第12回（平成15年度）
研究助成成果報告書 Ⅱ

２００７年３月

財団法人トステム建材産業振興財団

はじめに

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

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

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

このような社会的ニーズにいささかなりとも寄与したいと考え、弊財団では、平成4年設立以来、『住宅および建材産業の分野におけるすぐれた調査・研究・開発』について、研究助成を続けてまいりました。平成18年度までの助成実績は、延べ521件、5億5,129万円に達しております。

今回の助成成果報告書は、このうち、第12回（平成15年度）に助成を行なったものの研究成果をまとめたものであります。これからの住宅・建材産業の発展に貢献できれば幸いに存じます。

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

財団法人トステム建材産業振興財団
理事長　潮田　健次郎

はじめに

第１部　調査研究

02-14　視覚障害者の安全快適な誘導装置としての床・壁・天井の空間構成システム
－五感を活用したユニバーサルデザインとしての内装材の検討－
摂南大学 工学部 建築学科 教授 田中 直人 ---------- 1

03-01　生理学的変化に基づく建築外装材の印象評価についての研究
東京大学大学院 助手 兼松 学 ---------- 13

03-02　透湿性能に方向性がある透湿傾斜木質材料による住宅壁内の湿度改善
東京大学大学院　助教授 信田 聡 ---------- 27

03-05　「建築病理学」を形成する基礎的な知識体系の構築
ＮＰＯ法人建築技術支援協会 主査　小松 幸夫 ---------- 53

03-07　伝統技術に学び現代技術に依拠した住宅建設用構法別木材品質基準の策定
秋田県立大学 木材高度加工研究所 名誉教授 鈴木 有 ---------- 63

03-10　木造戸建住宅用第２種機械換気システムの開発に関わる研究
千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 教授 小峯 裕己 ---------- 85

03-11　ヨウ素化合物を利用した環境保全対応型アルミニウム建材の表面処理に関する研究
千葉工業大学 工学部 機械サイエンス学科 教授 高谷 松文 ---------- 161

03-16　集合住宅再生工事における部品化技術及びデータベースモデルの開発
椙山女学園大学 生活科学部 助教授 村上 心 ---------- 173

03-19　光触媒による自浄作用を有する木質建築材料の開発
岐阜大学 農学部 教授 棚橋 光彦 ---------- 187

第２部　人材育成・論文

03-20　木材の腐朽劣化が木質構造ボルト接合部のせん断性能に及ぼす影響
秋田県立大学 木材高度加工研究所 流動研究員 澤田 圭 ---------- 207

03-21　断面寸法を中心とした書院造の内部空間に関する研究
東京芸術大学大学院 美術研究科 博士後期課程１年 木村 顕 ---------- 223

02-14 視覚障害者の安全快適な誘導装置としての床・壁・天井の空間構成システム

－五感を活用したユニバーサルデザインとしての内装材の検討－

摂南大学工学部建築学科
教授　田中直人

1. 本研究の背景と目的

近年の福祉のまちづくりでは高齢者や障害者等を考慮したバリアフリーに関する空間構成材の開発普及が進められ、これを導入した住宅や各種の建築物、公共空間の整備が進められつつある。しかしながら、これら全ての空間構成材が、安心・安全なものであるかについての検証が必要であると思われる。

人間は視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚の五感を通して環境を認知すると言われている。視覚障害者は外部の環境の大半の情報を認知する重要な感覚である視覚においてハンディキャップを持つ人のことの総称である。日常生活において必要な情報不足に不自由することが多い。しかし、歩行空間ではさまざまなまちや施設内の音源等の聴覚や点字ブロックのような触覚やスロープや壁面などをつたう際の触覚などが外部から得られる情報源になっている。

視覚障害者を考慮した移動手段として代表される、視覚障害者誘導用ブロック（点字ブロック）においては、JIS をはじめとする基準によって敷設されているが、医療施設や各種の福祉施設の現場においては、高齢者や他の障害者をはじめ、施設の利用者からは歩行上の障害となり、またインテリアや景観デザインの妨げになるという指摘も多い。このような実状を踏まえ、既存の建材特性を十分に把握しながら、より多くの利用者の立場に立った評価検証を基本に据えたデザイン開発が望まれる。

本研究は、このような経過や背景を踏まえ、いわゆるユニバーサルデザインの視点による床･壁･天井の空間構成システムを構築するための基礎的知見を得ることを目的としている。

2．各種基準・材料等の現況

2-1　調査の概要

現在、視覚障害者の歩行空間における誘導装置には点字ブロックの他、点字表示板、音響信号機、電子チャイム等がある。しかし、すべての装置が十分に設置される環境でないことやその手段において、音響信号機や電子チャイムなどのように音を利用するものは、近所迷惑になる問題がある。また、点字表示板は、点字表示板があることを知らせる手段がないと視覚障害者は利用することができないなどシステム的な配慮が欠如している状況では効果が薄い。視覚障害者が持つ白杖に磁石などを入れ、磁石が近づくと音が鳴る視覚障害者誘導システムでは音が常に鳴り続けるため、近所への迷惑が発生する。これに対し、視覚障害者が来た時だけ必要な時にだけ音が鳴るよう改善したシステムの開発が期待される。現在、ユビキタス技術を用いた誘導のためのシステムが開発されつつある。その一部は実験的段階を踏まえて実用化の方向である。システムがどれだけ簡素で利便性が増大するかが問題となる。ここにおいて、このようなシステムにどれだけの社会資本の投資が妥当であるかということ

も重要であり、当初のイニシャルコストだけではなく、適切な情報の管理提供を図るためのランニングコストやそのプログラム開発も重要になる。

これらの状況を踏まえて、行政、学会、業界等により、既に示されている空間構成システムに関する国内外のISO、JISをはじめ、基準や材料に関する情報を調査する。

2-2　調査結果

空間構成システムに関するISO、JISをはじめ基準に関して調査を行うと共に、日本建築学会等における関連の既往研究を調査した。材料や商品については国際福祉機器展やバリアフリー展などの展示会をはじめ、国内主要メーカーが取り扱う商品について、データーシート化することにより、収集した情報を分類整理した。現段階では本研究のめざす五感を活用した視覚障害者の安全快適な誘導装置としての空間構成システムに関する基準並びに既往研究、材料、商品について特に際立つものは少なかったが、2003年４月に独立行政法人 産業技術総合研究所（産総研）が高齢者・障害者に配慮した「聞き取りやすい報知音」や、「見やすい視覚表示物」の普及促進に寄与することを目的とした『高齢者・障害者配慮設計指針』ＪＩＳ原案3件を経済産業省へ提案するなど、この分野における研究開発動向が今後注目される。これはＩＳＯへの国際規格提案も視野にいれた、産総研の研究成果に基づく工業標準化への試みである。ISO/IECガイド71（規格作成における高齢者、障害者のニーズへの配慮ガイドライン）が2001年に制定され、高齢者・障害者に配慮した具体的な規格作りの推進が国際的に求められている。現在ISO/TC159（国際標準化機構/人間工学専門委員会）に設置されたアドホック委員会において、高齢者・障害者配慮国際標準化の方策が検討されている。

JIS原案の名称は以下のとおりである。

・高齢者・障害者配慮設計指針－消費生活製品の報知音－妨害音及び聴覚の加齢変化を考慮した音圧レベル
・高齢者・障害者配慮設計指針－視覚表示物－年代別相対輝度の求め方及び光の評価方法
・高齢者・障害者配慮設計指針－視覚表示物－日本語文字の最小可読文字サイズ推定方法

視覚障害者に対して音声誘導が有効で期待されることであるが、それぞれに対応した複数の端末機器を携帯する必要という現状の混乱がある。これに対して端末を１台に集約する標準化の取り組みがなされている。　日本健康福祉用具工業会は1998年度から経産省の委託で「福祉用具・システムの標準化に関する調査研究」に取り組み、介護ベッド、リフト、視覚障害者に対する歩行支援に関するＪＩＳ化を検討してきた。標準化によって市場の品質保証や安全性・操作性の向上、機器の組み合わせ使用・互換性などの効果が期待されている。視覚障害者の音声認識システムのＪＩＳ化を検討する「情報システム小委員会」の活動では、初年度の1998年に現状を調査している。視覚障害者の音声方式による誘導・案内システムは、赤外線や電波を利用して現在位置を知り、それを音声に変換して伝えるシステムで、主に赤外線光方式と電波方式の２つがあること。さらに、各方式に互換性がなく一長一短あること。赤外線光方式は障害物に弱く、電波方式は方位性が判別しにくいこと。すでに、そうした様々な誘導・案内システムがいろいろな施設で使われていることなどを調査している。翌1999年度はこの調査に基づいてＪＩＳ原案の作成をめざし、その方式、設置面、情報面についての検討をし、ＪＩＳ原案を作成している。ＪＩＳ原案の内容をさらに深めるため、実際に導入

した施設へのアンケート調査や当事者へのヒアリング調査を行い、国土交通省の歩行者ＩＴＳや駅でのバリアフリー化、警察庁の視覚障害者の交差点での安全性の確保、それに総務省の電波方式による位置確認や誘導など、各省庁の同様な取り組みが明らかになった。市場的にはインフラ側と端末側の整備があり、ＧＰＳなどで位置確認する歩行者ＩＴＳの端末機器は携帯電話に機能を付加するものも生まれる。企業を中心にした産業化の動きと各省庁の取り組みとして道路の機能アップや駅の安全性の向上、視覚障害者への情報提供サービスなどがあり、ＩＴ技術等の活用によってバリアフリーなサービス提供をめざしている。今後ＧＰＳを活用したシステムなどの取り込みも検討していくことになる。様々な信号を１つの端末で受信して情報を得ることができるようになれば、いくつもの端末を持つ必要がないが、実現には技術的な課題が多い。

３．モデル事例によるバリアフリー評価と空間構成システムの課題抽出

3-1　実験の概要

五感を活用したモデル事例を選定し、利用者からのバリアフリー評価実験等を経て、問題点を整理し、今後の空間構成システム構築への課題を抽出する。対象とするモデル事例は、筆者が空間構成システムの試みを担当した国際障害者交流センター（ビッグ・アイ）および静岡県立総合病院とする。

モデル事例①：国際障害者交流センター（ビッグ・アイ）の概要

近年、視覚障害者誘導用ブロック（点字ブロック）に関しては、JIS をはじめとする基準により敷設されているが、医療施設や各種の福祉施設の現場において高齢者や障害者をはじめ施設利用者からは、歩行上の障害や、インテリア等の妨げになるという指摘も挙げられている。筆者らは、国際障害者交流センター（ビッグアイ）の設計において、当事者参加によるモックアップ（実物大模型）検証実験を行った。この中でトイレや浴室等と共に廊下の歩行空間において、床材の色と材料の組合せを工夫した点字ブロックに代わる誘導装置の提案をし、その検証実験を行った。

実験としては多くの利用者の参加協力を得て、モックアップ（実物大模型）を用い、高齢者や障害者が利用するトイレ・浴室・廊下などの基本的な居住空間の計画や設計内容を対象とした。ここではすべてが新たな空間構成材とシステムの開発にむけたプロセスとして位置付けられた。廊下における床の誘導システムとしての色彩や材質の組合せを工夫するなど、バリアフリーを利用者の視点で検証し、より高度なバリアフリーとして建材の適用性を高め、結果としてさりげなく美しく、安全で快適な環境の実現が図られた。

モデル事例②：静岡県立総合病院の概要

増改築を繰り返すことによって、来院者の院内行動において分かり難さが問題となっていた総合病院において、サイン計画を見直すプロジェクトである。既存のサインをできるだけ有効利用することを余儀なくされたが、来院者や病院関係者へのヒアリング調査やアンケート調査を通じて確認された問題点の解決へ向けた廊下交差点部分や利用要求の高かったトイレへの誘導サインなどについて新たなサイン計画の提案が求められた。視覚障害者誘導用

ブロックによる誘導に代え、壁面の誘導ラインや交差点部分における床材の変化や天井からの環境音楽によるサインなどが導入された。

3-2　実験の結果

①国際障害者交流センター（ビッグ・アイ）のバリアフリー評価の結果

本施設廊下における床の誘導システムの評価検証として、2002年の11月に視覚障害者4名（全盲者2名、低視力者2名）による検証実験を実施した。検証対象となる床誘導ラインは、施設廊下の木調長尺シートに対し、廊下両壁面下に各380mm 幅のブルーカーペットを敷設したものである。結果、点字ブロックに代わる誘導装置として有効に活用することができるとする評価を得た[文1]。

②静岡県立総合病院のバリアフリー評価の結果

サイン計画提案に基づき実施したサイン工事完了の1年後、病院関係者や来院者に定着しつつある時期として、五感を活用した情報提供装置の実現のための基礎的知見を得ることを目的とし、サインの評価確認を実施した。調査は2004年の1月、来院者へのヒアリングとし、299名からの評価を得た。

結果、被験者の多くは健常者（晴眼者）であったため、サインの役立ち度として評価が高かったのは視覚情報による盤面サインであった。点字ブロックの代わる交差点部分のクッション性の高い床材に対する評価は低かったが、高齢者の評価は全体平均を上回るものであった。また、視覚障害者による個別ヒアリングの結果では、交差点部分の床材の変化や天井からの環境音楽によるサインに対しては、交差点部分を知らせる情報提供手段として有効であるとする評価を得ることができた[文2]。

4．実験モデル装置を使用した実験による評価

4-1　実験の目的

より多くの人にとって安全快適であり、また視覚障害者に対して有効な誘導装置を提案すべく、ビッグアイでの結果も踏まえ、施設内の床材に着目し、視覚障害者を対象に素材の異なる床材の通路上を歩行してもらい、有効性に関する官能評価実験を実施した。

JIS 等の基準により視覚障害者誘導用ブロックが敷設されているが、歩行上等の問題点も挙げられている。本研究では、より多くの人にとって安全快適であり、また視覚障害者誘導用ブロックに依存する方法ではなく、視覚障害者においては有効なユニバーサルデザインとしての誘導装置開発のための計画要件を導き出すための基礎的知見を得る。

今回は特に施設内における床材に着目し、視覚障害者を対象に素材の異なる床材の通路上を歩行してもらい、官能評価実験での違いの認識度を確認することで、視覚障害者に対する誘導装置の有効性を確認する。

4-2　実験概要

①被験者

神戸市視覚障害者福祉協会会員および京都ライトハウス利用者の72名に対し、実験装置による官能評価実験を実施した。詳細は次のとおりである（表1）。

表1 実験概要

	神戸市視覚障害者福祉協会	京都ライトハウス利用者
実験時期	2004 年7月19 日～23 日	2005 年1月9日～10 日
実験場所	神戸市総合福祉センター	京都ライトハウス
参加人数	39 名	33 名
障害種内訳	全盲 22 名、弱視 17 名	全盲 16 名、弱視 17 名

②実験装置および実験方法概要

基本床材が長尺ビニルシート（以下「長尺」とする）の「装置 A」とフローリングの「装置 B」のそれぞれに4つの誘導用床材を組合せた、計8パターンの床材組合せを作成した（図1，表2）。被験者には8パターンの装置上を歩行してもらい、「基本床材と誘導用床材との違いのわかりやすさ（以下「違いのわかりやすさ」とする）と「歩きやすさ」について、官能評価を得た。官能評価結果を測る指標として、各床材の衝撃吸収性を採用した。検証歩行を終えた被験者に対しては、歩幅の測定、および廊下に設置されている手すりを握った状態での、壁面および壁面側の足との距離を計測した。

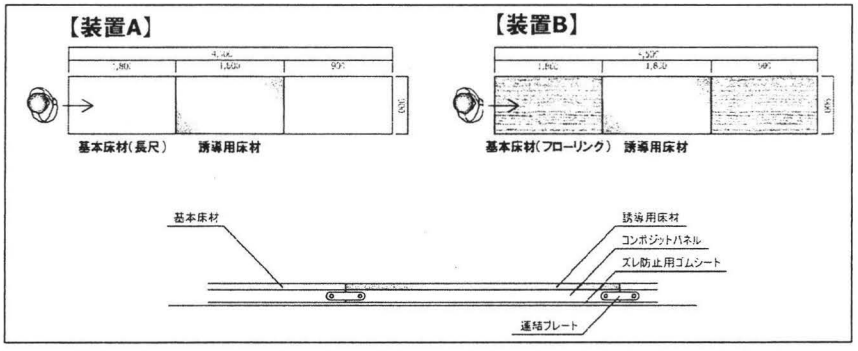


図1 実験装置

表2 床材の組合せと衝撃吸収性

装置	基本床材	誘導用床材
装置1	長尺シート	① クッションフロア
		② カーペット（毛足短）
		③ カーペット（毛足長）
		④ 凸型長尺シート
装置2	フローリング	① クッションフロア
		② カーペット（毛足短）
		③ カーペット（毛足長）
		④ 凸型長尺シート

4-3　官能評価結果

①属性

被験者である神戸市視覚障害者福祉協会会員および京都ライトハウス利用者の計72名のうち、54%が全盲者、46%が弱視者であった（図2）。

性別においては男性44%、女性56%であり、やや女性被験者が多い（図3）。

年齢別では、多い順に60歳代44%、50歳代23%、70歳代16%とつづき、被験者の多くは中高年層である（図4）。

実験参加募集に際し、各被験者には日常使用している靴を履いての参加を求め、実験開始前に各被験者の履いている靴の底厚を計測した。結果、21～30mm が31%、11～20mm が30%とつづく（図5）。

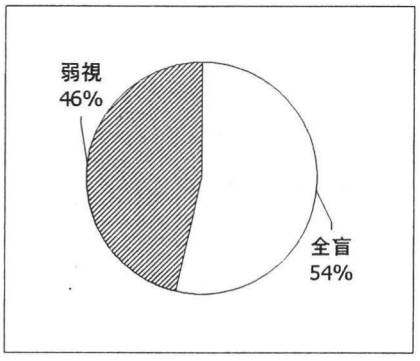


図2 障害種別

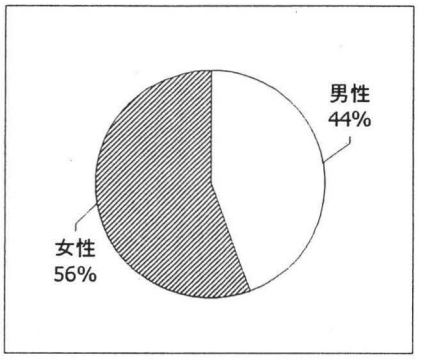


図3 性別

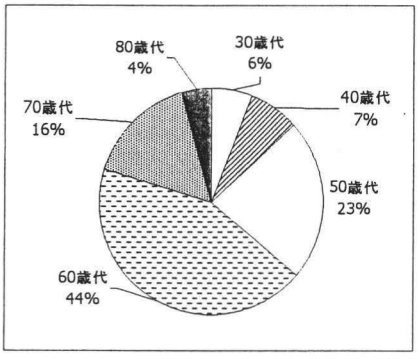


図4 年齢別

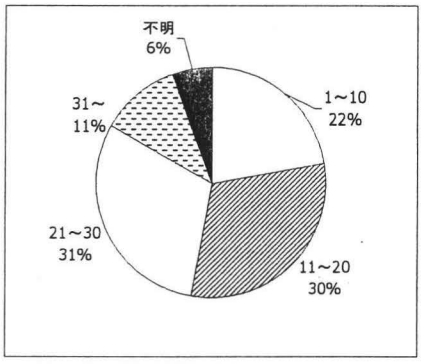


図5 靴底厚別

②違いのわかりやすさと歩きやすさ

i．違いのわかりやすさと歩きやすさ評価

8パターンの床材の組合わせに対し、違いのわかりやすさと歩きやすさについて評価を得た。違いのわかりやすさに関する3つの評価軸には、「はっきりわかる：3点」「意識するとわかる：2点」「わからない：1点」と点数を配し、床材組合せ8パターンについて、それぞれ平均値を出した。結果、評価の高い順に「フローリング／長毛カーペット：2.94点」「長尺／長毛カーペット：2.93点」「フローリング／短毛カーペット：2.76点」とつづく。最も評価が低かったのは「長尺／クッションフロア：1.99点」であった。

歩きやすさに関する3つの評価軸には、「とても歩きやすい：3点」「普通に歩ける：2点」「歩きにくい：1点」と点数を配し、床材組合せ8パターンについて、それぞれ平均値を出した。結果、評価の高い順に「フローリング／短毛カーペット，長尺／短毛カーペット：2.25点」「フローリング／クッションフロア：2.24点」「長尺／クッションフロア：2.22点」とつづく。最も評価が低かったのは「フローリング／長毛カーペット：2.03点」であった（図6）。

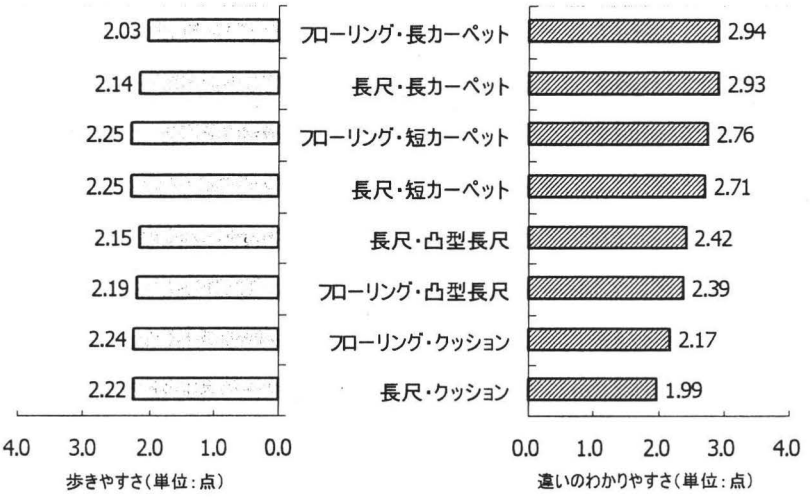


図6違いのわかりやすさと歩きやすさ評価

ⅱ．相関関係

以上の結果より、違いのわかりやすさと歩きやすさを比較すると、これら2つの評価はやや反比例しているように見受けられる。そこで、この2評価間の相関の強弱について確認する。

違いのわかりやすさの評価結果には、各2床材の衝撃吸収性の差が影響していると考える。また歩きやすさに関しては、誘導用床材の衝撃吸収性が影響していると考える。よって、以下の2変数間の相関の強弱について確認する。

①違いのわかりやすさ－衝撃吸収力の差

②歩きやすさ－中間床材の衝撃吸収力

③違いのわかりやすさ評価－歩きやすさ評価

結果、各相関係数ｒは表2のとおりとなり、非常に弱い相関であることが確認できた（表3，図7，図8，図9）。

表3．相関係数

2変数	違いのわかりやすさ評価 ｜ 衝撃吸収力の差	歩きやすさ評価 ｜ 中間床材の衝撃吸収力	違いのわかりやすさ評価 ｜ 歩きやすさ評価
単回帰式	y = 0.0061x + 2.3372	y = -0.001x + 2.2648	y = -0.1037x + 2.447
相関係数	r=0.3966	r=0.3790	r=0.1862

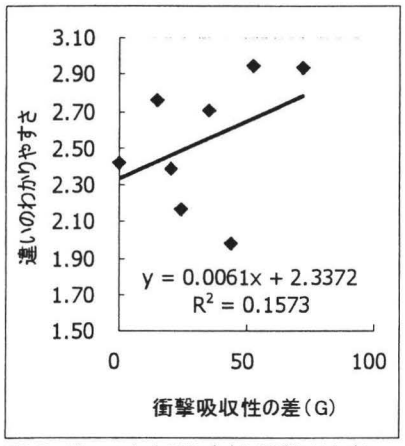


図７ 違いのわかりやすさと衝撃吸収性の差の相関

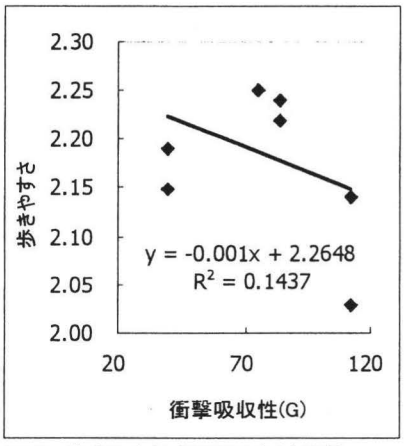


図８ 歩きやすさと誘導用床材衝撃吸収性の相関

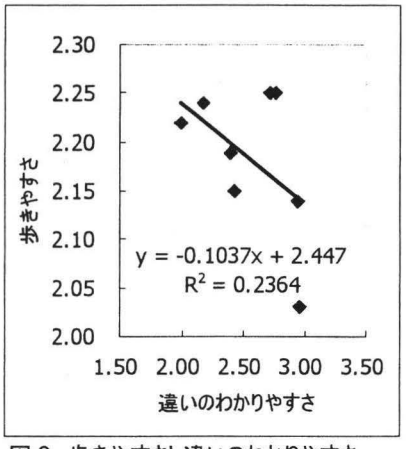


図９ 歩きやすさと違いのわかりやすさの相関

ⅲ．ポジショニング

違いのわかりやすさと歩きやすさの評価に対し、障害種別と靴底厚別について、コレスポンデンスによるポジショニングを行った。

結果、障害種別でみると、違いのわかりやすさについては弱視者の場合、誘導用床材が長毛カーペットや短毛カーペットを評価しており、全盲者もややその傾向にある。歩きやすさについて弱視者は誘導用床材が凸型長尺を、全盲者はクッションフロアを評価しており、衝撃吸収性が低い、言わば硬めの床材が選ばれている（図10）。

靴底厚別でみると、違いのわかりやすさについては特に21mm 以上の厚みのある靴をはいている人は「長尺／長毛カーペット」と最も衝撃吸収性の差が大きいものを評価しており、厚みが小さい靴を履いている人ほど、「フローリング／短毛カーペット」と衝撃吸収性の差が小さいものを評価している。歩きやすさについては、21mm 以上の厚みのある靴をはいている人は「長尺／凸型長尺」や「フローリング／凸型長尺」を評価しており、逆に厚みが小さい靴を履いている人は「長尺／クッションフロア」「フローリング／クッションフロア」を評価している。凸型長尺は5mm の突起がついており、その分厚みが小さい靴を履いている人にとっては少々、歩きにくさがあったものと考えられる（図11）。

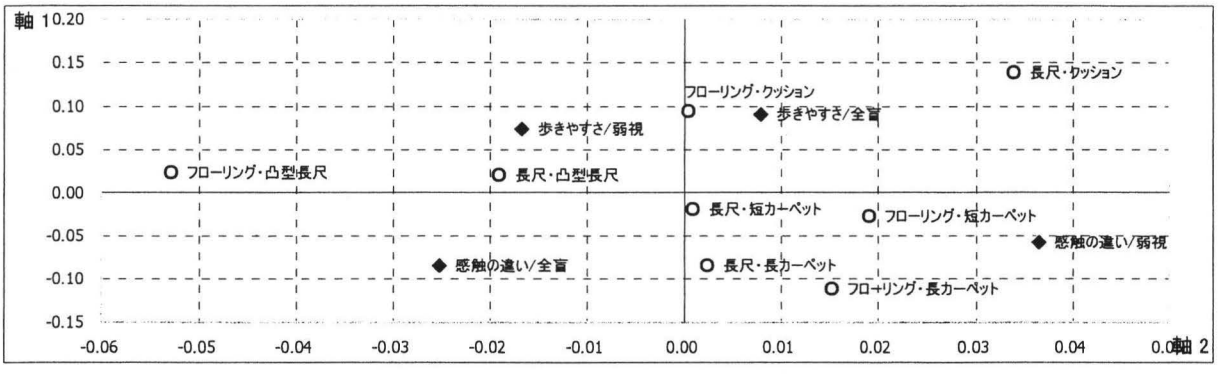


図10 障害種別、床材組合せ評価のポジショニング

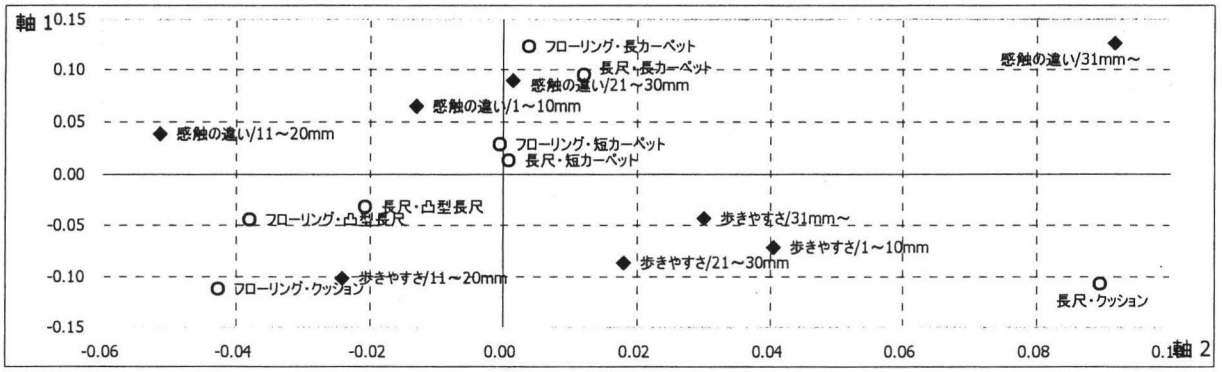


図11 靴底厚別、床材組合せ評価のポジショニング

ⅳ．床材組合せの総合評価

以上の結果より、違いのわかりやすさ評価と歩きやすさ評価は一致しないことが確認できた。そこで、両評価の高い床材の組合せを主成分分析で確認する。表4には固有と寄与率、表5には固有ベクトル、表6には主成分の軸の名称を示す。

主成分の軸の名称としては、原則として主成分分析では大抵の場合、第1主成分が総合評価を示すが、結果、第2主成分の固有ベクトルが全て正の値となっているため、ここでは第2主成分の軸の名称を「総合評価」とする。逆に第1主成分はそれぞれ正と負の値となっているため、第1主成分の軸の名称を「認知と歩行感の対比」とする。

結果、総合評価の高い床材の組合せの順に「フローリング／短毛カーペット」「長尺／短毛カーペット」「長尺／長毛カーペット」とつづく。

認知と歩行感の対比軸において固有ベクトルより、正の値を「違いのわかりやすさ」、負の値を「歩きやすさ」であることがわかる。違いのわかりやすさとして評価の高い「フローリング／長毛カーペット」や、歩きやすさとして評価の高い「長尺／クッションフロア」は総合評価からみると低いことが確認できる（図12）。

表4 固有と寄与率

	第1主成分	第2主成分
固有値	1.49	0.51
寄与率（%）	74.75	25.25
累積寄与率（%）	74.75	100.00

表5 固有ベクトル

	第1主成分	第2主成分
違いのわかりやすさ評価	0.7071	0.7071
歩きやすさ評価	-0.7071	0.7071

表6 主成分の軸の名称

第1主成分	第2主成分
認知と歩行感の対比	総合評価

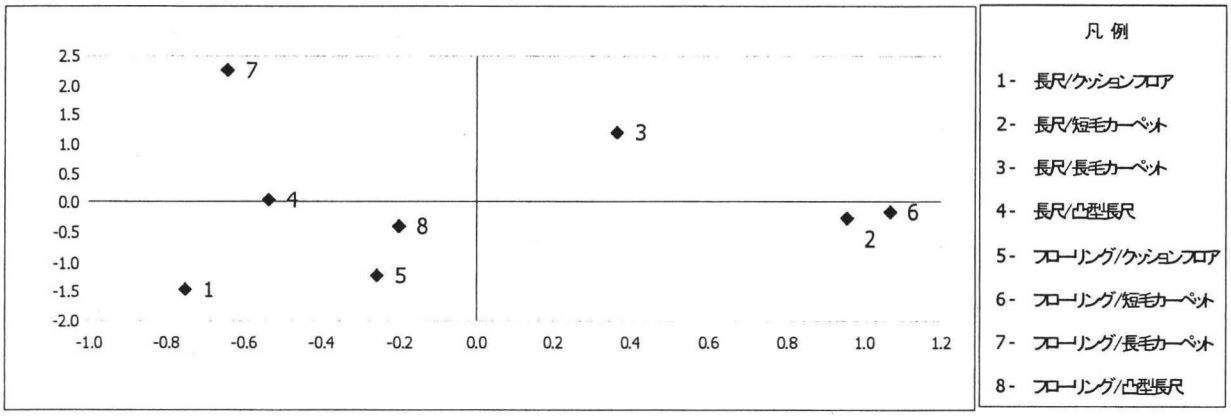


図12　第1・第2主成分ベクトル

4-4　考察

結果、以下の点が明らかとなった。

1) 基本床材と誘導用床材との違いの分かりやすさで評価が高いのは衝撃吸収性の差が大きいフローリングと長毛カーペットの組合せであった。

2) 歩きやすさの評価が高いのは長尺とクッションフロアの組合せであるが、違いのわかりやすさでは最も低い評価であった。

3) 全体傾向としては、違いのわかりやすさ、歩きやすさと衝撃吸収性の相関は非常に弱い関係であった。

4) 総合的に評価が高い床材の組合せは、フローリングと短毛カーペットであった。

4-5　まとめ

今回の実験の結果、以前ビッグアイで先行的に敷設した長尺と短毛カーペットの組合せ誘導装置は、妥当であったことが確認できた。しかし今回採用した、評価指標としての衝撃吸収性は、各評価とは非常に弱い相関関係であったことから、最適な床材の組合せを導き出すには、別の評価指標との組合せを求める必要と考える。

本実験では、屋内用床材による組合せの検証であったが、今後は屋外用床材による組合せについても検討していきたい。

5．本研究のまとめ

（1）視覚障害者等を対象として、床材料の検証歩行から視覚障害者歩行誘導ブロック（点字ブロック）によらず、色彩およびテクスチャーの変化による場合の有効性が見出された。

（1）五感を活用したユニバーサルデザインとしての材料の空間構成システム化へ向けて、フレームワークと実践課題等を整理し、提案する予定である。

【参考文献】

1）老田智美・田中直人「肢体不自由者および視覚障害者による避難用エレベータを利用した非難経路検証実験－障害者交流施設におけるユニバーサルデザイン化に関する研究その１」『日本建築学会大会学術講演梗概集 E-1』pp927-928、2003.09

2）田中直人、老田智美「総合病院のサイン改修後におけるサイン環境に対する来院者意識－医療施設のサイン環境のユニバーサルデザインに関する研究　その１」『日本建築学会近畿支部研究報告集第44号』pp377-380、2004.05

03-01 生理学的変化に基づく建築外装材の印象評価についての研究

東京理科大学 理工学部 建築学科

講師　　兼松　学

1.　本研究の背景と目的

1.1　背景

大量生産・大量消費を続けることで発展を維持してきてきた人類社会にとって、有限な資源と環境を維持しながら、いかに存続していくかという「持続可能な社会」の実現にむけての研究がさまざまな分野で行われている。特に20世紀末になり、産業活動によって排出され続けてきた過去の廃棄物や環境破壊が、将来の地球環境を大きく脅かす負の遺産としてクローズアップされ、いかに人類の発展と同時並行的に解決していくかという課題が地球規模で意識されてきている。中でも建築生産に由来する廃棄物は実に大きな割合を占めており、環境負荷を軽減し持続可能な社会を築いていくために、廃棄物低減の努力に加えて、既存建築物をより効率よく、高品質な状態を維持しながら長期的に使い続けていくことが求められている。特に、建築物の「見た目」という美観の観点から見たときの性能（以下美観性能と呼称する）は、建築物の構造強度などの基本性能とは異なり、街並みや、衛生問題、都市全体のイメージなど、周辺建築物を含む環境に結びつきやすく、既に基本性能が成熟しつつある日本の建築技術にとって長寿命化を実現する上で、建築物ストックに与える経済的・社会的な影響は大きい。これらを踏まえて、美観性能の定性的な議論ではなく、科学的な根拠に裏打ちされた美観性能の定量化技術が求められている。

1.2 目的

既往の印象評価手法においては、対象となる視覚情報の特徴量抽出手法が十分でなく、さまざまな種類の外装材表面の色やテクスチャを抽出することに限界があったのに加えて、印象評価を「あたたかい」「クールな」などといった感覚を表現する「印象言語」に依存していたため人間が視覚を通して得られた印象そのものを定量的に表現することが出来ず、限られた問題内での定性的な議論に終始せざるを得なかった。また、印象評価・定量化技術は基礎として必要とされる学術的な知識が工学的なものから心理学・哲学に至るまで多岐にわたるため、結局それらを網羅できずに成果が上がらない場合が見受けられる。

そこで本研究では上記の背景を踏まえ、周波数解析の一つである二次元フーリエ変換、濃淡ヒストグラムといった画像解析的手法を用いることで、色やテクスチャに汎用な外装材の特徴量抽出を行い、生理学・脳神経学分野の研究成果を基盤に人間の生理現象に基づいた外装材の汚染度・印象評価などの美観性能の定量化技術を確立することを目的とする。

2.　研究の方法

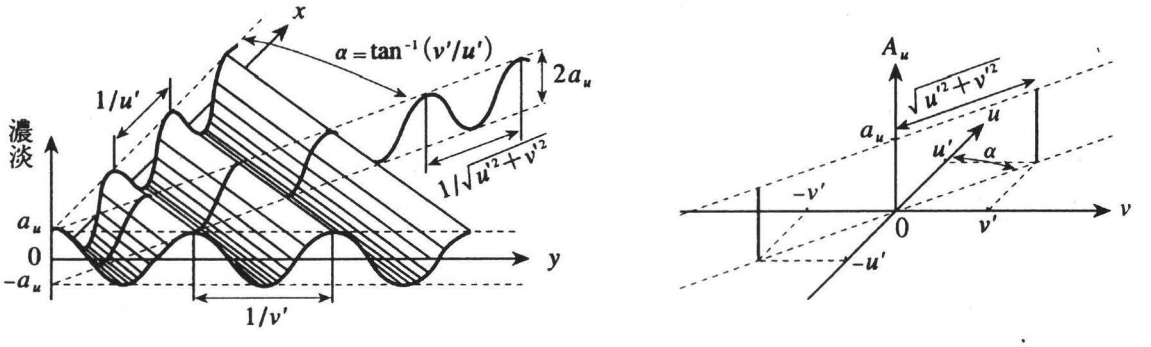
以下に示す2つの研究アプローチを設定し、研究を行った。

- 外装材料の選定最適化手法への適用を想定した、汎用な表面汚染度の定量化・形状特徴量の抽出。
- 抽出された汚染度・形状特徴量を視覚情報学・脳神経科学などの生理学的なメカニズムに由来するアプローチによって裏打ちされた印象特徴量として定式化すること。

3.　二次元フーリエ変換を用いた汎用な表面汚染度の定量化・形状特徴量の抽出

3.1 二次元フーリエ変換とは

2次元フーリエ変換による周波数分解の出力のうち、その強度を示すパワースペクトルは、2次元の周波数パラメータ に、パワースペクトル を分布させた3次元情報として表現され、元画像の周波数特性の全貌を把握できるように、1枚の画像として表現される。これを PSP (Power Spectrum Picture)という。これを fig.5.7 で説明すると、画像の明度の濃淡として表される2次元波 (図 3.1 (a)) をフーリエ変換した場合、PSP においては、 の位置に強度 の値を持つパワースペクトルとして現れる (図 3.1 (b))。このように考えると、周波数が大きくなればなるほど、そのパワースペクトルは、PSP の画像の中心から遠く離れたところにプロットされる。



〈a〉正弦波状に明暗が変化するパターン　　〈b〉左図のパターンに対応する振幅スペクトル

図 3.1　余弦波のパワースペクトル表示例

元画像において「周波数が高い」とは濃淡の繰返しが小刻みである、ということを意味する。また周波数がゼロに近ければ近いほどその濃淡の波長が長くなるということであるから、画像全体をほぼ1色で塗りつぶすことになる。つまり、その合成波としての画像を考えると、高周波数はテクスチャの詳細部を表現し、低周波数は模様としての色を表現する。従って材料のテクスチャのようにある視覚的特長を持つものは、2 次元フーリエ変換によってその特長の抽出が可能である。(fig.5.8)

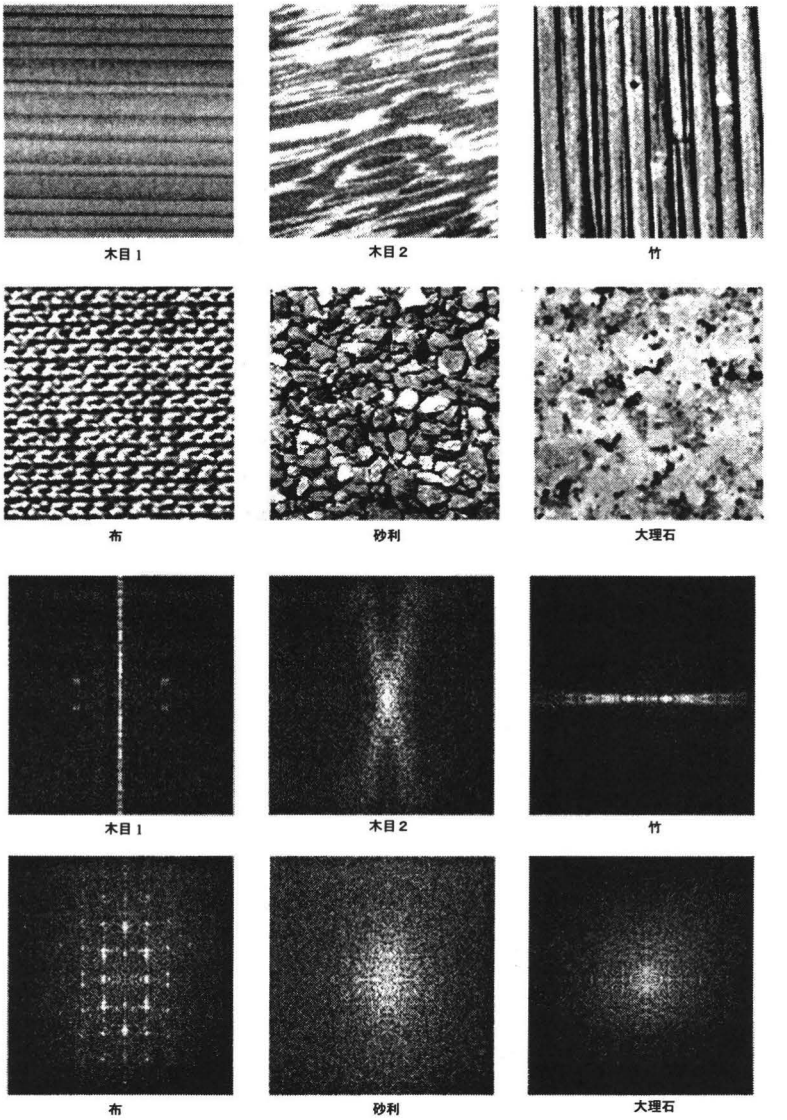


図 3.2　色々なテクスチャの２次元フーリエ変換

しかしながら、二次元フーリエ変換では、低い周波数になればなるほど周期に対する検出精度が鈍くなり、一つのピークとして抽出されるのではなくて、その周辺を含む周波数分布として検出される傾向がある。そこで、本研究では、直接的にテクスチャ特徴となりうる有力な周波数ピークを抽出する以下の方法を開発した。

3.2 主要スペクトル抽出法の開発

以下の手順で画像の持つ主要なスペクトル（周波数）、すなわち、テクスチャの特徴を抽出し、その抽出方法が妥当かを確認した。

(1) 画像を二次元フーリエ変換にかける

(2) パワースペクトルを大きいものから順番に並べ、画像の複雑さに応じて代表スペクトルとして上位いくつかを取り出す。ただし、画像の複雑さに応じた抽出個数の決定は以下の

3.3 に示す方法による。

(3) 抽出されたピークを用いて、画像を再度構成しなおし、元画像と比較する。

3.3 画像の複雑さを評価する手法

元画像の複雑さは、主に以下の二通りのものを含んでいることが想定される。

- さまざまな大きさのテクスチャ構造を含んでいること。
- なんらかのフラクタル（自己相似、自己アフィン、マルチフラクタル）であること。

一般の自然の風景や、さまざまな現実世界の画像を見ると、これらのフラクタル的要素と構造的要素を同時並列的に含むものであると推測できるが、一般に自然地形など、物質として連続性の高い材料がフラクタル的傾向を持つことは知られている。本研究では、建材をタイルや、目地が入る可能性がある建材を中心としたテクスチャ解析をまず行うことから、まずここでは構造を扱うことにする。ただし、石材の表面や、骨材の露出仕上げなど、あきらかにフラクタル的要素を含む画像について、構造を抽出する手法だけでは、フラクタルを抽出することは基本的に出来ないと考えられるので、構造抽出手法と、フラクタル抽出手法を一旦分離し、両方の性質をみてやる必要がある。

さまざまな大きさのテクスチャ構造を含んでいる場合、そのテクスチャ構造の複雑さに従って、さまざまなスペクトルの特徴が見られる。

フラクタルである場合、周波数においては、スケーリング[i]が適用されるので、ある一定の周波数間隔で繰返し周波数的な特徴が抽出される傾向にある。ただし画像は画素単位で情報が離散化されているため、画素サイズを超える詳細なスケーリングはできず、あるところでフラクタルに基づく複雑性は停滞することになる。

このような性質を利用すると、フラクタルである場合、ある画像上の閉区間においても画像の明度の平均値、標準偏差などの統計量は元の画像ときわめて近くなるのに対して、単にテクスチャ構造を多く含むだけの画像であると、画像上の閉区間が構造と無関係な大きさや空間位置に配置されるに従ってその閉区間の明度の平均値、標準偏差などの統計量は、元の画像とかけ離れてくる。つまり、選択する画像の部分的な閉区間によって、画像のもつフラクタルである性質と、単にさまざまなテクスチャ構造を含んでいる性質をある程度分離することが出来る。

以上より、画像のもつテクスチャ構造による複雑性を抽出するために以下のような想定を据える。

- 画像全体がもつテクスチャ構造のすべてを持つ部分的閉区間は、その明度の平均値、標準偏差などの統計量が元の画像のものと類似する傾向にある。
- 画像全体がもつテクスチャ構造の最大数は画像の大きさに比例する。
- 画像全体がもつテクスチャ構造は、その一つを失うと、異なるテクスチャ構造に見える。すなわち、どれか一つの構造も失ってはいけない。

このような想定を踏まえると、以下および図 3.3 の操作に示されるように、画像を分割す

ることによって画像のテクスチャ構造の複雑性を評価することが出来る。

(1) 元画像の明度の標準偏差と平均値を算出する

(2) 画像の水平方向、垂直方向を 2 分割し、4 分割された画像の明度の標準偏差と明度の平均値を算出する商分割された画像が、元画像と同じ構造を含む時、標準偏差と平均値は近接しているはずである。

(3) 4 つの小画像のうち、どれかで平均値が小さくなる場合、残りの 3 つの小画像ではかならず平均値が大きくなる。また標準偏差も同様の傾向を示す。従って、元画像と生成画像の明度の平均値の差が、元画像の平均明度に比例した閾値より大きいか、標準偏差の差が 5%以上になった小画像の個数が、小画像の総数に対して、10%を越えたとき、この画像は元画像の構造を失ったとして、そのときの小画像の大きさに比例する数を評価値として与える。また 5%を超えない場合、まだ構造を失っていないと判断して、彩度、すべての小画像を 2 分割し、同じ演算を繰り返す。

このようにして得られた評価値（すなわち小分割画像の大きさ）を、スペクトルの上位代表取得数として、代表スペクトルを抽出する。

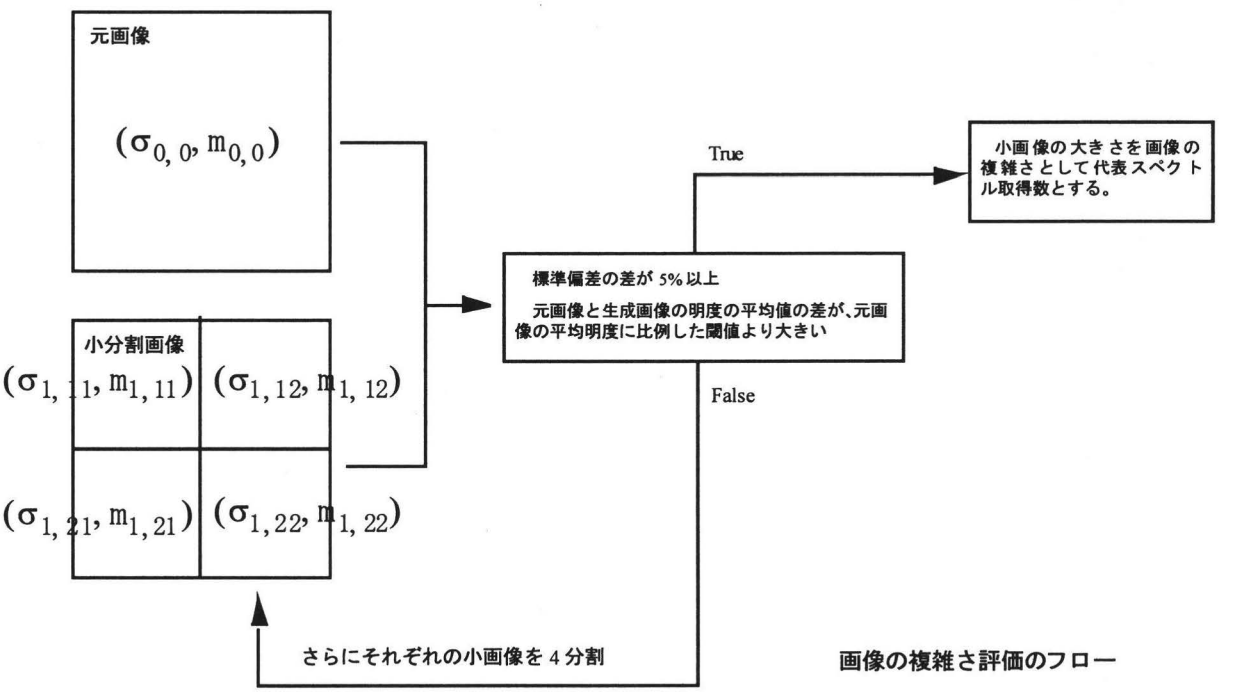


図 3.3　画像の複雑さ評価のフロー

3.4　スペクトル抽出に関する実験

この手法を試験体について画像の撮影し、スペクトル抽出を行った後に、抽出された主要スペクトルのみで画像の再構成を行い、これと比較した。再構成はスペクトルが元画像の総パワースペクトル量よりも小さくなることから、元画像の平均値、標準偏差に等しくなるように、正規化を行って生成した。図 3.4 に結果を示す。

この結果を見るとおり、ピークの個数が少ないほど、その抽出代表数も小さくなっている

ことがわかる。また複雑な角度を持っているために複雑になっているほど、その取得数が大きくなっていることがわかる。

以上より、この手法によってテクスチャの特徴を構成する波の抽出が汎用に可能であることが確かめられた。

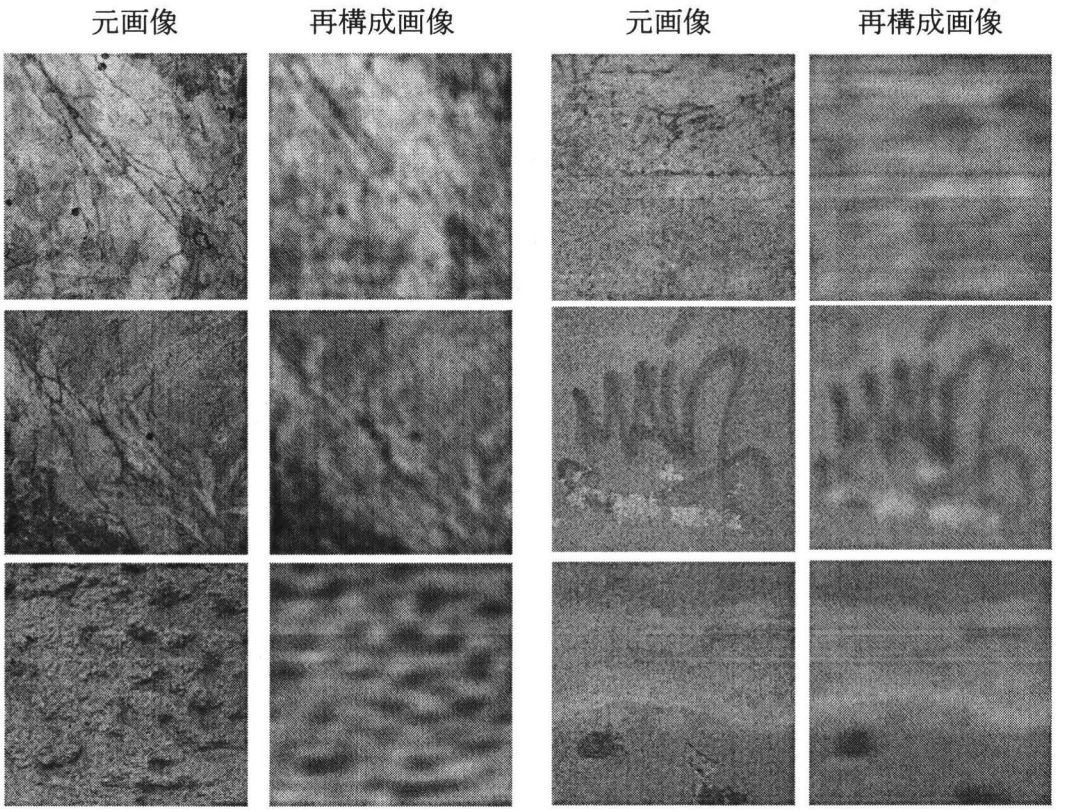


図 3.4　スペクトル抽出法による特徴抽出・実験結果

4.　心拍変動（RRI）による視覚情報の印象評価

4.1　心拍変動の概要

心臓の拍動は一見ある周期をもって規則正しく生じているように思われるが、1拍ごとの時間間隔を、例えばR波間の感覚（RRI）を調べると変動していることがわかる。この変動の程度から、自律神経系を評価することが可能とされている。具体的には、この RR 曲線に対して周波数解析することで、RR 曲線の特徴の変化を抽出する。主な解析方法として、FFT、最大エントロピー法(MEM)、カオス解析がある。

4.2　周波数解析の手法[ii]

RRI を周波数解析すると二つの変動する成分が現れる。ひとつは 0.1Hz 付近にピークを持つ MWSA(Mayer wave related sinus arrhythmia)で、もうひとつは RSA(Respiratory sinus arrhythmia)である。おのおの前述の LF 成分と HF 成分にほぼ相当する。RSA は肺からの反射性の求心性刺激、圧受容体反射を介する血圧の呼吸変動及び心房受容体反射を介する胸

腔内圧反射などが、おもに迷走神経反射を介して生じると考えられており、RSA の大きさは心臓に対する副交感神経活動の程度を反映するといわれている。

MWSA は動脈圧の Mayer wave に一致した交感神経活動リズムによって発生すると考えられるとともに、副交感神経遮断材である atropin で減少することから、交換神経及び副交感神経の両方の活動程度を反映すると考えられている。得られた LF 成分と HF 成分のパワー スペクトルの面積から、LF/HF あるいは LF/(LF+HF)を求め、その値が大きいと相対的に交感神経活動が高まったと考えられている。

4.3 心拍変動の二つの周波数成分

- RSA（呼吸性不整脈）
  副交感神経の活動を反映していると考えられているが、呼吸とおなじ周波数を示し重複することが多い。
- MWSA（動脈血圧の圧脈波形にみられる約 10 秒周期の変動関連成分）
  血圧変動に関連した約 0.1Hz の周波数をもつ成分であり、交感・副交感神経の両方の活動を反映している。

これら二つの成分に加えて、より低い周波数帯域(0.03Hz 以下)に体温調節系の血管運動と関連した成分を認める場合もあるが、この成分はより高い周波数をもつ先の 2 成分と比べて、出現が不安定であり、分析・評価の対象となることは少ない。

0.1Hz 成分は精神負担によって減少することが知られている。この指標を用いた応用的研究もあり、具体的には心拍変動のパワースペクトルから各成分に対応した周波数域の積分パワーを取り出し評価する。このときうまく 0.1Hz 周波数を取り出すためには、0.1Hz 付近の周波数帯域に呼吸性成分が入らないようにする必要がある。一般に安静時の呼吸周波数は 0.2~0.4Hz であるが、呼吸周波数は心理的要因によって大きく変化する。よって心拍変動の測定中は、呼吸をメトロノームなどを用いて一定にコントロールするのが望ましい。

また呼吸のほかに、心拍変動に直接影響を与える要因として姿勢があげられる。臥位に対して、起立時には 0.1Hz 成分は増加し、高周波数の呼吸性成分は減少する。

つまり心拍変動を自律神経活動の指標として応用的に用いるには、被験者の呼吸、姿勢の状態に注意しなければならない。

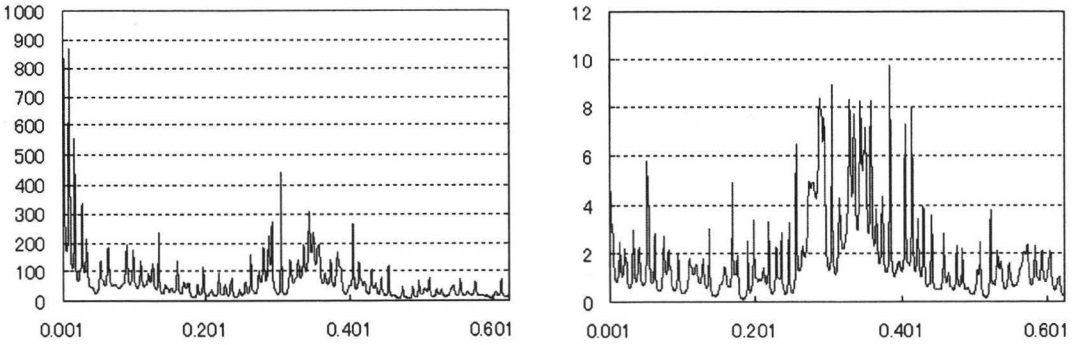


図 4.1　RRI（左）と RESPI（右）の周期的相関性

4.4　視覚刺激の即時的反応あるいはスタートル反応への心拍変動反応

瞳孔反応は、その括約筋と散瞳筋の両制御による即時的反応と、経時的反応の二種類によって説明される。視覚情報から生体情報を見る際に、もっとも大きな変化が得られるのは、即時的反応成分が得られる信号の切り替え時である。また、近年の TV の赤青点滅映像による「てんかん」症状の事例が示すとおり、視覚情報の切り替えは、生体に影響を及ぼすことが知られており、映像における生体反応変化の研究も行われている。[iii]

そこで、通常は視覚情報によって影響をうける生体反応は微弱だが、瞳孔の括約筋・散大筋の両方の制御が激しく切り替わることによって、瞳孔反応の即時的成分が繰り返され、視覚刺激に対する生体反応が増幅され、それに基づく生体反応が起こりやすくなり、生体情報変化（心拍変動）が取得できるのではないかと考えた。以下に実験の概要を示す。

4.4.1　実験概要

4.4.1.1 視覚刺激用の試験体

この実験で用いた視覚刺激は、濃淡頻度の異なる濃淡模様と建材の画像（色タイルおよびステンレス）である。濃淡模様は、fig.7.11 に示されるように、1,2,3,5,7,11HZ の正弦濃淡模様とそれに下記の式で表されるゆらぎ成分を加えた画像の合計 12 種類である。ゆらぎ成分は次の式に基づいて加算した。

$$y = \sum_{j=0}^{\infty}\left(\frac{1}{2^j}\sin 2^j f_{basewave}\right) \qquad f_{basewave}(\text{元画像の周波数})$$

これは、宮崎らの実験により木材のようなゆらぎ模様を見ると、白壁を見せたときに比べて血圧が下降し、かつ安定する（標準偏差が小さくなる）という結果が報告されている[iv]ことから、木目のもつ規則的ではない独特のゆらぎ模様が、このような生体反応を発生させているのではないかという仮説にたって行う。

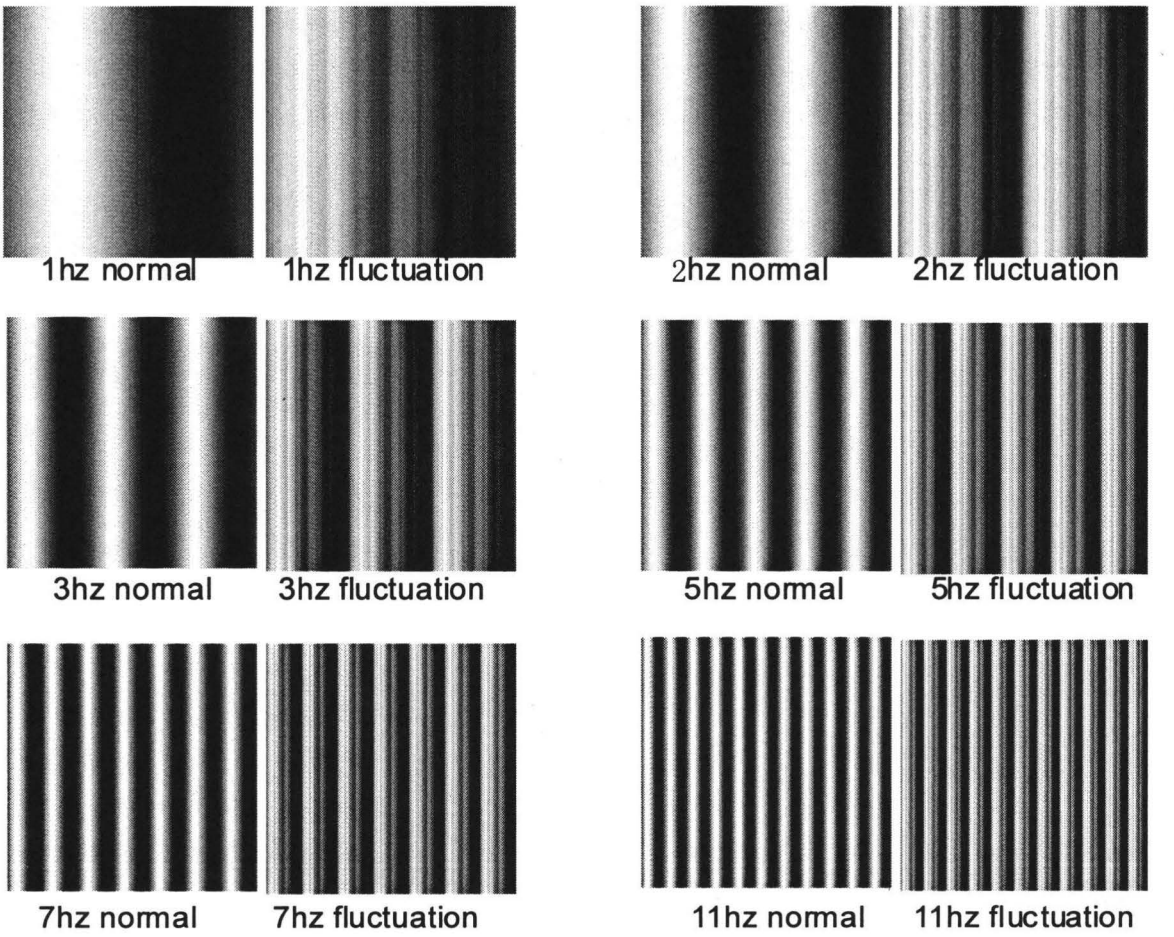


図 4.2　濃淡模様の刺激信号の種類

4.4.1.2 測定概要

図 4.3 に示すように、表示される液晶モニタは DELL のノートパソコンで、対面距離を 50cm とした。また液晶モニタの大きさは縦 21.6cm×横 28.5cm である。測定項目は瞳孔の動画撮影（瞳孔半径, 瞳孔の中心座標）,心拍変動（RRI）, 呼吸変動（RESPI）, 収縮期血圧（SBP）である。

実験は次の手順で行われた。信号は、5 分間同じ信号が呈示され続ける。下記に実験の流れを箇条書きにして示す。

- 被験者は実験室に入ってから、測定機器を装着してもらい、しばらく部屋の明るさに順応してもらった。
- 被験者は座位にてアゴ台にあごを乗せ、苦しくない状態を確認してから、1 分程度その状態を保ったまま、自由にしてもらう。
- 体に異常がないことを確認した後、モニタにに示される繰返し信号を 2 分間呈示した。
- 2 分後、試験信号を終了すると同時に、こちらから「目を閉じてください」と声にて合図を出し、10 秒間目を閉じてもらった。これは信号の終了と同時に、さまざまなところを

見ることによって、生体反応が変化することを防ぐためである。この間に刺激信号を停止した。

- 10 秒後にあご台からあごをはずしてもらい、安静してもらった。
- 本人が十分休息が取れたと確認したところで、再び違う視覚信号で、実験を行った。

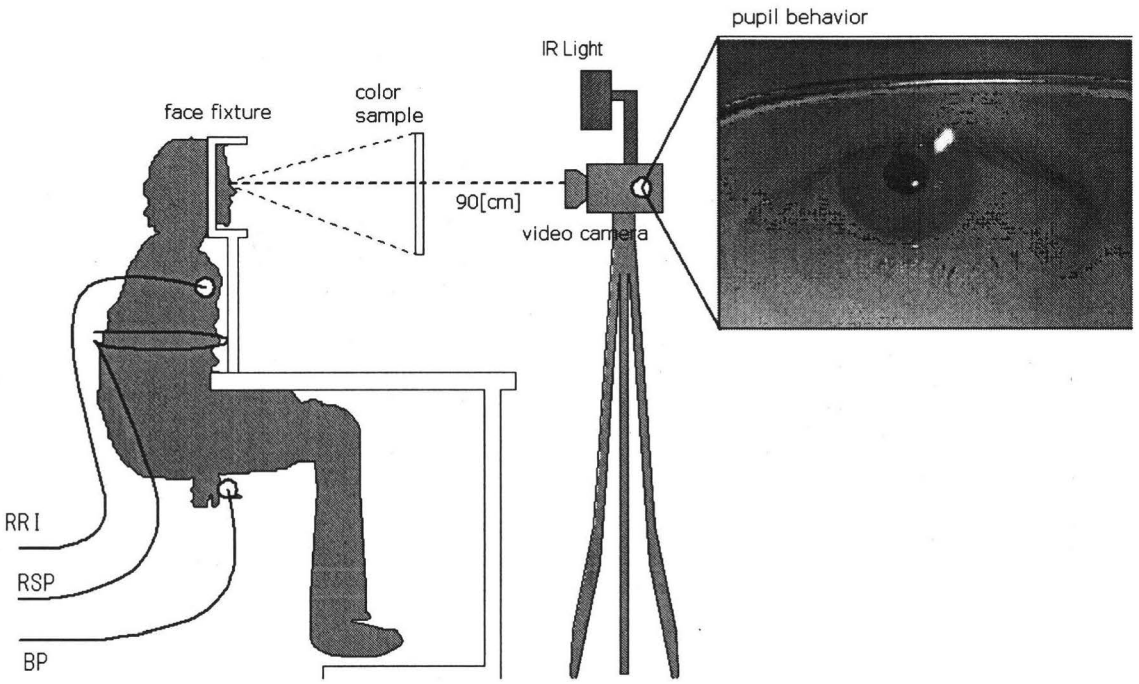


図 4.3　測定概要

4.4.1.3　被験者

被験者は目に障害がない 6 人の 20 代前半の男 3 人女 3 人。前日には十分な睡眠をとり、食事は実験 2 時間前に済ませていることを確認した。また、近視の被験者については、コンタクトレンズ、メガネを装着したままで試験を行った。

被験者にはあらかじめ被験者に疲労感が自覚症状として残らない程度に休憩を長く取った。実験前には、疲労が残っていないかどうか、確認を行ってから試験を開始した。

4.4.1.4　測定項目

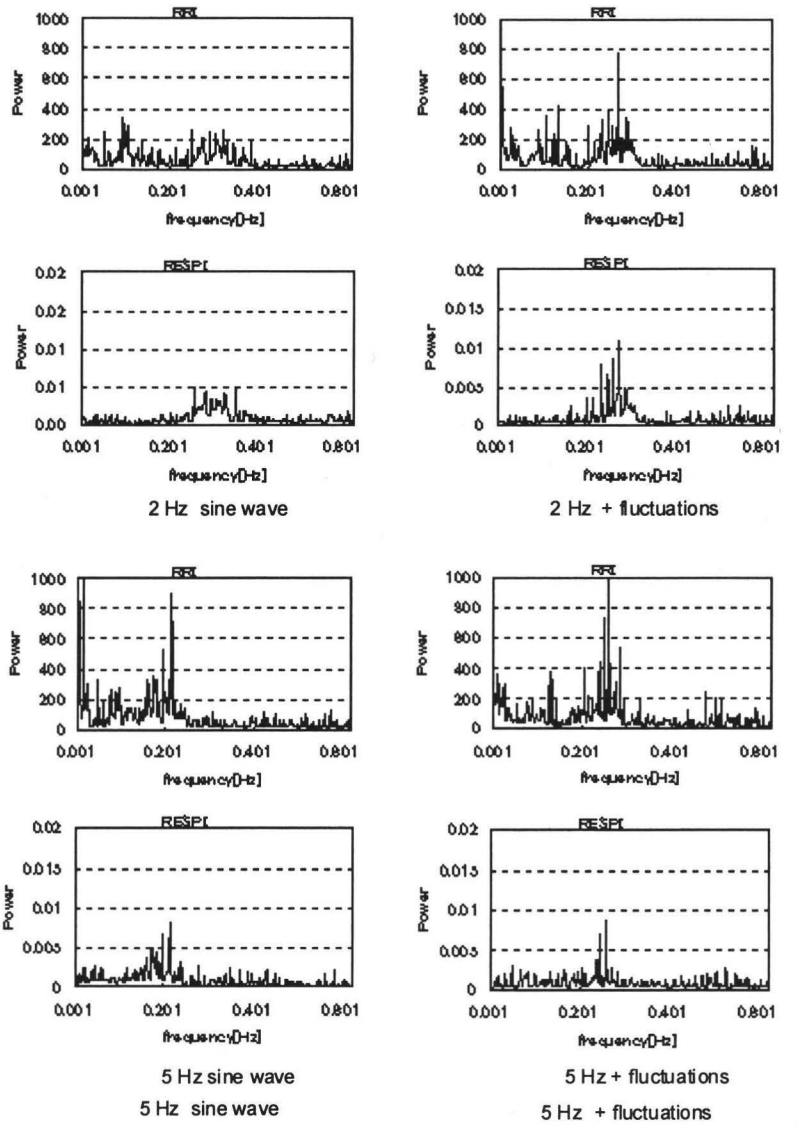
- RRI
  日本光電の無線機能付き心拍変動測定機により測定を行った。
- SBP
  フィナプレス式の血圧波形測定器によって収縮期血圧を測定した。
- 指に巻くカフを長時間つけ続けていると、うっ血して測定ができなくなることがあるので、測定にエラーが生じた場合に、その測定そのものを中止し、再度測定しなおした。
- RESPI

呼吸バンド法による呼吸による胸部周りの変動を測定した。このデータはあくまで電圧の値なので、得られたデータは、周波数解析時に、そのパワースペクトルの総和が 1 になるように正規化した。

- 瞳孔面積・瞳孔中心座標
  SONY PC300K の NightShot に赤外線 LED を測定眼球付近を照射して、瞳孔部分が明確に撮影されることを確認してからこの動画を録画。録画したものを、動画解析ソフトにかけることで瞳孔の時系列データを取得した。
- 信号切り替え時のスイッチ信号
  モニタ画面に呈示される信号が 5 秒ないし 10 秒で切り替わるため、これを記録するために、RRI, SBP,RESPI とともに、信号切り替え時にスイッチ信号を受信させておいた。

4.4.2 実験結果

濃淡模様に対して、被験者 A の心拍変動の周波数解析結果を図 4.4 に示す。



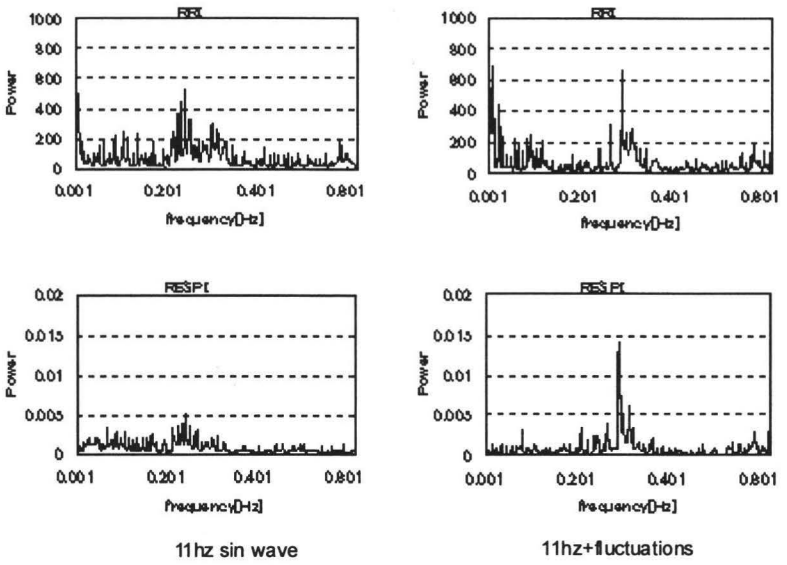


図 4.4　被験者 A の濃淡模様の RRI、RESPI の周波数解析の結果

ゆらぎを加えた模様は、通常の正弦波模様には心拍変動に比較すると、高い周波数の方が若干 0.3HZ 周辺領域に高いピークが現れることが確認された。このことから、ゆらぎ模様の方が、副交感神経が優勢になっている可能性があり、模様によって、生体情報が変化することが確認された。

ただし、この変化には、上図にも示されるように呼吸成分が深く関係しており、呼吸成分による影響の分離が今後必要と考えられる。

5.　まとめ

本研究では以下の知見を得た。

- 2 次元フーリエ変換と、複雑さパラメータを用いた主要スペクトル抽出方法によって、画像に汎用なテクスチャの特徴量の抽出方法を開発した。
- 既往の生体情報のサーベイを行い、心拍変動を中心とする生体情報取得装置の開発・利用によって、視覚情報の違いによって、心拍変動が変化することを確かめた。
- この心拍変動の変化は、テクスチャのゆらぎ成分、すなわち、周波数的差異に基づいており、二次元フーリエ変換のテクスチャの特徴抽出手法によって得られる差異である。

以上より、画像の特徴抽出と、生体情報の変化の抽出という二段構えによって人間の視覚情報によって変化する印象につながる生体情報成分の抽出の利用可能性について示した。

6.　参考文献

[i]松下貢, "フラクタルの物理（II）", pp.61-84, 掌華房
[ii]日本生理人類学会計測研究部会編, ” 人間科学計測ハンドブックも, pp.395-396, 1996
[iii]板東武彦, 鵜飼一彦, 近江政雄, 吉澤誠, 田中明,” 映像の生体影響に関する実験結果” , 映像デジタルコンテンツ評価システムの開発に関するフィージビリティスタディ報告書, pp.20-96,電子情報技術産業協会, 2001

[iv]宮崎良文, 本橋豊, 小林茂男, "精油の吸入による気分の変化（第 2 報）-血圧・脈拍・R-R 間隔・作業能率・官能評価・感情プロフィール検査に及ぼす影響", 木材学会誌、 38（10）, pp.909-913, 1992

03-02 透湿性能に方向性がある透湿傾斜木質材料による住宅壁内の湿度改善

東京大学大学院農学生命科学研究科
生物材料科学専攻
助教授 信田 聡

1．緒言

建物内部の湿度環境を確認する１つの指標として結露がある。結露は水蒸気を含んだ空気が露点まで冷やされることによって生じる水滴のことであり、これが発生している箇所は部分的に湿度が高いと言える。冬場暖房の効いた室内で窓ガラスが濡れてくるのは、窓ガラス表面で室内の暖められた空気が急激に冷やされ結露が発生しているためである。高い湿度は人間に精神的不快感を与えるだけではなく、ダニ･カビの発生・増殖を促進させることにより、アトピー性皮膚炎や死骸の吸入による喘息の誘発といった実質的な健康への害をも引き起こしている[1)]。

結露の発生を防ぐには、①室内の湿度を低く抑える、②空気と接触する材表面の温度を空気の温度に近づける、などが考えられ、①については小まめな換気や、近年家庭にも普及してきた除湿機などの利用で対策できる。

しかし我々が一般的に注意をはらい、また対処できるのは目に見える表面結露についてのみであり、壁体内部や床下などに発生する内部結露に関しては住民がそれに対処するのは困難である。内部結露が発生すると、建物の断熱性が低下したり、柱や壁が腐食を起こし強度が著しく低下するとともに、シロアリの増殖・侵食も促進されるため建物自体の寿命を縮めることになる[2)]。よって、壁体内部の湿度環境を制御することは、安全な住生活を営むためには必要不可欠である。

密度の異なる２つの材料を積層した２層材料では、向きにより透湿に選択性があると梅村により報告されている[3) 4)]。また小川は、それを基に壁パネルに透湿性の異なる２つの材料を積層して用い、向きの違いによる透湿の選択性によって壁体内部の湿度を低く保てる可能性があることを示した[5)]。しかし、２人の行った実験では、高湿度側にもって来る材の密度の高低と透湿の選択性の関係について正反対の結果が出ており、未だ密度傾斜の方向と透湿率の関係については明らかにされていないと言ってよいだろう。

本研究では、密度の異なる面材の配し方の違いと透湿率の関係について既往の研究結果が正しいのかどうか再考するとともに、ダブルチャンバー型環境試験機を用いて室内外の温湿度環境を定常的・非定常的の２タイプ再現し、両環境の間に設置した密度傾斜のある面材を用いた壁パネル模型内の温湿度環境を測定することで、密度傾斜と透湿性の関係について検討し、壁体内部の湿度環境を改善できるか否かを試みた。

2．透湿と結露

ある厚さをもつ材料の両側に水蒸気圧差がある場合、水蒸気は水蒸気圧の高い方から低い方に透過する。これを透湿といい、水蒸気が材料を透過する過程は、材表面への吸湿、材内部での水分移動、

材表面での放湿に分けられる。材料の両側の温度が等しく、水蒸気の透過が定常状態のとき、材料を透過する水蒸気の量 Q（g）は次式で表される。

$$Q=K\Delta PA\,t \qquad \cdots\cdots(1)$$

ΔP=材料の両側の水蒸気圧差（mm Hg）　A=透過面積（㎡）、t=時間（h）、K=透湿係数（g/㎡ h mmHg）。

透湿係数は材料固有の透湿特性を示す値であり、Kの逆数を透湿抵抗 R（㎡ h mmHg/g）という。

$$R=\Delta PA\,t/Q \qquad \cdots\cdots(2)$$

材料の単位厚さ当たりの透湿抵抗を、透湿比抵抗 r（m h mmHg/g）という。

$$r=\Delta PA\,t/Qd \qquad \cdots\cdots(3)$$

d=材料の厚さ（m）、さらに r の逆数を透湿率 p（g/m h mmHg）という。

$$p=Qd/\Delta PA\,t \qquad \cdots\cdots(4)$$

材料を透過する水蒸気の量は材の厚さが厚いほど少なくなるため、透湿係数や透湿抵抗の比較だけでは材質そのものの比較とはならない。そこで、本実験では単位厚さ当たりの透湿のし易さの指標となる透湿率 p を用いて、材料間の透湿特性の違いを考える。

2.2　結露の判定方法

本研究において試験体内部に結露が生じたかどうかを判定する方法として、絶対湿度を比較する方法と露点温度を比較する方法の２種を採用した。

2.2.1　飽和水蒸気圧の算定

飽和水蒸気圧を求めるために、JIS　Z8806 において－100℃～100℃の範囲で採用された Sonntag の式を利用した。気温 W（℃）における飽和水蒸気圧 XP（Pa）の算出方法は以下の通り。

絶対温度 T(K) $=W+273.15\ln(XP)=a_1\times T^{-1}+a_2+a_3\times10^{-2}T+a_4\times10^{-5}T^2+a_5\times\ln T$ ・(5)

a_1～a_5の値は Wの値によって表 2-1 のように変化する。

2.2.2　水蒸気圧の算定

水蒸気圧は空気中に含まれている水分量を示し、温度と相対湿度が既知のとき

水蒸気圧(hPa)＝その温度における飽和水蒸気圧（hPa）×相対湿度（%）/100　・・・・(6)

と算出される。

2.2.3　容積絶対湿度の算定

容積絶対湿度 dv（g/㎥）は一定体積中の空気に含まれる水分重量を示し、算出方法は以下の通り。

$$dv=eMv/RT \qquad \cdots\cdots(7)$$

e=水蒸気圧（Pa）　Mv=水のモル質量（=18.01528×10^{-3} kg/mol）

R=気体定数（=8.314472J/K・mol）

ある中空層の絶対湿度が、その空気に接する材料の表面温度から特定される表面空気層の飽和絶対湿度（(7）式の e をその温度における飽和水蒸気圧として算出）より大きければ、結露を生じたものと判定した。

2.2.4　露点温度の特定

水分を含んだ気体が飽和水蒸気圧に達する温度を露点温度と言う。露点が 0℃以下の場合霜点と言う。露点温度の特定に用いた方法は以下の通り。

①－１５～30℃の範囲を 0.1℃間隔で分割し、各温度における飽和水蒸気圧を（５）式を用いて算出した。

②測定された空気層の水蒸気圧を数表と比較し、その水蒸気圧を挟む２点を特定した。

③②で特定した２点の中間値を露点温度とした。

ある空気層の露点温度がそれに接する材料の表面温度より高いとき、その材料表面に結露が生じたものとする。

3．カップ試験法による透湿率の測定

3.1　目的

壁パネルとして密度傾斜のある材を用いるに当たり、まずはその配し方と透湿率の関係について調べる必要がある。今回は、質量法の一つであるカップ試験法（JIS A 1324）を用いた。カップ法は、他の方法に比べて測定が容易であるという利点がある反面、測定に長時間を要するという欠点がある。

3.2　試験

3.2.1　試験体

使用した試験体は次の2種。

①市販のカラマツ3プライ合板の側面2層分にパラフィンを塗布した後、フェイス1層のみを吸水させるため24時間水に浸漬させた。その後フェイス1層にマイクロ波を1～2分照射して木材の軟化を促進[5]し、ストッパーを用いてフェイス1層のみが圧密化されるようホットプレスにて180℃、60kg/cm³で約30分熱圧し、フェイスの密度を高め厚さ方向に密度傾斜を与えたものを作製し試験体とした。

ここで、圧締層密度：1.6g/cm³、低密度層密度：0.8 g/cm³、厚さ：7mm　である。

②シナ単板をホットプレスにて180℃、60kg/cm²で約1分熱圧し、熱圧していないものと防水テープにて張り合わせることで密度傾斜のある2層合板を簡易的に作製し試験体とした。ここで、圧締層密度：0.8g/cm³、低密度層密度：0.4 g/cm³、厚さ：3mm　である。

いずれの試験体もカップ試験用に直径約70mmの円盤状に切り出した。

3.2.2　試験方法

図3-1～図3-3に透湿カップの概要を示す。また、以下に必要な器具類を示す。透湿カップ（三栄測器製）、封ろう剤（パラフィン：融点58~60℃　和光純薬製）、恒温恒湿装置（ナガノ科学機械製作所製　LH-20-01　PRG　LA型）、天秤（sartorius BA310S：秤量精度1mg）、吸湿剤（無水塩化カルシウム）。

・測定手順

(1)あらかじめ試験体を25℃、相対湿度90％の恒温恒湿装置に入れ、24時間調湿させた。(2)水平に保ったカップ台の上にカップを置き、その中に吸湿剤を入れた皿を入れた。吸湿剤の表面は出来るだけ平らにし、試験体の下面との間を約3mmとした。(3)中心が一致するように試験体をカップに置き、ガイドを合わせた。そして、試験体がカップに密着するようにリングで押さえ、おもりを乗せて固定した後ガイドのみを取り外した。(4)溶融した封ろう剤をカップの周縁の溝に流し込み、試験体の縁を完全に封かんした。この時、パラフィンの収縮硬化によって隙間が生じた場合、半田ごてを用いてさらに完全密封した。(5)封ろうが固化したら、カップのみ取り出してカップ試験体とした（図3-1）。高湿度面（カップ外部）に材の高密度側を向けて配した試験体をカップA、低密度側を向けて配した試験体をカップBとした。（6）試験体を（1）に示す設定の恒温恒湿装置に入れ、1時間置いてから測定を開始し、1時間おきに装置から取り出し重量を測定した。そして、連続した5点の重量増加速度が5％の誤差の範囲で一定になるまで測定を続けた。本実験では、試験体①は12時間、試験体②は20時間測定した。

3.3　結果・考察

透湿量の変化のグラフを図3-4，図3-5に示す。重量増加量がある程度一定になったところのグラフの傾きを単位時間当たりの透過水蒸気量とし、（4）式に当てはめ算出した透湿率の結果を図3-6に示す。なお、式中の値として $A=0.03\times0.03\times\pi$（m²）、$\Delta P=21.384$（mmHg）を使用した。①、②いずれの試験体もカップAより、カップBの方が透湿率が高いという興味深い結果が出ている。これは梅村の結果[2]と同様であった。

このように、同一材料でも無機が異なると透湿性に才が生じる（A＜B）傾向が現れる理由として、図3-7に示すように、材内部の含水率が一様になる前の状態においては、高密度の材のほうが低密度のものに比べ含水率の上昇が緩やかなため、材内部の含水率傾斜がBの方が大きくなり、それによって材内部の水分移動が促進されるためにBの方が透湿率が高くなるのではないかと考えられる。また、初期の数時間においては、材そのものがあらかじめ調湿の段階で蓄えておいた水分が放湿されている

ということも考えられ、その場合密度の高い方が同じ含水率で保有している水分量が多くなるため、調湿材側に高密度の材を配したBの方が透湿量が多くなったということも言えるだろう。詳細な検討が今後望まれる。

市販のカラマツ3プライ合板は、4つの試験体の測定データに統一性があまり見られない（前出図3-1）。これは、合板の熱圧の際に接着剤が溶融し、水蒸気の通り道となる材の通道部分（仮道管など）をふさいでしまうために、密度の差から来るもの以外に、透湿を抑制する要因が現れたためである。そのため、圧縮時間やマイクロ波の照射時間などの差が透湿率の差となって現れたのだと考えられる。

4．ダブルチャンバー型環境試験機による壁パネル内の温湿度環境測定—①定常条件環境試験

4.1　目的

カップ試験法による透湿率の測定は、面体の密度傾斜の配し方と透湿の方向性の関係を確認するために役立った。しかし、実際我々が結露の発生などを問題とする壁体は、カップ試験法の試験体に比べて材料面積があまりにも大きいものであり、その大きさゆえ壁内部の温度や湿度の分布が一様にはなりにくい。それにより、カップ試験法の結果からは予想の出来ない温湿度変動をすることが予想される。本実験では、壁パネル模型に密度傾斜のある面材を向きを変えて配し、壁両側に一定の温度、湿度を設定した状態で壁内中空部の空気層の温湿度変化を測定することで、密度傾斜と透湿性の関係を調査した。

4.2　試験

4.2.1　試験体

2×4材（気乾含水率19.5%）にて内のりの高さ300×幅100×厚さ80㎜となる枠材を作製し（測定1回目、2回目は一つの大きな枠を区切って使用したもの、3～6回目は枠同士を分けて作製）、そこに石膏ボード（厚さ12㎜）とカップ試験で用いたシナの2層合板（測定1回目、2回目は2層を酢酸ビニル接着剤にて接着、3～6回目は防水ブチルテープにて簡易的に張り合わせたもの、いずれも厚さ約3㎜）を防水ブチルテープにて貼り付けたものを壁パネル試験体とした。合板の高密度側を壁内部に向けたものをパネルA、低密度側を壁内部に向けたものをパネルBとした。測定1回目、2回目とそれ以外で枠、合板の作製方法が異なるのは、枠については湿度の回りこみが起きて区切った中空層部の湿度が等しくなってしまうのを防ぐためで、合板については圧密化した単板とそうでない単板を張り合わせたために、合板の反り返りが激しく起こってしまったためである。枠材の吸湿を避けるためと、壁面以外からの透湿を避けるため、外周部と石膏ボード・合板の接合部分にアルミテープを貼りつけ気密性を確保した。

4.2.2　装置

恒温恒湿装置2機からなるダブルチャンバー型環境試験機（タバイ社製）を用いた。本装置は試験壁体を挟む両側の空気層の温度、湿度、および風速の制御を可能とした仕様である（図4-2-1）。

4.2.3　環境条件

気象庁ホームページ電子閲覧室（http://www.data.kishou.go.jp/index.htm）から2003年の東京の冬（1・2月）・夏（7・8月）の平均気温・湿度のデータを引用し、それを元に図4-2-2に示す温湿度条件をそれぞれ設定した。ただし、測定1回目のみは外気温0℃、湿度を30%で測定を行った。透湿の方向を一定にするため、冬期と夏期では室内と屋外の環境が左右逆になっている。

4.2.4　試験方法

試験体を試験機中央に設置し、気密性を確保するために試験体と試験機の間をアルミテープで塞いだ。石膏ボード、合板の表裏面に熱電対（JIS　T タイプ）を取り付け、データロガーに接続して1時間ごとの表面温度を測定した。壁内中空部、試験機の室内側、屋外側の3点の温度、湿度をサーモレコーダーにて1時間ごとに測定した（測定箇所については図4-2-3参照）。測定は36時間以上とした。

4.3　結果・考察

（1）密度傾斜のある面材の配し方と壁内部湿度の変化の関係性

図 4-3-1 の○印の部分などに見られるように、測定 2 回目を除く全ての試験体について、試験開始から約10時間後まではパネルBのほうがパネルAに比べて壁内部の湿度を低く抑えている。これは、壁内部中空層側を恒温槽側、壁外部（低温・低湿領域側）を調湿塩側と考えれば、カップ試験での結果に沿ったものとなっている。しかし、40 時間でほぼ定常に達した状態（湿球温度計の不具合により定常に達する前に内部湿度が変化してしまった試験体もいくつかあったが）では、パネルA・Bの壁内部湿度はほぼ一定となってしまっている。このことは、測定時間を延長して、より定常状態に近い状態において評価すると、面材の向きを変えても透湿率は特に大きな変化がないということを意味しており、例えば床下などの比較的温湿度が一定状態となる場所では、密度傾斜のある面材の配し方による湿度環境の改善は見込めそうにない。

（2）壁内部の結露発生の判定

測定開始から比較的早い時間の、パネルAとBで透湿に違いのある部分の測定値を元に、冬期条件、夏期条件それぞれの壁体表面温度と中空空気層の露点温度、壁体表面温度における飽和容積絶対湿度と中空空気層の容積絶対湿度を比較した（図 4-3-2、4-3-3,4-3-8、4-3-9）。夏期の条件では露点温度、容積絶対湿度ともに壁体表面のそれよりも低い結果となり、結露発生の心配はなさそうである。しかし冬期の条件では、外気側の壁内部に結露発生の危険性が確認される。これは、冬期の条件は夏期に比べて室内温度と外気温の差が大きい（特に測定 1 回目はそれが顕著）ため、壁内部空気温度と外気に接している合板の表面温度の差が大きくなってしまったため、（露点温度）≧（接触している材の表面温度）の関係が成立しやすくなっていたためと考えられる。パネル A とパネル B の違いは特に見られなかった。

5. ダブルチャンバー型環境試験機による壁パネル内の温湿度環境測定－②非定常条件環境試験

5.1　目的

定常条件での環境試験では、壁体内部空間が定常に達したときには面材の向きを変えても透湿性にはほとんど変化がないという結果が出た。しかし、実環境は定常的な環境ではなく、温度・湿度ともに非定常な日変動が起こっている。そのような環境下では、定常条件環境試験で見られた初期の湿度変動の差が有用になってくるのではないだろうか。本実験では、定常条件環境試験で用いた試験機、試験体を用いて、1 日の外気の温度・湿度変動を壁パネルに与え、壁内部空間の温度・湿度変化を調査した。

5.2　試験

5.2.1　試験体、装置

試験体・装置ともに、定常条件環境試験で用いたものを利用した。壁パネルは前実験からの内部湿度の履歴をなくさせるために、環境試験機を開け放して 24 時間以上養生させた。

5.2.2　環境条件

定常条件環境試験で冬期条件のみに結露発生の危険性が見られたため、気象庁データベースから 2003 年 1・2 月の東京の 1 時間ごとの温度・湿度変化を引用し、その中で定常条件環境試験で用いた 5℃、30％ＲＨに平均気温、湿度が最も近い 1 月 31 日の 1 日の温湿度変動(図 5-1、表 5-1)を用いた。表 5-1 の灰色部分の温度・湿度を試験機外気側に 3 時間毎に与えることで周期的外気変動を与えた。また室内環境は 22℃、50％ＲＨで一定とした。

5.3　結果・考察

図 5-3 を見ると、定常環境試験の時には始めの 10 時間だけに見られたパネルＡとＢの内部湿度の差が、ほぼ全域にわたって確認されるのがわかる。これは、定常環境では壁内部の温湿度が室内温湿度、外気温湿度と一度定常状態に達してしまうとその状態が維持されるのに対し、実環境、すなわち周期的な湿度変化のある条件下では、外部の温湿度の変動によって壁内部温湿度の定常状態が崩れ、水蒸気の流動が再び起こるためであると考えられる。この結果から、図５－４に示すように面材の密度が低い面を壁内側に面して配向することによって壁内部湿度の上昇を抑制することは可能であるといってよいだろう。冬と夏では湿流の向きが異なるが、いずれにしても、壁内部側に密度の低い面を

配することにより、壁内部への湿流を抑制できる可能性がある。

6. 結論

（1）既往の研究[3) 4)]の通り、短期間（10 時間程度）ならば、面材の高密度側を高湿度な空気層側に配することで、面材の低密度側への透湿を抑制することが可能であることを確認した。これには非定常状態における面材の含水率傾斜が起因しているものと考えられる。

（2）定常的な環境下において、面材の配し方の違いによる壁内部の湿度環境の差は最終的には見られないことを確認した。

（3）温度湿度が周期変動する実環境においては（1）で示した性能が十分に生かされた利用が可能である。すなわち、壁内部側に材の低密度側を配することで、壁内部の水蒸気を外部に透過させ、あるいは外部からの水蒸気の流入を抑制し、結果として壁内部の湿度を低く保つことが可能である。

7. 今後の課題

密度傾斜材料の製造の高度化：住宅の壁を構成する面材料に、密度傾斜を与えるためのより具体的製造法の検討、またそうすることで他の性能、例えば寸法変化が増加するなどに対するケアが必要かどうかの検討が今後必要である。

文献

1）梁瀬度子：長沢由喜子：國島道子：「ピュア生活科学　住環境科学」p77~81、朝倉書店　1995

2）今村祐嗣：角田邦夫：吉村剛：「住まいとシロアリ」p9~56　海青社　2000

3）梅村啓志郎：「片方向に湿気を流す木質材料の開発」東京大学卒業論文、1994

4）梅村啓志郎：「透湿に方向性のある木質材料の開発」東京大学修士論文、1996

5）小川博明：「壁体内結露に関する基礎的検討」東京大学卒業論文、1997

6）井上雅文：「木材の横圧縮大変形の永久固定」p114~116 京都大学博士論文、1993

7）株式会社東栄住宅商品管理部「SPS 工法（仮称）耐力壁の断熱性能・結露試験報告書」2003

8）森林総合研究所：「木材工業ハンドブック　改訂 4 版」丸善

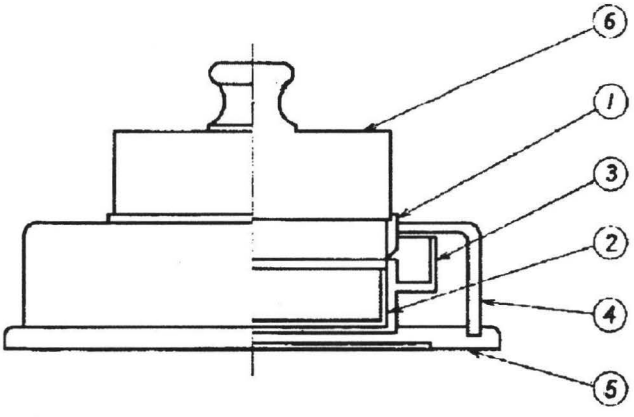
9）国立天文台：「理科年表‘93」丸善

10) Perry N Peralta : Christen Skaar : Experiments on steady-state nonisothermal moisture movement in wood (1992)

表 2-1 飽和水蒸気圧の算定に用いる係数一覧

	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
W≦0(℃)	-6024.528	29.32707	1.0613868	-1.319883	-0.493826
W>0(℃)	-6096.939	21.240964	-2.711193	1.673952	2.433502

図 3－1　カップ試験体



① カップ　　アルミニウム製、陽極酸化蒸気処理を施したものなど
② リング　　アルミニウム製、陽極酸化蒸気処理を施したものなど
③ ガイド　　黄銅鋳物製など
④ さ　ら　　ガラス製などで軽量なもの
⑤ カップ台　黄銅鋳物製など
⑥ おもり　　黄銅鋳物製など

図 3-2　透湿カップと付属品の一例

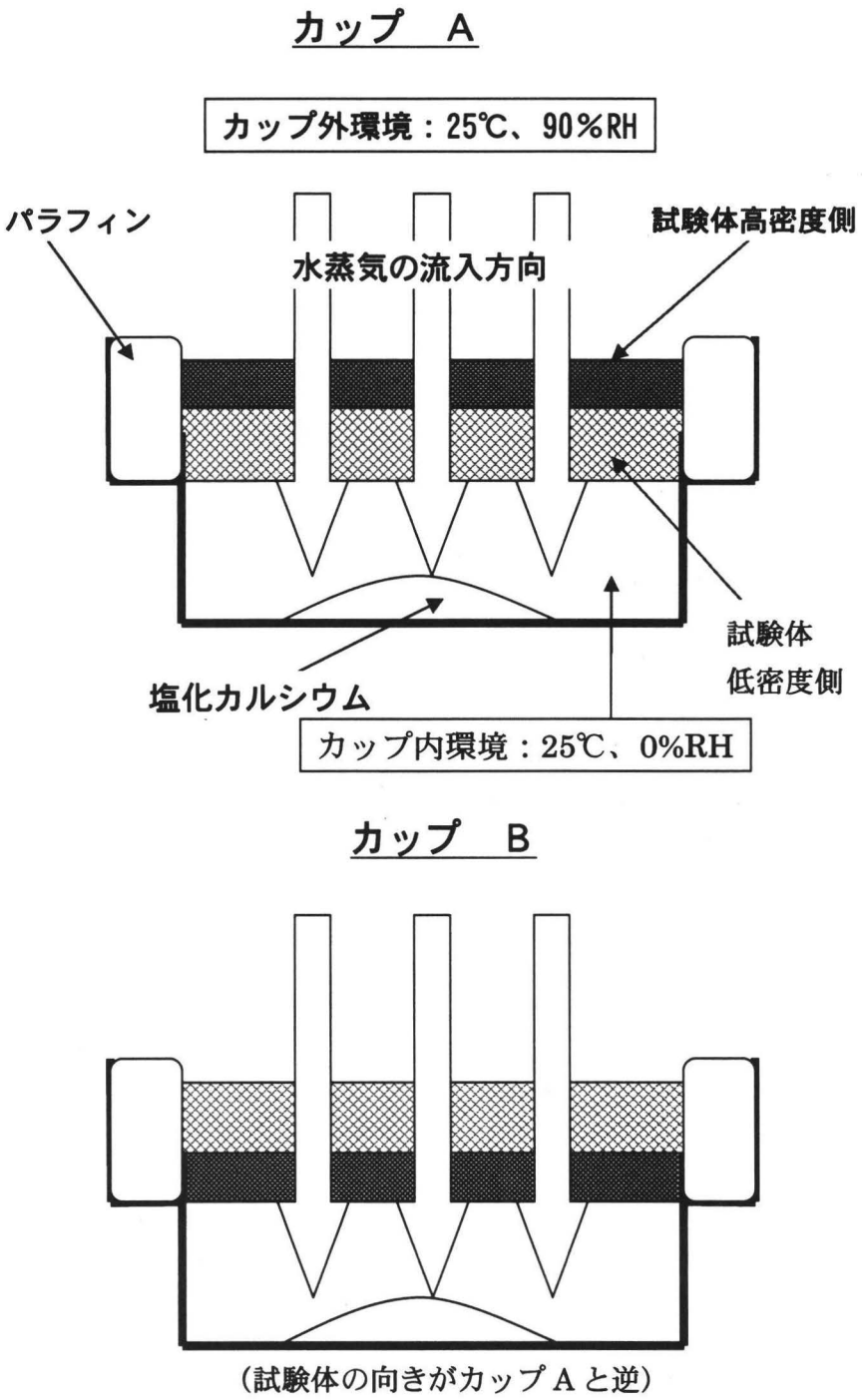

カップ　A
カップ外環境：25℃、90%RH
パラフィン
水蒸気の流入方向
試験体高密度側
試験体
低密度側
塩化カルシウム
カップ内環境：25℃、0%RH
カップ　B
(試験体の向きがカップＡと逆)

図 3-3　　カップ法概略図

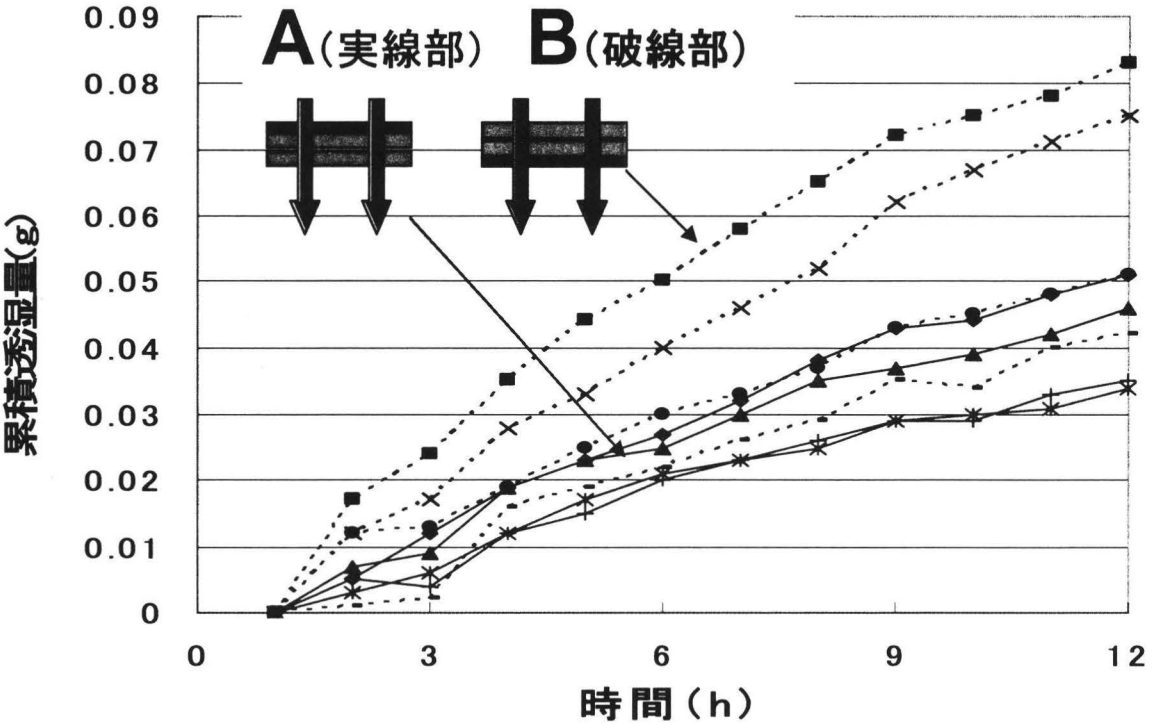


図3-4　透湿量の経時変化/3層合板

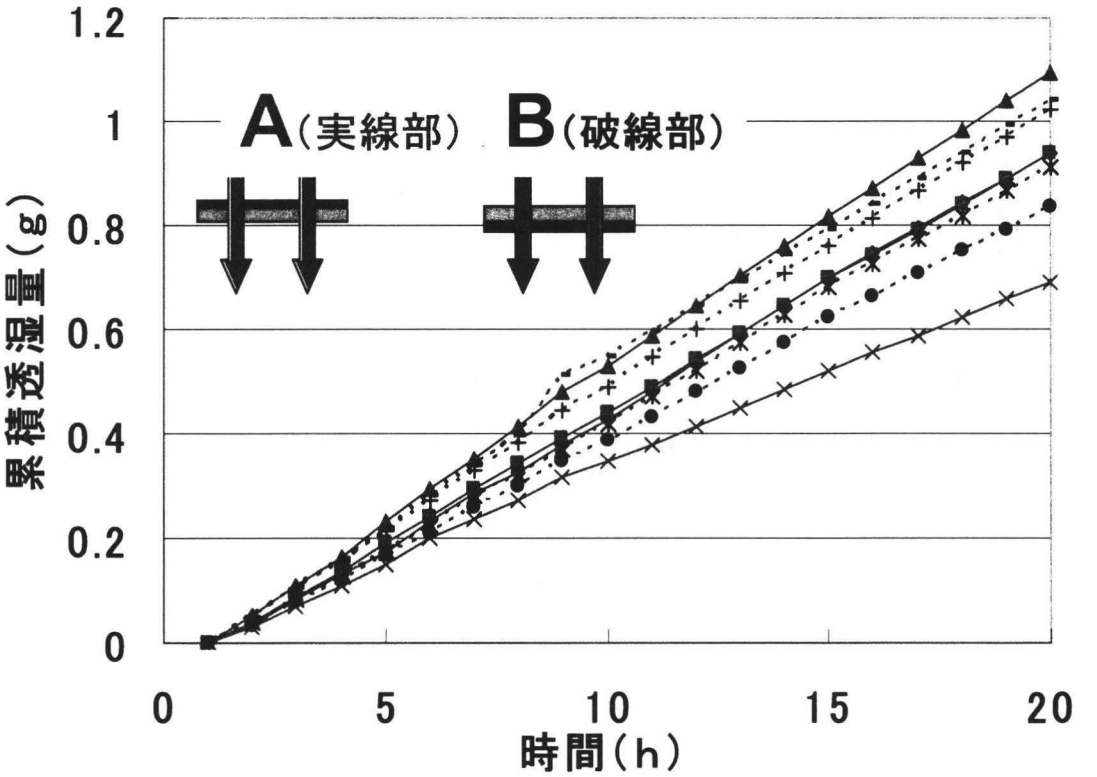


図3-5　透湿量の経時変化/2層合板

図３-７　試験体内部の含水率傾斜の推定模式図

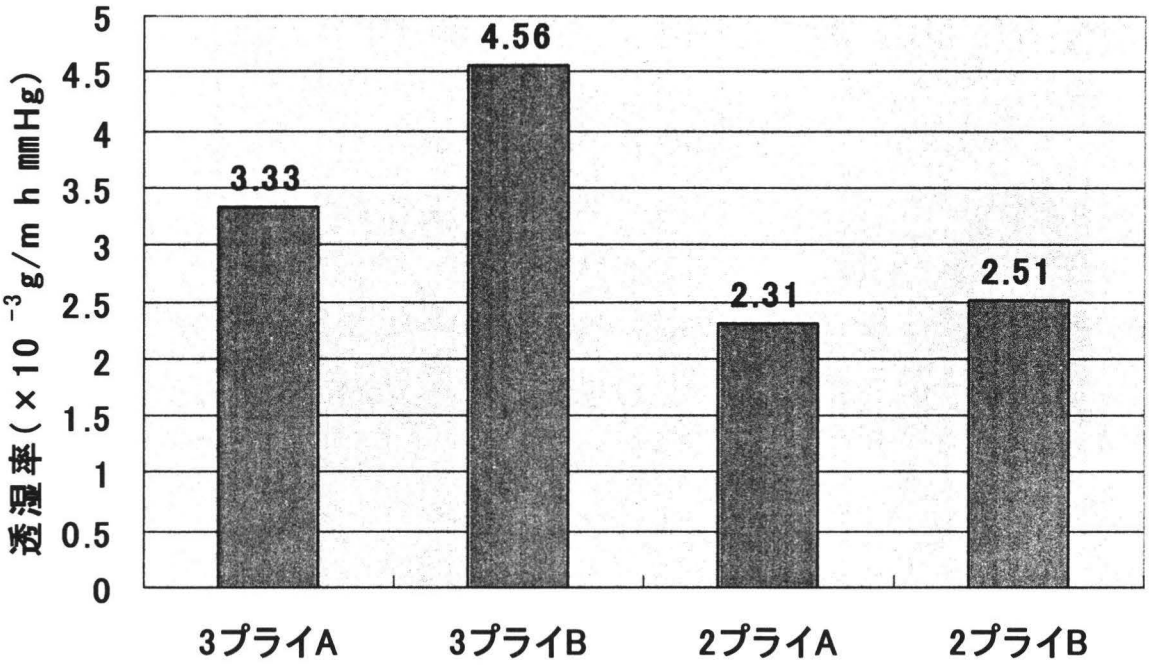


図3-6　各試験体の透湿率

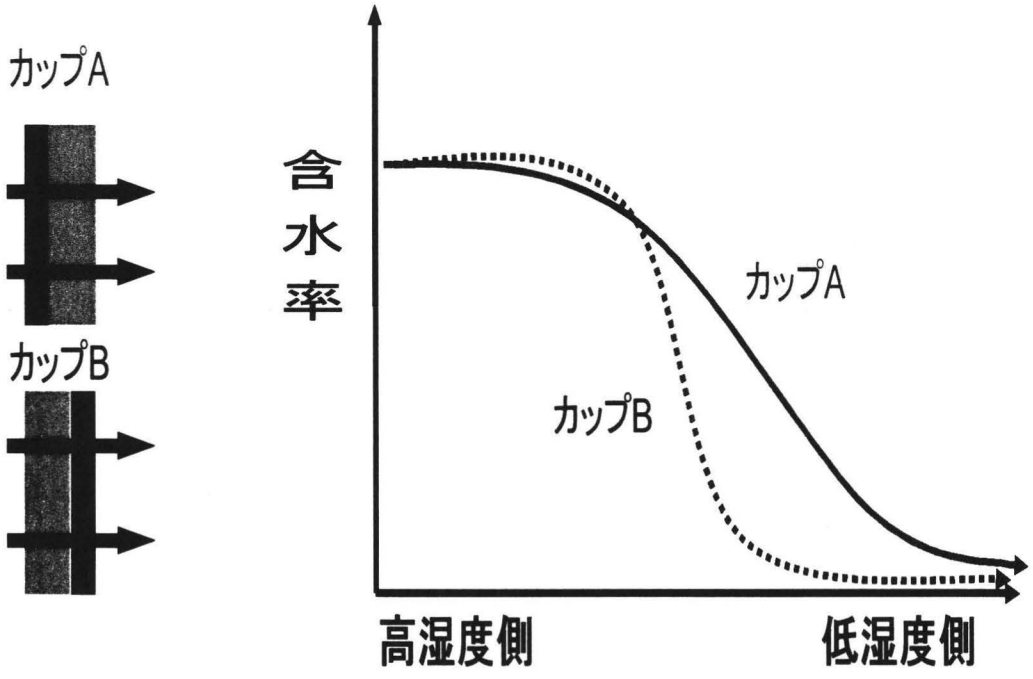


図３-７　試験体内部の含水率傾斜の推定

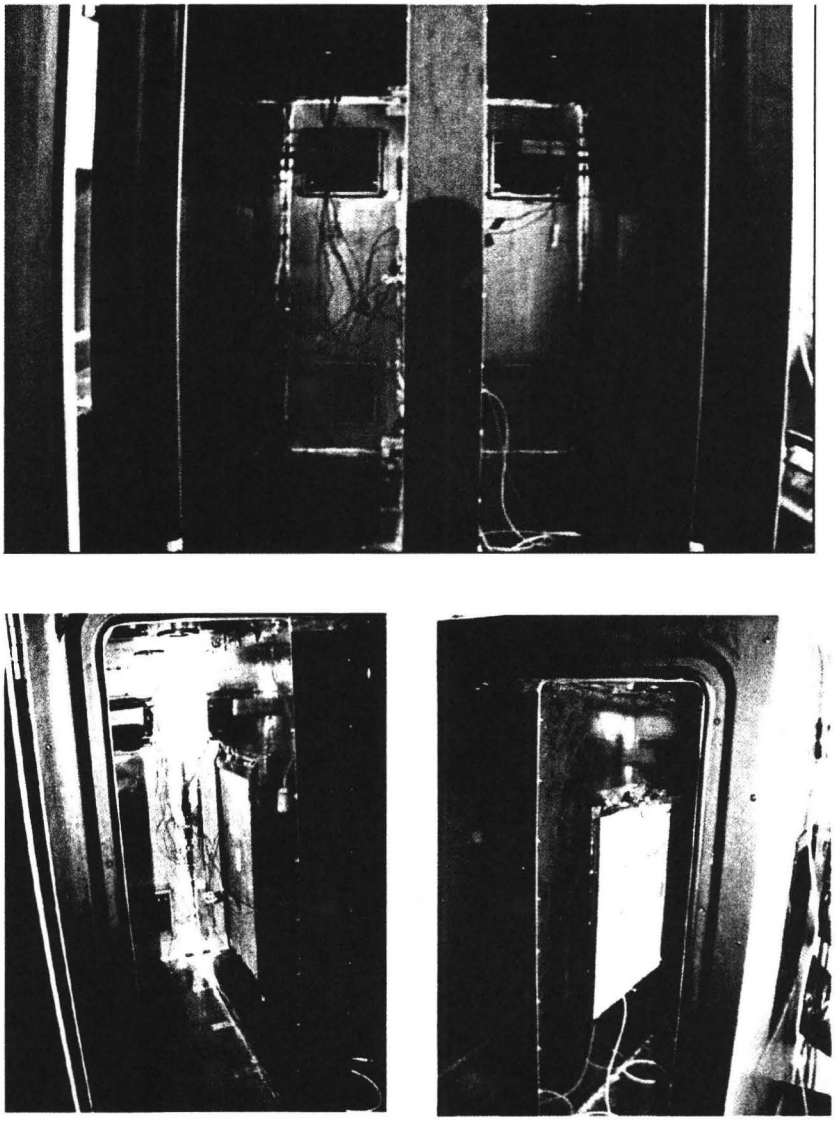
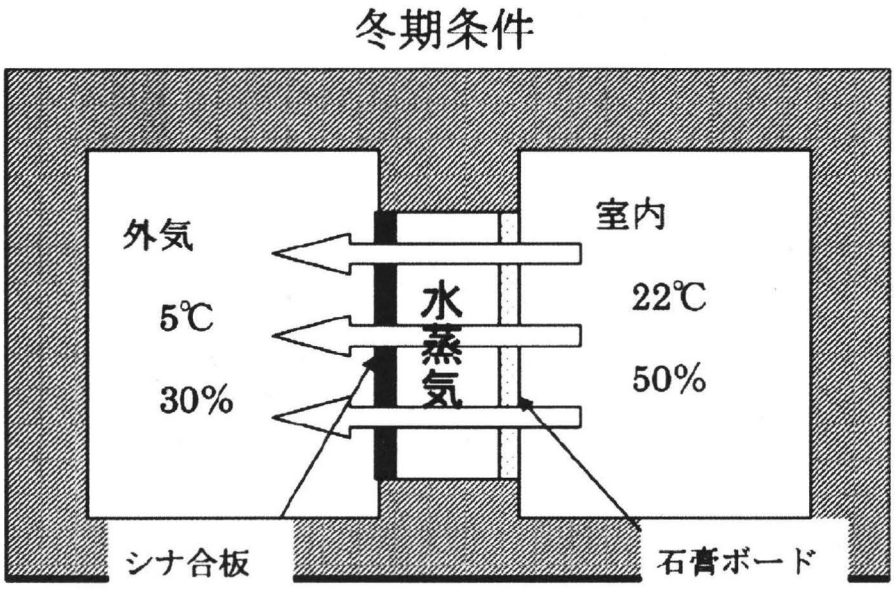


図 4-2-1　上：ダブルチャンバー型環境試験機
下：試験体を取り付けた様子（左：合板側　右：石膏ボード側）



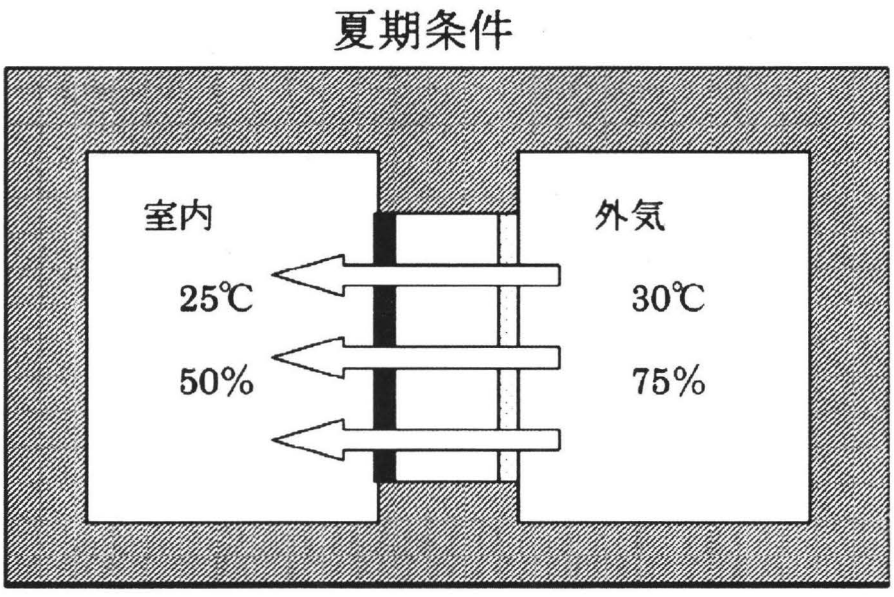
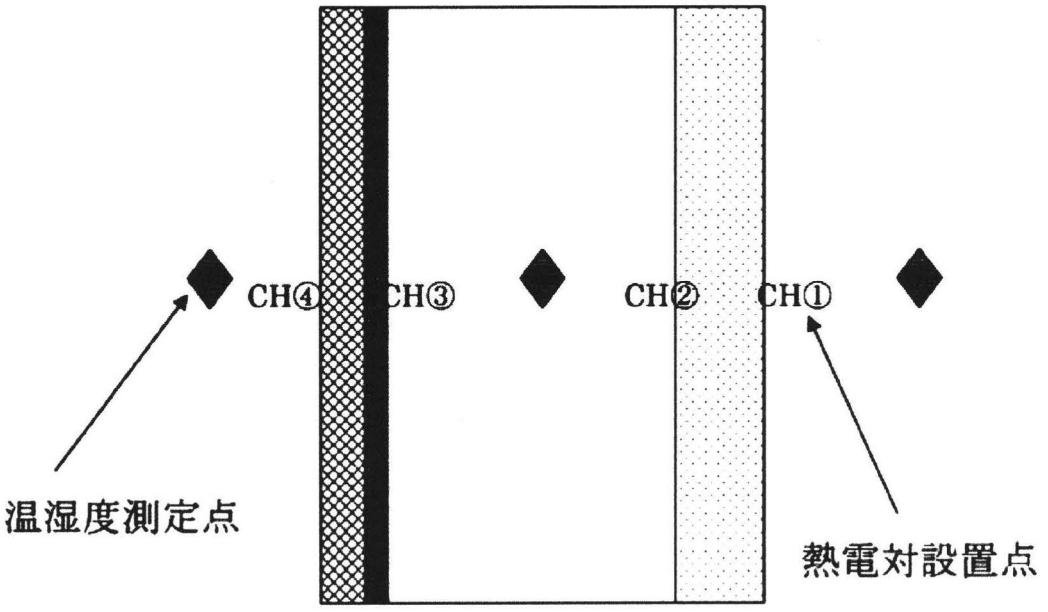
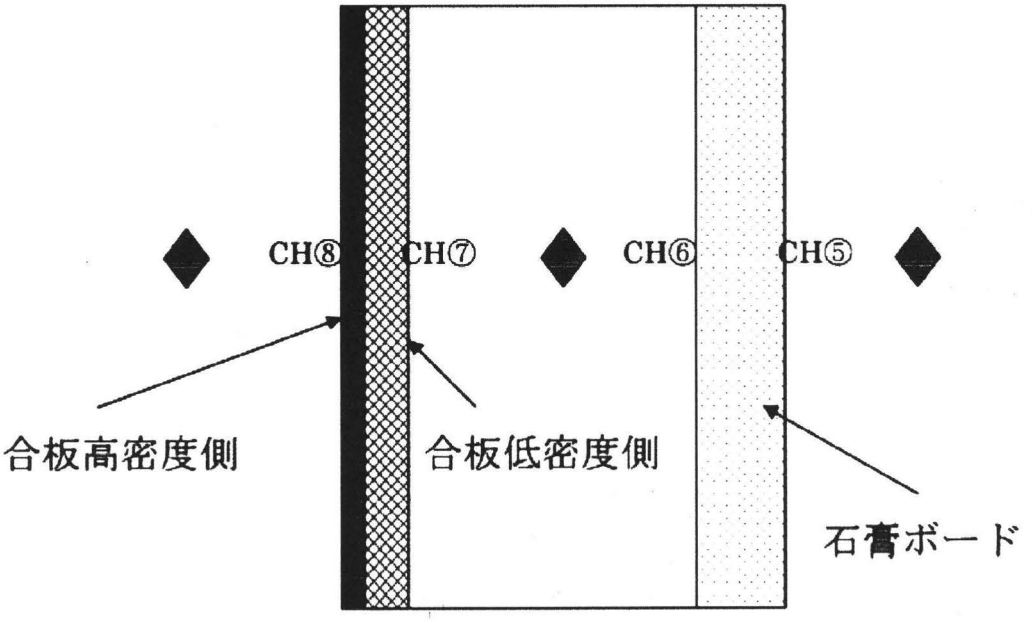


図 4-2-2　ダブルチャンバー型環境試験機縦断面図



パネルA（壁内部に高密度面を配したもの）



パネルB（壁内部に低密度面を配したもの）

図 4-2-3　壁パネル断面図と温湿度測定箇所

測定１回目（冬期条件）：外気温湿度 0℃、30%RH/室内温湿度 22℃、50%RH

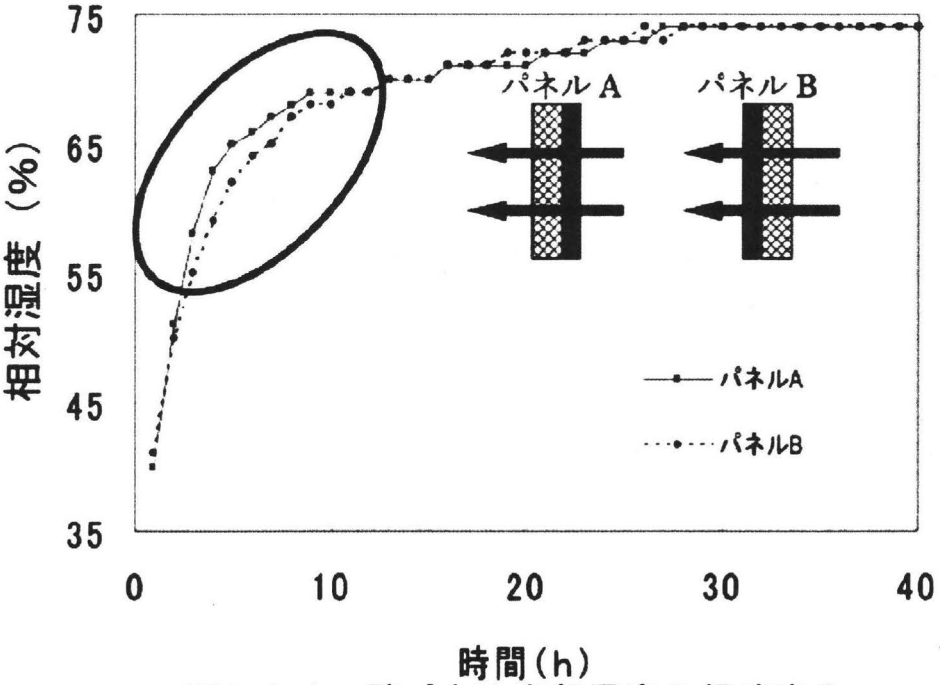


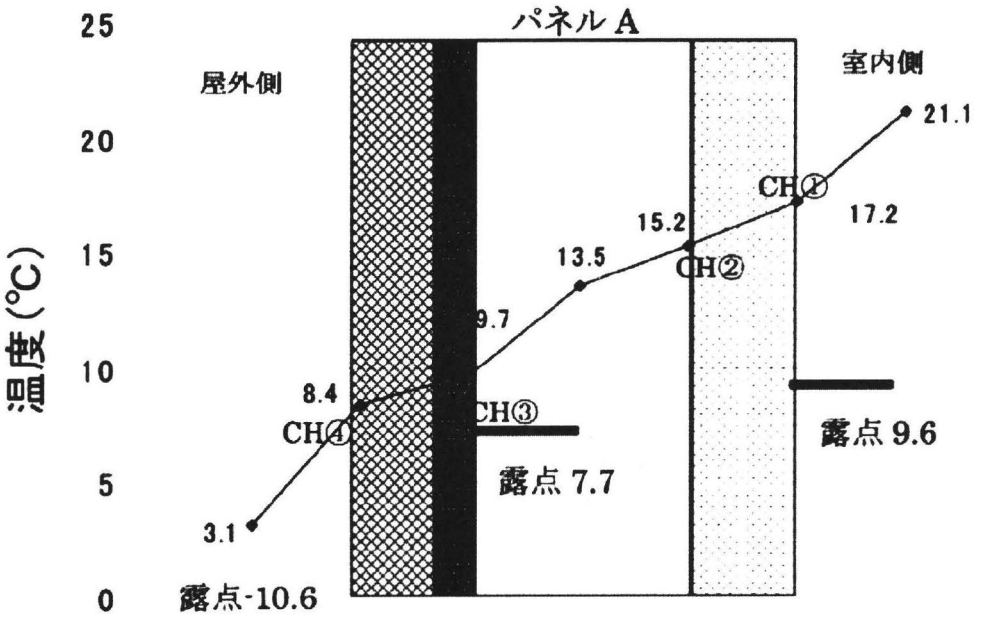
図4-3-1　壁パネル内部湿度の経時変化
/冬期条件1回目

表4-3-1　壁パネルの表面温度と飽和水蒸気圧/冬期条件1回目、8時間目

	CH①	CH②	CH③	CH④	CH⑤	CH⑥	CH⑦	CH⑧
温度(℃)	17.2	15.2	9.7	8.4	18.5	15.7	8	6.1
飽和水蒸気圧(hPa)	19.63	17.28	12.04	11.03	21.31	17.84	10.73	9.42
飽和容積絶対湿度（$\times 10^{-3}$g/m³）	14.65	12.98	9.22	8.48	15.83	13.38	8.27	7.31

表4-3-2　中空層の温湿度/冬期条件1回目、8時間目

	室内側	中空部		屋外側
		パネルA	パネルB	
相対湿度(%)	48	68	67	32
温度(℃)	21.1	13.5	12.5	3.1
水蒸気圧(hPa)	12.02	10.52	9.71	2.44
容積絶対湿度（$\times 10^{-3}$g/m³）	8.85	7.96	7.37	1.92
露点温度(℃)	9.6	7.7	6.5	−10.6



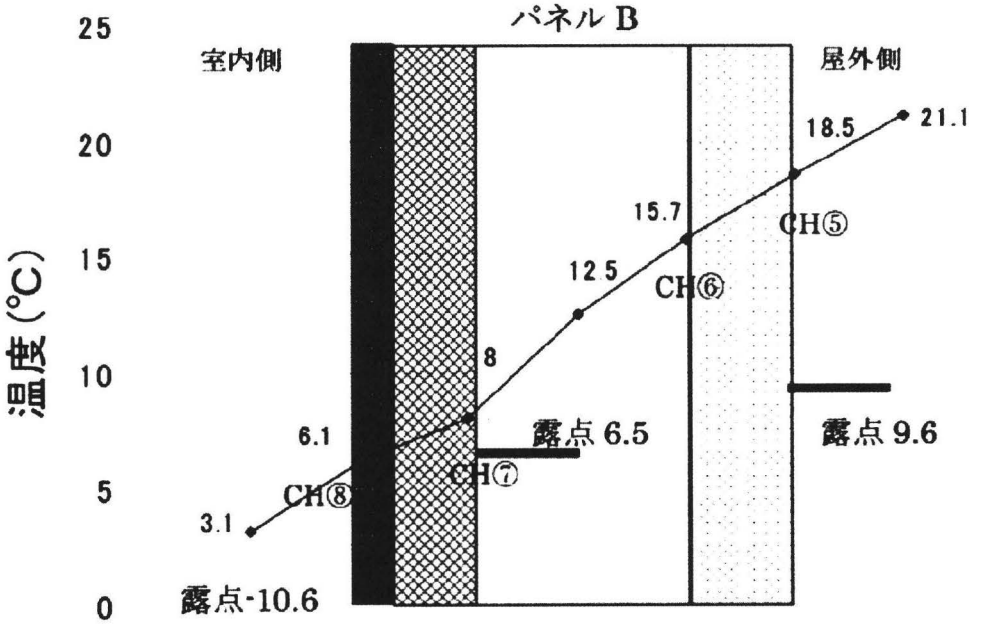
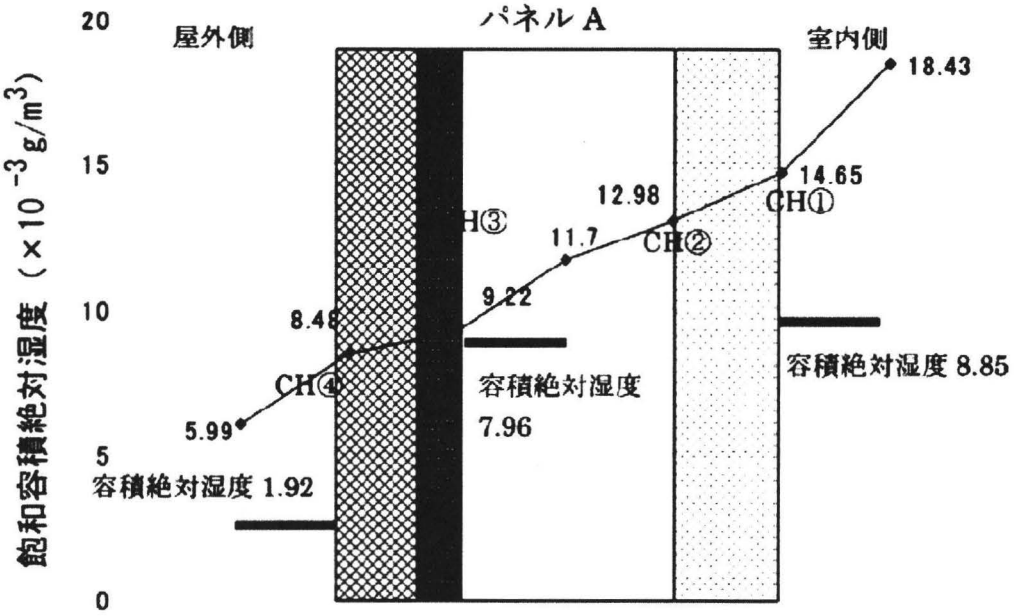


図 4-3-2　試験体表面温度と中空層露点温度の比較

/冬期条件 1 回目、8 時間経過後



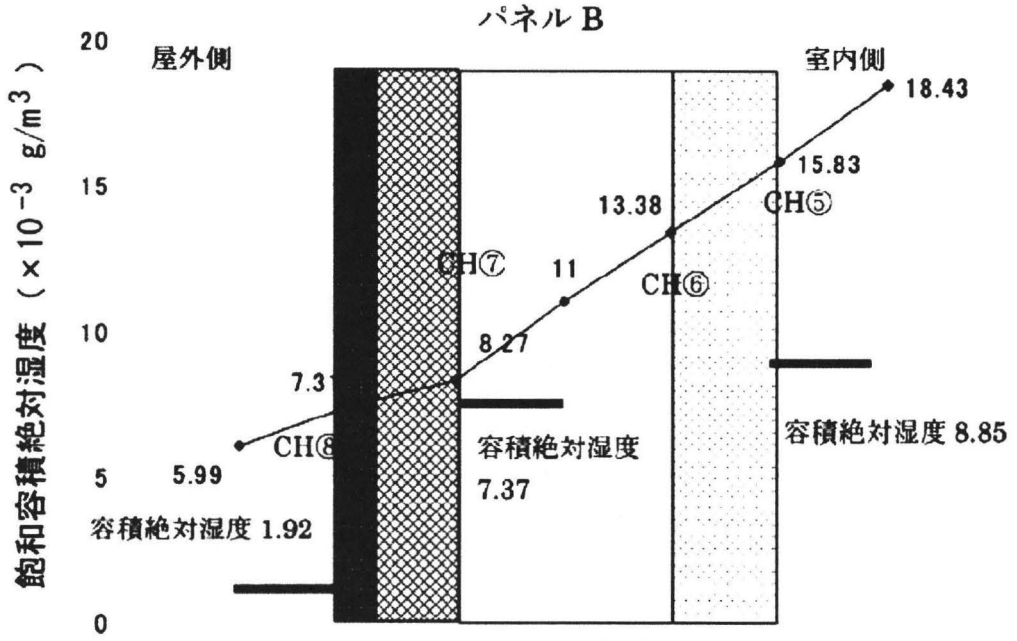


図 4-3-3　試験体表面温度における飽和容積絶対湿度と中空層の容積絶対湿度の比較/冬期条件１回目、８時間経過後

測定２回目（冬期条件）：外気温湿度 5℃、30%RH/室内温湿度 22℃、50%RH

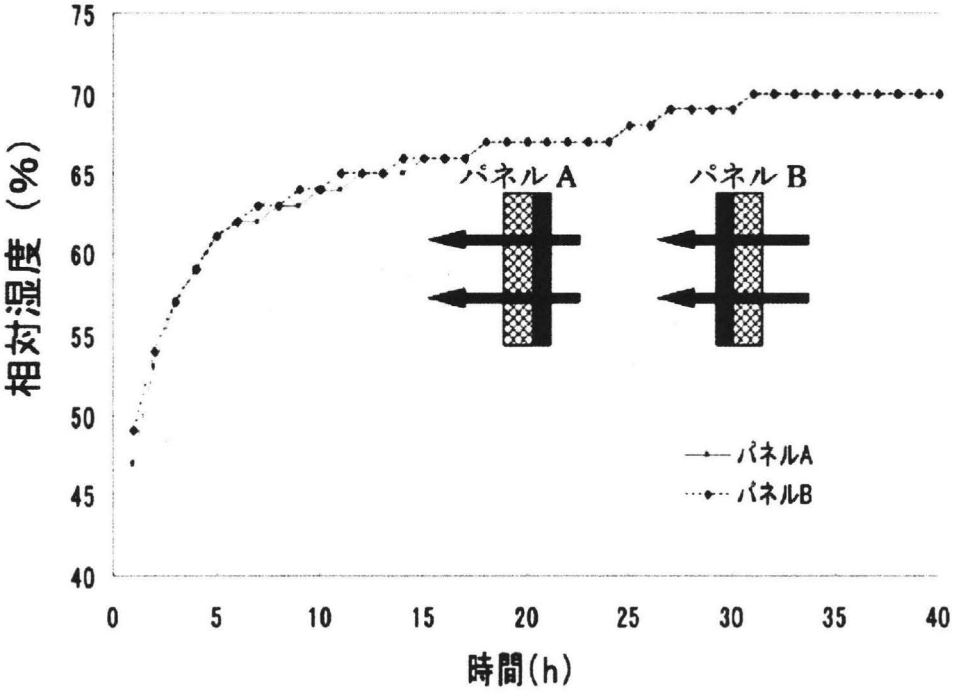


図4－3－4 壁パネル内部湿度の経時変化/冬期条件2回目

表4-3-3 壁パネルの表面温度と飽和水蒸気圧/冬期条件2回目、8時間目

	CH①	CH②	CH③	CH④	CH⑤	CH⑥	CH⑦	CH⑧
温度(℃)	18.4	16.8	12.6	11.6	19.4	17.1	9.8	11.3
飽和水蒸気圧(hPa)	21.17	19.14	14.59	13.66	22.54	19.51	12.12	13.39
飽和容積絶対湿度 (×10^{-3}g/m³)	15.73	14.3	11.07	10.4	16.69	14.56	9.28	10.2

表4-3-4 中空層の温湿度/冬期条件2回目、8時間目

	室内側	中空部 パネルA	中空部 パネルB	屋外側
相対湿度(%)	45	63	63	28
温度(℃)	21.4	15.5	14.8	7.9
水蒸気圧(hPa)	11.48	11.1	10.61	2.98
容積絶対湿度 (×10^{3}g/m³)	8.44	8.33	7.98	2.3
露点温度(℃)	8.9	8.4	7.8	-8.4

測定３回目（冬期条件）：外気温湿度 5℃、30%RH/室内温湿度 22℃、50%RH

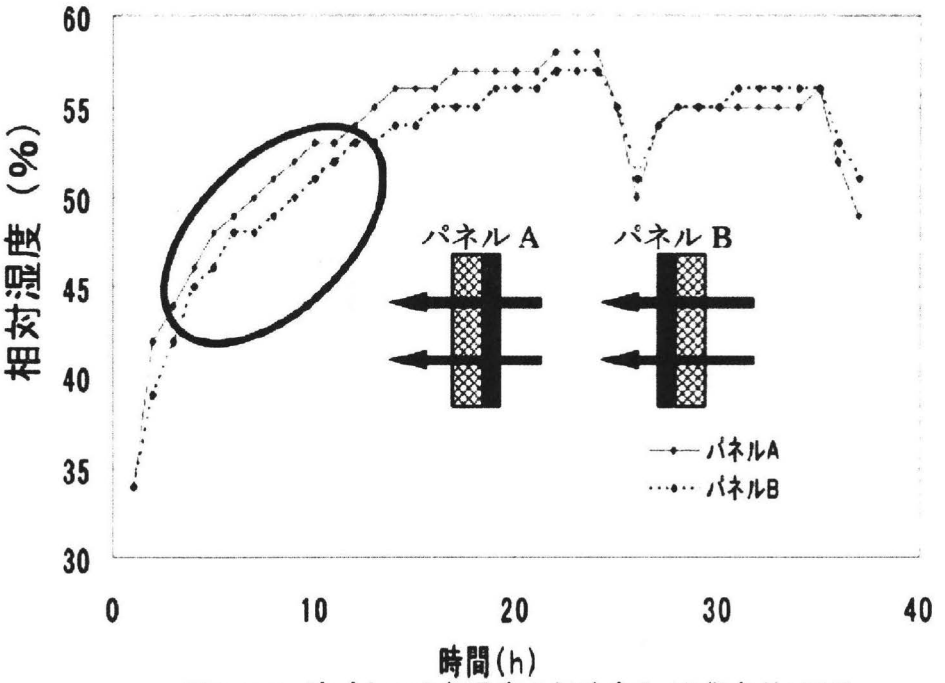


図4-3-5 壁パネル内部湿度の経時変化/冬期条件3回目

表4-3-5 壁パネルの表面温度と飽和水蒸気圧/冬期条件3回目、8時間目

	CH①	CH②	CH③	CH④	CH⑤	CH⑥	CH⑦	CH⑧
温度(℃)	18.3	16.9	12.9	10.7	19.4	17.8	12.5	8.8
飽和水蒸気圧(hPa)	21.04	19.26	14.88	12.87	22.54	20.39	14.5	11.33
飽和容積絶対湿度 (×10⁻³g/m³)	15.64	14.39	11.27	9.82	16.69	15.18	11	8.71

表4-3-6 中空層の温湿度/冬期条件3回目、8時間目

	室内側	中空部		屋外側
		パネルA	パネルB	
相対湿度(%)	46	51	49	26
温度(℃)	21.4	15.4	15.5	7.8
水蒸気圧(hPa)	11.73	8.93	8.63	2.75
容積絶対湿度 (×10³g/m³)	8.63	6.7	6.48	2.12
露点温度(℃)	9.3	6.6	4.8	-9.3

測定４回目（冬期条件）：外気温湿度 5℃、30%RH/室内温湿度 22℃、50%RH

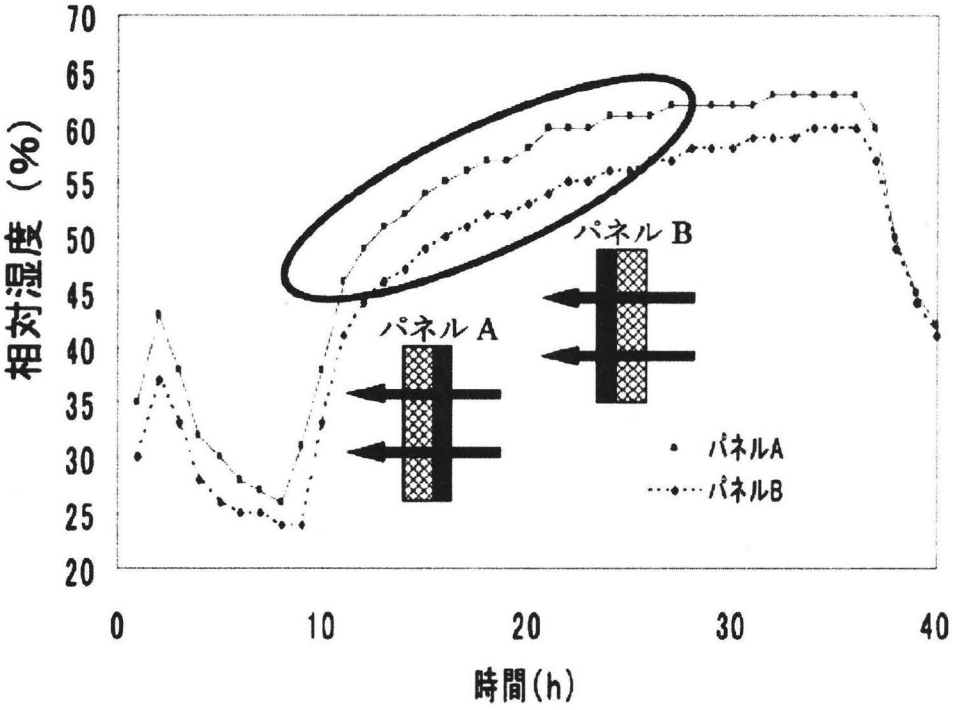


図4-3-6 壁パネル内部湿度の経時変化/冬期条件4回目

表4-3-7 壁パネルの表面温度と飽和水蒸気圧/冬期条件4回目、15時間目

	CH①	CH②	CH③	CH④	CH⑤	CH⑥	CH⑦	CH⑧
温度(℃)	17.9	16.6	12.8	10.6	19.2	17.6	12.3	8.7
飽和水蒸気圧(hPa)	20.52	18.9	14.79	12.78	22.26	20.13	14.31	11.25
飽和容積絶対湿度（×10^{-3}g/m³）	15.27	14.13	11.2	9.76	16.5	15	10.86	8.65

表4-3-8 中空層の温湿度/冬期条件4回目、15時間目

	室内側	中空部		屋外側
		パネルA	パネルB	
相対湿度(%)	46	54	49	27
温度(℃)	21.2	15.2	15.4	7.7
水蒸気圧(hPa)	11.59	9.33	8.58	2.84
容積絶対湿度（×10^{3}g/m³）	8.53	7.01	6.44	2.19
露点温度(℃)	9.1	5.9	4.7	-9

測定５回目（夏期条件）：外気温湿度 5℃、30%RH/室内温湿度 22℃、50%RH

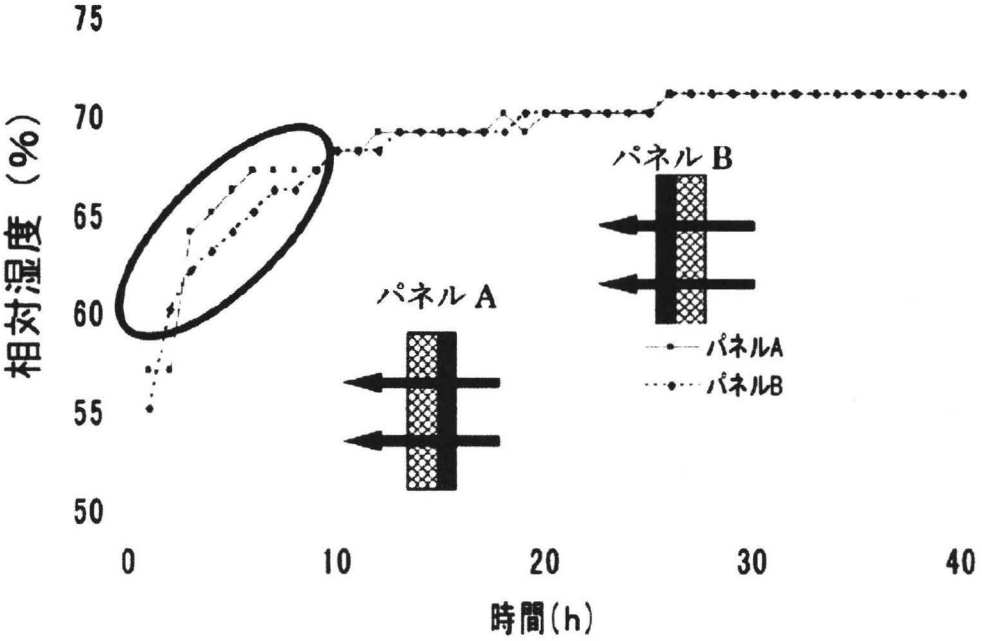


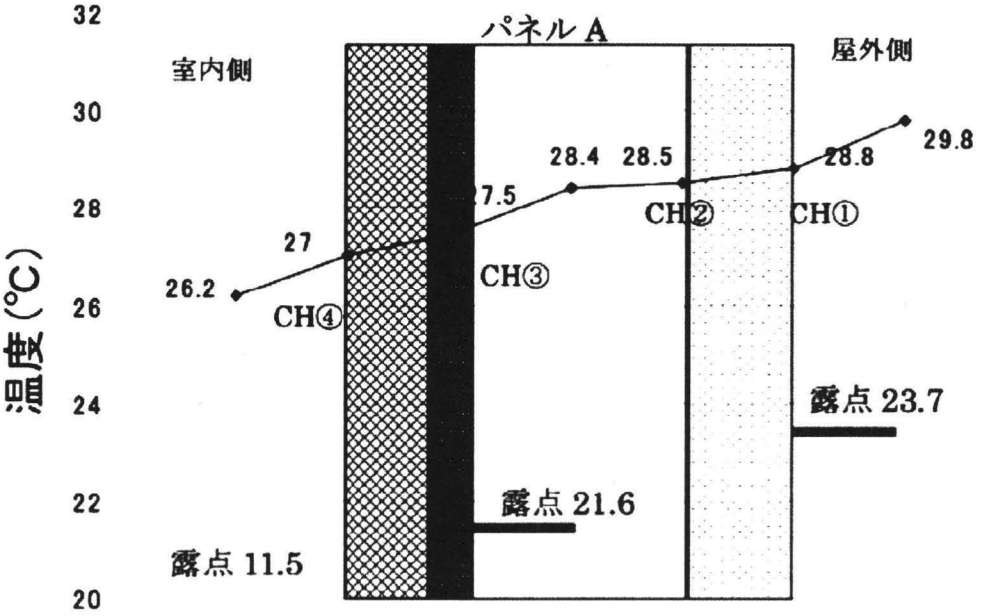
図4-3-7 壁パネル内部湿度の経時変化/夏期条件1回目

表4-3-9 壁パネルの表面温度と飽和水蒸気圧/夏期条件1回目、8時間目

	CH①	CH②	CH③	CH④	CH⑤	CH⑥	CH⑦	CH⑧
温度(℃)	28.8	28.5	27.5	27	29.1	28.7	27.3	26.4
飽和水蒸気圧(hPa)	39.63	38.95	36.74	35.68	40.32	39.4	36.31	34.44
飽和容積絶対湿度 (×10^{-3}g/m³)	28.44	27.98	26.48	25.76	28.91	28.28	26.19	24.91

表4-3-10 中空層の温湿度/夏期条件1回目、8時間目

	室内側	中空部		屋外側
		パネルA	パネルB	
相対湿度(%)	40	67	66	70
温度(℃)	26.2	28.4	28.3	29.8
水蒸気圧(hPa)	13.62	25.94	25.41	29.39
容積絶対湿度 (×10^{3}g/m³)	9.86	18.64	18.26	21.02
露点温度(℃)	11.5	21.6	21.3	23.7



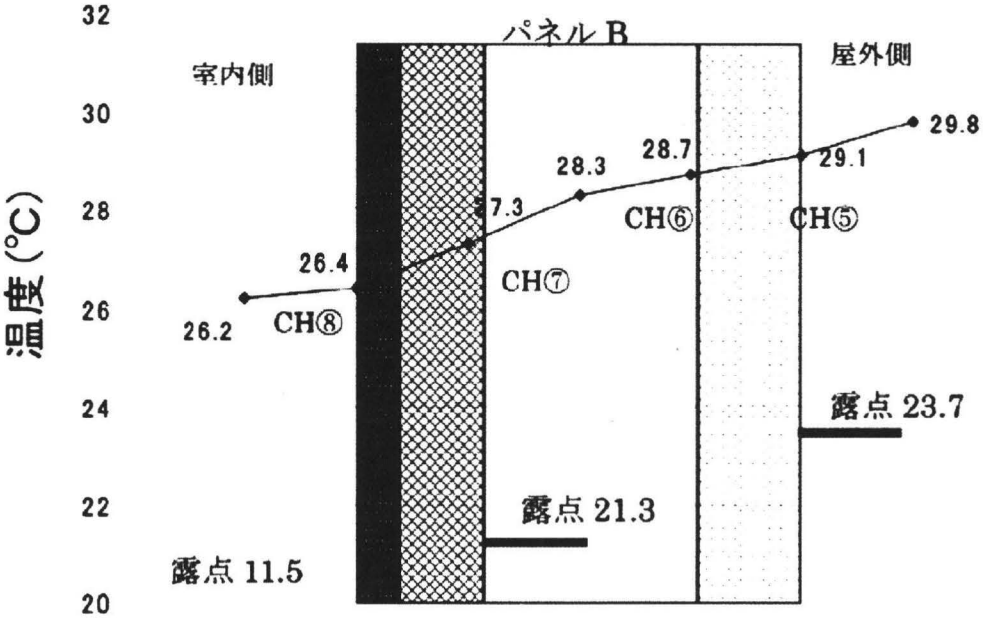


図 4-3-8　試験体表面温度と中空層露点温度の比較

/夏期条件 1 回目、8 時間経過後

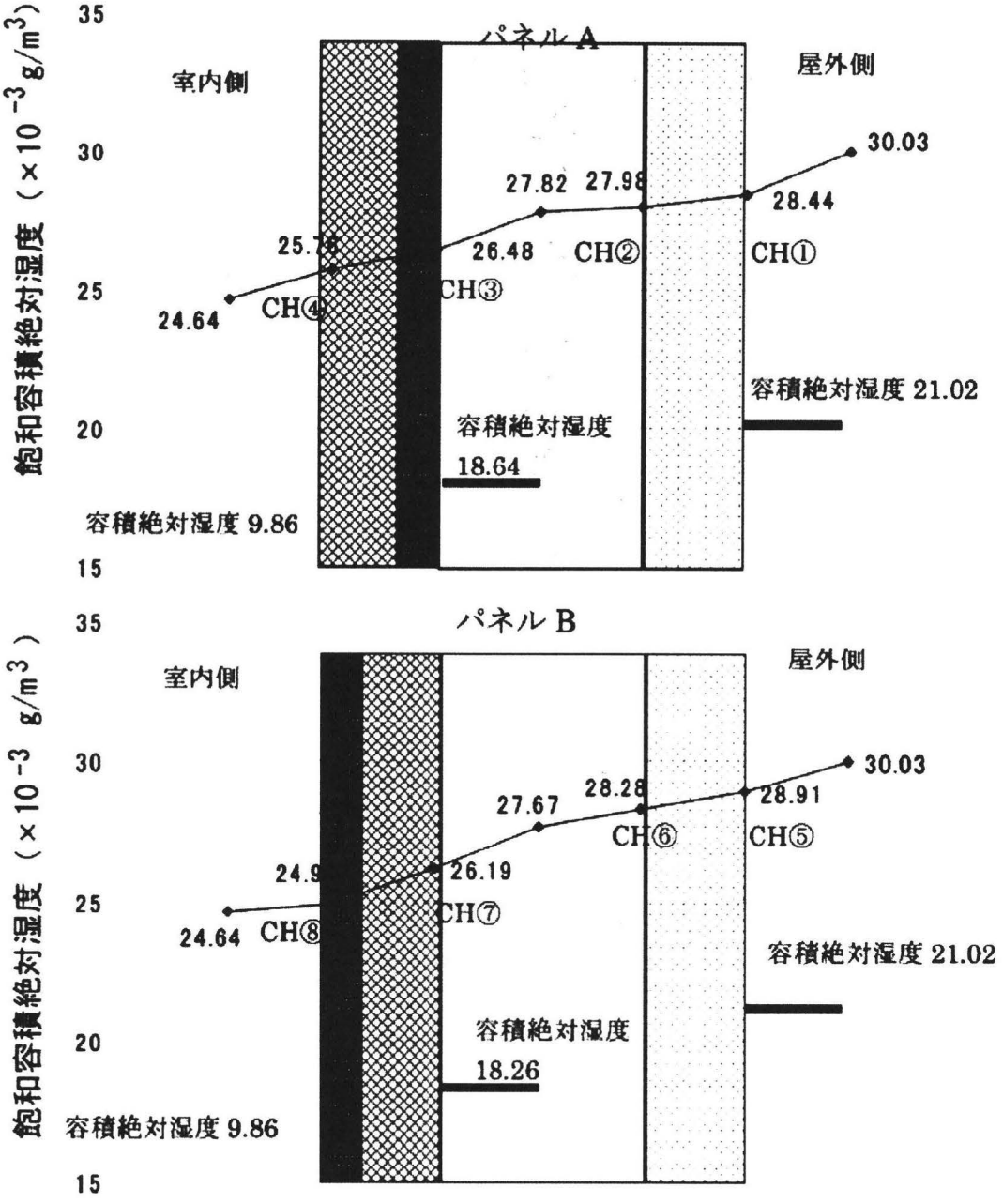


図 4-3-9　試験体表面温度における飽和容積絶対湿度と中空層の容積絶対湿度の比較/夏期条件１回目、８時間経過後

測定６回目（夏期条件）：外気温湿度 5℃、30%RH/室内温湿度 22℃、50%RH

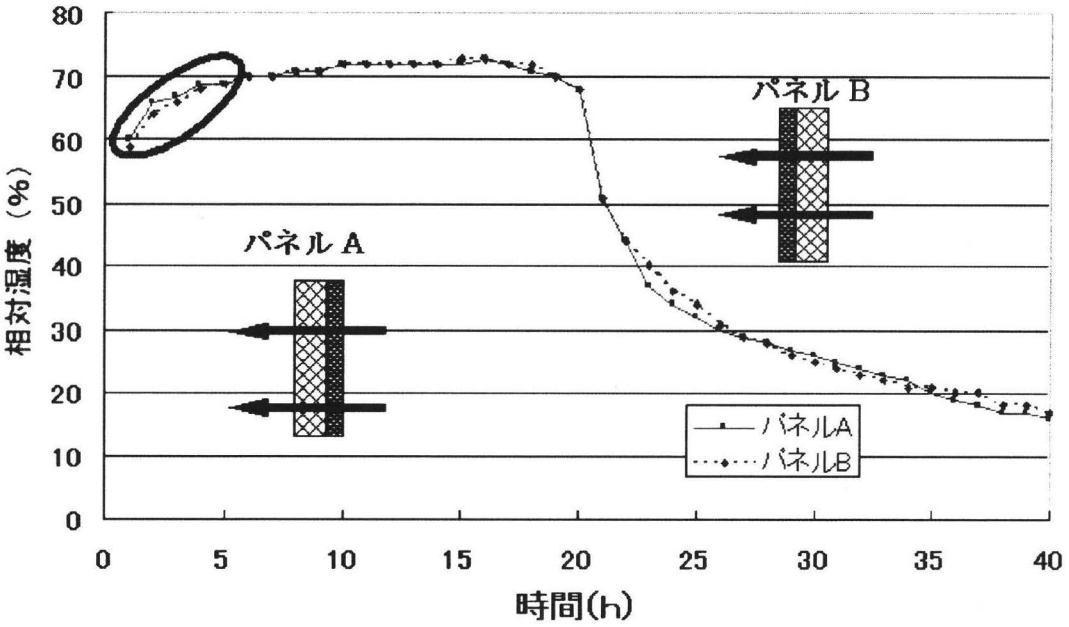


図4-3-10 壁パネル内部湿度の経時変化/夏期条件2回目

表4-3-11 壁パネルの表面温度と飽和水蒸気圧/夏期条件2回目、8時間目

	CH①	CH②	CH③	CH④	CH⑤	CH⑥	CH⑦	CH⑧
温度(℃)	28.8	28.4	27.3	26.9	29.1	28.6	27.1	26.2
飽和水蒸気圧(hPa)	39.63	38.72	36.31	35.47	40.32	39.17	35.89	34.04
飽和容積絶対湿度 (×10^{-3}g/m³)	28.44	27.82	26.19	25.62	28.91	28.13	25.9	24.64

表4-3-12 中空層の温湿度/夏期条件2回目、8時間目

	室内側	中空部 パネルA	中空部 パネルB	屋外側
相対湿度(%)	41	71	71	71
温度(℃)	26.1	28.2	28.1	29.7
水蒸気圧(hPa)	13.87	27.17	27.02	29.64
容積絶対湿度 (×10^{3}g/m³)	10.05	19.54	19.43	21.2
露点温度(℃)	11.8	22.4	22.3	23.8

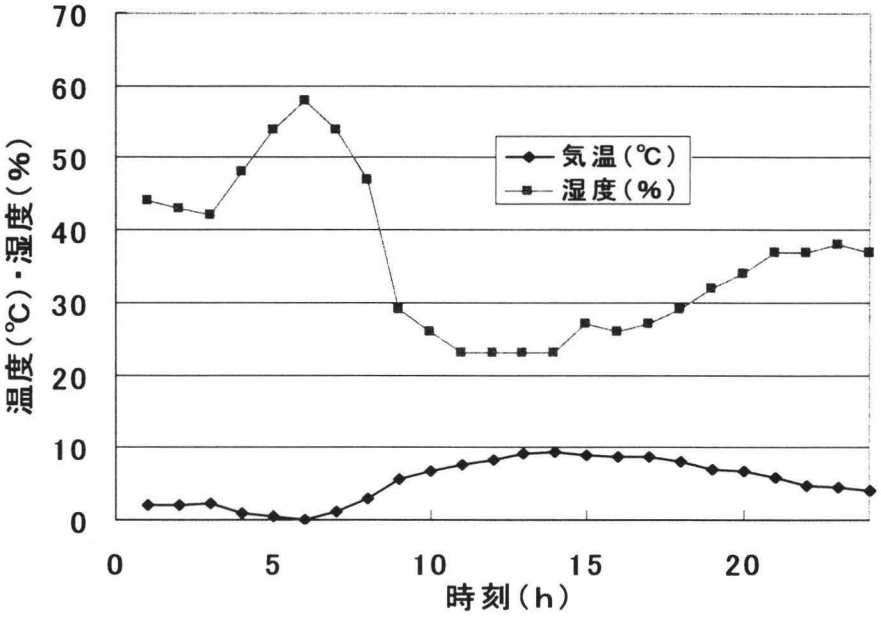


図5-1 東京冬の外気温湿度変動
(2003.1.31)

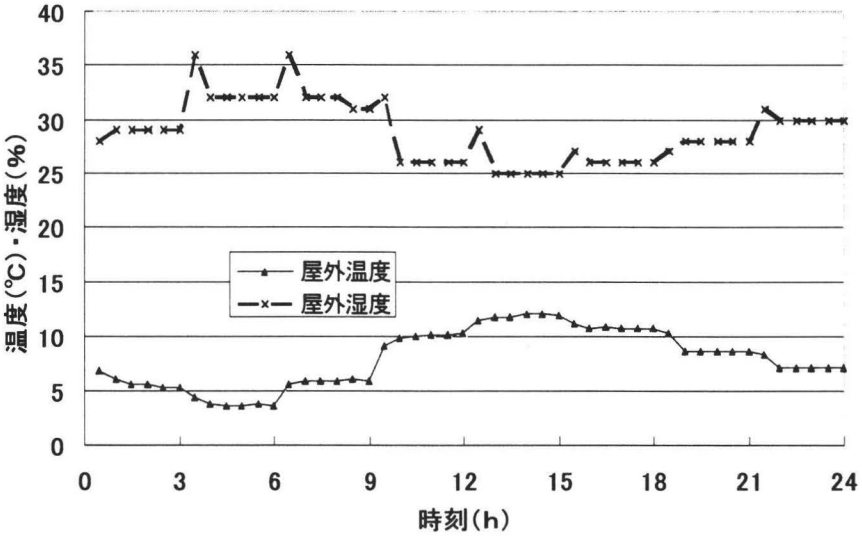


図5-2 壁パネル外気側の温湿度変化実測値

表5-1　2003年1月31日の東京の1時間ごとの温湿度

時刻(時)	気温(℃)	湿度(%)	時刻(時)	気温(℃)	湿度(%)
1	2.1	44	13	9.2	23
2	**2.1**	**43**	**14**	**9.4**	**23**
3	2.2	42	15	8.9	27
4	0.9	48	16	8.7	26
5	**0.4**	**54**	17	8.8	27
6	0.1	58	**18**	**8.1**	**29**
7	1.2	54	19	6.9	32
8	**2.9**	**47**	20	6.7	34
9	5.5	29	**21**	**5.8**	**37**
10	6.7	26	22	4.8	37
11	**7.5**	**23**	23	4.5	38
12	8.3	23	**24**	**4.1**	**37**

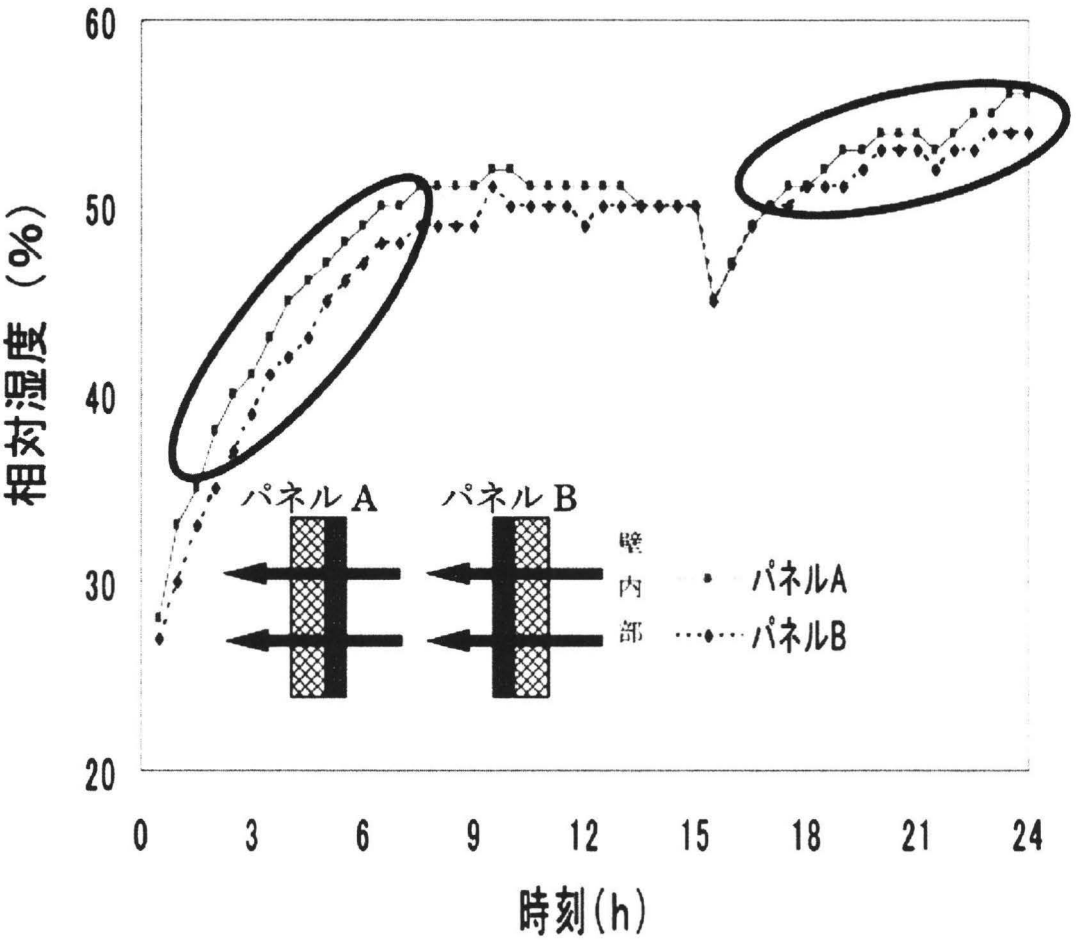
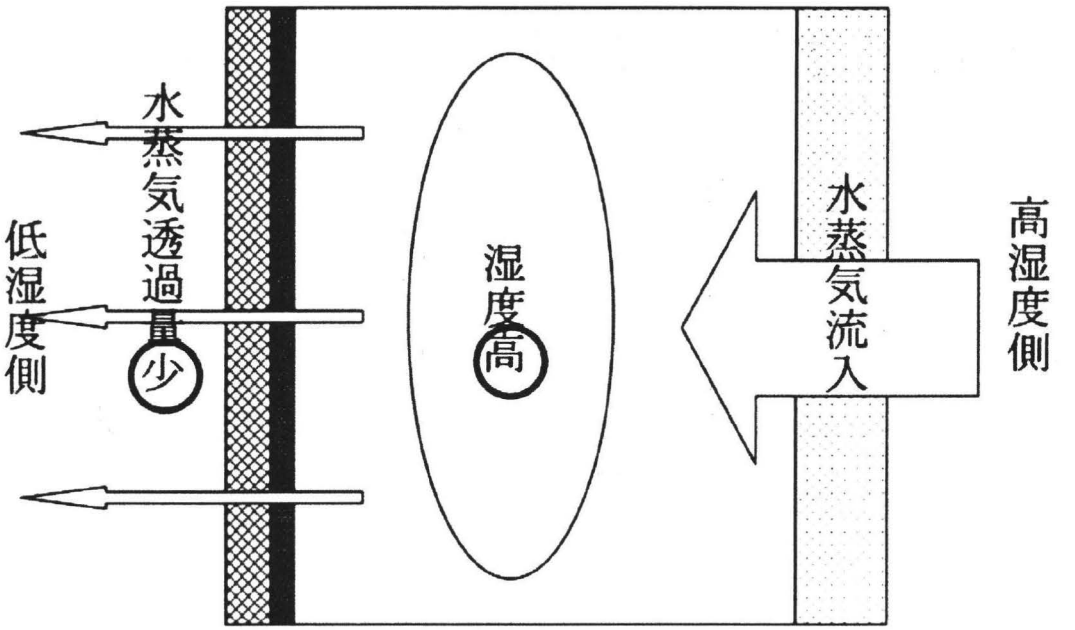
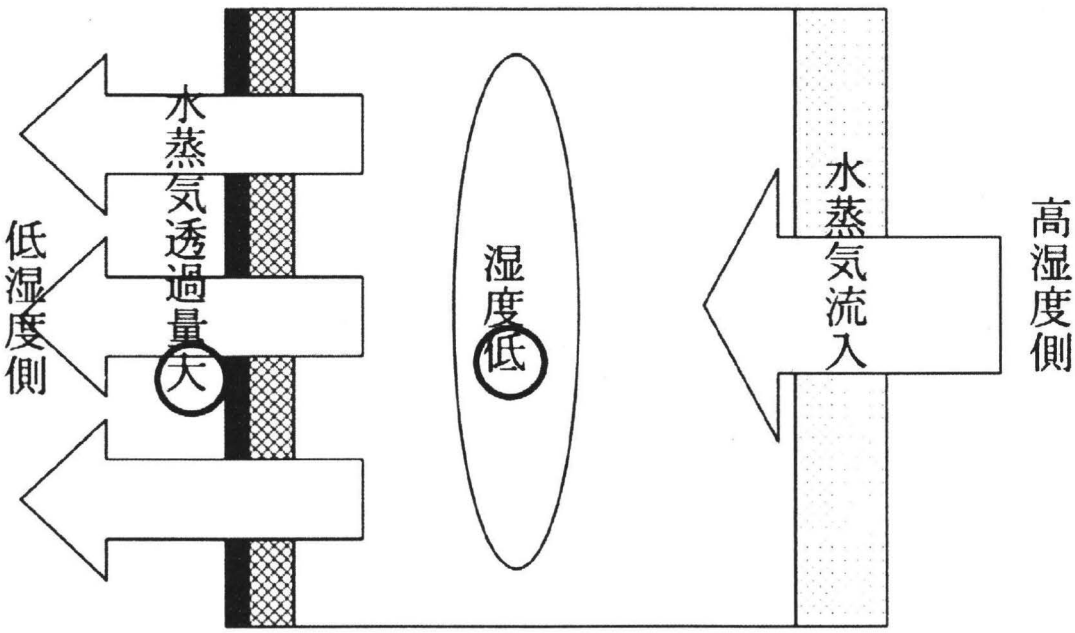


図5-3　壁パネル内部湿度の経時変化/非定常環境下



パネル A



パネル B

図 5-4　壁パネル内部の湿度変動の推測

03-05 「建築病理学」を形成する基礎的な知識体系の構築

NPO 法人建築技術支援協会集合住宅部会

建築病理学研究 WG 主査　小松幸夫

1．本研究の背景と目的

近年、新築市場の縮小、ストック量の拡大等に伴って、マンションの大規模改修に代表される「リフォーム」或いは「リニューアル」と呼ばれる建設活動分野が拡大しつつある。ここでは、既存建物の劣化状況等を診断し、適切な改修等の対処を図ることが求められるが、過剰な改修仕様による建物所有者、建物利用者の負担の増大、不適切な処置による改修後の早期の問題発生等が少なからず見られる状況にある。このまでは、生活者にとっての不利益が解消されない上、都市居住環境の向上を担う新しい産業分野の健全な発展が阻害される危険性が高いと言わざるを得ない。

上述のように改修工事分野においてしばしば見受けられる過剰な仕様設定や不適切な処置の主たる原因は、建物各部の劣化現象に関する知識体系の欠如、及びそのことに伴う対処法に関する判断基準の不明確さにある。

本研究では、これから拡大するであろう建設活動分野の健全な発展の基礎となる知識体系「建築病理学」を確立することを念頭に置き、そのための基礎的な知識体系のあり方を見極めることを目的とする。

2．研究の方法

①建築病理学に関する既往文献調査等を行い、特に欧米諸国において先行している建築病理学の考え方を明らかにする。

②ここで考える建築病理学の枠組を明確にする。

③集合住宅を例にとり、建築技術者として多年の経験を有する個人約 100 名が構成員となって社会貢献活動を行っている NPO 法人建築技術支援協会を中心に、関連する専門企業等の協力を得て、外壁廻り、屋根防水、給排水・換気設備、構造躯体等に関する劣化症例を多数収集する。

④それら多数の症例を分析することで、建築病理学を形成する基礎的な知識の整理方法を提案する。

3．研究組織

●代表者

小松幸夫（NPO 法人建築技術支援協会集合住宅部会建築病理学研究 WG 主査、早稲田大学

理工学部建築学科教授)

●共同研究者

○NPO 法人建築技術支援協会集合住宅部会建築病理学研究 WG

松村秀一、小畑晴治、吉田宏、鎌田一夫、今津賀昭、奈良利男、向野元昭、中村正実、古橋昭男、須山清記

○東京大学大学院工学系研究科建築学専攻

白美珍、金容善、白正勲、熊谷亮平

4．建築病理学の研究動向

4—1　医学における建築病理学

医学において病理学は、臨床医が手当てをして患者が死亡した場合、解剖してその原因を明かにすることに用いられる知識体系であり、症例を収集することから始まった分野である。病理学には、多くの臨床例から知識を得る臨床病理学と、マウス等の動物を使う実験病理学とがある。また、身体の部位毎に専門が分かれている。

これらのことは、これからの建築病理学の構築を考える上で直接的な参考になる。

4－2　建築病理学の現状

欧米で Building Pathology、正しく「建築病理学」と呼ばれている分野は、明らかに医学の概念を援用して命名された分野である。イタリアを初めとする欧州諸国で老朽化した文化遺産である建築物の保存を目的として、医学の病理学の考えかたを取り入れた研究が始められたのがその始まりだと考えられる。

現在、建築病理学に関して最も活発に研究発表等が行われているのは CIB においてである。CIB には建築病理学という名の研究委員会 W86 があり、1994 年 10 月にイタリアで第 1 回の国際シンポジウムが行われて以来活動を継続している。2003 年 11 月にはリスボンで第 2 回の国際シンポジウムが開催され、25 カ国から 381 名の研究者が参加した。本研究では、そこで発表された研究の内容を把握したが、ここでは詳述を割愛する。

欧米では建築病理学に関する出版物も多く、本研究では 37 の文献を収集しその内容を把握したが、ここでは代表的な出版物 3 点を紹介しておく。

①The Technology of Building Defects (Hinks, J. & Cook, G.　E&FN Spon,1998)

建物に欠陥が生じる理由と経緯、問題の分析方法、そして問題解決・問題発生防止のための基礎的な技術の使い方を広範に紹介している。

②Building Pathology (Watt, D.　Blackwell Science,1999)

建物の利用、そこでの生活、構造、材料、置かれる環境等が建物に及ぼす影響とそのメカニズムについて説明した書。同時に建築病理学という概念を紹介し、実際に行われる建物診断の方法と予測・治療に関する研究との間を繋ぐことを試みている。

③Building Surveys (Glover, P.　Butterworth-Heinemann,第 4 版 2000)

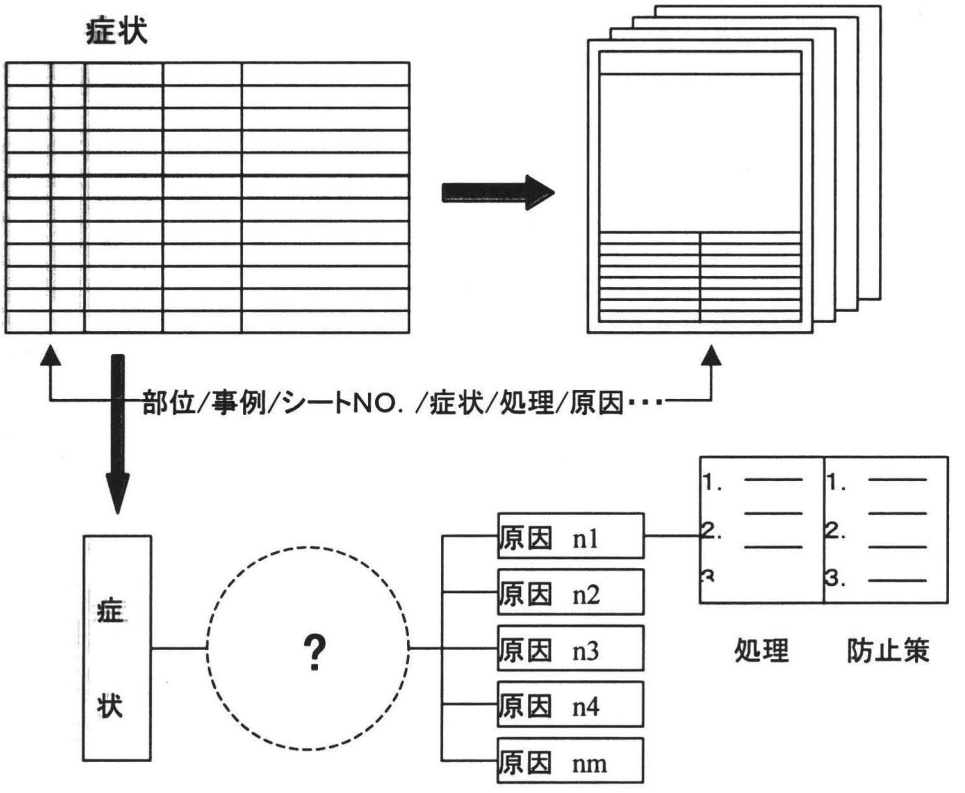
1983 年以来、建物の診断分野の教科書として利用されてきた書。実際的な点検と報告に関する知識・技術の解説に重点を置いている。

5．建築病理学の基礎的知識体系を構築するためのデータベースの提案

5－1　データベースの利用法イメージ

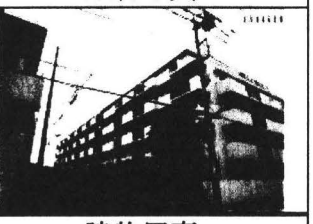
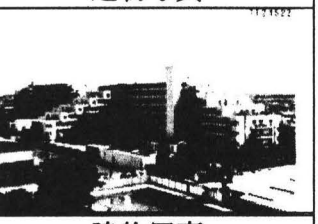
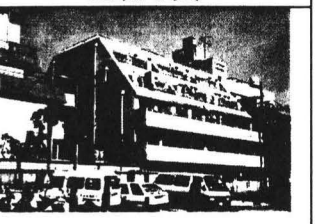
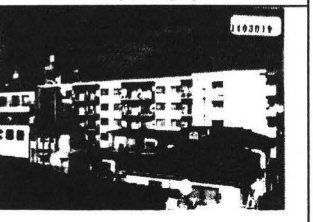
医学において症例を多数収集することから現在の病理学が形作られたように、建築学においても先ず多数の症例を収集し整理することが建築病理学形成のために肝要な作業である。本研究では、多数の症例を収集し整理することがどのように建築病理学形成に繋がるかを下図のように考えている。

先ず、症例を整理する枠組を用意する。そこでは、症状の部位、内容、現実に施した処理、考えられる原因等の情報が示されるようにする。そのそれぞれは症状の写真や建物属性等のより詳細な情報を持つ形を採る。こうした症例データベースが構築されれば、複数の建物の共通に見出せるある症状がどのような原因で生じるのかをより深く専門的に検討することが容易になる。その成果は次に原因系毎に適切な処理方法や防止策の考案に繋がる。そして、これらの専門的な検討の結果は再びデータベースにフィードバックされ、建物診断や改修設計においてより有効に利用できる知識体系として洗練される。

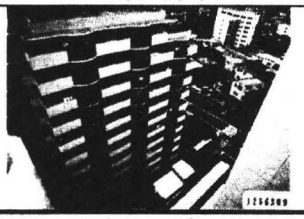


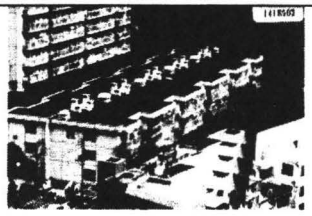
5－2　大規模改修された集合住宅19例の劣化現象データベース

●対象建物の概要

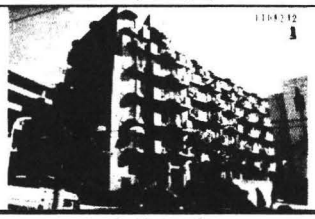
Code　No.	01001－01338, 05001－05227	建物写真
建物名	SK	
住所	江戸川区	
築年	1984年08月	
階建て	中層棟　4階建て、高層棟　23階建て	
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造	
Code　No.	02001－02449	建物写真
建物名	JK	
住所	情報なし	
築年	1985年	
階建て	5階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	
Code　No.	03001－03359	建物写真
建物名	FI	
住所	千葉県市川市	
築年	1987年12月	
階建て	地上8階建て、塔屋2階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	
Code　No.	04001－04036	建物写真
	情報なし	
Code　No.	06001－06536	建物写真
建物名	WD	
住所	情報なし	
築年	情報なし	
階建て	情報なし	
構造	鉄筋コンクリート造	
Code　No.	07001－07184	建物写真
建物名	PY	
住所	渋谷区	
築年	1978年	
階建て	地上5階建て、塔屋2階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	
Code　No.	08001－08460	建物写真
建物名	VH	
住所	神奈川県横浜市	
築年	1985年10月	
階建て	地上5階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	

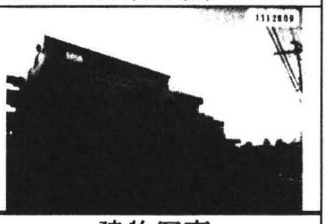
Code No.	09001－09183	建物写真
建物名	PS	
住所	情報なし	
築年	1985 年 11 月	
階建て	地上 4 階建て、塔屋 1 階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	

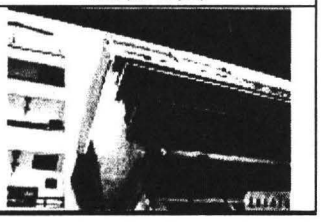
Code No.	10001－10417	建物写真
建物名	EK	
住所	埼玉県川口市	
築年	1988 年 03 月	
階建て	地上 12 階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	

Code No.	11001－11565	建物写真
建物名	情報なし	
住所	情報なし	
築年	情報なし	
階建て	地上 3 階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	

Code No.	12001－12420	建物写真
建物名	MO	
住所	東京都大田区	
築年	1975 年	
階建て	地上 11 階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	

Code No.	13001－13358	建物写真
建物名	AH	
住所	東京都文京区	
築年	1977 年	
階建て	地上 7 階建て、塔屋 1 階建て	
構造	鉄筋コンクリート造	

Code No.	14001－14297	建物写真
建物名	HU	
住所	神奈川県川崎市	
築年	1987 年	
階建て	地上 5 階建て	
構造	鉄筋コンクリート	

Code No.	15001－15575	建物写真
建物名	CH	
住所	情報なし	
築年	情報なし	
階建て	情報なし	
構造	情報なし	

Code No.	16001－16545	建物写真
建物名	WE	
住所	神奈川県横浜市	
築年	1990 年	
階建て	地上 14 階建て、塔屋 1 階建て	
構造	鉄骨鉄筋コンクリート	

Code No.	17001－17245	建物写真
建物名	TS	
住所	埼玉県戸田市	
築年	1986 年	
階建て	地上 10 階建て、塔屋 1 階建て	
構造	鉄骨鉄筋コンクリート	

Code No.	18001－18277	建物写真
建物名	KS	
住所	東京都品川区	
築年	1981 年 08 月	
階建て	地上 15 階建て	
構造	鉄骨鉄筋コンクリート	

Code No.	19001－19499	建物写真
建物名	GF	
住所	取手市	
築年	1981 年	
階建て	地上 13 階建て、塔屋 2 階建て	
構造	鉄骨鉄筋コンクリート	

Code No.	20002－20692	建物写真
建物名	SS	
住所	情報なし	
築年	1992 年 04 月	
階建て	地上 14 階建て	
構造	鉄骨鉄筋コンクリート	

●データベースにおける用語の統一・整理

① 詳細部位の簡略化：

例えば、階段梁型埋込み廻り、階段仕上げ、階段仕切天端等の部位を階段としてまとめ、付加説明欄に省略した詳細部位を明記する方法を採った。

② 症状名の整理

調査者によって、同じ病状であっても、その用語が様々であるので、統一・整理した。例えば、ひび割れ・亀裂・裂け目・クラックをひび割れに整理した。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	コード	方向	部位	詳細部位	材料	症状1	症状2	症状3	原因	備考	その他
498	10173		屋上		タイル	ひび割れ					
499	02309		屋上		タイル	ひび割れ				パラペット外壁と笠木の取合部	
500	02310		屋上		タイル	ひび割れ				パラペット外壁と笠木の取合部	
501	13041	南面	屋上		タイル	ひび割れ				パラペット外装	
502	05176		屋上		モルタル	剥離				高架水槽基礎漏り	
503	05175		屋上		モルタル	ひび割れ	浮き			高架水槽基礎漏り	
504	10366		屋上		モルタル	薄の苔生				給水配管のモルタル架台	
505	05171		屋上		モルタル	剥離				防水押え側溝漏り	
506	13247		屋上		モルタル	剥離				防水押えアゴ漏りの仕上げ	
507	05158		屋上		モルタル	破損				防水押えアゴ天端漏り	
508	17143		屋上		モルタル	膨れ				放水立上り端末	
509	02334		屋上		モルタル	脱落				防水押えアゴ	
510	07162		屋上		モルタル	ひび割れ				防水押えモルタル土間	
511	02147		屋上		モルタル	ひび割れ				防水押え立上り部	
512	02335		屋上		モルタル	ひび割れ				防水押え立上り部	
513	02150		屋上		モルタル	ひび割れ				防水押え土間	
514	02337		屋上		モルタル	ひび割れ				防水押え土間	
515	05157		屋上		モルタル	ひび割れ				防水押えアゴ天端漏り	
516	01145		屋上		モルタル	ひび割れ				防水押えモルタル	
517	11060		屋上		モルタル	浮き	ひび割れ				
518	03308		屋上		モルタル	浮き	ひび割れ			庇天端	
519	13234		屋上		モルタル	ひび割れ	浮き			漏りのバルコニー	

図　データベースの構成

●データベース化

③ Microsoft Access を利用

④ 特徴として、必要な情報によって多様なルートで検索が可能である。（下２図）例えば、部位→詳細部位→材料→病状／部位→材料→病状→詳細部位／病状→部位→材料／材料→病状→部位→詳細部位というように、目的によってルートを変えられるように設計した。

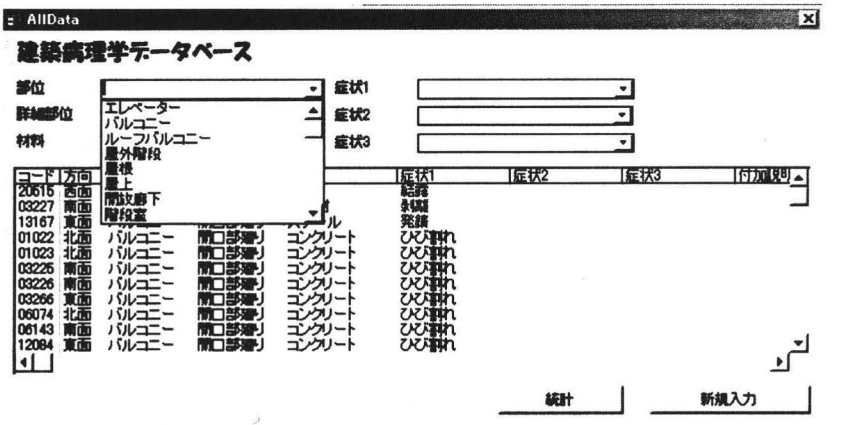


図　検索の例１（部位の中、バルコニー）

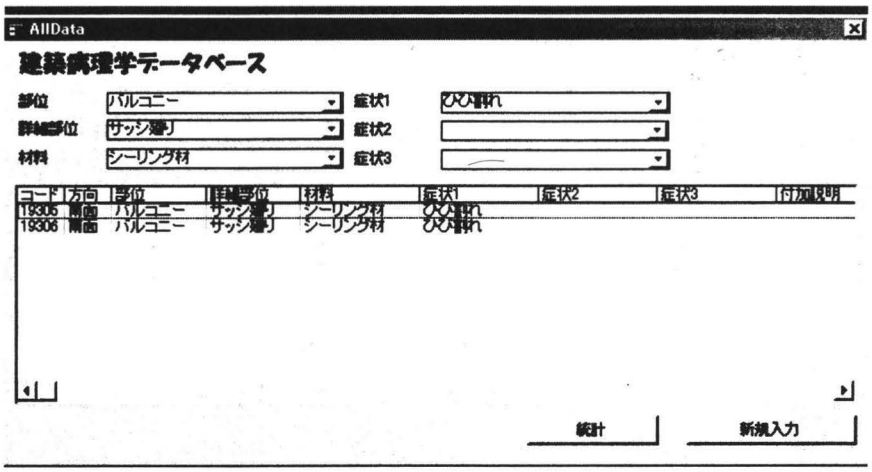


図　検索の例２（部位→詳細部位→材料→病状）

⑤ また、個々のデータは階層構造をもっており、更に詳しい情報を見ることができるように設計した。

⑥ 更に、専門家による原因、症状に関する判断が変わればいつでも更新・修正が簡単にできるように設計している。

⑦ データベース化されているため、多様な目的に沿って様々な分析ができる。下に２例を示すが、他にも必要に応じて様々な分析行為が可能になっている。

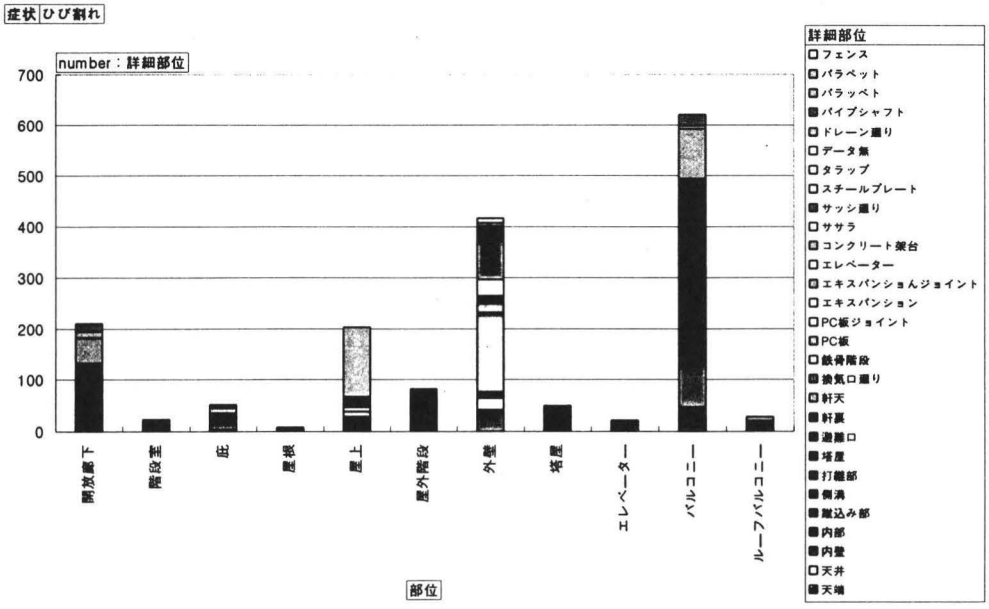


図　データ分析の例１（ひび割れの分布 ）

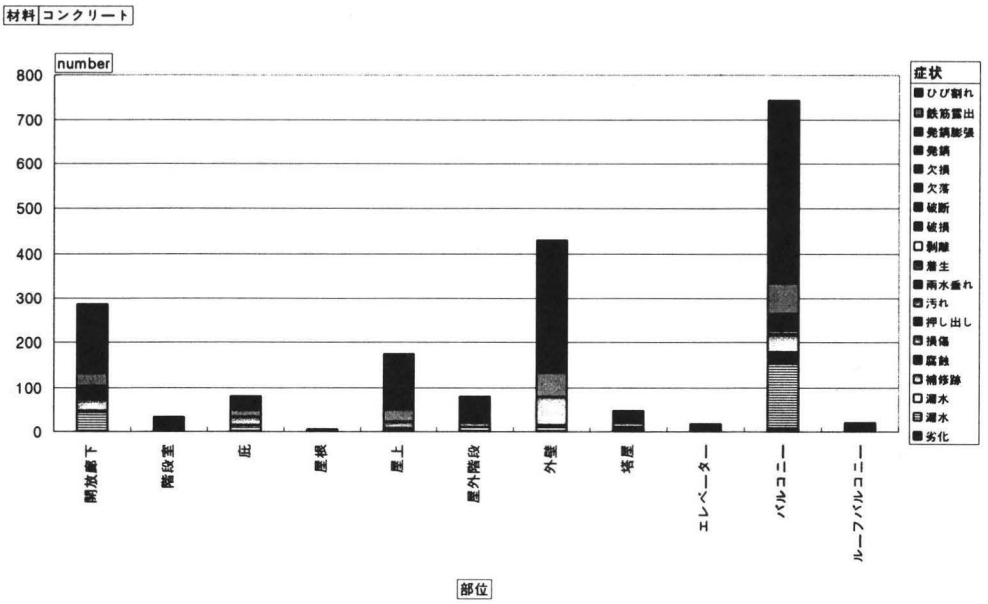


図　データ分析の例２（コンクリートに発生する病状の分布）

６．研究のまとめ

本研究では、日本でまだ定着していない「建築病理学」という分野の意義と海外での研究動向を見極めた上で、既存建物に生じた劣化現象等のいわば症状を多数収集・整理する作業が、この新たな学問分野の形成のために最も肝要な作業であるとの認識に立って、具体的に多数の症例を収集し、建築病理学を形成する基礎的な知識体系としてのデータベースを実際に構築した。これによって、建築病理学の形成のための土台は一応完成したと考えられる。

今後は更に多数の症例を蓄積することでこのデータベースを拡充し、それに基づいた症状－原因系等の詳細で専門的な検討を積み重ねていくことが求められる。

03-07 伝統技術に学び現代技術に依拠した住宅建設用構法別木材品質基準の策定

秋田県立大学木材高度加工研究所（申請時の所属）
名誉教授（申請時は教授）　鈴木　有
（NPO 法人緑の列島ネットワーク・顧問 兼 木材品質基準策定委員会座長）

『NPO 法人緑の列島ネットワーク』[1)]は、「現代の木造技術」を基盤に据えながら、わが国の伝統的な家づくりの原点に立ち戻り、その智慧や経験に学び直して、それらを「伝統の木造技術」として再評価し、地域産の木材を有効に使うための社会的な仕組みの再構につながる「新たな基準創り」を目指している。行政や研究者の主導ではない、現場をよく知る川上（林業や素材供給業）から川下（住宅建設業やユーザー）までの専門家集団を母体にした、地域発信型の取り組みである[2)]。

この取り組みの一部に対して、貴財団から研究助成を受けた。その研究結果を報告する本論は、いわゆる学術研究の成果ではなく、基準策定に必要な調査研究の結果とそれに基づく新たな基準策定の枠組みを取りまとめたものである。

1．本研究の背景と目的

1．1　研究の背景

現在わが国では、木材の品質は JAS 規格（日本農林規格）によって定められている。そのルーツをたどると、大正 15 年（1925）の「日本標準規格木材規格」に行き着く。当時日本では、大正中期から米材の輸入が始まっていた。それらが明確な規格を持っていたことに触発されて、この規格が作られたと言われている。以来何度かの変遷を経て現在の規格に至るが、いずれも外国の動向の影響を強く受け、改変されてきた。日本の木材生産と利用の実態に基づいて、自主的自発的に定められたとは言い難いのである。

その歴史的な経緯から、わが国の規格は常にグローバル・スタンダード（世界に通用する規格）を目指し、特に戦後は、現代の技術社会が指向する画一的な基準を作るように努めてきた。工業材料と同じように、個々の木材の性能を数値で表し、その品質を保証することによって、木材という建材を、建造物の規格化や住宅の大量生産化に適合させようとしてきた。

それにも関わらず、JAS 規格は現在も有効に機能していない。この規格を持った流通木材はほんの数割と言われている。強制力のない自主規格制度であることも理由の一つだが、わが国の木材消費の過半を占める住宅建設の実状に合っていないからと考えられる。

ひるがって、日本の伝統的な木造の家づくりは、多様な樹種で多彩な品質を持った木材を無駄なく使えるように、適材適所に使い分けてきた。同時に、自然材料の変化に富んだ性質

を使いこなすために、建設の構法でも対処し工夫をしてきた。そこには、各地で伝承されてきた、木を見分け使い分ける職人の智慧と経験が働き、自ずと強い地域性が現れていた。わが国の伝統的な家づくりの現場には、「地域固有の或いは職人固有の木材品質基準」があったのである。

1．2　研究の目的

そこで、この新たな基準づくりでは、

1) 木材は自然素材であり、多様な性質を個々に持つこと、

2) 同じ樹種でも地域によって性質が異なり、使い方も自ずと異なること、

3) 可能な限り、それらを無駄なく活かして家づくりに使うこと、

4) 木材を適材適所に用いてきた伝統の智慧や技にも学ぶこと、

を前提にして、新しい構想の下に「住宅用建材としての木材品質基準」を策定する。

これは、現代の技術社会が指向する工業材料としての画一的基準、言い換えると、無垢材の物理的・化学的な処理の励行や低質材の排除につながりやすい現行の法的基準に対して、地域発信型の一つの対案を提示する取り組みでもある。

当法人は「近くの山の木で家をつくる運動」を提唱し、国産の地域材を有効に活用した「地産地消の家づくり」が可能な地域社会の仕組みを育成し、支援し、普及させて、山に資金を環流させ、日本の森林を甦らせたいと構想している。その営みを通して、地場産業の活性化と資源循環・環境共生型社会の形成に寄与したい。本調査研究の成果を通して、こうした家づくりの規範となる技術観を提示し、家づくりに関わる人たちに有益な技術的基準を提供することに貢献したい。

2．研究の方法

2．1　研究の手法

①日本の木造住宅が多彩な木材を使い、多様な構法や工法で造られてきた歴史と伝統を重視して、この品質基準は「木造の多様性」を前提にして策定する。

②具体的には、新たな基準づくりの趣旨に沿う木の家づくりに関わっている各地の大工棟梁・建築職人・建築士・製材者・素材供給者・林業家など、現場の専門家たちに聞き取り調査を行い、可能な限り科学的物差しを用いて分析し、現代技術の到達点や体系と対比しながら、こうした家づくりに共通する規範と個々の地域に固有の特性を抽出し、それらの体系化を試みる。

③上記の成果に基づいて、この品質基準は「共通基準」と「地域基準」で構成する。

④「共通基準」は、家づくりに必要とされる木材品質の考え方、評価尺度と評価方法、地域基準の作り方を示す。具体的には、単なる材料としての品質基準にとどまらず、多様な木材を適材適所に無駄なく使い分けるための指針や適切な工法にも言及したい。

⑤「地域基準」は、地域材を有効に使うための具体的な質的・量的性能の推奨基準を定める。地域基準の枠組みについて、具体的には、先進地と見なしうる幾つかの地域（山系や流域）での取り組みを対象に、その可能性を検証したい。

⑥求められる木材の品質は構法や工法によって自ずと異なることに配慮して、これらの基準は基本的に構法別に策定するが、いわゆる「伝統的構法」[3)]、即ち「伝統的な木材加工法に依拠する軸組構法」から始める。

2．2　研究の組織

本論の冒頭で記した、地域の木材を家づくりに有効に使うための新たな基準を創るという目標を達成するために、2002 年の初め、当法人は「木材品質基準策定委員会」を組織内に設けた。当初は、林業家・素材生産者（製材者を含む）・建築家・構造設計家・研究者（主な専攻は林産学・建築構造学）・自治体職員（主には林政職）・ジャーナリストらによる委員 16 名の構成で出発した。

貴財団の助成を受けた関連の研究調査は、上記委員会の活動の一部に位置づけられるが、同委員会の中にワーキンググループを作り、そこが主体になって担当し実施した。このグループの主務を担ったのは建築家・構造技術者・研究者（建築構造学）の委員である。

次々節３．２で述べるように、この間の研究活動の中心は現地調査であった。各地で実施したその現場調査には、それぞれの地域で活躍している林業家・素材生産者・建築士・構造技術者・研究者・行政職員・ユーザー組織のリーダー等が参加した。彼等は聞き取り調査の対象者の役割を務めると同時に、一部のメンバーは共同調査者としても参画している。

3．研究の経過

3．1　本研究期間に入るまでの経過

上記の策定委員会を発足させるために、2001 年の後半に準備会を 2 回開催し、基準策定を目指す基本方針と委員会の枠組みについて検討している。続いて 2002 年には、表記の委員会が発足して、合わせて 4 回の会議を開催し、準備会から提起された基準創りの基本方針と基準の枠組みを、議論を尽くして深化させながら確定した。その内容は、前述した研究の目的・研究の手法・研究の組織の各節で記したものである。

その結果、当面中心とする課題は、

1) 川上から川下に至る家づくりの実態を、地域的な特性を重視しながら捕捉しよう、
2) 本目標に照らして特色ある取り組みを実践している各地の専門家グループから、直接聞き取ろう、
3) その建設現場に赴き、材料や工法の実際を把握しよう、
4) その地で家づくり関わるネットワークがあれば接触し、その機能や役割も捉えよう、
5) 家づくりで全国的に共通する規範と地域に即した規範を、仕分けてみよう、

ということになった。

また、委員会は一方で、林野庁や地方自治体が取り組みを始めた「地域材を活用した家づくりの施策」を関係者からヒアリングして、現況を把握するとともに、現在唯一とも言える木材品質の共通規格「JAS 規格」の歴史と現状についても、ヒアリングを基に、現況分析と課題の抽出を行った。

併せて、現場調査の試行にも取り組み、委員自身が関わる家づくりの事例報告を受けて、

調査の方式を検討した。続いて、関東で特色ある家づくりをしている2人の大工棟梁と、彼等に木材を提供している素材供給者・製材者を対象に、起案した方式を基に聞き取り調査を実施して、調査方式の点検と改善を図った。

その後は、専ら地方での聞き取り調査を続けてきた。

3．2　本研究期間中の経過

本助成への申請時（2003年6月）の研究期間は2002年4月からの3年間と設定していたが、採択（2003年12月）後の研究実施期間は2004年1月からの2年間と設定している。

そこで以下では、2002年4月から2003年12月までの1年9ヶ月を研究期間の前期、2004年1月から2005年12月までの2年間をその後期として、調査研究等の経過をまとめることにする。

□調査の方式

この間に実施した調査方式の概要は、次のように要約される。

・地域産の木材を活用するよう努めながら、いわゆる伝統的構法で、現在も特色ある家づくりに取り組んでいる対象地域を、各地に分布する当法人の会員から寄せられた情報を基に選択する。

・主たる調査対象者を、中心的な役割を担っている大工棟梁とする。

・本調査に共通する質問事項と項目に基づき、家づくりの考え方、木材の選び方や使い方、軸組の加工法、仕事の内容等を、面接して聞き取る。

・その棟梁の家づくりで、ネットワークを組んだり協力関係にある建築士や構造技術者、素材供給者や製材者、林業家、行政職員や研究者等にも、可能な限り面接し、出来る場合は一同に会してもらって、連繋の組み方や補足すべき聞き取りを行う。

・その棟梁やネットワークの仕事ぶりが具体的に把握出来るように、工事中の建設現場や彼等が関わった建物に必ず赴き、木遣いや工法の実態を直に確認する。

・聞き取りの内容は全て録音し、テープ起こしをして、統括的に整理する。現場では、可能なら工法の細部を写真撮影し、場合によってはスケッチをして点検する。

□聞き取り調査の共通項目

質問事項の項目のみを挙げれば、次のとおりである。

1)木材の見分け方

木材を適材適所に有効利用するには？／木の相から得られる情報（立木状態・あて・木目・年輪・節・色合いなど）の基は？／見分ける基準（尺度）とその方法は？

2)木材の使い方（木取り）

「主要構造材（柱・梁など）」と「補助構造材（下地材など）」への使い分けは？／「柱」の木取りの原則は？／「梁・桁」の木取りの原則は？／「下地材・造作材」の木取りの原則は？／「継手」の位置取りの原則は？

3)木材乾燥の考え方

「天然乾燥」と「人工乾燥」の使い分けは？／狂いや割れへの対処は？／色・艶・香りな

どを保つには？／「製材による変形」と「荷重による変形」と「乾燥による変形」の調整は？／部材の「含水率」表示は必要か？

4）木造住宅の構法・構造計画の基本

構造と間取りの関係をどう調整するか？／耐震・耐風・耐雪・耐火の備えの基本は？／耐久性確保の基本は？／部材の「強度（ヤング係数）」表示は必要か？／部材寸法のさらなる標準化は必要か？

5)伝統木造構法と現代木造構法の違い

両者の違いをどう理解しているか？／両者の長所と短所は？／両者をどう融合しているか？／「伝統」の意味をどう考えるか？／特に、金物補強の是非をどう考えるか？

6)木の家づくりの基になる考え方

「自然素材」と「人工建材」の使い分けは？／「木の無垢材」と「合成材（合板・集成材・ボードなど)」の使い分けは？／「手刻み」と「プレカット」の使い分けは？／「真壁」と「大壁」の使い分けは？／「主伐材」と「間伐材」の使い分けは？

7)林業の活性化

戦後の造林木を使いこなすには？／日本の（地場の）林業を活性化させるには？

□**前期の経過**（2002 年 4 月～ 2003 年 12 月）

この間に地方の聞き取り調査を、下記のように 4 回実施した。

① 2002 年 11 月（2 日間実施）：四国地方の香川県さぬき市・高松市・善通寺市等で、大工棟梁・左官職方・工務店経営者・建築士・ユーザーを対象に [4)]。ネットワークとして、高松市の「NPO 法人木と家の会」が協力。

② 2003 年 2 月（2 日間実施）：東海地方の静岡県浜松市・掛川市・静岡市で、大工棟梁・建築士・ユーザーを対象に [5)]。ネットワークとして、浜松市の「森と住まいの会」が協力。

③ 2003 年 5 月（2 日間実施）：北陸地方の福井県福井市・武生市で、大工棟梁・建具職人・工務店経営者・建築士・研究者・ユーザーを対象に [6)]。ネットワークとして、福井市の「ふくい・木と建築の会」と武生市の「武生ルネサンスの会」が協力。

④ 2003 年 8 月（2 日間実施）：近畿地方の京都府京都市・京田辺市で、大工棟梁・建築士・研究者を対象に [7)]。ネットワークとして、京都市の「関西木造住文化研究会」と「京都建築専門学校」が協力。

□**後期の経過**（2004 年 1 月～ 2005 年 12 月）

この間に地方の聞き取り調査を、下記のように 4 回実施した。

⑤ 2004 年 5 月（1 日間実施）：近畿地方の滋賀県志賀町で、大工棟梁・建築士・ユーザー・建築系大学生を対象に。

⑥ 2004 年 12 月（3 日間実施）：近畿地方の京都府京都市・宇治市で、大工棟梁・工務店経営者・建築士・製材者・素材供給者・ユーザーを対象に。ネットワークとして、京都市の「京都・森と住まい百年の会」が協力。

⑦ 2005 年 11 月（1 日間実施）：近畿地方の滋賀県志賀町と大津市で、棟梁・建築士から。

⑧ 2005 年 12 月（3 日間実施）：東北地方の岩手県陸前高田市で、大工棟梁・工務店経営者

・建築士・製材者・素材供給者・ユーザーを対象に。ネットワークとして、陸前高田市の「気仙大工建築研究事業協同組合」が協力。

４．研究の結果

４．１　事前の検討から

特記すべきは、委員会の検討からまとめられた現行の木材規格「JAS 規格」に関わる評価、即ち「問題点の所在」と「改善の方向」で、下記のように縮約される。新たな基準創りの重要な方向を提示している。

□ＪＡＳ規格（日本農林規格）の過去・現在・未来

○過去：

・大正末期に「外材の輸入」という外国からの影響を受けて創設され、その後も「外来工法の導入」や「消費者保護の立法化」など外国の動向を強く受けつつ改訂されてきた。
・当初は「正量取引の普及」を目的として始まり、「規格等級化」を目指すようになった。
・主な対象を「一般用材」→「建築用材」→「構造用材」に限定してきた大きな流れがある。
・「強制検査制度」から始まり「任意制の規格基準化」を経て「自己責任制の検査方式」へと、その制度を転換してきた。
・基本的に、「生産者規格」で「格付け」という性格を持つ。

○現在：

・生産者自身が認定するという自己責任制へ移行した。
・官が責任を負う体制に代えて、認証・検査業務へ民間が参入する競争原理を導入した。
・さらに国際間で相互認証する仕組みづくりを目指している。

○未来：

・柱・梁・土台などの用途別に、材料としての構造性能を表示する。
・輸入材では産出国、国産材では生産地を、その生産環境を含めて表示する。
・１本・１枚当たりなど、消費者に分かりやすい単位で、価格を表示する。

□ＪＡＳ規格の問題点

以下の諸要因の結果として、流通や設計・施工の現場で、JAS 規格の等級区分が積極的に使われることは稀であった。

1）正量取引への不信感

生産・建設両業界ともに埋める努力をしてこなかった。

2）価格が不明朗

等級分けと価格を積極的に対応させてこなかった。

3）構造（性能）と化粧（見栄）の区分が不明確・非分離

化粧優先で、性能や価格の評価が引きずられてきた。

4）乾燥問題への対処が曖昧

生産側は、施工の仕組みを考えず数値のみを設定してきた。一方建設側は、乾燥程度を区

分して使い分ける方式を明確にせず、価格に反映させる努力もしてこなかった。

□論点と改善の方向

1)規格の適用と運用で、供給側と利用（特に設計・施工）側の連携を図る。

現状は、ほとんど連携の場はないままに来ている。これからは例えば、実質的に協力する体制をつくり、JAS 規格のどこを適用してどう運用するかの意志を相互に確認し、実践すべきであろう。

2)在来構法（軸組構法）を扱う設計・施工側でも自己規制を行う。

これまで、施工側に個別のノウハウはあっても、工法や仕様のルールを明示することも、共通化する努力もしてこなかった。今後は、材料と施工をセットにして、性能担保に関する施主との約束事を明快に提示しなければならない。例えば、含水率や強度（ヤング係数）の数値だけでなく、現場合わせの仕様、即ちどの部位に用い、施工のどの段階でどんな工程管理を行うか、何を尺度に検査・点検するかなどを明示すべきであろう。

3)在来構法においても乾燥問題への対処を改める。

従来は、天井や床張りなどの大工の技で、乾燥による変動に対処してきた。これからは木材の乾燥と現場での使用法・施工法とを併せた対処が重要になる。それは、地元や現場（顔の見える関係の中）での相互の了解があって、初めて成立可能な対処法である。

4)乾燥数値（含水率）を一人歩きさせない。

従前は、その数値性能でどのようなトラブルが出るか現場での確認をどこもしてこなかった。乾燥割れと寸法の狂いの問題が混在し、不分離のまま扱われてもいる。測定数値の差異（機器や測定法による）も数値不信の一部になっている。今後は、供給側と利用側で、乾燥程度と施工精度や時間変化の関連について、お互いの場で何を管理するかの役割分担を明確にすべきであろう。

5)在来構法における数値表示の必要性を改めて考え直す。

従来は、材料としての数値表示の必要性をほとんど考えてこなかった。例えば、特別な場合（長尺の梁など）を例外にすれば、ヤング係数など本来は必要としない。その代わり、何を以て、どのようにこれに関わる性能を保証するかを明示しなければなるまい。

6)性能に反映する数値測定の段階を検討し直す。

現状は、強度に関わる数値測定は製材後の段階に集中している。しかし、その効用を考えると、原木・丸太段階での性能測定が有効であり、そのようにすれば、それ以降の段階での使用区分が容易になることを考えるべきである。加えて、高品質の材をストックして、それらが必要な場で有効活用出来るような新たな流通の仕組みを創ることが望まれる。

7)規格基準による材料としての格付けと木材価格との関係を明示する。

「構造性能＋化粧（見栄）＋欠点」を含めて、価格体系を新たに創る必要が有る。この関係の表示はユーザーへの説明責任を果たすのためにも有用と考えられる。

8)木材価格を上げるように工夫する。

従前は、化粧（見栄）主体で価格形成が行われ、構造（性能）との関係付けもなく、市場原理に委ねるだけだった。これからは例えば、一般製材に色々の化粧のものを混合して品質の底上げを図るなど、木材の末端価格を上げ、山側に植林や育林に使われる費用が戻

るように努めるべきである。

9)「木拾い表」の作成を徹底する。

現実は、「材工一式」という一括した発注が多数を占めている。今後施工側では、用途や使い勝手に応じた「木拾い表」の作成を原則にすべきである。

4．2　現地訪問聞き取り調査の結果から

□聞き取り結果集約の主要な対象

調査結果を集約する過程で採用した主要な聞き取り対象を次に示す［調査順に配列］。

・ＴＳウッドハウス協同組合（徳島県阿南市）
・NPO 法人木と家の会（香川県高松市）＋れいほく森林と木の会（高知県土佐町）
・六車工務店（香川県三木町）＋六車昭棟梁
・森と住まいの会（静岡県浜松市）＋太田明棟梁
・杉杢工務店（静岡県静岡市）＋杉山安央棟梁
・おだ住建（福井県福井市）＋織田清棟梁
・ふくい・木と建築の会（福井県福井市）
・直井工務店（福井県武生市）＋直井光男棟梁
・武生ルネッサンスの会（福井県武生市）
・木村工務店（京都府京都市）＋木村忠紀棟梁
・心傳庵（京都府京田辺市）＋木下孝一棟梁
・関西木造住文化研究会（京都府京都市）
・梓工務店（滋賀県大津市）＋高橋康清棟梁
・アラキ工務店（京都府京都市）＋荒木正亘棟梁
・安井杢工務店（京都府向日市）
・企業組合もえぎ設計（京都府京都市）と連携グループ
・丸昭製材（岩手県大船渡市）＋青砥昭悦木挽き職
・シンタックホーム（岩手県陸前高田市）＋菅野照夫棟梁
・気仙大工建築研究事業協同組合（岩手県陸前高田市）

その他に、下記の２つの資料を加えている。

・本 NPO 法人に設置された「基準策定委員会」の専門委員から提示された見解
・「職人がつくる木の家ネット」[8]が行った「つくり手へのアンケート調査」の結果

以上の集約結果を本報告書の書式でまとめたものは、50 頁を越える [9]ので、ここでは下記の大項目について、要約したものを示すにとどめたい。

□木材の見分け方

○基本となる考え方：木は自然の素材で、それぞれに個性が違うから、個々にその特性を見分ける技術や評価の尺度があって初めて、適材を適所に使える。職人側からの主要意見は、「数値化がまだ難しい個々の性能或いは総合的な性能に対して、大工や木挽きに代表される職人の経験や腕を尊重し、その役割と判断に委ねる選択肢が不可欠だ」、一方設計者側からのそれは、「このとき、第三者に客観的にその根拠を伝える工夫、即ち評価の基準や尺度の

提示も出来るように努めなければならない」に集約される。

○良材を得る基本：製材の職人も大工棟梁もほぼ例外なく、それぞれの土地で伝統的に行われてきた伐り旬を守って伐採された木は、色艶が良く、自然乾燥が早く、強度や耐久性に富み、木の品質は高いが、それ以外の時期に伐ると木の質が落ち、締まりがなく、削っても艶がなく、仕事もし難い、と言う。

○見分けの基本：「丸太の見分け」と「製材の見分け」は区別すべきで、後者は「素材の品質」と「製材の技術」をともに見る。「木の相」（年輪・節・色艶・アテなど）を読み、その特徴を活かして用いる。要約すると、良い材とは、重くて色艶が良く／年輪が詰み／目が真っ直ぐの直材。芯が材の中心にあり／背と腹を守り目を切らない／流れ節より丸節になるよう製材したもの。管理の良い森で／寒いところ／北向きの山で育った木が望ましい、となる。また、耐腐性に強弱がある赤身と白太の使い分けに留意する。さらに、木のクセを読むのを重視し、芯の位置や目を見て、山にあったときの状況を知り、変形していく様子を推測して、クセが互いに打ち消し合う木遣いを心がける。特に、クセが強いアテのある材は避けるか、そこは強い材でもあるので、差し障りのない箇所に活かして使うようにしている。

□木材の使い方

○製材の基本：柱・梁・板という用途に合った丸太を選び、強度を重視した木取りをする。芯を真ん中にして挽けば、その後の狂いは少ないが、芯をずらして挽くとそれ相応に反る。さらに適正さを求めるなら、例えば、どの梁がどこに使われるかで木取りが違い、釘を効かすには厚みを板目にすべきだし、正角材なら二度挽きしないと高い精度は得られないから、使用位置や挽き立て・仕上がりの寸法を打ち合わせなければならない。総じて、丸太から芯持ちの柱や平角を取って、残りで板材や補助構造材を取るなど、1 本を上手く使いこなすような木取りで対処出来ると、無駄が少なくなり、経済的でもある。

○使い方の基本：全ての材で 1 本 4 面、節の具合や表情などを見て、適材適所に使い分ける。製材の長さに合わせて使い、曲がりなどクセのある材も、分割して使うようにし無駄にしない。木のクセを読み、長い時間で真っ直ぐになるように、平衡含水率（15 %程度）になったときの木の挙動を考えて、木組みをする。芯墨の通らない材は構造材には避けたい。

○柱材の選択：中心の目が混んでいて、目の通った曲がりの少ない素直な材、長期間置いて乾燥したものを選ぶ。特に、荷重が掛かるところは目の混んだ良い材を使う。総じて芯持ち材が使われ、赤身の多い材が強いので、適材とされる。また、1 軒分の柱材を元末の向きを揃えて並べ、4 面をよく見て、胴差・造作材・壁などの取り付く位置を考え、家全体を見て、節や色に配慮しながら、配置を決める。このとき耐力の差はあまり気にしていない。樹種は地域によって異なり、東日本ではスギ、西日本ではヒノキが主流になっている。

○横架材の選択：上からの荷重に耐えられるように、外側に目の混んだものを選び、材が垂れてこないように、背を上に腹を下にして用いる。継手の位置を考えて木取りする。芯持ちで使うのが主流だが、スギ以外は芯去りでという使い方もある。製材側からは、横架材の理想は太鼓挽きで、太鼓材や丸太材をもっと梁に使って欲しい、と言う。一方職人側からも、背と幅の差があまりに大きいと、目を切ってしまい、鉛直荷重には強いが水平力に弱い、伝統構法を見れば、丸太に近いものが良い、との意見がある。ほとんどの職人は、樹種は地松

が望ましいと考えているが、現状は入手困難で、ベイマツやスギを使っている。職人は梁の垂れに気を遣い、スパンが大きければ太い材や背の強い材を充てるとしているが、設計者側では、適材を適所に使うための数量化の試み、例えば「スギ横架材のスパン表」の作成（秋田・徳島・熊本に事例あり）を望んでいる。他方で、今は直材ばかりが市場に出ているが、曲がった材も梁などに充分使えるので、捨てないで出して欲しいとの声もある。

○板材の選択：節のある材を気にせず使うのが一般的で、木表を人の載る側に、或いは見える側にとの配慮は徹底している。また、幅や長さが揃わない材を、予め配列して見栄えを揃え、床や天井に使う有効利用の工夫が見られる。

○湿気への備え：土台が代表で、防腐性の高い材が意識して選ばれるが、ヒバやクリ、ヒノキやスギの赤身などとりどりである。一般にネコ土台など床下の通気工法が採用されている。

□木材乾燥の方法

○人工乾燥への見解：人工乾燥（人乾）材は、木材が狂わないことを前提に、工業材料のように用いるプレファブ・プレカット・大壁造り・金物補強など、規格化・画一化・簡略化・機械施工化を目指す工法向きである。一般に機能優先で、長寿命に使わることは前提にしていない。人乾には、「中温乾燥」（80 ℃以下）と「高温乾燥」（100 ℃以上）がある。高温乾燥では、外部割れはほとんど見られず、狂い難いが、内部破壊を起こし材質を変えているようで、刻むとパリパリ感があり、鑿や鋸の歯切れが悪く、粘りに欠け、脆い壊れ方、例えばホゾが欠けたりしやすい。中温乾燥では、背割りをしておかないと割れが出やすい。1 週間乾燥しても充分に固まらず、さらに 3 ヶ月以上自然乾燥しないと、変形や狂いが出る。

○自然（天然）乾燥への見解：自然乾燥（天乾）材は、日本の伝統的な木組みを重視し、木のクセに応じて使い分け、職人の手作業を基本にする工法向きである。一般に長寿命に使い続けられることを想定し建設される。使用中に割れ・反り・伸縮などを生じるが、色艶・強度・粘り・調湿性・耐久性・加工性などに優れ、ヤニや水分が適度に残っており、刻みやすく納まりも良い。伐り旬を守って伐採するのが基本で、時間を掛け天乾させるのが望ましい。天乾だけで安定させるには半年以上、理想は乾燥期間 1 年を要すると言われるが、伐採時期を厳しく守れば、水分が少なく、短期間で乾燥し、葉枯らしや人乾は必要ない、との見解もある。丸太では元末を逆に置く、製材後は木の裏を下にすると乾燥が早い、と言われる。

天乾材の良さは、それを発揮出来る熟達した大工技術が伴って、初めて生かされる。天乾主体の場合、施工中や施工後の乾燥による木材収縮については、それらを前提にしている工法（例えば、真壁や渡り腮など）で対処する。また、まだ乾かないうちに材を引き取り、乾燥に連れてどう動くかを見極めるのが望ましい、と言う。逆に、彼等の熟練の技が発揮出来る性能の木材が提供されなければならない。含水率で言えば 25 ～ 40 %位で、20 %以下になると、パサついて刻みや木組みがやり難いと、職人はおしなべて主張する。

○スギ材の乾燥方法：スギ材は、伐採後に山で葉枯らしをすると、色・艶・香りが良くなり、良質な材が得られる（ヒノキ材は葉枯らしは不要とされる）。その後は時間を掛けた天乾が望ましいが、製材所で粗挽きし、要すれば中温乾燥を採り入れ、さらに桟積みなどで天乾させて、最後に修正挽きする方式も使われている。

○乾燥システムへの見解：天乾材を使えるようにするには、ほとんどの木材が製材所で乾燥

されている現況を改め、家づくりの過程で木材乾燥の場を、山・製材所・工務店・建設現場等に分散させねばならない。他方で、使用される木材の寸法が統一されれば、製材所などでストックする可能性が高まる。また例えば、基本設計の段階で早めに、主要な軸組部材の発注をかける。こうした工夫で、軸組部材の乾燥期間を確保したい、と考えられている。

○実際に行われている乾燥方法：時間を掛けた家づくりを基本にするところは、天乾にこだわった材を使うが、乾燥材のストックを持たず建設期間の制約を受けるところでは、人乾と天乾を組み合わせる場合が多い。例えば、伐り旬に伐り、葉枯らし乾燥を取り入れ、２週間ほど中温乾燥した後、半年ほど天乾すると、天乾材と変わらない材質が得られる、と言う。他方で、人乾と天乾の違いは艶が異なる程度で、強度には大差がなく、天乾材の乾燥度はマチマチだが、人乾材は含水率表示までは落ちており安心して使える、という意見もある。

○割れや狂いへの対処：原則は、芯を中心に目を切らない「製材」と、狂いを予測して直す方向に置く「桟積み」と、材の芯まで入れる「背割り」で対処すべきと考えられている。乾燥に連れて反りや曲がりが出たら、材を挽き直して修正する方法も取られている。経験上、長尺材では狂いが少なく、3，4 mの材が狂いやすいとのこと。背割りは芯持ちの柱材には芯まで必ず入れられる。梁材にも入れる、接合部になる部分は入れない、横架材の上端部から下端近くまでドリルで穴を空けて芯の水分を抜く、などの新しい試みも行われている。

□木材性能数値表示の必要性

○基本となる考え方：基本的には表示に頼らず、職人が見分ける能力を身に付けることが大事だ／本来は総合的な性能の一部を、単一の数値で表示出来るとは思わない／数値表示は本当に正しいのか／木のことは木から直接聞く以外にない／職人の勘は数値で表せない／などが職人の見解の根底にある。他方で、性能表示は検査する側や計算するときに必要だろうし、ユーザーも安心するだろうから、やむを得ないしあっても良いが、数値が優先・絶対ではなく、職人の判断で検証するような統合的な性能の捕捉が大事だ、という意見が多い。なお、産地の山の木の特色を把握し、可能ならデータで、明示することの重要さが指摘された。

○含水率の表示：表示される数値自体への疑問が少なくない。例えば、計器の制約から木材表面の一部の性能しか測れていない、数値は測定時のものであって、時間の経過や環境の変化とともに変移するなど。木を刻む職人は、含水率で 25 ～ 40 %程度の材を入手したいと考えているので、目安程度の表示で良い、という意見や、最初から 20 %以下の材を供給するのではなく、40 %で刻みにかかり、30 %で上棟し、20 %で住み始めるように対応する仕組みを考える方が良い、とする意見もある。他方で、多数の職人は、乾燥具合は材を手で触り、持ち上げたときの重さで分かる、自ら刻めばさらに分かると考えているが、スギは材によって重さにバラツキが大きく、感覚による判断が難しい、とする見解もあった。

○ヤング係数の表示：現況は大半が柱材の表示に限られているが、実際の使用を考えると、柱材の強度はあまり問題にならず、梁材の方が必要なのにその表示が少ない、というのが多数意見である。特に、大きなスパンに架け渡す用材には表示が参考になるから、特注材には表示があって良い、産地や齢級により基準の表示があれば目安になる、などを希望している。他方で職人は、木の種類に応じて、年輪の積み方を見て、持ったときの感じや叩いたときの音で木の質を判断し、さらに刻んでみて、強度を確認しているようである。

□規格化の必要性

○**基本となる考え方**：木材のさらなる規格化推進の声は意外に小さい。個々に家づくりのやり方が異なり、それぞれに固有の規格相当を持つからであろうか。その中で、既に規格化と在庫化が進む柱材に準じて、個別発注になる梁材断面とモジュールに関連する材長の規格化、ストックのシステム化を求める声が目立った。そうすれば製材所等で規格材の在庫が可能になり、乾燥期間も取れ、安定した品質の材が常時入手し易くなるという訳である。多岐に亘る部材の種類を整理し統一することが、伝統的な軸組構法を広めるのに重要との指摘があり、一方で、部材の寸法には各地の文化が反映する背景を忘れず、汎用性があるよう標準化は最小限にしよう、山から出る材を適材・適寸で全て使うことで、無駄や無理のない工法に繋げよう、との見解があった。併せて、寸法精度を明示するルールづくりも提起されていた。

○**規格化の試行**：山側（林業）と町側（建設業）のグループが協定して、地域材の規格化にまで踏み込んだ取り組みをしている事例を４．５で紹介する。他にも自らの家づくりで、製材所が対応しやすいように、部材断面を統一する試みがあった。例えば、主要横架材の幅は全て５寸に、梁と桁は全て５寸×８寸に統一し、幅広でより円に近い断面にして、木材本来の強さを有効に取り込みながら、断面欠損を少なくしつつ仕口の工法を工夫し、粘り強い木造架構を構成する事例の紹介があった。また、関西にはもともと梁の標準寸法（3寸5分×5寸から5分刻みで）があり、常備在庫があった。乾燥し過ぎると暴れるので、今は売れるのに合わせて用意するから乾燥状態は良くないが、復活すれば充分使える、との指摘もある。

□伝統構法と現代構法への見解

○**伝統構法とは**：職人の見解を要約すると、「土壁＋貫＋仕口」が主役の「柔構造」で、揺れて「めり込みや滑り」が生じるが、「復元が可能な架構」を形成する構法、と受け止められている。金物に頼らず、木を組むことで成立し／木や壁土の乾燥など必要な時間をしっかり掛けて施工することを要求されるが／解体が容易で再利用が可能／日々の工夫を積み重ねて続けることで、人を育み、関わる者の喜びが源にある／墨をして、刻みをして、建前が上手く行くという、手刻みでやる職人の嬉しさ・喜びがある、と思われている。総じて、伝統構法は基本的に粘り強く、良いものだから続いてきた、いわば完成された体系を持ち、弱点は少なく、大きな欠陥があれば消えていたはず、と主張される。

○**現代（在来）構法とは**：同様に要約すると、「筋かい＋面壁＋金物」が主役の「剛構造」で、揺れて「緩みや抜け」を生じたまま、「復元は難しい架構」を形成する構法、と受け止められている。確かに、早く施工出来るが、時間が経ったときどうなっているか／仕口を痛めることの多い金物で持たすのは適正か／日本の多湿な気候風土では結露や腐れを生じるから、木に金物は合わないのではないか／木組みに頼らず金物を使い、ボードやクロスで仕事の跡を塞ぐことは、仕事への気持の入れ方を失わせる／など多くの疑問が寄せられた。また、現代構法のような方式で耐力を確保するのなら、プレハブやツーバイフォーの方が明快で、在来構法は中途半端。例えば、今の筋かいは量も少なく薄いので先に折れるが、太くすると今度は仕口がやられる、むしろ壁の方が頼りになる、との意見もあった。

□構造と工法の基本

木材の寸法や使い方に強く関わる事項について、結果を要約しておこう。

○架構法：伝統技術を基盤にした木組み架構にこだわる家づくりが多数を占めた。構造計画の基本は「田の字型プラン」や「8 畳間（2 間四方）グリッド」など、いわゆる民家の軸組の系譜に繋がるものが多い。そして、要所に通し柱を立て、間に管柱を入れ、2 階床や小屋組の梁を渡り腮で組む「民家型構法」、管柱のみで梁を全て渡り腮で組む「渡り腮構法」など、新しい木組み架構に取り組む事例が増えている。他方で、地域の伝統的な架構法を継承し、例えば北陸地方で「ワクノウチ（枠の内）」（富山）「サシモン（指物）」（石川）「ヨツグミ（四つ組み）」「ショウゾク（装束）」（福井）などと呼ばれる方式［＊］を主架構に据え、建物全体のコアにして構造体を組む事例もあった。いずれの架構法を採る場合も、軸組構成の要点が貫工法と仕口の組み方に置かれており、貫の寸法の決め方や楔での留め方、仕口の固め方（ホゾと込栓・車知・楔等の役割の重視）に、工夫と改良の試みが多く見られる。

［＊ 4 本の太径通し柱間に指鴨居を回し、その上部に背の高い貫入り土塗り垂れ壁を立ち上げて、ここに囲まれる吹き抜け空間の中央部に、太い梁を渡り腮で交差して組む架構法］

○横架材とその接合部：梁や桁を定尺材を使って継いでゆく工法と、長尺材を使い 1 本もので通す工法とに別れるが、後者は長物が手に入りやすい地域の歴史があるところで実践されている。もともと長い原木をわざわざ短く切る必要はない、継手を造る手間より、長物の購入を優先したい、という訳である。横架材を通すことは構造上も重要で、地震や強風時に柱の浮き上がりを抑制する押さえ込みの効果があり、この材に生じる大きな引張り力にも対抗でき、床面の強度も上がる。

定尺材を継ぐ位置は、柱芯上と持ち出し（柱芯より梁背の 1.5 ～ 4 倍位の出）とに大別され、一般にスパンの短い柱間が選ばれる。その継手は引張り耐力の大きい金輪や追掛け大栓継ぎが主流である。継手は弱点になるから、複数あれば位置を揃えないのが原則だが、揃えた方がその方向に縮みにくいし、定尺で作れて、材料のロスも少なく、施工手間も抑えられるから、弱くなった分でも持つように対処する、という考え方もある。例えば、母屋の継手を揃える代わりに、上に張る野地板は他の箇所で継ぐ。

特にスギ材を使うときは、材が柔らかく強度もやや低いので、接合部の欠損に留意すべきこと、例えば柱の同じ位置で三方・四方差しは避けたいこと、反面ホゾの折れには粘りのあることが指摘されている。構造上主要な横架材が主要な柱に取り付く仕口は、込栓留めだけでなく、ホゾを貫通させ鼻栓で留めるのが、粘りと復元力を確保するために重要と意識されている。現実には、意匠や雨仕舞いとの関連で、柱外面で切られることも少なくないが。

○スギ厚板の活用：地域木材の有効利用を考えて、どの家づくりでも、節のあるスギ厚板が床面・壁面・野地面など随所に使われている。原木丸太の利用率を高め、木材の使用量を増やすとともに、構面の剛性や強度の確保に一役を担い、断熱や蓄熱の効果も期待されている。

○基礎：ほとんどの職人は、軸組を自然石の上に直置きし固定はしない「石場立て」を理想としている。しかし、法令や基準の制約があり、或いは地震に襲われたとき移動を生じても大丈夫か自信を持てないために、鉄筋コンクリートの布基礎やベタ基礎を打設し、石置きとしながらもアンカーボルトで留めたり、内部は在来工法の基礎で外回りだけ石置きに見せるなど、理想と現実の間に落差が見られる。

□現代の技術や工法・新しい試みの採用

○基本とする考え方：今回対象になった大工棟梁は、全て伝統技術を基盤にした木組みの家づくりを志向する人たちばかりだった。しかし、伝統的な技法のみに固執することなく、伝統の枠組みの中で新たな工法を生み出す試みにとどまらず、現代の技術や工法を見極めながら取り込むことにも、例外なく意欲的であった。まさに「伝統は日々新たなり」である。

○新じい伝統技法の創出：伝統技術の範疇の中で、次のような技法創出の工夫が見られた。梁同士の継手は、力のやり取りが均等になるよう、上下左右がほぼ対象な刻みで組み方を工夫し、安全を考え引きボルトでも繋ぐ。接合部にオスとメスがあると、弱くなりがちなので、建て方で組むのが難しいとき以外は、出来る限り両性の継手・仕口を使う。柱脚に、ステンレス製のダボを入れて柱の横ずれを防ぎ、さらに小口割れ止めに、このダボの周囲に円筒形のスプリットリングを打ち込む。その他にも、普通は柱のホゾが短く小さくなるのを重ホゾにして改善した「隅土台の仕口工法」、梁の腮が柱の窪みの小口にも掛かるようにして割り楔で一体化した「桁梁ホゾ差し工法」、棟木を無くした「母屋垂木工法」、貫で分割し長尺ホゾの挿入で一体化した「落とし板壁工法」など［詳細は文献 [9]参照］、枚挙に暇がない。

○機械類の活用：職人は誰もが、「機械で出来ること」と「手でしか出来ないこと」を見極め、仕事の面白みを大切にしながら、木工機械を有効に活用している。例えば、寸法や角度を高精度に加工する／継手・仕口を整理しながら、機械を有効活用して刻む／精度の高い機械を使い、手間を省く／一見難しい加工も、機械の使い方を工夫してこなし、用途を増やす（例えば、斜めの加工は、その目的用の定規を作り、機械を傾けて、機械が固定なら木を傾けて使う）など。進んだグループでは、木を読む修業は徹底しながら、高性能の木工機械を大工道具の発展形と認識して、手道具の修練に代わる機械への習熟を優先し、後継者の育成期間を大幅に短縮しようとする意欲的な取り組みが見られた。

○手刻みとプレカット：伝統技術の大事な基礎は手刻みにあり、大変だが面白く、組み上げるときの喜びがある。プレカットは早く・安くの世界だから、使わない或いは使いたくない。とは言うものの、短い工期と安い経費を求められたら使う場合もあった、という事例が少数ながら見られた。但し、プレカットによる仕口は、擦れて入れ込む木殺しするような手加工の組み方とは異なり、ゆるゆるだから補強金物が必須で、経年変化が心配だとされている。

○金物の使用：木と金物の相性は良くないと、概して見なされているが、浮き上がりの押さえや接合部に「引きボルト」を使う人が少なくない。木組みの変形に追随しうる使い方が出来るから、また仮に接合部が損壊しても、命綱として破断を防ぐ備えになるからである。しかし、固着する金物は変形に追随する込栓や楔とは性格が違い、代わりにならない／金物は取り付けたときが最高で、木の痩せとともに緩んでいく／金物は少しで良い、使い過ぎてはいけない／現代構法の金物は過剰、あれほど多くは必要ない／と受け止められている。

○無垢材と工業化木材：誰もが無垢の木材を使うのを基本にしているが、壁耐力の確保や工期の制約でやむを得ないときは、構造用合板を使う対処が見られた。それでも、仮に耐水合板を使っても、湿気が避けられない部位は耐久性が心許なく、無垢の板材で造る（例えば、野地板で鋼板葺きには合板を使うが、瓦葺きなら避ける）ような配慮はなされている。また、スパンの大きい梁材で安定と維持管理のし易さを求められると、集成材を使う事例もあった。

○真壁と大壁：伝統技術は真壁造りが基本、と考えられているが、雨仕舞いに配慮して外壁を、また工期や経費の制約で内壁の一部を、それぞれ大壁にする場合が間々見られた。そのときも、付け柱や付け梁で真壁風に見せる意匠をする人と、まやかしはしたくないと付けない人に分かれた。ちなみに、大壁に見える外壁の板張りは真壁の覆いである、と捉えている。

□戦後造林木の活用

今使われている国産木材の次の世代、大戦後の造林木が間もなく大量に使われる時代に入る。それらは、日本の林業が勢いを失った時期に生育期が重なっているので、育林に必要な手入れを欠いたまま伐倒期を迎えるものが少ないであろう。このような造林木は従前の国産材とは品質を異にする。地域木材による家づくりは、その種の材にも対応しうる仕組みを考えねばならない。まだ極めて少数ではあるが、戦後造林木を活用すべく、工法による工夫を試み始めたグループがある。

彼等の基本認識は、今までの常識では使えない、新しい材料としての使用方法を創出すべきだ、に集約される。戦後造林木の特徴を「芯目が粗く、周辺の目が混んでいる」と読み取り、芯目が粗ければこの周辺は弱いので、ホゾを太くする、そのために梁幅を大きくしなければ、と発想する。材料としての特徴に配慮し、歩留まりを上げることも期待して、正方形断面のみによる架構構成（例えば、柱は太径で、横架材は重ね梁や合わせ梁・十字組みなどで）を既に試みている。伝統的な肘木を使い、仕口への応力集中を避けるのも有効、また乾燥による割れが激しいので、背割りを徹底して入れることも必要、と考えている。

□家づくりの木材経費の考え方

地域の木材を使う家づくりでは、林家から施主まで、関わりを持つ人たちの連携と協力がとりわけ重要で、経費の負担をどうするかを明らかにしていく努力が必要、と力説されている。先ずは木材の価格を、その構成とともに明示する／併せて、木材の性能（強度や乾燥の程度、寸法の精度など）をルール化して示す／植林と育林の費用を含めた木材価格のルールを創る／価格構成の明快さと山の現状認識の訴えが、施主による負担を納得させる／逆に、山の木を使って喜んでもらえることを山に返せば、山側の努力に繋がる／現況では、主要部材の先行発注が大事で、木材購入費の支出を先に施主に依頼する／などが提案されていた。

4．3　新基準を構想する枠組み

前節までに要約した本調査研究による成果を踏まえて、新たに定める「住宅建設用木材品質基準」の枠組みを本節に、また新基準の中に取り込むべき事項を次節に示そう。なお、新基準の具体化については、次段階の作業と位置づけ、本報告書には盛り込まない。

○新基準の基本理念：

①日本の木造住宅が多彩な木材を使い、多様な構法や工法で造られてきた歴史と伝統を重視して、「木造の多様性」を前提にして策定する。

②既存の設備を活用した地域個別の木材活用の方向、即ち地域内での顔の見える連携システムの再構築という視点に立脚して、地方分権的な基準の策定を志向する。

③現代の技術社会が指向する工業材料としての画一的基準、無垢材の物理的・化学的処理や低質材の排除に繋がる現行の法的基準に対するアンチテーゼ（対案）を提示する。

④物理的な数値による性能表示だけでなく、地域の実情に即した、数値表示だけに頼らない手法や仕組みも模索する。

⑤自然素材という特性から生まれる多様な品質の木材を、建物構造や構法の原理原則に則って、適材を適所に活用し国産材を無駄なく使える方策を提示する。

⑥新基準の考え方を全国へ発信し、可能なところでは、地域で適正に使われる自主基準を構築してその活用を図る取り組みが進むよう働きかける。

○新基準の基本的枠組み：

①「共通基準」と「地域基準」によって構成する。

②「共通基準」は **木材品質の考え方／評価の尺度と方法／地域基準の作り方** を提示し、地域基準の枠組みを作成する。

③「地域基準」は **地域材有効利用のための質的・量的基準**（具体的な性能）を提示し、地方分権的発想で、地域（流域や産地）を基本単位に取り組み、その個性を重視する。

④物理的な数値による性能表示だけでなく、地域の実情に即した、数値表示だけに頼らない手法や仕組みも重視し、木造構法と関連づけて必要な性能を提示する。

○「近くの山の木で家をつくる運動」として新基準をつくる意義：

①「本来の木の家づくり」のネットワークを取り戻す。
顔の見える関係を基盤とする健全な家づくりシステムの再構築を目指す。

②「大戦後の造林木」を有効に使いこなすシステムを創る。
日本の山を甦らせるための林業の活性化に確かに繋がる仕組みづくりを目指す。

○新基準の効用：

構法や工法の性格に応じて、また地域の特性に従って、以下の各対処が実行出来るような基準創りを目指す。

①家づくりに必要な建設のネットワークを構築出来る。

②目的とする木造住宅の適正な木組みの構造と構法や工法が選択出来る。

③木の家づくりのために必要な木材の基本的な特性を見分けられる。

④木の家づくりで木材を適切に使い分けられる。

○新基準の位置付け：

ここで策定する新基準は、伝統構法の家づくりを支えてきた「伝承された智慧と経験に基づく直截的・統括的判断基準」と工業化指向の家づくりが目指す「材料や部位での性能を保証する物理的・個別的数値基準」という対極にある二つの基準の中間に位置するもので、前者を普遍化し、後者で欠落している技術思想を補完して、両者の止揚を目指すものにしたい。

4．4　新基準に盛り込む事項の提示

1)対象とする工法：「伝統的な軸組構法」が主体で、「在来軸組構法」（現代構法）も対象に、両者の中間に位置する構法も視野に入れる。／「真壁工法」が主体で、「大壁工法」も対象に。但し、後者は規格化型や大量生産型は含まない。／「手刻み工法」が主体で、「プレカット工法」も対象に。但し、後者は個別対応型や真壁・アラワシ工法対応型に限定する。

2)対象とする木材：主要な対象は「無垢材」に置くが、低品質木材の有効利用の一環として、「集成材」「積層材」の利用も視野に入れる。
3)対象とする部材：柱・梁・桁・胴差などの「主要構造材」が主体で、間柱・胴縁・垂木・根太・床板・野地板などの「補助構造材」も対象にするが、造作材は含まない。
4)構造と木材との関わり：「主構造（メインフレーム）」と「補助構造（サブシステム）」を認識し区分して、高品質材と低品質材を使い分ける。／以上を関連づけて、採用する「木の構造」に適合した木材の有効利用の方式を提示する。
5)木材の見分け方と選び方：建築材料としての木材の良否を、また構造部位別の適否を、目視や触感など、熟練者の経験則に基づき判断する基準を、客観的に記述して提示する。
6)乾燥の方式：「自然（天然）乾燥」と「人工乾燥」を、また「両者の複合」も対象に入れる。／各方式の原理・現況・プラスとマイナスを明示する。／乾燥の過程と期間の確保、そのシステム化の重要性を主張する。／このとき木材の加工性や色・艶・香りなど強度的な特性以外の性質保持への配慮と、乾燥方式によるその性状の変化にも言及する。
7)含水率の表示：部材や部位、架構法や工法に応じて、必要な乾燥程度を仕分けて提示する。／乾燥程度の測定方式と結果を判断する規範を示す。／乾燥程度を測定せずに判定する方式にも言及する。／物理的な測定値と熟練者による判定程度を併用する規範を創る。
8)強度（ヤング係数）の表示：部材や部位、架構法や工法に応じた強度性能の必要性を仕分けて提示する。／強度性能を測定することの新たな価値形成（適材の適所への有効利用など）を示す。／強度性能を測定しなくてもよい使用法も併せて示す。／強度性能を測定せずに判定する方式にも言及する。／物理的な測定値と熟練者による判定程度を併用する規範を創る。
9)伝統の智慧や技の普遍化・科学化：「目視や触感など熟練者による判断」のなかで可能な指標はその科学化を、普遍的な使い方を、また「番付の判断ルール」の客観化を目指す。
10)その他考慮すべき事項：部材の「種類の整理」「寸法の標準化」「品質の規格化」のルールづくり。／主伐・間伐・樹齢・造林目標・林業地の歴史等に応じた木材の使い分け。／伐採から製材を経て建設に至る過程で乾燥させる仕組みとストックヤード確保のシステムづくり。／既存のJAS規格の検証・改訂・活用・普及も検討の俎上に。

4．5　地域基準作成に向けた先進事例

「基準」は共通に適用されて初めて意味があり、効果も生まれる。個々の独自の取り組みをしているところには、参考にはなっても、有益であったり広まったりする効用はあまり期待出来ない。その意味から、「地域基準」の作成は、家づくりで「共通化」や「規格化」を志向しているところが望ましい。本節では、「地域基準」の作成に向かう「共通化・規格化」を進めている地域の先進的な取り組みを紹介し、重要な参考事例としての評価をしておこう。

紹介するのは、高知県と香川県にまたがる地域連携の新たな家づくりのシステムである。地元の木を使った家づくりを目指す香川県高松市の「NPO 法人木と家の会」と、その水源地になる高知県三木町の森林保全を目指す「れいほく森林と木の会」は、４年前に木材供給の協定を結んだ。嶺北で育ったスギの木の家を香川で造ろうとする仕組みである。伝統技術を基盤にした「標準架構」という考え方を導入して、限られた架構の型から、多様で多数の住宅を造る。原木寸法と標準モジュールを定め、部材の種類を整理し、木材の規格を統一し

て、一定数量を予め早期に発注し、適正な価格で購入する。山側では、品質の確かな木材を供給すると同時に、伐採地の植林と育林に努める。住宅建設では、一種の標準化と規格化「決めごと」を蓄積し繰り返すことで、生産の仕組みを簡素にし洗練させる。こうした一連の試みが積み重ねられて、次の２つのシステム、木材供給体制と住宅生産体制が最近誕生した。

□嶺北木材協同組合による規格木材流通の実践 [10)]

○提案の目的：（1）木を現して活かす住宅の生産に向けて、安定した品質の木材を継続して供給する方式を考え、その体制を整えること。／（2）これまでバラバラに行われてきた各地の取り組みが、互いに共通する部分を共有しつつ、木の家づくりの「産業化」に向けて踏み出すこと。／（3）木の家づくりの「産業化」のために、山とまちが協力して創り上げた国産材の実用的規格化の試行的提案になること。

○「れいほく規格材」の特徴：（1）木材を用途別に規格化している。構造部位別に整理した規格寸法で、適切な選木と製材を行い供給する。／（2）いま山に豊富にある 40 ～ 60 年生のスギを使う。よく管理された山の木で、年間を通じて安定した品質の材を供給する。／（3）どんなモジュールと工法にも使える。木材規格により架構（軸組み）の設計が簡単になり、規格寸法木材の使い方（架構の基本形、1，2，3，4 間フレームに対して）も説明している。／（4）価格と注文方法を明らかにしている。設計段階から木材価格が分かり、注文方法が分かりやすく、木材情報が全ての過程で共有出来る。

○規格寸法の概要：（1）構造部位を構造材と板材・造作材に大別し、前者は土台・大引・管柱・通し柱・横架材に、後者は板材・造作材・階段材に分類する。／（2）定尺長さは 2 ～ 6 mまで 1 m刻みで、管柱は 3 mのみ、土台・大引は 3，4 m、通し柱・横架材は 4，5，6 m、板材は 2，4 m、造作材と階段材はそれぞれ 2 mと 4 mを設定する。／（3）横架材断面の幅は 2 種類で、数種類の背を、またそれ以外の構造材は正角で、2，3 種類の断面を設定、板材の幅は 2 種類で、背は 3 種類を、造作材と階段材の断面は 1 種類として設定する。／（4）構造材の等級は「特一等」程度、現しで使用可能な化粧材を選ぶ。／（5）土台は全て赤身材を使用、管柱には高齢材仕様が、板材には赤身材の設定がある。／（6）こうして、どの工法やモジュールにも、基本的には対応出来るようにして、共通規格以外は特注とする。

○品質の確保：原木；蓄積量の豊富な 40 年から 60 年生の「吉野系と魚梁瀬系の嶺北スギ」の一般材を使う。／**選木**；梁や桁など横架材には、元玉より曲げに強い 2 番玉を選ぶなど、材の寸法や用途を考えながら、適切な選木を行う。／**製材**；横架材の下面に出来るだけ辺材を残すなど、原木の持つ性能を最大限活かす製材を行う。／**強度**；必要に応じて、組合が備えるグレーディングマシンによる原木強度選別システムを使い、固有振動数の測定に基づく「ヤング係数測定値による強度」を表示する。／**乾燥**；スギの色艶や香りをあまり損なわない中温（80 ℃まで）による人工乾燥を基本とする。乾燥時間は概ね 10 日間、人工乾燥後 1 ヶ月以上の慣らし乾燥をした後に出荷する。構造材の標準的な含水率は 25 ％程度とする。

○価格の表示と積算方法：（1）製品の単価；1 本又は 1 枚当たりで、木材の生産過程に沿う下記の内容で、全て積み上げで計算し設定する。取引は住宅 1 棟分を最低単位とする。

製品単価＝［材料費（原木費＋原木市場取扱手数料）＋運搬費（原木市場から製材工場へ）＋製材費］×選別割増率（赤身など選別による経費）＋乾燥費＋加工費

＋諸経費（生産管理・労務管理費）＋消費税＋手数料（販売・営業の事務経費）

(2) オプションの単価；例えば、ヤング係数の測定と表示、板材の相決りや本実加工で単価が決められている。天然乾燥材の提供も可能だが、オプション価格になる。

○規格材の供給システム： (1) 木材の伐採と搬出は、嶺北地域の森林を所有し管轄する素材生産会社・森林組合・自伐林家が担う。／ (2) 原木は、嶺北木材協同組合が経営する原木市場へ搬入され、協定している地域の製材工場が購入して製材しストックする。／ (3) 販売窓口は、嶺北木材協同組合で統括し、注文に応じて地域内の製材工場に発注する。／ (4) このとき組合は納材する製材工場 1 社を選定、ここが各社のストックから必要なものを選び、責任を持って納材する。／ (5) この過程で、組合が原木市場からの「出荷証明」、製材工場が「出荷・製品証明」、最後に嶺北地域林業活性化センターが「産地証明」を付ける。

□提案型住宅プロジェクト「サンゲンカク」の実践 [11)]

○提案型住宅の新しさ： (1) 住宅を選んで「買う」や頼んで「造ってもらう」を脱して、住まいづくりの過程に「住み手がもっと積極的に関われる方法」を提案する。／ (2) 住宅を「骨組み」と「部品」という二つの違った性格を持つ要素に分ける。「骨組み」とは「住宅の中心となる構造体」のことで、そこには居室の全てが含まれる。「部品」とは「生活に不可欠な設備が入った小規模な空間ユニット」で、代表は浴室・便所・キッチンなど。居室形の部品も用意し、「装置的なユニット」も部品と考える。／ (3) 提案型住宅は、中心となる「骨組み」に、予め用意された様々な「部品」を、個々の敷地条件や要求事項に従い、組み合わせて造られる。／ (4) 住み手は自分で「骨組み」や「部品」を選び、設計者と相談しながら、その組み合わせを考え、住まいづくりに積極的に参画出来る。／ (5) この方法で造られる住宅は、敷地環境や住み手の考えに応じた多様なあり方が可能で、さらに「部品」のメンテナンスや交換によって、世代を超えて住み継ぐことが出来る。

○「サンゲンカク」の特徴：「小さな木の家からはじまる暮らしの提案・サンゲンカク」は、家族構成や暮らしの状況に応じた成長可能な住まい方の提案である。中心となる「骨組み」が 3 間× 3 間（18 帖）となることから、その名称が付けられた。その特徴は、

(1) 子育て中の若い家族が用意出来る平均的な資金で建てられる家づくりである。1500 万円程度の建築費で、4 人家族が気持ちよく暮らせる、地域の気候風土に合った小さな木の家を提案出来る。／ (2) 「変わるもの」と「変わらないもの」を明確に分けた家づくりである。しっかり組んで造られた 3 間角の「骨組み」は変わらず、周りに付けられた「部品」は変えられる。家族構成が変わったり、痛みやすい水回りを修理する時期に、そのときの暮らしに住まいを合わせていく。増築やリフォームが予め配慮されているので、長く住み続けることが出来る。／ (3) 同じシステム、即ち「規格化された木材」、「骨組み」と「部品」の組み合わせにより、多数の多様な住宅を造る展開可能性を持った家づくりである。基本の「骨組み」が小規模な方形なので、敷地の大きさや方角を問わず、ほとんどの敷地に対応出来る。／ (4) 「部品」が空間ユニットであるため、住み手が設計に参画しやすいシステムの家づくりである。ときには、住み手が新しい「部品」を考案するのも可能だ。こうして、住み手が自らの暮らしを考え、工夫し、実践することが、本来の「住まいを創る」営みになる。

4．6　これからの課題

各地を回って聞き取り、建設の現場で確認をした、地域の木材を使う家づくりの実態調査から、新基準の策定に役立つ相当量の基礎資料が得られた。当初は集積した資料を基に、新基準の具体化にも取り組む計画であったが、膨大な記録の整理に時間を要したので、本報告書では構想の枠組みと考慮する事項の提示までにとどめ、具体化は次段階の作業とした。

職人の智慧や技を、その基にある個人的な規範を、また彼等の意識や考え方を客観的に集積し分析した研究は、従来皆無に近い。本調査研究で得られた貴重な成果を活かして、彼等の家づくりに、そして地域産木材を活かした住宅建設に役立つ規範の作成に努めていきたい。

■ 謝辞

本報告書がまとまるまでに、大勢の方々の協力を得た。報告の主体になった地方を回る現場聞き取り調査では、地域木材を使う各地の家づくりグループで多彩な人たちのお世話になった。とりわけ主な聞き取り対象になって下さった大工棟梁には、長時間に亘り智慧や技を語ってもらい、現場を隈無く見せていただいた。ワーキンググループのメンバーは各地に赴き、地道な調査を粘り強く担当して下さった。策定委員会の委員各位には、基準策定の構想や聞き取り調査の手法に関して、豊かな経験と蓄積に基づく有益な意見をいただいた。聞き取りの記録を起こすのに、数人の協力者が時間の掛かる地味な作業を引き受けて下さり、文章化が行われた。当 NPO の理事長と事務局員は、事務上の処理や関係者との交渉を一手に引き受け、処理していただいた。ここに記して、関係各位に深く感謝の意を表します。

■ 引用文献

1)『NPO 法人緑の列島ネットワーク』のホームページ：http://www.green-arch.or.jp/ .

2)鈴木有：近くの山の木で家をつくる運動、新しい木材品質基準を。、住む。、第 3 号、農文協、2002.11、p.168.

3)鈴木有：伝統的構法、木材科学講座 9 木質構造、海青社、2001.9、pp.111-126.

4)編集座+鈴木有：聞き書き 棟梁の家づくり No.1 ／未来の伝統構法の原点に。住む。、第 4 号、農文協、2003.2、pp.153 － 157.

5)編集座+鈴木有：聞き書き 棟梁の家づくり No.2 ／貫工法を現代の民家に。住む。、第 5 号、農文協、2003.5、pp.154 － 159.

6)編集座+鈴木有：聞き書き 棟梁の家づくり No.3 ／雪に備える北陸の伝統構法。住む。、第 6 号、農文協、2003.8、pp.153 － 159.

7)編集座+鈴木有：聞き書き 棟梁の家づくり No.4 ／京町家再生に取り組む。住む。、第 7 号、農文協、2003.11、pp.153 － 159.

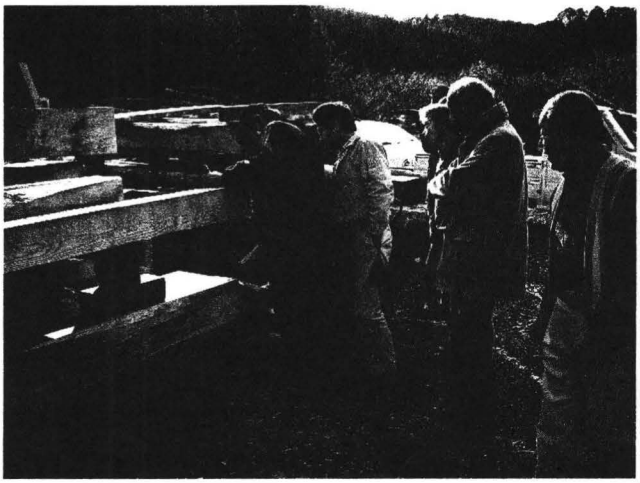
8)『職人がつくる木の家ネット』のホームページ：http://kino-ie.net/index.php.

9)木材品質基準策定委員会：大工棟梁と家づくりネットワークへの聞き取り調査詳細報告書、NPO 法人緑の列島ネットワーク、編集印刷中.

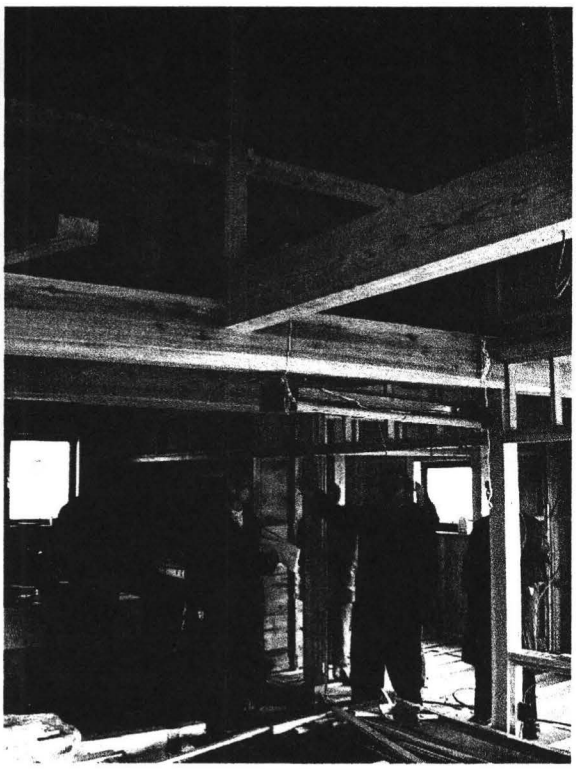
10)鈴木有：規格木材流通の試みと地域の家づくり・森づくり、現代林業、(社)全国林業改良普及協会、2006 年 8 月号、pp.16-19.

11)建築思潮研究所：住宅建築、建築資料研究社、2005 年 12 月号、pp.26-71.

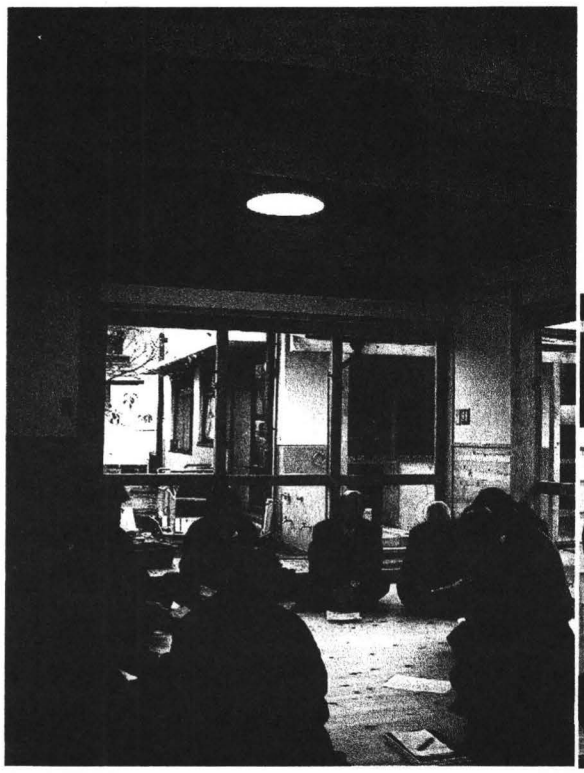
地方訪問聞き取り調査の状況写真



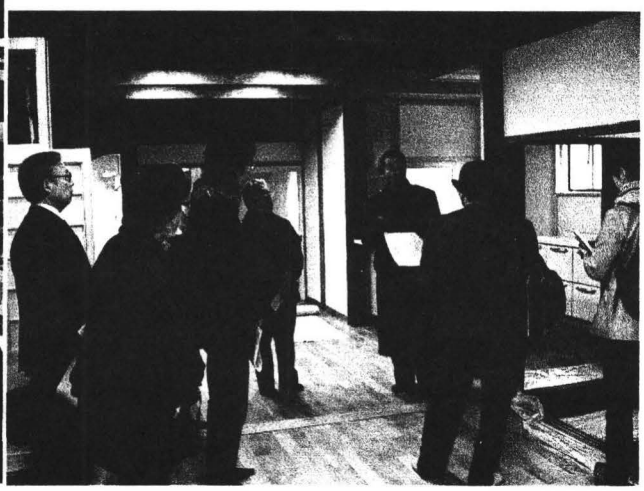
↑ 製材所で（岩手県大船渡市）



↑ 建設中の住宅で（岩手県陸前高田市）



↑ 竣工した建物で（京都府京都市）



↑ 建設中の住宅で（京都府京都市）

03-10 木造戸建住宅用第２種機械換気システムの開発に関わる研究

千葉工業大学 教授 小峯 裕己

1 本研究の目的

平成 15 年 7 月 1 日に施行された建築基準法の改正に伴って、全般換気設備が殆ど全ての新築住宅に設置されるようになったが、イニシャルコストの観点から壁掛け式熱交換換気扇や第 3 種機械換気設備が大半を占めると予想される。しかし、首都圏に建つ住宅の暖房負荷を考えると、温風暖房機能を併設する第 2 種換気設備も検討に値すると考えられる。さらに、第 3 種機械換気設備の場合、気密性能が 1cm²/m² より高くなければ、外壁に設置された給気口から導入される外気量は目に見えない隙間から導入される外気量の 1/4 程度にすぎない。このことは、外壁断面内の建材等から放出される化学物質を室内へ流入させることに繋がる恐れが高い。

改正された建築基準法では、第 2 種機械換気設備を設置する場合、住宅の気密性能に応じて室内を正圧としないための措置として、2～3 cm²/m² の割合で排気のための開口部の設置を義務付けているが、気密性能の悪化を招くという一害があるだけである。

本研究は、上述のような背景を鑑みて、戸建て木造住宅に適したベース暖房が可能なダクト式第 2 種機械換気設備を開発することを目的とする。建築基準法で定める排気のための開口部設置の替わりに、トイレ、浴室などの水廻り部分の局所換気設備を運転し、室内圧を制御して充填断熱工法の場合でも内部結露の発生の恐れが第 3 種機械換気設備の場合と同程度であること、発生量が同一条件の場合、居室内化学物質濃度は第 3 種機械換気設備の場合より低値であること等を実大実験に基づいて検証する。

具体的には以下の項目に関する研究を実施する。

① 戸建木造住宅に適したベース暖房が可能なダクト式第 2 種機械換気設備の概念設計
② ダクト式第 2 種機械換気設備の各種性能に関する実証実験
③ 機械換気設備の方式による室内化学物質空気汚染状況の差異の検討

2 木造と戸建住宅第２種換気システムに関する調査

2.1 文献調査

２編の調査研究報告書を検出した。１篇は宇都宮の高断熱高気密住宅における実棟試験に関するもの、他は北海道における既に商品として実棟に採用されているもので、その開発に関する報告書である。

（1） 住宅における第２種ハイブリッド換気システムの性能に関する研究[1)]

尹星勲等　日本建築学会東北支部研究報告会　平成15年6月　P225～228

宇都宮実験棟において試験したシステムについて報告されたものである。

対象住宅は2002年8月宇都宮市内に建設された壁体内通気層を有する木造戸建3F新築住宅で、延べ床面積166㎡、建物容積は403m³、相当隙間面積は0.70cm²/㎡である。換気システムは基礎断熱された床下空間を空気溜りとし、床下空間に外気を地中配管（地下２m、150φ）を通して集中給気し（ファン２基で800m³/h）、その新鮮空気を空気圧と冬季は床下暖房の温度差換気を利用して各部屋に給気する第２種換気方式である。暖房は基礎ベースに埋めこんだ夜間電力利用ヒーターによる。換気量、温度、湿度、給排気口風量、室内外差圧、気密性能を測定しており、以下の結果が得られている。

・換気回数１回/hの押込み風量だが全体として目的とした0.5回/hの換気量は得られなかった。0.7cm2/㎡の気密性能では50%以上が漏気することが分かった。

・各部屋の換気量バランスも悪く所定の換気量を得るには、空気溜りから機械的に各部屋に配分する必要があることが分かった。

別添資料１参照

（2） 天井懐空間を利用した加圧型機械換気システムに関する研究[2)]

福島明　日本建築学会北海道支部研究報告

北海道における実棟採用システムについて報告している。

換気システムの概要は、１F天井懐に集中給気し、1F間仕切壁及び2F床面の開口から各室に給気する方法である。システムは、1F天井懐に、メンテナンスを考慮し外壁に近いスペースに、噴出し出口に余熱用放熱機を設置したファンを短いダクトを介して設置したシンプルなシステムである。

実測結果は、各室への給気は比較的良好な換気量が得られたが、トレーサーガスによる測定の結果、2Fは床面開口からほぼ計画通り給気されたが、１Fの相当量が隙間からの直接外気から供給されているとしている。また、シュミレーションにより、排気口のサイズと位置により、第１種換気と同等の圧力バランスを得ることができ、内部結露のリスクは同程度であることを報告している。

別添資料２参照

2.2 実用化調査

(1) 北海道における調査

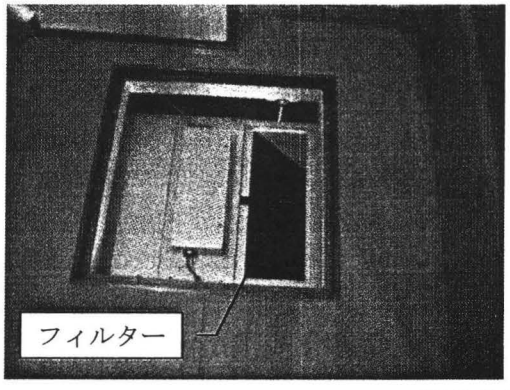
北海道立北方建築総合研究所が開発した「加圧型機械換気システム」の実棟を見学し説明を受けた。これは、札幌市の住宅ディベロッパーで既に千棟以上実棟で採用されているシステムで、1階の天井懐に1台の換気扇で外気を給気し空気溜とし、各室に給気、排気はトイレ、浴室・洗面所の排気換気扇と2F階段踊り場上部に設けた1つの排気口からなるシステムである。

2階の換気は機能していたが、1階は床廻りの隙間からの自然換気で補っていた。

建築基準法上、水廻り部分の局所換気システムを含めた第1種機械換気設備として申請を行っており、第2種機械換気設備に関する検討を学術的に実施しているとは言い難い。

別添資料3、4参照

図 2.2.1 システム概要図



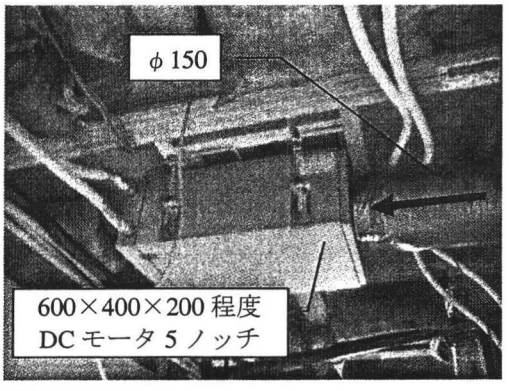


図 2.2.2 各部の状況

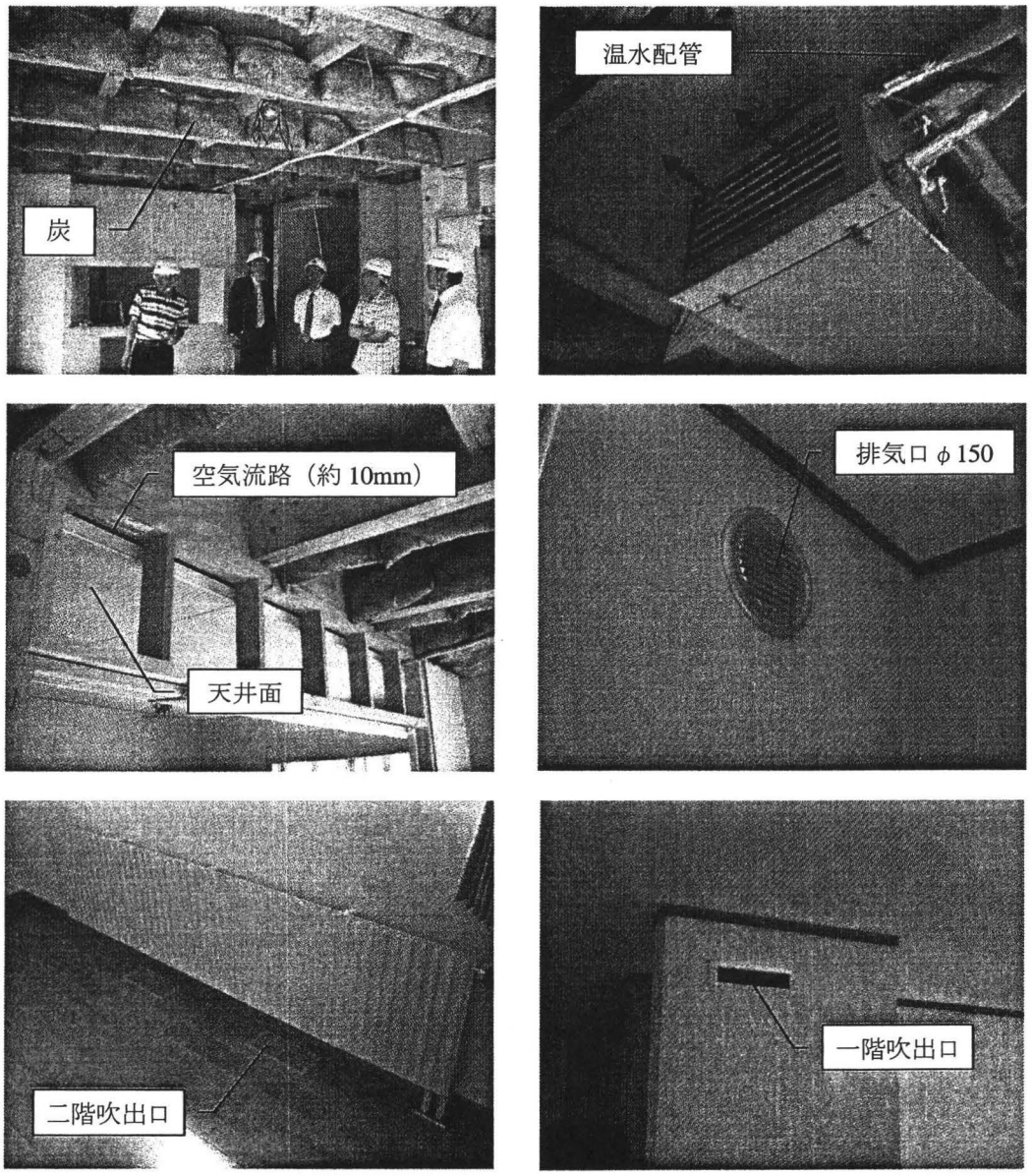


図 2.2.2　各部の状況（つづき）

（2）　大手鉄骨造住宅における状況

大手鉄骨系プレハブメーカーが、「建築物のシックハウス対策マニュアル」記載の第 2 種機械換気設備の標準仕様に則ったシステムを実用化済みである。内壁部分に設けられた給気ファンユニットにより、床下を介した外気を 1 階空間（居間や廊下）へ導入し、排気経路としては 2 階居室の外壁部などに所定の開口面積基準（排気用開口の相当開口面積 $5cm^2/m^2$ 以上）を満足する排気口が設けられている。

一般的に第2種換気は、住宅内が正圧となることにより、室内で発生した水蒸気が外壁の壁体内部に浸入するといわれており、冬期においては外壁部分に侵入した水蒸気が外気により冷やされることで壁体内結露の危険性が増大すると懸念されている。

しかし、本システムでは、これらの開口性能の検討に関しては特に技術的検討を行っておらず、室内の正圧レベルが過大とならないように所定の開口性能を有した排気口を2階の居室部分に設け、外壁への水蒸気侵入を防止すると共に、排気口から水蒸気の排出をおこなうといった開口面積基準の仕様の考え方に則った排気口を設けることにより住宅型式を（財）日本建築センターから取得している。

なお、型式審査の過程では、外気が適切に床下へ導入出来ること、床下へ導入した外気が清浄な状態の儘で居室へ供給されることを技術的に証明している。

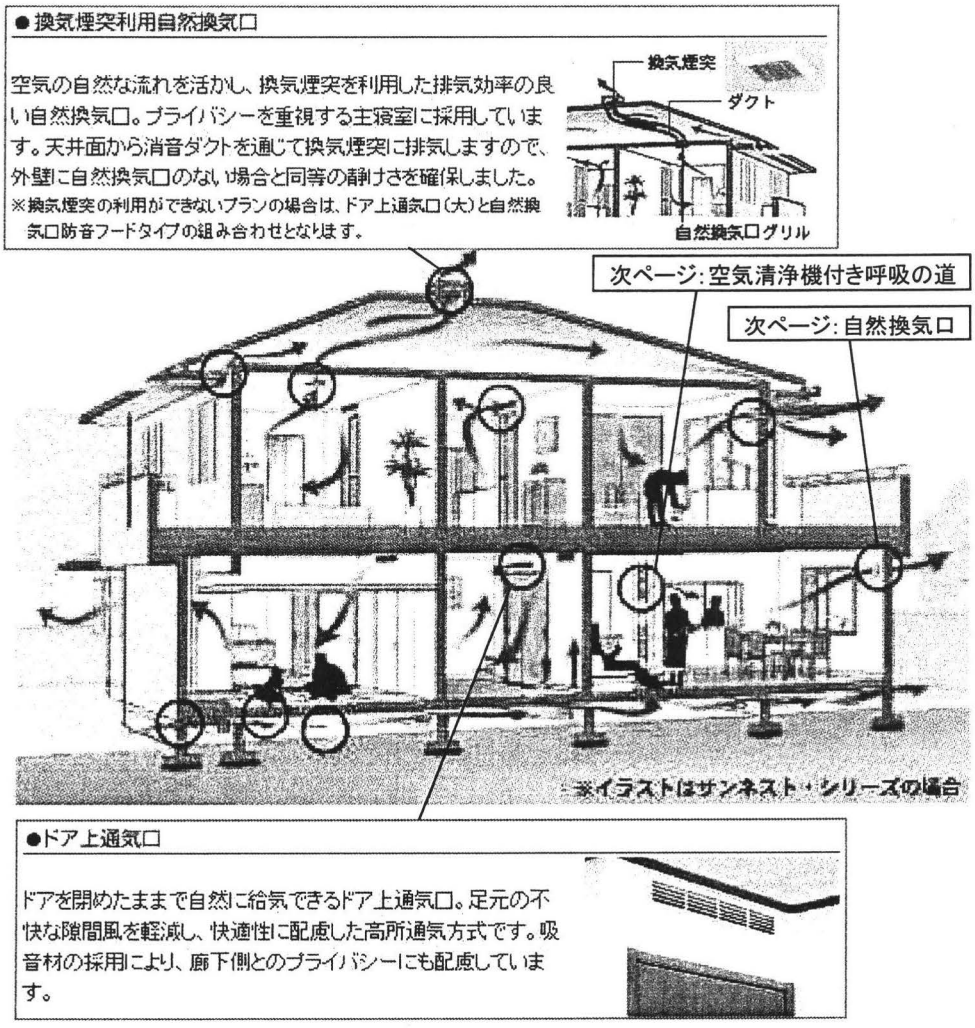
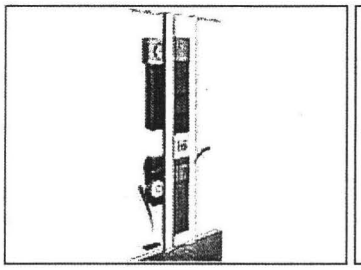


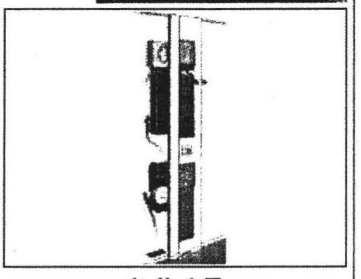
図 2.2.3 Panahome「エコライフ換気システム」

● 空気清浄機付 呼吸の道タワー

冬は自然に、春夏秋は換気ファンで床下空気を給気し、住宅全体の換気確保の中心的役割を果たします。また、高性能脱臭フィルター付の空気清浄機を通して空気循環を促進する事で、リビングの空気浄化を補助します。フィルターは業界トップクラスの約2000mlの活性炭を使用した脱臭フィルターとホコリを除去する除塵フィルターの2層構造。脱臭性能、除塵性能ともに空間濃度を1/2とするのに約20～25分と、バランス良く効果を発揮するオリジナルフィルターです。また化学物質の吸着も可能です。



夏期



春・秋・冬期

外気温より涼しいベース空間の空気を積極的に取り入れるので、室内はさわやか(涼換気機能)。

冬期は呼吸の道タワーを通る間に自然にあたたまった空気を高い位置から送り込むため、冷気を感じず、体にやさしいマイルドな空調を実現。

室内空気を取り込み、フィルターを通して、循環させることで空気を清浄化します。

■空気清浄化のしくみとフィルター

においの発生源	評価
ホルムアルデヒド、たばこ臭	非常に効果的
ペット臭、体臭、台所臭	効果的

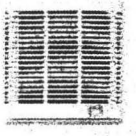
○単一ガスによる1パス除去性能　60%以上

○空間濃度50%　24分(21.5畳を強運転160mm³/hで算出)

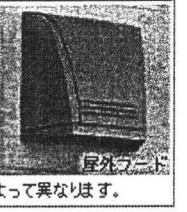
■脱臭フィルターの性能評価

● 自然換気口

冬は自然換気口として、春夏秋は機械換気の排気口として、室内の汚れた空気を排出します。新鮮な空気はドア上通気口を通して入り、窓を開めたままでも換気が自然に促されます。窓横またはサッシ上に設置します。



室内側



屋外フード

※デザインは設置場所によって異なります。

図 2.2.3　Panahome「エコライフ換気システム」(つづき)

3 戸建木造住宅に適したベース暖冷房が可能なダクト式第2種機械換気システムの開発

3.1 暖冷房負荷、実現室温等のシミュレーションに基づくベース空調の可能性

（1） 換気モデル

1） 住宅全体の必要換気量

住宅全体を換気対象空間とし、必要換気量を算出した。高さは、簡単のため各階ともに2.8mとした。

表3.1.1 住宅全体を換気対象空間とした場合の必要換気量

階	延床面積	階高	容積	換気回数	必要換気量	設計図書の風量
	m^2	m	m^3	回/h	m^3/h	
1階	75.36	2.8	211.008	0.5	106	75
2階	63.84	2.8	178.752	0.5	90	115
	139.20		389.760	0.5	196	190

2） 各居室の必要換気量と設定換気量

住宅全体を換気対象空間するシステムなので、必要換気量（外気量）を、居室の部屋面積比で各居室に割り振った。

表3.1.2 1階の換気風量

室名	南北方向	東西方向	面積
	m	m	m^2
居間	4.55	3.64	16.562
食堂	2.73	2.73	7.453
台所	2.73	2.73	7.453
合計			31.468

1F	南北方向	東西方向	面積	室容積	必要換気量	面積比	配分風量
	m	m	m^2	m^3	m^3/h	%	m^3/h
LDK			31.468	88.110	44.055	66%	70
寝室	4.55	3.49	15.880	44.463	22.231	34%	36
			47.347	132.572	66.286	100%	106

表3.1.3 2階の換気風量

2F	南北方向	東西方向	面積	室容積	必要換気量	面積比	配分風量
	m	m	m^2	m^3	m^3/h	%	m^3/h
洋室(1)	4.55	2.73	12.422	34.780	17.390	33%	29
和室(1)	3.64	3.64	13.250	37.099	18.549	35%	32
洋室(2)	4.55	2.73	12.422	34.780	17.390	33%	29
			38.093	106.659	53.330	100%	90

3） ユーティリティ部分の換気風量の設定

当該負荷計算では、浴室と洗面室を一体的に換気することとし、洗面所から浴室への換気量を 76m³/h、トイレの換気量を 30m³/h とした。

参考までに、ユーティリティ部分の必要換気量の基準を表 3.1.4～表 3.1.5 に示す。

表 3.1.4　ユーティリティ部分の必要換気量の基準

	単位	浴室	洗面室	トイレ	廊下等
HASS102 付室・施設室の 設計換気量の概略値	回	3～7	5	5～15	
		浴室・シャワー室	更衣室	便所・洗面所	
	m³/h	24.75～57.75	41.25	20.625～61.875	
想定最大在室人数	人	2	1	1	1
建築基準法施工令 第 20 条の 2	m³/h・人	20	20	20	20
	m³/h	40	20	20	20
住宅の次世代省エネルギー基準の策定検討調査報告書(IBEC:1996)	m³/h	入浴時:20～50 入浴直後:90～100	常時:20～40 乾燥機・洗髪:60～90	20～50	

表 3.1.5　HASS102　住宅浴室の必要換気量の試案

季節	冬		夏	
使用状態	目的	換気量	目的	換気量
入浴中	寒さを防ぐ 外への水蒸気流出の防止	0～20m³/h (6 回/h)	蒸し暑さを解消	100～140m³/h (30～42 回/h)
入浴後	露水の蒸発 水蒸気の排除	100m³/h (30 回/h)	露水の蒸発 水蒸気の排除	100m³/h (30 回/h)

4)　空調能力の設定

外気顕熱負荷は、導入外気量及び外気と室内環境の温度差に比例する。一方、エアコンコイルの処理可能顕熱負荷も、導入外気量や温度差に比例するので、これらが変化しても、必ず処理できる。

しかし、残りの貫流熱負荷等（顕熱）を処理する場合の、エアコンコイルの処理可能負荷は、換気量と、吹出空気と室内環境の温度差に比例するが、貫流熱負荷等は、これらとは無関係なので、必ず処理できるとは限らない。処理可能量を上回る場合は、換気量を増やすか、温度差を増大させる必要がある。（一般に、エアコンコイルのコイル温度差を拡大（冷房時に下げ、暖房時に上げる）することは難しいため、換気量を増やすことが現実的な方策となる。）、

そこで、各室の換気風量として、以下に示す４つのケースを想定した（図 3.1.1～3.1.4 参照）。

case1 は居室に供給する風量が外気導入量に等しい場合、case2 は、ホールより外気導入量と等しいレタンを取り、居室に供給する風量を外気導入量の 2 倍とした場合、case3 は同様に 3 倍とした場合、case4 は 4 倍とした場合である。

これら 4 つのケースについて、それぞれの「外気負荷を除く処理可能熱負荷（=室内空調能力）」を算出した。表 3.1.6～3.1.7 に空調条件を、表 3.1.8～3.1.11 に算出した処理可能熱

負荷（外気負荷を除く）を示す。

潜熱負荷については、エアコンでは成り行きでしか処理できないが、冷房負荷計算では、目標湿度を設定することで考慮している。

表 3.1.6　冷房条件（室内環境と空調機吹出空気）

項目	単位	室内環境	吹出空気	差
温度	℃	26.0	14.5	11.5
絶対温度	K	299.15	287.65	11.50
相対湿度	%	60	95	
絶対湿度	kg/kg[DA]	0.0126	0.0098	
エンタルピ	kJ/kg[DA]	58.365	39.311	19.054
比容積	m^3/kg[DA]	0.865	0.828	

表 3.1.7　暖房条件（室内環境と空調機吹出空気）

項目	単位	室内環境	吹出空気	差
温度	℃	20.0	40.0	
絶対温度	K	293.15	313.15	
相対湿度	%	9.7	3.1	
絶対湿度	kg/kg[DA]	0.0014	0.0014	東京設計条件
エンタルピ	kJ/kg[DA]	23.673	43.844	20.17
比容積	m^3/kg[DA]	0.832	0.889	

表 3.1.8　外気負荷を除く処理可能熱負荷（供給風量=外気量の場合）

外気負荷を除く処理可能負荷		1階		2階			合計
		LDK	寝室	洋室(2)	和室(1)	洋室(1)	
風量	m^3/h	70	36	29	32	29	196
冷房時	W	429	220	178	196	178	1,200
暖房時	W	471	242	195	215	195	1,396

表 3.1.9　外気負荷を除く処理可能熱負荷（供給風量=外気量×2 の場合）

外気負荷を除く処理可能負荷		1階		2階			合計
		LDK	寝室	洋室(2)	和室(1)	洋室(1)	
風量	m^3/h	140	72	58	64	58	392
冷房時	W	857	441	355	392	355	2,400
暖房時	W	943	485	390	431	390	2,792

表 3.1.10　外気負荷を除く処理可能熱負荷（供給風量=外気量×3 の場合）

外気負荷を除く処理可能負荷		1階		2階			合計
		LDK	寝室	洋室(2)	和室(1)	洋室(1)	
風量	m^3/h	210	108	87	96	87	588
冷房時	W	1,286	661	533	588	533	3,600
暖房時	W	1,414	727	586	646	586	4,188

表 3.1.11　外気負荷を除く処理可能熱負荷（供給風量=外気量×4 の場合）

外気負荷を除く処理可能負荷		1階		2階			合計
		LDK	寝室	洋室(2)	和室(1)	洋室(1)	
風量	m^3/h	280	144	116	128	116	784
冷房時	W	1,714	882	710	784	710	4,800
暖房時	W	1,885	970	781	862	781	5,584

5）換気経路と風量

ベース空調された新鮮外気を居室に供給し、ホールを経由してユーティリティより排気する経路を想定した。先に設定した 4 つのケースの、換気経路上の風量を、図 3.1.1～3.1.4 に示す。

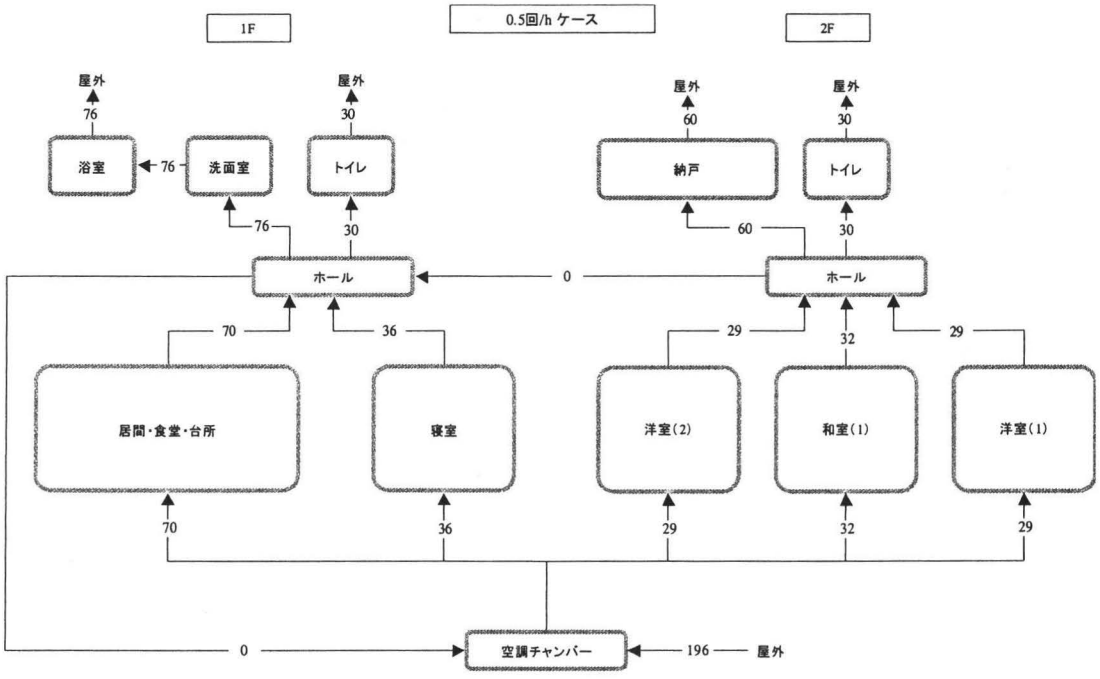


図 3.1.1　case1　換気経路と風量（供給風量=外気量）（数値は風量[m^3/h]）

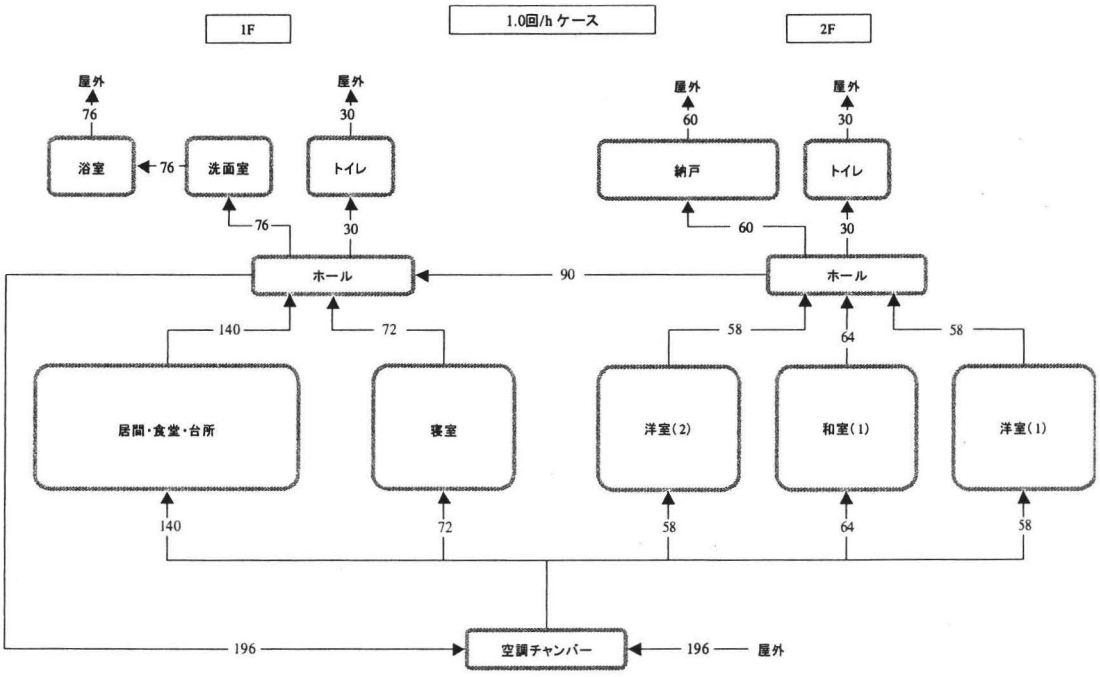


図 3.1.2　case2　換気経路と風量（供給風量=外気量×2）（数値は風量[m³/h]）

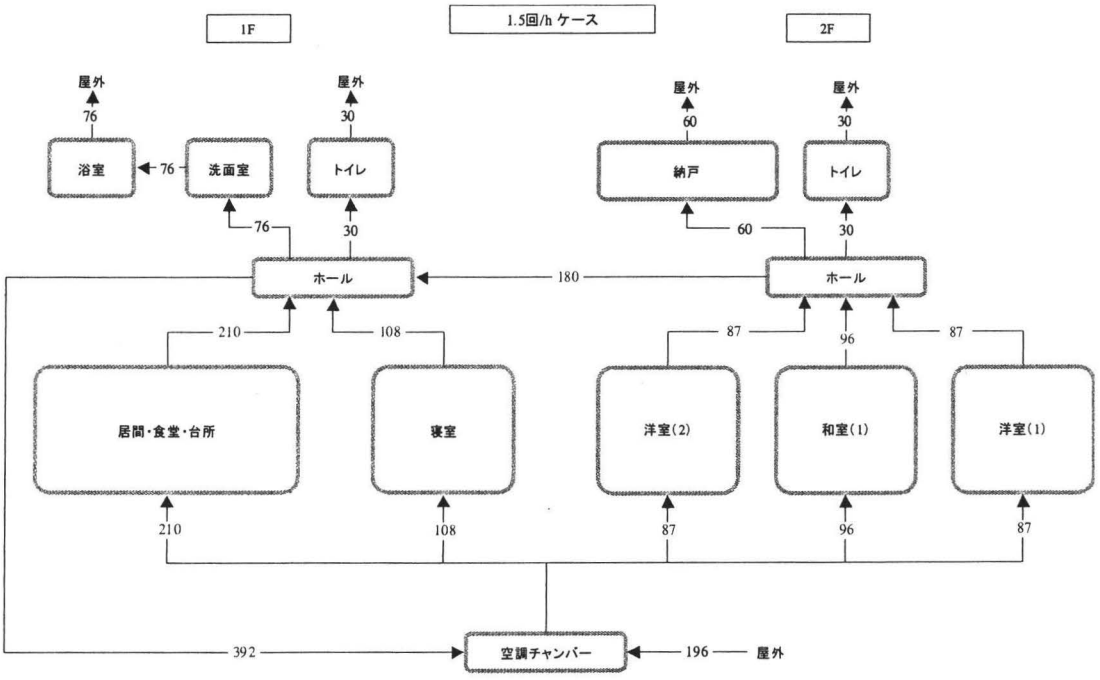


図 3.1.3　case3　換気経路と風量（供給風量=外気量×3）（数値は風量[m³/h]）

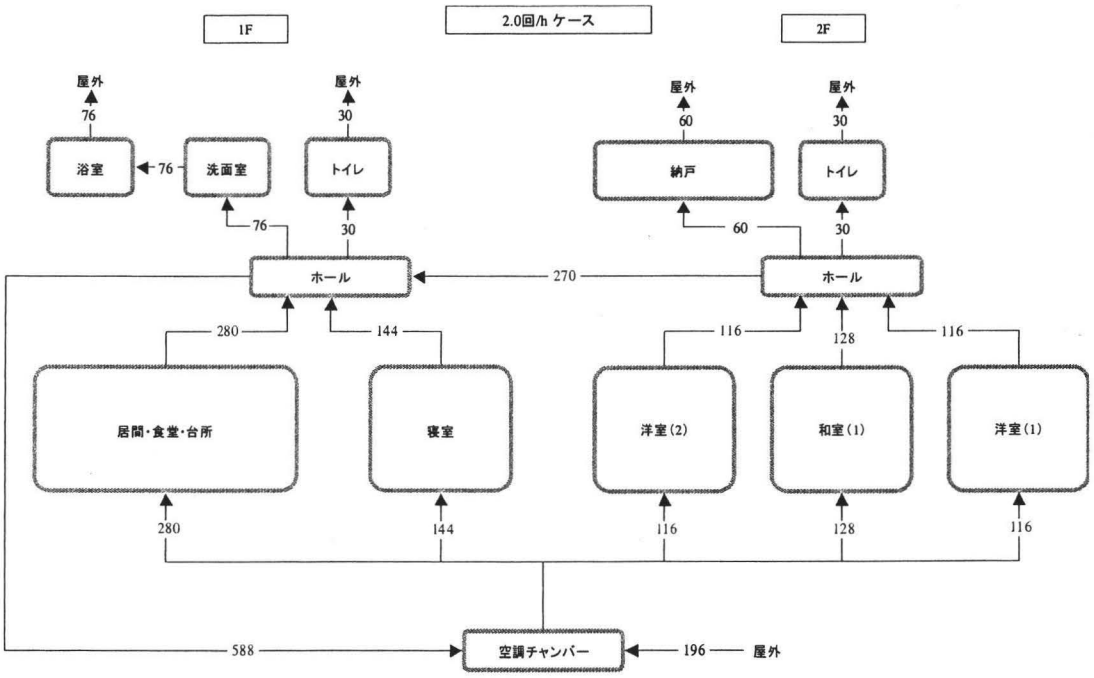


図 3.1.4　case4　換気経路と風量（供給風量=外気量×4）（数値は風量[m³/h]）

（2）　シミュレーションの方法

1）　負荷計算の方法

イ　計算プログラム

負荷計算プログラムは SMASH を用いた。

ロ　暖冷房期間

省エネルギー法の暖冷房期間は、日平均外気温が 15℃以下の日を暖房期間、それ以外を冷房期間と定めているが、これは、シェルター性能を評価する上での決め事であり、実際に暖冷房される期間という意味ではない。今回は、省エネルギー基準の適合判定を除いて、暖冷房期間を、それぞれ、冷房：7/1～9/30、暖房：11/1～3/31 と設定し、負荷計算を行った。

2）　温熱シミュレーションの方法

イ　計算プログラム

負荷計算と同様、温熱シミュレーションにも SMASH を用いた。

ロ　ベース空調の模擬方法

SMASH では、空調空気を機械換気で供給するモードは用意されていない。そこで、空調機チャンバーを模した仮想室を設け、そこから各居室に給気することとした。仮想室を冷暖房することにより、各居室に供給する外気は、負荷処理済み（室内設定条件）となる。

室温シミュレーションでは、この状態に対して、各居室を表 3.1.8～3.1.11 の能力を持つエ

アコンディショナーで冷・暖房することで、提案システムの温熱環境を模擬することとする。

（3） 負荷計算結果

1） 住宅全体の暖冷房負荷水準

負荷計算結果を表 3.1.12 に示す。暖冷房期間は省エネルギー法の基準を適用している。外気導入量及び各室への供給風量は、図 3.1.8 に示す条件である。

表 3.1.12 住宅全体の暖冷房負荷水準

都市	地域区分	負荷計算結果			基準値	参考判定
		kWh	kWh/m²	MJ/m²	MJ/m²	
甲府	Ⅳ	19,602	141	507	460	×
横浜	Ⅳ	16,219	117	419	460	○
千葉	Ⅳ	16,438	118	425	460	○
東京	Ⅳ	16,525	119	427	460	○
浦和	Ⅳ	18,223	131	471	460	×
前橋	Ⅳ	18,435	132	477	460	×
宇都宮	Ⅳ	18,960	136	490	460	×
水戸	Ⅳ	18,600	134	481	460	×

東京、横浜、千葉では、省エネルギー基準を満たしたが、その他の都市では満たさなかった。

ただし、設定温度を、省エネルギー基準の規定より、暖房では高めに（18℃→20℃）、冷房では低め（27℃→26℃）に設定にしているので、厳しい判定になっている。

2） 最大負荷（住宅全体）とエアコンの選定

暖冷房期間を、冷房期間：7/1～9/30、暖房期間：11/1～3/31 と設定し、上記の検討により、省エネルギー基準に適合した 3 都市（東京、横浜、千葉）について負荷計算を行った。表 3.1.13 に、各都市の最大暖冷房負荷を示す。

表 3.1.13 最大負荷（住宅全体）

都市	地域区分	最大冷房負荷[W]			最大暖房負荷[W]		
		顕熱	潜熱	全熱	顕熱	潜熱	全熱
横浜	Ⅳ	8,909	3,224	9,902	7,016	0	7,016
千葉	Ⅳ	8,597	3,471	9,773	7,365	0	7,365
東京	Ⅳ	9,628	3,465	10,580	7,203	0	7,203

この結果を基に、室内負荷を処理するためには、どの程度の能力のエアコンが必要かを検討した。検討に際しては、トップランナーとなっている機種が比較的多い、東芝製エアコンの値を用いた。表 3.1.14 に東芝製エアコンの能力表を示す。

表 3.1.14　東芝製エアコンの能力

単位[kW]	冷房			暖房			備考
	最小	定格	最大	最小	定格	最大	
RAS-225NDRX	0.3	2.2	3.1	0.3	2.8	5.8	
RAS-255NDRX	0.3	2.5	3.5	0.3	3.2	6.3	
RAS-285NDRX	0.3	2.8	4.0	0.3	3.6	8.0	
RAS-365NDRX	0.3	3.6	4.1	0.3	4.2	8.0	285 と同等
RAS-406NDRX	0.5	4.0	5.1	0.5	6.0	9.7	

イ　冷房時の必要機種

一般的なエアコンの最大機種である 4.0kW 型機（RAS-406NDRX）の最大冷房能力（JIS 条件時）は、今回算定した最大冷房負荷の 1/2 程度（表 3.1.15 参照）でしかなく、この機種 1 台で、設定した室内環境を満たすことは難しいということができる。

ただし、最大負荷は全熱負荷であり、潜熱負荷を含んでいる。実際のエアコンは再熱を行っておらず、湿度は成り行きなので、負荷計算に表れた潜熱負荷をすべて処理できるとは限らない。温度さえ満たせば良いとすれば、それなりに負荷は減ってくる。

また、冷房負荷は、日射負荷に負うところが大きく，屋外ブラインドなどを用いて、有効に日射遮蔽を行えば、冷房負荷を大幅に削減できる。

したがって、このような点を考慮すれば、4.0kW 型のエアコンを用いる「全般空調システム」でも、冷房時に、快適環境を維持できる時間頻度は、かなり高くなる可能性がある。

ロ　暖房時の必要機種

暖房については、3.6kW 型機（RAS-365NDRX）で、負荷を上回る能力（JIS 条件時）を持っているので、暖房期間全体を通して、十分に快適な室内環境を提供できる可能性が高い。

表 3.1.15　東芝製エアコンによる選定例

都市	地域区分	冷房時機種選定例		暖房時機種選定例	
		機種	能力比	機種	能力比
横浜	Ⅳ	RAS-406NDRX	194%	RAS-365NDRX	88%
千葉	Ⅳ		192%		92%
東京	Ⅳ		207%		90%

ただし、室内への供給風量が少なければ、エアコンの能力を生かしきれないので、供給風量に応じた機器を選定する必要がある。

3) 温熱シミュレーションのまとめ

イ　換気風量と最高・最低温度と逸脱時間率の関係

換気量と逸脱時間率（夏季 28℃超、冬季 18℃未満）の関係を、表 3. 3. 16～3. 1. 18 に示す。

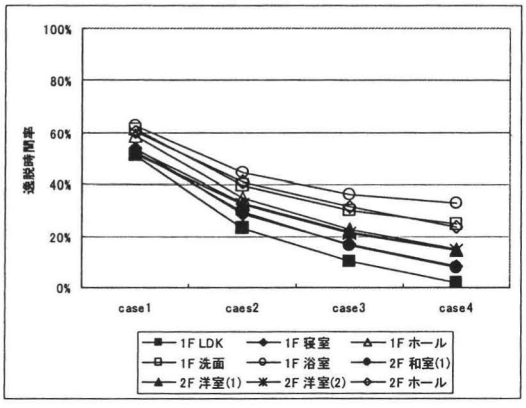
表 3. 1. 16　換気風量と最高・最低温度と逸脱率の関係（東京）

夏季

夏季	case1	caes2	case3	case4
1F LDK	51%	23%	10%	2%
1F 寝室	54%	29%	17%	8%
1F ホール	59%	35%	23%	15%
1F トイレ	61%	40%	30%	25%
1F 洗面	61%	40%	30%	25%
1F 浴室	63%	45%	36%	33%
2F 和室(1)	53%	29%	16%	8%
2F 洋室(1)	53%	33%	22%	14%
2F 洋室(2)	52%	32%	21%	15%
2F ホール	60%	41%	31%	24%
2F トイレ	62%	47%	40%	35%
2F 納戸	61%	47%	40%	37%

冬季

冬季	case1	caes2	case3	case4
1F LDK	70%	5%	0%	0%
1F 寝室	78%	15%	1%	0%
1F ホール	87%	32%	12%	2%
1F トイレ	89%	45%	35%	32%
1F 洗面	87%	43%	33%	30%
1F 浴室	82%	48%	44%	42%
2F 和室(1)	69%	10%	0%	0%
2F 洋室(1)	73%	19%	2%	0%
2F 洋室(2)	70%	20%	2%	0%
2F ホール	86%	47%	31%	20%
2F トイレ	90%	66%	61%	59%
2F 納戸	86%	65%	62%	61%



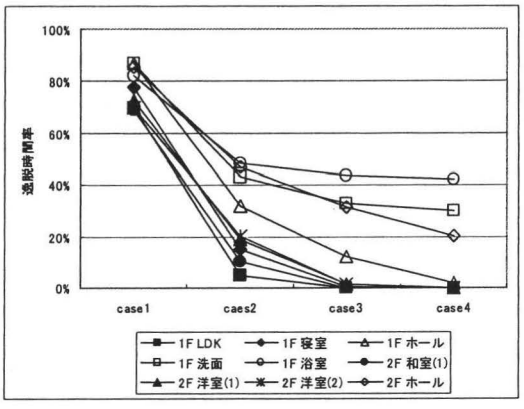
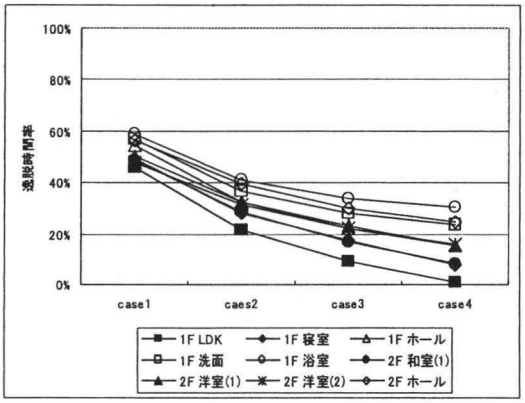


表 3.1.17　換気風量と最高・最低温度と逸脱率の関係（横浜）

夏季

夏季	case1	caes2	case3	case4
1F LDK	46%	22%	9%	1%
1F 寝室	49%	28%	17%	8%
1F ホール	55%	33%	22%	15%
1F トイレ	57%	38%	28%	23%
1F 洗面	57%	37%	28%	24%
1F 浴室	59%	41%	34%	31%
2F 和室(1)	49%	28%	17%	8%
2F 洋室(1)	50%	32%	23%	16%
2F 洋室(2)	48%	31%	22%	16%
2F ホール	57%	40%	30%	25%
2F トイレ	58%	45%	38%	34%
2F 納戸	58%	45%	39%	36%



冬季

冬季	case1	caes2	case3	case4
1F LDK	43%	5%	0%	0%
1F 寝室	50%	15%	0%	0%
1F ホール	59%	32%	12%	2%
1F トイレ	64%	45%	35%	31%
1F 洗面	62%	42%	33%	30%
1F 浴室	60%	47%	42%	40%
2F 和室(1)	43%	10%	0%	0%
2F 洋室(1)	48%	20%	1%	0%
2F 洋室(2)	48%	21%	1%	0%
2F ホール	65%	45%	30%	20%
2F トイレ	74%	64%	59%	57%
2F 納戸	71%	63%	60%	59%

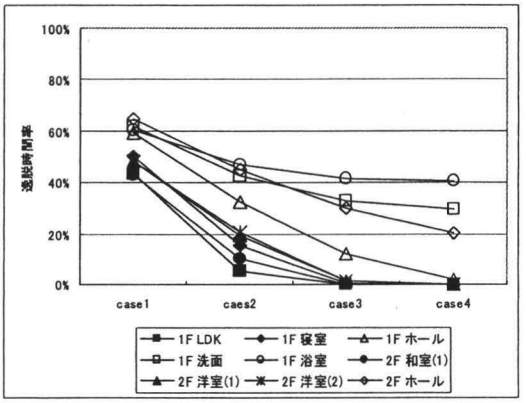


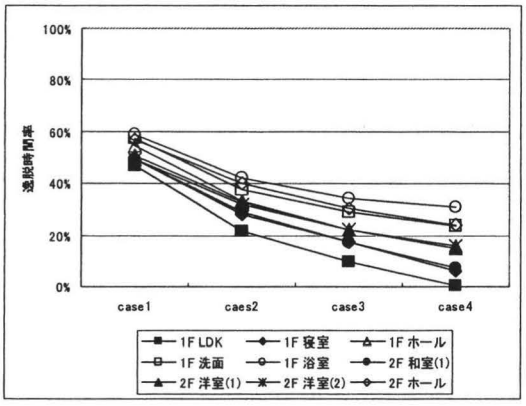
表 3.1.18　換気風量と最高・最低温度と逸脱率の関係（千葉）

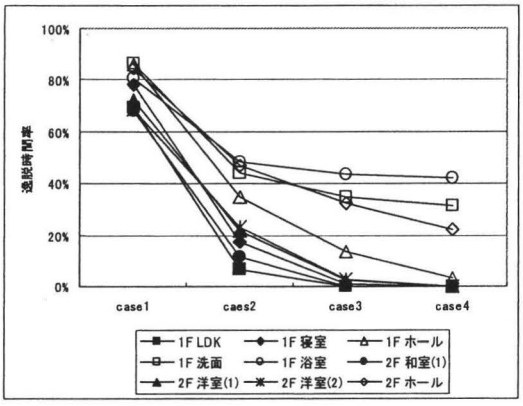
夏季

夏季	case1	caes2	case3	case4
1F LDK	47%	22%	10%	1%
1F 寝室	49%	28%	17%	6%
1F ホール	55%	33%	22%	16%
1F トイレ	57%	38%	29%	24%
1F 洗面	57%	38%	29%	24%
1F 浴室	59%	42%	34%	31%
2F 和室(1)	49%	29%	18%	7%
2F 洋室(1)	51%	33%	22%	15%
2F 洋室(2)	49%	32%	22%	16%
2F ホール	57%	40%	31%	24%
2F トイレ	58%	45%	38%	34%
2F 納戸	58%	45%	40%	36%

冬季

冬季	case1	caes2	case3	case4
1F LDK	69%	7%	0%	0%
1F 寝室	78%	17%	1%	0%
1F ホール	86%	35%	13%	3%
1F トイレ	87%	46%	37%	33%
1F 洗面	87%	44%	35%	31%
1F 浴室	80%	49%	44%	42%
2F 和室(1)	68%	11%	0%	0%
2F 洋室(1)	72%	22%	2%	0%
2F 洋室(2)	69%	23%	3%	0%
2F ホール	84%	47%	32%	22%
2F トイレ	89%	64%	59%	57%
2F 納戸	84%	63%	60%	58%





以上のように、各都市共にほぼ同じ傾向で、換気量の増大に伴い逸脱時間率が減少している。特に、換気量を外気量の 4 倍に設定した case4 の暖房では、1F LDK と 2F 和室（1）の逸脱時間率が、0%となった。一方冷房では、case4 の換気量でも、洋室（1）で 15%程度逸脱している。

ロ　逸脱の状況

夏季の設定温度からの逸脱状況を見るため、東京における洋室（1）と洋室（2）の室温の変動を、図 3. 1. 5～3. 1. 6 に示す。

表 3. 1. 19　洋室（1）の最高室温記録日（7 月 31 日）の逸脱状況

日付	時刻	case1	case2	case3	case4	外気温
DATE= 731	1	28.2	26.0	26.0	26.0	28.7
DATE= 731	2	27.8	26.0	26.0	26.0	27.5
DATE= 731	3	27.4	26.0	26.0	26.0	27.4
DATE= 731	4	27.0	26.0	26.0	26.0	27.3
DATE= 731	5	26.9	26.0	26.0	26.0	27.1
DATE= 731	6	27.8	26.3	26.0	26.0	27.1
DATE= 731	7	29.9	28.0	27.2	26.7	27.9
DATE= 731	8	32.2	29.9	28.9	28.0	30.1
DATE= 731	9	34.3	31.7	30.3	29.2	31.7
DATE= 731	10	36.0	33.2	31.5	30.1	32.8
DATE= 731	11	37.4	34.4	32.5	30.8	34.5
DATE= 731	12	38.7	35.5	33.3	31.5	34.4
DATE= 731	13	39.8	36.3	33.9	31.9	34.6
DATE= 731	14	40.4	36.8	34.2	32.0	32.6
DATE= 731	15	40.5	36.7	33.9	31.7	32.1
DATE= 731	16	40.0	36.2	33.3	30.9	31.5
DATE= 731	17	39.1	35.1	32.2	29.8	30.8
DATE= 731	18	37.9	33.9	30.9	28.5	30.1
DATE= 731	19	36.6	32.5	29.5	27.1	29.8
DATE= 731	20	35.5	31.4	28.3	26.0	29.5
DATE= 731	21	34.5	30.4	27.3	26.0	29.2
DATE= 731	22	33.5	29.4	26.4	26.0	29.2
DATE= 731	23	32.6	28.5	26.0	26.0	28.9
DATE= 731	24	31.7	27.6	26.0	26.0	28.8

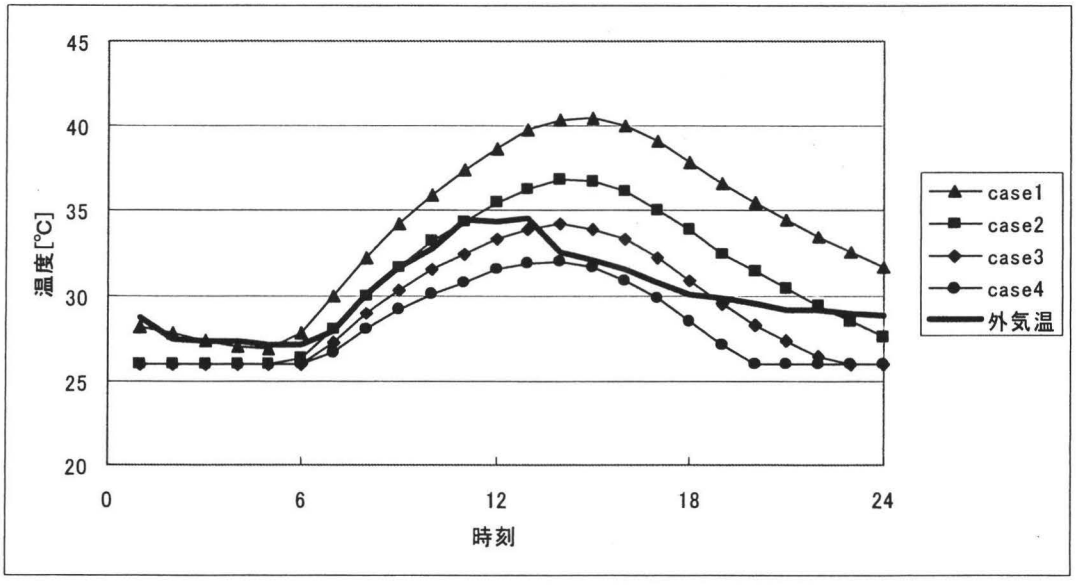


図 3. 1. 5　洋室（1）の最高室温記録日（7 月 26 日）の逸脱状況

表 3.1.20　洋室（2）の最高室温記録日（8 月 30 日）の逸脱状況

日付	時刻	case1	case2	case3	case4	外気温
DATE= 830	1	30.1	26.4	26.0	26.0	27.3
DATE= 830	2	29.3	26.0	26.0	26.0	27.3
DATE= 830	3	28.6	26.0	26.0	26.0	27.2
DATE= 830	4	28.0	26.0	26.0	26.0	26.9
DATE= 830	5	27.4	26.0	26.0	26.0	26.9
DATE= 830	6	27.4	26.0	26.0	26.0	27.1
DATE= 830	7	28.1	26.2	26.0	26.0	28.4
DATE= 830	8	29.4	27.1	26.4	26.0	29.7
DATE= 830	9	31.2	28.7	27.5	26.7	30.6
DATE= 830	10	33.3	30.5	29.0	27.8	31.5
DATE= 830	11	35.2	32.2	30.4	28.9	31.9
DATE= 830	12	37.2	33.9	31.8	30.2	32.3
DATE= 830	13	39.4	35.9	33.6	31.6	32.9
DATE= 830	14	41.3	37.6	35.1	32.9	32.8
DATE= 830	15	42.8	38.9	36.1	33.8	31.7
DATE= 830	16	43.4	39.3	36.4	33.9	31.0
DATE= 830	17	42.0	37.9	34.8	32.3	30.5
DATE= 830	18	39.7	35.5	32.4	29.9	29.8
DATE= 830	19	37.5	33.3	30.2	27.7	29.1
DATE= 830	20	35.7	31.5	28.5	26.1	28.3
DATE= 830	21	34.2	30.1	27.1	26.0	27.6
DATE= 830	22	33.0	28.9	26.0	26.0	28.0
DATE= 830	23	31.9	27.9	26.0	26.0	27.4
DATE= 830	24	31.0	27.1	26.0	26.0	27.0

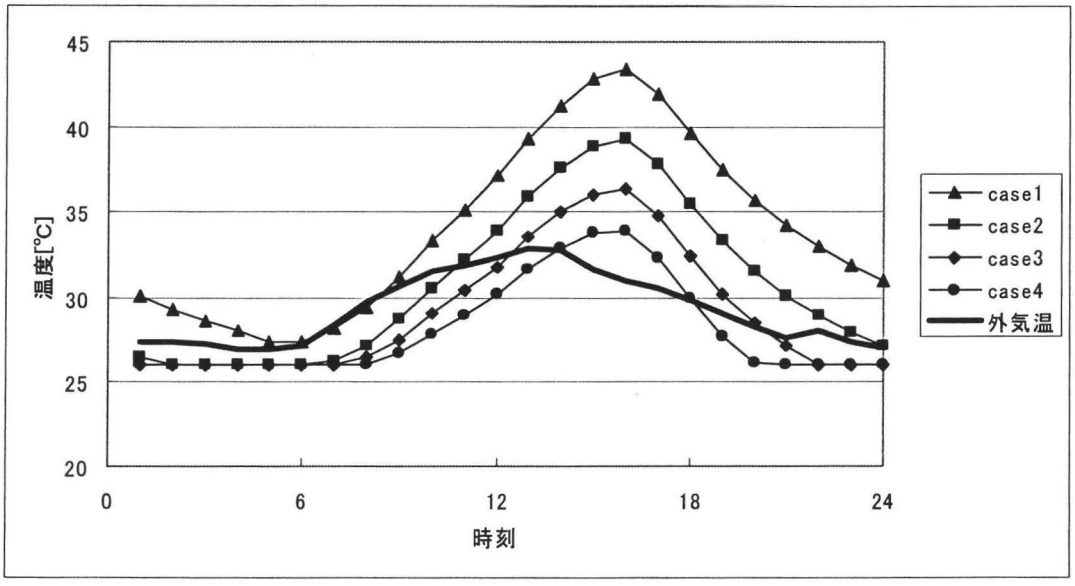


図 3.1.6　洋室（2）の最高室温記録日（7 月 26 日）の逸脱状況

洋室（1）は、case1で、全ての時間帯に逸脱しており、case3とcase4では、夜半より明け方までを除いて逸脱している。したがって、case3とcase4では、夜間において付加的な冷房を行わなくても、快適な環境が維持されていると言える。

一方、洋室（2）では、case1で、全ての時間帯に逸脱しているものの、case2～case4では、夜半より明け方までは逸脱していない。

室によってこのような違いが生ずるのは、各室の風量を床面積に応じた配分としたことが影響していると考えられ、負荷バランスに応じて風量を調整すれば、これらの差異は吸収できる可能性がある。

ただし、case1では必要換気量であるため、負荷に応じた風量の配分は難しい。また、暖房と冷房では負荷バランスが異なることも考えられるので、各室の状況に完全にマッチした状況を作り出せるとは限らない。

ハ　運転能力と逸脱の関係

温熱シミュレーションにおける住宅全体で発生させているエアコン能力が、どのようの頻度で発生しているかを検討した。図3.1.7～3.1.10にcase1の結果を、図3.1.11～3.1.14にcase2の結果を、図3.1.15～3.1.18にcase3の結果を示す。

温度の逸脱は、各室毎に異なるタイミングで発生するので、空調室の中で、ひとつの部屋でも温度が逸脱（夏季28℃超、冬季18℃未満）した時点を、逸脱時点としてカウントし、冷房時間数（2208時間）または暖房時間数（3624時間）で除して、出現率とした。

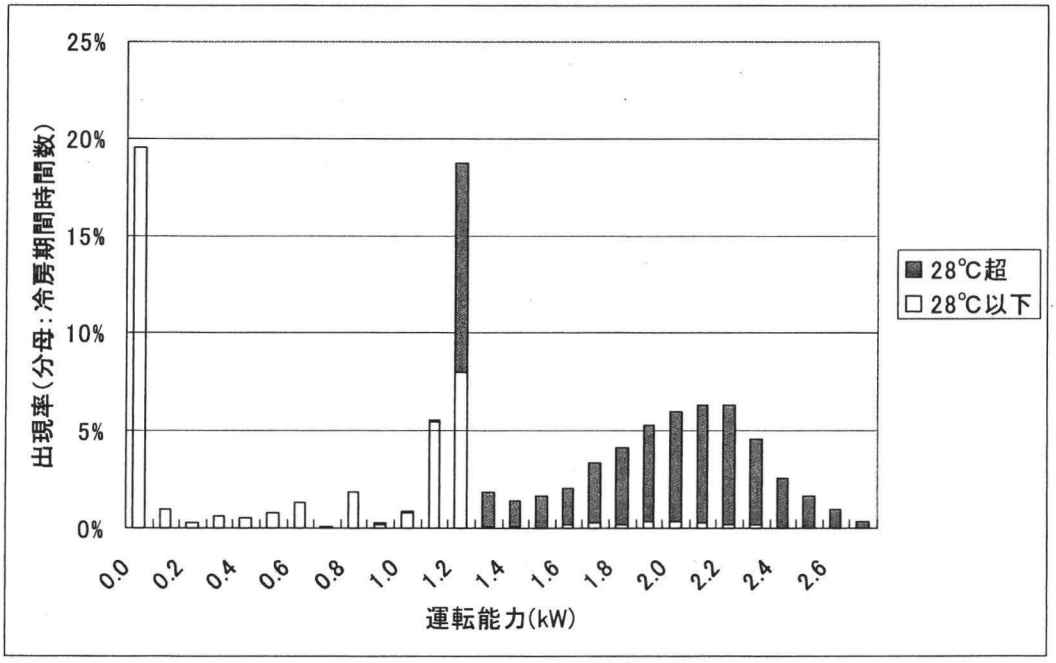


図 3.1.7　出現率（case1　冷房）

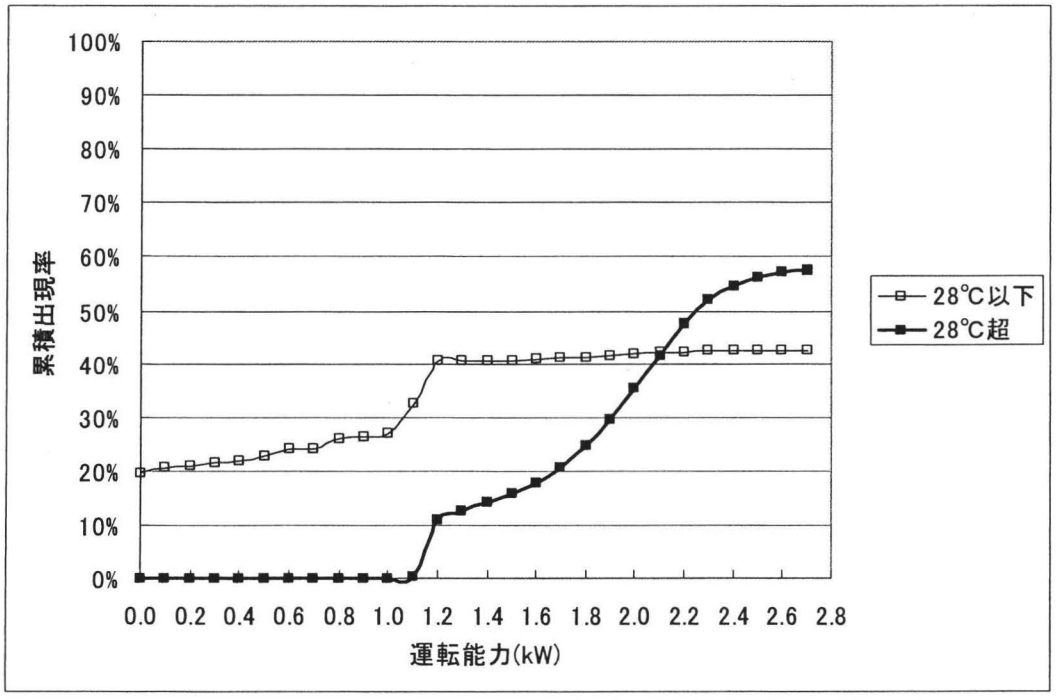


図 3.1.8　累積出現率（case1　冷房）

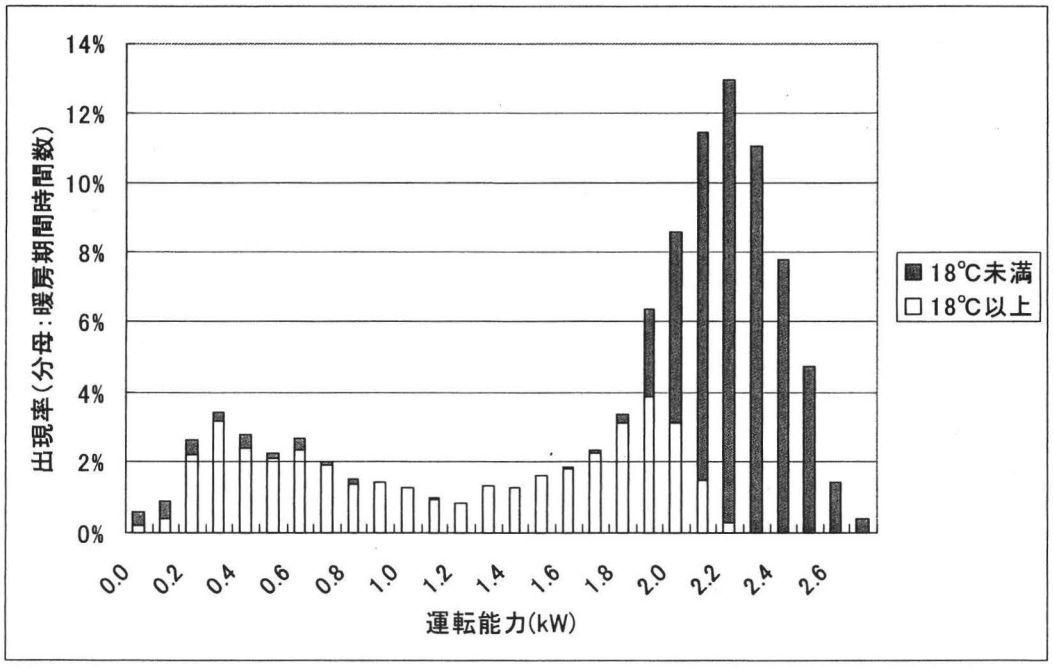


図 3.1.9　出現率（case1　暖房）

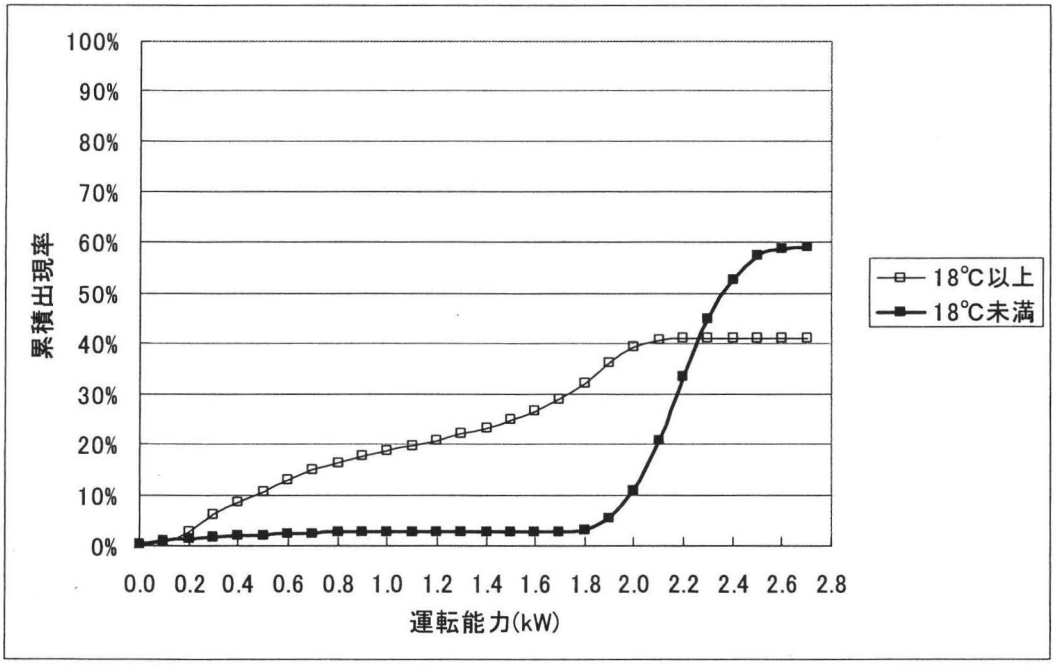


図 3.1.10　累積出現率（case1　暖房）

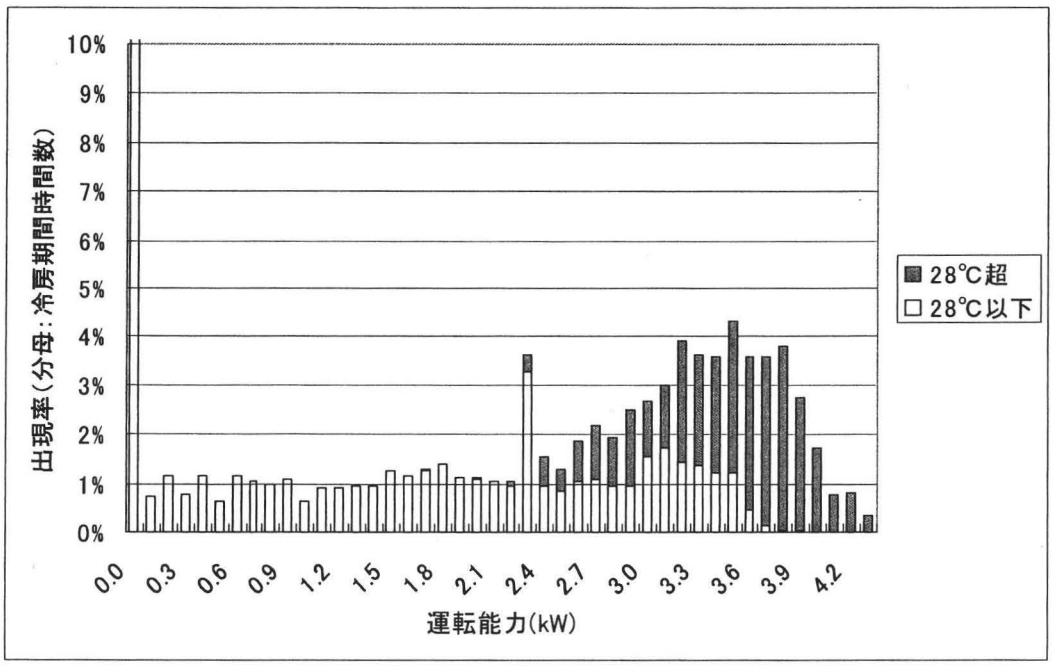


図 3.1.11　出現率（case2　冷房）

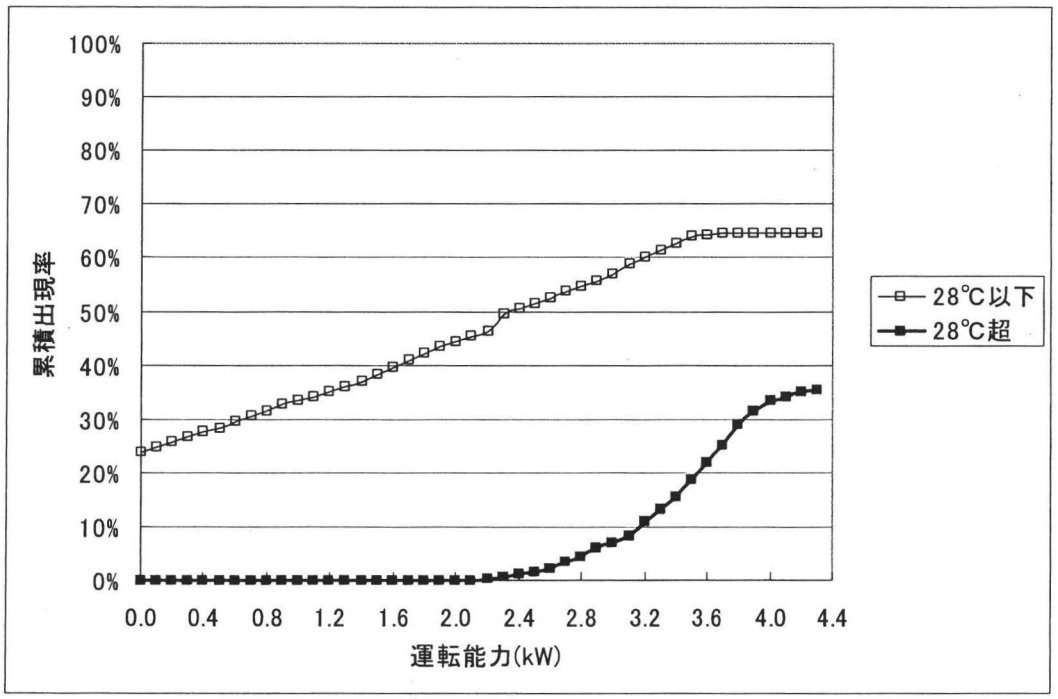


図 3.1.12　累積出現率（case2　冷房）

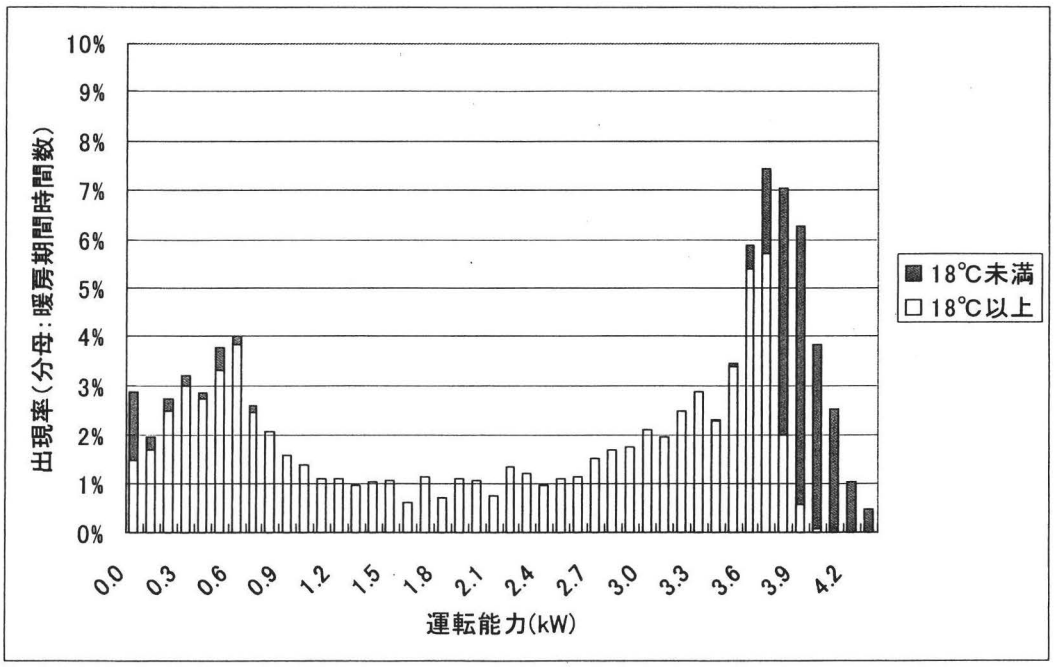


図 3.1.13　出現率（case2　暖房）

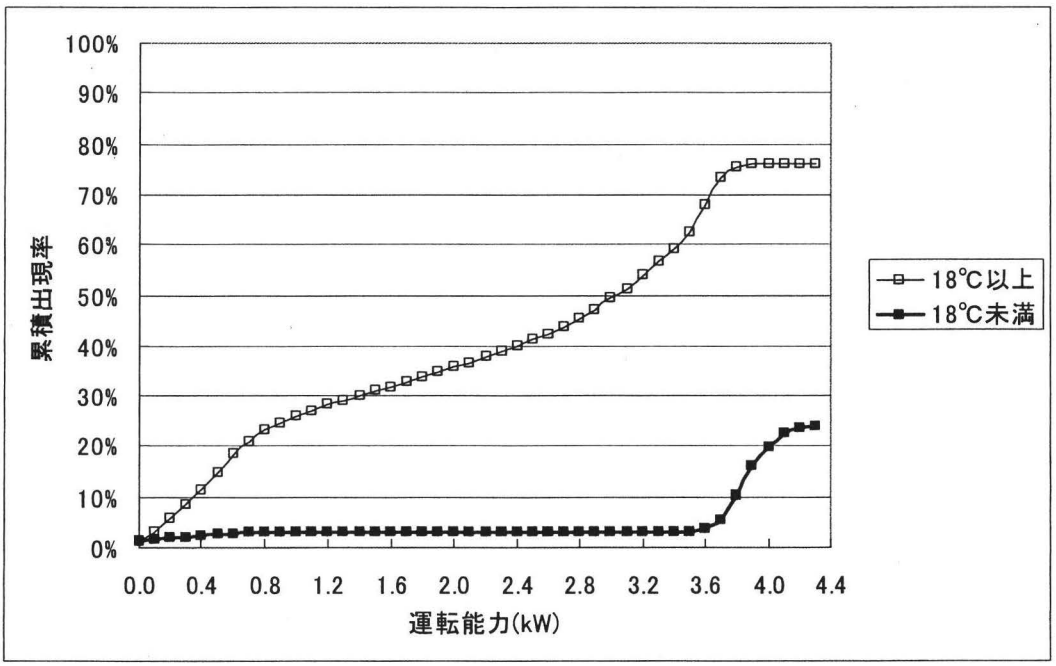


図 3.1.14　累積出現率（case2　暖房）

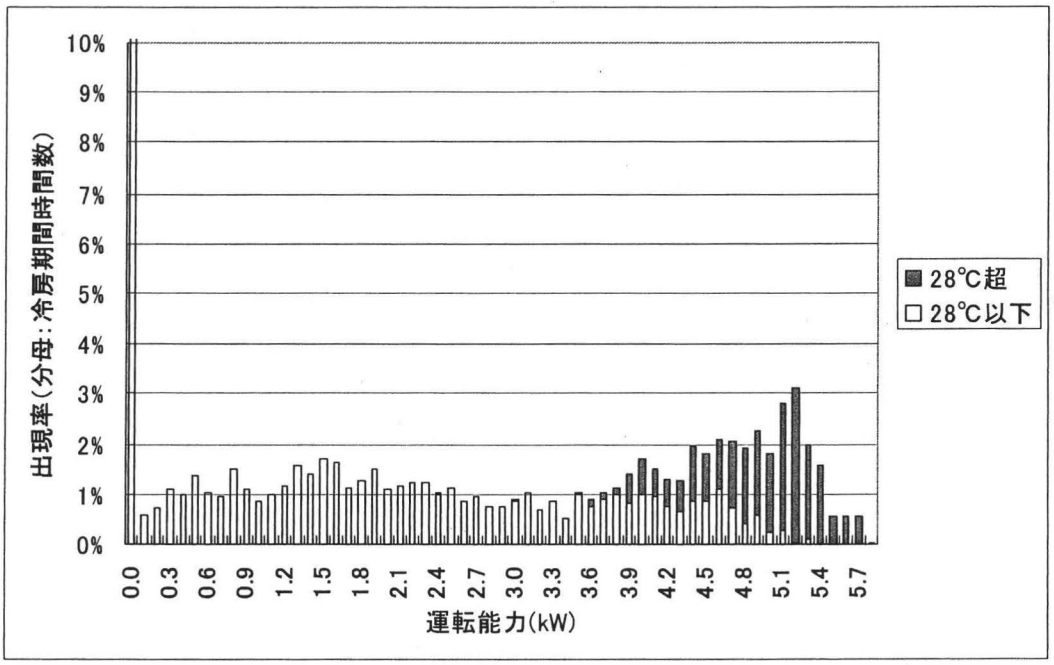


図 3.1.15　出現率（case3　冷房）

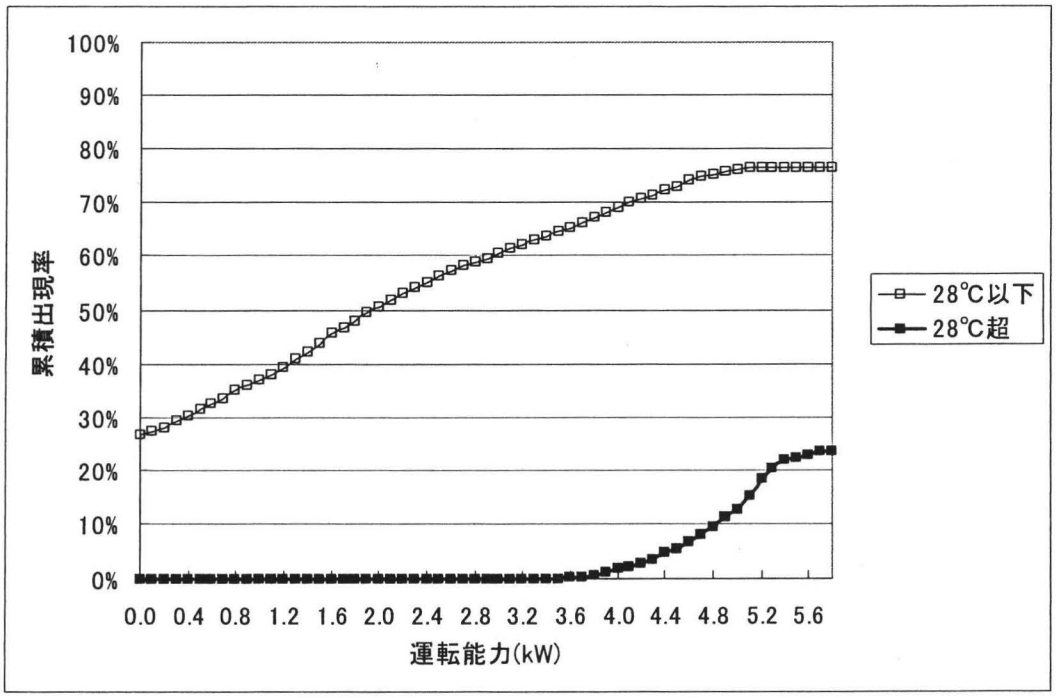


図 3.1.16　累積出現率（case3　冷房）

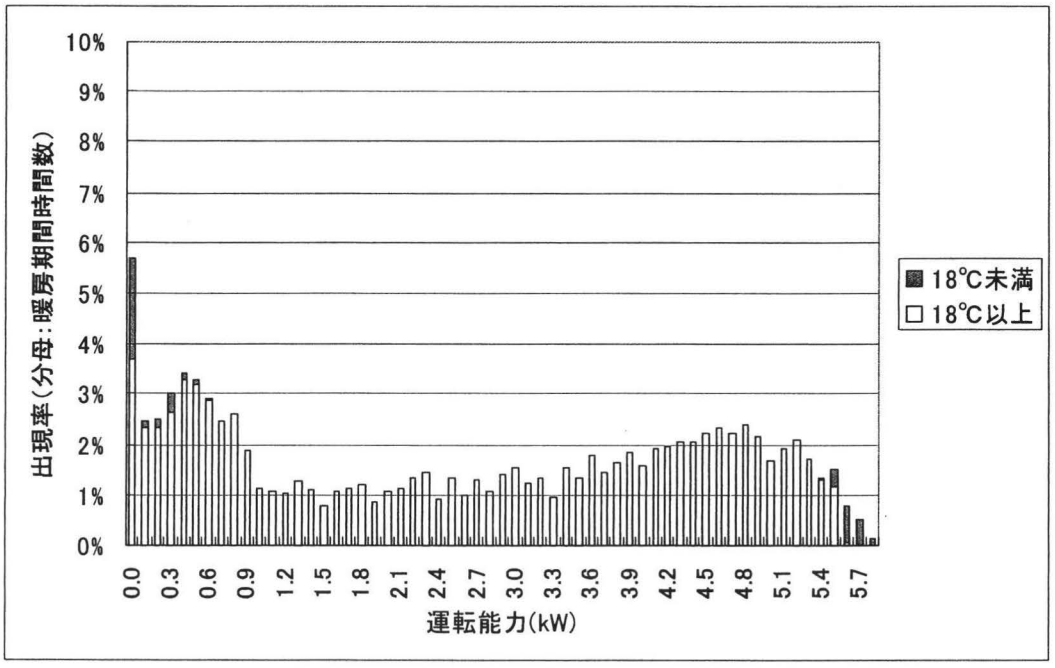


図 3.1.17　出現率（case3　暖房）

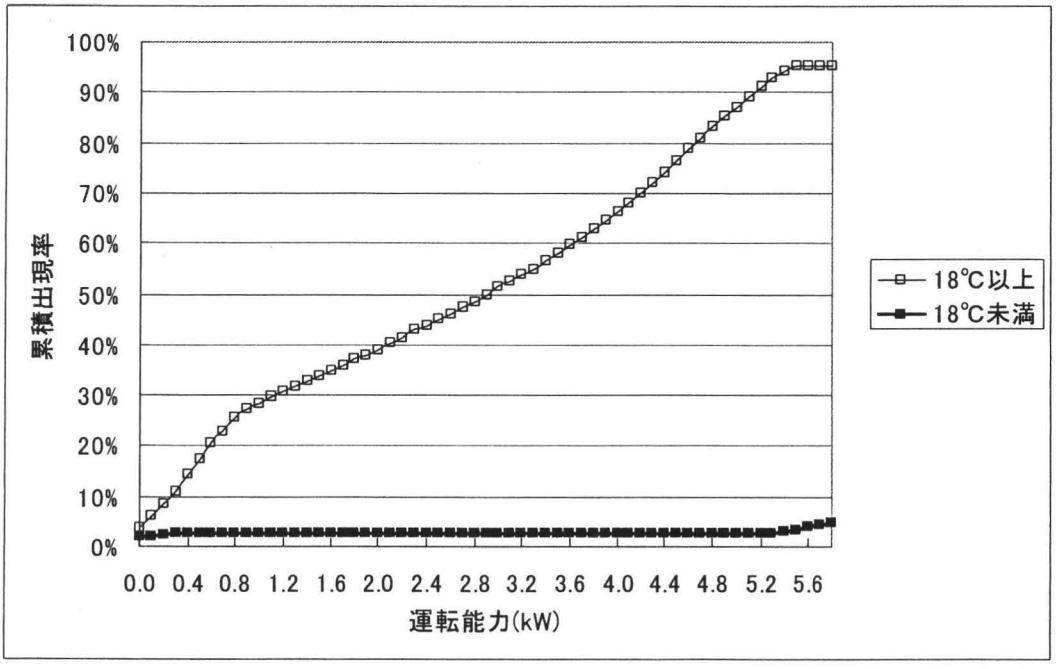


図 3.1.18　累積出現率（case3　暖房）

3 章研究担当者：千葉工業大学教授　小峯裕己、（有）EP&B　伊藤一哉、（株）サードアイ　水藤　聡

3.2 ダクト式第2種換気・空調システムの仕様検討

前記シミュレーションの結果を受け、当システムにて換気負荷とベース暖冷房を賄うことを目標とすれば、4.0kW程度の暖冷房能力があれば十分と考えられる。しかし、換気風量（例えば150m³/h程度）だけで上記4.0kWの熱搬送を行なうことは現実的ではなく（顕熱のみで約80deg昇温が必要）、循環空気経路を設けることが必要となった。則ち、居室への供給風量を導入外気量の2倍として、居室への供給熱量を2倍程度とすれば、ベース空調として機能すると考えられる。

このための具体的なシステム案としては、断熱化された小屋裏空間を空調チャンバーとして活用し、同空調チャンバー内に

① 外気導入をおこなう給気ファンユニット

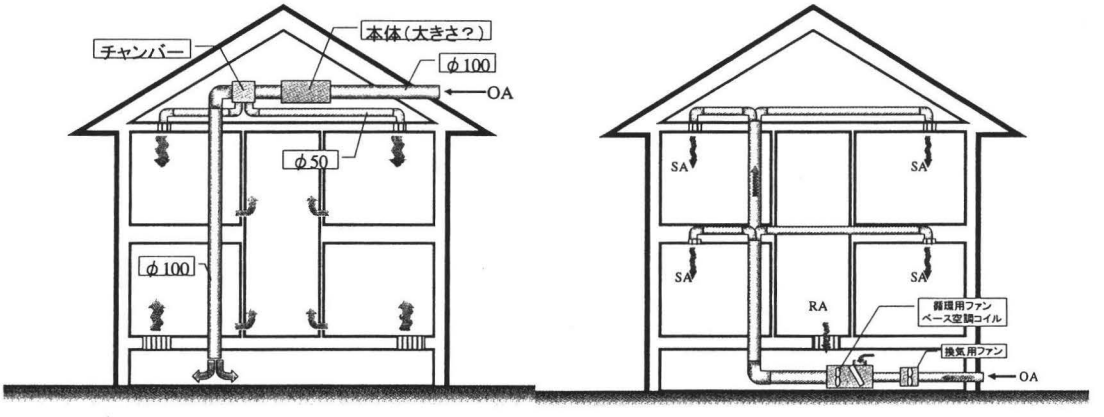
② 同空調チャンバー内を温調制御する空調ユニット

を装備し、同空調チャンバーから床下へ空気搬送する為に循環空気経路として、縦ダクトとファンユニットを設けるシステム構成とした。

ダクト内通過風量に基づけば、必要とするダクト径はφ100mmで十分であると考える。首都圏狭山市の実験棟では計11の噴出口を設けた。

又、小屋裏空間の替わりに、床下空間に空調チャンバーを設置するシステムも想定出来るが、この場合、メンテナンススペースを確保するために、ベタ基礎の一部、一坪程度の広さの深さを増して、ピットとすることが必要となる。

両方のシステムとも、市販の壁掛け式エアコンを活用することを前提として、コスト削減を実現することとするが、空調チャンバー内空気を所定の温度にする工夫・仕掛けを検討する必要がある。



小屋裏設置型システム　　床下設置型システム

図3.2.1　木造戸建用ベース空調型第2種換気システム概念図

4 本機械換気設備の各種性能に関する実棟での検証

第2種換気システムによる壁体内温湿度変動性状をみるために、関東、関西1件ずつ、実際の住宅に換気システムと計測システムを設置し、その状況をみた。

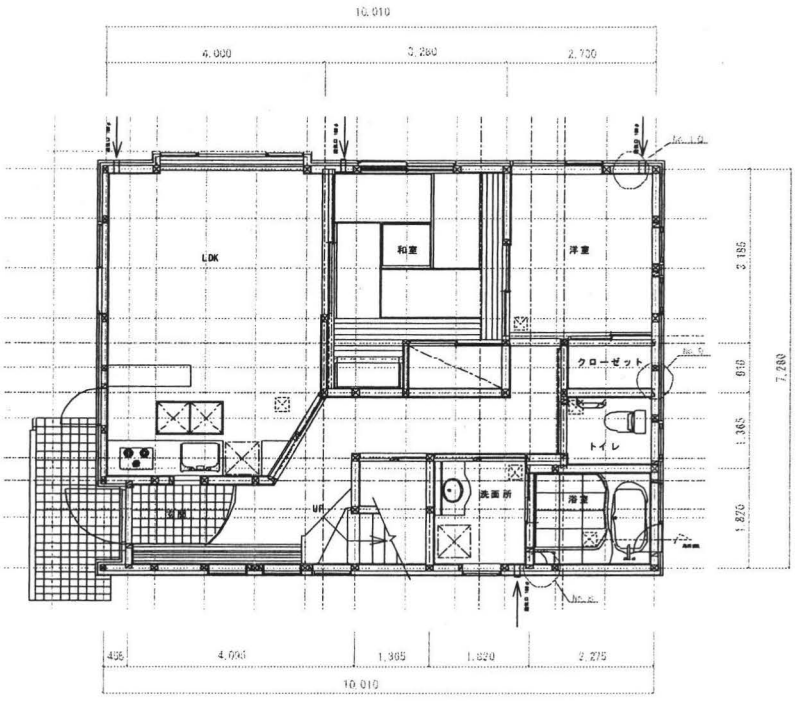
4.1 首都圏実棟試験

（1） 実験概要

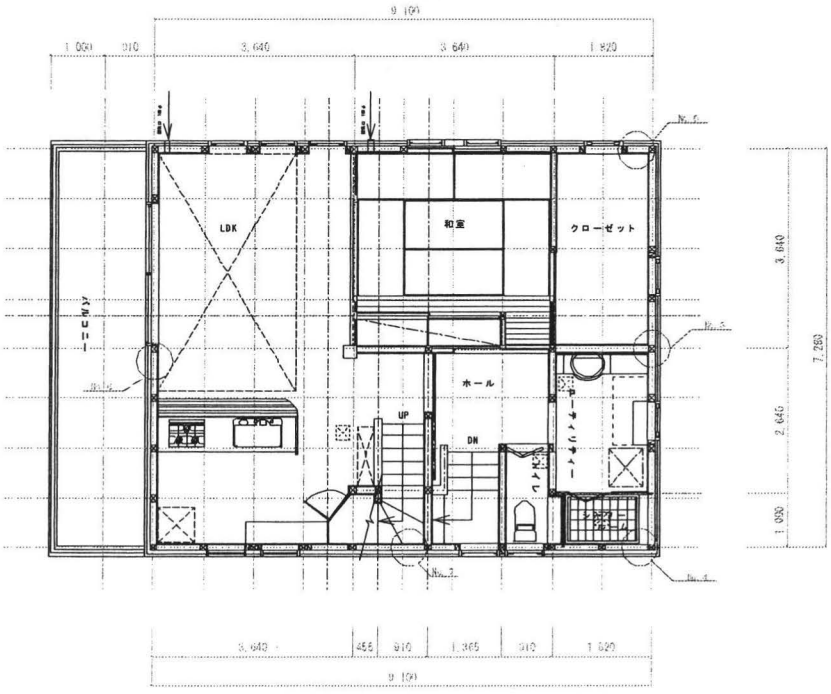
実際に一般者が居住する物件を対象に、換気システムの設置試作・試行実験を行い、各部の温湿度変動ならびに風量測定、居住者へのヒアリングなどを行った。

（2） 対象邸について

埼玉県狭山市に新築中の延べ床面積166.46㎡（50.25坪）、木造軸組構造戸建3階建（3階部ロフト）外張断熱の次世代省エネルギー基準対応住宅である。



1階



2階

図 4.1.1　平面図

（3） 測定内容

工事期間中、対象邸の小屋裏３階部、２階、１階、それぞれの壁体内に温湿度記録計（T&D社製おんどとり RTR-53 ワイヤレスタイプ）を設置した。また、風量測定を行った。

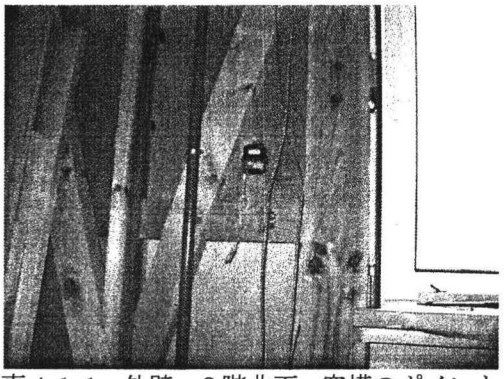


写真 4.1.1　外壁：２階北面、窓横のポイント

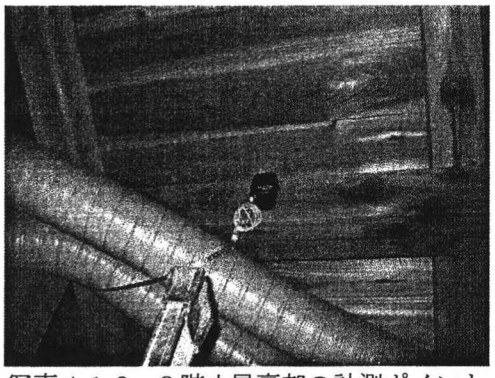


写真 4.1.2　３階小屋裏部の計測ポイント

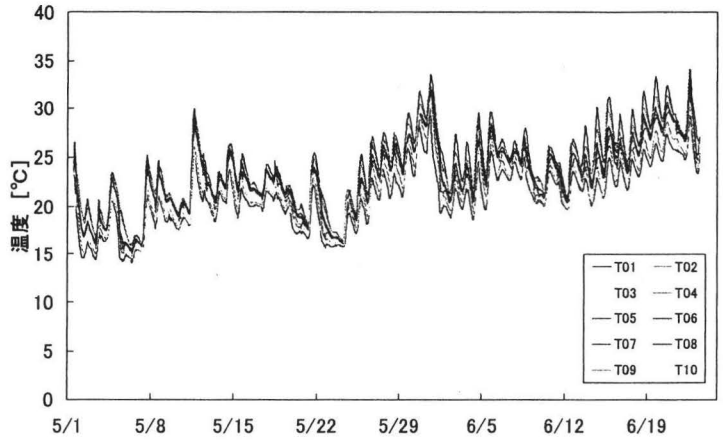
（4） 実験結果

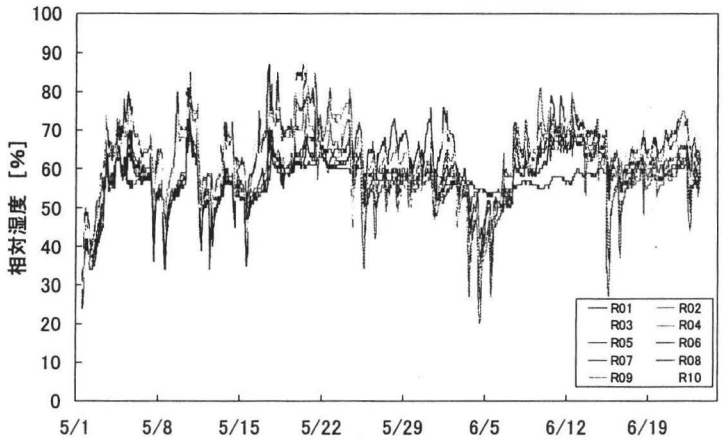
壁体内の温湿度変動を主として検討した。温度は方位による差が顕著であり、壁面への日射受熱の影響と考えられる。相対湿度は小屋裏部（P2）を除きほぼ一定であり、居室との相関が低いことが示されている。温度が変化するに対して相対湿度が変化しないのは、空間を構成する吸放湿性部材の調湿効果としてよく知られる現象であり、本結果においては、タイトな空間での、構成部材（外壁下地板）による調湿効果と考えられる。

当該邸においては、壁体内は居室側との水分の相関が低く、２種換気による水蒸気の押し込み現象は特に見られなかった。壁体内の湿度環境は、壁体構成部材による調湿効果の支配下にあるといえる。

吹出風量は各給気口から平均して供給されていた。

別添資料５、６参照





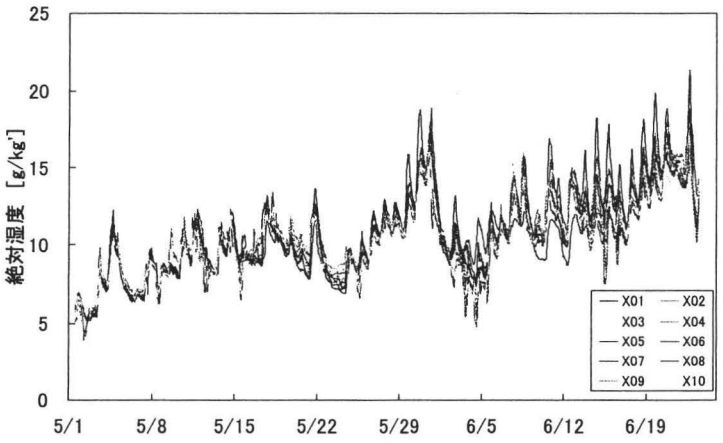


図 4. 1. 2　壁体温湿度変動

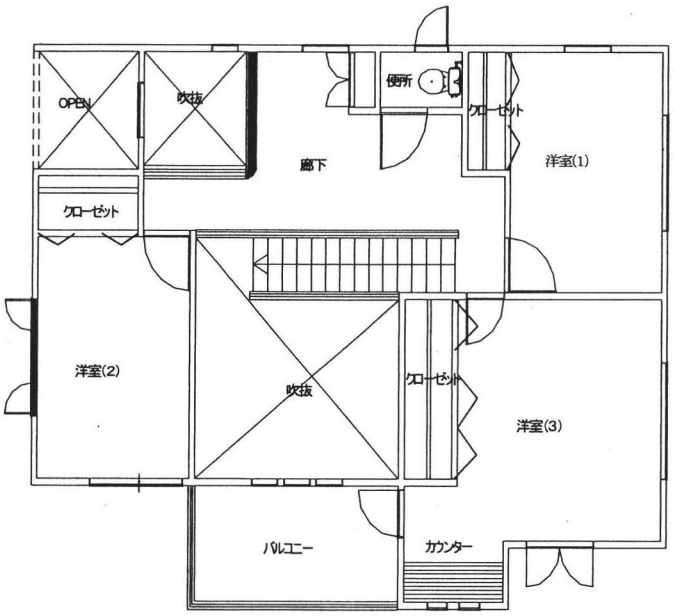
4.2 近畿圏実棟試験

（1） 実験概要

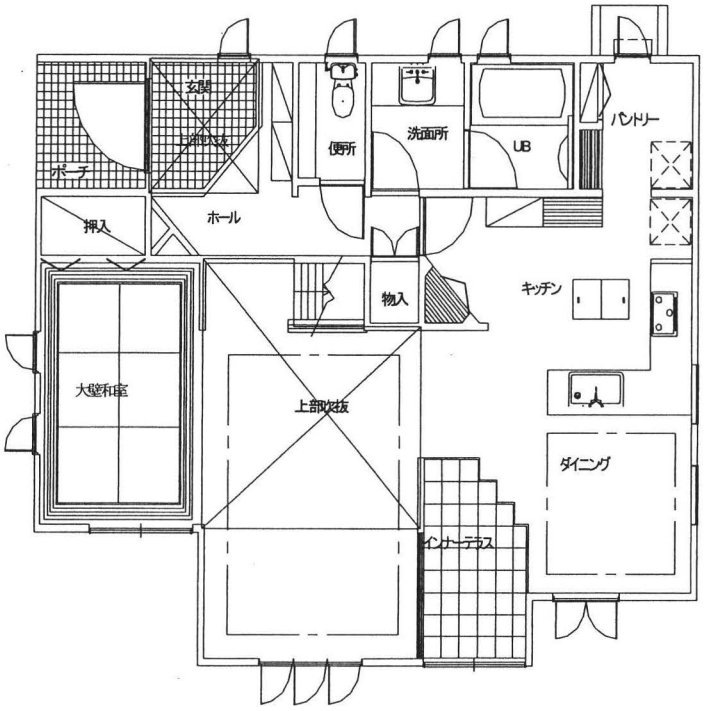
近畿圏においては、住宅ビルダーのモデルハウスを利用して実棟試験を行った。関東における実験同様、試作換気システムならびに壁体内温湿度記録計を住宅建設工事の途中に取り付けた。対象建物は普段は人が居ず、なんらかのイベントの際にモデルハウスとして使用される。よって、計測のほとんどは、空調運転のない、自然室温状態である。短期的に、加湿による壁体内の影響を見る実験を行った。この際、生活に伴う水蒸気発生は、加湿器を用いて再現した。

（2） 対象邸について

実験対象住宅は図4.2.1に示す京都府木津町に建つ外貼り断熱工法による木造２階建て住宅である。延床面積136.16m^2（1 階床面積78.66m^2、2 階床面積57.50m^2）、気密性能は、実測より相当隙間面積1.0cm^2/m２前後、この地域では相当な高気密である。

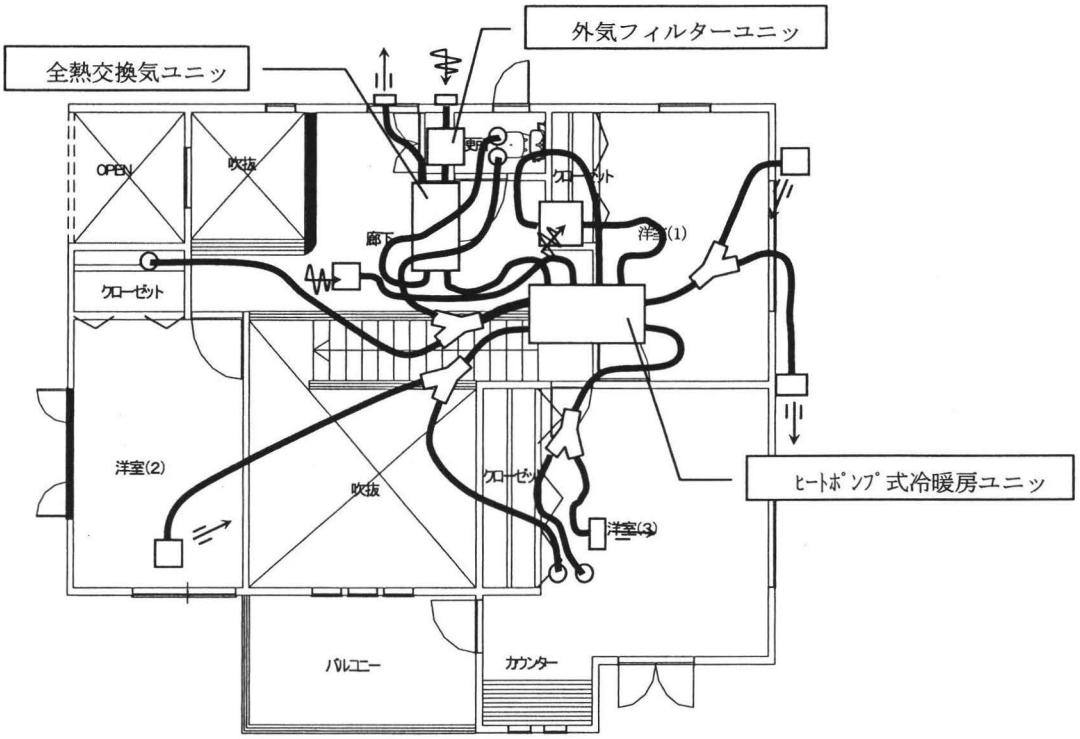


2階

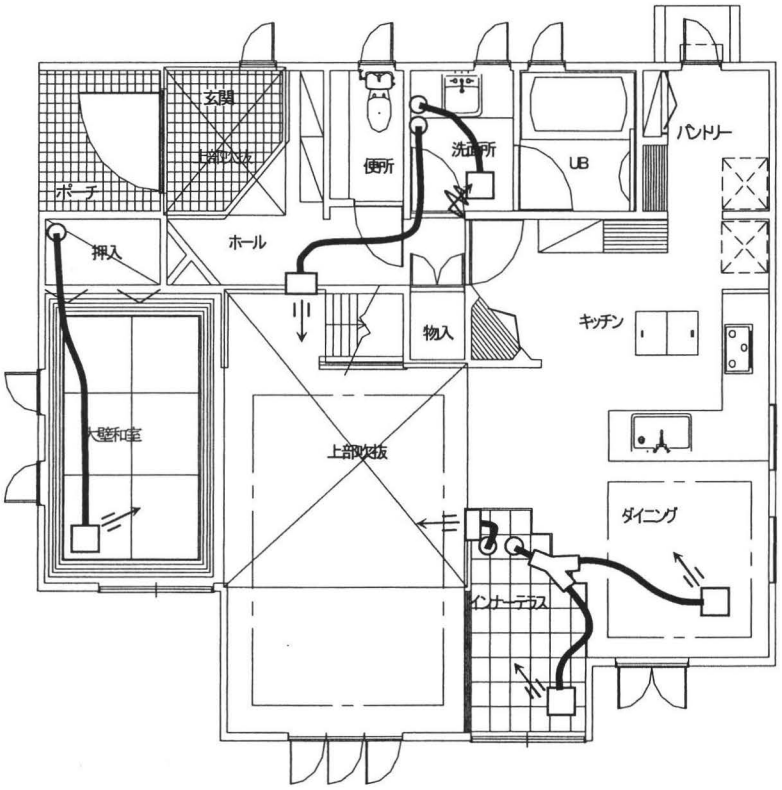


1階

図 4.2.1　平面図


外気フィルターユニッ
全熱交換気ユニッ
OPEN
吹抜
便所
クローゼット
廊下
洋室(1)
クローゼット
洋室(2)
吹抜
クローゼット
洋室(3)
ヒートポンプ式冷暖房ユニッ
バルコニー
カウンター

2階　平面図


玄関
上部吹抜
ポーチ
便所
洗面所
UB
パントリー
押入
ホール
物入
キッチン
大壁和室
上部吹抜
ダイニング
インナーテラス

1階　平面図

京都府相楽郡木津川台、在来木造＋外張り断熱　延床面積 136.2m^2（1 階 78.7、2 階 57.5m^2）
気密計測値：相当隙間面積C＝1.0cm^2/m^2

（3）　実験結果

壁体内の湿度環境は、首都圏実験とほぼ同様の結果となり、壁体構成部材の影響が支配的となった。外壁下地合板の外側に断熱層を設ける外張り工法では、一般的な性質と考えられる。

加湿実験とこれを再現する数値計算により、壁体内への居室空気の流入量は概ね、0.04～0.06m^3/h という数値であることが示唆された。

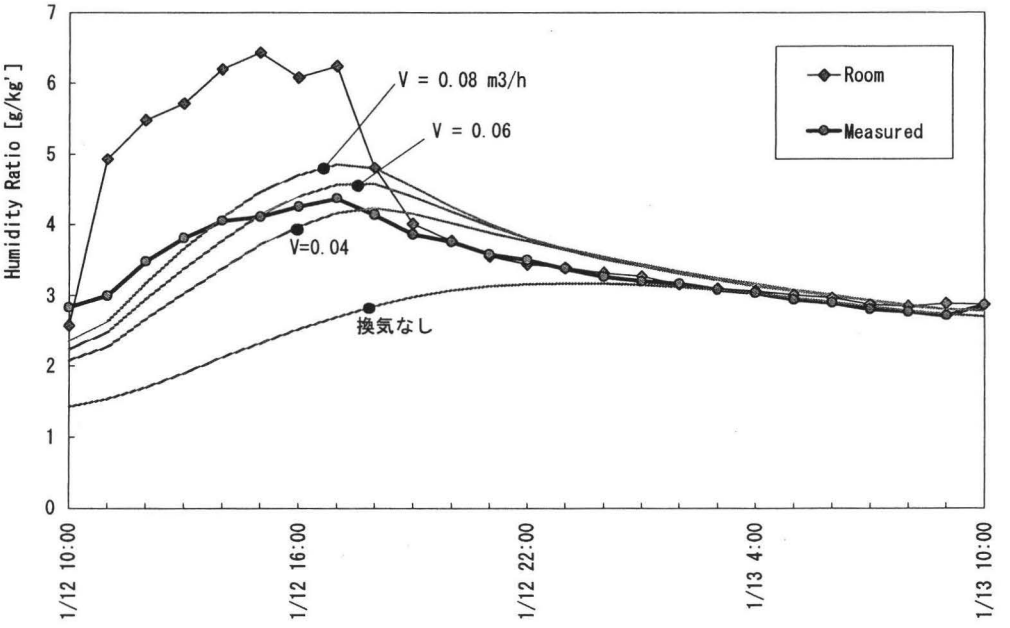


図 4.2.2　加湿実験時の壁体内・居室の湿度変動と計算結果

この数値自体は、壁体の物性や壁下地の施工状況で当然、変化するが、オーダーは概ねこの程度であると推察される。

別添資料 7 参照

5 機械換気設備の方式の差による室内化学物質汚染状況の差異の検討

近畿地区実験棟における化学物質の調査

前節で述べた近畿地区実棟に設置した機械換気システム、局所換気扇の運転状況、電動シャッターやサッシの開閉を行い、第１種、第２種、第３種機械換気システムの運転状況を各々の再現した状況で、２階個室２室における室内化学物質濃度の測定を実施した。

（1） 測定条件

表 5.1.1 に測定条件を示す。2 室とも温湿度の設定は行わずになりゆきとし、測定時は無線温湿度計で監視した。

表 5.1.1　測定条件

No.	換気方式	居室数	温度〔℃〕	湿度〔%〕	アルデヒド類		VOC	
					捕集量〔 l 〕	捕集流速〔l/min〕	捕集量〔 l 〕	捕集流速〔l/min〕
1	無し(測定前)	2	なりゆき		30	1.0	30	0.5
2	第3種換気設備							
3	第1種換気設備							
4	第2種換気設備							
5	無し(測定後)							

（2） 測定方法

３日間の日程で№1～5 の順に換気方式を変更して行った。№1 と№5 は換気を行っていない状態で、十分に時間の経過した後に測定を行った。すべての方式は変更後すぐに運転を開始し、4 時間以上経過後に測定を行った。測定位置は各室内のほぼ中央から、高さ約 1.2m のところとする。その際、アルデヒド類は DNPH カートリッジに、VOCs は活性炭チューブに捕集した。

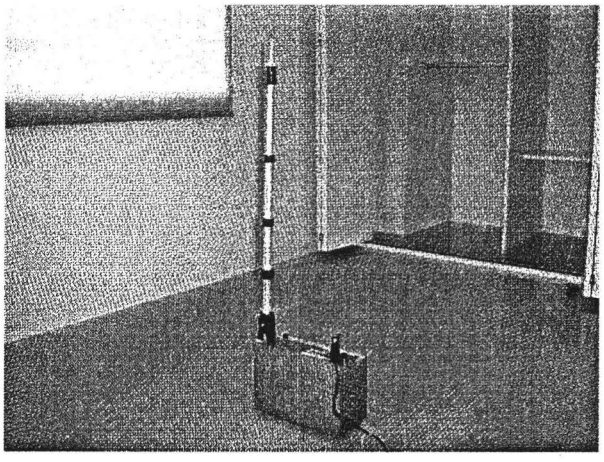


写真 5.1.1 サンプリング風景①

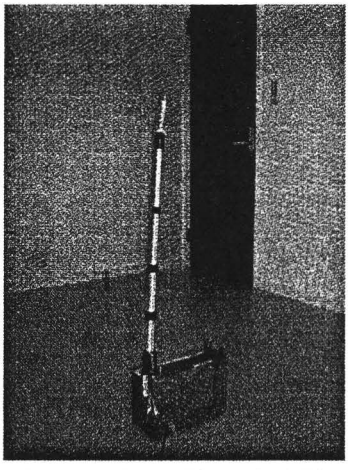


写真 5.1.2 サンプリング風景②

（3） 分析方法

1） VOCs分析方法

VOCs 採取法は、固定吸着 - 溶媒抽出法とする。手順を以下の①～⑧に示す。

① 十分に冷やされたアルミブロックにバイヤル瓶をはめ込み、活性炭をその中に移し、電子天秤にのせて重さを 0 補正する。

② 活性炭に吸着した化学物質を離脱させるため、活性炭入りのバイヤル瓶に二硫化炭素を 3.0ml 注入する。このときの重さ a を量る。

③ トルエン d8(二硫化炭素希釈)の入ったバイヤル瓶、トルエン d8 専用シリンジと二硫化炭素の入ったバイヤル瓶を用意する。

④ まず、トルエン d8 専用シリンジを二硫化炭素で数回洗浄し、次にトルエン d8 で数回共洗いをする。

⑤ 電子天秤で活性炭と二硫化炭素の入ったバイヤル瓶の重さを 0 補正し、内部標準溶液としてトルエン d8 を 2.0μg 打ち込み、このときの重さ b を量る。

⑥ 内秤量を算出する。

$$\text{内標濃度} = \frac{0.002}{a + b} \times \text{トルエン d8 溶液濃度}$$

⑦ GC－MS で定量分析する。 ※分析方法は次項に示す。

⑧ 分析結果のチャンバー内濃度から放散速度を算出する。

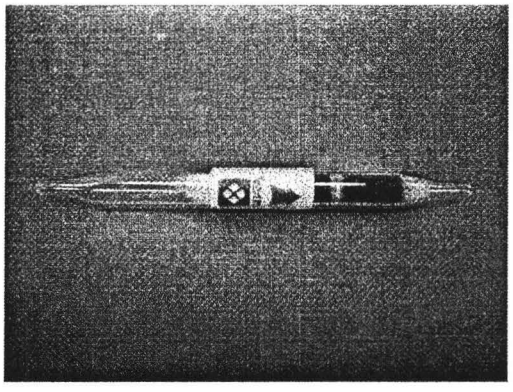


写真 5.1.3 活性炭チューブ

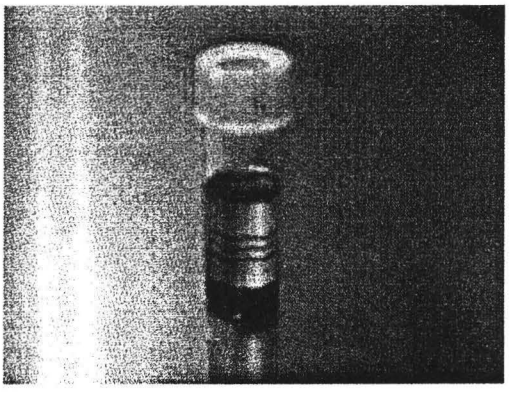


写真 5.1.4 バイヤル瓶(活性炭、CS_2 入り)

＊GC-MS （ガスクロマトグラフィー）

上記の作業によって得られたサンプルを GC-MS を用いて、内部標準法により分析を行った。標準測定条件と GC-MS の写真を下記に示す。

表 5.1.2　標準測定条件

(a)オートサンプラー

注入前溶媒戦場回数	3
注入後溶媒戦場回数	3
注入前試料洗浄回数	3
プランジャー吸入速度	高速
注入待ち時間	0.2 秒
プランジャー吸入速度	高速
シリンジ注入速度	高速
注入モード	通常

(b)MS

イオン源温度	200℃
インターフェイス温度	250℃
溶媒溶出時間	5.0min
検出器電圧	0.0kV

(c)GC

気化室	SPL1
カラムオーブン温度	50℃
気化室温度	220℃
注入モード	通常スプリット
（注入時間）	2.0min
キャリアガス	He
制御モード	線速度
圧力	287.4kPa
全流量	15.3ml/min
カラム流量	3.08ml/min
線速度	45.0cm/min
パージ流量	3.0ml/min
スプリット非	3

(d)カラム昇温度

レート〔℃/min〕	—	8.0
温度	50.0	250.0
ホールド時間〔min〕	4.0	1.0

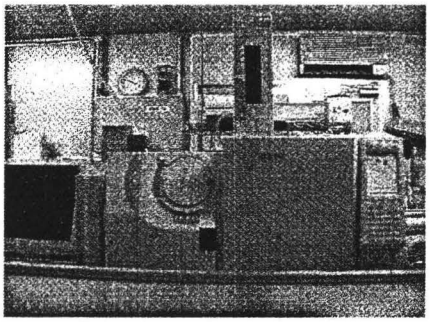


写真 5.1.5 (GC-MS)ガスクロマトグラフィー

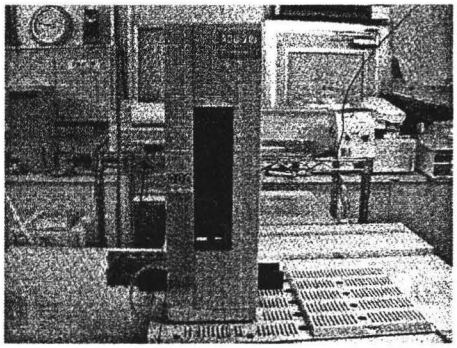


写真 5.1.6 オートサンプラー

2) アルデヒド類分析方法

分析は、DNPH-HPLC 法に基づいて行う。

① アセトニトリルを用いて、収集済サンプラーから誘導体の回収を行う。アセトニトリルを 1mL/min 以下でサンプラーに通し、溶液を 5mL 似合わせ、DNPH 誘導体をアセトニトリルに抽出する。

② 溶出後の溶液をマイクロシリンジで約 20μmL 測り、それを HPLC に打ち込み、分析する。

DNPH 誘導体の分析には高速液体クロマトグラフィー（HPLC：High Performance Liquid Chromatography）を用いる。まず、HPLC を起動させた後に移動相を流し、ベースラインの平衡化を確認する。次に、検量線用標準液の分析後、DNPH サンプラーのブランク値を確認する。この一連の作業が終了したのち、採取サンプルの分析を行う。また、この分析法の感度はサンプラー中のアルデヒド類のバックグラウンド値で決定される。市販のサンプラーは、バックグラウンドを低く一定レベルに押さえるように製造管理されているが、ブランク値はゼロではない。従って、ある量のアルデヒド類がブランクとして検出されてくることとなり、測定の際には検出された誘導体からこのブランク値を差し引いて定量する必要がある。そのため、サンプル中の誘導体量はこの点を考慮して決定する。DNPH-HPLC 法の一連の流れを、図 5.1.1 に示す。

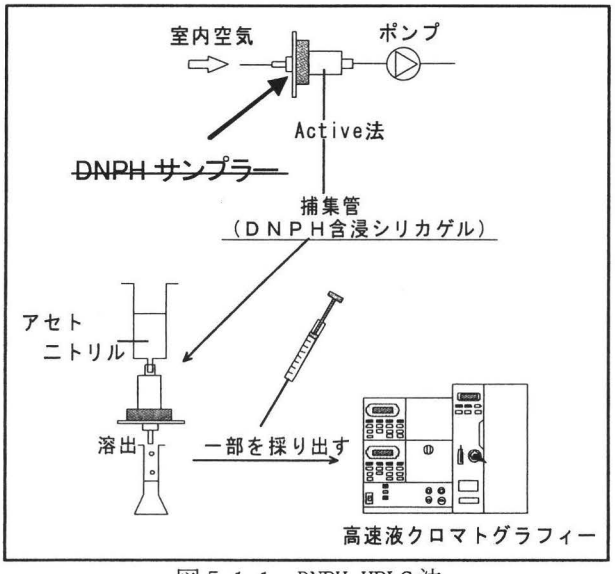


図 5.1.1　DNPH-HPLC 法

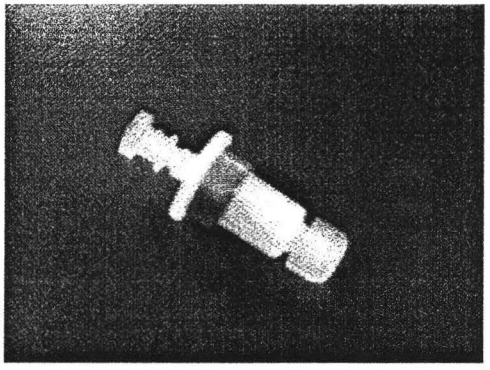


写真 5.1.7　DNPH カートリッジ

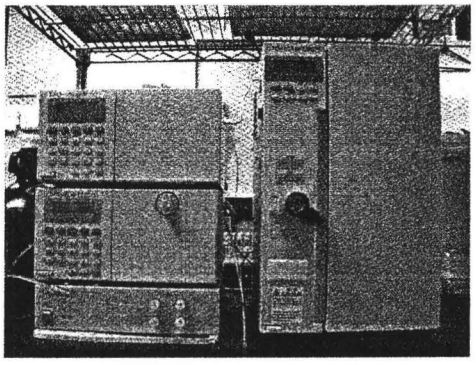


写真　5.1.7 高速液体クロマトグラフィー

（4）　使用機器・用品

	機器名・品名	製造元
測定機器	室内汚染質測定用エアーサンプラー S-23	光明理化学工業(株)
捕集管	DNPH Sep-Pack カートリッジ XpoSure	WATERS
	有機ガスサンプラー用活性炭チューブ	柴田科学(株)
分析機器	高速液体クロマトグラフィー(HPLC)	(株)島津製作所
	ガスクロマトグラフィー(GCMS-QP2010)	

（5）　測定結果

測定結果を表 5.1.2 に示す。

東側洋室におけるホルムアルデヒド濃度は第１種と第２種が 120μg/m³ 前後であり、第３種は 150μg/m³ と多少高めであった。同様に、西側洋室におけるホルムアルデヒド濃度は、第１種と第２種が 60～90μg/m³ 前後であり、第３種は 130μg/m³ と高めであった。東側洋室におけるトルエン濃度は第１種が 120μg/m³ と高めで、他の方式は 60～90μg/m³ であった。西側洋室におけるトルエン濃度は 30～50μg/m³ と差異が殆ど認められなかった。両洋室とも、エチルベンゼン、キシレン、スチレンは殆ど検出されず、換気方式による差異は認められなかった。東側洋室の TVOC 濃度は第２種と第３種が 610～720μg/m³ であるのに対して、第１種が 1200μg/m³ と高めであった。西側洋室における TVOC 濃度は 650～750μg/m³ と換気方式による差異は認められなかった。なお、TVOC の８割前後は植物から放出される精油系物質由来であった。

表 5.1.2　室内空気質測定結果（化学物質濃度の単位は、いずれもμg/m³）

		温度 [℃]	湿度 [%]	HCHO	トルエン	エチルベンゼン	キシレン (m、p)	キシレン (o)	スチレン	TVOC
東側洋室	測定前 密閉？h	22.0	53	268	267	9	5	3	12	3852
	1 種換気	24.8	56	119	117	5	5	1	4	1167
	2 種換気	24.1	52	123	56	3	2	0	2	717
	3 種換気	24.8	51	150	89	2	2	1	1	613
	測定後 密閉 12h	22.0	56	128	241	4	4	2	2	2005
西側洋室	測定前 密閉？h	22.7	53	276	338	11	8	4	13	5380
	1 種換気	25.0	50	89	47	3	2	2	2	764
	2 種換気	25.5	45	56	26	2	1	2	2	648
	3 種換気	27.1	47	133	32	2	2	1	3	750
	測定後 密閉 12h	22.7	53	164	99	5	4	1	6	2220

6 まとめ

6.1 木造戸建住宅用第２種換気システムに関する調査

（1） 文献調査

２編の調査研究報告書を検出した。１篇は宇都宮の高断熱高気密住宅における実棟試験に関するもの、他は北海道における既に商品として実棟に採用されているもので、その開発に関する報告書である。

「住宅における第２種ハイブリッド換気システムの性能に関する研究」は、宇都宮実験棟において試験したシステムについて、換気回数１回/h の押込み風量だが全体として目的とした 0.5 回/h の換気量は得られず、0.7cm²/m²の気密性能では 50%以上が漏気することが分かったこと、及び、各部屋の換気量バランスも悪く所定の換気量を得るには、空気溜りから機械的に各部屋に配分する必要があることが分かったこと、が報告されている。

「天井懐空間を利用した加圧型機械換気システムに関する研究」は北海道における実棟採用システムについて報告されたものであり、各室への給気は比較的良好な換気量が得られたが、トレーサーガスによる測定の結果、2Fは床面開口からほぼ計画通り給気されたが、１Fの相当量が隙間からの直接外気から供給されているとしていること、及び、シュミレーションにより、排気口のサイズと位置により、第1種換気と同等の圧力バランスを得ることができ、内部結露のリスクは同程度であること、が報告されている。

（2） 実用化調査

1） 北海道における調査

北海道立北方建築総合研究所が開発し、札幌市の住宅ディベロッパーで既に千棟以上実棟で採用されている商品で、1階の天井懐に１台の換気扇で外気を給気し空気溜とし、各室に給気、排気はトイレ、浴室・洗面所の排気換気扇と 2F 階段踊り場上部に設けた１つの排気口からなるシステムである。２階の換気は機能していたが、１階は床廻りの隙間からの自然換気で補っていた。建築基準法上、水廻り部分の局所換気システムを含めた第１種機械換気設備として申請を行っており、第２種機械換気設備に関する検討を学術的に実施しているとは言い難いと言える。

2） 大手鉄骨造住宅における状況

大手鉄骨系プレハブメーカーが、「建築物のシックハウス対策マニュアル」記載の第２種機械換気設備の標準仕様に則ったシステムを実用化済みである。内壁部分に設けられた給気ファンユニットにより、床下を介した外気を１階空間（居間や廊下）へ導入し、排気経路としては２階居室の外壁部などに所定の開口面積基準（排気用開口の相当開口面積 5cm²/m² 以上）を満足する排気口が設けられている。

一般的に第２種換気は、冬期においては外壁部分に侵入した水蒸気が外気により冷や

されることで壁体内結露の危険性が増大すると懸念されている。

しかし、本システムでは、これらの開口性能の検討に関しては特に技術的検討を行っておらず、室内の正圧レベルが過大とならないように所定の開口性能を有した排気口を2階の居室部分に設け、外壁への水蒸気侵入を防止すると共に、排気口から水蒸気の排出をおこなうといった開口面積基準の仕様の考え方に則った排気口を設けることにより住宅型式を（財）日本建築センターから取得している。

なお、型式審査の過程では、外気が適切に床下へ導入出来ること、床下へ導入した外気が清浄な状態の儘で居室へ供給されることを技術的に証明している。別添資料6参照

6.2 戸建木造住宅に適したベース暖冷房が可能なダクト式第2種機械換気・空調システムの開発状況

（1） 暖冷房負荷、実現室温等のシミュレーションに基づくベース空調の可能性

次世代省エネ基準を満足するシェルター性能を有する延べ床面積140m²程度の2階建て住宅を対象に、空調処理をした導入外気を居室へ供給する第2種機械換気・空調システムを設置した場合の暖冷房負荷、自然室温をSMASHによりシミュレーションした。

定常負荷に関する手計算でも、各居室への供給風量を必要換気量である0.5回/h相当の風量とした場合、200～400W程度に過ぎないため、廊下やホールからの還気を想定して、各室への供給風量を導入外気風量、その2～4倍とした場合の4ケースの負荷計算を、横浜、千葉、東京の3都市で行った。

その結果、LDK等の比較的大きな居室への設置が想定される4.0kWタイプのエアコンでは、冷房時の能力が最大冷房負荷の約半分程度に過ぎないことを明らかになった。しかし、1時間暖冷房負荷の発生頻度を考慮すると、暖冷房期間の約8割程度の時間は最大負荷の20%程度以下の部分負荷であることが予想された。

そこで、各居室の実現室温をSMASHにより推定し、冷房時に室温28℃を超過する割合、暖房時に室温18℃を下回る割合を検討した。その結果、導入外気風量＝供給風量の場合、冷房時の居室は45～50%の時間数、暖房時は45～80%の時間数、設定室温を逸脱するのに対して、導入外気風量の2倍を供給風量とした場合には、各々、20～30%程度、5～20%程度にまで減少することが明らかとなった。冷房期間に逸脱する原因の一つとしては、日射遮蔽が十分で無く、室内への日射熱の入射が多量にあることが考えられ、建物側での日射遮蔽対策を十分施せば、逸脱する時間数が更に減少すると考えられる。

以上のようなことから、LDK等の比較的大きな居室への設置が想定される4.0kWタイプのエアコンを熱源として、導入外気量の2倍の風量を供給するダクト式第2種機械換気・空調システムは、次世代省エネ基準を満足する建物性能を有する戸建て住宅においては、ベース空調としての機能を十分果たすと予想される。

（2） ダクト式第２種換気・空調システムの仕様検討

当システムにて、前記シミュレーションで示された換気負荷とベース暖冷房を賄うことを目標とすれば、4.0kW 程度の暖冷房能力があれば十分と考えられるが、換気風量（例えば 150m^3/h 程度）だけで上記 4.0kW の熱搬送を行なうことは現実的ではなく（顕熱のみで約 80deg 昇温が必要）、循環空気経路を設けることが必要となった。則ち、居室への供給風量を導入外気量の２倍として、居室への供給熱量を２倍程度とすれば、ベース空調として機能すると考えられる。

このための具体的なシステム案としては、断熱化された小屋裏空間を空調チャンバーとして活用し、同空調チャンバー内に

①外気導入をおこなう給気ファンユニット

②同空調チャンバー内を温調制御する空調ユニット

を装備し、同空調チャンバーから床下へ空気搬送する為に循環空気経路として、縦ダクトとファンユニットを設けるシステム構成とした。

ダクト内通過風量に基づけば、必要とするダクト径はφ100mm で十分であると考える。首都圏狭山市の実験棟では計 11 の噴出口を設けた。

又、小屋裏空間の替わりに、床下空間に空調チャンバーを設置するシステムも想定出来るが、この場合、メンテナンススペースを確保するために、ベタ基礎の一部、一坪程度の広さの深さを増して、ピットとすることが必要となる。

両方のシステムとも、市販の壁掛け式エアコンを活用することを前提として、コスト削減を実現することとするが、空調チャンバー内空気を所定の温度にする工夫・仕掛けを検討する必要がある。

６.３ 本機械換気設備の各種性能に関する実棟での検証

第２種換気方式による壁体内温湿度変動性状をみるために、首都圏・近畿地区１件ずつ、実際の住宅に換気システムと計測システムを設置し、その状況をみた。

（1） 首都圏実棟試験

実際に一般者が居住する、埼玉県狭山市に新築中の木造軸組構造戸建外張断熱の次世代省エネルギー基準対応住宅を対象に、換気システムの設置試作・試行実験を行い、各部の温湿度変動ならびに風量測定、居住者へのヒアリングなどを行った。

その結果、壁体内の温度は方位による差が顕著であり、壁面への日射受熱の影響と考えられたこと、相対湿度は小屋裏部を除きほぼ一定であり、居室との相関が低いこと、が示された。温度が変化するに対して相対湿度が変化しないのは、空間を構成する吸放湿性部材の調湿効果としてよく知られる現象であり、本結果においては、タイトな空間での、構成部材（外壁下地板）による調湿効果と考えられる。

当該邸においては、壁体内は居室側との水分の相関が低く、２種換気による水蒸気の押し込み現象は特に見られなかった。壁体内の湿度環境は、壁体構成部材による調湿効

果の支配下にあるといえる。吹出風量は各給気口から平均して供給されていた。

（2） 近畿圏実棟試験

近畿圏においては、住宅ビルダーのモデルハウスを利用して実棟試験を行った。関東における実験同様、試作換気システムならびに壁体内温湿度記録計を住宅建設工事の途中に取り付けた。対象建物は普段は人が居ず、なんらかのイベントの際にモデルハウスとして使用される。よって、計測のほとんどは、空調運転のない、自然室温状態である。短期的に、加湿による壁体内の影響を見る実験を行った。この際、生活に伴う水蒸気発生は、加湿器を用いて再現した。

壁体内の湿度環境は、首都圏実験とほぼ同様の結果となり、壁体構成部材の影響が支配的となった。外壁下地合板の外側に断熱層を設ける外張り工法では、一般的な性質と考えられる。

加湿実験とこれを再現する数値計算により、壁体内への居室空気の流入量は概ね、0.04～0.06m^3/h という数値であることが示唆された。この数値自体は、壁体の物性や壁下地の施工状況で当然、変化するが、オーダーは概ねこの程度であると推察される。

6.4 機械換気設備の方式の差による室内化学物質汚染状況の差異の検討

近畿地区実験棟における化学物質の調査　（小峯）

前節で述べた近畿地区実棟に設置した機械換気システム、局所換気扇の運転状況、電動シャッターやサッシの開閉を行い、第１種、第２種、第３種機械換気システムの運転状況を各々の再現した状況で、２階個室２室における室内化学物質濃度の測定を実施した。

その結果、東側洋室におけるホルムアルデヒド濃度は第１種と第２種が 120μg/m^3 前後であり、第３種は 150μg/m^3 と多少高めであった。同様に、西側洋室におけるホルムアルデヒド濃度は、第１種と第２種が 60～90μg/m^3 前後であり、第３種は 130μg/m^3 と高めであった。東側洋室におけるトルエン濃度は第１種が 120μg/m^3 と高めで、他の方式は 60～90μg/m^3 であった。西側洋室におけるトルエン濃度は 30～50μg/m^3 と差異が殆ど認められなかった。両洋室とも、エチルベンゼン、キシレン、スチレンは殆ど検出されず、換気方式による差異は認められなかった。東側洋室の TVOC 濃度は第２種と第３種が 610～720μg/m^3 であるのに対して、第１種が 1200μg/m^3 と高めであった。西側洋室における TVOC 濃度は 650～750μg/m^3 と換気方式による差異は認められなかった。なお、TVOC の８割前後は植物から放出される精油系物質由来であった。

木造戸建住宅用第２種機械換気システムの開発に関する研究

別添資料

別添資料１

日本建築学会東北支部
研究報告会　平成15年６月

住宅における第２種ハイブリッド換気システムの性能に関する研究

正会員 ○尹　星勲[*1]　同　吉野　博[*2]　会員外 鈴木 浩司[*3]　正会員 李　重勲[*4]
同　高木 理恵[*1]　同　鈴木 憲高[*5]　同　足立 真弓[*5]

4. 環境工学　9. 気流・換気・排煙
第２種換気，ハイブリッド換気システム，一定濃度法，ステップアップ法，ステップダウン法

1. はじめに

壁体内の通気層及び床下給気方式を用いる第２種換気住宅において、室内換気性状の把握及び換気効率を評価することを目的として実測を行った。本報では、各室における外気導入量や空気齢などを中心として測定結果を報告する。

2. 対象住宅の概要

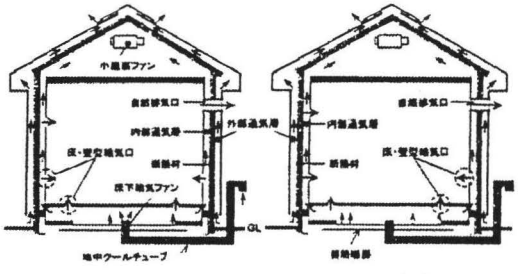
2.1　対象住宅は 2002 年 8 月、宇都宮市に建てられた 3 階木造一戸建住宅で、延べ面積は 166 m^2、建物容積は 403 m^3 である。

2.2　換気システムの概要

基本的には、地中クールチューブ(地下 2m、150 ϕ)と床下の給気ファン、壁体内の２重通気層、また壁や床の給気口及び自然排気口を用いる第２種ハイブリッド換気システムとなっている(図 1)。

床や壁には床下のクールチューブから供給された外気が内部通気層を通して室内へ流れるように給気口が設けられている(図 2)。2 階のホールには主な排気経路として自然排気口が１つ設けられ、また台所のレンジフード、1 階のトイレ及び 2 階にある洗面所とトイレには局所排気ファンが設置されている。

冬季には床下の蓄熱暖房により煙突効果が生じ、加熱された空気が壁内の通気層を通して室内へ流れる換気システムとなる。冬季以外には床下のクールチューブと給気ファンにより供給された外気が壁体内の通気層を経由して室まで運ばれる第２種ハイブリッド換気システムとなる。(※小屋裏の給排気ファンは、夏季に排熱のために排気ファンとして使われる)



(a)　中間期　　(b)　冬季

図 1. 換気システムの概念図

図 2. 床型(左)と壁型(右)の給気口

2.3　対象住宅の平面図と測定ゾーン、また測定点について図 3 に示した。各ゾーンにはトレーサーガスを注入するドージングポイントとサンプリングを行う測定点が 1 つずつ有り、広いゾーンでのドージングはチューブを分岐して行った。

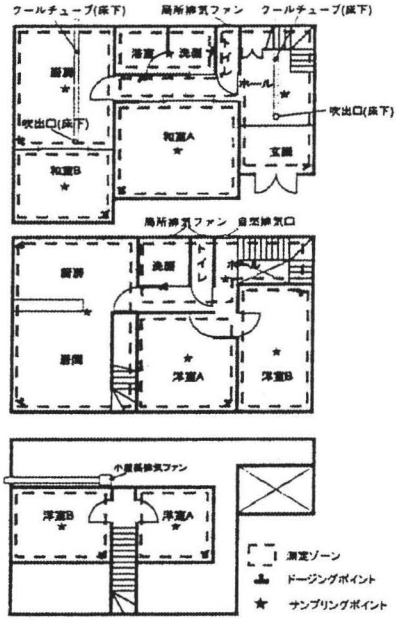


図 3. 対象住宅の平面図及び測定点

3. 測定の概要

3.1　測定期間及び測定項目

測定期間は 2002 年 9 月 20 日～26 日の一週間で、測定項目は換気量、温度、湿度、給排気口風量、室内外差圧、気密性能であった。

A study for the Performance of a Hybrid Ventilation System with Mechanical Air Supply in a Residential Building

YUN Sounghun, *YOSHINO* Hiroshi, *SUZUKI* Koji, *LEE* Joonghoon, *TAKAKI* Rie, *SUZUKI* Noritaka, *ADACHI* Mayumi

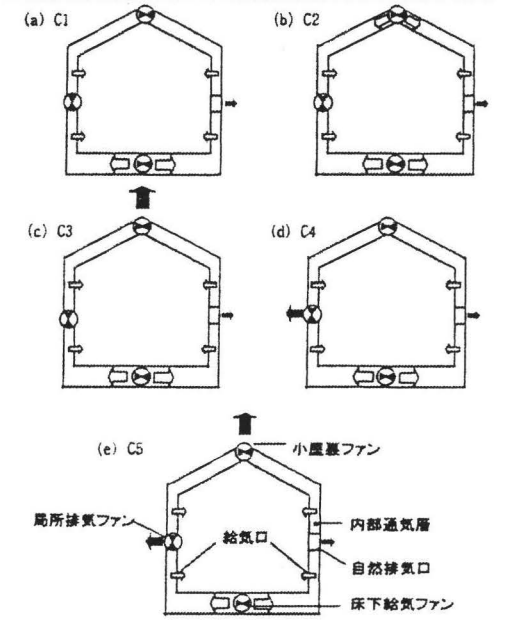
3.2 一定濃度法による測定条件

住宅の外気導入量及び換気システムの性能分析のために、備わっている換気システムの多様な条件に対し、SF_6ガスを用いて一定濃度法による測定を行った。

換気システムの条件としては、東と西側の床下にある給気ファンを両方共に常時運転し、2階の自然排気口は開け放しにして表1のような5ケースと分けて測定を行った。また、C4 と C5 の場合、局所排気ファンは洗面所とトイレにある3つのみを使うことにした。

表1. 測定ケース及び換気システムの運転条件

ケース	換気方式	換気システムの運転条件		
		床下給気ファン	小屋裏ファン	局所排気ファン
C1	第2種	○	×	×
C2		○	給気	×
C3	第1種	○	排気	×
C4		○	×	○
C5		○	排気	○



(⊖：ファン □：自然排気口 ⇨：給気 ⬅：排気)

図4. 各測定ケースにおける給排気ファン運転の概念図

3.3 ステップアップ法及びステップダウン法の測定条件

(1) 各室における空気齢及び換気経路の把握のため、また床下給気ファンの性能や影響を分かるため SF_6ガスを用いてステップアップ法とステップダウン法を行った。

換気システムの条件は、C1 と同条件で、東側と西側にある地中クールチューブの外気取入口から片方ずつ一定量(30cc/min)のトレーサーガスを注入し、床下の吹出口におけるガスの濃度を測った。

表2. ステップアップ・ステップダウン法の測定条件

ケース	測定法	備考
UW	ステップアップ法	西側のクールチューブにガス注入
UE	ステップアップ法	東側のクールチューブにガス注入
D	ステップダウン法	各室の初期ガス濃度：11.5ppm

(2) 床下にある2つの給気ファンからの給気量 Q_i は測定 UW・UE から得られた床下の吹出口におけるガス濃度とガスの注入量から算出した。

4. 測定結果

4.1 気密性能

床下給気口や自然排気口、また小屋裏にある排気ダクトをシールした状態での相当隙間面積は $0.78\,cm^2/m^2$であった。

4.2 内外温度差及び内外差圧

外気温度に対する1階、また2・3階の平均温度との差を表3に示した。また、差圧測定器の正圧側は1階ホールに置き、負圧側は1階ホールの東側窓の所に設置して差圧を測定した。高さは 1.2mの差があり、1階床面の高さに合わせ、補正して表2に示した。

表3. 平均内外差圧

ケース	平均内外温度差(℃)		平均差圧 (mmAq)
	1階	2・3階	
C1	4.4	6.1	—
C2	4.9	6.5	0.88
C3	4.8	6.8	—
C4	2.7	4.3	0.2
C5	0.9	3.1	− 0.36
UW	3.5	4.8	0.4
UE	6.9	8.6	0.57
D	4.0	5.4	0.5

4.3 給排気風量

床型と壁型の給気口における風量は測定ケースに関わらず風量測定器の検知限界である $7\,m^3/h$以下だった。また、UW と UE の結果から求められた床下給気ファンの風量は、東側 $83\,m^3/h$、西側 $84\,m^3/h$ であった。

小屋裏の給排気ファン及び局所排気ファン、また自然排気口における風量についても風速計を用いて測定を行い、その結果を表4に示した。

表4. 給排気ファン風量の測定結果(m^3/h)

	C1	C2	C3	C4	C5
小屋裏給気ファン		94			
小屋裏排気ファン			232		—
局所排気ファン				17.5	22.4
自然排気ファン	<7	<7	<7	—	14.3

ここで、C5 における自然排気口の風量については、室内側が負圧(表2を参照)になっていたことで、外から室内側への逆流だったと見られる。

4.4 一定濃度法の結果

(1) 換気回数

外気導入による換気量から各室の換気回数を求め、各ケースに対する外気導入量、また平均換気回数及び各ゾーンの割合を図5、図6に示した。これらの測定結果から、通常の換気システム条件である C1 の換気性能が最も低く、第1種換気を行う時にも換気回数0.5回/h を上回るケースは C4 だけであった。

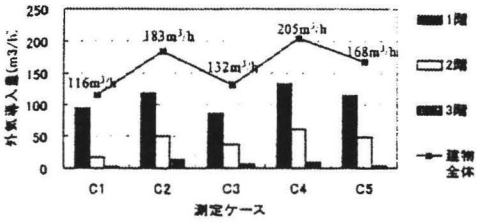


図 5. 各測定ケースにおける外気導入量の比較

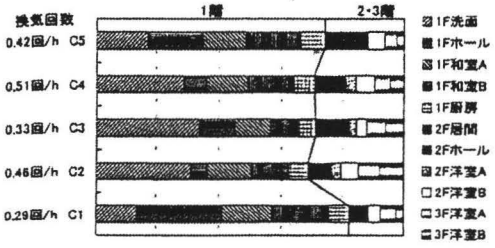


図 6. 一定濃度法による換気回数及びゾーン別割合

換気バランスについては、2 階と 3 階の換気回数が 1 階に比べて小さく、特に居住者の滞在時間が長いと思われる 2 階の居間と 2F 洋室 A の換気量が非常に少ないことが分かった。これに対し、床型及び壁型給気口を通する給気が正常的に行われてないことも原因の一つとして考えられる。

(2) 一定濃度法における各測定ケースから得られた建物全体の外気導入量に対し、給排気口を通する風量(隙間による空気の出入りは除く)の合計との比較を表5に示した。

表 5. 機械給排気量と外気導入量(m^3/h)

	C1	C2	C3	C4	C5
給気量の合計	167	260	167	167	181
排気量の合計	< 7	< 7	232	17.5	22.4
建物全体の外気導入量	116	184	132	205	168

ここで、C2～C5 までの床下給気ファンの風量は実際には測ってないが、C1 の風量とほぼ同じであるとみなして整理したものである。

(3) 各ケースの結果に基づいて次のようにまとめる。

① C1 では強制給気量より各ゾーンの外気導入量の合計が 50m^3/h程少ないことが分かる。これについては、ゾーンとして入れなかった小屋裏空間での換気量と、床下から供給された外気の一部が内外通気層の間にある隙間から外へ排出されたためではないかと考えられる。また、第 2 種換気である C1 と C2 での自然排気口の風量が殆どない事から、排気は隙間を通して行われると思われる。

② C2 では小屋裏給気ファンの運転に従って給気量が増加し、また供給された外気が上下から同時に入り込むことで、外気の室内への流入が C1 より増えたと思われる。

③ C3 の場合、小屋裏排気ファンの運転によって通気層内の給気抵抗が小さくなり、室への外気導入量が C1 よりは増加したと見られる。しかし、排気ファンの風量に比べると換気量がそれ程増加してないことに対し、床下給気によって供給された外気が通気層内の隙間、また排気ファンを通してそのまま外へ強制排出された可能性もその原因として考えられる。

④ C4 の結果から、風量が少ない局所排気ファンの運転で C3 より換気量が大きくなったことが分かる。これは、通気層を通して排出される損失もなく、室内側から直接排気が行われることで、換気量の確保がより良くなったためであると思われる。

⑤ C5 では C3 よりは換気量が増加したが、C4 よりは減った。この結果からも小屋裏排気ファンの逆効果で、局所排気ファンのみを運転した C4 より換気量が減少したと思われる。

4.5 ステップアップ・ステップダウン法の結果

(1) ステップアップ法

対象住宅の換気経路を把握するため、ステップアップ(ケース UW・UE)法を用いて測定を行い、局所空気齢を求めた。図 7 は西側のクールチューブにガスを注入した UW、図 8 は東側にガスを注入した UE による SF_6ガスの濃度変化を表しているもので、ガス濃度が先に定常になる上の方から空気齢が短いと言える。

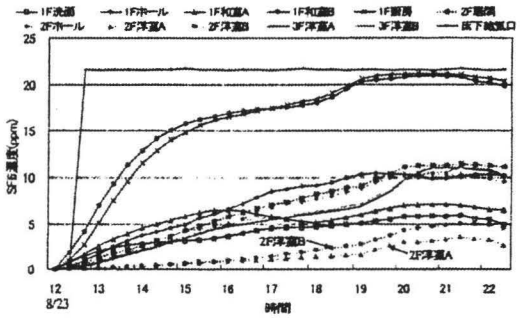


図 7. UW での各ゾーンの SF_6濃度

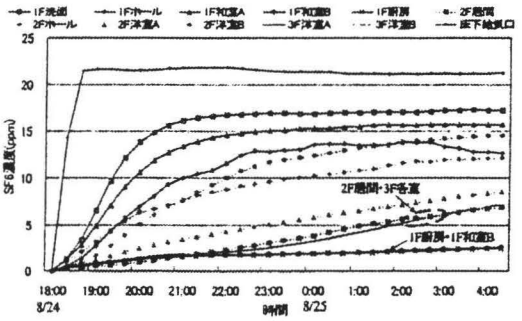


図 8. UE での各ゾーンの SF_6濃度

図 7 と図 8 を比べると、各ゾーンにおけるガスの濃度が安定するまで掛かる時間がそれぞれ異なることから、片方ごとに新鮮外気の給気経路を把握することができる。

一方、普段は東西の給気ファンを同時に使うことで、UW と UE の結果を重み付け平均し、また空気交換効率を求めて効率の良い順番で整理した(表 6)。ここで、局所空

気交換効率 ε とは各測定点での局所空気齢を、建物換気回数の逆数である名目換気時間で基準化したものであり、式1のように示す。

$$\varepsilon = \frac{\tau_n}{\overline{\tau_p}} \qquad (式1)$$

τ_n ：名目換気時間(h) = V/Q
(V：建物の気積、Q：建物の外気導入量)
$\overline{\tau_p}$ ：局所空気齢(h)

表6. ステップアップ法により得られた各ゾーンの空気齢と空気交換効率

到達順番	ゾーン名	重み付け平均空気齢(h)	空気交換効率
1	1F 和室 A	1.84	1.89
2	1F 洗面	2.03	1.71
3	1F ホール	2.50	1.39
4	1F 和室 B	2.57	1.35
5	1F 厨房	2.69	1.29
6	2F 洋室 B	3.07	1.13
7	2F ホール	3.22	1.08
8	3F 洋室 A	6.37	0.55
9	2F 洋室 A	6.45	0.54
10	2F 居間	7.18	0.48
11	3F 洋室 B	7.31	0.48

これは、床下のクールチューブから導入された新鮮外気が各室に到達する順番であり、建物全体の換気経路を把握することができる。表6から、一定濃度法による結果と同様に、2階の居間と洋室Aにおいて十分な換気が行われてないことが分かった。

(2) ステップダウン法

床下給気システムにより供給された外気だけでなく、建物の隙間から流入される外気の影響も含む空気齢を求めるため、各ゾーンの初期濃度を均一にして測定を行った。

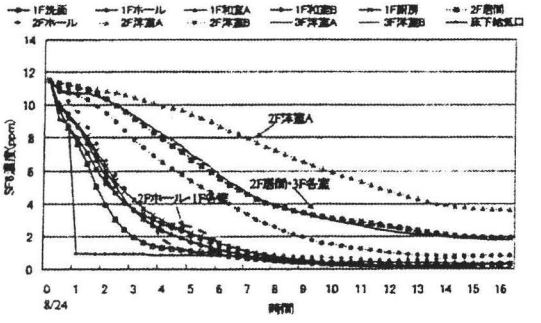


図9. 測定Dにおける各ゾーンの SF_6 濃度

図9はステップダウン法で行われたケースDによる結果を示したもので、ガス濃度が早く減衰される程空気齢が短いと言える。表7はDによる結果から計算された空気齢と空気交換効率を効率の良い順番で並べたものである。

表7. ステップダウン法から得られた各ゾーンの空気齢と空気交換効率（初期濃度：11.5ppm）

到達順番	ゾーン名	空気齢(h)	空気交換効率
1	1F 洗面	1.93	1.80
2	1F ホール	2.37	1.47
3	1F 和室 B	2.4	1.45
4	1F 和室 A	2.49	1.40
5	1F 厨房	2.65	1.31
6	2F ホール	3.32	1.05
7	2F 洋室 B	5.54	0.63
8	3F 洋室 B	7.32	0.47
9	3F 洋室 A	7.59	0.46
10	2F 居間	7.84	0.44
11	2F 洋室 A	11.71	0.30

5. まとめ

(1) 一定濃度法による測定結果から、第2種換気だけでなく、第1種換気を行う際にも全体的に換気量が足りないことが分かった。特に、通常の換気システム運用と同じ条件のC1では、他の4つの条件と比べて最低の換気量が得られた。最高の換気量が得られたのはC4で、床下給気と局所排気ファンを運転した場合であった。

(2) 層間の換気バランスを見てみると、1階と比べて2・3階の換気量が非常に不足していることが分かった。これに対し、床や壁に設けられている給気口を通して通気層の空気が室内へ円滑に流入されてないことを原因として考えられる。

(3) ステップアップとステップダウン法により、各室の空気齢と空気交換効率を求め、換気経路について検討を行った。その結果、一定濃度法の結果と同様に3階と、2階の居間と2階洋室Aの空気齢が非常に高いことが分かった。

(4) 2階ホールにある自然排気口については、ケースC5以外には全ての測定ケースに対して風量が量れなかったことから、自然排気口の設置場所が建物の中性帯に位置している可能性があると考えられる。

以上のように、壁体内に通気層を持つ第2種ハイブリッド換気システムが備われている対象住宅の換気性状及び換気システムの性能について検討を行ったが、本報は中間期である9月末頃に行われた実測の結果に基づいた報告であり、より有効的な第2種換気システムの計画や運用に用いられる実用的な提案のため、冬季や夏季の調査やシミュレーション等による分析も更に必要であると思われる。

6. 参考文献

1) 吉野・松本・内海「トレーサーガス法による多数室換気の測定法」, 空気調和・衛生工学会論文集, No.62, pp97-104, 1987
2) 吉野・長友・小林「気密住宅における集中換気システムの空気齢による性能測定」, 日本建築学会計画系論文集 No.464, pp57-64, 1994
3) D.Etheridge, M.Sandberg, Building Ventilation : Theory and Measurement, John Wiley & Sons Ltd., 1996

*1 東北大学大学院生　工修　D.C. Graduate School, Tohoku University
*2 東北大学工学部都市建築学科　教授・工博　Prof., Dep. of Architecture, Faculty of Engineering, Tohoku Univ., Dr.Eng.
*3 (株)エムエスホームズ　MS Homes, Co., Ltd.
*4 清州大学工学部建築学科　講師・工博　Lecture, Dep. of Architecture, Choungju Univ., Korea, Dr.Eng
*5 東北大学大学院生　M.C. Graduate School, Tohoku University

別添資料2

天井懐空間を利用した加圧型機械換気システムに関する研究

正会員　福島　明　（北海道立寒地住宅都市研究所）

1. はじめに

外気を機械動力で必要な空間に強制的に給気する加圧型換気方式(２種換気)は、給気予熱や空気分配、給気の浄化などに優れた特質を持つ手法である。冬季の内部結露を防止する上で、建物自体に高度な気密化が必要なため、一般住宅の技術としては普及していないが、近年断熱気密化が進められた結果、結露のリスクを回避しながら、加圧型換気システムの導入が可能になりつつあると考えられる。本研究は、天井懐空間を加圧チャンバーとして、予熱、浄化、空気分配を計るシステムを構築することを目的としており、住宅の換気方式に新たな選択肢を提供するものである。

2. 研究の概要

(1) 天井懐利用２種換気のアイディア

図１は、我々が提案する２種換気のアイディアである。断熱パネルによって高い気密性能を実現した木造住宅を対象に、天井懐空間を加圧チャンバーとして利用した強制給気型の換気システムである。ダクトファン等によって天井懐空間に強制給気し、天井面や床面の開口から各居室に給気する方法である。

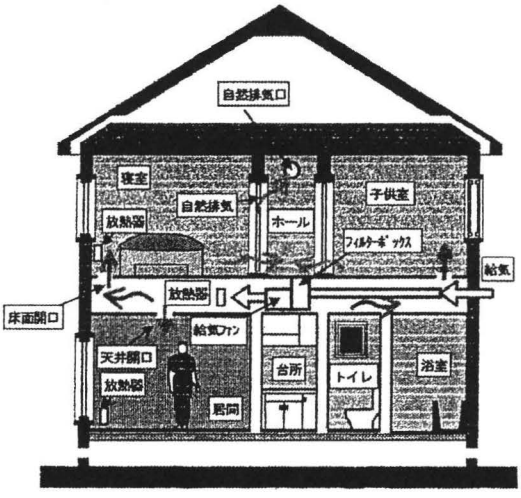


図１　天井懐を利用した２種換気の方法

現在一般に普及している１種換気と３種換気に対して、給気予熱が容易な点や新鮮空気の搬送に有利である。特に、天井懐を給気空間に利用することで、ダクト配管が少なく極めて簡素なシステムで高い効果を得ることが可能である。

(2) 研究の概要

実大実験住宅の建設と換気システム設計の試行を行い、実測によりその特性を実測により明らかにするともに、課題を把握した。また、設計資料の作成と、既存の住宅用機械換気システムとの比較を目的に、シミュレーションを行った。

3. 実験住宅の概要と換気の設計

(1) 建物の特徴と熱性能

図２、図３は実験に使った実用化住宅の概要である。規格住宅として計画しており、１階に居間、台所と客間、２階に主寝室と個室を配置した計画である。建物の断熱性能は次世代省エネルギー基準に適合しており、熱損失係数は1.55W／Kである。

(2) 換気の計画と設計

天井懐空間に集中給気し、１階間仕切壁および２階床面の開口から各居室に給気する。各居室から扉のアンダーカットを通じて玄関、

Study on Mechanical Supply Only System using the Cavity under the 2nd Floor as Supply Chamber

Akira FUKUSHIMA

階段室ホールに流れ、ホール上部の自然排気口から排気するシステムである。天井懐には予熱用の放熱機を設置し、ダクト配管をほとんど伴わないきわめて単純なシステムになっている。

天井懐から各室への給気口は、1 階は間仕切壁に防音型の自然給気口を居間及び和室に設置した(U社)。各室への有効開口面積は表3のとおりである。また、2 階各居室には床面開口を設置した(U社)。使用した給気口及び給気空間として2階のクローゼット床下を利用することとし、板状床裏面にはグラスウール 50mm を施工した。給気ファン及び予熱用放熱器は、それぞれM社製のエアパスファンとS社製のフィン付き銅管による床下専用放熱機である。当該住宅では、ファンによる換気量を一定として、約 100(m^3/h)を想定した。

表3　懐空間を取り巻く各部の有効開口面積

部分	懐隙間	1階給気口	2階給気口
有効開口面積	192 (cm^2)	211 (cm^2)	772 (cm^2)

排気口は、階段室の上部に有効開口面積 100(cm^2)の換気口を計画した。住宅全体の気密性能は、相当隙間面積Cは、1.89(cm^2/m^2)で、次世代省エネルギー基準を満足する性能である。

4. 実験結果と考察

(1)　換気実験とその概要

換気性状の測定は、トレーサーガス (SF_6)の一定発生法および減衰法によって測定した。天井懐空間に機械換気により強制給気しているため、基本的に、天井懐⇒各居室⇒階段室⇒外気という押し出し流れになっていると予想される。暖房時の実測で居室にトレーサーガスを放出し濃度減衰を計測したが、天井懐空間の濃度上昇は全くなかったことから、少なくとも居室から天井懐への空気の流れは無いと判断できる。このため、トレーサーガスを一定量給気口に供給し、各居室での濃度応答を求めれば、各室の換気に占める天井懐空

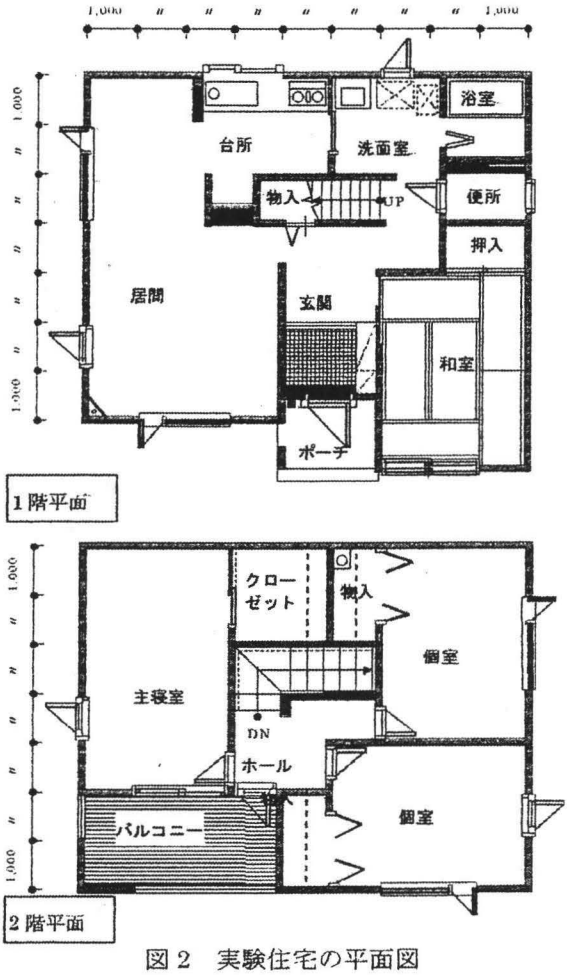


図2　実験住宅の平面図

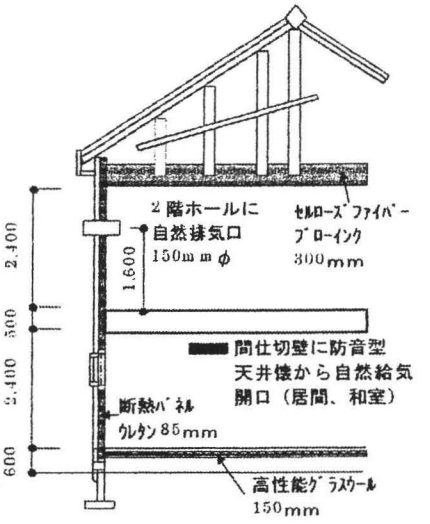


図3　実験住宅の断面詳細図

間からの通気量の割合が求められる。また、各室の換気量は、ガス発生停止後の各室の濃度減衰から求めた。

(2) 換気の特性

図 4 は、減衰法による測定結果と各居室の換気回数である。換気回数から計算した各室の換気量は、10～50 (m^3/h)で、ほぼ良好な換気状態を実現しているが、2 階の各室は同じ大きさの床面開口を設けているため、主寝室の換気量が多少不足気味である。居室ごとの床面開口設計が重要である。

図 5 は、各室の給気元の内訳である。2 階居室はほぼ天井懐空間からの給気が全量を占めるが、1 階居室は相当量が直接外気から供給されている。室内の圧力分布を調整する目的で設置した排気口の影響により、暖房期には隙間換気量が増大し、1 階への給気は、隙間給気の影響が強く現れる結果になった。この結果、2 種換気では全体換気量が内外温度差の影響を強く受ける結果となるため、季節による給気量の調節が望ましい。

次に図 6 は、居室の換気量のみを合計した換気量とその給気元の内訳である。天井懐から居室空間への給気は、78. (m^3/h)で、機械給気量約 105(m^3/h)に対して、約 70%となっている。ホールやサニタリー空間への隙間給気を考えると、機械給気量のほとんどが室内に供給されていると考えられる。

5. 換気性状のシミュレーション

(1) シミュレーションの概要

1 階は、台所を含めた居間、和室、ユーティリティー、浴室、便所、玄関と階段、2 階のホールを含めた、玄関ホールの空間を加えて、6 空間、2 階は、クローゼットを含めた主寝室と個室 2 室の 3 空間を設定した。天井懐空間を加えて計 10 空間である。住宅の気密性能は、相当隙間面積 1.5(cm^2/m^2)とし、各居室の床面積に応じて、各階の上下方向に 5 等分し均等分布とした。

2 階の床開口の有効開口面積は、寝室への給気量が個室の 2 倍程度必要なため、寝室に 210(cm^2)、個室 2 室それぞれ 140(cm^2)とした。1 階の天井付近の間仕切壁面給気開口は、2 箇所の給気口がある居間に 120(cm^2)、1 ヶ所の和室に 60(cm^2)を設定した。実測から求められたその他隙間の開口は、2 階の床面が構造用合板でほとんど隙間のない構造になっているため、全て 1 階天井面の隙間とし、居間と和室の床面積で按分して、居間に 105(cm^2)、和室に 50(cm^2)とした。ホール 2 階床面から

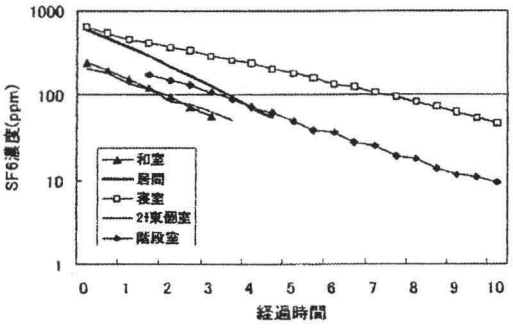


図 4 暖房時における各室の SF6 濃度減衰

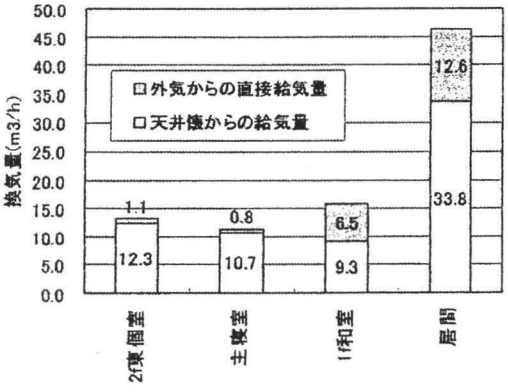


図 5 各室の新鮮空気供給元の割合

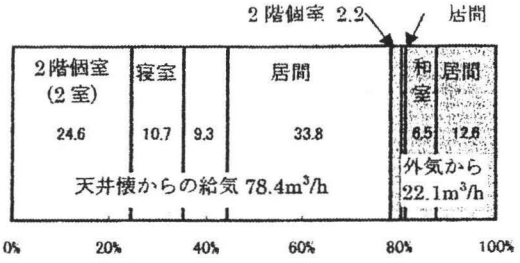


図 6 暖房時の新鮮空気供給元の割合

2mの高さに、有効開口面積を 100 (cm²) の排気口を設けた。

（2） 空気分布の検討

1 種換気および 3 種換気と、空気分布を比較した。建物条件および機械換気量の設定は同じで、1 種換気は、各居室に床面積に応じた給気量を設定し、排気はサニタリーから集中排気とした。3 種換気では、有効開口面積 15(cm²)の自然給気口を、寝室 2、居間 2、その他の居室にそれぞれ 1 ヶ所設定した。

図 8 は、各換気方式における新鮮空気の給気割合である。1 種換気は、必要な居室に強制給気をする方式であることから、一般に新鮮給気配分は良好だが、冬期に内外温度差による自然換気によって 1 階の給気量が増大し、給気バランスが崩れる。3 種換気は冬期には 2 階居室に直接的な新鮮空気はほとんど供給されない。

天井懐給気による 2 種換気は、冬季全体量は増大するが外気温度によらず新鮮外気の給気バランスはほとんど変化しない。換気量の制御が可能であれば、理想的な換気システムになり得ると考えられる。

（3） 排気口の設計と内外圧力差分布

排気口の設計用件は、冬期の最上階天井面での内外圧力差である。広く普及している 1 種換気時の圧力差を越えないように、排気口の位置とサイズを決める必要がある。図 8 は、室温を 20℃として、外気温度と排気口のサイズをパラメーターに、2 階天井面の内外圧力差を示したものである。代表的な冬期温度として札幌の暖房期間中の平均温度約－3℃(11～3 月)を取ると、2 階床面からの高さ 2m では、70(cm²)程度以上の排気口があれば、圧力バランスを 1 種換気と同等に保持することができることがわかる。

6. まとめ

天井懐空間を給気チャンバーとした、集中給気方式（2 種換気方式）の実験およびシミュレーションを行った。この結果、良好な給気バランスを得られ、内外温度差の拡大に伴う影響も少ないことを明らかにした。また、自然排気口のサイズと位置を計画することで、1 種換気と同等の圧力バランスを実現できることから、漏気による内部結露のリスクを 1 種換気と同程度にできることを示した。

本研究は、北海道立寒地住宅都市研究所と株式会社ホーム企画センターとの共同研究として実施したものである。

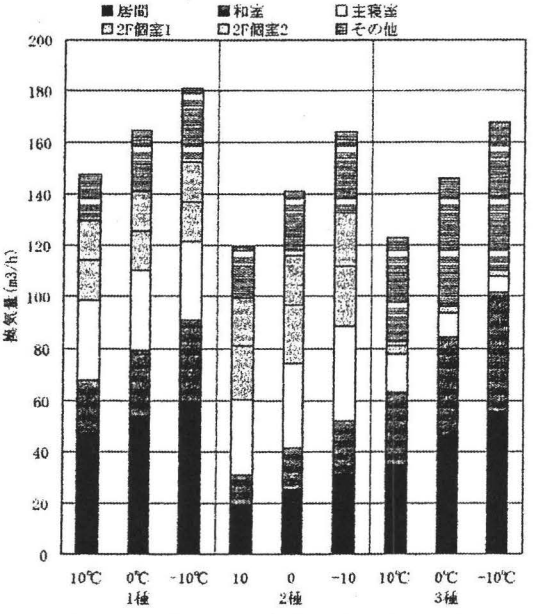


図 7 各空間への新鮮空気の給気量

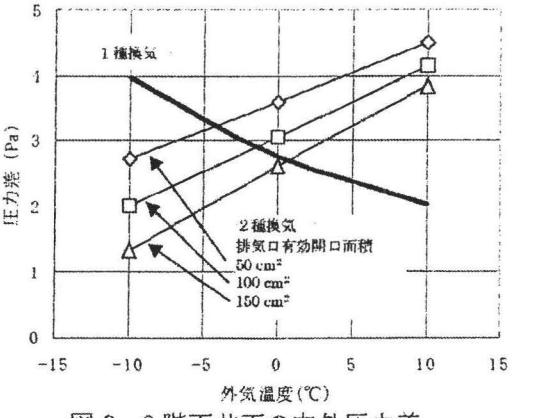
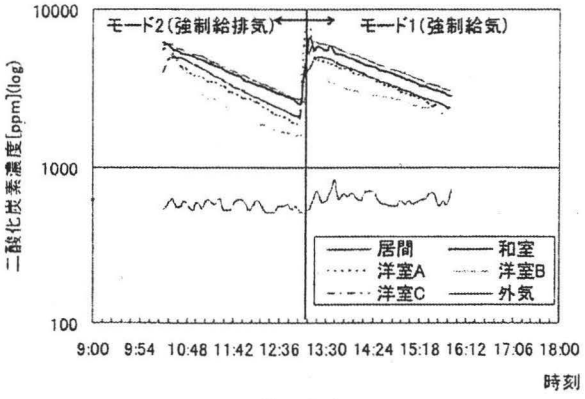
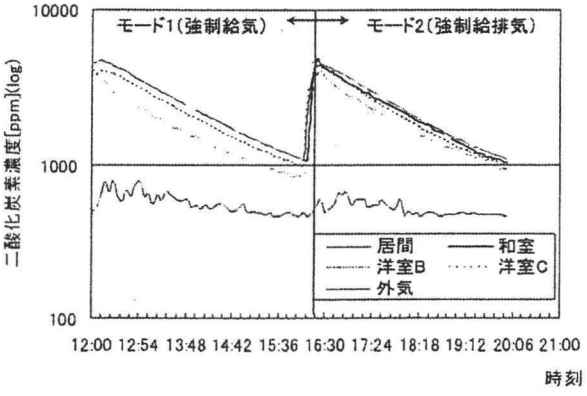


図 8 2 階天井面の内外圧力差
（室温を 20℃）



弱-2 設定



＜参考＞強-1 設定

図 2　二酸化炭素濃度

表 2　換気回数および換気量

弱-2 設定

		居間	和室	洋室 A	洋室 B	洋室 C	合計
モード 1	換気回数[回/h]	0.33	0.33	0.36	0.21	0.36	−
	換気量[m³/h] ※	23.8	11.1	12.5	7.3	19.0	73.7
モード 2	換気回数[回/h]	0.39	0.39	0.51	0.46	0.46	−
	換気量[m³/h] ※	28.2	13.1	17.7	16.0	24.3	99.3

＜参考＞強-1 設定

		居間	和室	洋室 B	洋室 C
モード 1	換気回数[回/h]	0.50	計測なし	0.58	0.53
	換気量[m³/h] ※	36.1	計測なし	20.2	28.0
モード 2	換気回数[回/h]	0.54	0.49	0.53	0.56
	換気量[m³/h] ※	39.0	16.5	18.4	29.6

※換気量は各室容積を表 1 のとおりとした場合。換気量＝室容積×換気回数

別添資料3

2004/09/05

住宅断熱コンサルタントICI、次世代換気研究会事務局
石井　宏

連絡票

〒180-0002　東京都武蔵野市吉祥寺東町2-37-19
Tel & Fax：0422-20-1535　E-mail：h-ici@parkcity.ne.jp

議題	第2種換気システム見学
日時、場所	2004/9/1　札幌ホーム企画センター分譲住宅
出席者 （敬称略）	福島/道庁、森田/ホーム企画センター、荒木/松下エコ、 須田/ダウ化工、　石井
メモ	1．押込み用ファン1基をフィルター付きケーシング内に装着させ、冬期の吹出し温度を上げるために、吹き出し口前面に温水コイル放熱機を一体化させたもの 2．ファンはDCモーター使用、寸法はファン容量に合わせてあり、今回見たものは、高さ約20cm、幅約40cm、長さ約60cm、吸気ダクトは直径150mm長さはできるだけ短く壁から約1m、できるだけ曲げないように取り付け、ダクト内の掃除もやりやすいように考えてある。フィルターは室内。 3．天井懐に設置し、懐空間を空気溜まりに利用、上下各部屋に吹き出す方式。 4．2階建てであれば、上下階およびファンからの距離に関係なく、どの部屋も給気口の面積同じで同じ給気量が得られていた 5．排気はトイレ、浴室の排気ファン以外に2階にφ150mmの排気口1個が設けられている。 6．以下のデータあり 換気量測定データ（北総研測定）、室内化学物質測定結果（道環境科学センター）、暖房時における各室のSF6濃度減衰測定 各室の新鮮空気供給元の割合、暖房時の新鮮空気供給元の割合、排気口の設計と内外差圧力分布、冬期（弱）夏季（強）運転時の1，2階各室の換気量と換気回数 7．入手資料 （1）風量測定結果　（2）天井懐を利用した加圧型機械換気システムに関する研究　（3）室内化学物質濃度測定分析結果報告書 8．感想 シンプル、メンテ容易、小型、安価（イニシャルおよびランニングともMai be）、良効率　より早い情報入手怠ったことを猛省 9．尾本さんにお願い 荒木さんから詳しく聴取して設備面については次回研究会で報告お願いします。入手資料は石井が説明します。 以上

別添資料 4

北総研第１５ －２４ 号
平成１５年５月２９ 日

〒025-0301 岩手県花巻市北湯口第二地割１番２６号
サンポット株式会社
花巻工場長　　柴田　耕平　　様

北海道立北方建築総合研究所
所長　　辻　博司

依頼試験報告書

平成 13 年 5 月 14 日付けで依頼された試験の結果は以下の通りである。

記

依頼事項
　住宅の換気システムの換気量測定

依頼事項の詳細
　第 2 種換気システムを採用した住宅の換気量を、二酸化炭素を使って測定する。

試験結果を以下に示す。

1) 試験の概要

(1) 試験対象建物の概要

a. 所　在　地　　：札幌市北区新琴似１条１３丁目１２４－４６

b. 測定対象の住宅規模：延べ床面積 130.84 ㎡（１階 70.80 ㎡、２階 60.04 ㎡）

c. 構　　造　：木造軸組工法２階建（壁はウレタン断熱パネル）

d. 施　工　者　：ホーム企画センター

建物概観と装置の設置状況を写真－１と２に、1、2 階平面図及び断面詳細図を図－1 及び 2 に、換気システムの概要を図－3 に示す。

写真－1 試験建物外観

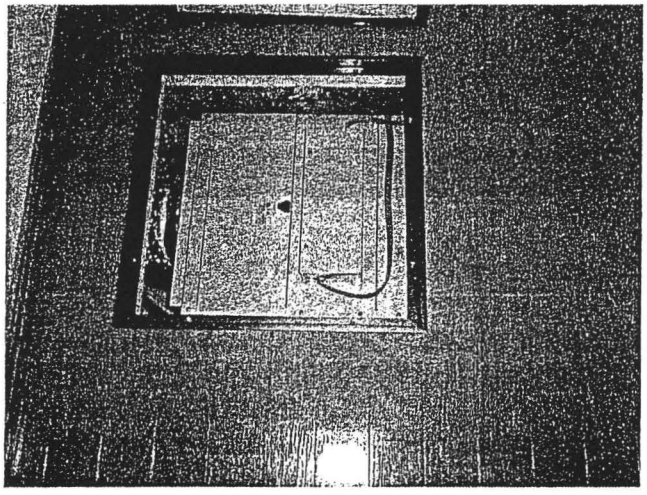
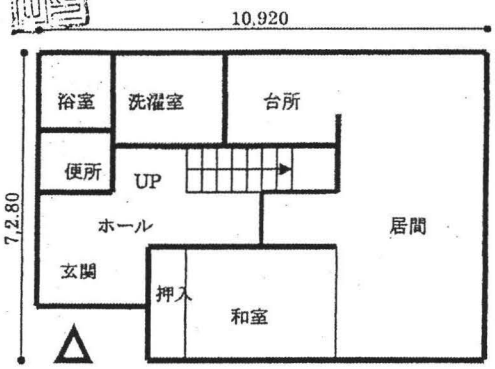
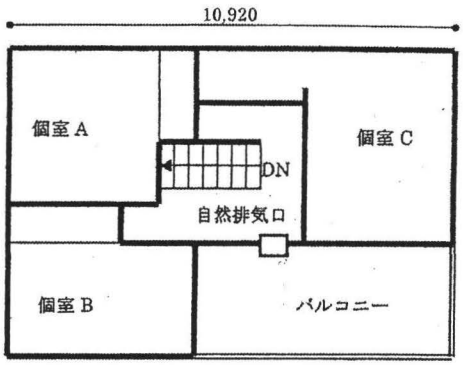


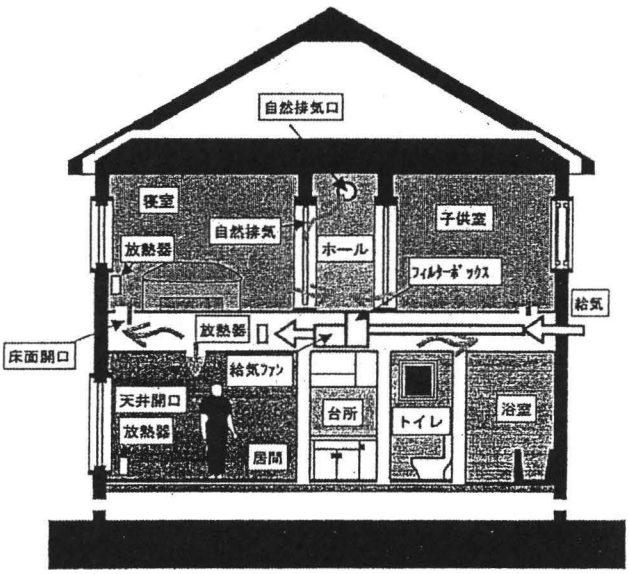
写真 2　換気装置の設置状況



図－1　1階平面図



図－2　2階平面図



図－3　2種換気の概念図

断熱パネルによって高い気密性能を実現した木造住宅を対象に、天井懐空間を加圧チャンバーとして利用した強制給気型の換気システムである。ダクトファン等によって天井懐空間に強制的に給気し、天井面や床面の開口から各居室に給気する方法である。

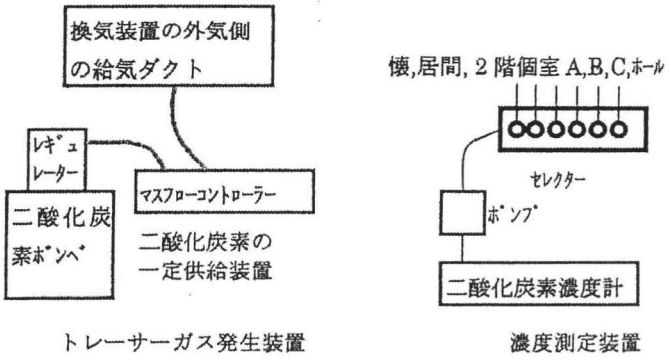
現在一般に普及している1種換気と3種換気に対して、給気予熱が容易な点や新鮮空気の搬送に有利である。特に、天井懐を給気空間に利用することで、ダクト配管が少なく極めて簡素なシステムで高い効果を得ることが可能である。

(2)測定項目と測定方法

測定項目は、機械給気装置の給気量と、各室への給気量である。測定方法の概要を図－4に示す。

① 機械給気量の測定

機械給気量は、一定量（約 0.5 ﾘｯﾄﾙ/min）の二酸化炭素を排気装置の外気側の給気ダクト内に注入し、居室の床吹出し口（装置の近傍）でサンプリングし、二酸化炭素濃度を測定した。



図－4　換気測定装置

機械給気量は次式により計算する。

$Q = W / (Ci - Co) \times 1000{,}000$

ただし

Q：給気量（m^3/h）機械給気装置を通過する空気量

W：二酸化炭素の発生量（m^3/h）

Ci：天井懐濃度（ppm）給気装置から天井懐に吹出す空気の濃度

Co：外気濃度（ppm）給気装置の外気側ダクト内の濃度

② 各室への給気量

換気装置を停止した後、各室に濃度が2500ppm程度になるように、二酸化炭素を発生する。室内の濃度が安定した後に、換気装置を稼動し、各室の二酸化炭素濃度変化を測定する。次に示すザイデル式から、換気回数nを計算する。

ザイデル式

$$n = \frac{-2.303}{t} \log \frac{Cit - Co}{Ci0 - Co}$$

ただし

n：換気回数（回/h）換気量を室容積で割ったもの

t：経過時間（h）分析開始時間からの経過時間

Cit：分析開始後t時間後の濃度

Ci0：分析開始時の濃度

Co：外気濃度

表2に測定した空間およびその床面積と室容積を示す。居間は1階居間を中心に、和室と台所を加えた空間である。2種換気では、室間の換気を考える必要がないため、測定した空間の換気量は、天井懐からの給気量を直接示すと考えられる。

表2　測定した空間とその床面積および室容積

		床面積 m^2	高さ m	室容積 m^3
1階	居間	49.69	2.4	119.25
	ホール*	21.12	2.4	50.68
2階	2階個室A	13.66	2.4	32.79
	2階個室B	14.91	2.4	35.77
	2階個室C	20.29	2.4	48.69
	ホール*	11.18	2.4	26.83
合計				314.02
換気回数（回/h）				0.5
必要換気量 （建築基準法では、便所、浴室、収納を除外できる）				157.01 (136.1)

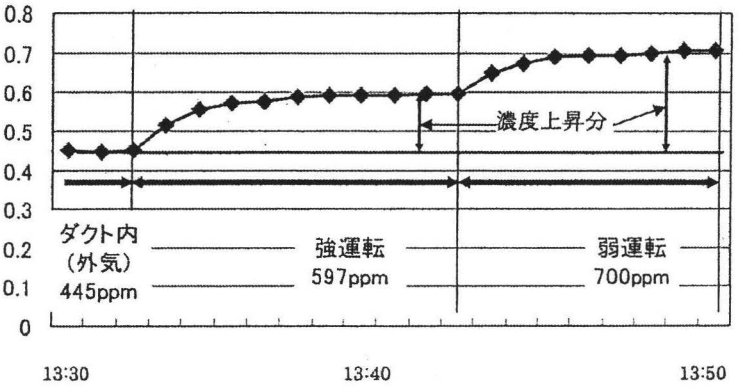
*ホールは各室からの給気が集まるため、測定していない。

2. 試験結果および考察

測定は、2003年5月27日午後1時から午後4時の間に行った。

(1) 機械給気装置の給気量

図－5 に発生時の床吹出し口内部の濃度変化を示す。ダクト内濃度と安定後の吹出し口濃度の差が、二酸化炭素の発生によって上昇した分である。



図－5　二酸化炭素一定発生時の給気の二酸化炭素濃度

表－2 に測定結果と分析結果を示す。強運転時、202m³/h 換気回数は、0.65 回/h となり、建築基準法で求める換気装置としての設計風量0.5回/hを30%超える性能を実現している。弱運転時は118 m³/h、0.37 回/h で、冬季の換気量調節の範囲として良好な範囲にある。

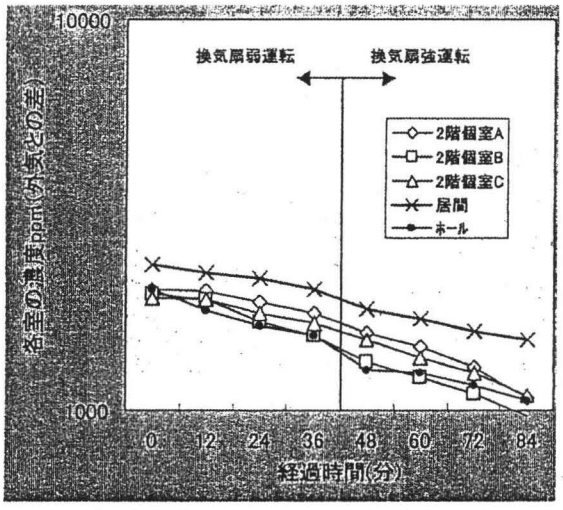
表－2　給気量の測定結果

条件	天井懐濃度 ppm	外気濃度 ppm	濃度上昇分 ppm	二酸化炭素発生量 m³/h	給気量	換気回数 回/h
強運転時	597	445	152	0.0308	202.6　m³/h	0.65 (0.74)
弱運転時	705	445	260	0.0308	118.5　m³/h	0.38 (0.44)

() 内は、建築基準法による換気の必要な居室の容積で計算したもの

(2) 各室の換気量

各室の換気量は、各室の二酸化炭素の濃度変化により推定する。各室の濃度減衰の結果を図－5 に示す。二酸化炭素を発生後、40 分間弱運転で濃度変化を測定後、約 40 分間、強運転に切り替えて測定した。



図－4 各室の二酸化炭素の濃度減衰

前半 40 分と後半 40 分の濃度減衰をザイデル式に代入し、求めた換気回数および室内容積を掛けて求めた換気量を表－3、4 に示す。弱運転時には、トータル給気量 118 m³/h に対して約 85%の 103 m³/h が居間及び個室に給気されており、約 15 m³/h がホール、便所などその他の居室に給気されている計算になる。また、強運転時には、約 75%が居室に給気されているが、その他の空間に給気される量が 50 m³/h 程度になる。全体的な換気バランスとトータル換気量ともに良好な状態である。

表－3 換気装置弱運転時の換気回数および換気量

	居間	2 階個室 A	2 階個室 B	2 階個室 C	合計
換気回数(回/h)	0.24	0.34	0.55	0.33	
内容積(m³)	119.25	32.79	35.77	48.69	
換気量(m³/h)	28.4	11.2	19.6	16.2	103.8

表－4 換気装置強運転時の換気回数および換気量

	居間	2 階個室 A	2 階個室 B	2 階個室 C	合計
換気回数(回/h)	0.32	0.75	0.60	0.54	
内容積(m³)	119.25	32.79	35.77	48.69	
換気量(m³/h)	37.8	24.5	21.3	26.5	147.9

3. 調査担当者

環境科学部　主任研究員 福 島　明

No. V16-0618

分析結果報告書

平成 16年 6月 18日

株式会社 ホーム企画センター 御中

財団法人 北海道環境科学技術センター
〒001-0024 札幌市北区北24条西14丁目8番5号
TEL (011)758-1161 FAX (011)758-1191

平成 16年 6月 10～11日採取の試料の分析結果について下記のとおり報告いたします。

記

件 名：齊藤 正恵様邸（小樽市緑１丁目）の室内化学物質濃度測定

分析項目	単位	分析結果		分析方法
		居間	2階寝室	
ホルムアルデヒド	ppm	0.01 未満	0.01 未満	ＤＮＰＨ誘導体化固相吸着／溶媒抽出―高速液体クロマトグラフ法
アセトアルデヒド	ppm	0.01 未満	0.01 未満	
トルエン	ppm	0.01 未満	0.01 未満	固相吸着／溶媒抽出－ガスクロマトグラフ法
キシレン	ppm	0.01 未満	0.01 未満	
エチルベンゼン	ppm	0.01 未満	0.01 未満	
スチレン	ppm	0.01 未満	0.01 未満	
室温	℃	20.4	20.8	デジタル温度計
湿度	%	53	54	デジタル湿度計
気流	m/s	0.1 未満	0.1 未満	デジタル風速計
測定時刻	－	9日14:05～10日14:05	9日14:10～10日14:10	－

採取時の状況
- 天候：くもり
- 外気温度： 15.3 ℃
- 外気湿度： 76 %
- 測定位置：部室中央 1.2m高
- 採取時間：24時間
- 採取方法：パッシブ型採取法

厚生労働省室内濃度指針値
- ホルムアルデヒド：0.08 ppm
- アセトアルデヒド：0.03 ppm
- トルエン：0.07 ppm
- キシレン：0.20 ppm
- エチルベンゼン：0.88 ppm
- スチレン：0.05 ppm

別添資料５

次世代換気研究会報告

狭山Ｆ邸壁体内温湿度測定について

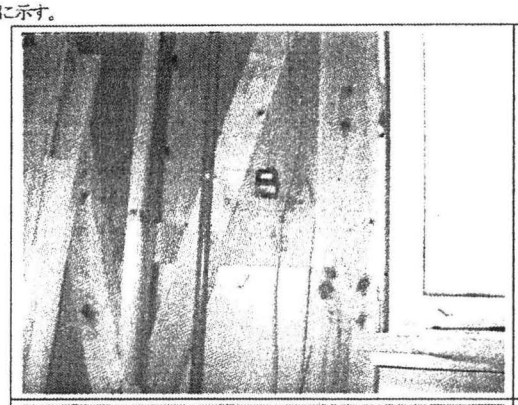
岩前　篤
近畿大学理工学部建築学科　助教授・博士（工学）

１．はじめに

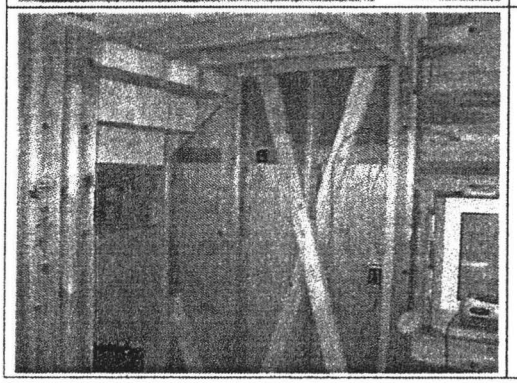
第２種換気方式による壁体内温湿度変動性状をみるために、関東・関西１件ずつ、実際の住宅に換気システムと計測システムを設置し、その状況を見た。本報は、関東におけるモニタリング、狭山Ｆ邸に関する結果である。

２．測定概要

工事期間中、対象邸の小屋裏３階部、２階、１階、それぞれの壁体内に温湿度記録計(T&D 社製おんどとり RTR-53 ワイアレスタイプ）を設置した。２階・１階については、東西南北各方位を代表するように配置した。設置の状況を写真に示す。



２階北、窓横のポイント



２階東、３階への階段下の壁

３．結果概要

2004 年６月２４日～１０月１６日の期間について、壁体内の温湿度変動を示す。計測点は、若い番号ほど上階（３階部分）を意味する。

代表点について、期間全体の温度と相対湿度の変動を図－１に示す。

P1：３階西壁内、P7：１階北、P10：床下

1. ３階壁体内の温度は最高３６℃まで上昇した。
2. １階では、最高３３℃まで上昇
3. １階と３階の温度差は概ね５℃程度

4.　相対湿度では、床下が最も高く、最高 70%程度

5.　3階では暑い時期は 50%程度まで低下し、秋になると 70%弱まで上昇

月初め3日間について、全点の結果を図－2～4に示す。

6.　相対湿度は小屋裏部（P2）を除きほぼ一定であり、居室との相関が低いことが示されている。

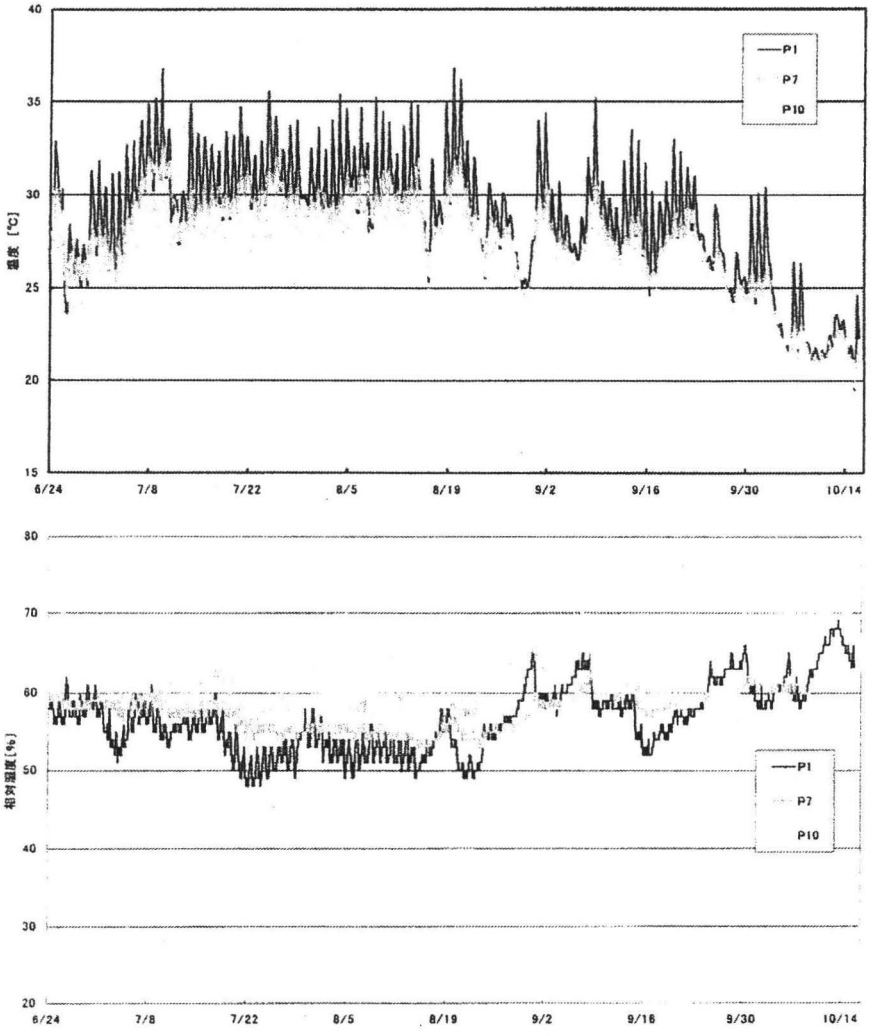
※　タイトな空間での、構成部材による調湿効果と考えられる。

2005年3月の居室空間の温湿度変動を図－5、図－6に示す。居室にもかかわらず、温度が全般に低く推移している。CH.7の高温化は、空調システムの暖気の影響と考えられる。すなわち、暖房使用時間も短く、全般に低温を主とする生活といえる。湿度は乾燥型暖房の影響で、低湿気味であるが、概ね 40%程度に推移している。

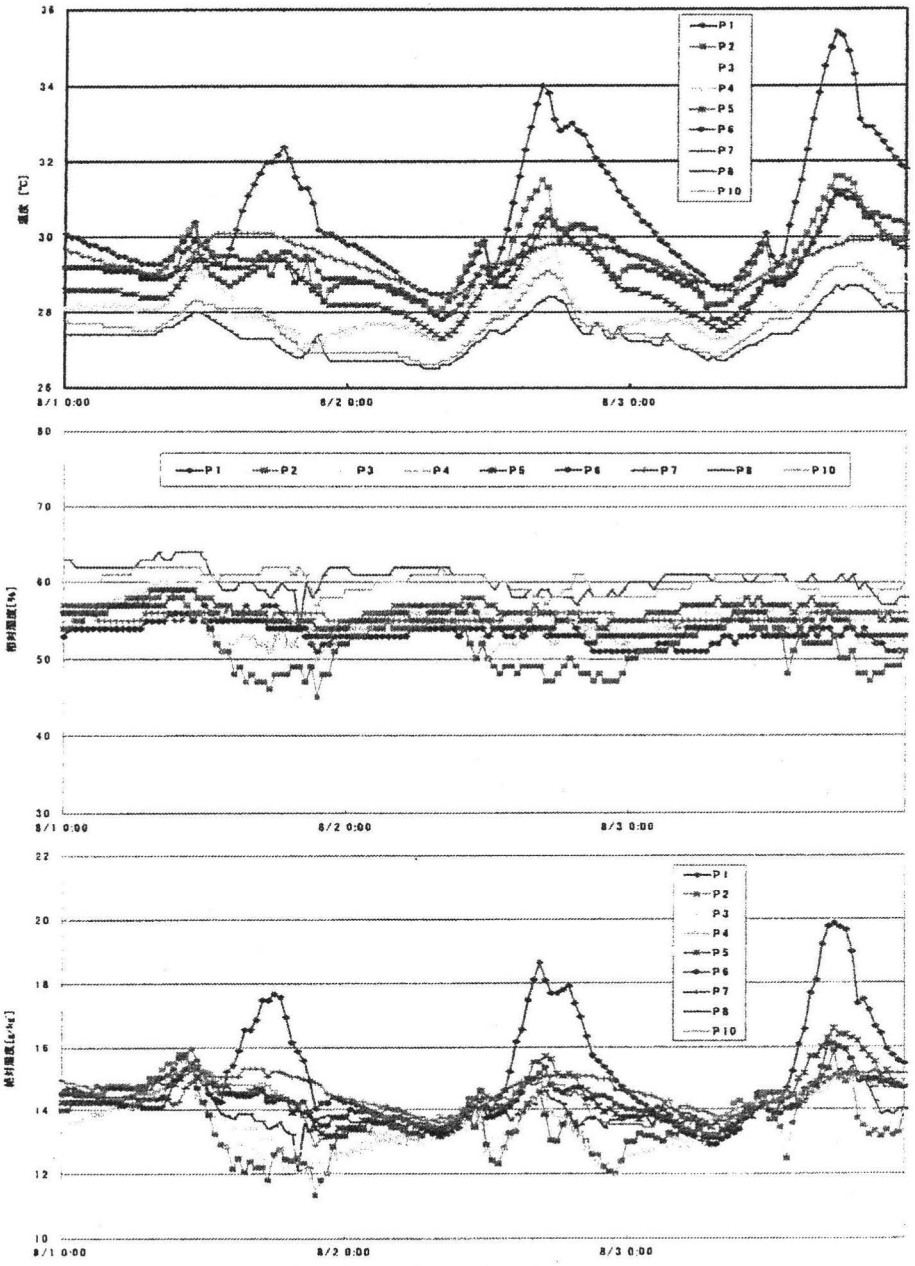
4．まとめ

以上より、当該邸においては、壁体内は居室側との水分の相関が低く、2種換気による水蒸気の押し込み現象は特に見られていない。壁体内の湿度環境は、壁体構成部材による調湿効果の支配下にあるといえる。

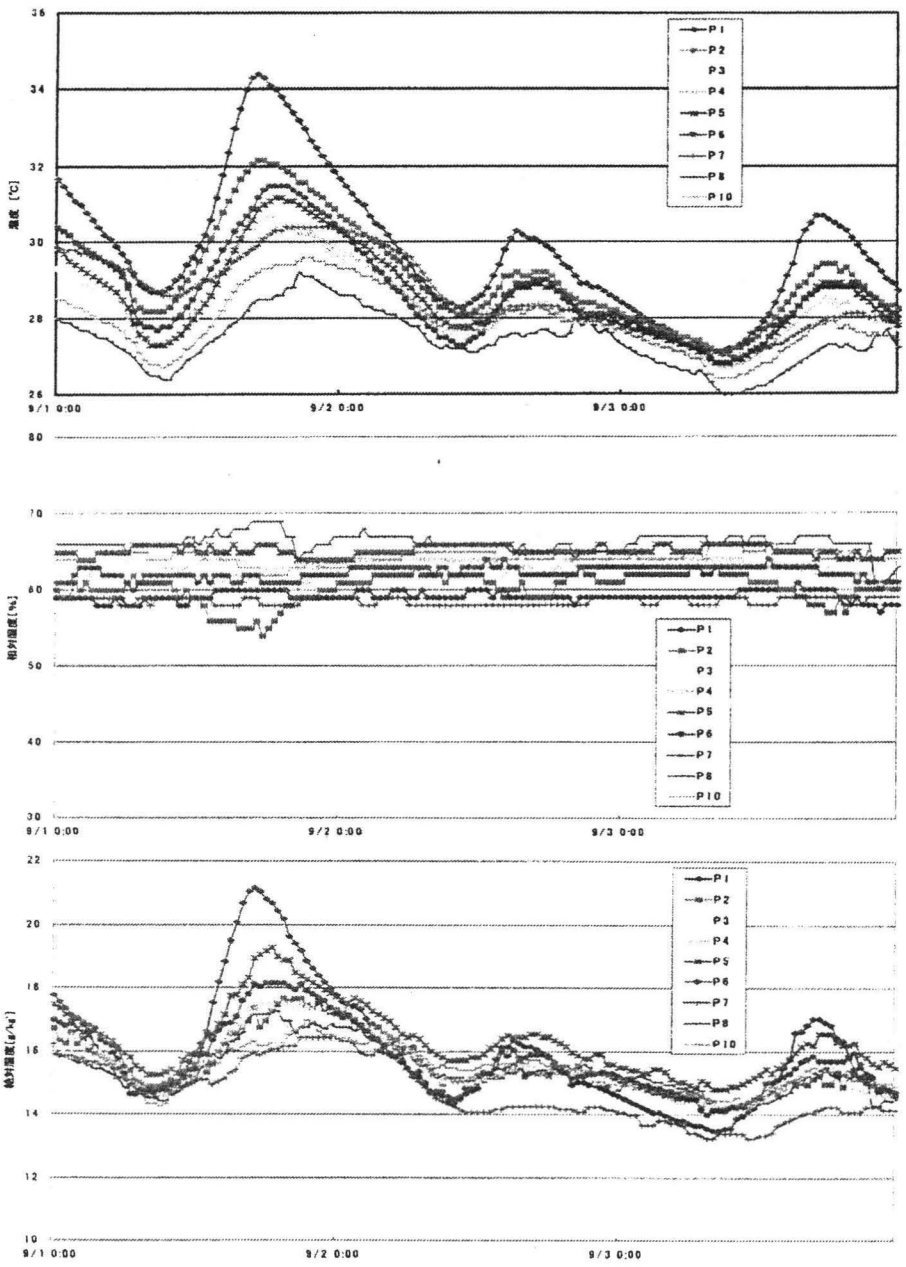
以上



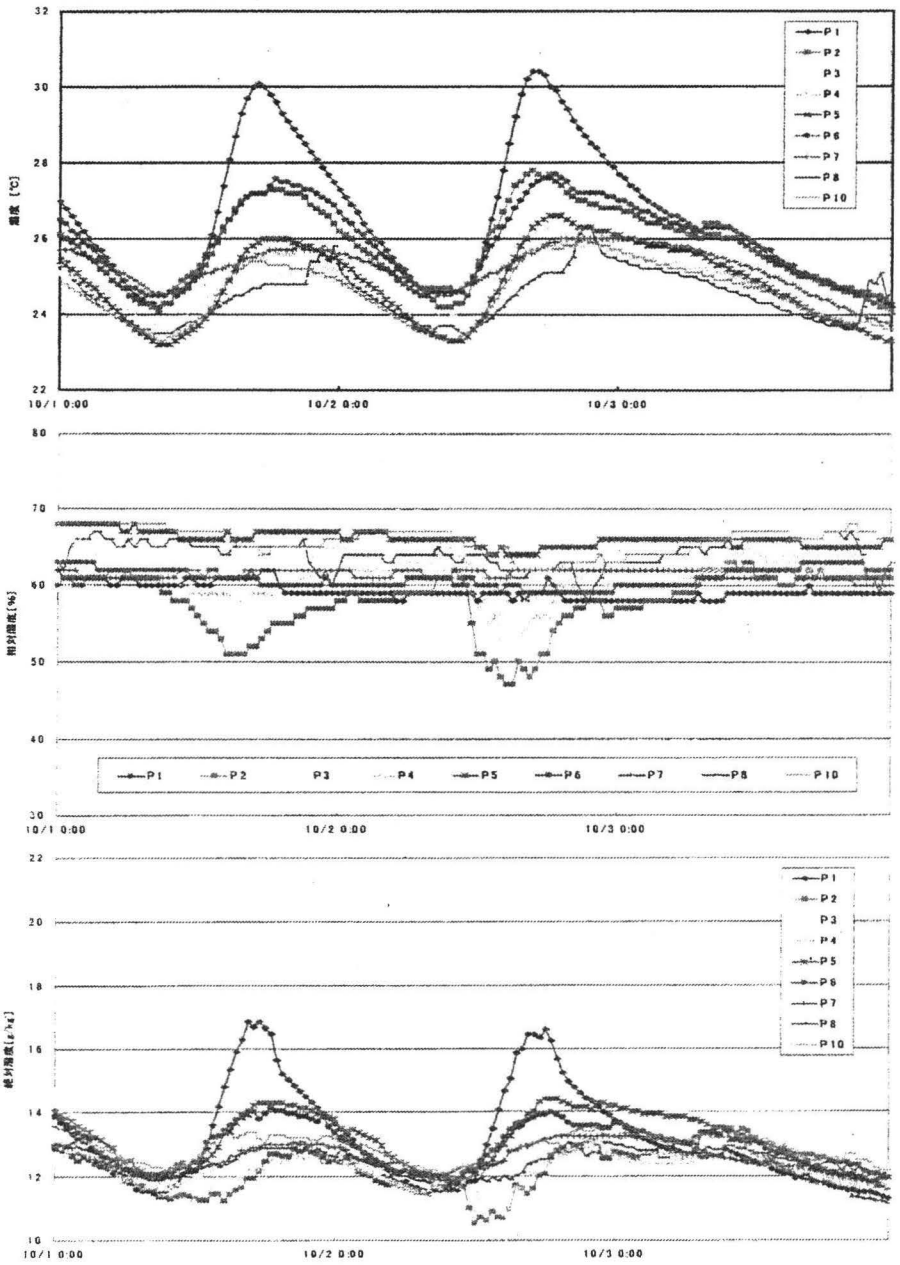
図―1　代表点の温度・相対湿度変動（期間全体）



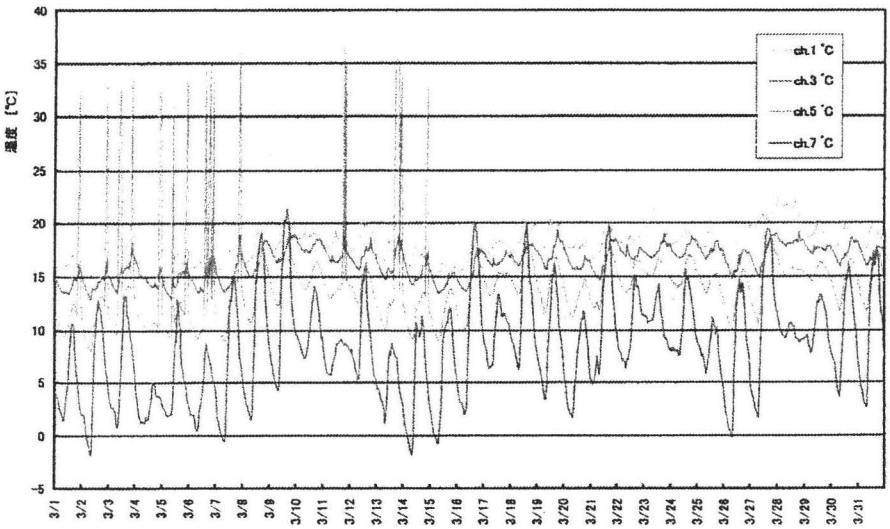
図―2　計測全点：　8月1日～3日



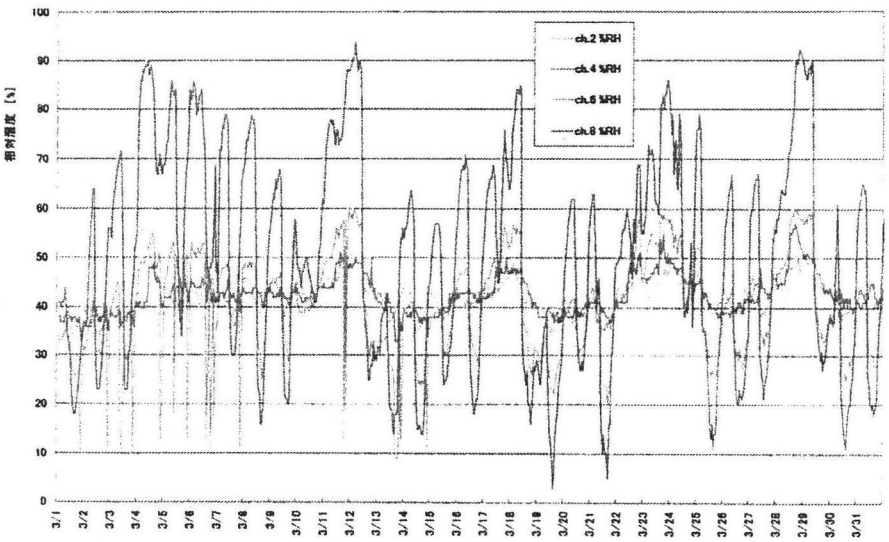
図―3　計測全点：　9月1日～3日



図―4　計測全点：　１０月１日～３日



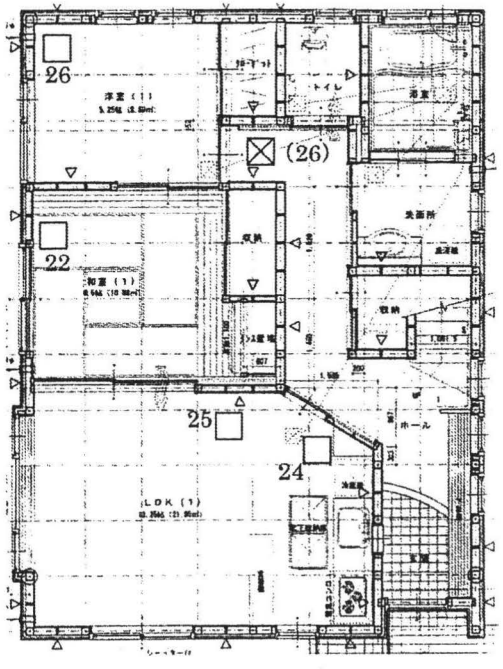
図―5　居室温度の変化（２００５年３月）

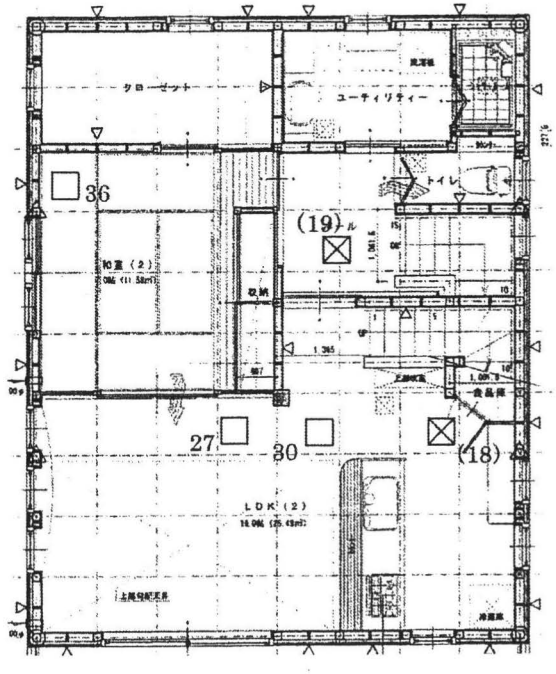


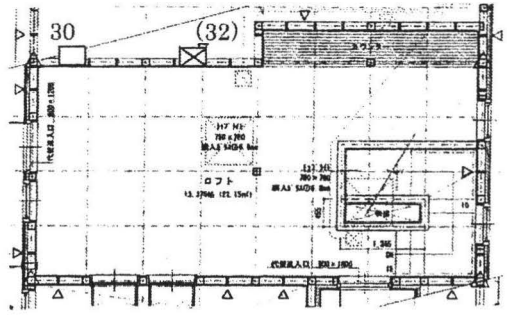
図―6　居室相対湿度の変化（２００５年３月）

20040929

関東実験棟（藤村邸）換気システム風量測定結果







給気合計：２２０m³/h

循環合計：９５m³/h

別添資料 7

第２種換気システムの壁体内結露に与える影響に関する実験的研究

正会員　○岩前　篤[*1]
同　小峯裕己[*2]
同　石井　宏[*3]
同　尾本英晴[*4]
同　小浦孝次[*5]

結露　換気　移流
断熱　水蒸気圧　温度

１．はじめに

現状の住宅換気システムでは第３種、第１種の使用が多数を占めている。第２種が採用されない理由として、押し込み換気による壁体内への湿気流入の増加とこれによる結露の発生があげられる。しかしながら第２種換気には、新鮮外気を空間毎に必要量与えることが比較的容易に行える、フィルターが集中しているためメンテナンスも容易というメリットが期待される。

表１　各換気システムの特徴

	１種	２種	３種
初期コスト・運転コスト	×	○	○
換気能力	○	○	×
壁内からの汚染物質拡散	○	○	×
メンテナンス	○	○	×
壁体内結露	○	?	○

一方、戸建住宅工法では、木軸の外張り断熱工法の普及が進んでいる。本工法では、壁体内空間外側、断熱層の内側に気密層を持つため、壁体内空間に仮に湿気が流入しても結露には至らない可能性が考えられる。

本研究は外張り断熱工法住宅において、第２種換気方式による室内正圧状態が壁内湿度に与える影響を把握することを目的とする。実際に建築された住宅に第２種換気方式の換気システムを取り付け、壁体内部の温湿度変動を計測することで、評価を行った。また、絶対湿度を水分の未知数とする熱水分同時移動方程式を用いた加湿時の壁体内湿度変動より壁体流入空気量を推定した。

２．実験の概要

実験対象住宅は図１に示す京都府木津町に建つ外貼り断熱工法による木造２階建て住宅である。延床面積 136.16m^2（1 階床面積 78.66m^2、2 階床面積 57.50m^2）、気密性能は、実測より相当隙間面積 1.0cm^2/m^2 前後、この地域では相当な高気密である。

２階小屋裏に換気システム本体を設置し、これよりダクトで各居室空間に新鮮外気を押し込んだ。排気は各居室の壁に取り付けた自然通気口による。

実験対象住宅の１・２階それぞれに東西南北 4 方位の壁内、小屋裏、床下の計１０箇所に温湿度計を設置し、３０分毎に記録した。加湿実験時には、壁に隣接する居室の温湿度を別途、記録した。

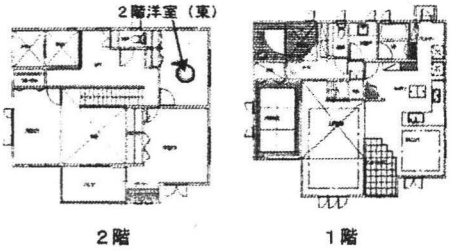


図１　実験対象住宅平面図

３．実験結果

測定は８月下旬から１月上旬まで行った。10/15 以降は第 2 種機械換気の稼動を開始した。結果の一部を図２に示す。壁内は温度が明確な日変動を示すに対し、相対湿度は概ね安定していることから、壁体を構成する木材の吸放湿現象の影響が考えられる。

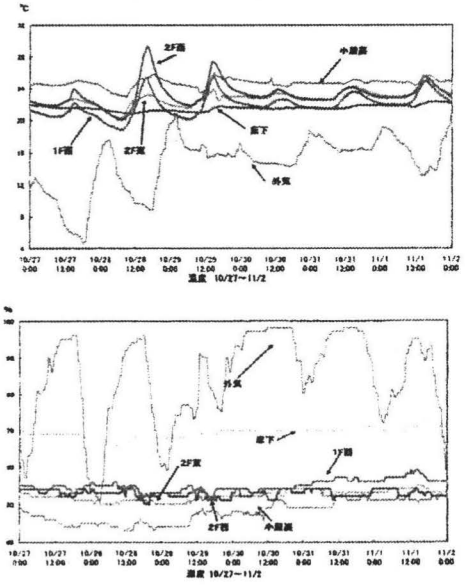


図２　非加湿時の壁体温湿度変動（10/27～11/2）

A Experimental Study on Influence of Forced Ventilation on Humidity Variation in the Wall

IWAMAE Atsushi, KOMINE Hiromi, ISHI-I Hiroshi, OMOTO Hideharu

室内正圧による透湿性状把握のための加湿実験として、12/29～1/1 に 1 階のみ加湿（扉開）、1/12～1/13 に 2 階各部屋での加湿（洋室（東）のみ扉閉）の 2 種類を行った。加湿器運転方法は湿度 60%を維持する連続運転で行った。

2 階加湿時の室内・壁内温湿度の変動を図 3 に示す。2 階洋室（東）では 8.3℃、35%の空気が 12.0℃、99%まで上昇し、水蒸気圧は 995 Pa に上昇した。壁内では 10.0℃、42%の空気が 11.2℃、50%まで上昇し水蒸気圧は 241 Pa に上昇した。

図 4 に居室と壁内の水蒸気圧の相関を示す。1 階加湿時、室内水蒸気圧の上昇は 2 階洋室（東）のほうが遅いことから、空気の流れは 1 階から 2 階へと流れており、それに従って壁内水蒸気圧の上昇している。

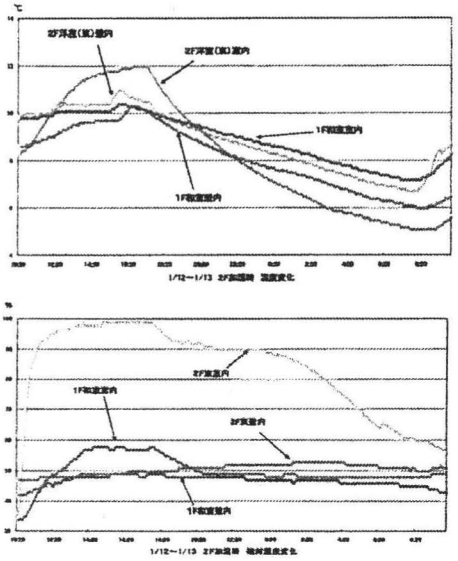


図 3 室内・壁内の温度・相対湿度変化（2 階加湿時）

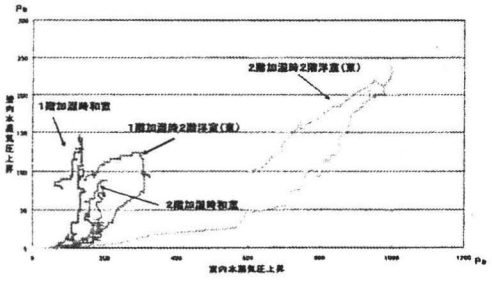


図 4 室内と壁内の水蒸気圧の相関

扉を閉めた状態で壁内の水蒸気圧上昇は、室内水蒸気圧上昇のおよそ 4 分の 1 程度であることがわかった。このことは温度条件が変化しても大略変わらない性状である。このことは室内正圧による水蒸気流入が壁体内に作用しても、壁体内の水蒸気量が隣接する室内より高くなる可能性は極めて低いことを意味する。これにより本対象では壁内結露の発生は低いことが示されたと言える。

壁体内流入空気量を湿度変動から推定する。絶対湿度と温度を未知数とする Hygroscopic 領域を対象とした熱・湿気同時移動方程式系を本対象壁体に適用し、壁体内湿度変動を算出した。壁体内空間を 1 質点、室内側壁体（石膏ボード）と外気側壁体（合板＋断熱材＋外装材）内を 1 次元伝導場と見做し、流入空気量は、室内から壁体内への相互換気で表現した。壁体の幅は 1m、高さ 2.5m とした。換気量をいくつかの条件で設定した計算結果を図 5 に示す。

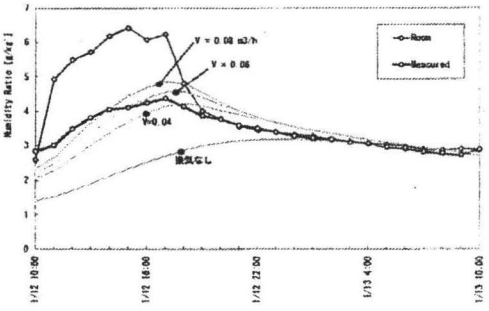


図 5 計算結果と計測結果の比較

初期値の設定、物性値に依存するため、詳細な検討は今後の課題であるが、概ね、換気量は 0.04～0.06m^3/h 程度であったと言える。

謝辞　本研究は(財)トステム財団の支援を受けている。本研究は当時近畿大学卒論生の泉周作氏（現：第一工業㈱）の全面的な協力による。記して謝意を表する。

[参考文献]

1) 池田哲朗他、「建築環境工学Ⅱ－熱・湿気・換気－」
2) 建築設備学教科書研究会、「建築設備学　新訂版」彰国社
3) 松本衛他、新建築学大系 10 環境物理、彰国社
4) IWAMAE A., A Development Of Pc Software To Calculate Temperature And Humidity Variations In Residential Houses, Annex41 Meeting In Glasgow, 2004.11

*1　近畿大学理工学部建築学科　助教授・博士（工学）　Associate Professor of Kinki University, Dr.Eng.
*2　千葉工業大学工学部建築都市環境学科　教授・工博　Professor of Chiba Institute of Technology, Dr.Eng.
*3　ICI　所長　President of ICI
*4　松下エコシステムズ（株）　Senior Researcher of Matsushita Ecology Systems
*5　(株)JSP　EPS カンパニー　Senior Researcher of JSP

03-11 ヨウ素化合物を利用した環境保全対応型アルミニウム建材の表面処理に関する研究

千葉工業大学機械サイエンス学科

教授　　高谷松文

1．本研究の背景と目的

①研究の背景

我が国は年間約6千トンのヨウ素を生産する世界第2位の産出国であるが、ヨウ素の応用製品はこれまでレントゲンの造影剤、殺菌剤、医薬用品等に多用されているものの、工業製品や建築資材に応用された例はいまだ報告されていない。

申請者等はヨウ素化合物を利用したアルミニウム陽極酸化皮膜は顕著な抗菌、防かび効果、かつ、トライボロジー性の向上においても有効であることを3年に及ぶ基礎的研究の結果、明らかにした。

これらの優れた諸特性を一般住宅関連の健康対応型建材に適用したり、医用公共施設の什器などに適用することにより、医療の高度化に伴い院内感染で問題視されているMRSA等の感染防止に一役を担い得るなら、これらの研究は人類の環境保全に大きく貢献することになる。

②研究の目的

本研究は次の3点を目的とする。

(A) 現在までに開発を進め、実用化中のヨウ素化合物はポリビニルピロリドンヨード（PVPI）であるが、さらにヨウ素の徐放性、その効果の持続性、人体に対する安全性及び経済性に優れる　有機、無機ヨウ素化合物を探索し、新たに実用化を目指す。

(B)　ヨウ素化合物含浸アルミニウム陽極酸化皮膜の建材としての実証試験方法を検討する。

従来、抗菌試験は小試験片によるフイルム密着法、ハロー試験法或はシエイク法を、また防かび性はJIS Z 2911に準拠しているが、実用環境にある現物試料について、抗菌性及び防かび性のその場観察的試験実施の可能性について研究する。

(C)　(A)に記した多種類のヨウ素化合物を含浸したアルミニウム陽極酸化皮膜を用い、(B)に記

した実用的判定方法で抗菌性や防かび性さらにはトライボロジー性を評価しながら、建材や什器類の機能製品への実用化を目指す。また、この段階では例えば、ベース基材の強度アップの要求から、鋼材に溶融アルミニウムをめっきした複合基材などの検討も研究対象に考慮する。

これらの研究により、社会の環境保全に貢献することを目的とする。

2．研究の方法

2－1．新しいヨウ素化合物の選定

以下の３つの方法を駆使して、本研究に適したヨウ素化合物の選定をおこなう。

①これまでに報告された国内外の専門的研究論文、技術解説誌等、可能な文献類を詳細に調査して情報を得る。

②ヨウ素利用研究会のような専門の研究機関及びその機関誌から情報を得る。

③ヨウ素及びヨウ素化合物の複数の製造メーカーから適切な情報を得る。

このようにして得られたヨウ素化合物について、アルミニウム陽極酸化皮膜の微細孔に電気化学的手法により含浸させ、次の２つの特性を調査し、実用価値の高いと思われる数点の新しいヨウ素化合物を選定し、アルミニウム陽極酸化皮膜の微細孔に強固に含浸させる電気化学的手法を確立する。

A. 含浸皮膜の抗菌性評価

フイルム密着法による抗菌性の測定と評価

B. 含浸皮膜の防かび性評価

JIS Z 2911 による防かびせいの測定と評価

C. 摩擦特性評価

ボールオンデスク型摩擦摩耗試験機による鋼球(SUJ2)を相手にした時の動摩擦係数の測定と評価

2－2．その場観察的抗菌性、防かび性の評価方法の検討

小試験片に切断し、それをその都度、公的検査機関に持ち込み試験する現状の方法は本質的に最も重要な検査手法であるが、建材、什器あるいは大型構築物等に対して、100%の定量的判定でないにしても、半ば、定性的に抗菌性や防かび性の変化を捉える評価手法の確立を目指し、

抗菌性を評価する公的研究機関や評価試薬・資材を提供する薬剤メーカー等と共同で、その場観察的測定評価方法の可能性を検討する。

２－３．実用品を目指した付帯的技術の開発と実用化検討

①実用上、機械的強度不足が指摘されるため、従来のアルミ合金材に加え、鋼材に純アルミニウムを溶融めっきし、このアルミめっき層を陽極酸化して従来と同様の抗菌、防かび及びトライボロジー性を付与する技術の開発を目的とする。

②実用製品への適用

具体的な数点の応用製品に適用し、顧客や環境の反応を調査する。

3. 研究の結果

３－１－１．ヨウ素化合物の調査結果

かん水（Brine）から取り出したヨウ素を原料として作製するヨウ素化合物マップ[1)]を図１に示す。

これらの中で本研究手法の基本である水溶性ヨウ素化合物とし、電気化学的にアルミニウム陽極酸化皮膜の微細孔に含浸するためにはヨウ素化合物の安定性、取り扱い作業性に注目し、またヨウ素化合物含浸による抗菌力、防かび力及びトライボロジー性の持続性、安定性、更に人体に対する無害性、実用化時の経済性等の条件を考慮して、従来のポピドンヨード（PVPI：Polyvinylpyrrolidone－iodine complex）の他に、β－シクロデキストリンヨウ素包接体（BCDI：β－Cyclodextrin iodine complex）及びトリメチルスルフォキソニウム・アイオダイド（TMSOI：Trimethylsulfoxnium iodine）を選定した。

これらの化合物のヨウ素の分子状態は包接又はイオン状態で結合した構造を示す。

その他、無機ヨウ素化合物にはヨウ化ニッケル（NiI_2）、ヨウ化カドミウム（CdI_2）、ヨウ化カリ（KI）、ヨウ素酸カリ（KIO_3）を検討した。これらを含浸した皮膜の色調は何れも黄色に近い色彩を示す。

3 －1 －2. ヨウ素化合物含浸皮膜の摩擦試験

図２は陽極酸化皮膜に PVPI を含浸させ、荷重 0.98N を負荷し、摩擦距離 100m の時の摩擦係数－摩擦距離の関係を示す。PVPI の含浸により、摩擦係数は 1／3 以上に低減しており、

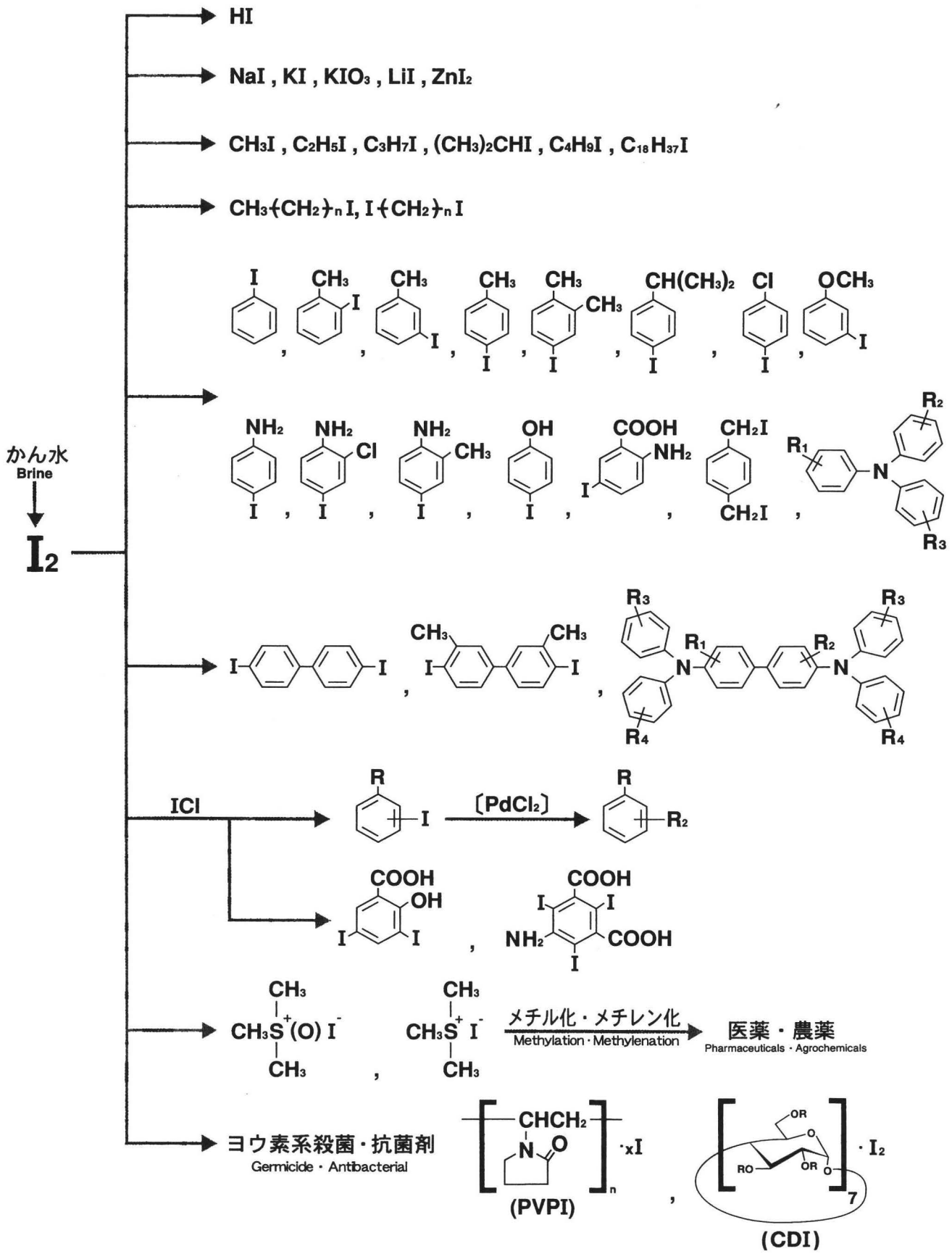


図 1　ヨウ素化合物マップ

摩擦低減に有効であることが分かる。

図3はBCDIを含浸した皮膜の摩擦試験結果を示す。この場合もBCDIの含浸により、摩擦係数は凡そ1／4に低減していることが分かる。

図 4 は溶融アルミニウムめっき鋼板の断面を示す。この試料を用いて陽極酸化処理を行い、PVPIを皮膜に含浸した時の外観を図5に示す。

図6はSUJ2鋼球を相手に荷重0.98Nを負荷して100mを摩擦した時の摩擦係数の挙動である。含浸処理により、摩擦係数は1／4以下に低減していることが分かる。

図7は無機ヨウ素化合物を含有する30μm皮膜は粗面のために表面を5μm研磨して摩擦係数を測定した結果を示す。測定は荷重8.1Nを負荷し、5cm／秒の回転速度で25m摩擦した時点の動摩擦係数を示す。比較のために未含浸皮膜及びPVPI含浸皮膜の測定結果を併記する。摩擦係数は含浸により、1／2～1／3に低減していることが分かる。

中でもKIO_3含浸皮膜が優れている。

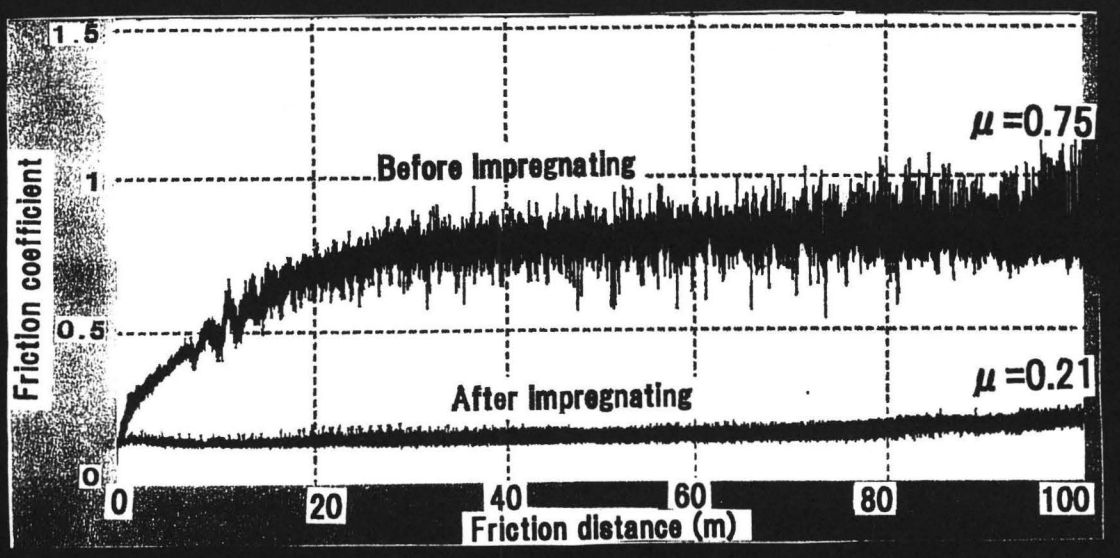


図2　PVPI含浸皮膜の摩擦試験結果

Measurement of friction coefficient with the ball-on-disk type tester

Anodic oxide coating of A1050 impregnated with BCDI
Film thickness: 30 μm, Friction load: 0.98N, Friction distance: 100m

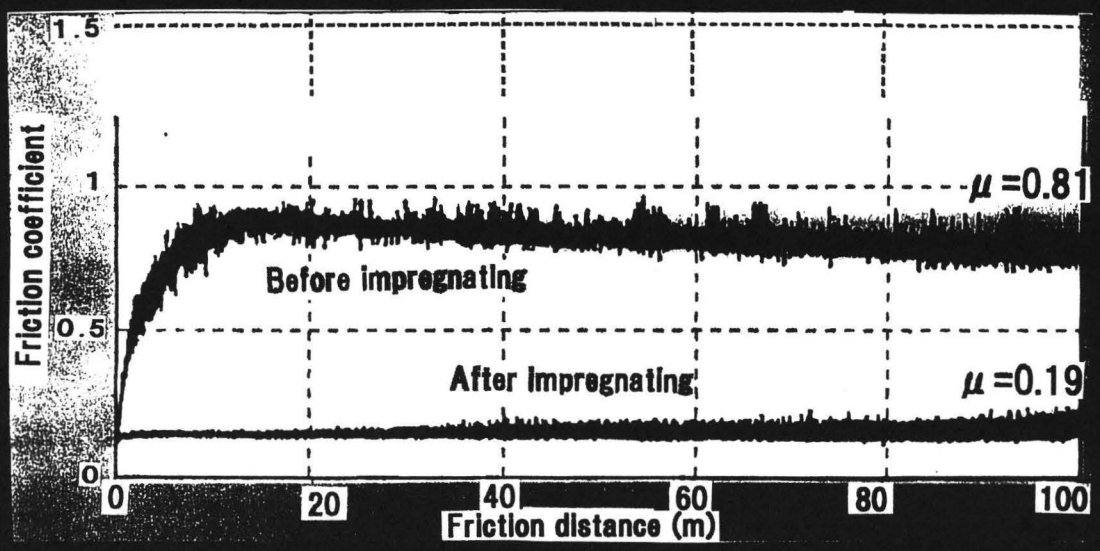


図３　BCDI 含浸皮膜の摩擦試験結果

Construction model of the specimen

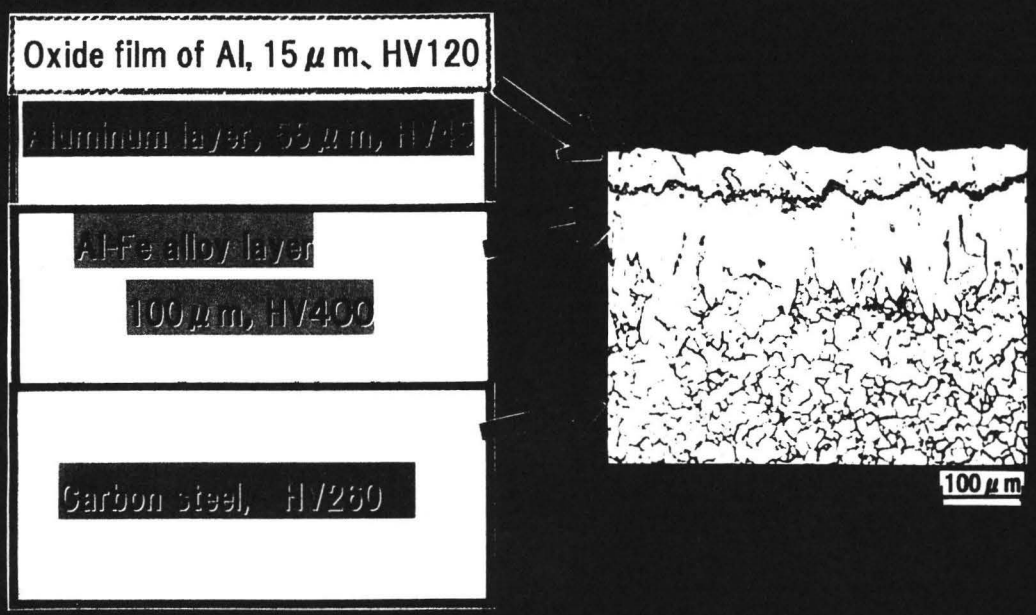


図４　溶融アルミめっき鋼板の断面

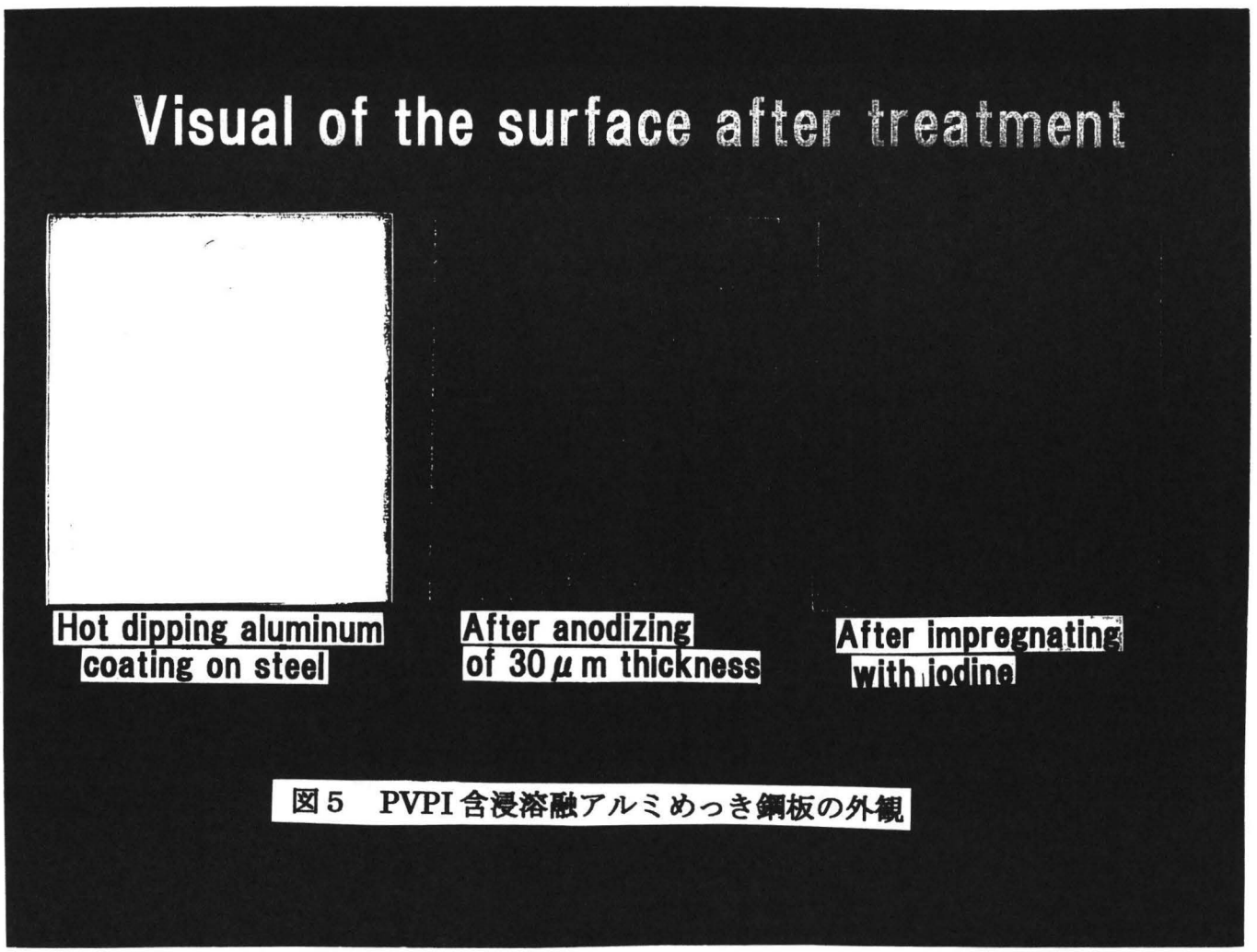


図5　PVPI含浸溶融アルミめっき鋼板の外観

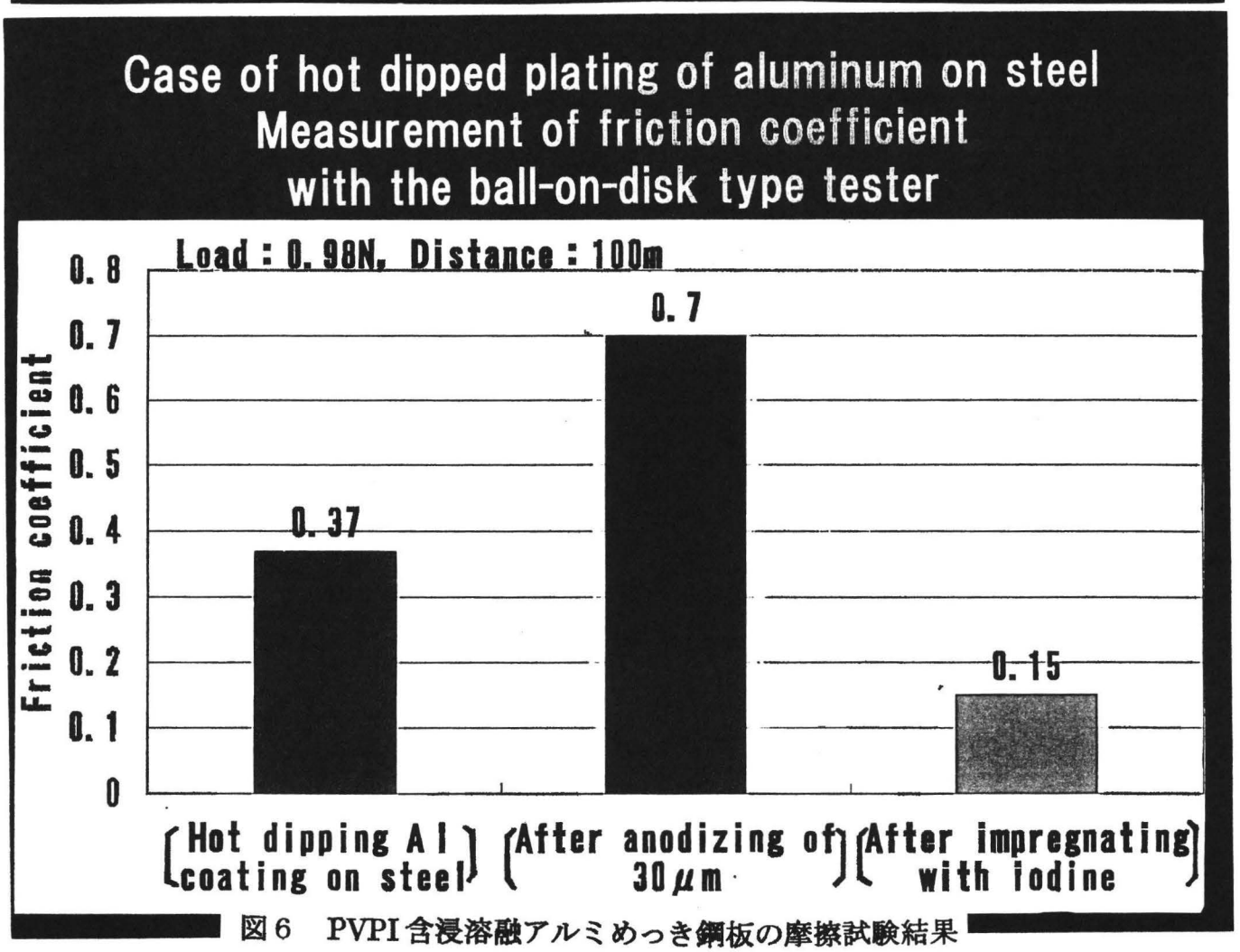


図6　PVPI含浸溶融アルミめっき鋼板の摩擦試験結果

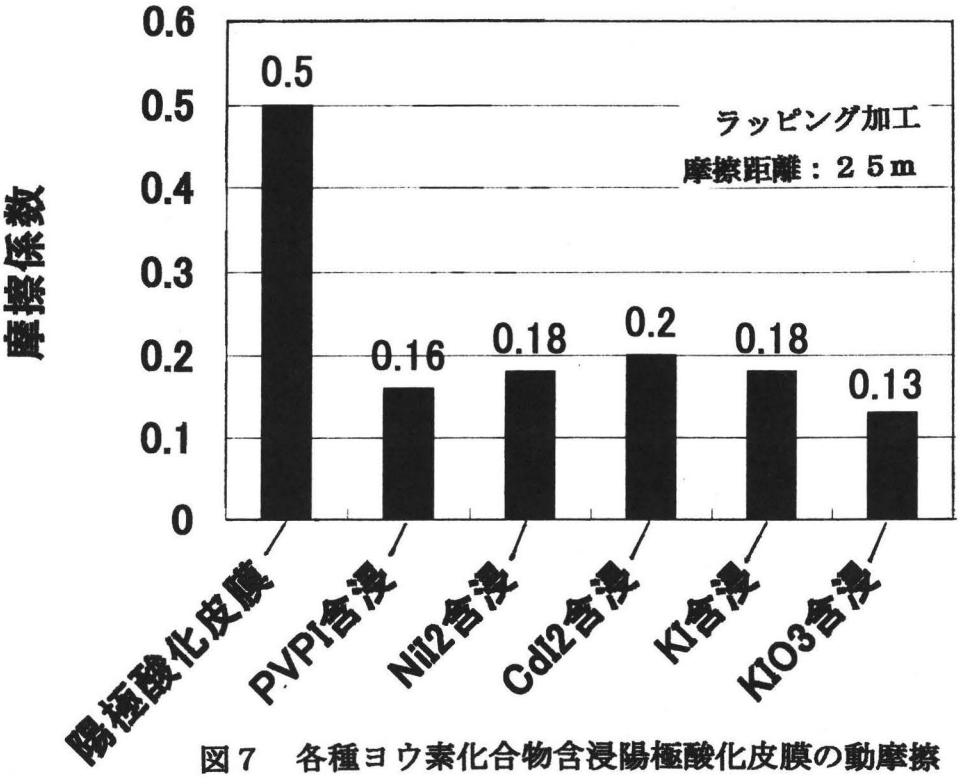


図７　各種ヨウ素化合物含浸陽極酸化皮膜の動摩擦

３－１－３．ヨウ素化合物含浸皮膜の抗菌性試験

図８は PVPI を含浸した皮膜の大腸菌(IFO3972)に対する 48 時間培養後のハロー試験結果を示す。試料の周囲には大腸菌に対する発育阻止帯が明瞭に形成されていることが分かり、抗菌性に有効である。

ヨウ素の殺菌メカニズムは諸説が報告されており、水に溶解した I_2が、$I_2+H_2O \rightarrow 2HI+O$ となって発生酸素によって殺菌する説[2)]、ヨウ素が微生物の細胞壁にある－SH 基などを酸化して酵素活性を失活させる説[3)]、ヨウ素が塩基性のアミノ酸や核酸の塩基性窒素と水素の結合に作用して N－ヨウ素誘導体を形成してたんぱく質を変性させる説[2,3)] が提案されている。

表１は PVPI, BCDI、TMSOI の有機ヨウ素化合物と KIO_3の無機ヨウ素化合物を含浸した皮膜の大腸菌に対する抗菌性の調査結果を示す。試験菌株は大腸菌（Escherichia coli JCM1649 株で生菌数測定には LB 寒天培地を用い、37℃で保存し、24 時間後に生菌数を測定した。試験スタート時の生菌数は 7.6×10^4 CFU／ml である。

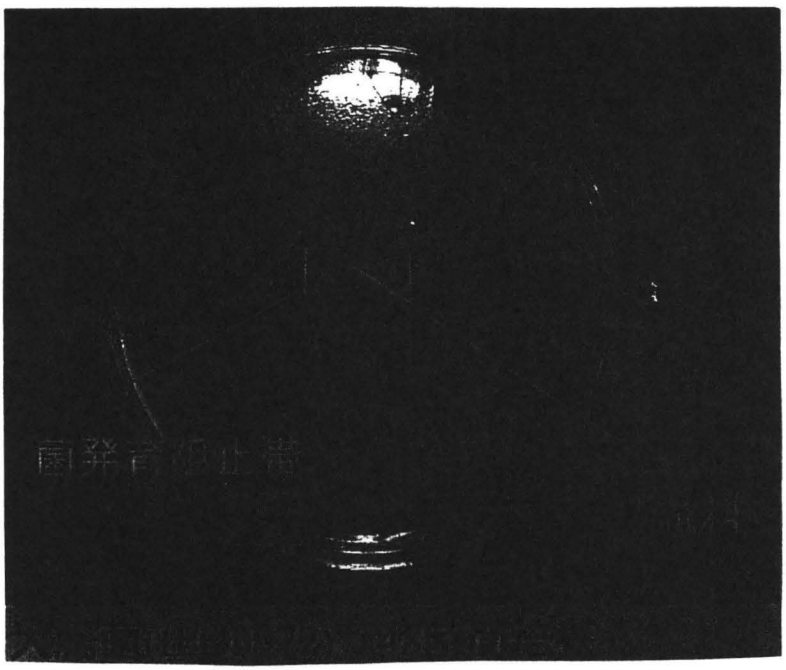
試験後は生菌数が 10 以下となり、抗菌効果の優れた皮膜である。

表１　フイルム密着法による大腸菌に対する抗菌性

ヨウ素化合物含浸皮膜の種類	生菌数（CFU／ml）
PVPI 含浸陽極酸化皮膜	＜ 10
BCDI 含浸陽極酸化皮膜	＜ 10
TMSOI 含浸陽極酸化皮膜	＜ 10
KIO_3含浸陽極酸化皮膜	＜ 10

註：初菌数　7.6×10^4CFU／ml

大腸菌を用いたハロー試験結果



A1050
PVPI 含浸皮膜

図８　大腸菌を用いたハロー試験結果

３－１－４．ヨウ素化合物含浸皮膜の防かび性試験

図９は５種類のかびの混合胞子液を用い、JIS Z 2911 に準拠した防かび性試験により、培養 28 日後のかびの生育状況を示す。陽極酸化皮膜単独では試料全面に菌糸の発育が認められるが、ヨウ素化合物含浸皮膜では菌糸の発育が全く認められず、高い防かび性を有することが分かる。

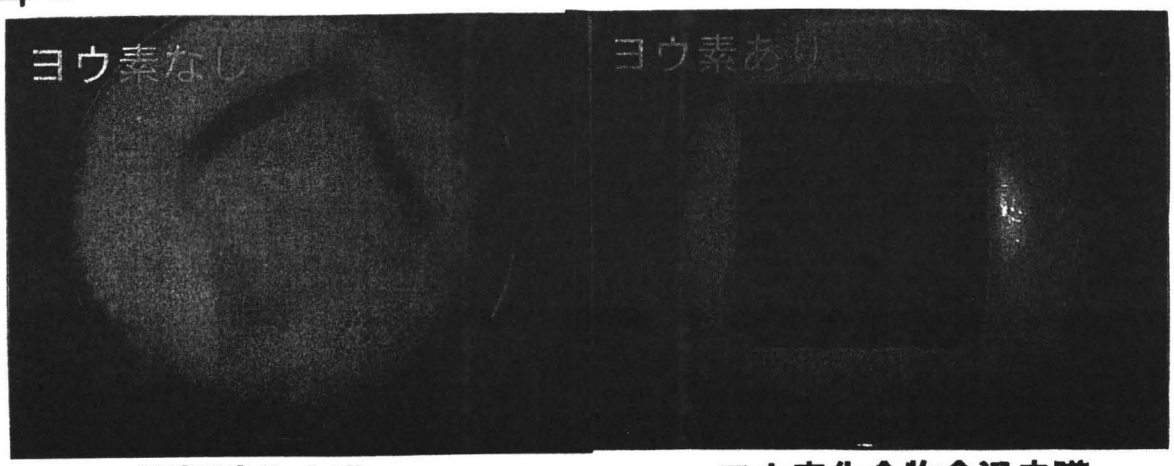
３－２．その場観察的抗菌性、防かび性の評価方法検討結果

(財) 日本食品分析センター等では、切断、細分、試料採集等が不可能な建築構造物やドア取っ

手、階段の手摺り或は什器類の抗菌性評価方法として、その場に継続的に出張して、それら構造体や器物表面の汚染物を持ち帰り、それらの中の各種の細菌類やかび類を定性、定量分析し、抗菌性や防かび性の有無を判定してはいるものの、こと、相手が細菌或はかびであると、我々が日常、安易に使用するハンドタイプのpHメーターやイオン計などといった計器類、或は化学分析に用いる試薬のような間敏な手法は無く、研究目的の1つにあげた抗菌性、防かび性の評価についてはその場観察的な安易、簡便な手法は存在しないことが分かった。そのため、今後も多額な費用を要するが、抗菌や防かび試験を受諾している公設機関に依頼していく必要がある。

かび抵抗性の試験結果

A1050
PVPI含浸皮膜



陽極酸化皮膜のみ　　ヨウ素化合物含浸皮膜

２８日後のかびの生育状態

図９　かび抵抗性の試験結果

３－３．実用品への適用

①建築構造材に応用する場合、アルミニウム陽極酸化皮膜の基材であるアルミニウム合金は通常多用するA6061－T6材でも或はA5052－H38材でも、その引張強さは295MPaに止まり、現在、強度的に最強と言われるA7075－T6でも590MPaに過ぎない。

このような状況から、基材強度はその引張強さが785MPa以上を示す鋼材が受け持ち、表面の抗菌性や防かび性或は潤滑性は表面に溶融めっき法による50～60μmの厚さの純アルミニウム層を設け、そのアルミ層を陽極酸化処理後、ヨウ素化合物を含浸する技術を開発した。

②実用製品として、ドア取っ手(図 10)、エアコン洗浄装置搭載台車、アルミ合金器物接合用ボルト(図 11)等を試作し、試用観察中である。

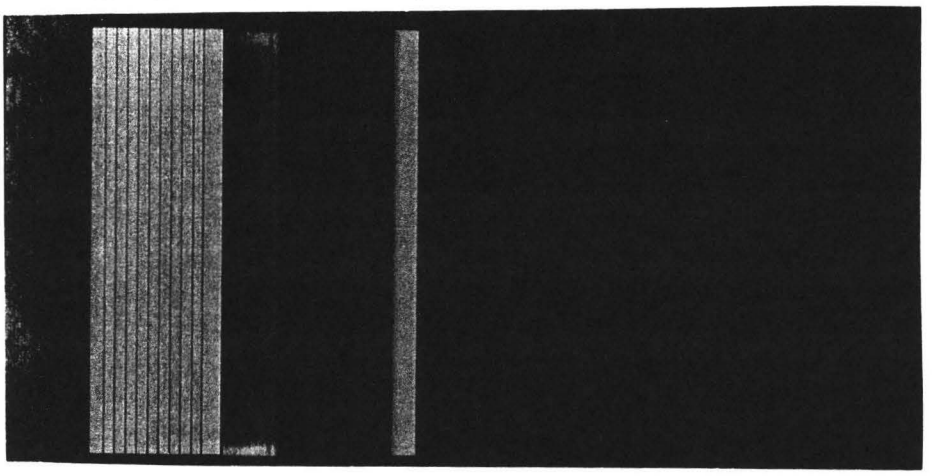


図 10　BCDI 含浸陽極酸化皮膜のドア取っ手

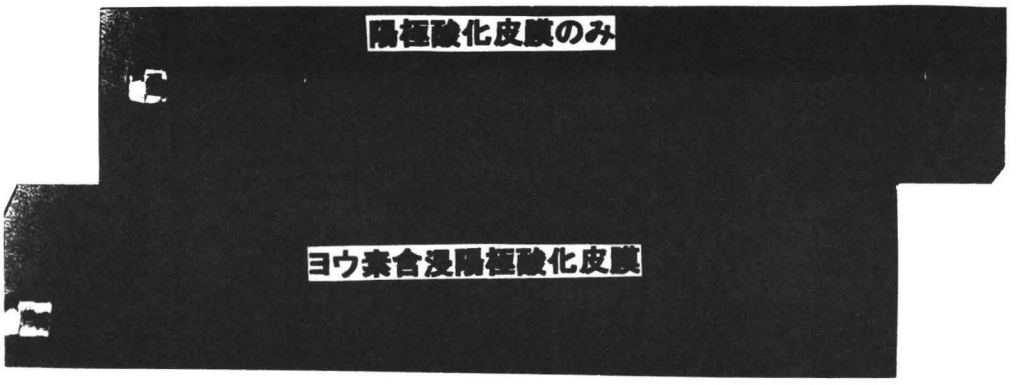


図 11　BCDI 含浸陽極酸化皮膜の接合用ボルト

4．まとめ[4), 5)]

①これまでに開発した包接化合物である PVPI と BCDI、イオン結合型である TMSOI のヨウ素化合物も抗菌及び潤滑に有効であることが確認された。これらは、除放性が強く、即効的効果があり、むしろ、遅効性に近かった従来の PVPI と混合使用することにより、さらに抗菌、防かび性の機能向上が可能である。

②特に TMSOI はアルミニウム陽極酸化皮膜への含浸条件によっては、従来の PVPI のような茶色系統の有機ヨウ素化合物独特の色調と異なり、無色に近い状態で含浸することが出来る。

③アルミニウム溶融めっき鋼板を陽極酸化処理後、ヨウ素化合物を含浸することで、アルミニウム展伸材の処理と同様に抗菌性、防かび性、潤滑性に優れた機能材料を作製することができ、環境保全型アルミニウム建材の表面処理として有用である。

④抗菌性、防かび性をその場観察的に評価する手法は現状では不可能であることが判明した。

参考文献

1)NIPPOH CHEMICALS CO. LTD.　PRODUCTS　LIST　Ver.5　p. 2

2)堀口　博，防菌防黴の化学，三共出版(1991)　p.33

3)A.D.Russel,I.Chopra 著，橋本　一監訳，抗菌作用機序と耐性機構，廣川書店(1992)　p.113

4)橋本和明，ヨウ素含浸アルミニウム材料の抗菌性，ヨウ素利用研究会 2005 年 6 月第 6 号、p.6

5)高谷松文，ヨウ素化合物修飾アルミニウム陽極酸化皮膜の特性，機械の研究，第 56 巻第 2 号（2004）p.260

03-16 集合住宅再生工事における部品化技術及びデータベースモデルの開発

椙山女学園大学　生活科学部
助教授　村上　心
(共同研究者)
椙山女学園大学　生活科学部
助　手　川野　紀江

1　はじめに

マスハウジング期に建設された集合住宅を、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は重要な課題であるが、現状における取り組みは個別の老朽マンション・団地を対象とした手探りの計画事例に限られている。また、我が国における新築中心の建築部品・生産システムを流用した散発的再生工事は、結果として、新築に比して圧倒的なコスト高を招き、ストック型社会への移行を妨げている。マスハウジング期建設の大量の集合住宅群をはじめとして、効率的な維持管理・再生工事を行っていく為には、所在があいまいになりがちな図面をはじめとする文書ではなく、例えばICタグなどによって、個々の建築部品そのものに維持管理・再生工事に必要な情報を持たせることが有効であると考える。

特に、マスハウジング期建設の大量の集合住宅群が、建築後30年～40年という、従来の我が国の「常識」としての「寿命」を迎えようとする中で、集合住宅の再生手法を部品レベルで詳細に整理し、公開可能なデータベース（以下データベース）情報システム・モデルを構築することにより、再生型建築システムの方向性を具体的に提示することが、今、必要である。

以上のような背景を踏まえた研究の目的は、再生型建築システムの具体的な方向性を示す必要性から、維持管理・再生工事において、必要な場面に応じて、情報を必要とする人が、特定の情報を取り出す仕組みを提示することである。本研究助成においては、その第1段階として、下記の3点を研究の目的とする。

①欧米再生先進国における集合住宅再生部品例の収集と、再生手法との関連付けによる整理
②我が国における再生部品開発の方向性の提示
③再生部品情報データベース・モデルのアーキテクチュアの提示

2　研究計画

2.1　研究計画の概要

研究計画の概要は、以下のとおりである。

(1)再生工事関連部品の整理

○海外先進事例及び日本における再生関連部品の収集

○海外先進事例及び日本における再生関連部品の整理

(2)海外集合住宅再生工事関連部品と日本の集合住宅再生工事関連部品の対比

(3)我が国の部品開発の方向性の提示

(4)日本の集合住宅再生工事関連部品データベース・モデルのアーキテクチュアの提示

2.2　調査の方法

【再生工事関連部品の整理】

①調査対象国の選定・研究協力者

建築市場の内約半分を再生市場が占めていること、マスハウジング期に建設された集合住宅がストックとして多くの割合で存在していること、現地研究協力者が確保できること、を基準として海外調査対象国(オランダ，オーストラリア)を選定した。

【調査対象国(括弧内は現地研究協力者)】:

○オランダ　　(Mr. Ype Cuperus 氏；デルフト工科大学 OBOM 研究所)

○オーストラリア　　(Marton Marosszeky 教授；New South Wales University)

②調査方法

●共用部分：現地研究協力者に研究目的等を説明し、日本を含めた 3 カ国共通フォーマットによる調査を依頼し、実行した。

調査期間：平成 16 年 8 月～平成 18 年 2 月

調査方法：設計者・施工業者へのインタビュー調査，設計資料の閲覧(文献調査)

調査事例：以下のとおり(詳細は図表 1-1~1-3 参照)

○日本：再生 3 事例(名古屋市)

：マンション向陽台，パークシティ鳥見，光が丘ハイツ

○ オーストラリア：新築 2 事例

：Lumiere at Regent Place，Victoria Garden Chatswood

○オランダ：再生 2 事例*/新築 1 事例**/再生＋新築 1 事例***

：*Complex50，*Keyenburg，**La Fenetre，***Florijn Noord

●専有部分：日本の 2 事例において、調査を実施した。

調査期間：平成 16 年 12 月

調査方法：居住者へのアンケート調査

調査事例：マンション向陽台(回収/配布　54/128)，光が丘ハイツ（26/49）

③調査内容(共用部分)

集合住宅再生工事及び新築工事において、実際にどのような部品が使われているのか、a.新築との共通汎用（オープン）部品、b.再生の為の汎用（オープン）部品、c.工事毎に制作される特注（クローズド）部品、という分類を用いて、各事例における部

品の収集と整理を行った。また、それらの部品が単体部品であるか、システム化されたものであるのかという点にも着目した。さらに、日本の事例について、専有部分においては居住者が、共有部分については設計者が、改修の際に部品に関してどのような情報を必要としたのかを収集・整理した。

調査の内容は以下のとおりである。(図表1~4参照)

・事例のフェイスデータ

・各部位毎に　使用されている部品が　・特注(クーロズド)部品か，汎用部品(カタログ部品)か

・再生専用部品か，新築兼用(オープン)部品か

・システム化部品(ユニット等)か，単体部品か

・各再生フェーズで必要な部品情報は何か(日本調査のみ)

・誰が、どのような部品情報を必要としているのか

3　各国における集合住宅再生部品例の収集と整理

3.1　日本の事例の概要

(1)共用部分における改修部位及び使用部品(インタビュー調査・文献調査)

図表1-1に示した3つの調査対象集合住宅について、改修工事における設計図書(主に仕様書)及び担当設計者へのインタビューによって、再生工事に実際使用した部品を抽出し整理した(図表2-1-1)。改修工事が行われている部位については、特注品か否か([custom-made parts] or [standard parts])等の項目に文字が入力されている。

部品のシステム化は、フェンス、手摺子、掃出しサッシなど限られた工事のみでみられた。再生専用部品がほとんどの部位で使用されている一方、特注部品は向陽台の手すりと天井のみであった。

(2)専有部分における改修部位及び使用部品(アンケート調査)

図表2-1-2は、専有部分の各部位の改修に使用した再生部品の、部品毎のまとまり(システム化)、及び、特注部品についてまとめている。

部品のシステム化がほとんどみられないのは、居室の「間仕切り」、浴室・洗面室の「タイル」、各室の「壁紙」等であった。台所などの設備部品では、システム化されているものが多い。

特注部品については、メーカーでキャビネットサイズなどの特注対応を行いやすい「システムキッチン」、「建具」でみられた。他は調査票中の「その他」が選択されており、具体的にははっきりしていない。全体としてみると、汎用部品(カタログ品)を利用することがほとんどであるといえる。

(3)共用部分に必要とされる部品情報(インタビュー調査)

設計者が必要な部品情報を、「維持・管理」、「調査・診断」、「計画」、「工事」の各再生フェーズ毎に整理した。また、部品情報を得た情報源を記した。修繕記録と設計図書は、どの再生フェーズでも用いられている。

通常の維持・管理段階では、管理規約・会計書類をベースに行われており、商品名

や耐用年数といった部品情報は必要とされておらず、多くの部品情報は改修計画時に必要とされた。(図表３)。

(4)専有部分に必要とされる部品情報(アンケート調査)

図表４に、居住者が、改修時(専有部分)に必要とした部品に関する情報について整理した。

居住者が、改修計画時に必要とした割合が最も多い部品情報は「価格」で、「耐用年数」、「メンテナンス方法」については一部を除いて10%以下の低い回答者数であった。

3.2 オーストラリアの事例の概要

オーストラリアで取り上げた事例は新築２事例で、うち、Victoria Garden Chatswoodは、工場から住宅へのコンバージョンの事例である。

オーストラリアの建築においては、特注部品「custom-made parts」が頻繁に使用されている。図表 2-2 では、当初特注部品であったが、その後大量生産されるようになったものを「custom-made parts*」としており、「custom-made parts」全体のうちの約３割を占めている。また、汎用部品の中で、サイズ変更が行なわれたものを「standard parts*」とした。これらは、汎用部品全体の半数以上にあたる。

再生との共通部品は、Victoria Garden Chatswoodの外壁巾木(exterior wall base)と笠木(top rail)のみであった。

システム化された部品は様々な部位で使用されており、特に「外壁」と「設備」で多くみられた。部位「外壁」の中では、外壁のカーテンウォール(exterior wall (curtain-wall))、ルーバー(Loovers)、アルミの引き戸／ドア(Aluminium Sliding Doors / Windows)、ドア・パネル(Door Panels)でシステム化部品が使用されている。「設備」では、空調機(air conditioner)、サウナ(Sauna)、プール(Swimming Pool)の部品がシステム化されていた。他に、室内の洗面ユニット(Vanity unit)やキッチン・キャビネット(Kitchen cabinets)でもみられた。

3.3 オランダの事例の概要

オランダの事例は、再生２事例(Complex50, Keyenburg)、再生＋新築１事例(Florijn)、新築１事例(La Fenetre)である。特注部品の使用はすべての事例でみられ、内容は「外壁」のtimber frame with double glass and closed panels、inner cavity wall timber frame、「屋上」のpenthouse prefab timber frame、「バルコニー」のバルコニー隔て板(balcony partition)および手摺り(handrail)であった。「新築部品」と「再生部品」の共通化はこれらの事例では見られなかった。部品のシステム化は、内容は「外壁」のtimber frame with double glass and closed panelsと「屋上」のpenthouse prefab timber frameのみでみられた。

4 海外および日本の集合住宅再生工事関連部品の対比と今後の方向性

(1)特注(クーロズド)部品の使用状況

日本およびオランダにおいては、特注部品の使用は、前述したように、handrailやtimber frameなどの限られた部位のみでみられる。一方、オーストラリアでは、逆に、

汎用部品の使用が少なく、各部位で現場対応の部品が用いられている。これらの部品は、特定の現場で特注で製作された後に、工場で大量生産されることもしばしばみられた。

(2) 新築と再生との部品の兼用について

３国とも、共用部分の各部位において、新築の場合は新築専用部品が、再生の場合は再生専用部品が使用されている例が多かった。しかし、専有部分においては(日本)、設備や壁紙で再生と新築の共用部品が半数以上の部位で使用されている。

(3) システム化部品の使用状況

共用部分についてみると、オランダの事例では、システム化部品が timber frame に関する２部位のみで使用されていたが、日本においては、フェンス，手すりなどの金物類、オーストラリアにおいてはルーバー，ドアなどの建具や共用設備でシステム化部品が使用されていた。また、日本の専有部分においては、浴室，キッチンなどの設備を中心に、システム化部品を多数使用している。

(4) 我が国の部品開発の方向性の提示

以上の成果により、今後の我が国の部品開発の方向性として、以下の３点が重要な課題として挙げられる。

- 再生部品のコスト高の解消：新築部品と再生部品の共通化を進めることにより、部品製造コストの削減が可能となる。
- 再生工事に関わる職種を減らす：部品のシステム化(パッケージ化)により、再生工事に関わる職種を削減する。また、熟練工でなくても工事が可能になる。
- 部品情報の持ち方の開発：所在があいまいになりがちな図面をはじめとする文書ではなく、例えば IC タグなどによって、個々の建築部品そのものに維持管理・再生工事に必要な情報を持たせる。

5　日本の集合住宅再生工事関連部品データベース・モデルのアーキテクチュアの提示

図表５に部品データベース・モデルのイメージを示した。個々の部品に取り付けられた IC タグは、住戸内の部品センターに定期的に情報を送信する(共用部分については管理人室等に設置)。住戸内部品センターは外部のサーバーと回線で常時繋がっており、部品メーカー、維持管理会社、設計者など、登録されたユーザーだけが、サーバーにアクセスし、必要な部品情報を入手する。

① 維持管理：維持管理会社が定期的にサーバー内のデータを確認し、遠隔操作で部品の状況を管理する。

② 調査診断：①で不具合部品が発生した場合は、部品から送られたデータにより、不具合の内容を把握する。

③ 改修計画：設計者及び部品メーカーは維持管理会社からの報告により、改修計画を作成する。また、部品見積りなどの必要な情報をサーバーを経由して住戸内部品センターへ送信する。

以上のようなシステムを構築することにより、部品情報を、必要とする人が、必要

に応じて部品情報を取り出し、効率的な維持管理、改修工事を行なうことが可能となる。

6　おわりに

本助成により、日豪蘭の再生・新築事例において、実際使用された部品の抽出と整理を行った。また、日本においては、改修時に必要とされる部品の情報について、専有部分においては、どのような部位で，どのような場面で，どのような部品情報が必要とされたかを、共用部分においては、各部位において再生フェーズ毎にどのような部品情報が必要とされたかを整理し、報告した。

さらに、日豪蘭における部品に関する対比を行い、今後の部品開発の方向性を含めた考察を行なった。

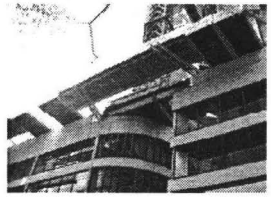
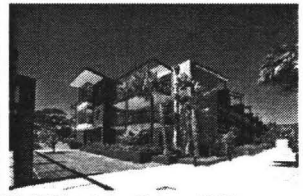
最後に、日本の集合住宅再生工事関連部品データベース・モデルを示し、提示したシステムを構築することにより、部品情報を必要とする人が、必要に応じて部品情報を取り出し、効率的な維持管理、改修工事を行なう仕組みを提案した。

今後は、豪・蘭との共同研究を継続し、各国の再生を取り巻く状況を踏まえた部品開発の方向性に関する提案を行なってゆく予定である。

※尚、本調査は、椙山女学園大学平成 16 年度卒業生 前田智美、内藤久美の協力により行われたものである。

【図表1-2 豪事例】

FACE SHEET

Name of building	**Lumiere at Regent Place**	**Victoria Garden Chatswood**
		
Address	1 Kent St Sydney NSW Australia	176-194 Victoria Ave Chatswood 2067 NSW Australia
Imminent environment	City Centre	Factory transform into new residential area
[condominium] or [rental]	Condominium(Apartments)	Both condominium and rental
	[New construction]	[New construction]
Year of construction(term)	2004-2006	Jun 2002 - Nov 2005
Building area(total)	800 square meter	5,000 square meter
Site area	800 square meter	10,000 square meter
Floor area (total)	Residential: 12,000 m2 Car Parking: 6,400 m2 Commercial: 3,000 m2	20,000 square meter
Stories	30 F + 8 Basement	3 F + Mezzanine
Number of rooms(total)	200 Units	103 Units
Designer	Norman Foster Architects	PD Mayoh Architects
Contractor	Multiplex	Austin Australia Pty Ltd
Total cost	AUD $100,000,000	AUD $35,000,000

【図表1-3 蘭事例】

FACE SHEET

Name of building	**Complex 50**		**La Fenetre**	**Florijn Noord**			**Keyenburg**		
Address	Herkingenstraat, Zuidwest kwadrant, Amsterdam Osdorp		Grotiusplaats, Den Ha	F Buurt, Amsterdam Zuidoost			Keyenburg, Zuidwijk Rotterdam		
Imminent environment	sub urban residential		inner city						
[condominium] or [rental]	rental		rental	condominium and rental					
[Renovation] or [New constructio		[Renovation]renovation and added penthouses	[New construction]	[Renovation]		[New construction]		[Renovation]	
	when it was new	Renovation		when it was new	Renovation			when it was new	Renovation
Year of construction(term)	1965	2000-2004	1999-2005	1968	2003	2003		1984	2005-2006
Building area	7140 square meter	7140 square meter	1080 square meter	3050 square meter	3050 square meter	2700 square meter		2250 square meter	2250 square meter
Site area	square meter	square meter	1080 square meter	3050 square meter	5600 square meter	2700 square meter		4800 square meter	4800 square meter
Floor area (total)	32130 square meter	47246 square meter	18360 square meter	25100 square meter	25100 square meter	8700 square meter		7750 square meter	7750 square meter
Stories	5 F	7 F	17 F	11 F	11 F	13 F		5 F	5 F
Number of rooms	429 dwellings	393 dwellings	115 dwellings	216 dwellings	216 dwellings	44 dwellings		152 dwellings	93 dwellings
Designer		Van Schagen Architekten	Rudy Uytenhaak Architectenbureau		Van Schagen Architekten			werkgroep Kokon, architect Frans van der Werf	Buro van Rooden
Contractor	RBM System	Heddes bouwbedrijf	Heijmans/ IBCBouw		ERA Bouw			J.P. Van Eesteren	Panagro
Total cost		€ 55,584,400	€ 10,017,198		€ 25,490,260		basebuilding	Dgl. 9,281,000	
							infill	Dgl. 1,565,500	
							total in Dutch Guilders	Dgl.11,608,000	
							total in Euros	€ 5,276,363	€ 1,000,000

【図表3 日本 再生フェーズと必要な情報】

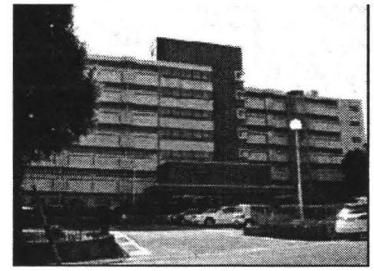
Interviewee: common use space building designer (向陽台・光ヶ丘)

exclusive use space dwellers (向陽台・鳥見・光ヶ丘)

phase of renovation 再生フェーズ	region of building 部位			necessity information 必要な情報								source of information 情報源			
				brand name 商品名	maker メーカー	size・weight 寸法・重量	material 素材	color 色	price 価格	maintenance method メンテナンス方法	useful life 耐用年数	repair record 修繕記録	drawings and specifications 設計図書	management of union constitution 管理規約	accounts documents 会計書類
maintenance・management 維持・管理	common use space	exterior wall	外壁							○		○	○	○	○
		rooftop	屋根屋上							○		○	○	○	○
		balcony	バルコニー							○		○	○	○	○
		stairway	階段							○		○	○	○	○
		facilities	設備							○		○	○	○	○
		indoor	屋内							○		○	○	○	○
	exclusive use space	kitchen	台所												
		room	居室												
		bath room・lavatory	浴室・洗面室												
		toilet room	トイレ												
		fittings・equipment	建具・設備												
investigation・diagnosis 調査・診断	common use space	exterior wall	外壁				○					○	○		
		rooftop	屋根屋上				○					○	○		
		balcony	バルコニー				○					○	○		
		stairway	階段				○					○	○		
		facilities	設備				○					○	○		
		indoor	屋内				○					○	○		
	exclusive use space	kitchen	台所												
		room	居室												
		bath room・lavatory	浴室・洗面室												
		toilet room	トイレ												
		fittings・equipment	建具・設備												
planning 計画	common use space	exterior wall	外壁	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
		rooftop	屋根屋上	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
		balcony	バルコニー	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
		stairway	階段	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
		facilities	設備	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
		indoor	屋内	○	○	○	○	○	○		○	○	○		
	exclusive use space	kitchen	台所			○(range hood)		○(wall paper)							
		room	居室				○(wall paper ,flooring)	○(lighting fixtu	○(wall paper)						
		bath room・lavatory	浴室・洗面室			○(ventilation equipment)	○(handrail)	○(handrail)	○(modular bath)						
		toilet room	トイレ			○(handrail)		○(wall paper ,tile)	○(wall paper,tile, ventilation equipment)						
		fittings・equipment	建具・設備	○(security equipment)	○(security equipment)		○(fittings)		○(fittings, plumbing installation, security equipment)	○(security equipment)					
construction 工事	common use space	exterior wall	外壁	○	○		○				○	○	○		
		rooftop	屋根屋上												
		balcony	バルコニー												
		stairway	階段												
		facilities	設備												
		indoor	屋内												
	exclusive use space	kitchen	台所												
		room	居室												
		bath room・lavatory	浴室・洗面室												
		toilet room	トイレ												
		fittings・equipment	建具・設備												

【図表1-1】日本事例

FACE SHEET

Name of building		Condominium Kouyoudai		Park City Torimi		Hikarigaoka Hights	
							
Address		2-29-1 Kouyou-cyo,Chikusa-ku,Nagoya city,JAPAN		2-22-1 Torimi-cyo,Nishi-ku,Nagoya city,JAPAN		1-135 Heigawaoka,Meitou-ku,Nagoya city,JAPAN	
Imminent environment		urban residential area		new residential area		uptown residential area	
[condominium] or [rental]		[condominium]		[condominium]		[condominium]	
		[Renovation]		[Renovation]		[Renovation]	
		when it was new	Renovation	when it was new	Renovation	when it was new	Renovation
Year of construction(term)		-1970	2000.9.-11.	-1988	2002.8.-2002.12.	-1975	2001.5.-2002.10.
Building area(total)		625.68 square meter	625.68 square meter	1,076.06 square meter	1,076.06 square meter		
	A block					1,303.09 square meter	1,303.09 square meter
	B block					753.55 square meter	753.55 square meter
	C block					641.53 square meter	641.53 square meter
Site area		square meter	square meter	20,747.04 square meter	20,747.05 square meter	square meter	square meter
Floor area (total)		6,726.13 square meter	6,726.13 square meter	12,603.22 square meter	12,603.23 square meter		
	A block			—	—	8,990.98 square meter	8,990.98 square meter
	B block			—	—	5,822.39 square meter	5,822.39 square meter
	C block			—	—	2,517.89 square meter	2,517.89 square meter
Stories	A block	6F	6F	15F	15F	7F	7F
	B block	6F	6F	—	—	7F	7F
	C block	7F	7F	—	—	3F	3F
Number of rooms(total)				150	150		
	A block	17	17	—	—	70	70
	B block	16	16	—	—	46	46
	C block	20	20	—	—	21	21
Designer			Sato architect office	Nihon Sekkei Co., Ltd.	Sato architect office and Saito Masayoshi architect office		Sato architect office

【図表2-3 關共用部分】

common use space

新築事例↓

region of building		[custom-made parts] or [standard parts]				[renovation only] or [for both renovation and new construction]				[unit construction system] or [simple parts]			
		Complex 50	La Fenetre	Florijn Noord	Keyenburg	Complex 50	La Fenetre	Florijn Noord	Keyenburg	Complex 50	La Fenetre	Florijn Noord	Keyenburg
exterior wall	exterior wall												
	autoclaved light weight concrete												
	sash and backbend												
	exterior wall base												
	vetilation pipe and around it												
	others												
	concrete grid with balconies	standard parts				renovation only				simple parts			
	timber frame with double glass and closed panels		custum-made parts	custum made parts			new construction	renovation only			simple parts	unit constructin system	
	inner cavity wall timber frame				custum made parts								
	outer cavity wall concrete brickwork				standard parts								
	aurninium window frames				standard parts				renovation only				simple parts
rooftop	roof	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	top rail	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	penthouse prefab timber frame	cusum made parts		standard parts		renovation only		renovation only		large elements		simple parts	
	entrance	standard parts		standard parts		renovation only		renovation only		simple parts		simple parts	
	waterproofing	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	handrail	standard parts		standard parts		renovation only		renovation only		simple parts		simple parts	
	others												
balcony	floor	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	balcony partition	standard parts	standard parts	standard parts	custum made parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	handrail	standard parts	standard parts	custum made parts	custum made parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	handrail wall	standard parts	standard parts			renovation only	new construction			simple parts	simple parts		
	others												
stairway	exterior (stairway)	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	leader	standard parts	standard parts	standard parts		renovation only	new construction	renovation only		simple parts	simple parts	simple parts	
	floor	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	wall	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	ceiling	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	handrail	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	others												
facilities	trenrch for dewatering	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	water supply pipe	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	drain	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	elevator door	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	air conditioner												
	others												
indoor	steel fittings	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	wooden fittings	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	floor	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	wall	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	ceiling	standard parts	standard parts	standard parts	standard parts	renovation only	new construction	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts	simple parts	simple parts
	others												

【図表2-2 豪共用部分】

common use space

region of building		[custom-made parts] or [standard parts]		[renovation only] or [for both renovation and new construction]		[unit construction system] or [simple parts]	
		Regent Place Sydney	*Victoria Garden Chatswood*	*Regent Place Sydney*	*Victoria Garden Chatswood*	*Regent Place Sydney*	*Victoria Garden Chatswood*
exterior wall	exterior wall (curtain-wall)	*custom-made parts**	*custom-made parts**	*new construction*	*new construction*	*unit construction system*	*unit construction system*
	autoclaved light weight concrete	*Standard Parts**		*new construction*		*simple parts*	
	sash and backbend						
	exterior wall base	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*both renovation and new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	vetilation pipe and around it	*Standard Parts**	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	others						
	Loovers		*custom-made parts**		*new construction*		*unit construction system*
	Aluminium Sliding Doors / Windows		*custom-made parts**		*new construction*		*unit construction system*
	Door Panels		*Standard Parts*		*new construction*		*unit construction system*
rooftop	roof (concrete)	*custom-made parts*	*custom-made parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	top rail	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*both renovation and new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	penthouse	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	entrance	*custom-made parts*		*new construction*		*simple parts*	
	waterproofing	*custom-made parts*		*new construction*		*simple parts*	
	handrail	*custom-made parts*		*new construction*		*simple parts*	
	others						
	Concrete balustrade	*custom-made parts*		*new construction*		*simple parts*	
	Color Bond Metal Sheeting		*custom-made parts**		*new construction*		*unit construction system*
	Insulation		*Standard Parts*		*new construction*		*simple parts*
	Gyprock Ceiling		*custom-made parts*		*new construction*		*simple parts*
balcony	floor		*custom-made parts*		*new construction*		*simple parts*
	balcony partition		*custom-made parts**		*new construction*		*simple parts*
	handrail		*Standard Parts**		*new construction*		*simple parts*
	handrail wall		*custom-made parts*		*new construction*		*simple parts*
	others						
stairway	exterior (stairway)	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	leader	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	floor	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	wall	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	ceiling	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	handrail	*custom-made parts**	*custom-made parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	others						
facilities	tremch for dewatering	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	water supply pipe	*Standard Parts**	*Standard Parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	drain	*custom-made parts*	*Standard Parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	elevator door	*custom-made parts**	*custom-made parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	air conditioner	*Standard Parts*	*Standard Parts*	*new construction*	*new construction*	*unit construction system*	*unit construction system*
	others						
	Sauna		*custom-made parts*		*new construction*		*unit construction system*
	Swimming Pool		*custom-made parts*		*new construction*		*unit construction system*
	Flower Planter		*custom-made parts**		*new construction*		*simple parts*
indoor	steel fittings	*Standard Parts**	*Standard Parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	wooden fittings	*custom-made parts**	*custom-made parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	floor	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	wall (Hebal Panels - light weight concrete)	*Standard Parts**	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	ceiling	*custom-made parts*	*custom-made parts*	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	others						
	Vanity unit	*Standard Parts*	*Standard Parts*	*new construction*	*new construction*	*unit construction system*	*unit construction system*
	Shower Screen	*custom-made parts**	*custom-made parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*simple parts*
	Kitchen cabinets	*custom-made parts**	*custom-made parts**	*new construction*	*new construction*	*simple parts*	*unit construction system*

*custom-made parts** Meaning the item is actually custom designed first, then, manufactured into bulk quantities

*Standard Parts** Meaning the item comes in off-shelf sizes, then, being manipulated into on-site requirments.

【図表2-1-1 日本共用部分】
common use space

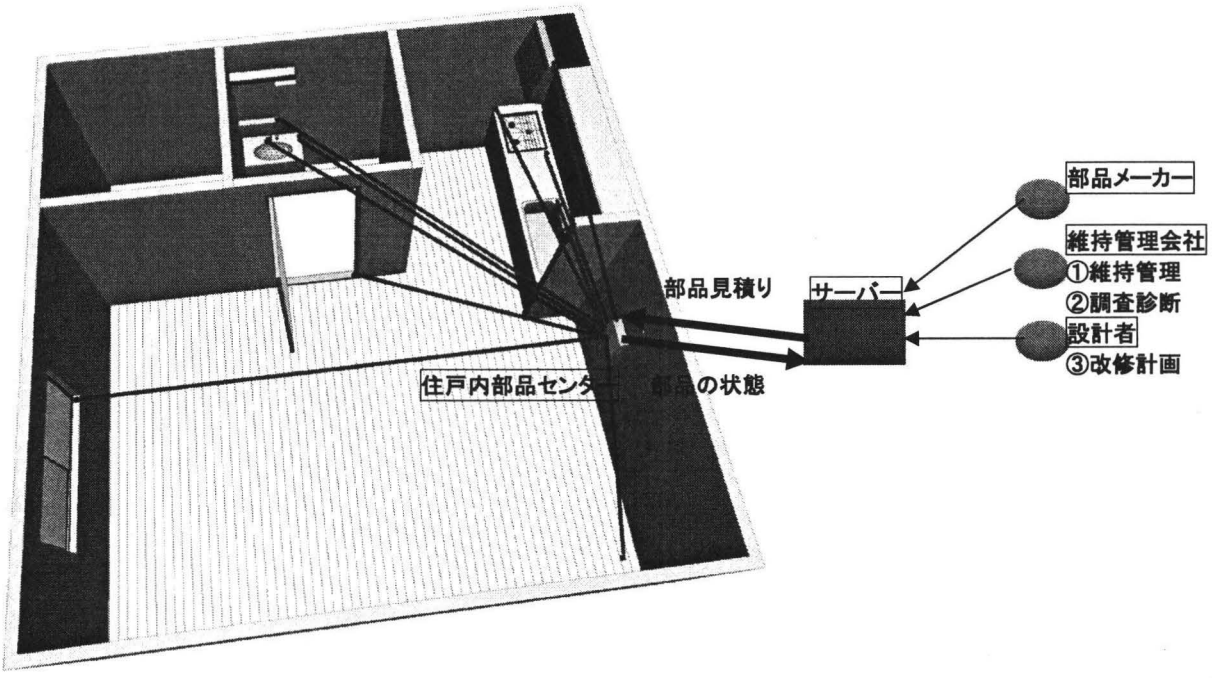
region of building 部位			[custom-made parts] or [standard parts] 「特注部品」or「汎用部品」			[renovation only] or [for both renovation and new construction] 「再生専用部品」or「新築兼用部品」			[unit construction system] or [simple parts] 「システム化部品」or「単体部品」		
			Torimi	Kouyoudai	Hikarigaoka	Torimi	Kouyoudai	Hikarigaoka	Torimi	Kouyoudai	Hikarigaoka
exterior wall 外壁	exterior wall	外壁	standard parts	standard parts		renovation only	renovation only		simple parts	simple parts	
	autoclaved light weight concrete	ALC	standard parts			renovation only			simple parts		
	sash and backbend	サッシ廻り	standard parts			renovation only			simple parts		
	exterior wall base	外壁巾木	standard parts			renovation only			simple parts		
	vetilation pipe and around it	換気パイプ廻り	standard parts			renovation only			simple parts		
	others										
	beams covering	梁隠し	standard parts			renovation only			simple parts		
	verge of a flowerbed	花壇添え壁	custom-made parts			renovation only			simple parts		
	plansier	上げ裏	standard parts			renovation only			simple parts		
	outside stairs	屋外階段	standard parts			renovation only			simple parts		
	handrail post	手すり支柱	standard parts			renovation only			simple parts		
rooftop 屋根屋上	roof	屋根	standard parts			renovation only			simple parts		
	top rail	笠木	standard parts	standard parts		renovation only	renovation only		simple parts	simple parts	
	penthouse	PH	standard parts	standard parts		renovation only	renovation only		simple parts	simple parts	
	entrance	エントランス	standard parts	standard parts		renovation only	renovation only		simple parts	simple parts	
	waterproofing	屋根防水	–	standard parts		–	renovation only		–	simple parts	
	handrail	手摺り	–	custom-made parts		–	for both renovation and new construction		–	simple parts	
	others										
	bicycle parking	自転車置き場	standard parts			renovation only			simple parts		
	fence/gate	フェンス・門扉		standard parts			for both renovation and new construction			unit construction system	
	metal clotheshorse	物干し金物		standard parts			for both renovation and new construction			unit construction system	
balcony バルコニー	floor	床	standard parts	standard parts		renovation only	renovation only		simple parts	simple parts	
	balcony partition	隔て板	standard parts			renovation only			simple parts		
	handrail	手摺り	–	standard parts		–			–	unit construction system	
	handrail wall	手摺り壁	standard parts	standard parts		renovation only	renovation only		simple parts	simple parts	
	others										
		側溝		standard parts			renovation only			simple parts	
stairway 階段	exterior (stairway)	屋外(階段)	standard parts			renovation only			simple parts		
	leader	竪樋	standard parts			renovation only			simple parts		
	floor	床	standard parts			renovation only			simple parts		
	wall	内壁・手摺り壁	standard parts			renovation only			simple parts		
	ceiling	天井	standard parts			renovation only			?		
	handrail	手摺	standard parts			renovation only			?		
	others										
facilities 設備	tremch for dewatering	排水溝	standard parts			for both renovation and new construction			simple parts		
	water supply pipe	給水管	standard parts			renovation only			simple parts		
	drain	ドレン	standard parts	standard parts		renovation only	renovation only		simple parts	simple parts	
	elevator door	EV扉	standard parts			renovation only			simple parts		
	air conditioner	エアコン	standard parts			renovation only			unit construction system		
	others										
	exposed piping	露出配管	standard parts			renovation only			simple parts		
	leader for dewatering	排水立管			standard parts			renovation only			simple parts
indoor 屋内	steel fittings	鋼製建具扉	standard parts			renovation only			simple parts		
	wooden fittings	木製建具	standard parts			renovation only			simple parts		
	floor	床	–		standard parts	–		renovation only	–		simple parts
	wall	壁	–		standard parts	–		renovation only	–		simple parts
	ceiling	天井	standard parts	custom-made parts		renovation only	for both renovation and new construction		simple parts	unit construction system	
	others										
	dust outlet	掃き出しサッシ		standard parts							

【図表4 日本 計画時に知りたい部品情報(居住者)】

	部位	大きさ形	色	素材	商品名・メーカー	価格	耐用年数	メンテナンス方法	その他
台所	レンジフード	41%	10%	11%	11%	11%	11%	5%	0%
	ガスコンロ	18%	12%	15%	21%	25%	0%	9%	0%
	システムキッチン	17%	18%	18%	14%	18%	7%	4%	4%
	壁紙	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	その他	15%	18%	17%	15%	23%	3%	9%	0%
	計	19%	16%	16%	16%	20%	4%	8%	1%
居室	床材	0%	22%	28%	5%	24%	16%	5%	0%
	収納	0%	25%	25%	25%	25%	0%	0%	0%
	壁紙	0%	38%	31%	0%	23%	8%	0%	0%
	間仕切り	-	-	-	-	-	-	-	-
	照明器具	25%	18%	11%	7%	32%	0%	0%	7%
	その他	12%	25%	21%	12%	24%	3%	3%	0%
	計	9%	24%	22%	8%	25%	7%	3%	2%
浴室・洗面器	浴槽・風呂釜	11%	25%	21%	7%	25%	11%	0%	0%
	タイル	-	-	-	-	-	-	-	-
	手すり	34%	33%	33%	0%	0%	0%	0%	0%
	システムバス	19%	19%	16%	13%	30%	3%	0%	0%
	洗面台	26%	20%	15%	11%	22%	2%	4%	0%
	壁紙	-	-	-	-	-	-	-	-
	その他	15%	20%	17%	15%	22%	9%	2%	0%
	計	19%	21%	17%	12%	23%	6%	2%	0%
トイレ	便器	16%	22%	11%	19%	24%	0%	3%	5%
	タイル	0%	50%	0%	0%	50%	0%	0%	0%
	手すり	-	-	-	-	-	-	-	-
	換気設備	29%	14%	0%	14%	29%	14%	0%	0%
	壁紙	0%	34%	33%	0%	33%	0%	0%	0%
	その他	19%	17%	14%	27%	14%	6%	3%	0%
	計	18%	20%	12%	21%	21%	4%	2%	2%
設備等	建具	10%	20%	30%	10%	30%	0%	0%	0%
	給排水設備	21%	2%	4%	21%	29%	15%	6%	2%
	防犯設備	0%	0%	0%	34%	33%	0%	33%	0%
	その他	24%	28%	18%	18%	12%	0%	0%	0%
	計	19%	10%	10%	19%	27%	9%	5%	1%

0%　1-25%　26-50%　51-75%　76-100%

【図表5 データベース・モデルのイメージ】



【図表2-1-2 日本専有部分】

exclusive use space

region of building 部位			[custom-made parts] or [standard parts] 「特注部品」or「汎用部品」		[renovation only] or [for both renovation and new construction] 「再生専用部品」or「新築兼用部品」		[unit construction system] or [simple parts] 「システム化部品」or「単体部品」	
			向陽台	光ヶ丘	向陽台	光ヶ丘	向陽台	光ヶ丘
kitchen 台所	range hood	レンジフード	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	unit construction system
	gas range	ガスコンロ	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	unit construction system
	built-in kitchen unit	システムキッチン	standard parts	custom-made parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	unit construction system
	wall paper	壁紙	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	simple parts	simple parts
	others							
room 居室	flooring material	床材	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	unit construction system
	storage	収納	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	simple parts	unit construction system
	wall paper	壁紙	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	simple parts
	partition	間仕切り	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	simple parts	simple parts
	lighting fixtures	照明器具	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	unit construction system
	others							
bath room・lavatory 浴室・洗面室	bathtub	浴槽・風呂釜	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	unit construction system
	tile	タイル	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts
	handrail	手摺	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	unit construction system
	modular bath	ユニットバス	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	unit construction system
	wash-basin	洗面台	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	unit construction system
	wall paper	壁紙	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	simple parts	simple parts
	faucet	水栓	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new		
	others							
toilet room トイレ	toilet bowl	便器	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	unit construction system
	tile	タイル	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	simple parts	simple parts
	handrail	手摺	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	simple parts
	ventilation equipment	換気設備	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	unit construction system
	wall paper	壁紙	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	simple parts
	others							
fittings・equipment 建具・設備	fittings	建具	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	unit construction system
	plumbing installation	給排水設備	standard parts	standard parts	renovation only	renovation only	unit construction system	unit construction system
	security equipment	防犯設備	standard parts	standard parts	for both renovation and new	for both renovation and new	unit construction system	unit construction system
	others							

03-19 光触媒による自浄作用を有する木質建築材料の開発

岐阜大学　応用生物科学部
教　授　　棚橋光彦

1．本研究の背景と目的

近年環境意識の向上に伴い、自然素材を多用した住宅の希望者が増えてきた。その中で木材は最も好まれる材料であるが、燃える・腐る・狂うという欠点を有している。そのため、プラスチックとの複合化などが行なわれているが、質感・肌触り・水分呼吸などの木材本来の特徴が損なわれる場合が多い。

申請者はこれまで、無害な二酸化ケイ素を気相反応により木材成分と化学結合させ、僅か１％以下の重量増で木材本来の特徴を損なうことなく難燃性や寸法安定性を付与する技術を検討してきた。さらに防腐性・抗菌性を向上させるため、二酸化チタン処理を検討してきた。二酸化チタンは紫外線によって空気中の酸素を活性化させる光触媒作用を有するため、ホルムアルデヒドや排気ガスあるいは油などの有害・汚濁物質を分解し、自浄能力を有するガラスやセラミックス材料の開発が進められている。

しかし、木材に二酸化チタンを直接形成させると、有機物である木材自体が劣化して強度が低下する。そこで、木材／二酸化ケイ素／二酸化チタンの三層構造を形成させることで、木材の劣化を抑えつつ光触媒能を付与し、さらには難燃性をも付与する化学加工法を検討してきた。この方法により、手垢等による汚れをメインテナンスフリーで除去でき、防腐性・抗菌性を有するため衛生的でかつ耐久性を有する木質材料が得られる。また、この木材は光触媒作用によって室内の VOC を除去できるため、環境にやさしい住宅部材を提供できると考えている。実際の用途としては、病院や食堂などの手すり・床・壁・テーブル、木製玩具、公園などのベンチや看板、ガードレールなどを想定している。

これまでの検討から、ケイ素処理後にチタン処理単独あるいはケイ素とチタン混合液を反応させる方法により、両者の存在率を自由に調整できることがわかった。また、汚染物質の分解挙動を色素の退色から調べたモデル実験では、紫外線照射 48 時間で無処理木材では退色はわずかであったが、二酸化チタン処理したものでは大きく退色したため、光触媒作用が機能していることが確認された。また、木材の強度試験から、三層構造を形成することで二酸化チタンによる木材自体の劣化が抑制されることがわかった。

本研究ではさらに実用化に向けた実験を進めるため、新築住宅で問題となっている VOC に着目し、ホルムアルデヒド・トルエン・キシレン・エチルベンゼン・スチレン等を二酸化チタン処理木材が分解しうるかどうかを検討する。特に VOC 減少速度を、多孔質である無処理木材や木炭などで見られる単なる吸着現象と、光触媒による分解挙動とを区別しながら実験を行なう。また、医療現場での利用を想定し、大腸菌の死滅実験から処理木材の有効性を実証する。これらの基礎データを元に、実大サイズの手すりや床材・壁材を作成し、住空間での試験を行なう。

また以前から本研究室では、ノコ屑のリサイクルとして接着剤を用いないボード化（高圧

水蒸気圧縮成形加工）の開発を行なっている。そこで、その原料に二酸化チタン粉末を混合するか、二酸化チタン処理したノコ屑を用いることで、光触媒機能を有した高機能木質ボードの開発を行なっている。本来木材は多孔質であるため VOC の急速な吸着が期待でき、その後光触媒機能によって分解するので、速度的にも満足のいく建築材料になると考えている。木材に充分な難燃性や光触媒能を付与しつつ長期間の使用に耐える製品を作るためには、木材内部まで均等に二酸化ケイ素および二酸化チタン処理されることが必要である。そこで、水蒸気温度条件などの技術面からの検討も進める。

2．研究の方法

二酸化チタンの光触媒能を利用した新機能性材料は、メインテナンスフリーで太陽光を利用して有害物質を分解できることから、ガラスやセラミックス表面などへの応用は広く行なわれており、既に高層ビルのガラスや壁面、高速道路の防音壁などへ実用化されている。しかし、有機材料へは基材自体の劣化を促進するため、適用は困難とされてきた。劣化を防ぐ方法として、中空セラミックスビーズの中で二酸化チタンを形成させて基材との接触を防いだものが開発されているが、基材に化学結合させる本研究とは本質的に異なる。また、光触媒劣化が起きない木炭を基材として用いる研究も行なわれており、吸着現象を併用できることから VOC の分解には有利ではあるが、これらはあくまで炭であって建材としての利用はできない。本研究ではソリッドな木材に本研究の基本技術である木材／二酸化ケイ素／二酸化チタンの三層構造を作り十分な光触媒能力を発揮させるとともに、木材本来の有利な物性を損なうことなく、木材の劣化を抑え、自浄性を有する新たな木質建材を開発する。さらに廃おが屑の有効利用とそのガス吸着性を生かして、光触媒能を有するバインダーレス木質ボードの開発を試みる。

本研究ではこのバインダーレスボードに光触媒である酸化チタン(TiO2)を混入し、光触媒活性を有するバインダーレスボードの作成を試みた。まずその TiO2 の基本的な性質を列挙する。TiO2 はチタン酸化物の中で最も安定で実用的にも重要な形態である。その中でも天然中には 3 種類の結晶形態が存在し、アナターゼ、ルチル、ブルッカイト型がある。その基本的な性質は、分子量 79.87、白色粉末の正方晶系で、粒径は 7nm～500nm であるとされている。比重はアナターゼ型が 3.9~4.2、ルチル型が 3.8～4.1 であり、屈折率はアナターゼ型が 2.52、ルチル型が 2.71 となっている。また白色度に優れており、亜鉛華の 6 倍、鉛白の 15 倍である。隠蔽力は白色顔料の中で最大で亜鉛華の 7 倍である。また毒性がないため光触媒能の少ないルチル型は塗料や修正液などの白色顔料に大いに用いられている。反応性については弱酸、アルカリ、硫化水素、亜硫酸ガスに作用されないが、高温条件下において濃硫酸には作用される。約 500℃の加熱でアナターゼ型構造になり、約 900℃でルチル型となり、融点は 1858℃である。また TiO2 には本研究のキーとなる光触媒活性が備わっている。光触媒活性とは TiO2 に太陽光や紫外線を照射すると、チタンがエネルギーを保持し、そのエネルギーにより酸素から電子を奪い酸素ラジカルが生成され、このラジカルが様々な物質を酸化する現象である。この反応によって、先ほど列挙した 13 種の有害物質をはじめとする大気汚染物質や水質汚染物質が分解され、無害化することができる。光触媒反応を詳細に説明すると、光触媒の作用

原理は半導体機構に基づくといわれており、半導体にそのバンドギャップ(禁制帯幅)以上のエネルギーを持つ波長の光を照射すると、価電子帯の電子がその光エネルギーを吸収し、励起されて伝導体に移動して、半導体内部に電子と正孔対ができる。TiO2 ではアナターゼ型が 380nm 以下、ルチル型が 400nm 以下の紫外線を照射すると TiO2 に生じた電子と正孔は TiO2 表面に移動し、電子による還元反応と正孔による酸化反応の双方が進行する。TiO2 の特徴として、正孔が直接酸化反応に関与する場合もあるが、正孔が結晶表面の水分や OH 基と反応してヒドロキシラジカル(・OH)が生じ、この・OH が酸化反応に関わることが多い。また一方の電子は TiO2 の表面に存在する酸素を還元して、O2-(スーパーオキサイドアニオン)を生成して、それがさらに水分子と反応し過酸化水素を経て、・OH が生じると言われている。この・OH は表 2 に示した酸化物の酸化還元電位からもわかるように、かなり強い酸化力を示し、あらゆる有機物を酸化、分解し、CO2 や水を生成する＊6。

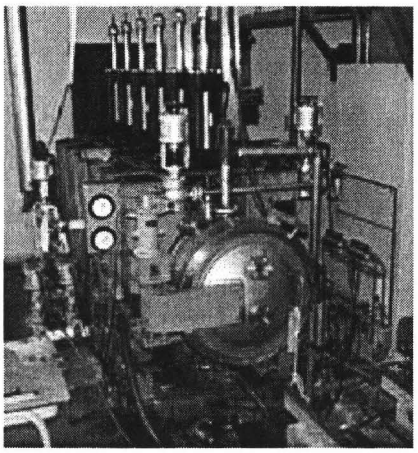
本実験には有害化学物質指針値に記されている VOC の中でも比較的安全とされるアセトアルデヒドを実験に用いた。

光触媒活性が最も高いアナターゼ型 TiO2＊8 について、近年研究が多岐にわたって行われており、多くの研究成果が報告されてきている＊９、１０。そのうちの一つとして酸化分解力を利用した抗菌効果がある。TiO2 は有機物を酸化分解できることから、細菌を死滅させるだけでなく、その死骸までも分解でき、材料表面を清潔に保つこともできる＊１１。また先程述べたシックハウス症候群の原因物質である VOC の分解もそのうちの一つである。＊12, 13 しかしながらこれらの光触媒作用を促進させるためには光触媒に汚染物質が接触している必要があるが、＊14 光触媒自体に吸着能力は少ない。しかしバイオマスボードは気体の吸着力が優れているという特徴を有する。そこでこの特徴を利用しバイオマスボードに光触媒を保持させたボード作成することで、バイオマスボードが空気中より有害物質を吸着し、それを光触媒が分解することで効率よく分解できるのではないかと考えられ、本研究を開始した。

光触媒を直接木材表面に接触させてしまうと、TiO2 の光触媒活性により有機物である木材も分解してしまうため、当研究室では木材と TiO2 間に　SiO２を導入し、TiO2 による木材分解を抑制することを試みた。モデル化合物合成などの実験から、実際に木材に TEOS が木材に結合していることが確認された＊15。杉らにより木材に金属アルコキサイドであるテトラエチルシリケート(TEOS)を気相処理によって SiO２を処理し、乾燥後テトライソプロピルチタネート(TIOT)を同じく気相処理して、木材－SiO２－TiO２の三層構造を形成させることに成功した。この研究によって木材の劣化を抑制しつつ、木材に光触媒能を付与することが可能になった。また、この材は完全なコーティングとは異なり、木材の優れた性質である吸湿性や見た目を損なわないうえ、難燃性が向上することも報告されている＊16、17。しかし、TIOT が高価であり、充分な光触媒能を付与させるため長時間の気相処理が必要であるため大量生産が難しく、実用化するには困難である。そこで大川らにより、低コストで且つ短時間に光触媒能を付与した木材を作成した＊18。低コスト化する為に TIOT より比較的安価な粉末 TiO2 を用いた。また短時間での処理を可能とする為に高圧水蒸気処理圧縮成型加工を利用し、表面のみに処理するだけでなく、材の内部まで TiO2 を導入させることを可能にした。しかし、作成されたボードは光触媒活性が低く、強度も弱かったため、実用化には至らなかった。そ

こで、本実験は今までのTiO2ボードの強度、光触媒活性を改善することを目的とした。

この光触媒能を持つボードを開発することにより、抗菌作用、VOC 分解能を持つ建材や家具、また抗菌性を生かして、病院やトイレなどの細菌の繁殖を抑えたい場所での利用が考えられる。これらを製材所から出されたおが屑や、間伐材、ダムに溜まった流木などの廃材を利用すれば、未利用資源の有効活用にも繋がるであろう。また本研究の材料に山田製材所にて日本産針葉樹のスギ(*Cryptomeria japonica*)から建築材料などを切り出した際にでるおが屑を材料として実験を行い未利用資源の活用をしている



3．実験

高温高圧水蒸気を用いた大型圧縮成型装置

ボード成型には㈱日阪製作所製大型圧縮成型装置、HTP-50/250 を用いた。この大型圧縮成型装置は木材の圧縮成型加工装置として、当研究室と日阪製作所で共同開発したものであり、高温高圧水蒸気中で油圧プレス加工できる装置である。この装置の概要としては内径 50cm、奥行 250cm、最高耐圧 2.1Mpa の圧力釜を反応槽として、この中に 6 本の油圧プレスを備えている。プレスは 1 本あたり 14 t の荷重をかけられる。圧縮成型の手順としては反応槽の外部にて成型用治具に木粉をセットして、搬入装置により反応槽の中へと入れる。その後、水蒸気を導入して木材を軟化、ピストンによる圧縮成型、より高温の水蒸気を導入することによりその形状の固定化を行う。この装置は、処理条件をプログラムに入力することにより、蓋開、装置への搬入、蓋閉、脱気、加熱、軟化処理、圧縮、固定処理、放冷、プレス機上昇、蓋開、搬入装置による取り出しを自動で行うことができる。

高温高圧水蒸気圧縮装置によるTiO2ボードの成型

光触媒活性を備えたバインダーレスボードの作製には木粉と高活性の光触媒を用いた。木粉は山田製材(株)にて木材を加工する際に出る製材くず(岐阜県産スギ)を用いた。また作製したボードの強度を均等にする為、材料である木粉の粒子サイズも合わせた。10 メッシュ分析篩を用いて 10 メッシュパスの木粉のみを実験に用いた。光触媒はアセトアルデヒド分解試験において、最も優れた分解能を有する石原産業(株)製の粉末状TiO_2ST-01 を用いた。

TiO2ボードの成型

絶乾したスギ木粉 600g に TiO2 粉末を攪拌しながら加えた。TiO2 粉末の量は 0.6g、6.0g、30.0g、60.0g、120.0g、300.0g 加えたものを用意した。それぞれボードに対して 0.1wt%、1.0 wt %、5.0 wt %、10.0 wt %、20.0 wt %、50.0 wt %TiO2 含有率である。また TiO2 の光触媒活性により、木粉自身の分解を避けるためにテトラエチルオルトシリケート(TEOS)を木粉に反応させた。TEOS 30 g と 0.1wt%、1.0 wt %、5.0 wt %、10.0 wt %、20.0 wt %、50.0 wt %に相当する量の TiO2 をエタノール 2 ℓと混ぜて攪拌し、あらかじめ用意しておいた絶乾木粉 300 g に注いだ。これを 24 時間 85 ℃でエタノールを揮発させ、テフロンシートを敷いた治具中に入れた。これを大型圧縮成型装置で、脱気 10 分間、軟化処理 20 分間、プレス(目標比重：1.0g/cm3)、固定処理 10 分間行い、ボードを成型した。

4．結果考察

TiO2 含有層、木粉のみの層からなる 2 層ボードの成型

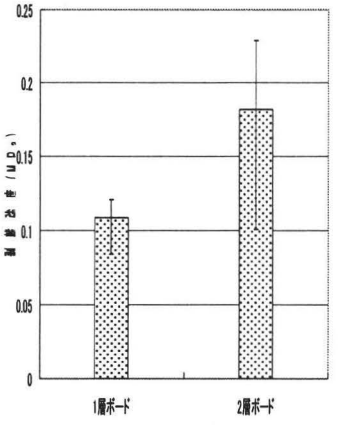
材料である TiO2 や木粉を節約とボード強度の向上を目的として本実験を行った。TiO2 を含ませた層と木粉のみしか含まない層の 2 層にしてボードを作成することにより、TiO2 使用量の削減ができると考えた。TiO2 や TEOS を混入することにより、ボードの曲げ強度、剥離強度、表面硬度が下がる。そのため木粉のみの層を設ける事により TiO2 及び TEOS 層の補強になるのではないかと考えられ、2 層にして成型をした。このボードにおいて、剥離強度試験、曲げ強度試験(MOE、MOR)をおこなった。また下層は両ボードとも材料が同一の TiO2、木粉混合割合である為、剥離強度、光触媒活性試験については行っていない。

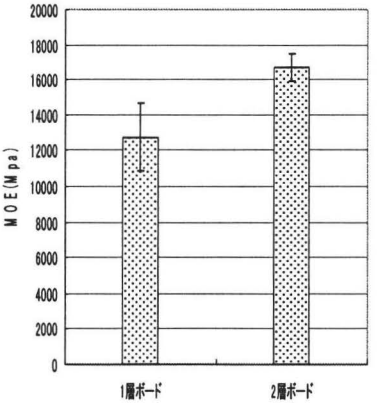
1 層ボードと 2 層ボードの剥離強度比較

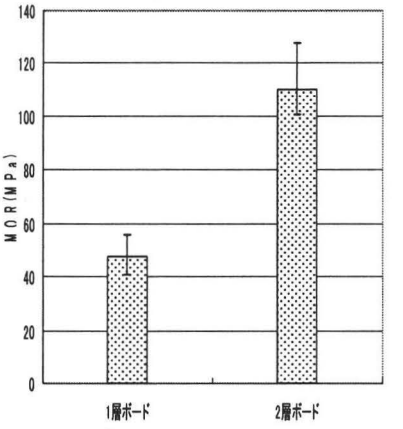
1 層ボードと 2 層ボードにおいて、剥離強度の比較試験を行った結果を図に示す。2 層ボードは 1 層ボードと比べて、平均で 1.5 倍程度剥離強度が優れていることがわかる。これは 2 層ボードにすることにより、剥離しやすいTiO2 を含む部分が減り、剥離強度が良くなったのだと考えられる。またバインダーレスでボードを成型した場合はボードの中心部が一番強度が弱く、剥離も中心部で起きやすいが、その部分には強度の強い木粉のみが存在するため全体的な剥離強度が増加したと考えられる。TiO2 ボードの曲げ強度を比較した図から 2 層ボードのほうが、曲げに対する強度が強い。TiO2 を混入したボードと木粉だけのボードの強度を比較すると木粉のみのボードのほうが圧倒的に強度が強いことからも想像がつくが、木粉のみの層を設けることにより、曲げ強度が増すという結果が得られた。これらの結果より、1 層ボードよりも木粉のみの層を有する 2 層ボードの方が曲げ、剥離ともに強く、また、TiO_2や TEOSの使用量を節約できる為、工業的に製造するのに適している。さらにTiO_2ボードの表面は少量のTiO_2粉末が存在し両面テープなどの接着には向いていないが、木粉のみの上層が存在することで両面テープなどを用いて壁面に接着することも容易となる。

1 層ボードと 2 層ボードの曲げ強度比較

1 層ボードと 2 層ボードにおいて、曲げ強度の比較試験を行った結果を図に示す。







図

図 18　1 層ボードと 2 層ボードの剥離強度、曲げ強度(MOR)と曲げ強度(MOE)の比較

ボード材料の形態変更による物理的強度の向上

ボード作製材料としておが屑を用いていたが、繊維版用のラワン繊維をボード材料に用いることで繊維同士の絡み合いが起き、曲げ強度、曲げヤング率、表面硬度、剥離強度などの物理的強度が向上することが予想される。成型したボードの比重はラワン木粉ボードが1.06g/cm^3、ラワン木繊維ボードも1.06 g/cm^{3}とほぼ同じ比重に成型した。これらの成型ボードの強度試験を図20～23に示す。これらの結果より木粉を材料にボードを成型するより、木繊維をボードの材料とすることで本実験において測定した全ての物性が優れていた。特に曲げ強度、剥離強度に関しては強度が顕著に向上した。本研究で開発したボードは住宅などの壁材、天井などに用いることを目的として進めているが、壁材、天井などは曲げ強度、剥離強度が重要な因子となり、木繊維によるボード化が壁材、天井材として必要であろう。

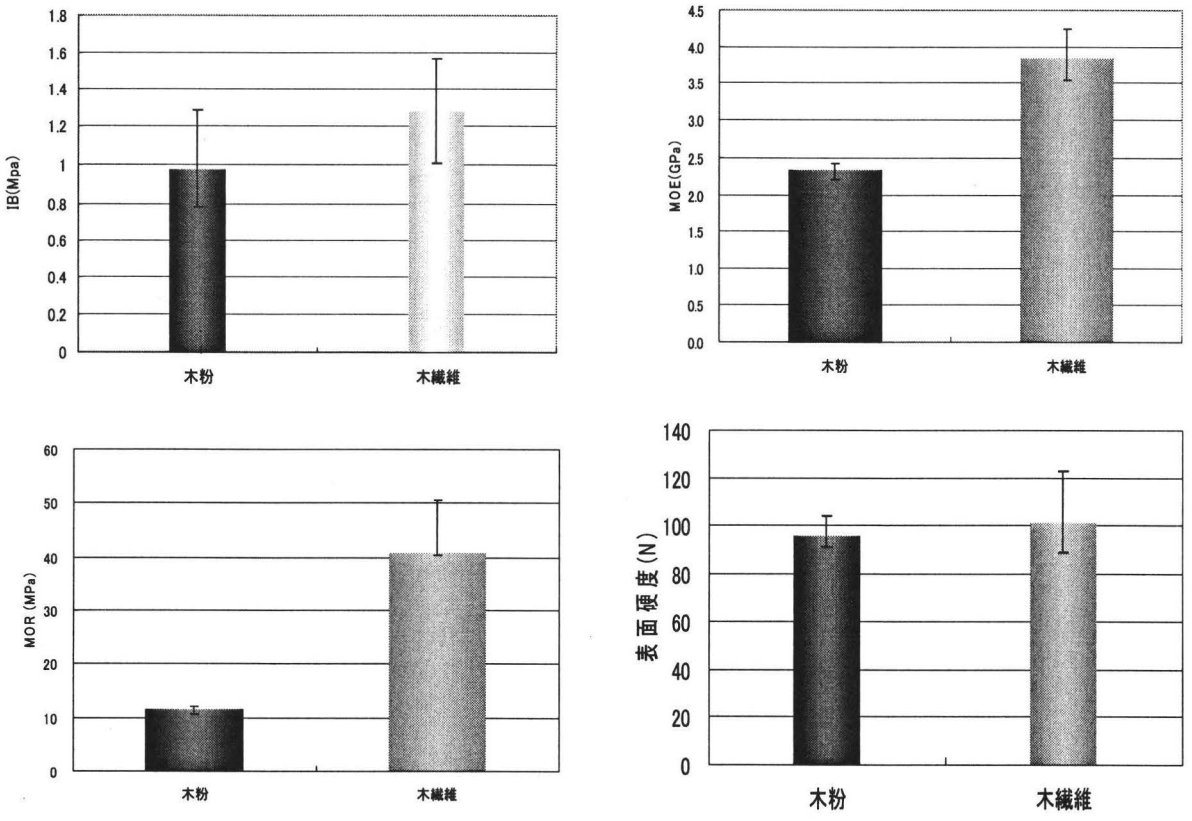


図20　ラワン木粉・木繊維ボードにおける剥離、曲げ強度、曲げヤング率および表面硬度試験の結果

成型したTiO_2ボードの光触媒活性試験

ST-41 10wt%、和光アナターゼ型$TiO_2$10wt%含有ボードにおける光触媒活性を2.4.2の密閉系光触媒活性試験の方法で測定した。その結果を図25～27に示す。グラフ内に初濃度を表し、その時間から14時間後にUV照射を始めた。初濃度からグラフの0時間までにアセトアルデヒド濃度が減少したのは、ボードがアセトアルデヒドを吸着している為であり、木質材料に起

こる現象である。UVを当て始めると、アセトアルデヒド濃度が増加している。これは光照射と温度上昇によってボードに吸着されていたアセトアルデヒドがボード外へ発散された為である。発散後からはアセトアルデヒド濃度の減少はみられず、これらすべてのボードにおいてTiO_2ボードは全く光触媒活性がみられなかったといえる。ボードの原料を調製する際TEOSをTiO_2と同時に混ぜていた為、TEOSがTiO_2を被ってしまい、その結果アセトアルデヒドが分解されなかったと考えられる。その為、TEOS処理を行なってからTiO_2を混合して、その処理木粉でボードを成型した。

TiO_2ボード成型後の活性化前処理

ST-01 50wt%含有ボードとST-41 20wt%含有ボードにおいて成型直後そのままの状態で、アセトアルデヒド分解試験を行うと、アセトアルデヒドは分解されなかった。しかし、そのボードを窓際の日の当たるところに放置しておいたところ、1 週間経過した時点からボードの色が白く変色してきた。この白色化はTiO_2が表面に出てきた為白く見えると考えられた。そこで、ボード成型後にUV(2.0mW/cm^2)を当て続けた結果、2 日程でボード全体が真っ白になった。その白色となったボードにおいてアセトアルデヒド分解試験を行うとST-01 50wt%含有ボードでは顕著に光触媒活性がみられた。またアセトアルデヒドが分解されているか確認のために、理研計器製CO_2モニターRI-215Dを反応容器出口に取り付け、CO_2の濃度を測定した。アセトアルデヒドが分解されているのであれば、アセトアルデヒドが 1 分子分解される事で 2 分子のCO_2が生成されるはずである。ST-01 含有ボードの結果を見ると、UVを当てることにより、約 10ppm分解されている。つまり理論上 20ppm程度増加するはずである。UV未照射時におけるCO_2濃度は 25～27ppmであった。UV照射をしていないにもかかわらず、CO_2が検出された理由としては、ボードに予め吸着されていたCO_2が徐々に発散されて検出されたものと考えられる。UV照射を行うと、49～55ppmとなった。UV照射により約 20ppm増加し、理論値と同じ値になったことからアセトアルデヒドが分解されている事が確認できた。

またST-41 20wt%含有ボード、ST-01 20wt%含有ボード、和光アナターゼ型$TiO_2$20wt%含有ボードにおいても、ST-01 50wt%含有ボードほど顕著にはみられないが、アセトアルデヒドの分解がみられる。これらにおいて、活性化前処理による効果が明らかである(図 29)。

この活性化前処理を行わないと光触媒活性がみられないという現象は大型圧縮成型装置でボードを成型する際に出る木材からの抽出成分がボード表面に付着してTiO_2表面を覆ってしまっていたために光触媒活性がみられず、長時間UV照射することでこれらの抽出成分をTiO_2が分解除去した結果であると考えられる。この茶色の抽出成分はボード以外にも、ボード成型治具に付着していた。またこれらの成分はGC-MSや^{1}H-NMRの解析を行なった結果、β－システロールやフルフラールなどの糖が確認された。

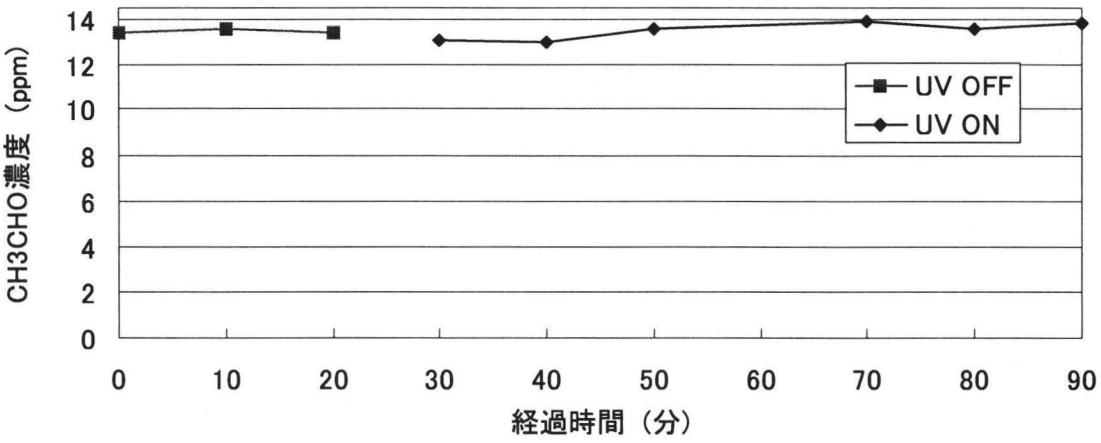


図 27　活性化処理前の ST-41 20wt%含有ボードにおける光触媒活性試験結果

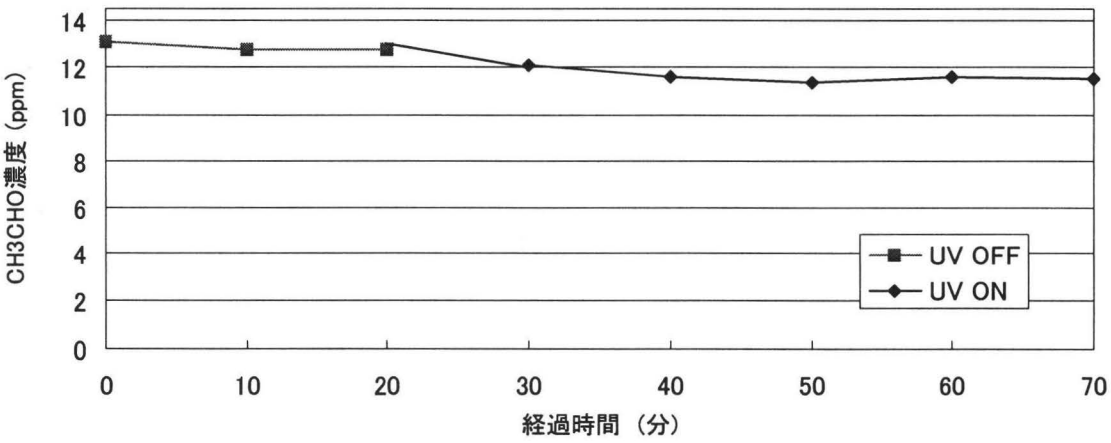


図 28　活性化前処理後の ST-41 20wt%含有ボードにおける光触媒活性試験結果

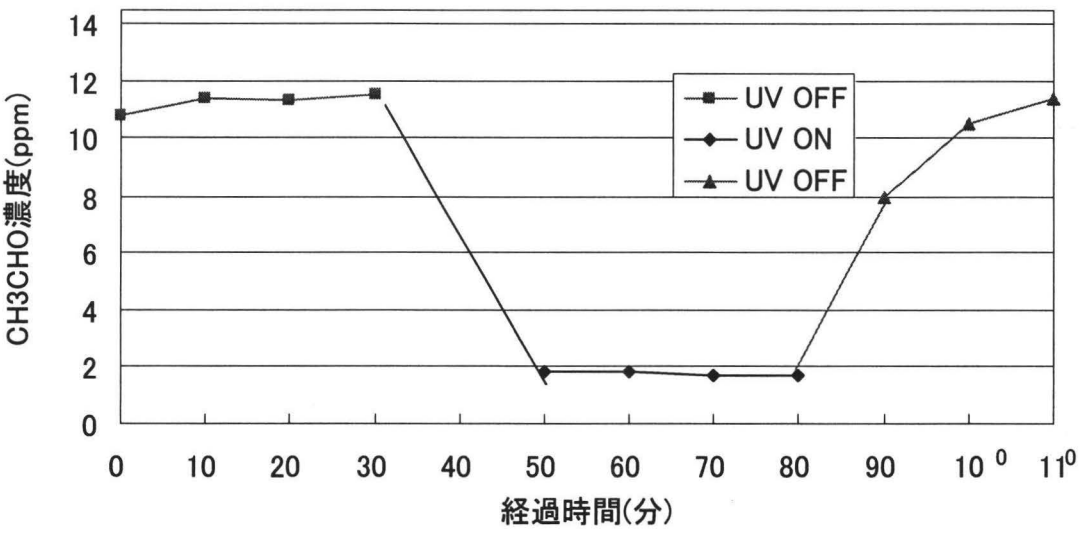


図 29　各ボードにおける活性化前処理後のアセトアルデヒド分解試験の結果

レーザラマンによる活性化前処理の効果確認

成型したTiO_2ボードに長時間UV照射(活性化前処理)することによりボード表面は茶色から白色に変色し、光触媒活性が現れるなどの変化が現れる。これはボード成型時に出た木材由来の抽出物がTiO_2に付着しており、この抽出物がTiO_2自身が持つ光触媒反応により分解されるため白くなりVOCなども分解できるようになると考えられる。しかし、データ的に証明できる根拠が無いため、この現象を考察するためにレーザラマン分光光度計を用いて各波数におけるラマン散乱の測定を行なった。その結果を図 30 に示した。今回測定可能波数域中においてアナターゼ型TiO_2のラマン散乱スペクトルは 639, 519, 399cm^{-1}付近にピークが現れる。また調製したTiO_2のペレットも文献値と全く同じ所にピークが現れた。レーザラマンのデータは積算回数を増やし、レーザ照射時間も長くとったほうがピークも綺麗にとれるが、活性化前処理をしていないサンプルではレーザを当て続けると、レーザにより活性化処理と同様の反応が起きて白く変色してしまった。その為、レーザ照射時間は短く、また積算回数も減らして測定を行なった。光触媒活性化処理を行なっていないボードサンプルと処理済のサンプルを比較すると、光触媒活性化処理サンプルの方がラマン散乱光の強度が強く、ボード表面に付着している抽出成分が分解されてTiO_2が活性を持つようになったと推定できる。

X線回折(XRD)によるTiO_2の確認

TiO_2ペレットのXRDパターンをXRDのチャートを図 31 に示す。図 31 のTiO_2ペレットのXRDパターンより 25° 付近にピークが見られ、TiO_2のピークが確認できた。図 32 と図 33 のXRDパターンより非晶域と結晶域の比は活性化前処理後のTiO_2ボードでは 1:2.7 であったのに対して未処理のTiO_2ボードでは 1:1.9 であった。活性化前処理をすることにより、結晶域が増加していることがわかる。これは木材由来の抽出物は非結晶であり、これが活性化前処理によって分解されて、結晶であるセルロースが表面に現れて、結晶域のピークが増大したと考えられる。また結晶領域・非晶領域の和とTiO_2の比からボード表面上に存在するTiO_2量を評価した。結晶領域・非晶領域の和とTiO_2の比は活性化前処理後のTiO_2ボードでは 1:0.086 であったのに対して未処理のTiO_2ボードでは 1:0.076 であった。この結果からも活性化前処理により抽出成分を分解しTiO_2が表面に多く存在するようになったと考えられる。これら 2 つの結果や活性化前処理により色が茶色から白く変化することも含めて考え、活性化前処理によってTiO_2自身の光触媒活性により木材由来の抽出成分が分解されていると考えられる。

TiO_2ボードにおける吸水および寸法安定性試験

TiO_2ボードを実際に壁面などに使用する際、ボードの寸法安定性が要求される。試験結果を図 34、35 に示す。木粉のみで作製したボードサンプル(①)は茶色、TiO_2を混入したボードサンプル(②)は青で示している。24 時間の水中浸漬後のボードの厚さ膨張率は木粉のみのボ

ードでは11%、TiO_2を含むボードでも11%から11.5%の間となった。JIS規格にてパーティクルボードやファイバーボードの吸水厚さ膨張率については、12%以下と定められている。今回の試験結果はJIS規格の水準値を満たす結果となった。またTiO_2を含むボードにおいては24時間の吸水厚さ膨張率については木粉のみのボードと比較して劣るが、その後逆転し厚さ膨張が起こりにくくなっている。これは水分が入ることの出来る空隙にTiO_2が入っており、そのTiO_2が水分の浸入を阻害していると考えられる。また重量変化率についても同じ結果となりTiO_2を混入したボードのほうが低い変化率となった。これも水分が入ることの出来る空隙にTiO_2が入っており、そのTiO_2が水分の浸入を阻害していると考えられる。

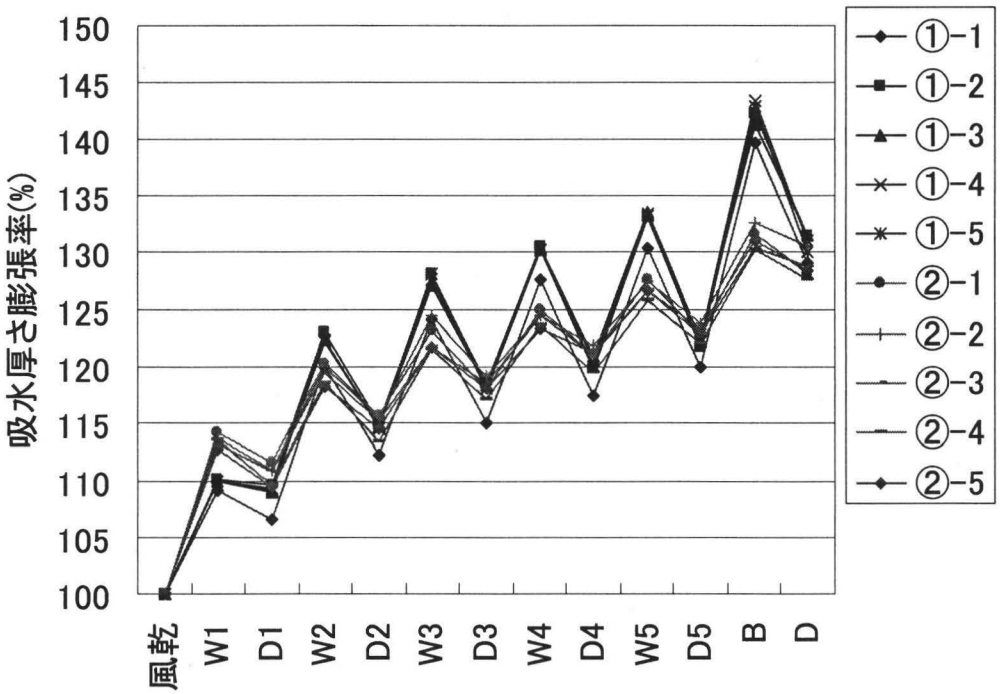


図34　TiO_2ボードと木粉ボードにおける吸水厚さ膨張率の差

TiO_2ボードにおける抗菌性試験

成型したボードを蛍光灯下(2 μW/cm²)においてJIS-L 1902に従い*Klebsiella pneumoniae*（肺炎桿菌）を用いて殺菌活性値を測定した。その結果を表3に示した。また生菌数を図36に示した。初期生菌数は7.5、測定最低限界値は2.3であった。TiO_2粉末をボードに含有させることで抗菌活性を得られた。またTiO_2の濃度依存性がみられ、蛍光灯照射あり、照射なしで差が認められる。蛍光灯照射下においてTiO_2を木粉に対して5wt%以上加えると殺菌活性値が測定限界を超える程殺菌効果があった。また暗条件下においてもTiO_2の含有量が増加するにつれて殺菌活性値は向上した。これはTiO_2は無機物であり、微生物にとって増殖しにくい環境になったからだと考えられる。

コントロールも多少の菌数減少が認められた。これは木材に含まれる抗菌性成分の影響と考えられる。また定性試験（ハロー法）試験結果を写真 12 に示す。$TiO_2$20%含有するボードのみ菌の増殖を抑えられている領域が見られ、抗菌性があった。他のサンプルにおいては抗菌性は見られなかった。おそらくTiO_2ボードにおける抗菌性は光が照射されているボード表面しか現れず、ボード周囲には効果が無いからであると考えられる。$TiO_2$20%のボードにおいて、周囲に抗菌性がみられたのは、ボードに含まれていたTiO_2がシャーレ上に流出し、これに蛍光灯からの光が照射されて光触媒反応が起こり、これらが抗菌性に関与したのではないかと考えられる。

ボードへの銅付与による抗菌性増加

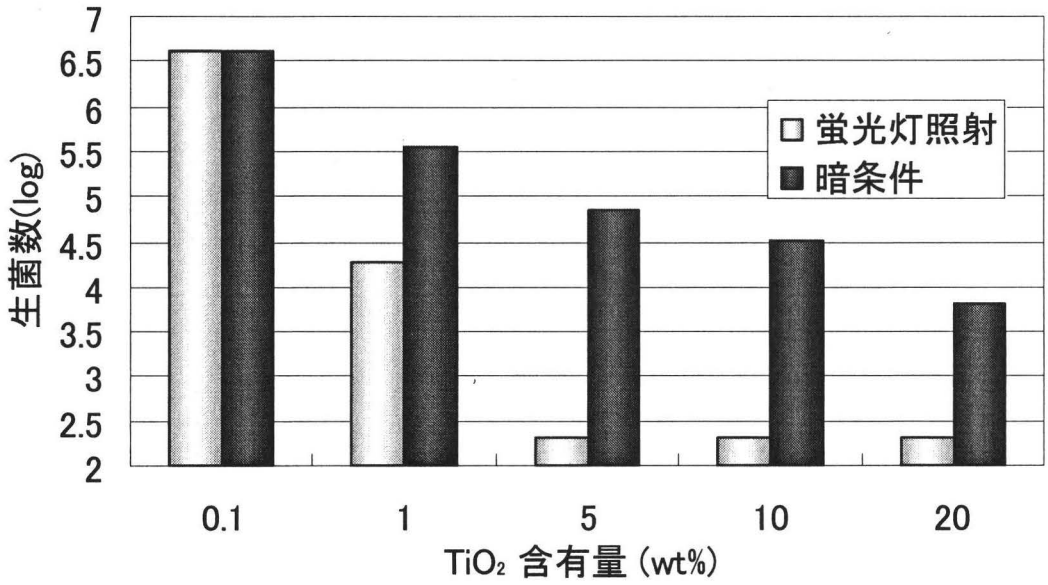


図 35　TiO_2ボードと木粉ボードにおける吸水重量変化率の差

TiO_2は暗条件下においては光触媒活性が現れず、抗菌性も示さない。その為抗菌性を常に保つために、抗菌性を示す物質をボードに付与した。ボードの圧縮成形時に 20cm×30cmに切断した銅板を木粉の下に敷いておくことにより、ボード成型と同時にボード表面に銅を転写する方法とボードの材料である木粉に銅粉を混入する方法で銅を付与してサンプルを作製した。これらのボードにおいて抗菌性の試験を行なった。試験方法はTiO_2 の抗菌試験と同じ方法で蛍光灯は非照射で行なった。試験結果を表 4 に示す。初期生菌数は 3.54×10^7、最低測

定限界値は 200 であった。銅板転写法、銅粉混入法ともにほぼ全ての菌が死滅し、殺菌性が確認できた。　また定性試験（ハロー法）の結果を写真 13 に示す。定性試験においても銅板転写法、銅粉混入法の両サンプルにおいて抗菌活性がみられた。しかし銅粉を混入したボードについては混入した銅粉が酸化し緑色に変色していた。この為実際に使用する場合は見た目が悪いため銅の混入量を減らし、もし酸化が起きても見えにくくするなどの必要がある。

TiO_2を含まないボードにおける生菌数＝6.6、初期生菌数＝7.5、測定最低限界値＝2.3

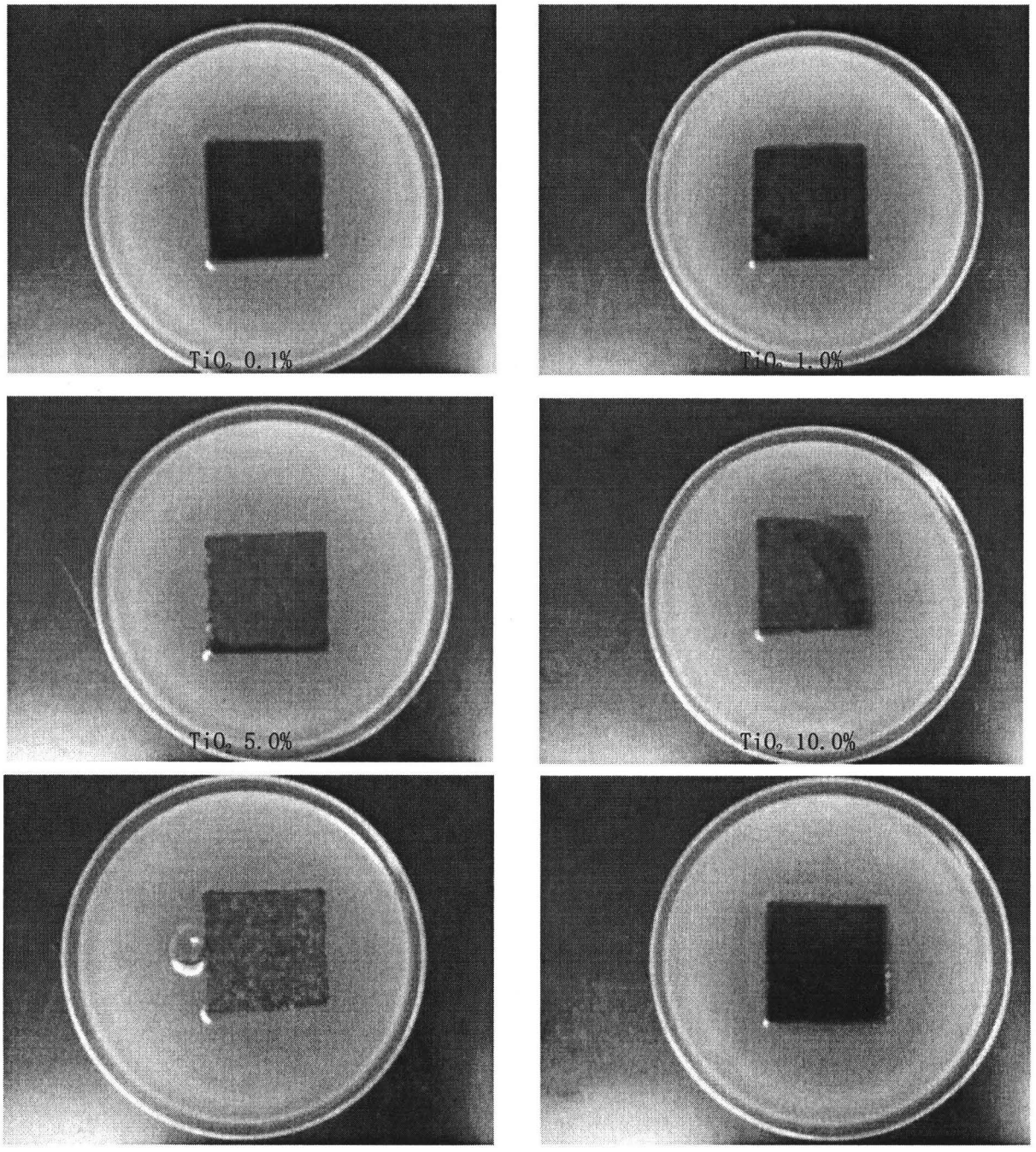
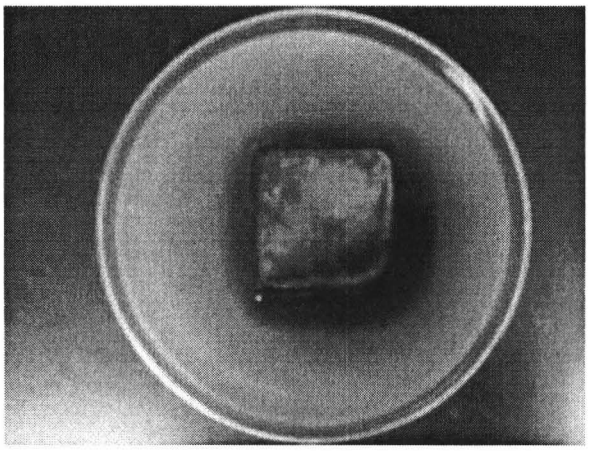
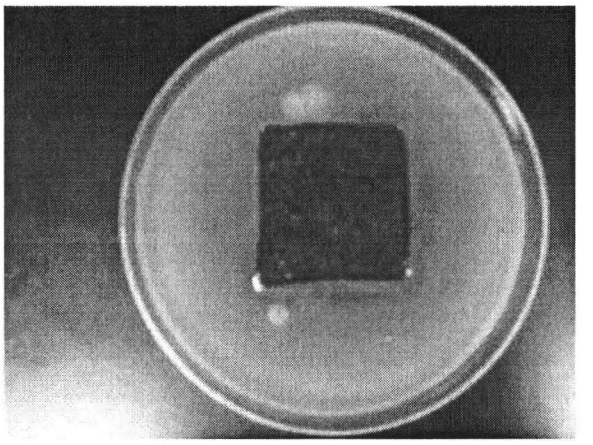


写真 12　TiO_2ボードにおける定性試験の結果

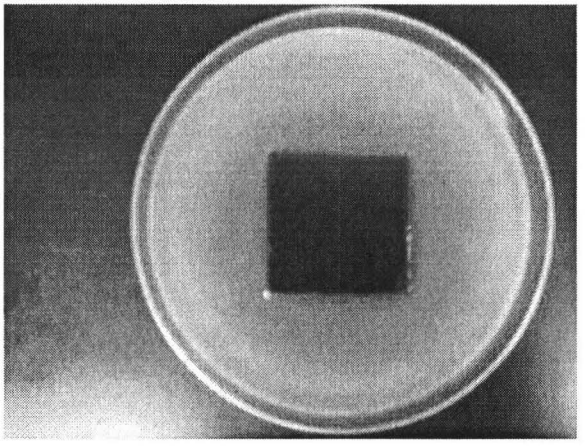
これらの両試験結果より非照射下においても銅を添加することで抗菌活性が維持できることを見出した。銅転写は銅板を繰り返し使えるというメリットがあり、銅粉末混入は添加量が調節でき、また表面が削れたとしても中から銅が出てくるというメリットがあり、使い分けが可能である。



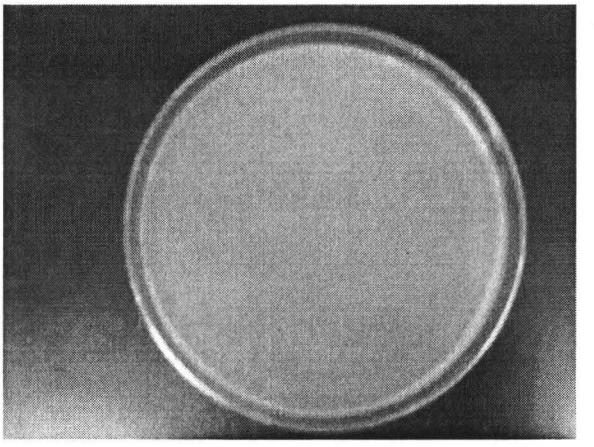
2.5wt%銅粉混入ボード



銅板転写ボード



木粉ボード(銅添加なし)



コントロール

写真 13　銅混入ボードにおける定性試験の結果

シリケートコーティングによる木質ベース保護の有効性についての検討

TEOSで木粉を気相処理して保護をし、TiO_2混入後これを圧縮成形加工した。成型後に活性化前処理として 7 日間UV照射(2.5 mW/cm^2)を行った。この成型したボードにおける木質ベース保護の有効性について、TEOS気相処理をしたサンプルとTEOS気相処理なしのサンプルにUVを照射し、木材が光触媒によって分解されると生成するCO_2の濃度を測定し、保護の有効性について検討した。測定条件としては 10wt% TiO_2 含有ボード(TEOS気相処理あり、なし)に上面から 72 時間UV照射(5mW/cm^2)を行ない 72 時間後のCO_2の濃度増加を測定した。 またブランクとして木粉のみでTiO_2を含まない木粉のみのボードも試験した。実験の有効性確認用に暗所に保存してUV照射を行なわないサンプルも用意した。なおCO_2初濃度はUV照射・TiO_2ボード、

UV照射・気相TEOS処理TiO_2ボードサンプルのみ 90ppmでこれらを除くサンプルのCO_2初濃度は100 ppmであった。この試験結果を表 4 と図 37 に示す。TEOS気相処理を行なわなかったサンプル(グラフ左)はUV照射をすると 8050ppm程のCO_2が発生した。しかしTEOSを処理したサンプル(グラフ中央)に照射を行なった場合、1870ppmに抑えることが出来た。木粉のみで成型したボードにおいても 720ppm程のCO_2が生成された。これは木材へのUVによる光分解が起きたと考えられる。本実験において、TEOSによる光触媒活性からの木質ベースの分解抑制について確認できた。

表 4 光触媒反応下における木材由来のCO_2濃度増加とその抑制

サンプル	UV 照射下増加CO_2濃度 (ppm)	UV非照射増加CO_2濃度 (ppm)
TiO_2	8050	200
TiO_2 and TEOS	1870	190
Control	720	200

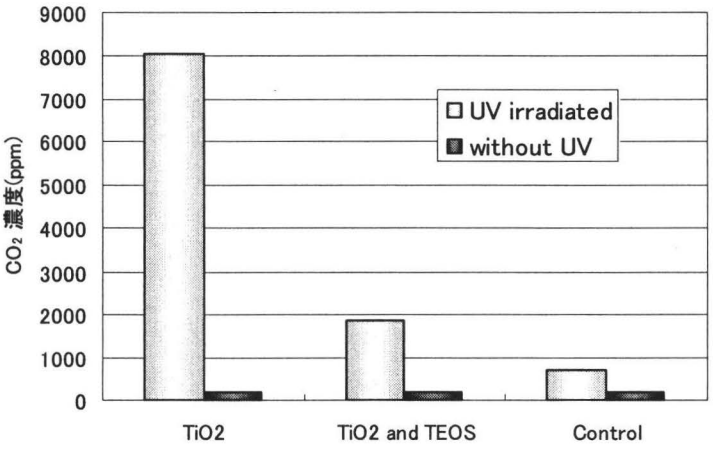


図 37　光触媒反応下におけるTEOSによる木材由来のCO_2生成抑制効果

TiO_2含有量増加についての検討

これまでの実験においてボードを作成した場合、ボード表面に木質材料由来の抽出物が付着しTiO_2の含有率を低下させていた。また大型圧縮成型装置内で冷却された水蒸気が水に変わり、その水によってTiO_2の粉末をボード成型冶具外へ流出させていたと考えられる。そのためにボードの成型条件を再検討してボードを成型し、このボードにおける灰分測定を行なった。ボードを成型する前に装置、冶具を加熱しておき、水蒸気が冷えて水分になるのを防いだ。成型したボードは、浸水した部分と、乾燥したまま成型できた部分があった(写真 23)。しかし従来の方法で作製したボードよりも浸水した部分が少なくなっていた。これ以上の装置の温めは不可能であり、おそらく、大型圧縮成型装置のスチームトラップの故障による水分の装置への浸入が原因と考えられる。

この成型したボードのTGを示差熱熱重量同時測定装置で測定し、ボード中のTiO_2量を測定した。その結果を図 44 に示した。まず従来法では上面にTiO_2が多く存在しているが、改良した方法では底面にTiO_2が多く存在する。これはTiO_2粉末が水分によって浮遊し上部に移動したものと考えられる。また新しく成型したボードにおいて浸水部と乾燥部を比較すると、上部・底部ともに乾燥部のほうが 5%程TiO_2を多く含んでいた。これは水分によって抽出物が木材細胞中に運ばれ抽出物分の重量が増加したことと、TiO_2が水分により流失したことが主な原因だと考えられる。乾燥部のデータに焦点をおいて考察すると、上面では平均で 2.5%程、底面では 8%程の灰分増加となった。これらからのデータより改良したボードにおいてTiO_2含量が増加していた。これは成型方法を改良したことにより,TiO_2の流出をより少なくできた結果だと考えられる。

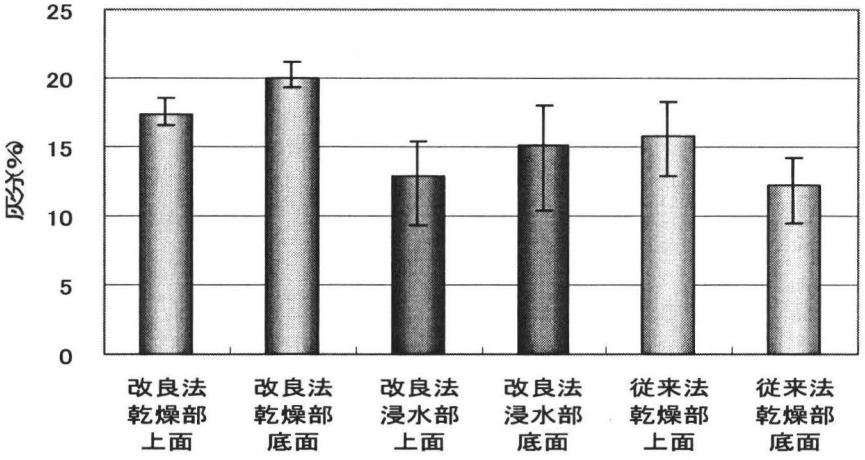


図 44　従来法と改良した方法で成型したボードにおける灰分(TiO_2)の量

市販品との比較

これまで行ってきた実験において光触媒活性を有するTiO_2ボードを作成することが出来た。これらのボードの光触媒活性は市販の光触媒商品と比較すると、どれ位の光触媒活性を有するのかを調べた。これらの流通系光触媒活性試験の結果を図 45～48 に示す。AT-01 、RP-01、レイマジックに関してはいずれも光触媒活性をみられなかった。スーパー消臭フィルターについては光触媒活性が顕著にみられた。また光分解率は 71.3%であった。また本実験において作成し、光触媒活性が得られたボードの試験結果を図 49～54 に示す。

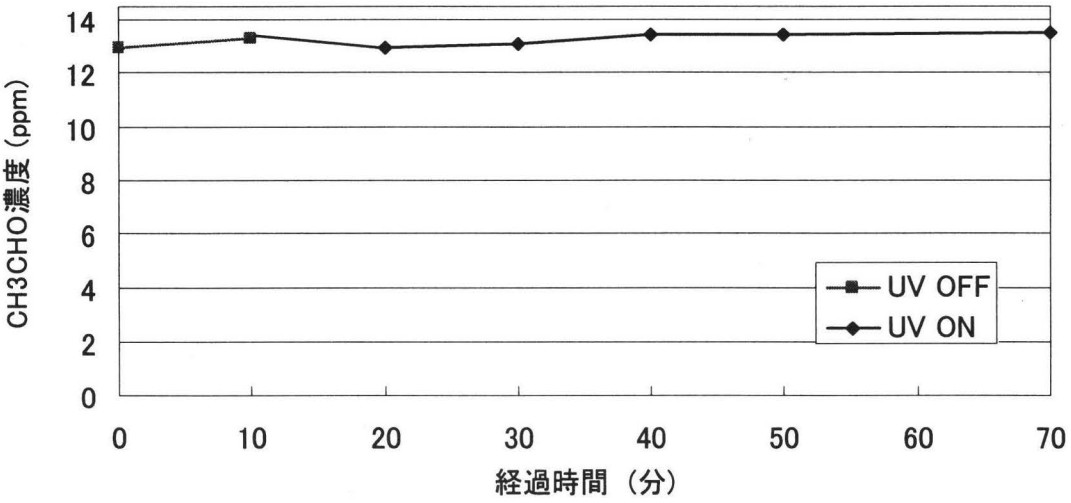


図 45　AT-01(塗料)の流通系光触媒活性試験の結果

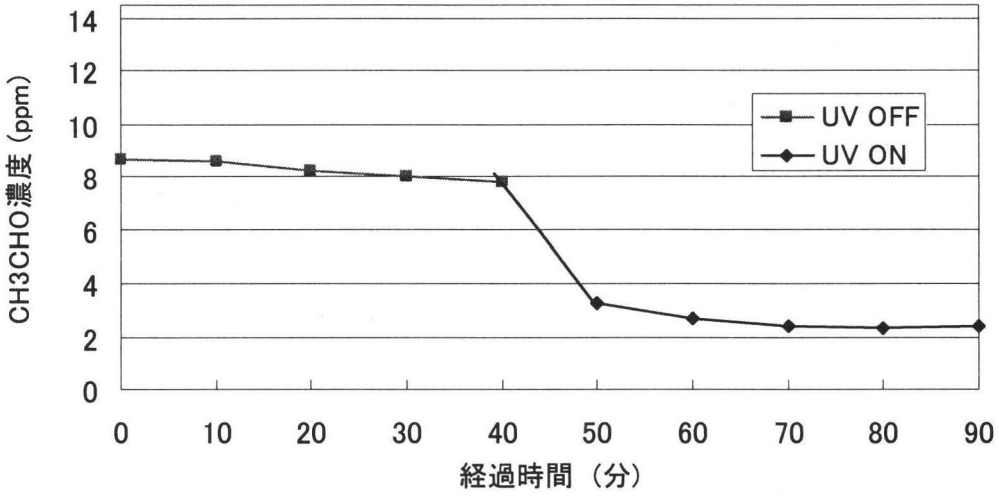


図 48　スーパー消臭フィルターの流通系光触媒活性試験の結果

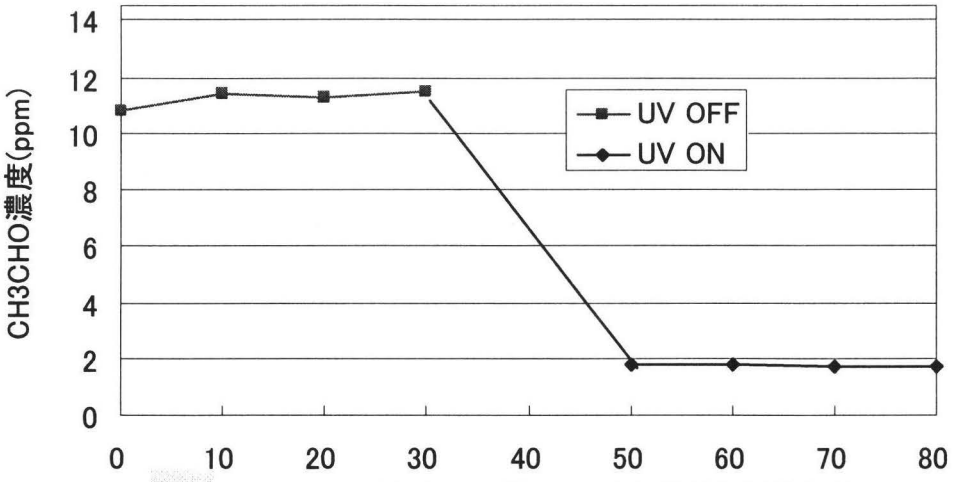


図 49　ST01 50wt%含有TiO2試験(UV)光触媒活性試験結果

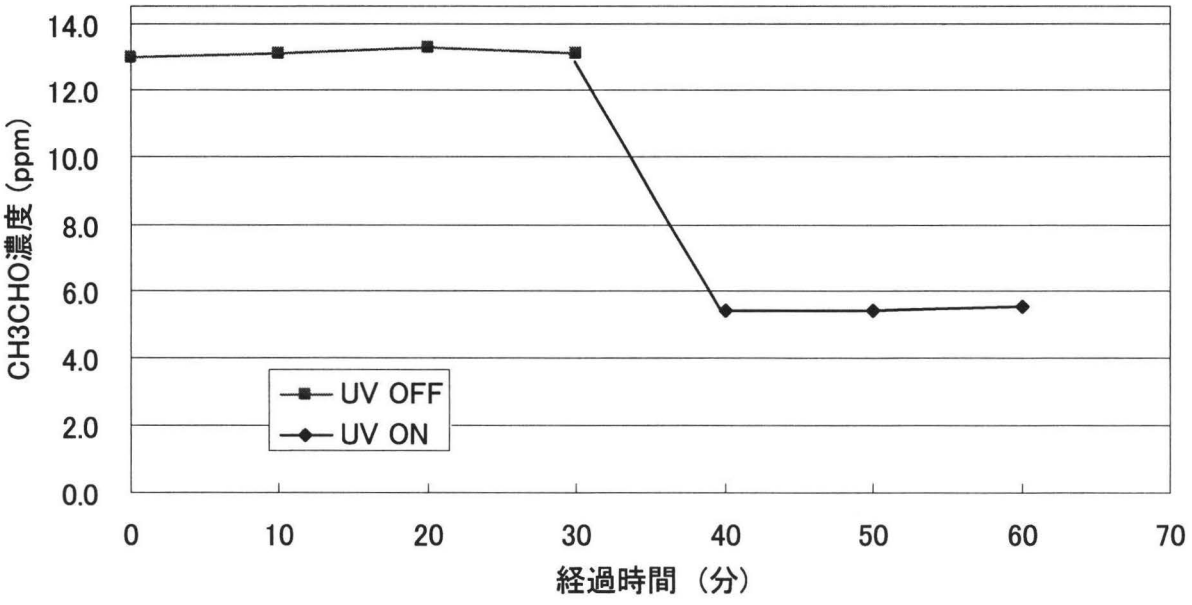


図 50　ST41 20wt%含有TiO_2ボードの光触媒活性試験結果

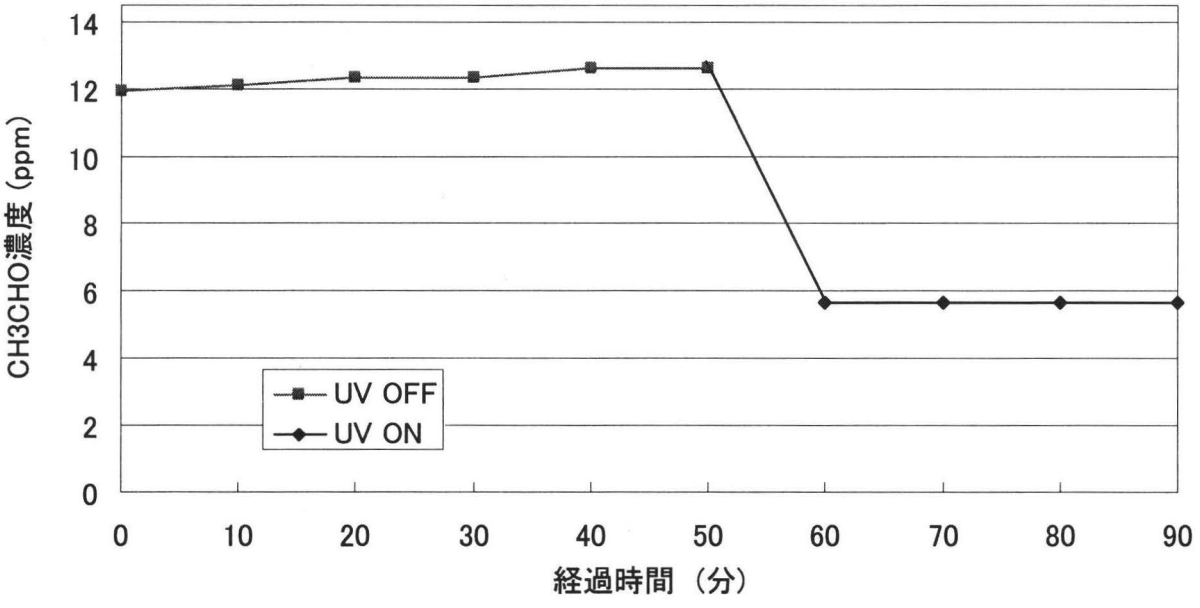


図 52　ST-01 20wt％含有TiO_2ボードの光触媒活性試験結果

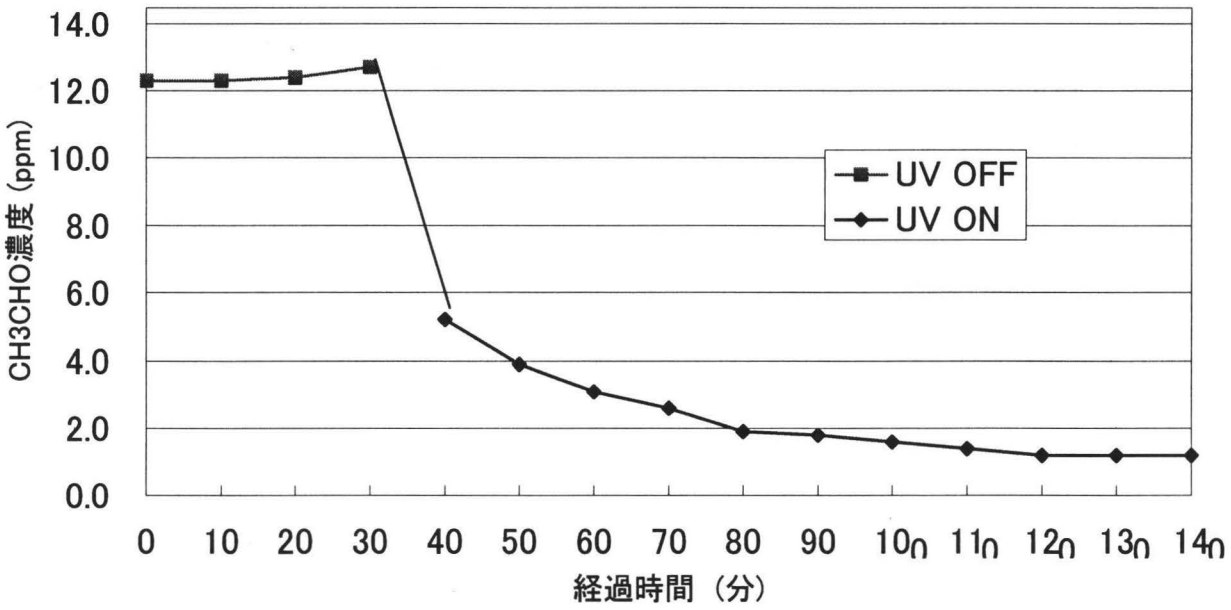


図 53　ST-01 50wt%含有TiO_2ボード(ケイ酸カルシウム含有)の光触媒活性試験結果

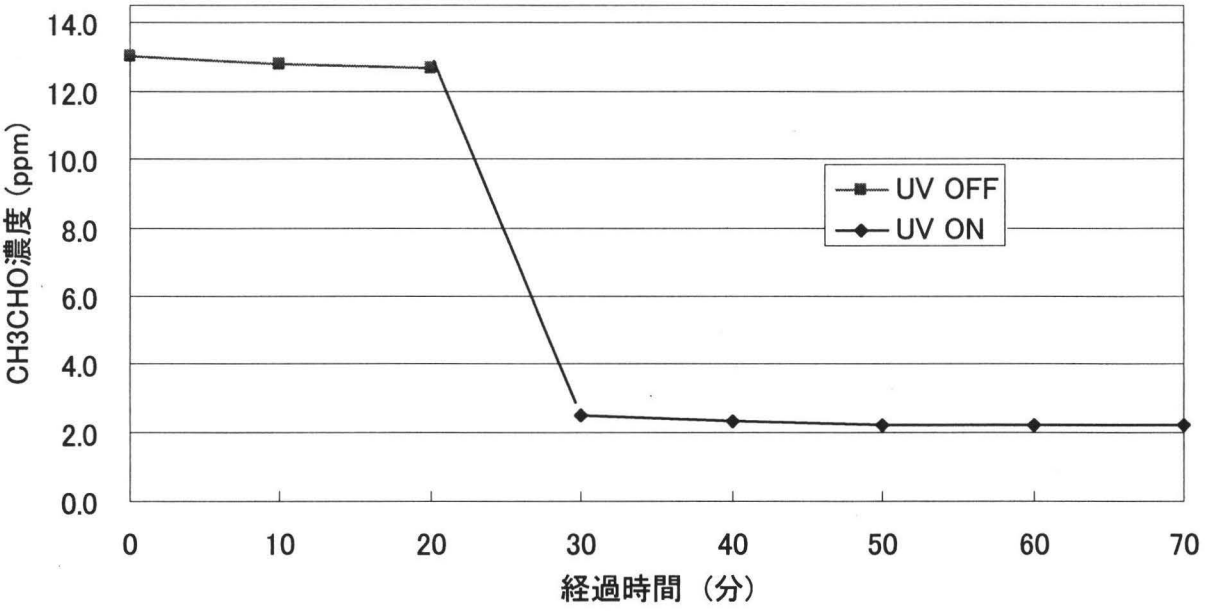


図 54　ST-01 20wt%含有TiO_2ボード(ケイ酸カルシウム含有)の光触媒活性試験結果

光分解率を用いて本研究で作成したボードと比較した結果 ST41 20wt%含有ボード以外は市販品と光触媒活性が同程度もしくは優れているという結果が得られた。

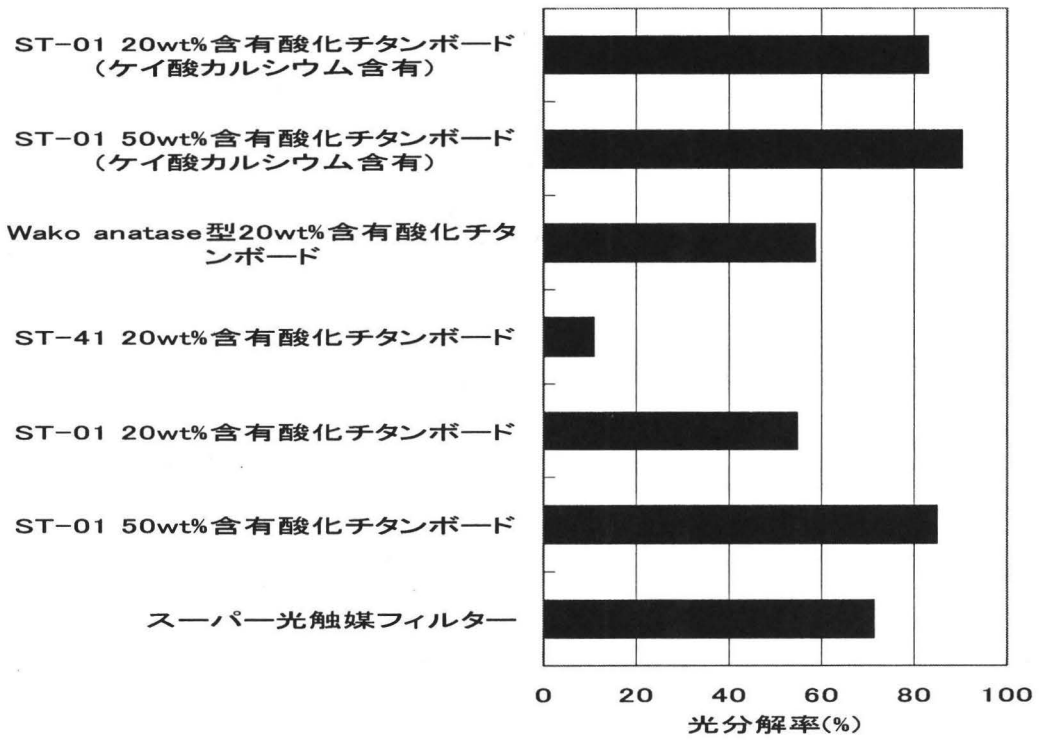


図 55　本研究で作成したボードと市販品との光分解率の比較

5．まとめ

本研究で開発された光触媒活性を有するTiO_2ボードは本研究以前では光触媒活性が低く、強度も弱かったため、実用化には程遠かった。そこで本研究は今までのTiO_2ボードの光触媒活性、抗菌活性、物理的強度を実用化レベルまであける事を目的とした。さらに実用化するための基本的なボードの性能を調べ、市販化へ向けて大きく進歩した。

本研究ではそれらの目的に対して、光触媒活性をボードに持たせるためにはボード成型後に活性化前処理が必要であることを見出し、光触媒活性の更なる向上にはボード自体の吸着活性向上や、光触媒自体にも木材と相性の良いTiO_2を模索し、それを材料としてボードを成型することにより解決された。本実験では光触媒として一般的なアナターゼ型のTiO_2を用いたが、本TiO_2における紫外線吸収可能領域は380nm以下の紫外線に限られる。太陽光には多く含まれている波長領域ではあるが、室内においてよく利用される蛍光灯には太陽光の約1/10程度と微量しか含まれていない。しかし、可視光領域を利用できるTiO_2が開発され*9、実用化も始まっている。この可視光領域を吸収できるTiO_2をボードに使用することにより、室内のようにUVが少なく、可視光がメインに存在するところに有効となる。

ボードの物理的強度向上についてはボードの2層化や、ボード成型材料を木粉から木繊維に変更することで飛躍的に向上し、曲げ強度、曲げヤング率、剥離強度、吸水厚さ膨張率と

もにパーティクルボードのJIS規格を満たす結果となった。また更なるボードの強度を要する場所に施工する場合には、光触媒活性は落ちるが光触媒の量を減らせば物理的強度が向上する。光触媒活性が減少した分、広面積にボードを施工することで分解能力が補えると考えている。また喫煙所などの高い分解能力が必要とされる場所においてはボード自体の強度は低下するがTiO_2の量をある程度まで増やすことで高分解能を持たせることが可能になる。これらにより、物理的強度と光触媒活性をコントロールし、用途に合った高機能バインダーレスボードを製造することができる。施工場所の例としては、手すりや壁などある程度強度を必要とするところには強度の高いボードが必要とされるため、TiO_2の量を減らし成型する。また天井など触れるといったことがない施工場所にはTiO_2の量を増やしてボードを成型し場所に応じて調節が可能である。またその天井にTiO_2ボードを用いる際、間接照明のような形でブラックライトを天井に向けて照射することで高効率の室内空気浄化とともに見た目にも優れたものとなる。

抗菌性に関しては木粉に対して 5wt%以上加えることで顕著な抗菌性が得られることを見出した。また抗菌性を向上させるためのボードへの銅添加により更に高い抗菌活性を得られたうえ、暗条件化においても抗菌性を保つことが実証された。

TiO2 ボードを実用化するにあたって、製造コストが高価であると市販する事は難しい。そこで、TiO2 ボードを作成するのに要するコストを算出した。コストの産出にはボードを作るのに要する材料、エネルギーコスト、人件費をボード 1 枚に対して算出した。詳しい計算方法を表 3 に示す。また本表は TiO2 ボードの中でも TiO2 を木粉に対して 10wt%含有し、2 層で作成した場合を表記した。20×30cm のサイズが 450 円で作成できる。また商業ベースで生産が行われている木質バインダーレスボード(TiO2 を含まない)は同程度の面積のボードが 240 円で販売されている。そこに 200 円程加えれば光触媒活性をつけ販売できる。

このように今回の実験で、廃材から高機能を備えたボードを開発することが示唆された。木粉などの廃材や、シックハウスなどの室内環境などが問題視されている中で、今後期待される材料になるといえる。

03-20 木材の腐朽劣化が木質構造ボルト接合部のせん断性能に及ぼす影響

秋田県立大学 木材高度加工研究所

流動研究員 澤田 圭

1. 本研究の背景と目的

近年、環境問題に対する意識の高まりから、資源循環型材料、環境低負荷材料として知られる木材の有効利用が注目されるようになってきた。木材は古くから人間の生活に密着してきた材料であり、今日でも生活のあらゆる所に利用されている。その利用範囲は多岐にわたっており、中でも建築材としての利用は大きな比率を占めている。木材は他の建築材料に対して加工が容易であること、密度が低い割に強度が高いこと、そして再生産が可能であること等の点から建築資材として優れた材料であり、最近では一般の住宅だけでなく木橋や体育館等の大規模な建築物にも用いられるようになってきた。大規模木質構造物にみられるラーメン構造は半剛節挙動を示すことが知られており、こうした挙動は大規模構造物だけでなくSI住宅のような構造物に対しても要求されるものである。木質ラーメン構造では、構造部材同士をラグスクリュー、ボルト、ドリフトピン等の機械的接合具を用いて接合されている。このような木質構造物に外力が作用した場合、一般的に部材の耐力よりも接合部の耐力の方が低いことから、構造物の耐力性能は接合部の耐力によって決定されることが多い。そのため、構造物に対して信頼性を有する設計を行うためには接合部の耐力性能を把握することが重要となる。

ここで、木材の力学的性質は木材含水率によって大きく左右されるため、構造物が置かれる実際の使用環境を考えた場合、その環境下の温湿度条件によって構造物の力学性能は大きく影響される。特に木材が湿潤な環境下に置かれる場合は木材に生物劣化が生じやすくなり、その結果木材の耐力は急激に低下する。腐朽は初め局所的に発生するため構造部材のほとんどが健全であっても、接合部分に水分が入り込み木材腐朽が生じたならば、その腐朽劣化が構造物全体の耐力性能に致命的な影響を与える可能性が考えられる。そのため、腐朽劣化を生じた木材および木質材料の強度低下が構造物の耐力性能に与える影響を調べることは構造物の安全性、信頼性のある評価をするうえで非常に重要となる。これまで木材や木質材料の圧縮・曲げ性能と腐朽劣化との関係について調べた研究は行われているが、接合部を対象とした研究は極めて少ない。そこで本研究では、接合部の中でも主要なものの１つである木質構造ボルト接合部を対象とし、木材の腐朽劣化がボルト接合部せん断耐力に及ぼす影響を調べた。

初めに、ボルト接合部のせん断性能に関して重要な因子である木材の面圧強度を調べた。面圧強度とは、ボルトのような棒鋼の曲線面で木材を部分圧縮したときの木材の強度を表す。木材腐朽菌の生育には栄養（木材）、空気、温度、水分が必要であり、腐朽菌が伸長するような環境下では木材は繊維飽和点以上となっている。木材の強度は木材含水率の影響を強く受け、そのため腐朽が

生じている木材の強度は腐朽劣化と含水率の影響で大きく低下していると想像される。そこで、含水率と健全材、腐朽処理材の面圧強度を比較し、腐朽期間と強度劣化の関係を調べた。

次に、ボルト1本または2本を有する接合部について一方向単調加力試験を行い、腐朽期間と接合部のせん断性能との関係を調べた。なお 2 本のボルトを用いた接合部については、あるボルト孔で生じた腐朽が進展していく場合を想定し、腐朽箇所は 2 つのボルト孔どちらか一方とした。また、1本のボルトを用いた接合部については繰り返し荷重を与える正負繰り返しせん断試験も行い、腐朽劣化が接合部のエネルギー吸収性能に与える影響を調べた。

2. 木材腐朽と木材の面圧強度

2. 1 材料および方法

2. 1. 1 面圧試験体

含水率と健全材の面圧強度の関係はスギ、カラマツ、ベイマツ、スプルースを用いて調べた。用いた試験体の密度は平均(括弧内は変動係数)でスギ 355kg/m^3(9.2%)、カラマツ 518 kg/m^3(14.5%)、ベイマツ 613kg/m^3(6.2%)、スプルース 445 kg/m^3(12.6%)である。試験体数は各樹種 48 体、計 192 体とした。試験体寸法はASTM-D5764に準じて幅 89mm、高さ 89mm、厚さ 24～38mmとし、試験体の端部に径 13mm 程度の半円形の溝を設けた。これは、ボルト接合部のボルト穴を中心としたときの片側半分を想定している。試験体は常温で1～3週間浸水処理した後自然乾燥し、適時試験に用いた。

腐朽劣化と面圧強度の関係はスギ心材、スギ辺材、カラマツ、ベイマツ、スプルースを用いて調べた。用いた試験体の密度は平均(括弧内は変動係数)でスギ 399kg/m^3(7.4%)、カラマツ 572kg/m^3(6.9%)、ベイマツ 557 kg/m^3(6.5%)、スプルース 454 kg/m^3(8.6%)、気乾含水率はスギ 11.9%、カラマツ 10.0%、ベイマツ 12.0%、スプルース 11.4%である。試験体は幅 89mm、高さ 89mm、厚さ 24～38mm で、試験体端部に径 13mm 程度の半円形の溝を設けており、試験体数は各樹種 90～119 体、計 479 体とした。なお、スギ心材試験体についてはACQ処理を施した試験体も用意し腐朽処理を行ったが、後述するようにスギ心材には腐朽による強度劣化が見られず、当然防腐処理した試験体にも強度劣化が見られなかったため、ここでは強度劣化に対する樹種間の比較に焦点を当て、ACQ処理したスギ心材の試験結果についての言及は省略した。

2. 1. 2 腐朽処理方法

ボルト穴に腐朽菌が入り込んだ場合を想定して腐朽処理を行った。腐朽菌には日本工業規格や(社)日本木材保存協会規格で使用が規定されている褐色腐朽菌オオウズラタケを用いた。ポリプロピレン製容器内の培地(麦芽エキス 2%、ペプトン 1%)上に予め培養しておいた腐朽菌を接種し、10日間の培養後、滅菌処理した試験体をその溝部分が菌叢に接するように静置した。木材の溝部分から腐朽を生じさせるため、試験体の溝以外の面にはエポキシ樹脂を塗布した。試験体は恒温恒湿器内(26℃, 99%RH)で腐朽させ、腐朽処理期間は 2～10 週間とした。面圧試験には腐朽操作終了後すぐ試験に用いた材(未調湿材)と、腐朽操作後に 60℃で 48 時間乾燥させた後、気乾状態まで調湿した材(調湿材)を用いた。

2．1．3 試験方法

試験は半円形の溝に径 12mm のボルト状の棒鋼を押し込むように行い、加力方向は繊維平行および繊維直交方向とした。試験速度は1mm/min.とし、クロスヘッドと試験体間の変位を2つの変位計を用いて測定した。荷重はクロスヘッドと試験体の間にロードセルを設置して測定した。面圧試験の概観を図 1 に示す。試験は繊維平行加力ではき裂が材端に達した時点で、直交加力では材端にき裂が生じた時点で終了とした。

2．2 面圧試験の結果

2．2．1 面圧強度の評価法

面圧試験から得られた荷重から(1)式を用いて面圧応力を求めた。

$$fe = \frac{P}{d \cdot t} \tag{1}$$

ここで、fe は面圧応力(MPa)、P は荷重(N)、d はボルト径(mm)、t は試験体の厚さ(mm)。

図 2 に含水率 10%と 30%のスプルース健全材および腐朽処理材の面圧応力－変位関係を示す。健全材の面圧応力－変位曲線は、繊維平行方向加力の場合は初め応力が直線的に増加して、降伏後は変位の増加にかかわらずほぼ一定であったが、繊維直交加力の場合は降伏後も応力が漸増した。しかし、腐朽材の面圧応力－変位曲線の形状は健全材と大きく異なり、繊維平行加力の場合は加力後すぐに降伏し、降伏後の応力は漸増した。繊維直交加力では明確な降伏点が見られず応力は直線的に増加する傾向を示した。

繊維平行方向の面圧強度はASTM-D5764に準じて5%off-set法から求めた。5%off-set法は応力－変位曲線上の初めの直線部分をピン径の 5%相当の変位だけ X 方向へ平行移動し、平行移動した直線と応力－変位曲線の交点から降伏強度を算出する方法である。しかし繊維直交加力においてはこの評価法で強度が求まらない場合があるため、ここでは降伏変位に相当する2.5mm変形時までの最大応力を繊維直交方向の面圧強度とした。

2．2．2 面圧強度と含水率

面圧試験後、試験体から溝部分を含む小片を切り出し、溝近傍の含水率を全乾法により求めた。この試験から含水率 10～80%間の面圧強度のデータが得られ、この強度を気乾材の強度の平均値で除して面圧強度の比を求めた。図 3 に健全材の面圧強度比と含水率の関係を示す。含水率 10%～約 28%（繊維飽和点）間は、含水率の増加とともに面圧強度は低下し、含水率が繊維飽和点以上になると面圧強度はほぼ一定となった。この傾向は樹種や加力方向にかかわらず同様であった。含水率が繊維飽和点以下では含水率 1%当たりの面圧強度の増減率は 3.0～3.7%で、繊維飽和点以上の面圧強度は気乾時の約 0.5 倍であった。ここでは、面圧強度比と含水率の関係をバイリニア型にモデル化した。モデル式を(2)式に示す。

$$fe,e = \left\{1-(28-ud)\times\frac{r}{100}\right\}\times fe,d \quad \text{(測定含水率 28\%未満)} \tag{2}$$

$$fe,e = \left\{1-(ue-ud)\times\frac{r}{100}\right\}\times fe,d \quad \text{(測定含水率 28\%以上)}$$

ここで、*fe,e* は推定面圧強度(MPa)、*ue* は測定含水率(%)、*ud* は気乾時の含水率(%)、*r* は含水率1%あたりの面圧強度の増減率(%)、*fe,d* は気乾時の面圧強度(MPa)。気乾時の繊維平行方向の面圧強度(*fe,d*)はスギ心材 34.6MPa、スギ辺材 26.9MPa、カラマツ 39.2MPa、ベイマツ 39.3MPa、スプルース 33.3MPa で、繊維直交方向の面圧強度はスギ心材 14.5MPa、スギ辺材 11.3MPa、カラマツ 23.8MPa、ベイマツ 25.3MPa、スプルース 15.2MPa である。

2．2．3 腐朽状況

目視における試験体表面の菌の付着量は樹種によって異なり、溝全体を覆うような菌の付着はスギ心材では腐朽処理 10 週目でもほとんど見られなかったが、ベイマツは 8 週目頃から、カラマツとスギ辺材は6週目頃から、スプルースは4週目頃から見られた。また、この腐朽操作においては腐朽処理 3 週目以降の木材含水率は概ね一定で、平均 25%程度であった。

2．2．4 腐朽処理材の面圧強度

図 4 に面圧強度と腐朽処理期間の関係をスギ心材とスプルースについて示す。ここで、腐朽期間 0 週には含水率 10%程度の健全材を調湿材、含水率 28%以上の材を未調湿材として示した。菌の付着量が少なかったスギ心材は腐朽処理 10 週目でも腐朽処理材と健全材の強度は同程度であったが、菌の付着が顕著に見られたスプルースでは、腐朽処理 4～6 週目以降で腐朽処理材の強度は健全材よりも低い値を示した。腐朽処理 9、10 週間後の試験体を気乾状態まで乾燥させた場合、木材腐朽が見られないスギ心材では健全材と同程度まで強度が回復したが、腐朽が生じていたスプルースでは多くの試験体に強度低下が見られた。

図 5 に腐朽処理期間 9、10 週目の木材の強度を健全材の気乾時強度で除した値の平均値を示す。繊維平行加力のスギ心材、カラマツ、ベイマツと直交加力のスギ心材、ベイマツの強度比は、調湿材が約 1.1、未調湿材が 0.5～0.6 で健全材と同程度の値であった。スプルースと繊維直交加力のカラマツには強度低下が観察され、スプルース調湿材の強度比は0.4～0.7、未調湿材は0.2～0.3で、カラマツの調湿材は0.8～0.9、未調湿材は0.2～0.4であった。腐朽材の調湿時と未調湿時の強度比を単純に比較することは材質や木材の耐朽性にばらつきがあるため難しいが、含水率が気乾状態から繊維飽和点まで増加した場合、腐朽材の強度は健全材と同様におよそ半減する傾向を示した。

2．2．5 腐朽による面圧強度低下

木材腐朽による強度劣化を調べるために木材の含水率から(2)式を用いて健全時の面圧強度を推定し、実験値との比較を行った。図 6 に腐朽処理材の強度を健全材の気乾時強度で除した値を示す。なお、腐朽処理材は未調湿材について示した。推定値は含水率の変化と対応しており、3 週目までは強度比が低下し、3 週目以降はほぼ一定であった。ここで、推定値は健全材の強度と仮定しているため、実験値が推定値より小さくなる程、腐朽による強度劣化が著しいと推測される。繊維平行加力のスギ心材、カラマツ、ベイマツと直交加力のスギ心材においては、実験値と推定値は近い値を示した。直交加力のベイマツにおいても実験値と推定値は概ね等しいが、腐朽処理 8 週目と 10 週目には大きく強度低下しているものが見られた。繊維平行・直交加力のスギ辺材は腐朽処理 4 週目までは実験値と推定値は等しいが、6 週目以降に著しい強度低下を示し、繊維平行・直交加力の

スプルースは3〜4週目以降から、繊維直交加力のカラマツは7週目以降から強度低下が生じ始めた。強度低下を示した試験体において、腐朽期間が長くなるとともに実験値は小さくなり、腐朽処理10週目にはスギ辺材は約80%、スプルースは約55%、直交加力のカラマツは約30%の強度低下を示した。この強度低下率のバラツキは試験体によって異なり、スギ辺材とスプルースではいずれの腐朽期間でもほぼ同程度のバラツキであるが、直交加力のカラマツにおいては腐朽期間が長くなる程、バラツキが大きくなる傾向を示した。

この強度低下率から腐朽期間毎の強度劣化の出現頻度を求めた。ここでは、材料強度のばらつきを考慮して実験値が推定値よりも30%以上低下(強度分布を正規分布、変動係数を18%と仮定したとき下限5%値以下に相当)し、且つ木材に腐朽菌が付着していたものを腐朽により強度劣化が生じたものと仮定した。図7に各腐朽期間における強度劣化の発生率を示す。スギ心材とベイマツは腐朽処理10週目までに強度劣化はほとんど見られないが、スギ辺材とスプルースでは腐朽処理6週目で半数以上の試験体に強度劣化が生じた。カラマツにおいては、繊維平行加力の場合はほとんど強度劣化が見られないが、直交加力では腐朽処理7週目以降で多くの試験体に強度劣化が生じた。木材保存学入門((社)日本木材保存協会, p.80)では木材を心材の耐朽性別に「極大」、「大」、「中」、「小」、「極小」の5つに区分しており、スギ、カラマツ、ベイマツは「中」に、スプルースは「極小」に位置付けられている。腐朽処理を10週間まで行った今回の実験では、腐朽による強度劣化はスギ辺材、耐朽性区分「極小」のスプルース、「中」のカラマツで顕著に現れ、「中」のスギ心材とベイマツではほとんど生じなかった。

3. 木材腐朽とボルト接合部のせん断性能

3.1 材料および方法

3.1.1 試験体

ボルト接合部のせん断試験体には、面圧試験の結果を参考に顕著な腐朽劣化が見られたスプルース製材を用いた。試験体数は計90体で、ボルト径12mm、先孔径12mmとした。試験体寸法は幅105mm(縁距離はボルト径の約4.4倍)、長さ410〜490mm(端距離はボルト径の7倍、ボルト間隔はボルト径の7倍)、厚さ30mm(ボルト径の2.5倍)とした。試験体の平均密度は466kg/m^{3}で、密度の変動係数は6.6%である。

3.1.2 腐朽処理方法

ここでは、ボルト穴で腐朽劣化が生じた場合を想定し、木材の先孔部に腐朽処理を施した。手順として、初めに木材を2週間常温で浸水処理して高含水率状態とし、浸水処理後は先孔部にゴム栓をして麦芽エキス2%溶液を注入した。次に、予め培養しておいた褐色腐朽菌オオウズラタケを木片に接種して培養した後、滅菌処理した試験体の先孔部に腐朽菌の付いた木片を詰め、試験体を換気用フィルターのついた耐熱性のビニール袋に入れた。多数本ボルト接合部については、材端側と材内側どちらか一方の先孔に腐朽処理を施した。試験体は恒温恒湿器内(26℃, 99%RH)で腐朽させ、腐朽処理期間は面圧試験の結果を参考に5週間と8週間とした。腐朽処理後、試験体を1週間浸水処理してボルト接合部せん断試験に供した。腐朽処理後の浸水処理は、木材腐朽時には含水

率が高い状態にあることから、実際の腐朽時における強度低下を調べるために行った。また、コントロール材として気乾状態の健全材と健全材を 2 週間浸水処理した材についても試験を行った。ここでは、前者を気乾材、後者を湿潤材と表す。気乾材の平均含水率は 13.7%である。

3．1．3 試験方法

ボルト接合部は木材の左右に鋼板を配置した鋼板添え板 2 面せん断接合形式とした。ボルト接合部せん断試験は、試験体の一端を径 12mm のボルト 1 本または 2 本で鋼板と接合し、他端を径 16mm のボルト 2 本で試験装置と固定して行った。ここで、ボルト 1 本で接合した試験体を単位ボルト接合部、ボルト 2 本で接合した試験体を多数本ボルト接合部と表す。試験の概観を図 8 に示す。

試験は一方向単調加力と正負繰り返し加力で行い、一方向単調加力試験は試験速度 1mm/min. で試験体に引張加力を加えた。正負繰り返し加力試験は CEN/TC124 に準じ、一方向加力試験の結果から降伏変位を求め、ボルト接合部の変形が降伏変位の 25%、50%の値をピークとして 1 サイクル、75%、100%、200%、400%、600%、800%（以下 400%ずつの増分）の値をピークとして 3 サイクルずつ正負繰り返し加力で行った。繰り返し試験の加力速度は約 1mm/min.とした。クロスヘッドと試験体の間にロードセルを設置して荷重を測定し、鋼板と試験体間の変位を 2 つの変位計を用いて測定した。試験は荷重が最大荷重の 50%まで低下した時点、またはき裂が材端まで達した時点で終了とした。

3．2 ボルト接合部せん断試験の結果

3．2．1 腐朽状況

試験体の腐朽処理開始後、1 週間毎にボルト孔からの腐朽菌の伸長を観察した結果、腐朽処理 3 週目に菌の伸長が目視で確認できた。腐朽処理 5 週目においては、ほとんどの試験体の表面に菌の付着が見られ、全試験体の内、約 10%の試験体においては菌の付着が顕著であった。また、試験後に試験体内部の腐朽状況を調べた結果、ボルト孔から材内部へ向かって 5～20mm の腐朽による変色部が確認できた。腐朽処理 8 週目においては半数近くの試験体に顕著な菌の付着が見られ、試験体内部ではボルト孔から材内部へ向かって 5～30mm 程度の変色部が見られた。

3．2．2 荷重－変位関係

図 9 に一方向単調加力試験から得られた単位ボルト接合部の荷重－変位関係を示す。気乾材の荷重－変位曲線は完全弾塑性型に近い挙動を示し、初め直線的に荷重が増加し、降伏後の荷重は変位の増加に対して一定であった。湿潤材の荷重－変位挙動は気乾材と同様の傾向を示したが、降伏から破壊に至るまでの変形は湿潤材の方が気乾材より 2 倍程度大きく、最大荷重は気乾材より 50%程度低い値を示した。腐朽処理材の荷重－変位曲線の形状は健全材と大きく異なり、初め荷重は健全材よりも緩やかに増加し、降伏後も荷重は漸増している。また腐朽処理期間が長くなる程、所定変形時の荷重は低下している。多数本ボルト接合部においても健全材（気乾材、湿潤材）と腐朽処理材の荷重－変形曲線の形状は同様の傾向を示した。

図 10 に正負繰り返し加力試験から得られた湿潤材と腐朽処理 8 週目の荷重－変位関係を示す。荷重－変位関係は正負ともにほぼ対称な挙動を示している。一方向単調加力試験の結果と同様に

湿潤材と腐朽処理材の荷重－変位関係は異なり、湿潤材の包絡線（履歴曲線の最外部）は完全弾塑性に近い形状を示し、腐朽処理材では最大荷重へ向かって荷重が緩やかに増加している。また、繰り返し加力2および3サイクル目の履歴ループの形状も湿潤材と腐朽処理材では異なる挙動を示している。2、3 サイクル目のループは、変位の増分に対して荷重がゆっくり増加する範囲（soft spring）と荷重が急激に増加しピークに達する範囲（hard spring）の大きく 2 つに分けられるが、湿潤材と比べて腐朽処理材は soft spring から hard spring への移行が急である。また、soft spring 部分の荷重も極めて小さい。これは木材腐朽部に力が加わることでその箇所の変形が回復されず、その結果繰り返し加力によるエネルギー吸収性能が低下したためと考えられる。

3．2．3 ボルト接合部のせん断性能の評価法

得られた荷重－変位曲線から初期剛性、降伏耐力、降伏変位、最大耐力、最大耐力時変位を求めた。初期剛性は ISO/TC165 に準じ、最大荷重の 10%と 40%に対応する荷重－変位曲線上の点を結んだ直線で評価した。また、この直線をボルト径の 5%相当の変位だけ X 方向へ平行移動し、平行移動した直線と荷重－変位曲線の交点の荷重を降伏耐力と評価した（5% off-set 法）。荷重－変位曲線上の降伏耐力に相当する変位を降伏変位、最大耐力に達した時の変位を最大耐力時変位として求めた。

3．2．4 木材腐朽とボルト接合部のせん断性能の関係

単位ボルト接合部の降伏変位および最大耐力時変位を図 11 に示す。気乾材の降伏変位に対して湿潤材と腐朽処理材（5 週）の降伏変位は約 1.2 倍大きく、腐朽処理材（8 週）の降伏変位は約 1.4倍大きい値を示した。最大耐力時変位においては気乾材に対して湿潤材は約 1.9 倍、腐朽処理材（5 週）は約 3.1 倍、腐朽処理材（8 週）は約 3.2 倍大きな値を示した。ボルト接合部の降伏変位は気乾材・湿潤材・腐朽処理材ともに概ね近い値を示したが、気乾材は降伏後の塑性変形量が小さく、腐朽処理材は低荷重状態での変形増大が見られたため（図 9）、水分や腐朽劣化の影響は最大耐力時変位で強く現れた。

ボルト接合部の初期剛性、降伏耐力、最大耐力をボルト本数で除した、ボルト 1 本当たりの各せん断性能値を図 12～14 に示す。気乾状態から湿潤状態になることで、単位ボルト接合（ボルト 1 本）、多数本ボルト接合（ボルト 2 本）共に初期剛性は平均で約 50%低下し、降伏耐力・最大耐力は約 40%低下した。腐朽期間が長くなるにつれボルト接合部のせん断性能に低下が認められた。湿潤材の値に対して、腐朽処理 5 週目の単位ボルト接合部の初期剛性は 60%、降伏耐力は 47%、最大耐力は 31%低い値を示し、腐朽処理 8 週目では初期剛性は 71%、降伏耐力は 59%、最大耐力は 42%低い値を示した。多数本ボルト接合部においては、湿潤材の値に対して腐朽処理 5 週目で初期剛性が 29%、降伏耐力は 25%、最大耐力は 15%低い値を示し、腐朽処理 8 週目では初期剛性は 59%、降伏耐力は 42%、最大耐力は 29%低い値を示した。腐朽処理材のボルト接合部のせん断性能は湿潤材の値よりも 15～71%低下しており、気乾材の値と比較した場合では 50～85%の低下となる。腐朽劣化によるボルト接合部のせん断性能の低下率は初期剛性が最も大きく、降伏耐力、最大耐力の順に小さくなっていく。この実験ではボルトと木材の接触部分から腐朽が生じるように処理しており、ボルト接合部の初期の変形性能に影響を及ぼす初期剛性が腐朽の影響を強く受けている。また腐

朽処理材は木材が割裂破壊するまで荷重が増加するため、腐朽劣化が最大荷重に与える影響は初期剛性・降伏耐力よりも小さく現れた。

一般的に、多数本ボルト接合部におけるボルト1本当たりのせん断性能は単位ボルト接合部の値よりも低くなることが知られている。このことは気乾材・湿潤材の各せん断性能値(図12～14)からも確認でき、多数本ボルト接合部(ボルト2本)は単位ボルト接合部よりボルト1本当たりの初期剛性は平均で約30%、降伏耐力・最大耐力は約10%低下している。腐朽処理した多数本ボルト接合部においては片方のボルト孔にのみ腐朽処理を施しているため、多数本ボルト接合部の各せん断性能値の方が単位ボルト接合部の値よりやや大きい値を示している。

3．2．5 腐朽位置とボルト接合部せん断耐力の関係

多数本ボルト接合部においては、腐朽箇所とボルト接合部せん断性能との比較を行うため、材内側と材端側のボルト孔いずれか一方に腐朽処理を施した。多数本ボルト接合部の初期剛性、降伏耐力、最大耐力を図15～17に示す。ボルト接合部に引張加力が作用した場合、応力負担は材内側のボルト孔で大きいことが弾性解析により確認されている。しかし、実験からは材内側、材端側のいずれに腐朽が生じてもボルト接合部のせん断性能値の低下率に顕著な差は見られなかった。

3．2．6 エネルギー性状

一方向単調加力試験から得られた荷重－変位曲線より、接合部が破壊までに吸収したエネルギーを求めた。図18にボルト1本当たりの単位ボルト接合部と多数本ボルト接合部の吸収エネルギーを示す。気乾材は湿潤材に比べて最大荷重は2倍近く高いが(図9, 14)脆性破壊を起こすものが多く見られたため、吸収エネルギーは湿潤材の方が高い値を示した。単位ボルト接合部においては値のばらつきが大きいが、湿潤状態から腐朽期間が長くなるに従い吸収エネルギーは概ね低下する傾向が見られる。平均値で見た場合、湿潤材の値に対して単位ボルト接合部は腐朽処理 5 週目で15%、8 週目で 26%低い値を示し、多数本ボルト接合部では 5 週目で 9%、8 週目で 27%低い値を示した。腐朽期間が長くなるとともに最大荷重時変位は増加するが(図11)、初期剛性・降伏耐力・最大耐力は低下しており(図 12～14)、破壊までに吸収されたエネルギーも各せん断性能値の低下の影響を強く受けている。

正負繰り返し加力試験より得られた荷重－変位曲線から等価粘性減衰定数を求めた。等価粘性減衰定数は図19に示すように加力履歴1ループにおいて吸収されたエネルギーとピーク時におけるポテンシャルエネルギーとの比から(3)式を用いて算出される。

$$Heq = \frac{\Delta W}{2\pi(We_1 + We_2)} \tag{3}$$

ここで、Heq は等価粘性減衰定数(%)、ΔW は 1 ループにおいて吸収されたエネルギー(kNmm)、We_1 と We_2 はそれぞれ正と負のピーク時のポテンシャルエネルギー(kNmm)。

図20に2サイクルおよび3サイクル目の各ループから得られた等価粘性減衰定数と各ループの最大応答変位との関係を示す。健全材は最大応答変位が大きくなるにつれ減衰定数は増加する傾向を示した。腐朽処理材の減衰定数は最大応答変位の増加に伴い減衰定数は増加し、変位 8mm 以上でほぼ一定となった。

等価粘性減衰定数は湿潤材が 3.1～11.2%、腐朽処理 5 週目は 1.6～8.0%、8 週目は 1.8～8.1%であり、木材腐朽によって減衰定数は湿潤材よりも 1.5～3%低下している。腐朽処理 5 週目と 8 週目の減衰定数はほぼ同じ範囲内にあるが、各最大応答変位の減衰定数を平均すると、腐朽処理 8 週目の減衰定数は 5 週目よりも約 0.4%低い値を示した。

4. まとめ

本研究では木質構造ボルト接合部を対象とし、木材の面圧試験とボルト接合部のせん断試験を行い木材の腐朽劣化がボルト接合部のせん断性能に及ぼす影響を調べた。面圧試験からは腐朽処理したスギ心材、スギ辺材、カラマツ、ベイマツ、スプルースの面圧強度を調べ、各樹種の強度劣化の比較を行った。ボルト接合部のせん断試験は単位ボルト接合部と多数本ボルト接合部について行い、木材腐朽がボルト接合部のせん断性能およびエネルギー吸収性能に与える影響を調べた。これらの実験より以下の知見が得られた。

① 木材が気乾状態から繊維飽和点以上の高含水率状態になると、健全材では面圧強度が約 50%低下し、腐朽材においても面圧強度の低下率は大きい。腐朽菌生育時の木材の含水率は繊維飽和点以上であることから、腐朽時の木材の面圧強度は腐朽劣化によって低下した面圧強度の半減近い値となると推測される。

② 面圧強度劣化は耐朽性区分「極小」のスプルースで最も早く発生した。スギ心材、カラマツ、ベイマツはいずれも耐朽性区分「中」であるが面圧強度の劣化程度には差が見られ、腐朽 10 週目までに面圧強度劣化が生じていないのはスギ心材のみであった。

③ スギ辺材とスプルースは面圧強度劣化が発生した頻度が高く、カラマツ、ベイマツ、スギ心材の順に面圧強度劣化の発生頻度は低くなった。このことは、樹種内における木材の耐朽性のばらつきを示していると考えられる。

④ ボルト接合部の荷重－変形挙動は腐朽の有無で大きく異なり、健全状態では完全弾塑性型を示し、腐朽劣化が生じた場合は降伏後も荷重が増加するバイリニアー型を示した。健全材と比べ、腐朽が生じている材は破壊に達するまでの変形は大きいが、荷重レベルは低い。

⑤ 腐朽が進むにつれボルト接合部のせん断性能値は低下していき、その低下率は初期剛性が最も大きく、次いで降伏耐力そして最大耐力の順であった。これは、初期の変形挙動である初期剛性、初期の変形挙動に左右される降伏耐力、変形がかなり進んだ段階で記録された最大耐力の順であることから、加力面付近で生じる木材腐朽はボルト接合部の初期変形挙動に特に強く影響を及ぼすと考えられる。

⑥ 多数本ボルト接合部のせん断試験から、腐朽位置とボルト接合部せん断性能値の低下率との間に顕著な差は見られなかった。多数本ボルト接合部においては腐朽箇所よりも腐朽の程度がボルト接合部のせん断性能に大きく影響すると考えられる。

⑦ 腐朽が生じたボルト接合部の等価粘性減衰定数は健全材よりも低い値を示した。ボルト接合部に繰り返し力が加わる場合、木材の可逆的な挙動がボルト接合部のエネルギー吸収性能に大きく影響する。しかし、木材腐朽が生じた箇所に力が加わると木材の変形は元の状態に戻らず、

そのためにボルト接合部のエネルギー吸収性能は低下すると考えられる。さらに腐朽処理 5 週目と 8 週目の等価粘性減衰定数はほぼ同じ範囲内にあったことから、腐朽の程度よりも腐朽の有無が等価粘性減衰定数に大きく影響すると思われる。

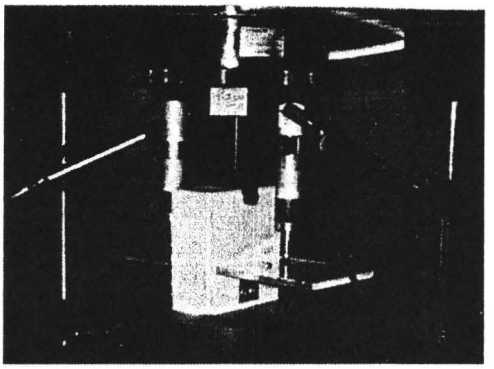


図 1　面圧試験の概観

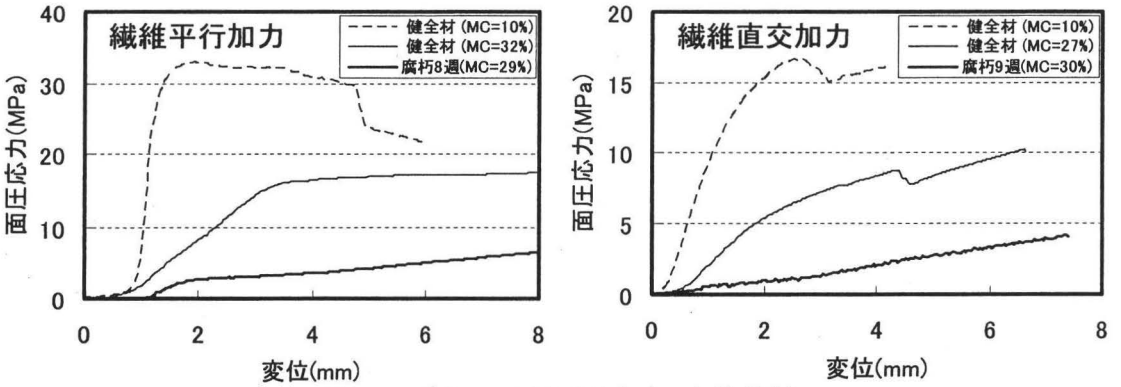


図 2　スプルースの面圧応力-変位曲線

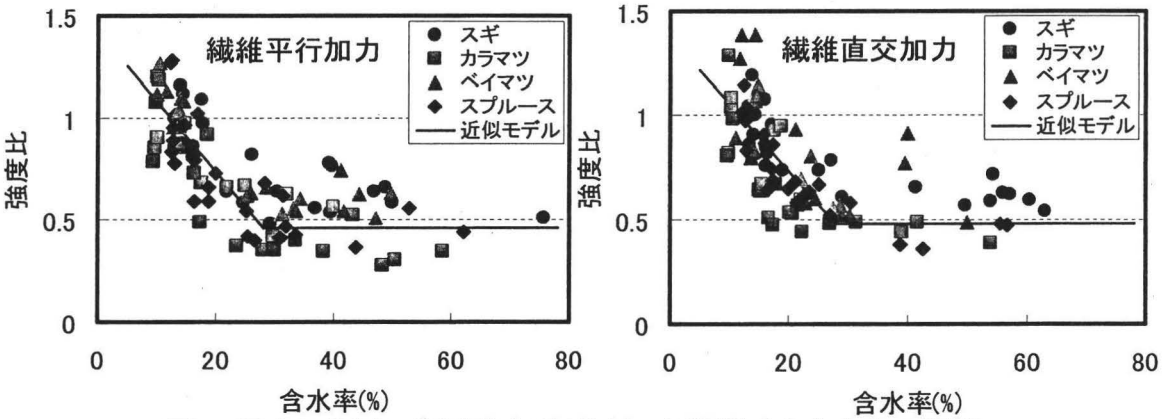


図 3　浸水処理材の面圧強度/気乾材の面圧強度と含水率の関係

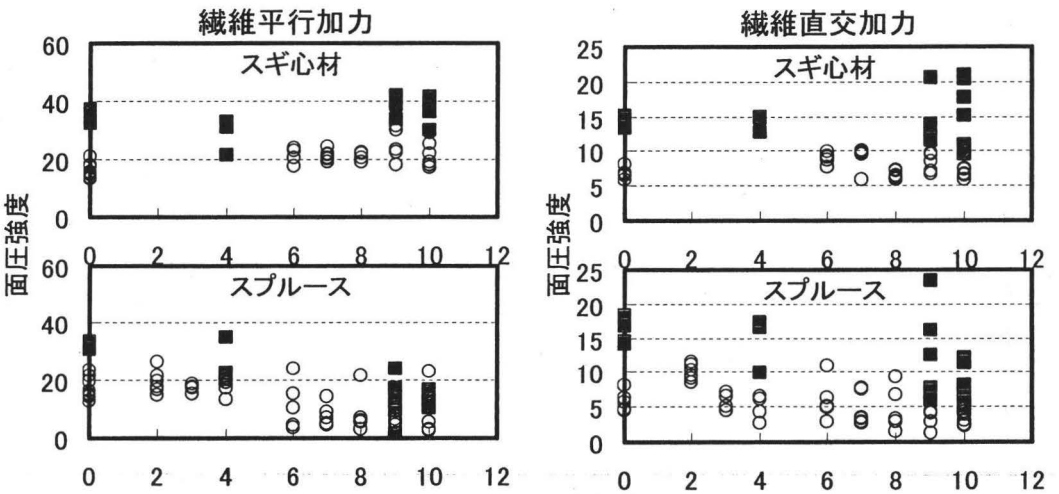


図 4　面圧強度と腐朽期間の関係

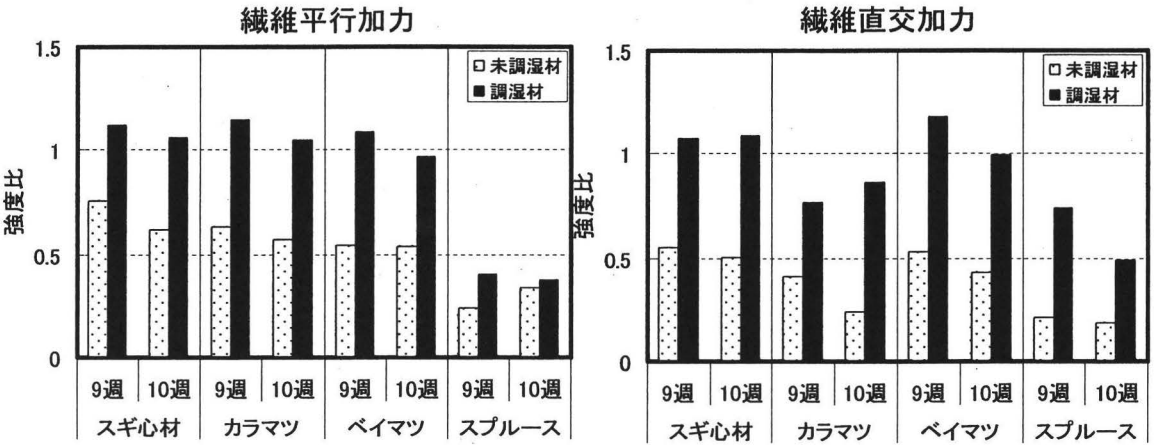


図 5　腐朽処理 9,10 週目の腐朽処理材の面圧強度/気乾材の面圧強度

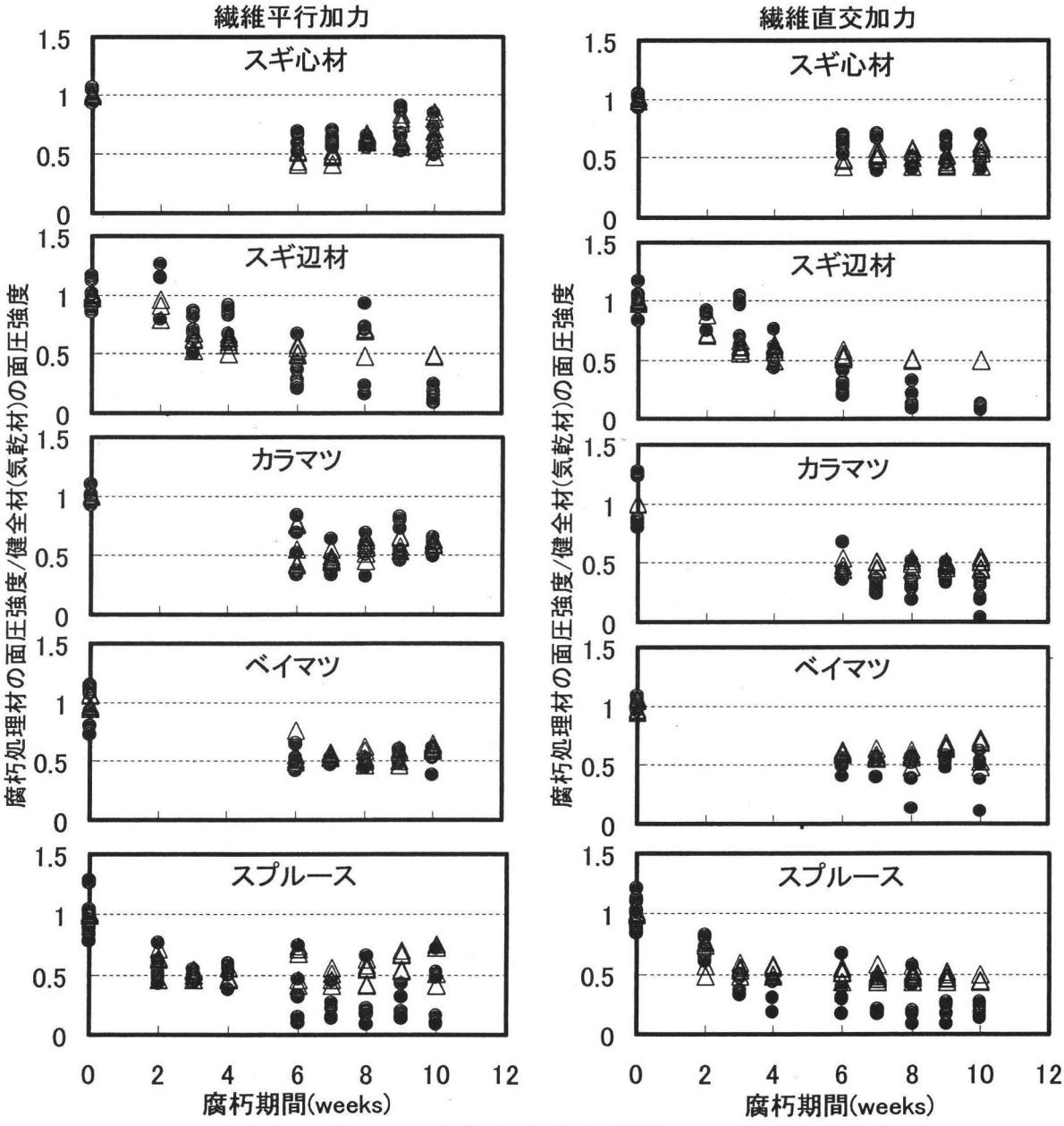


図 6　腐朽処理材の面圧強度/健全材(気乾材)の面圧強度と腐朽期間

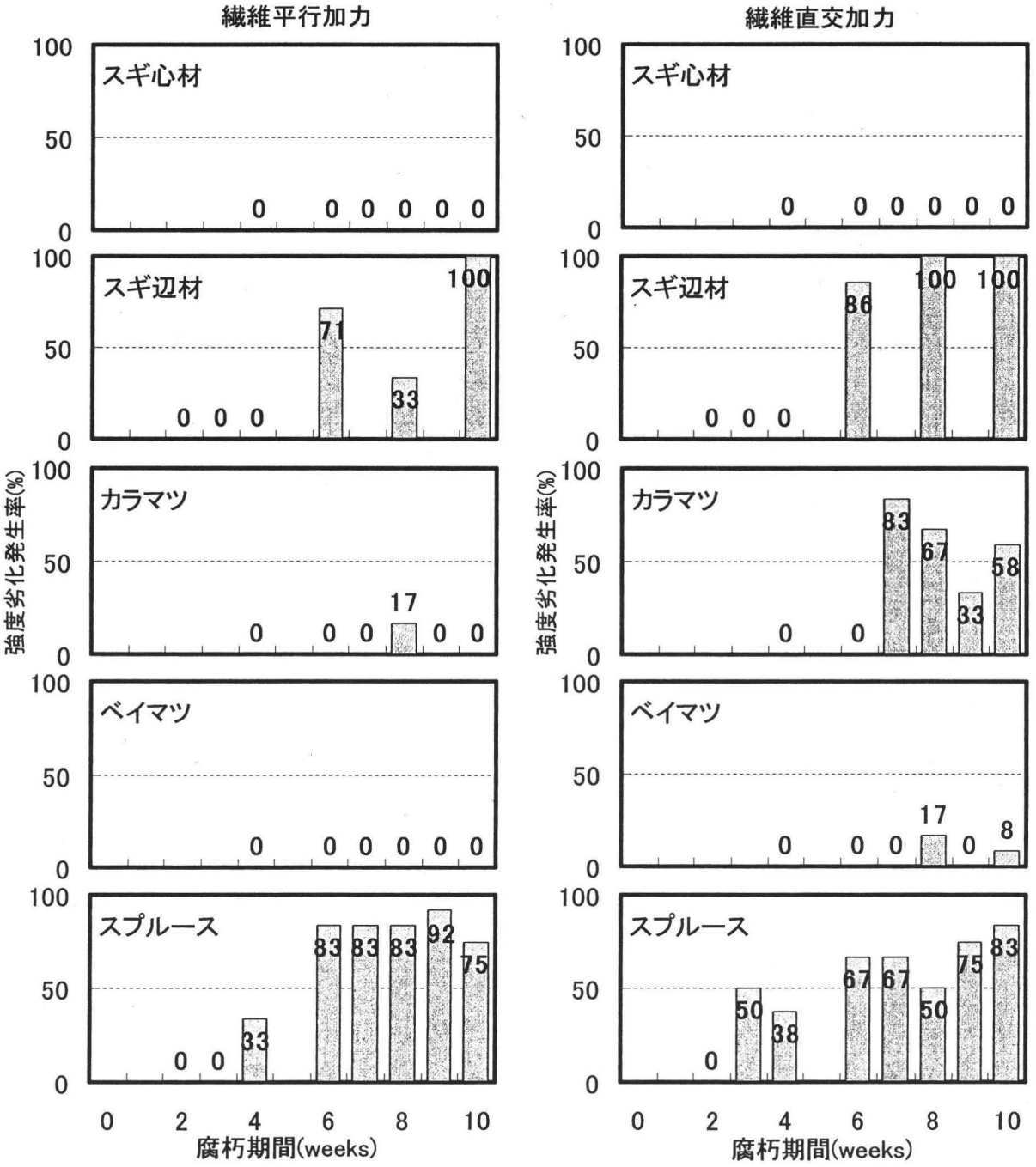


図 7 腐朽処理期間に対する強度劣化発生率

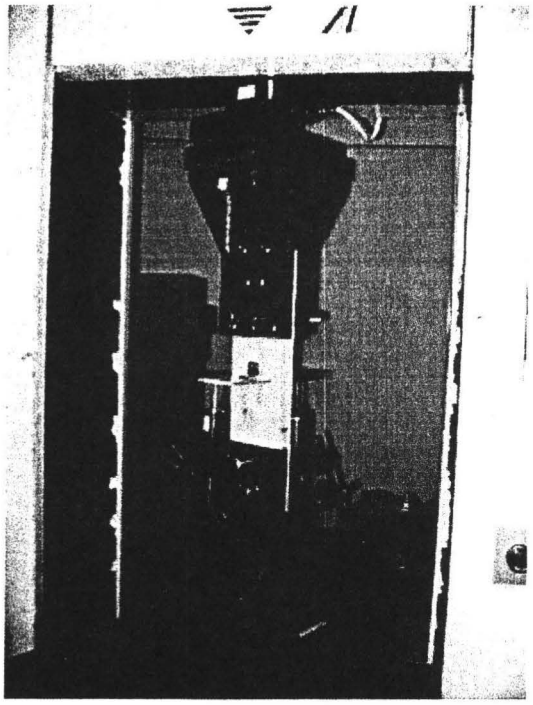


図 8 接合部せん断試験の概観

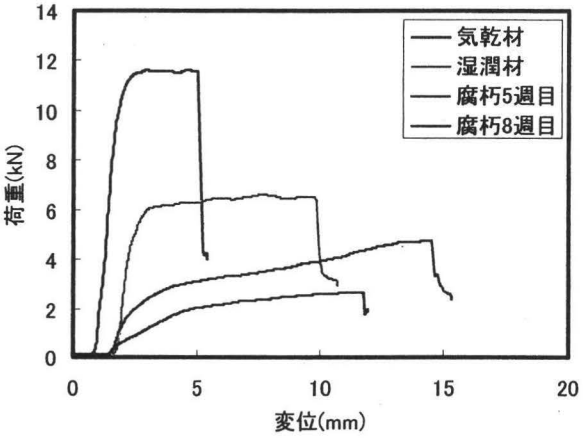


図 9 荷重-変位曲線

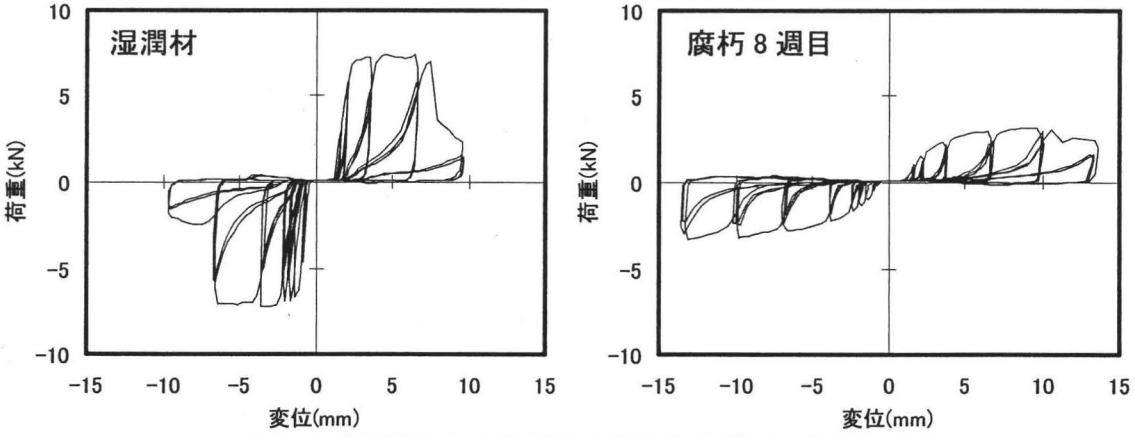


図 10 繰り返し加力試験から得られた荷重-変位曲線

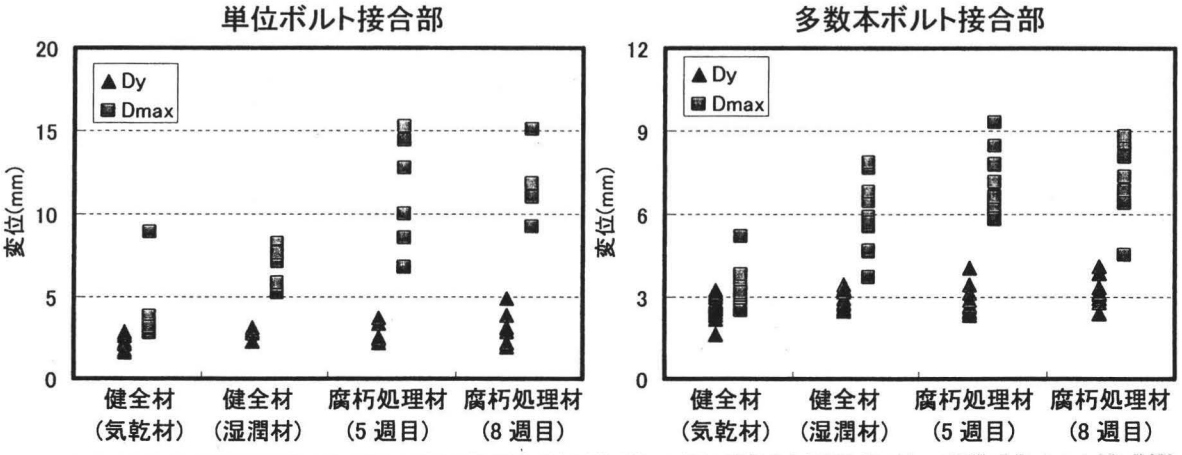


図 11 繰り返し加力試験から得られた荷重-変位曲線

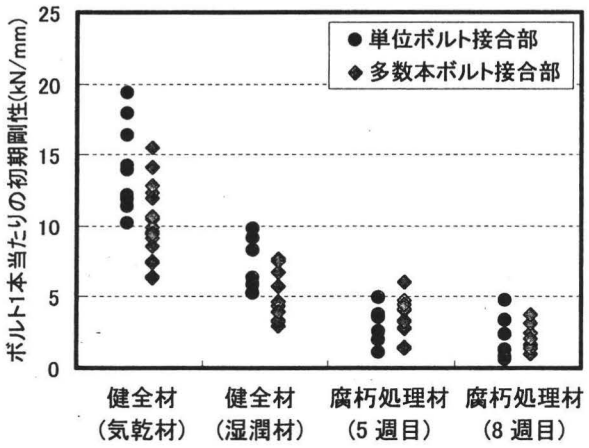


図 12 ボルト 1 本当たりの初期剛性

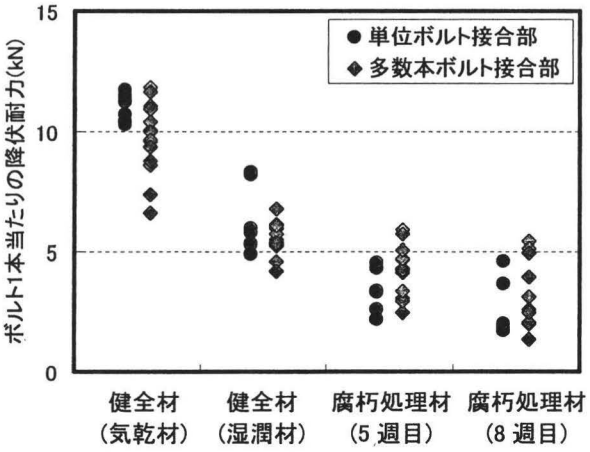


図 13 ボルト 1 本当たりの降伏耐力

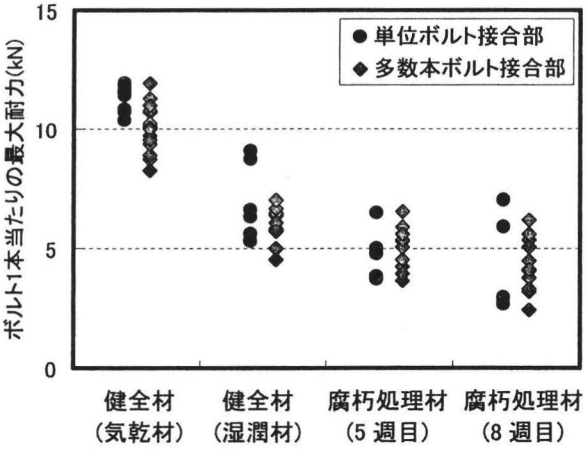


図 14 ボルト 1 本当たりの最大耐力

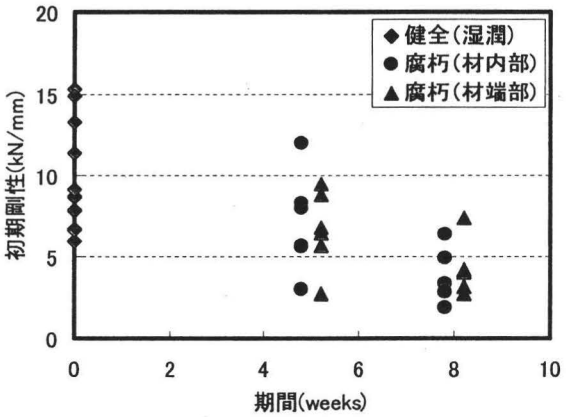


図 15 初期剛性と腐朽処理位置の関係

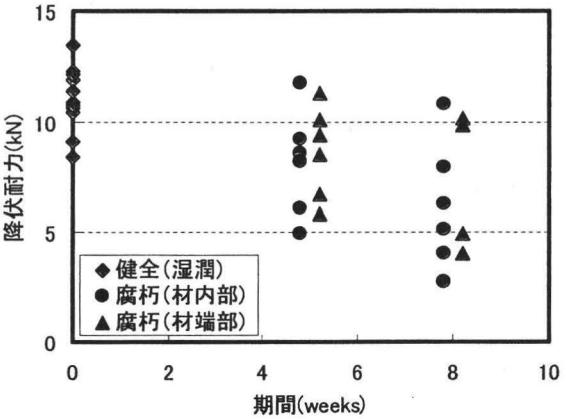


図 16 降伏耐力と腐朽処理位置の関係

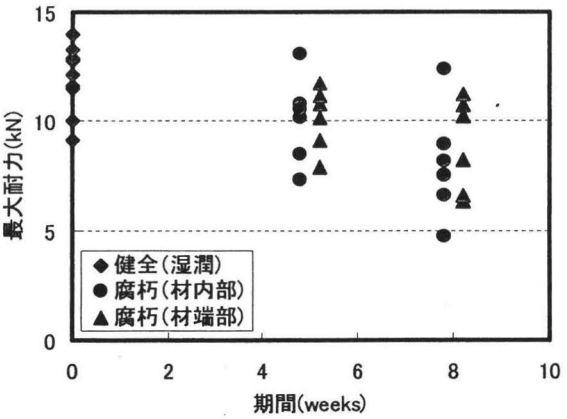


図 17 最大耐力と腐朽処理位置の関係

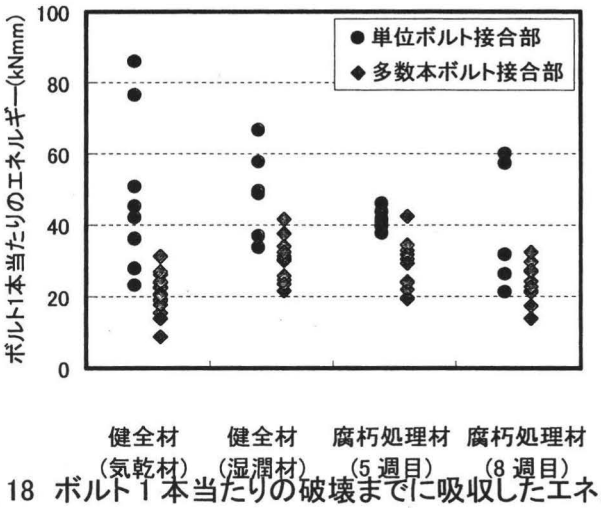


図 18 ボルト 1 本当たりの破壊までに吸収したエネルギー

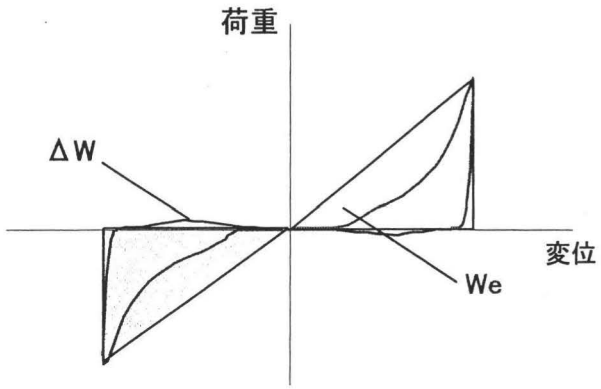


図 19 等価粘性減衰定数(Heq)の算出方法

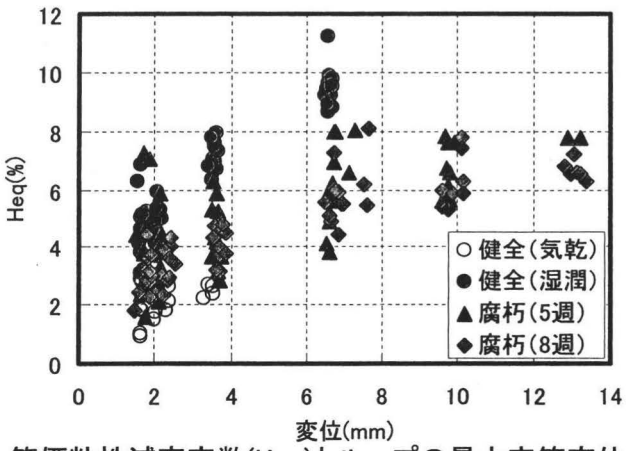


図 20 等価粘性減衰定数(Heq)とループの最大応答変位との関係

03-21 断面寸法を中心とした書院造の内部空間に関する研究

東京芸術大学大学院
木村　顕

1．研究の背景と目的

本研究は、近世初期のいわゆる書院造と呼称される住宅建築の遺構を対象として、断面図に現れる情報（以下断面情報とする）に着目して、内部空間の連続性について研究を試みたものである。

書院造に関しては、その平面情報を用いた研究の蓄積はきわめて厚い。とりわけ、昭和 40 年代までに発表された平井聖氏の研究は網羅的に書院造の平面情報を中心に比較検討したもので、その後の書院造研究のバックボーンとなっている。しかし、平井氏の研究は平面分析に主眼を置くため、断面情報を用いた比較検討が十分に行われたとはいえず、また個々の建築において「対面のための部分」を抽出した根拠は明快に示されておらず、方位の指標も取り入れられていないことが課題となっている。

障壁画や小壁・欄間など断面図に現れる建築的な装置は、書院造の内部空間を特徴付ける重要な存在である。にも関わらず、断面情報に着目して多くの遺構を比較検討した研究が乏しいのは、昭和 50 年代以前にあっては、書院造遺構の修理工事が進展しておらず、遺構間の相互比較を可能とするデータが揃っていなかったためと考えてよい。しかし、現在では 17 世紀以前の主要な書院造遺構に関しては修理工事報告書が刊行され、比較検討を可能とするデータはほぼ出揃った状況にあるといってよい。また、西和夫氏らによる一連の書院造における障壁画の研究などから、断面情報を用いた事例研究も進展しつつある。

2．研究の方法

こうした研究状況を踏まえ、本研究では、平井氏をはじめとする先行研究の成果に基づきながら、現存する書院造の遺構における断面情報、とりわけ、室境の内法上に設けられる小壁や欄間等（以降の記述で、「＜内法上装置＞」と呼ぶ）の意匠と障壁画の構図に着目して研究を行った。

ここで、＜内法上装置＞に着目した比較検討の対象とした書院造の遺構は、①書院造の諸形式が完成し、現存遺構数が大幅に増加する 17 世紀中期以前に建築されたもので、かつ、②書院造の最も特徴的な定義であるところの座敷飾（床・違棚・付書院・帳台構の何れか一つ以上）を有するものである。そのうち、上記した研究手法を実現するために必要な断面情報を同等の精度で保証するため、③修理工事報告書などが比較的そろっている重要文化財に指定されているもの 59 棟について研究を行っている。なお、現存遺構に限定して研究を試みた理由は以下による。

① 現存遺構のみで、おおまかな歴史的傾向をつかみ比較研究するために必要な建築数および分布状況があること[i]。

② 例え、文献史料・絵画史料が残存している現存していない遺構を含めたとしても、それがかつて存在した書院造全てをカバーするわけではなく、歴史的研究を行う上での確実性にあまり大きな差は生じないと判断したこと。

③ また、文献史料・絵画史料が残されている場合でも、個々の史料の記載内容には粗密性や信頼性において差があり、必ずしも遺構と同列に比較できないと判断したこと。

④ 文献史料・絵画史料等では、各室の内法上装置について十分な情報が記載されてないことが多く、実見して確かめることができる現存遺構とは同列に比較できないと判断したこと。

比較検討にあたっては修理工事報告書が刊行されていないもの、または修理工事報告書が刊行されていても、該当箇所のデータが収録されていないものについては、文化庁所蔵の保存図及び現地での実測寸法で補った。

そして、障壁画に関する比較検討の研究に置いては、近畿地方での調査研究旅行で調査した１１棟において考察を試みた。しかしながら、障壁画の配置は当初と変更されている場合があり、また描かれたのも建築の建立当初であるのかを判定するのには、さらなる時間を要する。これらを精査した考察結果は今後の課題としたい。

３．＜内法上装置＞の種別と性格

書院造においては、複数の内法を有する畳敷の室が互いに接する形で連続するため、その室境には必ず＜内法上装置＞が設けられている。比較検討の対象とした遺構にみられる＜内法上装置＞には以下の４つがある（図１）。

ａ小壁　　ｂ落掛[ii]（内法下に建具を入れないもの）　ｃ筬欄間

ｄ竹の節欄間　　ｅ彫刻欄間[iii]

これらの＜内法上装置＞はいずれも、室と室とを遮断する性格を有するものといってよい。しかし、その遮断性の強さは様々である。

このうちａ小壁は、内法の上部を漆喰で塗り込めるために全く透過性を持たない。そのため、内法下の襖など建具を閉め切れば、室境を完全に区切ることが可能である。このように完全な遮断性を有するという点で、ａ小壁は他の＜内法上装置＞とは一線を画した存在といえる。

一方、ｂ～ｅの＜内法上装置＞は、いかなる状態にあってもある程度の透過性を持つため、完全な遮断性を有してはいない。その意味でこれらｂ～ｅは、ａ小壁と区別される存在である（以下の記述で、ｂ～ｅを総称して＜欄間類＞と呼ぶ）。このうち、ｂ落掛は、上部に漆喰壁を設けるために小壁に次ぐ遮断性を有するものの、その成は低く、内法下に建具を入れないため、小壁と違って室と室の連続性を感じさせる欄間類に分類されるものである。次いで内法上の隙間の大きさから判断して、ｃ筬欄間・ｄ竹の節欄間の

順に遮断性は強くなるといえよう。e 彫刻欄間は、意匠及びそこから発生する内法上の隙間が定まっていないため、その遮断性は様々である。
以上のように、意匠に基づく遮断性の強さから、＜内法上装置＞は表１のようにまとめられる。

４．＜座敷列＞と対面儀式

先に検討対象とした59棟の書院造遺構の平面図に、先ほどのａ～ｅの５つの＜内法上装置＞の種類と配置を記入し、建築年代順に並べたものが図２[iv]である。ここで、各遺構の建築年代は、おおむね修理工事報告書に依ったが[v]、移築された遺構については移築時に大きな改造が行われることが多いため移築年代を建築年代とし、大きな改造・修理が行われたことが明らか場合についても、その年代を建立年代として扱った。なお、図２は縮尺を1000分の１に統一して表し、全て北が上を向くよう配置してある[vi]。

座敷飾を有する室の位置に注目して、前項の研究から

① 座敷飾を有する室と隣接する室との室境の＜内法上装置＞が小壁である場合
② 座敷飾を有する室と隣接する室との室境の＜内法上装置＞が＜欄間類＞である場合

の２種類に分類して考えてみたい。

まず、①の類型は隣接した室との室境の＜内法上装置＞が遮断性の強い小壁であるから、座敷飾を有する室の独立性は高いといってよい。そして、①の類型に、慈照寺東求堂の北東隅部【図２_３】や大仙院本堂【図２_４】や南禅寺大方丈【図２_20】などの方丈建築の北東あるいは南西の隅部が該当していることを考え合わせると、ここの座敷飾は文机や陳列用の棚といった座敷飾本来の目的のために設置されたものであると推察することができ、この室自体も１室で完結した個室としての性格が強いものであると考えられる[vii]。

これに対して、②の類型の場合においては、＜欄間類＞を室境に持つ連続した複数の室の連なりを明確に指摘できる。さらに端に位置する座敷飾が施された室を上位とする方向性も見出すことが可能となるので、このような複数の室の連なりを本研究において＜座敷列＞と呼び[viii]、＜座敷列＞の中で端部にあって座敷飾を有する室を＜第１室＞、それに隣接する室を＜第２室＞、以下＜第３室＞・＜第４室＞と呼ぶことにする[ix]（図２において＜座敷列＞を矢印で示した、なお矢印の起点が＜第１室＞である）。

次に、各遺構の建築年代を確認してみると、３棟[x]を除けば、慶長期（1596～1615）以後の遺構は全て②の類型に属することに気付く。すなわち、複数の室が室境に＜欄間類＞を配して連なる＜座敷列＞を有する②の類型が、17世紀以降の書院造の典型となったとみなすことができよう。

平井氏は、1600年を挟んだ半世紀の時期を、中世的な主殿造が対面儀式の変化によって近世的な書院造（広間）へと移行していった時期として捉えている[xi]。②の類型の出現時期はまさしくその時期に対応しているから、先に定義した＜座敷列＞は、平井氏が指

摘した当時の対面儀式の変化に対応して現れた存在と考えることが可能となろう[xii]。

5．＜座敷列＞における＜欄間類＞のヒエラルキー

続いて前記②の類型の中で、＜座敷列＞の方向性と＜欄間類＞の種類に着目して検討してみると、＜欄間類＞に属する、筬欄間・竹の節欄間・彫刻欄間・落掛（内法に建具を入れないもの）は、＜座敷列＞の位置の中で全て等しい扱われ方をしているわけではなく、その配置には以下のような原則があることに気付く。

○ 筬欄間は竹の節欄間よりも座敷飾のある室に近く設けられる。

例）西教寺客殿【図２_13】・本興寺方丈【図２_24】・大覚寺客殿【図２_28】・二条城二之丸御殿遠侍【図２_32】・中之坊書院【図２_36】・長岳寺庫裡【図２_38】・

○ 落掛は筬欄間および竹の節欄間よりも座敷飾のある室に近く設けられる。

例）光浄院客殿【図２_15】・瑞巌寺本堂（元方丈）【図２_19】・本興寺方丈【図２_24】・二条城二之丸御殿遠侍【図２_32】・金地院方丈【図２_39】・知恩院大方丈【図２_46】・金剛三昧院客殿【図２_56】

○ 落掛は彫刻欄間よりも座敷飾のある室に近く設けられる。

例）二条城二之丸御殿大広間【図２_33】・二条城二之丸御殿黒書院【図２_34】・飛雲閣【図２_41】・曼殊院書院【図２_51】

○ 彫刻欄間は筬欄間および竹の節欄間よりも座敷飾のある室に近く設けられる。

例）伏見稲荷大社御茶室【図２_45】・観心寺書院【図２_48】

こうした原則をまとめると、＜座敷列＞の中での＜欄間類＞の位置は、座敷飾を有する室に近い順から、落掛_彫刻欄間_筬欄間_竹の節欄間、という序列に従っていることになる。＜座敷列＞において、＜欄間類＞の間にヒエラルキーを指摘することができるのである。

＜座敷列＞内においてこうしたヒエラルキー関係のある＜欄間類＞を使い分けることで、＜座敷列＞の性格を明確にするとともに、個々の室の＜座敷列＞におけるポジションを明確にする効果を期待していたと推察することができる。

6．＜座敷列＞の方向性と方位

書院造の＜座敷列＞には、２度３度鍵の手に直交するものも含まれるため、方向性と方位との関係は複雑である。そこで、＜座敷列＞の中の＜第１室＞から＜第２室＞へと続く方向性[xiii]に限定して、方位と比較して研究を試みた。これは＜第１室＞に最も高位の者が座敷飾を背負って座すのに対して、＜第２室＞以降ではそれと対峙、あるいは直行する向きに身分に応じて順に座すというルールが想定できるから、＜第１室＞と＜第２室＞との関係が、＜座敷列＞全体を貫く性格を決定しているといってよいからである。

そこで、＜第１室＞と＜第２室＞との関係に着目して図２をみてみると、＜座敷列＞の方向性と方位との関係が以下のように変化していることを指摘できる。すなわち、慶

長期においては、＜第１室＞と＜第２室＞を東西方向に並べる遺構が多いのに対して（例：三宝院表書院【図２_10】・三宝院純浄観【図２_11】・西教寺客殿【図２_13】・勧学院客殿【図２_14】・光浄院客殿【図２_15】・観智院客殿【図２_18】・瑞巌寺本堂【図２_19】・三宝院勅使の間、秋草の間、葵の間【図２_22】)、元和期から寛永期においては、北に＜第１室＞、南に＜第２室＞を南北に並べる遺構が多くなる（例：本興寺方丈【図２_24】・四天王寺本坊方丈【図２_27】・二条城二之丸御殿大広間【図２_33】・二条城二之丸御殿黒書院【図２_34】・金地院方丈【図２_39】・喜多院客殿【図２_43】・知恩院大方丈【図２_46】・知恩院小方丈【図２_47】・円満院宸殿【図２_49】)。しかし明暦期以降は、再び東西方向に並べる遺構が多くなる[xiv]（例：曼殊院本堂【図２_50】・妙心寺小方丈【図２_52】・本願寺黒書院【図２_53】・万福寺東方丈【図２_57】・大津別院書院【図２_59】)。

このように、＜第１室＞と＜第２室＞の方向性からみた方位の傾向は、＜座敷列＞の発生時期である慶長期には東西方向であったものが、徳川政権が確立した元和期から寛永期には南北方向が主流となり、その後再び東西方向を中心とした建築に回帰するという変化が確認できる。

７．障壁画に関する考察

続いて、＜内法上装置＞同様に書院造の内部空間において着目すべき障壁画について考察を行った。

考察を行った建築は、知恩院大方丈および小方丈・醍醐寺三宝院表書院および勅使の間、秋草の間・園城寺勧学院客殿および光浄院客殿・西教寺客殿・聖衆来迎寺客殿・妙心寺小方丈の９棟である。

書院造に配置された障壁画は、修理の際などに異室に納めた場合や、屏風絵などを襖絵に設え直したものを納めた場合などの改変がある場合があり、現在納められている障壁画が建築当初のものであるかという判断が必要となる。しかしながら、その検証には個々の建築においてかなり詳細な調査が必須であり、複数の建築の障壁画について比較考察を試みようとする本研究においては、困難な作業である。よって、本研究に置いては、建築当初の配置ではないと明らかに考えられるものを除外して、現在納められている障壁画を対象として比較考察を試みた。

８．画題に関する考察

各室の画題および画法についてまとめたものが表２である。画題は山水図・花鳥画・人物図に分類される。

知恩院大方丈および小方丈・西教寺客殿は主室に人物図を配置して続く部屋に花鳥図を配置している。これに対して醍醐寺三宝院の表書院および勅使の間、秋草の間・園城寺の勧学院客殿および光浄院客殿では全室を花鳥画としている。現時点では比較考察す

る建築が少なく確証は得られないが、後者は東西方向一列平面の＜座敷列＞を有する建築であり、対面に序列関係よりも外部空間の庭を鑑賞することに重きをおいた建築と考えられる。一方前者は西教寺客殿は過渡期の建築であるが、知恩院大方丈および小方丈は＜第１室＞＜第２室＞を南北方向に配置する対面に重きを置いた建築であるといえる。以上のことから、＜座敷列＞の用途目的と障壁画の画題に相関関係があると指摘できるのではないだろうか。つまり庭との関係に重きを置く建築は花鳥画を全室に配して、庭との一体感を高める。一方、対面に重きを置く建築に置いては人物図を主室に配して主室に座す者の威厳を高める効果を目的に障壁画の画題が決定されていたのではないだろうか。

９．構図に関する考察

襖は開閉を伴う建築装置であり、閉めたときには表面裏面とも連続した絵として鑑賞できるが、開けたときには４面のうち２面が隠れてしまい、しかも見える絵が断絶してしまうという欠点がある。しかしながら、＜座敷列＞として複数の室を一度に使う場合には、当然襖を開けた状態で使用するため、襖絵の主題をどう配置するかは絵師にとって当然考慮すべき問題であっただろう。

以上のことを踏まえて、知恩院大方丈の＜第１室＞＜第２室＞境の障壁画をみると（図５参照)、＜第１室＞側は内側２面が開けたときに見えてくる面であるが、人物および主木の松を内側の襖に書いている。また外側の２面はほとんどが余白である。＜第２室＞側は逆に内側が見えなくなる面であるが、内側に人物が配置されているものの主木は外側に書かれている。同様のことが知恩院小方丈や園城寺光浄院客殿などで顕著に指摘できる。

また、園城寺勧学院客殿の＜第２室＞と光浄院客殿の＜第２室＞は画風が異なり明らかに絵師が異なるにも関わらず、非常に似た構図で描かれていることを指摘できる。

北面４面の最左面に内法を跨ぐ主木を描いて右面に連続させ、他３面には草花や鳥などの近景を描いていることが共通し、東面４面は右側２面を中心に竹を描くことが共通している。こうした類似性は偶然とは言い難く、先に描かれた方の構図を模して構図を決定したか、あるいは雛形のようなものがあって共通した構図となったのかも知れない。

主木と竹の構図は西教寺の＜第２室＞にもみられ、画題と構図について雛形のようなものがあったのではないか思わせるのであるが、現時点では比較考察する建築数が少なく、確証は得られない。

１０．まと

以上、＜内法上装置＞に着目して書院造内部の＜座敷列＞に関して研究を試みた結果、書院造においては３つの大きな画期が認められた。その各時期の変化の意味を、先に掲げた平井氏などの先行研究と対照させながら位置付けてみたい。

第一の画期は慶長期である。書院造を特徴付ける建築的装置（各種座敷飾や欄間の意匠）は既に中世の段階で存在したものであったが、この時期に対面儀式の変容の中で再編成され、東西に並ぶ＜座敷列＞を出現させたのである。
ここで、慶長期という時代に着目してみると、その直前の天正期には安土城（天正４年：1576 年）・大坂城（天正 11 年：1583 年）・聚楽第（天正 15 年：1587 年）が建築されている。これらの城郭建築における対面儀式の場は明らかではないが、大熊善邦氏によって紹介された「聚楽第平面図」（図３）[xv]をみると、内法上装置の状況は不明ながら、光浄院客殿とよく似た平面を示し、『毛利輝元上洛日記』に描かれた指図（図４）が示す使用例から、聚楽第は＜座敷列＞を有する建築であったと考えてよかろう。各種史料に残る聚楽第の印象の強さから勘案すると、＜座敷列＞を持った最初の事例であるかどうかは別としても、聚楽第を通じて＜座敷列＞という建築計画手法が伝播していったと考えるのに無理はないだろう。

また、＜座敷列＞における＜欄間類＞の配置については、種別間のヒエラルキーに応じた共通のルールが見出せることを指摘した。こうしたルールが存在した背景には、作り手側の工匠のみならず使用者である武士階層の間にも、＜座敷列＞の空間構造に関して共通する認識が必要となる。こうした共通認識が武士階層の間で短期間に定着するには、やはり聚楽第のような強い印象を広範囲にもたらした事例をプロトタイプとして想定する他ない。

続いて第二の画期となるのが、元和・寛永期である。この時期に＜座敷列＞は、北に＜第１室＞、南に＜第２室＞を並べる南北方向が主流となり、それ以前にはみられなかったきわめて巨大で室数の多い建築が出現する。この元和・寛永期は江戸幕府の権力確立期であり、最も対面儀式が大掛かりで決定的な意味をもった時代である。こうした動向に沿って、前述したように、内法下に建具を入れない落掛や彫刻欄間が用いられるようになり、＜座敷列＞内での使用箇所や使用方法が定まったことで、より精緻に対面儀式の演出が行われるようになったと位置付けられる。

そして最後の画期となるのが、明暦期である。この時期に＜座敷列＞は再び東西方向に戻る。この時期は、大掛かりな上洛や日光社参を通じて派手な示威行動を行った家光政権の終焉時期と合致するから、＜座敷列＞の変化は、対面儀式の重要性が低下し、書院造がより日常的な存在に変質し始めた結果と位置付けられよう。

続く、障壁画の考察からは対面儀式と対応した画題の決定がなされていたのではないかという推察を得ることができた。画題や構図と内部空間の使用方法には関係性があったと考えられ、障壁画のそれらについて明らかにすることで、書院造の＜座敷列＞における使用方法について、より言及していくことが出来ると考えていると考えているが、それは本研究内では考察できる調査物件が少なく不可能なため、今後の課題としたい。

註）

i 現存していないが、建築的な内容が判明する代表的な例として、戦前まで現存した名古屋城本丸御殿（慶長１７年、上洛殿は寛永３年）や詳細な指図が残る寛永度江戸城本丸大広間（寛永１７年）などがあげられるが、内法上装置に彫刻欄間が多用されている点など現存する二条城二の丸御殿【図２−３３・３４】や本願寺書院【図２−４０】のような同時期の大規模建築と同様の傾向を指摘でき、現存遺構に限定して研究することは可能であると考えた。

ii落掛であるため内法よりも上に設置されて、かつ建具を下に設けない＜内法上装置＞である。なお、本興寺方丈【図２−24】・円満院宸殿【図２−49】の＜第１室＞と＜第２室＞境の内法上装置は厳密には落掛ではなく内法上に設けられた小壁である。しかしながら、内法上装置の下に建具が設けられていない点と＜座敷列＞全体におけるその性格から判断して、本稿では落掛として取り扱った。円満院宸殿は移築に際して上段および座敷飾の位置が改変されたことが修理工事報告書で指摘されており、移築時の改変によるものとも考えられる。また大津別院書院【図２−59】は小壁である上に建具も設けられているが、＜座敷列＞全体におけるその性格から判断して、本稿では落掛として取り扱った。１７世紀後半となり、多様な計画が試みられるようになって来た時期の一例と捉えたい。

iii花菱欄間および丸彫りの彫刻欄間の系列をあわせて彫刻欄間として扱った。花菱欄間は旧正伝院書院【図２−２５】に現れるのが最初であって、数寄屋風の書院に好まれる欄間であるといえる。一方、丸彫り彫刻欄間は寛永度の二条城二之丸御殿大広間【図２−３３】と黒書院【図２−３４】に現れるのが最初であり、その他には本願寺書院【図２−４０】など極限られた建築にのみ用いられる権力の象徴を目的とする欄間と考えられる。しかしながら、両者の違いを区別することは本稿の研究内容に影響を与えないために本稿では両者をまとめて彫刻欄間として扱った。

iv退蔵院本堂【図２−１６】外陣３室境の内法上装置は内法上に何もない造作であるが、天井を一続きとして扱う点から竹の節欄間の表記とした。大覚寺客殿【図２−２８】＜第１室＞背面の帳台構は座敷飾として扱い、＜座敷列＞を有する建築とした。摩尼院書院【図２−２３】の南列も同様の性格を有しているが座敷飾に相当する設えがないため＜座敷列＞として扱わなかった。ちなみに皇族関係の建築において、帳台構を第１室の奥に設けても、床を中心とした座敷飾は設けない方が一般的である。

v修理工事報告書が刊行されていない建築に関しては文化庁編集『国宝・重要文化財目録』第一法規出版(1998)・北尾春道（大熊喜邦監修）『国宝書院図集』洪洋社(1938)・藤岡通夫『書院』創元社(1969)・『日本建築史基礎資料集成』中央公論美術出版(1971)を参考にした。

vi対象とした建築はすべて現存する建築であるため、実際の建築が配置されている方位と相違ない。移築の経緯のある建築も移築された年代を研究の年代としているため、現在の建築が配置されている方位で研究した。

vii ①のタイプは慈照寺東求堂【図２−３】のように他に＜欄間類＞を有していないものと、法隆寺北室太子殿【図２−２】のように他の箇所に＜欄間類＞を有するものがある。

viii ＜座敷列＞とはあくまでも建築的な特徴から導かれる複数の室の関係であり、＜座敷列＞内を区切って使用した例はみられる。しかしながら、それらの特徴から＜座敷列＞が一連の関係を有した複数の室として認識されていたといえるだろう。

ix書院造においては、室の名称が床高さの違いから上段・下段、あるいは一の間、続く室を二の間、三の間と呼ぶなど、呼称に統一性がないため、本稿では座敷飾を有する室を＜第１室＞、続く室を順に＜第２室＞＜第３室＞などと統一して呼称することとした。

x二条城二之丸御殿白書院【図２−35】・天球院本堂【図２−42】・慈光院書院【図２−58】

xi平井聖『図説日本住宅の歴史』学芸出版社（1980）

xiiなお、法隆寺北室太子殿【図２−２】のような座敷飾とは関係なく配された＜欄間類＞は、対面と関連する＜座敷列＞ではなく、関係性のある室を結ぶ効果を期待して設置されたものであると考えられる。方丈建築の外陣にみられる＜欄間類＞も同様の効果を期待して設置されたものと考えられ、外陣３室を連続させる効果を期待して用いられたと考えられる。

xiii前項でBタイプに分類した建築においては、＜第２室＞を主室として＜第２室＞以降を対面の場に用いたと考えられることから、＜第２室＞を＜第１室＞に、＜第３室＞を＜第２室＞に置き換えて論考している。

xiv本稿の研究対象から除外した現存していない建築のうち、明暦の大火後に復興した大名屋敷の書院群には南北方向の＜座敷列＞を指図などから確認できるが、これらは元和期から寛永期の＜座敷列＞を踏襲した建築が多く、明暦期以降は東西方向の＜座敷列＞が典型であるといえる。

xv他の建築から比較検討して南が上、北が下となっていると推察される。

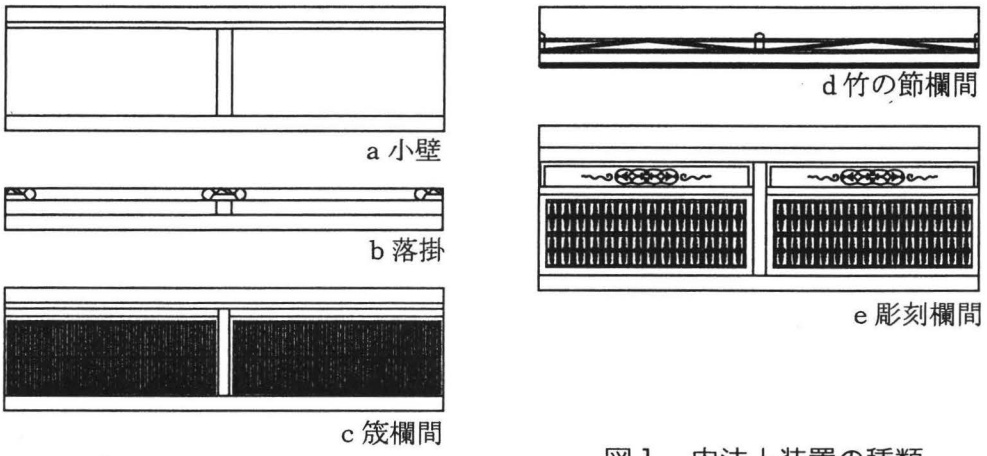


図１　内法上装置の種類

表１　内法上装置の分類

透過性	無	a 小壁			〈欄間類〉
		b 落掛（建具なし）			
	有	少	c 筬欄間	e 彫刻欄間	
		多	d 竹の節欄間		

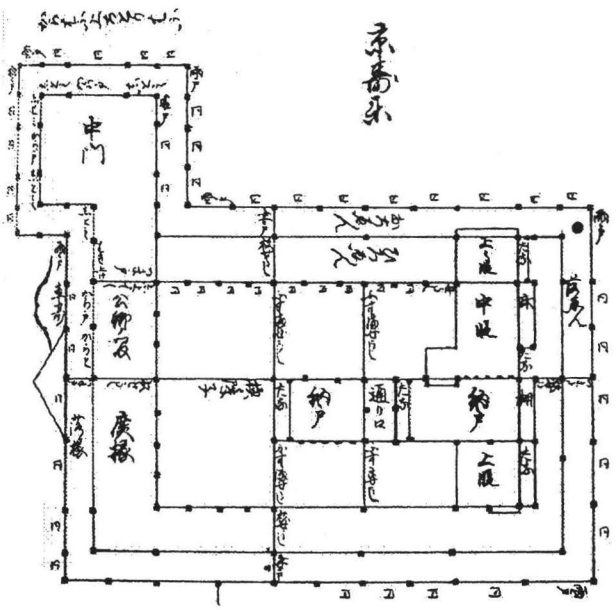


図３　聚楽第平面図
（岸上九衛門の広間木砕所載、大熊喜邦氏による）

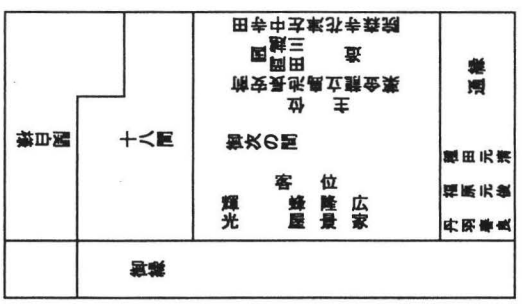


図４　聚楽第次席図

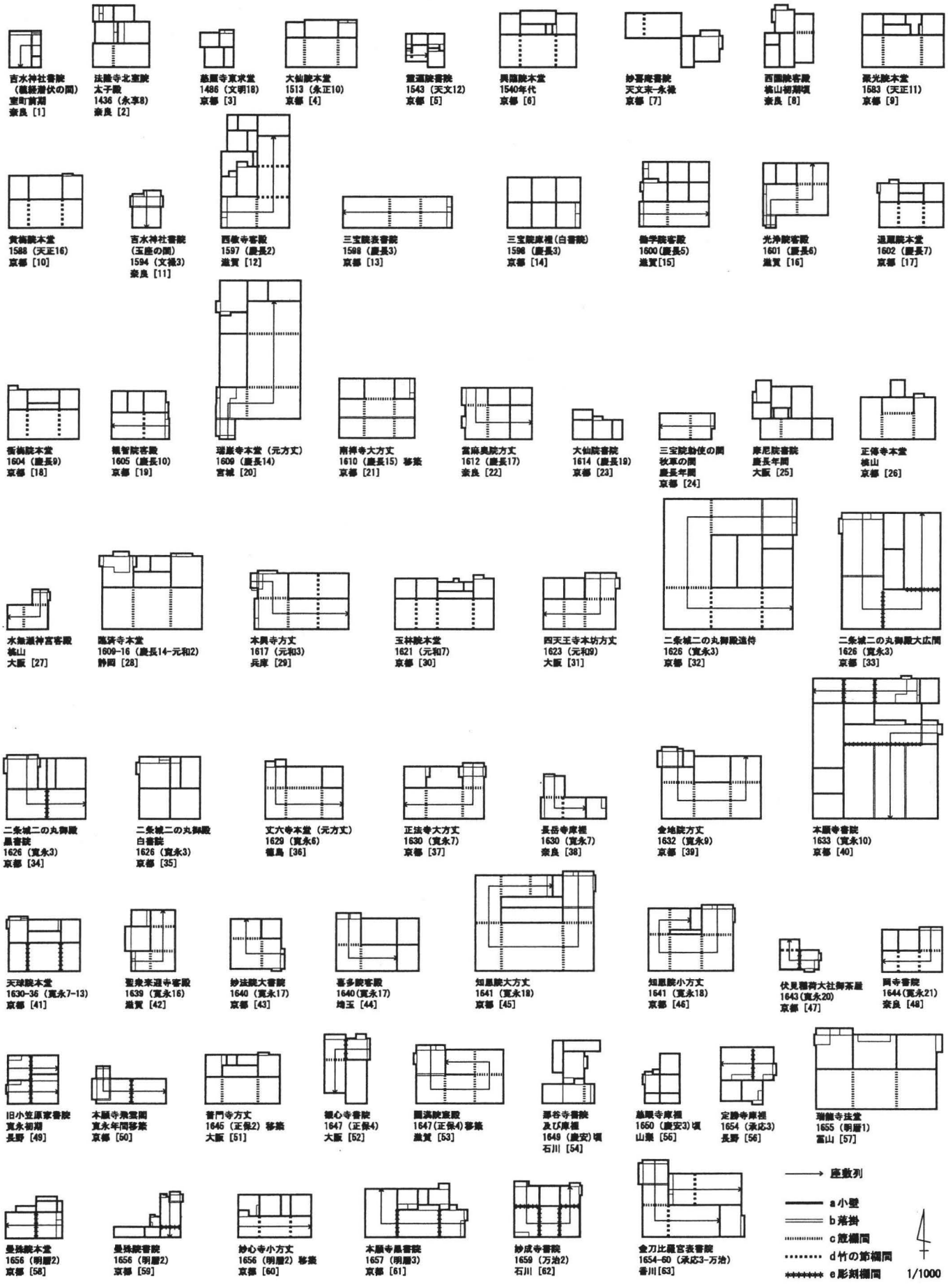


図２　＜内法上装置＞を記入した平面図

表２　各室の画題および画法

	＜第１室＞	＜第２室＞	＜第３室＞	＜第４室＞	＜第５室＞	＜第６室＞	＜第７室＞
知恩院大方丈	金碧山水人物図	金碧山水人物図	金碧花鳥図	金碧花鳥図	金碧花鳥図	金碧花鳥図	金碧花鳥図
知恩院小方丈	水墨山水図	水墨山水図	水墨山水図	淡彩花鳥図	淡彩花鳥図	淡彩花鳥図	
醍醐寺三宝院表書院	金碧花鳥図	彩色花鳥図	金碧花鳥図				
醍醐寺三宝院勅使の間他	金碧花鳥図	金碧花鳥図					
園城寺勧学院客殿	金碧花鳥図	彩色花鳥図					
園城寺光浄院客殿	金碧花鳥図	彩色花鳥図					
西教寺客殿	彩色人物図	彩色花鳥図	水墨人物図	水墨花鳥図			
聖衆来迎寺客殿	水墨山水図	水墨花鳥図	水墨人物図	淡彩花鳥図			
妙心寺小方丈	水墨山水図	水墨花鳥図	水墨花鳥図				

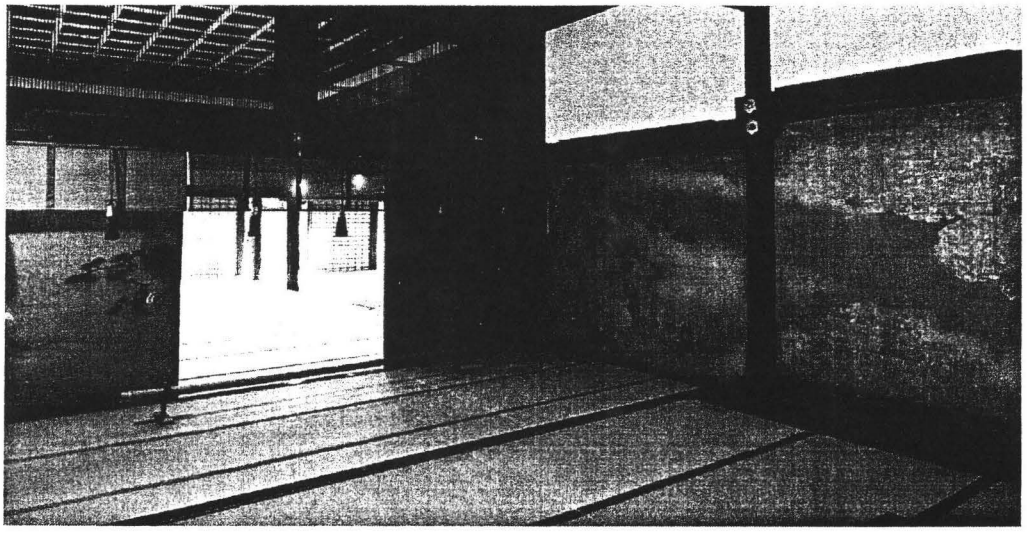


図５　知恩院大方丈＜第１室＞

禁 無 断 転 載

第12回（平成15年度）研究助成成果報告書 Ⅱ

2007年3月吉日

発　行　財団法人トステム建材産業振興財団
〒136-8535 東京都江東区大島2丁目1番1号
トステムショウルーム東京7階
電　話　03－5626－1008
FAX　03－5626－1033