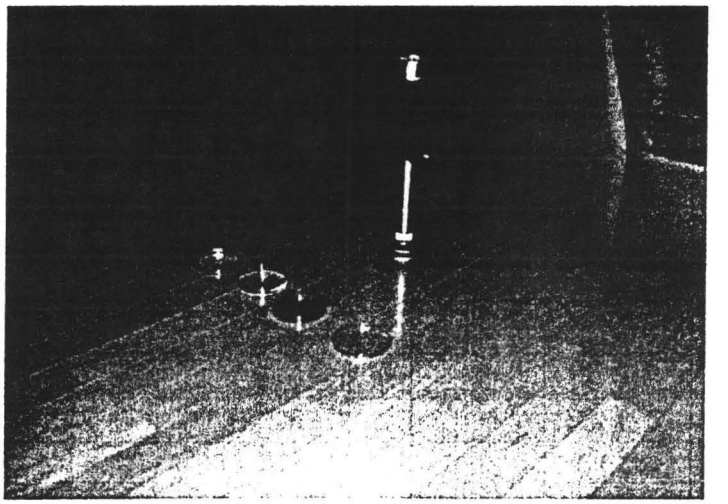
＜使用器具＞

・ BIOTST RCS エアーサンプラー（グンゼ産業株式会社）
・ エアーサンプラー専用培地（グンゼ産業株式会社）
　アガーストリップ HS（真菌用）・・・・・・・・・・各測定場所につき１枚
　アガーストリップ GK-A（一般培地）・・・・・・各測定場所につき１枚
・ 恒温器　IS 800（ヤマト科学株式会社）

＜方法＞

RCS エアーサンプラーを使用し、測定する各居室の中央付近において培地をセットし、8 分間（空気量 320L）採取する。比較のため、一般細菌用の培地でも測定を行う。測定中は人、風の動きによる影響を抑えるためにドア、窓などは閉め、平穏な状態を保つ。

RCS エアーサンプラー専用培地は恒温器に入れ、25℃で 3～5 日間培養し、コロニー数をカウントする。



Fhoto.5-6　**測定風景**

落下菌測定

＜使用器具＞

・PDA 培地、M40Y 培地・・・・・・・・・・各測定場所につき 1 枚ずつ

・ストップウォッチ

・恒温器　IS 800（ヤマト科学株式会社）

＜方法＞

測定する各居室の中央付近に PDA 培地、M40Y 培地それぞれ 1 枚ずつ並べ、シャーレの釜を 10 分間開放する。測定中は極力平穏な状態を保つ。

恒温器に入れて 25℃で培養し、5 日前後で一度コロニー数をカウントしておき、更に培養を続けて 10 日から 2 週間の間に同定を行う。

５－３　結果

《空中浮遊菌の結果》

空中浮遊菌の測定場所別菌数を Table.5-5,　Figure.5-1 に示す。

真菌

夏季は、一般に結露による被害が少ないため、測定結果でも、真菌数が最も多かった内断熱 a の集合住宅で真菌数判定は「どちらでもない」であった。

冬季においては、内断熱 x の集合住宅の真菌数の多さが目立ち、「非常に多い」と「多い」に分類される量であった。逆に、外断熱Ｘと内断熱ｙは「非常に少ない」に判定される結果であった。

一般細菌

夏季は、外断熱Ｃで一般細菌数が「非常に少ない」と「少ない」で、その他

の住宅はすべて「どちらでもない」に判定されるという結果であった。
冬季は内断熱xと内断熱yで菌数判定が「多い」という結果を得た。

Figure.5-5　測定場所別空中浮遊菌数　　（単位：CFU／m^3）

		真菌	一般細菌
外張断熱	測定場所１	334.375	271.875
	測定場所２	159.375	171.875
外断熱A	測定場所１	161.625	162.5
外断熱B	測定場所１	0	12.5
	測定場所２	18.75	53.125
内断熱a	測定場所１	334.375	204.625
	測定場所２	328.125	206.25
内断熱b	測定場所１	100	187.5
	測定場所２	56.15	103.125
外断熱X	測定場所１	21.875	471.875
	測定場所２	3.125	390.625
内断熱x	測定場所１	2656.25	575
	測定場所２	650	1362.5
内断熱y	測定場所１	21.875	1478.125
	測定場所２	21.875	1337.5

国際的に見るとイタリーのイプサラにある No.12 Commission of the European Communities Indoor Pollution Unit. はエアーサンプラーによる空中浮遊一般細菌数、空中浮遊真菌数に関する次の判断基準を示している。（Table.5-3）これが欧州で一般的に使用されているものであり、本実験でもこれを使用して評価を行う。

Table.5-6 遊菌数、空中浮遊一般細菌数の判定

真菌数（CFU／m^3）	一般細菌数（CFU／m^3）	判定
＜２５	＜５０	非常に少ない
＜１００	＜１００	少ない
＜５００	＜５００	どちらでもない
＜２０００	＜２０００	多い
≧２０００	≧２０００	非常に多い

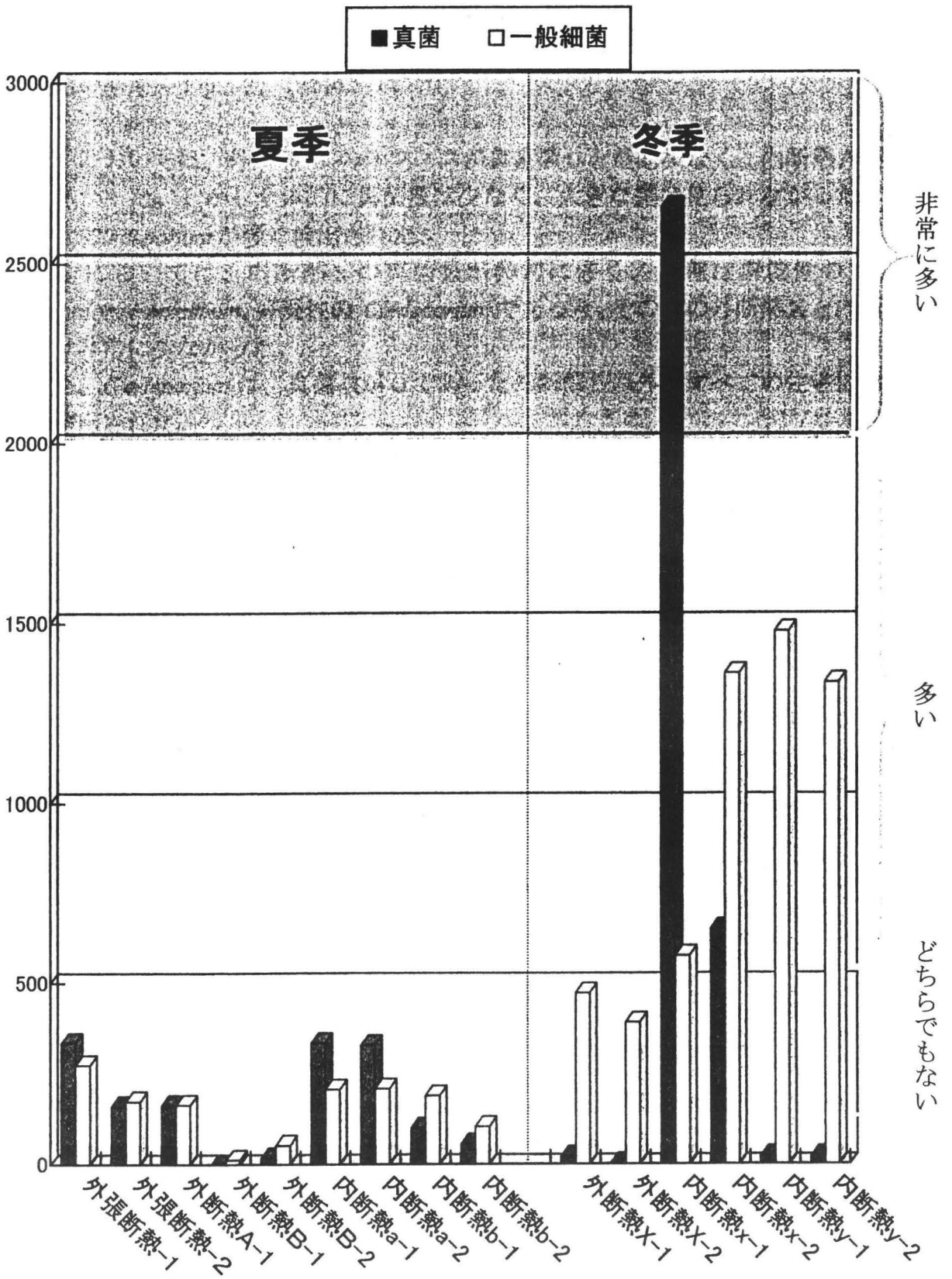


Figure.5-1　測定場所別空中浮遊菌数

《落下菌測定結果》

落下菌の結果を Fig.5-2、Table.5-7 に示す。

夏季においては、外断熱 B のオフィスが真菌数０と最も少なく、内断熱Aが最も多かった。しかし全体的に真菌数は少なく、大きな差は見られなかった。菌数は *Cladsporium* が多く検出された。

冬季においては、内断熱 x の真菌数が非常に多く、菌種は耐乾性の *A. versicolor*、*Penicillium*、好湿性の *Cladsporium* であった。その他の外断熱Xと内断熱 y は非常に少なかった。

また、*Cladsporium* は、真菌数が０であった外断熱B以外のすべての住宅において検出された。

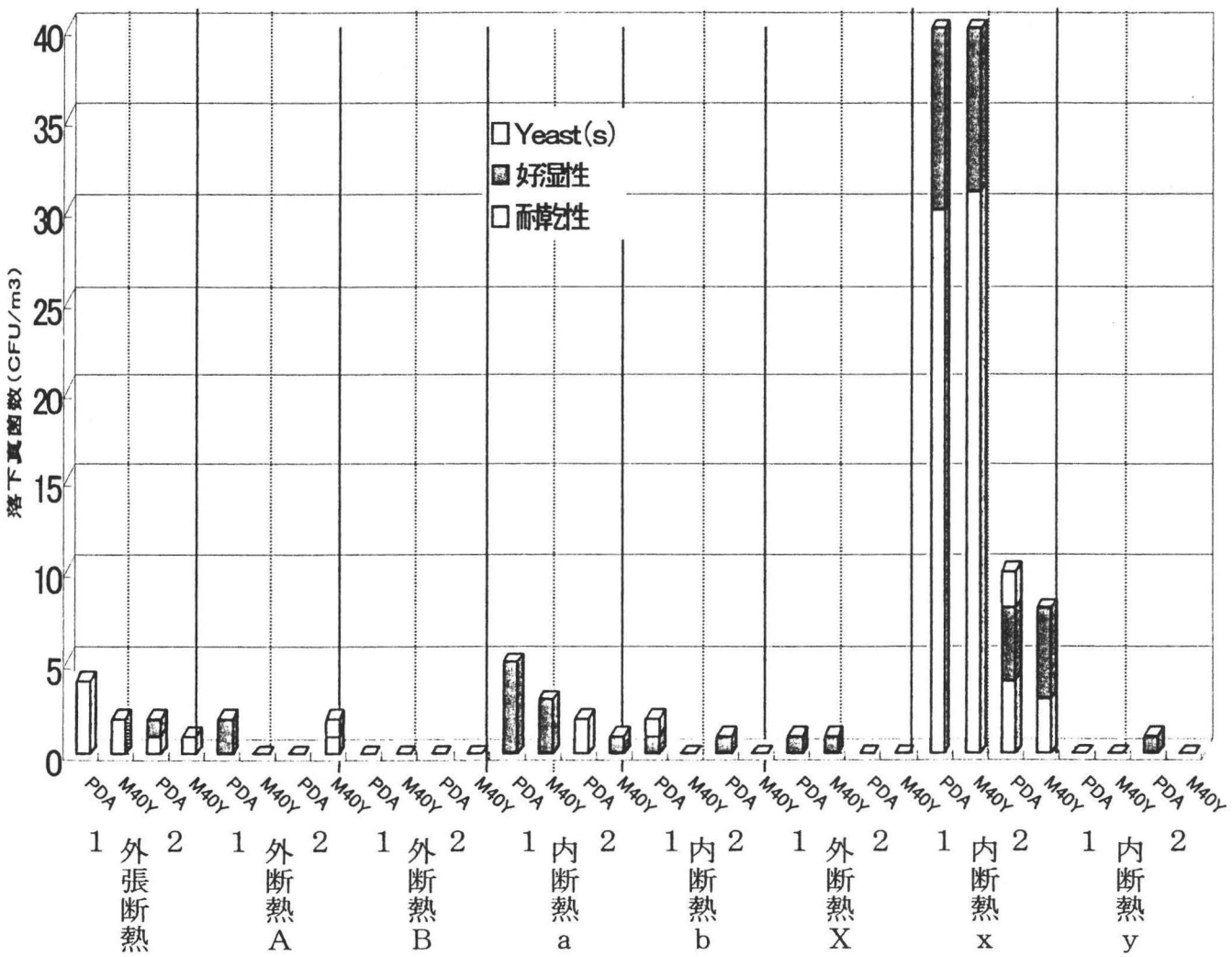
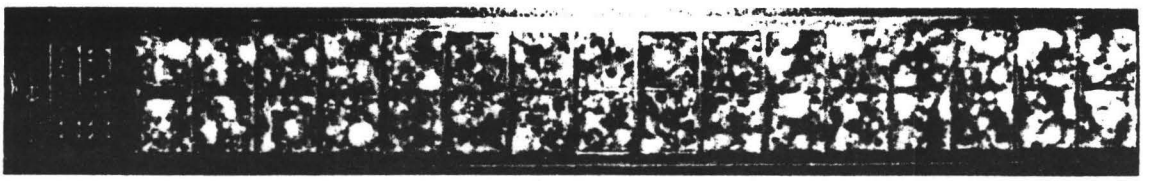


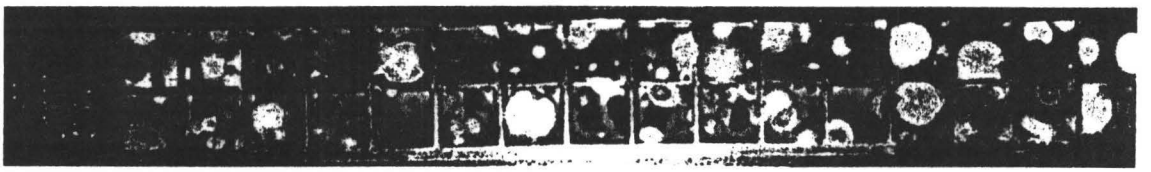
Fig.5-2　測定場所別落下菌数

Table.5-7 落下菌測定結果

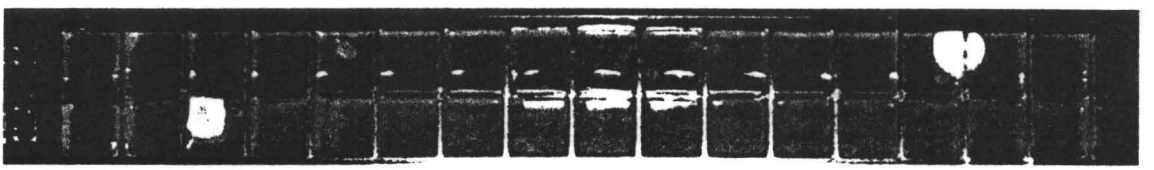
		外張断熱				外断熱 A				外断熱 B				内断熱 a				内断熱 b				外断熱 X				内断熱 x				内断熱 y			
	測定場所	1		2		1		2		1		2		1		2		1		2		1		2		1		2		1		2	
性質	Sample	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y	PDA	M40Y
	Count	4	2	2	1	2	0	0	1	0	0	0	0	5	3	2	1	1	0	1	0	1	1	0	0	40	40	8	8	0	0	1	0
耐乾性	*Aspergills*																																
	A. flavus																																
	A. fumigatus																																
	A. niger																																
	A. ochraceus																																
	A. versicolor								1																	26	25	2	3				
	A.																																
	A.																																
	Emericella																																
	Paecilomyces																											2					
	Penicillium				1									5	3											4	6						
	Scopulariopsis																																
好乾性	*A. restrictus*																																
	Eurotium																																
	Wallemia																																
偏性好湿性	*Absidia*			1																													
	Aureobasidium																																
	Botrytis																																
	Mucor																																
	Rhizopus																																
通性好湿性	*Acremonium*																																
	Alternaria																					1											
	Arthrinium																																
	Chaetomium																																
	Cladosporium	4	2	1		2										2		1		1			1			10	9	4	5			1	
	Curvularia																																
	Epicoccum																																
	Fusarium																																
	Geotrichum																																
	Mycelia																1																
	Niigrospora																																
	Phoma																																
	Trichoderma																																
その他																																	
Yeast(s)									1									1										2					
放線菌																																	



Fhoto.5-7　空中浮遊菌@内断熱ｘ－1



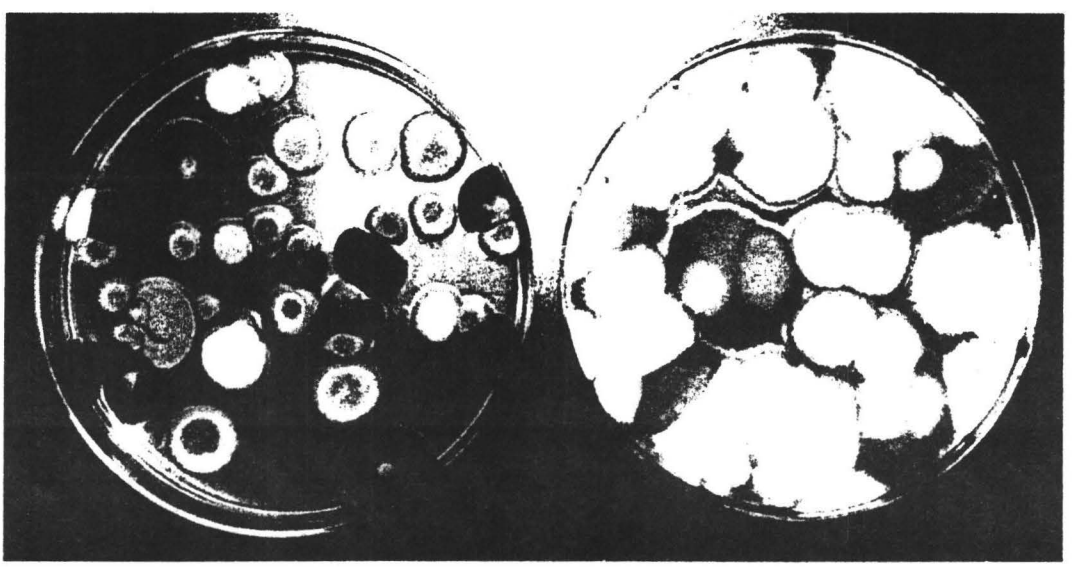
Fhoto.5-8　空中浮遊菌@内断熱ｘ－1



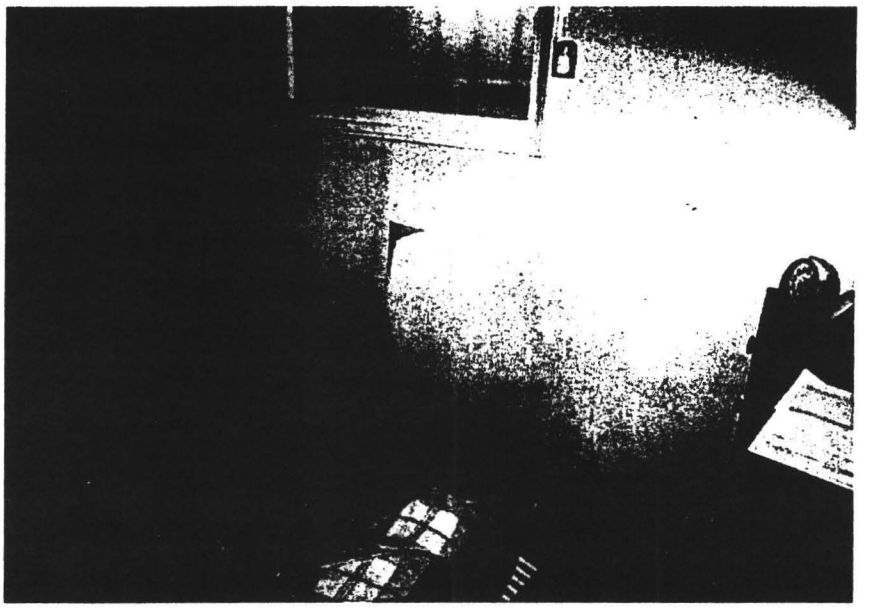
Fhoto.5-9　空中浮遊菌@外断熱Ｘ－1



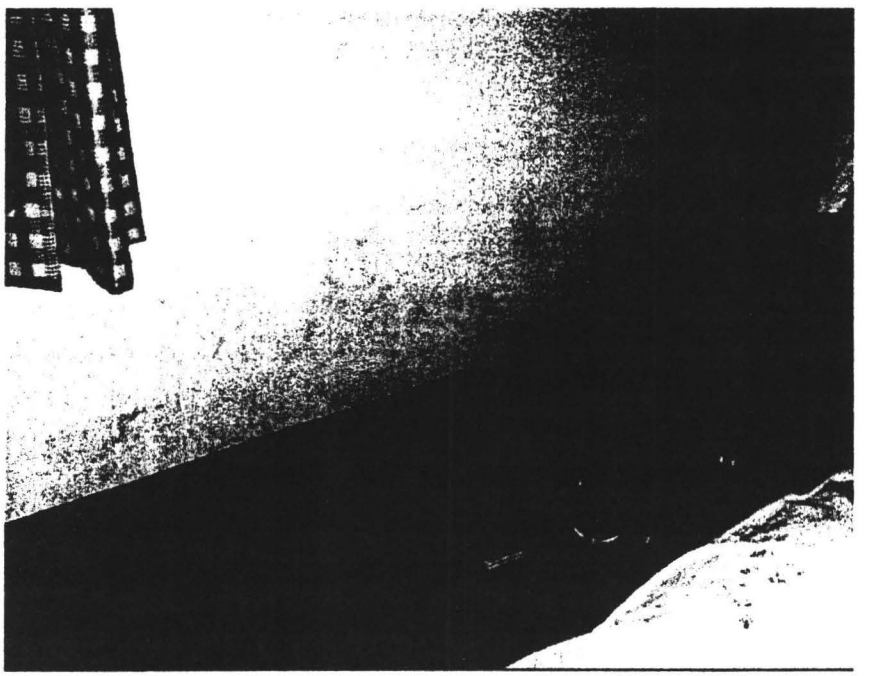
Fhoto.5-10　空中浮遊菌@外断熱Ｘ－1



Fhoto.5-11　落下菌@内断熱ｘ－１



Fhoto5-12.　カビの繁殖@内断熱ｘ－１



Fhoto5-13.　カビの繁殖@内断熱ｘ－2

5－4　考察

夏期と冬期では、一般的に室内外の温湿度条件が異なるので、別々に比較しなくてはならない。

まず、夏期における実測では、外断熱Aは空家、外断熱Bはオフィス、その他は日常生活が営まれている住宅であり、室内環境がそれぞれ大きく異なることを考慮すると正しく比較することはできないのだが、全体的に空中浮遊菌、落下菌真菌ともに少なく、また実際建物内に目立ってカビは観察されず、問題ないといえる。落下菌において、比較的真菌数の多かった外張断熱住宅と内断熱住宅aでは、検出された真菌のほとんどが *Cladsporium* であり、生活調査を行ったところ、この 2 軒は生活による水蒸気発生量が多いと推測され、その分好湿性の *Cladsporium* が多く検出されたものと考えられる。

一方、冬季においては、建物により真菌数に明確な差が現れた。内断熱xでは、空中浮遊真菌、落下真菌ともに非常に多く、実際建物内にかなり酷いカビの繁殖が観察され、壁紙は結露によって剥がされているといった状態であった。(Photo. 5 - 12)　また、この建物の南側住居(内断熱x－1)で特に多く検出された *A. versicolor* は人体のアレルゲンになりうるといわれておりこれが、この菌が多い場合はアトピーや喘息を引き起こす可能性もあり危険であるといえる。北側住居(内断熱 x－2)の真菌数が南側住居に比べ少なかったのは、除湿機を使用していたためと考えられる。しかし、居住者はそれでも結露とビの発生は止まず対処法がないと叫んでいた。

これに対し内断熱住宅yでは、空中浮遊真菌数，落下真菌数は非常に少なかった。これは顕熱と潜熱を同時に交換する全熱交換機を取り付けているため温湿度調整がされていること、全室暖房を行うことで部屋間の温度差をなくしていること、入居後に窓をペアガラスに替え窓結露を防いでいることなどが要因とされる。居住者によると、入居当初は結露やカビの発生が起こっていたが全熱交換機を取り付け、窓の性能を上げてからは、まったく起こらなくなったという。また、同じ建物内の他住居では、北側を中心にカビや結露が著しいということだ。

これら内断熱住宅に対し外断熱住宅Xでは、空中浮遊菌（真菌・一般細菌)，落下菌，すべてにおいて菌数が非常に少ないという結果であった。居住者によると、以前住んでいた内断熱の住宅では部屋のいたるところでカビが生えており、そのために長男が喘息に酷く悩まされていたが、現在の外断熱の住宅に替わってから症状がかなり軽減したという。

カビは結露との因果関係が深くカビが多いということは結露量が多いと考えることができる。一般に結露問題において、内断熱は、夏期結露は少なくむし

ろ冬期結露の問題が多く重要視される。一方外断熱においては、冬季結露は少なく夏期結露が懸念されている。このことをカビに置き換えて本研究での真菌の実測結果を考察すると、内断熱は夏期においては問題なく、冬期は非常に真菌数が多い住宅がみられ、これは冬季の外壁、窓における結露量の多さが原因と考えられる。一方外断熱は、冬季、問題とされる夏季いずれにおいても真菌数の多い住宅はみられなかった。

以上のことから、冬期において内断熱と外断熱で真菌数が大きく異なり、これは外壁および窓面における結露が主な原因と考えられる。しかし、内断熱でも換気方法や暖房方法を改善することによりカビ・結露発生をかなり軽減できるケースもあることがわかった。

第六章　総括

日本でごく当たり前のように起こっている住宅内の結露やカビ問題の原因が住宅の建築構造にあるということが、近年になってマスメディアで取り上げられ始め、それに伴いようやく建設側も動き出した。外断熱工法への転換だ。外断熱施工はカビ・結露問題だけでなく、断熱性、耐久性の面でもこれまでの内断熱や無断熱に比べ非常に優れているといわれている。しかし、これらの実態は必ずしも正しく調査され明確にはされていない。本研究では先駆的に建てられた外断熱住宅および外断熱改修住宅において、居住性、断熱性、結露発生についての実態を把握することを目的とし、真菌測定とアンケート調査を行った。

真菌調査においては、夏期測定では外断熱、内断熱、外張断熱で大きな差はなく、どれも問題ない菌数であった。結露・カビ問題が深刻とされる冬期の測定では、建物によって明確な差が生じ、その原因は建物構造と室内空気環境の両面にあった。建物構造とは内断熱か外断熱かという差、室内環境というのは居住者が結露を起こさないための温湿度条件に関してどれくらい認識してかつ実行しているか否かであった。外断熱住宅では真菌・一般細菌ともに非常に少ないという結果であった。同じ内断熱でも一方の建物の住居では非常に多いと判定される量の真菌が検出され、その中に含まれる菌種の多くを占めていたものは、人体のアレルゲンになり得るといわれている真菌であった。また、この建物内の別の住居では除湿機の使用で真菌数を半分には抑えられていた。もう一方の内断熱の建物においては居住者自身が窓面の断熱性向上、全室暖房、さらに温湿度調整など、結露を発生させないための快適な温湿度環境づくりに真剣に取り組んだ結果結露を抑えることができ、真菌数は非常に少なかった。

アンケート調査では、完全なる外断熱施工が行われている住宅は少なかった。新築時に外断熱が施工された住宅では断熱性がよく、結露・カビ問題が全くなくなったという建物もみられるほどであったが、改修住宅においては、断熱欠損をつくったことにより、欠損部分に冷熱や水蒸気がたまりカビ・結露が返って集中するといった被害が発覚し、外断熱に改修されたことへの評価は低かった。また、長野の公営住宅のように、当面の措置として結露・カビ被害の大きな部分のみの改修で、しかも熱や水蒸気の移動を考えない不十分な厚さの断熱材を張るといったケースも多く、このような場合、結露・カビを完全に防ぐことは難しく、改修面に限り程度を軽減するに過ぎず、断熱性においても効果はほとんど期待できない。また、騒音、臭気に関しては特に問題なかった。

外断熱は結露・カビを発生させにくく、断熱性もよいといわれているが、それは真の外断熱施工が行われてはじめて効果がもたらされるものであり、施工方法を誤ったり断熱欠損をつくると効果が半減するだけでなく、結露・カビを悪化させ、さらにはそれが外断熱というものだと居住者に誤解され兼ねない。

今後の課題として、真の外断熱の普及と定着化が急がれる。地域特性を考慮した熱と水蒸気の移動を考慮した壁構造と、断熱欠損をつくらない設計・施工が追究される。また、特に結露防止に関しては、設計者・施工者だけでなく、施主（居住者）の知識、理解も非常に重要視される。開放式ストーブからFF式ストーブへの取り替え、排ガスを外気側に出す、全室冷暖房に心掛け極端な間欠冷暖房を避ける、洗濯物を室内で干さない、炊事、浴室の空気を室外に出すなど、暖房器および生活スタイルの改善が問題回避の決め手となるのだ。設計者・施工者が施主（居住者）にこれらを伝えていくことも重要だ。

参考文献

1.『省エネルギー基準による　住宅断熱の設計から施工まで』建設省住宅住宅生産課　高度情報・技術対策官　住宅金融公庫建設サービス部
(1999:(財) 住宅・建築　省エネルギー機構)

2.『省エネルギー基準による建築の断熱と結露対策』小原俊平
(1982:鹿島出版社)

3.『建物の断熱と結露防止の知識』鹿島出版社編　(1982:鹿島出版社)

4.『防寒構造と暖房』田中辰明　(理工図書)

5.『断熱建材ハンドブック』断熱建材協議会編　(1994:養賢堂)

6.『住まいQ&A　ダニ・カビ・結露』吉川翠・芦澤達・山田雅士
(1989・井上書院)

7.『コンクリート建物の外断熱最新事情』
(月間建築仕上技術 1999.9 月号:工文社)

8.『外断熱システムの最新開発動向』
(月間建築仕上技術 2000.12 月号:工文社)

9.『建物躯体の内部結露計算に関する評価研究』今泉静代
(お茶の水女子大学 1999 年度卒業論文)

10.『住まいQ&A　室内汚染とアレルギー』吉川翠・小峯裕己・松村年郎
(1999・井上書院)

mithilfe der einzelnen Isolinien (z.B. 4 Tage) ermittelt, welchen Beitrag ein Stundenwert, der beispielsweise auf dieser Isolinie liegt, zur Sporenauskeimung beiträgt, nämlich 1/(4 Tage · 24 Stunden) = 0,01. Diese Werte werden addiert und als zeitlicher Verlauf aufgetragen. Erreicht der Summenwert 1, so wird davon ausgegangen, dass die Sporenauskeimung erreicht ist und der Pilz zu wachsen beginnt. Dadurch ergibt sich eine einfache Bewertungsmöglichkeit; es kann auf diese Weise angegeben werden, ob es in einem bestimmten Zeitraum zu Sporenauskeimung kommt. Analog kann mithilfe der substratspezifischen Isoplethensysteme für Myzelwachstum bestimmt werden, wie stark Pilze maximal wachsen. Liegt ein Stundenwert im Isoplethensystem beispielsweise im Bereich von 6 mm Wachstum pro Tag, so bedeutet dies, dass der Pilz im betrachteten Stundenzeitraum um 6 mm pro 24 Stunden, also um 0,25 mm wächst. Es erfolgt auch hierbei wieder die Bildung eines Summenwertes.

Als Anwendungsbeispiel dient hierzu ein in [3] beschriebener Schadensfall. Dabei wurde im Schlafzimmer einer Wohnung im 1. Obergeschoß an der nordöstlichen Außenwand eines im Jahr 1955 gebauten und 1993/94 sanierten Gebäudes Schimmelpilzbefall hinter einem Einbauschrank festgestellt. Die innere und äußere Oberflächen- sowie Lufttemperatur wurde während einer kalten Periode über eine längere Zeitspanne gemessen und ausgewertet. Des weiteren war die relative Feuchte im Schlafraum meßtechnisch erfaßt worden. In *Bild 4* unten sind auf Basis dieser Meßwerte die ermittelten Ergebnisse für die Sporenauskeimung an der Wandinnenoberfläche in Wandmitte, in der Raumecke und hinter einer Möblierung an der Außenwand dargestellt. Nur hinter der Möblierung ergibt sich eine rasche Sporenauskeimung. In der Raumecke wird die Sporenauskeimung erst nach wesentlich längerer Zeit erreicht. In *Bild 4* oben ist das zu erwartende Pilzwachstum dargestellt. In der Raumecke wird durch kurzzeitig vorhandene gute Wachstumsbedingungen die Sporenauskeimung erreicht; es kommt allerdings zu keinem nennenswerten Myzelwachstum. Dies ist hinter einer Möblierung anders. Dort wird ein großflächiger Pilzbefall prognostiziert, was auch in der Realität beobachtet werden konnte. Weitere Anwendungsbeispiele sind in [1; 6; 7; 8; 9] genannt.

5. Schlussfolgerung

Die Beurteilung von Schimmelpilzbelastungen setzt einen hohen Sachverstand voraus. Eine eindeutige gesundheitliche Gefährdungsabschätzung ist aufgrund des jetzigen Wissensstandes nicht möglich. Im Sinne der Vorsorge sollte allerdings die Belastung von Innenräumen mit Schimmelpilzen minimiert werden. Mithilfe eines neuentwickelten Vorhersagemodells können für reale instationäre Randbedingungen baulich und nutzungsbedingte Wachstumswahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Dies erleichtert ganz wesentlich, Aussagen über die Wirksamkeit von Sanierungs- oder Verbesserungsmaßnahmen zu machen. Durch die Anpassung der Beurteilungsklassen an den aktuellen Stand des Wissen kann dieses Modell, das bei seiner Entwicklung noch von einer anderen Gefährdungsbeurteilung [4] ausging, aktualisiert werden.

Literatur

[1] *Sedlbauer, K.:* Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).

[2] Landesgesundheitsamt (LGA) Stuttgart: Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. http://www.landesgesundheitsamt.de/

[3] *Lorenz W.:* MVOC-Bestimmungen zur Erkennung mikrobieller Schäden in Gebäuden. Handbuch für Bioklima und Lufthygiene (Hrsg. *Morsike, Turowski*), Kap. III-4.4.5. ecomed Verlag, Landsberg am Lech, (2001).

[4] Landesgesundheitsamt (LGA) Stuttgart: Probenahmeverfahren, Probenaufarbeitung und Nachweisverfahren von Schimmelpilzen und deren Stoffwechselprodukten im Innenraum (unveröffentlicht: 01.2001).

[5] *Grant, C.; Hunter, C. A.; Flannigan, B.* und *Bravery, A. F.:* The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. International Biodeterioration 25 (1989) H. 3, S. 259–284.

[6] *Sedlbauer, K.; Zillig W.* und *Krus, M.:* Isoplethensysteme ermöglichen eine Abschätzung von Schimmelpilzbildung. IBP-Mitteilung 28 (2001), Nr. 388.

[7] *Sedlbauer, K; Krus, M.* und *Zillig, W.:* Vorhersagemodell zur Schimmelpilzbildung bei Wechselklima – Praktische Beispiele. Tagungsbeitrag zum Architekten- und Ingenieurtag zum Thema Bauphysik im Holzbau, 27. Apr. 2002, Nürnberg, S. 43–55.

[8] *Sedlbauer, K.:* Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen – Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. Eingereicht bei der Zeitschrift Bauphysik. Erscheint demnächst.

[9] *Sedlbauer, K.* und *Krus, M.:* Biohygrothermisches Verfahren zur Schimmelpilz-Vorhersage. Methodische Aspekte, Validierung und exemplarische Anwendungen. Eingereicht bei der Zeitschrift Bauinstandsetzen.

Acknowledgement

Folgende Arbeitsgruppen und Mitglieder waren bei der Erstellung von [2] beteiligt:

- Untersuchungsplanung (Frau *Richardson*, Frau *Dr. Dill*, Frau *Dr. Grüner*, Herr *Dr. Klus*, Herr *Dr. Lorenz*, Herr *Dr. Palmgren*, Herr *Dr. Trautmann*, Herr *Dr. Winkens*)
- Probenahmeverfahren, Probenaufarbeitung und Nachweisverfahren von Schimmelpilzen mittels Kultivierung im Innenraum einschliesslich Begehungsprotokoll und bauphysikalische Ursachenermittlung (Herr *Dr. Gabrio*, Frau *Dr. Dill*, Herr *Dr. Duggal*, Herr *Dr. Klus*, Herr *Dr. Hüster*, Herr *Münzenberg*, Herr *Dr. Palmgren*, Frau *Dr. Szewzyk*, Herr *Dr. Trautmann*, Frau *Weidner*, Herr *Dr. Winkens*)
- Quellensuche mittels MVOC-Bestimmung (Herr *Dr. Palmgren*, Herr *Dr. Fischer*, Herr *Dr. Lorenz*, Herr *Dr. Schuchardt*)
- Gesamtzellzahl (Herr *Dr. Trautmann*, Herr *Dr. Palmgren*)
- Indikatororganismen aus baulicher Sicht (Frau *Dr. Dill*, Herr *Dietze*, Herr *Dr. Gabrio*, Herr *Dr. Klus*, Herr *Dr. Lorenz*, Herr *Dr. Palmgren*, Herr *Dr. Spaaij*, Frau *Weidner*)
- Umweltmedizinisch relevante Schimmelpilze in der Innenraumluft (Frau *Dr. Grüner*, Herr *Dietze*, Herr *Dr. Fischer*, Herr *Dr. Lichtnecker*, Herr *Dr. Palmgren*, Frau *Richardson*, Prof. *Dr. Schwenk*, Herr *Dr. Schönherr*)
- Erstellung von Kategorien zur Beurteilung einer Schimmelpilzbelastung (Herr *Dr. Trautmann*, Herr *Dr. Gabrio*, Herr *Dr. Klus*, Frau *Dr. Jovanovic*, Herr *Dr. Palmgren*, Herr *Dr. Rauland*, Frau *Rieve*, Frau *Dr. Szewzyk*, Frau *Weidner*)
- Externe Qualitätssicherung der Bestimmung von Pilzen/Schimmelpilzen in Innenräumen (Herr *Dr. Seidl*, Herr *Dr. Gabrio*, Herr *Dr. Grün*, Herr *Dr. Lorenz*, Herr *Dr. Rabe*, Herr *Prof. Schwenk*, Frau *Dr. Szewzyk*, Frau *Weidner*)
- Sanierung aufgrund eines Schimmelpilzbefalls (Herr *Dr. Gabrio*, Frau *Dr. Grüner*, Herr *Dr. Lorenz*, Frau *Richardson*, Herr *Dr. Trautmann*).

Untersuchung über Schimmelpilze und außenseitige Wärmedämmung des Betonbaus bei Krankenhäusern

Tatsuaki Tanaka und Fumika Kobayashi

Eine außenseitige Wärmedämmung des Betonbaus zeichnet sich durch folgende Vorteile aus:

1. Die an der Außenseite des Gebäudes angebrachte Wärmedämmung wirkt wie eine „Kleidung" über dem Baukörper, wodurch das Gebäude von Schwankungen der Außentemperatur und Sonneneinstrahlung geschützt wird. Der Baukörper bekommt dadurch seltener Risse.
2. Die gespeicherte Wärme des Betons wird an den Innenraum übertragen, so dass eine sofortige Abkühlung des Raums nicht stattfindet, auch wenn die Heizung während der Regelung abgeschaltet wird.
   Ebenso steigt im Sommer beim Abschalten der Kühlung die Innentemperatur nicht plötzlich an. Es ist also sehr behaglich im Raum.
3. Eine Kondensation in der Wand kommt nicht vor, weil der Wasserdampf ohne Behinderung nach Außen diffundieren kann. Es kommt auch nicht zur Schimmelpilz- oder Zeckenvermehrung, welche sich von Schimmelpilzen ernähren.
4. An bestehenden Gebäuden kann außenseitige Wärmedämmung leichter nachträglich angebracht werden. In extremen Fällen kann man die Betonwand ohne Beschichtung lassen, so dass von verdunstenden Chemikalien aus, Klebstoff oder Farbanstrich verschont werden kann.

In Europa wird bei vielen Gebäuden außenseitige Wärmedämmung angewandt, während sie in Japan eine Ausnahme ist.



Bild 1. T-Krankenhaus in Chiba mit außenseitiger Wärmedämmung.

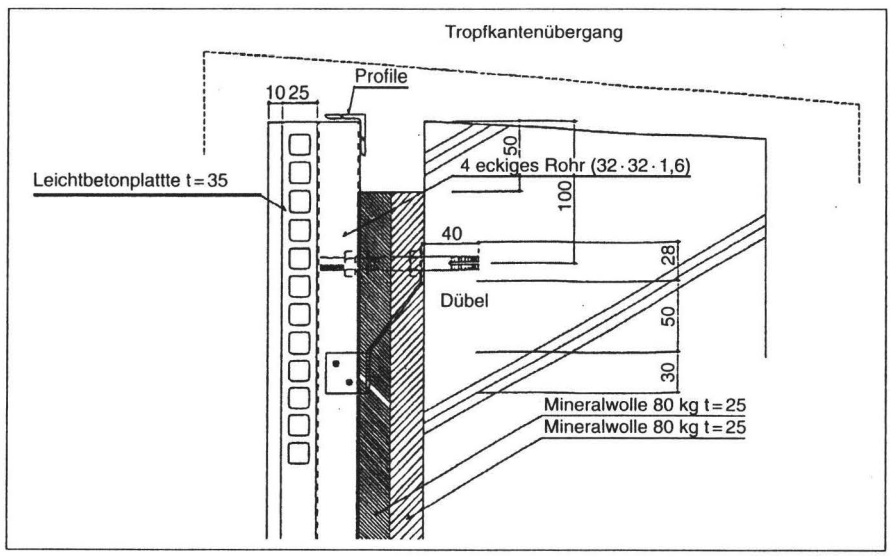


Bild 2. Schnitt der Außenwand.

1. Wärmedämmung der Krankenhäuser

Es gibt wohl kaum ein Gebäude oder einen Raum ohne Schimmelpilze, es sei denn, es ist ein Reinraum.

Krankenhäuser bilden keine Ausnahme. Der Einfluss der Schimmelpilze auf den menschlichen Körper ist sehr unterschiedlich. Man spricht von opportunistischen Infektionen; wie beim Heuschnupfen gibt es sowohl Leute, die darunter leiden, als auch solche, die nichts davon spüren. In Krankenhäusern jedoch, die Einrichtungen für abwehrgeschwächte Menschen sind, kann Schimmelpilzwuchs natürlich nicht hingenommen werden. Im folgenden berichten wir über die Untersuchung der Anzahl und Arten der Schimmelpilze und Bakterien im T-Krankenhaus in der Präfektur-Chiba, wo am westlichen Gebäudeteil eine außenliegende Wärmedämmung ausgebracht wurde, wogegen der östliche Teil ohne Wärmedämmung blieb, und

Prof. Dr. Tatsuaki Tanaka und Fumika Kobayashi, Ochanomizu University, 2-1-1, Otsuka, Bunkyo-ku, Tokio, 112-0012, Japan.

im O-Krankenhaus der Präfektur Nagano, dessen westlicher Gebäudeteil mit einer außenseitigen Wärmedämmung ausgestattet wurde.

2. T-Krankenhaus in Chiba

Stahlbetonbau, viergeschossig
Gebäudefläche: 1613,29 m³
Gesamtwohnfläche: 4308,51 m³
Bettenzahl: 166

Im Jahre 2001 wurde eine außenseitige Wärmedämmung ans bestehende Krankenhausgebäude angebracht. Das Aussehen des T-Krankenhauses zeigt *Bild 1*.

2.1 Anbringung der außenliegenden Wärmedämmung

Für die Wärmedämmung der bestehenden Außenwand aus Stahlbeton wurden zwei Schichten von 25 mm dicken Steinwolle-Platten aufeinander geklebt, so dass eine insgesamt 50 mm dicke Wärmedämmschicht mit Hinterlüftung entstand. Die Hinterlüftungsbreite beträgt 32 mm. Die Schlussbeschichtung erfolgte mit stranggepressten Betonplatten und Flies, die Dicke beträgt 35 mm. Dieser Aufbau wird in *Bild 2* gezeigt. Um diese Hinterlüftungsschicht anzubringen wurde ein Vierkantstahlrohr 32 mm x 32 mm, mit 1,6 mm Wanddicke benutzt. Die Befestigung der außenseitigen Wärmedämmung zeigt *Bild 3*.

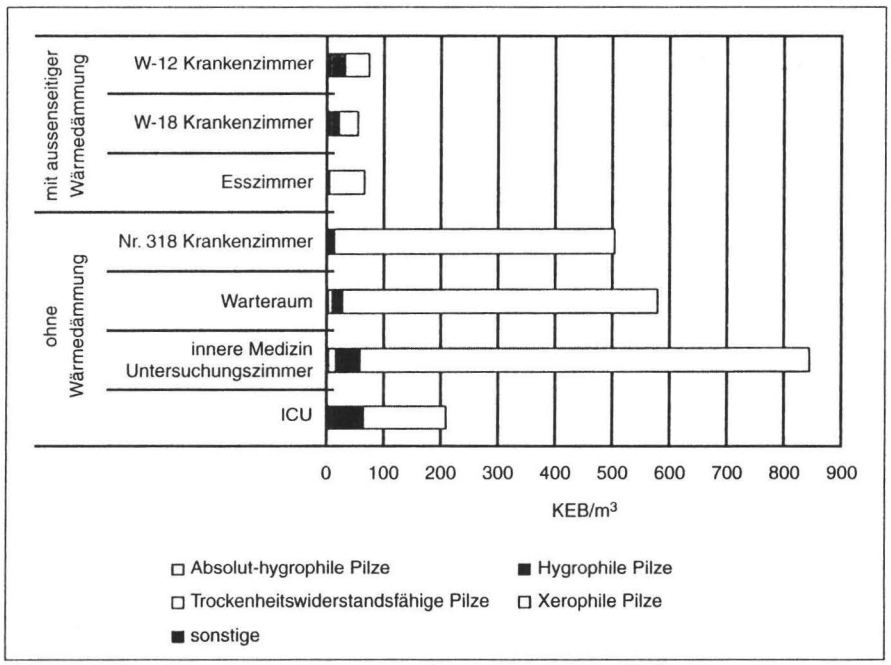


Bild 4. Anzahl der in der Luft schwebenden Schimmelpilze (PDA).



Bild 3. Befestigung der außenseitigen Wärmedämmung.

2.2 Messungen von Schimmelpilzen und Bakterien

Es wurden drei Messungen durchgeführt, am 22. August, 13. Oktober und 21. Dezember 2001. Mit einem *Assmann*-Ansaugfeuchtemesser wurden in jedem Raum die Raumtemperatur und Feuchtigkeit gemessen. Die in der Luft schwebenden, fallenden und anhaftenden Schimmelpilze und Bakterien wurden gleichzeitig untersucht.

Dabei wurden die in der Luft schwebenden Pilze und Bakterien mit MAS-(*Merck*) und RCS-Luftprobensammlern (*Biotest*) erfasst. Für den MAS-Luftprobensammler wurden PDA-Nährboden (für Schimmelpilze), M40Y-Nährboden (für Schimmelpilze) und NA-Nährboden (für allgemeine Bakterien) benutzt, das angesaugte Luftvolumen betrug 320 Liter, und die Messung wurde in der Mitte jeden Zimmers ausgeführt. Die Nährböden wurden im Laboratorium der Verfasser hergestellt. Mit jedem Nährboden wurde die Messung dreimal wiederholt.

Für den RCS-Luftprobensammler hat man Agarstreifen von *Biotest* für Hefepilze und allgemeine Bakterien benutzt, das angesaugte Luftvolumen betrug 320 Liter, und die Messung fand in der Mitte jeden Zimmers statt. Mit jedem Agarstreifen wurde die Messung dreimal wiederholt. Für die in der Luft anfallenden Schimmelpilze und Bakterien hat man die Schale des PDA-Nährbodens und die des M40Y-Nährbodens, beide im Labor des Verfassers hergestellt, 30 Minuten lang offengelassen, verschlossen und in das Labor zurückgenommen. Nachdem bei 25 °C sieben Tage lang kultiviert wurde, identifiziert und gezählt. Die Messung erfolgte an den vier Ecken in jedem Zimmer. Für die anhaftenden Schimmelpilze und Bakterien wurde Sabu-

ro-Agar eingesetzt, der an der zu untersuchenden Entnahmestelle aufgelegt und leicht angedrückt wurde.

2.3 Ergebnisse

Im *Bild 4* wird die Anzahl der in der Luft schwebenden Schimmelpilze und Bakterien im wärmegedämmten Gebäudeteil und im Gebäudeteil ohne Wärmedämmung gegenübergestellt. Die Anteile der Arten der in der Luft anfallenden Pilze und Bakterien sind im *Bild 5* zusammengestellt. *Bild 6* zeigt die anteilmäßige Darstellung der Arten der Mikroben nach ihren Eigenschaften. In jedem Zimmer ist der Anteil der Cladosporien am größten. Wie aus *Bild 4* und *5* ersichtlich, ist die Anzahl der Schimmelpilze im Gebäudeteil mit Wärmedämmung deutlich kleiner, als im Gebäudeteil ohne Wärmedämmung. Diese Tendenz wurde nicht nur im T-Krankenhaus, sondern auch im O-Krankenhaus in der Präfektur Nagano beobachtet.

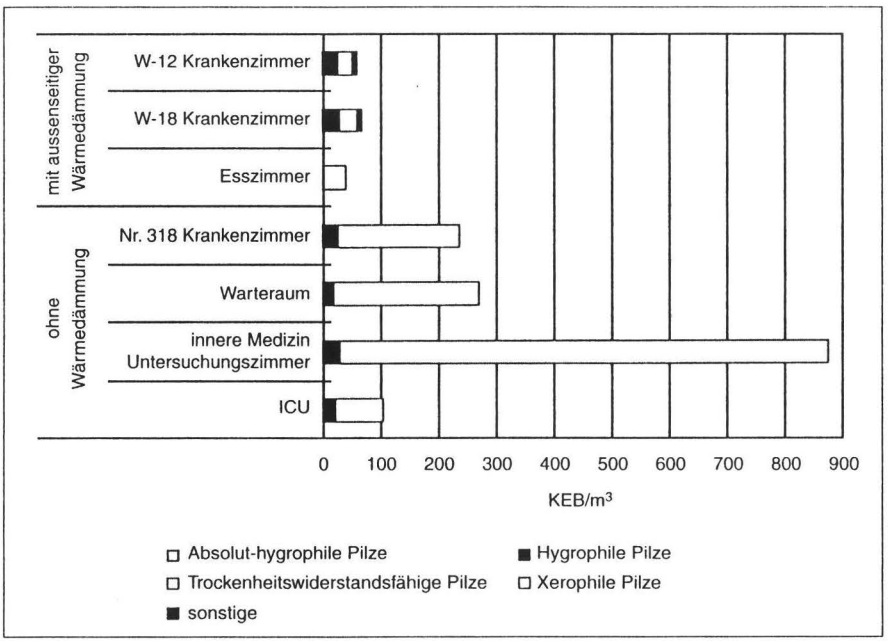
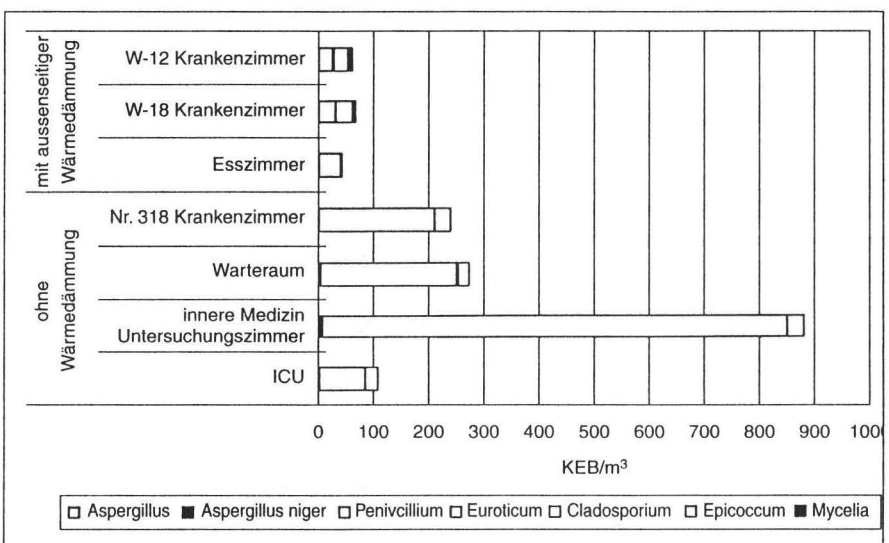


Bild 5. Anzahl der in der Luft schwebenden Schimmelpilze (M40Y).



	ohne Wärmedämmung				mit aussenseitiger Wärmedämmung		
	ICU	innere Medizin Untersuchungs-zimmer	Warte-raum	Nr. 318 Kranken-zimmer	Ess-zimmer	W-18 Kranken-zimmer	W-12 Kranken-zimmer
Aspergillus	0	0	0	0	0	1	0
Aspergillus niger	0	7	3	0	0	0	0
Penicillium	84	841	247	210	39	30	24
Eurotinum	0		1	0	0	1	3
Cladosporium	22	31	20	28	3	30	26
Epicoccum	0	0	0	0	0	0	2
Mycelia	0	0	0	0	0	6	6

Bild 6. Anteile der Arten der Pilze nach ihren Eigenschaften (M40Y).

2.4 O-Krankenhaus in Präfektur Nagano

Stahlbetonbau, fünfgeschossig
Gebäudefläche: 5021,79 m²
Gesamtwohnfläche: 16418,68 m²
Bettenzahl: 284 Betten

Auf der sehr gealterten Außenwand des westlichen Gebäudeteils wurde eine außenliegende Wärmedämmung angebracht. Die Renovierung begann am 19. August 2001 und dauerte bis 18. Januar 2002. Dieser westliche Gebäudeteil wurde im Jahre 1971 gebaut, damals jedoch ohne Wärmedämmung. Bei der Außenwandrenovierung 2001 wurde eine außenseitige Wärmedämmung mit Dämmplatten aus Polystyrol-Hartschaum mit einer Dicke von 55 mm angebracht. Die Fenster dieser Außenwand hatten ursprünglich Einfachglasscheiben, bei der Renovierung 2001 hat man zusätzlich zur Einfachverglasung eine Vakuum-Doppelverglasung eingesetzt. Der östliche fünfgeschossige Gebäudeteil wurde im Jahre 1994 gebaut und hat eine innenseitige Wärmedämmung aus Urethan-Schaumplatten mit einer Dicke von 30 mm. Die Fensterscheiben sind Doppelglasscheiben. Bei der Renovierung 2001 wurde am östlichen Teil nichts geändert.

Eine Ansicht des O-Krankenhauses *Bild 7*.

2.5 Anbringung der außenseitigen Wärmedämmung

Bei den bestehenden Außenwänden wurden Teile mit großen Schäden mit einem neuen Mörtelputz versehen. Darauf wurden Dämmplatten von 55 mm Dicke befestigt, wobei das sogenannte WDVS(Wärmedämmverbundsystem) eingesetzt wurde.

Die Renovierungsarbeiten zeigen die *Bilder 8* bis *10*.



Bild 7. O-Krankenhaus in Nagano.



Bild 9. Das Armierungsgewebe in die mit Klebemörtel vollständig geputzte und eingebettete Wandfläche, dient zum Verfestigen der Platten.

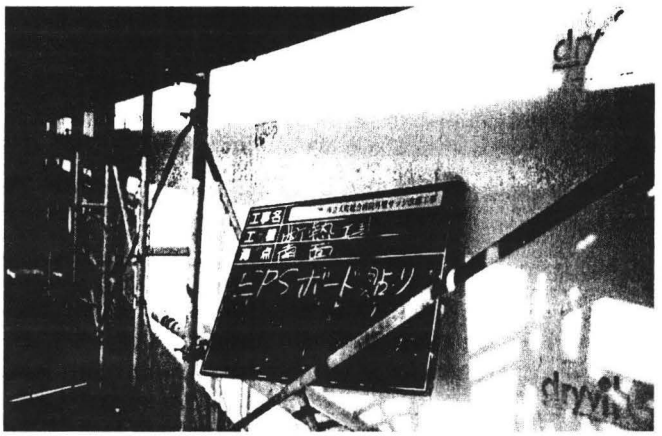


Bild 8. Befestigung der Hartschaumplatten mit Klebemörtel.

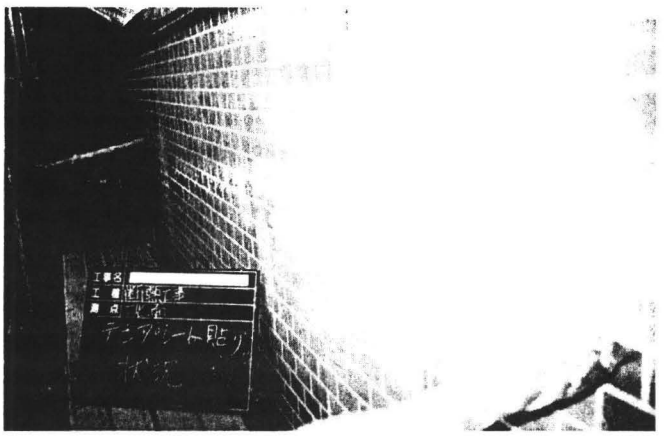


Bild 10. Verlegen der Flachverblender.

2.6 Messungen der Schimmelpilze

Im O-Krankenhaus wurden am Jahreswechsel 2001/2002 ebenfalls Untersuchungen der Schimmelpilze durchgeführt, analog zu den Untersuchungen im T-Krankenhaus in der Präfektur Chiba.

2.7 Ergebnisse

Bild 11 stellt die Anzahl und Arten der in der Luft schwebenden Pilze und Bakterien mit Hilfe des RCS-Luftprobensammlers im westlichen und östlichen Gebäudeteil gegenüber, *Bild 12* die Ergebnisse vom PDA-Nährboden und M40Y-Nährboden. Beide Proben wurden mit dem MAS-Luftprobensammler genommen. Es ist ersichtlich, dass die Anzahl der Schimmelpilze und Bakterien nach der Renovierung abnahm. Nachdem die Außenwand mit einer außenliegenden Wärmedämmung versehen worden ist, ist der Anteil an hygrophilen Schimmelpilzen zurückgegangen, der vor der Renovierung dominierend groß war. Die meisten Pilzarten sind jetzt trockenbeständig und absolut hygrophil. Zur Beurteilung der Anzahl (viel oder wenig) wurden europäische Richtlinien herangezogen. Diese Richtlinien sind in *Tabelle 1* zusammengestellt.

Am 6. Januar 2002, spät nachmittags wurde mit der Thermo-Kamera die Oberflächentemperaturen der Außenwände, des westlichen und östlichen Gebäudeteils gemessen. Am westlichen Gebäudeteil, mit außenliegender Wärmedämmung, entsprach die Oberflächentemperatur der Außenwand mit 0 °C in etwa der Außenlufttemperatur, wogegen am östlichen Gebäudeteil ohne Wärmedämmung die Oberflächentemperatur der Außenwand etwa 7 °C betrug. Womit deutlich wird, dass hier ein großer Teil der Wärme aus dem Innenraum nach außen übertragen wird. Nachdem durch die Ratifizierung des Kyoto-Protokolls die Verringerung der CO_2-Emmission dringend gefordert wird, ist eine Energieeinsparung unbedingt erforderlich. Dafür ist die Wärmedämmung eine sehr effiziente und überzeugende Methode. Wärmedämmung in kalten Gebieten hat eine große Bedeutung, besonders in Japan, wo die Entwicklung auf diesem Gebiet in Rückstand geraten ist.

Tabelle 1. Orientierungswerte für Luftkeimbelastungen des Innenraums, nach: Biological Particles in Indoor Environments. 1993. Indoor Air Quality & Its Impact On Man. European collaborative action. Report No. 12. Commission of the Europeen Communities. Indoor Pollution Unit. Ispra. Italy.

Kategorie	Bakterien(KBE/m3)	Pilze (KBE/m3)
sehr niedrig	< 50	< 25
niedrig	< 100	< 100
mittel	< 500	< 500
hoch	< 2000	< 2000
sehr hoch	≥ 2000	≥ 2000

3. Schluss

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass durch außenseitige Wärmedämmung die Anzahl der Schimmelpilze verringert wird. Die Untersuchung wurde jedoch nur im Winter gemacht, wo die Wirkung der außenseitigen Wärmedämmung am deutlichsten zum Tragen kommt. Die Autoren wollen die Untersuchung weiterführen, und unter Einbeziehung der Ergebnisse von Übergangszeiten und Sommer eine Schlussfolgerung ziehen.

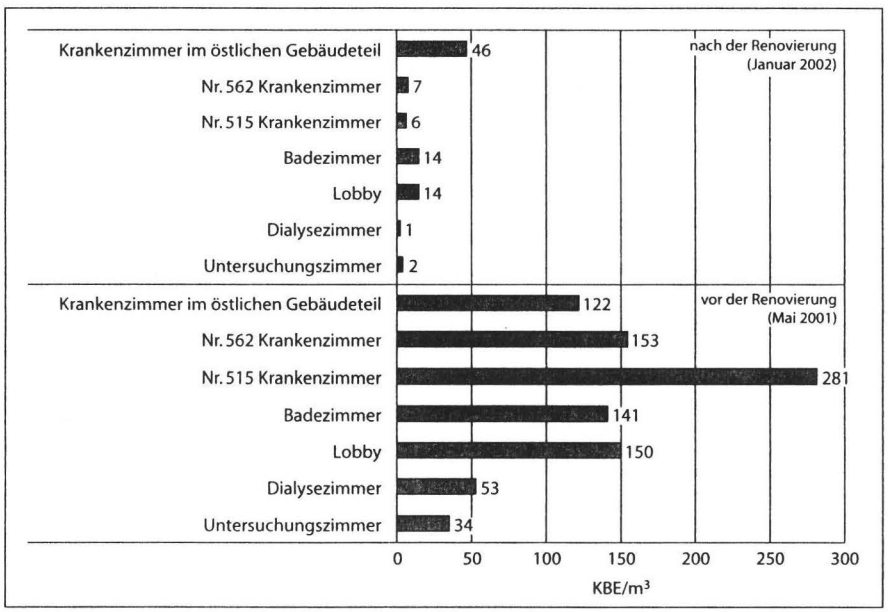


Bild 11. Anzahl der in der Luft schwebenden Schimmelpilze mit Hilfe des RCS-Luftprobensammlers vor und nach der Renovierung.

Danksagungen

Den Leitern des T-Krankenhaus und des O-Krankenhauses sowie allen, die uns bei den Messungen freundlicherweise geholfen haben, möchte ich herzlich danken.

Ich möchte auch mit Dank hervorheben, dass diese Untersuchung mit öffentlichen Mitteln für die Förderung wissenschaftlicher Untersuchungen getragen wurde.

Literatur

[1] Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Tagungsbericht „Biologische Arbeitsstoffes – Vielfältige Tätigkeiten und neue Rechtsgrundlagen".

[2] *Beckert, J.; Esdorn, H.; Gundermann, K. O.; Kraupner, K.-W.* und *Schmidt, P.:* Beuth-Kommentare, Raumlufttechnische Anlagen in Krankenhäusern.

[3] *Scheer, F. A.:* Einfluss der Turbulenz einer Verdrängungsströmung in Operationsräumen auf Transport und Sedimentation von Mikroorganismen, 1998.

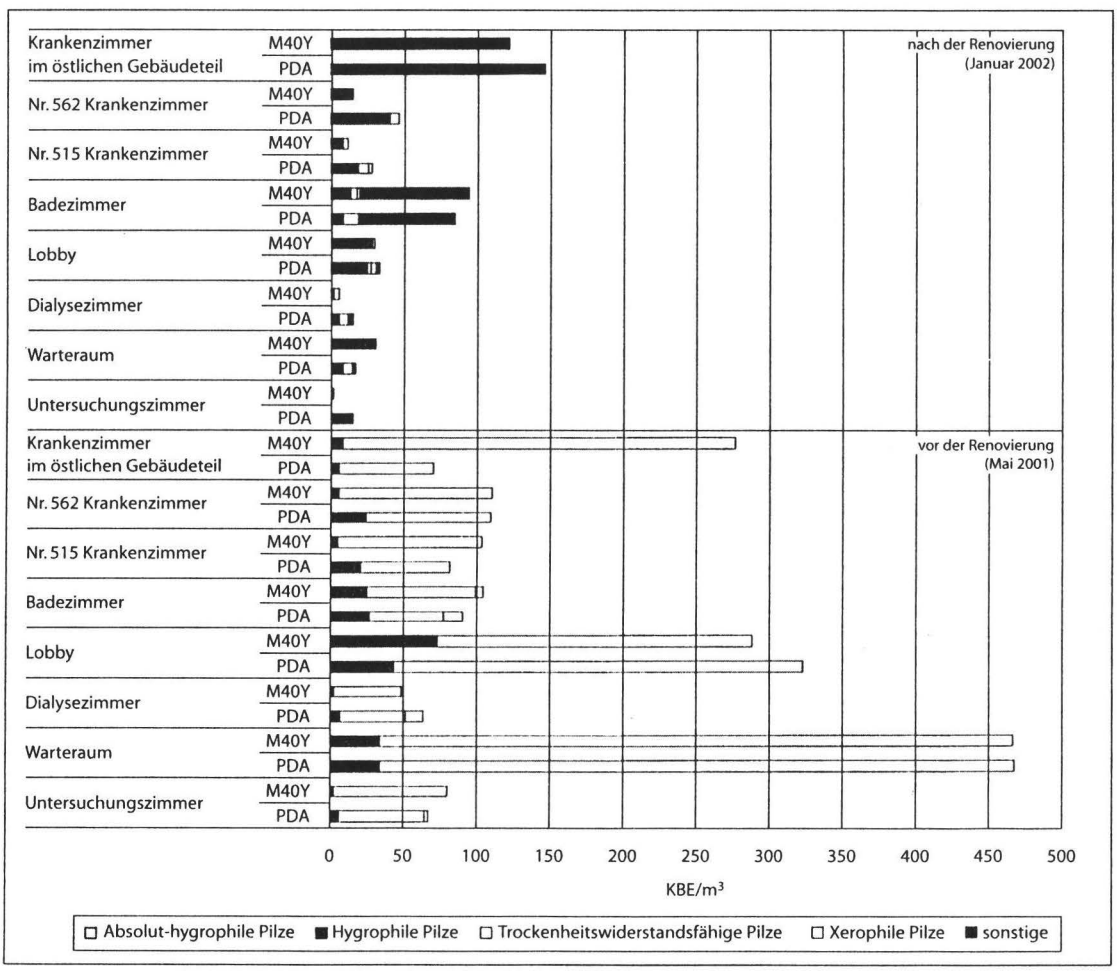


Bild 12. Anzahl der in der Luft schwebenden Schimmelpilze mit Hilfe des MAS-Luftprobensammlers vor und nach der Renovierung.

1－17　アルミニウム外装建材クリーニンゲ剤の評価研究

科学技術庁無機材質研究所工学博士
主任研究官　和田健二

1．はじめに

アルミニウム外装建材を用いた建築物のストックは、今日膨大な量にのぼっているにもかかわらず、適切な維持保全が行われているものは少ない。このことは、建物の経済価値を失う結果になっている。平成１０年度、財団法人トステム建材産業振興財団の助成を受けて「アルミニウム外装建材のメンテナンスの実態と研究」のアンケートを実施した。その結果、まだまだ外装クリーニングの認識度が低く、外壁クリーニング関連費用は建物の維持管理費用の3.8%と低いことが判った。またクリーニング方法およびその技術等も明確になっていない状況であった。

このような背景のもと、本研究では、広くクリーニング技術向上に寄与することを目的として、「今日市販されているアルミニウム外装建材用のクリーニング洗浄剤等を調査、収集し、それらの洗浄試験を行うことによってその効果を確認し、目的に合った洗浄剤の選定および使用方法をまとめる」こととした。

ここでは、協力いただいた各社の「アルミニウム外装建材用洗浄剤」について、資料による検討および評価試験結果について報告する。

2．メンテナンスの必要性とその効果

アルミニウム建材の経過年数と汚れ及び劣化程度に対するメンテナンス効果の概要を図１に示す。汚れの付着程度で実質的な劣化のない範囲を劣化レベルⅠとする。このレベルでの清掃を定期的に行うことが理想的であり、初期の美観が維持でき、いつまでも美しい健全な建物を保つことが可能となる。汚れ固着、チョーキング、シミ等の表面劣化現象範囲を劣化レベルⅡとして区分し、ここでは適切なメンテナンスにおいても徐々に劣化が進行する可能性が高い。実際のメンテナンスは、この劣化レベルⅡにおよぶものが大半を占めている。

今回調査した洗浄剤は、主にこれら劣化レベルⅠ、Ⅱの範囲で使用されているものである。

3．アルミニウム外装用洗浄剤の調査

アルミニウム外装材のメンテナンスを実施している会社または、洗浄剤を市販している会社１８社から、薬品の資料をいただいた。内訳は外壁クリーニング会社が１０社、薬品会社が８社であった。また３２製品のアルミニウム用洗浄剤の資料をいただいた。それら製品の一覧を表１に示す。

３．１　洗浄剤のｐＨ値と適応材料

提供された洗浄剤のｐＨによる分類を図２に示す。アルミニウム建材の洗浄には、一般的に材質保護の面から、中性の薬品が使用される傾向にあり、実際中性の洗浄剤が大半を占めている。中性の洗浄剤は、成分に研磨剤を含むものと含まないものに分かれ、また剥離、錆除去等の特殊用途向けの洗浄剤もある。酸性または強アルカリ性の特性を生かした、錆、スケール、塵埃および水垢除去用洗浄剤もある。

図３は、建材９材質に対する洗浄剤の適応性を示したものである。アルミニウム用洗浄剤ではあるが、他の材質に対してもかなりの適応性が見られる。しかし「他の材質用であってアルミニウムにも使用できます」と書かれているものは基本的にアルミニウムに使用できないと判断すべきである。洗浄剤の使用に当たっては、使用方法、材質への影響等を十分確認すべきである。

図４は、洗浄剤のｐＨと使用可能材質についてプロットしたものである。どの材質についても酸性から強アルカリ性までの広いｐＨ範囲の薬品が用意されているが、中性域の洗浄剤が多い。これは汚れと材質（アルミ材）の関連から洗浄剤が設計されているためと判断される。すなわち、多種多様の汚れに対して、錆び等は酸性、カビ・苔・塵埃および強固な油汚れにはアルカリ性洗浄剤が適している。そして大気汚染、軽微な汚れ、油膜、ほこり等付着状態の汚れは中性洗浄剤で洗浄できる。反面アルミニウム（陽極酸化皮膜）材料は、酸性およびアルカリ性薬品で侵食されやすい。表面を強く擦るとすり傷等も生じやすい。

３．２　洗浄剤の汚れへの適応性

図５は洗浄剤の対象とする汚れ（除去可能な汚れ物質）への適応性を示す。大気汚染物質、塵埃、軽微な汚れ等の劣化レベルＩの汚れに対しては、中性洗浄剤で対応できることが伺い知れる。しかし劣化レベルIIの範囲になると、頑固な汚れに対しては中性洗浄剤の中でも研磨剤入り製品で可能になる。錆、スケール、カビ・苔等の汚れは、洗浄性だけ見た場合、酸性またはアルカリ性洗浄剤が優れている。しかしアルミニウムは酸およびアルカリ性薬品によって侵され易いため、短期、長期の材質への影響等を考慮して使用しなければならない。この場合、洗浄剤の残留（水洗方法、洗浄剤のすすぎ性等）に配慮する必要がある。

３．３　洗浄剤の内容組成物

表２に今回提供された洗浄剤の性状と組成を示した。中性洗浄剤は、界面活性剤（中性を示すものが多い）を主体としたものが多く、研磨剤入り洗浄剤は、界面活性剤に素材への傷、擦り跡へ配慮した研磨剤が配合されている。再汚染防止剤を配合したもの、バイオ効果を有するもの、粘性のあるもの等、環境および作業性に配慮した製品も多かった。

酸性洗浄剤ではどの様な酸性の薬品を配合するかによって、大きな影響がもたらされる。通常スルファミン酸系は、アルミニウムや塗膜等に対して影響が少なく、錆・スケール等の固形物汚れに優位性がある。またフッ化アンモンは殆どの金属を侵食するが、洗浄力に優れている等の特長がある。しかし、これらが表面に残留すると徐々に腐食を促進して材料に致命的な障害を与えることがあるので注意したい。

アルカリ性洗浄剤は特殊用途、カビ、苔用の洗浄剤で塩素系殺菌剤が配合されているものであった。この洗浄剤も表面での残留に注意する必要がある。特にアルカリ成分は水洗でなかなか除去できないことを理解すべきである。

最近では、環境に配慮した無水洗の洗浄剤も市販されている。洗浄と保護膜形成を同時に行うことにより、水洗による薬品の除去を省略して、作業現場への飛散の防止および作業の効率を上げている。このタイプの処理剤には、界面活性剤、溶剤、研磨剤そして保護膜形成のためのフッ素系化合物が含まれている。

３．４　洗浄剤の使用方法

提供資料より洗浄剤の使用方法をまとめると、図６の様になる。基本は洗浄剤を均一に塗布し、汚れを磨き落とし、水洗後空拭きして仕上げる工程となる。

まず被洗浄物を濡れ雑巾等で水拭きし、濡れた表面を得る。次にスポンジ等を用いて洗浄剤を均一に塗布する。ここで研磨剤入りの洗浄剤では、部材のロール方向に沿って磨く様にし、頑固な汚れやひどい汚れを除去する。その後、水洗もしくは濡れ雑巾で十分に洗浄剤を除去する。最後に雑巾で空拭きして仕上げる。

洗浄兼保護膜形成剤には、汚れを除去するために磨き洗いした後、乾いた雑巾等で汚れおよび洗浄剤成分を拭き取り、均一に仕上げる。この時被洗浄物表面上には保護膜が形成される。

４．アルミニウム外装用洗浄剤の評価試験

資料提供いただいた内、６社より洗浄剤として15種類のサンプルをいただいた。洗浄剤の評価を目的として、物性試験、ふき取り試験、洗浄液滴下試験およびアルミニウム素材への影響試験を行った。

１５種類の洗浄剤は、便宜上、メーカ資料に明記された物性より、中性、酸性、弱アルカリ性、研磨剤入り、表面保護剤入り、およびフッ化物系洗浄剤に分類して評価した。

４．１　洗浄剤の物性測定

提供された１５種類の洗浄剤について、外観（目視）、臭い、ｐＨ（25℃）、粘度（Ｂ型粘度計、25℃）および水洗性を測定した。その結果を表３に示す。

ｐＨは、中性タイプは６～９、酸性タイプは１以下、弱アルカリ性タイプは１１、研磨剤入り洗浄剤では、弱酸の５から弱アルカリ性の９と幅があった。表面保護剤入り洗浄剤では９、フッ化物系洗浄剤は２～３であった。

臭いは、無臭からアルコール臭、ワックス臭、また故意に臭いを付ける等多種多様であった。これは製品の外観に対しても、着色したり、粘度を付与する等、作業性への考慮が見られた。

粘度は、全体的に洗浄剤は数１０mP・Sと低かったが、研磨剤入りおよび表面保護剤入り洗浄剤では数１００mP・S と高かった。

水洗性は、弱い水洗シャワーで洗浄剤の洗い流し易さを易難の２段階で客観的に判断した。研磨剤入り洗浄剤の水洗性は、粘度が高いこともあり良くなかった。また表面保護剤入り洗浄剤は基本的に水洗を行わないタイプであるため、水洗性は評価しなかった。

４．２　洗浄試験

洗浄試験に供した汚れ試験片は、表４に示す汚れ成分を配合した液を調整し、その液に陽極酸化アルミニウム試験片を浸漬して汚れを付着させた後、加熱乾燥させることを２度繰り返して作成した。

この汚れ試験片を用いて、洗浄液を含んだ布によるふき取り試験および洗浄液滴下試験を行い、その洗浄性を目視および色差ΔＥ（Ｌａｂ系）にて評価した。

４．２．１　ふき取り試験

ふき取りによる洗浄試験は、表４に示す様に、有効表面積９cm^2のアルミ製枠に洗浄剤を染み込ませた不織布を敷き、各々の重りを載せて、汚れ試験片面上をゆっくり引くことによって行った。その結果を表５に示す。洗浄効果はおおむね良好な結果が得られたが、ふき取る際の荷重により結果が左右された。汚れは、100gf/cm^2荷重では殆ど除去されたが、36 および 18gf/cm^2の荷重では、汚れが残った。機械力による物理的な作用も関与しているが、洗浄液の汚れへの浸透性および汚れを緩める作用も結果に反映されたと考えられる。

研磨剤入り洗浄剤は、本来“力を加えて汚れを削りとる”効果を付与した洗浄剤である。従って、このふき取り試験では、研磨剤による洗浄効果は直接反映していないと思われる。

４．２．２　洗浄剤滴下試験

この試験は、汚れ試験片上に洗浄液を垂らし、1 分後に水中で試験片をゆっくり左右にゆすって水洗した後の汚れの除去性を評価した。これは洗浄液の汚れへの浸透性および汚れを緩める作用を確認する目的で行った。すなわち、この試験では機械力は作用していない。その結果を表５に示す。ここでのΔＥ は試験前の汚れ試験片表面との色差を示しており、数値が大きい程汚れが除去されたことを表している。

中性洗浄剤では洗浄剤により差が見られた。酸性洗浄剤は非常に良い結果を示した。研磨剤入りおよび表面保護剤入り洗浄剤では粘度が高いこと、および配合成分（保護剤等）による浸透性への悪影響が見られた。

４．３　アルミニウム素材への影響試験

洗浄剤による陽極酸化アルミニウム表面への影響を接触試験により行った。試験は、黒色に電解着色した陽極酸化アルミニウム板に直径２５mm の円を油性マジックで描き、その中に洗浄液を垂らして、室内に一定時間（10 分、1 時間および 1 日）放置後、水洗し乾燥した。評価は試験前後の試験片表面の色差ΔＥ および目視によって行った。その結果を表５に示す。また、その表面状況を写真１に示す。フッ化物系洗浄剤を除いてどの洗浄剤でも 10 分程度の接触時間であれば変化はないが、1 時間および 1 日と接触時間が長くなると、僅かながらでも影響が見られた。特に酸性洗浄剤では顕著に変色が見られた。フッ化物系洗浄剤は 10 分でも直ちに変色が見られた。その表面の拡大写真（写真１）から、陽極酸化皮膜表面が溶解して細かで滑らかな特有の状態が観察された。

表面保護剤入り洗浄剤では、放置することにより水分が蒸発し、表面保護用の成分が残るため、色差ΔＥが大きくなったと思われる。

5．　メンテナンスのシステムとしての取り組み

今回の調査では、約半数の会社が総合的なメンテナンスに取り組み、独自の方法をシステム化して提供している。その詳細までは伺えなかったが、表８に示すような、長所・短所が考えられる。システムで取り組む最大の長所は、単なる清掃、修繕ではなく、事前の調査から、材料・環境への適合、顧客ニーズそしてアフターケアーに至る総合的な取り組みがなされていることである。今後この様な取り組みの長所を伸ばし、欠点をいかに克服するかが重要である。

6．　まとめ

多くの会社の協力により、アルミニウム外装建材に使用されている洗浄剤を多方面から検討することができた。その中で、表９に示す様に新しい技術による環境への配慮も多く見られた。

反面、いくつかの疑問、課題等も感じられた。

- 洗浄剤の原液使用　→　残留しやすい
  → 環境負荷が大きい
- 洗浄剤は十分に除去（水洗）されているか
  残留して後に影響を与えているのではないか
- 多種多様の外装材および汚れ、劣化現象にどこまで対応できているのか
- 劣化表面（材料）への適合は十分か？　また対応策は確立しているか
- メンテナンス会社が提唱している総合的システムは健全か

「今日市販されているアルミニウム外装建材用のクリーニング洗浄剤の評価試験」では、ほぼ予想通りの結果が確認された。しかし安易に使用すると、変色が生じたり、水洗性が悪かったりと、思わぬ事故につながりかねない製品も見受けられた。アルミニウム専用洗浄剤といえども、それを使用する際には、十分薬品の持つ特性を知り、適切に使用することが重要であることが再確認された。

実際に清掃やメンテナンスに携わっている関係者は長所も短所も理解していると思うが、より適切なそして健全なメンテナンスが行われるように、今後本調査研究結果を広く啓蒙してゆく所存です。

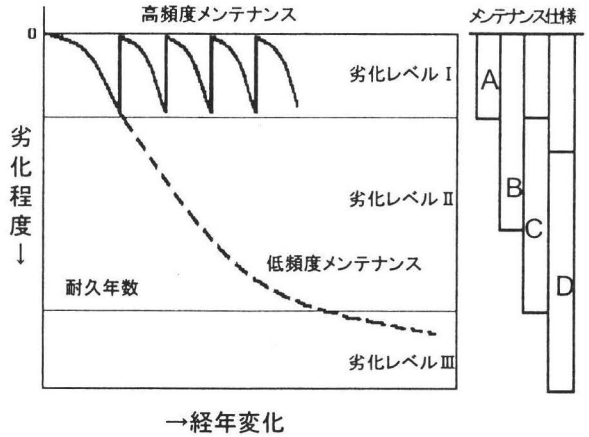


図1　アルミニウム建材の経年に対する劣化状況とメンテナンス効果

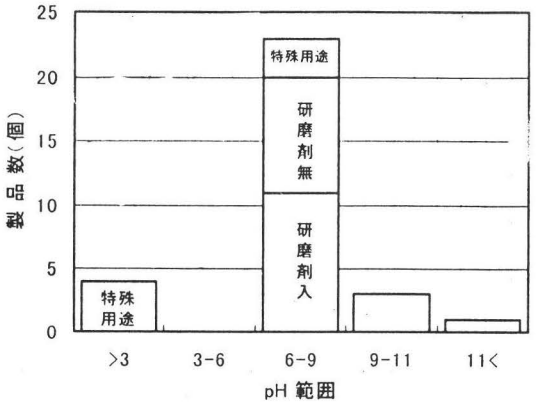


図2　アルミニウム外装建材用洗浄剤のpH範囲

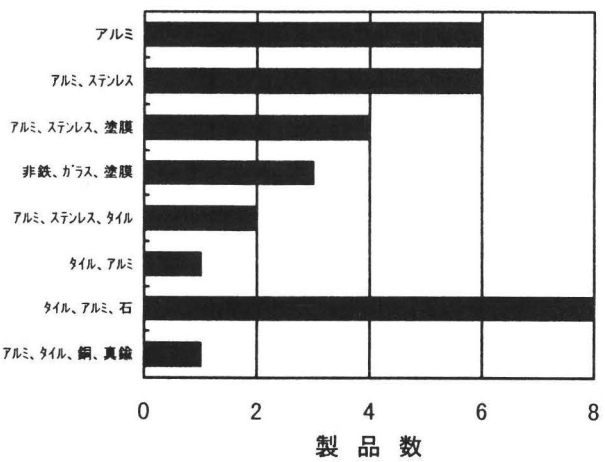


図3　洗浄剤の各種材質への適応性

表2 アルミ用洗浄剤の性状と組成

性状		組成
酸性		乳化剤／表面活性剤／希酸 スルファミン酸／湿潤剤／腐食抑制剤 一水素二弗化アンモニウム／界面活性剤
中性	研磨剤無	天然柑橘系油／無機塩類／特殊界面活性剤 陰イオン界面活性剤／AES 非イオン系弗素樹脂界面活性剤／アニオン系界面活性剤 バイオ種／食添用乳化剤 塩素系溶剤(90%) チオグリコール酸アンモニウム／増粘剤 高分子界面活性剤／再汚染防止剤／アルコール系溶剤
	研磨剤有	AES／研磨剤 食添用乳化剤／研磨剤 界面活性剤／溶剤／研磨剤 非イオン界面活性剤／石油系高沸点溶剤／研磨剤 研磨剤/アニオン界面活性剤/ノニオン界面活性剤/エタノール
アルカリ性		陰イオン界面活性剤／有機塩素系殺菌剤 非イオン系界面活性剤／複合キレート分散剤 ／脂肪族系炭化水素／アルカリビルダー
洗浄＋保護膜		有機フルオロ化合物／ワックス／乳化剤／研磨剤／溶剤 常温硬化型変性シリコン／炭化水素／シリカ／界面活性剤 ／研磨剤／溶剤 弗素系極性化合物／合成ワックス／研磨剤／界面活性剤 ／有機溶剤

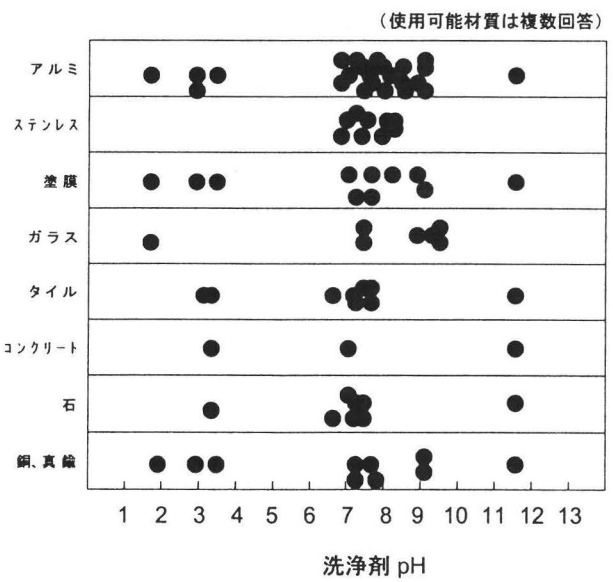


図4　洗浄剤のpH値と使用可能材質

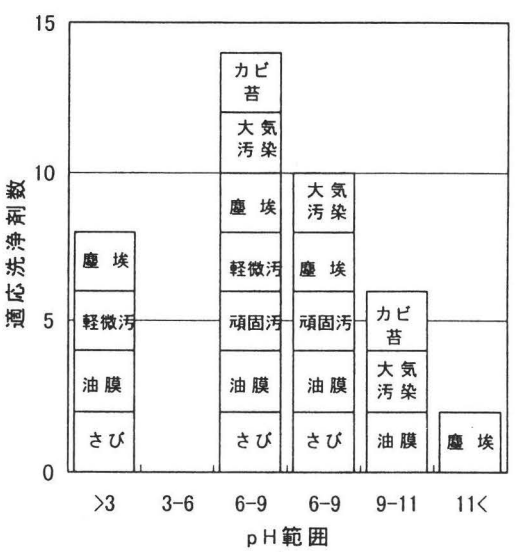


図5　洗浄剤と各種汚れへの適応性

表1　アルミニウム外装建材用洗浄剤一覧

分類名	対象材料	対象汚れ	使用方法	成　分	pH	外観	特　長	使用上の注意事項	包装単位
T−1	アルミ、ステンレス	頑固な汚れ タール、ニコチン	濡れ布でほこりを除去、　原液で磨き洗い、　濡れ布で拭き取り	天然柑橘油　　無機塩類 特殊界面活性剤	中性	透明水溶液	頑固な汚れに適し特にタール・ニコチンの除去には最適		
T−3	アルミ、ステンレス	汚れ、残存洗浄剤	濡れ布でほこりを除去、　原液で磨き洗い、　濡れ布で拭き取り	陰イオン界面活性剤 AES	7.7	透明水溶液	汚れや残存洗剤を除去するのに適した洗浄剤です		
T−5	アルミ、ステンレス	頑固な汚れ 錆、腐食・点食	濡れ布でほこりを除去、　原液で磨き洗い、　濡れ布で拭き取り	AES 研磨材A1203	7.6	エマルション	頑固な汚れ、錆等を素材を傷めず除去する洗剤です		
H−01	自然発色用電解着色用	頑固な汚れ 油膜	水拭き・洗剤で洗浄、スポンジで原液を塗布、布拭き等で汚れ除去 布で汚れの拭き取り、乾布で空拭	有機フルオロ化合物 ワックス、乳化剤、研磨剤 パラフィン系中沸点溶剤	8.1−8.7	乳白色粘稠液	洗浄と同時に保護膜を形成する 水によるすすぎ工程が不要		
H−02	外装パネル表面塗装用	頑固な汚れ 油膜	水拭き・洗剤で洗浄、スポンジで原液を塗布、布拭き等で汚れ除去布で汚れの拭き取り、乾布で空拭	有機フルオロ化合物 ワックス、乳化剤、研磨剤 パラフィン系中沸点溶剤	8.0−9.0	乳白色粘稠液	洗浄と同時に保護膜を形成する 水によるすすぎ工程が不要		
H−03	アルミパネルつや消し用	頑固な汚れ 油膜	水拭き・洗剤で洗浄、スポンジで原液を塗布、布拭き等で汚れ除去 布で汚れの拭き取り、乾布で空拭	有機フルオロ化合物 ワックス、乳化剤、研磨剤 パラフィン系中沸点溶剤	8.1−8.7	乳白色粘稠液	洗浄と同時に保護膜を形成する 水によるすすぎ工程が不要		
H−TF	アルミ等ビル外壁ガラス、サッシ	軽微な汚れ	5−10倍希釈し、均一にスプレー 乾いた布で拭き取る	非イオン系フッ素樹脂界面活性剤 アニオン系界面活性剤、　水	8.5−9.5	淡黄色低粘度液体	洗浄と同時に汚れ防止を兼ねる。 洗浄後水によるすすぎ工程が不要。強力な洗浄力		
TK−BE	ガラス、アルミ金属、石材、塗装樹脂等の建材		原液ー3倍希釈 布、スポンジ、ブラシで、またはスプレー等で洗浄、　水洗	バイオ種 食添用乳化剤	7.4	淡黄色液体	バイオで生成された酵素により有機物を分解。バイオは安定で安全。低環境負荷製品。食添用乳化剤は、安全で有機物汚れの洗浄性に優れ、微生物で分解し易い。		16L
TK−TG	タイル、アルミ、石材、塗装等の建材	強固な汚染物質	原液 スポンジ、パット等で塗布洗浄 水濡布で拭取	食添用乳化剤 研磨剤	7.4	緑色ペースト	有機物の汚れに対し高い洗浄性があり、微生物で分解しやすい。研磨剤によって洗浄力を補強し、素材面に与える影響をソフトに抑制する。		15kg
TK−TL	各種アルミ建材 タイル、銅、真鍮	複合固化汚染物 錆	原液を布、スポンジ等に付け塗布洗浄 水濡布で拭取		1.8	液体	アルミ建材に付着した複合固化汚染物の洗浄に抜群	塩素系漂白剤との併用厳禁	18L缶
TK−TP	各種アルミ建材 タイル、銅、真鍮	複合固化汚染物 錆	原液を布、スポンジ等に付け塗布洗浄 水濡布で拭取		1.8	ペースト	アルミ建材に付着した複合固化汚染物の洗浄に抜群	塩素系漂白剤との併用厳禁	18L缶
TK−T1	金属、タイル、石材、塗装、その他建材	排気ガス、油性汚れ、大気汚染	原液を布、スポンジ、スプレー洗浄 水洗(又は無)		6.8−7.2	液体	低泡性で使用後の泡問題がない。 排気ガス、油性汚染に有効 洗浄後の残汚染がない時は水洗不要		18L缶
K−C	アルミ ステンレス	軽微な汚れ 塵埃、大気汚染	原液を布で塗布磨き洗浄、水洗/水濡布で拭取、専用保護剤で仕上	界面活性剤、溶剤、研磨剤	8.0−8.5	乳白色液	洗浄、下地処理用		18L缶
K−CZ	アルミ ステンレス	油汚れ、シリコン汚れ強固な汚れ	原液をスポンジ／布で塗布し磨き洗浄。水洗/水濡布で拭取。専用保護剤で仕上	非イオン界面活性剤 石油系高沸点溶剤、研磨剤、水	8.0−8.5	エマルジョン	洗浄、研磨剤配合下地処理用	炎天下では、塗装面、シール面に長時間接触させない	18L缶
K−CC	アルミ ステンレス	頑固な汚れ 塵埃	原液をスポンジ、布で塗布磨き洗浄 専用保護剤でで仕上	常温硬化型変性シリコン、シリカ、溶剤 炭化水素、界面活性剤、研磨剤	8.0−8.5	ピンク色高粘度乳液	研磨剤配合仕上げ剤		18L缶
PW−P0	パネル・サッシガラス	油膜 煤煙	原液～10倍希釈液でブラッシング後水洗	特殊複合界面活性剤、複合キレート分散剤、脂肪族系炭化水素 アルカリビルダー	弱アルカリ	淡黄色液体			18kg
TR−RP	アルミ、塗装面 ステンレス	各種汚れ、強固な汚れ、チョーキング							
TR−SR	アルミ、塗装面 ステンレス	無機質汚れ							
TR−RR	アルミ ステンレス プラスチック	水垢、サビ ニコチン、 軽度の油汚	原液をスポンジで塗布し、 2−3分放置後水洗	乳化剤、　表面活性剤、　希酸	酸性	赤色水溶液	水垢を擦らずに洗浄できる	金属面や塗装面に飛び散った洗浄液によって変色の可能性がある。塩素系洗剤との併用厳禁	500mL
TR−S	非鉄金属 ガラス、樹脂塗装	白華 錆		スルファミン酸、湿潤剤、 腐食抑制剤	1.0	白色粉末状			1kg
TR−J	非鉄金属 ガラス、樹脂塗装	かび、苔、油煙 大気汚染		陰イオン界面活性剤 有機塩素系殺菌剤	9.5	白色粉末状			750g
TR−F	非鉄金属 ガラス、樹脂塗装	大気汚染 油煙		非イオン系界面活性剤 酸素系漂白剤	9.6	白色粉末状			625g
KS−H	アルミ、石材、タイル、コンクリート	樹脂、塗膜 油煙、塵埃	原液を塗布後、しばらく放置、 膜を除去、水洗し保護剤塗布して仕上	塩素系溶剤(90%)	7.0	薄青色粘性液体	中性タイプの剥離剤。粘性状のため壁面にもそのまま容易に使用でき、揮発抑制膜を形成するので湿布の必要はない	有機溶剤中毒予防規則	4kg
KS−S	タイル、アルミ 石材	鉄さび	空拭き後、原液を塗布し放置 ブラッシングで汚れ除去後水洗	チオグリコール酸アンモニウム 増粘剤	6.5−7	透明粘性液体		他の薬品や洗剤との混合禁止	0.5kg 2kg
NB−A	アルミ	全ての汚れ	AMS工法	研磨剤(AMS#50／#15／16) アニオン界面活性剤、 ノニオン界面活性剤、エタノール	6.8−7.2	液体 粉体			
TC−K3	タイル、アルミ ステンレス等の 外壁	外壁面清掃	水で濡らした後、原液をスポンジで縦横2度塗布する。濡れ雑巾で拭き上げ又は水洗	角の丸い微粒子(促進剤)	中性	液状	希釈の手間が不要　。中性洗浄液なため素手で取り扱える。 泡立ちが少ないので排水処理が容易 雨の日でも作業ができる	汚れを分解する壁面を少量の水で濡らしてから作業する	
TC−KS	アルミ、ステンレス、タイル等の外壁	きつい汚れ	水で濡らす後、原液をスポンジで縦横2度塗布する。 汚れ部分を擦り洗いする。 濡れ雑巾で拭き上げ又は水洗	角の丸い微粒子(促進剤) 研磨剤	中性	液状	希釈の手間が不要。中性洗浄液なため素手で取り扱える。 泡立ちが少ないので排水処理が容易 雨の日でも作業ができる	汚れを分解する壁面を少量の水で濡らしてから作業する	
I−LB	タイル、 アルミ使用可	塵埃、シーリング汚れ、錆	専用洗浄システム工法	一水素二フッ化アンモニウム 界面活性剤	酸性		外壁の強固な汚れを酸で分解除去 タイル表面の傷みを小さく抑えながら優れた洗浄力を発揮する	医薬用外劇物	20kg
KK−BB	非鉄金属、石材 タイル、樹脂塗装	塵埃、大気汚染 油煙、　カビ苔	専用洗浄システム工法	高分子界面活性剤、再汚染防止剤、アルコール系溶剤	7.0−7.4	無色透明液体			18L缶
KP−2	アルミ ステンレス 樹脂塗装	煤煙 錆		フッ素系極性化合物 合成ワックス組成物、有機溶剤 金属酸化物研磨剤、界面活性剤、	8.0	ページュスラリー状	洗浄コーティング剤		20kg
TS−SW	非鉄金属、石材 タイル、樹脂塗装、コンクリート	塵埃	専用洗浄システム工法		11−12	透明薄黄色			
TS−4V	非鉄金属、石材 タイル、樹脂塗装、コンクリート	塵埃 油煙	専用洗浄システム工法		2.0−3.0	透明薄ピンク色液体			

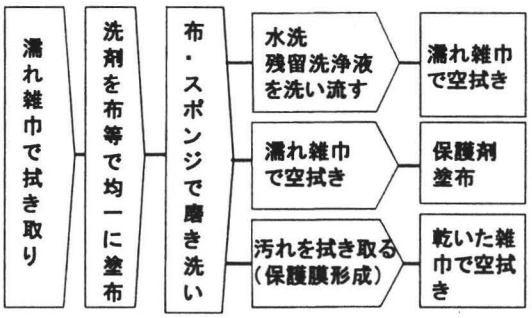


図6　中性洗浄剤による代表的な洗浄方法

表4　汚れ成分と試験片作成、ふき取り試験方法

汚れ成分	Ca, Mg, SiO_2, Cl, SO_4, NO_3, 関東ローム、カーボンブラック、鉱物油、シリコン油
アルミニウム試験片	10μm厚さの陽極酸化アルミニウム板（A6063）
試験片の作成	試験片を上記汚れ液に浸漬塗布し、2時間加熱乾燥後自然冷却する。その試験片を再度汚れ液に浸漬し汚れを塗布した後、20時間加熱乾燥し,自然冷却したものを汚れ試験片とした。
ふき取り試験方法	1gの洗浄液を均一に塗布した不織布を有効表面積9cm^2のアルミ枠に敷き、それに重りを載せて、汚れ試験片面上をゆっくり引き、汚れをふき取る。

表3　各種洗浄剤の物性値

分類		外観	臭い	pH (25℃)	粘度 (mPa・s)	水洗性
中性洗浄剤	1	淡黄色透明液状	レモン臭	8.7	15	易
	2	微黄色透明液状	無臭	7.3	13	易
	3	微淡黄色半透明液状	無臭	6.7	18	易
	4	無色透明液状	アルコール臭	7.3	16	易
	5	紫色透明液状	ラベンダー臭	8.1	25	易
酸性洗浄剤	6	無色透明液状	無臭	0.6	13	易
	7	白色半乳液状	無臭	0.6	51	易
弱アルカリ性洗浄剤	8	無色透明液状	無臭	10.8	17	易
研磨剤入り洗浄剤	9	白色半乳液状	無臭	7.3	110	易
	10	若草色ペースト状	微臭	4.8	390	易
	11	淡微黄色乳液状	ワックス臭	8.0	210	難
	12	薄緑色乳液状	ワックス臭	9.2	470	難
表面保護剤入り洗浄剤	13	白色乳液状	無臭	8.5	430	—
	14	ピンク色高粘度乳液状	ワックス臭	8.8	310	—
フッ化物系洗浄剤	15	微淡黄色透明液状	酸洗臭	2.6	26	易

表5　各種洗浄剤の洗浄性および素材への影響試験

洗浄剤 (No.)		ふき取り試験 100 gf/cm^2 目視	ΔE	36gf/cm^2 目視	ΔE	18gf/cm^2 目視	ΔE	洗浄剤滴下試験 目視	ΔE	備考	アルミ素材への影響試 色差 ΔE 10分後	1時間後	1日後
中性洗浄剤	1	5	1.6	3	2.4	2	12.3	3	19.6	少し除去されている	0.7	0.9	1.6
	2	5	0.7	3	4.4	2	24.2	3	14.8	少し除去されている	0.6	0.8	1.4
	3	5	0.7	4	2.8	4	10.8	4	22.4	かなり除去されている	0.7	0.8	1.2
	4	5	0.7	4	1.9	2	10.4	3	15.1	少し除去されている	0.6	0.7	1.6
	5	5	0.6	4	1.1	3	12.7	1	9.9	汚れが黒っぽくなり、除去されていない	0.6	0.8	1.3
酸性洗浄剤	6	5	0.6	2	32.6	2	28.0	5	32.9	かなり除去されている	0.7	1.8	6.1
	7	5	1.7	4	1.0	2	22.1	5	31.1	かなり除去されている	0.7	1.7	10.9
弱アルカリ性洗浄剤	8	5	1.3	4	0.7	2	15.0	3	16.8	少し除去されている	0.7	0.7	1.5
研磨剤入り洗浄剤	9	5	1.2	5	0.6	5	1.2	3	17.8	少し除去されている	0.6	0.7	1.7
	10	5	0.4	3	21.4	3	26.7	1	5.0	汚れは除去されず洗浄液が残っている	0.7	0.7	1.4
	11	5	0.7	3	6.0	3	0.7	1	1.8	変化なし	0.6	1.0	12.0
	12	5	0.4	5	0.9	3	4.8	1	4.1	汚れは除去されず洗浄液が残っている	0.7	1.1	3.1
表面保護剤入り洗浄剤	13	5	0.7	4	3.1	4	6.6	2	7.0	変化なし	0.5	0.7	3.6
	14	4	5.7	3	2.9	3	6.7	1	3.9	汚れは除去されず洗浄液が残っている	0.7	0.9	3.6
フッ化物系洗浄剤	15	5	1.2	5	1.8	3	6.4	5	29.2	かなり除去されている	10.6	11.4	1.8

ΔEは試験片との色差を示す　　ΔEは試験前の汚れ試験片表面との色差を示す　　ΔEは試験片との色差を示す

目視判定は5段階表示とし、1：全く洗浄されていない状態　5：完全洗浄状態を示す。

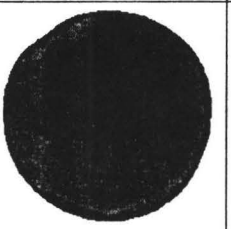
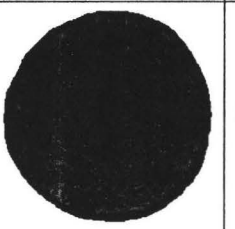
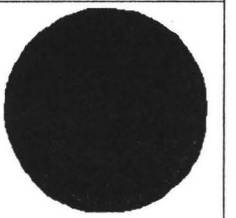
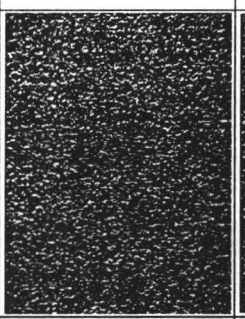
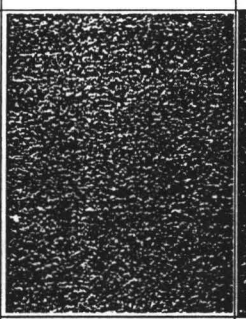
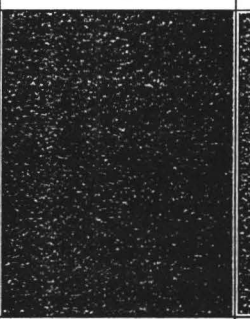
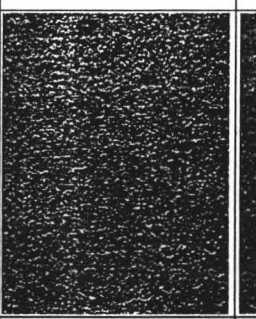
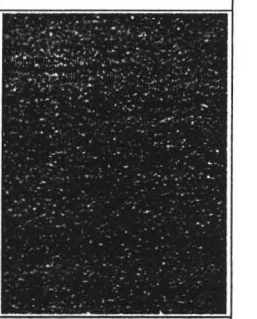
表8　総合的システム化による取り組みの長短所

長所	短所
＊メンテナンス全般を業としている ＊マニュアル化した処理工程を有している ＊アフターケアを含めた継続性とアドバイス ＊建物の各種材料に適応した処理 ＊保証体制がある	＊ノウハウの公開がない ＊イメージ的な宣伝が中心 ＊問題点の公開がない

表9　アルミニウム外装洗浄における最近の動向

1. 総合システムとしての提供
2. 環境への配慮（バイオ洗剤、無水洗）
3. 拭き取り（飛散防止）
4. 光触媒の洗浄効果への応用
5. 高圧洗浄
6. 洗浄・保護剤の導入
7. 超撥水性・超親水性付与
8. 道具の工夫

写真１　素材への影響（代表的試験片表面写真）

	試験前試験片	中性洗浄剤 No.1　１日後	酸性洗浄剤 No.7　１日後	弱ｱﾙｶﾘ性洗浄剤 No.8　１日後	フッ化物系徐錆剤 No.15　10 分後
表面写真					
		変化なし	茶色く変色	変化なし	光沢がなく黒く変化
拡大写真					
		変化なし	変色部が黒っぽい	変化なし	表面が細かく滑らか

1－18　家具に起因する室内ホルムアルデヒド(HCHO)濃度低減対策に関する研究

千葉工業大学　工学部建築学科
教授　小峯裕巳

1．研究の背景と目的

新築時の室内ホルムアルデヒド（HCHO）濃度低減対策として、建築設備的には、十分な換気量が確保できて温熱快適性の維持も可能な連続運転の空調換気システムが有効であり、また、建築的にはHCHO発生源となる建材を使用しないことが最も効果的であると考えられる。しかしながら、適切な換気システムを設置し、使用建材を吟味して室内濃度を抑制しても、居住者が持ちこむ家具などの2次的な発生源が存在すると、居住状態での個人暴露量は低減できない。

一方、このような2次的発生源の対策品として、家具の引出しや棚に敷くシート状、あるいはクローゼット内部に設置するボード類等の、HCHO除去を謳ったパッシブ型の製品が市販されている。居室と異なり電源を有しない家具内部においては、このようなパッシブ型の製品によるHCHO除去効果が期待されるが、その効果についての標準的な試験法がなく、HCHO除去製品（以下「対策品」と称す）の性能を比較・評価することが困難な状況にある。

これらより本研究は、パッシブ型対策品を対象に簡易試験法を提案し、これを用いて実用上有効な対策品とそのHCHO除去効果について明示するものである。

2．研究の方法

研究事項ごとに実施方法を以下に示す。

（1）家具からのHCHO放散量の把握

実際の住宅において、家具導入前後における室内HCHO濃度の測定を行い、家具からのHCHO放散による室内濃度への影響について把握する。

（2）パッシブ型対策品の簡易試験方法の開発

ステンレス製小型チャンバーを用いた試験装置を作製し、パッシブ型対策品のHCHO除去効果に関する簡易な試験方法を提案する。

（3）簡易試験によるパッシブ型対策品の除去効果に関する比較・検討

HCHO発生源として家具に用いられる木質建材（合板、中密度繊維板、パーティクルボードなど）を採用し、また、対策品としてシート状、薬剤容器状、塗布剤などの対策品を数種類用い、これら対策品について(2)で製作した試験装置を用いて簡易試験を実施し、HCHO除去効果を明らかにする。

（4）実家具、実住宅における効果の検証

(3)において効果が明らかになった対策品を実際の住宅及び実際の家具に適用し、その前後の室内および家具内部のHCHO濃度測定から、実スケールにおける効果を検証する。

3．家具からの HCHO 放散量の実態の把握

本章では、実際の住宅を対象に、居室内に「家具のある状態」及び「家具のない状態」で室内 HCHO 濃度を実測し、室内濃度に対する家具からの HCHO 放散による影響を検証する。

3.1 測定概要

3.1.1 対象住宅

測定対象住宅は、**表 3-1-1** に示す住宅 A 及び住宅 B の子供部屋とした。子供部屋は、勉強部屋と寝室を兼ねており、疫学的に抵抗力が成人よりも弱い子供の在室時間が最も長いことを考慮して測定対象とした。

住宅 A は、HCHO、VOCs の発生源を極力削減するために、フローリングはスウェーデンパイン無垢材 3 層フローリング、床上 1,200cm までの腰壁を無垢の杉板、それより上から天井にかけては水性ペイントで仕上げている。

住宅 B の子供部屋は、築約 20 年の住宅の 2 階北側に増築された居室で、測定時点において増改築後 5 年経過している。在来工法で建築され、室内 HCHO 濃度低減対策を考慮した建材等は使用されていない。

表 3-1-1 測定対象住宅概要

	住宅 A	住宅 B
所在地	東京都北区	茨城県つくば市
建物構造	RC（地下 1 階、地上 3 階）	木造（2 階）
竣工年月	1997. 12	1993. 8
測定対象室	子供部屋（3 階）	子供部屋（2 階）
床面積［m^2］	17. 5	8. 2
室容積［m^3］	41. 1	17. 3
内装仕上材料	床：合板フローリング（旧 F1） 壁：杉（腰壁）、水性ペイント 天井：水性ペイント	床：合板フローリング（旧 F2） 壁：石膏ボード、ビニールクロス仕上げ 天井：石膏ボード
家具の概要	ベッド（無垢木製）×3 学習机（天板：無垢材、引出し内部：合板）×3	組立て式棚類（化粧合板）×2 パソコンデスク（MDF、化粧合板） TV 台（化粧合板）
備考	全室に 24 時間空調換気システムを導入	階下は土間の納戸

3.1.2 実施方法

居室内に「家具のある状態」及び「家具のない状態」で室内 HCHO 濃度測定を行う。

最初に、家具を設置した状態で開口部を開放し、30 分以上強制換気を行う。その後、開口部を閉鎖して 5 時間後にサンプリングを行う。次に、家具を撤去して、先と同様に強制換気、開口部閉鎖 5 時間後に再度サンプリングを行う。ただし、住宅 A では、学習机 3 台を室外に撤去することが困難であったため、ビニールシートで覆った。

3.1.3 測定方法

表 3-1-2 に測定項目及び測定方法を示す。HCHO 濃度は、室内濃度を均一にするため、扇風機を運転して室内空気を攪拌した。空気の捕集は室内中央、床上約 1.2m の高さにて、アクティブサンプリングによる DNPH-HPLC 法[1]を採用して、30 分平均値を測定した。室温は、住宅 A は 24 時間空調換気システム運転により 18℃に制御し、住宅 B はルームエアコンを稼動させ 26℃に設定した。室内の温湿度は、簡易記録計を用いてモニタリングした。換気回数の測定は HCHO 濃度の測定後、ドライアイスを用いて炭酸ガス濃度減衰法(JIS A 1406)によって実施した。

表 3-1-2 測定項目・方法

項目	計測方法
HCHO 濃度	DNPH-HPLC 法
温度・湿度	簡易型記録計
換気回数	炭酸ガス濃度減衰法(JIS A 1406)

3.2 実測結果

表 3-2-1 に実測結果を示す。「家具あり』と「家具なし」の HCHO 濃度を比較すると、いずれの室内も、家具を撤去することにより室内濃度が低減されることがわかる。

住宅 A は、築後 1 年の新築住宅でありながら、HCHO 濃度は「家具あり」の条件下でも厚生労働省室内濃度指針値（0.08ppm）未満であったが、家具を撤去することによって約 30%の濃度低減が認められた。住宅 B は、「家具あり」では指針値を超えているが、「家具なし」では HCHO 濃度は低減し指針値以下になった。

表 3-2-1 実測結果

住宅	換気回数 [回/h]	温度・湿度		HCHO 濃度[ppm]		撤去した家具の内訳 (材料)
		家具あり	家具なし	家具あり	家具なし	
A	0.7	21.6 ℃ 37 %RH	20.0 ℃ 28 %RH	0.074	0.051 (69%)	学習机×3 (天板：無垢材、引出し内部：合板)
B	0.42	24.9℃ 67%RH	25.2℃ 71%RH	0.121	0.064 (52%)	組立て式棚類、パソコンデスク、TV 台 (MDF、プリント合板など)

3.3 考察

実測結果から、室内の化学物質濃度の低減対策として、化学物質の発生量が少ない建材を使用するだけではなく、家具についても化学物質の発生量が少ないものを選択すると共に、家具に化学物質を吸着あるいは分解するパッシブ型除去製品を設置することによって HCHO 発生量を低減することが有効であると考えられる。

今回の実測では、居住者によって持ち込まれた家具について、室内 HCHO 濃度に対する影響を検証したが、キッチンユニットや造り付けの収納部などについても同様な影響があるものと考えられる。

4．パッシブ型対策品の簡易試験方法の開発

本章では、パッシブ型対策品の性能に関する簡易な試験方法を確立することを目的として、小型チャンバーを用いた試験装置を設計及び製作し、試験方法を考案したので、その概要について述べる。

4.1 検討内容

パッシブ型対策品の簡易性能試験方法を確立するため、以下のことがらについて検討した。

（1）基本性能

温度･湿度の制御性、換気回数の確保と安定性、バックグラウンド濃度の清浄度の検討

（2）HCHO 濃度測定方法

連続測定が可能な光音響法[3]および化学発光法[4]を用いて HCHO 濃度変化をモニタリングし、標準的な DNPH-HPLC 法による測定値と比較して、簡易試験法における HCHO 濃度測定方法としての有用性を検討

（3）HCHO 発生源

実際の家具に用いられる様々な材料を供して、簡易試験法における HCHO 発生源としての適否を検討

（4）試験方法の妥当性

一対比較によるスクリーニング試験方法としての有用性の検討

4.2 試験方法

4.2.1 試験装置

図 4-2-1 に試験装置の概要を示す。試験装置は、小型チャンバーとしてステンレス製密閉タンク(150L)を用いた。チャンバー内の空気は上部からポンプにより常時吸引され、実験室内の空気がチャンバー下部の給気口から活性炭を通して供給される。チャンバー内中央には小型ファンを設置し、底面方向に送風して、HCHO 濃度が均一になるように空気を攪拌している。このような装置を 12 セット製作し、ステンレス製の恒温恒湿実験室内に設置した。

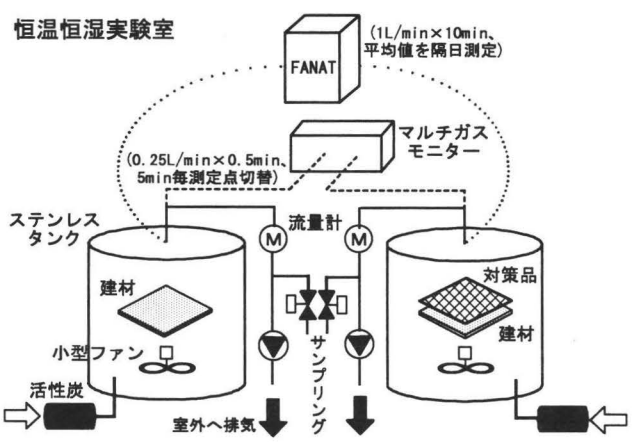


図 4-2-1 簡易試験装置概要

4.2.2 試験方法

（1）基本性能

表 4-2-1 に試験条件を示す。

① 温度・湿度

実験室内は 23℃、50%RH に空調制御し、チャンバー内の温湿度を確認するため、ワイヤレス温湿度計でモニタリングした。

② 換気回数

パッシブ型対策品には自然換気による除去効果と比較できるように換気量は、計画換気の目安とされる換気回数 0.5 回/h に設定し、換気量を 75L/h（1.25L/min）に設定した。さらに、この流路にバイパスを設けて、サンプリング中も換気量が変動しないようにした。また、有効な換気量を確認するため、チャンバー下部の給気口から SF_6 を注入し、濃度減衰法によって換気回数を確認した。

表 4-2-1 試験条件および測定方法

項目	設定条件	計測方法
温度 湿度	23℃ 50%RH	簡易温湿度計（ワイヤレスタイプ）
換気量	75 L/h （0.5 回/h）	SF_6 濃度減衰法 （B&K 製マルチガスモニター使用）

（2）HCHO 濃度測定法

標準法としてアクティブサンプリングによる DNPH-HPLC 法を採用する。簡便な測定法として、その場で濃度がわかり連続測定が可能な光音響法(PAS；B&K マルチガスモニター)、また短期間（1～3 日程度）の連続測定の可能な化学発光法(ファームテック FANAT200)を用いた。連続測定を行うことにより、建材（HCHO 発生源）やパッシブ型対策品の設置に伴う HCHO 濃度の短時間の変動や、経時変化のモニタリングが可能となる。なお、PAS による TVOC(総揮発性有機化合物)濃度のモニタリングも同時に行った。

（3） HCHO 発生源および対策品

表 4-2-2 に各試験の検討内容と、各々の試験で用いた HCHO 発生源及び対策品を示す。

HCHO 発生源としては、住宅や家具の木軸に用いられている単板積層材(LVL；旧規格 F1 相当)、パーティクルボード(PB；E2)、中密度繊維板(MDF；E1)および普通合板(Plywood；旧規格 F2)を採用した。

PB、MDF および Plywood は、同じ 1 枚の板から 300mm×300mm に切り出して、試験に使用する全てのチャンバー内に設置し、いずれのチャンバーも HCHO 濃度が同等になることを確認した。

これらの家具に用いられている 3 種類の建材を対象に、簡易試験法における HCHO 発生源としての適否を検討した。

表 4-2-2 各試験の検討内容および HCHO 発生源と対策品の概要

試験	検討内容	HCHO 発生源	製品		製品の概要・除去原理(メーカー資料による)
1	簡易試験法における HCHO 濃度測定方法としての光音響法の有用性	LVL (30×40×720)	シート状	A	紙に、HCHO 捕捉剤である無機系の化学薬品を含浸乾燥させたもの。 化学反応により、HCHO をガス化しない安定した別の物質に変化させて捕捉する。
				B	ポリエチレン樹脂に、木炭を混合させたもの。 吸着したアンモニアやアセトアルデヒドなどを触媒機能によって分解、再放出する。 (ホームセンターで一般的に販売されている)
2	簡易試験法における HCHO 発生源としての適否	PB (300×300×20)		C	クラフト紙に、アルデヒド類の捕捉剤である化学薬品を塗布したもの。 空気中のアルデヒド類を吸収して、安全性の高い化合物に変化させる。 (約30年前から家具メーカーや住宅メーカー向けに販売)
				D	ポリビニルアルコールを原料としたフィルム。 吸収された HCHO はフィルム中の特定の官能基と反応し、安全な他の化合物に変化する。 (衣類の包装に用いられてきた製品)
3-1		MDF (300×300×15)		E	不織布に、金属錯体を含有させたもの。 HCHO を化学反応吸着により無害化および脱臭し、触媒酸化分解で水と二酸化炭素に分解する。 (カーテンの下地用などに販売されている)
				A	前出
3-2		Plywood (300×300×20)		E	前出
				A	前出
4	簡易試験法の適用範囲拡大	MDF (300×300×15)	粒状	X	紙素材のセルロースビーズに HCHO を吸着する有機アミド系複合物を添着したもの。
				Y	シリカ系の白色粉末表面にアミン系化合物を添着したもの。 アミン基にアルデヒドガスが接触するとシッフ反応により化学的結合して除去・消臭される。

対策品は、HCHO 除去を謳ったシート状の製品 A～E の 5 種類について、2 種類ずつ同時に試験を行った。対策品は 300×300mm 及び 150×300mm の大小 2 種類に切断し、建材上面に載せた。

これら大小の対策品を設置したチャンバー各々1 基と、対策品を設置せず建材のみのチャンバー (コントロール) 1 基の合計 3 基を 1 グループとし、これらについて HCHO 濃度を同時に測定して一対比較することにより、対策品の除去効果について確認した。

試験 1 及び試験 2 では、2 種類の対策品について、各々 1 グループ(合計 6 基)、試験 3 では HCHO 発生源として MDF 及び Plywood の 2 種類を採用し、2 種類の対策品について各々2 グループ(合計 12 基)について同時に測定した。

さらに、本試験方法がシート状以外の対策品についても適用可能であることを検証するため、粒状の対策品 X 及び Y をチャンバー内に同量 (20g) 設置し、これらと対策品を設置していない建材のみのチャンバー合計 3 基について同様の試験を行った。粒状対策品の設置量については、どちらの製品も適用空間や低減効果を明らかにした資料がないことから、対策品 X の市販製品 1 箱に入っている量を設置量とした。

4.2.3 試験手順

（1）簡易試験装置の空運転

チャンバー内が空の状態で、3 日間、温湿度・換気回数を調整し、PAS 連続測定を開始する。また、建材を設置する直前に標準法によってバックグラウンド濃度を測定する。

（2）建材(HCHO 発生源)設置

1 グループを 3 基として全てのチャンバー内に建材を設置した後、原則として 1 日おきに標準法及び化学発光法により HCHO 濃度(10 分平均値)を測定する。この測定は PAS の指示値が安定するまで行う。また、対策品を設置するチャンバーとコントロールとの比較ができるように、全てのチャンバー内濃度が同程度であることを確認する。

（3）対策品設置

チャンバー内の HCHO 濃度が安定したことを確認した後、対策品を設置する。建材の上に大(300×300)・小(150×300)の対策品を設置したチャンバーとコントロールについて、1 週間にわたり原則として 1 日おきに前項と同様の方法により HCHO 濃度を測定する。

（4）対策品撤去

対策品をチャンバーから取り出し、1 週間にわたり原則として 1 日おきに前項と同様の方法により HCHO 濃度を測定し、時間経過による建材からの発生量の減衰を確認することにより、対策品による効果との区別ができるようにした。

4.3 結果

4.3.1 基本性能

試験中のチャンバー内温湿度は、25±0.5℃、35～40%RH に維持することができた。また、ポンプの流量を調節することにより換気回数を 0.5 回／h に維持できることを確認した。

チャンバー内の HCHO 濃度について、建材設置前の標準法による測定値から、バックグラウンド濃度は 0.003～0.004ppm(0.003～0.005mg/m^3)であり、試験に用いた各種測定機器の計測値に対する影響は無視できると判断した。したがって、以下に示す HCHO 濃度は、バックグラウンド濃度を差し引かず、各測定方法によって得られた計測値を表す。

4.3.2 HCHO 濃度測定

（1）PAS による濃度測定結果

図 4-3-1～図 4-3-6 に、試験 1、2、3-1 における TVOC および HCHO 濃度の PAS による連続測定結果を示す。PAS 指示値は上下変動が大きく、対策品の設置量(大・小)の差異が確認しにくいので、ここでは設置量を大とした場合の結果を示している。

試験 1(**図 4-3-1**、**図 4-3-2**)では、HCHO 発生源として LVL、対策品として A 及び B を採用した。LVL のみのチャンバーと対策品を設置した場合とでは、TVOC 濃度の PAS 指示値に差はなく、TVOC 低減効果は認められないが、HCHO 濃度の PAS 指示値は対策品 A を設置したチャンバーでは明らかに低下しており HCHO 低減効果が認められる。

試験 2(**図 4-3-3**、**図 4-3-4**)では、HCHO 発生源を PB、対策品として C 及び D を採用した。対策品の設置により、対作品 C・D とも HCHO 濃度の PAS 指示値は低下し低減効果が認められる。しかし、PAS 指示値の差は少なく、対策品 C 及び D の低減効果の差を明確

にすることは難しいことがわかる。

試験 3-1(図 4-3-5、図 4-3-6)では、HCHO 発生源に MDF、対策品として A 及び E を採用した。対策品 E の HCHO 濃度の PAS 指示値は変化はないが、対策品 A は試験 1 と同様に PAS 指示値が低下し、HCHO 低減効果が認められた。

試験 3-2 では、HCHO 発生源に Plywood を採用したが、同一の板から切り出したにもかかわらず、濃度減衰の期間や平衡濃度がチャンバーごとに異なり、対策品を設置する実験を行うことはできなかった。

試験 4（図 4-3-7、図 4-3-8）では、HCHO 発生源として MDF、対策品として粒状の X と Y を採用した。対策品 Y は、HCHO 濃度の PAS 指示値は低下し、低減効果が認められた。ここで若干ではあるが TVOC 濃度も低下しており、HCHO だけではなく他の VOCs 成分も除去している可能性がある。対策品 X は TVOC、HCHO 濃度ともに PAS 指示値の変化はなく、低減効果は認められなかった。

これらの PAS による HCHO 濃度測定結果から、発生源となる建材を設置してから対策品を設置するまでの経時的な濃度減衰は、いずれのチャンバーについてもほぼ同等であったが、対策品を設置した時点で対策品を設置していない建材のみのチャンバーと比較して PAS の HCHO 濃度指示値に差異が認められた。TVOC 指示値はほとんど変化がないことから、これは、対策品の HCHO 除去効果を示すものと考えられる。なお、HCHO 発生源として採用した建材は、種類によって平衡濃度や平衡濃度に至るまでの減衰期間が異なる様子が観察された。

（2）標準法（DNPH-HPLC 法）による濃度測定結果

図 4-3-9～図 4-3-12 に、試験 2、試験 3-1 において採用した対策品ごとの HCHO 濃度測定結果を示す。ここでは、各々の試験について、建材のみの場合、及び対策品の設置量を大・小とした場合の標準法による測定値を示す。

対策品 A（図 4-3-9）は、対策品の設置量に関らずほぼ同程度の低減効果が認められた。これは、試験 2 で採用した MDF の HCHO 発生量に対して、対策品 A に含まれている HCHO 捕捉剤の量が多かったため、設置量による差異が顕著に表れなかったと考えられる。

対策品 C（図 4-3-10）は、その設置量によって HCHO 濃度低減効果が異なる結果となった。標準法による測定結果は、PAS による測定結果（図 4-3-4）と比較して、対策品設置による HCHO 濃度の低下がさらに顕著になった。また、対策中のチャンバー内濃度は、対策品を設置してから 2 日後、5 日後、7 日後の 3 回測定しているが上昇傾向にある。これは、試験 2 で採用した PB の HCHO 発生量に対して、対策品 C に含まれる HCHO 捕捉剤の容量が越えてしまったことが考えられる。

対策品 D(図 4-3-11)は衣類の包装用に開発されたものであり、PB の HCHO 発生量に対して反応速度や容量が小さいため、上記 2 種の製品に比べると HCHO 除去効果は劣る結果となったが、設置量による差異は認められた。

対策品 E(図 4-3-12)は、既に市販されている製品であるが、PAS による測定結果（図 4-3-6）と同様に HCHO 除去効果が全く見られなかった。

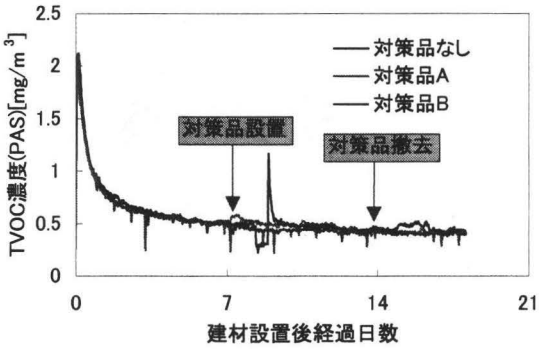


図 4-3-1 光音響法による TVOC 濃度測定結果
＜試験 1＞

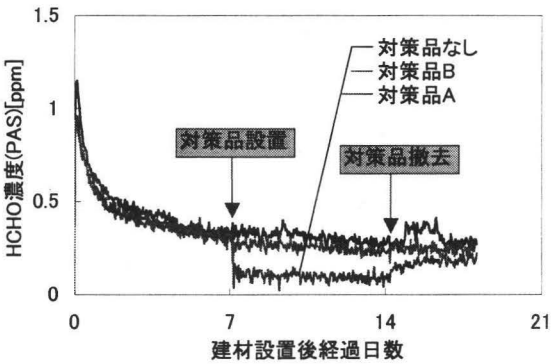


図 4-3-2 光音響法による HCHO 濃度測定結果
＜試験 1＞

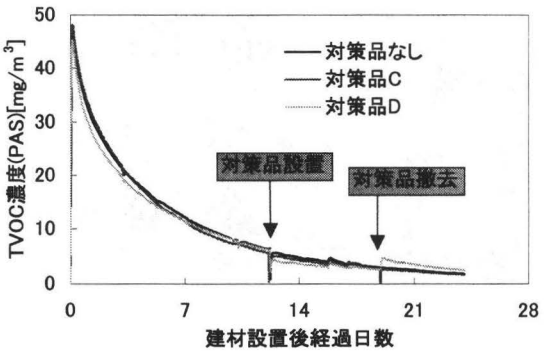


図 4-3-3 光音響法による TVOC 濃度測定結果
＜試験 2＞

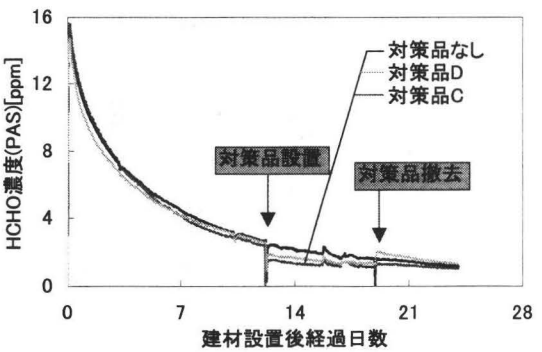


図 4-3-4 光音響法による HCHO 濃度測定結果
＜試験 2＞

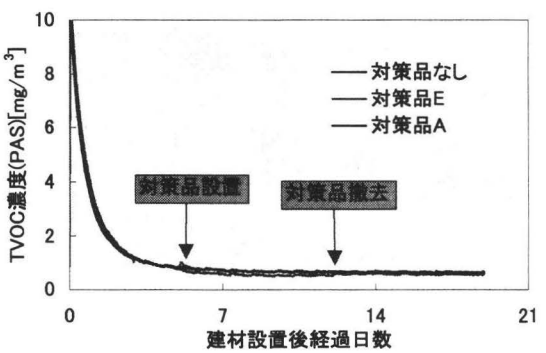


図 4-3-5 光音響法による TVOC 濃度測定結果
＜試験 3-1＞

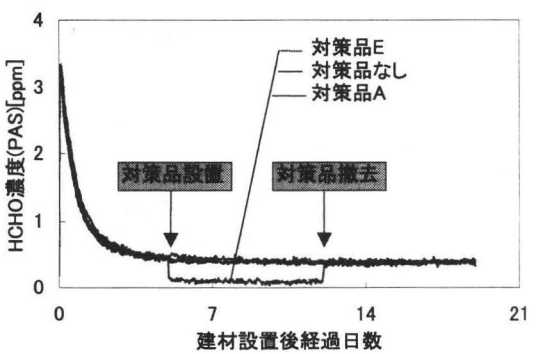


図 4-3-6 光音響法による HCHO 濃度測定結果
＜試験 3-1＞

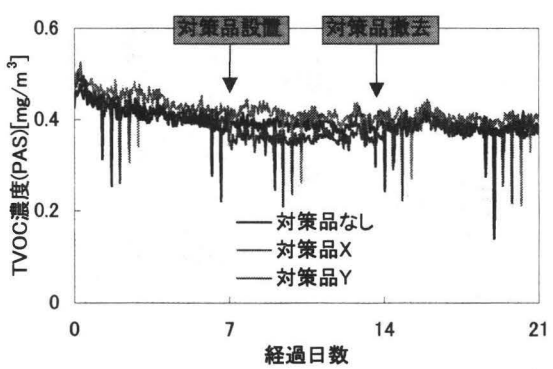


図 4-3-7 光音響法による TVOC 濃度測定結果
＜試験 4＞

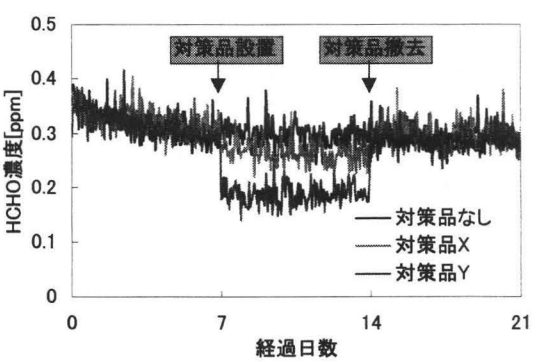


図 4-3-8 光音響法による HCHO 濃度測定結果
＜試験 4＞

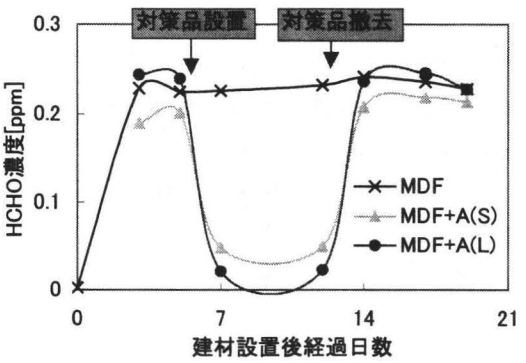


図 4-3-9 標準法による測定結果
＜対策品 A(試験 3-1)＞

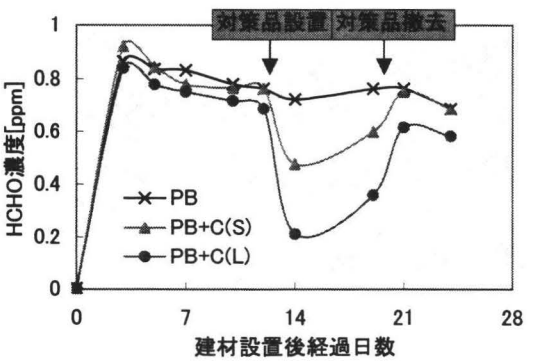


図 4-3-10 標準法による測定結果
＜対策品 C(試験 2)＞

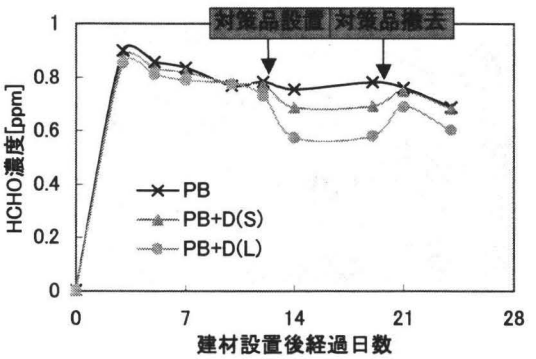


図 4-3-11 標準法による測定結果
＜対策品 D(試験 2)＞

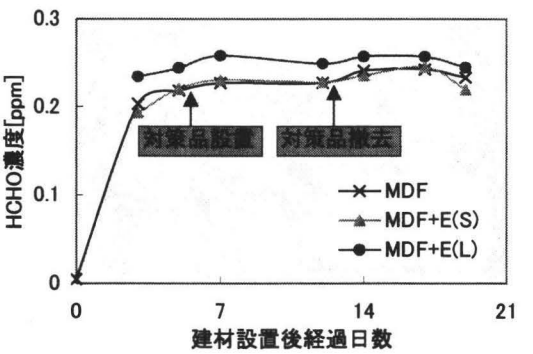


図 4-3-12 標準法による測定結果
＜対策品 E(試験 3-1)＞

図 4-3-13 に、HCHO 発生源としてコントロールに設置した PB(試験 2)、MDF(試験 3-1)、Plywood（試験 3-2）の標準法による HCHO 濃度の測定結果を示す。試験 3-2 で採用した Plywood は、設置したチャンバー内 HCHO 濃度のばらつきが大きく、対策品設置による低減効果についての試験を行うことができなかった。

図 4-3-14 に、試験 4 における標準法による HCHO 濃度の測定結果を示す。試験 4 では、MDF を HCHO 発生源として粒状の対策品 X および Y の 2 種について試験しており、対策品設置による濃度低減が認められる。

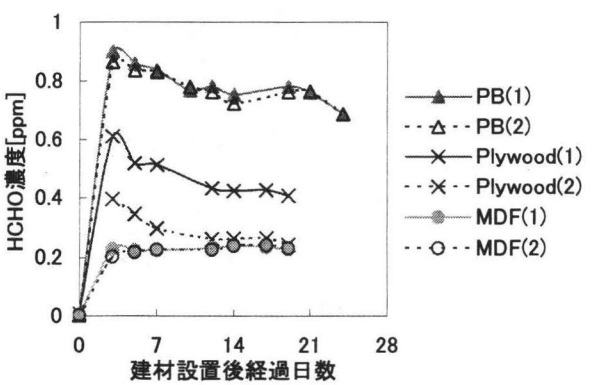


図 4-3-13 建材のみ設置したチャンバー内の HCHO 濃度の経時変化

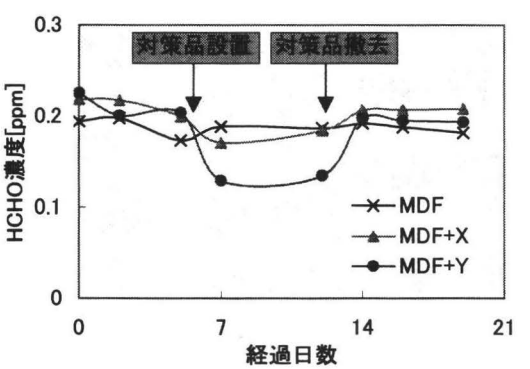


図 4-3-14 標準法による測定結果
＜試験 4＞

4.4 考察

4.4.1 基本性能

チャンバー内温度は25±0.5℃であり、実験室内温度より2℃ほど高かった。これはチャンバー内の空気を攪拌するために設置した小型ファンの発熱によるものと推察される。チャンバー内相対湿度が実験室内よりも低いのは、この温度上昇と、チャンバー下部給気口に接続した活性炭の除湿効果によるものと考えられる。一方、本試験を行った恒温恒湿実験室内の温度制御は設定温度 23℃に対して±1℃であったが、チャンバー内温度および相対湿度は試験期間中の変動幅が±0.5℃と非常に小さく、チャンバーごとの差異はなかった。したがって、実験室内の空調制御について、上述の温度上昇および相対湿度低下を考慮した設定にすれば、実験室の空調制御により任意の温度および相対湿度に維持することが可能といえる。

チャンバー内のバックグラウンド濃度は、対策品設置直前の HCHO 濃度の 0.5～2%程度と非常に小さく、簡易試験装置としては十分な清浄度であるといえる。

4.4.2 HCHO 濃度測定方法

図 4-4-1 に、試験 2 の対策品設置前後の、同一チャンバー内における 3 種類の測定方法による HCHO 濃度変化の例を示す。標準法の測定結果から対策品設置による HCHO 濃度低下は明らかであるが、PAS は標準法に対して測定値が大きく異なっていた。

図 4-4-2 は、試験 2 の結果を用いて標準法による測定値に対する、PAS 及び化学発光法の測定値の関係をまとめたものである。PAS と標準法との関係は、低濃度域と高濃度域とで異なり、高濃度域は建材を設置した直後の測定値で、標準法による測定値より極端に高い値を示していた。これは、建材設置直後に高濃度であった VOCs が、PAS に対して干渉物質として影響し、HCHO 濃度の指示値が増幅されたためであると考えられる。

図 4-4-3 に、試験 3 の結果を用いて標準法による測定値に対する、PAS 及び化学発光法の測定値の関係を示す。試験 2 と同様に、PAS による測定値は標準法による測定値よりも高い値を示しているが、試験 2 とは相関関数の係数が異なる。これは、上述の通り、VOCs が HCHO 濃度の指示値を増幅させているとすれば、試験 2 で HCHO 発生源として採用した PB と試験 3 で採用した MDF とでは、HCHO 以外に発生する VOCs 成分が異なるためであると推察される。しかしながら、PAS は、VOCs 成分の構成が変化しない環境下であれば、HCHO 及び TVOC 濃度の相対的な差異や時間変化を測定することはできる。

以上の結果から、PAS は、HCHO 濃度の正確な定量値を得ることは困難であるが、化学分析が不要で現場ですぐに濃度変化を知ることができるので、対策前後の相対的な濃度低減効果を観察するためのモニタリング手段として有用であるといえる。また、本試験で使用した PAS 測定システムは、サンプリング用接続口を最大 12 口まで増やすことが可能で、建材のみを設置したチャンバー1 基に対し、最大 11 基のチャンバーを用いて複数の対策品について同時に除去効果の比較をすることができる。

一方、化学発光法は、標準法の測定値と近似した値が得られた。本測定方法は、対策品設置による濃度低減を確認できること、また HCHO の選択性が高く濃度変化を連続的に測定できることから、簡易試験だけではなく、大型チャンバーにおける性能試験においても、HCHO 濃度の経時変化を測定する手段として有用であろう。

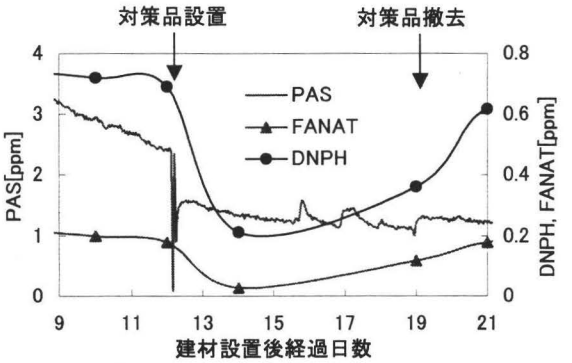


図 4-4-1 各測定方法による HCHO 濃度変化
＜試験 2＞

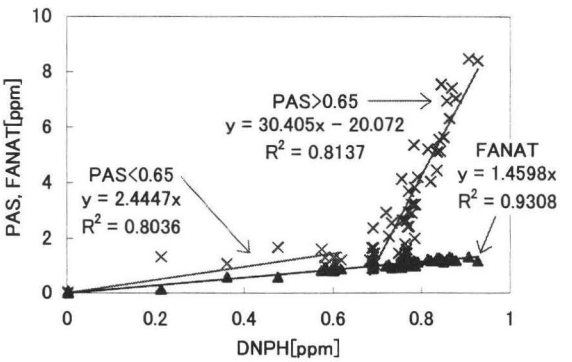


図 4-4-2 標準法と他 2 種類の方法による
測定値の関係＜試験 2＞

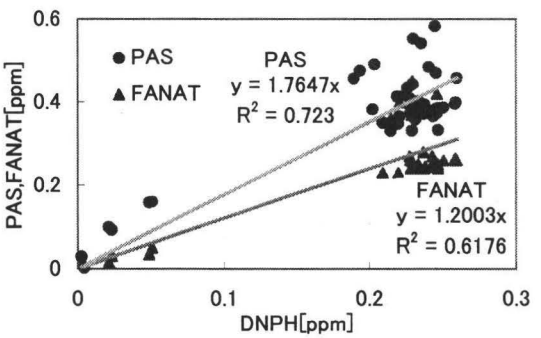


図 4-4-3 標準法と他 2 種類の方法による測定値の関係＜試験 3＞

4.4.3 HCHO 発生源

HCHO 発生源として、実際の家具に使用されるような3種類の建材を用いた結果、図 4-3-13 に示したように、Plywood はチャンバーごとの濃度差が大きく、本試験のような比較試験に不向きであることがわかった。また、PB は各チャンバーの HCHO 濃度のばらつきが少なく、発生量が多いので、高濃度環境を想定した実験には適しているが、非常に硬質で加工が容易ではなかった。一方、MDF は、チャンバーごとの HCHO 濃度がほぼ同値であり、チャンバー内に設置した後、濃度が安定するまでの期間が最も短く、切断が容易であった。また、MDF の製品としてのばらつきについては、製造拠点が海外か、国内の場合は 2 ヶ所の工場に限られており、特に国内 2 ヶ所の工場では他の合板を製造していないので、濃度遷移のない環境下で保管されていると考えられ、他の木質系建材に比べて HCHO 発生量が安定した製品を入手することが可能である。

以上より MDF は、簡易試験における HCHO 発生源として最適な建材の 1 つと考えられる。

4.4.4 対策品の設置方法

本試験において、シート状対策品の設置量を面積の大・小 2 種としたところ、図 4-3-9～4-3-10 に示したように、設置量に応じた効果を示す傾向にあり、複数の対策品について除去効果の比較をするためには、設置量を同等にする必要がある。

対策品の設置方法については、本試験では実際に対策品を設置する状況を模擬して建材の上面に直接設置したが、その部分からの HCHO 発生が抑制されてしまう可能性がある。今回

は、対策品による HCHO 除去効果の相対比較として試験を行ったので考慮しなかったが、カーテンなどのように、HCHO 放散源から離れて用いる場合を想定すると、以下のような試験条件が考えられる。

① 対策品を建材に触れないよう、チャンバー内に吊るす。

② 建材の上面に、対策品と同面積の吸着のない材料(ガラス板など)あるいは対策品と同じ基材(クラフト紙など)を設置し、裏面から発生する HCHO のみを発生源とする。

③ 各々のチャンバーに建材を設置するのではなく、1ヶ所の HCHO 発生源からすべてのチャンバーに送る。

4.4.5 試験方法の検討

（1）換気回数

対策品 A は HCHO 除去効果が顕著に認められたが、製品 B 及び E は濃度低減が明確にならなかった。この理由として、本試験では、チャンバー内の換気回数を 0.5 回／h に設定しており、除去効果の小さい対策品は換気による低減効果によって、みかけ上効果が明確に得られなかったことがあげられる。それらの除去効果をより明確にしたい場合は、換気回数のより少ない条件で試験を行う必要がある。ただし、居住環境を考慮して明らかに除去効果を有するものを選択するスクリーニング試験としては、本試験条件が適当と考える。

（2）シート状以外の対策品の性能評価

試験 4 の結果より、粒状の 2 種類の対策品についても、HCHO 除去効果の差異が認められた。したがって本試験方法は、シート状だけではなく粒状の対策品など、他の形態のパッシブ型対策品についても応用できるといえよう。

（3）一対比較

本研究で示したパッシブ型 HCHO 除去製品の簡易試験方法は、「対策品の有無による HCHO 濃度低減を比較」する一対比較を用いることによって、シート状以外の対策品や異なる環境条件（換気回数・温湿度など）、設置方法（設置量・HCHO 発生源への接触の有無）においても評価することが可能である、ということがいえる。

なお、HCHO 除去量を除去性能として数値的に評価する手法は、環境条件や設置量によって変化し、あくまでも限定された条件での数値となる。したがって、複数の対策品の除去性能を相対に比較する場合やスクリーニング試験であれば、本試験法で十分であるといえよう。

4.5 まとめ

小型チャンバーを用いたパッシブ型 HCHO 対策品の簡易試験方法を考案し、性能試験方法としての有効性を検証した。以下に、結論をまとめる。

① 本装置は安価で入手容易な材料で製作でき、本試験方法は対策品の有無による一対比較が可能である、という特徴をそなえている。

② チャンバー内に設置する HCHO 発生源としては、短期間で HCHO 濃度が安定し、加工の容易な MDF が適している。

③ 対策品による HCHO 低減効果については、PAS によるモニタリング結果から相対比較が可能であり、標準法を併用することにより、より正確に知ることができる。

5．簡易試験によるパッシブ型対策品の除去効果に関する比較・検討

本試験方法によって、形態の異なるパッシブ型対策品であっても、その効果の有無を容易に知ることが可能になった。そこで、さらにシート以外の多種多様な対策品について、同様な試験を行った。対策品の概要を**表 5-1** に示す。

表 5-1 対策品の概要

試験	製品	形態(サイズ)	製品の概要・除去原理(メーカー資料による)
5	F	シート状 (300×300)	シリカ系の白色粉末表面にアミン系化合物を添着し粉砕して、ビニールフィルムに混合したもの。 アミン基にアルデヒドガスが接触するとシッフ反応により化学的結合して除去・消臭される。(本試験対策品 Y のシート状加工品)
	G	ボード状 (250×250×2^t)	触媒粒子および活性炭粒子が有機バインダー粒子を介して基材となる不織布上に担持されており、この不織布を複数枚積層し、圧着して成形したもの。 活性炭表面に物理吸着された HCHO が、触媒表面上の活性な酸素と反応して水と二酸化炭素に分解し、除去される。
	H	シート状	紙にアミド系 HCHO 除去剤、シリカ系消臭剤を添着したもの。 設置場所は、衣類ダンス、本棚、キャビネット等引出しの中で標準の引出し(50L)に一枚設置し、これより広いサイズの場合は 2 個設置する。有効期間は約 6 ヶ月
	Z	粒状	パルプにアミド系 HCHO 除去剤、シリカ系消臭剤を添着したもの。グリーンの粒は HCHO を吸着してピンク色に変色。有効期間は約 2 ヶ月 設置場所は、タンスの中、クローゼットで 3000L に 1 個が目安。
6	O	液状	醗酵型微生物を培養して作られる「抗酸化酵素溶液」
	P		焼成温度の異なる数種類の木炭粉末（中温炭・高温炭・高温履歴炭）をブレンドし、多孔性の表面積を拡大させ、木炭の持つ特性を最大限に発揮させるもの。
7	Q	液状	青森ヒバから抽出されるヒバ油（ヒノキチオール含有）、大豆や緑茶などの植物から抽出されるカテキン（抗菌効果）、ヒノキチオール（防ダニ・防虫効果・除菌効果）、アミノ酸を主成分とする。
8	R	石膏ボード (300×300×9^t)	HCHO と反応する物質を石膏ボードの石膏中に添加したもの。 HCHO を単に吸収・吸着するだけでなく、吸収反応し、その反応生成物を石膏ボード内に固定するため、再放出することがない。
9	S	化粧石膏ボード (300×300×9^t)	アルデヒド化学吸着成分を添加し、化学結合からなる吸着により再放出を防止。

5.1 試験 5

PAS による測定結果を図 5-1-1 に示す。廃材を利用して製作されたボード状対策品 G は、顕著な HCHO 濃度低減効果が認められる。その他の対策品は顕著な除去効果はみられない。

一方、図 5-1-2 は、標準法による測定結果を示したものである。対策品 G は、同様に HCHO 濃度低減効果が顕著である。対策品 F は、前述の試験 4 の結果において、HCHO 低減効果が認められた対策品 Y に含まれる化合物をビニールフィルムに加工したものであるが、本試験では効果が確認されなかった。対策品 H、対策品 Z は同一のメーカー製品であるが、どちらも顕著な HCHO 除去効果がみられなかった。

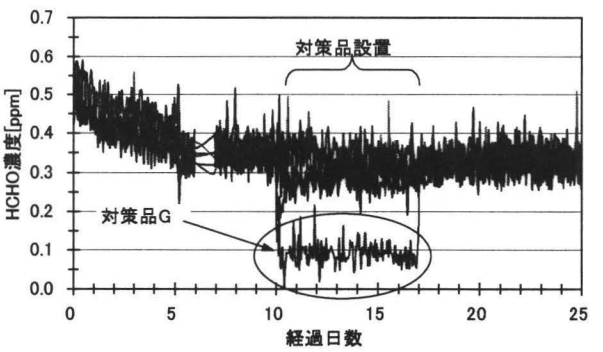


図 5-1-1 PAS による測定結果＜試験 5＞

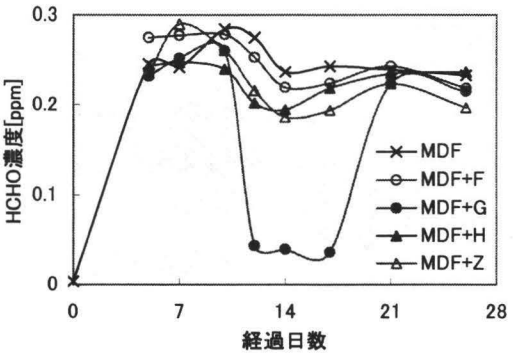


図 5-1-2 標準法による測定結果＜試験 5＞

5.2 試験 6

本対策品は、施工現場で塗装して施工される。そこで、HCHO 発生源である MDF から放散される HCHO 濃度が安定した時点で、MDF に薬剤を直接塗布し、塗布しない MDF（対照コントロール）との一対比較を行った。試験体は、HCHO の封じ込め効果と HCHO 分解除去効果の違いが比較できるように MDF 両面、MDF 片面の 2 種類製作した。

測定結果を図 5-2-1 に示す。活性炭を主成分とした対策品 P では、若干、HCHO 除去効果が認められたが、抗酸化薬液を用いた対策品 O は、ほとんど効果が認められなかった。

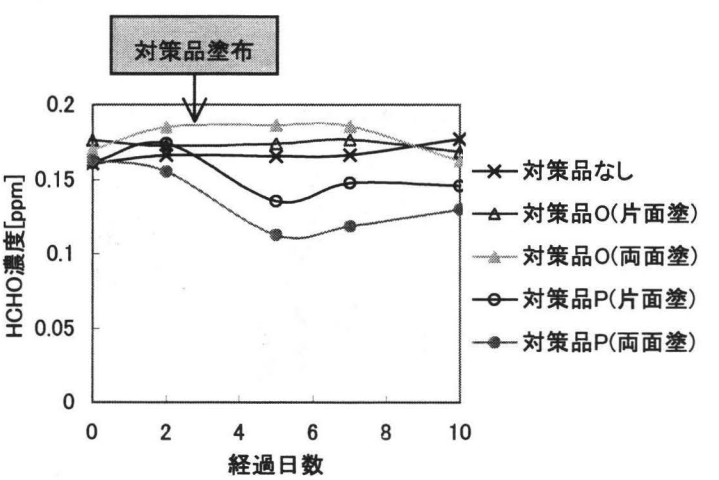


図 5-2-1 標準法による測定結果＜試験 6＞

5.3 試験 7

薬液は、噴霧タイプ５種、塗布タイプ１種である。施工方法による差を把握するため、噴霧タイプの薬液に関しては、さらに塗布した場合の除去性能についても比較を行うこととし、表 5-3-1 に示す 11 種類の試験体を作製し試験を実施した。

表 5-3-1 試験体

No.	薬　剤	薬液施工法
#1	Blank（コントロール）	施工なし、MDF のみ
#2	PF	両面薬液噴霧（霧吹きで３０cm 離れたところから５回噴霧）
#3	PGS	
#4	PG-BS-500	
#5	PG-03-3	
#6	PT	
#7	PF	両面薬液塗布（表面で薬液が流れる落ちる程度まで十分に塗布）
#8	PGS	
#9	PG-BS-500	
#10	PG-03-3	
#11	PT	
#12	Phytonchid	

図 5-3-1 に噴霧タイプ５種類、図 5-3-2 に塗布試験体 6 種類の試験結果を示す。いずれも全く低減効果を示さなかった。

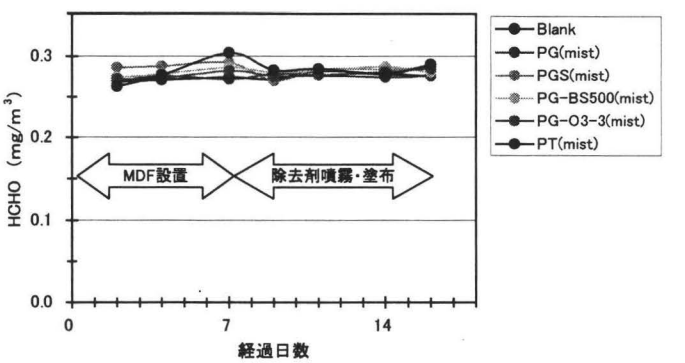


図 5-3-1　測定結果（MDF+除去薬液噴霧）（標準法）＜試験 7＞

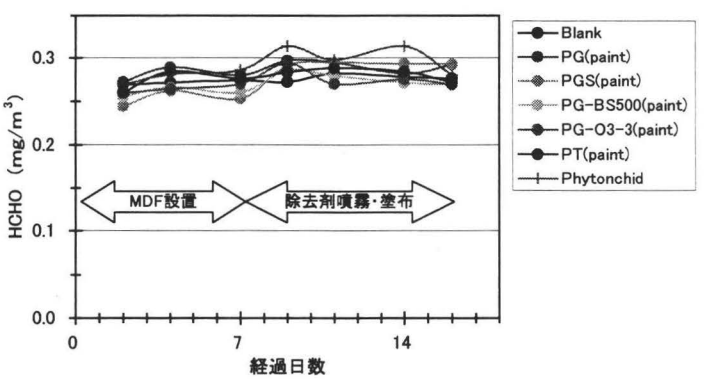


図 5-3-2　測定結果（MDF+除去薬液塗布）（標準法）＜試験 7＞

5.3 試験 8

本試験ではコントロールを設置せずに試験を行った。試験体は全部で 3 種類作製した。HCHO 除去石膏ボードの他に、HCHO 除去石膏ボードの性能と比較するため、通常の標準石膏ボードも設置した。また、除去ボードは表面の通気性がないと効果が得られないということを確認するため、塩ビクロスで仕上げた試験体も作製した。

試験結果を**図 5-3-3** に示す。HCHO 除去石膏ボードは HCHO 除去効果が見られたが、経過日数に伴って増加する傾向を示した。これは、試験体が製造直後の製品でなく、新築住戸内に放置していたものを使用したことが影響していると思われた。また、標準法石膏ボードでも初期には HCHO 除去効果がみられた。これは石膏ボードの吸湿に伴って、HCHO が吸収されたことが考えられ、逆に放湿時の再放散の可能性が考えられる。除去ボードに塩ビクロスを仕上げた試験体は、全く除去効果がみられなかった。

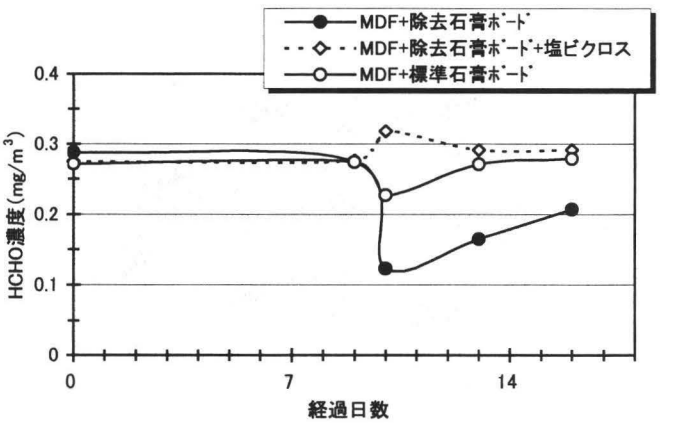


図 5-3-3　測定結果（標準法）＜試験 8＞

5.4 試験 9

対策品は、試験 8 と同様に石膏ボードであるが、本試験体は化粧仕上げのため、塩ビクロス等の仕上げが不要であり、そのままの状態で施工される。対策品は裏面・小口はシールを施した。また、HCHO 発生源は PB と MDF の 2 種類として、コントロールを省略して、対策品設置前後の濃度差から HCHO 除去性能を評価した。

試験結果を**図 5-3-4** に示す。HCHO 発生源の種類に関らず HCHO 除去効果が確認された。

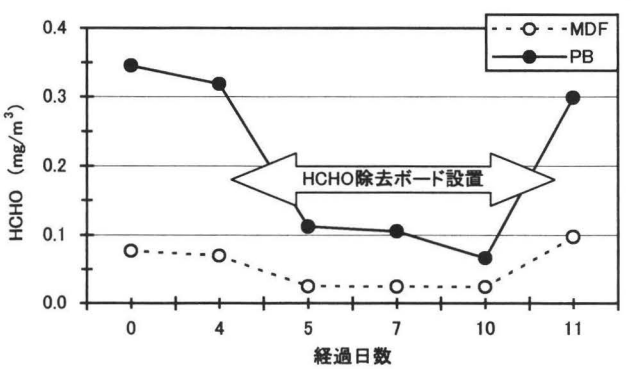


図 5-3-4　測定結果（標準法）＜試験 9＞

６．実家具・実住宅における効果の検証

6.1 実住戸における効果の検証

除去性能があると判断されたパッシブ型対策品として、シート状の対策品 A 及び C、ボード状の対策品 G を採用し、入居後の集合住宅における対策前後の室内 HCHO 濃度の実測を行い、HCHO 濃度低減効果の検証を行った。また、同時に常時換気、空気清浄機による HCHO 低減効果の検証を行った。

6.1.1 対象住戸の概要

図 6-1-1 に、測定対象住戸の平面を示す。対象住戸は、大阪府内にある 14 階建て集合住宅の 10 階中間住戸で専有面積 70.9m²、南面バルコニーを有し居間(18.0m²)、和室(9.9m²)、洋室 A(10.1m²)、洋室 B(8.2m²)の 3LDK タイプである。収納部としては、和室に押入れ、洋室 2 室に各々クローゼット、廊下に物入れ 2 ヶ所、玄関に下足箱、キッチンにキッチンユニットが設置されている。なお、この集合住宅には、サッシ上部の換気框から外気を導入し浴室から排気する、常時換気システムが設置されている。

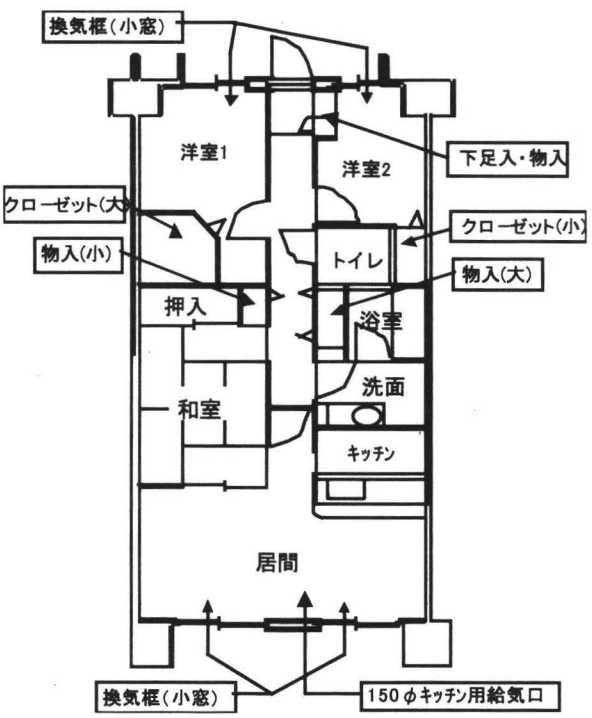


図 6-1-1 測定対象住戸の平面

表 6-1-1 に測定対象住宅の主な内装材等の仕様を示す。下地材の間仕切り材には、全国 LVL 工業会の基準で F1 相当の LVL(単板積層材)が用いられている。この基準は、2000 年 7 月の日本農林規格(JAS)の改定に先だって作成されたものである。壁は石膏ボード下地に、HCHO を含まない接着剤で、JIS 規格品の塩化ビニールクロスを貼っている。床は、居室・廊下は旧 JAS 規格の F1 タイプの直貼り用複合フローリング、洗面・便所のみ塩化ビニール製の長尺塩ビシートで仕上げている。収納部のうち造付け家具類は、旧規格 F1 タイプの化粧合板を表面材とし、可動棚板は E2 タイプを採用している。

表 6-1-1 測定対象住宅における建築材料の仕様一覧

施工区分	部位	材料	仕様
下地材	木工事	普通合板(9.5mm)	F1
		普通合板(4.0mm)	F2
		PB	E2
		LVL	F1 相当
		木工用接着剤	酢酸ビニル樹脂エマルジョン系接着剤
仕上げ材	木工事	化粧貼造作用集成材(和室白木材)	F1
	壁・天井	ビニールクロス	JIS A 6921 規格品
		ビニールクロス用接着剤	ホルマリン未使用タイプ
	床(居室・廊下)	複合フローリング	F1
		フローリング用接着剤	1 液ウレタン系接着剤(低溶剤型)
造付け家具類(下足箱・物入)	キッチンユニット	心材(合板・PB)	F1・E1
	木製建具	表面化粧合板	F1
	家具	表面化粧合板	F1
		心材(PB)	E1
	可動棚板	ユニボード(15、25mm)	E2

*PB：パーティクルボード、LVL：単板積層材、合板のグレードは旧規格で表記。

6.1.2 実測方法

（1）実測スケジュールおよび測定条件

表 6-1-2 に、実測スケジュールと測定条件を示す。実測は以下の要領で行った。

① 対策前調査

対象住戸の基本性能を把握するために、気密性能及び常時換気システム運転時の換気回数を測定する。また、常時換気システムを停止して漏気による自然換気のみの状態で、居室 4 室(居間、和室、洋室 A および B)の HCHO 濃度を測定する。

② 対策技術の段階的実施

常時換気システムの運転、収納部におけるパッシブ型対策品の設置、居室における空気清浄機の運転の各対策技術を、1 手法ずつ加えて段階的に対策技術を実施した翌日に、各居室および収納部における濃度測定を実施し、低減効果の有無を確認する。

③ 対策実施後の経過調査

1ヶ月経過後に再度、濃度測定を実施し、低減効果の持続性について調査する。

表 6-1-2 実測スケジュールおよび測定条件

	測定日	測定条件		
		(a)換気	(b)パッシブ型対策品	(c)空気清浄機
対策前調査	6.12	自然換気のみ	—	—
対策技術の段階的実施	6.13	自然換気＋常時換気	—	—
	6.14	自然換気＋常時換気	設置	—
	6.15	自然換気＋常時換気	設置	運転
経過調査(1ヶ月後)	7.20	自然換気＋常時換気	設置	—

（2）測定方法

表 6-1-3 に気密性能および換気回数の測定方法と使用機器を、**表 6-1-4** に HCHO 濃度の測定方法を示す。温湿度は、簡易記録計を用いて測定した。

表 6-1-3 気密性能および換気回数の測定方法

測定項目	測定方法	使用機器
気密性能	減圧法	気密測定器（コーナー札幌 KNS-4000）
換気回数	熱線抵抗による全面検出方式（排気風量の測定）	風量測定器（コーナー札幌 SFW-125、KNS-230）
	SF_6 濃度減衰法	光音響法（B&K マルチガスモニター）

表 6-1-4 HCHO 濃度の測定方法

測定法種別	測定法
標準測定法	DNPH-HPLC 法（Waters DNPH Xpo-Sure）
簡易測定法	検知管（光明理化学工業 北川式検知管）
連続測定法	化学発光法（ファームテック FANAT-200）
	光音響法（B&K マルチガスモニター）

（3）実施した対策技術

① 常時換気システムの運転

常時換気システムは、浴室換気扇を用いた排気型セントラル換気方式で、常時換気運転時の排気風量は 75.4m³/h であった。

② パッシブ型対策品の設置

表 6-1-5 に、収納部に設置したパッシブ型対策品の種類と設置量を示す。ここで採用したパッシブ型対策品は、HCHO の除去性能を有すると判断できた製品である。なお、洋室 A および B は、居住者が衣類の保管などに使用しており、在室時間が短いことを勘案して、クローゼットと同様にパッシブ型対策品を適用した。

表 6-1-5 パッシブ型対策品の設置部位、設置量および設置方法

設置部位	対策品	設置量	対象気積（m³）	備考
押入れ（2 段）	シート状：A	11.3m²	3.1	建材表面に両面テープで固定
押入れ（天袋）		2.1m²	0.83	
キッチンユニット内	粒状：Y	100g×2	0.4	2 個の紙容器に入れて設置
クローゼット（大）	ボード状：G	1 箱（0.5m²）	4.2	穴あき箱にボード 8 枚を内蔵
クローゼット（小）	シート状：C	10.5m²	1.73	建材表面に両面テープで固定

③ 空気清浄機の運転

在室時間が比較的長く、在室時に速やかに化学物質濃度を低減させることが求められる居間及び和室を対象に、添着活性炭フィルター濾過の原理を用いた、HCHO 専用空気清浄機[4]を運転した。メーカーカタログによれば、「自然換気 0.3 回／h の 6 畳間にて、120m³／h の処理風量の条件下で、1 時間で初期濃度の 15%まで低減する」除去性能がある。

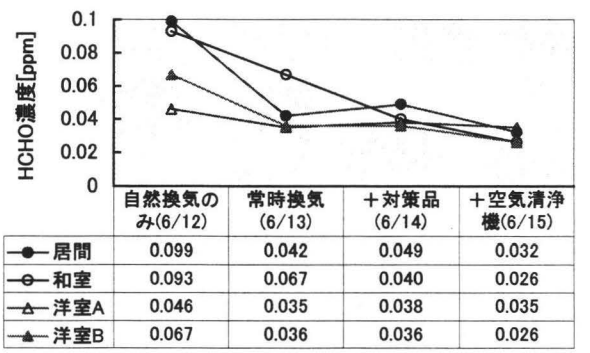
6.1.3 実測結果

図 6-1-2 及び**図 6-1-3** に各段階における居室及び収納部の HCHO 濃度測定結果を示す。

対策前(6/12)の居間および和室における HCHO 濃度は 0.1ppm 近い値を示していたが、常時換気システムの運転(6/13)によって大きく低減しており、特に居間は対策前の 0.099ppm から 0.042ppm に半減した。和室における低減割合は居間におけるそれと比較して小さい。これは和室に直接外気が導入されないこと、および非常に高濃度である押入れから HCHO が漏出していることが原因であると考えられる。

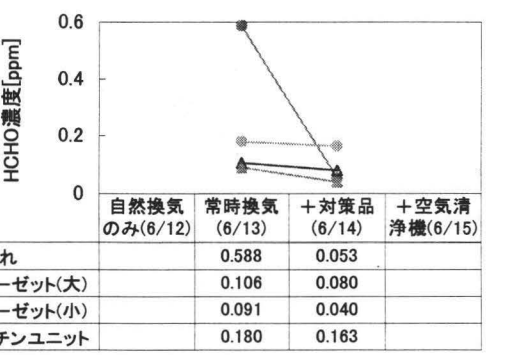
常時換気システムを運転した状態で、収納部にパッシブ型対策品を設置したところ(6/14)、和室は 0.067ppm から 0.040ppm に低減し顕著な効果が認められた。これは、パッシブ型対策品の設置によって押入れの HCHO 濃度が 0.588ppm から 0.053ppm と大幅に低減し、押入れから和室へ HCHO の漏出が抑制されたためと推測される。

さらに、居間および和室において空気清浄機を運転し、洋室 2 室にパッシブ型対策品 G を設置したところ(6/15)、いずれの居室も HCHO 濃度が低減された。



	自然換気のみ(6/12)	常時換気(6/13)	＋対策品(6/14)	＋空気清浄機(6/15)
居間	0.099	0.042	0.049	0.032
和室	0.093	0.067	0.040	0.026
洋室A	0.046	0.035	0.038	0.035
洋室B	0.067	0.036	0.036	0.026

図 6-1-2 居室における HCHO 濃度
＜標準法による測定値＞



	自然換気のみ(6/12)	常時換気(6/13)	＋対策品(6/14)	＋空気清浄機(6/15)
押入れ		0.588	0.053	
クローゼット(大)		0.106	0.080	
クローゼット(小)		0.091	0.040	
キッチンユニット		0.180	0.163	

図 6-1-3 収納部内の HCHO 濃度
＜標準法による測定値＞

表 6-1-6 に対策実施 1 ヶ月後の HCHO 濃度の測定結果を示す。居室の HCHO 濃度は、居間を除いて指針値以下であったが、収納部のキッチンユニット内は、0.166ppm と高濃度であった。これは、粒状のパッシブ型対策品は、発生源から気中に放出された HCHO を吸着・分解する除去機構であるため、シート状に比較して効率が悪かったことが考えられる。

表 6-1-6 対策実施 1 ヶ月後の実測結果

測定対象		HCHO[ppm]	室温[℃]	湿度[%RH]
居室	居間	31.2	65	0.085
	和室	30.1	65	0.075
	洋室 A	29.7	65	0.076
	洋室 B	30.0	65	0.046
収納部	クローゼット(大)	29.8	65	0.095
	クローゼット(小)	30.2	65	0.068
	押入れ	29.9	72	0.070
	キッチンユニット	31.2	60	0.166

6.2 実家具における効果の検証

6.2.1 実験の目的

家具としてキッチンユニットを対象に、パッシブ型 HCHO 除去製品の簡易性能試験で HCHO 除去性能の認められた対策品を設置し、HCHO 低減効果を確認・評価する。

6.2.2 実験の内容

（1）キッチンユニットの HCHO 放散量の把握

① 収納部の扉の「閉」及び「開」状態における HCHO 放散量の把握

② 温度上昇に伴う、収納部の扉の「開」状態における HCHO 放散量の把握

（2）収納部における対策品の低減効果の把握

① 収納部の扉の「閉」状態における収納部内 HCHO 濃度の把握

② 収納部における対策品の低減効果の把握

（3）構成部材からの HCHO 放散量の測定

6.2.3 実験方法

（1）収納部の扉の「閉」及び「開」状態における HCHO 放散量の把握

① キッチンユニット据付後、約1週間後に収納部の「扉」を開放し、扉の開閉前後のチャンバー内 HCHO 濃度の測定を行う。

② また、収納部の扉を開けた状態で、チャンバー内温度を 20℃～35℃まで変化させ、温度上昇に伴う、チャンバー内 HCHO 濃度の測定を行う。

（2）収納部における HCHO 除去製品の低減効果の把握

① 収納部の扉の「閉」状態における収納部内 HCHO 濃度を把握する。

② 収納部内に HCHO 除去製品を設置し、設置後の HCHO 濃度を測定する。

（3）構成部材の HCHO 放散量の測定

測定後、キッチンユニットを解体し、部材単体からの HCHO 放散量を把握するため、収納部で HCHO 濃度の最も高かった物いれ（大）の内面側を対象とし、扉・側板・天板（床板と同じ）及び参考としてレンジ下の側板・点検口（合板）の内面側からの HCHO 放散量をスモールチャンバー法を用いて測定した。

6.2.4 実験条件

（1）実験装置及び運転条件

① ステンレス製ラージチャンバー（キッチンユニット設置）

仕　　様　　；15.625m³（2.5m×2.5m×2.5m）、SUS 製

運転条件　換気回数；0.5 回／h 設定（実測 0.55～0.59 回／h）

温　　度；25℃設定（温度変動実験時；20℃、25℃、30℃、35℃）

相対湿度；50%設定

② スモールチャンバー（構成部材の HCHO 放散量測定）

仕　　様　　；0.15m³（円筒形 φ0.55m×0.63m）、SUS 製

運転条件　換気回数；0.5 回／h 設定

温　　度；25℃設定

相対湿度；40%設定

試験体寸法　　；0.3m×0.3m（裏面・小口はアルミシール）

（2）キッチンユニット

サイズ；幅 2250×奥行き 650×高さ 850

キッチン設置状況；キッチンは通常の設置状況を模して、チャンバー壁面に設置し、壁との隙間はアルミテープでシールを施した。また、レンジは未装着のため、レンジ部分はビニールシートを貼り、収納部の密閉性を確保した。**写真 6-2-1** に設置状況を示す。

HCHO 放散仕様；主な部材の HCHO 仕様を**表 6-2-1** に示す。

（3）パッシブ型 HCHO 除去製品（対策品）

浄化シート（対策品 A）

設置量；実際の設置方法を考慮し、棚板面には設置せず、主に側板に両面テープで接着剤する。設置量を**表 6-2-2** に示す。



写真 6-2-1 キッチン設置状況

表 6-2-1　HCHO 放散量仕様（メーカー資料より）

ユニット・パーツ	構成材料	HCHO 仕様
カウンター（ステンレストップ）	天然下地材 PB	E0
	天然下地材合板	Fc0
カウンター（人造大理石）	天然下地材 PB	E0
	天然下地材合板	Fc0
吊戸棚	側板化粧 PB	E0
扉	化粧 PB	E0
扉	化粧 MDF	E0

表 6-2-2 パッシブ型対策品設置量

	内法寸法（収納部） (mm)	空容積（概算） (m^3)	シート設置量 (m^2)	設置割合 (m^2/m^3)
レンジ下	W720×D490×700	0.141	0.635	4.5
引出し部	W420×D470×700	0.138	0.417	3.0
シンク下	W1020×D490×700	0.350	1.22	3.5
吊戸棚（大）	W900×D350×700	0.221	0.934	4.2
吊戸棚（小）	W300×D350×700	0.147	0.575	3.9

（4）分析方法

HCHO の測定は、PAS（光音響法：B&K 社製マルチガスモニター）で連続的にモニターを行い、チャンバー内 HCHO 濃度は Waters 社のアクティブサンプラーを用いた DNPH-HPLC 法、キッチン収納部内は、Speluco 社製のパッシブサンプラー（24 時間）を用いた DNPH-HPLC 法で行った。温湿度は簡易温湿度計（おんどとり）を用いた。

6.2.5 実験結果

（1）PAS による経時変化測定

図 6-2-1 に PAS によるモニター結果を示す。PAS は HCHO 以外の VOCs の干渉を受けるため、濃度としては採用できないが、化学物質濃度の増減傾向を把握できる。

実験開始から 7 日めまでは収納部の扉を「閉」の状態でエージングを行っている。チャンバー内及び吊戸棚（大・小）については、実験開始時より比較的安定している。一方、シンク下・引出し内・レンジ下については、時間経過にともなう減衰が顕著である。この減衰は HCHO よりも他の VOCs の影響と推測される。また、チャンバー内濃度は 0.6mg/m^3 前後であるのに対し、収納部等は 1 桁高い値を示しており、化学物質濃度の差が大きいことを示している。

実験開始 7 日から 10 日までは収納部の扉を「開」の状態でエージングを行っている。チャンバー内の濃度は 0.6mg/m^3 前後で「閉」の状態と差はみられなかった。これは換気（0.5 回/h）の効果によるものといえる。

実験開始 10 日から 14 日まで再度、収納部の扉「閉」の状態でエージングを行っている。時間経過に伴う濃度減衰は少なくほぼ安定した状態が得られている。そこで 14 日めに収納部に対策品を設置した。対策品の設置により濃度の低減傾向がみられたが、顕著な減少は得られていない。これは、HCHO 以外の VOCs 濃度が高いことが影響している。

3 日間対策品を設置した後、実験開始後 17 日目に対策品を撤去し、収納部の扉を「開」の状態にし、21 日目からチャンバー内温度を変化させた。PAS 指示値では顕著な変化はみられなかった。

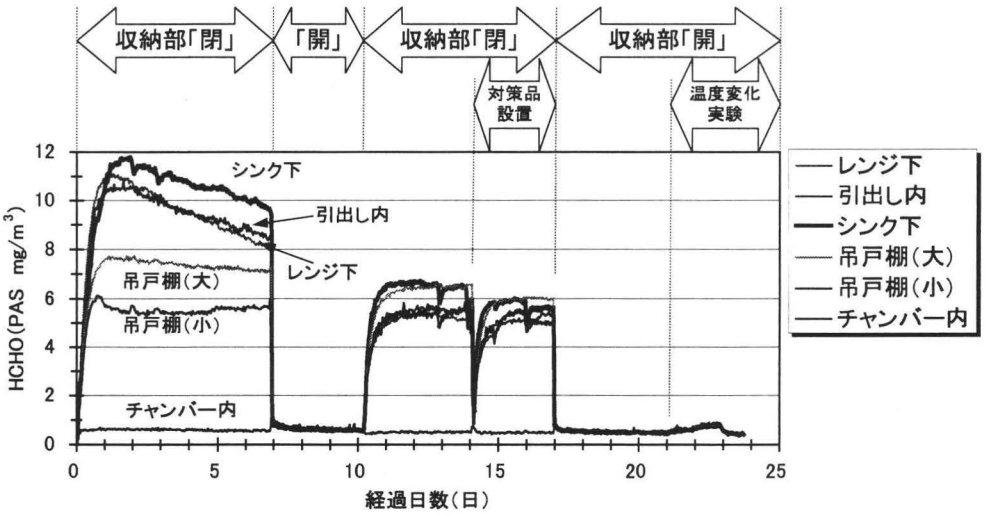


図 6-2-1 HCHO 測定結果（PAS）

（2）チャンバー内濃度測定結果（DNPH-Active）

図 6-2-2 に標準法によるチャンバー内濃度測定結果を示す。

収納部の扉の「閉」の状態では 0.2 mg/m³ 程度であるが、「開」では 0.3mg/m³ 近くになる。一方、収納部の扉を「閉」の状態で対策品を設置すると、さらに低減し 0.1mg/m³ とチャンバー流入空気の濃度に近い値となっている。このように収納部の「開」、「閉」及び対策品設置によって濃度変化が現れており、HCHO 放散量の大きい家具では、この差がさらに顕著になると推測される。

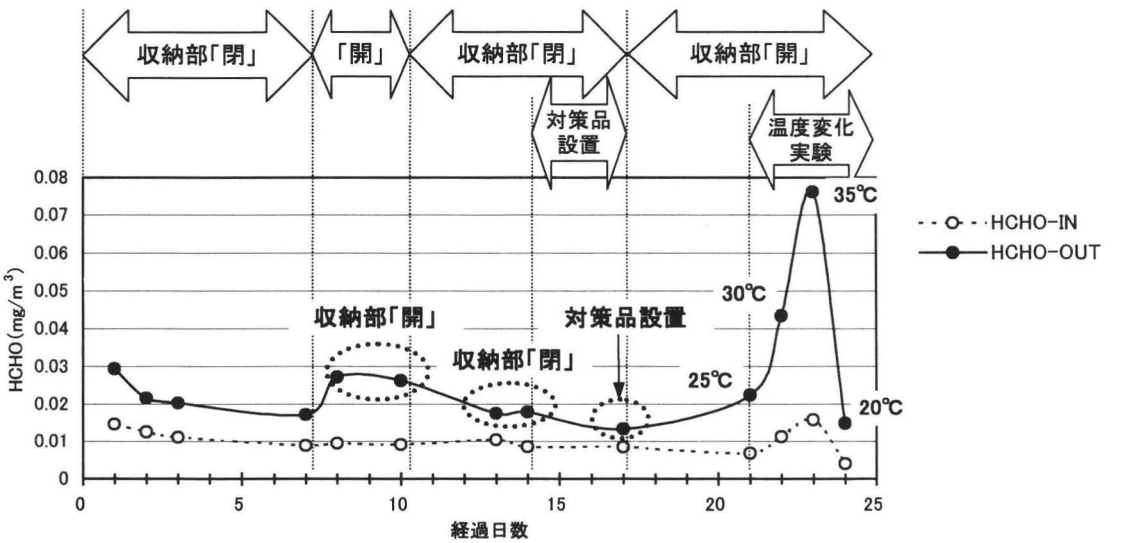


図 6-2-2 チャンバー内濃度測定結果（DNPH-Active）

（3）収納部内濃度測定結果（DNPH-Passive）

収納部の濃度測定は、レンジ下、シンク下、吊戸棚について実施した。パッシブサンプリ

ング（２４時間）による収納部の対策品設置直前と設置後１日目、2 日目の測定結果を図 6-2-3 に示す。対策品設置前はレンジ下及びシンク下は共に 0.11mg/m³ 程度であった。一方、対策品設置後の濃度は 0.01mg/m³ 未満（定量下限値）であり、対策品による HCHO 除去効果が顕著であった。

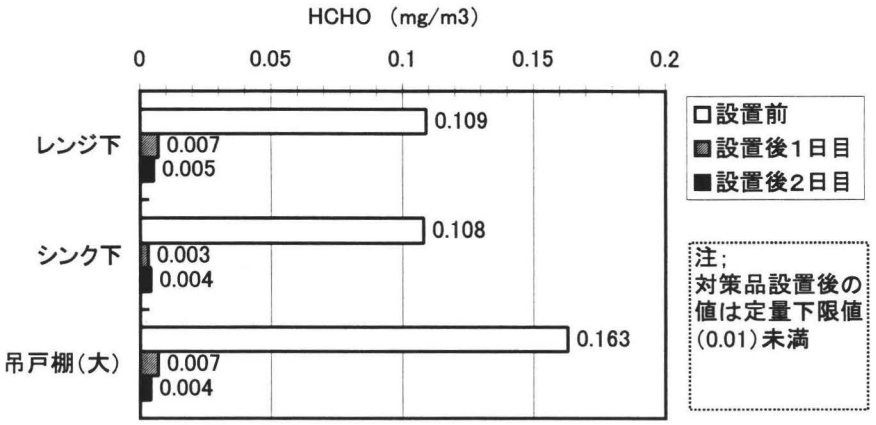


図 6-2-3 収納部内濃度測定結果（DNPH-Passive）

（４）温度変化実験結果

図 6-2-4 に温度変化に伴うチャンバー内濃度測定結果を示す。設定 25℃（実測値 24.8℃）では 0.022mg/m³、設定 30℃（実測値 30.5℃）では 0.043mg/m³ と 5℃の温度上昇で 1.9 倍程度の濃度上昇となっている。また、回帰式を当てはめたところ指数関数が相関係数 R^2＝0.9998 と高く、温度が高いほど HCHO 濃度が高くなることを示している。回帰式より温度 5℃の上昇による濃度上昇率を求めると 1.77 倍となる。ちなみに 10℃では（1.77）²=3.24 倍、35℃では（1.77）³=5.5 倍の濃度となる。

このような温度上昇に伴って、対策品の設置がより有効になると考えられる。

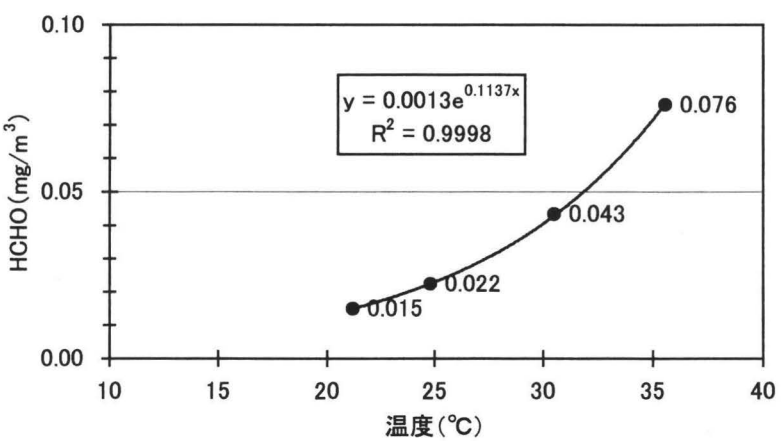


図 6-2-4 温度変化に伴うチャンバー内濃度測定結果（DNPH-Active）

（5）構成部材のHCHO放散量測定

ラージチャンバー実験終了時点で直ちにキッチンユニットを解体し、その場で30cm角の試験体を切り出すとともに、スモールチャンバー内に設置した。サンプリングはHCHO濃度が低いことから精度を高めるため2回実施し、試験体設置後4日目及び5日目にHCHO放散量測定を行った。なお、サンプルは収納部内面への放散量のみを把握するため、室内側に面する面はアルミホイル、アルミテープでシールした。

表6-2-3に測定結果を示す。全体としては、放散量は非常に少なくE0及びFc0建材を満たしている。なお、吊戸棚の「天板」と「側板」は同じPBを使用しているが、側板は棚板設置用のビス穴が空いており、HCHO放散量を増加させていると推測された。（**写真6-2-2**参照）

表6-2-3 パッシブ型対策品設置量

	HCHO濃度 (mg／m³)		換気回数 (回／h)		N／L		放散量EF [mg／(m²·h)]		
	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	平均
吊戸棚・扉	0.009	0.011	0.568	0.497	0.95	0.83	0.009	0.009	0.009
吊戸棚・天板	0.007	0.007	0.531	0.433	0.89	0.72	0.006	0.005	0.005
吊戸棚・側板	0.012	0.011	0.627	0.52	1.05	0.87	0.012	0.010	0.011
吊戸棚・奥板	0.017	0.017	0.551	0.484	0.92	0.81	0.016	0.014	0.015
レンジ下側板	0.005	0.004	0.538	0.521	0.90	0.87	0.004	0.004	0.004
レンジ下点検口	0.007	0.007	0.577	0.478	0.96	0.80	0.006	0.005	0.006

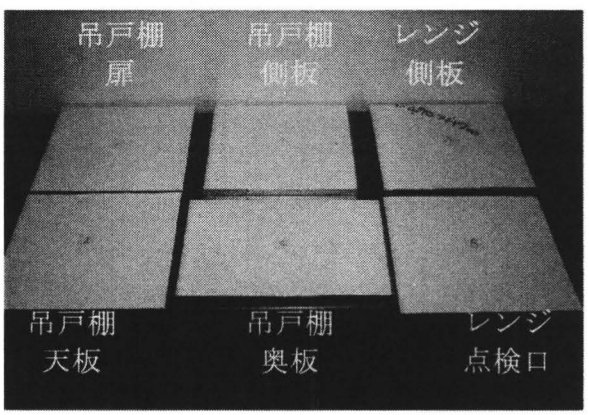


写真6-2-2 試験体写真

6.2.6 まとめ

キッチンユニットからのHCHO放散量は比較的少なかったが、キッチンユニット収納部のHCHO放散が室内のHCHO濃度に影響していることが認められた。特に室温上昇時は濃度も指数的に上昇し影響が大きくなる。また、収納部のHCHO濃度は0.1mg／m³を超え、高濃度であったが、対策品を設置することによって0.01mg／m³以下に低減できた。収納部の棚板用のビス穴はHCHO放散量を促進することが認められた。

7．まとめ

パッシブ型対策品の設置は、実家具や実住戸での検証で示したように、収納部内のHCHO濃度を低減する対策として有効であり、収納部内のHCHO濃度を低減することによって、居室内のHCHO濃度も低減できることがわかった。

この場合、シート状の対策品はHCHO発生源に直接設置することによって高い低減効果が得られると推測されるが、粒状やボード状の対策品は気中に放出されたHCHOを吸着・分解するため、低減効果は低くなる傾向にあった。このような発生源に直接設置できない形状のパッシブ型対策品については、発生源から放出されたHCHOと接触させるような気流が必要であると考えられる。

なお、パッシブ型対策品については、今回の簡易性能試験法だけでは定量的な低減効果を表すことは不可能であり、今後、定量的なHCHO除去性能やHCHO低減効果の持続性については、より詳細な性能試験を行う必要がある。今回採用したパッシブ型対策品は、設置の前後で相対的には低減効果を有するものであったといえよう。

これまで、パッシブ型HCHO除去製品の性能試験法がなかったため、HCHOの除去効果を表すのに、実際の住宅に施工して、施工前後のHCHO濃度からHCHO除去効果を示すことなどが行われてきている。しかし、この手法は、試験に要するコストが高いだけでなく、換気量や温湿度などの環境条件が設定できないことから、性能試験の精度は低くならざるを得ない。ちなみに、今回、HCHO除去性能試験を行った対策品のいくつかは、このような実大実験に基づいて有効性を謳っている対策品を含んでいるが、それらを対象に本性能試験を実施したところ、全くHCHO除去効果は得られなかった。

一方、現在、パッシブ型HCHO除去製品として様々な製品が市販されているが、本試験結果から明らかなように、HCHO除去効果の全くみられない製品も多いと思われる。このような状況で多数の製品を評価する必要が求められているといえる。

これらのことから、実大実験や高精度のチャンバー試験を行う前に、スクリーニング試験を行うことが有効であるといえよう。

参考文献

1) U.S.EPA：Compendium of Methods for the determination of Air Pollutants in Indoor Air, Chap.IP-8, 1989

2) 松下インターテクノ：光音響法(PAS)を用いたガスモニター、室内環境セミナーテキスト、pp.41-46、1989

3) Yasuaki Maeda, Xinchenge Hu, Shigenao Itou, Masaru Kitano, Norimichi Takenaka, Hiroshi Bandow, and Makoto Munemori : Continuous Determination of Gaseous Formaldehyde by a Chemiluminescence Method, Analyst, Vol.119, pp.2237-2240, 1994

4) 田代義和, 尾本英晴：ホルムアルデヒド専用空気清浄機の開発, 臭気の研究 Vol.30, №1, pp.34-38, 1999

1－19　住宅用視界および採光制御高分子フィルムの開発

岐阜大学　工学部
助教授・工学博士　武野明義

緒論

高分子材料の住宅機材への応用範囲は広いが、力学的な負荷および風水光による白下現象は製品寿命に関わる大きな問題である。高分子の白化現象の原因はいくつか考えられるが、その多くはクレーズと呼ばれる高分子特有の初期破壊現象である。陶磁器などに見られる微細なひび割れもクレーズと呼ばれるが、高分子材料におけるクレーズは単純なクラックと異なり、フィビリルとボイドより構成されるスポンジに似た構造を持っている。クラックとの大きな違いは、弾性率が低下するもののフィブリルにより強度が保持される点にある。我々は、クレーズがクラックから破断へと進行することを抑制し、安定かつ規則的に発生させることに成功した。これは、クレーズと非クレーズからなる複合構造を持ち、単一組成ながら高次構造の違いによる複合材料と言える。

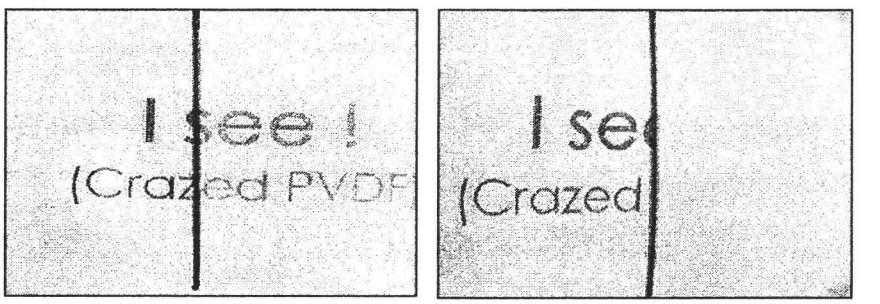


図１　クレーズ複合フィルムの視界制御性
（ＰＶＤＦフィルムに右半分のみクレーズを複合、写真左は正面から撮影、右は斜め 60° から撮影）

クレーズが規則的に生じた高分子フィルムには、日常接することの多いプラスチックの白化現象とは異なる数多くの特徴が期待できる。例えば、クレーズを複合したポリフッ化ビニリデン（PVDF）フィルムでは、フィルムを正面から観察するとほぼ透明だが、斜めから覗き込むとすりガラスのように不透明となる視界制御性を示す（図1）[1]。また、ポリメタクリル酸メチル（PMMA）フィルムでは、逆に正面からは不透明だが、斜め方向から見るとほぼ透明になり、ポリスチレン（PS）フィルムでは、正面から見た場合に比べてやや斜め方向からは透明度が下がり、さらに傾けると再び透明度が増す特異な光学特性を示す[2]。これらは、足下の民家を覗かせず景色が楽しめる

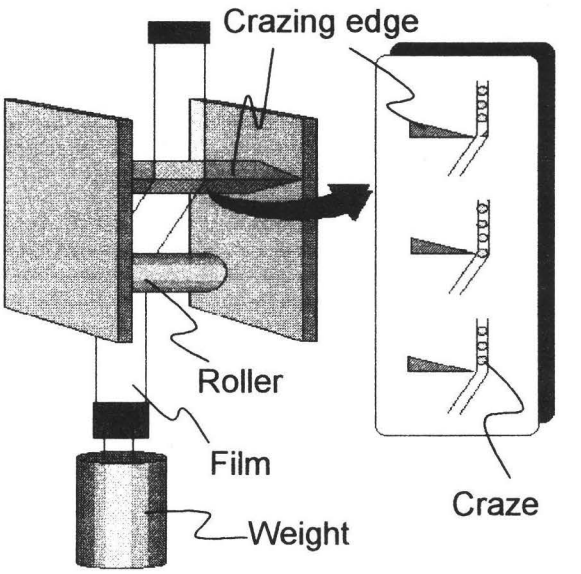


図２　クレーズ複合処理の模式図
（右上の囲みは、刃先でクレーズが複合される様子を拡大して図示した）

ホテルの窓や、ATMなど増え続ける情報端末の覗き込み防止など、視野を制限したい分野に広く応用が期待されている。また、クレーズに導電性高分子を複合した異方導電性フィルム[3]およびペットボトルからの再生樹脂による視界制御性フィルム[4]などその応用範囲は広い。

本報告では、このクレーズ複合高分子フィルムの光異方性散乱の特性を視界の制御ばかりでなく、屋外から差し込む日光を室内に配分する採光性、さらに気体透過性を利用した換気性にも着目し検討した。

高分子フィルムへのクレーズの複合

本実験では、汎用高分子であるポリプロピレン(PP)フィルムを使用した(日本プラスト株式会社 PGR25)。クレーズの複合処理では、使用する高分子フィルムの分子構造だけでなくその高次構造が大きく影響する。図2に、クレーズ複合処理の様子を模式的に示した。図の装置を引っ張り試験機に取り付け一定速度でフィルムを移動させる。フィルムは一定張力が加わった状態で処理刃の部分で局所的な曲げが加えられる。刃先では応力が集中するため高分子フィルムにクレーズが生じるが、同時に弾性率が低いクレーズ領域の発生により応力集中は開放されるため、クラック、破断へとは進行しない。フィルムが移動してクレーズ領域が刃先から移動すると再び応力集中が起こるため、応力の集中と開放が自発的に繰り返されることになる[5]。その結果、図3の写真のようにクレーズ層が縞状に生じることになる。ここで、フィルムの移動方向は写真の水平方向であるから、縞は刃先と平行に生じていることになる。クレーズは内部のボイドのため入射光を散乱し透過光学顕微鏡写真では黒い縞として観察さる。フィルム断面を観察するとクレーズ層が表面から裏面まで貫通していることが分かる。これにより、クレーズ層と非クレーズ層が交互に配列した複合構造を持つフィルムができる。この状態に至る過程を光学顕微鏡あるいは後述する光透過特性により解析し、クレーズ相の幅、間隔および深さを評価した(図4)。クレーズの幅および間隔はクレーズの複合処理張力の増加に伴い、それぞれ増加および低下し、十分クレーズが成長したフィルムのみ、クレーズ層が表面から裏面まで貫通した。また、クレーズの発生応力および形態は、高分子鎖の屈曲性や分子の絡み合い点間分子量との関係が深く、

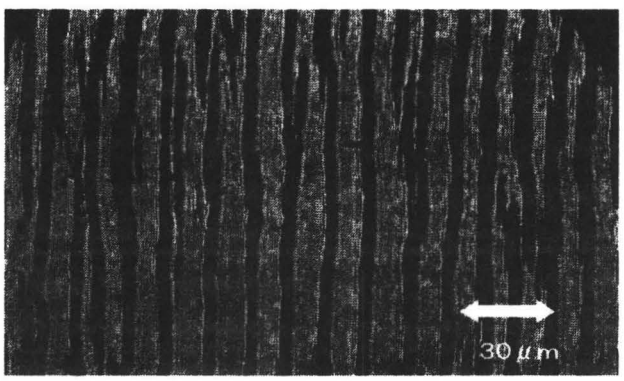


図3　クレーズ複合フィルムの表面写真
(処理張力 6N/cm, 透過光にて)

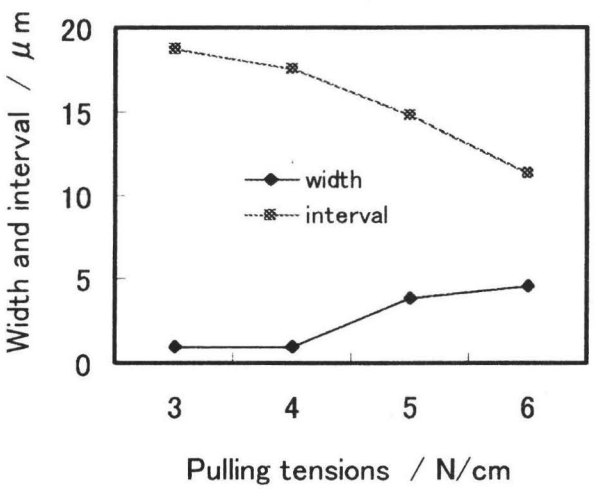


図4　クレーズ複合処理張力とクレーズの形態
(クレーズの幅と間隔(非クレーズの幅))

ある程度分子構造から制御可能である。[6]

視界制御性

視界制御性の評価には、レーザ光散乱測定装置を改造したものを用いた。試料台のフィルムはレーザ光に対して任意の角度に設定でき、He-Neレーザ光透過率のフィルムに対する入射角度依存性を評価した。図5は、各張力でクレーズを複合したフィルムの透過率変化の結果である。横軸は光の入射角度を示し、フィルム表面に垂直に光が入射した時を0°とした。表面から入射した光の透過率が最も高く、約30°の角度から入射した場合には大幅に透過率が低くなった。これは、クレーズ層がフィルムに対してほぼ垂直に深く成長したことにより、ちょうどクレーズ層がブラインドの板のような役割を果たすためである(図6)。このため、垂直方向から光が入射した場合は非クレーズ領域を光が透過するが一定角度以上傾けると入射光は全てクレーズ層に入射し散乱することになり、不透明となる。フィルム面に対して垂直に光を入射した場合は、クレーズの幅と間隔の比で主に透過率が決まり、斜めに入射角した場合は、フィルムの深さ方向へのクレーズの成長が寄与してくる。この光学特性の評価は、高分子材料の力学特性の解析にも有効な方法である[7]。

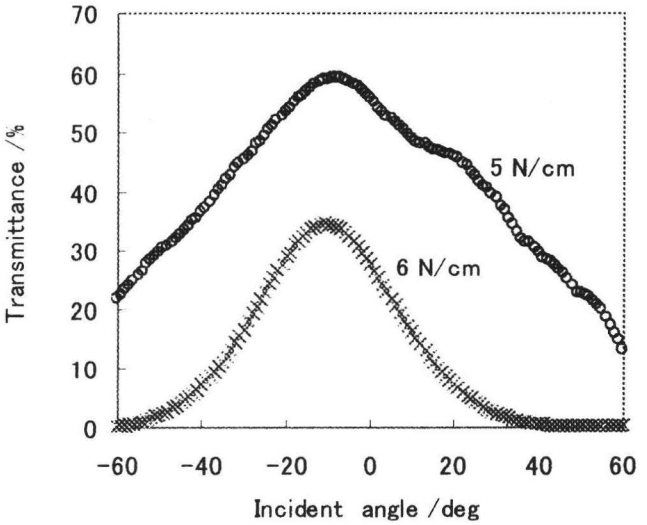


図5　クレーズ複合高分子フィルムの光透過率の入射角度依存性
（ＰＰフィルムに５および６N/cm で複合処理）

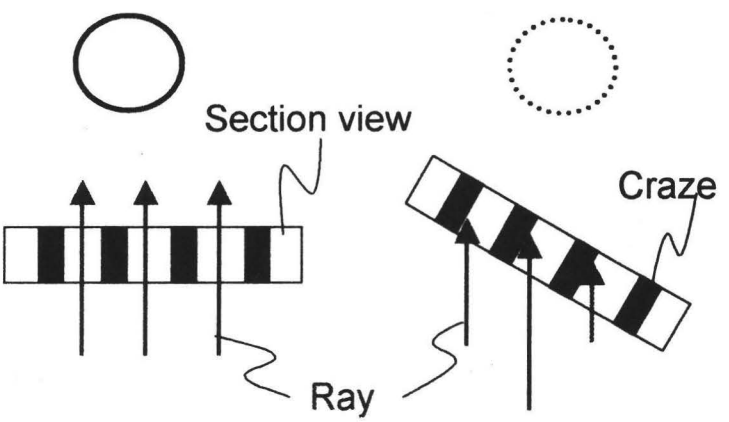


図6　光散乱が異方性を示す原理の模式図
（クレーズ層（黒）と非クレーズ層の複合構造からなるフィルムの断面図に光が入射した様子を示している。）

採光制御性

視界制御性では、特定な方向から入射する光を散乱し視野を制限することができた。同様に入射する光を散乱し内部に配光することも可能と考えられる。そこで、図７に示すような簡易的な実験装置を用意した。CCD光センサー上部に、クレーズ複合フィルムを湾曲させて伏せた状態で設置した。

ここに特定の方向から白色光を入射し、光の散乱状態を評価した。hはフィルム湾曲頂点までの高さであり、dは湾曲状フィルムがセンサー面に接する両端の距離である。CCDセンサーは、基本的に面に垂直方向から入射した光のみが検出される仕様となっている。図8はクレーズの複合処理張力の異なるフィルムについての結果を示している。それぞれ、測定された光の強度に対して等高線のように表示するように画像処理してある。写真のふちに四角形の像が見えるが、これはフィルムを湾曲状に保つため置具である。処理張力が低くクレーズの複合密度が低い試料では、光を検出されなかった。光源から直接入射し

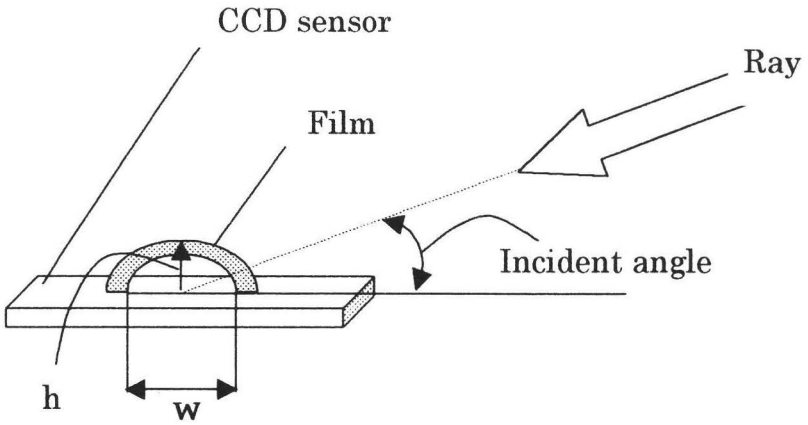
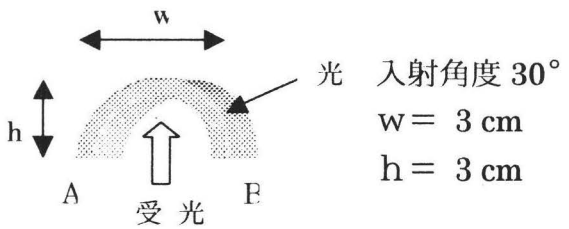


図7　入射光の散乱特性評価装置の模式図
（フィルムは湾曲して設置し、底部をＣＣＤセンサーが移動し二次元の散乱光分布を測定する。）



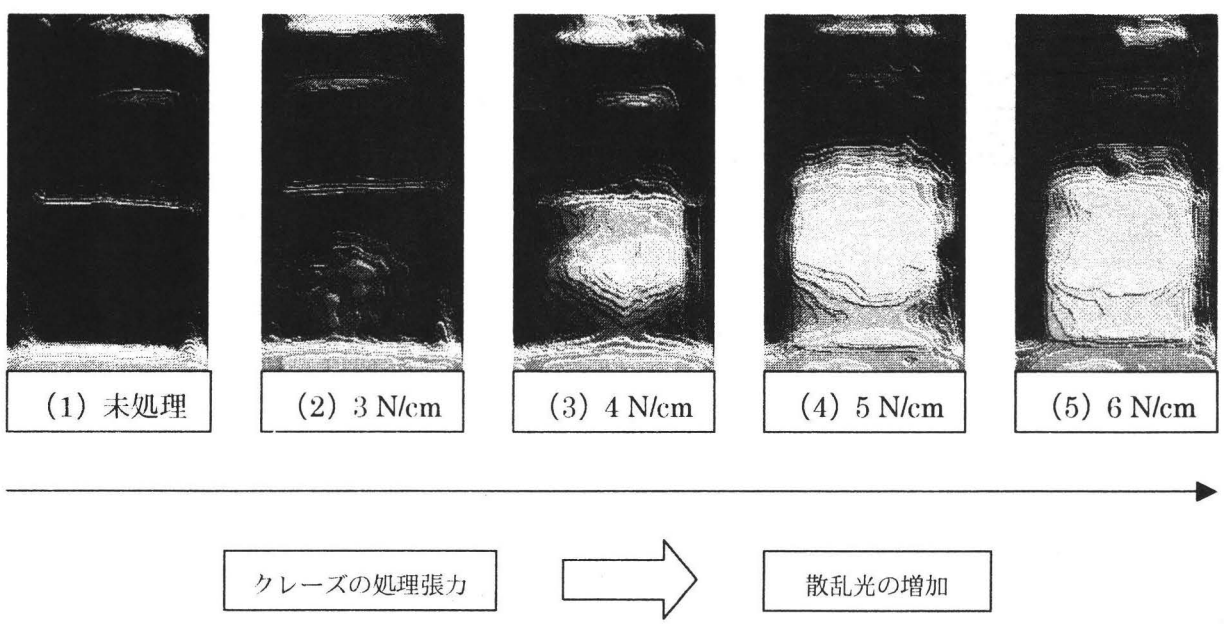


図８　クレーズ複合処理張力と散乱入射光強度
（色が白いほど散乱光強度が強い部分。）

た光はセンサー面にも達しているが検出されない。一方、クレージング処理張力が高くなりクレーズの複合密度が増すにつれ散乱光が顕著になった。クレーズ複合フィルムに入射し透過した光および散乱した光をすべて積算すると、90%以上の透過率がある。光の入射角度によって、入射する日光を効率よく散乱光に振り分けることができると考えられる。

クレーズ領域に入射した光は、クレーズ内のボイドによる散乱に加え、非クレーズ領域との界面での反射成分も伴っている。クレーズ層に入射し散乱した光は、クレーズ層に対して対称反射の方向により多くの光量を配分することになる。クレーズ層はフィルム面に対してほぼ垂直に配列しているため、湾曲させたフィルムではクレーズによる反射効果で集光効果も期待できる。クレーズ複合フィルムによる入射光の制御は、クレーズ層に入射した光の散乱と反射、さらに、クレーズ層の配列状態によって制御でき、高分子フィルムが柔軟であることを生かして効果的な光の制御が可能と考えられる。

気体透過測定

クレーズ層は、フィブリルとボイドからなっているが、このボイドの形態は処理条件および高分子の種類などによって異なる。ポリフッ化ビニリデンでは、ボイドは繋がり連続気泡となり、耐衝撃性ポリスチレンでは独立気泡になることが多い。 今回使用したPPフィルムについても、気体透過測定器（日本分光工業(株)製、Gas perm－100)を用いて測定し、ボイドの形態について評価した。

各処理張力における気体透過測定の結果を図9に示す。透過気体には窒素、酸素、二酸化炭素を用いた。どの気体も処理張力の増加に伴い、気体透過係数は増加した。処理張力が低くクレーズが十分深さ方向に成長していない状態では、透過率の上昇はゆっくりとしたものだが、処理張力が4N/cmに達して時点から急激に透過率が高くなった。これは、処理張力の増加に伴い徐々に深さ方向に成長していたクレーズ層が、この時点で貫通したことを示し、ボイドが連続気泡を形成していると考えることができる。ちなみに、耐衝撃性ポリスチレンに関する実験結果では、処理張力にほぼ比例して気体透過性が高まり、クレーズが完全にフィルムを貫通しても急激な変化は認められなかった。この場合は独立気泡となっている可能性が高い。

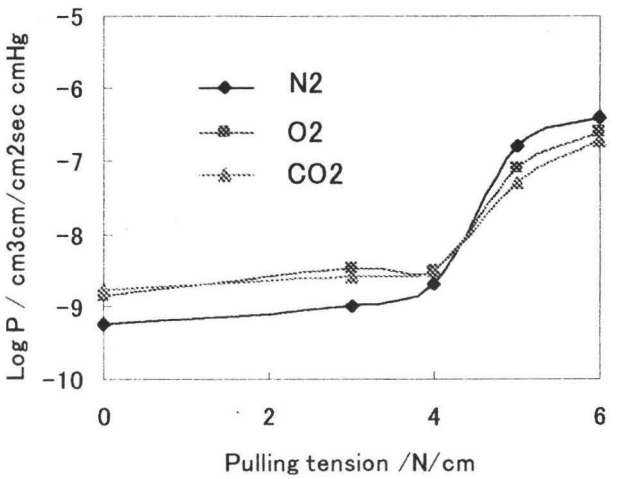


図9　クレーズ複合高分子フィルムの気体透過性（PP フィルム）

このクレーズ複合PPフィルムは、常圧では液体を通すことはなく、水蒸気をはじめとする気体に対しては透過性を示す。そこで、このことを利用して雨は通さないが換気は行える機能が付与できないか検討することにした。

大気圧における気体透過特性

クレーズ複合PPフィルムの持つ、水を通さず気体を通す性質は、衣類などに使用される多孔質シートなどと同様の機能と考えられるが、気体透過性フィルムは通常不透明かつ光の透過性に劣るため、住宅用に用いたとしても用途は限定される。しかし、クレーズ複合高分子フィルムでは、前述したように光の異方散乱性とともに視野を確保することができる。図10のように密閉容器の一部にクレーズ複合フィルムを用い、外界と隔てられた容器内に植物を入れた。容器全体に太陽光を当て、あるいは暗室にし、植物に呼吸と光合成を意図的に行わせた上で、容器内の酸素濃度と二酸化炭素濃度を測定した。測定には、検知管式気体測定器(ガステック(株)製)を用いた。フィルムはクレーズ処

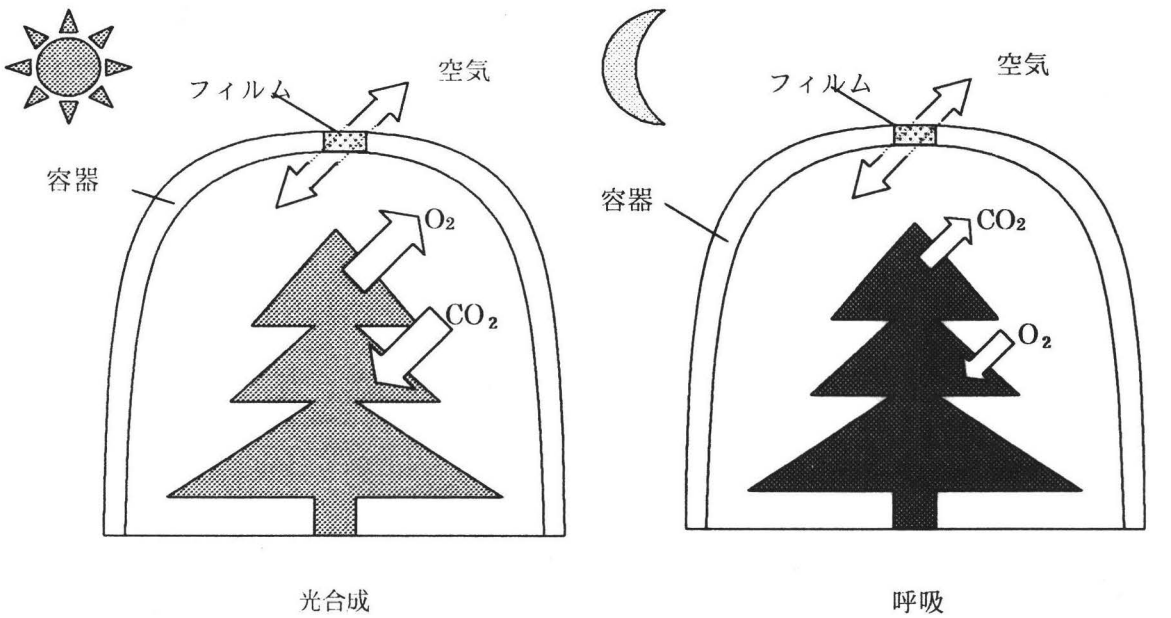


図１０　クレーズ複合フィルムの換気性評価の模式図。

理張力 6N/cm、6cm×5cm の大きさで、容器の表面積に対して1割程度である。また、装置の容積を

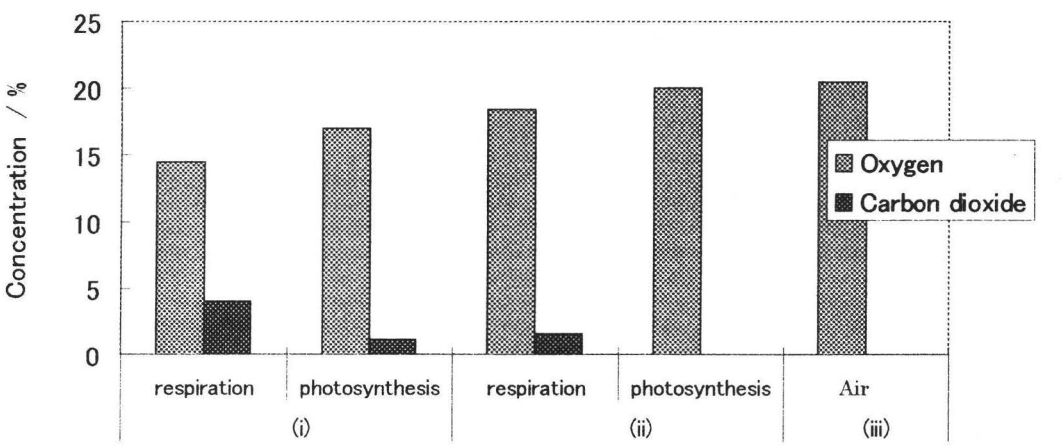


図１１　クレーズ複合高分子フィルムの気体交換性
((i)は完全に密閉し、(ii)は一部にクレージング処理フィルムを用いた。)

500cm^{3}とし、植物にはかいわれ大根を用いた。

図11のように、(i)の密閉容器では、植物の呼吸によって二酸化炭素濃度が大幅に上昇し、光合成によって減少する様子がわかる。この場合は、ほとんど外界と気体の交換がないと考えられる。一方、一部にクレーズ複合PPフィルムを使用した(ii)では、呼吸時においても二酸化炭素濃度の上昇がかなり抑制されることが分かった。一割程度の面積を占めるクレーズ複合フィルムにより気体の交換が行われたと考えられ、視界制御性および採光制御性ばかりでなく、換気機能も併せ持つフィルムとしての使用も期待できる。

断熱効果

換気をしながら部屋を隔てる住宅機材としては、日本の障子が良く知られている。障子のもうひとつの機能として、断熱性が挙げられる。そこで、以下のような簡単な装置(図12)を作成しクレーズ複合PPフィルムの断熱性を調べた。アクリルの筒にフィルムを貼り付け、一端は断熱容器に入れ、もう一端を室外に設置した。試料には未処理フィルム、3N/cm、6N/cmでクレージング複合処理したフィルムおよび障子紙を用いた。また、熱電対により筒内の温度変化を測定した(図13)。

室外と隔てるものが何も存在しない場合は、内部の温度は急激に低下したが、障子紙では60分間でわずか3°の温度変化であった。一方、PPフィルムでは、クレーズの複合の有無

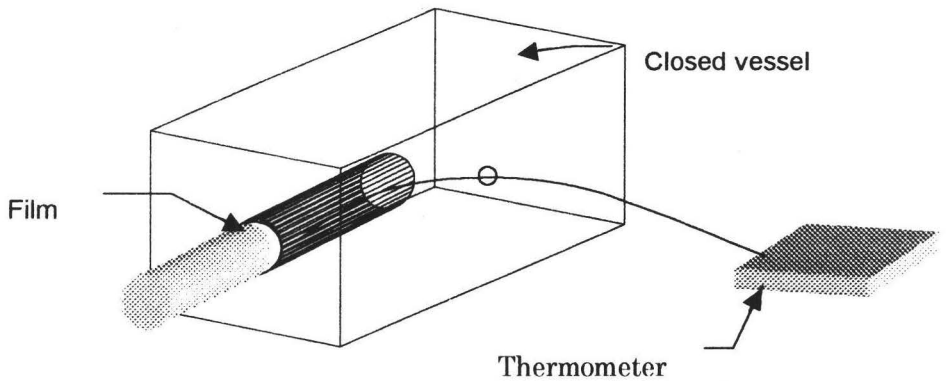


図１２　断熱性評価実験の模式図
(円筒管を低温の室外に出し、室内側は密閉容器とした。管の途中をクレーズ複合フィルム、障子紙で遮蔽または遮蔽物を取り付けない状態で、容器内の温度変化を測定した。)

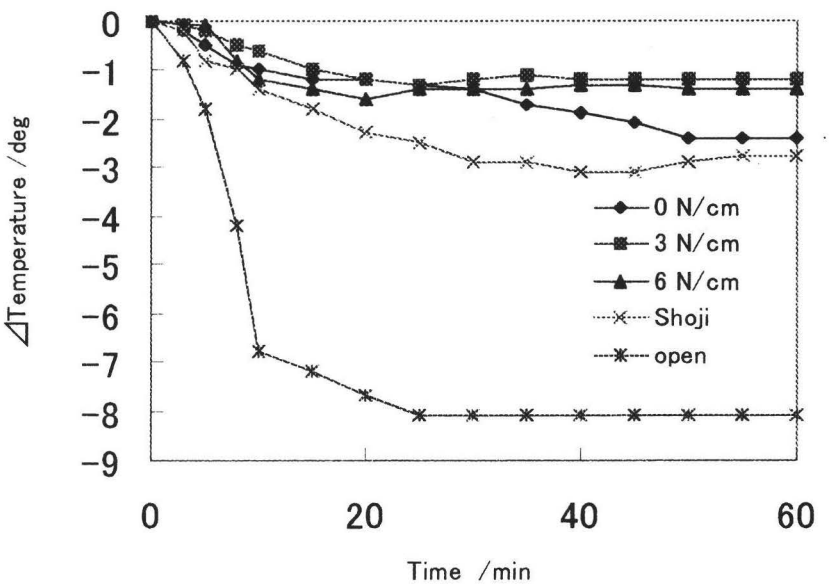


図１３　クレーズ複合高分子フィルムの熱的遮蔽効果の評価
(高分子フィルムは、ＰＰフィルムとした。)

に関わらずそれ以上の断熱効果を示した。

障子紙の気体透過率がPPの透過率に比べ大幅に高いことを考えると一概には比較できないが、ある程度の換気性能を持ちながら空気の対流を抑制し、熱的な遮蔽効果を示すことが分かった。

まとめ

クレーズ複合フィルムの光散乱特性を利用し、視界制御性、採光制御性、気体透過性などの特徴について検討した。その結果、例えば住宅の窓に使用した場合は、日光はクレーズ面に入射し散乱・反射され、室内の奥深くまで届く。室外の景色を見ることはできるが、近隣の高層マンションの上階から室内を覗き込むことはできない。障子のように使用した場合は、対流に伴う熱の出入りを抑制しながら換気機能を持つばかりでなく、雨にも耐えることができる。このような素材が本研究で得られたフィルムの将来としてイメージすることができる。今回の研究報告では、気体透過性および断熱性など予定外の機能追加に伴い、応急的な評価手段を取らざるを得なかった。今後、さらに系統的かつ定量的な評価が不可欠とは考えられるが、クレーズ複合高分子フィルムが未来型の障子としての素質を十分持ち合わせていることは明らかと考えている。

最後に、このような研究の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および関係者の皆様に感謝するとともに、本研究の成果がわずかでも社会貢献に繋がることを願います。

---

1 A. Takeno, Y. Furuse, M. Miwa and A. Watanabe, Adv. Composite Mater., 4, 129-144(1994).
2 A. Takeno, N. Nakagaki and M. Miwa, Adv. Composite Mater., 7, 35-46(1998).
3 武野明義,吉村昌也,三輪　實,横井輝之,, 繊維学会誌, 57, 11, 301-305(2001).
4 武野明義, 三輪　實, 工業材料, 48, 4, 104-108(2000).
5 特許第３１５６０５８号(1994).
6 F. Noguchi, Y. Iwashige, A. Takeno, Minoru Miwa and T. Yokoi, J. Adv. Sci., 13, 3, 382-385(2001).
7 武野明義, 三輪　實, 高分子加工, 51,4, 2-7(2002).

1－20　スギ樹皮・葉等の生物材料を用いた住宅用断熱材の開発

東京大学大学院　農学生命科学研究科
助教授　信田　聡

第一章
緒　言

1.1　研究の目的

断熱建材の必要性のひとつは、人間の要求する快適温熱環境を作り出すことにある。また、世界的に資源の枯渇が叫ばれる現在、断熱建材の施工により、建物を断熱構造化し、省エネルギーを図ることも急務である。躯体の耐久性や換気計画を考えると、その断熱部分は気密性があり、結露防止に配慮したものでなくてはならない[1]。現在使用されている断熱材料としては、グラスウール（熱伝導率λ=0.042～0.052W/mK）[2]、ロックウール（λ=0.040～0.051W/mK）[3]、セルロースファイバー（λ=0.033～0.056W/mK）[4]、インシュレーションボード（λ=0.045～0.070W/mK）[2]、ポリスチレンフォーム（λ=0.028～0.043W/mK）[2]などが挙げられる。わが国で主流を占めているのは、グラスウールやロックウールであり、セルロースファイバーのシェアは1%程度である[5]。

環境問題に特に敏感なドイツでは、断熱材についてもエコテスト結果を元に推奨品、準推奨品、低推奨品、非推奨品に分類し、公表している。この分類によると、セルロースファイバー、木質繊維ボード、ウール、炭化コルク、綿状木質繊維などが推奨品に挙げられている。しかしながら、グラスウールは低推奨品、ものによっては非推奨品であり、ロックウールは非推奨品に分類され、日本では主流を占めている断熱材が下位にランクされていることに注目したい[5]。

ところで、枝打ちで出た枝葉や間伐された木の多くは、ごみとして焼却されたり、朽ち果てたりしている。また、亜寒帯トウヒ林の有機炭素量のうち、約10%が落葉や落ち枝およびそれらの分解物などで構成されており、決して少なくない量と思われる（Fig.1.1.1 参照）[6]。木材はもともと細胞内腔や細胞壁内に多くの間隙を持っており、熱伝導率の低い空気を多く含むため、高い断熱性を持っている。そこで、この特徴を活かし、枝葉を始めとする廃棄物を材料にして、断熱材料を開発できないかと考えた。

本研究では、特にスギの葉に注目して実験を行った。国産材の利用を進めると、ますます多くのスギ葉が不要になり、その処理に苦心すると思われたからである。樹皮については、田村[7]が秋田スギの樹皮を利用したボードとその可能性について報告しているが、葉についてはほとんど利用研究例がない。やや古い文献であるが、森林の現存量、とくにわが国の森林の葉量について、只木[8]が報告している。それによると、スギの葉量は葉乾重量で 19.6±4.4t/ha、葉面積で 6.0±1.2ha/ha とされている。なお、ここでいうスギの葉量とは、その針葉と緑枝を分離して測定することが困難なため、針葉と緑枝を含めた緑色部分を指している。さらに、只木、四手井[9]の仮説によると、わが国のような暖温帯から亜寒帯にかけての安定した森林では、落葉、常緑、広葉、針葉の別なく、年々約 3t/ha の新生葉を生じ、約 3t/ha 落葉していることになる。事実、わが国の森林での当年葉量、年間落葉量とも、概括的には約 3t/ha

と見積もっても良いようである。

さらに、スギ葉の構造も断熱材料に適しているように思われた。断熱材の熱伝導率は、様々な因子によって変化するが、そのひとつに材料の密度が挙げられる。各種材料のかさ比重（密度）と熱伝導率の関係を調べると、一般的傾向として低密度の材料ほど断熱性が良い。空気の断熱性は、現在のあらゆる断熱材料より優れているため、いかに効果的に材料内に空気を含ませるかで、断熱材の良否が決まると言ってよい[10]。この点、スギの針葉は外に向かって張り出しており、集めるとかさばって内部に多くの空気を含ませることができる。粉砕や圧締などの処理により、試験体を密の状態にすることは比較的容易だが、空隙を含む疎の状態にすることは、他の材料では意外と難しいのではないだろうか。

一方、水や氷の断熱性は断熱材のそれに劣るので、どんなに優れた材料であっても、吸水すれば熱を通しやすくなる[11]。また、吸水・吸湿によってカビや腐朽を併発する可能性もある。この点で、吸湿性のある生物材料は不利だが、発想を変えると材料が吸湿することで結露を防ぎ、壁内環境を良好に保つという利点になる可能性がある。また、生物材料の特徴として必ず挙げられることではあるが、廃棄時の環境負荷の少なさも大きな利点と言えよう。

以上のようなことを踏まえて、主にスギ葉を材料にして、生物系断熱材の製造とその物性の検討をテーマに研究を行った。

1.2　実験概要

第二章から第七章までの六つの実験の章によって構成されている。それぞれの実験の章について、目的や構成を以下に記す。

第二章では、研究を進めるにあたって必要と思われる、葉や樹皮の基礎的なデータ収集や観察を行った。また、その後の実験に用いる材料として、何が適当かを見極めることを目的とした。

第三章では、フェノール樹脂接着剤を用いてスギ葉ボードを製造し、その製造方法や断熱性の検討を行った。第二章で用いた試験体形態では、製造後の取り扱いが不便であるため、材料を扱いやすいボード状に成形した。またこの時、材料内に樹脂の気泡を作ることで内部に空気を効果的に閉じ込め、断熱性を向上させることを目標とした。

第四章では、発泡性のあるウレタン樹脂接着剤を用いて、スギ葉ボードを製造した。第三章、第四章では材料の断熱性を左右する因子として、密度に加えて空隙率に注目し、ボード側面の空隙率と熱伝導率の関係についても検討している。

第五章では、フェノール樹脂およびウレタン樹脂接着剤を用いて製造したボードについて、水分が及ぼす影響を調べた。**1.1** で述べたように、材料の断熱性を低下させる最大の原因は、吸湿や吸水と言われているためである。熱伝導率の含水率依存性を調べたほか、実際の使用環境に近くなるよう、周囲の相対湿度が変化する環境でも実験を行っている。そこではイソシアネート樹脂とウレタン樹脂接着剤を用いて製造したボードを実験に使用した。

第六章では、それまでに製造した代表的なスギ葉ボードについて、吸湿性能、吸水性能、曲げ強さを把握するために実験を行っている。

第七章では、第六章までとは異なり、木質系炭化物を材料にして実験を行っている。炭化処理によって材料内部に細孔が増えることが知られているので、材料を炭化することは断熱性能の向上に役立つのではないかと考えた。そこで、スギ樹皮の炭化処理や、様々な木質系炭化物の断熱性について検討した。

第二章
葉・樹皮を用いた断熱試験体の製造と断熱性

2.1　目的

本研究を進めるにあたって必要と思われる基礎的なデータ収集や観察を目的として実験を行った。まず、今後の実験に用いる材料（スギ葉やスギ樹皮、ヒノキ樹皮など）の気乾密度、全乾密度、実質密度（木材の真比重にあたる）を調べた。

また、他に材料として候補に上がったものについて、簡便な方法で熱伝導率を測定すると同時に、既存の材料との比較も行った。

2.2 スギ針葉の断面観察

2.2.1 実験方法

気乾状態のスギの針葉をかみそりを用いて薄くスライスし、試験片とした。光学顕微鏡（倍率100倍）を用いて、その横断面と縦断面を観察した。

2.2.2 結果および考察

針葉の横断面の写真を Fig.2.2.1 に、縦断面の写真を Fig.2.2.2 に示した。スギの針葉は中心部組織の外周に葉肉組織が、その各角隅に下表皮、さらにその最外部に表皮組織が発達している針状体である [12]。Fig.2.2.1 を見ると、この構造が不完全ながらも観察できる。写真中央部に黒く写っている部分が中心部組織であり、中心部の外側に空隙のように見える部分は樹脂孔と思われる。Fig.2.2.2 から縦断面にもこのような空隙が存在することがわかる。一般に、密閉された空気の断熱性は、現在のあらゆる断熱材料のそれより優れているため、空気を効果的に含ませることは断熱材にとって非常に重要なことである。スギ葉で断熱材を製造した場合、葉と葉の間にできるマクロな空隙だけでなく、針葉内部にも空気が閉じ込められ、高い断熱性を発揮するのではないかと考えられた。

2.3 葉・樹皮の密度

2.3.1 実験方法

スギ樹皮とヒノキ樹皮について、気乾密度、気乾時の含水率および全乾密度の測定を行った。気乾密度は、20℃,65%RH の恒温恒湿室中で気乾にした試験体の重量と体積を測定して算出した。気乾時の含水率は、同上の恒温恒湿室中で気乾にした試験体を105℃の乾燥器中で全乾にし、重量変化から算出した。全乾密度は105℃の乾燥器中で全乾にした試験体の重量と体積を測定して算出した。全て試験体の寸法は、定規を用いて長さ3点、ノギスを用いて幅4点、厚さ6点測定した値を平均して、算出に用いた。

また、スギ樹皮、ヒノキ樹皮およびスギ葉については、比重びん法 [13]により実質密度（木材の真比重にあたる）を測定した。

2.3.2 結果および考察

材料の各種密度および気乾含水率の測定結果を Table2.3.1 に示した。両樹皮の気乾時の含水率が比較的高いのは、揮発成分を多く含んでおり、それも水分として評価されているためと考えられる。スギ葉に含まれる抽出油分としては、カウレン、エレモール、α-ピネン、サビネンなどが挙げられる [14]。また、樹皮や葉の実質密度は、一般に用いられている木材の真比重である 1.50g/cm^3 よりも高めの値となった。

2.4 葉・樹皮を用いた断熱試験体の製造と断熱性

2.4.1 実験方法

スギ葉やヒノキ樹皮などの各種材料をアルミホイルで包み、20×20cm（厚さは1～2cm）の大きさに形を整えて、簡易的にボードを製造した。JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法により、これらの熱伝導率を測定した（2.4.2 で詳述）。また、比較としてダンボールやスギ板などの熱伝導率も測定した。用いた材料の種類とその密度、厚さを Table2.4.1 に示した。

材料を上から、および側面から撮影した写真を合わせて Fig.2.4.1～Fig.2.4.9 に示した。材料は全て気乾状態のものを用いた。なお、スギ葉試験体（No.1～4、No.7）はスギ針葉を5cm程度の長さに切ってランダムに詰めたものであるが、表中に//で示した試験体（No.2、No.4）は、ボード平面内で葉軸の方向を揃えて並べている（Fig.2.4.2 参照）。また、No.3、No.4 の試験体はそれぞれ No.1、No.2 の試験体の厚さを半分に押しつぶしたもので、元の材料としては同じものである。水圧バーカーとは、文字通り水の圧力を利用して樹皮を剥ぐ機械で、これで剥いた樹皮は Fig.2.4.6（もしくは後述する Fig.2.5.1）のように、繊維状に引き裂かれた状態となる。また、スギ樹皮、ヒノキ樹皮は Fig.2.4.8、Fig.2.4.9 のように数枚の

樹皮片を並べることで20×20cmの寸法に合わせた。

2.4.2　平板比較法

この研究では熱伝導率の測定をすべて、JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」付属書A（規定）に定められた平板比較法で行っている[15]。ここにその方法を簡単に記す。

この方法では比較用標準板（以下、標準板という）を必要とする。試験体と標準板を重ねて温度差を与え、それぞれの表面温度差を測定して、その比と標準板の熱伝導率から試験体の熱伝導率を求めるという原理になっている。装置は、Fig.2.4.10に示したように高温熱板（加熱板）と低温熱板（冷却板）から成る装置本体、温度設定器、温度測定器などによって構成される。今回は標準板としてポリスチレン板を用いた。

Q:通過熱量、λ:平均温度における熱伝導率、
Θ:材料表面温度差、L:材料厚さ、
s:試験体、sp:標準板とすると、試験体と標準板の通過熱量はそれぞれ

$$Qs = \lambda s \cdot \Theta s / Ls \qquad (2.4.1)$$

$$Qsp = \lambda sp \cdot \Theta sp / Lsp \qquad (2.4.2)$$

と表すことができる。この方法では試験体と標準板の通過熱量は等しく、

$$Qs = Qsp \qquad (2.4.3)$$

より、試験体の平均温度における熱伝導率は下記の式で表すことができる。

$$\lambda s = \lambda sp \times (Ls/Lsp) \times (\Theta sp/\Theta s) \qquad (2.4.4)$$

なお、本研究では第二章2.4を除いて全て、各面につき3本ずつ熱伝対を挿入して温度を計測した。熱伝導率はすべて上記の式(2.4.4)にしたがって算出した。

2.4.3　結果および考察

（1）断熱材料の熱伝導率を左右する因子について

断熱材料の熱伝導率は温度や含有水分量など様々な因子によって変化するが、そのひとつに材料の密度が挙げられる。各種材料の密度（かさ比重）と熱伝導率の関係を調べると、一般的傾向として低密度の材料ほど断熱性が良い。そして断熱材といわれるものは、全て十分に空気を含んでいる。空気の断熱性は現在のあらゆる断熱材料より優れているため、いかに効果的に材料内に空気を含ませるかで、断熱材の良否が決まるといってよい。しかしながら、グラスウール、ロックウール、セルロースファイバーなどの繊維系材料では、あまり密度が低くても断熱性が低下する[16]。密度が低すぎると、材料内部で空気が対流して熱をよりよく伝えるためである。逆に、高密度では熱を伝えやすい繊維実質部が多くなり、接触した繊維を伝わって熱が移動するため、繊維と空気の混合割合の良いところが熱伝導率の最小値となる。

（2）密度と熱伝導率の関係

熱伝導率測定結果をTable2.4.2に示し、材料の密度（かさ比重）と熱伝導率の関係をFig.2.4.11に示した。図中の番号はTable2.4.1およびTable2.4.2の番号と対応している。これは様々な材料をあわせてプロットしたものであるが、ほぼ上記2.4.3（1）の傾向が当てはまり、密度が0.2g/cm^{3}前後のもので熱伝導率が最も低くなっている。

この実験ではボードの中心部1点のみで熱伝導率の測定を行っている。ボード内の密度は完全に均一ではないので、正確な測定のためにはボード上に数点測定箇所をもうける必要があると思われた。また、実際に使われている断熱材料の熱伝導率は、だいたい0.045W/mKを下回っているので、水圧バーカーで剥いたスギ樹皮は特に手を加えなくても、かなり断熱性が良いことがわかった。

2.5　スギ樹皮試験体の熱伝導率の密度依存性

実験2.4から水圧バーカーで剥いたスギ樹皮は、そのままでもかなり断熱性が高いことがわかった。そこでこれを材料として、密度の異なる試験体を製造し、最も熱伝導率が低くなる密度を明らかにすることを目的として実験を行った。

2.5.1　実験方法

材料として、水圧バーカーで剥いた気乾状態のスギ樹皮を用いた。材料の写真をFig.2.5.1に示す。ホットプレス機を用いて材料を圧縮し、20×20×1cmの寸法に整えてアルミホイルで包ん

だ。圧縮の条件は、温度 200℃、圧力 10kgf/cm² で 10 分間であった。接着剤などは用いず、熱圧縮するのみとした。このようにして密度の異なる試験体を４種類製造し、JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章 **2.4.2** 参照）により、それぞれの熱伝導率を測定した。熱伝導率は、測定精度向上のため、ボード中央部１点、および対角部２点の計３点に増やして計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2）。これ以降、本研究では寸法 20×20cm の試験体の熱伝導率を測定する際、全てこれと同様の位置に熱電対を設置した。

2.5.2 結果および考察

（１）製造した試験体の様子

製造した試験体の外観は Fig.2.5.3 のようになっている。これはアルミホイルをはがした状態で撮影したもので、実際にはアルミホイルで全体を包んだ試験体を製造した。この材料は、ホットプレス機で圧縮する前はかなりかさばっていたが、圧縮後は 20℃,65%RH の恒温恒湿室に放置しても厚さが元通りに回復することはなく、寸法安定性が高かった。

（２）密度と熱伝導率の関係

熱伝導率測定結果を Table2.5.1 に示した。なお、密度や含水率を算出する際には、試験体を包むアルミホイルも含んだ重量を用いて計算した。密度と熱伝導率の関係を Fig.2.5.4 に示した。実際の測定値を見ると、密度が小さいうちは熱伝導率があまり上がらず、約 0.3g/cm³ をこえると、次第に熱伝導率も大きい値になっていた。これは **2.4.3**（１）で述べたセルロースファイバーなど、繊維系材料に特徴的な傾向と一致している。この材料を用いて断熱性の良いボードを作るためには、密度が 0.2g/cm³ から 0.3g/cm³ 程度が適当であるとわかった。

（３）含水率９％の状態への換算

断熱材料の熱伝導率は、含有水分量によっても変化すると言われている[17]。試験体によって熱伝導率測定時の含水率が多少異なっていたので、シージングインシュレーションボード熱伝導率の含水率依存性の式[18]を参考にし、含水率９％の状態に換算した値も Fig.2.5.4 にあわせて載せた。同じ含水率に換算して熱伝導率を比較した場合、密度が大きくなるにつれて、熱伝導率が高くなる傾向が顕著に現れた。

第三章
フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードの製造と断熱性

3.1 目的

第二章では、接着剤を用いずに形を整えた材料の熱伝導率を測定した。実際に使用することを考えると、材料はボード状になっていた方が取り扱い易いと思われたため、この章ではフェノール樹脂接着剤を用いて、スギ葉断熱ボードの製造を試みた。ボードの内部に独立気泡を作り、空気を閉じ込めて断熱性を高めることを目指し、発泡剤や整泡剤を添加してボードを製造した。また、最適条件を探るために、接着剤混合割合の検討や圧縮温度の検討もあわせて行った。

3.2 ボードの製造とその熱伝導率および側面空隙率

3.2.1 実験方法

材料として全乾状態のスギの葉と、フェノール樹脂接着剤（ディアノール D-100、大鹿振興株式会社）を用いた。あらかじめ樹脂に発泡剤（*n*-ペンタン）と、整泡剤（レオドール TW-S120、化学名：ポリオキシエチレン(20)ソルビタンモノステアレート、花王株式会社）を加えた。スプレーガンで樹脂を噴射塗布したスギの葉を 25cm 角の型枠内で手によりフォーミングし、ホットプレス機で圧縮することでボードを製造した。圧縮温度は 180℃、圧縮圧力は 10kgf/cm² とし、圧縮時間はボードの厚さに応じて 10～20 分とした。ボードの詳しい製造条件は Table3.2.1 に示した。なお、表中の含脂率とはスギ葉の全乾重量に対する接着剤固形分の重量%である。製造したボードは端を切り落として、20×20cm の大きさに整えた。

JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定

められた平板比較法（第二章 2.4.2 参照）により、製造したボードの熱伝導率を測定した。熱伝導率はボード中央部 1 点、および対角部 2 点の計 3 点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2 参照）。

また、ボードの側面写真から側面空隙率を求めた。具体的な手順は以下のとおりであった。まず、ボードの側面をデジタルカメラで撮影し、画像処理ソフト（Photoshop 5.0）を用いて画像をグレースケールに加工した。幅方向 8cm、厚さ方向はボード厚さで切り取った画像を用いて、256 階調のしきい値 128 で画像を白と黒に分ける、2 階調化処理を行った。この処理によってボードの実質部分は白く、空隙部分は黒く写る。側面空隙率は 2 階調化後の全ピクセル数に対する黒ピクセル数の割合として、式(3.2.1)に基づいて算出した。ボード 4 面全てについて計算し、平均した値をそのボードの側面空隙率とした。

側面空隙率 (%)= 黒ピクセル数 / 全ピクセル数×100　(3.2.1)

3.2.2　フェノール樹脂接着剤について

ここで、本実験に使用したフェノール樹脂接着剤の特徴について簡潔に述べる。フェノール樹脂接着剤には常温接着用（液状）と加熱接着用があり、加熱接着用には液状、粉末状およびフィルム状があるが、JIS には 1 種（常温接着用）と 2 種（加熱接着用）の液状のものについてのみ規定されている。常温接着用のフェノール樹脂はいずれも硬化促進剤として強酸を用いるため、酸による木材の劣化が問題となる。合板やパーティクルボードの製造に用いられるフェノール樹脂はアルカリ性レゾールである。樹脂の分子が小さいと木材中への過剰浸透のために、高い接着性能が得られないので、縮合反応を進めて分子を大きくするが、アルカリが少ないと樹脂の溶解性が悪くなり、粘度も高くなりすぎるので、アルカリを多く加えている。このため、通常の市販フェノール樹脂接着剤は pH11～12 の強いアルカリ性を示す。

フェノール樹脂はユリア樹脂やユリア・メラミン共縮合樹脂に比べて 10～20℃高い温度での熱圧締が必要である。また、単板や削片の含水率が高いと樹脂の硬化が遅れ、材中への樹脂の過剰浸透による欠膠部の生成や、フクレやパンクの発生というような接着不良事故が起こる。このため、ユリア樹脂などの場合よりも厳しい材の含水率管理を必要とする。このように、硬化に、より高温・長時間を要することが、フェノール樹脂の欠点である。

通常のアルカリ性フェノール樹脂にはヤシ殻粉、木紛あるいは小麦粉などの充填剤・増量剤と炭酸ソーダなどの硬化促進剤が添加されて使用される。適正な接着操作がなされていれば、この接着剤で作られた製品の接着耐久性は十分に信頼できる[19]。レゾルシノール樹脂ほどではないが、メラミン・ユリア、ユリア樹脂に比較して、はるかに優れた耐水性、耐久性を持つので、JAS 特類合板、集成材、パーティクルボード、ハードボード、単板積層材などや米国から輸入されるウェハーボード、オリエンティドストランドボード（OSB）などの構造用面材に使用されている。

3.2.3　結果および考察

（1）製造したボードの外観

製造したボード No.1 の全体写真を Fig.3.2.1 に示した。いずれのボードも硬く、端部の葉などが欠けやすい状態に仕上がった。また、葉と葉の間は空隙になっており、その間を満たすものはなく、葉同士が点で接着された構造となっていた。

（2）熱伝導率

熱伝導率測定結果を Table3.2.2 に示し、それぞれのボードの熱伝導率を Fig.3.2.2 に示した。図中の番号は Table3.2.1 の No.と対応している。この図からボード No.9 以外は、熱伝導率にあまり差がないことがわかった。No.9 は他のボードに比べて密度が大きいためか、熱伝導率も大きくなっていた。ただし、熱伝導率の測定は各ボードにつき一回しか行っていないため、測定値は多少のばらつきを含んでいると思われる。

（3）側面空隙率の算出

Fig.3.2.3 にボード No. 1 の側面写真（グレース

ケール）とそれを2階調化した写真を示した。図から分かるように2階調化処理をすると、実質部分（スギ葉）は白く、空隙部分は黒く写る。この処理では白と黒を分ける境界しきい値を任意に設定できるので、その設定値によって側面空隙率の絶対値は変化する。したがって、その絶対値は大きな意味を持たないが、ボード同士の側面空隙率の相対的な比較は可能であると考えた。

（4）側面空隙率と熱伝導率の関係

Table3.2.3 に側面空隙率の測定結果を示し、Fig.3.2.4 に側面空隙率と熱伝導率の関係を示した。設定する境界しきい値によって、各ボード側面空隙率の大小関係は多少変化するが、いずれの場合でも全体的な傾向は同じであった。つまり、空隙が増えるにしたがって断熱性が向上し、あまり空隙が多すぎると再び断熱性が低下する傾向があると考えた。Fig.3.2.4 において左上に飛び出しているプロットはボード No.9 のものである。No.1 から No.8 までは熱伝導率にあまり差がなく、No.9 だけ高いことと対応している。

（5）密度と側面空隙率の関係

Fig.3.2.5 に密度と側面空隙率の関係を示した。密度が大きくなると側面空隙率が小さくなるという傾向が読み取れる。これは、密度が大きくなると、スギ葉の量が増えて空隙が埋まっていくためで、当然の結果とも言える。

しかしながら、今回製造したボードでは予備実験で接着剤のみと発泡剤、整泡剤を合わせて硬化させた時のような、目に見える発泡は認められなかった。

3.3 フェノール樹脂接着剤の硬化試験

実験 3.2 では発泡剤がうまく機能していないようだったので、発泡剤や整泡剤などの添加割合や硬化温度を変えて、より発泡する条件を模索した。

3.3.1 実験方法

フェノール樹脂接着剤（ディアノール D-100、大鹿振興株式会社）、発泡剤（*n*-ペンタン）、整泡剤（レオドール TW-S120、化学名：ポリオキシエチレン(20)ソルビタンモノステアレート、花王株式会社）、蒸留水を Table3.3.1 に示す割合で混合した。フェノール樹脂が約 20g 含まれるように、それぞれをアルミホイル皿に取り、105℃、130℃、150℃の乾燥器に入れて硬化させた。

3.3.2 結果および考察

（1）硬化温度

Fig.3.3.1 から Fig.3.3.3 にそれぞれの温度で硬化させた樹脂の写真を示した。図中の番号は Table3.3.1 の No.と対応している。上から押さえずに硬化させたため、樹脂はかなり膨らみ、130℃、150℃で硬化させたものは皿からあふれてしまった。硬化温度が高くなるほど膨らみは大きいようだが、その内部は仕切りのない大きな空洞になっていた。空気を対流させずに気泡内に閉じ込めることが、断熱性を向上させる鍵となるので、できれば空洞は細かく仕切られることが望ましいと言えよう。

（2）添加物の割合

蒸留水の添加割合が多いほど、樹脂が発泡し膨らみ始めるまでの時間が長かった。これは蒸留水が蒸発するのに時間がかかるためと考えられる。また、蒸留水の割合が少ないと、最終的な樹脂の膨らみはやや大きくなった。蒸留水が少ないと樹脂自体が加熱される時間が長くなるせいかもしれないが、推測の域を出ない。

発泡剤や整泡剤の添加割合が増えると樹脂の膨らみも大きくなった。また、その差は硬化温度が高くなるほど顕著であった。

（3）実際のボード製造時について

実際のボード製造では、接着剤の粘度を下げるため、フェノール樹脂 100 に対して蒸留水 40 を加えている。また、圧締温度は 180℃としており、今回の実験結果と照らし合わせると、樹脂が発泡し始める前に硬化している可能性が考えられた。また、スプレーガンで樹脂を噴射塗布する際、気泡がつぶれる、もしくは発泡剤が揮発してしまい、うまく発泡しないのかもしれない。

3.4 発泡剤を添加した各種接着剤の硬化試験

3.4.1 実験方法

レゾルシノール樹脂（大鹿レジンディアノール 40 号、大鹿振興株式会社）、酢酸ビニル樹脂（市

販の木工用ボンド)、ウレタン樹脂（１液湿気硬化型ウレタン樹脂接着剤　オーシカダインTU-160、大鹿振興株式会社）の各接着剤を用いた。発泡剤としては*n*-ペンタンを用いた。それぞれの接着剤について、Table3.4.1に示すように樹脂と発泡剤を混合したものを用意した。表中の発泡剤のパーセンテージは樹脂の重量に対する発泡剤の重量の割合で、樹脂によって不揮発成分の量が異なることは考慮に入れていない。それぞれの樹脂をアルミホイルで作成した小皿に5g程度取り、40℃の乾燥器中で硬化させた。

3.4.2　結果および考察

それぞれの実験結果をFig.3.4.1からFig.3.4.3に写真で示した。図中の番号はTable3.4.1に対応している。

レゾルシノール樹脂は触った感じが非常にパリパリとしていて脆かった。膨らみの内部は空洞になっていた。酢酸ビニル樹脂では発泡剤5%のものがあまりふくらんでいないせいか、内部が蜂の巣状になっていた。触った感じは比較的パリパリとしており、発泡剤5%以外のものの内部には大きな空洞が出来ていた（Fig.3.4.4)。ウレタン樹脂は40℃の乾燥器中では硬化せず、取り出して放置しておいた間に硬化した。透明なフィルムのように固まり、カッターナイフでも切りにくいほど丈夫で、押してもつぶれない膨らみとなった。発泡剤を入れたものの方が、内部が仕切られているようだった。

3.5　２段階加熱によるボード製造

実験3.3から、樹脂が発泡し始める前に硬化を開始している可能性が考えられたため、低めの温度で長く圧締する方法でボードを製造することを試みた。

3.5.1　実験方法

材料として全乾状態のスギの葉と、フェノール樹脂接着剤（ディアノールD-100、大鹿振興株式会社）を用いた。樹脂にはあらかじめ発泡剤（*n*-ペンタン）を加えておいた。スプレーガンを用いて樹脂を塗布したスギの葉をホットプレス機で圧締して、寸法約15×15×1.5cmのボードを製造した。含脂率はいずれも20%とした。密度、圧締時間等の諸条件はTable3.5.1のとおりである。

3.5.2　結果および考察

（１）ボードの製造結果

ボードNo.1は、始めに発泡剤である*n*-ペンタンの沸点温度（36.1℃）に近い温度で加熱してみた。その後、フェノール樹脂が硬化するように180℃まで徐々に温度を上げたが、発泡は見られなかった。また、硬化温度が低いせいか、密度が小さいからという以上にボードが脆い印象を受けた。No.2は、125℃で圧締した後、いったんホットプレス機から取り出し、熱板が180℃まで温まるのを待って再び圧締した。No.2及びNo.３はともに180℃で熱圧しており、比較的硬いボードに仕上がった。No.4は、熱板で挟んだ状態では発泡しにくいのではないかと考えて製造してみた。しかし、乾燥器に入れている間に樹脂が乾いてきてしまい、その後180℃で熱圧しても、接着力が弱いようだった。

（２）発泡しない原因

いずれのボードでも、期待された発泡は見られなかった。*n*-ペンタンを用いた発泡の原理は、樹脂と混ざった*n*-ペンタンが気化するときに泡が出来るものと考えられる。しかし、*n*-ペンタンの沸点は36.1℃と低く、シャーレに入れて室温に置いておくと数分で揮発することが観察された。このため、今回も含めたこれまでの実験では、樹脂と混ぜ合わせてスプレーガンで塗布している間に、*n*-ペンタンが揮発してしまった可能性が大きい。

実験3.2では接着剤の発泡が見られた。この時は接着剤を混ぜ合わせてから加熱するまでの時間が短く、また接着剤はアルミホイル皿にある程度の厚みを持って入れられ、揮発しにくい状態になっていたので発泡が見られたのだろう。

n-ペンタンの沸点とフェノール樹脂の硬化温度にはかなり差があるため、これをフェノール樹脂の発泡剤として用いるのはかなり困難なことが明らかとなった。

第四章
ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの製造と断熱性

4.1 目的

第三章ではフェノール樹脂接着剤を用いてボードを製造した。材料内に空気を効果的に閉じ込めて、断熱性を向上させるため、葉と葉の間隙を樹脂の気泡で満たすことを目指したが、フェノール樹脂と整泡剤、発泡剤では望んだ結果が得られなかった。

そこで、今回は発泡性のあるウレタン樹脂接着剤を用いてボードを製造し、断熱性の検討を試みた。また、ウレタン樹脂のみを発泡させて、その発泡状態の観察も行った。

4.2 ボード製造条件の検討

4.2.1 実験方法

気乾状態のスギ葉を材料に、ウレタン樹脂接着剤（1液湿気硬化型ウレタン樹脂接着剤　オーシカダイン TU-160、大鹿振興株式会社）を用いてボードを製造した。樹脂の粘度が高いため、スプレーガンによる噴射塗布は避け、葉と樹脂を混合攪拌するのみにとどめた。樹脂を塗布したスギの葉を 25cm 角の型枠内でフォーミングし、ホットプレス機を用いて 10kgf/cm^2 の圧力で圧締した。ボードの厚さは全て 2cm としたが、その他の製造条件は Table4.2.1 に示した。すなわち、No.1～No.4 は圧締温度が異なり、No.5～No.7 は含脂率が No.1～No.4 より高く、また圧締時間が異なる。なお、表中の含脂率とはスギ葉の気乾重量に対する接着剤固形分の重量%である。

製造したボードは端部を切り落とし、20×20cm の寸法に整えた。JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章 2.4.2 参照）により、製造したボードの熱伝導率を測定した。熱伝導率はボード中央部1点、および対角部2点の計3点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2 参照）。

4.2.2 ポリウレタン接着剤について

ここで、本実験に用いたウレタン樹脂について記す。ポリウレタン樹脂は各種のイソシアネートと種々のポリエステルポリオールおよびポリエーテルポリオールから成る。接着剤としてのイソシアネートは1分子中に2個以上のイソシアネート基(-NCO)を有するもので、主なものにジフェニルメタン-4,4'-ジイソシアネート(MDI)、トルエンジイソシアネート(TDI)などがある。一般にイソシアネート基には下式のように、水と反応してアミンと二酸化炭素を生成するという特徴がある。

$$R\text{-}NCO+H_2O \rightarrow R\text{-}NH_2+CO_2$$

このため、ポリウレタン接着剤は湿潤木材の接着に応用され、1975 年ごろ原木のクラック充てん接着や端切れの接着が開発された。

ポリウレタン接着剤には一液型と二液型がある。一液型は末端にイソシアネート基を持ち、そのまま使用して空気中の水分や被着体表面の吸着水などによって硬化する。二液型は末端イソシアネートを持つプレポリマーをポリオールで硬化させるタイプである。最近では、湿気硬化型一液性ポリウレタン接着剤が、住宅建築現場における床根太と床パネルの現場接着用に使用されている。今回用いた接着剤もこの湿気硬化型一液性タイプである。これは特に高含水率の木材（湿潤木材）と容易に反応する。すなわち、水と反応して炭酸ガスを発生し、圧締圧がなければスポンジ状のウレタンフォームのようになり、硬化接着しても接着層部分は柔軟なままである[20]。

4.2.3 結果および考察

（1）製造したボードの外観

ボード No.1、No.3、No.7 の全体写真をそれぞれ Fig.4.2.1～Fig.4.2.3 に、No.7 の側面部分の拡大写真を Fig.4.2.4 に示した。No.1～No.4 は比較的似たような外観となった。No.1 がもっともスカスカした印象を受け、ボードの片方の面は半分ほど樹脂が覆っているが、反対側の面（Fig.4.2.1）はほとんど覆われていなかった。No.2～No.4 は No. 1 に比べると、スカスカした印象が薄れる。Fig.4.2.2 からわかるように、これらのボードの表面は樹脂が硬化してパリパリとしたフィルム状になっており、No.5～No.7 の表面とは全く違っ

たものであった。これは、高い圧締温度の影響と考えられる。

No.5はNo.6やNo.7と似たような外観となった。これらはFig.4.2.3からわかるように、表面もふわふわした樹脂で覆われているが、No.5<No.6<No.7の順で葉の間を満たす樹脂が多くなっていた。Fig.4.2.4を見るとスギの針葉の間が、樹脂の気泡で埋められていることがはっきりわかる。気泡の中に空気が閉じ込められ、断熱性が上がっていることが期待される。

ウレタン樹脂接着剤は硬化接着しても、接着層部分は柔軟なままという特徴がある[21]。このためフェノール樹脂接着剤を用いて製造したボードと比較すると、非常に柔軟性があり、端部なども欠けにくいボードに仕上がった。

（2）熱伝導率

Table4.2.2に各ボードの熱伝導率の測定結果等を示した。密度と熱伝導率の関係を表したグラフがFig.4.2.5である。図中の番号はTable4.2.1のボードNo.と対応している。圧締温度だけを変えて他の条件を同じにした、ボードNo.1～No.4はあまり熱伝導率が変わらず、値もそれほど低いものにはならなかった。これに対して、圧締温度は50℃と低めに設定し、樹脂の量を増やしたNo.6やNo.7はかなり断熱性が増している。

No.5はNo.6と同じ量の樹脂を含んでいるにもかかわらず、熱伝導率がもっとも高くなっていた。熱伝導率はボード上3点で温度を計測し、平均温度を用いて算出しているが、No.5ではボードと比較用標準板の間の温度一点が26.7℃と、他2点の26.1℃、26.2℃と比べて突出して高い温度になっており、このため平均温度が上がっていた(Fig.4.2.6)。これは、樹脂がNo.6やNo.7ほど均一に行き渡っておらず、測定点での密度などが異なったためと考えられる。その点を除いた平均温度を用いて計算すると、熱伝導率は0.052W/mKまで下がる。しかしながら、No.6、No.7と比較するとまだ高い熱伝導率と言えるだろう。

実験の結果、ある程度樹脂の量を増やさないとスギ針葉の間が樹脂の気泡で満たされたような構造のボードを作ることは出来ないとわかった。

4.3 常温でのボード製造とその熱伝導率および側面空隙率

4.3.1 実験方法

材料として、気乾状態のスギ葉とウレタン樹脂接着剤（1液湿気硬化型ウレタン樹脂接着剤　オーシカダインTU-160、大鹿振興株式会社）を用いた。樹脂の粘度が高いため、スプレーガンによる噴射塗布は避け、葉と樹脂を混合攪拌するのみにとどめた。接着剤を塗布したスギ葉を25cm角の型枠内でフォーミングし、ホットプレス機で圧締してボードを製造した。圧締は、室温(ホットプレス機の熱板温度：約27℃)で10kgf/cm^{2}の圧力でおよそ40分かけて行った。その他の製造条件はTable4.3.1に示した。なお、表中の含脂率とはスギ葉の気乾重量に対する接着剤固形分の重量%である。製造したボードは端部を切り落とし、20×20cmの寸法に整えた。

JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章2.4.2参照）により、製造したボードの熱伝導率を測定した。熱伝導率はボード中央部1点、および対角部2点の計3点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2参照）。

また、ボードの側面写真から側面空隙率を求めた。具体的な手順は以下のとおりであった。まず、ボードの側面をデジタルカメラで撮影し、画像処理ソフト（Photoshop 5.0）を用いて画像をグレースケールに加工した。幅方向8cm、厚さ方向はボード厚さで切り取った画像を用いて、256階調のしきい値128で画像を白と黒に分ける、2階調化処理を行った。この処理によってボードの実質部分は白く、空隙部分は黒く写る。側面空隙率は2階調化後の全ピクセル数に対する黒ピクセル数の割合として、式(4.3.1)に基づいて算出した。ボード4面全てについて計算し、平均した値をそのボードの側面空隙率とした。

$$\text{側面空隙率 (\%)} = \frac{\text{黒ピクセル数}}{\text{全ピクセル数}} \times 100 \qquad (4.3.1)$$

4.3.2　結果および考察

（1）製造したボードの外観

Fig.4.3.1 にボード No.1 と No.2 の写真を示した。含脂率が小さいボードでは、樹脂が均一に行き渡っておらず、ムラのある外観となった。また、葉の間が完全には樹脂で満たされず、空隙になっている部分と樹脂で満たされた部分が混在していた。含脂率の大きなボードほど、葉と葉の間が樹脂で満たされた構造となっていた。前述した Fig.4.2.3、Fig.4.2.4 からも分かるように、含脂率の大きなボードでは樹脂の中に葉が埋め込まれているように見える。この章で製造しているボードは、いずれも含脂率がかなり大きくなってしまったが、含脂率を下げるとボード全体に均一に樹脂を行き渡らせることが困難であり、製造方法などに更なる工夫が必要である。

（2）密度、熱伝導率、側面空隙率の関係

Table4.3.2 にボードの熱伝導率測定結果を示し、密度と熱伝導率の関係を Fig.4.3.2 に示した。以下に載せる Fig.4.3.2～Fig.4.3.4 までの図中の番号は、Table4.3.1 のボード No.に対応している。

一般に、材料の密度が小さいほど熱伝導率が低くなるが、グラスファイバーやセルロースファイバー等の繊維系材料は、密度が低すぎても断熱性が低下する。これは密度が低いと繊維間の空気が対流して、熱をよく伝えるためである[20]。今回製造したボードも、この傾向によく当てはまっており、密度 0.2g/cm^3 付近で熱伝導率が最も低くなることがわかった。

また、Table4.3.3 に側面空隙率の測定結果を示し、側面空隙率と熱伝導率の関係を Fig.4.3.3 に示した。密度と同様の傾向を示し、空隙が多すぎても少なすぎても断熱性が落ちるという傾向が良く表れている。

Fig.4.3.4 には密度と側面空隙率の関係を示した。密度が大きくなるにしたがって、一次関数的に空隙率が減少する。これは Table4.3.1 に示したとおり 6 枚のボードのスギ葉重量は一定で、樹脂量のみを増減させて密度を変化させたためであろう。つまり、樹脂の増加に伴い、スギ葉間の空隙が樹脂で満たされて、空隙が埋まっていったことを直接的に反映しているものと考えられる。

4.4　シャーレ内で発泡させたウレタン樹脂の観察

4.4.1　実験方法

Table4.4.1 に示す割合で、ウレタン樹脂接着剤（1 液湿気硬化型ウレタン樹脂接着剤　オーシカダイン TU-160、大鹿振興株式会社）と水を混合し、よく攪拌した後にシャーレ内にて発泡させた。シャーレの体積に対する樹脂重量の割合は、実験 **4.3** で用いた試験体 No.4～No.6 のボード体積に対する樹脂重量の割合と等しくなるように計算した（Table4.3.1 参照）。Table4.3.1 の No.4～No.6 が Table4.4.1 の A～C にそれぞれ対応している。樹脂を入れたシャーレはパラフィルムで覆い、その上に重しを載せることで、発泡してもシャーレの高さ以上に樹脂が盛り上がらないようにした。

こうして発泡させた樹脂の表面をマイクロスコープ（ポータブルマイクロスコープ VH-6100、KEYENCE）にて 75 倍に拡大して観察し、シャーレの底面方向から写真を撮った（カラービデオプリンタ VH-P20、KEYENCE により出力）。

この写真からシャーレ表面での泡の空隙率を求めた。具体的な手順は以下のとおりであった。画像処理ソフト（Photoshop 5.0）を用いて画像をグレースケールに加工し、1071×612(μm)で切り取った。これについて 256 階調のしきい値 200 で画像を白と黒に分ける、2 階調化処理を行った。この処理によって泡の実質部分は白く、空隙部分は黒く写る。空隙率は 2 階調化後の全ピクセル数に対する黒ピクセル数の割合として、式(4.4.1)に基づいて算出した。

空隙率 (%) = 黒ピクセル数 / 全ピクセル数 × 100　　(4.4.1)

4.4.2　結果および考察

（1）発泡の様子

Table4.4.2 に実際に添加したウレタン樹脂の重量を示した。A は発泡してもシャーレの上縁まで盛り上がらなかったため、Table4.4.1 で計算した

実験 **4.3** のボード No.4 の割合とは等しくならなかった。また、C は重しを載せてもシャーレの上縁から少量あふれてしまった。B はちょうど盛り上がった樹脂が、シャーレの上縁位置でおさえられ、計算したとおりの割合で発泡した。

（2）シャーレ底面から撮影した泡の様子

各試験体のシャーレ底面の写真を Fig.4.4.1.～Fig.4.4.6.に示す。泡の内壁と外壁を観察ができる。また、例として A-2 について泡内壁内の空隙率算出に用いた写真を Fig.4.4.7 に、外壁内の空隙率算出に用いた写真を Fig.4.4.8 に示した。2 値化するため、相当範囲を白く塗りつぶしてある。それぞれの写真を元に算出した空隙率を Table4.4.3 に示す。これを見ると、A と B は比較的泡が細かく、C は他の二つに比べて明らかに泡が大きい。しかしながら、Fig.4.4.1 と Fig.4.4.2、Fig.4.4.3 と Fig.4.4.4 などと見比べてもわかるように、一つの試験体でも撮影位置によって、泡の径や形状に多少の差があった。

Table4.4.3 の内壁内空隙率 **I** はある面積(画像解析に用いた範囲 0.655mm^2)あたりの泡内壁内に含まれる空気量を数値で表したものと考えられる。これは泡の大きさと関係があり、泡が大きくなると数値が上がり、内部に含まれる空気が多いことがわかった。外壁内空隙率 **O** に対する内壁内空隙率 **I** を **I/O** で示したが、これも泡の大きさに対する空気の量を表しており、泡の大きさとの関係は I のそれとほぼ同じであった。

（3）実験 **4.3** との対応について

泡 A は圧力がかからずに自由に発泡した結果で、泡は小さく、含まれる空気の量は少なくなった。泡 C はもっとも圧力がかかった状態で発泡した結果である。この場合は泡が大きく、含まれる空気の量も多かった。

対応する実験 **4.3** のボードの熱伝導率は No.4 ＞ No.5＞ No.6 の順で小さくなる (Table4.3.2)。つまり、泡 A＞B＞C の順で熱伝導率が低下する。泡が細かく、泡の数が多いほど、断熱性が良くなるのではないかと予想したが、逆の結果となった。これは、ボードの場合は樹脂の添加量が異なるためと推測できる。ボード No.6 では C のような泡で全体が満たされているのに対して、ボード No.4 では A のような泡が所々に点在した状態と思われる。ボード No.6 では泡の大きさは大きいが、含まれる空気の量が多く、結果的にボード内に多くの空気を閉じ込めた構造となって、低い熱伝導率が実現できたものと思われる。

ただし、これら写真はシャーレの底面、つまり発泡時の圧力によってもっとも押しつぶされている部分なので、内部の泡の形状とは異なる可能性もある。

第五章
水分がスギ葉ボードの熱伝導率に及ぼす影響

5.1 目的

材料の断熱性を低下させる最大の原因は吸湿、吸水であると言われている。そこで実験 **5.2** では、フェノール樹脂およびウレタン樹脂接着剤を用いて製造したボードについて、含水率と熱伝導率の関係を調べた。

また、実際の断熱材料は季節や天候などの影響を受けて、周囲の湿度が変化する環境下で使用される。そこで実験 **5.3** では、周囲空気の相対湿度の変化がボードの熱伝導率に及ぼす影響を調べた。

5.2 熱伝導率の含水率依存性

5.2.1 実験方法

スギ葉に接着剤を加えて 2 種類のボードを製造した。フェノール樹脂接着剤（ディアノール D-100、大鹿振興株式会社）を用いたボードを **P**、ウレタン樹脂接着剤（1 液湿気硬化型ウレタン樹脂接着剤　オーシカダイン TU-160、大鹿振興株式会社）を用いたボードを **UR** と称す。**P** では接着剤をスプレーガンで噴射塗布したが、**UR** は接着剤の粘度が高く、噴射塗布が困難であったため、少量の水を加えた樹脂をスギ葉と混ぜ合わせるのみとした。こうして接着剤を塗布したスギ葉を 25cm 角の型枠内でフォーミングし、ホットプレ

ス機で圧縮してボードを製造した。その他の製造条件はTable5.2.1に示した。なお、表中の含脂率とはスギ葉の全乾重量に対する接着剤固形分の重量%であるが、URについては葉の気乾重量を用いて計算した。ボードは端を切り落として20×20cmに整え、同条件のものをそれぞれ4体ずつ製造した。

20℃のデシケータ内で、飽和塩法[22]によりボードの含水率を調整した。調湿塩としては塩化マグネシウム(20℃,33%RH、木材の平衡含水率は約7%)、塩化カリウム(20℃,85%RH、木材の平衡含水率は約18%)、硝酸カリウム(20℃,95%RH、木材の平衡含水率は約24%)の3種類を用いた。これに全乾状態、および恒温恒湿室(20℃,65%RH、木材の平衡含水率は約12%)で調湿した気乾状態を加えた5段階の含水率状態を設定した。ボードの重量が恒量に達した時点で調湿が終了したとみなし、JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章 **2.4.2** 参照）により、熱伝導率を測定した。熱伝導率はボード中央部1点、および対角部2点の計3点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2 参照）。なお、測定中の含水率変化を防ぐため、試験体はポリエチレンラップで包んだ。

5.2.2 結果および考察

（1）含水率と熱伝導率の関係

材料の断熱性を低下させる最大の原因は吸湿、吸水であると言われている。材料内に水分が含まれると、0℃以上の状態では液体として、0℃以下の状態では氷として存在する。一般に、水の断熱性はグラスウールおよびプラスチックフォームの1/15程度で、氷では1/70となり、ほとんどの断熱材と比べて断熱性が悪い。このため、乾燥状態でどんなに優れた断熱性を持つ材料でも、吸水すれば熱を通しやすくなる[11]。

Table5.2.2にPの、Table5.2.3にURの熱伝導率の測定結果を示した。また、含水率と熱伝導率の関係をFig.5.2.1に示した。含水率が上がるにつれて、ほぼ直線的に熱伝導率が大きくなり、一般的な傾向と一致した。

（2）接着剤の違いについて

接着剤の違いを比較すると、URの方が試験体間のばらつきが大きい結果となった。URは接着剤を噴射塗布するのではなく、混合攪拌することで塗布しているので、均一なボードを作りにくい。同じ条件で製造した4体でも密度などが異なる(Table5.2.2)。Fig.5.2.2にUR2体の試験体写真を示したが、右の試験体に比べると左の試験体は樹脂があまり行き渡っていない様子がわかる。このために試験体間のばらつきが大きくなっていると考えられる。

また、同じ湿度環境下で調湿してもURの方が低い含水率となった。この傾向は、第六章で述べる吸湿試験結果とも一致する。これは樹脂自体の吸湿性が異なる可能性の他、Pの含脂率が低く、スギ葉がボード表面に出ていることも影響していると考えられる。吸湿は主にスギ葉部分で起こると考えられるため、葉が表面に出ている割合が大きければ、吸湿も起こりやすいと思われる。

5.3 相対湿度変動下における熱伝導率の変化

5.3.1 実験方法

気乾状態のスギ葉に接着剤を加えて、2種類のボードを製造した。イソシアネート樹脂接着剤（ボード用イソシアネート樹脂接着剤　大鹿レジン B-1605、大鹿振興株式会社）を用いた試験体をIS、ウレタン樹脂接着剤（1液湿気硬化型ウレタン樹脂接着剤　オーシカダイン TU-160、大鹿振興株式会社）を用いた試験体をURと称す。ISでは接着剤をスプレーガンで噴射塗布したが、URは接着剤の粘度が高く、噴射塗布が困難であったため、少量の水を加えた樹脂をスギ葉と混ぜ合わせるのみとした。こうして接着剤を塗布したスギ葉を25cm角の型枠内でフォーミングし、ホットプレス機で圧縮することで、Table5.3.1に示すボードを各2体製造した。なお、表中の含脂率とはスギ葉の気乾重量に対する接着剤固形分の重量%である。

製造したボードをデシケータ内で飽和塩法[21]により調湿した。調湿塩には、塩化カリウム（高湿：20℃, 85%RH、木材の平衡含水率は約18%）

と塩化マグネシウム（低湿：20℃, 33%RH、木材の平衡含水率は約 7%）を用い、約 10 日間調湿して熱伝導率を測定するというサイクルを繰り返した。実験サイクルの概念図を Fig.5.3.1 に示す。熱伝導率の測定は、測定中の含水率変化を防ぐため試験体をポリエチレンラップで包み、JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章 **2.4.2** 参照）で行った。熱伝導率はボード中央部 1 点、および対角部 2 点の計 3 点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2 参照）。

5.3.2 水性高分子ーイソシアネート系接着剤について

ここで、本実験に用いたイソシアネート樹脂接着剤の特徴を簡潔に述べる。この接着剤の長所としては、高分子水溶液や水系エマルジョンが使用できること、ホルムアルデヒドの放出がないこと、接着剤液が中性付近であること、高い耐水性が得られること、主剤の組成、架橋剤の配合によって柔軟なものから硬いものまでできること、接着剤の切断に刃物をいためないことなどがある。欠点としてはポットライフが短いこと、乾きが早く、器具などに付着して硬化すると洗浄が困難であること、架橋剤のイソシアネート化合物の取り扱いに若干注意すること、価格がやや高いことなどである。その最大の特徴は、水の存在下でイソシアネート化合物を水以外の主剤成分と反応させることである[23]。

この接着剤はチップの含水率が比較的高くても良いため、本実験の場合はスギ葉を気乾状態で使用することができた。スギの針葉は乾燥すると葉軸から取れやすいので、気乾状態のままボードを製造できることは利点といえよう。また、製造過程を簡略化できるという意味でも望ましい特徴である。

5.3.3 結果および考察

（1）含水率の変化

ボードの含水率、熱伝導率、厚さの変化を Fig.5.3.2 に示す。同じ環境で調湿しても、**IS** は **UR** に比べて含水率が高くなった。これは実験 **5.2** や第六章で述べる吸湿試験の結果とも一致する。低湿、高湿、低湿.と調湿環境を変えていくと、ボード含水率もそれに伴って上下した。多少のずれはあるが、調湿を繰り返しても同じ湿度環境下では同じ含水率になった。

（2）熱伝導率の変化

熱伝導率の変化を大まかに見ると、低湿環境で調湿した含水率の低い状態では、熱伝導率が低くなった。実験 **5.2** でも確認したように、吸水した材料の熱伝導率は高くなる。今回の実験では、低湿、高湿、低湿とサイクルを繰り返した場合の傾向を調べたが、この繰り返しが熱伝導率へ及ぼす影響は少ないように思われた。

（3）ボード厚さの変化

ボード厚さは **IS** の方が周囲相対湿度の違いを反映して、敏感に変化していることがわかった。平板比較法では試験体の熱伝導率を直接測定するのではなく、比較用標準板と試験体を重ねて温度差を与え、それぞれの表面温度差を測定して、その比と標準板の熱伝導率から試験体の熱伝導率を測定する。このため、厚さの測定値が熱伝導率の算出に大きな影響を与える。1、2回目の低湿環境下で **UR2** の熱伝導率が比較的高い結果となったのは、ボード厚さの影響が現れていると考えられる。厚さはノギスを用いて、1つのボードにつき 4 点計測し平均しているが、測定個所によるばらつきが大きい。より正確な熱伝導率を求めるためには、ボード厚さの測定方法にも工夫が必要と思われる。

しかしながら、全体的には熱伝導率は調湿環境、含水率に追随して変化しており、湿度変動のサイクルを繰り返すことによる影響は少ないと考えられる。

第六章
スギ葉ボードの吸湿・吸水・曲げ試験

6.1 目的

これまでの実験で多くのボードを製造し、主に熱伝導率や側面空隙率などを調べて、断熱材とし

て適当な条件のボードを模索してきた。しかしながら、ボードとしての基本的な性能である、吸湿率や吸水厚さ膨張率、曲げ強さなどは把握していなかったため、この章では密度と接着剤の種類を変えて製造した数種類のボードについて、それらの性能を明らかにする目的で以下の実験を行った。

6.2 ボードの製造

スギ葉に接着剤を加えて2種類のボードを製造した。イソシアネート樹脂接着剤（ボード用イソシアネート樹脂接着剤　大鹿レジン B-1605、大鹿振興株式会社）を用いたボードを**IS**、ウレタン樹脂接着剤（1液湿気硬化型ウレタン樹脂接着剤オーシカダイン TU-160、大鹿振興株式会社）を用いたボードを**UR**と称す。**IS**では接着剤をスプレーガンで噴射塗布したが、**UR**は接着剤の粘度が高く、噴射塗布が困難であったため、少量の水を加えた樹脂をスギ葉と混ぜ合わせるのみとした。こうして接着剤を塗布したスギ葉を25cm角の型枠内でフォーミングし、ホットプレス機で圧締することで、Table6.2.1に示す8種類のボードを製造した。同じ条件のボードを2体ずつ製造し、以下の熱伝導率測定、吸湿試験、吸水試験、曲げ試験用の試験体を切り出した。

6.3 熱伝導率および側面空隙率

6.3.1 実験方法

6.2で製造した8種類のボードの端を切り落として20×20cmに整え、試験体とした。JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章 **2.4.2** 参照）により、製造したボードの熱伝導率を測定した。熱伝導率はボード中央部1点、および対角部2点の計3点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2参照）。

また、ボードの側面写真から側面空隙率を求めた。具体的な手順は以下のとおりであった。まず、ボードの側面をデジタルカメラで撮影し、画像処理ソフト（Photoshop 5.0）を用いて画像をグレースケールに加工した。幅方向8cm、厚さ方向はボード厚さで切り取った画像を用いて、256階調のしきい値128で画像を白と黒に分ける、2階調化処理を行った。この処理によってボードの実質部分は白く、空隙部分は黒く写る。側面空隙率は2階調化後の全ピクセル数に対する黒ピクセル数の割合として、式(6.3.1)に基づいて算出した。ボード4面全てについて計算し、平均した値をそのボードの側面空隙率とした。

側面空隙率（%）= 黒ピクセル数 / 全ピクセル数 × 100　(6.3.1)

6.3.2 結果および考察

（1）密度と熱伝導率の関係

Table6.3.1 に熱伝導率の測定結果を示し、Fig.6.3.1に密度と熱伝導率の関係を示した。全体的に見ると密度が大きくなるにつれて、熱伝導率も高くなるという傾向が見られる。これは、熱を伝える実質部分が多くなるためであろう。しかし、**UR100** については、中密度のものがもっとも高い熱伝導率を記録した。第三章、第四章の実験では、ボードの密度が上がるにつれて熱伝導率が増加するか、もしくはいったん減少してからから再び増加に転じる傾向を示した。**UR**では均質なボードを作ることが難しいこと、熱伝導率の測定は一種類のボードにつき一体で一度しか行っていないことを考え合わせると、**UR100** のみが今回のような傾向を示すとは言えないだろう。

（2）側面空隙率と熱伝導率の関係

Table6.3.2 に側面空隙率の測定結果を示し、Fig.6.3.2 に側面空隙率と熱伝導率の関係を示した。**IS**では側面空隙率が大きくなるにつれて熱伝導率が減少した。これは、空隙が埋まって密度が大きくなり、熱が伝わりやすくなったためと考えられる。これに対して、**UR**では熱伝導率に差があるボードもほとんど変わらない側面空隙率であった。

Table6.3.1.に示したとおり、**IS**に比べると**UR**の方が同じボードの側面ごとのばらつきが大きい結果となった。Fig.6.3.3 と Fig.6.3.4 は UR100-0.20 、 UR100-0.25 、 UR80-0.20 、 UR80-0.25 の各ボードの側面空隙率算出に用いた写真である。これらから、同じボードでも側面

によって見た目が異なることが分かる。**UR** は樹脂が均一に行き渡っていないので、側面空隙率と熱伝導率の間にはっきりとした関係が見られなかったのだろう。

6.4 吸湿試験

6.4.1 実験方法

6.2 で製造した8種類のボードから5(縦)×5(横)×1(厚さ)cm の試験片を3体ずつ切り出し、試験に用いた。20℃,65%RH で調湿した試験片を20℃,90%RH の環境で 24 時間放置した。調湿は恒温恒湿装置(恒温恒湿器プラチナス K シリーズ PR-1KTH、タバイエスペック株式会社) を用いて行った。試験前後の重量を測定して、式(6.4.1)にしたがって吸湿率を算出した。

$$\text{吸湿率 (\%)} = (W_1 - W_0) / W_0 \times 100 \qquad (6.4.1)$$

W_0:吸湿前の重量(g), W_1:吸湿後の重量(g)

また、同じ試験片を用いて 50℃,50%RH で調湿した後に、50℃,90%RH の環境で 24 時間放置し、試験前後の重量から上記の式にしたがって吸湿率を算出した。

6.4.2 結果および考察

(1) 密度と吸湿率の関係

Table6.4.1 に 20℃での、Table6.4.2 に 50℃での吸湿率と吸湿前後の含水率を示した。また、Fig.6.4.1 に 20℃での、Fig.6.4.2 に 50℃での密度と吸湿率の関係を示した。同樹脂では密度にかかわらず、ほぼ一定の吸湿率となった。吸湿は、主にスギ葉部分で起こると考えられる。吸湿率は重量で除して算出しているため、単位スギ葉重量あたりの吸湿量に変わりはなく、したがって密度が異なっても吸湿する率は変わらないのであろう。

(2) 接着剤による差異について

Fig.6.4.3 に 20℃での、Fig.6.4.4 に 50℃での含脂率と吸湿率の関係を示した。接着剤別に見ると、**IS** は **UR** に比べ吸湿率が大きい結果となった。これは樹脂自体の吸湿性が異なる可能性の他、**IS** の含脂率が低く、スギ葉がボード表面に出ていることも影響していると考えられる。**UR** では葉が樹脂に埋まっている状態なので、吸湿が起こりにくいのだろう。また、**UR100** と **UR80** では含水率に違いがあった。含脂率の小さい **UR80** は **UR100** に比べて、吸湿前後ともに含水率が高くなっており、樹脂が多く、スギ葉が少ないと吸湿性能は落ちることが明らかとなった。

(3) 実験温度による差異について

20℃での試験に比べて、50℃での試験では吸湿率の値がかなり大きく、また、試験片によるばらつきが大きい結果となった。50℃での試験では含水率がかなり大きな値となり、恒温恒湿装置から出した途端に結露を生じた。結露水が付着してしまった試験片では、極端に吸湿率が高くなったものと考えられる。しかしながら、Fig.6.4.2 を見ても、吸湿率は密度にあまり影響を受けない傾向や、**UR** に比べて **IS** の吸湿率が大きい傾向に変わりはなかった。

(4) セルロースファイバーの吸湿性能基準との比較

50℃での試験は、JIS A 9523 に定められたセルロースファイバーの吸湿性能試験方法に準拠している。セルロースファイバーの吸湿率は 15%以下という基準がある [24]。これと比較すると、**IS** の吸湿率は大きいが、**UR** のそれは小さくなった。

6.5 吸水試験

6.5.1 実験方法

6.2 で製造した 8 種類のボードから 5 (縦)×5(横)×1(厚さ)cm の試験片を各3体切り出し、試験に用いた。恒温恒湿室 (20℃,40%RH 程度) で調湿した試験体を 20℃の水中、水面下 3cm に置き、24 時間浸した。ダイヤルゲージを用いて試験前後の試験体中央部の厚さを測定した。式 6.5.1 にしたがって吸水厚さ膨張率を算出した。

$$\text{吸水厚さ膨張率 (\%)} = (T_1 - T_0) / T_0 \times 100 \qquad (6.5.1)$$

T_0:吸水前の厚さ(mm), T_1:吸水後の厚さ(mm)

吸水試験の試験の様子を Fig.6.5.1 に、ダイヤルゲージを用いた厚さの測定方法の写真を Fig.6.5.2 に示した。今回用いた試験片は柔らかく、そのままダイヤルゲージで厚さを測定しようとすると、ゲージのばねの力でめり込んでしまうため、Fig.6.5.2 に示したとおり、試験片の上下を硬質塩化ビニル板で挟み、ばねの力が一点に集中し

ないようにしている。このため、試験片中央部で測定を行っているが、もっとも厚い部分の値が測定値になっている。

6.5.2 結果および考察

Table6.5.1 に吸水厚さ膨張率などを示した。表中の重量増加率とは吸水試験前後での重量の増加割合である。また、Fig.6.5.3 に密度と吸水厚さ膨張率の関係を示した。吸水厚さ膨張率は吸湿率と比べて試験体間のばらつきが大きく、密度との関係にも一定の傾向が見られなかった。吸湿性同様、**IS** の方が水を吸いやすく、吸水量が多かったため、厚さ膨張率も大きくなった。また、**UR** はスギ葉が樹脂に埋没した構造となっているが、**IS** は葉同士が点で接着され拘束が少なく、膨張しやすいとも考えられる。

JIS の基準では、素地パーティクルボードの吸水厚さ膨張率は 25%以下、その他のパーティクルボードでも 12%以下[25]なので、それと比較して十分小さい値といえる。

6.6 曲げ試験

6.6.1 実験方法

6.2 で製造した 8 種類のボードから 20(長さ)×2.5(幅)×1(厚さ)cm の試験体を各 3 体切り出し、試験に用いた。万能試験機(INSTRON)を用い、曲げスパンは 15cm とし、両端支持中央集中荷重方式（3 点曲げ）で行った。クロスヘッドスピードは 10mm/min とし、曲げ破壊が生じるか、変位が 30mm に達するまで試験を継続した。

6.6.2 結果および考察

（1）密度と曲げ強さの関係

Table6.6.1 に曲げ試験の結果を示し、Fig.6.6.1 に密度と曲げ強さの関係を示した。図中の A～F は **6.6.2**（3）で荷重 - 変位曲線の例を挙げた試験片である。**UR** は破壊に到っていないため、正確な曲げ強さが得られなかったが、荷重 - 変位曲線の傾きが横ばいとなった時点での荷重を最大荷重として算出した。同じボードから切り出した試験体でも、密度や曲げ強さにかなり差があった。**IS** は **UR** に比べると均一なボードに見えるが、今回のように試験体が小さいと、不均一であることの影響が出てしまったようだ。大まかにみると、密度が大きくなるほど曲げ強さが大きくなるという傾向が見られた。

（2）密度と曲げヤング率の関係

密度と曲げヤング率の関係を Fig.6.6.2 に示した。荷重 - 変位曲線の初期の傾きは、荷重が上がり始めた点と最大荷重の 0.5 倍の点を結んで出した。**IS** では密度の増加に伴って曲げヤング率も増加する傾向が顕著に現れた。**UR** のみの密度と曲げヤング率の関係（Fig.6.6.3）を見ると、**UR100** でも同様の傾向が見られる。**UR80** ではあまりはっきりしないが、これは密度 0.15g/cm^3 の試験体の結果がないためと考えられる。**UR** ではボード全体に接着剤を行き渡らせることが難しく、**UR100** でも密度 0.15g/cm^3 のものはかなり接着剤ムラのあるスカスカしたボードになったため、含脂率の低い **UR80** のボードは製造しなかった。**UR100** と **UR80** を比較すると全体的に **UR80** の方が曲げヤング率、曲げ強さともに大きくなっている。**UR80** では含脂率が低い分、スギ葉が多く入っており、これが耐力を発揮していると考えられる。

（3）荷重 - 変位曲線について

IS はある程度まで曲がると破壊を生じたが、**UR** は変位が進んでも破壊には至らず、荷重 - 変位曲線の傾きは横ばいとなり、大きくたわんだ。**IS** の荷重 - 変位曲線の例を Fig.6.6.4 に挙げる。これは Fig.6.6.1 中に A と示した試験片の結果であるが、同じボードのうち、曲げ強さが小さい試験片(B)の荷重 - 変位曲線を見ると、曲線がなだらかで変位が進んでもだらだらと荷重が上がっていなかった（Fig.6.6.5）。同様に密度 0.20g/cm^3 の試験片 C の荷重 - 変位曲線（Fig.6.6.6）に対して、同じボードから切り出した試験片 D の荷重 - 変位曲線は Fig.6.6.7 のようになっていた。また、**UR** の例として、試験体 E と F の荷重－変位曲線を、それぞれ Fig.6.6.8 と Fig.6.6.9 に挙げる。これら 2 つの図からも分かるように、**UR** ではある程度まで変位が進むと荷重が横ばいになり、急に落ちることはなかった。

（4）他材料との比較

吹付け硬質ウレタンフォーム断熱材については、JIS 中に圧縮強さが 1.5kgf/cm² 以上という規定がある[26]。また、JIS に規定されている素地パーティクルボードのうち、もっとも要求水準の低い 8 タイプでも、曲げ強さは 82kgf/cm² 以上、曲げヤング率は 20400kgf/cm² 以上とされている[27]。これと比較すると今回の試験体の値は小さいものとなり、強度は期待できないことが明らかとなった。しかしながら、UR はかなりたわんでも荷重を除去すれば、見たところ元通りになり、非常に柔軟性があることを改めて確認できた。

第七章
各種木質系炭化物の熱伝導率

7.1 目的

内部に効果的に空気を含ませることで、材料の断熱性は向上すると言われている[10]。炭化処理によって材料内部に細孔が増えることが知られているので、生物系断熱材を開発するにあたり、材料を炭化することは断熱性能の向上に役立つのではないかと考えた。そこで、実験 **7.2** ではスギ樹皮を炭化して炭化物の熱伝導率を測定することを試みた。また、実験 **7.3** は様々な木質系材料を炭化した試料の熱伝導率を測定し、材料の種類や平均直径別に比較を行った。

7.2 スギ樹皮の炭化と炭化物の熱伝導率

7.2.1 実験方法

ナイフ型バーカーで剥いたスギ樹皮（Fig.7.2.1 参照）を農学部 5 号館屋外の簡易型低温炭化炉で炭化した。スギ樹皮には熱電対を設置し、点火後 3 時間までは 3 分ごとに、その後は 15 分ごとに温度を記録した。

こうして得た気乾状態のスギ樹皮炭化物をアルミホイルで包み、20×20×1.2cm の大きさに整えて、簡易的に板状試験体を製造した。JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章 **2.4.2** 参照）により熱伝導率を測定した。熱伝導率はボード中央部 1 点、および対角部 2 点の計 3 点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2 参照）。

7.2.2 結果および考察

炭化したスギ樹皮の写真を Fig.7.3.2 に、製造した試験体の写真を Fig.7.3.3 に示した。炭化時のスギ樹皮の温度変化を Fig.7.2.4 に示した。温度制御が出来ない炉なので、内部の温度変化が激しい。点火後 400℃を越える温度となるが、5 時間以降 20 時間までの温度は平均して 134℃（標準偏差 32.1℃）であり、温度は上下するものの 100℃から 200℃あたりで推移していた。また、この炉は酸素を完全には除けないため、燃焼してしまった材料もあったと思われる。

製造した試験体は、熱伝導率測定時の平均温度が 31.2℃、含水率 3.0%、密度 0.14g/cm³ であった。含水率や密度を算出する際はアルミホイルも含んだ重量を用いて計算している。熱伝導率は 0.050W/mk であった。

炭化処理すると材料内部に細孔が増え、熱伝導率の低い空気が多く含まれるようになるため、熱伝導率は通常の材料よりも低くなると予想した。しかしながら、第 3 章、第 4 章で製造したスギ葉ボードなどと比較して、あまり差のない値となった。熱伝導率は密度と密接な関係があることを考えると、前述のように 0.14g/cm³ は密度としては小さくなく、当然の結果と言えるかもしれない。また、炭化によって内部に細孔が増えても、そこに空気を閉じ込めることができないのならば、空気の対流によって熱が伝わってしまうことが推測される。

7.3 粒状各種炭化物の熱伝導率

7.3.1 実験方法

様々な木質系材料を炭化して平均直径別に分類したものを試料として用いた。これは副枝[28]が製造・分類したものをそのまま用いている。用いた材料は、針葉樹 MDF、広葉樹 MDF、ユリアメラミン樹脂パーティクルボード、フェノール樹脂パーティクルボード、針葉樹（ラジアータパイン）合板である。本論文中では以降それぞれ、針 MDF、広 MDF、UMP、PP、合板と略す。

すべての試料は農学部5号館屋外の簡易型低温炭化炉によって、500℃程度で炭化を行った。その後、粉砕し、振とう器にかけて平均直径別に分類した。Table7.3.1に用いた振とう器のメッシュの直径と試料の平均直径を示した。試料の平均直径とは、振とう後にメッシュ上に残ったものの平均直径である。試料は、2mm、850μm、500μm、355μmおよびそれ以下の微粉の5種類に分類したが、本実験には微粉を除く4種類を用いた。炭化物の種類と平均直径を Table7.3.2 にまとめた。

クラフト紙で 15(縦)×15(横)×1(厚さ)cm の型を作り、その中に炭化物を入れた。炭化物の量は、詰め込まずにちょうど型がいっぱいになる量とした。JIS A 1412「保温材の熱伝導率測定方法」に定められた平板比較法（第二章 **2.4.2** 参照）により、熱伝導率をクラフト紙ごと測定した。熱伝導率はボード中央部1点、および対角部2点の計3点で計測した平均温度を用いて算出した（Fig.2.5.2参照）。

7.3.2 結果および考察

（1）炭化物の平均直径、密度、熱伝導率の関係

各炭化物の熱伝導率を Table7.3.3 にまとめ、Fig.7.3.1 に図示した。Fig.7.3.2 に炭化物の平均直径と密度の関係を示した。平均直径が小さくなるほど、炭化物が隙間無く型の中に収められ、試験体の密度が上がるのではないかと予想していたが、UMP を除いて、ほぼ逆の傾向が見られた。平均直径が大きくなるにつれて、炭化物一粒の密度が上がっている可能性が考えられるが、これを確認するためには更なる実験が必要である。また、実験操作上の問題も考えられる。炭化物を型に詰める際に、多めに入れて表面をならしながら量を調整したのだが、この方法だと型に詰める量が一定にならない。平均直径が大きいと、表面をならした時に余った分が均一に取り除かれにくいので、実際には型内に多めに残り、熱伝導率測定時に圧縮されて密度が増した可能性が考えられる。

Fig.7.3.3 に炭化物の密度と熱伝導率の関係を示した。大まかに見ると、密度が大きくなるにつれて、熱伝導率も上がり、断熱性が落ちる傾向にあった。

Fig.7.3.4 には炭化物の平均直径と熱伝導率の関係を示した。炭化物の平均直径と熱伝導率の間には、はっきりとした傾向が見られない。平均直径が増加しても、熱伝導率はほぼ横ばいとなっていた。例外として広 MDF が挙げられ、800μm のもので熱伝導率が下がり、2000μm のもので大きく上がっている。これは 2000μm のものの密度が大きいためと考えられる。

（2）炭化物の種類による差異について

Fig.7.3.2 を見ると、同じ平均直径の炭化物でも、種類によって試験体の密度がかなり異なる。これは **7.3.2**（1）で述べたように、炭化物の粒の密度が異なる可能性の他、実験操作上、平均直径によって型に詰める量に差が生じる可能性があるためと考えられる。

Fig.7.3.3、Fig.7.3.4 を見ると、全体的に熱伝導率が低めなものとして合板が挙げられ、高めなものとして UMP が挙げられる。合板の試験体は、いずれも密度が低めなためであろう。しかしながら、UMP については密度が中程度であるにもかかわらず、熱伝導率は高く、さらに PP は密度が高いにもかかわらず、熱伝導率は中程度である。今後の課題としては、炭化物の種別に考察するために、顕微鏡等を用いて炭化物を更に詳しく観察することなどが必要である。

第八章
総　括

第二章から第七章の実験で得られた知見を以下にまとめた。

第二章

- スギ葉針葉の断面観察から、針葉内部に空隙が存在することがわかった。
- スギ樹皮の気乾密度は 0.42g/cm³、全乾密度は 0.35 g/cm³、実質密度は 1.60 g/cm³、気乾含水率は 21.2%であった。
- ヒノキ樹皮の気乾密度は 0.46g/cm³、全乾密

度は0.35 g/cm³、実質密度は1.71 g/cm³、気乾含水率は20.2%であった。
- スギ葉の実質密度は1.84 g/cm³、気乾含水率は15.1%であった。
- 葉や樹皮などの各種材料の熱伝導率を測定した。このうち、スギ葉が低密化可能で熱伝導率もほどほどによく、均一なボードを製造できる可能性が高かった。

第三章
- フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードを製造した。葉同士が点で接着した構造となり、硬いが端部の葉がかけやすいボードに仕上がった。
- 製造したボードの熱伝導率を測定した結果、グラスウールと同等程度の値となったが、発泡を期待して添加した発泡剤や整泡剤の効果はあまり見られなかった。
- 接着剤のみで行った硬化試験より、発泡剤の沸点がフェノール樹脂の硬化温度よりもはるかに低いために発泡がうまくいかないと考えられた。
- ボード内の空隙の存在割合を推定するために、画像から算出したボード側面空隙率が有効であった。

第四章
- ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードを製造した。スギ葉間の間隙を樹脂の気泡で満たした構造のボードとなった。
- 製造したボードの熱伝導率と側面空隙率を測定したところ、密度と側面空隙率は対応しており、いずれにも熱伝導率が最小となる極値が存在した。

第五章
- スギ葉ボードの含水率と熱伝導率は比例関係にあったが、その傾きは木質系断熱材であるシージングインシュレーションファイバーボードの1/4とはるかに小さく、吸水しても断熱性の低下が少ないことがわかった。
- 周囲の相対湿度が変動する環境下でも、ボードの熱的性質は変わらなかった。

第六章
- スギ葉ボードの吸湿率や吸水厚さ膨張率は、ボード密度にかかわらずほぼ一定で、含脂率と負の相関関係にあった。
- スギ葉ボードの曲げ強さは1.1～15.9kgf/cm²、曲げヤング率は11～2056 kgf/cm²程度であった。
- ウレタン樹脂を用いたボードは、非常に柔軟性を持つことが確認できた。

第七章
- 木質系炭化物の熱伝導率は、密度が上がるにつれて大きくなる傾向を示した。

以上の知見から、以下の結論を導いた。

スギ葉ボード断熱材の熱伝導率は、0.045W/mK程度におさえることができる。さらに、吸水あるいは吸湿しても断熱性の低下が少ないことから、断熱材料として十分な性能を有することが明らかとなった。

しかしながら、含脂率を低くおさえることや接着剤をムラなく行き渡らせる塗布方法、ボードの性能を最大限に引き出し、かつ環境負荷の少ない接着剤の選択など、製造方法の面で更なる検討が必要である。

また、特にフェノール樹脂を用いて製造したスギ葉ボードは、ユニークな外観をしているので、内装材など断熱材料以外への利用も考えられる。

謝　辞

本研究に係わる実験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研究室の修士課程高木真由さんの労に追うところが大である。ここに心より謝意を表す。

文　献

1. 次世代省エネルギー基準解説書編集委員会："住宅の次世代省エネルギー基準と指針",

(財)住宅・建築省エネルギー機構 (1999).
2. 日本建築学会編：“建築材料用教材”，丸善株式会社，p.115 (1998).
3. 断熱建材協議会編：“断熱建材ハンドブック”，養賢堂，p.37 (1994).
4. 断熱建材協議会編：“断熱建材ハンドブック”，養賢堂，p.42 (1994).
5. 井部栄昭：木材工業 **56**，2，85-89 (2001).
6. YODA,K.，KIRA,T.：Nature and Life in SE-Asia，6，83-112 (1969).
7. 田村靖夫：山林 **1400**，21-29 (2001).
8. 只木良也：日本林学会誌 **58**，11，416-423 (1976).
9. 只木良也、四手井綱英：京都大学農学部演習林報告 **34**，1-31 (1963).
10. 断熱建材協議会編：“断熱建材ハンドブック”，養賢堂，p.24 (1994).
11. 断熱建材協議会編：“断熱建材ハンドブック”，養賢堂，p.25 (1994).
12. 石崎厚美：林業試験場研究報告 **180**，40 (1965).
13. 千原秀昭編：“物理化学実験法第３版”，東京化学同人，pp.108-111 (1988).
14. 樹木抽出成分利用技術研究組合編：樹木抽出成分利用技術研究成果集，p.158-160 (1995).
15. 日本規格協会：“JIS ハンドブック⑧建築Ⅰ（材料）”，日本規格協会，pp.541-543，(2001).
16. 渡辺要編：“建築計画原論Ⅱ”，丸善株式会社，p.111 (1965).
17. Franz Kollmann,，Lars Malmquist：Uber die Warmeleitzahl von Holz und Holzwerkstoffen，HOLZ als Roh- und Werkstoff，201-204 (1956).
18. 信田聡，大熊幹章：木材学会誌 **26**，２，112-117 (1980).
19. 日本木材加工技術協会編：“木材の接着・接着剤”，産調出版，pp.114-119 (1996).
20. 日本木材加工技術協会編：“木材の接着・接着剤”，産調出版，pp.137-143 (1996).
21. 日本木材加工技術協会編：“木材の接着・接着剤”，産調出版，pp.140-141 (1996).
22. 高分子学会編：“高分子と水”，共立出版，pp.220-222 (1995).
23. 日本木材加工技術協会編：“木材の接着・接着剤”，産調出版，pp.130-136 (1996).
24. 日本規格協会：“JIS ハンドブック⑧建築Ⅰ（材料）”，日本規格協会，pp.1025-1030，(2001).
25. 日本規格協会：“JIS ハンドブック⑧建築Ⅰ（材料）”，日本規格協会，pp.521-532，(2001).
26. 日本規格協会：“JIS ハンドブック⑧建築Ⅰ（材料）”，日本規格協会，pp. 1031-1034，(2001).
27. 日本規格協会：“JIS ハンドブック⑧建築Ⅰ（材料）”，日本規格協会，pp. 521-532，(2001).
28. 副枝裕美子：“炭化処理した木質材料の性状とその特性”，東京大学大学院農学生命科学研究科林産学専攻修士論文，pp.5-6，1996.

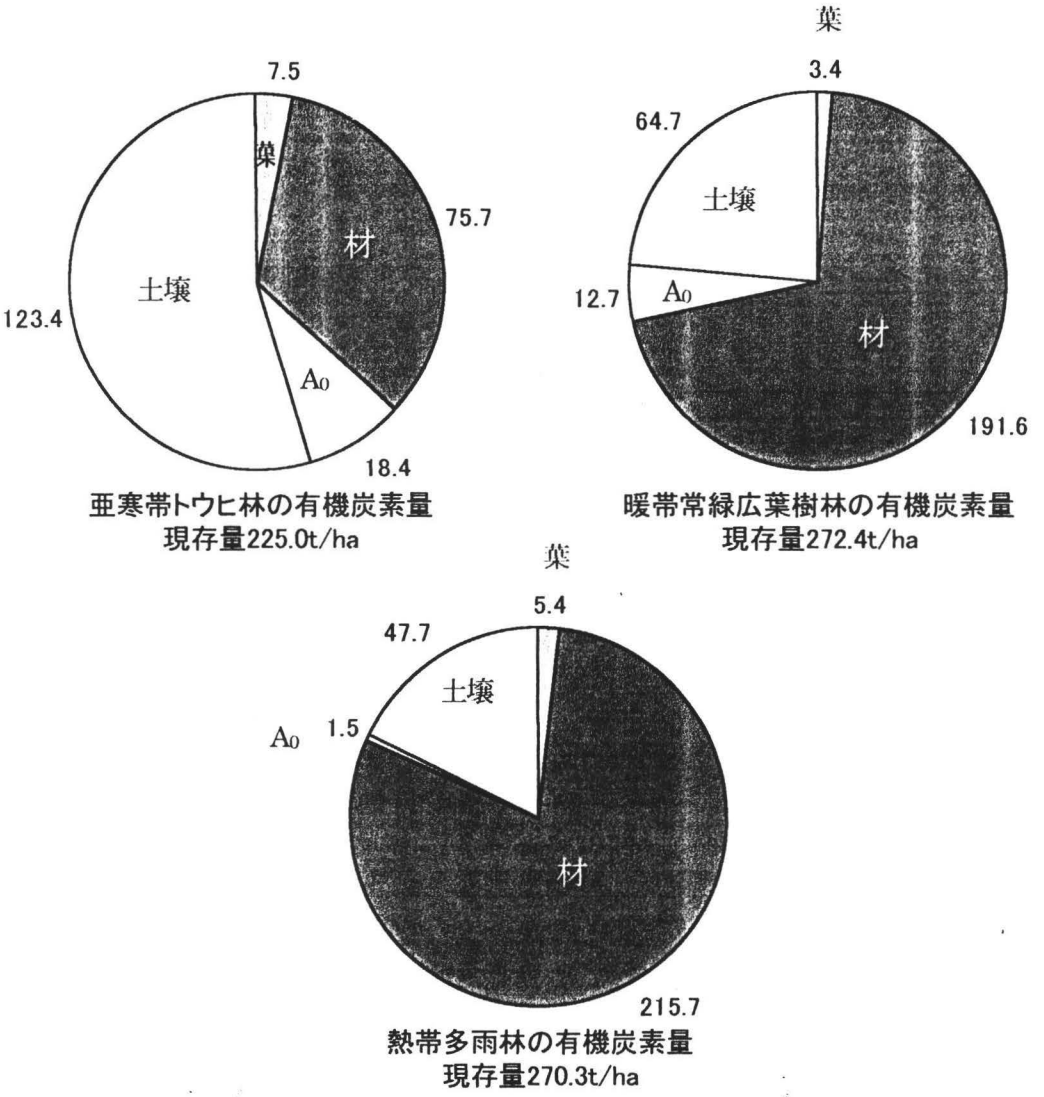


Fig.1.1.1. 温度状態の異なる森林生態系の炭素の集積状態の比較
現存量は土壌中と植物体中の両者を加えた生態系全体の蓄積量
A0: 土壌の表層で、主に落葉・落ち枝やそれらの分解物などで構成されている層

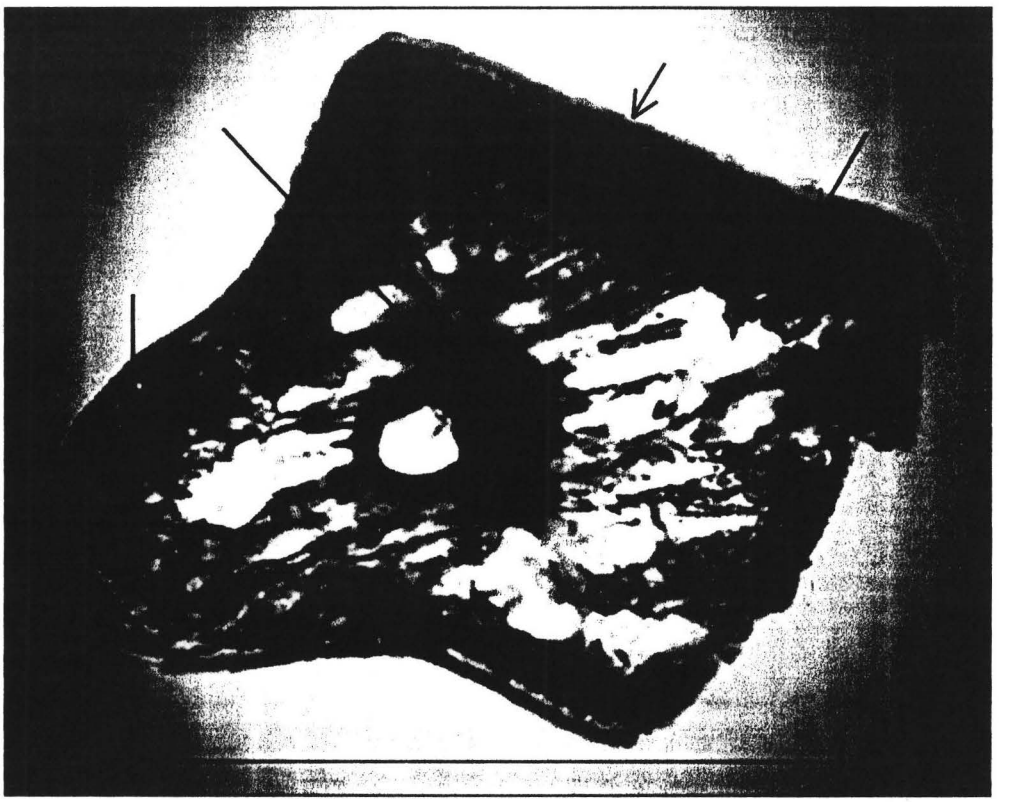


Fig.2.2.1.　スギ針葉横断面（100 倍）

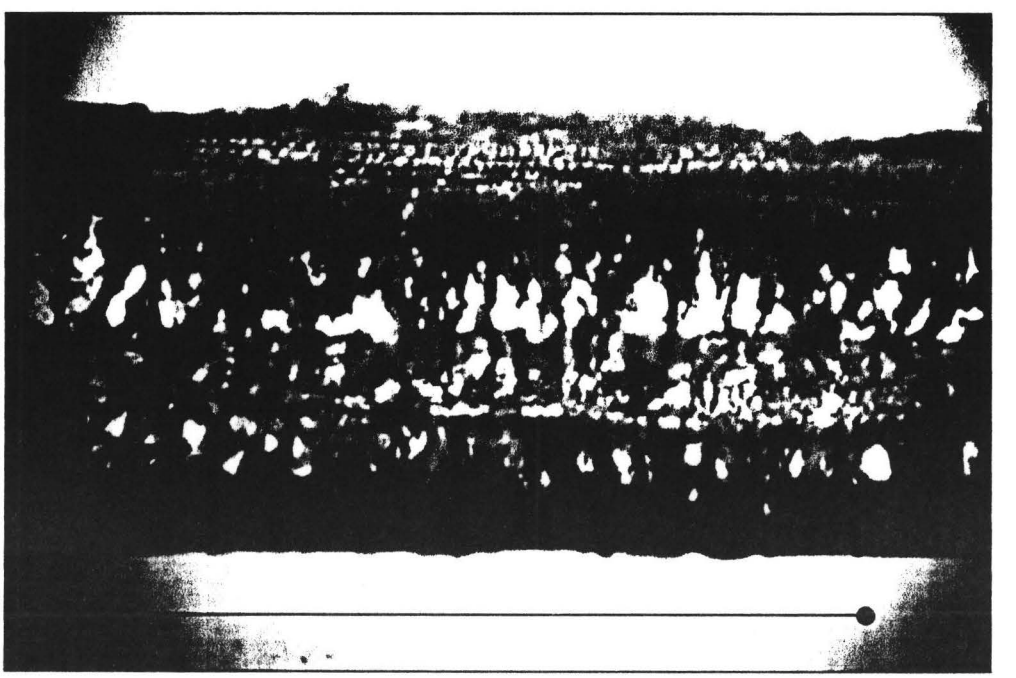


Fig.2.2.2.　スギ針葉縦断面（100 倍）

Table2.3.1.　スギ・ヒノキ樹皮とスギ葉の各種密度および気乾時の含水率

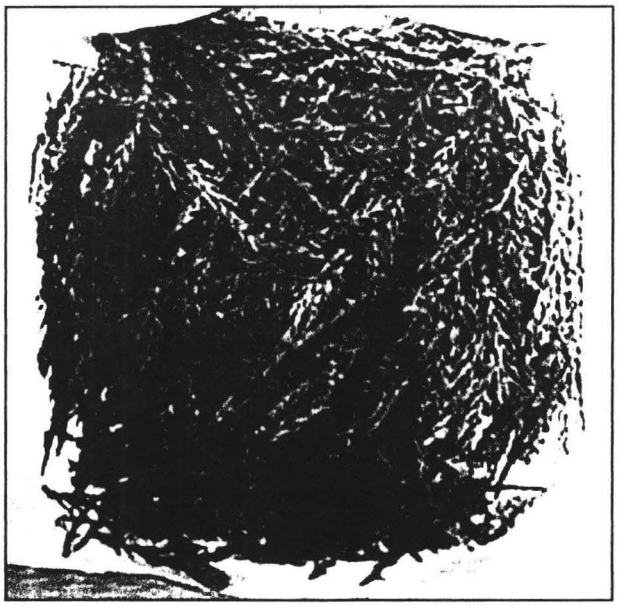
材料	気乾密度 (g/cm^3)	全乾密度 (g/cm^3)	実質密度※ (g/cm^3)	気乾含水率 (%)
スギ樹皮	0.42	0.35	1.60	21.2
ヒノキ樹皮	0.46	0.35	1.71	20.2
スギ葉	−	−	1.84	15.1

※ 木材の真比重にあたる。

Table2.4.1.　葉・樹皮を用いた断熱試験体の種類と気乾密度および厚さ

No.	種類	気乾密度 (g/cm^3)	厚さ (cm)
1	スギ葉（密度小）	0.05	2.0
2	スギ葉//（密度小）	0.05	2.0
3	スギ葉（密度中）	0.09	1.0
4	スギ葉//（密度中）	0.09	1.0
5	ダンボール	0.15	1.5
6	バルサ板	0.15	1.0
7	スギ葉（密度大）	0.20	1.0
8	水圧バーカーで剥いたスギ樹皮	0.20	1.0
9	スギ板	0.31	1.0
10	ナイフ型バーカーで剥いたスギ樹皮	0.32	1.5
11	ヒノキ樹皮	0.32	1.5

//　葉軸方向を平行に揃えて並べたもの。



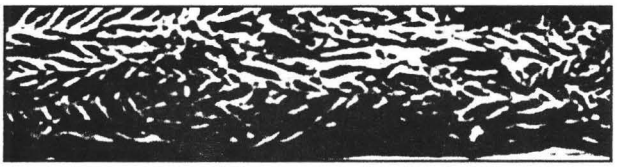
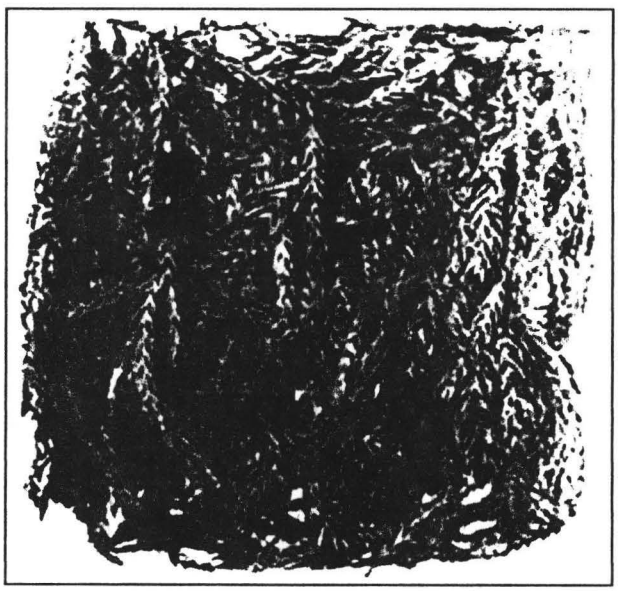


Fig.2.4.1.　スギ葉（No.1,No.3）
左）全体写真、上）側面写真



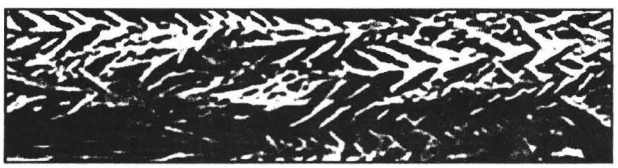
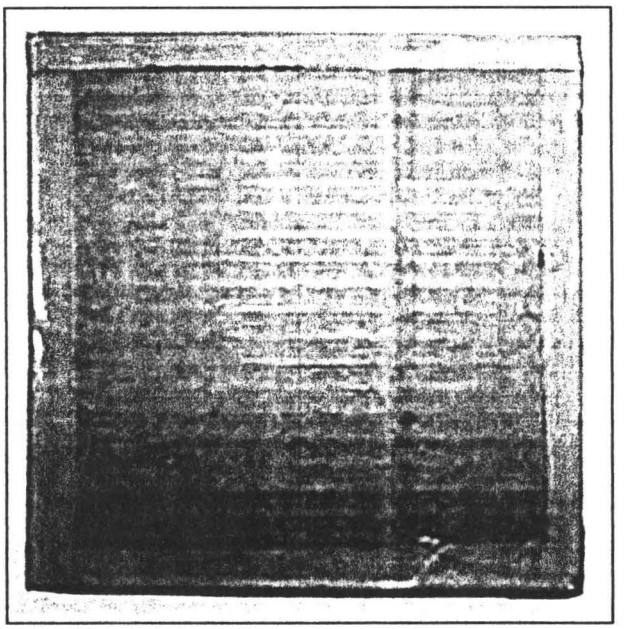


Fig.2.4.2.　スギ葉　//（No.2,No.4）
左）全体写真、上）側面写真



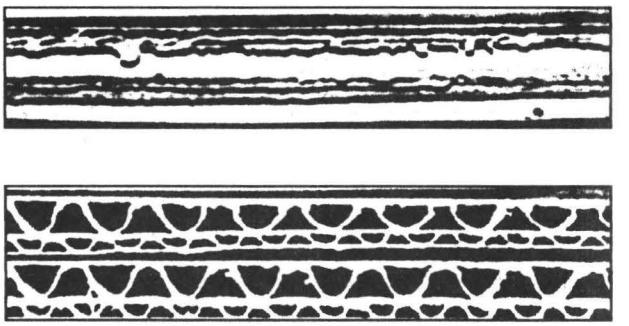


Fig.2.4.3. ダンボール (No.5)
左）全体写真、上）側面写真

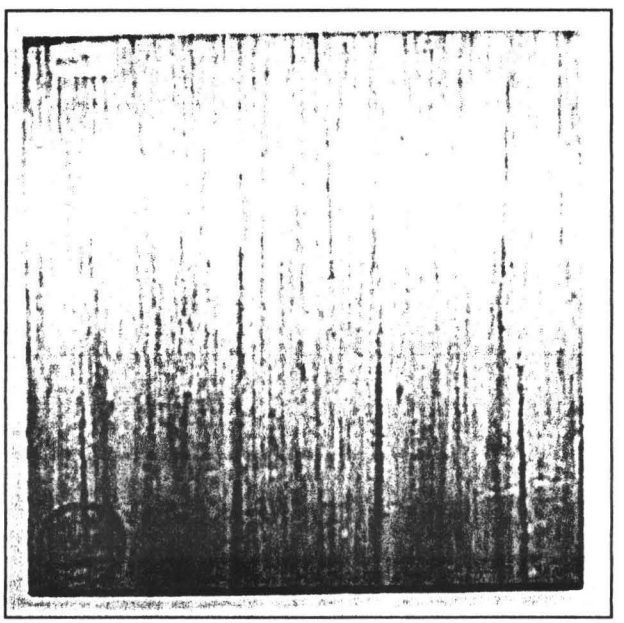




Fig.2.4.4. バルサ板 (No.6)
左）全体写真、上）側面写真

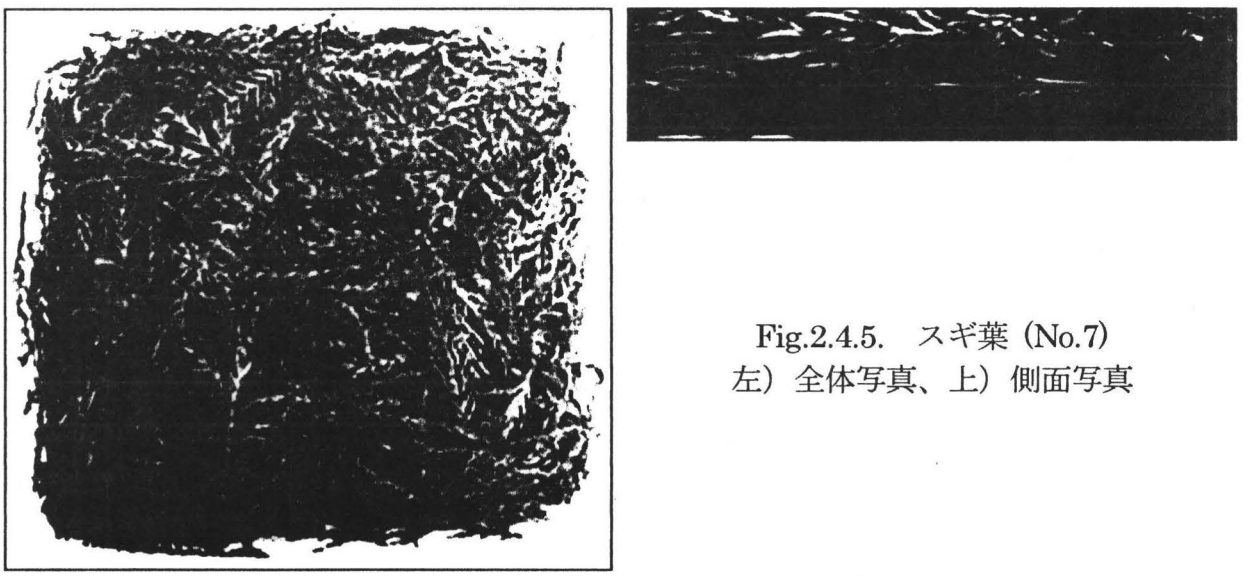


Fig.2.4.5.　スギ葉（No.7）
左）全体写真、上）側面写真

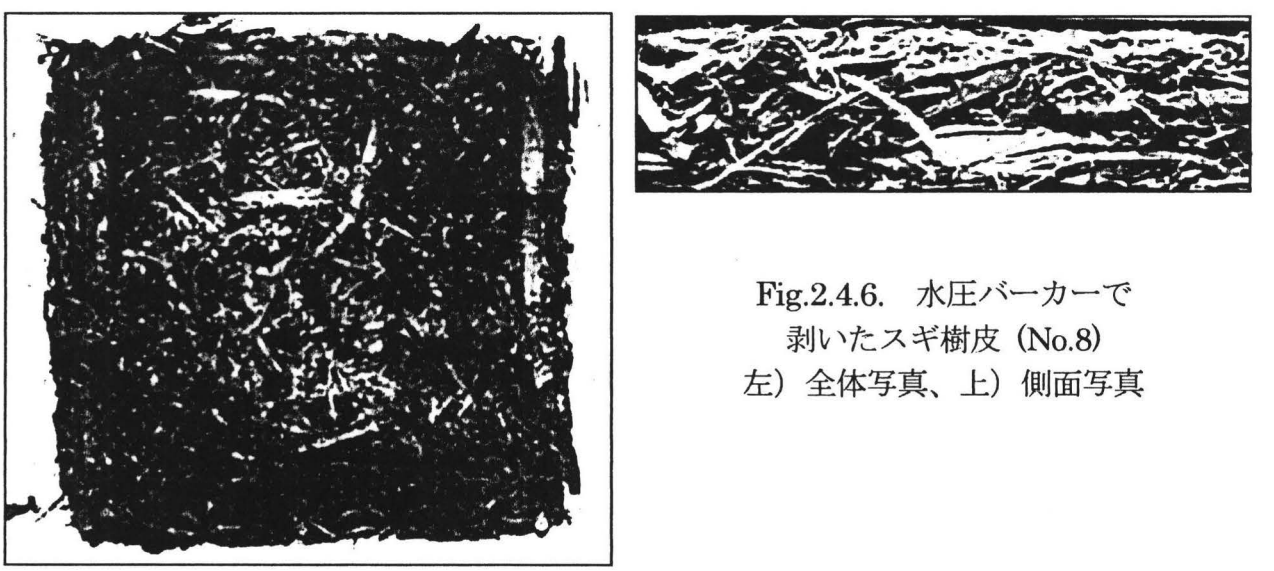


Fig.2.4.6.　水圧バーカーで
剥いたスギ樹皮（No.8）
左）全体写真、上）側面写真

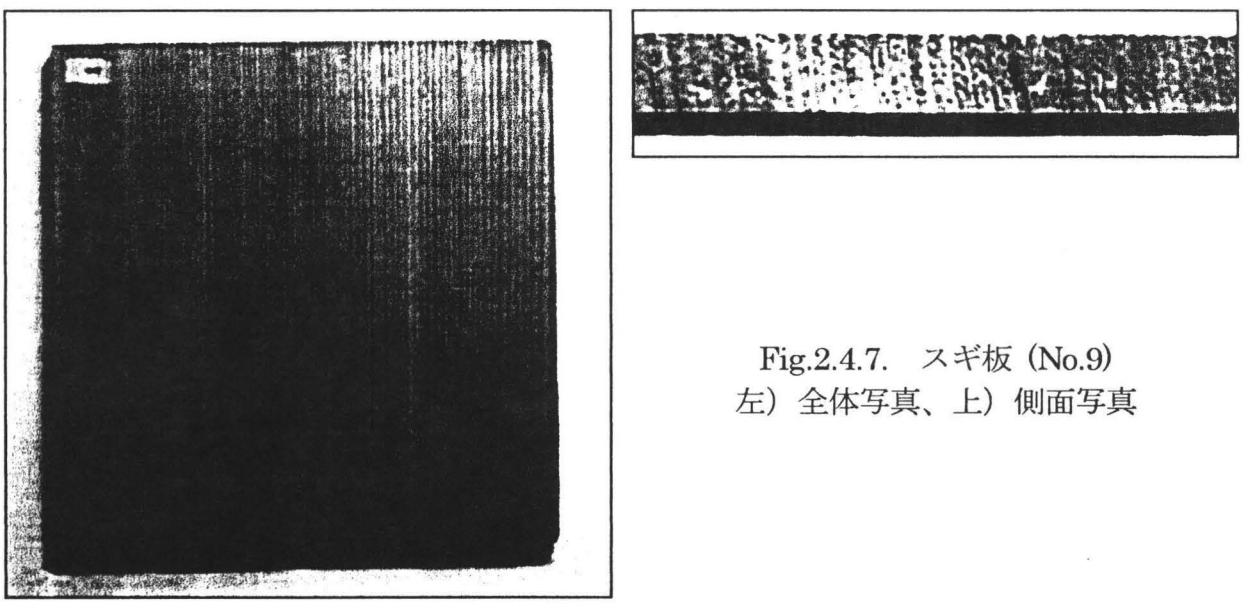


Fig.2.4.7.　スギ板（No.9）
左）全体写真、上）側面写真

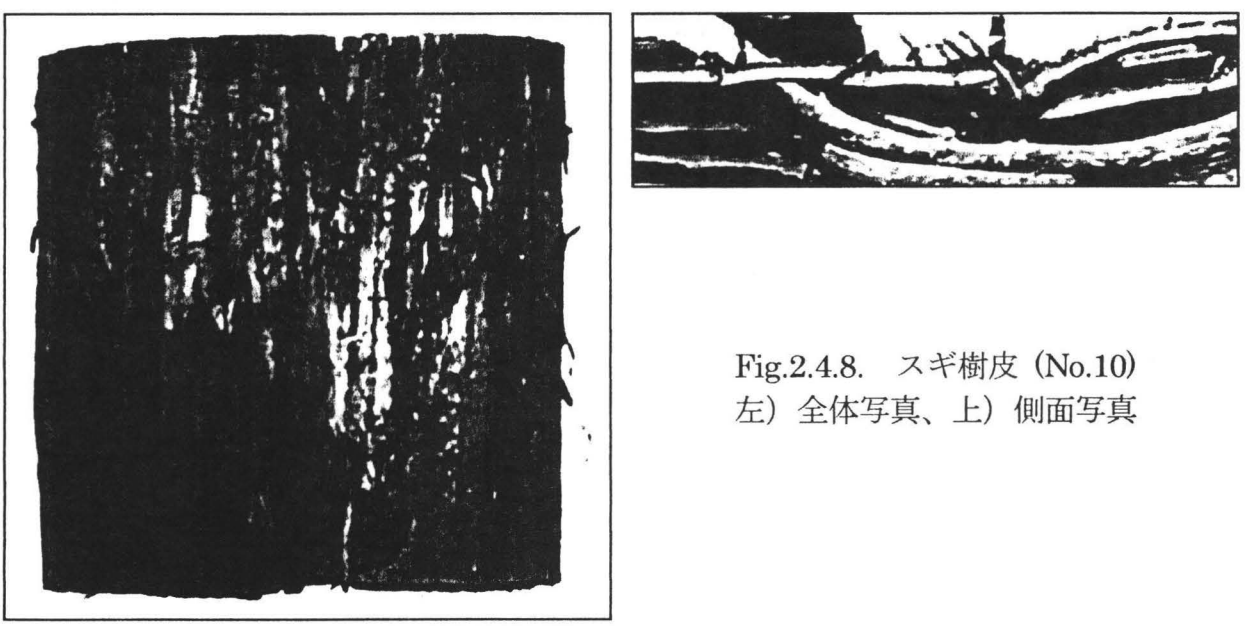


Fig.2.4.8.　スギ樹皮（No.10）
左）全体写真、上）側面写真

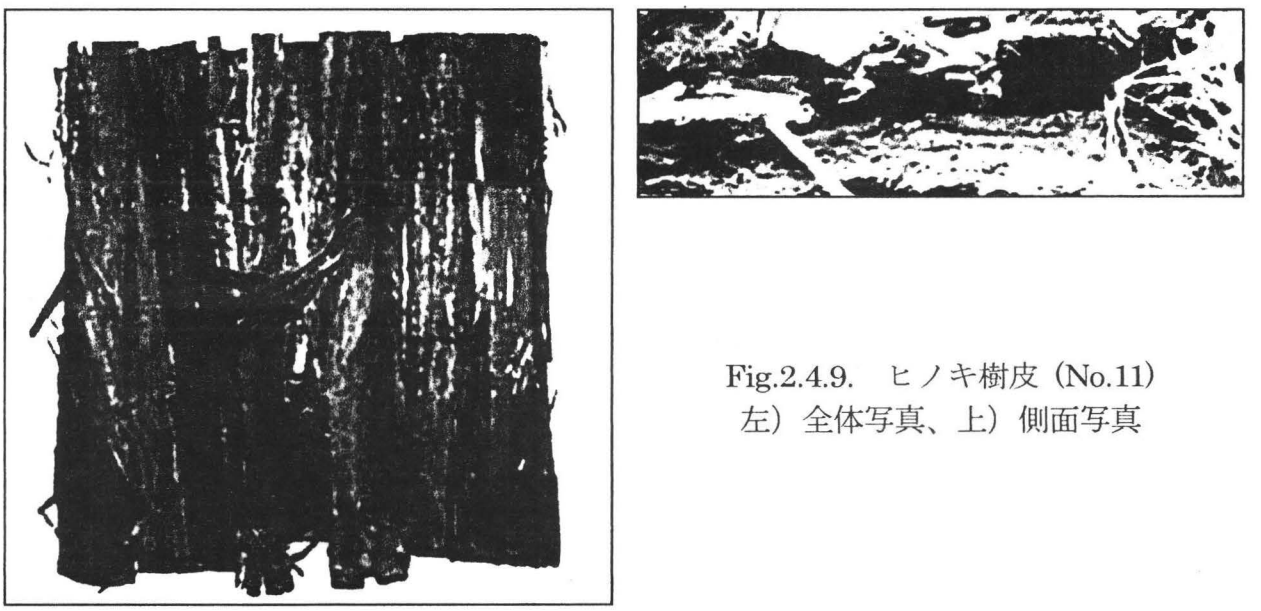


Fig.2.4.9.　ヒノキ樹皮（No.11）
左）全体写真、上）側面写真

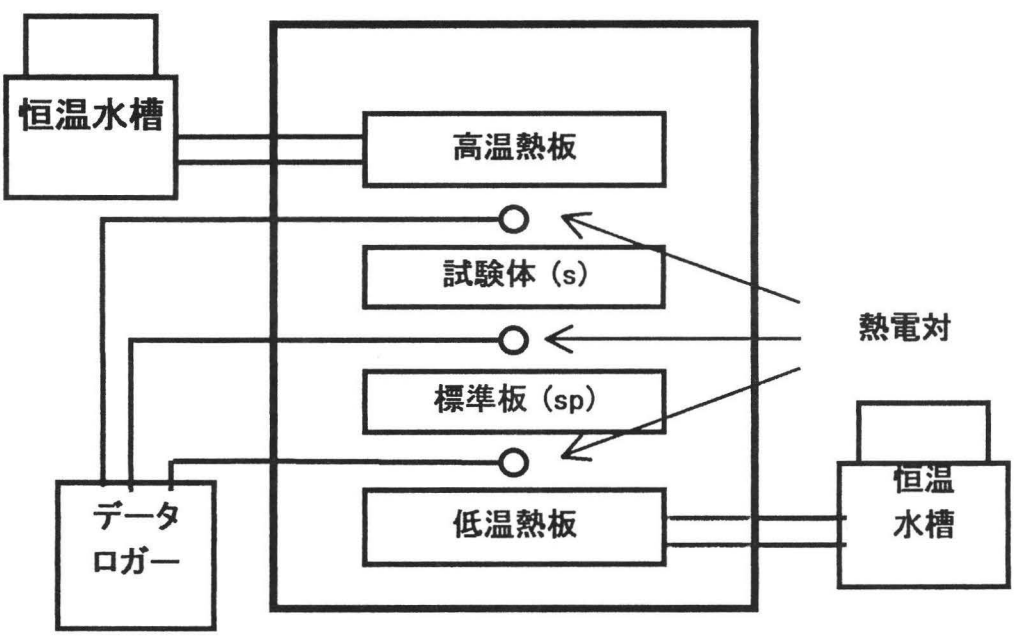


Fig.2.4.10.　平板比較法の測定装置

Table2.4.2.　葉・樹皮を用いた断熱試験体の熱伝導率

No.	種類	密度 (g/cm³)	含水率 (%)	温度※1 (℃)	熱伝導率 (W/mK)
1	スギ葉(密度小)	0.05	12.0	31.6	0.055
2	スギ葉//(密度小)	0.05	15.3	31.5	0.053
3	スギ葉(密度中)	0.09	12.0	34.6	0.042
4	スギ葉//(密度中)	0.09	15.3	33.4	0.040
5	ダンボール	0.15	9.6	32.3	0.042
6	バルサ板	0.15	約 12.0※2	30.6	0.042
7	スギ葉(密度大)	0.20	13.3	34.9	0.044
8	水圧バーカーで剥いたスギ樹皮	0.20	17.5	33.2	0.029
9	スギ板	0.31	約 12.0※2	31.9	0.055
10	ナイフ型バーカーで剥いたスギ樹皮	0.32	19.5	33.9	0.052
11	ヒノキ樹皮	0.32	19.9	29.6	0.038

// 葉軸方向を平行に揃えて並べたもの。

※1 熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

※2 測定値ではなく 20℃,65%RH での木材の平衡含水率。

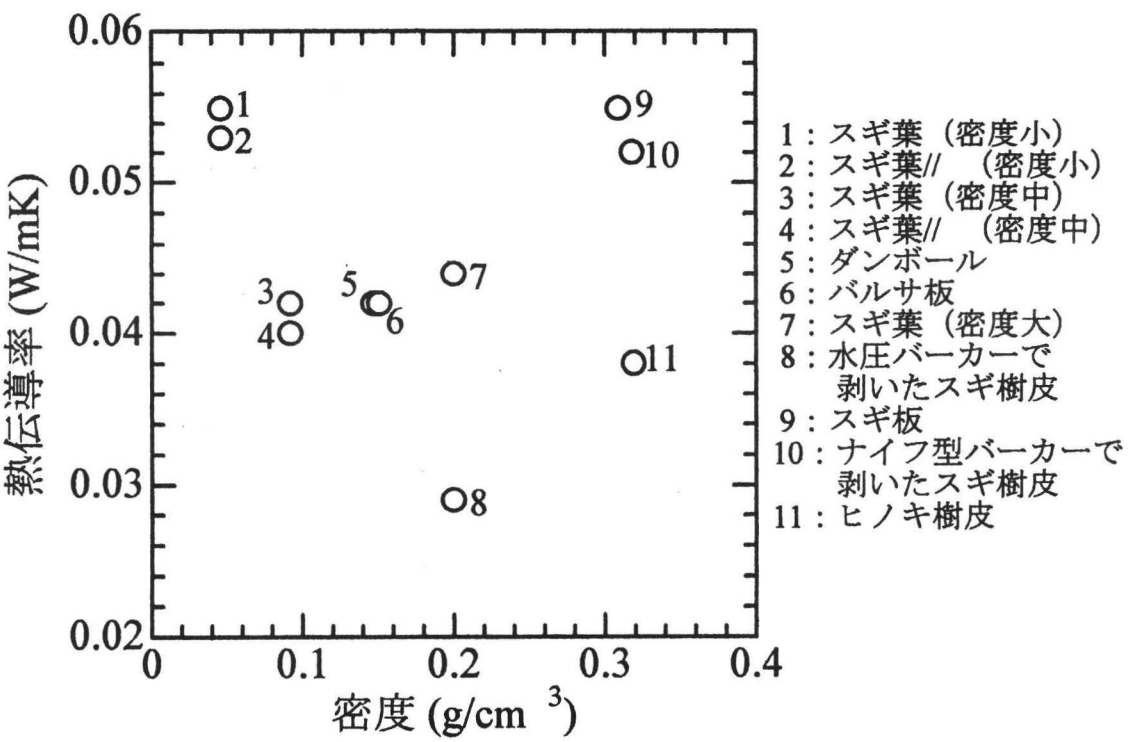


Fig.2.4.11.　葉・樹皮を用いた断熱試験体の密度と熱伝導率の関係



Fig.2.5.1.　水圧バーカーで剥いたスギ樹皮

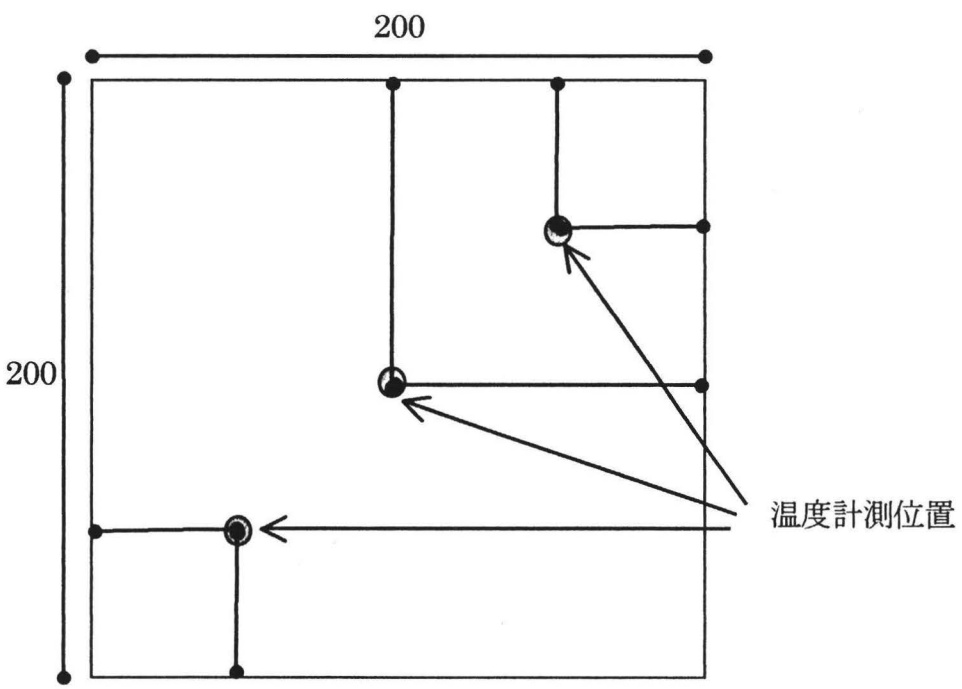


Fig.2.5.2.　試験体上での温度計測位置（単位：mm）

Table2.5.1.　スギ樹皮試験体の熱伝導率

No.	密度 (g/cm^3)	含水率 (%)	温度※ (℃)	熱伝導率 (W/mK)
1	0.19	2.8	34.2	0.044
2	0.28	2.9	33.3	0.044
3	0.36	0.9	31.6	0.049
4	0.38	1.0	34.7	0.054

※熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

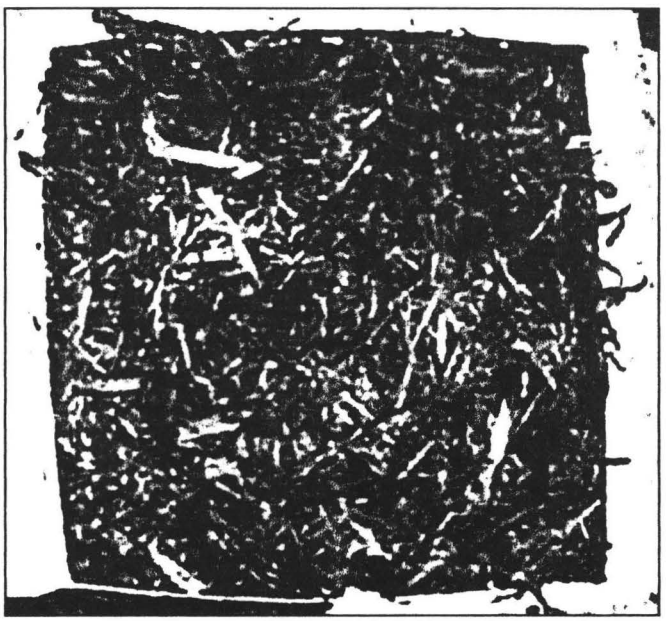


Fig.2.5.3.　スギ樹皮試験体の全体写真

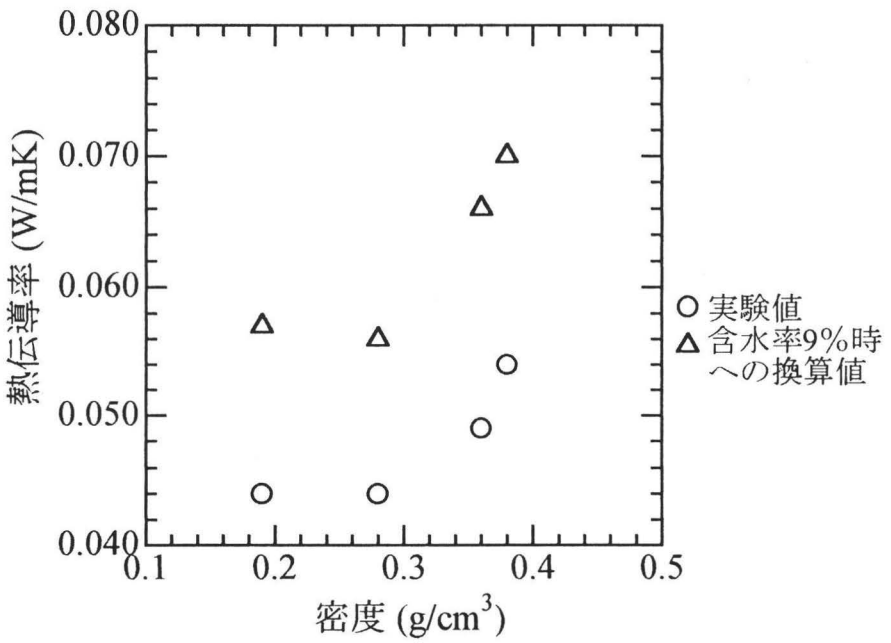


Fig.2.5.4.　スギ樹皮試験体の密度と熱伝導率の関係

Table3.2.1.　フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードの製造条件

No.	目標全乾密度 (g/cm^3)	目標厚さ (mm)	含脂率※ (%)
1	0.10	20	20
2	0.25	8	10
3	0.15	15	15
4	0.15	20	15
5	0.10	30	20
6	0.15	20	20
7	0.20	8	15
8	0.20	8	15
9	0.30	6	10

※スギ葉の全乾重量に対する接着剤固形分の重量%。

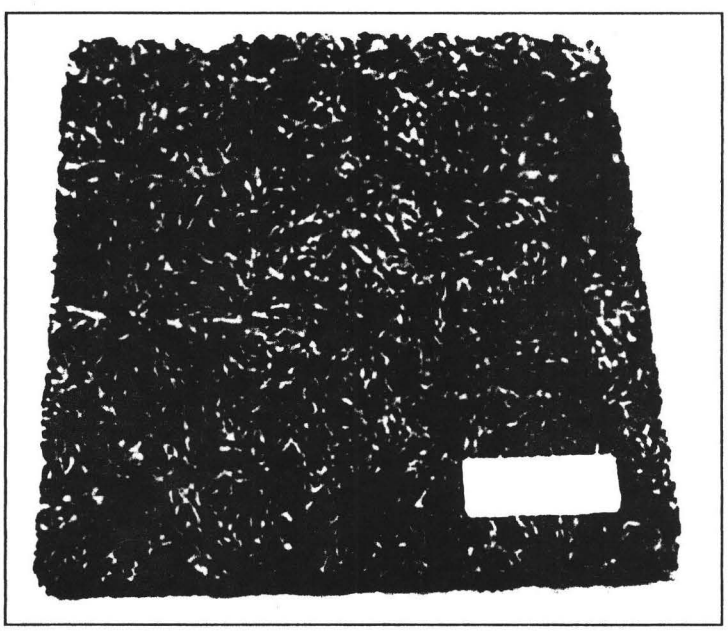


Fig.3.2.1.　フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードNo. 1の全体写真

Table3.2.2.　フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードの熱伝導率

No.	密度 (g/cm³)	厚さ (mm)	含水率 (%)	温度※ (℃)	熱伝導率 (W/mK)
1	0.12	19	9.4	29.8	0.044
2	0.25	9	9.2	32.1	0.044
3	0.17	15	9.4	30.6	0.045
4	0.17	20	9.9	31.6	0.045
5	0.13	29	10.7	30.0	0.046
6	0.18	20	9.7	31.6	0.046
7	0.22	8	9.0	34.3	0.047
8	0.23	8	8.6	34.4	0.047
9	0.29	7	9.6	33.1	0.057

No.1～9 の詳細は Table3.2.1 を参照。
※熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

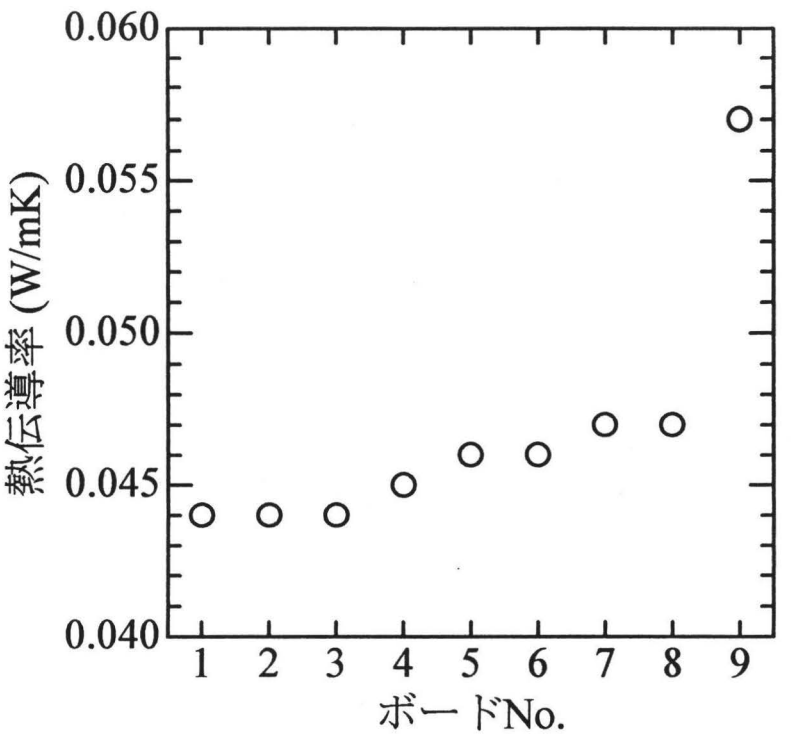


Fig.3.2.2.　フェノール樹脂を用いた
スギ葉ボードの熱伝導率

No.1～9はTable3.2.1に同じ。

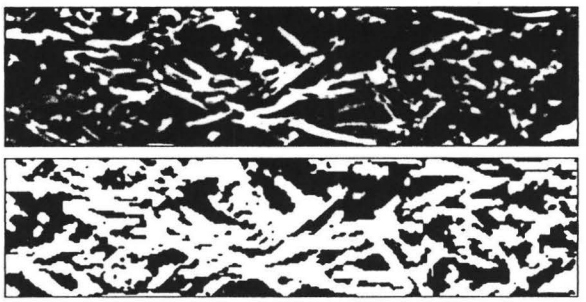


Fig.3.2.3.（上）フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードNo.1の側面写真
（下）No.1の側面を2階調化した写真（しきい値128）

Table3.2.3. フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードの側面空隙率（%）

No.	側面1	側面2	側面3	側面4	平均	標準偏差
1	69.7	69.0	64.6	70.5	68.4	2.6
2	65.8	54.9	60.2	57.9	59.7	4.6
3	69.1	67.2	61.1	65.7	65.8	3.4
4	70.4	68.2	72.3	74.4	71.3	2.7
5	75.4	81.7	76.7	77.0	77.7	2.8
6	68.6	65.2	62.4	67.3	65.9	2.7
7	63.8	58.3	61.3	60.4	60.9	2.2
8	67.8	66.8	55.3	61.5	62.9	5.7
9	55.5	51.5	62.6	61.5	57.8	5.2

No.1～9の詳細はTable3.2.1を参照。

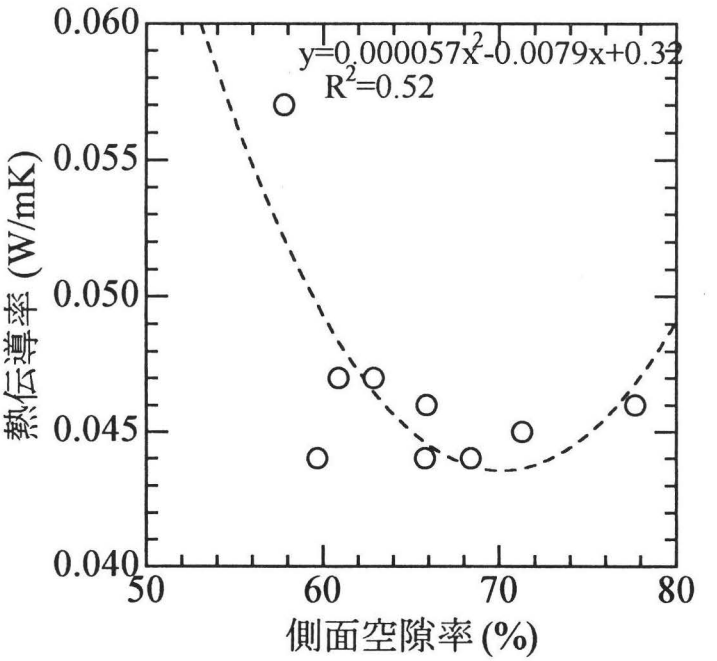


Fig.3.2.4. フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードの側面空隙率と熱伝導率の関係

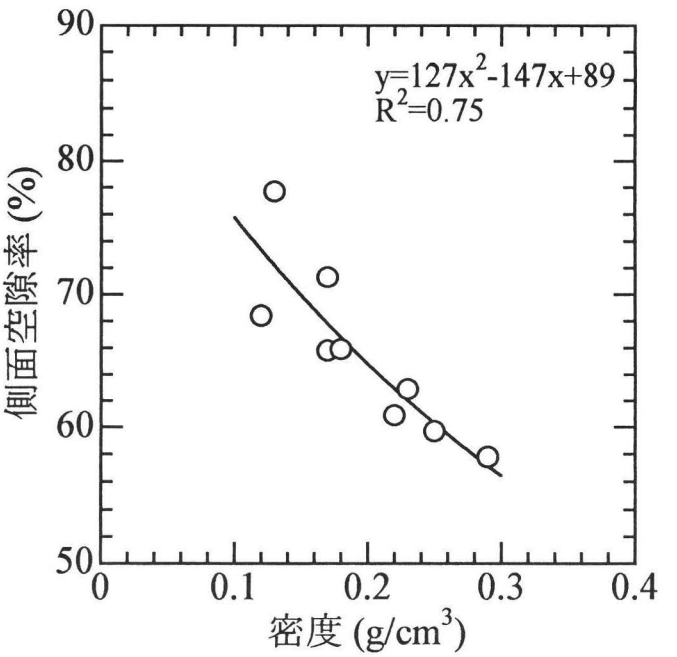


Fig.3.2.5. フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードの密度と側面空隙率の関係

Table3.3.1.　接着剤の重量混合比

No.	フェノール樹脂	発泡剤	整泡剤	蒸留水
1	100	1.0	0.5	0
2	100	1.0	0.5	20
3	100	1.0	0.5	40
4	100	3.0	1.5	0
5	100	3.0	1.5	20
6	100	3.0	1.5	40
7	100	0	0	0

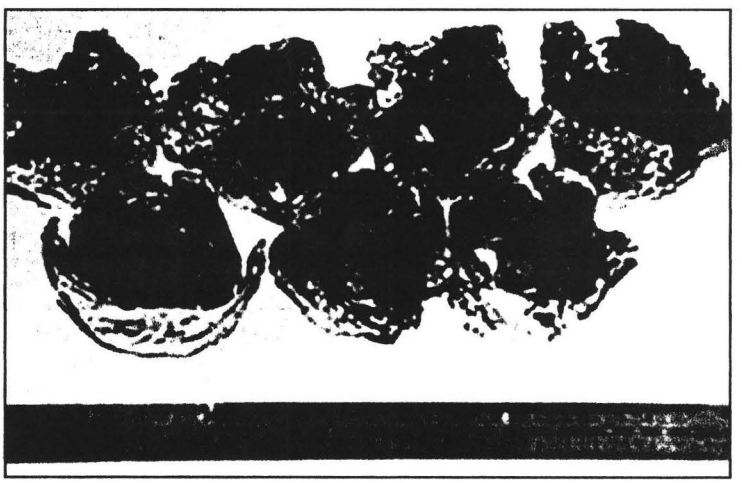


Fig.3.3.1.　105℃で硬化させたフェノール樹脂

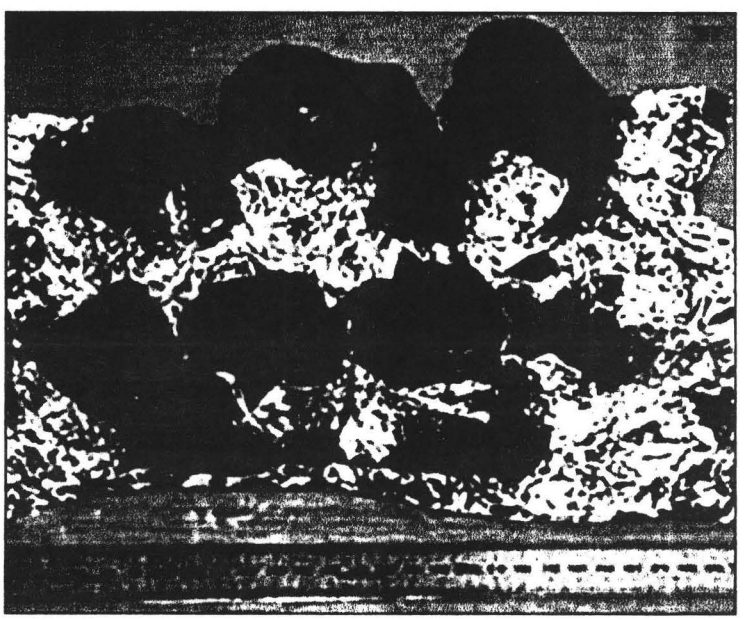


Fig.3.3.2.　130℃で硬化させたフェノール樹脂

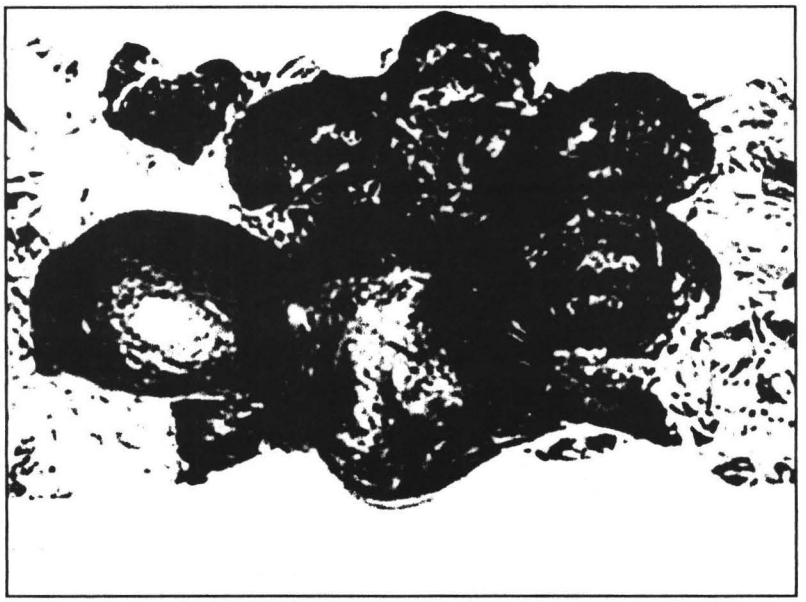


Fig.3.3.3.　150℃で硬化させたフェノール樹脂
番号はTable3.3.1に同じ。

Table3.4.1.　試験体の種類

No.	種類	レゾルシノール	酢酸ビニル	ウレタン
1	樹脂のみ	○	○	○
2	発泡剤5%※	○	○	○
3	発泡剤10%※	○	○	○
4	発泡剤5%※＋水	○	○	—
5	発泡剤10%※＋水	○	○	—

表中の○で示したものを用意した。
※パーセンテージは樹脂の重量に対する発泡剤重量の割合。

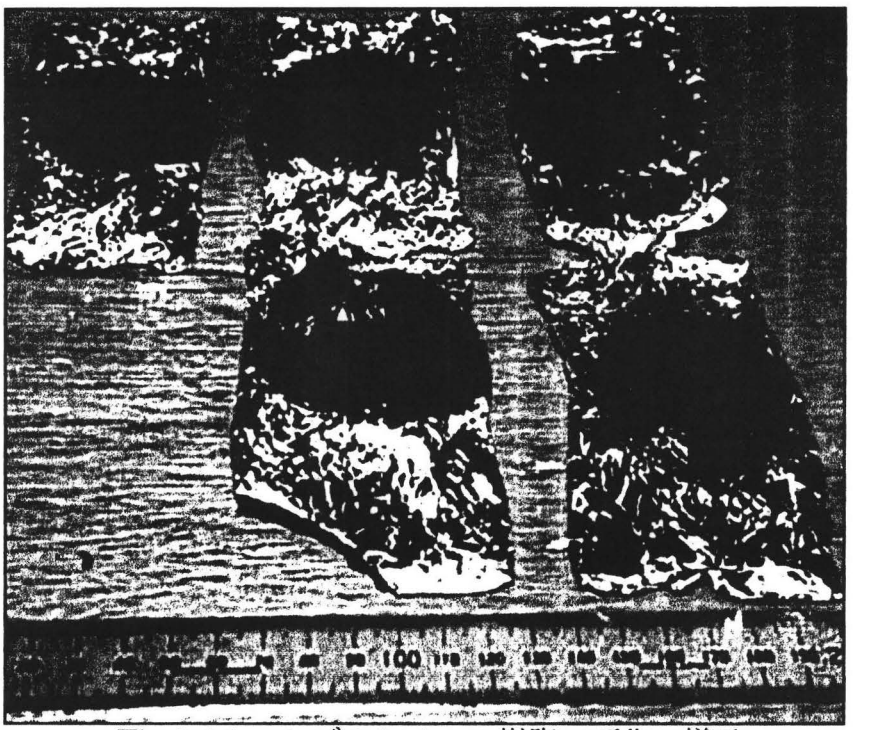


Fig.3.4.1.　レゾルシノール樹脂の硬化の様子

番号はTable3.4.1に同じ。

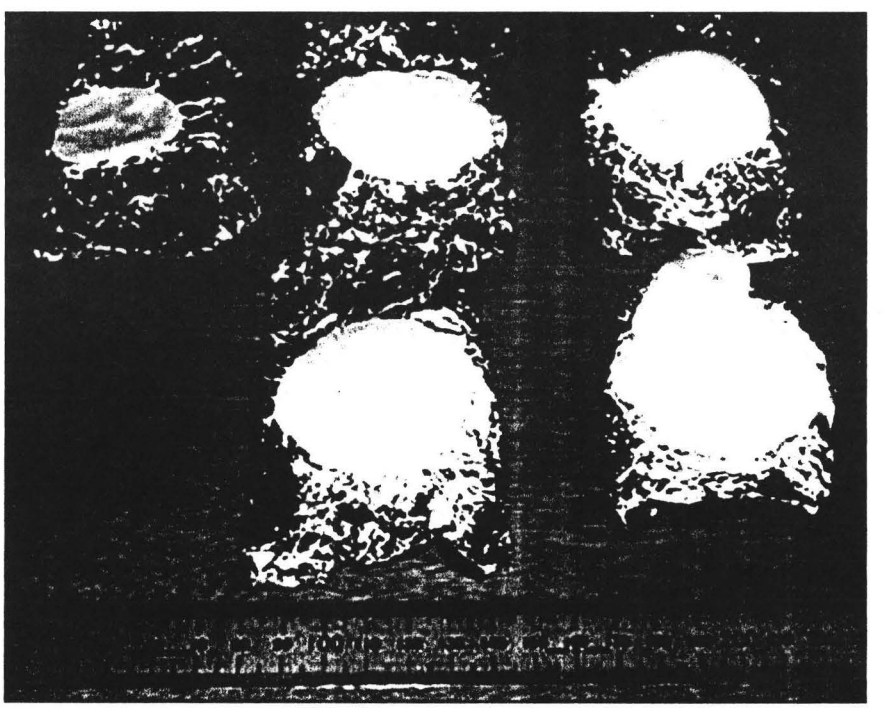


Fig.3.4.2.　酢酸ビニル樹脂の硬化の様子

番号はTable3.4.1に同じ。



Fig.3.4.3.　ウレタン樹脂の硬化の様子
番号はTable3.4.1に同じ。

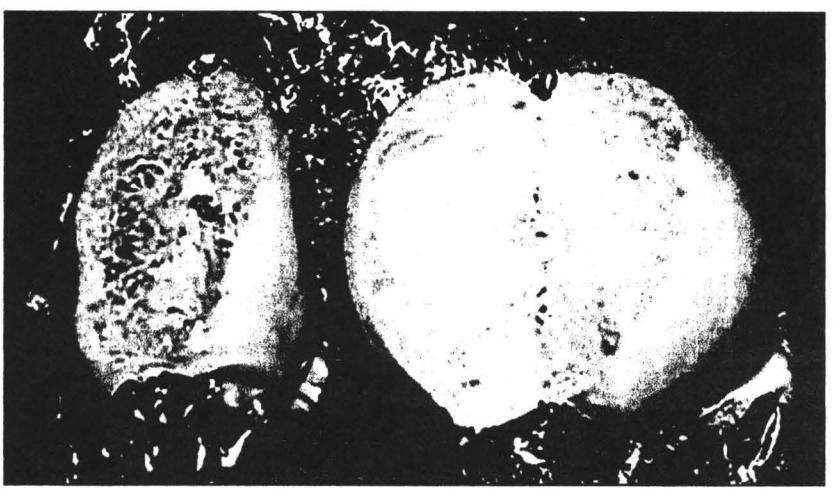


Fig.3.4.4.　酢酸ビニル樹脂の硬化物の内部

Table3.5.1.　フェノール樹脂を用いたスギ葉ボードの製造条件

No.	気乾密度 (g/cm^3)	圧締温度、圧締時間、圧締圧
1	0.10	45℃で5分間圧締、その後180℃まで15分かけて昇温。圧締圧は10kgf/cm²。
2	0.15	125℃で3分間圧締、その後180℃で10分間圧締。圧締圧は10kgf/cm²。
3	0.15	180℃、0kgf/cm²で3分間加熱。その後180℃、10kgf/cm²で10分間圧締。
4	0.15	樹脂を塗布したスギの葉を105℃の乾燥機中に8分間入れた後、フォーミングし、180℃、10kgf/cm²で10分間圧締。

Table4.2.1.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの製造条件

ボードNo.	1	2	3	4	5	6	7
スギ葉重量 (g)	81.0	80.6	81.0	80.9	80.3	80.7	80.0
接着剤重量 (g)	60.6	62.0	60.1	59.9	121.1	120.3	160.1
水重量 (g)	16.9	19.3	20.5	20.8	30.2	29.9	40.5
含脂率※ (%)	75	77	74	74	151	149	200
圧締温度 (℃)	50	80	100	150	80	50	50
圧締時間 (min)	15	15	15	15	1	3	5
その他	—				圧締後、常温硬化		

※スギ葉の気乾重量に対する接着剤固形分の重量%。

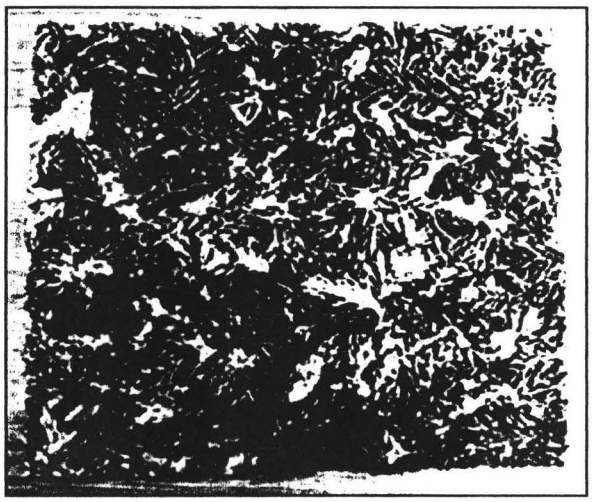


Fig.4.2.1.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードNo.1の全体写真（寸



Fig.4.2.2.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードNo.3の全体写真（寸

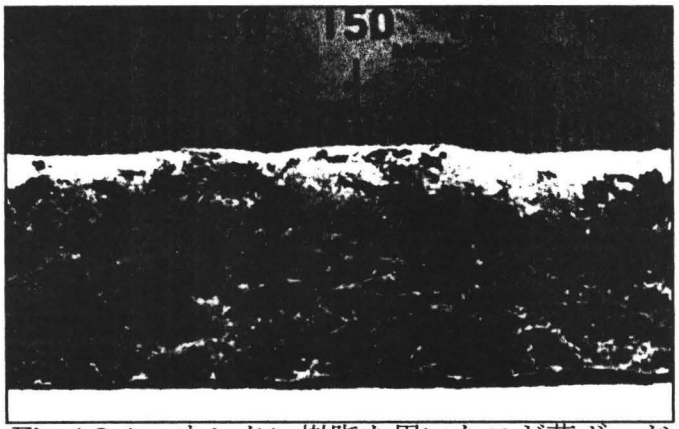


Fig.4.2.4.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボード

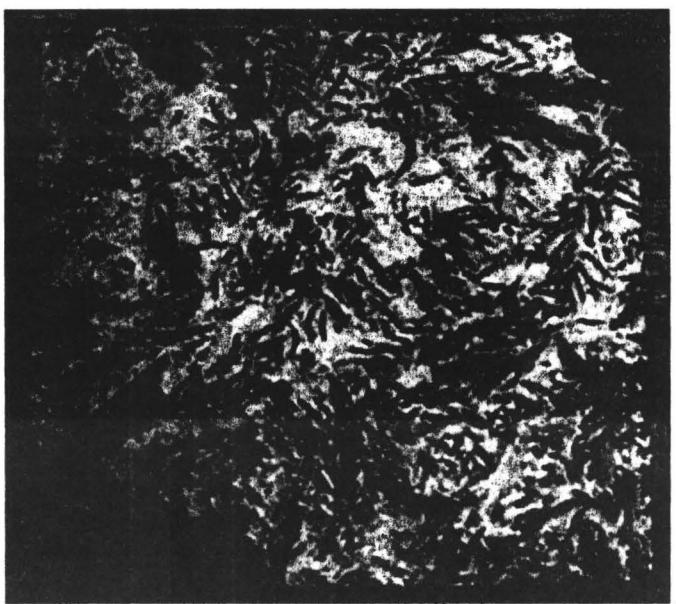


Fig.4.2.3.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボード No.7 の全体写真
（寸法：20cm×20cm）

Table4.2.2.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの熱伝導率

No.	密度 (g/cm^3)	厚さ (mm)	含水率 (%)	温度※ (℃)	熱伝導率 (W/mK)
1	0.11	19	8.9	32.2	0.051
2	0.11	18	9.1	32.6	0.049
3	0.12	19	8.1	31.5	0.050
4	0.11	19	7.6	29.9	0.049
5	0.14	23	6.6	31.9	0.054
6	0.15	21	6.6	30.1	0.046
7	0.18	19	6.0	31.2	0.044

No.1～7 の詳細は Table4.2.1 を参照。
※熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

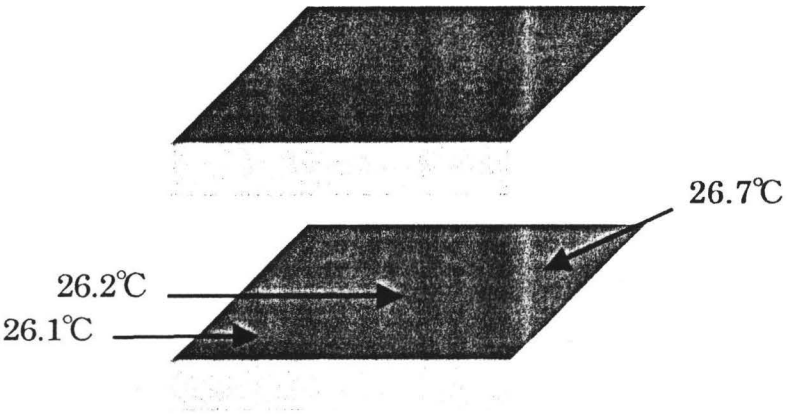


Fig.4.2.6.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードNo.5の熱伝導率測定時の表面温度

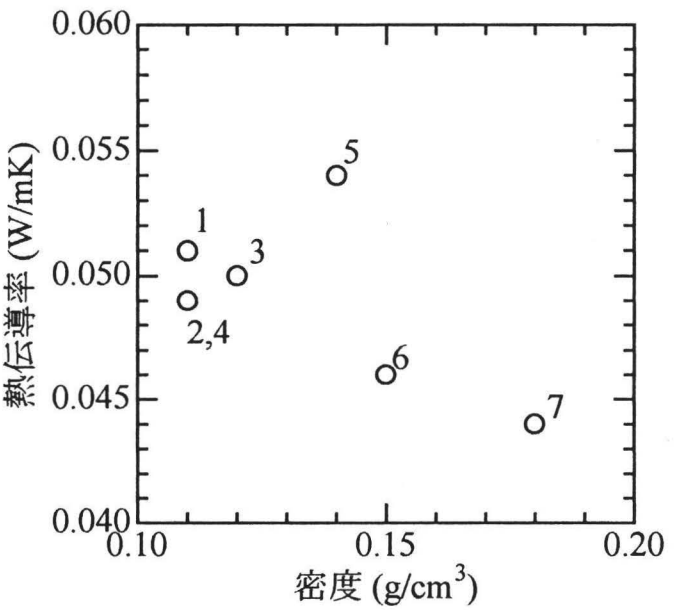


Fig.4.2.5.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの密度と熱伝導率の関係

番号はTable4.2.1に同じ。

Table4.3.1.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの製造条件

ボードNo.	1	2	3	4	5	6
スギ葉重量 (g)	80.5	80.9	80.4	80.3	80.3	80.8
接着剤重量 (g)	46.0	80.9	121.0	81.7	122.2	160.7
水重量 (g)	10.7	19.5	30.2	19.6	30.0	39.3
含脂率※ (%)	60	100	150	100	150	200
目標厚さ (mm)	10	10	10	20	20	20

スギ葉の気乾重量に対する接着剤固形分の重量%。

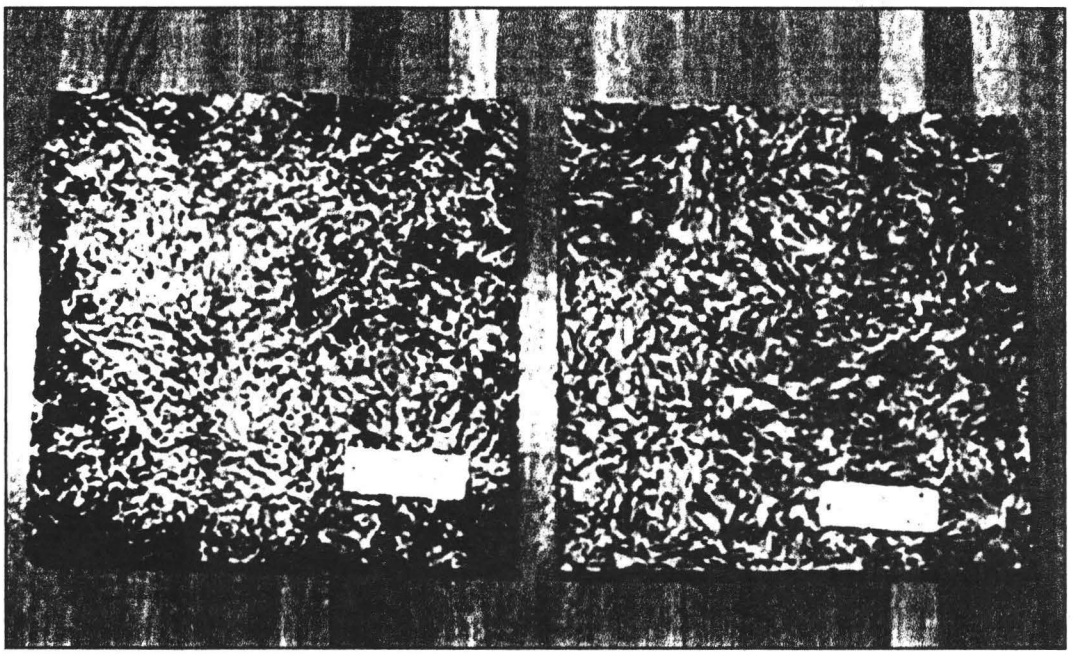


Fig.4.3.1.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの全体写真（左：No.1、右：No.2）

Table4.3.2.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの熱伝導率

No.	密度 (g/cm^3)	厚さ (mm)	含水率 (%)	温度※ (℃)	熱伝導率 (W/mK)
1	0.18	11	9.3	32.8	0.045
2	0.23	10	7.9	33.5	0.045
3	0.28	10	6.9	33.3	0.048
4	0.13	19	7.9	34.1	0.051
5	0.16	19	6.6	32.5	0.047
6	0.18	20	6.1	32.8	0.044

No.1～6 の詳細は Table4.3.1 を参照。
熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

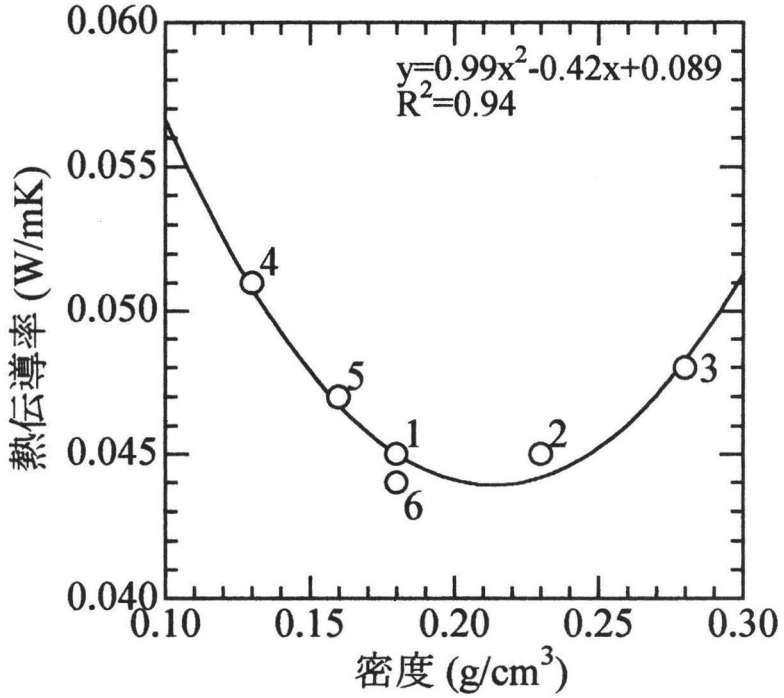


Fig.4.3.2.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの密度と熱伝導率の関係

番号はTable4.3.1に同じ。

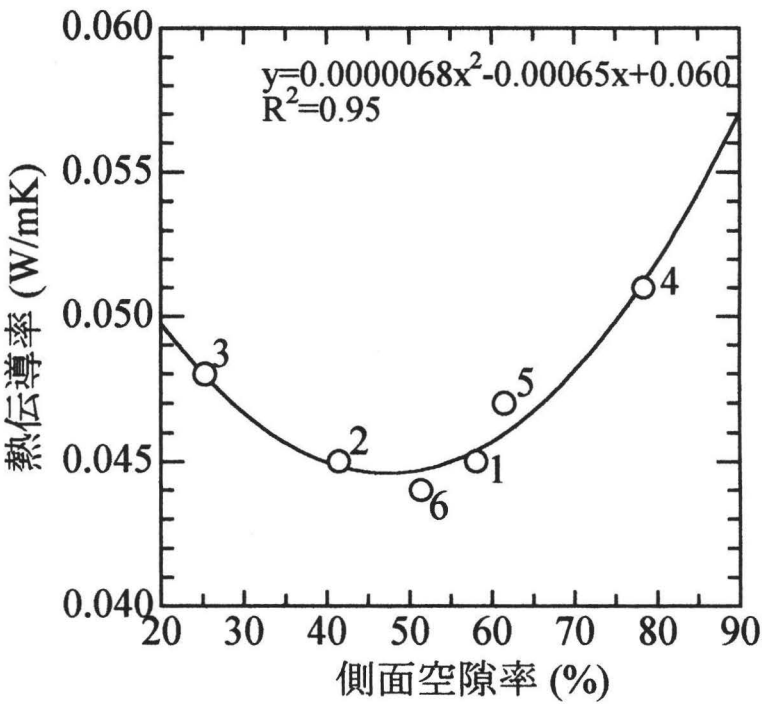


Fig.4.3.3.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの側面空隙率と熱伝導率の関係

番号はTable4.3.1に同じ。

Table4.3.3　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの側面空隙率 (%)

No.	側面 1	側面 2	側面 3	側面 4	平均	標準偏差
1	61.9	47.0	67.2	56.3	58.1	8.6
2	40.1	48.9	41.6	35.5	41.5	5.6
3	28.0	25.8	24.5	22.9	25.3	2.2
4	76.5	80.9	72.6	83.5	78.4	4.8
5	57.6	58.9	61.5	68.1	61.5	4.7
6	53.3	57.2	52.9	42.3	51.4	6.4

No.1～6 の詳細は Table4.3.1 を参照。

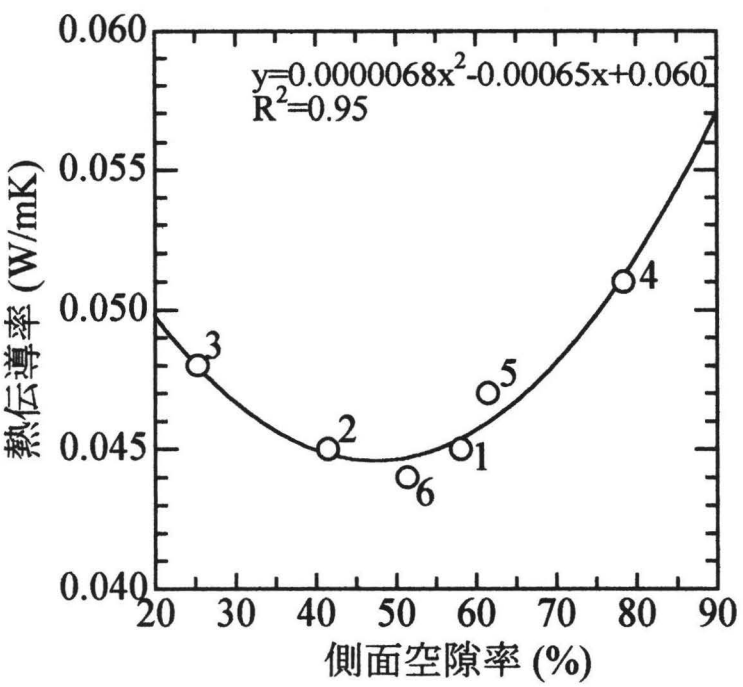


Fig.4.3.3.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの側面空隙率と熱伝導率の関係

番号はTable4.3.1 に同じ。

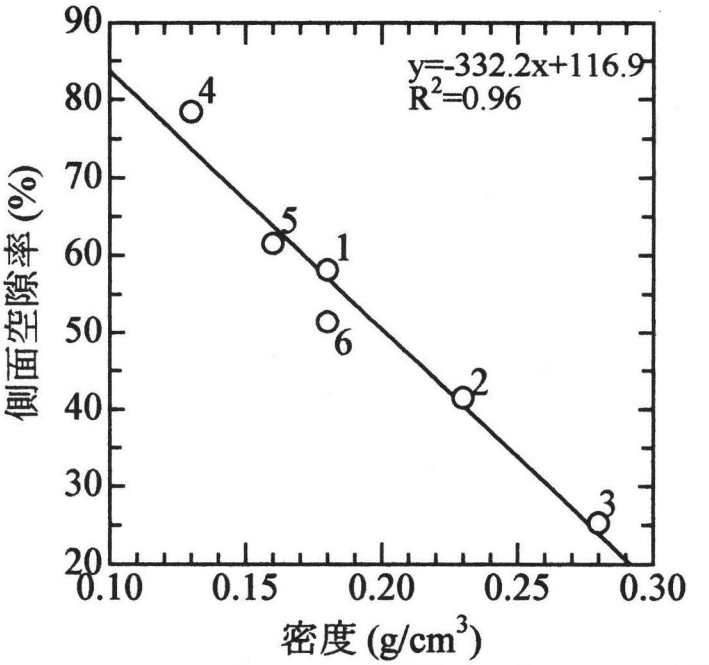


Fig4.3.4.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボードの密度と側面空隙率の関係の関係

番号はTable4.3.1に同じ。

Table4.4.1.　ウレタン樹脂の添加量

	A	B	C
実験 **4.3** で用いた対応する試験体 No.	4	5	6
実験 **4.3** でボード体積に対する樹脂の割合 (g/cm^3)	0.065	0.098	0.129
シャーレの体積 (cm^3)	121	121	121
必要な樹脂の重量 (g)	7.9	11.8	15.6
必要な水の重量 (g)	1.9	2.9	3.8

Table4.4.2.　実際に添加したウレタン樹脂の重量

	A	B	C
実験 **4.3** で用いた対応する試験体 No.	4	5	6
樹脂の重量 (g)	8.2	12.0	15.6
水の重量 (g)	1.9	2.9	3.9

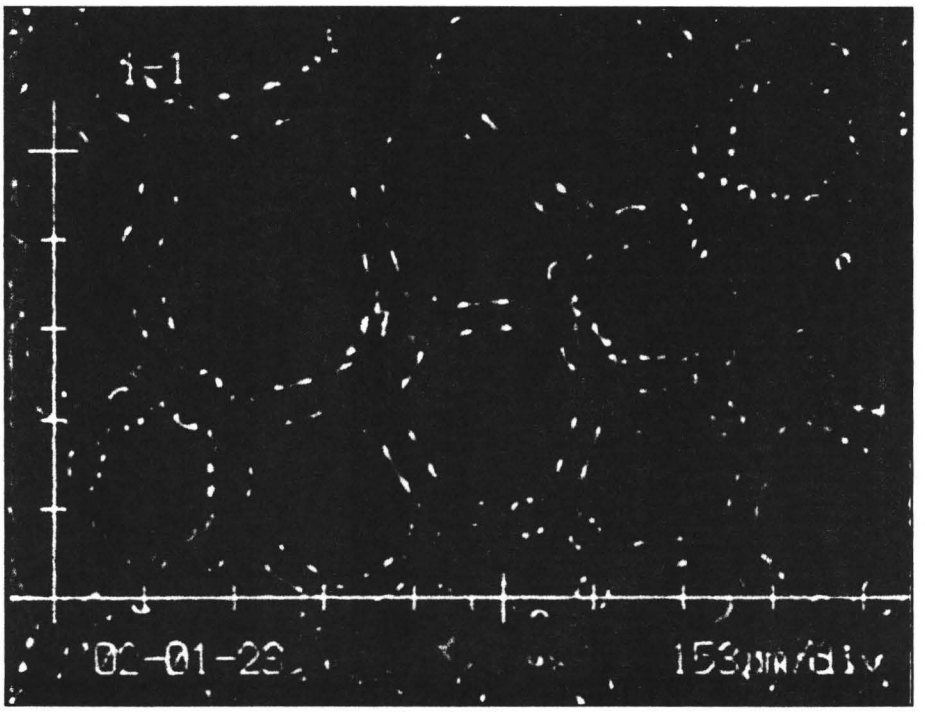


Fig.4.4.1.　泡の写真 A-1（75 倍）

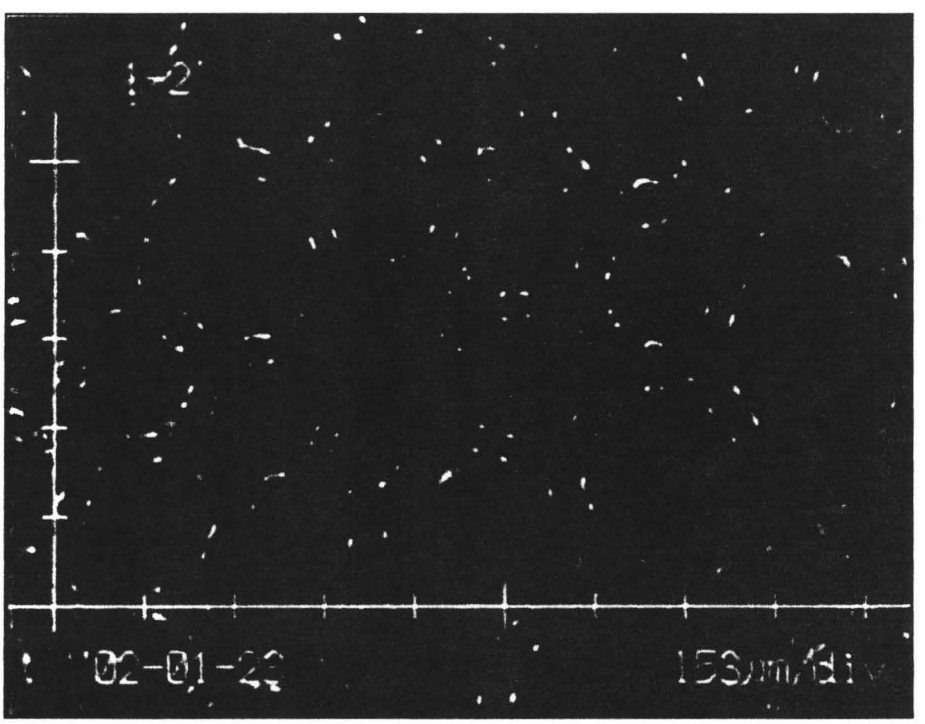


Fig.4.4.2.　泡の写真 A-2（75 倍）

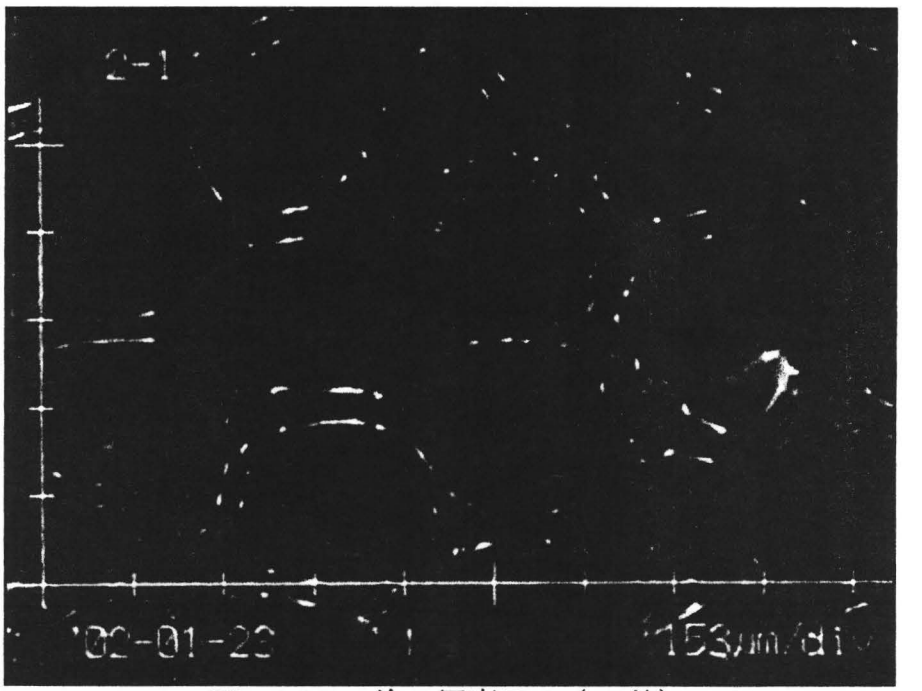


Fig.4.4.3.　泡の写真 B-1（75 倍）

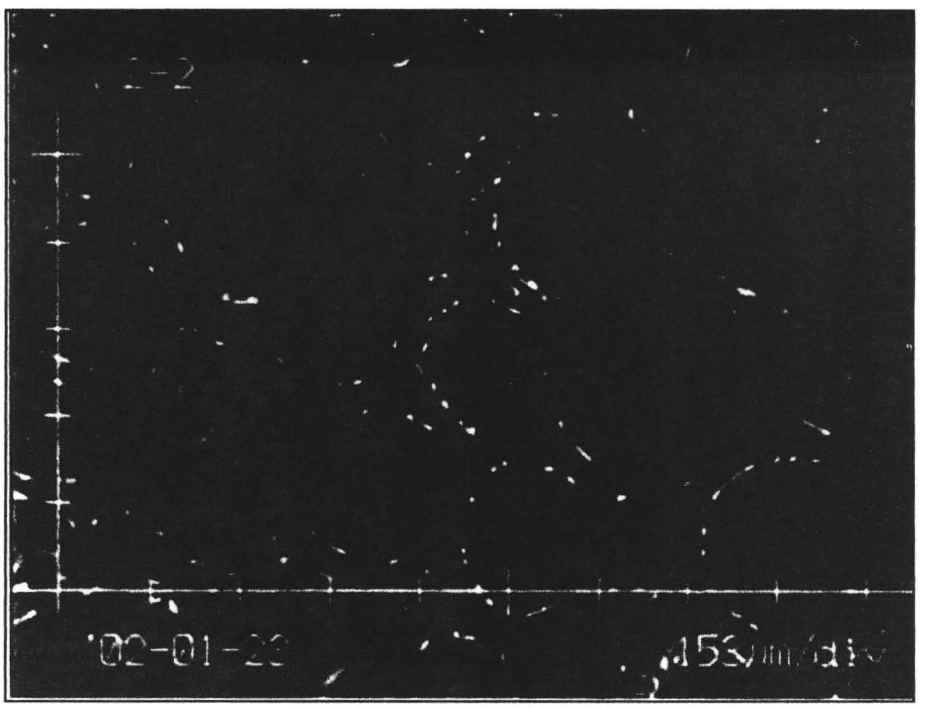


Fig.4.4.4.　泡の写真 B-2（75 倍）

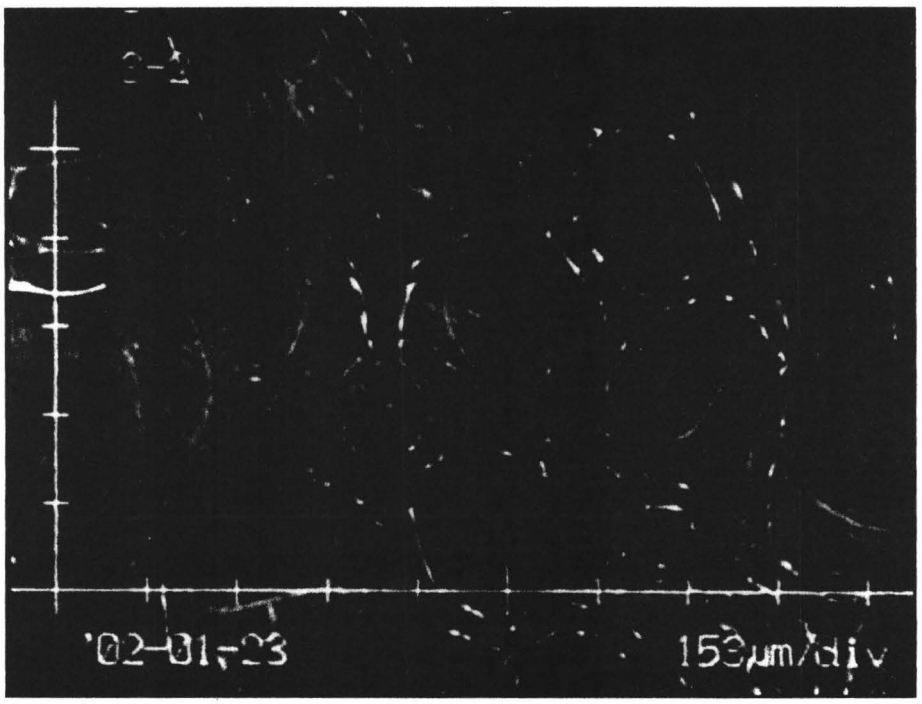


Fig.4.4.6.　泡の写真 C-2（75 倍）

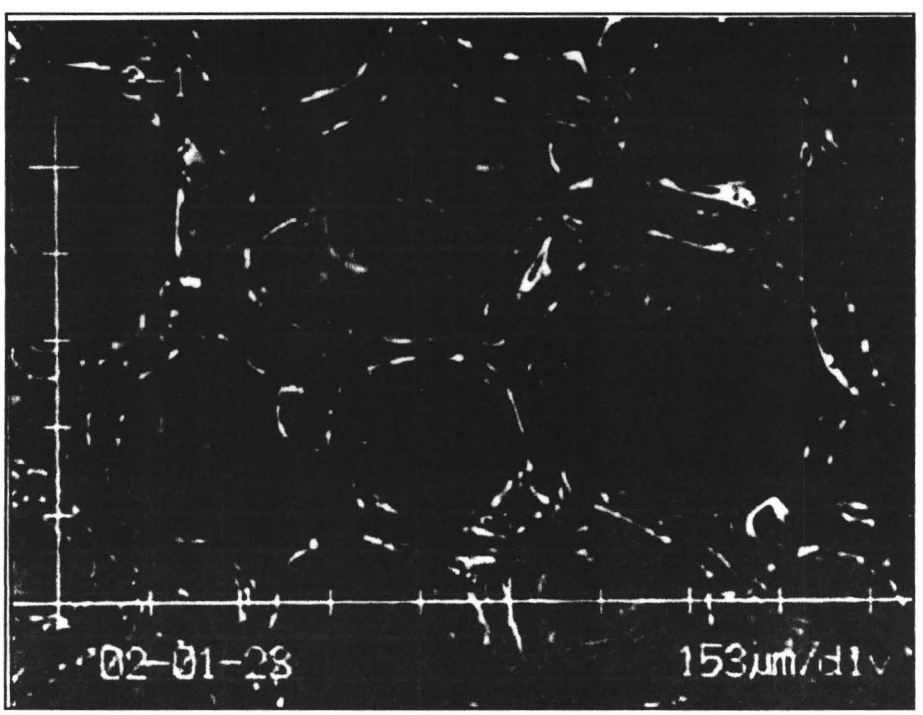


Fig.4.4.5.　泡の写真 C-1（75 倍）

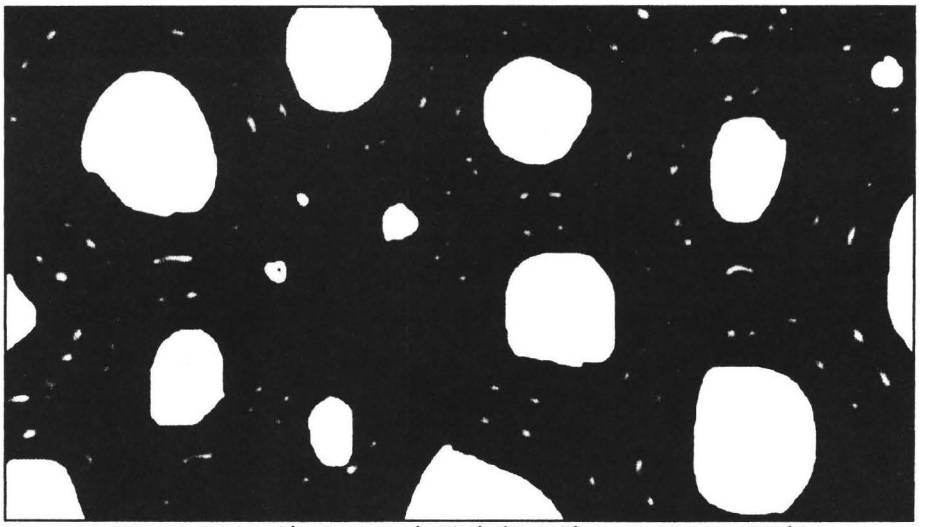


Fig.4.4.7.　泡 A-2 の内壁内部を塗りつぶした写真

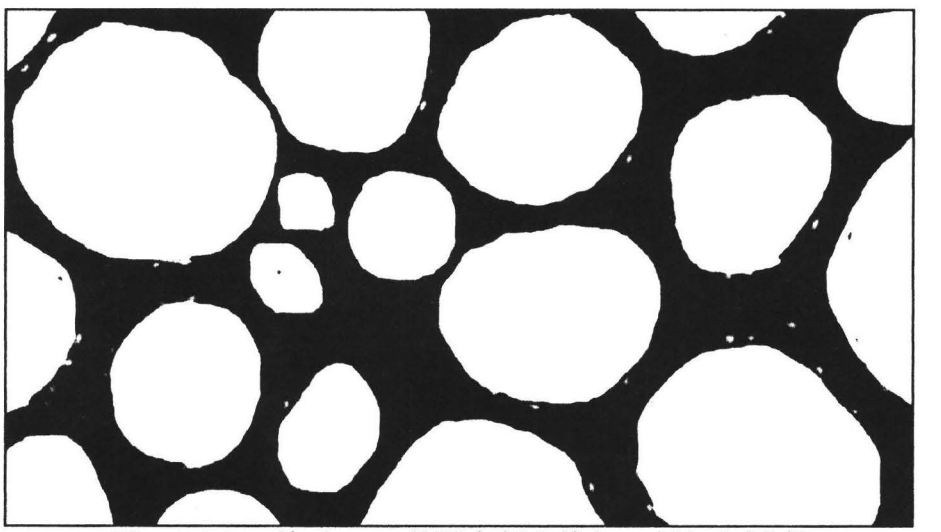


Fig.4.4.8.　泡 A-2 の外壁内部を塗りつぶした写真

Table4.4.3.　空隙の存在割合

	目視での 泡の大きさ	内壁内空隙率 I (%)	外壁内空隙率 O (%)	I/O
A-1	中	30.3	68.2	0.44
A-2	小	19.8	64.0	0.31
B-1	中	24.0	82.8	0.29
B-2	中	30.1	77.9	0.39
C-1	大	33.6	83.9	0.40
C-2	大	30.3	77.6	0.39

Table5.2.1. スギ葉ボードの製造条件

ボードの種類	P	UR
接着剤	フェノール	ウレタン
厚さ (mm)	15	10
目標密度 (g/cm^3)	0.1	設定せず
含脂率※ (%)	23	100
圧締温度 (℃)	180	50
圧締圧 (kgf/cm^2)	10	10
圧締時間 (min)	10	10

※スギ葉の全乾重量に対する接着剤固形分の重量%。ただしURでは葉の気乾重量を用いて計算した。

Table5.2.2. フェノール樹脂を用いたスギ葉ボード(P)の熱伝導率

調湿環境の相対湿度 (%)	密度 (g/cm^3)	含水率 (%)	温度※ (℃)	熱伝導率 (W/mK)
0	0.15	0.1	30.0	0.042
	0.15	0.1	30.1	0.044
	0.15	0.1	30.3	0.044
	0.15	0.1	30.3	0.043
33	0.15	6.7	30.2	0.044
	0.15	7.0	30.2	0.044
	0.15	7.2	30.3	0.045
	0.16	7.1	30.3	0.044
65	0.16	8.7	30.2	0.043
	0.15	8.1	30.2	0.045
	0.16	8.5	30.4	0.044
	0.16	8.4	30.4	0.045
85	0.16	14.8	30.5	0.049
	0.16	14.3	30.5	0.049
	0.17	14.6	30.6	0.049
	0.17	14.6	30.7	0.048
95	0.17	21.7	30.8	0.053
	0.17	20.8	30.8	0.054
	0.18	21.9	31.0	0.055
	0.17	22.0	30.8	0.054

※熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

Table5.2.3.　ウレタン樹脂を用いたスギ葉ボード(**UR**)の熱伝導率

調湿環境の相対湿度 (%)	密度 (g/cm³)	含水率 (%)	温度※ (℃)	熱伝導率 (W/mK)
0	0.25	0.1	34.5	0.045
	0.22	0.1	33.1	0.045
	0.26	0.1	30.8	0.045
	0.25	0.1	30.9	0.046
33	0.26	6.5	33.7	0.050
	0.24	6.8	32.2	0.048
	0.26	6.8	32.2	0.048
	0.26	6.8	32.1	0.048
65	0.25	8.3	34.0	0.051
	0.23	8.8	32.6	0.049
	0.26	8.6	32.9	0.048
	0.25	8.7	32.8	0.049
85	0.26	8.8	32.7	0.050
	0.24	10.1	33.2	0.050
	0.27	10.3	33.1	0.049
	0.26	10.4	32.5	0.049
95	0.26	12.0	32.8	0.053
	0.24	14.0	32.4	0.052
	0.29	13.8	32.5	0.051
	0.27	13.7	32.8	0.051

※ 熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

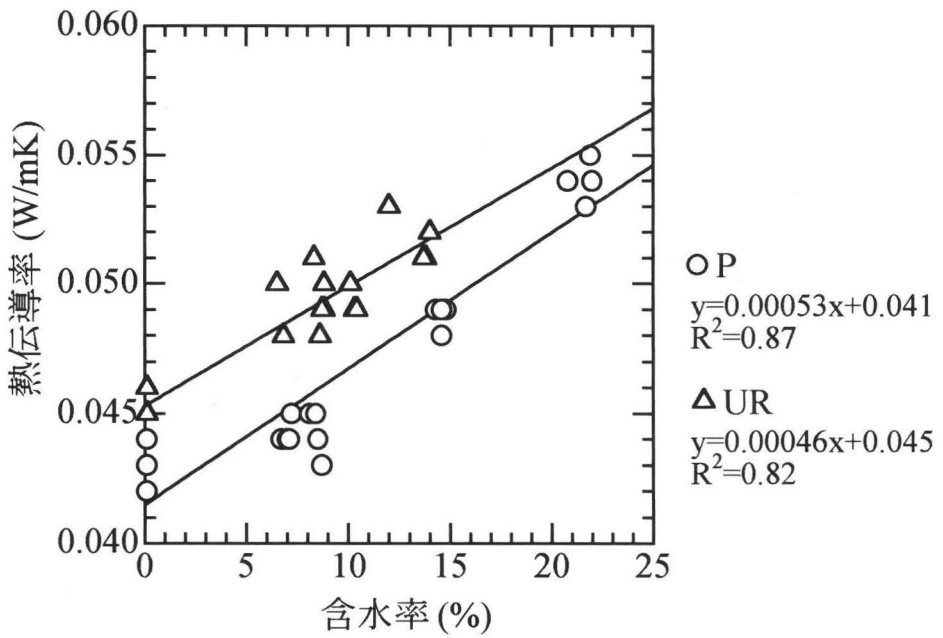


Fig.5.2.1.　スギ葉ボードの含水率と熱伝導率の関係

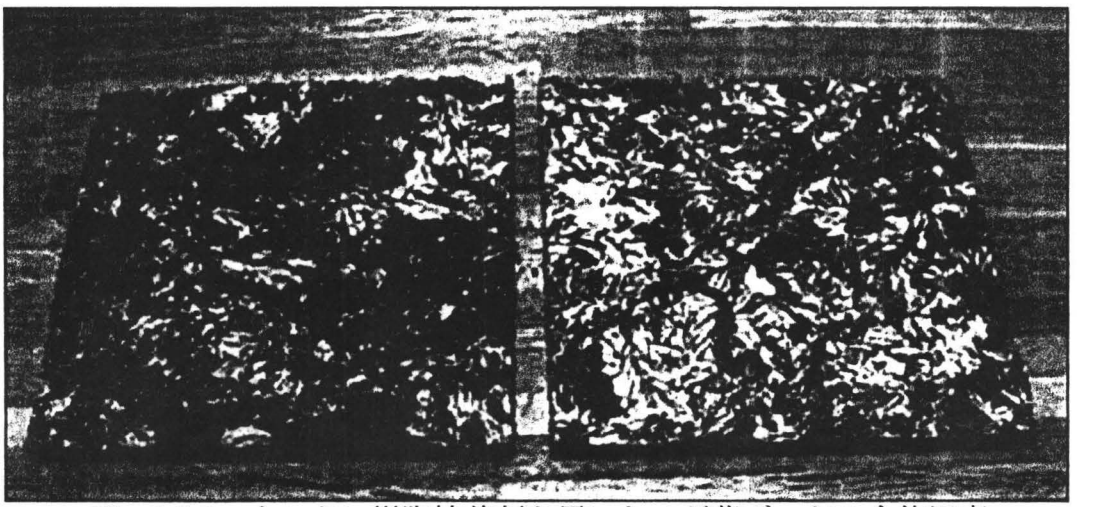


Fig.5.2.2　ウレタン樹脂接着剤を用いたスギ葉ボードの全体写真
（寸法：20×20×1cm）

Table5.3.1.　スギ葉ボードの製造条件

ボードの種類	IS	UR
接着剤	イソシアネート	ウレタン
厚さ（mm）	10	10
含脂率※（%）	10	100
目標密度（g/cm^3）	0.2	設定せず
圧締温度（℃）	140	50
圧締圧（kgf/cm^2）	10	10
圧締時間（min）	10	10

※スギ葉の気乾重量に対する接着剤固形分の重量%。

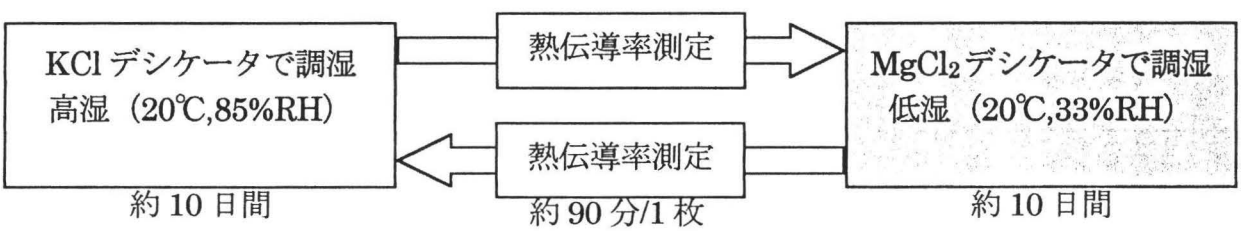


Fig.5.3.1.　実験サイクルの概念図

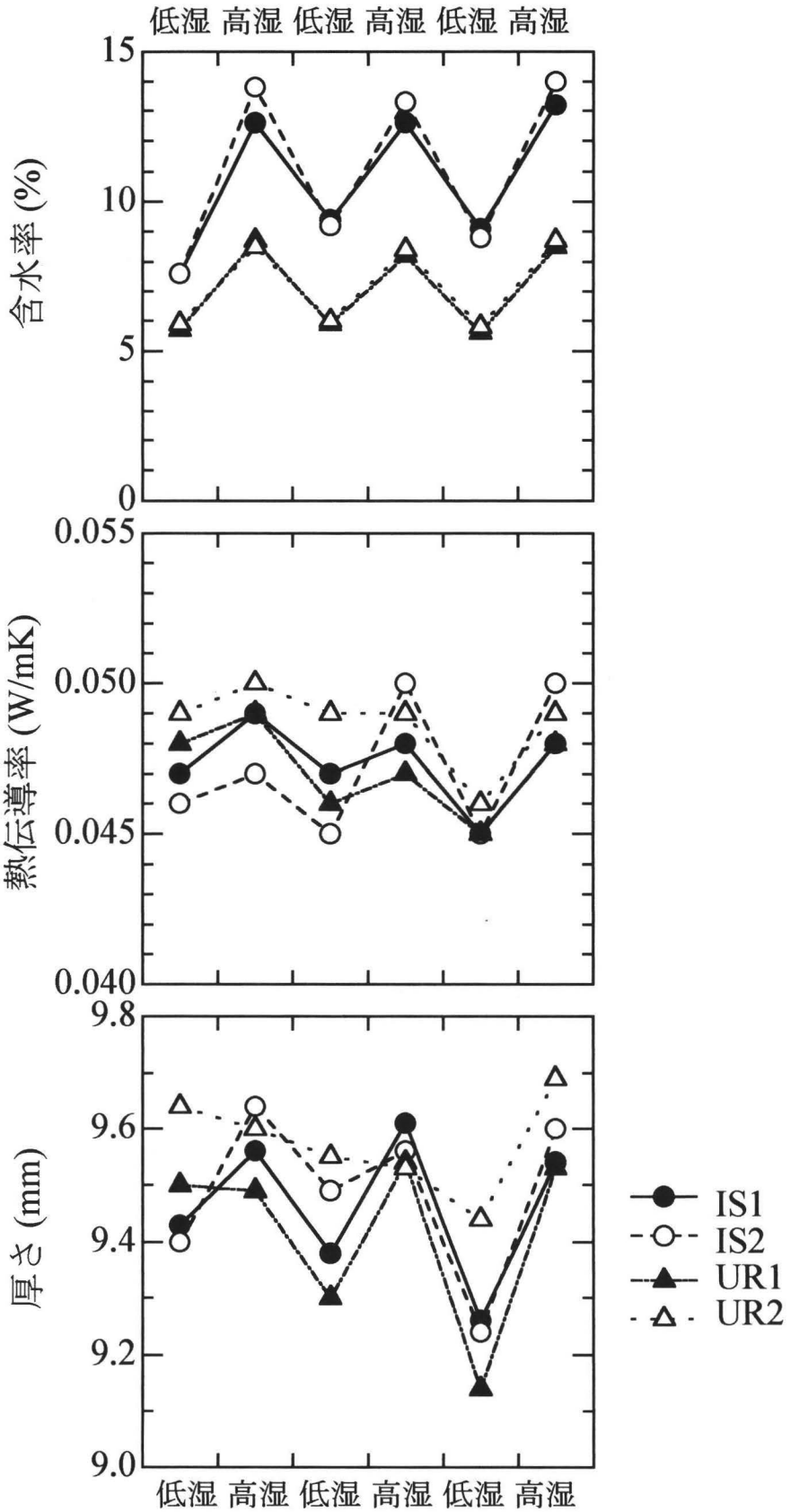


Fig.5.3.2.　スギ葉ボードのの含水率、熱伝導率、厚さの変化

Table6.2.1.　スギ葉ボードの製造条件

ボードの種類	IS	UR100	UR80
接着剤	イソシアネート	ウレタン	ウレタン
厚さ (mm)	10	10	10
含脂率※ (%)	10	100	80
ボード中に葉が占める割合（重量比）	0.91	0.50	0.56
目標全乾密度 (g/cm^3)	0.15,0.20 0.25 の 3 種	0.15,0.20 0.25 の 3 種	0.20,0.25 の 2 種
圧締温度 (℃)	140	50	50
圧締圧 (kgf/cm^2)	10	10	10
圧締時間 (min)	10	10	10

スギ葉の気乾重量に対する接着剤固形分の重量%。

Table6.3.1.　スギ葉ボードの熱伝導率

ボードの種類 ※1	密度 (g/cm^3)	厚さ (mm)	温度※2 (℃)	熱伝導率 (W/mK)
IS-0.15	0.16	9	32.4	0.042
IS-0.20	0.21	10	32.6	0.045
IS-0.25	0.26	10	32.8	0.049
UR100-0.15	0.18	10	36.5	0.044
UR100-0.20	0.23	10	33.6	0.050
UR100-0.25	0.28	10	32.7	0.048
UR80-0.20	0.23	10	32.6	0.045
UR80-0.25	0.27	10	32.9	0.050

※1 接着剤の種類と目標全乾密度を合わせて表示。

※2 熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

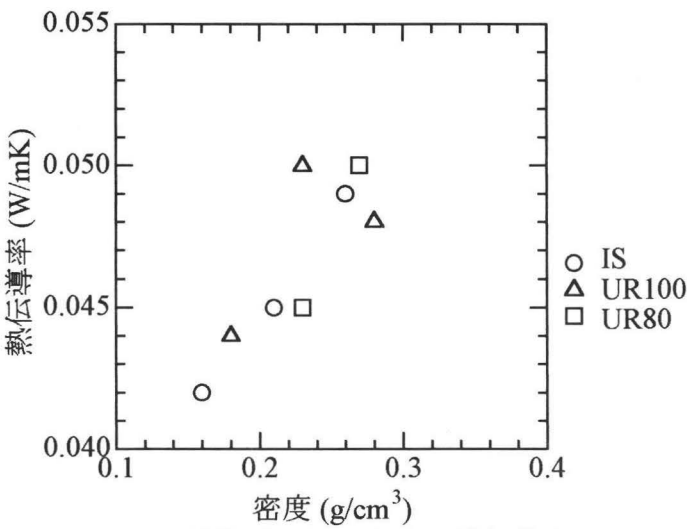


Fig.6.3.1.　スギ葉ボードの密度と熱伝導率の関係

Table6.3.2.　スギ葉ボードの側面空隙率 (%)

ボードの種類※	側面 1	側面 2	側面 3	側面 4	平均	標準偏差
IS-0.15	60.1	60.1	70.0	58.9	62.3	5.2
IS-0.20	53.2	59.4	43.7	53.0	52.4	6.5
IS-0.25	49.6	45.9	52.6	48.7	49.2	2.7
UR100-0.15	35.1	24.6	44.5	23.5	31.9	9.9
UR100-0.20	37.8	28.4	18.2	49.2	33.4	13.2
UR100-0.25	27.0	18.0	40.1	30.3	28.9	9.1
UR80-0.20	49.9	30.6	25.6	17.2	30.8	13.9
UR80-0.25	35.7	39.0	37.0	23.7	33.9	6.9

※接着剤の種類と目標全乾密度を合わせて表示

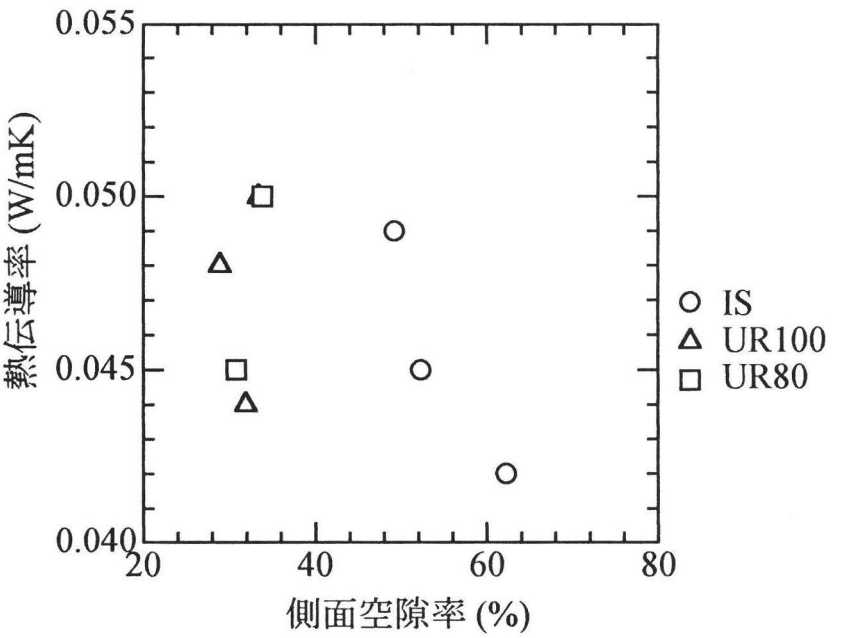


Fig.6.3.2.　スギ葉ボードの側面空隙率と熱伝導率の関係

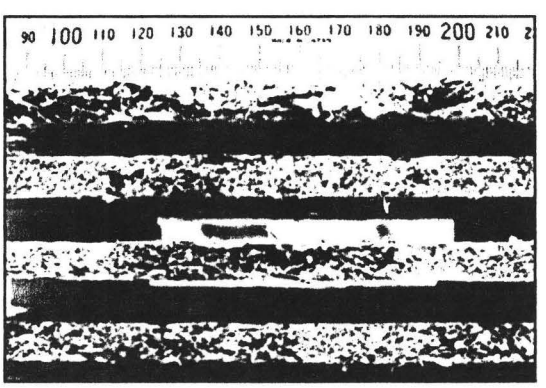


Fig.6.3.3.　スギ葉ボードの側面空隙率算出用写真 (側面 1)

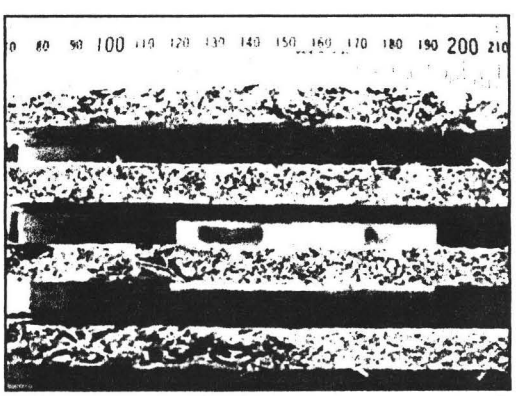


Fig.6.3.4.　スギ葉ボードの側面空隙率算出用写真 (側面 2)

Table6.4.1. スギ葉ボードの吸湿試験結果（20℃）

ボードの種類※	吸湿率（%）	吸湿前		吸湿後	
		重量（g）	含水率（%）	重量（g）	含水率（%）
IS-0.15	7.9	4.05	8.7	4.37	17.3
	8.7	3.76	8.9	4.09	18.5
	8.4	4.25	9.4	4.60	18.7
IS-0.20	7.7	5.46	9.0	5.88	17.3
	8.6	4.94	8.6	5.37	18.0
	8.8	5.73	9.0	6.23	18.7
IS-0.25	7.8	7.45	8.4	8.03	16.8
	8.0	6.68	8.4	7.22	17.1
	7.8	7.68	8.8	8.28	17.3
UR100-0.15	3.5	4.30	6.6	4.45	10.3
	2.7	4.52	6.5	4.64	9.4
	2.1	4.80	6.4	4.90	8.5
UR100-0.20	3.1	6.92	7.0	7.13	10.3
	2.6	6.31	6.7	6.47	9.4
	2.1	7.79	6.3	7.96	8.5
UR100-0.25	2.5	8.36	6.4	8.57	9.1
	2.6	6.70	6.9	6.88	9.7
	2.1	8.19	6.3	8.36	8.5
UR80-0.20	3.2	5.14	7.8	5.30	11.2
	2.4	7.09	7.0	7.26	9.6
	2.5	6.82	7.3	6.99	10.0
UR80-0.25	3.1	7.98	7.4	8.22	10.8
	2.6	7.80	7.3	8.01	10.1
	3.1	7.29	7.7	7.51	11.0

※接着剤の種類と目標全乾密度を合わせて表示

Table6.4.2.　スギ葉ボードの吸湿試験結果（50℃）

ボードの種類※		吸湿前		吸湿後	
	吸湿率（%）	重量（g）	含水率（%）	重量（g）	含水率（%）
IS-0.15	17.3	3.95	17.3	4.63	17.3
	17.5	3.65	17.5	4.29	17.5
	17.9	4.11	17.9	4.85	17.9
IS-0.20	18.1	5.31	18.1	6.28	18.1
	59.1	4.82	59.1	7.68	59.1
	20.3	5.55	20.3	6.68	20.3
IS-0.25	20.0	7.29	20.0	8.74	20.0
	19.3	6.54	19.3	7.80	19.3
	19.4	7.46	19.4	8.91	19.4
UR100-0.15	9.7	4.18	9.7	4.58	9.7
	9.2	4.40	9.2	4.80	9.2
	8.9	4.67	8.9	5.08	8.9
UR100-0.20	9.7	6.72	9.7	7.37	9.7
	10.3	6.14	10.3	6.78	10.3
	9.0	7.59	9.0	8.27	9.0
UR100-0.25	10.4	8.15	10.4	8.99	10.4
	29.4	6.53	29.4	8.44	29.4
	9.9	7.97	9.9	8.76	9.9
UR80-0.20	11.2	4.98	11.2	5.54	11.2
	18.5	6.90	18.5	8.17	18.5
	11.2	6.61	11.2	7.35	11.2
UR80-0.25	12.7	7.74	12.7	8.73	12.7
	12.2	7.58	12.2	8.51	12.2
	12.4	7.06	12.4	7.94	12.4

※接着剤の種類と目標全乾密度を合わせて表示

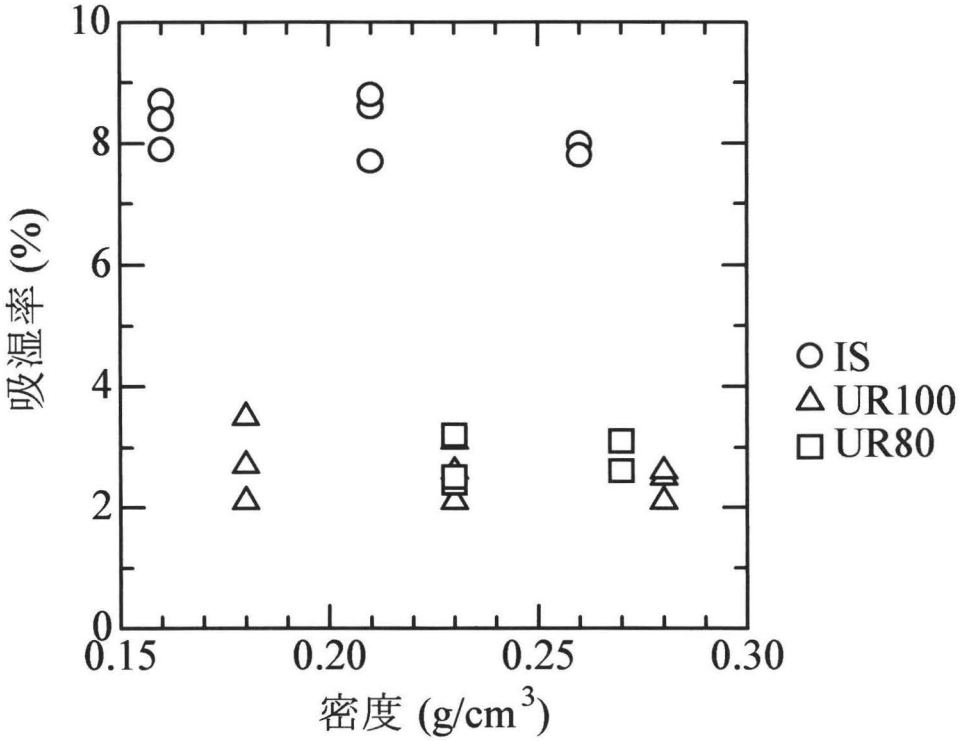


Fig.6.4.1.　スギ葉ボードの密度と吸湿率の関係　(20℃)

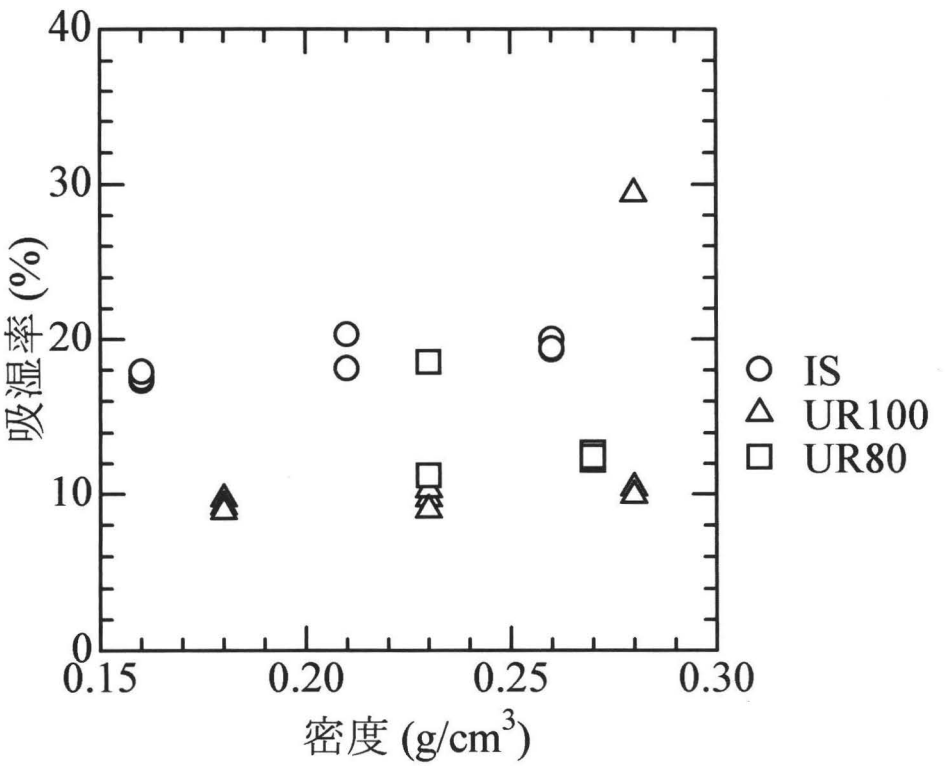


Fig.6.4.2.　スギ葉ボードの密度と吸湿率の関係(50℃)

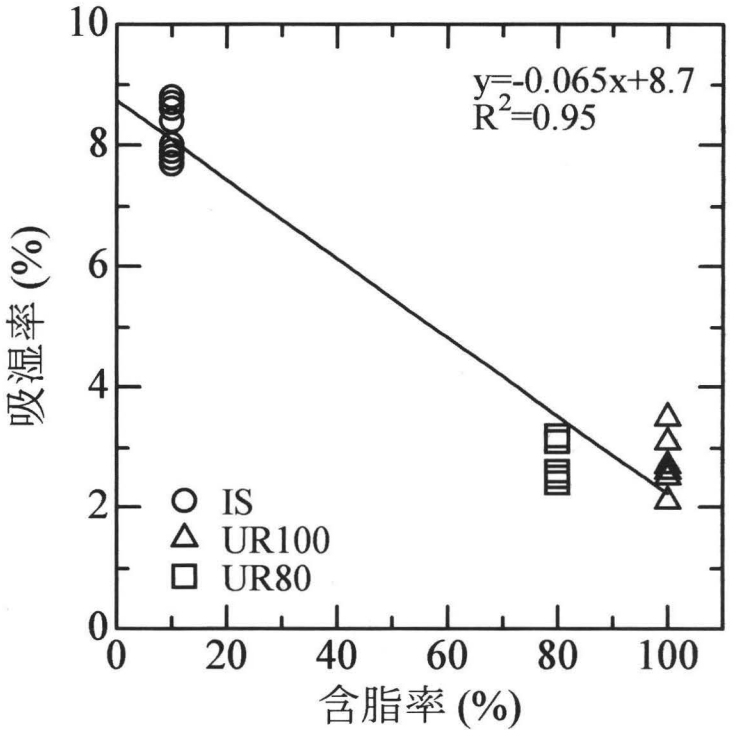


Fig.6.4.3.　スギ葉ボードの含脂率と吸湿率の関係 (20℃)

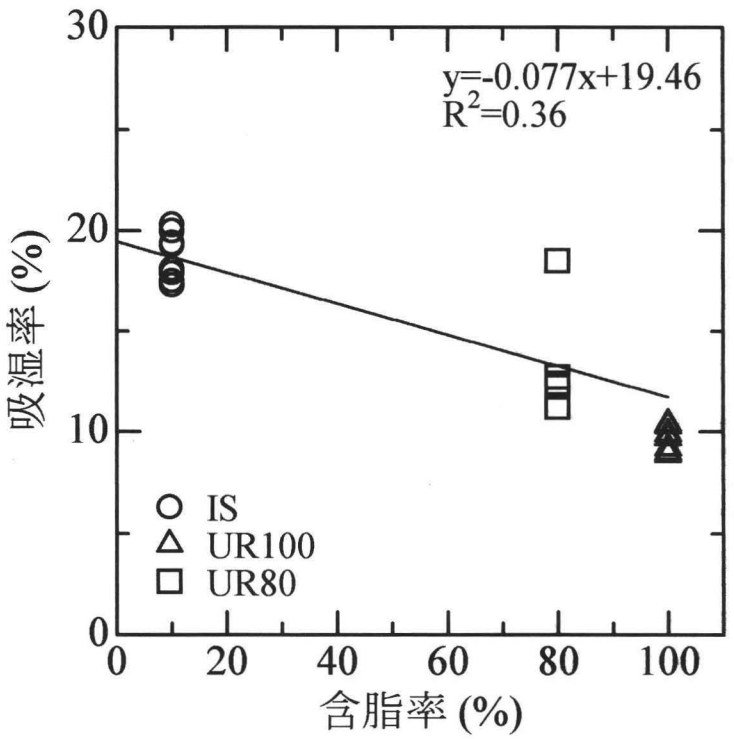


Fig.6.4.4.　スギ葉ボードの含脂率と吸湿率の関係 (50℃)

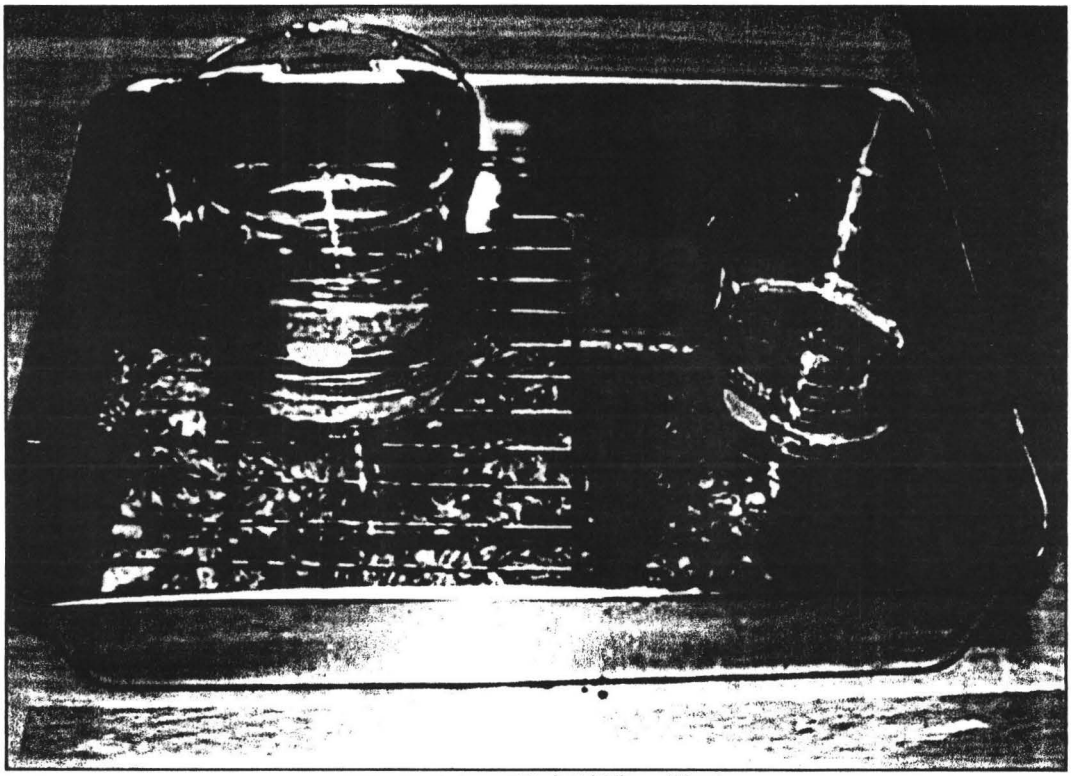


Fig.6.5.1.　吸水試験の様子

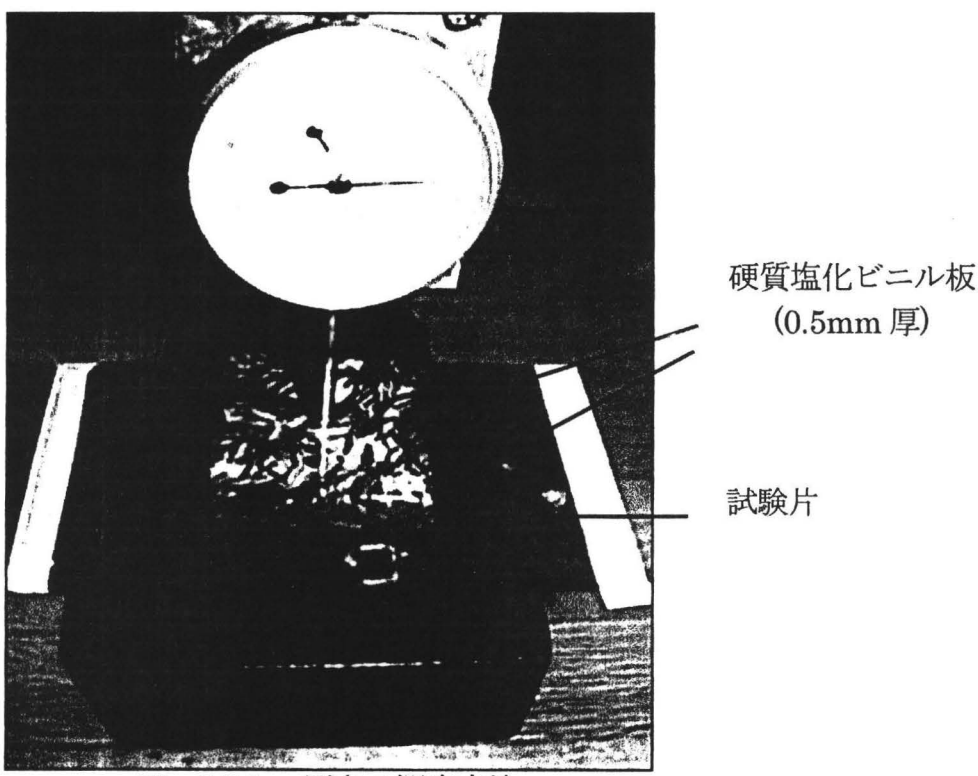


Fig.6.5.2.　厚さの測定方法

Table6.5.1. スギ葉ボードの吸水試験結果

ボードの種類※1	吸水厚さ膨張率 (%)	重量増加率※2 (%)	吸湿前含水率 (%)	吸湿後含水率 (%)
IS-0.15	10.5	87.6	10.8	107.8
	14.3	94.9	11.4	117.2
	22.5	83.2	11.6	104.4
IS-0.20	21.8	80.3	11.1	100.4
	16.5	84.8	11.0	105.1
	14.1	89.6	12.4	113.1
IS-0.25	17.6	78.8	11.4	99.1
	11.3	83.5	11.8	105.1
	14.9	68.9	10.8	87.1
UR100-0.15	10.6	70.6	6.4	81.5
	10.1	70.5	8.0	84.1
	7.2	79.8	7.6	93.5
UR100-0.20	11.3	68.3	7.9	81.5
	8.3	45.7	5.9	54.3
	9.3	54.6	6.5	64.7
UR100-0.25	8.9	50.5	6.1	59.6
	18.3	97.2	9.6	116.1
	8.7	50.7	6.5	60.6
UR80-0.20	10.1	55.4	7.0	66.3
	12.4	71.7	7.4	84.4
	10.2	46.8	7.0	57.0
UR80-0.25	9.8	40.6	7.3	50.8
	7.9	45.5	7.7	56.7
	11.9	64.4	8.6	78.5

※1 接着剤の種類と目標全乾密度を合わせて表示

※2 吸水試験前後での重量の増加割合

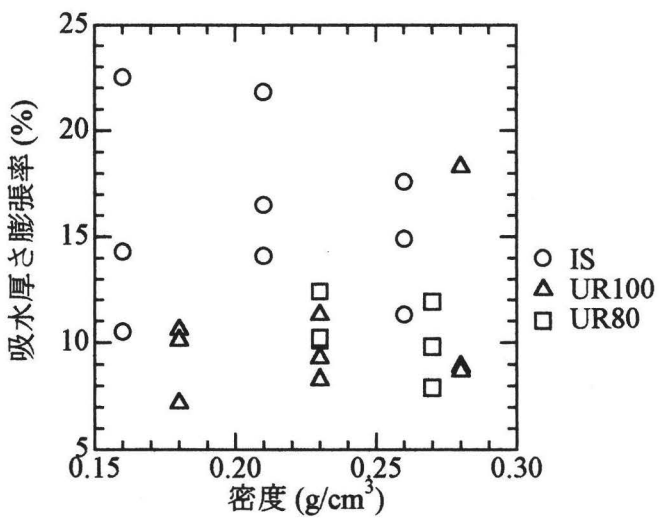


Fig.6.5.3. スギ葉ボードの密度と吸水厚さ膨張率の関係

Table6.6.1.　スギ葉ボードの曲げ試験結果

ボードの種類※	密度 (g/cm^3)	含水率 (%)	最大荷重 (kgf)	曲げ強さ (kgf/cm^2)	曲げヤング率(kgf/cm^2)
IS-0.15	0.18	7.1	0.6	5.3	404
	0.16	6.9	0.3	2.5	139
	0.16	7.6	0.4	4.3	187
IS-0.20	0.20	7.2	1.1	10.6	876
	0.21	7.1	0.5	5.1	490
	0.23	6.9	1.5	15.3	1218
IS-0.25	0.28	6.8	1.0	10.2	1390
	0.28	6.9	1.7	15.9	2056
	0.27	7.1	1.5	13.9	1494
UR100-0.15	0.21	5.1	0.2	1.9	56
	0.17	5.8	0.2	1.5	35
	0.18	5.9	0.1	1.1	11
UR100-0.20	0.22	5.9	0.4	4.0	101
	0.24	5.8	0.2	1.6	32
	0.23	5.3	0.4	3.3	72
UR100-0.25	0.27	5.3	0.4	3.9	88
	0.27	5.3	0.3	2.7	55
	0.30	5.3	0.4	3.9	68
UR80-0.20	0.24	5.9	0.5	4.7	161
	0.22	5.9	0.3	3.3	91
	0.22	5.5	0.3	2.7	69
UR80-0.25	0.28	5.7	0.5	4.4	137
	0.28	5.8	0.4	3.5	98
	0.31	5.5	0.4	4.1	108

※接着剤の種類と目標全乾密度を合わせて表示

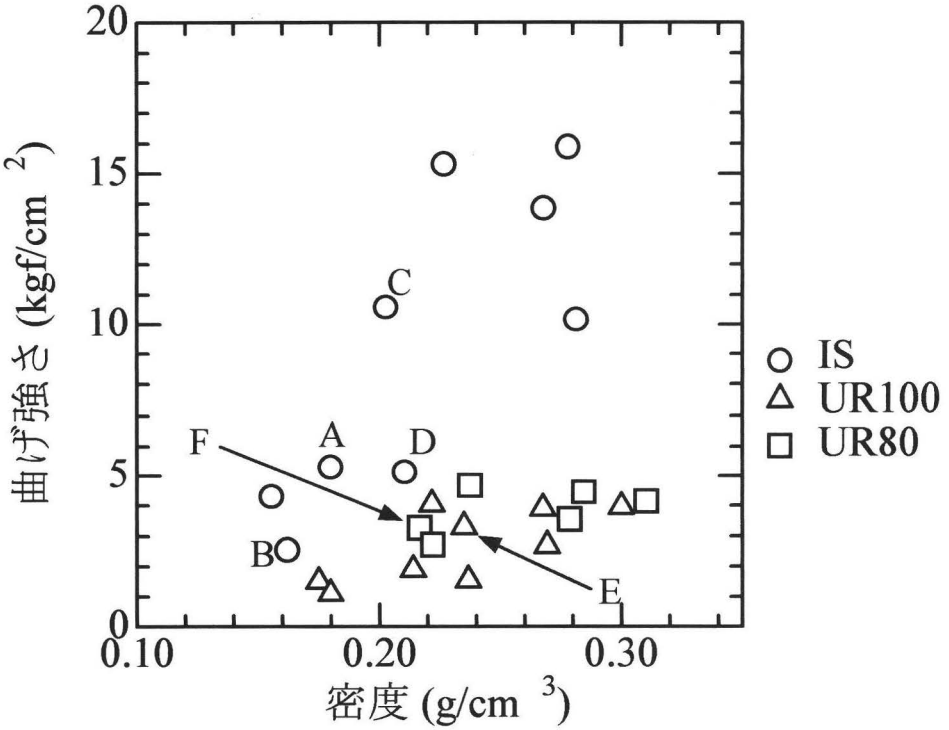


Fig.6.6.1.　スギ葉ボードの密度と曲げ強さの関係

A～FはFig.6.6.2～Fig.6.6.7に荷重-変位曲線の例を挙げた試験片。

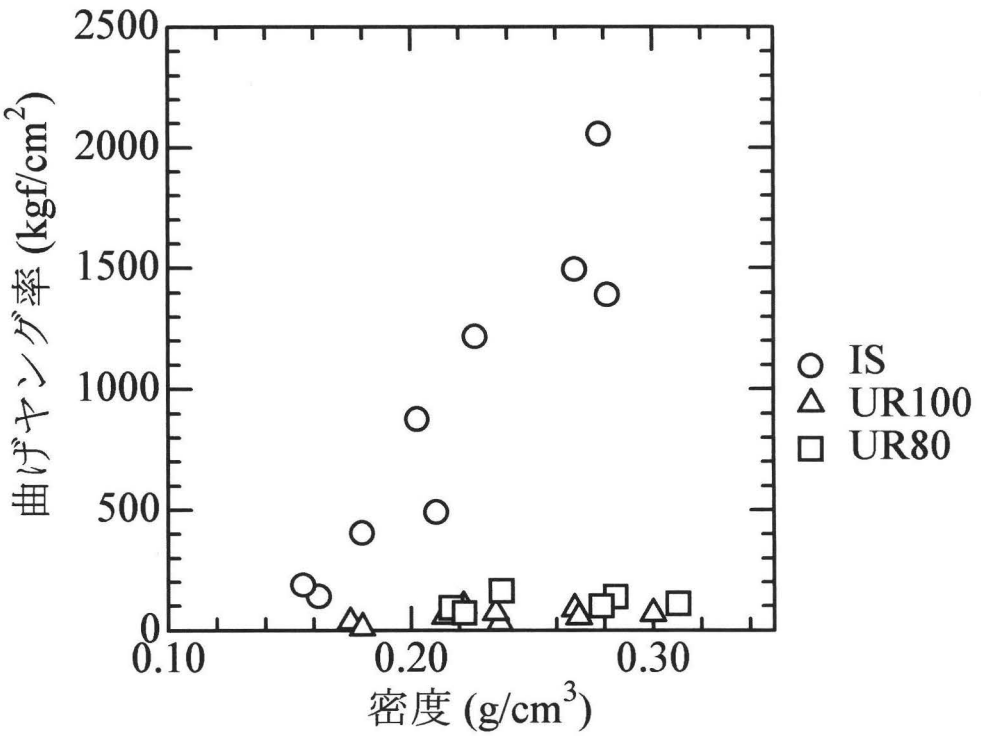


Fig.6.6.2.　スギ葉ボードの密度と曲げヤング率の関係

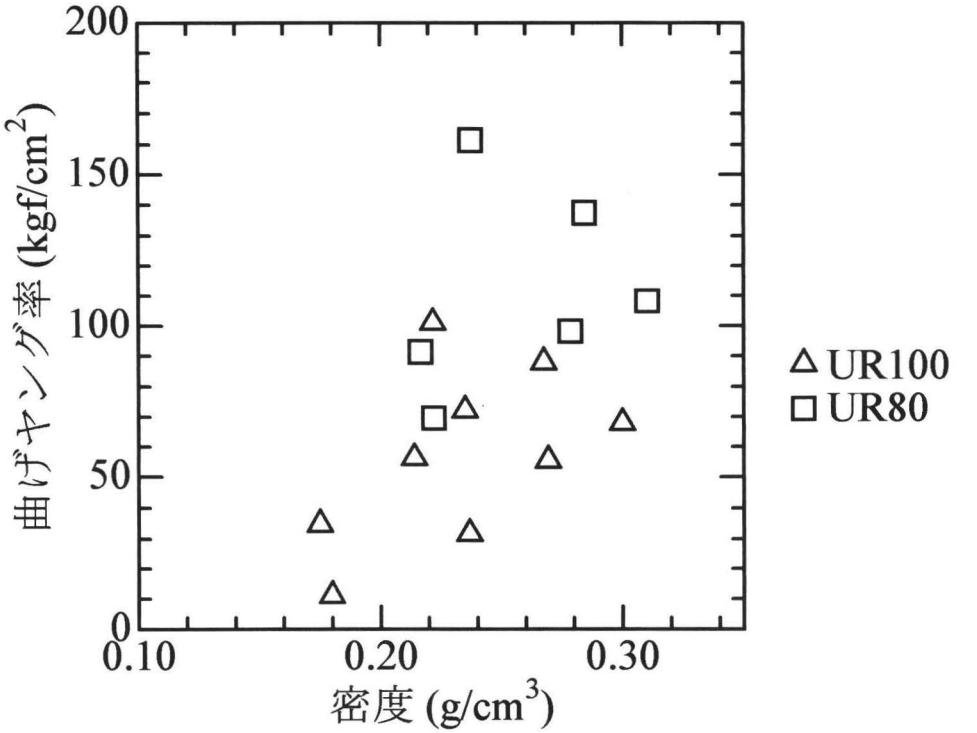


Fig.6.6.3.　スギ葉ボードの密度と曲げヤング率の関係

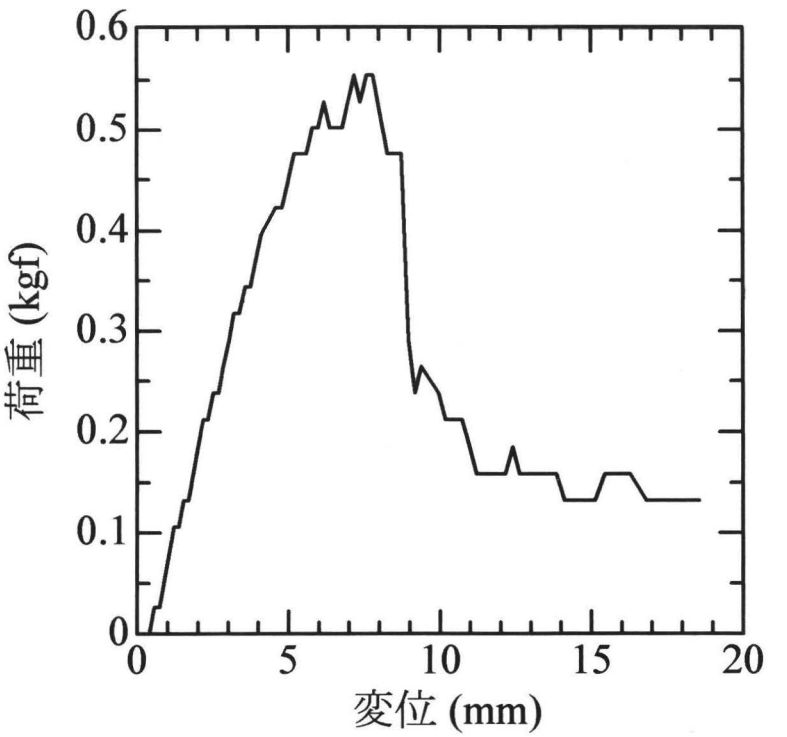


Fig.6.6.4.　IS(A)の荷重 - 変位曲線

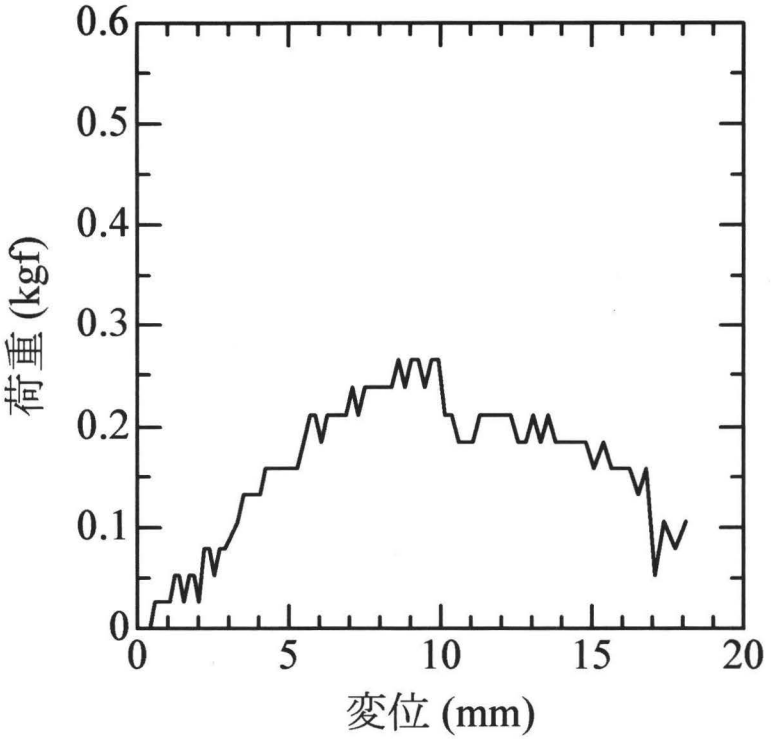


Fig.6.6.5.　IS(B)の荷重 - 変位曲線

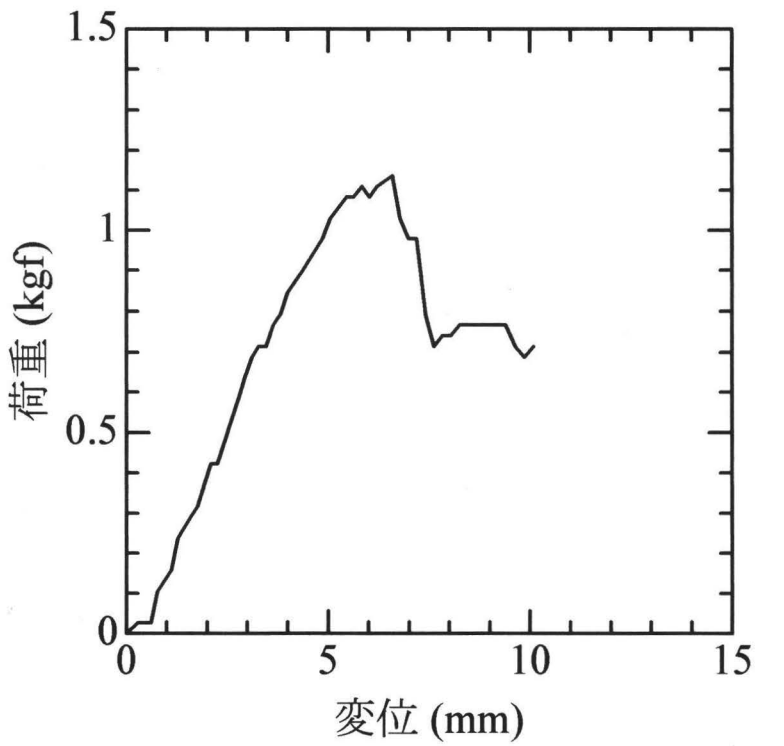


Fig.6.6.6.　IS(C)の荷重 - 変位曲線

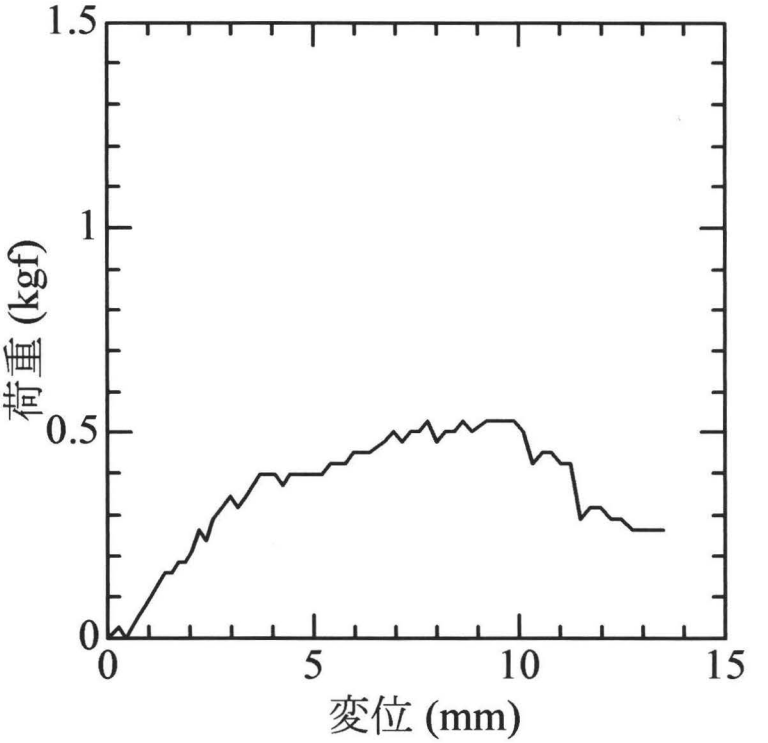


Fig.6.6.7.　IS(D)の荷重 - 変位曲線

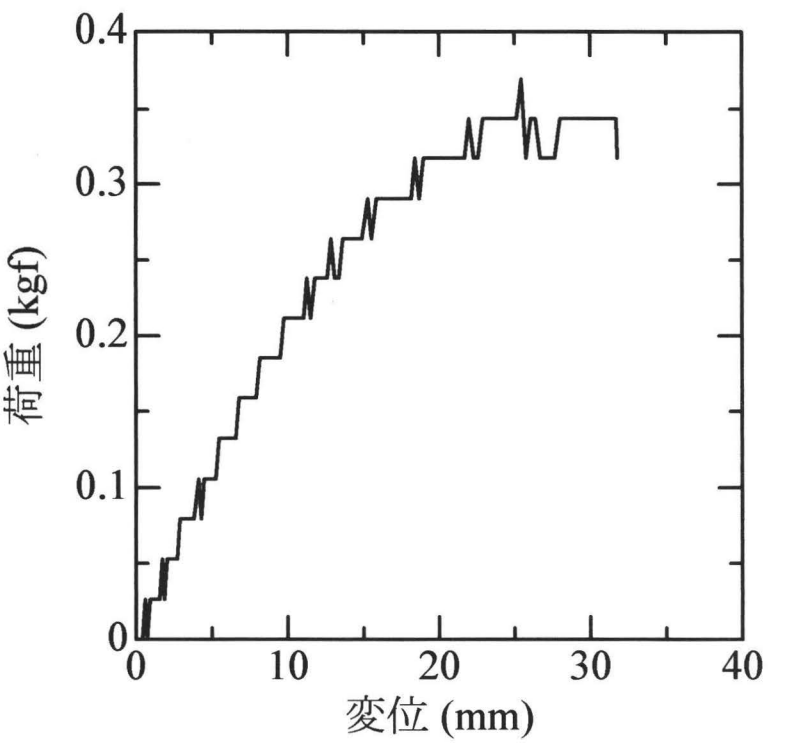


Fig.6.6.8.　UR(E)の荷重 - 変位曲線

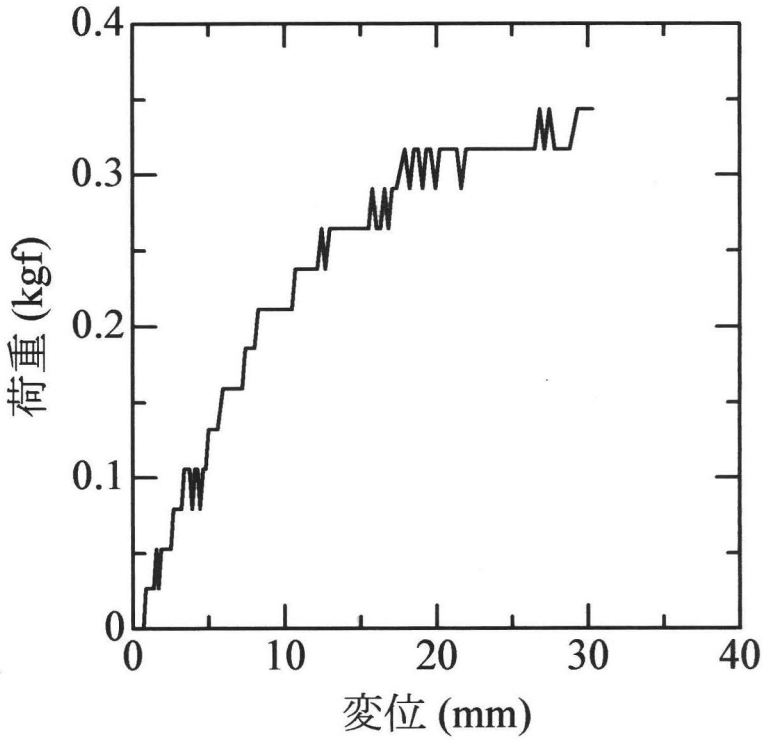


Fig.6.6.9.　UR(F)の荷重 - 変位曲線

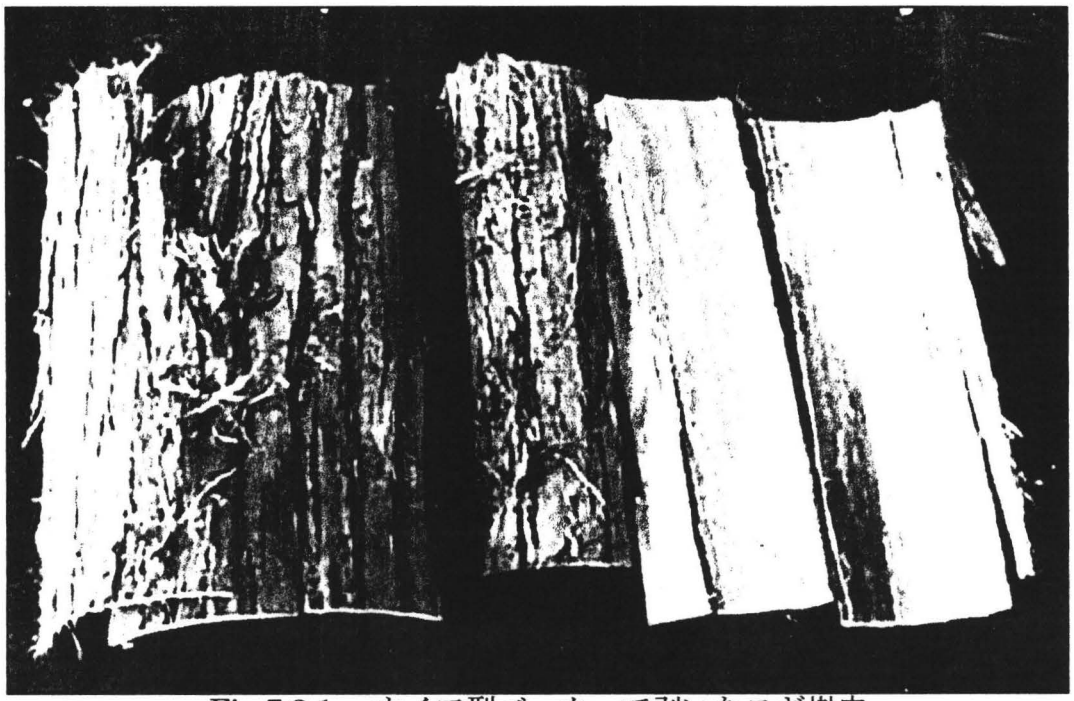


Fig.7.2.1.　ナイフ型バーカーで剥いたスギ樹皮



Fig.7.2.2.　スギ樹皮炭化物

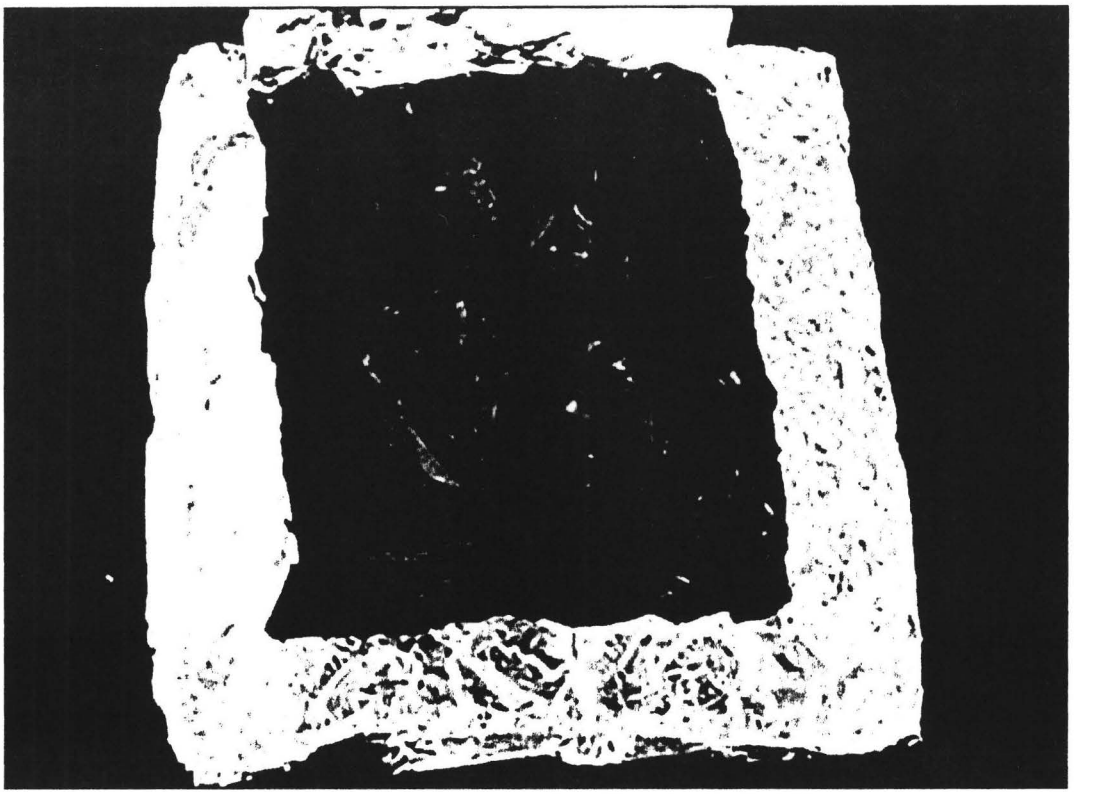


Fig.7.2.3.　スギ樹皮炭化物の板状試験体

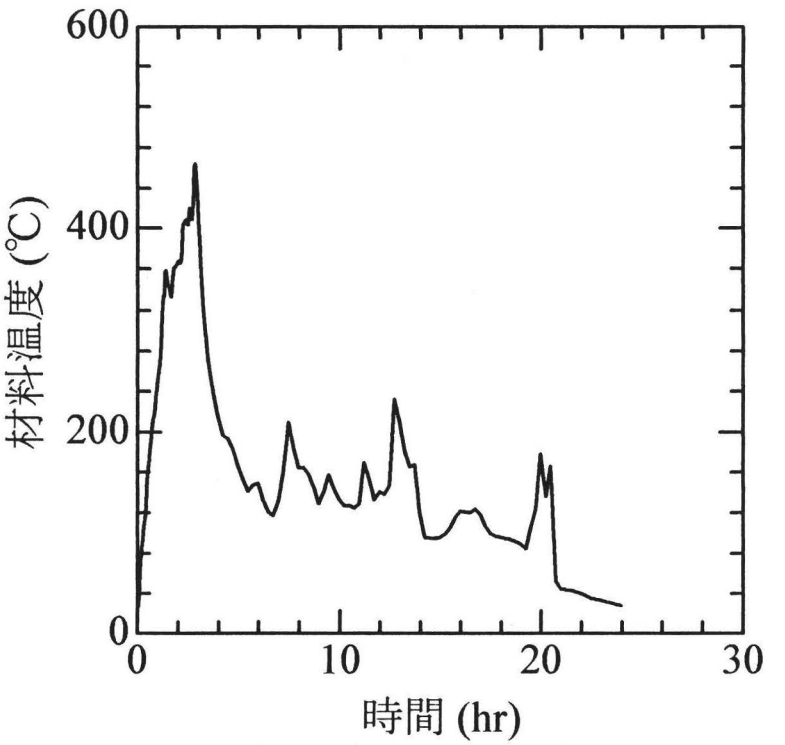


Fig.7.2.4.　炭化時のスギ樹皮の温度変化

Table7.3.1. メッシュの直径と試料の平均直径

メッシュの直径（μm）	953	523	340	250
試料の平均直径※（μm）	2000	850	500	355

※上段のメッシュ上に残った試料の平均直径をさす。

Table7.3.2. 炭化物の種類と平均直径

No.	種類	材料	平均直径（μm）
1	合板 2000	針葉樹（ラジアータパイン）合板	2000
2	合板 850		850
3	合板 500		500
4	広 MDF2000	広葉樹 MDF	2000
5	広 MDF850		850
6	広 MDF500		500
7	針 MDF2000	針葉樹 MDF	2000
8	針 MDF850		850
9	針 MDF500		500
10	UMP2000	ユリアメラミン樹脂パーティクルボード	2000
11	UMP500		500
12	UMP355		355
13	PP2000	フェノール樹脂パーティクルボード	2000
14	PP850		850
15	PP500		500
16	PP355		355

Table7.3.3. 炭化物の熱伝導率と測定時の密度、含水率、温度

No.	種類	密度 (g/cm^3)	含水率 (%)	温度※ (℃)	熱伝導率 (W/mK)
1	合板 2000	0.23	4.3	31.4	0.048
2	合板 850	0.23	3.6	31.2	0.046
3	合板 500	0.19	2.1	30.9	0.045
4	広 MDF2000	0.30	6.5	31.8	0.055
5	広 MDF850	0.27	5.3	31.2	0.044
6	広 MDF500	0.20	5.8	31.1	0.046
7	針 MDF2000	0.28	4.7	31.6	0.051
8	針 MDF850	0.25	5.0	31.6	0.051
9	針 MDF500	0.19	5.7	31.1	0.046
10	UMP2000	0.23	4.6	31.5	0.051
11	UMP500	0.29	4.4	31.4	0.052
12	UMP355	0.24	3.0	31.6	0.052
13	PP2000	0.31	4.9	31.5	0.048
14	PP850	0.28	4.1	31.4	0.050
15	PP500	0.29	3.1	31.4	0.049
16	PP355	0.28	5.5	31.3	0.049

※熱伝導率測定時の材料の両側平均温度。

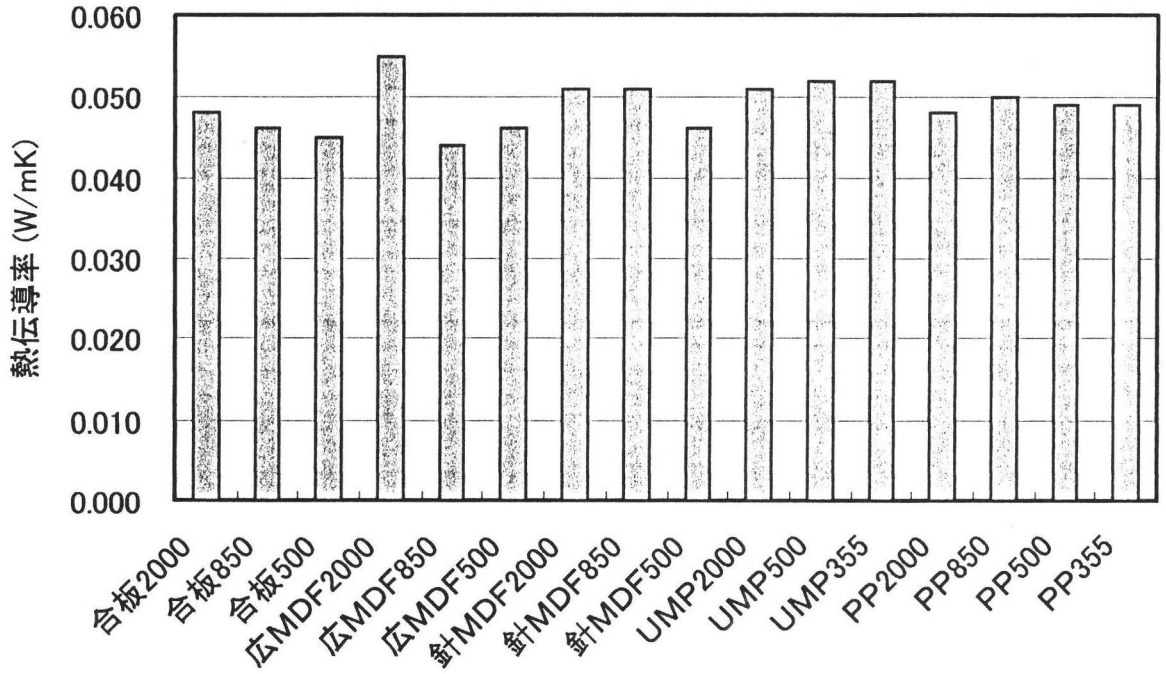


Fig.7.3.1. 木質系炭化物の熱伝導率

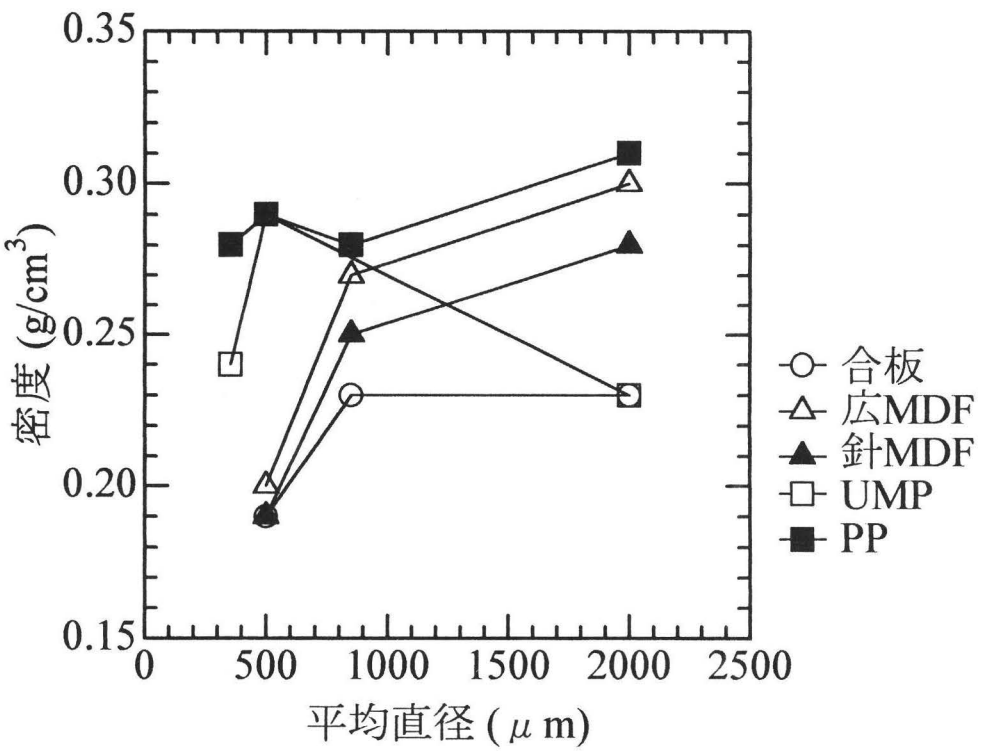


Fig.7.3.2. 木質系炭化物の平均直径と密度の関係

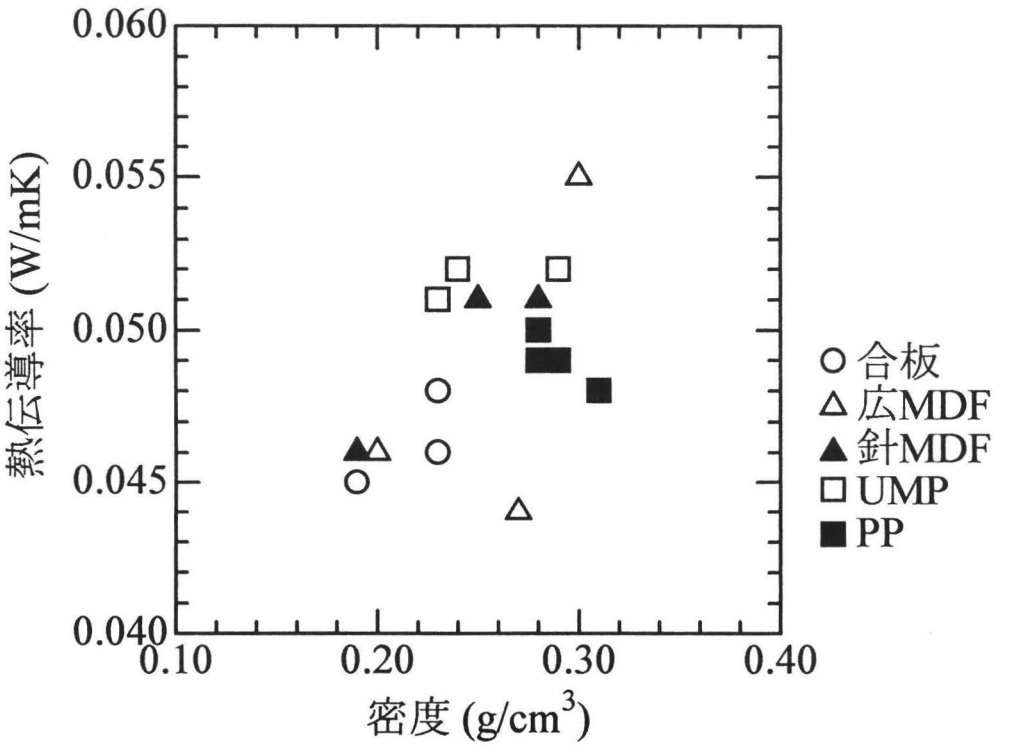


Fig.7.3.3.　木質系炭化物の密度と熱伝導率の関係

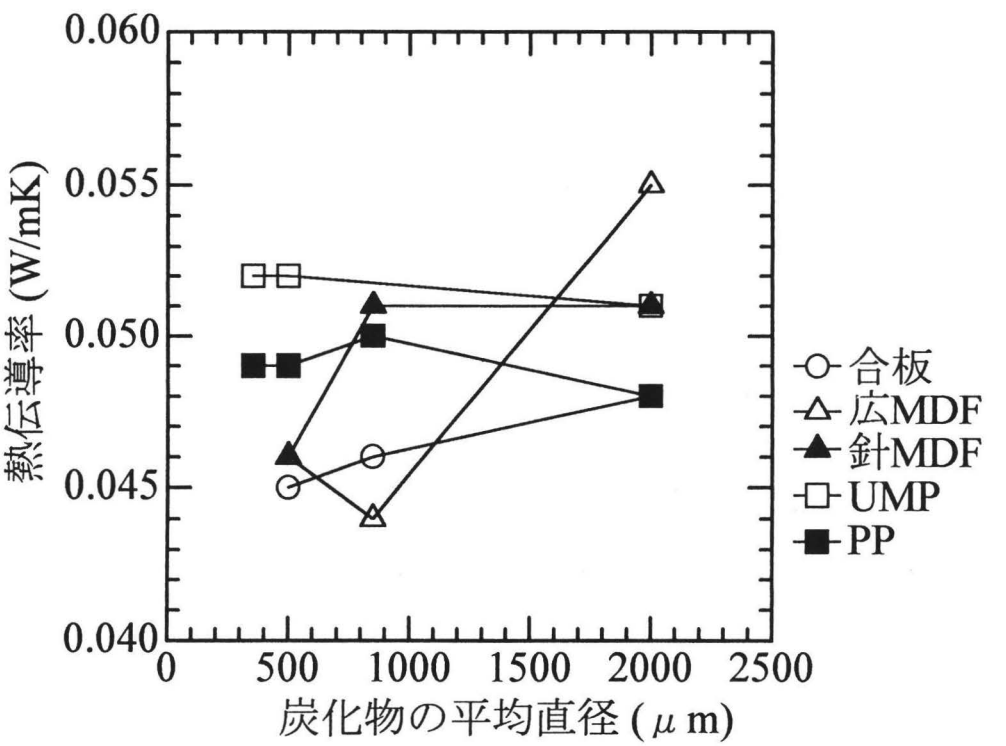


Fig.7.3.4.　木質系炭化物の平均直径と熱伝導率の関係

１－21　気象衛星画像を用いた住宅用太陽光発電システムの地域別発電量予測の実証的研究

福山大学　工学部 建築学科
助教授　上谷芳昭

１．研究の背景と目的

地球環境問題とりわけ地球温暖化が深刻化しており，省エネルギーと未利用エネルギーの活用は重要な課題である。エネルギー資源には、枯渇性エネルギー（石油、石炭などの化石燃料と核燃料）と非枯渇性エネルギー（水力、風力、太陽光など）がある。枯渇性エネルギーに代わる主要なエネルギー源として、再生可能エネルギーに注目が集まっている。水力は、以前から実用化されおり，近年では風力と並んで太陽光発電の実用化が期待されている。化石燃料の燃焼には、炭酸ガスや二酸化窒素（ＮＯ２）などのガスの発生が伴う。太陽光発電では、太陽の光を直接電気に変えるので、地球温暖化現象の原因である排出ガスの心配がない。

今後、太陽光発電はさらに普及し、人々には天候条件による太陽光発電量の多少に応じた電力利用を行うことが期待される。その際は、天気予報のように今現在から数時間先程度の地域別発電量の予報するシステムが求められる。しかし、太陽光発電システムの設計における予測法は、過去の気象データをもとに月間発電量の予測をしているので、発電量予報には、応用できない。

本研究では、気象衛星「ひまわり」の雲画像を利用して、１時間毎の日射量と太陽光発電量の予測を行う。そして、実際に全天日射量、直達日射量を地上（福山大学　33.5° N、133° E）で測定し、太陽光発電量を算出する。

２．気象衛星画像による日射量および太陽光発電量の予測

静止気象衛星「ひまわり」は、東経１４０°の赤道上空に位置しており、約１時間毎に撮影している可視画像、赤外画像、水蒸気画像を地上に送信している。この画像を利用して各地の全天日射量と直達日射量を算出し、さらに太陽光発電量を予測する。全天日射量と直達日射量の予測値を得るために、静止気象衛星「ひまわり」から直接受信するオンラインデータと、過去の雲画像を蓄積したオフラインデータを利用する。

太陽光発電量の予測には、大きく分けて解析的方法とシミュレーションによる方法がある。解析的方法は、システムの挙動を示す代数式を組み立て、電卓や設計線図などを用いて式の手順に従って解いていけば、設計に必要な未知数がわかる。この方法には、ＬＯＬＰ法、パラメータ分析法がある。シミュレーションによる方法は、日射や負荷のパターン、システムの状態を表現して、実際にシステムが動作するであろう状態を再現する事にある。

本研究では、基本計画の段階で迅速に計算できる、パラメータ分析法を使用する。パラメータ分析法は、ある負荷の需要電力量を供給するために必要となる太陽電池モジュール、インバータなどのシステム機器の容量を決定するために使われる。

太陽電池モジュールから電気エネルギーに変換され負荷に供給されるまでの過程で種々の効率、出力の低減要因がある。これらを設計パラメータとして定義し、個々の設計パラメータを積の形で表して、負荷に供給できる電気エネルギー量を推定し、システム機器の容量を計算する。ある部分で矛盾が生じても補正のためのパラメータを導入することによりかわすことができる。

気象条件として、日射量、気温、太陽高度がある。日射量は前節の気象画像から求め、気温についてはアメダスのデータを使いパラメータ分析法を使用して１時間毎の太陽光発電量を予測する。

検証したパラメータ分析法と気象衛星画像から日本各地の太陽光発電量の予測値を日本地図に濃淡図で表示する。

３．気象衛星画像による日射量の予測と検証

静止気象衛星により撮影された可視，赤外，水蒸気の３画像の画素値より全天日射量及び直達日射量を統計的に推定する昼光光源モデルの精度を評価した．全天日射量及び直達日射量の瞬時値と，これに対応する気象衛星画像の画素値に線形回帰分析を適用し，精度を左右する要因を検討した．また，全天空照度および直射日光照度を静止気象衛星の画像値より直接的に導くモデルを新たに開発した．さらに応用として，昼光光源モデルを昼光利用可能性の地理的分布の予測に適用した．（詳細は、発表論文[1]に示す）

４．日射量による太陽光発電量の予測

気象衛星画像による太陽光発電量予測の精度を、日射量、地表温度の地上測定値から推定する。

地上測定は、福山大学（３３．５° Ｎ、１３３° Ｅ）およびその周辺地域で解析する。太陽電池モジュールの設置には、方位と傾斜角に注意しなければならない。太陽電池モジュールの出力は、太陽光エネルギーの入射強度にほぼ比例する。したがって、大きな出力を得るためにモジュール面への日射量が大きくなるようにする。

(a) 太陽電池モジュールの設置方位

太陽電池モジュールは、多くの場合、屋根に設置される。住宅の屋根には、陸屋根、切妻など多くの種類がある。屋根の方位の理想は、真南を向いていることであるが、実際には多くの住宅が東西に振れている。真南（方位角０度）に向けた場合とその他の方位では、太陽電池モジュールに当たる日射量に差がでてくる。真南（方位角０度）に向けた場合に得られる日射量に比べて、南東又は南西(方位角４５度)の場合に約１０％低下、真東又は、真西(方位角９０度)の場合は約２０％低下する。東西では、一般的には東向きのほうが多くの日射量を得られる。理由として、日本における気象特性上、統計的に見た場合、午前よりも午後の方に雲が多く発生するためである。

(b) 太陽電池モジュールの傾斜角度

太陽電池モジュールの傾斜角度は、日本の屋根の場合そのほとんどが15～45度に収まっており、太陽電池モジュールの最適傾斜角度（年間の積算日射量が最大になる傾斜角度＝通常、設置場所の緯度よりもやや小さい値）に対して±15度程度である。この程度では、得られる年間積算日射量の差は最大でも10%以下である。

一般に日本地域では、天空散乱成分の割合が年間で４～５割に達するので、年間を通じて最大の発電量を得るには、モジュールの傾斜角を設置地点の緯度角よりもやや小さくし、見える天空の割合を大きくする。

地上測定値と予測値とを検証した時、当然エネルギー平均値を使用しているので、誤差がでてくる。この場合は、各パラメータをもう１度検証し、地上測定値との誤差を無くしていく。

(c) 地表温度と出力の関係

太陽電池の出力は、日射強度と素子温度によって変化する。出力は、負の温度特性を有するため設計に際しては、標準状態の２５℃との温度差による出力の変化をあらかじめ考慮しておく必要がある。太陽電池モジュールの温度が、１℃の温度上昇で０．５％減少し、４５℃（標準状態＋２０℃）で動作させると、１０％の出力低下を生じさせる。これを考慮しておかないと実使用時に供給電力の不足をもたらすからである。

使用状態で、太陽電池モジュールの温度がどのように変化するかについては、設置場所の気温と風速、設置状態によって影響を受けるので一概には言えない。

パラメータ分析法を使って、気象衛星画像による直達日射量と全天日射量、あるいはそれらの地

上測定値から太陽光発電量Ep[kWh]を次式で予測した。その結果を表に示す。

$$Ep = Pas \cdot Ha / Gs \cdot K$$

ただし、Pasは標準状態のﾓｼﾞｭｰﾙ出力[kW]、Haは傾斜面日射量[MJ/m2]、Gsは標準状態の日射強度[kW/m2]、Kは総合設計係数である。計算結果および計算条件は表に示す。

太陽電池モジュールの設置角度は、設置場所の緯度よりもやや小さい値で年間最適傾斜角度になる。福山の緯度は、３３．５°より、３０°前後が最適であるので、本研究での太陽電池モジュールの設置角度は、３０°にする。

設置方位は、太陽電池モジュールが太陽を追尾しない固定型なので、年間を通して最も日射量が得られる真南（方位角０°）にする。

表　日射量と発電量の予測結果

時間(h)	気温(℃)	日射量(MJ/m²)	予想発電電力量(kWh)
6時	15.6	0.02	15.45
7時	20.2	0.82	17.33
8時	23.5	1.95	17.79
9時	26.0	2.54	18.33
１０時	27.7	1.92	19.97
１１時	28.9	1.34	17.43
１２時	29.9	2.27	18.11
１３時	31.0	0.26	15.55
１４時	31.1	0.04	9.88
１５時	30.8	0.03	0.06
１６時	29.7	0.00	0.00
１７時	27.0	0.00	0.00

・**システム名**：系統連系形　３ｋＷシステム
・**設置場所**：福山(33° 50′ N、133° E)
1）　**期間**：1999年9月29日　6～17 時まで1時間毎
2）　**太陽電池ﾓｼﾞｭｰﾙ設置方位**：０度
・**太陽電池ﾓｼﾞｭｰﾙ設置角度**：３０度
・**使用太陽電池の種類**：単結晶形太陽電池ﾓｼﾞｭｰﾙ
・**太陽電池ﾓｼﾞｭｰﾙ面積**：２０m
総合設計係数Kは文献の事例を参考に決定した。

４．まとめ

気象衛星画像による日射量および太陽光発電量の予測と、地上測定の日射量による太陽光発電量の予測を行った。この気象衛星画像をもちいる手法によれば、各地の太陽光発電量を１時間毎に予測することが可能である。

参考文献

１）黒川浩助・若松清司　共編：太陽光発電システム設計ガイドブック　第４章、オーム社、1994

発表論文

1) Yoshiaki Uetani: VALIDATION AND APPLICATION OF THE DAYLIGHT SOURCE MODEL BASED ON GEOSTATIONAL METEOROLOGICAL SATELLITE IMAGES, Proceedings of Seventh International IBPSA Conference - Building Simulation 2001, 2001/8

Building Simulation

Seventh International IBPSA Conference
Rio de Janeiro, Brazil
August 13-15, 2001

VALIDATION AND APPLICATION OF THE DAYLIGHT SOURCE MODEL BASED ON GEOSTATIONAL METEOROLOGICAL SATELLITE IMAGES

Yoshiaki Uetani
(uetani@fuarc.fukuyama-u.ac.jp)
Fukuyama University, Faculty of Engineering, Department of Architecture
Fukuyama 729-0292, JAPAN

ABSTRACT

This paper examines the precision of a statistical model to estimate global and beam irradiance and illuminance at hourly intervals by the three channels of the geostational meteorological satellites images. The multiple liner regression analysis is performed between the satellites image values and instantaneous illuminance and irradiance measured at the Fukuyama University. By the weather condition analysis, causes reducing the precision are studied. The daylight source model is applied to estimate the geographical distribution of daylight availability.

INTRODUCTION

Both daylighting simulation tools and daylight availability data for various weather conditions are essential to design an architecture with energy efficiency and luminous environment of good quality. Though there are useful daylighting simulation tools being developed in the world, daylight source models are insufficient for the needs for both research and practice.

Existing databases and numerical models on solar radiation and daylight availability are usually based on the measured data by surface observations at the limited number of meteorological observatories and daylighting measurement stations. Because of the financial difficulty to set up and operate such a station, the solar radiation and daylight availability data incline to the cities and countries where national meteorological observatories or major research institutes are located. To solve the dispersion problem, a new meteorological database for building design has recently been developed in Japan [1]. The database provides estimated solar radiation and other meteorological data measured at 842 Automated Meteorological Data Acquisition System (AMeDAS) throughout the country at intervals of approximately 21 kilometers.

Satellite-derived solar energy models

As the alternative approaches of surface observations, researchers have developed statistical models [2] and physical models [3] to estimate the solar energy resources using the visual channel of meteorological satellite images. The statistical approaches have been developed to be a major project [4, 5]. It was applied to simulations of solar energy system [6] and the daylighting data web server [7, 8]. An improved statistical method estimates global, diffuse, beam solar radiation and illumination [9].

There are three advantages of the satellite-derived solar energy information over the surface observed products. The first is the quasi-realtime availability of the current solar energy data. The geostational meteorological satellite scans the globe and transfers the images to the ground every hour. An end user with the appropriate receiving system is able to receive and utilize the hourly satellite images. Secondly, an satellite image covers all over the hemisphere of the globe. A disk image covers not only Japan but eastern Asia, western Pacific and Oceania, though the fringe of the disk, e.g. the Arctic region, is useless due to the distortion. Once a satellite-derived solar energy model is developed in Japan, it is expected to be applied to other countries covered by the satellite. Third, a pixel on a satellite image corresponds to the area of about 7 kilometers square in Japan. The resolution is much smaller than existing databases or models based on the surface observation, on the other hand it should be noted that the satellite-derived value is the average of the square.

Another statistical model for global and beam solar radiation and illumination

The author proposed another statistical model for global and beam solar radiation using the images of Japanese geostational meteorological satellite GMS-5 [10, 11]. The model is based on the multiple linear regression analysis to estimate surface observed hourly cumulative global and beam radiation values from the satellite observed image values. The major difference of the model and the traditional statistical methods above mentioned is that it utilizes the three channels of meteorological satellite images. The visual channel, the only one used in the traditional method, is converted to the albedo representing the optical thickness of cloud. The infrared channel corresponds to the height of cloud deck. The water vapor channel approximates the relative humidity of the troposphere. The combination of three channels have been expected to provide more detailed information on the atmosphere than ever.

The satellite derived global and beam horizontal irradiance values are converted into the diffuse and beam horizontal illuminance by the luminous efficiency of sky light and sun light on the assumption that the instantaneous data is equal to the average in the period.

The precision of estimated irradiance was expressed as

a root mean square difference (RMSD) and a mean bias difference (MBD). The percent RMSD and MBD values for the global irradiance were 24% and 0.1%, while those for the beam horizontal irradiance were 55% and 0.9%. The difference of the time period of measurements was considered as one of the reasons of relatively low precision of the beam horizontal irradiance. The surface observed values are hourly cumulative radiation, while a pixel value on the satellite image is measured instantaneously by the satellite that rotates in 100 revolutions per minute. A method to improve the correlation with the cumulative irradiance is to utilize the average of surrounding pixels instead of one pixel which corresponding the location [4]. Unfortunately, this is less useful for the daylighting simulation, because instantaneous global and beam illuminance values are required to estimate the worst scenario of luminous environment, as well as the cumulative values to estimate energy savings. The better solution would be the utilization of surface observed instantaneous global and beam radiation and illumination data synchronized with the satellite scanning.

This paper examines the precision of the proposed statistical model to estimate global and beam irradiance and illuminance using geostational meteorological satellite images. The multiple liner regression analysis is performed between the satellites image values and instantaneous illuminance and irradiance measured at the Fukuyama University. By the weather condition analysis, causes reducing the precision are studied. As an application of the model, geographical distribution of global illuminance and beam horizontal illuminance are estimated.

IMAGES OF THE GEOSTATIONAL METEOROLOGICAL SATELLITE: GMS-5

There are five geostational meteorological satellites above the equator observing the globe: METEOSAT (0°E), GOMS (76°E), GMS (140°E), GOES (135°W) and GOES (75 °W). In this paper, the images observed by the Japanese geostational meteorological satellite GMS-5 are utilized. GMS-5 is stationary at the altitude of 35800 kilometers above the equator, 140 degrees of east longitude. GMS-5 rotates in 100 revolutions per minute and scans the globe from the North Pole to the South Pole in 25 minutes every hour.

An array of four visual sensors (VIS channel: 0.50~0.75 μm) captures an image of 13376 x 10000 pixels with 6 bit depth. Each of three infrared sensors (IR1 channel: 10.5~11.5 μm, IR2 channel: 11.5~12.5 μm, IR3 channel: 6.5~7.5 μm) captures an image of 6688 x 2500 pixels with 8 bit depth. The theoretical resolutions on the surface right under the GMS-5 are 1.25km/pixel for the visual sensor array and 5km/pixel for each of the infrared sensors. The captured signals are transferred in realtime to the data acquisition center located in a suburb of Tokyo and provided for weather forecasts and other applications.

In the following regression analysis, the off-line data of GMS images [12] are utilized. The coordinate transformation of the globe images produces square images surrounded by two pairs of latitudes (20°N and 50°N) and longitudes (120°E and 150°E). VIS, IR1, and IR3

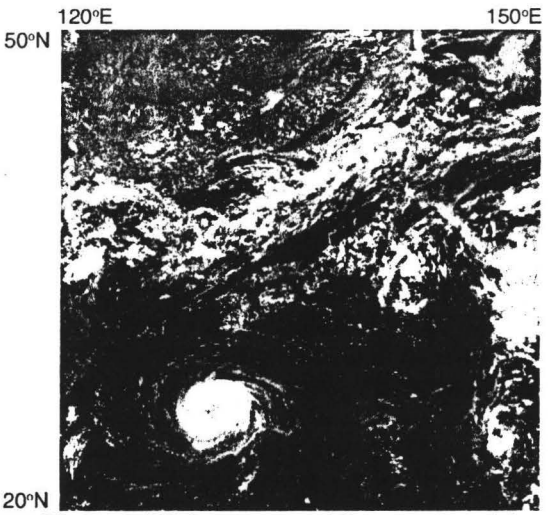


Figure 1 VS image around Japan scanned from 11:34:48AM to 11:39:42AM on Aug 7, 2000

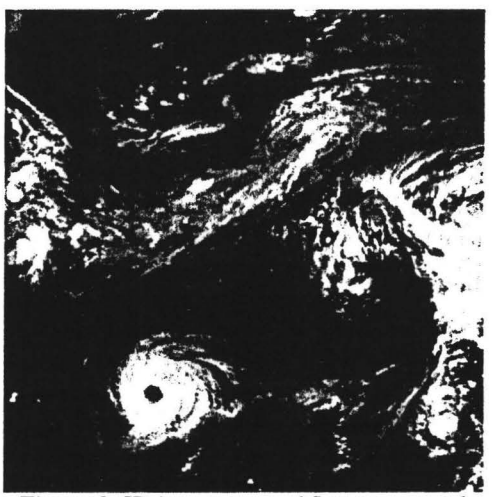


Figure 2 IR image around Japan scanned simultaneously with Figure 1


Figure 3 WV image around Japan scanned simultaneously with Figure 1

channels are referred as VS (**Figure 1**), IR (**Figure 2**), and WV (**Figure 3**) images respectively.

Visible image (VS) provides us a view of the earth close to the human sense with the highest spatial resolution [13]. Each pixel of the visible image is converted into the albedo by the calibration data provided with the image. Infrared image (IR) is the most familiar image on weather forecast programs. Each pixel is converted into the equivalent black body temperature by the provided calibration data. The temperature by the infrared image corresponds to the height of cloud deck as the atmosphere cools with height. Infrared images are usually inverted so that the colder cloud appears brighter and the warmer land and sea appear darker in presentation. Water vapor image (WV) represents the radiation in water vapor absorption bands. The image shows the highest clouds but swirls cover lands and seas. Each pixel is converted into the equivalent black body temperature distributions by the provided calibration data as IR channel.

VALIDATION OF THE MODEL

Preliminary Analysis for All Weather Condition

The previous study analysed the hourly cumulative global irradiance and beam normal irradiance observed at the Fukuoka Meteorological Observatory (130°23'E, 33°35'N) from July 1, 1996 to June 30, 1997 [10, 11]. The analysis in this paper utilizes the instantaneous data to examine the difference of the time period of measurements in the model. The global and beam normal irradiance and illuminance data were observed synchronizing with the satellite scanning from November 25, 1999 to October 31, 2000 at the Fukuyama University (133°15'E, 34°30'N) using the instruments of the meteorological monitoring station shown in **Figure 4**. A normal incidence pyrheliometer and a normal incidence illuminance meter mounted on an automated solar tracker measure the beam normal irradiance I_{oBN} [W/m²] and beam normal illuminance E_{oBN} [klx]. The aperture half angle of both the beam normal sensors is 2.5 degrees. A pyranometer on the solar tracker and an illuminance meter behind measure global irradiance I_{oG} [W/m²] and global illuminance E_{oG} [klx]. A data logger collects data every minute from above solar sensors, as well as a silicon photovoltaic pyranometer, a quantum sensor, thermometer, ventilated air temperature/humidity meters, and an ultrasonic anemoscope/anemometer. The surface observed instantaneous beam horizontal irradiance I_{oBH} [W/m²] and illuminance E_{oBH} [klx] were derived by multiplying the beam normal components and the sine of solar elevation angle $\sin h_s$.

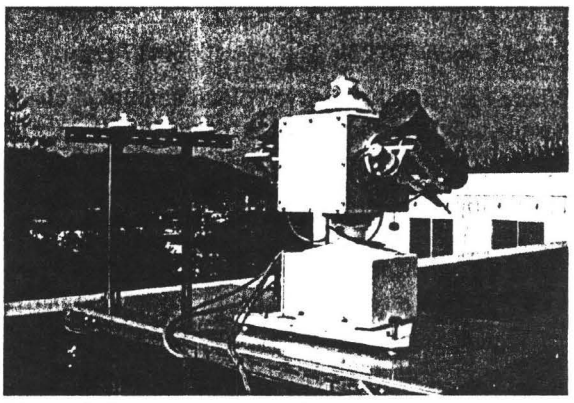


Figure 4 The automated solar tracker, pyranometer and global illuminance meter

For the satellite observed images, the off-line data with calibration data [12] are utilized as mentioned above. The theoretical resolution of the satellite images at the location of the Fukuyama University is 6.7 km/pixel. The calibration tables attached to each image convert the raw pixel values of the VS image (Figure 1), IR image (Figure 2), and WV image (Figure 3) into albedo A_{VS}[-], equivalent black body temperature T_{bIR} [K] and T_{bWV} [K] respectively. The albedo A_{VS} depends on the solar elevation angle h_s because it is defined as the ratio of the beam normal solar irradiance at the satellite to the irradiance reflected on the surface and received by the satellite. In the model, the albedo A_{VS} is normalized to the normalized albedo A_{nVS}.

$$A_{nVS} = A_{VS} / \sin h_s \qquad (1)$$

The surface observed instantaneous data and satellite observed data are combined together to be a database. The quality control procedure by the following criteria reduces the data sets to 2954 cases,

(a) the solar elevation angle h_s beyond 5°,

(b) A_{nVS}, T_{bIR}, T_{bWV}, I_{oG}, I_{oBN}, I_{oBH} and are all valid.

The multiple linear regression equations are examined to estimate instantaneous global irradiance I_{eG} [W/m²] and beam horizontal irradiance I_{eBH} [W/m²].

$$I_{eG} = k_G + b_{1,G} A_{nVS} + b_{2,G} T_{bIR} + b_{3,G} T_{bWV} + b_{4,G} \sin h_s \qquad (2)$$

$$I_{eBH} = k_B + b_{1,B} A_{nVS} + b_{2,B} T_{bIR} + b_{3,B} T_{bWV} + b_{4,B} \sin h_s \qquad (3)$$

Table 1 shows the multiple regression coefficients as the result of preliminary analysis for all weather condition on both cumulative irradiance [MJ/m² h] and instantaneous irradiance [W/m²]. In the analysis of the beam horizontal irradiance, the extreme cases of low beam normal irradiance (I_{oBN} < 6 W/m²) are rejected. The number of valid cases on each weather condition is shown in Table 1. The comparison of the measured and estimated instantaneous global irradiance I_{oG} and I_{eG} by the preliminary analysis are plotted in **Figure 5**. The measured and estimated beam horizontal irradiance I_{oBH} and I_{eBH} are shown in **Figure 6**.

Table 2 shows the precision of the multiple regression models. The precision expressed by the percent RMSD values for hourly cumulative irradiance are 26% on the global and 60% on the beam component. The precision for instantaneous irradiance are 41% for the global and 54% for the beam component. The overall precision agrees with the elaborate model based on visual

Table 1 Coefficients of the multiple regression models of irradiance

			Cases	R^2	k	B_1	B_2	B_3	B_4
Cumulative irradiance [MJ/m²h] from July 1,'96 to June 30,'97 at Fukuoka Meteorological Observatory	Global	All weather	2576	0.802	-2.46E+0	-1.91E+0	4.67E-3	5.70E-3	3.07E+0
		Clear	741	0.866	8.89E-2	-2.70E+0	NS	NS	3.65E+0
		Fine	806	0.842	-2.32E+0	-2.99E+0	NS	1.05E-2	3.44E+0
		Cloudy	1019	0.661	-2.73E-1	-1.89E+0	3.43E-3	NS	2.25E+0
	Beam horizontal	All weather	2556	0.550	-4.84E+0	-1.61E+0	8.35E-3	1.07E-2	1.72E+0
		Clear	741	0.660	-6.44E+0	NS	NS	2.47E-2	2.50E+0
		Fine	806	0.480	-3.71E+0	-5.04E+0	NS	1.80E-2	1.99E+0
		Cloudy	1019	0.301	-1.44E+0	-9.53E-1	6.37E-3	NS	7.43E-1
Instantaneous irradiance [W/m²] from Nov. 25,'99 to Oct. 31,'00 at Fukuyama University	Global	All weather	2954	0.708	-7.34E+2	-4.94E+2	3.05E+0	NS	7.47E+2
		Clear	757	0.899	1.77E+2	5.13E+2	-1.29E+0	NS	1.09E+3
		Fine	780	0.734	-6.37E+2	-7.63E+2	2.63E+0	NS	8.84E+2
		Cloudy	1417	0.498	-5.89E+2	-4.99E+2	3.00E+0	NS	5.19E+2
	Beam horizontal	All weather	1835	0.622	-2.38E+3	-1.04E+2	4.72E+0	4.29E+0	4.86E+2
		Clear	708	0.809	-1.11E+3	NS	NS	4.02E+0	7.20E+2
		Fine	665	0.598	-2.66E+3	NS	4.64E+0	5.40E+0	4.91E+2
		Cloudy	462	0.350	-2.14E+3	NS	4.19E+0	4.28E+0	2.44E+2

(NS: the independent variable is not a significant predictor.)

Table 2 Precision of the multiple regression models of irradiance

		Preliminary analysis (All weather)				Weather condition analysis (Clear+Fine+Cloudy)			
		RMSD		MBD		RMSD		MBD	
Cumulative irrad. [MJ/m²h]	Global	0.399	26%	0.000	0.0%	0.374	24%	0.001	0.1%
	Beam Horizontal	0.496	60%	-0.001	-0.1%	0.456	55%	0.007	0.9%
Instantaneous irrad. [W/m²]	Global	145	41%	5	1.4%	137	38%	2	0.5%
	Beam Horizontal	136	54%	42	16.7%	129	51%	42	16.7%

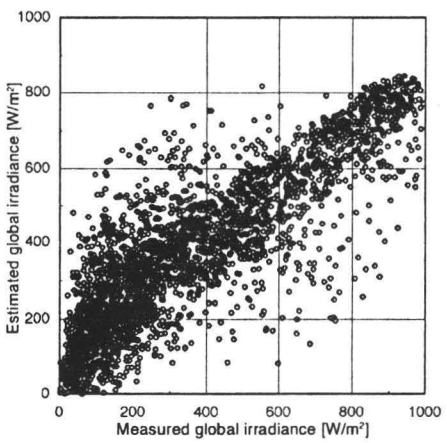


Figure 5 Measured and estimated instantaneous global irradiance by preliminary analysis

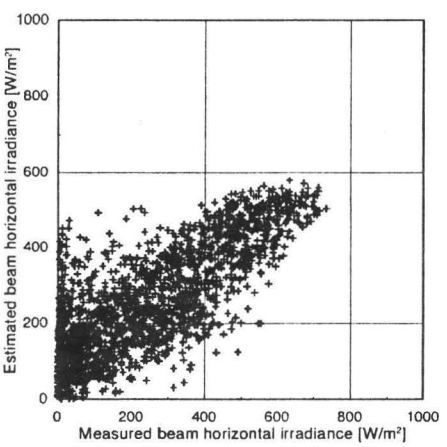


Figure 6 Measured and estimated instantaneous beam horizontal irradiance by preliminary analysis

channel [9], in which the precision was about 30% on the global radiation and 60% on the beam radiation.

The percent RMSD values of the global model indicate that the instantaneous model is less precise than the cumulative model. This suggests that the spatial average of satellite data could correspond to the temporal average of surface data. The low resolution of the satellite images, i.e. 6.7 km/pixel, spatially averages the cloud cover and cloud type in a moment, while the surface observed cumulative data are temporal average at a point on the ground.

Weather condition analysis

The database of 2954 cases is divided into three subsets according to the normalized albedo A_{nVS} as the index of weather condition [10, 11]:

(a) *Clear* ($A_{nVS} \leq 0.15$) 757 cases

(b) *Fine* ($0.15 < A_{nVS} \leq 0.25$) 780 cases

(c) *Cloudy* ($0.25 < A_{nVS}$) 1417 cases

Where the visually observed cloud amount c_o classifies the weather conditions, i.e. *Clear* ($c_o = 0, 1$), *Fine* ($c_o = 2, 3, ...8$) and *Cloudy* ($c_o = 9, 10$).

The multiple linear regression analysis for the global and beam horizontal irradiance are executed on the three subsets of the database respectively using equations (2) and (3). As the results, R square values and partial regression coefficients for the multiple linear regression are shown in Table 1. **Figure 7** and **Figure 8** show the comparison of measured and estimated instantaneous global and beam horizontal irradiance by the

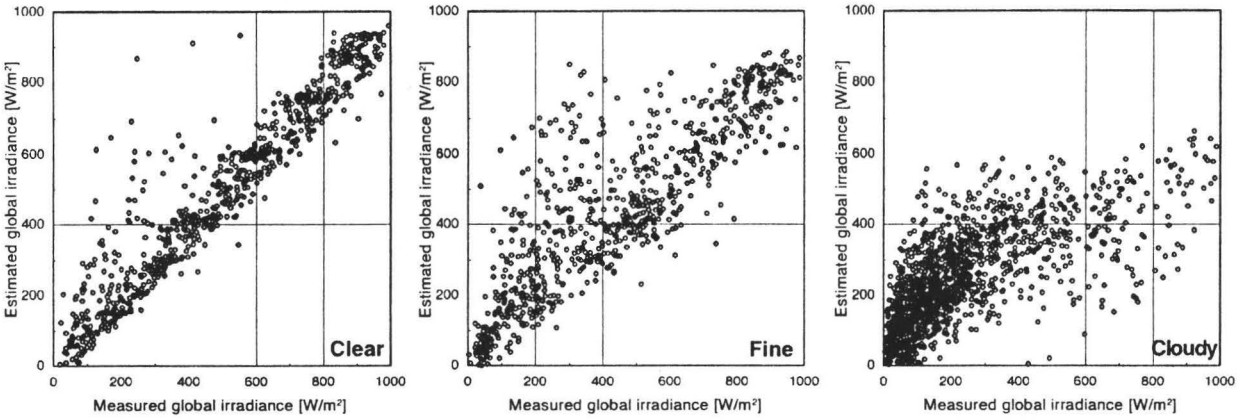


Figure 7 Measured and estimated instantaneous global irradiance by weather condition analysis

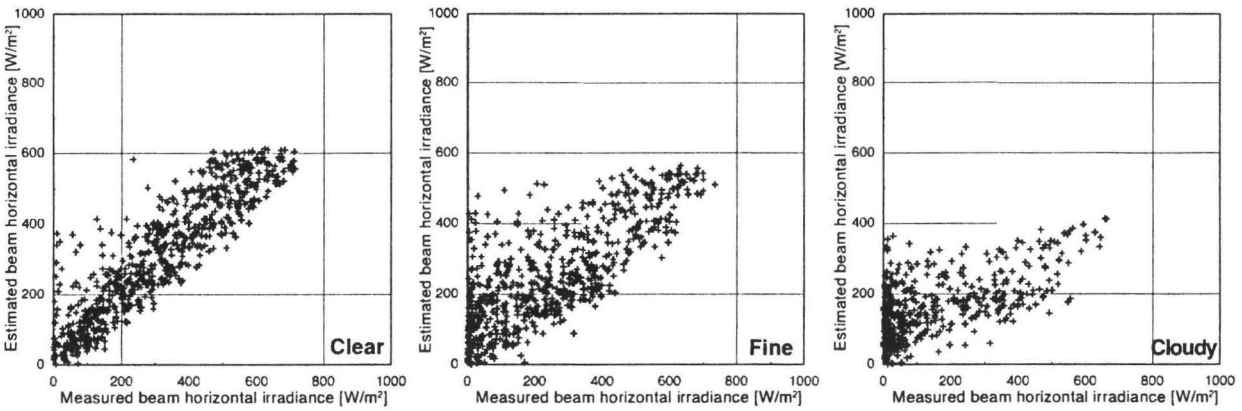


Figure 8 Measured and estimated instantaneous beam horizontal irradiance by weather condition analysis

weather condition analysis. The precision of the models are shown in Table 2.

Table 1 shows that the instantaneous global component depends on the sine of solar elevation angle $\sin h_s$, the normalized albedo A_{nVS} and the equivalent black body temperature T_{bIR}, while the beam horizontal component depends on $\sin h_s$ and both the equivalent black body temperature T_{bIR} and T_{bWV}.

In Table 2, the mean bias difference (MBD) of the instantaneous beam horizontal irradiance is relatively large. From the scatter plots shown in Figure 8, the cause is considered as follows. When the weather condition is *Cloudy* (the cloud amount $c_o = 9, 10$), the sun sometimes appears through a rift in the clouds, then the measured beam horizontal irradiance I_{oBH} may make a jump beyond 400 [W/m²]. In this case, however, the corresponding pixel of the satellite image is almost covered by the cloud, and estimated beam horizontal irradiance I_{eBH} never reach 400 [W/m²]. This also happens to the global components shown in Figure 7. On the other hand, when a small fragment of cloud covers the sun in the *Clear* sky ($c_o = 0, 1$), the measured beam horizontal irradiance I_{oBH} may fall down though the estimated beam horizontal irradiance I_{eBH} remains high. In the *Fine* sky condition ($c_o = 2, 3, ...8$), both the over-

Table 3 Coefficients of the multiple regression models of illuminance

			Cases	R^2	k	B_1	B_2	B_3	B_4
Instantaneous illuminance [klx]	Global	All weather	2954	0.713	-7.53E+1	-5.05E+1	4.55E-1	-1.55E-1	8.66E+1
		Clear	757	0.888	-1.08E+1	NS	NS	NS	1.20E+2
		Fine	780	0.745	-1.17E+2	-6.09E+1	4.44E-1	NS	1.03E+2
		Cloudy	1417	0.517	-7.61E+1	-5.74E+1	3.76E-1	NS	6.41E+1
	Beam horizontal	All weather	1821	0.620	-2.83E+2	5.97E-1	4.51E-1	-9.42E+0	6.07E+1
		Clear	709	0.789	-1.42E+2	-5.68E+1	NS	5.34E-1	8.88E+1
		Fine	651	0.609	-3.26E+2	NS	6.03E-1	6.12E-1	6.21E+1
		Cloudy	461	0.340	-1.83E+2	NS	6.87E-1	NS	3.07E+1

(NS: the independent variable is not a significant predictor.)

Table 4 Precision of the multiple regression models of illuminance

		Estimated (All weather)				Estimated (Weather cond.)			
		RMSD		MBD		RMSD		MBD	
Instantaneous illuminance [klx]	Global	16.8	40%	0.5	1.2%	16.0	38%	0.2	0.5%
	Beam Horizontal	16.1	56%	4.7	16.5%	15.1	53%	4.5	15.7%

estimation and underestimation may happen as shown in Figure 7 and Figure 8. This consideration agrees with the very low MBD of the cumulative beam horizontal irradiance in Table 2.

To improve the precision of the instantaneous model, not only the cloud amount but also the cloud type should be derived from the satellite images to improve the accuracy of the weather classification which currently bases on the normalized albedo only. This will be dealt in the further study to classify the cloud amount and cloud type by combining the normalized albedo and the equivalent black body temperature .

Daylight source model

For the daylighting simulation, the instantaneous illuminance data for the specific time and location are usually required to estimate the worst scenario of the luminous environment. In the same way as the irradiance model above mentioned, the multiple linear regression equations are examined to estimate instantaneous global illuminance E_{eG} [klx] and the beam horizontal illuminance E_{eBH} [klx].

$$E_{eG} = k_G + b_{1,G} A_{nVS} + b_{2,G} T_{bIR} + b_{3,G} T_{bWV} + b_{4,G} \sin h_s \quad (4)$$

$$E_{eBH} = k_B + b_{1,B} A_{nVS} + b_{2,B} T_{bIR} + b_{3,B} T_{bWV} + b_{4,B} \sin h_s \quad (5)$$

Table 3 shows the coefficients of the multiple regression models. **Table 4** shows the precision which gives an outline similar to the instantaneous irradiance.

APPLICATION: ESTIMATION OF GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF DAYLIGHT AVAILABILITY

The daylight source model mentioned above is applied to estimate the geographical distribution of global and beam horizontal illuminance along the broken line of 90 pixels shown in **Figure 9**. Figure 9 also plots the places of the Fukuoka Meteorological Observatory (130°23'E, 33°35'N) and the Fukuyama University (133°15'E, 34°30'N). **Figure 10** shows the profile of IR, WV and VS image values along the broken line. It is assumed that the coefficients of the daylight source model in Table 3 are applicable to the areas along the line, because most areas are located in the same climatic zone, the Seto Inland Sea Climate, where the climate is relatively mild and the sea is calm. **Figure 11** illustrates the result of global and beam horizontal illuminance. Such simulation technique will be useful to estimate the total gain of solar energy in a region when solar systems come into wide use in the near future.

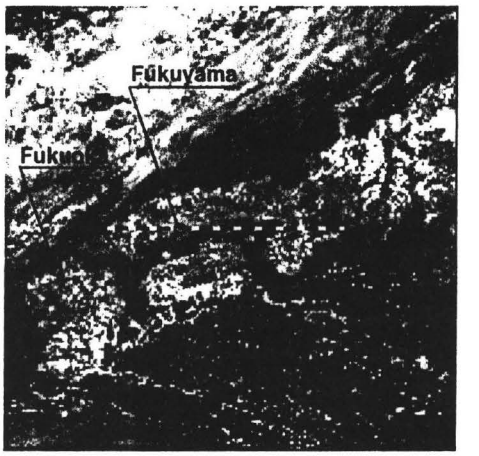


Figure 9 Fukuoka and Fukuyama in Western Japan plotted on the visible image taken from Figure 1

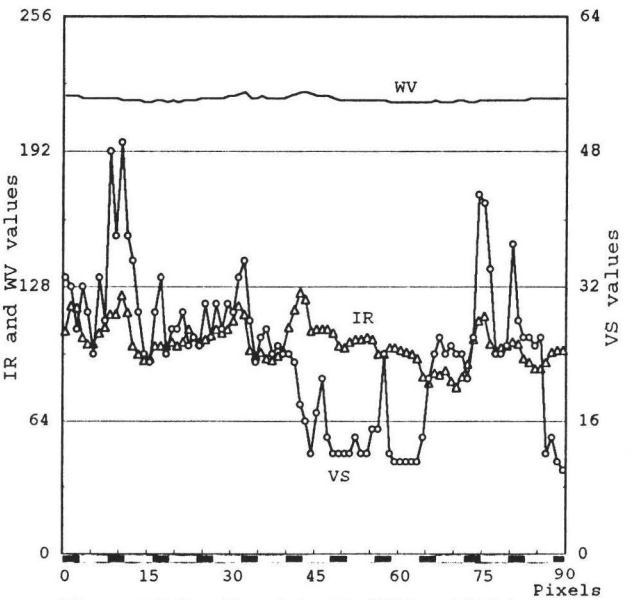


Figure 10 Profile of the IR, WV and VS image values along the broken line shown in Figure 9

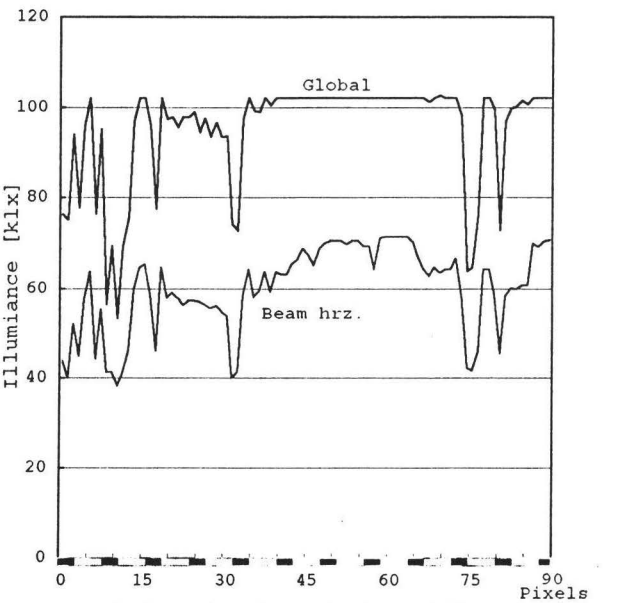


Figure 11 Global and beam horizontal illumninance estimated from image values shown in Figure 10

CONCLUSIONS

The author proposed a statistical model for global and beam solar radiation using the three channels of geostational meteorological satellite images. The model is based on the multiple linear regression analysis to estimate surface observed hourly cumulative global and beam radiation values from the satellite observed image values.

The purpose of this paper is to examine the precision of the model. The multiple liner regression analysis is performed between the satellites image values and instantaneous irradiance measured at the Fukuyama University. By the preliminary analysis for all weather condition, or regardless of weather condition, the precision expressed by the percent RMSD values for instantaneous irradiance are 41% for the global and 54% for the beam component. The overall precision agrees with an elaborate model based on visual channel in which the precision was about 30% on the global radiation and 60% on the beam radiation. The weather condition analysis improves in the percent RMSD values. The percent MBD values of the beam irradiance are relatively low. The causes reducing the precision are studied to improve it in the further study.

The multiple liner regression analysis is also performed between the satellites image values and instantaneous global and beam illuminance. As an application, the daylight source model estimates geographical distribution of global illuminance and beam horizontal illuminance.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Grant-in-Aid of the Ministry of Education, Science and Culture (12450236 & 12650605), and the TOSTEM Foundation for Construction Materials Industry Promotion. The image processing was performed using the public domain NIH Image program written by Wayne Rasband at the U.S. N.I.H.

REFERENCES

1. Akasaka Y. et al.: Expanded AMeDAS Weather Data, Maru-zen, 2000 (in Japanese).
2. Tarpley J. D., "Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data", J. Applied Meteorology, Vol.18, pp.1172-1181, 1979.
3. Gautier C., Diak G. and Masse S., "A simple physical model to estimate incident solar radiation at the surface from GOES satellite data", J. Applied Meteorology, Vol.19, pp.1005-1012, 1980.
4. Cano D., Monget J. M. , Albuisson M., Guillard H., Regas N. and Wald L., "A Method for the Determination of the Global Soar Radiation from Meteorological Satellite Data", Solar Energy, Vol.37, No.1, pp.31-39, 1986.
5. Diabate L., Demarcq H., Regas N. and Wald L, "Estimating incident solar radiation at the surface from images of the earth transmitted by geostationary satellites: the Heliosat project", Int. J. Solar Energy, Vol.5, pp.261-278, 1988.
6. Perez R., Seals R., Stewart R., Zelenka A., Astrada-Cajikal V., "Using satellite-derived insolation data for the site/time specific simulation of solar energy systems", Solar Energy, Vol.53, No.6, pp.491-495, 1994.
7. Fontoynont M., Dumortier D. et al., "Satellight: a European programm dedicated to serving daylight data computed from Meteosart images", Lux-Europa Conference, Amsterdam, pp.1-12.1997.
8. Beyer, H. G., Costanzo C., Heinemann D., "Modifications of the Heliosat Procedure for Irradiance Estimates from Satellite Images", Solar Energy, Vol.56, No.3, pp.207-212, 1996.
9. Ineichen P., Perez R., "Derivation of Cloud Index from Geostationary Satellites and Application to the production of Solar Irradiance and Daylight Illuminance Data", Theor. and Appl. Clim., Vol.64, pp.119-130, 1999.
10. Uetani Y., "Prediction of the Global and Beam Irradiance and Illuminance by the Geostational Meteorological Satellite Images", Special Volume, 24th Session of the CIE, Warsaw, p p.51-54,1999.
11. Uetani Y.: "Simulation of Daylight Performance of Buildings by the Daylight Source Model based on Geostational Meteorological Satellite Images", Proceedings of Building Simulation'99 in Kyoto, pp.547-553, 1999.
12. JMBSC, "The Meteorological Satellite Monthly Report", July 1996 - June 1997.
13. Kidder S. Q. and Vonder Haar T. H., "Satellite Meteorology-an Introduction", Academic Press, 1995.

NOMENCLATURE

h_s Solar elevation angle [°].

I_{oG} Global irradiance [W/m²] observed by the pyranometer

I_{oBN} Beam normal irradiance [W/m²] observed by the pyrheliometer with solar tracker

I_{oBH} Beam horizontal irradiance [W/m²] derived as $I_{oBH} = I_{oBN} \sin h_s$

E_{oG} Global illuminance [klx] observed by the global illuminance meter

E_{oBN} Beam normal illuminance [klx] observed by the beam illuminance meter with solar tracker

E_{oBH} Beam horizontal illuminance [klx] derived as $E_{oBH} = E_{oBN} \sin h_s$

A_{VS} Albedo derived from VS image, [-]

A_{nVS} Normalized albedo derived from A_{VS} and h_s, [-]

T_{bIR} Equivalent black body temperature derived from IR image, [K]

T_{bWV} Equivalent black body temperature derived from WV image, [K]

I_{eG} Estimated global irradiance [W/m²]

I_{eBH} Estimated beam horizontal irradiance [W/m²]

E_{eG} Estimated global illuminance [klx]

E_{eBH} Estimated beam horizontal illuminance [klx]

$k_G, b_{1,G}, b_{2,G}, b_{3,G}, b_{4,G}$ Constant and partial regression coefficients in the multiple linear regression equation for I_{eG} or E_{eG}.

$k_B, b_{1,B}, b_{2,B}, b_{3,B}, b_{4,B}$ Constant and partial regression coefficients in the multiple linear regression equation for I_{eBH} or E_{eBH}.

1－22　建築材料の可視～遠赤外域のふく射特性計測に関する研究

岡山大学　工学部
助教授　吉田篤正

1．はじめに

快適な人間の生活空間の熱環境設計のためには、従来重要視されることが少なかった可視から遠赤外に至る広波長域のふく射伝熱の考察が要点となる。また、可視域の測定結果から人間の視覚的な感覚を数値化し、それを設計に活かすことが可能となる。さらに、ふく射特性の測定結果に基づく解析を行うことにより、材料表面および内部の物理的、化学的な状態を評価、診断する技術開発への展望が開ける。以上のことを鑑み、本研究では、建築環境工学の立場から、可視から中間赤外域の分光反射・透過特性および遠赤外域の放射特性計測装置の開発を行った。これらの計測装置を用いて、建築外部空間および室内空間を代表する材料について測定を行い、可視から中間赤外域における半球反射率・半球透過率の波長特性およびその角度特性、遠赤外域の全放射率を得ることができた。

2．可視～中間赤外域のふく射特性

2.1 計測装置

計測装置の概要を図１に示す。

(a) 可視～近赤外域における計測装置

光源には発光部が 1×3mm のハロゲンランプ(50W,12V)を使用し,回転楕円体面鏡(長軸 44.3mm,短軸 29.2mm,焦点距離 11.0mm,77.5mm,内径φ58.5mm,アルミニウム蒸着面鏡)の第１焦点に設置する。回転楕円体面鏡で集光された光束は,その第２焦点に設置した両凹レンズ(外径φ20mm,焦点距離 19.7mm)によって平行光束に近づけ,光学チョッパ(周波数 6.2Hz)で断続光にした後に,平凸レンズ(外径φ40mm,焦点距離 50mm)で集光し,光学フィルタと回折格子分光器(コリメータ焦点距離 100mm,逆分散［波長純度］±7nm/mm,±14nm/mm)により単色光に変換する。分光器の出口のスリット幅は 3mm とした。

光学チョッパで断続光とされた光束は,ロックインアンプを使用することにより背景光の影響を除去する。また,光学フィルタを使用することにより高次の回折光の混入を防ぐ。分光器から出た単色光は,セルフォックマイクロレンズ付光ファイバ(ファイバ：コア径φ200μm,グラッド径φ250μm,長さ 2m,多成分系ガラスファイバ,レンズ：直径φ1.8mm,長さ 4.634mm,日本板硝子株式会社からの提供)を通り,試料(直径φ13mm,ホルダ直径φ14mm)に指向入射される。光ファイバの位置を反射測定の時は図中の実線,透過測定の時は点線の位置に設置する。

回転楕円体面鏡(長軸 239.5mm,短軸 132.6mm,焦点距離 40.1mm,438.8mm,口径 ϕ 206.1mm,アルミニウム蒸着面鏡)の第 1 焦点に設置された試料で反射または透過された光は集光され,その第 2 焦点に設置された検知器により検知される。y軸ステージにより入射方向に対する試料と第 1 焦点の位置の微調整を行い,xyz軸ステージにより,出力が最大になるポイントに検知器を設定し測定する。検知器には測定波長に応じてシリコンフォトダイオード(受光部 10mm×10mm),またはゲルマニウムフォトダイオード(受光部直径 ϕ10mm)を使用している。検知器からの電流出力は電圧変換された後,ロックインアンプにより位相検波増幅され,デジタルマルチメータに出力される。デジタルマルチメータにおいて,出力が定常状態になった後,電圧値を記録して測定する。

回転楕円体面鏡は1／2球であるので,天頂角 θ =0～90度,方角 ψ =0～360度の半球反射光をとらえることができる。試料を固定する試料台は,試料によってさえぎられる光,および鏡面方向の光が中心穴(直径 ϕ20mm)から逃げないようにするために垂直に対して 15 度傾けている。絞りは,試料で反射された光の反射天頂角の角度特性を測定するために,大きさを変化させて使用する。試料を回転させることにより光の入射天頂角を変化させることができ,試料の入射の天頂角依存性を測定することができる。可視～近赤外域用の測地装置の測定波長範囲は,0.5μm～1.8μm である。測定波長の下限は,光源・検知器の波長特性によるものであり,上限は,光ファイバの波長特性によるものである。

(b) 中間赤外域における計測装置

可視域の計測装置に用いたハロゲンランプは,そのガラス製のカバーが中間赤外域の光をほとんど透過しないため,この装置に使えない。そのため,光源には発光部が 4×30mm の水冷式シリコニットランプ(180W)を用いる。中間赤外域の測定の場合,レンズを使用すると波長によりその焦点距離が大きく変化し,集光状態が変わってくる。そのため,凹面鏡(外形 ϕ=80mm,焦点距離 250mm),平面鏡(60×60mm)を使い集光した。その後,その光を光学チョッパによって断続光にし,さらに光学フィルタと回折格子分光器(コリメータ焦点距離 100mm,逆分散[波長純度] ±56nm/mm)を用いて単色光に変換する。分光器の出口のスリットは 3mm とした。

回折格子分光器を出た光束は,カルコゲナイドガラス(GaAsSeTe 化合物)を使用した赤外線透過ファイバ(NOG NSEG ϕ0.3×6 本,2m)を回転楕円体面鏡の第 1 焦点に設置した試料ホルダに入射される。試料ホルダは,可視域の測定装置と同じものを用い,その位置はy軸ステージにて微調整される。試料ホルダを反射した光は,回転楕円体面鏡によって,その第 2 焦点に設置した検知器で検知される。検知器には,液体窒素で冷却した中間赤外用 InSb 検知器(受光部直径 ϕ=2mm)を使用し,その出力値が最大になるように,その位置を xyz 軸ステージで微調整する。検知器からの電流出力は,可視域における測定装置と同じように,電圧変換した後,ロックインアンプで位相検波増幅してデジタルマルチメータに出力する。出力変化が定常状態になった後,電圧値を記録する。光学チョッパ,ロックインアンプを用いることによって,背景光の影響を除去する。また,光路中の絞りは可視域の測定装置と同じように,反射光の角度特性を測定するために用いられる。

中間赤外用の測定装置の測定波長範囲は,いずれの測定装置においても 2.2～5.2μm である。測定波長の下限,上限とも検知器の波長特性によるものである。

2.2 測定方法

(a) 指向入射－半球反射率

指向入射－半球反射率の測定方法は,まず初めに試料台にアルミ蒸着平面鏡を設置し,鏡面反射光のエネルギを測定し,その出力をE_mとする。つぎに,鏡を試料に置き換え,反射天頂角θ_r=0～90度に反射した拡散反射光の検知器出力E(0～90)を測定する。さらに絞りを変化させ,反射天頂角θ_r=0～30度に反射した拡散反射光の検知器出力E(0～30)を測定する。半球反射率R_hは,

$$R_h = \frac{c_{sr} \cdot E(0 \sim 90) - c_{or} \cdot E(0 \sim 30) + c_{or} \cdot c \cdot E(0 \sim 30)}{c_m \cdot E_m} \cdot R_m \qquad (1)$$

で表される。ここでR_mはアルミ蒸着面鏡の絶対反射率であり,光学定数より入射角度,波長に応じて計算される。また,cは補正定数であり,中心穴から逃げる反射光や,試料により遮られる回転楕円体面鏡で集光された光を考慮したものである。c_{sr}, c_{or}, c_mは検知器への集光状態を補正する係数である。

(b) 指向入射－半球透過率

指向入射－半球透過率の測定方法は,まず初めに,試料台に何も置かない状態で回転楕円体面鏡で反射された検知器出力のみを測定し,その検知器出力をE_dとする。つぎに,試料台に試料を設置し,透過天頂角θ_t=0～90 度に拡散した透過光の検知器出力E(0～90)を測定する。さらに,絞りにより,透過天頂角θ_t=0～30 度に拡散した透過光の検知器出力E(0～30)を測定する。半球透過率T_hは,

$$T_h = \frac{c_{st} \cdot E(0 \sim 90) - c_{ot} \cdot E(0 \sim 30) + c_{ot} \cdot c \cdot E(0 \sim 30)}{c_d \cdot E_d} \qquad (2)$$

で表される。ここでc_{sr}, c_{ot}, c_dは検知器への集光状態を補正する係数である。

(c) 指向入射－指向相対反射率

絞りを変化させることにより,反射天頂角θ_r=0～θ_j(θ_j=0,30,45,60,75,90 度)に反射した拡散光の放射エネルギE(0～θ_j)をそれぞれ測定する。それぞれにおける反射率は,

$$R(0 \sim \theta_j) = \frac{E(0 \sim \theta_j) - E(0 \sim 30) + c \cdot E(0 \sim 30)}{E_m} \cdot R_m \qquad (3)$$

で表される。指向相対反射率ρは,ある反射天頂角における強度反射率であり,同じ半球反射率をもつ完全拡散反射面に対する相対値として定義される。指向相対反射率ρと半球反射率R_hとの間には次式の関係がある。

$$R_h = \int_0^1 \rho(\theta) d(\sin^2\theta) \qquad (4)$$

ふく射強度Iは一般に天頂角θの関数であるので,半球方向への放射エネルギEは,

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} I\cos\theta \cdot 2\pi\sin\theta d\theta$$

$$= \int_0^1 \pi I d(\sin^2\theta) \tag{5}$$

で表せる。ただし,方向角に対する依存性はないと仮定した。入射エネルギをE_oとすると,

$$R_h = \int_0^1 \frac{\pi I}{E_o} d(\sin^2\theta)$$

$$= \frac{1}{E_o} \sum_{j=1}^{N-1} \pi I(\theta_{out})(\sin^2\theta_{j+1} - \sin^2\theta_j) \tag{6}$$

ここで,θ_{out}は次式で与えられる。

$$\sin^2\theta_{out} = \frac{\sin^2\theta_{j+1} + \sin^2\theta_j}{2} \tag{7}$$

アルミ蒸着平面鏡と絞りの大きさを変えて試料をそれぞれ設置した場合の測定から,

$$E_o = \alpha \frac{E_m}{R_m} \tag{8}$$

$$\pi I(\theta_{out}) = \alpha \frac{E(0 \sim \theta_{j+1}) - E(0 \sim \theta_j)}{\sin^2\theta_{j+1} - \sin^2\theta_j} \tag{9}$$

ここでαは比例定数であり,アルミ蒸着平面鏡と試料の測定における光学系が同じであるので,同一の値と考えることができる。式(3),(6),(8),(9)の関係から指向相対反射率ρは,

$$\rho(\theta_{out}) = \frac{R(0 \sim \theta_j + 1) - R(0 \sim \theta_j)}{\sin^2\theta_{j+1} - \sin^2\theta_j} \tag{10}$$

で表される。指向相対反射率を縦軸,$\sin^2\theta$を横軸として,指向相対反射率を曲線で表すと,曲線の下部面積が,対応するθ領域に反射するエネルギの割合を表す。このため曲線の下部面積の合計が半球反射率となり,試料面が完全拡散反射の場合は,グラフは横軸と平行になる。また,縦軸に指向相対反射率ρを半球反射率R_hで割った値をとると,曲線の下部総面積が1となり,異なる半球反射率を持つ試料の反射光の角度特性を容易に比較することができる。

(d) 指向入射－指向相対透過率

指向入射－指向相対透過率の測定においては,まず,試料ホルダに何も置かない状態で,回転楕円体面鏡で反射された検知器出力のみ測定し,その検知器出力をE_dとする。次に,透過天頂角$\theta_t = 0 \sim \theta_j$($\theta_j$=0,30,45,60,75,90 度)の範囲に拡散した透過光を絞りの大きさを変化させてそれぞれ測定し,その検知器出力を$E(0 \sim \theta_j)$とする。それぞれの透過天頂角における透過率は

$$T(0 \sim \theta_j) = \frac{E(0 \sim \theta_j) - E(0 \sim 30) + c \cdot E(0 \sim 30)}{E_d} \tag{11}$$

で表される。

指向相対透過率τは,ある透過天頂角における強度透過率であり,同じ半球透過率を持ち,透過光が完全拡散する仮想物質に対する相対値として定義される。指向相対透過率τは,指向相

対反射率を求めたときと同様にして,式(6),(8),(9)におけるR_hをT_h,E_mをE_d,R_mを1と変換し,これらの関係と式(11)から,

$$\tau(\theta_{out}) = \frac{T(0 \sim \theta_{j+1}) - T(0 \sim \theta_j)}{\sin^2 \theta_{j+1} - \sin^2 \theta_j} \tag{12}$$

で表される。指向相対透過率を縦軸,$\sin^2\theta$横軸として,指向相対透過率を曲線で表すと,曲線の下部面積が,対応するθ領域へ透過するエネルギの割合を示す。このため曲線の下部面積の合計が半球透過率となり,試料を透過した光が完全拡散する場合は,グラフは横軸と平行になる。また,縦軸に指向相対透過率τを半球透過率T_hで割った値をとると,曲線の下部総面積が1となり,異なる半球透過率を持つ試料の透過光の角度特性を容易に比較することができる。

2.3 測定結果

今回測定した試料の一覧を表1に示す。

(a)半球反射率・透過率

図2にレーヨンパルプ製の壁紙,木材のヒノキ材,クスノキの葉,畳の半球反射率・透過率スペクトルを示す。ヒノキ材,畳は光が透過しない程度に十分に厚くなっていたために透過は認められなかった。そのため,これらの試料はグラフの上辺と反射率との間が吸収率を表している。

いずれの試料も半球反射率は波長 0.85μm まで増加し,それ以上の波長域では減少している。視覚からも光沢が認識できる壁紙は,ほぼ全波長域において他の試料よりも半球反射率が高くなっており,比較的白いヒノキ材も他に比べて半球反射率がやや高くなっている。植物の葉は可視域では反射率・透過率ともにかなり低く,すなわち可視域の光をよく吸収していることがわかる。また,この図にある試料は,波長 1.45〜1.60μm, 3 μm付近で半球反射率・透過率が他の試料に比べて大きく減少しているが,これは水分や,セルロースによるによる吸収があるためだと思われる。中間赤外域では反射・透過ともいずれの試料もあまり差がなかった。

図 3 に,石材の半球反射率スペクトルを示す。これらの試料は全て透過は見られなかった。可視域で色の濃いアスファルトは全波長域で反射率が低く,波長依存性が少ないことが図からわかる。また,赤レンガはアスファルトより反射率が高くなっていることもわかる。光沢のある瓦は釉薬の成分のために,近赤外域で反射率が高くなっていると思われる。コンクリートは近赤外域で波長と共に反射率が上昇し,中間赤外域では他の試料同様に反射率が低くなっている。

(b) 指向相対反射率・透過率

図4にレーヨンパルプ製の壁紙,木材のヒノキ材,赤レンガ,畳の指向相対反射率・透過率のグラフを示す。光沢のあるレーヨンパルプ製の壁紙は,可視域に近いこの波長で他の試料に比べ最も鏡面反射性を示している。その他の試料については,比較的鏡面反射性を示しており,赤レンガや畳はかなり拡散的である。これは表面状態が原因だと思われる。指向相対透過率は,壁紙のみ透過が認められたが,これは指向透過性を示した。

図5にクスノキの葉の波長別の指向相対反射率・透過率の測定結果を示す。反射率が比較的高い波長0.85μmでは拡散反射性を示したが,セルロースなどによる吸収がある0.6μmでは鏡面反射性を示した。透過率は反射率同様に0.85μmで拡散透過性,0.6μmで指向透過性を示したが,反射率ほど差は顕著ではなかった。

2.4 まとめ

回転楕円体面鏡法を利用した装置を用いて,建築材料の分光半球反射率,透過率を測定した結果,以下の結論が得られた。

（1） 壁紙,木材,畳,植物の葉は,波長0.8～1.0μm付近に極大値を持つ。また,水,セルロースによる吸収が顕著である。

（2） （1）の材料に対する反射の角度特性は,表面状態と吸収率に依存する。透過の角度特性は指向性が強い。

（3） 表面塗装されていない石材等は反射の波長依存性が認められない

（4） 中間赤外域では,いずれの試料も吸収率が高い

3．遠赤外域のふく射特性

3.1 計測装置および測定方法

試料温度が室温より十分に高い場合、分離黒体法に基づく遠赤外域の全放射率計測装置を開発した。図6に計測装置の概要を示す。測定ではまず、放射率の基準となる参照疑似黒体炉を設置し、この黒体炉からの放射エネルギを測定する。次に、試料に置き換え、黒体炉と同温度の試料からの放射を測定する。試料と参照黒体炉からの放射エネルギ、Ls、Lrの比は、

$$\frac{L_s(T_s)}{L_r(T_r)} = \frac{\varepsilon_s \bullet L_b(T_s)}{\varepsilon_r \bullet L_b(T_r)} \tag{13}$$

ここで、ε_s, ε_rはそれぞれ試料、黒体炉の全放射率である。T_s, T_rはそれぞれ試料、黒体炉の温度、$L_b(T)$は温度Tにおける黒体の全放射エネルギである。試料、黒体炉の温度が等しい場合、試料の全放射率ε_sは次式で求められる。

$$\varepsilon_s = \varepsilon_r \bullet L_s / L_r \tag{14}$$

黒体炉は銅製の円筒（内径73mm, 高さ200mm）を断熱材で覆った構造をしている。内面は黒色塗料が塗布されている。黒体炉の全放射率は0.98以上と評価される。黒体炉の加熱は、側壁上部、下部、底壁の3つの部分に分割して円筒の外面に張り付けたヒータにより行う。これらのヒータを炉内温度差が1℃以内になるように制御する。

検知器には温度補償型の焦電素子（直径2mm）を用いた。検知器の視野角は45°であるが、光学チョッパにより有効視野角を12°に絞る。検知器と黒体炉の開口部の間の距離は115mmである。試料（直径80mm）を置く場合は、黒体炉を移動させ、検知器から183mmの位置に設置し、下面に置かれたヒータにより面状加熱される。検知器からの電圧出力は、ロックインアンプにより位相検波増幅し、炉壁温度測定用の熱電対の出力とともにコンピュータに取り込まれる。

試料温度が室温程度になると、周囲物体の放射エネルギが試料表面で反射された成分、光学チョッパからの放射エネルギについても考慮する必要がある。検知器で出力されるエネルギPは次式で表される。

$$P=\varepsilon\sigma Ts^4+(1-\varepsilon)\sigma Ta^4-K\sigma Tc^4 \tag{15}$$

ここで、εは試料の放射率、Ts、Ta、Tcはそれぞれ試料温度、周囲温度、チョッパの温度である。Kは比例定数であり、放射率が評価できる参照試料より求める。異なる試料温度Ts_1、Ts_2の時、両者の出力の比を取ることにより試料の放射率εが得られる。

$$\varepsilon=\frac{P_2(T_{a1}^4-KT_{c1}^4)-P_1(T_{a2}^4-KT_{c2}^4)}{P_1(T_{s2}^4-T_{a2}^4)-P_2(T_{s1}^4-T_{a1}^4)} \tag{16}$$

計測装置の概要を図7に示す。試料を覆う銅製の傘は内径73mm、高さ60mmで上部に直径30mmの開口部を持つ。内面には黒色塗料を塗布する。試料温度、傘の内面温度、チョッパ周囲の気温を熱電対で測定する。検知器には図6と同じ温度補償型の焦電素子(直径2mm)を用いた。試料下面に置かれたヒータにより面状加熱され、試料温度を室温からやや高い温度まで変化させる。

3.2 測定結果

図6に示した計測装置の場合、測定温度が室温に近づくと、周囲物体の放射エネルギやその反射成分が試料からの放射エネルギに比べて無視できなくなる。測定可能温度を、放射率が低いと想定される金属では120℃以上、非金属では80℃以上と判断した。

試料はアルミニウム(鏡面、光沢あり)、チタン(光沢あり)、ガラス、ボール紙である。測定結果を図8に示す。アルミニウム、チタンの放射率は低く、ガラス、ボール紙の放射率は高いことがわかる。測定した温度範囲では、放射率の温度依存性は小さい。

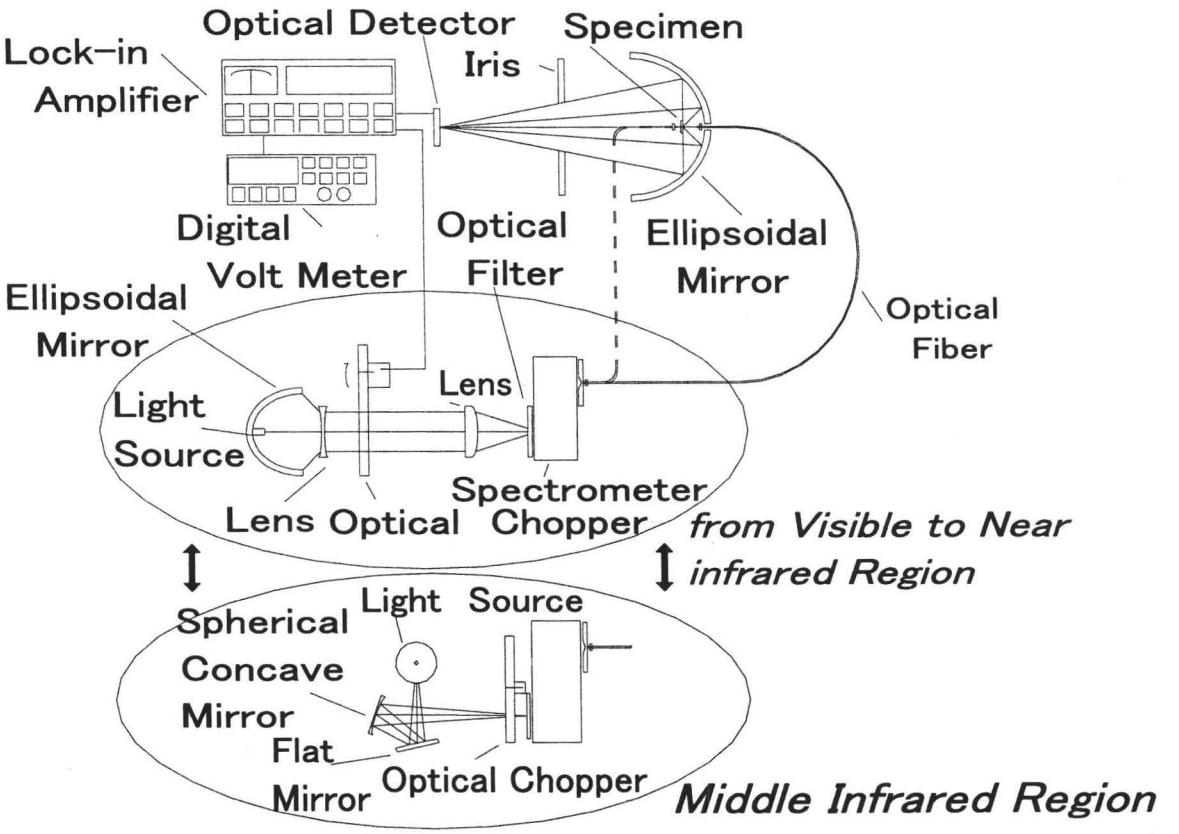
室温付近の放射率は、図7に示した計測装置より測定された。試料はチタン(光沢あり)、ガラス、ボール紙である。得られた放射率はチタン(光沢あり)は0.30、ガラスは0.99、ボール紙は0.79である。いずれも図8に示した室温より十分に高い場合の放射率の値に近い。

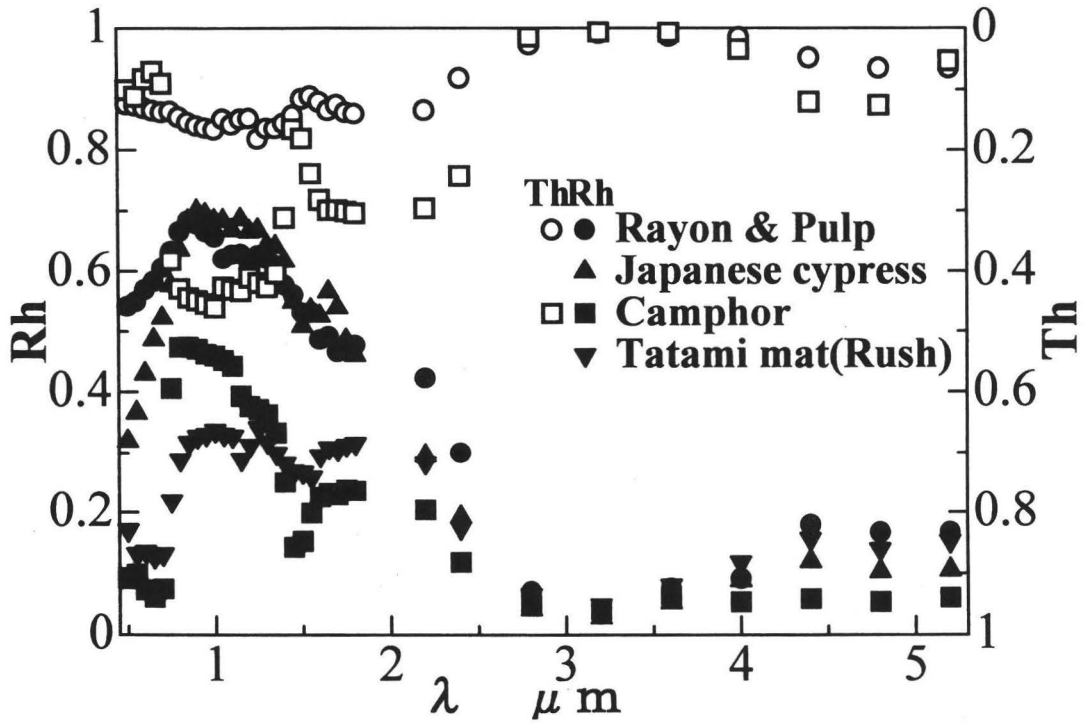
表，図の題目

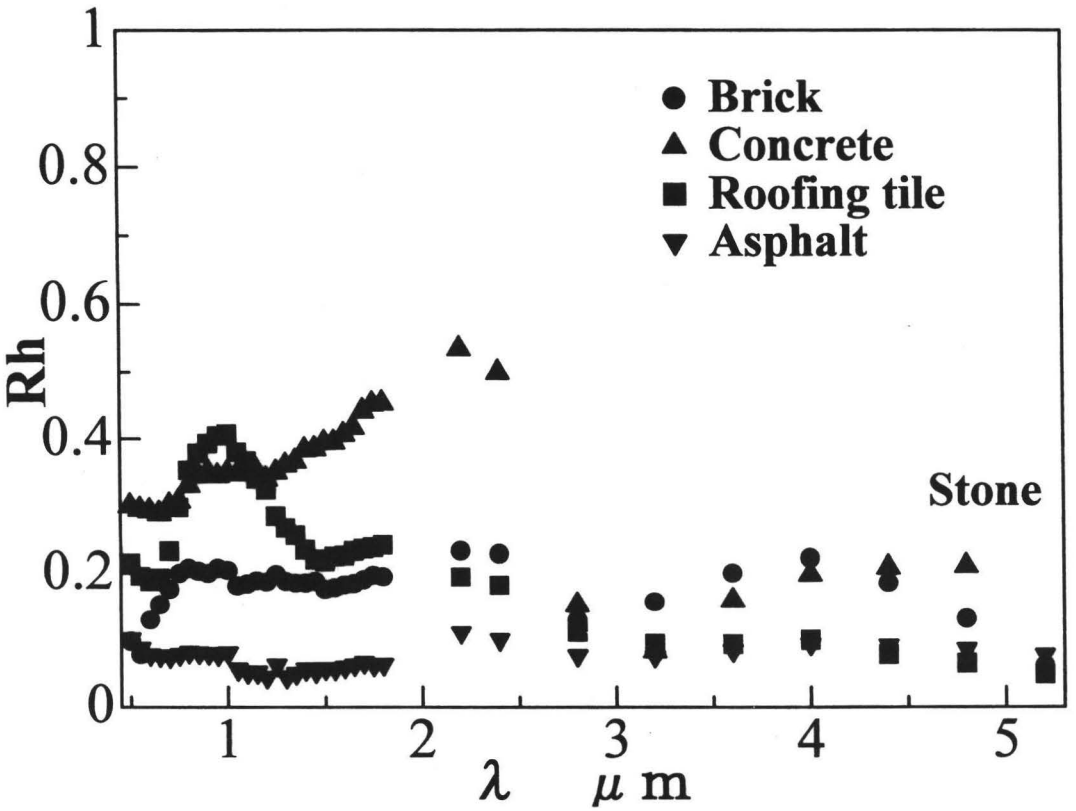
表１　測定試料一覧
図１　計測装置の概要（可視～中間赤外域）
図２　壁紙，木材，木の葉，畳の半球反射率・透過率スペクトル
図３　石材の半球反射率スペクトル
図４　壁紙，木材，レンガ，畳の指向相対反射率・透過率
図５　木の葉の指向相対反射率・透過率
図６　計測装置の概要（遠赤外域、室温より十分に高い場合）
図７　計測装置の概要（遠赤外域、室温付近の場合）
図８　金属、ボール紙、ガラスの全放射率
（１：アルミニウム（鏡面）、２：アルミニウム（光沢あり）、３：チタン（光沢あり）、
４：ボール紙、５：ガラス）

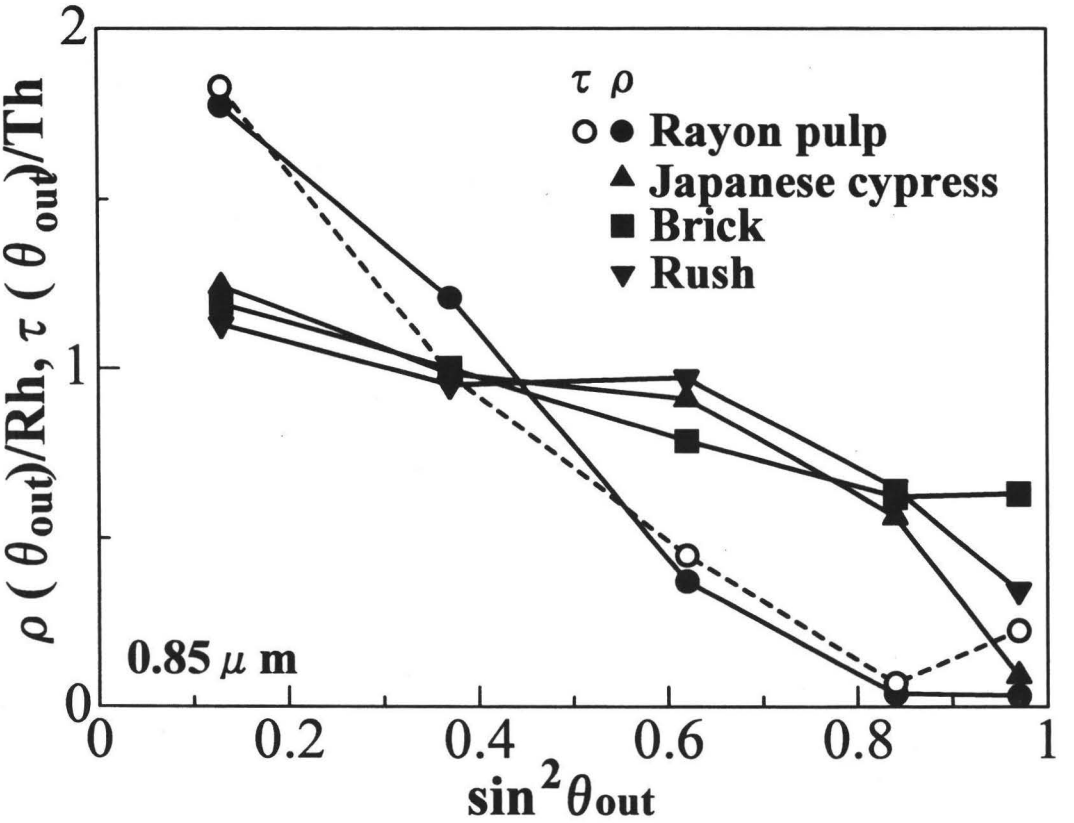
厚さの単位はｍｍ

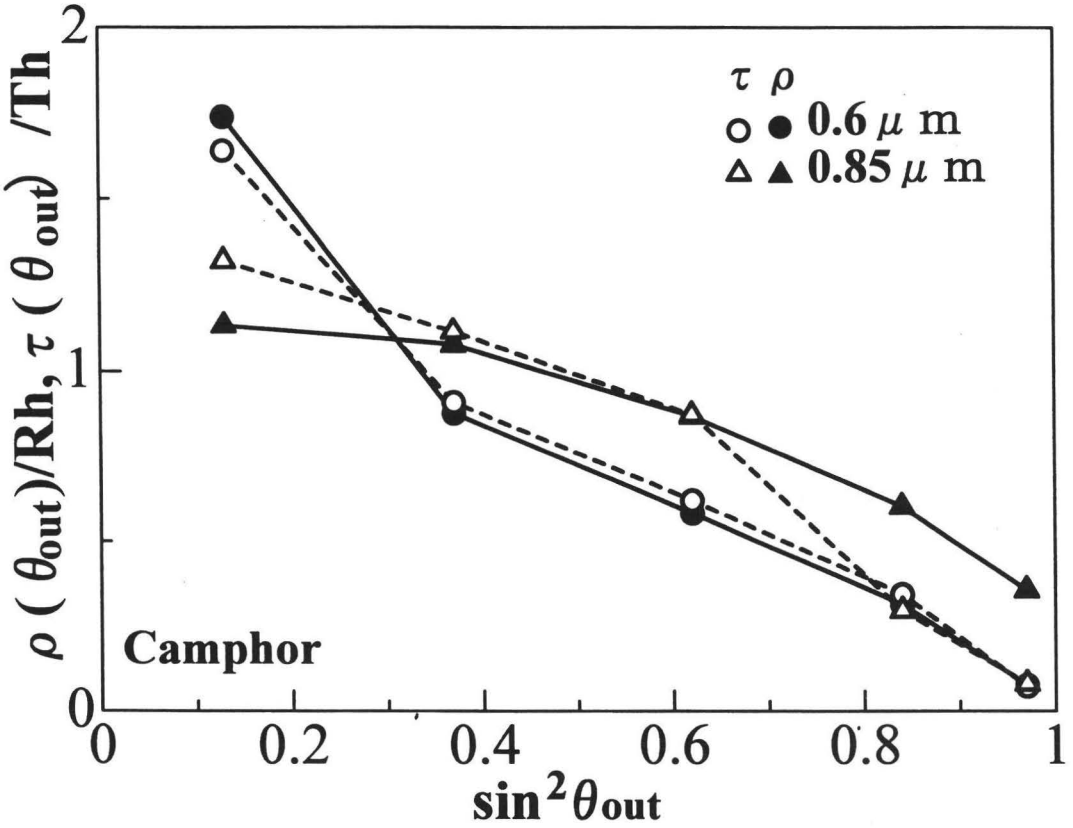
名称		色	厚さ	光沢
壁紙	レーヨン&パルプ ロック	White	0.40	○
木材	ヒノキ	Yellow	0.7	
石材	赤煉瓦	Auburn	4.0	
	コンクリート	Light gray	4.5	
	アスファルト	Dark gray	3.5	
	瓦	Gray	3.0	◎
葉	クスノキ	Green	0.3	
その他	畳（い草）	Light green	1.5	

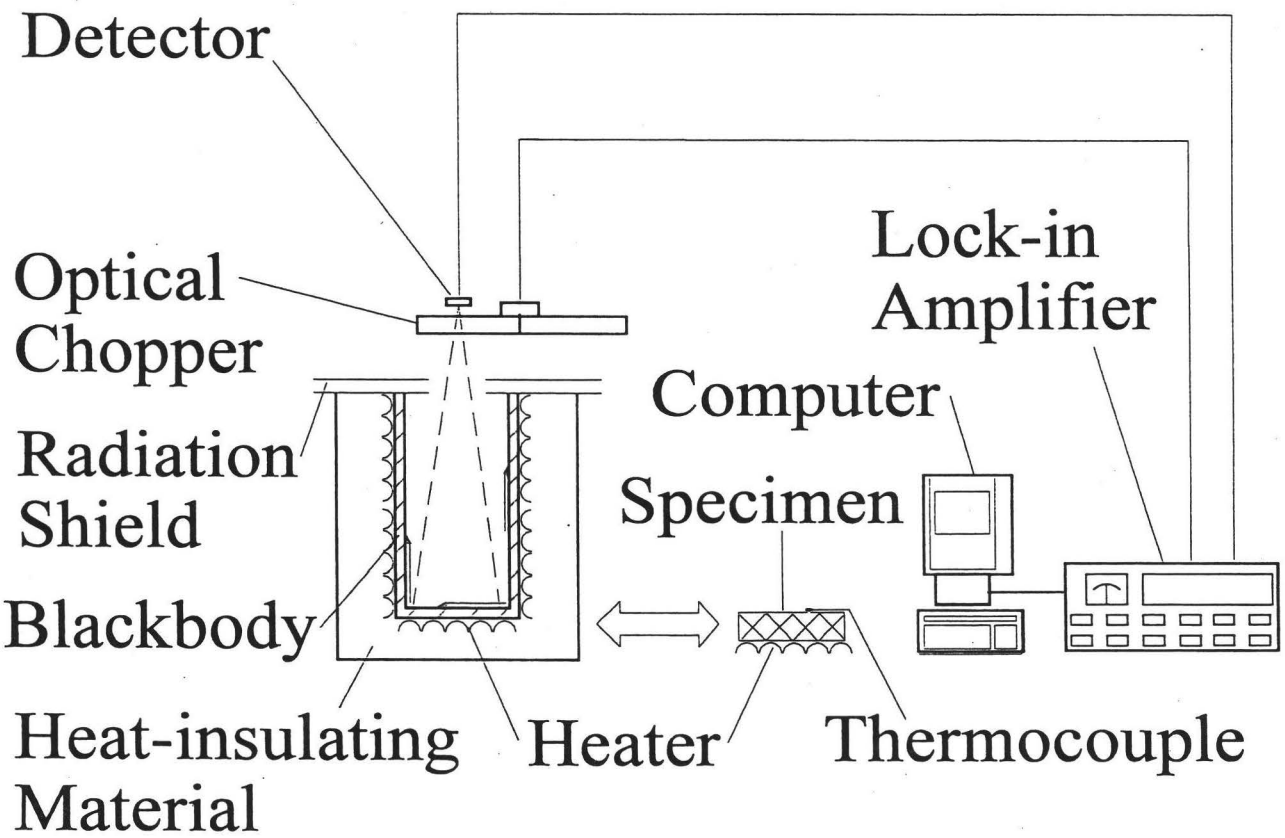

Optical Detector
Specimen
Lock-in
Amplifier
Iris
Digital
Volt Meter
Optical
Filter
Ellipsoidal
Mirror
Optical
Fiber
Ellipsoidal
Mirror
Lens
Light
Source
Spectrometer
Lens
Optical
Chopper
from Visible to Near
infrared Region
Light Source
Spherical
Concave
Mirror
Flat
Mirror
Optical Chopper
Middle Infrared Region

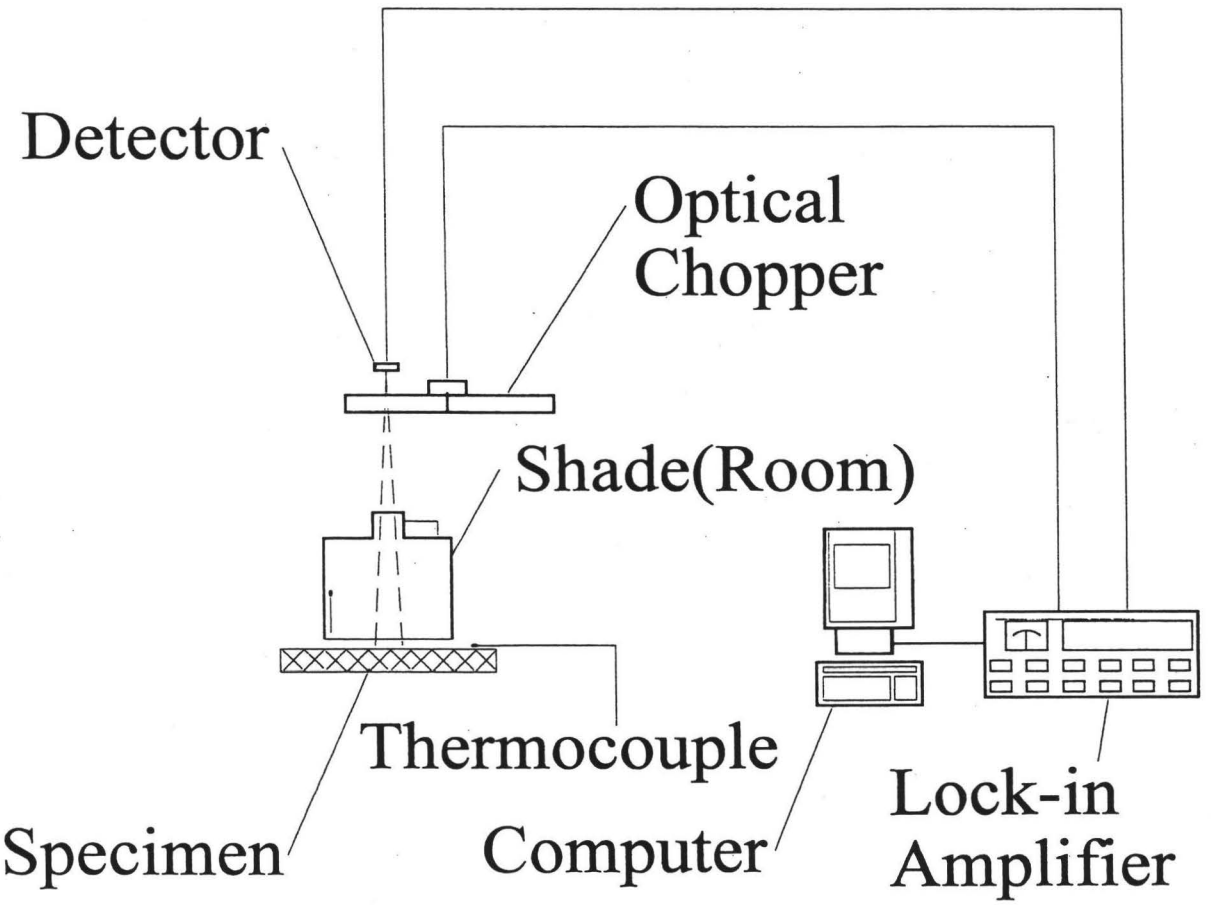

ThRh
Rayon & Pulp
Japanese cypress
Camphor
Tatami mat(Rush)
Rh
Th
λ μm
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1
2
3
4
5

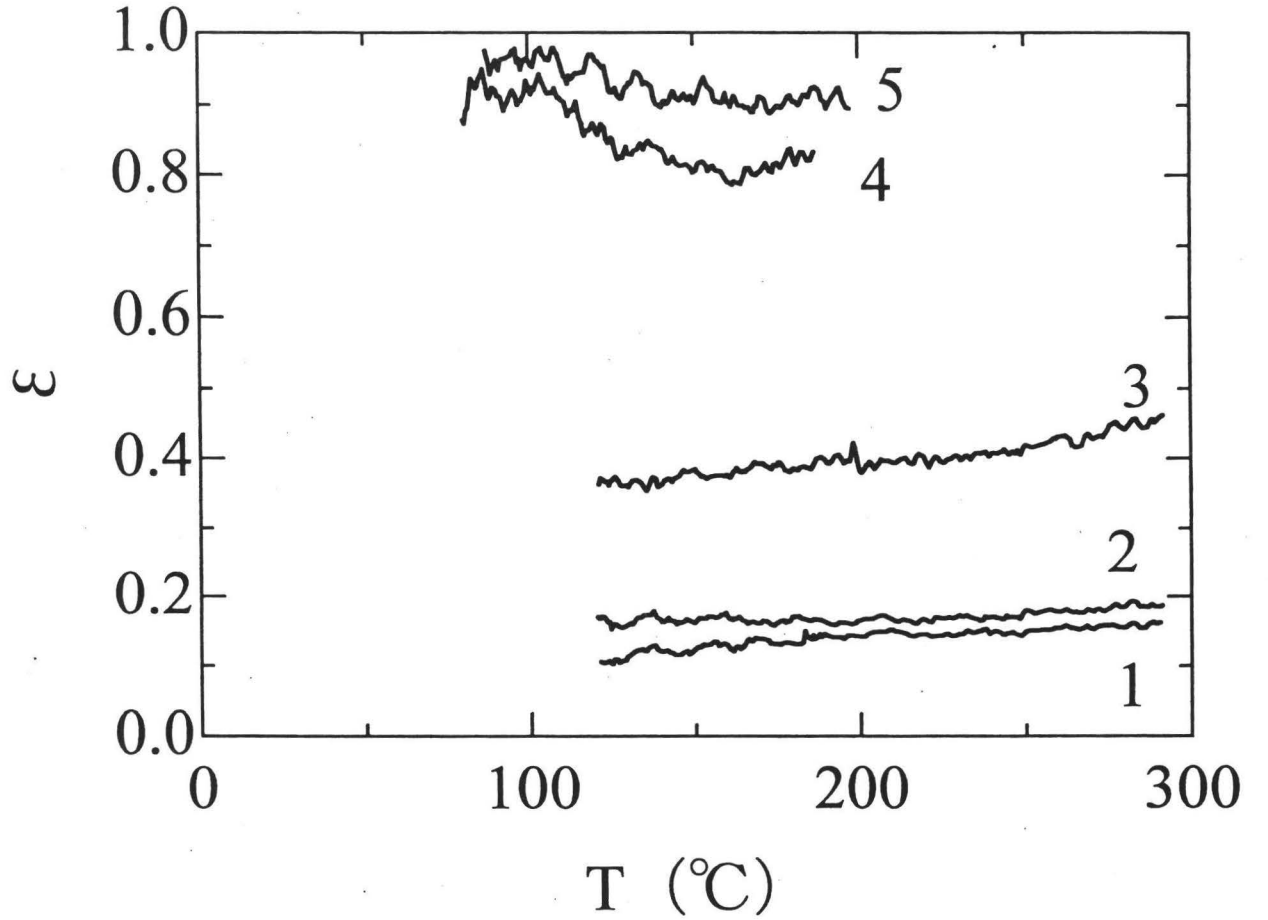

1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Rh
Brick
Concrete
Roofing tile
Asphalt
Stone
1
2
3
4
5
λ μm


τ ρ
Rayon pulp
Japanese cypress
Brick
Rush
0.85 μ m
ρ (θout)/Rh, τ (θout)/Th
sin 2 θout
0
1
2
0.2
0.4
0.6
0.8


τ ρ
○ ● 0.6 μ m
△ ▲ 0.85 μ m
Camphor
ρ (θout)/Rh, τ (θout) /Th
sin²θout
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
2


Detector
Optical Chopper
Radiation Shield
Blackbody
Heat-insulating Material
Heater
Specimen
Thermocouple
Computer
Lock-in Amplifier


Detector
Optical
Chopper
Shade(Room)
Thermocouple
Specimen
Computer
Lock-in
Amplifier


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
ω
0
100
200
300
T (℃)
1
2
3
4
5

１－23　環境対応型アルミ建材のための粉体塗装システムの研究

（アルミ建材のための粉体塗装研究会）

日本粉体塗装協同組合
委員長　茨城大学　竹内　学
事務局　　総務課　安井　晴彦

１．はじめに

消費者の価値観の多様化と品種削減という社会的潮流に相反する２つの要素中、主流無き時代へ突入し、商品のあり方を探っている昨今、個性的なデザイン、マイカラー志向の市場の中、様々な試みが行われている。

１９７０年代、アルミサッシの高度成長は電着塗装（アルマイトー電着クリアー：複合皮膜）の一人勝ちを皆で演出した結果、技術が画一化してしまい、新しい発想の妨げになってしまった。

２１世紀、国際化、消費者保護を狙い、建築基準法大改正の性能規定化は性能を自由に選択でき、上乗せ性能を発揮できる斬新な表面技術の開発が待たれている。

この複合皮膜は標準カラー（５色程度）のみ大量に安く市場に供給するマスプロダクトシステムとして世界の最先端をリードするに至っている。しかしながら、必ずしもユーザーの満足のいく商品を供給できているとは言えない。

アルミ建材にも潜在的な多色化ニーズは根強く存在していると考え、

①複合皮膜上の粉体塗装の性能試験
②建材分野におけるマイカラー化
③小ロット短納期対応の設備計画
④その供給ネットワーク

を確立するために研究調査を行った。

２．粉体塗装のアルミ建材への適用のための性能確認試験

２－１　試験方法

１）アルミニウム試験体の種類と塗装前処理条件

アルミニウム合金Ａ６０６３押出材のサッシ上枠とフラット状の２種類の断面型材を用い、長さ１５０㎜に切断し、粉体塗装前処理としては、表１の４種類で、主な処理条件を示す。

表１　粉体塗装前の塗装下地処理の条件

塗装下地処理	処　理　条　件
複合皮膜処理	常法による複合皮膜処理 硫酸アルマイト９μｍ－アクリルクリアー電着塗膜７μｍ
複合皮膜処理後ブラスト処理	上記の複合皮膜をシンナー脱脂後、ブリヂストン社製砥粒を用いエアー圧６kgでショットブラスト
アルマイト処理	常法の脱脂、エッチング、デスマット後、硫酸アルマイト９μｍの陽極酸化処理し、封孔処理を行った。
クロメート処理	常法のアルカリ脱脂、エッチング、デスマット後、クロメート処理１分浸漬後、シャワー水洗

２）粉体塗料の種類と主な条件

本研究ではアルミ建材用として推奨できるポリエステル樹脂系イソシアネート硬化粉体塗料を使用した。（表２）

表２　粉体塗料の特性と条件

粉体塗料名	平　滑	美　粧	柾　目	ハンマートン
色　　調	ホワイト 艶有り	オークイエロー 艶　中	木調 艶消し	濃いグレー 艶　中
粉体平均粒子径（μｍ）	４５	３８	－	５０
標準膜厚（μｍ）	５０～７０	３５～４５	１００～１２０	８０～１５０
焼付条件	１７０℃×２０分	１８０℃×２０分	１８０℃×２０分	１８０℃×２０分

３）試験方法

試験条件と評価判定方法を表３に示す。

表３　試験項目とその試験方法・評価判定方法

試験項目	評価判定方法／試験条件	外観	ゴバン目付着性	光沢（光沢保持率）	測色（色差）	沸騰水浸漬（５時間）	
						外観	ゴバン目付着性
初期物性	鉛筆硬さ デュポン衝撃	○	○	○	○	○	○
塩水噴霧試験	JIS Z 2371 に準ずる　1000 時間	○ ｸﾛｽｶｯﾄ	○	○	○	○	○
複合ｻｲｸﾙ試験	ISO 14993 に準ずる　50 サイクル	○ ｸﾛｽｶｯﾄ	○	○	○	○	○
ｷｾﾉﾝ照射試験	高ｴﾈﾙｷﾞｰ型 JIS K 5400 に準ずる　2000 時間	○ ｸﾛｽｶｯﾄ	○	○	○	○	○

2－2　試験結果

1）初期性能試験

試験に使用した各サンプルの塗装後の初期性能を確認した結果を表４～６に示す。

表４　初期性能試験(外観・ｺﾞﾊﾞﾝ目試験)

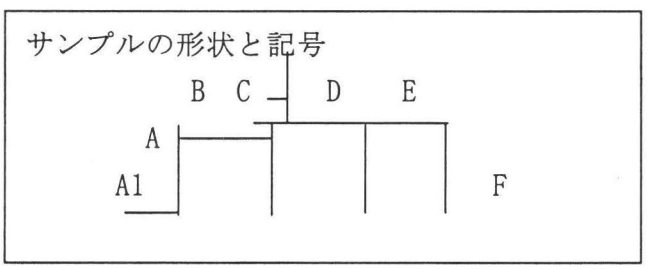
基材	前処理	塗装塗料	記号	外観の確認								ゴバン目			鉛筆硬度
			部位	A	B	C	D	E	F	C/B	D/E	X/100	点		
複合皮膜	－	－	C-00												
複合皮膜	－	平滑	C-0F	ロ	㋑	OK	OK	OK	OK	㋑	㋑	100,100	6,8		－
		美粧	C-0G	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	ロ	－	－		－
		柾目	C-0M	OK	㋑	OK	OK	OK	ロ	OK	OK	99,92	8,4	注1	－
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	C-0H	OK	㋑	OK	OK	OK	OK	OK	OK	－	－		－
複合皮膜	ブラスト処理	平滑	C-BF	－	－	－	－	－	－	－	－	100,100	10,10		H
		美粧	C-BG	－	－	－	－	－	－	－	－	100,100	8,8		H
		柾目	C-BM	－	－	－	－	－	－	－	－	100,100	10,10		H
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	C-BH	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		－
アルミ型材	アルマイト処理品	平滑	A-LF	－	－	－	－	－	－	－	－	100,100	10,10		－
		美粧	A-LG	－	－	－	－	－	－	－	－	100,100	10,10		－
		柾目	A-LM	－	－	－	－	－	－	－	－	100,100	10,10		－
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	A-LH	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－		－
アルミ型材	クロメート処理品	平滑	A-RF	OK	㋑	OK	OK	OK	OK	OK	イ	100,100	10,10		－
		美粧	A-RG	OK	イ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	－	－		－
		柾目	A-RM	イ	㋑	OK	OK	OK	OK	OK	OK	100,100	10,10		－
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	A-RH	OK	㋑	OK	OK	OK	OK	OK	イ	100,100	10,10		H

☆判定基準　x/100　：　1㎜各ｺﾞﾊﾞﾝ目試験で残ったｺﾏ数で表示

点　：　10点法で表示(優10←→0劣)

注1　：　ED層も取れる

図１　初期性能試験サンプルの断面形状



C/B：縦面Cと横面Bのｺｰﾅｰ部分

D/E：縦面Dと横面Eのｺｰﾅｰ部分

表５　試験に使用したサンプルの色彩に関するデータ

基 材	下地処理	塗 料	記 号	色　彩				光沢度
				L*a*b*			HV／C	
アルミサッシ電着膜		クリヤー	Cno-OO	81.73	-0.55	0.95	6.69GY 8.04/0.13	126.5
複合皮膜	無し	平滑	Cno-OF	92.73	-1.45	3.25	5.18GY 9.17/0.35	83.6
		柾目	Cno-OM	30.64	10.99	14.52	1.84YR 3.03/2.47	24.1
複合皮膜	ブラスト	平滑	Cno-BF	92.61	-1.44	2.98	5.52GY 9.16/0.32	91.5
		美粧	Cno-BG	63.28	7.81	31.92	1.72Y　6.27/4.94	49.4
		柾目	Cno-BM	30.13	10.80	9.01	1.46YR 2.97/2.41	23.5
アルミ	アルマイト	平滑	Ano-LF	92.80	-1.47	3.13	5.32GY 9.18/0.33	90.1
		美粧	Ano-LG	63.45	7.78	32.25	1.76Y　6.29/4.98	47.5
		柾目	Ano-LM	29.08	10.10	7.90	1.10YR 2.87/2.20	24.6
アルミ	クロメート	平滑	Ano-RF	92.61	-1.46	2.87	5.81GY 9.16/0.31	91.7
		柾目	Ano-RM	31.83	11.11	10.71	2.72YR 3.14/2.62	21.4
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	Ano-RH	35.69	0.34	-0.02	1.09R　3.47/0.05	38.3

試験サンプルの外観写真

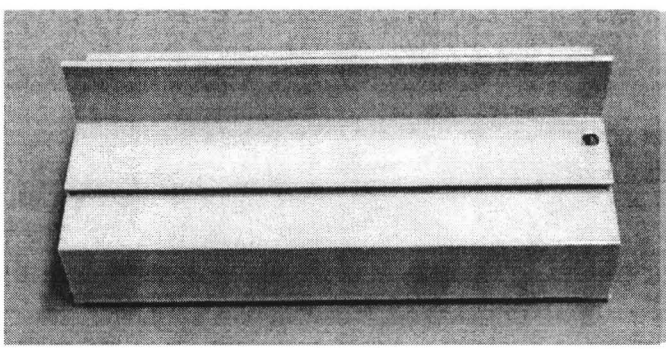


写真１　外観確認用サンプル（１）

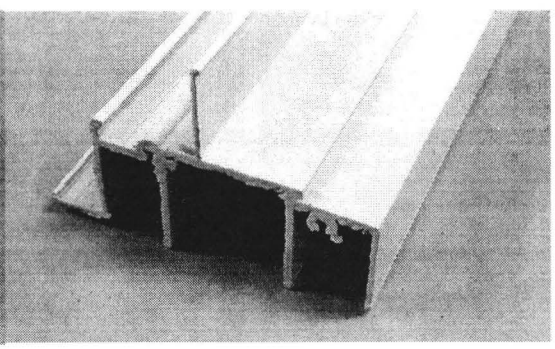


写真２　外観確認用サンプル（２）

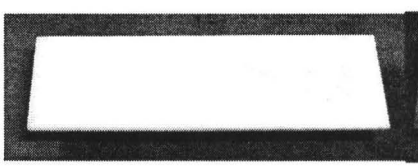


写真３
耐久試験用サンプル（平滑）

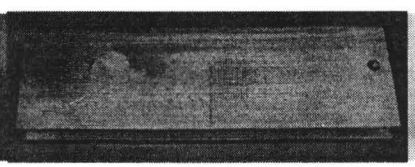


写真４
耐久試験用サンプル（柾目）

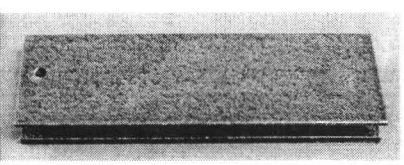


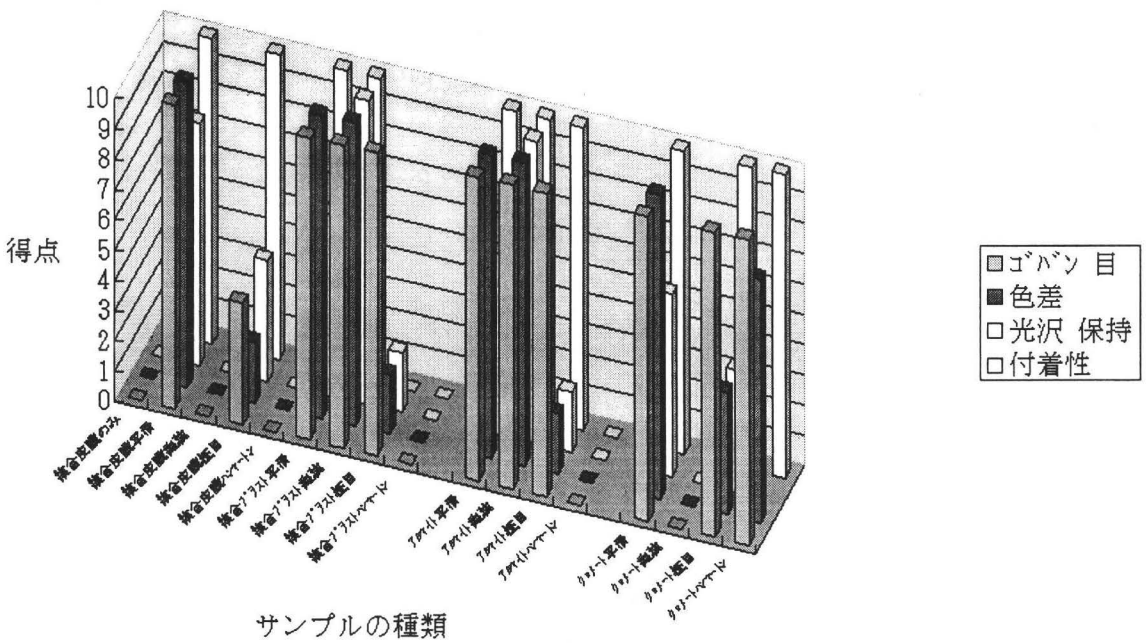
写真５
耐久試験用サンプル（ﾊﾝﾏｰﾄﾝ）

表６　初期性能試験結果

基材	下地処理	塗料	ｺﾞﾊﾞﾝ目			鉛筆硬度		沸騰水試験後				
			x/100	10点法				色差平均	光沢保持率 %	平均膜厚 μ	減耗量 μ	付着性 x/100
複合皮膜	無し	無し										
複合皮膜	無し	平滑	100,100	6,8				0.4	75.5	68	0.1	100,100
		美粧										
		柾目	99,92	8,4	注1			20.3	31.6	117	-11.4	100,100
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ										
複合皮膜	ブラスト処理	平滑	100,100	10,10		H		0.38	53	75.5	-1.1	100,100
		美粧	100,100	8,8		H		0.75	101.6	49	-1.8	100,100
		柾目	100,100	10,10		H		20.9	24.4	102	3.3	75,64
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ										
アルミ型材	アルマイト処理品	平滑	100,100	10,10				0.44	69	104	0.4	100,100
		美粧	100,100	10,10				0.54	100.9	65	0.1	100,100
		柾目	100,100	10,10				24	21	92	22.5	100,100
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ										
アルミ型材	クロメート処理品	平滑	100,100	10,10				0.39	53.6	61	-2.5	100,100
		美粧										
		柾目	100,100	10,10				18	29.2	126	-5.6	100,100
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	100,100	10,10		H		1.21	90.4	159	17.7	100,100

注意　：　EBも取れる

図２　　初期性能確認試験結果



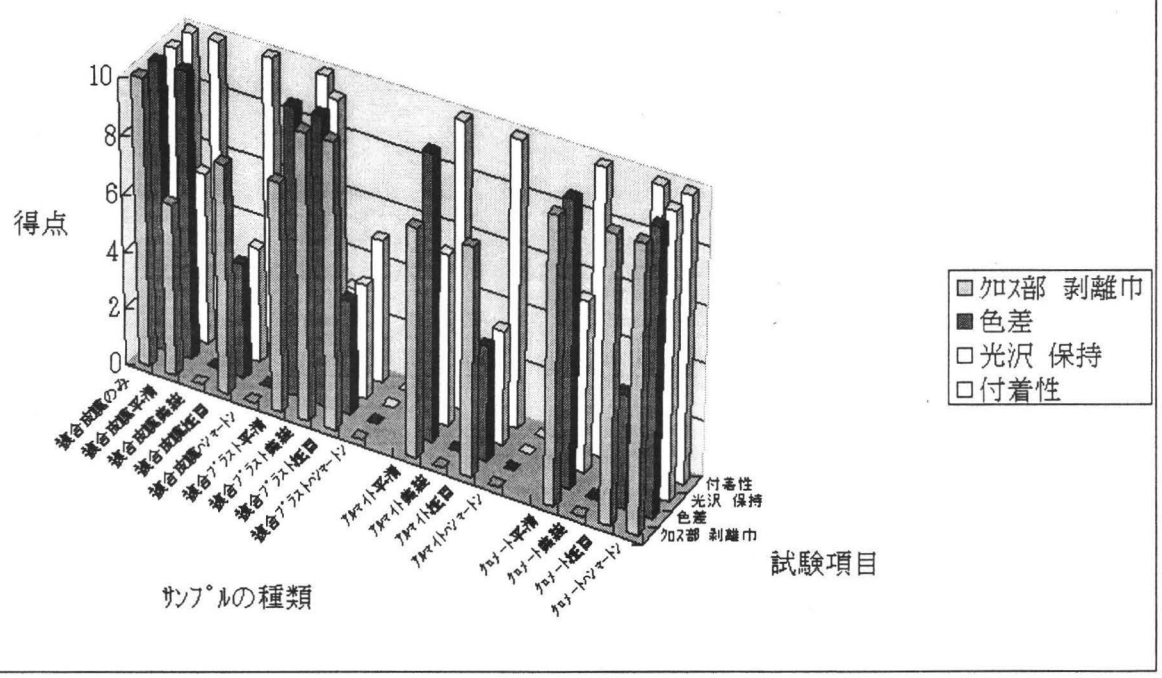
2）塩水噴霧試験

試験に使用した各サンプルの塗装後の初期性能を確認した結果を表７に示す。

表７　塩水噴霧試験結果

基材	下地処理	塗料	塩水噴霧直後 外観	塩水噴霧直後 クロス部剥離幅 mm			沸騰水試験後 色差平均	沸騰水試験後 光沢保持率 %	沸騰水試験後 平均膜厚 μ	沸騰水試験後 減耗量 μ	沸騰水試験後 付着性 x/100	総合評価 SST
複合皮膜	無し	無し	○	0	0		0.8	105.4	19.6	-0.5	100,100	10
複合皮膜	無し	平滑	○	0.8	0.4		0.33	70.8	95	0.9	100,100	8.0
		美粧										
		柾目	○	0	0.2		13	43.4	113	-8.6	100,100	6.5
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ										
複合皮膜	ブラスト処理	平滑	○	0.2	0.4		0.41	65.7	85	-0.5	100,100	8.5
		美粧	○	0	0		0.28	121.4	47	-1.9	96,94	8.3
		柾目	○	0	0		13.88	45.9	106	-8.6	100,70	5.8
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ										
アルミ型材	アルマイト処理品	平滑	○	0.2	0.5		0.38	72	84	-0.9	100,100	8.5
		美粧										
		柾目	○	0	0.2		14.82	37.3	134	-0.7	100,100	6.5
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ										
アルミ型材	クロメート処理品	平滑	○	0	0		0.36	68.3	74.3	-0.7	100,100	9.0
		美粧										
		柾目	○	0	0		14.9	32.7	123	-2.2	100,100	7.0
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	○	0	0		0.67	96.7	163	0	100,100	10.0

図３　塩水噴霧試験結果



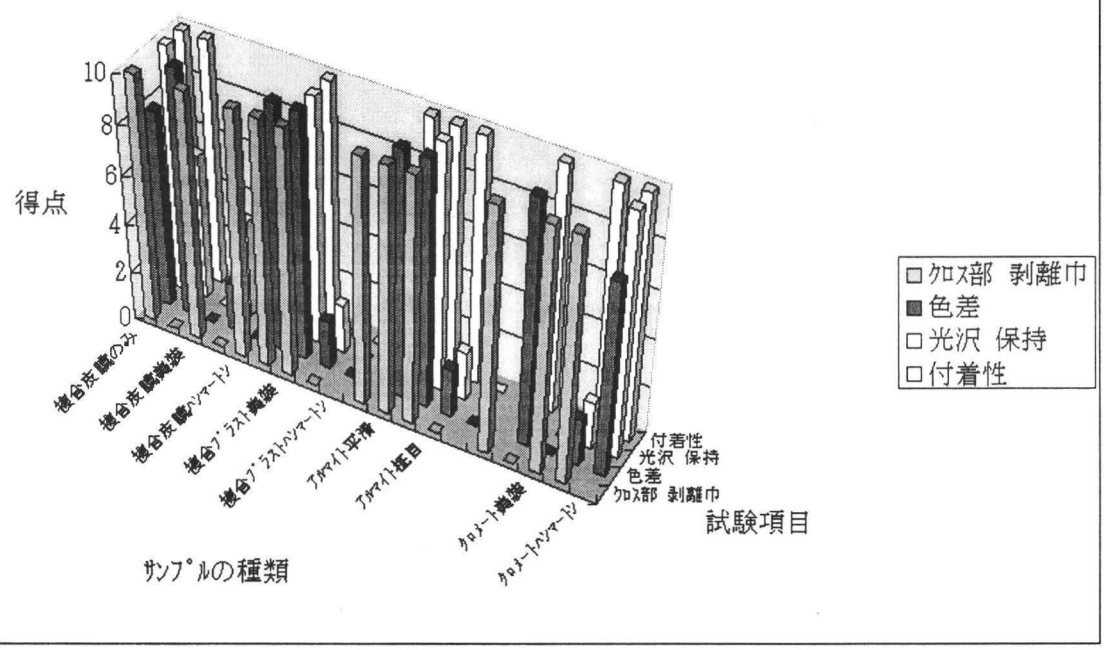
3）複合サイクル試験

試験に使用した各サンプルの塗装後の初期性能を確認した結果を表８に示す。

表８　複合ｻｲｸﾙ試験結果

基材	下地処理	塗料	CCT-ISO14993　50cyc 外観	CCT-ISO14993　50cyc クロス部剥離幅 mm			沸騰水試験後 色差平均	沸騰水試験後 光沢保持率 %	沸騰水試験後 付着性 x/100	総合評価 CCT
複合皮膜	無し	無し	○	0	0		1.68	105.8	100,100	9.5
複合皮膜	無し	平滑	○	0	0		0.44	64.5	100,100	9
		美粧								
		柾目	○	0	0		21.31	32.9	100,95	5.75
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ								
複合皮膜	ブラスト処理	平滑	○	0	0		0.36	61.2	100,87	7.75
		美粧	○	0	0		0.41	91.5	100,100	10
		柾目	○	0	0		21.73	22	82,72	3.5
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ								
アルミ型材	アルマイト処理品	平滑	○	0	0		0.31	74.3	100,100	9
		美粧	○	0	0		0.37	95.5	100,100	10
		柾目	○	0	0		22.4	24.7	100,100	6
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ								
アルミ型材	クロメート処理品	平滑	○	0	0		0.38	62.3	100,100	9
		美粧								
		柾目	○	0	0		24.76	18.8	100,100	6
		ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	○	0	0		1.58	97.5	100,100	9.5

図４　複合ｻｲｸﾙ試験結果



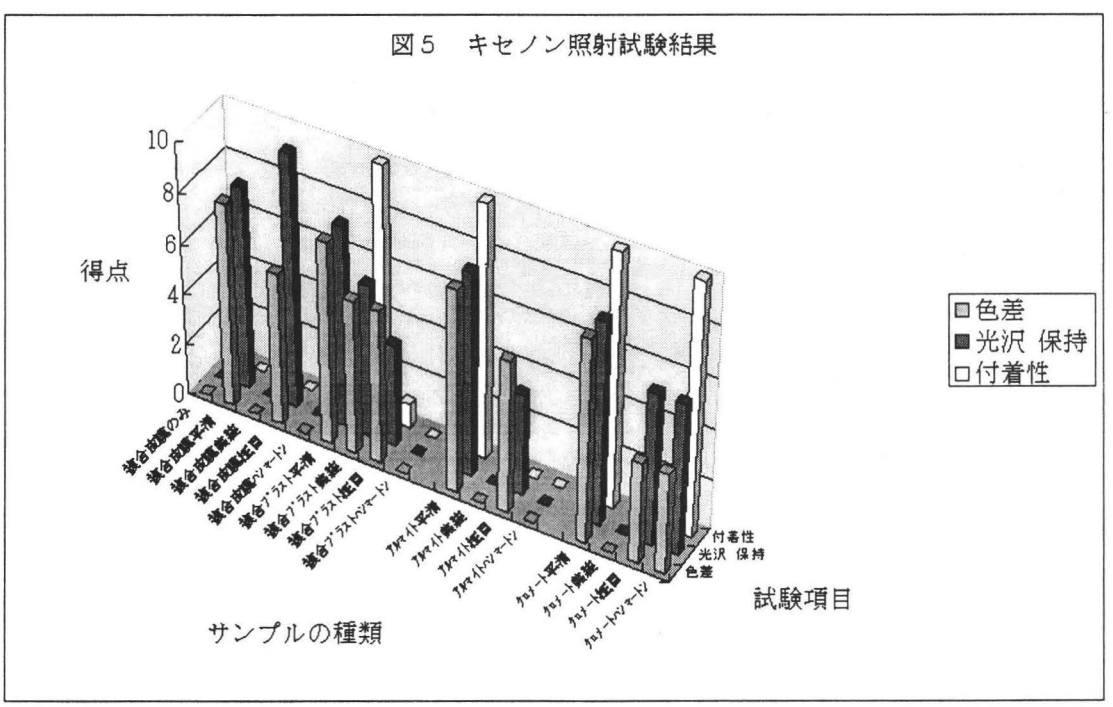
4）キセノン照射試験

試験に使用した各サンプルの塗装後の初期性能を確認した結果を表９に示す。

表９　キセノン照射試験結果

基材	下地処理	塗料	キセノン 2000HR 直後 外観	クロス部剥離幅 mm	色差	光沢保持率	沸騰水試験後 色差平均	光沢保持率 %	付着性 x/100	総合評価 キセノン
複合皮膜	無し	無し								
複合皮膜	無し	平滑	艶ひけ	0	1.9	22.8	1.52	85.9	70,82	6
		美粧								
		柾目		0	14.7	8.1	6.53	288.1	23,35	5.3
		ハンマートン								
複合皮膜	ブラスト処理	平滑	艶ひけ	0	1.8	26.3	1.78	79.5	60,42	6.3
		美粧	やや耐色	0	6.1	50.9	6.7	53.4	100,100	7.3
		柾目	耐色、艶ひけ、素地暴露	0	14.8	8.4	8.86	48.7	0,92	4.5
		ハンマートン								
アルミ型材	アルマイト処理品	平滑	艶ひけ	0	1.6	9.5	1.82	81.5	100,100	7.7
		美粧								
		柾目	耐色、艶ひけ、素地暴露	0	17.8	9.1	7.82	30.1	15,40	4.3
		ハンマートン								
アルミ型材	クロメート処理品	平滑	艶ひけ	0	1.6	18.1	1.78	79.1	100,100	7.7
		美粧								
		柾目	耐色、艶ひけ、素地暴露	0	9.5	7.2	10.57	66.4	5,90	4.3
		ハンマートン	耐色、艶ひけ	0	11.3	6.1	12.96	70.3	100,100	6

図５　キセノン照射試験結果



5）換算表

各試験結果について、下表の得点への変換処理を行った。

表１０　各試験結果の得点への換算表

試験評価項目	得点		ｸﾛｽ部の剥離幅	色差平均	光沢保持率	付着性
得点	10		0 ㎜	1	90 %	100A
１０点法	8		0.5	5	75	100
とする。	6		1	10	50	99
	4		3	20	25	95
	2					90

２－３　考察

１．塗装下地

１）初期物性試験(付着性、沸騰水試験による光沢保持率)

表１１　初期物性試験後の結果

塗装下地	粉体塗料	初期の付着性	沸騰水試験後の	
			色・光沢保持率	付着性
複合皮膜	平滑	10	9	10
	柾目	4	3	10
ブラスト	平滑	10	8	10
	柾目	10	2	0
アルマイト	平滑	10	8	10
	柾目	10	2	10
クロメート	平滑	10	8	10
	柾目	10	4	10
複合皮膜のみ	-	-	-	-

数値：評　価　値
10←－－→1
優　　劣

・一次物性の付着性は塗装下地として､「複合皮膜」のみゴバン目剥がれが若干ある。

・沸騰水試験によって、色差、光沢の変化があり、特に柾目模様の低下が著しい。沸騰水試験後の付着性の低下も複合皮膜ブラストに見られた。

２）塩水噴霧試験

表１２　塩水噴霧試験後の結果

塗装下地	粉体塗料	初期の付着性	沸騰水試験後の	
			色・光沢保持率	付着性
複合皮膜	平滑	6	8	10
	柾目	8	4	10
ブラスト	平滑	8	8	10
	柾目	10	4	5
アルマイト	平滑	8	8	10
	柾目	8	4	10
クロメート	平滑	10	8	10
	柾目	10	4	10
複合皮膜のみ	-	10	10	10

・塩水噴霧試験における平滑粉体塗膜で、クロメート処理以外で、クロス部の塗膜剥離が０．８～０．２㎜幅で見られた。但し、０．４㎜以下の判断は難しく、判定差は無いと言える。

・沸騰水試験後の二次付着性で「ブラスト処理」の柾目模様のみ劣った。
・複合皮膜自体は、塩水噴霧試験－沸騰水試験で異常なく、優れている。

3）複合サイクル試験

表１３　複合サイクル試験後の結果

塗装下地	粉体塗料	初期の付着性	沸騰水試験後の	
			色・光沢保持率	付着性
複合皮膜	平滑	10	8	10
	柾目	10	3	7
ブラスト	平滑	10	8	5
	柾目	10	2	0
アルマイト	平滑	10	8	10
	柾目	10	2	10
クロメート	平滑	10	8	10
	柾目	10	2	10
複合皮膜のみ	－	10	9	10

・複合サイクル試験では、クロス部の塗膜剥離、ふくれは無い。
・沸騰水試験後の２次付着性では、「ブラスト処理」はいずれの塗膜とも劣った。「複合塗膜」も２次付着性がやや劣った。
・「複合皮膜自体」「クロメート」「アルマイト」は２次付着性も含め、優れている。
・複合サイクル－沸騰水試験の組み合わせによって、塗膜下地の効果(影響)を評価することができる。

4）キセノン試験

表１４　キセノン照射試験後の結果

塗装下地	粉体塗料	初期の		沸騰水試験後の	
		付着性	色・光沢保持率	色・光沢保持率	付着性
複合皮膜	平滑	10	5	8	0
	柾目	10	3	8	0
ブラスト	平滑	10	6	8	0
	柾目	10	3	5	1
アルマイト	平滑	10	5	8	10
	柾目	10	3	5	0
クロメート	平滑	10	5	8	10
	柾目	10	4	5	0
複合皮膜のみ	－	－	－	－	－

・キセノン照射試験で、クロス部の塗膜剥離、ふくれ等の異常はない。
・キセノン照射２０００時間による粉体塗膜の色差、光沢保持率とも低下した。キセノン照射による塗膜劣化があり、２次付着性の低下も見られ「アルマイト」「クロメート」も柾目模様での低下が著しい。

5）粉体塗料別試験の結果

表１５　粉体塗料別試験結果集計表

基材	下地処理	塗料		外観	初期物性試験			塩水噴霧 1000hr			複合ｻｲｸﾙ試験 ISO14993			ｷｾﾉﾝ 2000HR			
					直後	沸騰水試験後		直後	沸騰水試験後		直後	沸騰水試験後		直後		沸騰水試験後	
				外観確認	ｺﾞﾊﾞﾝ目	色差 光沢	付着性	ｸﾛｽ部剥離巾	色差 光沢	付着性	ｸﾛｽ部剥離巾	色差 光沢	付着性	ｸﾛｽ部剥離巾	色差 光沢	色差 光沢	付着性
複合皮膜	無し	無し		10	－	－	－	10	10	10	10	9	10	－	－	－	－
複合皮膜	無し	平滑		10	10	9	10	6	8	10	10	8	10	10	5	8	0
複合皮膜	ブラスト処理			－	10	8	10	8	8	10	10	8	5	10	6	8	0
アルミ型材	アルマイト処理品			－	10	8	10	8	8	10	10	8	10	10	5	8	10
アルミ型材	クロメート処理品			10	10	8	10	10	8	10	10	8	10	10	5	8	10
複合皮膜	無し	柾目		10	4	3	10	8	4	10	10	3	7	10	3	8	0
複合皮膜	ブラスト処理			－	10	2	0	10	4	5	10	2	0	10	3	5	1
アルミ型材	アルマイト処理品			－	10	2	10	8	4	10	10	2	10	10	3	5	0
アルミ型材	クロメート処理品			10	10	4	10	10	4	10	10	2	10	10	4	5	0
複合皮膜	無し	美粧		10	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
複合皮膜	ブラスト処理			－	10	10	10	10	10	3	10	10	10	10	6	6	10
アルミ型材	アルマイト処理品			－	10	10	10	－	－	－	10	10	10	－	－	－	－
アルミ型材	クロメート処理品			10	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
複合皮膜	無し	ﾊﾝﾏｰﾄﾝ		10	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
複合皮膜	ブラスト処理			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
アルミ型材	アルマイト処理品			－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
アルミ型材	クロメート処理品			10	10	9	10	10	10	10	10	9	10	10	3	5	10

・塩水噴霧、複合サイクル試験で「平滑」「薄膜美装」「ﾊﾝﾏｰﾄﾝ」は良好な結果が得られている。

・キセノン照射後では、「柾目」「ハンマートン」の２次付着性の低下・色差・光沢保持率の低下も著しい。

・ポリエステル系の「平滑」でもキセノン照射による色差、光沢保持率の評価は低い。

2－4　まとめ

1）塗装下地別

表１６　塗装下地別の耐久性ランク

試　験　法	評　　価			
	◎優	○良	△可	×不可
ゴバン目	クロメート アルマイト	複合皮膜	ブラスト	
塩水噴霧	クロメート	アルマイト 複合皮膜		ブラスト
複合ｻｲｸﾙ試験	クロメート アルマイト	複合皮膜		ブラスト
キセノン照射	クロメート	アルマイト	複合皮膜	ブラスト

・試験に供試したいずれの粉体塗膜共、沸騰水試験、キセノン照射試験（２０００時間）による色差低下、光沢保持率の低下が著しく、劣化した。

塗装下地処理としては「クロメート」「アルマイト」が優れ、次いで「複合皮膜」となった。

「複合皮膜」上への粉体塗膜の併せ塗装も高耐候性の塗膜の適用によって可能である。

2）塗料別

表１７　塗料別耐久性ランク

試　験　法	評　　価			
	◎優	○良	△可	×不可
初期物性 塩水噴霧 複合サイクル	複合皮膜自体 平滑、柾目 薄膜美装 ﾊﾝﾏｰﾄﾝ			
キセノン照射		平滑	ﾊﾝﾏｰﾄﾝ	柾目

①アルミ建材で、粉体塗膜の特徴を発揮できるのは屋外仕様（カーテンウオール、エクステリア、外装パネルなど）であり、広く使用されている複合皮膜、有機着色塗膜（フッ素、シリコンベース）のアルミ建材性能要求（評価　◎・１０・優）に対してポリエステル系「平滑」「薄膜美装」においても耐候性向上策も必要である。

②アルミ建材への適用をねらっての粉体塗膜の塗装下地処理として、「クロメート」「アルマイト」が優れていた。

③耐食性試験としては、複合サイクル試験（５０サイクル）と、２次付着性の沸騰水試験（５時間）の組み合わせ試験によって耐食性の評価ができる。

耐候性試験はキセノン（高エネルギータイプ）照射試験（２０００時間）が評価法の目安に活用できる。

④複合塗膜上への併せ塗装には、高耐候性を有する塗装である必要がある。

2－5　今後の課題

平滑、薄膜美装タイプのポリエステル系で、複合皮膜同程度以上の高耐候性を有する粉体塗料の開発が望まれる。

引き続きこの研究の準備検討を行っている。

粉体塗料用ポリエステル樹脂の耐食性向上はポリエステル樹脂の官能基である水酸基、カルボン酸基を用い、各種の硬化剤が組み合わせ、樹脂の改良として、イソフタル酸を用い、ブロックイソシアネート硬化用水酸基含有耐候性ポリエステル樹脂によって耐候性は大幅な改善が期待される。

3．アルミ建材のイメージアップ方策

1）粉体塗装の特性アピール

アルミ建材表面処理の性能規定化への対応の建設会社、ハウスメーカー、設計事務所への軽金属製品協会のヒアリング調査報告によると、

性能規定によって商品のバラエティー、多様性が発揮されることが歓迎されている。そして耐久性ランクが出来れば自由度が生まれ、特にハウスメーカーとしても付加価値を求めての上乗せなど活路が見えると期待されてもいる。

そして建材ユーザーが新しい仕上げ材を採用するには、

①市場用に流通し、安定供給できる体制があること。

②性能品質が保証できること。

③経済的にも魅力のあること。

④建築設計監理者に認知されるオフィシャルな技術資料が提供されていること。

建築関係者の材料別評価認識は、ステンレス鋼が高級品イメージで、アルミニウムは安っぽいイメージになっている。

この評価打破には、重厚感、色調の自由度、触感など五官に働きかけ、ステータス、見栄えを強調することと、アドバイスされた。

アルミ表面処理の面から見た特性・機能・イメージの比較調査結果を表１８に示す。

調査は各特性値項目について、優れる（３点）、並（２点）、劣る（１点）とし、関係者にヒアリングを行い、集計したもの。

アルミ表面処理法はアルマイト－電着塗装クリアーの「複合皮膜」と「粉体塗装塗膜」について行ったもの。

その結果、プラスチック製品との対比では、粉体塗装塗膜の評価が高い。特に重厚感、高級感、温かさ、表面質感などに特徴がある。

このように粉体塗膜は建築関係者の材料評価認識のアルミニウムのイメージアップに最適な表面処理法であることが改めて分かる。

表１８　表面処理の面から見たアルミ製品とプラスチック製品の比較調査結果

＊：○印　注目点、※印　検討点

	項目	重要度	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	複合皮膜	粉体塗膜	＊		項目	重要度	ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	複合皮膜	粉体塗膜	＊
物理的特性	耐久性	A	2.5	2.3	2.4		感性	重量感	B	1.8	1.6	2.7	○
	耐候性	A	2.5	2.4	2.1			重厚感	B～A	2.0	1.4	2.8	○
	硬さ	B	2.3	1.9	1.9			高級感	A～B	1.9	2.2	2.8	○
	強さ	B	2.0	1.9	2.0			クール	C	2.0	2.5	1.7	
	耐キズ	B～A	2.3	1.6	2.0	○		温かさ	B	2.5	2.0	2.8	○
	耐曲げ	B	2.0	1.9	1.7			柔軟性	B	2.3	1.3	2.2	
	衝撃	B	1.8	1.9	2.0	○		明るさ	B	2.5	2.2	2.2	
	振動吸収	B	2.5	1.0	1.9	○		心地よい	B	2.3	2.2	2.2	
	ｸｯｼｮﾝ・弾力	B	2.8	1.0	1.4			表面質感	A～B	2.5	2.3	2.5	○
	導電	C	1.5	1.0	0.9			滑らかさ	A～B	2.5	2.5	1.8	※
	減衰	C	1.0	0.3	0.4			金属感	B	1.5	2.2	1.6	
	消音効果	B	2.0	0.7	1.7	○		ﾒﾀﾘｯｸ	B	2.0	2.2	1.8	
	摩耗	B	2.3	1.7	2.1			快適性	C	2.3	2.2	1.2	
	電気抵抗	C	1.5	0.9	1.7		生産性・循環型	省機械加工	A	2.0	2.0	2.0	
化学的特性	耐食性	A	2.5	2.1	2.7	○		省ﾏｽｷﾝｸﾞ	A	0.8	1.5	2.0	
	耐ｱﾙｶﾘ	A～B	2.5	2.1	2.7	○		精密	B	1.8	1.2	1.0	
	耐酸性	B～A	2.5	2.0	2.9	○		印刷性	B	2.5	1.7	2.1	
	耐溶剤性	B～A	2.0	1.9	2.7	○		量産	A	2.8	2.8	2.3	※
	耐汚染性	B	2.5	2.1	1.7			製造ｺｽﾄ	A	2.3	2.2	2.8	○
	耐結露性	B	2.3	1.3	2.0	○		省ｴﾈ	A	1.8	1.3	2.5	○
	ﾒﾝﾃﾅﾝｽ	B	1.3	1.9	1.1	※		環境保全	A	1.8	1.8	2.8	○
	耐薬品	A～B	2.3	2.0	2.7	○		リユース	A	2.3	1.0	1.8	
	耐湿潤	B	2.5	1.6	2.7	○		ﾘｻｲｸﾙ	A	2.3	0.8	2.2	
	耐水性	A～B	2.5	2.1	2.6	○		再現性	A	2.3	1.7	2.3	
機能性	抗菌	B	2.3	1.3	2.3	○	品質管理他	均一品質	A	2.5	2.3	2.3	
	防かび	B	2.3	1.3	2.2	○		リコート	A～B	0.8	1.2	2.3	
	調湿	B	1.5	0.7	0.5			補修性	B	1.0	1.7	2.0	
	断熱	B	2.5	1.2	1.8			保全･安全	A	1.8	1.8	2.6	
	保温	B	2.5	1.2	1.7			色調自由度	A	2.3	1.5	2.0	
	温湿調整	C	1.3	0.7	0.8			色種数	A	2.0	1.2	1.5	
	蛍光	C	2.3	0.7	1.5			色ムラ	A	2.0	2.0	2.0	
	光沢変化	B	1.3	1.5	1.7			均一光沢	A	2.0	2.0	2.5	○

２）環境循環型社会対応に最適な表面処理

安全で地球に優しい生活環境づくりは生態系の一部としての生活の場＝環境というトータルな視点が不可欠となって、地球環境保全がクローズアップされる中で、地球負荷の小さいクリーンな塗装は粉体塗装である。

大気汚染防止法に関しては、米国が先行し、１９６３年。ドイツでは１９７４年に制定され、技術レベルの目処がついた。

１９８６年からＶＯＣ（揮発性有機化合物）の排出削減の厳しい規制が始まっている。

今後、日本でも地球環境の環境改善から各地で規制が始まる。

この点、表１９のように、粉体塗料はＶＯＣを含まない環境に優しい塗料と言える。ＶＯＣ削減の決め手は粉体塗装である。

（社）日本塗装工業会報告によると、生産された塗料約２００万トンの半分は有機

溶剤で、大半は大気中に放出されていると推定される。主成分のトルエン、酢酸エチルなどはＶＯＣとして適切な処理が求められているが、必ずしも効果的な対策は取られていない。

表１９　粉体塗料・水性塗料・溶剤塗料の特徴

項　　目		粉体塗料	水性塗料	溶剤塗料
組成	固形分	１００％	２０～５０％	４０～７０％
	媒体	空気	水／溶剤	溶剤
塗装	被塗物	金属	全般	全般
	作業性	○	△	◎
	焼付	１５０℃～	常乾～	常乾～
	回収	可能	難しい	難しい
	ガス	発生無し	水／溶剤	溶剤
塗膜	性能.	○	△	◎
	外観	△	○	◎
	最低μ	３０	２０	１５
コスト	塗料代	（総合的に考えないと難しい）		
ＶＯＣ	g/m2	０	２０～４０	１００以上

塗装系別の環境対応性を表２０に示したが、リデュース、リユース、リサイクルの点から粉体塗装が最も優れている。

だが、溶剤フリーの粉体塗料への移行が提案されて久しいが、さほど普及していないのが実態である。

表２０　塗装系別の環境対応性

		溶剤型	水系	粉体系	法　律
作業環境	溶剤	×	○	○	労働安全法
	臭気	×	○	○	
可燃物		×	○	○	消防法
排水		×	△	○	水質汚染防止法
廃棄物処理		△	△	○	廃棄物法
周辺環境	臭気	×	△	○	悪臭防止法
	大気汚染	×	○	○	都道府県条例

○対応可。△要注意、×不可

その理由は、建築関係・アルミ建材メーカー関係の設計者・技術者に粉体塗装が認知されていないことにある。

そのためには、開発設計、デザイナーの方をはじめ建材ユーザーの方々に粉体塗装の特性をアピールすることにある。

その主な内容は

①色選択・色替が容易に出来るようになった。

②アルミの安っぽさから重厚感、表面質感、風合い、弾力性など高級感が出せる。

③トータル的に経済性があり、環境保全のイメージアップになる。

など易しい解説、ビジュアルによる技術資料の編集にある。

4．カラーカードシステムによる小回り供給サポート

1）粉体塗装市場の問題点

欧米では大いに粉体塗装が使用されているが、日本では全塗料のシェア１．４％と微量である。よって、粉体塗料の流通として小ロット（新規発注３００kg以上、参考：水系塗料の試作時１～２kg、量産時　５０～６０kg）、多色（色数が５０色位程度しか在庫していない）、短納期（新規の納期３～４週間必要）の要求に応じきれていない。

粉体塗料の色が自由に選べず、ユーザーからの新規色対応に簡単に色合わせができなかった。

商品の色の決定は商品設計時において重要なポイントであり、色の決定は社内で色決定が行われている。

色の決定には何らかのカラーカード、標準色見本帳が用いられる。

注文者には、特注色を要求する感覚は全くなく、希望色が在庫していて、直ぐに塗装サンプルが提出されることを望んでいる。

2）カラーカード・色決め

使用者の立場に立って、必要な色、必要な量、必要な納期で入手できるように、粉体塗料の供給体制を水系・溶剤系の塗料並に色数（常備５２０色）整備の粉体塗装標準色見本帳が完成できた。

カラーカードから希望色を選択し、必要な時に、必要な量（特に１kgの少量から）入手でき、原則３日以内に納入できる。

一般に利用されているカラーカードについて　表２１にまとめた。

ＪＡＰＣＡカラーカードの特徴は、色の改定・廃止が無く、選ぶ立場から選択肢が広く、実際の質感が見られる。

表２１　塗装・塗料系でよく使用される色見本帳

	ＪＡＰＣＡ	日塗工	マンセル	DIC,ﾊﾟﾝﾄｰﾝ
掲載色数	５２０	３４０	８００etc 各種	１０００以上
国際性	国際色 RAL 基準	ﾏﾝｾﾙより抜粋	国際的学術数値	DIC は日本国内 ﾊﾟﾝﾄｰﾝは国際色
改定・廃止 etc	変更無し	隔年変更	変更無し	変更無し
特徴　長所	艶、模様、質感を含めた塗装色の見本帳	日本国内建築用途向け色見本帳	数千色の色を規定、掲載	色数が多く選定には便利
短所	平成 12 年度に制定したばかりの新しい色見本帳	日本国内のみで通用、塗装色見本帳ではない	色に関する規定ﾃﾞｰﾀﾘｽﾄであり、見本帳ではない	印刷、ﾃﾞｻﾞｲﾝ用であり工業塗装用ではない。

商品設計者からのフローステップを　表２２に示すが、カラーカードの役割が大きい。

粉体塗料の在庫状況を常に検索できる小ロット・多色・短納期対応システムの実現に期待されるカラーカードである。

表２２　ＪＡＰＣＡカラーカードの概念図

分野 ｽﾃｯﾌﾟ	作業	ﾕｰｻﾞｰ		塗　装			ツール	業務・ ｻｰﾋﾞｽ
		ﾃﾞｻﾞｲﾅｰ 商品設計	生産	営業	ﾒｰｶｰ	工場		
商品設計	色の決定	◎					ｶﾗｰｶｰﾄﾞ	
試作	表面仕上 etc.仕様 設定		◎	○			「粉体塗装資料」	環境対応 機能性付与 常備在庫
量産	粉体塗装			○	○		性能ﾃﾞｰﾀ	
					◎	○	見本板	色合わせ
						◎		品質管理

◎：主として進められる。　○：進められる。

5．アルミ建材用小回りの利く連結コーティング装置

既存・既設のアルミ建材アルマイト（複合皮膜）ラインから連結コーティグ装置（図６　アルミ建材用パウダーコーティング装置）を武器に薄膜美装は無論、木調模様、ハンマートンメタリック、まだら模様、凸凹模様、光輝材の意匠そして抗菌性などの機能も併せ、表面仕上げ膜を形成し、付加価値を高めることができる。装置の特徴は

①アルカリ洗浄などの多工程の前処理を不要にできる。

②設備本体もシンプル・コンパクトである。

③設置スペースはコンパクトにできる。

④養生フィルム・ラップを不要にできるケースもあるなど廃棄物処理を削減できる。

⑤水系・廃水処理が不要である。

6．おわりに

この調査研究によって、環境対応型のアルミ商品の使用分野拡大に（多色・高性能・機能性のある。室内汚染物質のない。短納期対応によって。）寄与できる事が判った。

また、アルミ建材の評価打破には、重厚感・高級感・表面質感等の見栄えを強調する事にあることが判った。

粉体塗装塗膜は、材質感・色調自由度・質感の表面意匠性を発揮できる特徴を有している。

そして環境・室内汚染物質がなく、環境保全に役立ち塗装システム（複合皮膜－粉体

塗装）の技術的確立は品質安定・短納期対応が図られることになる。

以上のことを商品開発者・商品デザイナー等に教宣することが、アルミ建材等の生産関係者より熱い視線を浴びること間違いなく、アルミ需要拡大につながることが大いに期待される。

謝辞：本研究は（財）トステム建材産業振興財団　平成１２年度研究助成受託により、日本粉体塗装協同組合：アルミ建材のための粉体塗装研究会で実施したものである。貴財団と研究会関係各位のご協力に深く謝意を表する。

図6　アルミ建材用パウダーコーティング装置

Electrostatic Powder Coating Line Lay-Out

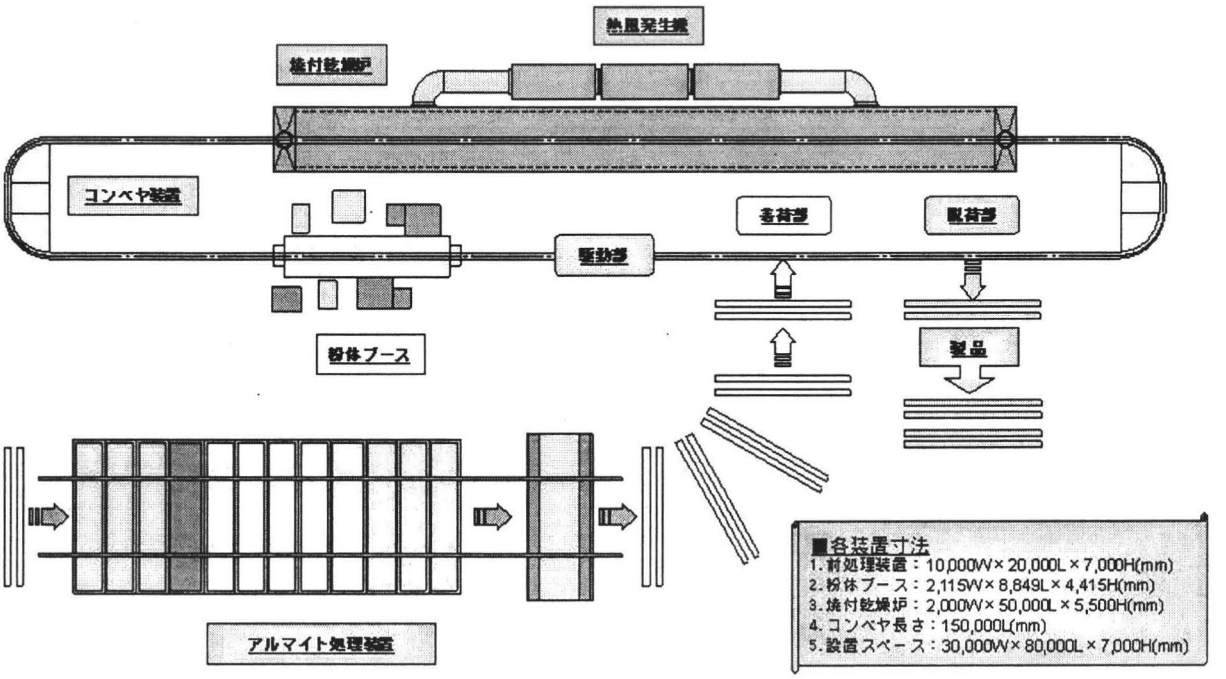


図6（補足資料）　コンパクトマルチカラーブースシステム

Powder Coating System C-MCB System

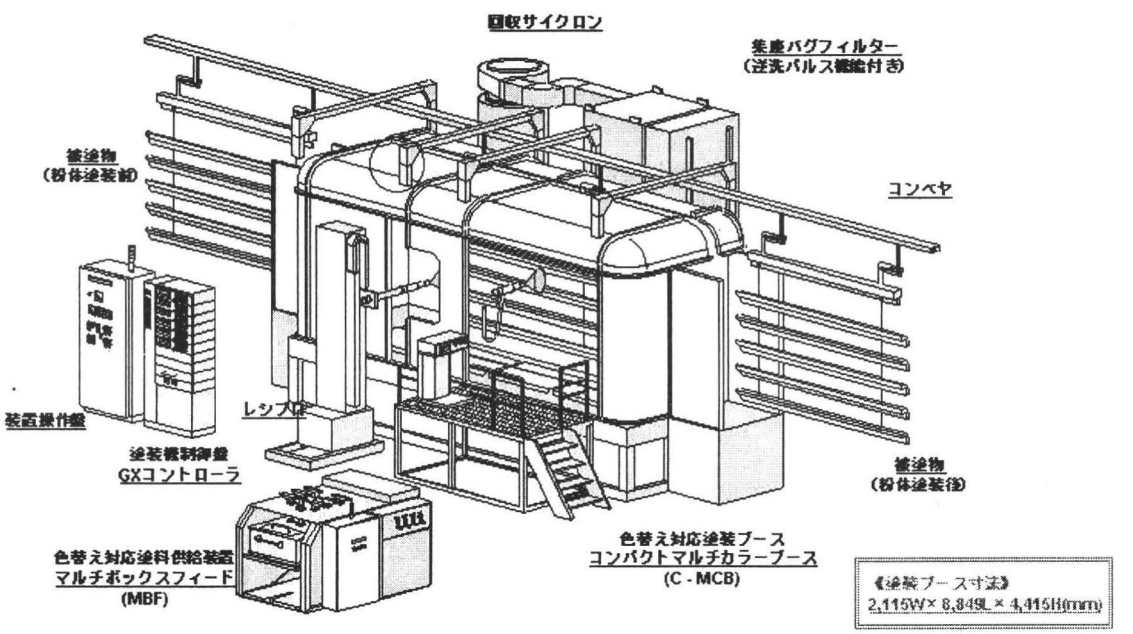


写真1ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ外観. jpg

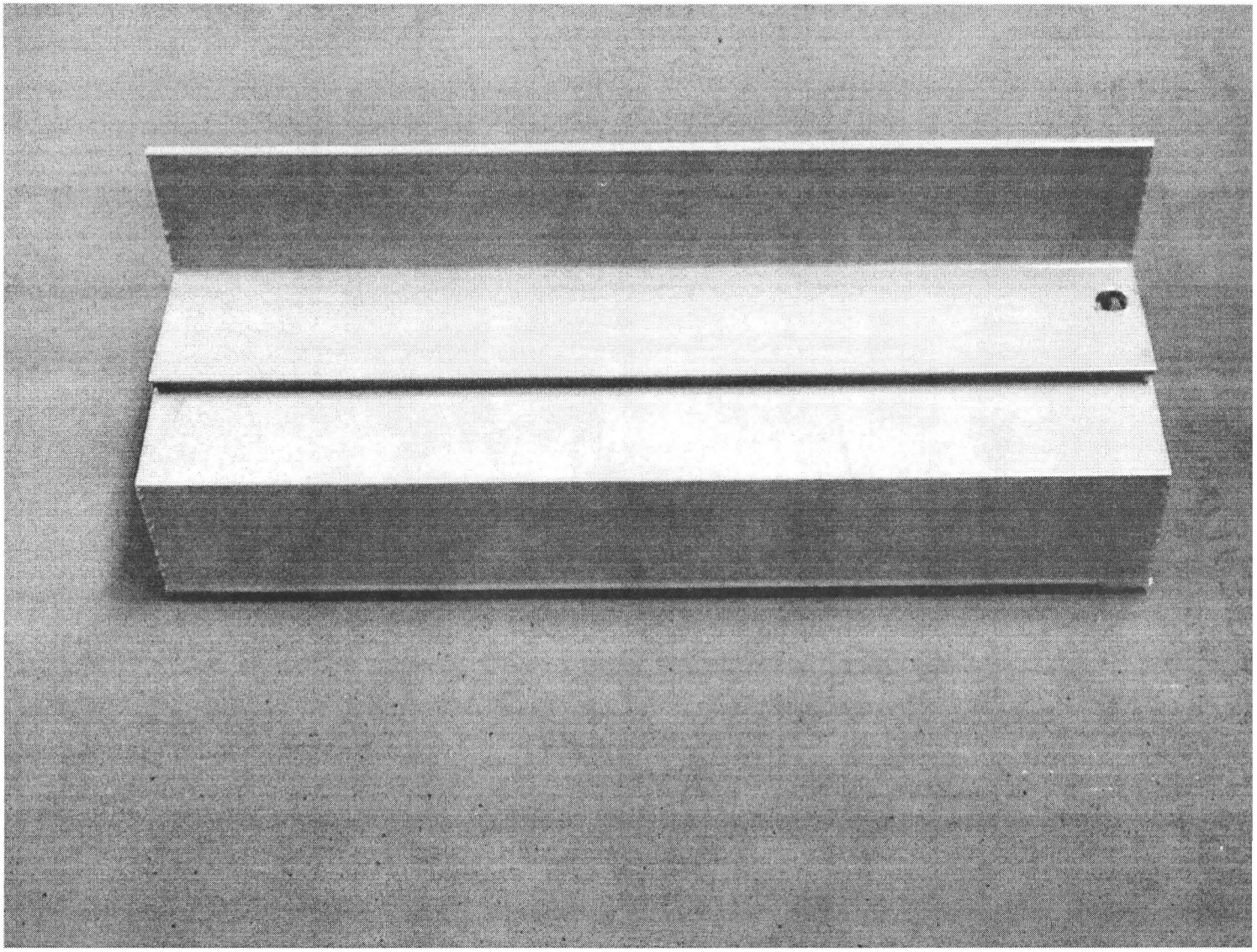


写真2ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ木口.jpg

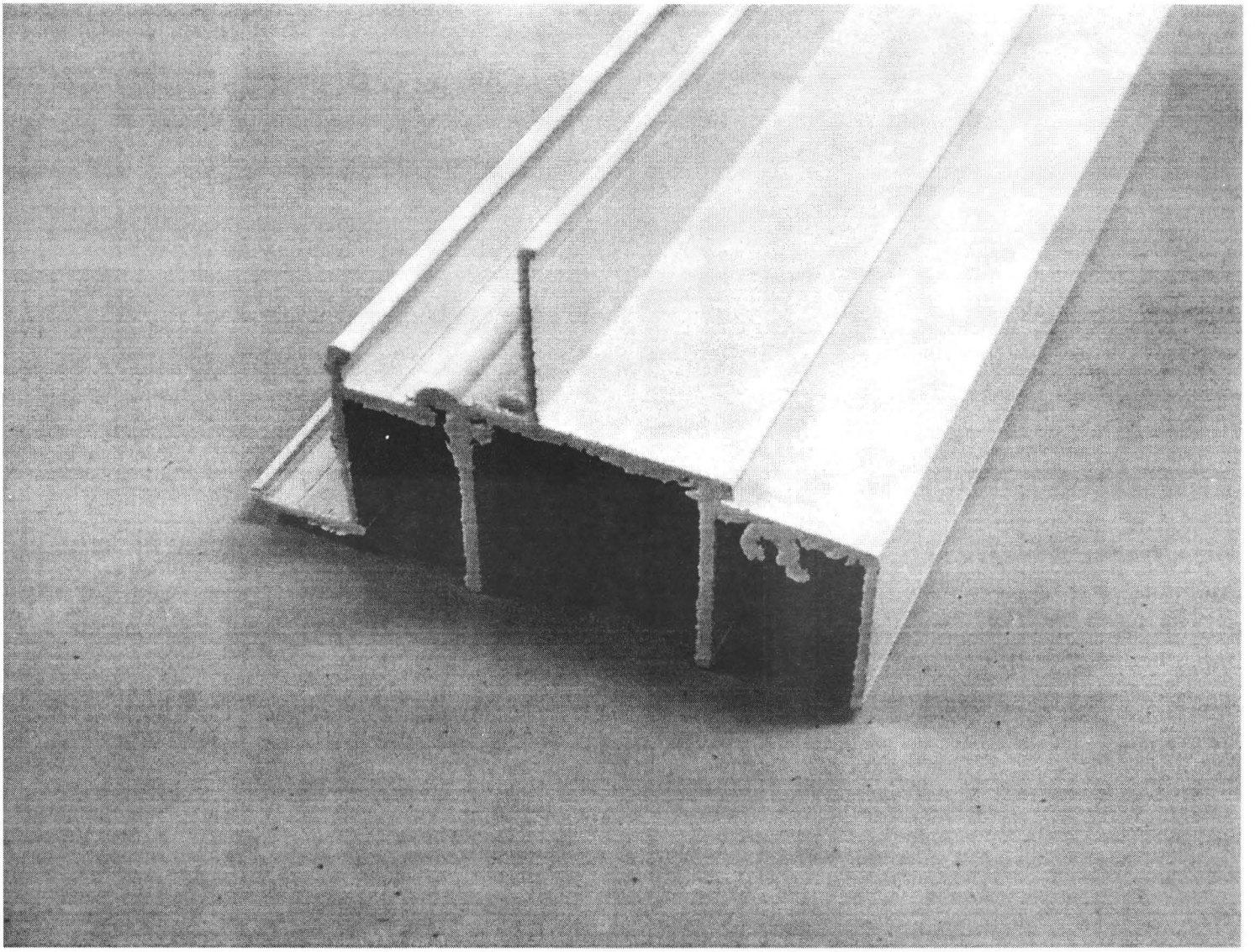


写真3ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ平滑. jpg

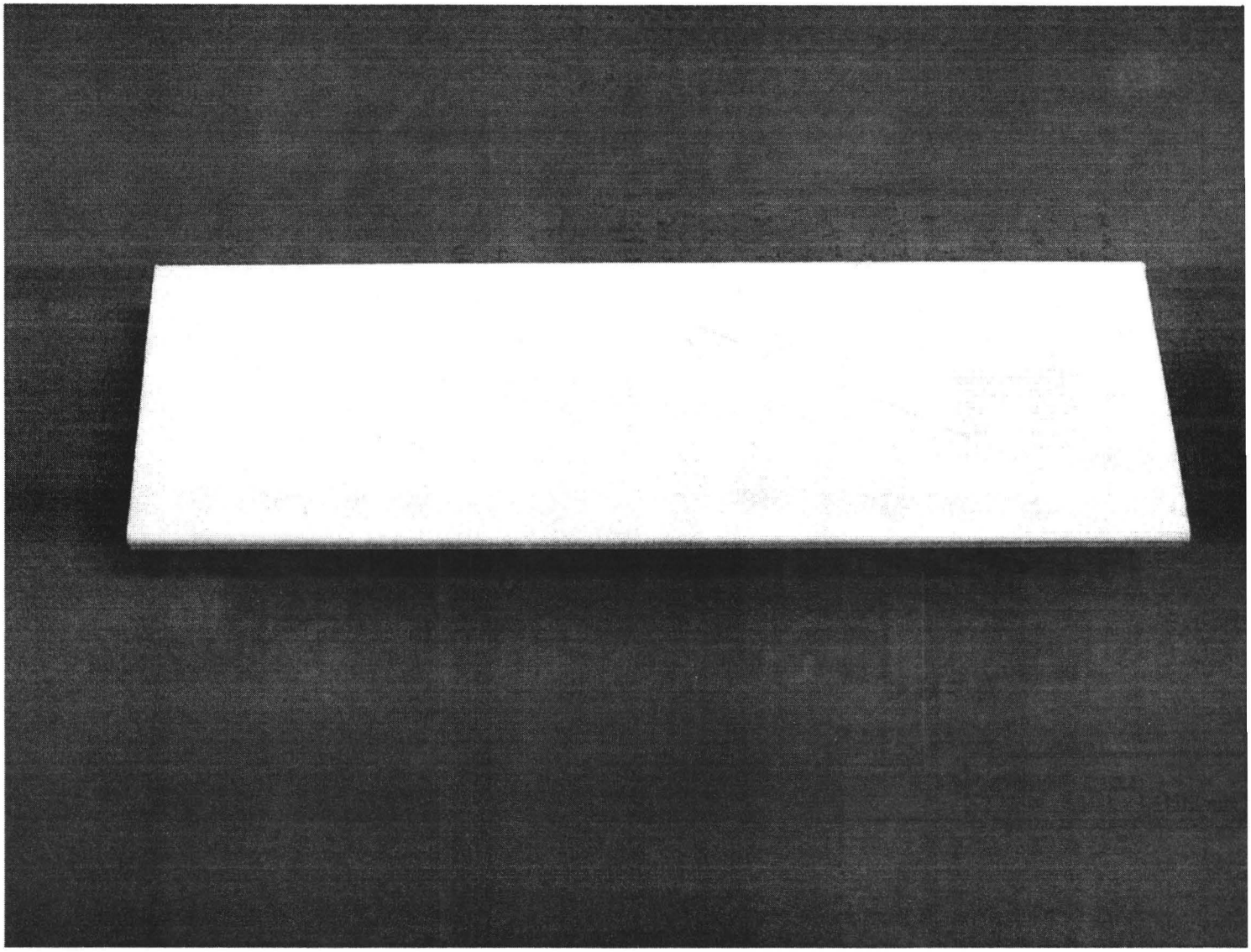


写真4ﾃｽﾄﾋﾟｰｽ柾目.jpg

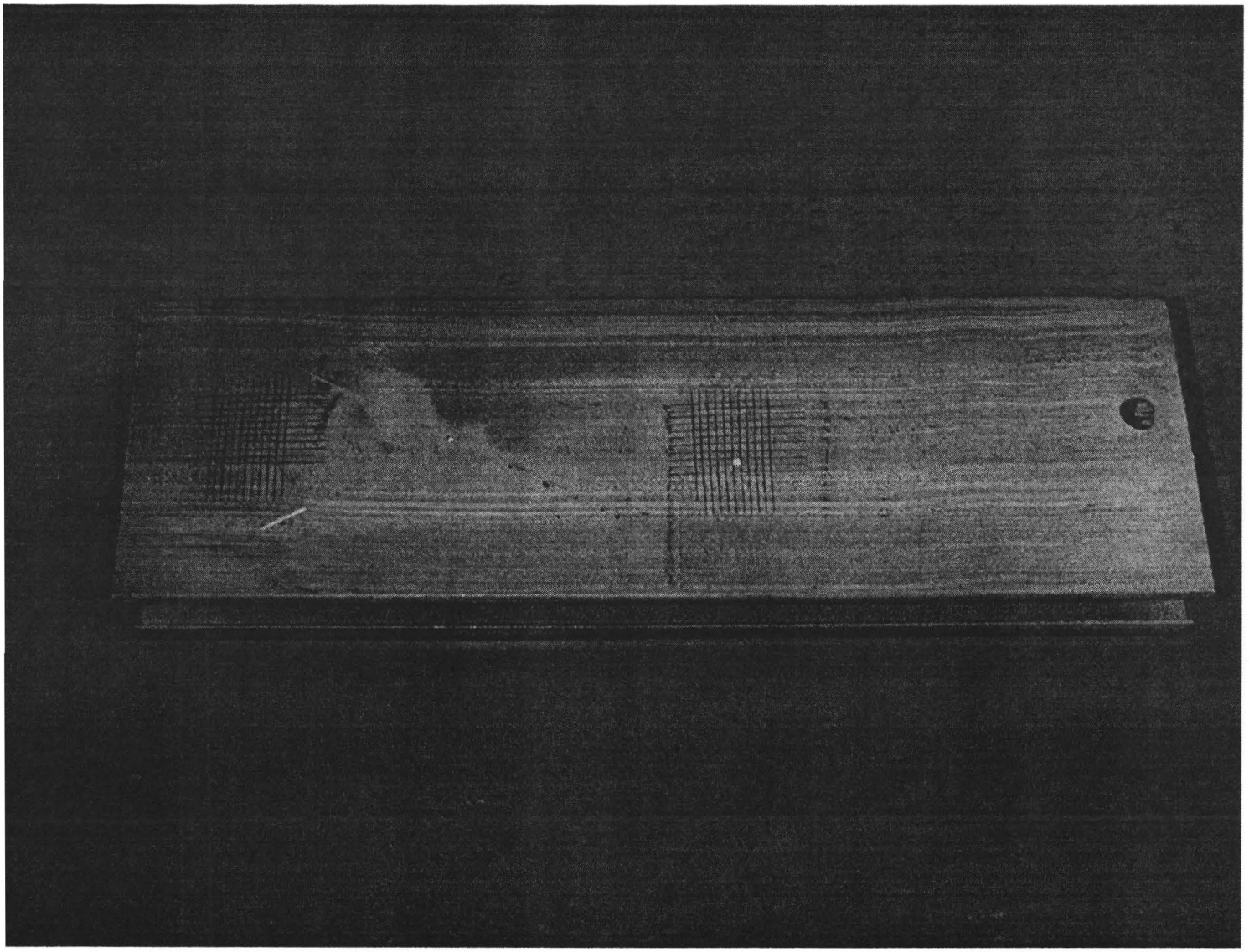


写真5ﾃｽﾄﾋﾟｰｽﾊﾝﾏｰﾄﾝ. jpg

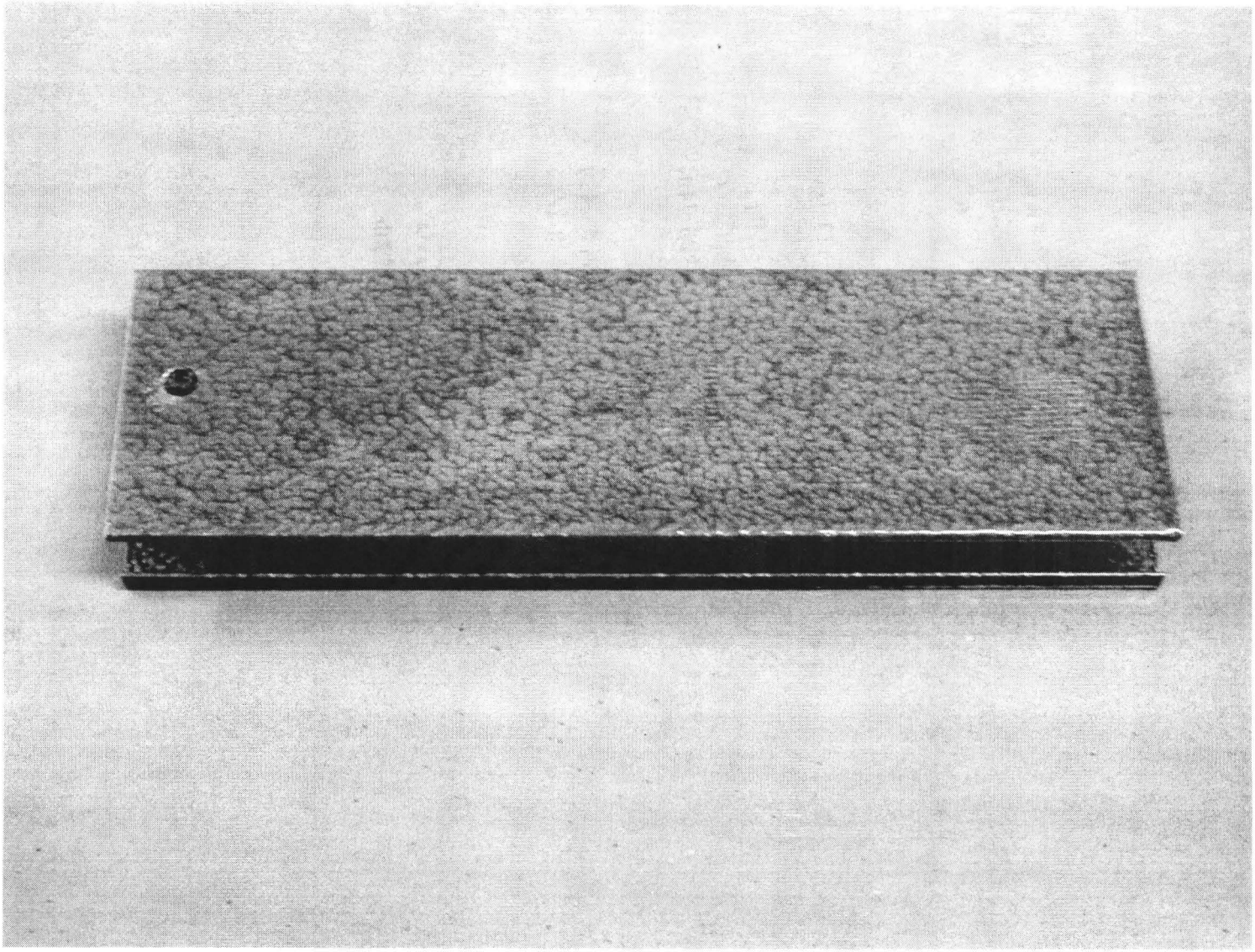


図２　　初期性能確認試験結果

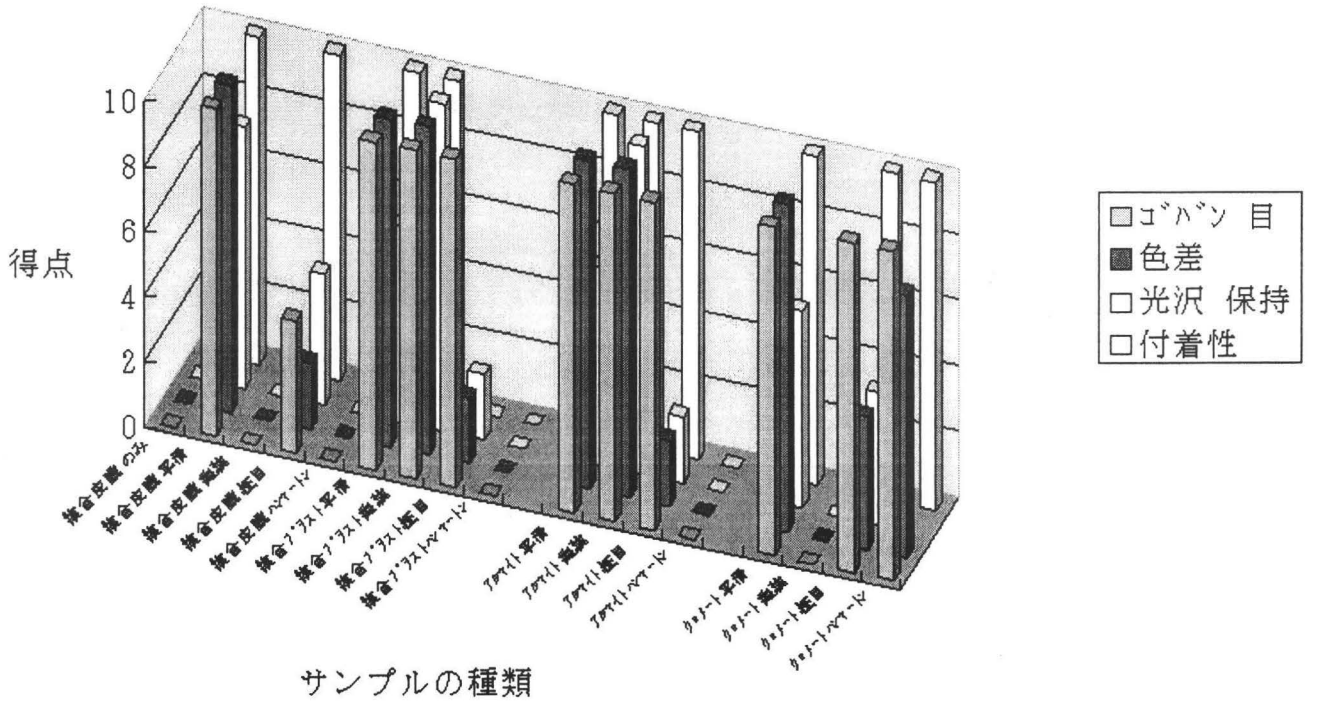


図3塩水噴霧結果. jpg

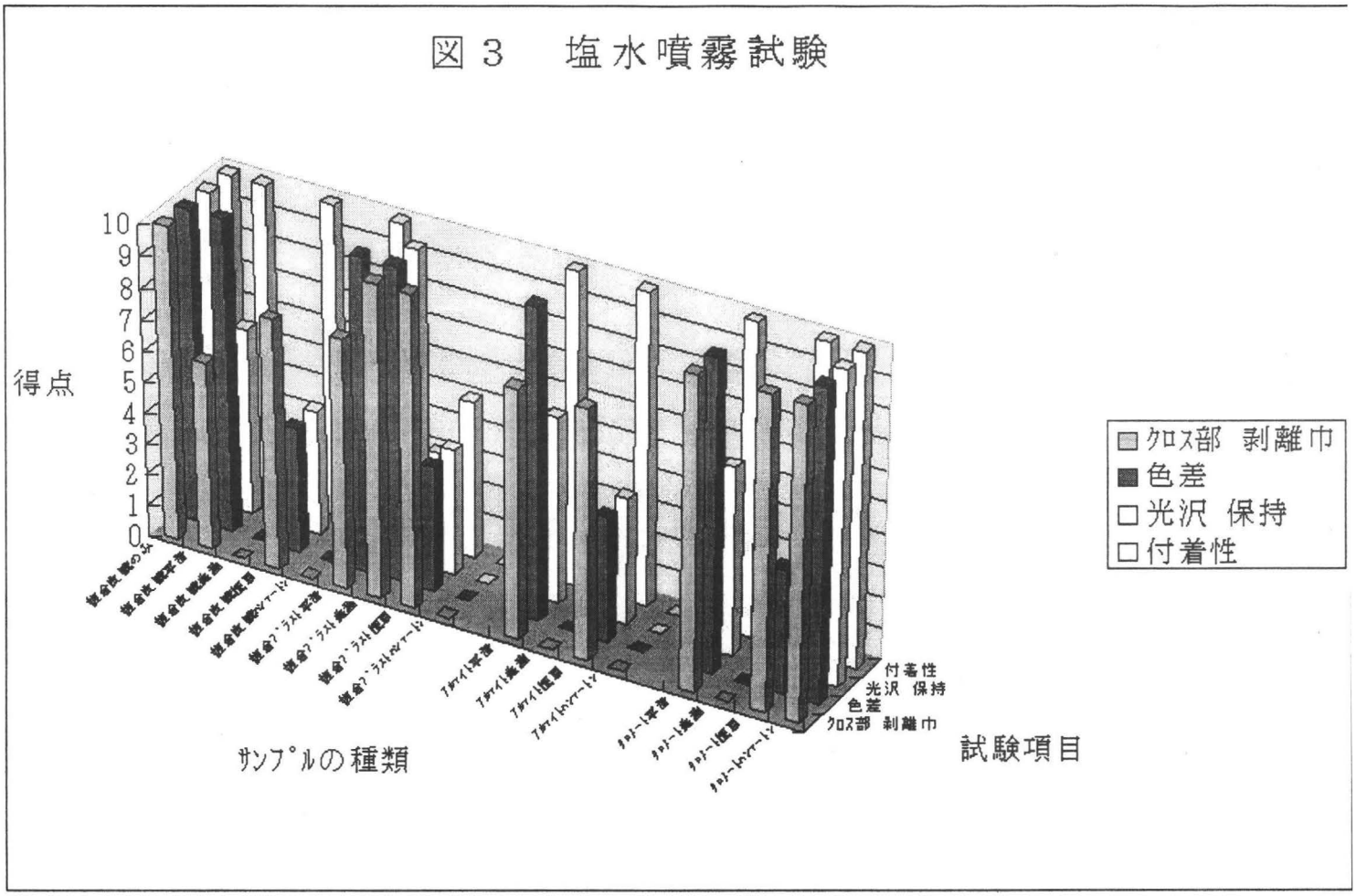


図4複合ｻｲｸﾙ結果. jpg

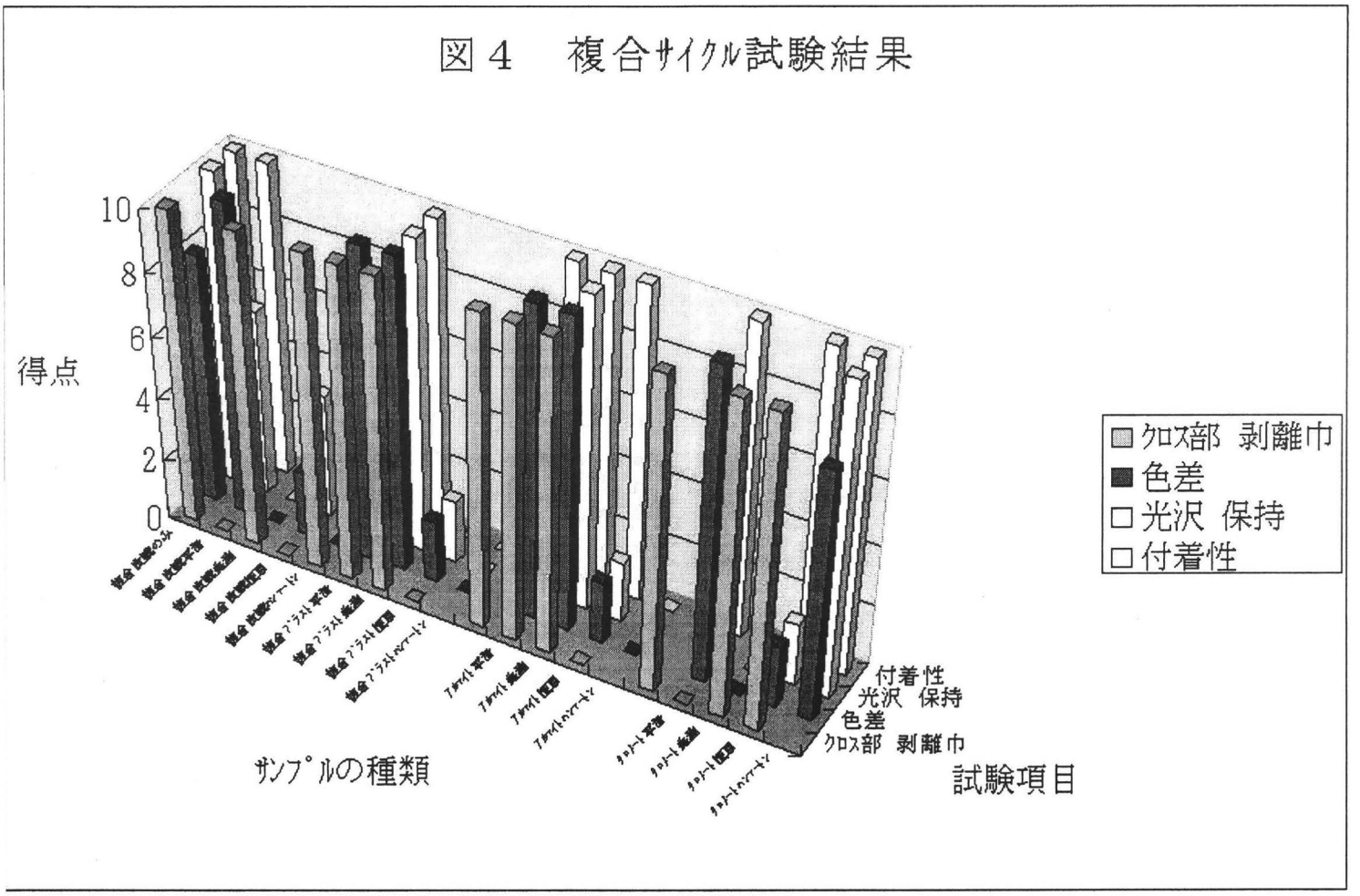


図5ｷｾﾉﾝ試験結果. jpg

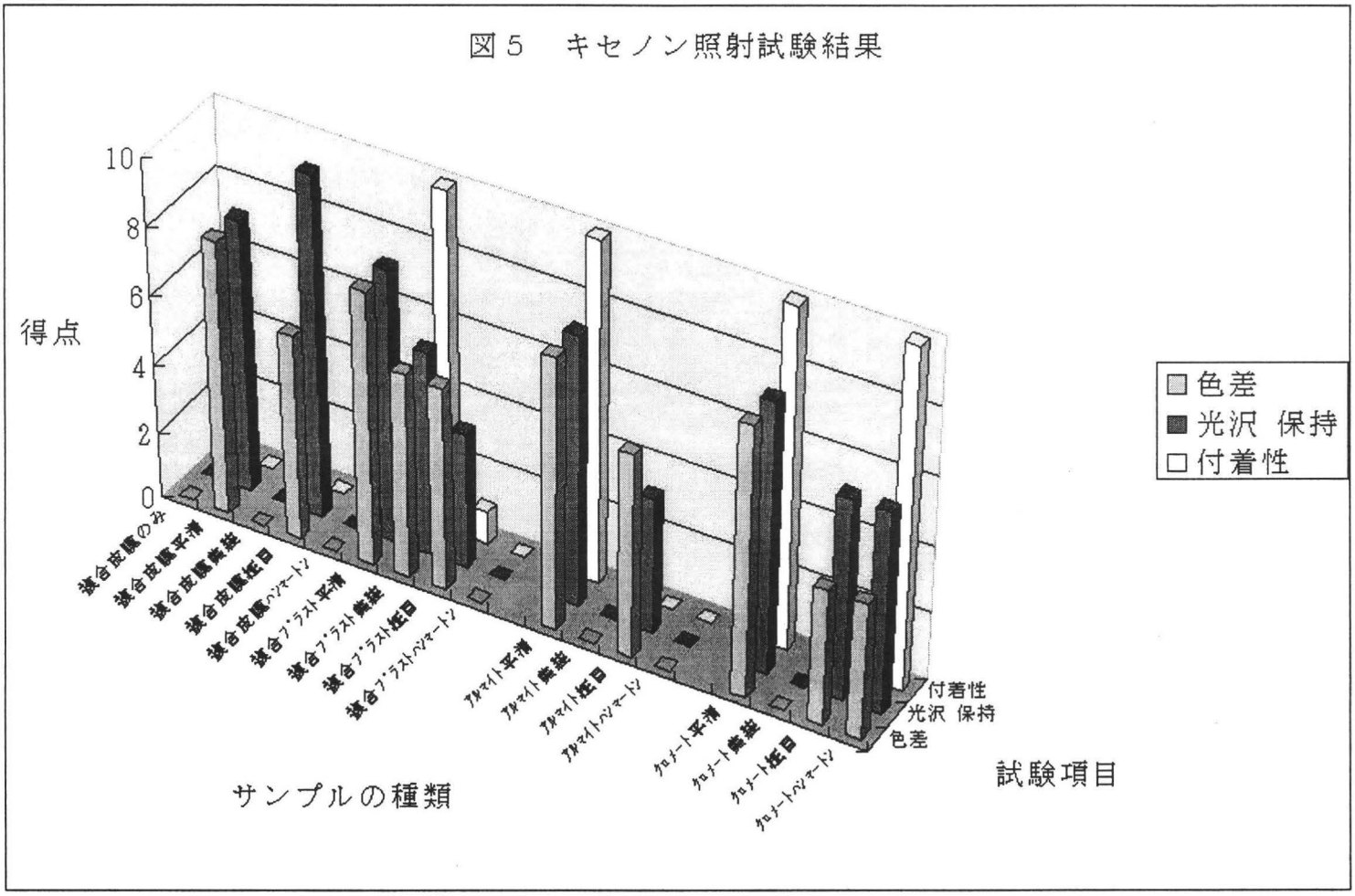
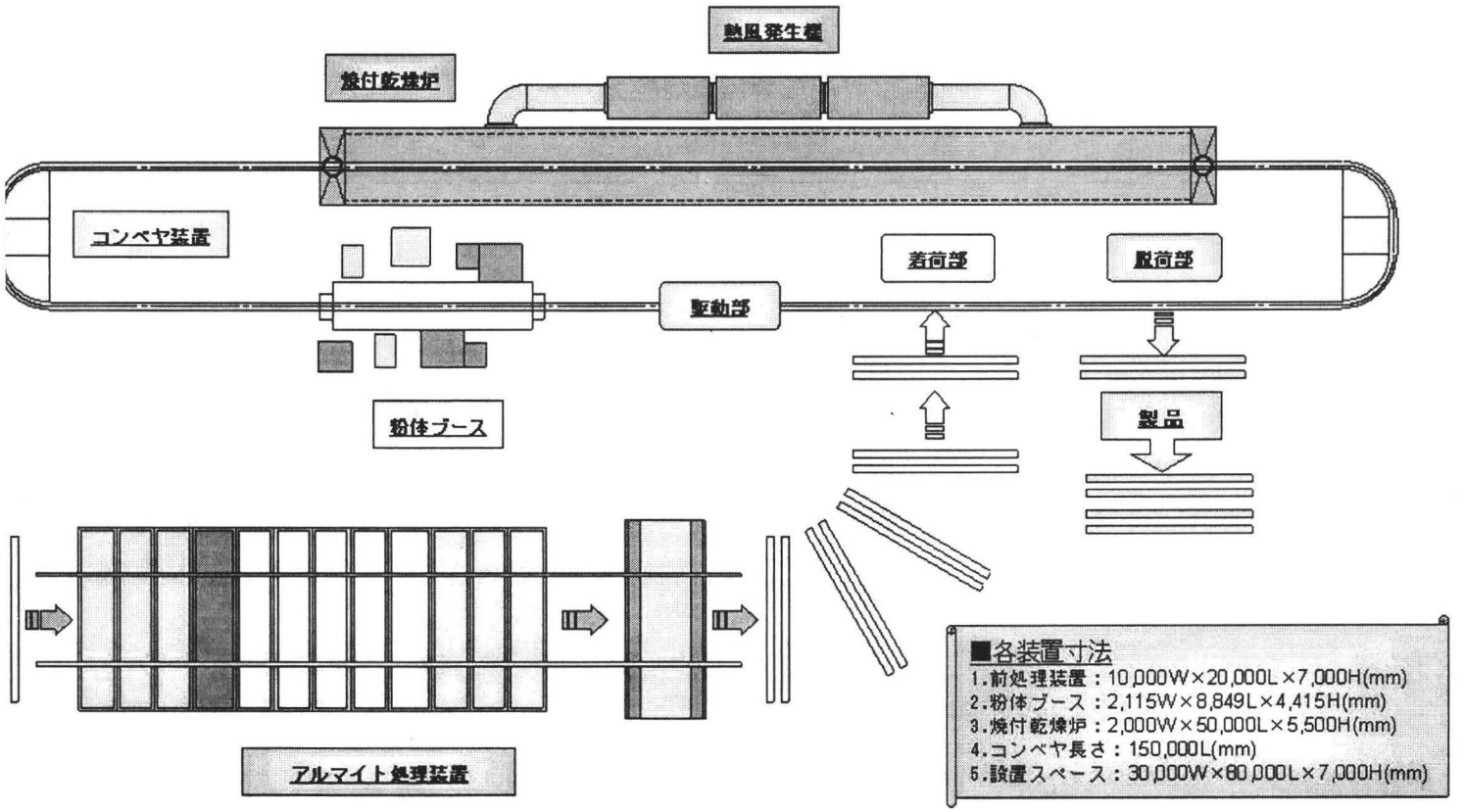


図6ｺｰﾃｨﾝｸﾞ装置. jpg

図6　アルミ建材用パウダーコーティング装置

Electrostatic Powder Coating Line Lay-Out



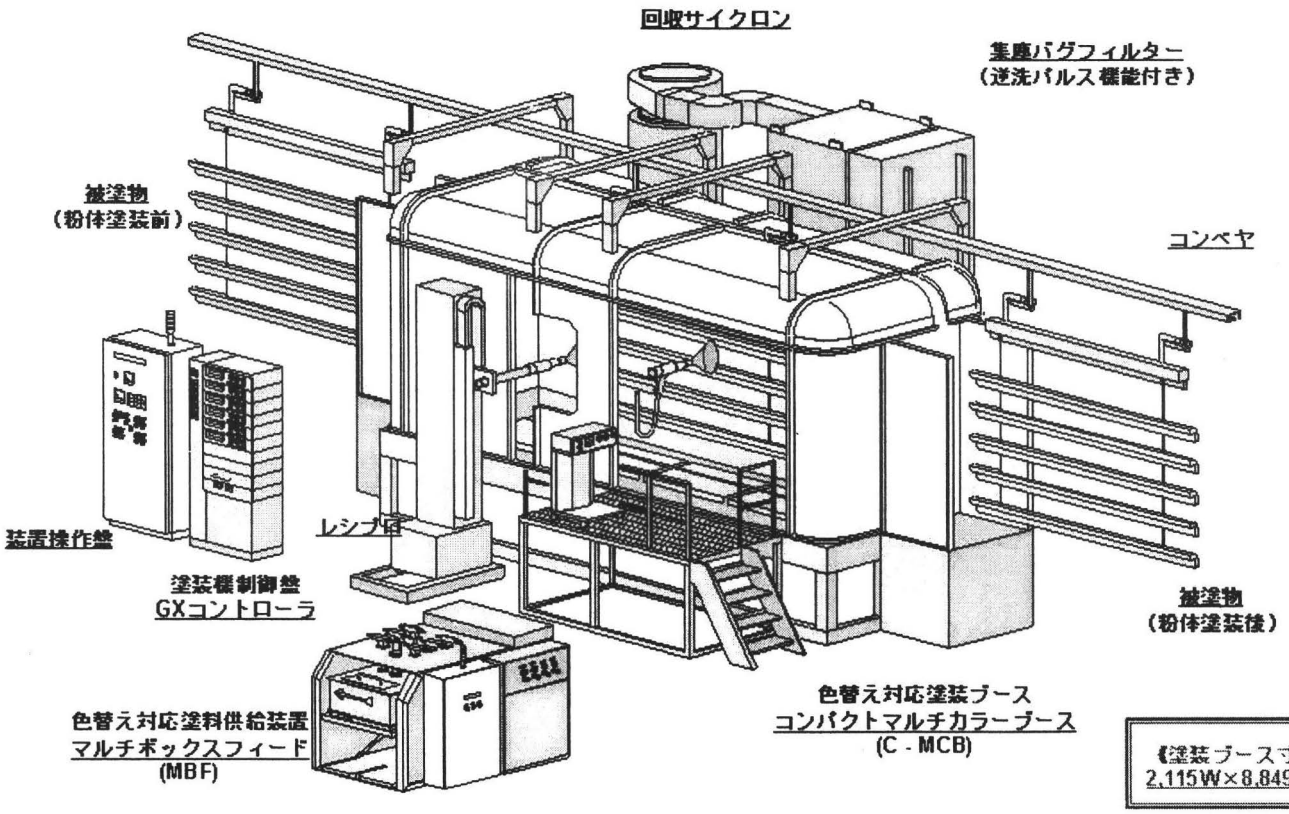
■各装置寸法

1.前処理装置：10,000W×20,000L×7,000H(mm)
2.粉体ブース：2,115W×8,849L×4,415H(mm)
3.焼付乾燥炉：2,000W×50,000L×5,500H(mm)
4.コンベヤ長さ：150,000L(mm)
5.設置スペース：30,000W×80,000L×7,000H(mm)

図6補足ｼｽﾃﾑ. jpg

図6（補足資料）　コンパクトマルチカラーブースシステム

Powder Coating System C-MCB System



2－1　東京オリンピック代々木体育館の模型製作

長崎大学工学部構造工学科
松田　浩
長崎大学工学部構造工学科4年生
神原天鳴，楠原絵美，津崎隆士，出口万里子，出水享，旗崎真臣

1　研究の背景

申請者は，ここ数年来，設計製図の授業(3年次)の3～4コマを使って，1グループ5人程度のグループによるトラス橋とサスペンション膜構造の模型つくりを実施している．トラス橋は，軽くて強度が強く，かつ美観に優れたものを製作するという条件で，ブリッジコンテストと称してコンペティションするものである．これは，トラス構造物を製作し，鉛直荷重を作用させ，トラス構造物の破壊性状を観察し，トラスの力学的特性を理解させることを目的に実施している．学生達は材料力学や構造力学や鋼構造設計法で学んだ知識を駆使してトラス橋を製作しており，時には「なるほど！」と思いたくなるようなトラス橋を製作している．はじめは面倒に思って乗り気ではなかった学生も，トラス橋を製作していくうちに真剣になっていき，破壊試験の際には壊されるのをじっと見守っている．

また，申請者は，ここ数年来，卒業論文や修士論文の研究とは別に，研究室全員で橋の模型製作を実施している．卒業研究では，橋梁やシェル構造などの解析を中心とした理論的な研究を行っているが，「模型つくり」を通して，構造物の製作の楽しさ，難しさを実感させるとともに，組織の一人として行う仕事を体感させることを目的として毎年実施している．

この試みは，学生の間にも好評で，他研究室の学生からも参加を希望する者もいる．これまで，大島大橋(斜張橋)，西海橋(アーチ橋)，中央橋歩道橋(創作)，通常のプレートガーダー橋(桁橋)を製作した．申請者が土木出身ということもあって，橋ばかりを製作してきた．申請者が所属する構造工学科には建築志望の学生も多くいるので，今年度は吊構造を主構造とする東京オリンピック代々木体育館の模型製作を計画した．

『何故，代々木のオリンピック体育館か？』という問に対して，今まで吊橋を製作していないことと，代々木オリンピック体育館が吊橋に倣った吊構造の張力主体の建築構造であり，しかも日本を代表する丹下健三先生と坪井善勝先生による建造物であるからである．

2　研究目的

人類は道具を作って使うようになってから頭脳が飛躍的に発展したともいわれる．現在の大学教育においては，講義終了後，実習を行なうのが普通のスタイルであるが，学生たちは単なる机上の講義より，実際に手を動かして物を作る方が力学原理を学ぶ上でのモティヴェーションは高まる．このことは，申請者が授業の中での模型つくりと研究室での模型つくりを通して実感している．

本研究の目的は，研究の背景の欄でも述べたように，「模型つくり」を通して，実際の構造物の製作の楽しさ，難しさ，組織の一人として行う仕事を体感させるとともに，建築構造物に対する立体的感覚を養うことを目的に，吊構造を主構造とする東京オリンピック代々木体育館の模型製作を実施する．

3　この研究によって期待される効果

前述したように，申請者は講義と研究室での模型つくりを通して，学生の能力も実際に手を動かして物を作るとモティヴェーションが高まり，いろいろな能力が育つと信じている．実際，力学の試験ではギリギリの点数で合格した学生でも，いざ軽くて強いものをという課題の下では，構造力学を駆使して素晴しい構造を提案してくる．また，斜張橋ではケーブルを均等に緊張して架設することが実際上重要となるが，模型製作においても学生自ら架設工法を調べて，ケーブルを一様に緊張するように工夫している．このように模型つくりを通して，つくることの楽しさ，難しさを学ぶとともに，構造力学や鋼構造などの力学を学ぶ必要性を高める上で有意義である．

4　実施計画

代々木体育館の模型製作において，以下のような実施計画を立てた．

1. **文献・資料調査** (2ヶ月)
   代々木体育館の構造やディテールなどの文献調査を行い，図面や資料を収集する．

2. **模型の縮尺と材料選定** (3ヶ月)
   収集した図面や資料をもとに，製作する模型の縮尺を決定し，その縮尺に合った図面

を描く．図面が完成すると，それに適用するためのケーブル材，屋根材，柱材などの材料を選定する．

3. **模型製作** (10ヶ月)
図面や資料をもとに，代々木体育館を製作する．

5 実施報告

前記のような実施計画に基づき，平成13年度の研究室4年生による模型製作を開始した．

5.1 文献・資料調査

代々木体育館の文献・資料を収集するとともに，文献(2)を研究室学生と輪読した．

4年生になってすぐの学生にとって，建築学の専門の英語論文を読むことがはじめての体験であり，英語の専門用語の和訳がうまくできなかったり，日本語として理解できない和訳をしたり，また，とても時間がかかったりした．しかし，文献(3)と併わせて実施すると随分スムーズに進むようになった．その成果物として学生が作成した英日対照資料を別に添付する．

当初，文献・資料調査には2ヶ月間を予定していたが，4月～7月までかかった．

5.2 模型製作

代々木体育館は構造的には次の3つのシステムの組合せから成立している．

1. メインケーブルとスタンド外周との間に構成される吊屋根面
2. メインケーブル，メインポール，アンカーブロック，圧縮タイの間での吊橋と類似のつり合い系を形成し，屋根面からの力を主な荷重とする中央構造
3. 屋根面からの引張力とスタンド重量とでバランス構造を形成している外周構造

5.2.1 基礎構造

模型の縮尺は，文献を参考にして1/200とした．まず，代々木体育館の構造模型製作において，「吊構造の建造物らしさをどう作るか」について討議した．いくつかの案について，仮構造を作成したり，絵に描いたりしたが，最終的には，写真1～3に示すようにベニ

ア板を2枚用いて，その間に基礎を作ることにした．これは完成後も横から基礎部を覗くことができるようにするためである．

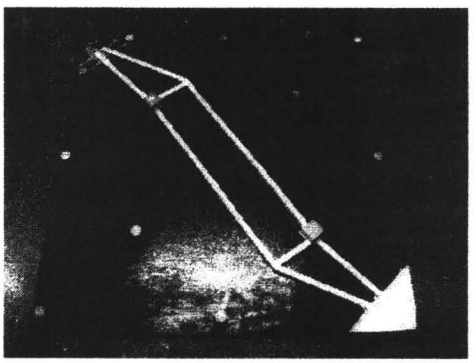


写真 1 アンカーブロックと圧縮タイ

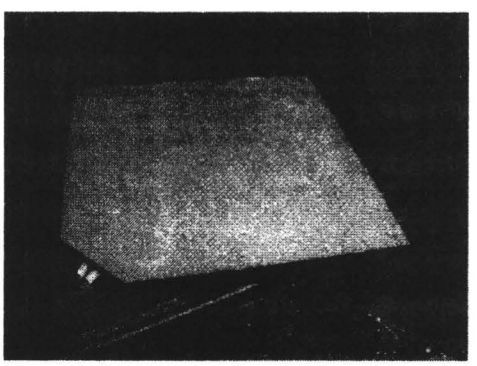


写真 2 基礎

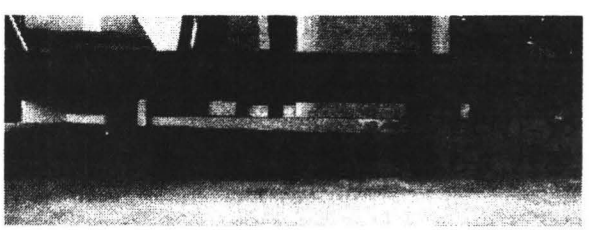


写真 3 横からの見た基礎部

5.2.2　外周構造の製作

外周構造は，写真4，5に示すように，型枠を作って，あたかもコンクリートを打設するかのように石膏を用いて製作した．



写真 4 スタンド外周部の型枠製作

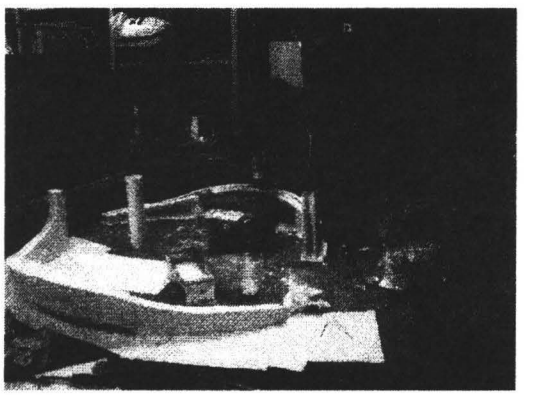


写真 5 スタンド外周部の製作

5.2.3 中央構造の製作

写真6に示すように，アンカーブロック，圧縮タイを製作後，メインケーブルをアンカーブロックに取り付けた．次に，写真7に示すように，メインポールを作って吊橋と類似のつり合い系を形成する中央構造を製作した．また，押えロープと吊鉄骨 (剛度の必要性から，吊りロープにはH形鋼が用いられた) を配置した．実構造の文献を参考にして，吊鉄骨には竹ひごを使用し，押えロープには極細ピアノ線を使用した．

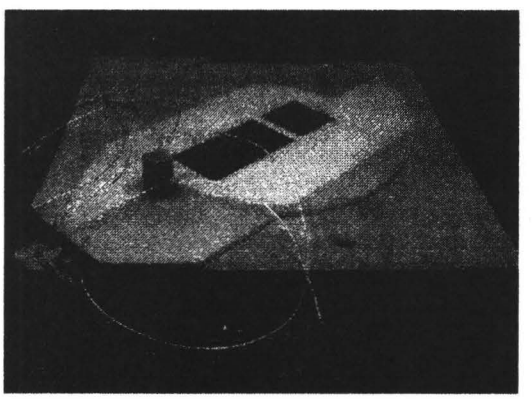


写真 6 メインケーブルの取り付け

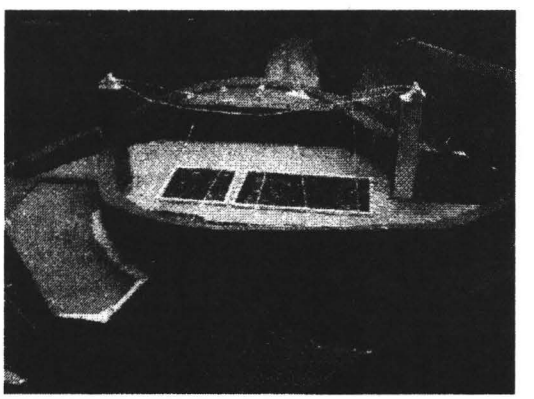


写真 7 屋根構造の製作

5.3 完成模型

完成後の写真を以下に示す (写真 8 ～ 13).

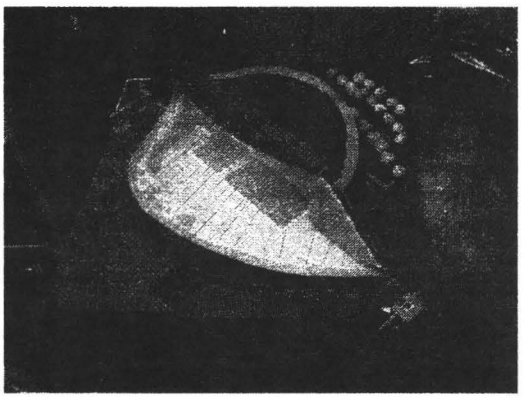


写真 8

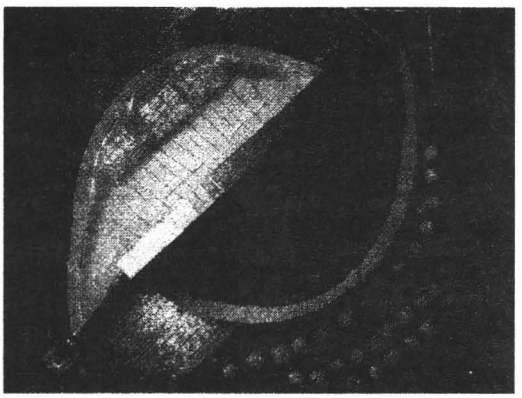


写真 9

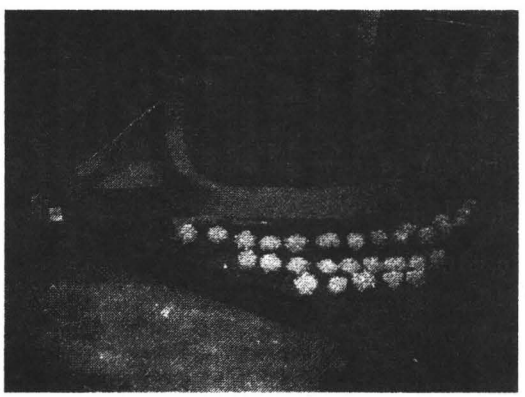


写真 10

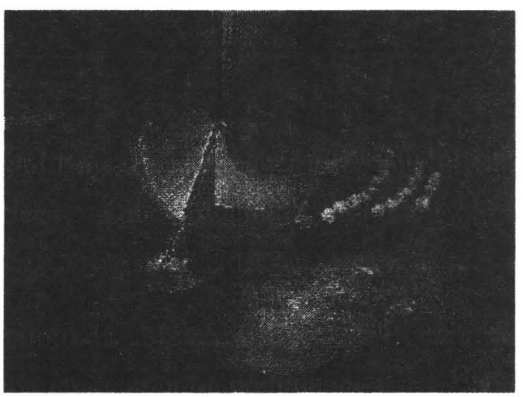


写真 11

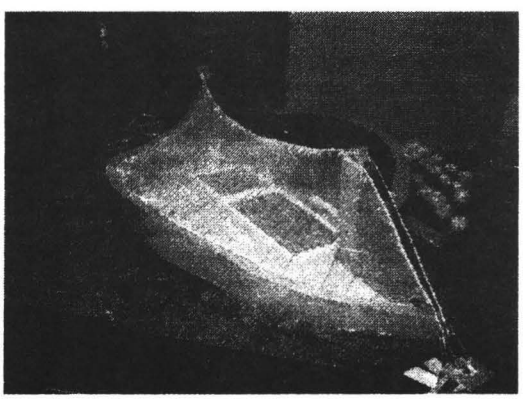


写真 12

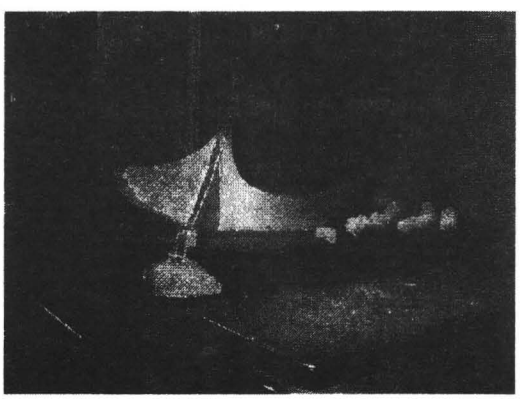


写真 13

6　あとがき

平成13年度は，橋以外としてははじめて建築構造物の模型つくりを実施した．文献を読んで，それに基づいて模型つくりを行なうと，学生にとって力の流れや構造原理を理解するための一助となるものと考えられる．学生は，ケーブルアンカー構造，吊ケーブル，押えケーブルなどのディテールについても細かく調べて，できるだけ忠実に模型を作っている．今年度は模型つくりだけを行ったが，製作した模型での実験・解析などを併せて進めてゆけば教育効果はさらに上がるものと考えている．

最後に，本模型製作に対して助成金を賜りました財団法人トステム建材産業振興財団に深謝申し上げます．

参考文献

[1] Y.Tsuboi und M.Kawaguchi : Probleme beim Entwurf einer Hängedachkonstruktion anhand des Beispiels der Schwimmhalle für die Olympischen Spiele 1964 in Tokio, Der Stahlbau, ss.65-85, Heft 3 1966.

[2] Yoshikatsu Tsuboi und Mamoru Kawaguchi : Design problems of a suspention roof structure — Tokyo olympic swimming pools —, Report of the Institute of Industrial Science, The Univercity of Tokyo, pp.110-164, 1966.

[3] 日本鋼構造協会編：吊構造，pp.402-415, 1975.

[4] 土木学会編：ケーブル・スペース構造の基礎と応用，(第10章 空間構造)，pp.303-326, 1999.

2－2　窓開閉行為の要因に関する申告調査、観察、室内環境測定による研究

京都大学大学院　工学研究科
博士課程　鈴木玉実

1．背景と目的

1.1　研究の背景

自然エネルギーを積極的に活用した建物計画はますます重要となっており，環境負荷低減を目的として，自然換気の有効利用の必要性は高まっている。持続可能な開発を進める上では，暖冷房使用時の省エネルギーへの取り組みとともに，高西ら(2000)[1]の報告にあるように，中間期，すなわち確実にエネルギー使用が少なくなる時期の居住者の温熱環境調節行為の実態を明らかにする必要がある。さらに，できるだけこの期間を長くするための方策を提案していく必要があると考えられる。窓の開閉は，居住者による室内空気環境調節行為であるとともに，特に中間期においては，エネルギー使用の軽減に寄与する室内温熱環境調節行為であるといえる。広川ら(1980)[2]，堀越ら(1988)[3]，松原ら(1996)[4]の研究をはじめとする環境調節に関する実態調査が明らかにしているように，居住者は夏季や冬季においても空調に全面的に依存するのではなくエアコンや窓の開閉，家具の配置換えなど環境調節の工夫をしながら暑さ寒さをしのいでいる。こうした状況に鑑みても，また人間が本来持つ温熱環境調節能力を活用して環境負荷低減に寄与するという観点からも，窓の開閉行為は今後研究されるべきテーマであると考えられる。本研究は，居住者による室内温熱環境調節行為を封じ込めるのではなく調節の自由度を残して活用するという立場から，室内温熱環境調節行為としての窓開閉行為の実態を把握することを目的としたものである。

1.2　既往の研究

窓開閉の実態を扱った既往の研究として，英国の夏季の学校における開放窓数の割合に関するHumphreysら(1972)[5]，暖房期のオフィスの窓開放の実態調査を行ったWarrenら(1984)[6]，回転窓の開放角度の変化を記録してモデル化したFritschら(1990)[7]，室内空気環境との関係から住宅の窓や玄関扉の開閉状況の申告調査をおこなった岩下ら(1997)[8]，温熱環境調節行為として扇風機使用，暖房機使用，着衣量調節とともに窓開放の利用について申告調査をおこなったJ.F.Nicolら(1999)[9]，の研究がある。以上はそれぞれの定義で窓開放率の概念を導入している。他に窓開閉の実態調査として，室内気候形成に係わる居住者行動のひとつとして定時における窓の開閉を申告調査した澤地ら(1989)[10]，戸建住宅における温熱環境実測との対応から冷房使用時間帯，窓開閉時間帯の申告調査をおこなった加藤ら(1996)[11]，小学校教室の窓タイプを分類しカーテン開閉とともにドアや窓の開閉状況についても調査をおこなった都ら(1996)[12]，住宅の断熱水準との関係から夏季に涼しさを得るための方法として通風と冷房のどちらを主に利用しているか尋ねた垂水ら(1996)[13]，秋期における集合住宅の通風行為の実態を室温から推定した山中(1996)[14]の研究がある。Kolokotroniら(1998)[15]は，夜間換気の有無による内外気温の関係を明らかにし，BSRIA(1999)[16]は，開放面積と換気回数，室温，PPDの関係をまとめている。また，Zhangら

(1987)[17]，榊原ら(1988)[18]は，通風の省エネルギー効果を明らかにするという立場から，実験において窓の開閉による温冷感の変化を記録している。しかし，窓開閉と室内外気候の関係の長期にわたる実態について，研究の蓄積は少ない。

1.3 本研究の目的

本研究は，(1)窓開閉行為に関して調査票による居住者の意識調査，(2)窓開閉センサによる開閉の記録と室内温熱環境の実測調査，(3)窓の開閉の実態に関する建物の外からの観察調査の3とおりの調査を行った。同型の125窓について，中間期を中心とする7ヶ月間にわたって1日2～3回，窓開閉状況を開放面積も含めて観察し，観察調査対象の一部では室内温熱環境の連続記録をおこなって，開放面積も含めた窓開放率と内外気候との関係の実態を明らかにすることを目的とする。

具体的には，(1)各季節において開放率はどの程度であるのか，(2)外界気候と開放率のあいだにはどのような関係があるのか，(3)その関係は季節によって異なるのか，また，(4)開放率は1日のうちでどのように変化するのか，(5)室内気候と開放率のあいだにはどのような関係があるのか，を明らかにする。

2．方法

2.1 意識調査

意識調査については，意識調査票は11月はじめに配布を行ない，留置式での記入を依頼し回収した。222部配布の内179部を回収した。分析にはこの中から163部(回収率73.4%)を用いた。

2.1.1 窓開閉に関する質問の形式

①窓を開けた理由，②窓を開けなかった理由，③窓を閉めた理由について、回答者が各行為の理由として用意された項目から，要因としての強さの程度を「理由でない」「少し理由である」「理由である」「かなり理由である」の4カテゴリーから1つを選ぶ選択回答形式とした。各行為の理由としては，換気，熱，騒音，心理，習慣，経済に関する項目を挙げた。本誌では③は略す。

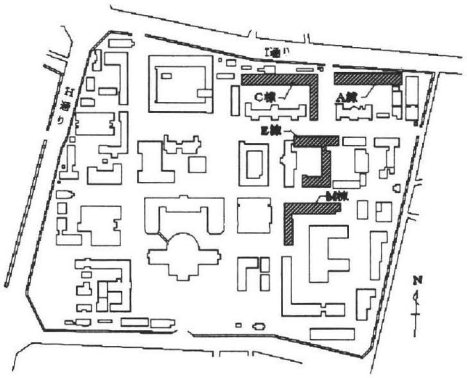


図-1 棟配置図(ハッチ部は対象棟)

2.1.2 分析対象

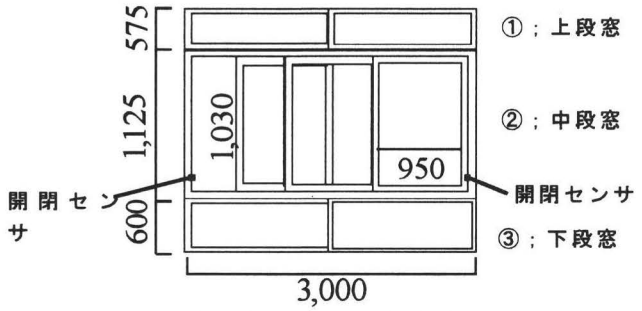
研究室での窓の開放頻度を問う「夏から秋にかけてあなたが研究室の窓を開けたことはありましたか」について，「毎日開けた」，「時々開けた」，「めったに開けなかった」，「一度も開けなかった」の4項目から選択する形式とした。窓を開けた理由の分析は，このうち自分が窓を「毎日」，「時々」開けたと回答した90人(Intensional Open:IO)のみを対象とした。開けなかった理由の分析は，IOと上記質問で「めったに」、「一度も」開けなかった73人(Not Open:NO)で別におこなった。なお、分析にあたっては2.1.1で述べた要因としての強さの程度を示す4つのカテゴリーの等間隔性を仮定して、順に(+1)～(+4)の数字をあてはめ要因得点とした。

2.1.3 因子分析

要因得点の平均が2.0(少し理由である)以上の項目を評定尺度として選び、それらの尺度を対象に「窓を開けた」「開けなかった」の行為別に、IOとNOで別に因子分析を行った。因子分析は主因子法により因子を抽出した後バリマックス回転を行った。因子数は「窓を開けた」が5因子、「開けなかった」が4因子抽出された。

2.2 観察調査

長期にわたる実態を明らかにするという調査の便宜上，京都市内K大学キャンパス内の建物を調査対象とした。なかでも、①事務職員や教官ではなく学生



図－2　観察窓の立面図

表－1　棟別の観察窓数

窓数	N	S	E	W	計)
M棟	11	13	5	11	40
E棟	13	23	0	0	36
C棟	0	13	0	0	13
A棟	0	32	0	4	36
計)	24	81	5	15	125

が主体，②室内での作業強度はパソコン，デスクワークなどの椅座位軽作業程度，③窓がキャンパス外の交通量の多い道路に面しておらず外部騒音の影響が少ない，④窓が家具などで塞がれておらず、開閉が可能な状況にある，⑤クーラーが設置されている，という要件を満たす研究室を対象とした[注1)]。これらの室はすべて４階建のＲＣ造建物にあり、周辺建物も主に４階建または４階以下である。建物平面はすべて中廊下型で，片側に外気に面した窓を有している。室の床面積はほとんどが40～57 ㎡，最大で86 ㎡であり，最大在室人数は数名から10名程度で，日中に不在になることはほとんどないとのことであった。調査の対象とした窓はすべて同じ大きさ・構造（鉄枠の３枚引き違いガラス）を有し，虫除けの網戸はついていない。調査の対象棟（Ｍ棟、Ｅ棟、Ｃ棟、Ａ棟）を図－1に，窓立面図を図－2に示す。

観察調査は1999年９月初めから12月末（第１期と称す），2000年４月初めから６月末（第２期と称す）の合計７ヶ月にわたる平日（学業期）に天候に関わらずおこなった。週末や学休期は在室状況が異なると予想されたので，調査対象外とした。観察時刻は第１期では１日３回（11時，14時，17時から），第２期では１日２回（11時，17時から）とした。観察は毎回同じコースを、同じ順序で回ることとし，１回の巡回所要時間は約30分であった。開放可能な窓面積に対して，実際に開いている窓面積の割合を外部から目視　で読み取り記録した。観察窓数は合計74室125窓であり，棟別の窓の方位と数を表－1に示す。

2.3　室内温熱環境の実測調査

観察調査と同時に，観察対象の一部であるＡ棟の研究室７室（窓は南向き）において室内温熱環境の測定とすべての窓（19窓）の窓開閉の連続記録を行なった。測定項目は室中心部における室温(床上10cm, 60cm, 110cm)，相対湿度(床上60cm)，グローブ温度(床上60cm)，およびエアコン吹出口温度とした。窓開閉検知センサは図－2のように設置し電圧の変化で窓の開閉を判別できる。これらを10分間隔でロガーに記録した。

2.4　窓開放率の定義

窓開放率を，開放可能な窓の総面積に対して実際に開放されている面積の割合と定義する。図－2に示すように窓は上、中、下段にあるが，観察の結果，上段と下段の窓はほとんど開かれなかったため，居住者の窓開閉行為の対象となる窓は中段窓とみなして中段窓の開放率について分析を行う。

2.5　屋外気象データ

外気温は京都地方気象台の観測データを用いた。１時間間隔のデータを室内測定の10分間隔に合わせ，毎時０分の値をその時間内の10分間隔の値として線形補完せずに当てはめた。他に屋外気象データとして，Ａ棟屋上における観測所の湿度，風向風速，日射量，照度の観測値を用いた。

2.6　季節の区分法

室温，吹き出し口温度，外気温を用いて，表－2の条件のもとでエアコン使用，不使用を判定し空調使用率を定義した。季節の区分は，観察時間ごとに判定した測定室平均の空調使用率が1/3以下と

る意識が外気温が高いときに顕在化しやすくなり，窓の開放行為に結びつき、その結果として窓開放率が高くなる，と説明することができる。

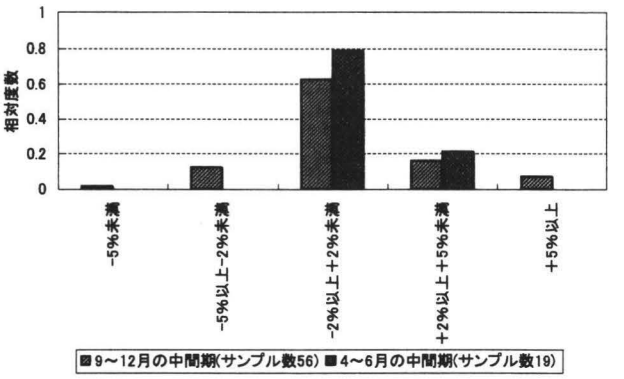
3.2 暖房期

暖房期には，窓開放率はいずれの時刻においても たかだか数パーセントで，時刻によって外気温と窓開放率の関係は変わらなかった（図は略）。全時刻をあわせたものを図－3（e）に示す。全棟，A棟でR^2=0.10，0.60で，暖房期の外気温と窓開放率に相関はない。Warrenら[6]の暖房期の調査では，外気温の範囲は本調査よりやや低いものの，1以上の窓が開放されている室数の全室数に対する割合は外気温とr＝0.87の正の相関があった。またFritschら[7]は暖房期の回転窓の開放角と外気温のあいだに相関があったと述べている。Rajaら[20]は窓からの遠さと温熱環境調節行為の関係を明らかにしており、Warrenら[5]，Fritschら[7]は本研究に比較して小規模の在室者1～2名の室を対象としていることから，対象室の大きさと在室人員との関係において窓開放の行なわれやすさが影響した可能性もある。本研究のように数名～10名程度が在室する室を対象とし，開放率の概念に開放面積も含めた場合には，暖房時の開放率は外気温と相関がないという結果になった。

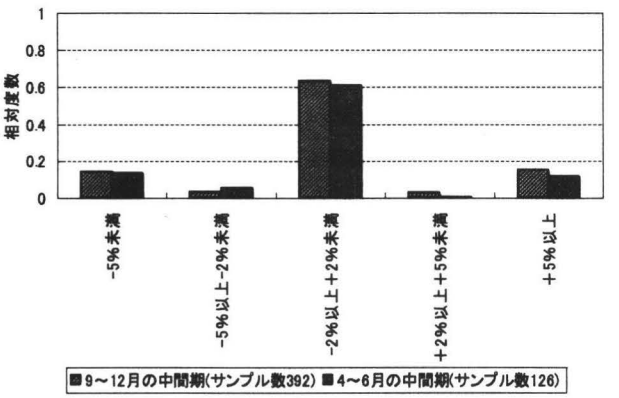
暖房期に窓開放率が外気温に依存しないことは，暖房期には窓開放が外気の状態にかかわらずおこなわれることを示している。すなわち暖房期には外気の状態よりは換気の必要性など室内側の要因によって開放されると解釈できる。暖房期においても開放率は完全にゼロにはならず，全窓の平均で開放可能面積の5％ が開放されている時刻もあったという事実は，暖房時の省エネルギーの観点から注目に値する。

3.3 冷房期

冷房期の窓開放率と外気温の関係において、各時刻の結果をあわせたものを図－3（f）に示す（時刻別の図は略）。時刻別の窓開放率と外気温に相関はなかった。岩下ら[8]は外気温に瞬時値を用いていること，盛夏期の結果であること，開放面積を考慮していないことで本調査と異なるが，7戸の集合住宅における盛夏の各2日ずつの調査において，ある外気温のときに得られたデータのうち申告において窓開放時間帯であった割合を窓開放率と定義した場合，26～29℃では開放率が外気温とともに下降する傾向にあった点で本調査の結果と一致している。（ただし岩下ら[8]は外気温30℃以上で開放率は上昇したと述べており，今後の課題である。）



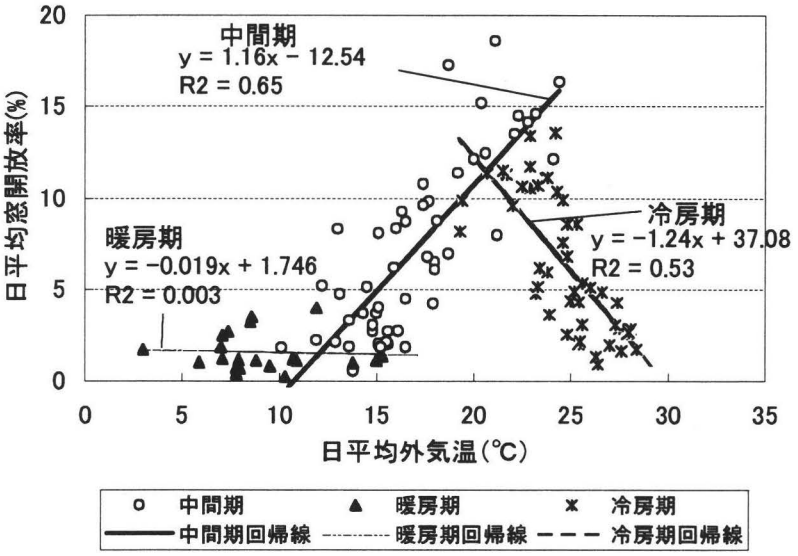
図－6 中間期の窓開放変化率（全棟(125窓)）



図－7 中間期の窓開放変化率（A棟(19窓)）

4．窓開放率の日内変化

全窓で平均した開放率の日内差（以後、開放変化率と称す。増加を正とする。）の相対度数分布を，中間期の全棟について図－6に示す。詳細に検討するためにA棟については部屋ごとの開放率の変化を図－7に示す。第1期は1日3回観察したので11時と14時，14時と17時の開放率の差について，開放率の増加を正として示した。第2期は1日2



日平均窓開放率は１日２～３回の観察の平均

図－8　日平均窓開放率と日平均外気温の関係

回であったので11時と17時の変化について示した。

全期間とも変化率は±２％の範囲に集中している。部屋ごとに開放率の変化を検討したA棟の結果を見ると，-5％以下、+5％以上の相対度数が１０％程度ありやや多いが，A棟の室ごとの開放率についての検討方法では部屋の窓がひとつでも開けば変化率が１０％程度増加するためと考えられる。それでも変化率±2％の範囲に60％以上が集まっていることから，部屋ごとに検討した場合でも窓開放率は１日のうちで±２％の範囲でしか変化しないことが多いといえる。同時におこなった意識調査では，回答者の6割が窓の開き具合の調節を行っていないと回答している（理由として，窓開閉に際しての周囲の人への遠慮，窓開閉への無関心や面倒さが挙げられた）[既1)]。今回調査対象となった窓では，１日のうちで窓の開放面積が調整されることはほとんどなく，いったん開放すればそのままの状態で放置されることが多かったといえる。なお，暖房期，冷房期についても開放率は日内でほとんど変化しなかった。

5．日平均窓開放率と日平均外気温

前述の３．から各期間において窓開放率と外気温の関係が時刻によってあまり変わらないこと，４．から窓開放率が１日のうちでほとんど変化しないことが明らかになったことから，１日の窓開放率の平均値を日平均外気温で表す可能性が示された。日平均外気温と全棟における日平均の窓開放率の関係を暖房期，中間期，冷房期ごとに線形回帰して図－8に示す。（A棟も全棟とほぼ同様のため略。）

5.1 中間期

中間期には日平均ではR^2=0.65で，時刻別でみた場合（R^2=0.65）と同様に開放率と外気温は相関が高く，日平均外気温をx℃，日平均開放率をy％として次式であらわすことができる。

$$y = 1.164x - 12.54 \quad \cdots(1)$$

5.2 暖房期

暖房期には日平均ではR^2=0.10で，時刻別の場合と同様に日平均でみても外気温と開放率に相関はない。

5.3 冷房期

冷房期については時刻別でみた場合とは異なり，日平均ではR^2=0.53で、外気温xと開放率yは負の相関が高く，次式であらわすことができる。

$$y = -1.243x + 37.08 \quad \cdots(2)$$

表-2　空調使用率の定義

a) 各室毎にエアコン吹き出し口温度t_c(℃)、室温t_i(℃)、外気温t_o(℃)を比較する。冷房期では(1)式が、暖房期では(2)式が成立する時間に空調が使用されていたとする。	$C_{on}=1\ (t_o>t_i>t_c)\quad else\quad C_{on}=0$ (1) $H_{on}=1\ (t_c>t_i>t_o)\quad else\quad H_{on}=0$ (2)
b) 観察時間11時、14時、17時の各時間毎に、a)=1が成立する室数の実測室数(通常7室)に対する割合を算出する。((3)式は冷房期、(4)式は暖房期)	$\varphi_C=\sum^{N} C_{on}/N$ (3) $\varphi_H=\sum^{N} H_{on}/N$ (4)
c) 任意の1日についてb)の割合を比較し、最大値をその日の空調使用率とする。((5)式は冷房期、(6)式は暖房期)	$\overline{\varphi_C}=Max(\varphi_C)$ (5) $\overline{\varphi_H}=Max(\varphi_H)$ (6)

ここに、

t_c：エアコン吹き出し口温度 [℃]
t_i：室温(10cm, 60cm, 110cmの3点の平均値) [℃]
t_o：外気温 [℃]
N：実測室数(通常7室)
φ：空調使用率 [%]
$\overline{\varphi}$：最大空調使用率 [%]

なる期間を中間期として，冷房期，中間期，暖房期の区分をおこなった。その結果，

冷房期：1999/9/13～10/3，2000/5/24～6/30
中間期：1999/10/4～11/12，2000/4/12～5/23
暖房期：1999/11/13～2000/4/11となった。

ただし観察調査は中間期を中心におこなっており，本論文における暖房期，冷房期とは暖房，冷房の全期間に対しては一部である。

2.7　窓をよく開ける室とあまり開けない室の判別

居住者の窓開放頻度による室内外の温熱環境の関係を検討するために，室温測定室のうち窓をよく開ける室とあまり開けない室の判別をおこなった。判別は，各室の各開閉センサの記録時間における開放時間の割合で判断し，1割を超える部屋を「窓をよく開ける室」、1割以下の部屋を「窓をあまり開けない室」とした。これより窓をよく開ける室は5室、あまり開けない室は2室であった。

3. 季節ごとの外気温と窓開放率の関係

AIVCレポート(1988)[19]は開放窓数率に影響のあった温熱環境因子として，外気温，外風速，日照を挙げている。外気温，外風速，日射，照度，湿度との関係も検討した結果，本論文では開放率と最も関連があり，既往の研究でも対象とされることの多い外気温と開放率との関係について考察する。

3.1　中間期

中間期について，観察時刻の外気温に対する全窓平均の窓開放率に対するの関係を図-3(a)から(c)に，これらの合計を図-3(d)に示す。全125窓(以後「全棟」)を◆で，前述のA棟19窓(以後「A棟」)を○で示す。

全ての時刻において、外気温と窓開放率は高い正の相関を示す。全棟でR^2=0.60～0.72、A棟でR^2=0.56～0.64であった。すべての時刻をあわせても，相関は高く全棟でR^2=0.65，A棟でR^2=0.57であった。全棟では開放率は外気温20℃のとき約7%，25℃のとき約13%となっている。回帰線を外挿すると、外気温13℃付近で開放率が0になる。回帰直線の勾配は(a)から(c)でほぼ同じで，外気温が高いと窓開放率も高くなることが示された。また外気温と窓開放率の関係は，同じ日では時刻によってほとんど変わらない。

既報[既1)]の意識調査では，「天気がいいから」、「健康的に暮らしたいから」などの外とのつながりに関する心理的な欲求の因子も，「窓を開けた理由」に影響していた。中間期における外気温と窓開放率との強い相関は，空調を使用しない時期の窓開放行為が外界によって動機付けられ誘発されている可能性を示唆している。外とのつながりに関す

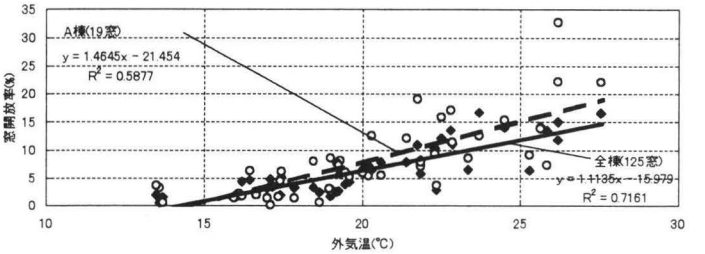


図-3(a)　中間期窓開放率と外気温の関係（11時30分）

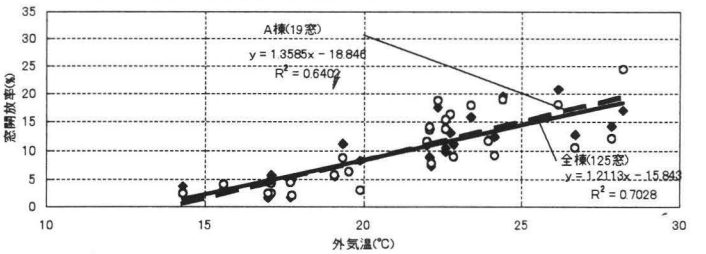


図-3(b)　中間期窓開放率と外気温の関係（14時30分）

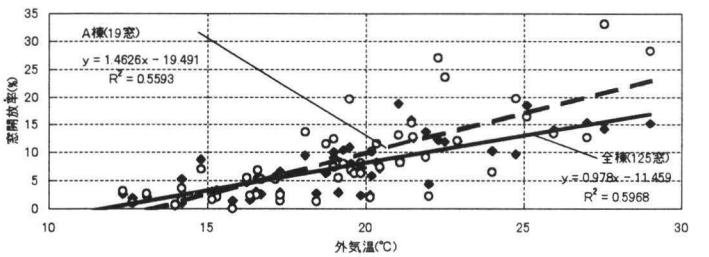


図-3(c)　中間期窓開放率と外気温の関係（17時30分）

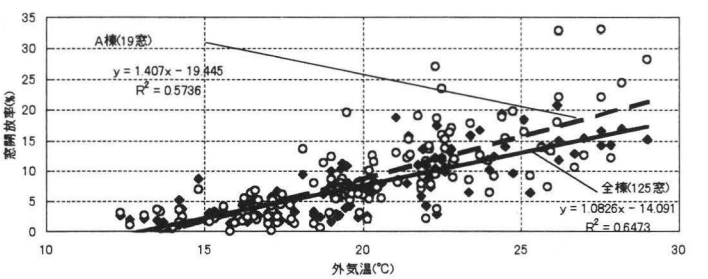


図-3(d)　中間期窓開放率と外気温の関係（全観察時間）

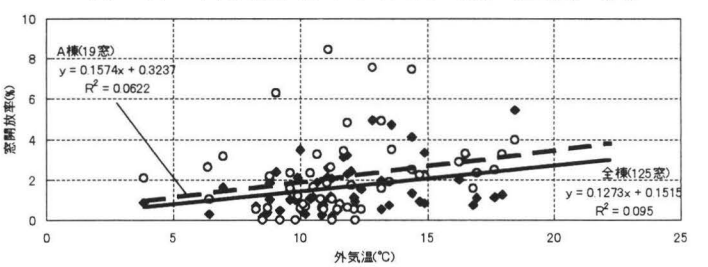


図-3(e)　暖房期窓開放率と外気温の関係（全観察時間）

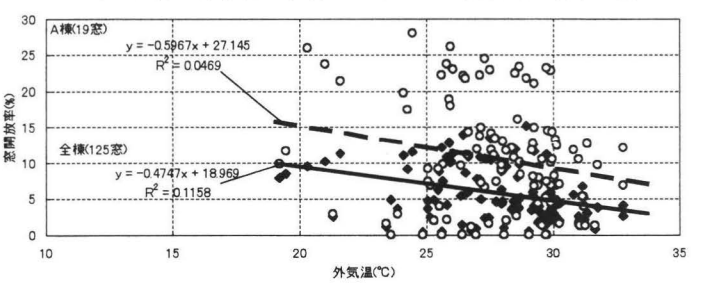


図-3(f)　冷房期窓開放率と外気温の関係（全観察時間）

4～6月の14時は観察を行なっていないが，9～12月の14時のデータを除いても日平均での高い相関性は保たれた。窓開放率と外気温のあいだの相関が時刻別では見られないのに対して日平均でみると相関が高かったことから，いったん冷房を使用しはじめると外気温が低下していても途中で使用を中止して窓を開放する行為にでにくい，という冷房の使われ方の実態を明らかにできたといえる。

6. 外気温と室温の関係

室温と窓開放率の関係については，Fritschら[7]も述べているように，窓を開放したことによって変化した結果としての室温と開放率を関連づけることがないよう配慮が必要であり，本論文では触れない。ここでは，窓開放への室温の影響を検討するために，2.6で判別した窓をよく開ける室とあまり開けない室とで外気温と室温の関係をAdaptive Modelにおいて比較することを試みる。

6.1 Adaptive Model

de Dearら(1998)[21]は，世界各地のフィールド調査を総括して外気温(SET*)に対する快適な室温(作用温度)の範囲をAdaptive Modelとしてあらわし，空調しない建物と空調した建物とでは外気温に対する快適な室温域に違いがあることを示した。

6.2 外気温と室温

Adaptive Modelでは外気SET*は瞬時値ではなく日平均値を用いている。ここでは，ある時点の室温がそれ以前の外気温の影響を受けて決まると仮定して，ある時点の室温と，その時刻の外気温，その時刻より24時間，3日，1週間前までの期間における外気SET*の平均値との4通りの関係を調べた結果，24時間前までの平均との相関が最も高かった。図-9は，観察時刻（11時，14時，17時）におけるA棟室内測定室の室温（グローブ温）と24時間前までの外気温（SET*）との関係を中間期について示したものである。図の5本の平行な直線は空調しない建物についてのAdaptive Modelを表し，中央はComfortを，

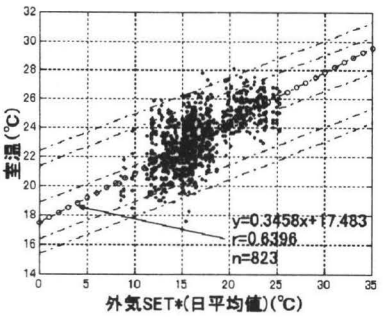


図-9 中間期:全室

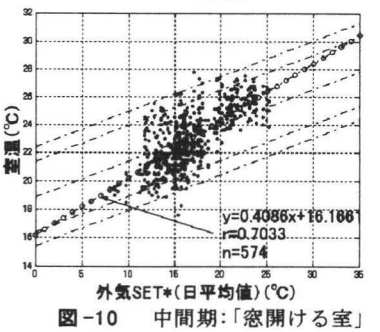


図-10 中間期:「窓開ける室」

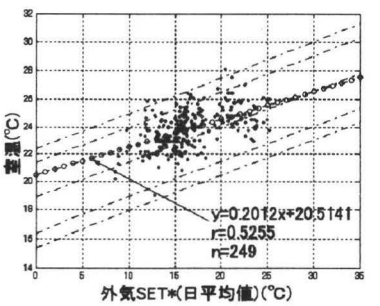
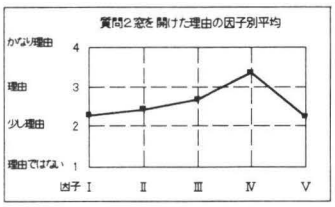


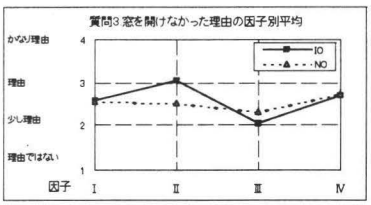
図-11 中間期:「窓開けない室」

その外側の上下2本は90% Acceptable域を，さらに外側の上下2本は80% Acceptable域をあらわす。図-10，図-11は，図-9を窓をよく開ける室とあまり開けない室にわけて示している。

中間期においては，開ける室，開けない室ともに，ほとんどがAdaptive Modelの80% Acceptable域に納まっている。いずれも内外温度の相関は高いが，開ける室(r=0.70)が開けない室(r=0.53)より相関が高い。線形回帰すると，回帰直線の勾配は開ける室のほうが急で，開ける室のほうが外気の変化に敏感といえる。図の各点が室内温熱環境調節の結果であると仮定すれば，各点はそれぞれの外気温に対する許容できる室温をあらわすと解釈できる。ある外気温に対する許容室温範囲は，例えば外気15℃に対して，開ける室では約7℃，開けない室は約4℃あり，開



図－12　窓を開けた要因の因子別



図－13　窓を開けなかった要因の
IOとNOの 因子別得点の平均値

ける室のほうが開けない室より広い。日中の10時から18時までの10分間隔の全観測値についての内外温度の関係においても，開ける室のほうが開けない室よりも許容室温範囲が広かった（図略）。なお，中間期ほど明確ではないが，暖冷房期においても，開ける室のほうが開けない室より許容室温範囲が広かった（図略）。開ける室のほうが開けない室より許容範囲が広かったことから，窓開閉行為による環境調節能力を活用すれば温熱環境の快適域がひろがる可能性が示されたといえる。

7　窓開閉行為の要因に関する意識調査の分析

7.1　窓を開けた要因の因子分析

表－3にIOの「窓を開けた要因」の得点が2.0以上あった項目を尺度とした因子分析の結果を示す。図－12には因子別の要因得点の平均値を示す。これは因子別に集計・平均したもので，各因子の要因としての強さを表す。第Ⅳ；「換気・通風」因子（3.36）が最も高く，ついで第Ⅲ；「室内温熱環境」因子の得点が高かった。窓を「開ける」効用を確認できる，より直接的・明確な意図を持った項目ほど，開放行為の要因として上位を占めると解釈できる。第Ⅳ因子に分類された項目「風通しを得る為」「空気を入れかえる為」の両者は第Ⅰ因子中の「天気がいいから」「外気に触れたいから」と高い相関（P<0.01）を示した。要因としては強くない「外界との心理的つながり」に関する第Ⅰ因子項目と，「換気・通風」に関

表－3 窓を開けた要因の因子分析

因子	評定尺度	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
Ⅰ	健康的に暮らしたいから	0.83	0.14	0.08	0.03	0.08
	天気がいいから	0.78	0.13	0.02	0.29	0.14
	外気にふれたいから	0.75	0.15	−0.08	0.30	0.11
	風にあたりたいから	0.73	0.13	0.30	0.13	−0.23
	気分をかえたいから	0.71	0.47	0.01	−0.06	0.03
Ⅱ	掃除の為	0.16	0.77	0.02	0.04	0.08
	部屋のにおいが気になるから	0.12	0.74	0.00	0.28	−0.26
	部屋のほこりが気になるから	0.26	0.73	0.08	0.08	0.16
Ⅲ	むしむしするから	−0.02	0.05	0.89	0.03	−0.02
	部屋の湿気が気になるから	0.22	0.23	0.73	−0.20	−0.15
	室内が暑いので	0.02	−0.19	0.68	0.31	0.20
Ⅳ	風通しを得る為	0.28	0.07	0.32	0.78	0.01
	空気を入れ替える為	0.16	0.23	−0.13	0.73	0.02
Ⅴ	クーラーだと寒すぎるから	0.11	0.05	0.00	0.03	0.92
	寄与率(%)	32.2	13.7	9.9	8.2	7.2
	累積寄与率(%)	32.2	45.9	55.8	64.0	71.2
	因子別平均	2.27	2.39	2.65	3.36	2.22

表－4 窓を開けなかった要因の因子分析

因子	評定尺度	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
Ⅰ	雨が降っていたから	0.86	−0.03	0.11	0.15
	窓を開けると風で物が飛散するから	0.86	0.09	0.15	−0.06
	虫・鳥が入ってくるから	0.61	0.18	0.53	0.01
Ⅱ	窓を開けるとあつくなるから	0.05	0.93	0.05	−0.01
	クーラーをつけているから	0.08	0.59	0.00	0.56
Ⅲ	騒音が気になるから	0.19	0.00	0.94	−0.01
Ⅳ	閉めていても暑くないから	0.03	0.01	0.00	0.93
	寄与率(%)	35.3	20.7	13.0	10.3
	累積寄与率(%)	35.3	56.0	69.0	79.3
	因子別平均	2.58	3.05	2.03	2.70

表－5 窓を開けなかった要因の因子分析

因子	評定尺度	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
Ⅰ	窓を開けると風で物が飛散するから	0.83	0.16	0.10	−0.04
	雨が降っていたから	0.78	0.28	−0.10	0.03
	虫・鳥が入ってくるから	0.62	−0.04	0.29	0.42
Ⅱ	窓を開けるとあつくなるから	0.17	0.85	−0.05	0.10
	クーラーをつけているから	0.19	0.84	0.14	0.15
Ⅲ	窓を開けることが面倒だから	−0.02	0.23	0.87	−0.23
	窓を開ける習慣がないから	0.16	−0.15	0.73	0.38
Ⅳ	閉めていても暑くないから	0.03	0.26	−0.03	0.89
	寄与率(%)	32.9	17.0	13.4	12.4
	累積寄与率(%)	32.9	49.9	63.3	75.7
	因子別平均	2.54	2.51	2.32	2.73

注）網掛け項目以外は（IO）と（NO）で共通して要因と考えられている項目

する第Ⅳ因子項目との相関が高いことが示され，換気・通風目的の窓開放が，外界との心理的なつながりに影響を受けていることがいえる。

7.2　窓を開けなかった要因の因子分析

表－4にIO，表－5にNOの「窓を開けなかった要因」の得点が2.0以上あった項目を尺度とした因子分析の結果を示す。図－13には因子別の要因得点の平均値を示す。IOは第Ⅱ；「室内温熱環境」因子（3.05）が最も高い。IOは，窓を開けたことによる外の状態や何らかの変化を認識しているから「窓を開けなかった」と解釈できる。NOは第Ⅳ；「閉めていても暑くないから」に関する因子（2.73）が最も高い。

IO で要因としての強さが最も高い第Ⅱ因子は，NO では3番目となった。IO とNO では第Ⅱ因子の得点の差が最も大きい。第Ⅱ因子は外の状態の認識度を示す因子であるともいえることから，NO は外の状態に関心がないことがいえる。また，IO とNO の第Ⅲ因子は，IO が「騒音」に関する因子であるが，NO は「窓を開ける習慣がないから」，「窓を開けることが面倒だから」に関する「習慣」に関する因子となった。NO は「習慣」に関する第Ⅲ因子によって特徴付けられると思われる。これはIO とNO で有意な差のあった項目に，(a)『窓を開ける習慣がない(0.1%)』、(b)『窓を開けることが面倒(1%)』が挙げられたこととも一致するといえる。以上より，要因得点はIO とNO の外界の認識の有無が，IO とNO の窓を開けなかった要因の違いに影響を及ぼしているといえる。

8. まとめ

大学における74居室の125窓を対象におこなった中間期を中心とする7ヶ月にわたる1日2～3回の開放面積も含めた観察調査，および同時に観察室の一部である7室(19窓)を対象におこなった10分間隔の室内温熱環境実測調査にもとづいて，窓開放率と内外気候との係わりについて実態を明らかにした。開放率とは，窓の開放可能面積に対する開放面積の割合として定義した。中間期，暖房期，冷房期の季節の区分は，室内温熱環境の実測室における室温，エアコン吹出温，外気温の関係をもとにした空調使用率からおこなった。前節までの記述をふまえ，以下のように結論づける。

今回調査対象とした窓について，

(1)外気温とそのときの窓開放率のあいだには中間期には高い正の相関があり，暖房期，冷房期には相関がない。

(2)暖房期において開放率は低下するが完全にゼロになることは少なく，開放可能面積の5%が開放されている時刻もある。

(3)窓開放面積は，1日の午前，午後，夕方の調査においてほとんど日内変化を示さない。

(4)日平均外気温と日平均開放率のあいだには，中間期には高い正の相関が，冷房期には高い負の相関があり，暖房期には相関がない。開放率を日平均外気温から推定する可能性が示された。

(5)冷房期には瞬時の外気温と開放率は相関がないが日平均外気温とは相関があったことから，いったん冷房を開始すると外気温にかかわらず冷房を使用し続ける，という実態が示された。

(6)暖房期には瞬時外気温も日平均外気温も窓開放率と相関がなかったことから，暖房期には外気よりも室内側の要因によって開閉がおこなわれているといえる。

(7)外気温と室温の関係は，窓開放頻度の高い室と低い室ともに，ほとんどがAdaptive Model の %快適域に入っていた。しかし開放頻度の高い室と低い室を比較すると，同じ外気温に対して頻度の高い室のほうが室温の範囲が広い。開放頻度の高い室で在室者の温熱環境調節能力が発揮された結果であるといえる。

窓開閉がどのような状況で行われ，室内外気候とどのように関係するのかを把握することは，建物運用時の環境負荷低減にとって不可欠であり，中間期を延ばす方策が提案される必要がある。本研究は，中間期を中心とする7ヶ月間にわたる(1)窓開放面積率の観察調査,(2)窓開閉センサによる開閉の記録と室内温熱環境の実測，に基づいて，窓開放率と内外気候の係わりについて検討した。結果として,(1)窓開放率は1日において時間帯による変化が小さい,(2)日平均窓開放率と日平均外気温には中間期には正の，冷房期には負の高い相関があり，日平均開放面積は日平均外気温から推定できる,(3)暖房期においても開放率は完全にはゼロにならない，などが明らかになった。

４－１　景観材料普及促進シンポジュウム「景観材料と環境の調和」

社団法人 日本建材産業協会／
景観材料推進協議会

審議役　森田 博

１、本研究の背景

近年多くの人々が都市デザインに関心を寄せるようになってきており、また、地方の時代と言われるように、人々は（特に若い人々）大都市指向ではなく、むしろ地方都市イメージの向上に伴って、ﾛｰｶﾙな生活も重視するようになったことが認められる。すなわち、特色ある自然環境との調和、あるいは歴史的、文化的街並み、そこでは住む人々ばかりではなく、そこを訪れる人々にとっても安らぎと調和に感動を覚えるような地域の出現が注目を集めている。市民活動として、自分たちの住む街をより良く住み易いものにする－公共空間のバリアフリー化、環境共生の生活システムなどを指向した街づくりが急速に進んでいる。現在、人々が関心を持たざるを得ないこれからの”生活空間設計”は、”景観問題”をぬきには語られないものとなっているといえる。

２、目的

全ての生活者にとって心地よい生活が享受できるためには生活環境の整備と共に、優良で高品位の景観形成対策が必要である。このため、私ども景観材料推進協議会では、会員各社に優良景観材料の開発を呼びかけ、他方では景観に対する一般市民の啓発活動に尽力してきた。景観とは、形成の過程においては、個々に実施された景観整備が結果的に相互に影響し合う形となっており、それぞれの個別要素が共存してうまく調和がとれた時、私達はその調和の美しさにやすらぎと感動を覚えることができる。従って、個々の景観整備にも使用される材料の果たす役割は非常に大きい。”景観材料”の景観への関わり方は、部材／構成材として非常に影響が大きいということである。また、素材としてとらえた時、景観材料に要求される性能は第一にその材料としての適正な品質・性能が保持されること、言葉を変えれば

物理的化学的特性（耐食、透水、防水、防錆）基本性能、そして使用される周辺環境に調和し、高品位の空間を作り上げる材料性能としての景観特性である。景観の保全には通常、材料特性に応じたメンテナンスが必要であり、適切な情報と経験が要求される。景観材料を広く国内に普及させるため、景観材料推進協議会としては、背景においてもふれたように、主として地方自治体レベルを対象に、景観材料推進協議会の景観・街づくり提案提言能力を発揮し、景観材料に関する知識・情報の提供及び、市民による景観形成活動をバックアップできるよう、”景観”シンポジウムまたは、”街なみづくり”シンポジウム等をタイアップして推進していきたいと考える。

３、研究の方法、計画

戸田市は本年、市制３５周年を迎え景観条例を制定の運びとなった。記念事業のひとつに「都市景観フォーラム２００２」が計画されていることがわかり、戸田市側と話し合いの結果、当景観材料推進協議会が後援のかたちで積極的に支援することとなった。メインのパネルディスカッションには、景観材料推進協議会からも出席者を予定し、当日会場ロビーでは、景観材料推進協議会コーナーを設置のうえ、景観材料推進協議会パネルの展示のほか、各種景観ガイドブック、広報誌、景観イベント情報の提示または頒布などを行うことになった。一般市民入場者に対する「市街地活性化」パンフレット、「街並みと景観」要約版などを無料配布し、景観フォーラムに対する関心の盛り上げにも配慮することにした。

４、実施状況

戸田市は市制３５周年記念事業の本年度最後のイベントとして、平成１４年１月２６日戸田市文化会館大ホールにて「都市景観フォーラム２００２」を開催した。景観材料推進協議会は後援者として積極的に参画し、当日のフォーラム会場フロントでは、「景観材料推進協議会コーナー」を設置し、各種景観材料、KISS データベース紹介のパネル展示、今迄刊行した「景観ガイドブック」の紹介・頒布等を行い、入場者に対し景観材料および街づくりに関する当協議会の各種情報提供とあわせて当協議会のＰＲを行った。

当日の入場者数は主催者側計画にほぼ近い約５００名であり戸田市各町村からの一般市民

のほか、近隣市町村関係者も多く参画がみられた。

「フォーラム」の開催は景観フォトコンテストの表彰からはじまり、次いで写真家の織作峰子氏の基調講演が続いた。内容は「ファインダーから見える素敵なまち」のタイトルのもと、日本を含め世界各地から選びだした“素敵なまちなみ”事例を、プロの写真家のカメラアングルで紹介、街づくりでの参考ポイントを指摘したものであった。後半、メインのパネルディスカッションに移り、冒頭、戸田市長の神保国男氏の挨拶のなかで制定したばかりの戸田市景観条例の紹介があった。戸田市景観条例の他市にないユニークな項目は、条例第三条の“三軒協定”で、認定されたものに対し市から助成があり、市民参加型まちづくりの力強いﾊﾞｯｸｱｯﾌﾟになっている事である。 パネリストには当協議会を代表し、シンポジウム部会主査の府川充氏が出席、専門家の立場から街づくりの秘訣につき事例をまじえ話された。なお他のパネリストのうち市長以外は女性で戸田市景観づくりに実際に参画・研究してこられた川口勝美氏、佐谷和枝の両氏でいずれも市民の立場から的確で平易な発言をされた。コオーディネーターは東京大学大学院都市工学専攻の北沢助教授で幅広い実践経験もふくめてディスカッシンをリードされていた。最後に一般市民から熱心な質問がつづき各パネリストともかなりの応答が行われ、パネルディスカッションは成功裡に終了した。

5、研究の成果と今後の展開

1）今回の戸田市景観フォーラムでのパネルディスカッションに於いて、景観材料推進協議会シンポジウム部会主査府川充氏がパネラーとして出席し、当協議会の“まちづくり”に対する考え方や専門委員会の研究成果を背景に、会場の戸田市民に対し今後の参考になる提言を含め、各種の参考事例を解説され、景観に関する市民への時宜をえた啓発を果たせた。

2）戸田市景観フォーラムに関する実施報告書を別途とりまとめ制作した。これらは、景観地材料推進協議会 会員、関係団体に配布し、「景観形成」、「まちづくり」に対する景観材料推進協議会の積極的な取り組みをＰＲする一方、今後のシンポジウム活動の参考として活用する。

添付資料

① 景観材料普及委員会 シンポジウム部会 委員
② 同上 部会開催記録
③シンポジウム報告書 「素敵なまちになる秘訣
④戸田市「都市景観フォーラム２００２」開催
・開催案内（ちらし）
・戸田市景観条例あらまし
・要約版「街並みと景観」（景観材料推進協

景観材料推進協議会 ・ シンポジウム部会（２００２年3月）

	氏名	企業名	部署名	役職名	住所－１	住所－２	電話番号	Fax番号
主査	府川　　充	株式会社ジイケイ設計	地域計画部	部長	新宿区上落合1-16-7	NKﾋﾞﾙ	03-3360-8321	03-3360-8328
委員長	大谷　正紀	旭硝子株式会社	硝子･建材事業本部硝子事業部ﾏｰｹﾃｨﾝｸﾞｸﾞﾙｰﾌﾟ	主幹技師	墨田区錦糸1-2-1	ｱﾙｶｾﾝﾄﾗﾙ15F	03-5610-0139	03-5610-0150
委員	斉藤　新太郎	伊藤鉄工株式会社	都市景観材部	課長代理	川口市川口6-3-14		048-258-3332	048-258-5560
委員	久貝　孝一	新日軽株式会社	ｴｸｽﾃﾘｱ事業本部景観推進部	景観推進担当部長	品川区大崎1-11-1	ｹﾞｰﾄｼﾃｨ大崎 ｳｴｽﾄﾀﾜｰ	03-5759-2207	03-5759-2298
委員	大橋　裕人	ニチハ株式会社	開発企画部	課長代理	名古屋市港区汐止町12		052-384-2321	052-381-0435
委員	久保　量載	日本ペイント株式会社	ﾃﾞｻﾞｲﾝｾﾝﾀｰ・ｲﾝﾀﾞｽﾄﾘｱﾙﾃﾞｻﾞｲﾝｸﾞﾙｰﾌﾟ	ﾃﾞｨﾚｸﾀｰ	品川区南品川4-1-15		03-3740-1358	03-3740-1359
委員	足立　卓実	松下電工株式会社	電器分社 電器ﾃﾞｻﾞｲﾝ室	課長	港区芝浦1-12-3	住友成泉芝浦ﾋﾞﾙ8F	03-3457-7467	03-3769-4806
事務局	藁科　正康	景観材料推進協議会			中央区日本橋浜町2-17-8	浜町花町ビル	03-5640-0903	03-5640-0905

景観材料推進協議会　　シンポジウム部会

		開催年月日	実施概容概略
平成13年度	第1回委員会	2001.6.5	シンポジウム開催計画に対応して新たにシンポジウム部会を立ち上げ、基本方針を設定した。
	第2回委員会	2001.7.27	企画提案審議のなかで地域事業委員会を含め１０月までの開催可条件妥当な候補なく、実施を２月までに延期し候補再設定とした。
	第3回委員会	2001.8.28	共同開催候補先の情報をもとに基本計画審議。開催地は、関東（東京、埼玉）をメインにする。
	第1回実行委員会	2001.9.27	シンポジウムのテーマは、「街並みとファサード研究委員会」（本年9月終了。トステム建材産業振興財団助成テーマ）の研究成果タイトルである”街並みと景観”を採用することに決定。講師候補は東京大学大学院都市計画専攻　北沢助教授。
	第2回実行委員会	2001.10.24	シンポジウム講演に関する北沢助教授との交渉のなかより来年1月計画の戸田市景観フォーラムご推奨あり、戸田市側企画担当の都市環境研究所との接触・協議から第一候補として設定した。
	第3回実行委員会	2001.11.22	来年1月計画の戸田市景観フォーラム参画につき戸田市都市計画部訪問、協議をした結果、当協議会は後援の形で参画を合意した。委員会において実行役割分担、実施企画案を審議し決定した。パネルディスカッションでは、景観材料推進協議会を代表して、委員会主査の府川充氏の出席が決定。
	第4回実行委員会	2002.1.16	フォーラム企画担当の都市環境研究所との事前打合せをもとに、当協議会の役割分担の確認、及び、フォーラム終了後の報告書作成案につき審議した。
	シンポジウム開催/立会	2002.2.26	開催当日、景観材料推進協議会コーナーの設置及び対応を実施、当協議会の活動をPRした。景観材料パネルの展示、景観材料普及関連資料を含め「景観ガイドブック」の頒布、入場者への小冊子、チラシの提供など実施した。

禁 無 断 転 載

第9回（平成12年度）研究助成成果報告書

2003年5月吉日

発　行　財団法人トステム建材産業振興財団
〒136-8535 東京都江東区大島2丁目1番1号
トステムショウルーム東京7階
電　話　03－5626－1008
FAX　03－5626－1033