第16回（平成19年度）
研究助成成果報告書

２０１０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21年度までの助成実績は、延べ790件、8億5,168万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16回（平成19年度）に助成を行なったものを中心に、研究成果の「要約」をまとめたものであります。これらの研究を通して、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　洋一郎

※ 研究報告書の「全文」をご希望の方は、該当の研究テーマ名を記して、
弊財団事務局にご連絡ください。

財団事務局　〒136－8535　東京都江東区大島2丁目1番1号
TEL　03－5626－1008
FAX　03－5626－1033
http://www.tostemfound.or.jp

はじめに

第１部　調査研究

蟻害を受けた部材及び柱土台接合部の残存耐力評価とその補強方法の提案
(06-09)
京都大学生存圏研究所 助教 森 拓郎 ---------- 1

木造住宅工法の改良にともなう床下微生物生態系の変化と劣化軽減への寄与に関する研究
(06-27)
筑波大学大学院 生命環境科学研究科 教授 農学博士 土居 修一 ---------- 5

室内環境における新規な花粉識別定量法の開発と快適な居住環境形成への利用
(06-28)
筑波大学大学院 生命環境科学研究科 教授 青柳 秀紀 ---------- 7

壁体隙間による音響透過現象の数値解析モデルの開発と遮音性能予測に関する応用
(06-32)
東京大学生産技術研究所 准教授 坂本 慎一 ---------- 11

気象衛星画像とインターネットを用いる環境共生型昼光照明システムの開発
(06-39)
京都大学大学院 工学研究科 助教授 上谷 芳昭 ---------- 13

地域の木造住宅生産供給を支援するシステムに関する研究
(06-46)
工学院大学工学部 建築学科 教授 吉田 倬郎 ---------- 17

風圧の動的荷重効果と疲労を考慮した建築外装材の耐風性能評価手法に関する研究
(06-56)
東北大学未来科学技術共同研究センター 教授 植松 康 ---------- 19

リユース可能な展開型アーチ構造の試作
(06-59)
東京大学生産技術研究所 教授 川口 健一 ---------- 23

住居内行動確率モデルの構築
(06-61)
京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 助手 松下 大輔 ---------- 27

床下空間を活用した住宅用調湿システムの開発に関する研究
(07-01)
東京大学生産技術研究所 教授 加藤 信介 ---------- 33

木造住宅の気候調節機能に及ぼす建物仕様の影響
(07-03)
名古屋大学大学院 生命農学研究科 教授 佐々木 康寿 ---------- 43

環境湿度応答型因州和紙抗菌壁紙の開発
(07-05)
鳥取大学工学部 准教授 吉井 英文 ---------- 51

児童のアレルギー疾患と居住環境との関連についてのアンケート調査
(07-06)
東北大学大学院 教授 吉野 博 ---------- 61

ハウスダストの鉛汚染と室内汚染源
(07-07)
東京大学大学院 新領域創成科学研究科 准教授 吉永 淳 ---------- 73

IH 調理器の最適な換気評価手法の検討
(07-09) 国立保健医療科学院 建築衛生部 主任教官 鍵 直樹 ---------- 85

医療福祉施設における介護臭を対象とした脱臭装置の開発に関する研究
(07-10) 大同工業大学工学部 建築学科 准教授 光田 恵 ---------- 89

レンジフードのオイルミスト捕集率測定・評価方法に関する研究
(07-11) 千葉工業大学工学部 建築都市環境学科 教授 小峯 裕己 ---------- 97

ピンポイント補強による鉄筋コンクリート建築の耐震性能の飛躍的合理化
(07-14) 九豊橋技術科学大学 准教授 真田 靖士 ---------- 107

旧来の（築 35 年以上）不適格軸組木造住宅の非破壊による耐震改修計画の策定研究
(07-15) 特定非営利活動法人建築技術支援協会 理事 太田 統士 ---------- 117

非構造部材の耐震設計の合理化と普及型耐震対策技術
(07-16) 明治大学 理工学部 建築学科 准教授 小林 正人 ---------- 119

壁土や下地の工法の地域性を考慮した土塗り壁の耐震性能に関する研究
(07-21) 横浜国立大学 大学院 工学研究院 教授 山崎 裕 ---------- 131

居住空間におけるデュアル・システムの構築 －仕事と子育ての両立と持続可能な高効率型居住空間の探求－
(07-22) 足利工業大学 建築学科 准教授 渡邊 美樹 ---------- 141

玄関空間と靴の脱履動作特性に応じた姿勢保持椅子に関する研究
(07-23) 北海道立北方建築総合研究所 研究職員 林 昌宏 ---------- 147

環境共生集合住宅における夏季の住みこなし過程に関する研究
(07-24) 東海大学大学院 工学研究科建築学専攻 准教授 高橋 達 ---------- 157

家族類型別省エネルギー手法の提案に向けた単独世帯の住宅内エネルギー消費に関する研究
(07-27) 豊橋技術科学大学 建設工学系 助教 源城 かほり ---------- 169

簡単・安価な太陽熱空気集熱暖房器の開発
(07-28) 静岡大学 助教 松尾 廣伸 ---------- 179

雪解け水を直接利用するふく射式冷房技術の開発
(07-30) 財団法人雪だるま財団 チーフスノーマン 伊藤 親臣 ---------- 183

横型光ダクトシステムによる住宅における省エネルギーの可能性に関する研究
(07-31) 千葉工業大学工学部 建築都市環境学科 助教・博士(工学) 望月 悦子 ---------- 193

非住宅用可動間仕切及びドアの変遷
(07-32) 東京理科大学工学部 建築学科 教授 真鍋 恒博 ---------- 205

景観計画における形態規制とこれに対応する建材の供給体制の実態調査
(07-33) 千葉大学大学院 園芸学研究科 准教授 秋田 典子 ---------- 215

古新聞紙を原料とする「健康木質ボード」の製造に関する研究
(07-39) 阿南工業高等専門学校 教授 西岡 守 ---------- 225

枠組壁工法住宅解体材の構造材としての再使用に関する基礎的研究
(07-40) 独立行政法人建築研究所 上席研究員 中島 史郎 ---------- 229

塩化ビニル系建設廃材を用いたリサイクルシートの配合設計に関する研究
(07-41) 明治大学理工学部 准教授 小山 明男 ---------- 239

水溶性触媒を用いた木材の常温・気相アセチル化と木質材料への応用
(07-42) 筑波大学大学院 生命環境科学研究科 准教授 小幡谷 英一 ---------- 251

地球温暖化防止を目的とした木毛繊維断熱板の開発研究
(07-43) お茶の水女子大学 生活環境研究センター 名誉教授工学博士 田中 辰明 ------- 263

間伐した地域材利用による木造耐力要素の開発
(07-44) 岐阜県立森林文化アカデミー 講師 小原 勝彦 ---------- 273

竹材の超高度利用による循環型住宅資材の開発
(07-45) 鹿児島大学農学部 准教授 服部 芳明 ---------- 285

高温低湿処理を施したスギ柱材の接合部性能に関する研究
(07-46) 秋田県立大学 木材高度加工研究所 准教授 岡崎 泰男 ---------- 299

中華人民共和国の建築・住宅生産における工業化構工法の導入可能性に関する基礎的研究
(07-47) 芝浦工業大学工学部 建築学科 教授 南 一誠 ---------- 309

アルミニウムスクラップの効果的な国際流通と中国におけるアルミリサイクル調査
(07-50) 横浜国立大学大学院 工学研究院 教授 梅澤 修 ---------- 319

建築学習システムと体験型学習教材の活用による建築教育の実践研究
(07-52) 明治大学理工学部 教授 澤田 誠二 ---------- 333

戸建て宅地地盤の危険性を抽出するための新しい地盤調査技術の開発
(07-53) 東京都市大学 教授 末政 直晃 ---------- 345

色彩浮造り合板を用いた製品開発
(07-54) 北海道立林産試験場 技術部合板科 研究職員 松本 久美子 ---------- 355

低価格、軽量シリコン系薄膜太陽電池の開発
(07-58) 岐阜大学大学院 工学研究科 教授 野々村 修一 ---------- 365

密集した漁村集落における風・熱環境の解明
(07-59) 熊本県立大学環境共生学部 准教授 辻原 万規彦 ---------- 369

可変インフィルを用いた木造廃校舎の利活用に関する研究 ～旧上秋津小学校校舎を対象に～
(07-60) 京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 博士後期課程 李 容圭 ---------- 381

可動型ルーバ用能動消音装置の開発・研究
(07-61) 鶴岡工業高等専門学校 教授、制御情報工学科 学科長 柳本 憲作 ---------- 393

高効率並列計算アルゴリズムによる壁体透過音の数値計算
(07-62) 早稲田大学 環境総合研究センター 准教授 鴇田 泰弘 ---------- 405

伝統的住宅保存の経済分析 －木曽妻籠宿を事例に－
(07-63) 新潟大学 経済学部 准教授 澤村 明 ---------- 417

第２部　人材育成

近世民家における室内環境調整手法・植栽計画・居住地計画の分析と現代への応用
(07-64) 愛知産業大学 造形学部 建築学科 専任講師 宇野 勇治 ---------- 429

歴史的建造物保存専門教育に関する研究 －オーストラリアの大学における保存教育－
(07-72) 九州大学大学院 芸術工学研究院 助教 福島 綾子 ---------- 431

第４部　シンポジウム

景観材料普及促進シンポジウム（観光空間への提言その３）
(07-89) 社団法人日本建材・住宅設備産業協会 東京大学名誉教授 渡邊 定夫 ---------- 439

リフォーム事業者・研究者のためのシンポジウム 「リフォームで消費者の安心と満足をえる手法」の開催
(07-90) NPO 消費者住宅フォーラム 副理事長 大河内 隆之 ---------- 443

エネルギーと環境コンペティション 「楽しいエコ住宅 －五感で感じる住まい－」
(07-91) 名古屋工業大学大学院 産業戦略工学専攻 工学博士・教授 堀越 哲美 ---------- 447

無暖房住宅を巡って：今後の目標となりうるか？
(07-92) 東北大学大学院 工学研究科 教授 吉野 博 ---------- 451

第1部　調査研究

蟻害を受けた部材及び柱土台接合部の残存耐力評価とその補強方法の提案

京都大学生存圏研究所
助教 森 拓郎

1. はじめに

近年大きな地震が多発しており、木造住宅における甚大な被害が報告されている。特に生物劣化に着目して中越沖地震を調査した結果、調査住宅すべてから腐朽菌による腐朽が見つかり、また7割からシロアリによる害が発見された。また、建物強度性能や材料強度性能とシロアリ等生物劣化との関係についての研究は近年始められたばかりであり、そのデータ数は少なく、定量的評価にはほど遠い状態である。そのため、実際には耐力等の評価をきちんと示しているデータが発表されていない。

そこで、本研究では、シロアリ食害に着目して、その食害材の残存耐力を推定することを最終目的とし、食害材と残存耐力について検討した結果を報告する。

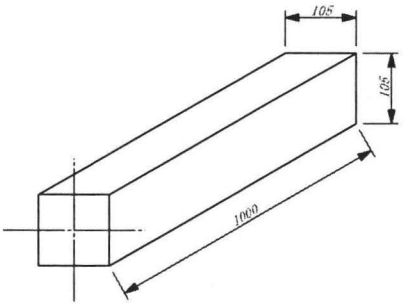


図1　試験体図（木口から4等分）

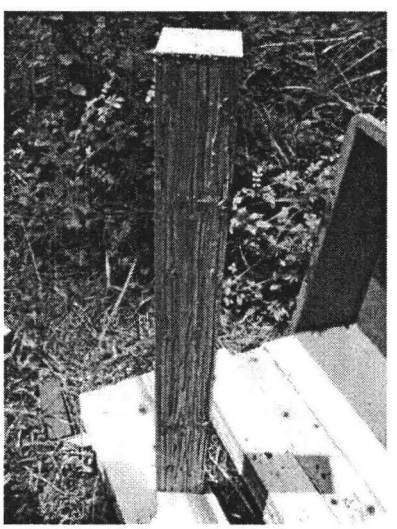


写真1　和歌山試験の状況

2. 試験概要

2.1　試験体概要

試験体はヒバ、スギ、ホワイトウッドの3樹種でホワイトウッドについては E95-F270 の異等級対象構成集成材である。試験は二種類行っており、それぞれを以下に示す。なお、対象としているシロアリは食害の速度を考えて、イエシロアリとした。

和歌山試験：

和歌山県で行っている野外試験であり、写真1に示すように試験体をプラスチックス製の容器で蓋をすることにより、シロアリが来やすい状況（できる限り無風であり、暗所であること）を作っている。実際には3カ所設置して2カ所で食害があり、それらの材を用いて次の項で示す実験をおこなっている。ここで試験体サイズは、図1に示す 105×105mm の断面ものであり、木口からはシロアリが入りにくいように酢酸ビニルの接着剤を用いてシーリングをした。試験期間については、4月下旬に試験体を設置し、毎月一度測定に行き、その都度食害があると思われる材を引き上げてくることで行った。測定項目は、含水率と超音波、見かけの密度である。

京都大学生存圏研究所居住圏劣化生物飼育棟（DOL）試験：

全国共同利用施設である DOL を用いた飼育棟内試験であり、試験体を配して食害させている。本試験体は、試験環境に合わせて図1で示した試験体の木口を4等分した約 50×50mm の断面の材とした。本試験では、2体の試験体より各樹種8体の試験体を作成し、そのうち4体ずつをコントロール材として破壊試験を実施した。この結果は、和歌山試験の試験体においてもコントロールとして用いている。また、測定項目は和歌山試験と同様である。

2.2 試験概要

試験は、試験地より引き上げてきた材についてDOL試験で行っているサイズに4等分した後に、非破壊測定項目として含水率、超音波、見かけの比重を測定し、その後3点曲げ試験を生存圏研究所所有のInstron製材料試験機にて行った。試験前の部材の状態の一例を写真2に示す。初期の試験では中央部変位のみを測定していたが、支点部の食害が激しくなることで支圧強度を満足できなくなり、支点部のめり込み変形を測定している試験体も見られた。加えて、全面圧縮試験をおこなった。圧縮試験は、曲げ試験した後の健全部（割れが進行していないという意味）から2体ずつ切り出して、全面圧縮で実施した（写真3）。

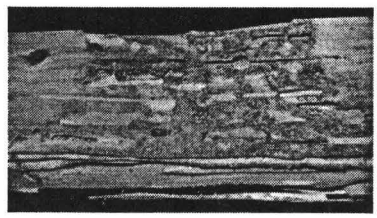


写真2　試験体の食害状況

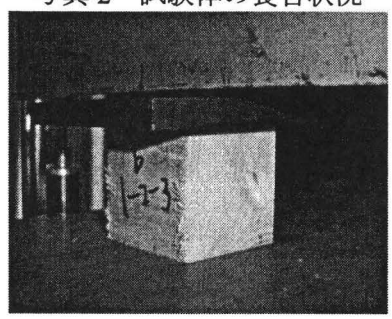


写真3　圧縮試験の状況

3. 試験結果と考察

試験体の状態は、ホワイトウッドに関しては両試験において、激しい食害が見られ、大きな断面欠損を起こしていることが看取されたが、他の樹種についてはあまり大きな被害は見られなかった。その中でも、ヒバについては特に被害の度合いが低く、耐蟻性が高いことが改めて確認された。また、ホワイトウッドにおいては集成材の接着層が大きく影響しており、そこで一度食害が止まる傾向が見られた。ただし、その後、食べられる部分が減ると結局接着層を食い破って行くこともわかった。

3.1 曲げ試験について

試験体について、破壊試験を実施した。曲げ試験により得られた強度性能の値と各非破壊測定値との関係のうち、曲げ強度と密度及び超音波伝搬速度の関係を図3～4に示す。

図3及び図4より曲げ強度と密度の関係は、一般に言われているように、正の相関があり、実際の建物内での測定方法を無視するとこれらの値は、データベースの構築によって、劣化度合いを調べることができるようになると考えられる。次に超音波伝搬速度との関係であるが、曲げ強度とは多少の相関が見られるが、あまり高い相関が見られなかった。

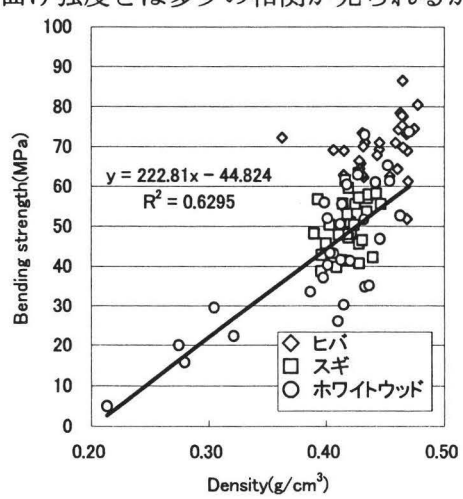


図3　曲げ強度と密度の関係

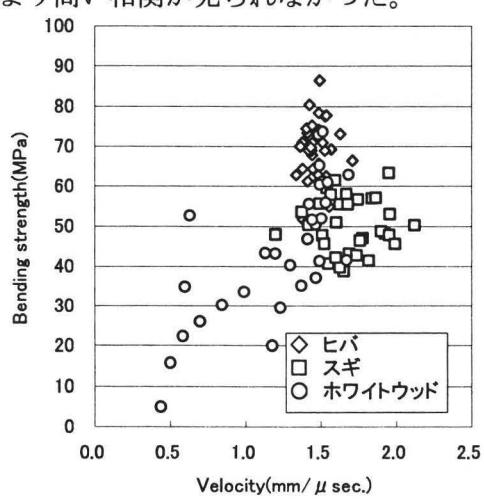


図4　曲げ強度と超音波伝搬速度の関係

3.2 圧縮試験について

曲げ破壊試験を実施した試験体すべてから切り出した材（約 50×50×50mm）について全面圧縮試験を行った。食害の大きかったホワイトウッドのみについて図 5 と図 6 にヤング係数と密度、降伏強度と密度の関係を示す。ここで示す密度は、圧縮試験直前の重量を元々の体積で除したものである。

図 5、図 6 を見ると、正の相関関係が見られるが、そのバラツキが大きいために、明確に耐力低下があると区別することができる密度域を判断するには至らない。今後、実験方法を精査することで、より差がわかりやすい評価方法の開発に努めたい。

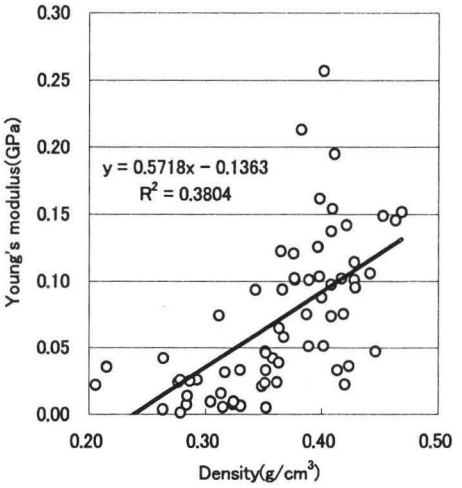


図 5　ヤング係数と密度の関係

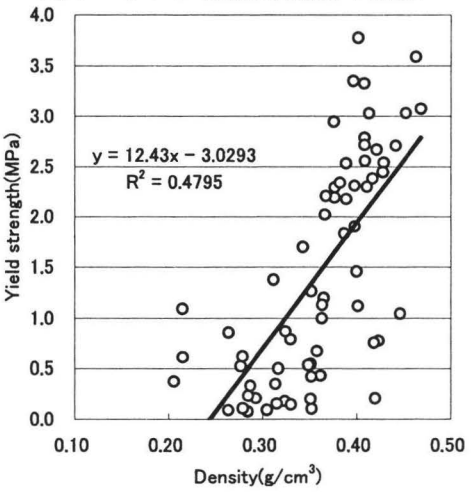


図 6　降伏強度と密度の関係

4. まとめ

本試験の結果、大きくばらつきが見られたため、定量的な結論を得る事はできなかったが、いくつか傾向が見られたので以下にまとめた。

劣化した材においても、一般的に当たり前とされている密度と強度、ヤング係数の関係には相関があり、密度に関係する測定方法との組み合わせで、劣化度を評価できる可能性を得た。

今後、生物劣化と材料における残存耐力の関係が、非破壊評価との組み合わせによって定量的に評価されることによって、建物における劣化状況がより明らかにしていければと考える。

謝辞

本研究は、トステム建材産業財団（代表者森拓郎）及び京都大学生存圏研究所全国共同利用居住圏劣化生物飼育棟（DOL）に助成を頂きました。また、本研究を遂行するに当たり、京都大学生存圏研究所小松幸平教授、香束章博（当時大学院 2 年）、京都大学農学研究科藤井義久准教授、簗瀬佳之助教、藤原祐子氏に助言及び実験補助を頂きました。ここに感謝いたします。

木造住宅工法の改良にともなう床下微生物生態系の変化と劣化軽減への寄与に関する研究

筑波大学生命環境科学研究科
教授　土居修一

1. 研究の背景と目的

一般的に、屋外で使われる木材はもちろんのこと、住宅部材として使われる木材の腐朽は、自然界に生息する担子菌を主とする木材腐朽性微生物から放出された胞子、分生子あるいは菌糸が、空気の流れとともに移動して木材上に着生した時、その木材の含水率や周辺の温度、酸素などの条件が整うと発芽・繁殖が旺盛になり、その結果として引き起こされると考えられている。また、建築工事に伴って木材質が床下土壌へ混入すると、土壌中の微生物生態系が変化し、木材腐朽性微生物が土壌中で優勢になり、それらが菌糸あるいは胞子などの形で住宅部材へ侵入・定着し、腐朽害がおこることも知られている。

一方、最近の木造住宅では、耐震性、防湿性確保などの観点からベタ基礎、土間コン敷設などの採用が多くなっており、以前のように床下の土壌面が露出していない。したがって、土壌水分に由来する床下空間の湿度や木材含水率の低下とともに、床下空間および部材表面における微生物層が変化すること、土壌中で優勢となった木材腐朽性微生物が容易に侵入できなくなることなどが考えられる。このことと上記に示した腐朽発生の機構とを考慮すると、ベタ基礎工法などの採用はシロアリ被害の低減が期待できるだけでなく、床下空間の微生物数を減少させることによって、腐朽の危険性を水分低減と連動して軽減させると予想される。特に、品確法施行以後は人工乾燥材が急速に普及したので、仮に、既に菌が侵入しているが一見健全な原木を使用した場合であっても、製材－乾燥の工程で殺菌されている可能性が大きいので、この期待はさらに高まる。

そこで、本研究では京都大学宇治地区キャンパス内生存圏研究所に実験的に建築された木造住宅を利用して、床下土壌面の相違が、湿度、菌相などに与える影響について調査し、腐朽の危険性が低減するのか検討することとした。

2. 実験方法と結果・考察

この住宅は、木造軸組みで外壁は下見板張り、内壁は土塗り壁である。床下は布基礎コンクリートで仕切られているが、基礎と土台との間には基礎スペーサが施工されてスリット（以下換気孔）が設けられており、通風が図られるようになっている。本研究で使用した区画はコンクリートで被覆された部分（以下、コンクリ区）と土壌が露出している部分（以下、土壌区）であり、空気の流れがそれぞれの区画で別々に、南北方向で確保できるようになっていた。この住宅周辺の外気及び床下の温湿度、落下菌数、土台付着菌数測定などを行い、腐朽のリスクの大小について検討した。また、

検出された担子菌の同定と木材腐朽能測定を行った。

温度に関しては両区間にほとんど差が見られなかったが、湿度は、年間を通じてコンクリ区よりも土壌区で高い値が観測され、その差は最大30%以上であった。しかし、梅雨時期（2007年及び2008年の6月～7月）には、コンクリ区も土壌区と同程度まで上昇した。屋外の温度は、顕著な差ではないものの、冬期は床下内部よりも低い値を、夏期は床下内部より高い値を示した。春期はほぼ同じ値であった。一方、屋外の湿度は、冬期はコンクリ区の場合と土壌区の場合の中間的な値が観測されたが、夏期はコンクリ区よりも低い値が観測された。土壌区においては、年間を通じて屋外よりも湿度が高い傾向にあった。夏期にコンクリ区の湿度が屋外より高くなったが、温度が若干低く推移していたためであると判断した。なお、梅雨時期には、コンクリ区、土壌区および屋外で同程度の値まで上昇することが明らかとなった。

屋外と床下各区の土台含水率は、年間を通じてコンクリ区よりも土壌区のほうが高いことが明らかとなった。また、梅雨時期や台風の時期には、コンクリ区においても含水率が30%を超える部位があり、湿度も腐朽の危険性が増加する値（80%以上）に達していたが、長期間続くわけではないことから、腐朽リスクは小さいものと考えられる。一方、これ以外の時期でも、土壌区では土台含水率が 20%を超える材があり、また湿度は年間を通じてほぼ80%前後であるため、コンクリ区よりも土壌区のほうが菌類の生息しやすい環境が維持されたと判断できる。なお、各区で換気孔を完全に塞ぐと塞がない状態の同時期に比較して若干高くなるが、その場合でも、コンクリ区の含水率は低く推移した。

各区の床下落下菌数および土台付着菌数の推移を測定した結果、測定期間全体を通して、いずれの場合も土壌区で大きな菌数が検出されたのに対し、コンクリ区では少ない状態で推移していることが明らかとなった。また、換気孔閉鎖後、には土壌区での落下菌、土台付着菌ともに大きく増加した。これは、密閉されることによって高湿度が維持され、床下空間の対流などによって土壌中の菌が浮遊し、一部は土台に付着したためと想像される。これに対し、コンクリ区では、いずれの場合も菌数が0で推移しており、換気のある時に検出された菌は、外気から侵入したものと推定された。

採取された菌類の大部分はいわゆるカビ類であった。担子菌と判断された菌類は十数種で、ほとんどが白色腐朽菌であった。通常、住宅部材の腐朽害は、褐色腐朽型が多いとされている。したがって、これらの菌類が実際の腐朽とどのように関連しているのか不明ではあるが、少なくとも、木材腐朽能を持つ担子菌が落下菌や付着菌として分離されたことは明らかなので、これらが床下換気に伴って、侵入するのか、あるいは床下土壌中から空気の対流によって散乱し付着するのかなど、今後検討しなければならない課題である。なお、いわゆるカビ類は、木材腐朽力をほとんど持たないが、これらが木部へ付着する数が多くなれば、それらの死滅後に窒素源が残ることになり、腐朽被害を受けやすい条件を整えることになる。これらのカビ類もできるだけ数が少ない状態に抑える工法を採用する必要がある。そのためにもコンクリートによる床下土壌表面の被覆は有効に働くと想像される。

室内環境における新規な花粉識別定量法の開発と快適な居住環境形成への利用

筑波大学大学院 生命環境科学研究科
教授 青柳 秀紀

【研究目的】

日本全国でスギ花粉症を患っている人は 1800 万人, スギ以外の花粉症を患っている人は1200 万人いると推定されている（予備軍も含めるとその数はさらに多い）。花粉症は国民病であり、大きな社会問題となっている。しかしながら現状では花粉症の根本的な治療法は無く、抗アレルギー剤を服用することで、くしゃみなどの症状を和らげるのが一般的である。そのため現在のところ最も有効な対策法は花粉との接触を避けることである。申請者は 21 歳の時から約 20 年間に渡り、重度の花粉症であり、花粉症患者の立場から快適な居住環境を考えた場合、花粉対策は極めて重要な課題である。花粉対策を配慮した快適な居住環境を実現するためには、その基礎として、室外および室内における花粉の飛散数を選択的、客観的かつ感度良く計測し、得られた正確な情報に基づき、有効な花粉対策を講じる必要がある。

しかしながら、従来、一般的に行なわれてきた光学顕微鏡や光散乱法を用いる花粉の計数法は、得られる結果の精度、再現性、選択性の点で一長一短があり、これまで十分な花粉情報が得られてきたとは言い難い。また、現状では、室外に比べて室内の花粉に関する情報は極めて少なく、解明すべき不明な点も多い。このような現状を踏まえ、本研究では、室内における花粉（および微粒子）の十分な情報を把握し、得られた知見を快適な居住環境の実現に役立てることを最終目的とし、下記の項目について検討を行う。

1. 花粉と他の微粒子と識別して計測する技術の開発
2. 花粉の種類を識別して計測する技術の開発
3. 湿度が花粉の諸特性に及ぼす影響
4. 室内における各種の花粉情報の把握と得られた知見に基づく快適な住居環境形成に関する提案

【結果および考察】

1. 花粉と他の微粒子と識別して計測する技術の開発

従来の花粉測定法は高度な熟練が必要であり、花粉を識別して計測する事は非常に困難である。実際に申請者が大学院生と一緒に、顕微鏡を用いる従来法により花粉の計数を行なってみると、花粉と同じくらいのサイズや形状を有する粉塵との区別や、花粉の種類の識別は困難であった。また、計数する人により結果が大幅に異なった。

そこで申請者は、簡便、迅速、正確で、再現性（得られた結果に個人差が少ない）に優れた、各種の花粉および微粒子の識別が可能な方法の開発を行った。

申請者は種々の実験を通じて、花粉に適切な波長の紫外光を照射すると、花粉独自の自家蛍光が発生する現象を独自に見出した（**Fig. 1**）。この時、花粉と同じくらいのサイズや形状を有するゴミや粉塵はほとんど蛍光を示さないか、異なる蛍光を示したため、花粉と簡便に識別する事ができた。この結果、花粉のみを計数する事が可能となった。また、従来法で問題となっていた人による花粉を計数した結果の大幅なふれも無くなり安定した結果を得る事が可能となった。

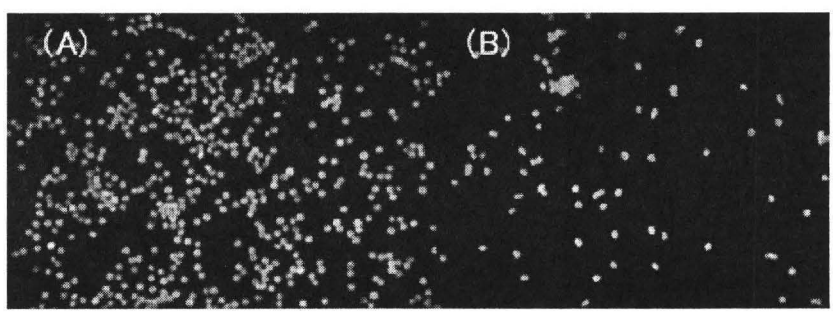


Fig. 1 紫外光を照射したスギ花粉（A）、ヒノキ花粉(B)の蛍光顕微鏡写真

2. 花粉の種類を識別して計測する技術の開発、3. 湿度が花粉の諸特性に及ぼす影響

得られた蛍光写真を画像解析するソフトを作製し、蛍光画像を色成分［赤、緑、青］に分け、それぞれの蛍光強度を測定し、比較した比較した結果、花粉の種類による大まかな違いは得られるものの、湿度等の環境要因によるふれも大きく、スギの花粉とヒノキの花粉を定量的かつ簡便に識別するには問題があった。

種々検討した結果、赤い蛍光強度と青い蛍光強度の色比（青／赤　比）を求める事で、スギの花粉とヒノキの花粉を再現性よく識別できる事が明らかとなった。さらに、識別するための指標として、それぞれの花粉の粒径［サイズ］にも着目し、（青／赤）比と組み合わせる事で、スギの花粉とヒノキの花粉を明確に識別する事が可能となった（**Fig. 2**）。

また、日本各地のスギおよびヒノキ花粉についても調査した結果、花粉の粒径［サイズ］にも着目し、（青／赤）比と組み合わせる事で、スギの花粉とヒノキの花粉を明確に識別する事が可能であった（**Fig. 2**）。ただし、北海道のスギ花粉だけは他の地域のスギ花粉と異なる蛍光特性を示した。

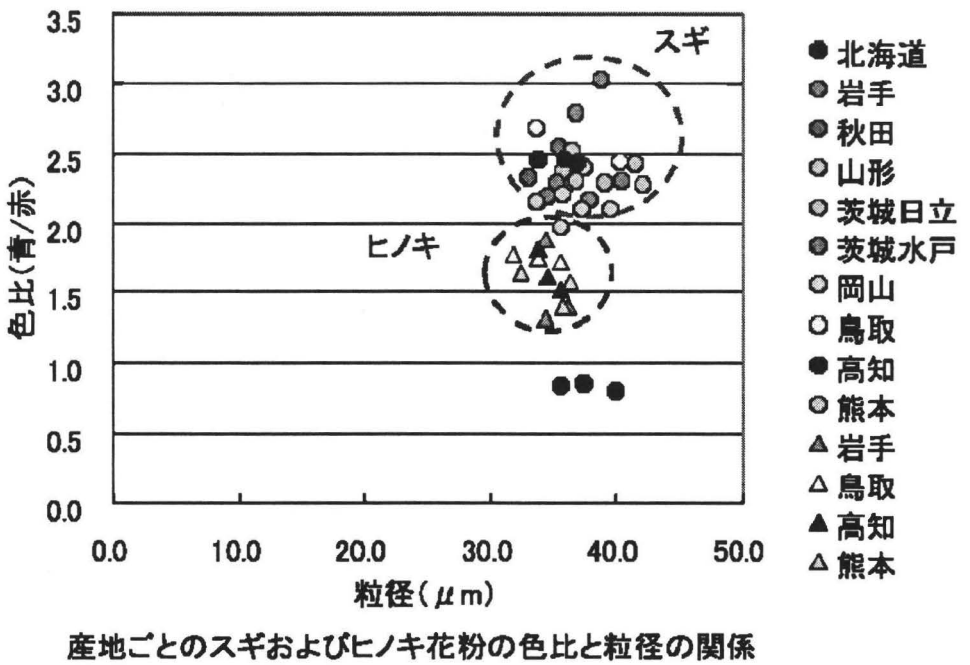


Fig. 2　異なる産地のスギおよびヒノキ花粉の色比と粒径（サイズ）の関係

4. 室内における各種の花粉情報の把握と得られた知見に基づく快適な住居環境形成に関する提案

実際に、開発した方法を用いて、ある一軒家を対象に、室内および室外の花粉の計測を行った結果、微生物、カビ胞子、粉塵、黄砂と花粉を区別し、花粉のみを簡便に計測できた（**Fig. 3**）。また、花粉の種類を識別して計測する事も可能であった。室外では花粉が多く、飛散している花粉はほとんどがスギ花粉であった。一方、室内の花粉の飛散状況を計測した結

果、花粉（すべてスギ花粉）は床から 150 cm の高さ以下のエリアで検出された(**Fig. 4**)。特に、床から 40 cm の高さのエリアでは多数の花粉が検出された。また、花粉の大部分は室内の微粒子を表面に吸着していた。床から数十 cm の高さのエリアの換気を効果的に行う事を可能にした換気システムを構築し、検討を行った結果、室内の花粉濃度を低く抑える事が可能であった。

現在、“住まい”のアレルゲン花粉を高効率で回収、破砕、分解し、アレルゲンを除去する新規なアレルゲン花粉処理型空気清浄器（ヒートポンプ・蓄熱システムを熱源および水蒸気発生源として活用）の開発について検討中である。

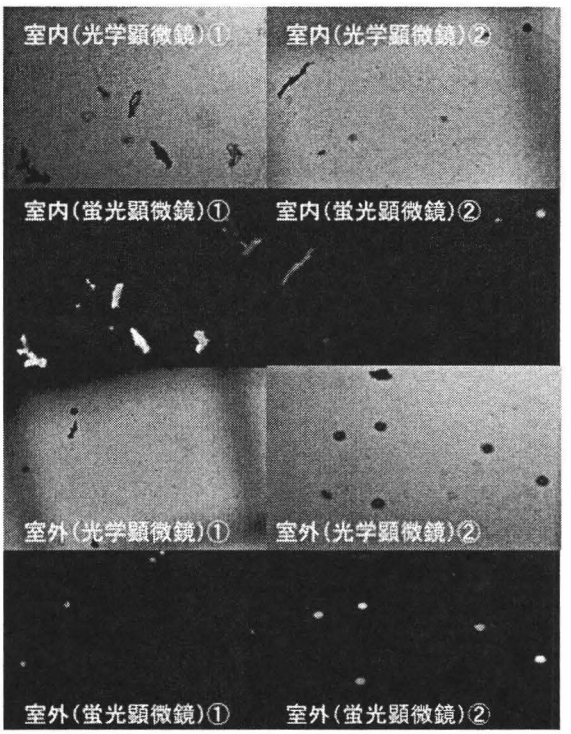


Fig. 3. 室内および室外の花粉の光学顕微鏡写真および蛍光顕微鏡写真

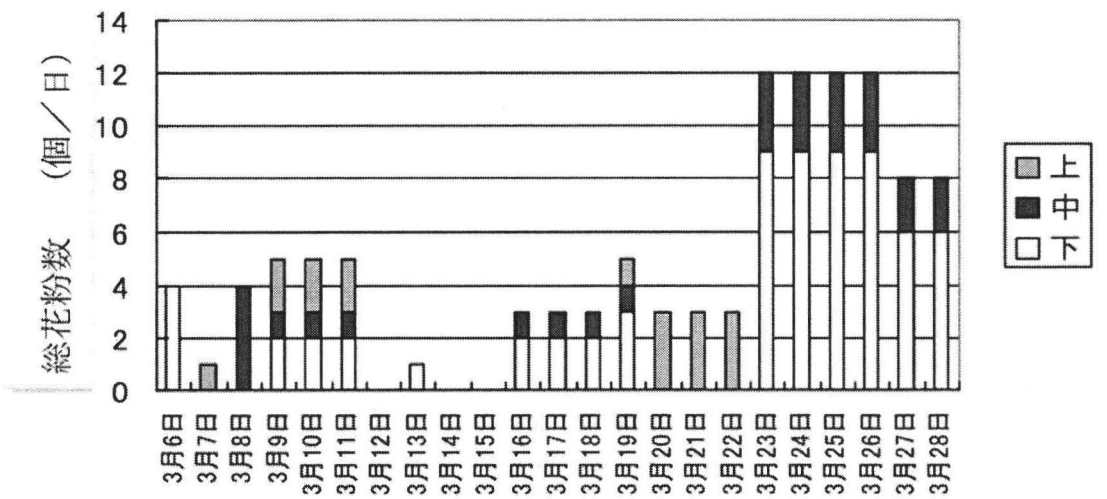


Fig. 4 室内の花粉の飛散状況
上＝床から150 cmの高さのエリア
中＝床から80 cmの高さのエリア
下＝床から40 cmの高さのエリア

壁体隙間による音響透過現象の数値解析モデルの開発と遮音性能予測に関する応用

東京大学

准教授　坂本慎一

居住者のプライバシーを確保し、静穏で快適な室内環境を実現するためには、建築外周壁・隣戸間界壁の遮音性能を適切に保つことが必要である。特にわが国の過密化した都市では、昼夜を分かたず脈動する主要道路交通・鉄道交通当の外部騒音負荷が大きく、遮音設計は需要な役割を担わなければならない。しかし実際の遮音設計では遮音検討が十分になされない場合も少なくはなく、騒音に関するクレームは多い。このような状況を改善するために、遮音設計における重要なポイントを明確にし、確かな設計指針を確立することが重要である。

壁体を構成する部位のうち、窓は換気・通風・採光のために必要不可欠であるが、音響的には最も弱点となりやすい。壁体の総合遮音性能は、最も性能の低い部位の透過損失値とその部位が占める面積によって決定される。したがって、高遮音性能をもつ窓・窓サッシの開発が求められている。

申請者は換気設備や窓サッシ可動部等の音響的な「隙間」が居住空間の静穏を保つために最も留意すべき遮音上のポイントであるとの認識をもっている。これまでに、換気設備に関連する研究として、適切な騒音制御性能を有する換気ダクトシステムの開発を行い、その効果を実験的に確認した。その研究では、ダクト内部に組み込む消音デバイスの工夫によって低周波数から高周波数までをバランスよく遮音するダクトシステムの設計方法について示した。遮音設計の観点から考えると、以上の換気口単体の遮音性能だけでなく、窓サッシの遮音性能と併せて、総合的な見地から検討を進める必要がある。窓サッシは、ガラス板の遮音性能とサッシ周辺部位の微小な隙間の遮音性能の両者の寄与によってきまる。このため、本研究では、「板」を介した音響伝搬および吸音要素を組み合わせた「音響隙間」による音響透過を解析する汎用的手法を開発し、窓サッシ等、各種建築部品の遮音設計に資する資料を収集することとした。以下に本研究報告書の概要について示す。

第 1、2、3 章では、研究の背景、概要、実施計画について示した。

第 4 章では、スリット隙間の遮音性能に関する検討を行った。窓サッシや扉の遮音性能は、板材を介した音響透過と建具周辺に生じる微小な隙間を介した音響透過の両者の寄与によってきまる。隙間を介した音響伝搬は、総合遮音性能の低下に大きな影響を与えるため、その建具を構成する板材（板ガラスなど）の高性能化を図っても、総合遮音性能が隙間部位の性能のために頭打ちになってしまうおそれがある。本検討では当該隙間の有する遮音性能を調べるために実測を行うとともに、FDTD 法を用いた解析結果と比較することによって隙間の遮音性能の予測に関する解析手法の妥当性について検討した。

第 5 章では窓サッシ周辺の隙間の遮音性能に関する数値解析を行った。窓サッシの遮音性能は、ガラス板を介した振動伝搬と周辺のサッシ部位を介した音響伝搬の両者によって決ま

るが、これらの要素のうち、周辺のサッシ部位における微小な隙間を介した音響伝搬が、総合的な遮音性能に与える影響は大きい。微小な隙間は、ゴムなどのシーリング材によって封じられているが、窓サッシの可動性能を考慮した設計となっており、隙間を完全には塞げていない状況である場合が多い。窓サッシ周辺の隙間部位を介した音響伝搬について、実測および波動数値解析による検討を行った。

第 6 章では、一般的なオフィスに用いられるような片開き扉を検討対象として、当該ドアの周辺の隙間を介した透過音の影響について調べるとともに、当該隙間に対して吸音処理した場合の効果について現場実測および数値解析を用いた検討を行った。

第 7 章では、ガラス板を対象とした遮音解析について述べる。ガラス板の遮音特性は、その周辺支持部位における振動エネルギー損失に影響を受けるため、遮音解析を高い精度で行うためには、このエネルギー損失のメカニズムを解析に組込む必要がある。ガラス板の周辺支持部位におけるエネルギー損失特性について実測を用いて把握し、当測定結果を反映させた遮音遮音解析を行い、解析および実験結果の比較を行った。

第 8 章では、居室内へ伝搬する騒音の可聴化シミュレーションに関する検討を行った。居室内に透過する道路交通騒音の周波数特性および時間変動特性は、建築ファサードの遮音性能の影響を受けて変化する。建築ファサードの遮音性能を模擬することを目的とした可聴化シミュレーションシステムに関する検討を行った。

第 9 章で、本論を総括した。

以上から、FDTD 法を用いた音響ー振動連成解析が、建築ファサードの遮音のシミュレーションにおいて有益な予測ツールとなりえることが示された。今後、壁体の遮音設計、騒音伝搬に関する可視化・可聴化にも応用可能と考えられる。

気象衛星画像とインターネットを用いる環境共生型昼光照明システムの開発

京都大学工学研究科都市環境工学専攻
准教授　上谷芳昭

1　本研究の背景と目的

地球温暖化防止のための二酸化炭素削減策として全世界で省エネルギー技術が重要視され、建築分野においても、照明エネルギー消費量を削減することを目的とした昼光照明制御システムが注目を集めている。

従来の明るさセンサ、赤外センサを用いた昼光照明制御システムは、管理面、コスト面などに問題があり、また、屋外の光環境を把握していない為にブラインドの制御が行えず、人工照明を過剰に点灯してしまうなどの問題がある。これらの対策として屋外の昼光環境を計測することにより、更に効率の良い昼光照明制御システムの構築が可能であると考えられる。

本研究の目的は、雲頂から入射した太陽放射の雲塊内での透過、反射、散乱を計算する雲の物理モデルを構築すること、静止気象衛星画像から雲の立体的な分布性状をモデル化して全天空輝度分布を推定すること、これを昼光照明制御システムに適用することである。

2　大気による分光放射束の散乱特性

太陽放射の大気中の散乱特性を計算する為に、空気分子による分光放射束の散乱、雲による分光放射束の散乱、雲粒表面での分光放射束の反射と屈折、雲粒内部での分光放射束の反射と屈折をそれぞれ物理的にモデル化した。そのモデルを組み合わせ、雲粒の直径を厚みとする雲層の概念を新しく考案して、雲頂に入射した太陽放射が透過、散乱、反射、屈折を繰り返しながら雲底に至る過程を計算するアルゴリズムを作成した。

3　静止気象衛星画像を用いた天空輝度分布の推定

静止気象衛星画像を用いる利点は、日本全域、東アジア、オセアニアに至る広範囲でデータが得られることである。また、1画素あたり約5 6km四方のデータが得られ、地域気象観測システム（アメダス）が約21kmで観測しているのに比べてデータの平面密度が高いことや、静止気象衛星は既存の設備であるのでイニシャルコスト、ランニングコストがほとんど不要であることが挙げられる。さらにWMO（世界気象機関）の気象衛星観測網により高緯度地域を除く世界各地の画像がインターネットで配信されており、先進国はもとより発展途上国でも本システムを運用することが可能である。

静止気象衛星の可視画像や赤外画像などから、雲の厚みや雲頂高度などを推定し、雲塊の立体的分布を算出するアルゴリズムを作成した。

2.で作成したアルゴリズムと連結することで、各雲塊の雲底から発散される太陽放射の角度分布を推定し、地上の観測点からの天空輝度分布を推定することが可能となった。

4　全天空輝度分布推定精度の検証

3.のアルゴリズムの推定精度を検証するために、３０分間隔で撮影された気象衛星画像から推定した全天空輝度分布を、走査型天空輝度分布測定装置で１０分間隔で測定した全天空輝度分布と比較した。その結果、%RMSE が 0～50% の範囲に累積頻度で約 55%、50～100% の範囲に累積頻度で約 80% が含まれ、%MBE は -50%～50% の範囲に 75% が含まれた。雲の状態が短時間に大きく変動する場合などの輝度分布の推定精度は高くはない。

しかし、タスク・アンビエント照明における制御などには十分使える可能性がある。そこで、走査型天空輝度分布測定装置で測定した全天空輝度分布で制御した場合と、気象衛星画像から推定した全天空輝度分布で制御した場合の、省エネルギー率をシミュレーションにより比較した。室モデルは、幅 3.6m、高さ 3 6m、奥行き 10 8m で、幅 3.0m、高さ 2 1m の窓がある。天井には照明器具が奥行き方向に４台取り付けられており、全天空輝度分布から計算した照明器具直下の照度が設定照度に不足する場合に、不足照度だけを補うよう４台独立して調光するものである。この条件は、魚眼レンズ付デジタルカメラで測定した全天空輝度分布で実物の照明器具２台を１分間隔で調光制御し、高い精度と省エネルギー率を達成した実験的研究に基づく。設定照度は、タスク・アンビエント照明の基準照度を 800lx とし、そのうちアンビエント照明 400lx を調光制御するものとした。常にタスク照明による 400lx が確保されているので、天候の急変に調光制御が追随できなくても、居住者はほとんど気づくこともないと思われる。結果は、東西南北４方位、快晴・晴れ・曇りのいずれの場合も１時間毎の省エネルギー率がよく一致しており、その %RMSE は 14 1%、%MBE は 3 3% であった。

すなわち、高額な実験装置で測定した全天空輝度分布との誤差はあっても、本研究の目的である調光制御は精度良く行えることが示された。この点については今後の実験的研究で検証する予定である。

5　気候特性の異なる地点での省エネルギー性の検討

静止気象衛星画像を用いるメリットは、地上設備が一切無くても、インターネットにより各地のデータが得られることである。そこで、京都（内陸性気候）、東京（海洋性気候 太平洋側）、新潟（海洋性気候 日本海側）の三地点を対象として省エネルギー率の季節別シミュレーションを行った。その結果、地点に関わらず夏季における省エネルギー率は約 50%、冬季の省エネルギー率は約 33% となった。

6　結論

全天空輝度分布の地上測定は非常に高コストなので、研究的な用途に限られる。しかし、本研究によれば、極めて低コストな静止気象衛星画像を用いて、一部の高緯度地域を除く世界各地で実用的な人工照明制御が可能で、先進国はもとより発展途上国での二酸化炭素削減に貢献できる。本研究で得られた知見は以下の通りである。

1)　雲による物理的な分光放射束の透過、散乱、反射、屈折を計算し、雲層数、雲粒の粒径分布に応じて入射分光放射束に対する相対分光放射束分布を算出するモデルを構築した。

2)　静止気象衛星画像より雲の立体的分布をモデル化し、大気中の雲の散乱光を計算することで、全天空輝度分布を推定した。

3)　人工照明制御を想定したシミュレーションによる精度検証を行った結果、静止気象衛星による全天空輝度分布に基づいた人工照明制御は、走査型天空輝度分布測定装置を用いて地上で測定した全天空輝度分布による人工照明制御と比較すると、省エネルギー率が同程度であった。

4)　気候特性の異なる複数地点（京都、東京、新潟）において夏季、秋季、冬季で静止気象衛星画像データに基づく人工照明制御の省エネルギー効果について検討を行い、地点に関わらず夏季における省エネルギー率は約50%、冬季の省エネルギー率は約33%という結果を得た。

地域の木造住宅生産供給を支援するシステムに関する研究

工学院大学
教授　吉田倬郎

1．研究の背景と目的

住宅は本来、各地の居住者のために造られ、維持保全されてきているものである。一方、日本においては、高度経済成長や都市の発展の中で、伝統的な地域に根差した住宅生産供給でなく、大規模組織による住宅生産供給、および、集合住宅の生産供給が大きく成長してきた。そうした中、各地の木造住宅生産供給は、日本全体の住宅生産供給の中で一定のシェアを維持しているが、個々には小規模な生産供給であり、顧客の維持、技術開発、制度改革への対応などにおいて、克服すべき課題を抱えているのが現状である。

地域の木造住宅生産供給は、地域社会の営みや地場産業の活性化の観点からの基本的な役割がこれまでにも評価されているか、加えて近年は、環境への関心の高まりの中で、林業との連携による森林保全の面からも、その役割が注目されている。このような地域の木造住宅生産供給については、これまでにも様々な支援がなされ、また、地域の住宅生産供給を担う体制の整備充実が図られてきている、

本研究は、地域の木造住宅生産供給の支援に関わるいくつかの事業について調査し、その分析を踏まえて、地域の木造住宅生産供給の意義を確認し、その課題を明らかにし、地域の木造住宅生産供給の支援の方向を示すことを目的としている。

2．研究の概要

近年実施されている地域の木造住宅生産供給の支援に関わる事業を調査し、その分析により、地域の木造住宅生産供給の状況の一端を把握するとともに、その支援の方向や課題を取りまとめることとした。

調査を行った事業と、その分析の概要は、以下のとおりである。

「地域木造住宅市場活性化事業」のについては、応募事業108件から、日本全国の木造住宅活性化に資する各事業の取り組みについて、どのような共通点や相違点、傾向が表れているのか分析を行った。また、各事業の取り組みを地域別に比較し、事業の地域性を把握した。分析を通し、全国各地域の木造住宅市場活性化に共通する課題が普及促進であること、技術や人材に関する課題には地域差が見られることなどを伺うことができる。

「信州型エコ住宅」については、その応募事業 19 件から、長野県の木造住宅活性化に資する各事業の取り組みについて、どのような共通点や相違点、傾向が表れているのか分析を行った。また、認定事業と非認定事業の比較を行い、認定を受けるための条件等を見出した。分析により、地域的な木造住宅生産供給実態の一面をとらえることができた。長野県という地域の特性が反映されている面と、地域の木造住宅生産供給に通じる面の、両面から検討をするうえで有用な資料を得ることができた。

IBEC に掲載されている「サステナブル住宅」の受賞作品 14 件から、建物特徴・性能にどのような共通点や相違点、傾向が表れているのか分析を行った。「自然採光」、「自然換気」という自然エネルギーの活用に関する項目が多数採用されていること、「天井高の確保」「高気密高断熱化」「日射遮蔽」等、建築的配慮に関する特徴が多数採用されている点が注目できた。これらの項目も含め、サステナブル住宅の特徴には、地域の木造住宅が備えるべき特徴としても有力なものが多数みられると考えられる。

「高知型長寿命木造住宅」の受賞作品 6 件から、高知県の木造住宅活性化に資する各事業の取り組みについて、どのような共通点や相違点、傾向が表れているのか分析を行った。高知県の森林で多くの割合を占める桧と杉の有効利用は、建物の温かみを増すばかりでなく、適切な木材を適切な部材として使用する工夫も職人によって行われていた。また、輸送コストの削減や、環境への配慮も注目できた。

地域木造住宅市場活性化事業の分析結果を、木造住宅供給支援システム（（財）日本住宅・木材技術センター）の支援内容と比較を行った。地域木造住宅市場活性化事業の事業内容が多彩な分野は、営業、現場管理、維持保全、施工であり、木造住宅供給支援システムの支援内容は部材供給であることが分かった。営業、現場管理、維持保全、施工は、各地の地元の工務店が総じて力を入れていり、また得意とする分野であることが表れている。部材供給は、支援システムが最も期待されている分野であるといえる。設計は、地域木造住宅市場活性化事業と木造住宅供給支援システムの双方が得意な部分を適切に扱っている様子がうかがえる。地域木造住宅市場活性化事業の応募者はできれば幅広く設計業務をこなしたいところであるが、現実には支援を受けるのが合理的である部分が小さくない様子をうかがうことができる。

３．まとめ

以上、日本における地域の木造住宅生産供給の支援にかかわる状況および課題などの一端を捉えることができた。各々特徴を持つ各地域における木造住宅生産供給は、それに関わる設計者、工務店、専門工事業者、資材関係者などによってこれまで支えられてきたのであるが、近年の技術の進歩や制度の改革などへの対応という面では、個々の取り組みには限界があり、その克服のために、各地域における木造住宅生産供給関係者の主体的な取り組みや、公的な支援事業などこれまでにも様々な取り組みがなされてきている。本研究で扱った事例も、そうしたものの一部である。

本研究により、地域の木造住宅生産供給の支援に関わる具体的なメニューの元となるものを取りまとめることができた。それらは①地域の風土や文化を生かした住宅造り②地場産材の活用③地域の住宅生産供給体制の整備④地域社会の営みと密着した住宅造り⑤町並みや景観の保全、といった地域に固有な要因に関わるもの、⑦新技術新資材の導入⑧環境保全⑨法規や制度の改変への対応、といった地域を超えたグローバルな要因に関わるものがある。前者は、うまく活用することが各地域の特色ある住宅造りに繋がるものであるが、そのための参考事例の一端として本研究が参考になるものと考えられる。また、後者については、地域内の個々の事業者では対応が困難な課題も多く、そこでは公的な支援、あるいは事業者相互の支援がさまざまに展開される必要がある。

風圧の動的荷重効果と疲労を考慮した建築外装材の耐風性能評価手法に関する研究

東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻
教授　植松　康

1．本研究の目的

本研究では中低層陸屋根上のシート防水機械的固定工法を対象とし，一連の風洞実験並びに疲労試験によってシートおよび固定部に及ぼす風圧の動的荷重効果を明らかにし，耐風圧性能評価に用いる荷重サイクルモデルを提案する。我が国の陸屋根ではパラペットが付いているのが一般的である。パラペットの有無およびその高さや形状が屋根のピーク風圧に大きな影響を及ぼすことは既往の研究で明らかにされているが，風圧変動の繰り返し特性に及ぼす影響についてはこれまで全く研究されていない。そこで，本研究ではパラペットの影響も荷重サイクルモデルに反映させる。

2．風洞実験

本研究で対象とする建物は郊外あるいは市街地に建つ中低層陸屋根建物であり，図1に示すような直方体でモデル化する。また，建物寸法は表1のように設定する。模型の縮尺率は1/100，パラペットはステンレス板(厚さ 0.3mm)とポリカーボネートシート(同 1.5mm)を模型周囲に取り付けてモデル化する。風圧測定孔を図2のように配置し，屋根は3領域(R1～R3)に分ける。実験気流はべき指数α=0.24の境界層乱流である。実験風向は図2に示すようにθ＝0～45°(長方形平面では0～90°)の範囲を15°ピッチで変化させる。風圧測定のサンプリング周波数は400Hzであり，フルスケール換算で10分間データを18組得る。各種統計量の評価には18組のアンサンブル平均を用いる。なお，風圧の時刻暦には規模効果を考慮したローパスフィルターを通す[1)]。また，風圧係数は軒高Hでの速度圧で無次元化する。

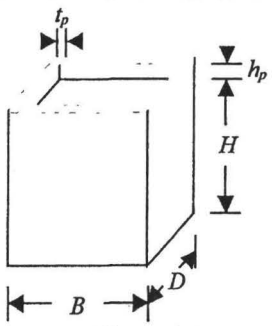


図1 建物モデル

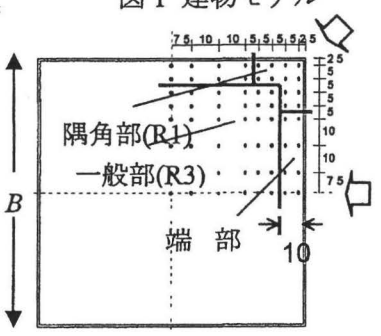


図2 風圧測定孔配置図，領域分類と風向の定義

3．実験結果と考察

3.1 最小ピーク風圧係数

図3は領域R1およびR2内の最小ピーク風圧係数C_{p_peak}(領域内の全測定点，全風向中の最小値)とパラペット高さh_pの関係を示す。これよりh_pの増大に伴って$|C_{p_peak}|$は低下し，パラペットの効果が大きいことが分る。従って，パラペットを有する陸屋根の耐風性能評価にはパラペットの影響を適切に考慮する必要がある。

表1 建物寸法

Model	B(m)	D(m)	H(m)	h_p(cm)	t_p(cm)
1	10	10	5	0,10,30,60,120	3
2	10	10	10	〃	3
3	10	10	15	〃	3
4	20	10	10	〃	3
5	10	10	10	10,30,120	15
6	20	10	10	〃	15

3.2 変動風圧の繰り返し特性

風圧の時刻歴データにレインフロー法を適用し，相対頻度分布(10分間の変動風圧波形を

振幅と平均値ごとに分類し，サイクル数をカウント)をすべてのケースに対して求めた。例として，h_p= 0 m および 0.1 m の場合について R1 部の結果を図 4 に示す。図中，x 軸は波の相対振幅($|C_{ppeak}|$との比)，y 軸は相対平均値(C_{ppeak} との比)であり，それぞれ階級の代表値を表す。また，z 軸は各セルに対する波のサイクル数を 10 分間の総繰り返し数で除した相対頻度である。これらを見ると，分布は非常によく似ていることが分る。また，パラペット厚さや建物の平面辺長比，軒高が相対頻度分布に及ぼす影響を検討した結果，いずれも比較的小さいことが分った。そこで，頻度分布は表 2 のように 9 つのカテゴリーに分類する。

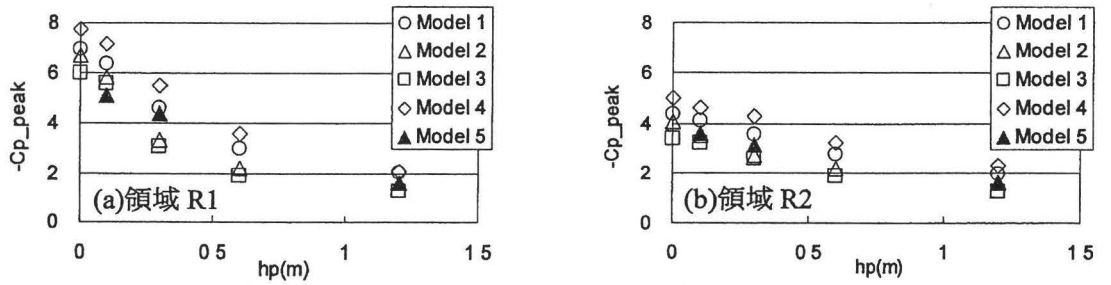


図 3　領域内の最小ピーク外圧係数に及ぼすパラペット高さの影響

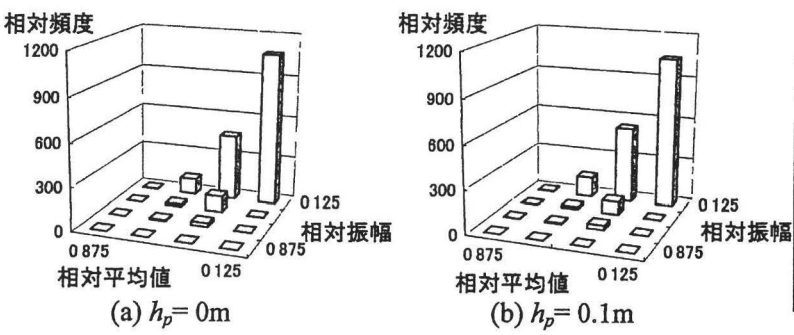


表 2 頻度分布のカテゴリー分け

R1(隅角部)	R2(端部)	R3(一般部)
hp=0，0.1 m		
hp=0.3 m		
hp=0.6，1.2 m		

図 4 頻度分布(H= 10m，R1 部)

3.3 荷重載荷時間

防水システムの耐風性能評価試験において荷重モデルをどの程度の時間載荷するのが適当かを把握する必要がある。そこで，主要都市の強風累積時間を既往の文献 [2]を参考にして載荷時間を設定する。ここで防水システムの供用期間は 20 年と仮定する。まず，防水システムの疲労曲線 [3](図 5)より疲労損傷に影響を及ぼさない風速範囲を求め，その風速以上の強風の 20 年間における累積時間を推定した。その結果を，風速の下限値(地表面粗度区分 II と仮定)と併せ，表 3 に示す。

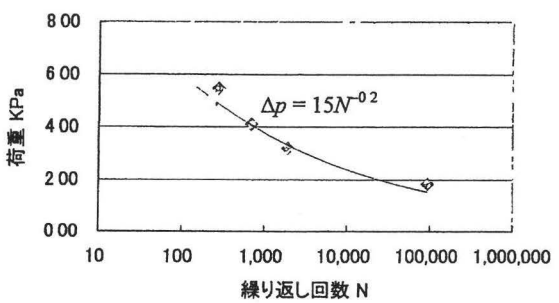


図 5 防水システムの疲労曲線 [3]

表 3 疲労損傷評価試験における載荷時間

都　市	下限風速(m/s)	載荷時間(min)
東　京	31.9	40
名古屋	34.0	30
大　阪	34.0	20
福　岡	29.8	130

3.3 荷重サイクルモデル

荷重サイクルモデルはできる限り実用的で単純化されたものの方が好ましい。そこで，3.2 節で述べた 9 つの頻度分布の内，最も大きな風圧が作用する隅角部における分布を基準として荷重モデルを作成する。

表 4 頻度分布　（上：h_p≤ 0.1m グループ　中央：h_p=0.3m　下：h_p≥ 0.6m グループ）

hp=00,01		0 875 (0 750–1 000)	0 625 (0.500–0 750)	0 375 (0 250–0 500)	0 125 (0–0 250)
0 0625	(0–0 125)	0	136	1074	0
0 1875	(0 125–0 250)	0	20	164	0
0 3125	(0 250–0 375)	0	9	30	0
0 4375	(0 375–0 500)	0	0	0	0
hp=03		0 875 (0 750–1 000)	0.625 (0 500–0 750)	0 375 (0 250–0 500)	0 125 (0–0 250)
0 0625	(0–0 125)	0	264	1404	0
0 1875	(0 125–0 250)	0	35	51	0
0 3125	(0 250–0 375)	0	10	8	0
0 4375	(0 375–0 500)	0	0	0	0
hp=06,12		0 875 (0 750–1 000)	0 625 (0 500–0 750)	0 375 (0 250–0 500)	0 125 (0–0 250)
0 0625	(0–0 125)	0	596	1063	0
0 1875	(0 125–0 250)	0	50	64	0
0 3125	(0 250–0 375)	0	9	8	0
0 4375	(0 375–0 500)	0	0	0	0

R1 部の結果をマトリクス化したものを表 4 に示す。なお，表中の縦軸・横軸はそれぞれ相対振幅・相対平均値の代表値(中間値)を表し，括弧内の数字はその階級幅を表す。また，各セル内の値は 10 分間のサイクル数である。ここで，網掛けしたセルに対してサイクル数に基づき図を描くと，図 6 のようなモデルが作成できる。図中，荷重範囲は表 4 の相対振幅，平均荷重は相対平均値に対応する。縦軸の荷重は隅角部のピーク風圧で基準化されている。荷重モデルは図のように 6 つの荷重ステップから構成されており，この隅角部(R1)のモデルの中に，端部(R2)や一般部(R3)の風荷重も含まれている。例えば h_p≤0.1m の場合を考えると，隅角部の最大風圧に対して端部の最大風圧は約 0.63 倍，一般部では約 0.5 倍となるからである。また，疲労損傷度(修正マイナー則に基づき計算)も安全側になるよう，端部および一般部のステップ数を設定している。

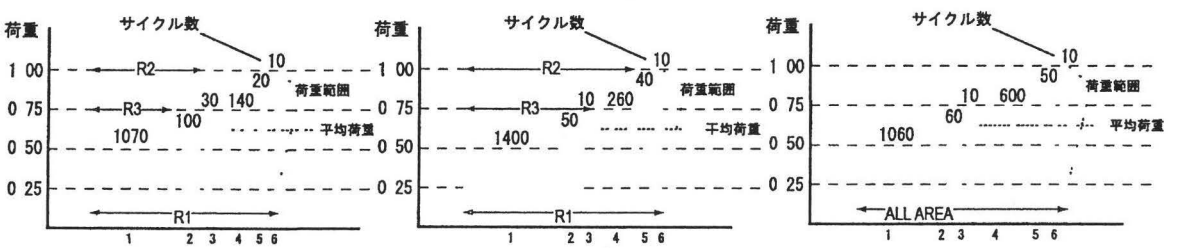


図 6 荷重サイクルモデル（左：h_p≤ 0.1m グループ，中央：h_p=0.3m，右：h_p≥ 0.6m グループ）

4．おわりに

パラペットを有する中低層陸屋根建物を対象とした風洞実験に基づき，風圧の変動特性を再現した荷重サイクルモデルを作成した。その上で，シート防水機械的固定工法の疲労損傷を考慮した耐風性能評価方法を提案した。これによって実状を反映させた合理的な評価が可能となり，防水システムの性能向上，ひいては建物の長寿命化や台風による被害低減が期待される。

参考文献

1. 古市　圭他:機械固定式防水システムの動風圧評価法に関する研究，第 19 回風工学シンポジウム論文集，2006
2. 増田　誠他:高層免震建物の風応答に関する研究，日本建築学会大会梗概集，構造 I，2002
3. 世良昌也他：機械的固定防水工法の試験方法の検討(その 2) 動圧試験における防水シート固定部位の評価，日本建築学会大会梗概集，材料施工，2008

リユース可能な展開型アーチ構造の試作

東京大学生産技術研究所
教　授　　川口　健一

展開構造物の最も重要な特徴として，1 つ目は最小限の労働力で建設解体可能なこと，2 つ目は収納効率が高く，運搬時の容積負荷が小さいこと，3 つ目は繰り返し展開収納できること（リユース性）の 3 点が挙げられる。E. P. Piñero による移動展示施設はこれらの特徴を活かした初期の実例であるが，その後実現された実大展開構造物はこれらの特徴を充分に活かしたものは少ない。展開構造は上記のような特徴を活かすことで，宇宙構造物や災害時のシェルターなど用途は限りないといえるが，特に上記 3. の特徴は骨組構造のリユースという観点で，今後利用価値の高い特徴であると考えられる。そこで本研究では，展開構造物の上記 3. のリユース性の特徴を最大限に活かすことを目標とし，小型クレーン付トラック 1 台と 2〜3 名の労働力で建設解体できる，架構全体のねじれ剛性を向上させた実現可能なモデルの提案及びその実大スケールの架構を試作し，展開収納実験を通して架構の基礎的考察を行う。

提案モデルの条件としてシザーズユニットを用い，汎用性を考えて半円アーチ形状の展開フレームを設定，架構寸法はスパン 10m，幅 4m 程度の 3 点とする。この条件をもとに，提案モデルはシザーズユニット 8 組をシザーズユニット面内方向に連ねて接合し，そのシザーズユニット 8 組を 2 セット向かい合わせに配し，各シザーズユニット下端を V 字になるようにつなぎ，中央部を持ち上げた形状となっている（図 1）。本提案モデルはシザーズ部材数が少なく，すべて同一寸法であることから簡便なモデルであると言える。さらにシザーズ部材は丸パイプを用いたことから，部材自体のねじれ剛性も高く，三角形を基準として架構を形成しているため，全体架構の剛性も高いと考えられる。本提案モデルは隣接するシザーズユニット間でシザーズ部材同士がねじれの位置となっている。そのため展開挙動を可能とするには，シザーズユニット間の接合には hinge 接合に加えてシザーズ部材を材軸とした回転を与える必要があり，2 つの回転自由度を有していなければならないため，提案する hinge 接合部はパイプにチャンネル材を溶接したパーツ（鍵型ジョイントと称する）を部材端部に挿入したものとする。さらにシザーズユニット下端を V 字につなぐ接合部は展開収納過程で同一平面上に位置することを考慮すると，シザーズ部材を軸として鍵型ジョイントと独立して回転できるプレート（I ジョイントと称する）をシザーズ部材端部に取り付けるものとする。

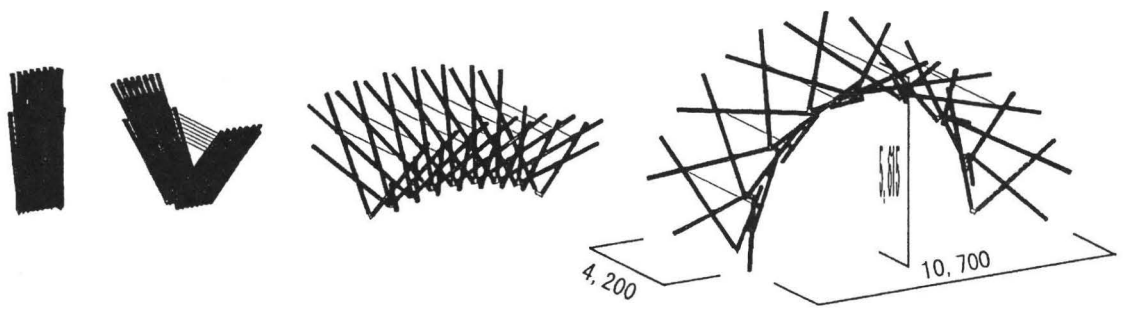


図 1　提案モデル展開状況

本提案モデルの展開収納は本研究の最大の目的であるリユース性を充分に活かすために重力を利用して建設解体することを基本方針とし，クレーンで持ち上げる点（クレーン制御点）を決定する際に架構重心位置を考慮した展開収納計画を考察する。

クレーン制御点と架構重心高さの関係を考察すると，クレーン制御点が架構重心位置より下側となる場合は架構はやじろべえのような不安定な吊り合い状態となり，一方でクレーン制御点が架構重心位置より上側である場合は架構は垂れ下がった状態で吊り合うため，ケーブルに張力が入力されない。そこでクレーン制御点を架構中央部シザーズユニット pivot 接合部位置 4 節点とすると，架構を V 字に開いた状態でクレーン制御点は重心位置とほぼ同じ高さに位置する（図 2）。よって架構は安定した吊り合い状態となり，さらにケーブルに張力が入力された状態となる。収納過程は地面との接地点の拘束を除去し，地面との接地点をローラーと仮定すると，架構の重力による仕事量が大きいところは自重のみで展開過程の逆過程を辿るように収納が進行する。その後は人力により押して収納するように計画した。展開計画通りに機構が作用するかを確認するために汎用機構解析ソフト Autodesk Inventor を用いて機構解析を行った。展開時解析モデルの初期形状は架構を V 字に開いた状態とし，シザーズユニット上端 hinge 接合部をつなぐ中央ケーブルを固定とし，重力を鉛直下向きに作用させた。解析結果は想定通りのスムーズな展開が見られた。よって架構中央部を持ち上げることで，重力を利用した簡便な展開が可能であるといえる（図 3）。

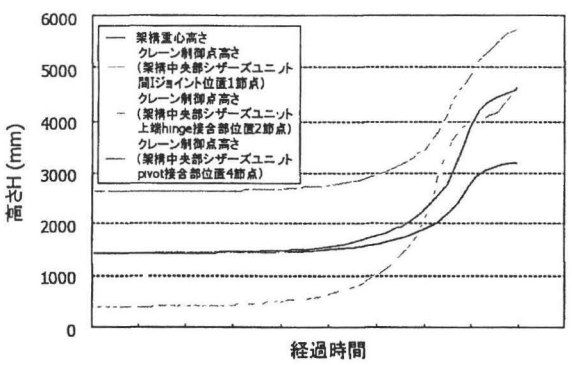


図 2　展開過程における架構重心高さ及びクレーン制御点高さの変遷

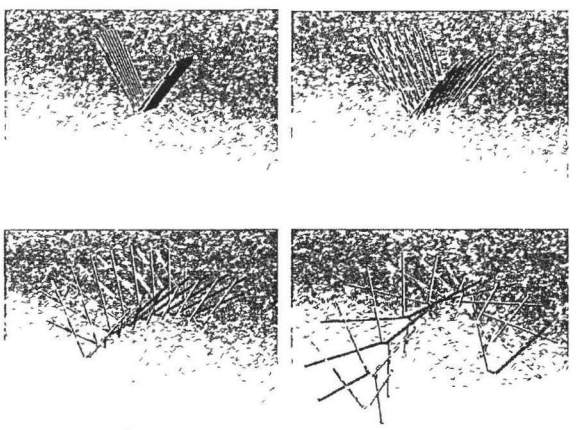


図 3　展開過程機構解析結果

本提案モデルの実大スケール架構を製作し，展開収納実験を行った。実験では展開収納過程において機構が計画通り作動するかの確認を主な目的とした。

図 4 に展開時実験状況、図 5 に収納時実験状況を示す。

展開実験は架構をトラックの荷台に載せた状態から開始した。架構を地面に下ろした後，クレーン制御点である架構中央部シザーズユニット pivot 接合部位置 4 節点に取り付けたロープを持ち上げることで，架構を垂直に立てた。その後，架構端部上端 hinge 接合部位置に取り付けたレバーブロックを緩めることで架構を V 字に開いた。次にシザーズユニット連を拘束していたバンドを除去し，クレーンを持ち上げることで展開が進行した。ある程度展開すると，クレーン制御点位置である pivot 接合部位置の鍵型ジョイントのチャンネル材がつぶれるような変形を示した。これはクレーン制御点位置の鍵型ジョイントの向き・回転が拘

束されたため，接合部が変形したと考えられる。そのままクレーンを持ち上げると展開は想定通り進行し，部材柱頭4点が地面に接地したところで展開完了とした。

収納過程は地面との拘束を除去し，クレーン制御点を下降させることである程度の状態まで収納された。シザーズユニット下端接合部が水平になる程度まで収納したところからは，人力で押して架構をV字に収納した。架構をV字に収納した後は展開時の全く逆過程を辿るように，シザーズユニット連をバンドで拘束し，レバーブロックによりV字を閉じ，トラック荷台に積み込んで収納を完了した。本実験では展開過程は1時間，収納過程は45分程度で完了した。実験に要した作業員は3名とクレーンオペレーター1名であり，最小限の人員により短時間で施工可能である。

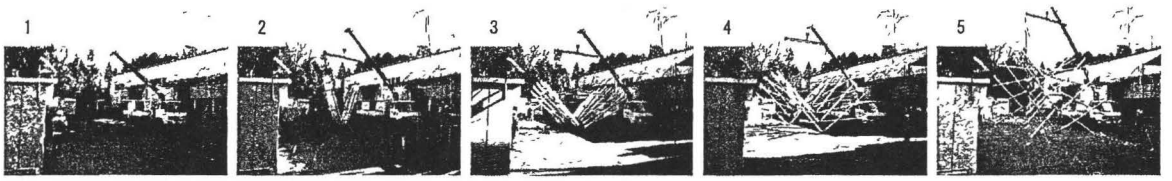


図4　展開実験状況

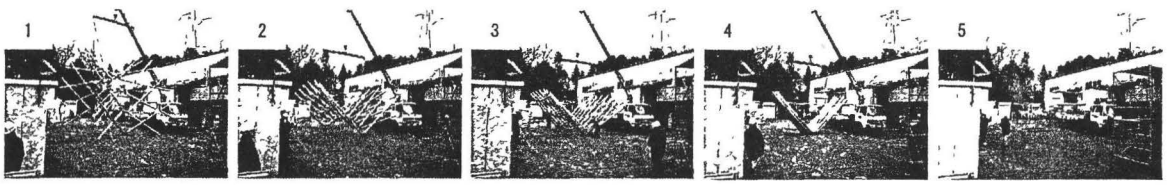


図5　収納実験状況

本研究ではリユース可能であることに重点を置いたシザーズ型展開構造物を提案した。また，架構重心位置を考慮した展開収納計画を考察し，実大架構を用いて確認した。実大実験において展開収納挙動はスムーズであり，最小限の労働力により短時間で施工可能であることを確認した。今後はクレーン制御点位置による挙動の変化を考察し，適切な位置に配置することが必要である。

住居内行動確率モデルの構築

岡山理科大学　総合情報学部　建築学科
准教授　松下　大輔

1.背景と目的

本研究は、ある高齢者独居世帯を対象に、居住主体の８日間の住居内生活行動を時系列に基づく連続的な部屋使用行動として、アクティブ RFID タグを用いて計測し、得られる時空間データを分析する手法を提示するものである。

今後著しく高齢化が進行する中、一般に居住者は加齢に伴い在宅時間が大きくなることが知られている。就学者や有職者の在宅時間に較べ、高齢者は毎日の生活の多くの時間を住居内で過ごす。独居高齢者の場合、長い在宅時間のほとんどの時間を誰からも見守られずに一人で過ごす場合が多い。最も長く、誰からも見守られずに生活する居住主体の住居内部における生活実態は、特に注意深く把握されるべき事象であるが、そのための研究や方法の確立はあまり進んでいない。多数の被験者の短期間の行動や行為の意図を採取する手法はこれまで成果をあげてきたが、本論はある世帯の居住者の行動を８日間に亘り継続的に計測し、得られる多くのデータから、その居住者の部屋使用行動について、如何なる傾向や特徴があるか分析する点で目的が異なる。屋外で GPS などのセンシング技術を用いて人間や野生動物の移動軌跡を分析した研究 [5]や、室内の限られた部屋の特定の行為を精密に分析する研究 [6),7),8)]は見られるが、住居内の部屋使用行動を継続的に計測しようとする研究は、[遠田他 2008] [9)] 等の他にあまり見られない。無線装置等の各種調査機器はメーカーが一定の仕様を示していても、住宅内部の間仕切りや各種金属部材の影響や、生活家電や電気設備による現場の現実的な電波環境のもとで使用した場合のデータ取得の成否等については未知の部分も多く、調査機器を実環境に設置して調査手法の問題点や有効性を示すことも本論の課題である。小型軽量な装置による被験者や調査員の主観の介在しない行動計測手法は、生活行動の客観的な基礎資料の取得が期待でき、居住者の見守りを行う技術や、普段と異なる行動パターンを発見したり、改修の方針に資するデータを与えたりする将来的な展開を今後の目標としている。

(1) 調査期間

2008 年 6 月 24 日（火）～7 月 1 日（火）の 8 日間。居住者は起床時から就寝時まで RFID タグを衣服の襟部分に装着して普段通り生活した。調査員は装置の設置後は立ち会わず、オンラインで遠隔から、データの記録が問題なく行われているか毎日数回確認した。

(2) 部屋使用履歴

各調査日における時系列の部屋使用履歴をグラフ化した（図 1）。

(3) 各部屋の滞在時間と滞在回数

各調査日における各部屋の延べ滞在時間と滞在回数、滞在時間の割合を集計した。（表 1,図 2,図 3）

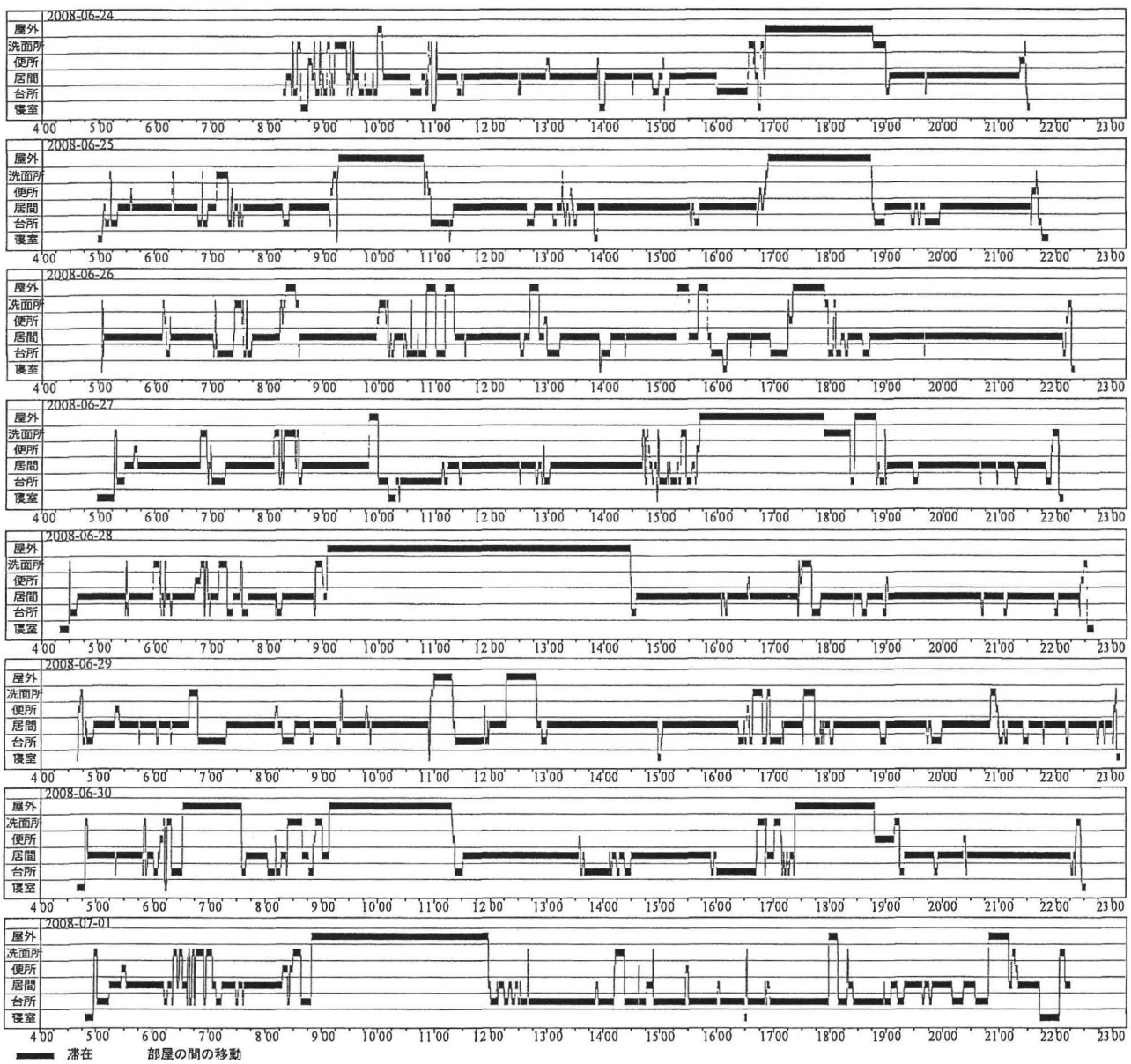


図 1. 居住者の全 8 日間の部屋使用履歴

居住者は、全調査時間の 82.2%では屋内で行動し、残りの 17.8%は屋外で行動していた.屋内の滞在行動の内、延べ滞在時間の割合は居間（67.6%）が最大であったが、延べ滞在回数の割合は台所（36.4%）が最大であった。洗面所の延べ滞在時間は居間の滞在時間の 1/10 以下であるが、延べ滞在回数は居間の約半分であった。

表 1. 各日の各部屋における延べ滞在時間と滞在回数

分[回]

日付	在宅					屋外	合計
	寝室	台所	居間	便所	洗面室		
2008-06-24	25[6]	114[27]	465[28]	18[7]	53[17]	120[2]	795[87]
2008-06-25	19[5]	126[27]	616[27]	22[10]	29[11]	202[2]	1014[82]
2008-06-26	12[4]	153[29]	716[25]	18[9]	42[16]	97[7]	1038[90]
2008-06-27	34[5]	166[32]	575[27]	12[6]	77[13]	165[3]	1029[86]
2008-06-28	18[2]	72[25]	616[23]	20[8]	51[13]	324[1]	1101[72]
2008-06-29	10[4]	196[38]	785[38]	19[8]	49[10]	52[2]	1111[100]
2008-06-30	16[3]	158[29]	519[24]	36[9]	63[12]	279[3]	1071[80]
2008-07-01	32[3]	442[36]	267[30]	22[7]	64[15]	220[3]	1047[94]
合計	166[32]	1427[243]	4559[222]	167[64]	428[107]	1459[23]	8206[691]
一日当り平均延べ滞在時間[回数]	20 75 [4 00]	178 38 [30 38]	569 88 [27 75]	20 88 [8 00]	53 5 [13 38]	182 38 [2 88]	1025 75 [86 38]
延べ滞在時間の割合[延べ滞在回数の割合]	82 2% [96 7%]					17 8% [3 3%]	100% [100%]
屋内の延べ滞在時間の割合[延べ滞在回数の割合]の内訳	2 5% [4 8%]	21 2% [36 4%]	67 6% [33 2%]	2 5% [9 6%]	6 3% [16 0%]		

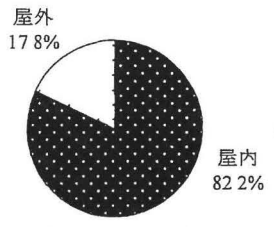


図 2. 全調査日の屋外と屋内の延べ滞在時間の割合

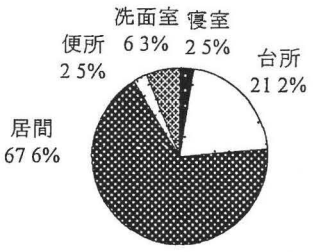


図 3. 全調査日の各部屋の延べ滞在時間の割合

表 2　時間帯別の滞在時間と滞在回数

	時間帯	最大滞在時間(分/回)	最小滞在時間(分/回)	平均滞在時間(分/回)	標準偏差	延べ滞在時間(分)	1時間当り平均滞在時間(分)	全調査期間の滞在回数	1時間当り平均滞在回数
寝室	午前中	18	1	5 33	5 05	80	1 48	15	0 28
	午後	6	1	2 89	1 62	26	0 46	9	0 16
	夕方	20	3	7 50	5 32	60	2 25	8	0 30
	一日	20	1	5 19	4 64	166	1 21	32	0 23
台所	午前中	45	1	4 84	6 54	523	9 66	108	2 00
	午後	72	1	8 05	12 18	748	13 36	93	1 66
	夕方	16	1	3 69	3 50	156	5 85	42	1 58
	一日	72	1	5 87	8 97	1427	10 43	243	1 78
居間	午前中	83	1	16 85	20 23	1612	29 79	91	1 68
	午後	123	1	19 01	28 80	1671	29 84	91	1 63
	夕方	146	1	32 40	34 38	1276	47 88	40	1 50
	一日	146	1	20 54	27 30	4559	33 33	222	1 62
便所	午前中	6	1	2 40	1 48	72	1 33	30	0 55
	午後	21	1	2 82	4 16	54	0 96	22	0 39
	夕方	5	1	2 75	1 36	41	1 54	12	0 45
	一日	21	1	2 61	2 67	167	1 22	64	0 47
洗面室	午前中	16	1	3 69	3 44	247	4 56	67	1 24
	午後	28	1	4 83	5 97	137	2 45	29	0 52
	夕方	6	1	3 73	2 15	44	1 65	11	0 41
	一日	28	1	4 00	4 16	428	3 13	107	0 78

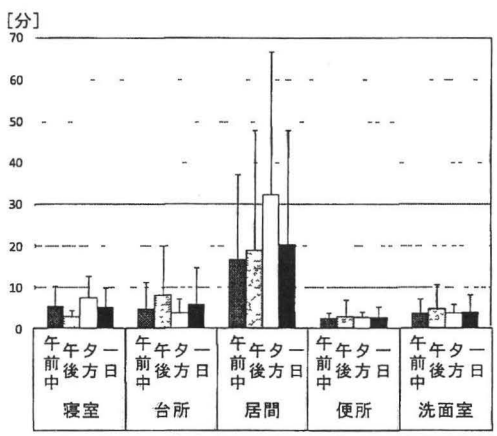
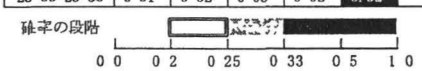


図 4　全調査日の各部屋の平均滞在時間と標準偏差

表 3.　30 分ごとに各部屋の滞在確率と滞在状況

時間帯	居間	台所	便所	洗面室	寝室	部屋滞在状況
4 30-5 00	0 05	0 09	0 01	0 02	0, 83	一つの決まった部屋に滞在
5 00-5 30	0. 54	0 18	0 04	0 04	0 21	主に一つの部屋に滞在
5 30-6 00	0. 81	0 05	0 12	0 03	0 00	一つの決まった部屋に滞在
6 00-6 30	0. 66	0 13	0 10	0 11	0 00	一つの決まった部屋に滞在
6 30-7 00		0 25	0 08	0 18	0 00	複数の部屋に滞在
7 00-7 30			0 04	0 16	0 00	複数の部屋に滞在
7 30-8 00	0. 76	0 18	0 01	0 05	0 00	一つの決まった部屋に滞在
8 00-8 30		0. 30	0 08	0 16	0 00	複数の部屋に滞在
8 30-9 00	0. 59	0 17	0 10	0 13	0 01	一つの決まった部屋に滞在
9 00-9 30	0. 58	0 17	0 08	0 16	0 01	一つの決まった部屋に滞在
9 30-10 00	0. 56		0 06	0 03	0 00	主に一つの部屋に滞在
10 00-10 30	0. 81	0 11	0 02	0 04	0 01	一つの決まった部屋に滞在
10 30-11 00		0. 56	0 05	0 04	0 00	主に一つの部屋に滞在
11 00-11 30	0. 58		0 00	0 01	0 02	主に一つの部屋に滞在
11 30-12 00	0. 72	0 26	0 02	0 00	0 00	主に一つの部屋に滞在
12 00-12 30	0. 79	0 21	0 00	0 00	0 00	主に一つの部屋に滞在
12 30-13 00	0. 62		0 03	0 00	0 00	主に一つの部屋に滞在
13 00-13 30	0. 66	0. 29	0 04	0 01	0 00	主に一つの部屋に滞在
13 30-14 00	0. 79	0 09	0 03	0 01	0 08	一つの決まった部屋に滞在
14 00-14 30	0. 85	0 09	0 01	0 02	0 04	一つの決まった部屋に滞在
14 30-15 00	0. 80	0 17	0 01	0 02	0 00	一つの決まった部屋に滞在
15 00-15 30	0. 68	0. 27	0 01	0 04	0 00	主に一つの部屋に滞在
15 30-16 00	0. 82	0 16	0 02	0 00	0 00	一つの決まった部屋に滞在
16 00-16 30	0. 62		0 00	0 00	0 00	主に一つの部屋に滞在
16 30-17 00		0. 33	0 08	0 15	0 02	複数の部屋に滞在
17 00-17 30	0. 27	0. 58	0 12	0 03	0 00	主に一つの部屋に滞在
17 30-18 00	0 16	0. 33	0 00	0. 51	0 00	主に一つの部屋に滞在
18 00-18 30	0. 30	0 22	0 00		0 00	複数の部屋に滞在
18 30-19 00	0. 27	0. 30	0 22	0 21	0 00	複数の部屋に滞在
19 00-19 30	0. 62	0 11	0 17	0 09	0 00	一つの決まった部屋に滞在
19 30-20 00	0. 72	0 28	0 00	0 00	0 00	主に一つの部屋に滞在
20 00-20 30	0. 93	0 03	0 03	0 00	0 00	一つの決まった部屋に滞在
20 30-21 00	0. 86	0 04	0 03	0 06	0 00	一つの決まった部屋に滞在
21 00-21 30	0. 87	0 08	0 04	0 01	0 00	一つの決まった部屋に滞在
21 30-22 00		0 17	0 13	0 10	0 13	複数の部屋に滞在
22 00-22 30	0 13	0 15	0 18	0 19		複数の部屋に滞在
22 30-23 00	0 06	0 02	0 00	0 00	0. 92	一つの決まった部屋に滞在
23 00-23 30	0 01	0 02	0 03	0 02	0. 92	一つの決まった部屋に滞在



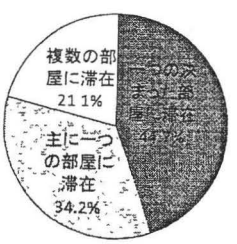


図 5.　全調査日の部屋滞在状況の割合

2.結論

ある高齢者独居世帯を対象に、アクティブ RFID タグを用いて部屋使用行動を観測し、部屋使用行動の特徴を分析する手法を提示した。居住主体の 8 日間の住居内生活行動の特徴を、各部屋の滞在時間、滞在時刻、滞在回数、部屋間の移動頻度に基づいて明らかにした。

1) 8 日間の調査期間の居住者の連続的な部屋滞在状況、各部屋における滞在時間、滞在回数のデータが測位装置により計測された。滞在回数は台所が最大であったが、滞在時間は居間が最大であった。各日に共通する、「午前」、「昼間」、「夕方」の時間帯によって異なる滞在状況が明らかになった。

表 4.　部屋（屋外）間の移動頻度

1時間当りの回数

午前中

	台所	居間	便所	洗面所	屋外
寝室	0 15	0 02	0 04	0 22	0
台所	-	2.35	0 26	0 [illegible]	0 15
居間	-	-	0 39	0 63	0 09
便所	-	-	-	0 41	0 04
洗面所	-	-	-	-	0 13

午後

	台所	居間	便所	洗面所	屋外
寝室	0 09	0 14	0 04	0 05	0
台所	-	2.41	0 27	0 [illegible]	0 07
居間	-	-	0 25	0 21	0 18
便所	-	-	-	0 18	0 05
洗面所	-	-	-	-	0 09

夕方

	台所	居間	便所	洗面所	屋外
寝室	0 11	0 04	0	0 19	0
台所	-	2.48	0.30	0 11	0 04
居間	-	-	0 19	0 11	0 04
便所	-	-	-	0 [illegible]	0
洗面所	-	-	-	-	0

一日

	台所	居間	便所	洗面所	屋外
寝室	0 12	0 07	0 03	0 15	0
台所	-	2.40	0 27	0 [illegible]	0 10
居間	-	-	0 29	0.36	0 12
便所	-	-	-	0 31	0 04
洗面所	-	-	-	-	0 09

■■ 左より移動頻度最大、第2位、第3位　　「午前中」から「夕方」へ時系列順に増加していた移動頻度　　「午前中」と「夕方」ほぼ同し、「午後」に最小てある移動頻度

「午前中」から「夕方」へ時系列順に減少していた移動頻度

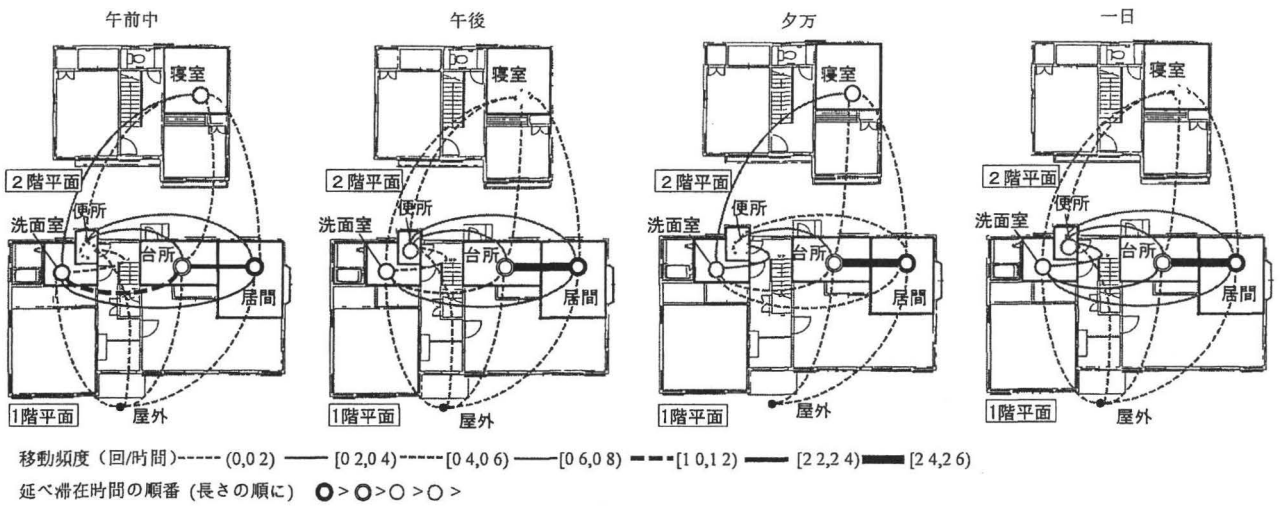


図 6　部屋（屋外）間の移動頻度と延べ滞在時間の大小関係

2)「一つの特定の部屋に集中して滞在」及び「一つの特定の部屋を中心に複数の部屋に滞在」が各日に共通して顕著であった。この居住者は調査期間の起床中の時間帯の 3/4 以上の時間を、ある特定の部屋を中心に使用する行動に費やしていたことが明らかになった。

3) 居住者の部屋間の移動の頻度と、１日の内の時間帯によって異なる部屋間の移動の特徴が明らかになった。居間と台所と洗面所の間の移動が、部屋間の移動の中で最大であった。「午前中」から「夕方」へ時系列順に、居間と台所、便所と台所間の移動頻度が増加し、逆に、居間と便所、居間と洗面所、洗面所と台所間の移動は減少していたことが定量的に示された。

4)この居住者については、居間と台所を中心に滞在し、移動する部屋使用行動の特徴が明らかになった。

以上よりアクティブ RFID を装置に用いることによる、被験者や調査員に負担を強いることを避け客観的に、長時間、連続的に住居内部屋滞在行動を観測する方法が示された。本論の調査対象はある独居高齢者世帯に限られるが、今後は本論の手法を用いて調査対象を広げ、住居内生活行動のより多くの基礎資料を収集して分析して行く予定である。

床下空間を活用した住宅用調湿システムの開発に関する研究

東京大学生産技術研究所
教授　加藤　信介

本研究は、「床下空間を活用した住宅用調湿システムの開発に関する研究」をテーマとし、床下空間を活用した住宅用デシカント空調システムを提案する。また、提案した空調システムの性能を評価するための数値解析モデルを作成し、作成した数値解析モデルを用いて、提案した住宅用デシカント空調システムの加湿・暖房性能、除湿・冷房性能、中間期における夜間暖房性能を評価したものである。ここでは、全体のまとめとして主要な結論を総括する。

● 既往研究の発展形としての住宅用バッチ式デシカント空調システムに関する検討を行い、提案する空調システムの原理や特徴、加湿・暖房運転、除湿・冷房運転及び中間期における夜間暖房運転について説明した。

● デシカント槽に関して規模を縮小した模型実験を行い、デシカント槽の加湿・暖房性能を検討した。また、この検討結果から数値解析モデル用のバリデーションデータを取得した。

● 提案した住宅用バッチ式デシカント空調システムの加湿暖房性能、除湿冷房性能、中間期における夜間暖房性能を評価するための数値解析モデルを作成し、模型実験結果との比較により、作成した数値解析モデルの妥当性の検証を行った。作成した数値解析モデルを用い、シリカゲル量、蓄熱材量、風量、冷温水温度・流量の違いによるデシカント槽と蓄熱材槽の感度分析を行った。その結果を以下に示す。

1) デシカント槽の入口における空気の温湿度、風量、冷温水温度、冷温水流量とシリカゲル量などの条件によって、デシカント槽の出口側における空気の温湿度、デシカント槽の出

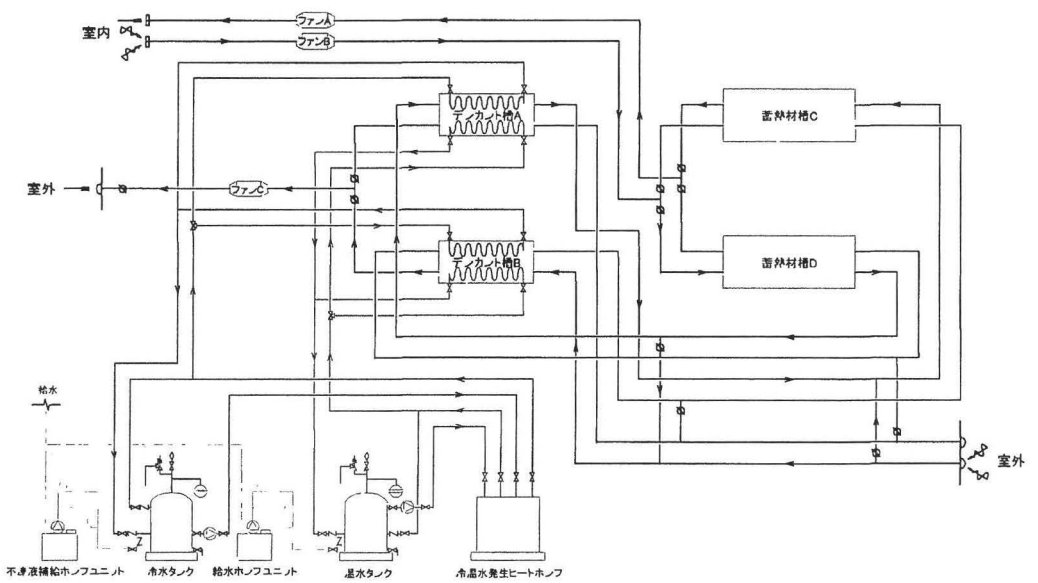
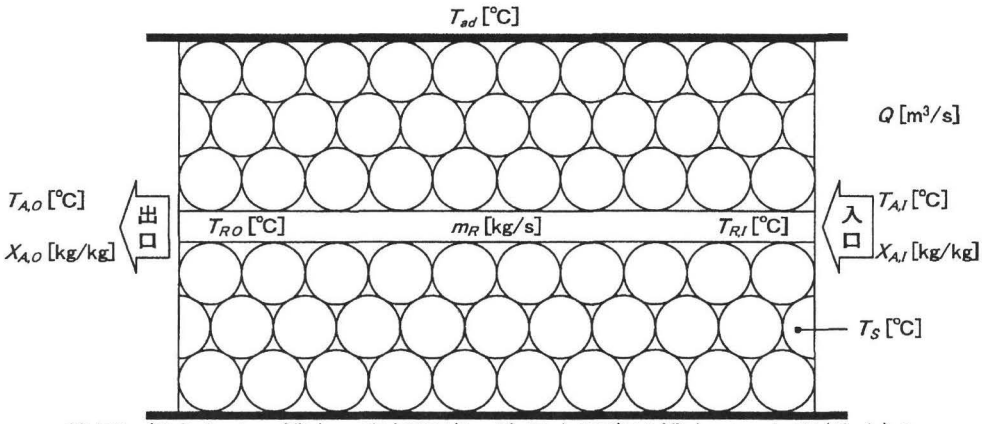
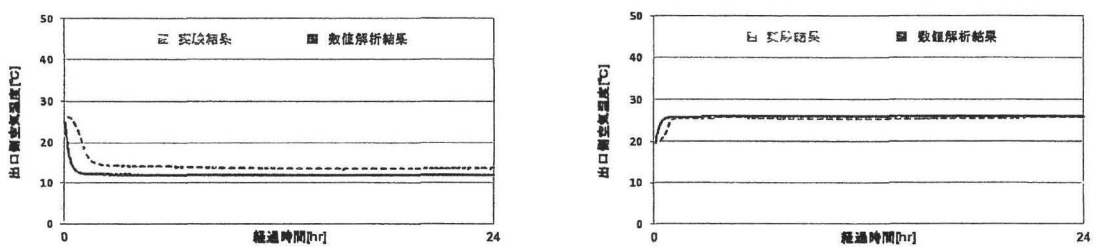


図-1　提案した住宅用デシカント空調システムの構成

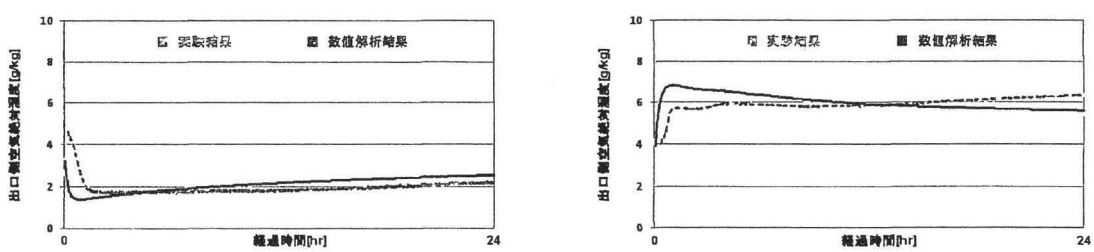


簡便に扱うため、槽内の空気温度、冷温水温度は槽内での勾配(分布)を考慮せず、その出口側の温度で一様と見なしてモデルを簡便化している。

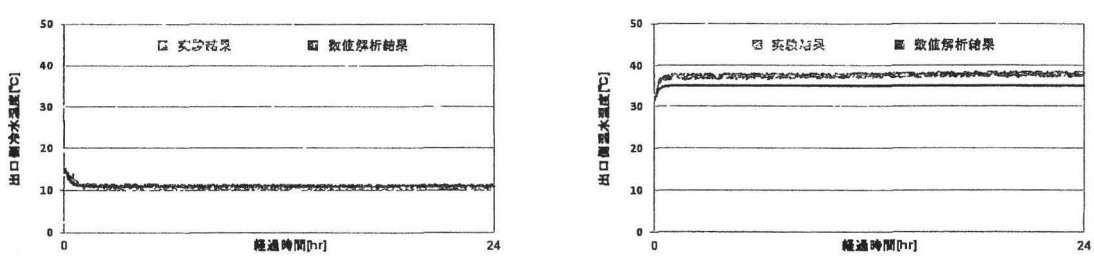
図-2　デシカント槽の数値解析モデル



a)　出口側の空気温度



b)　出口側の空気絶対湿度



c)　出口側冷水温度

図-3　模型実験と数値解析の結果比較(左:吸湿、右:加湿・暖房)

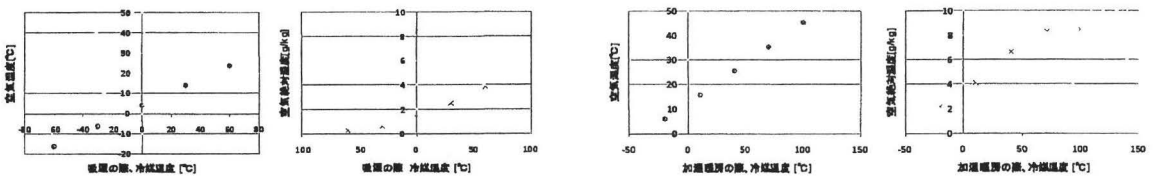
口冷温水温度を簡易的に予測するデシカント槽の数値解析モデルを作成した(図-2)。

2) 模型実験結果との比較により、作成したデシカント槽の数値解析モデルの妥当性を検証した。比較結果から、数値解析結果は模型実験結果によく対応することが分かった(図-3)。

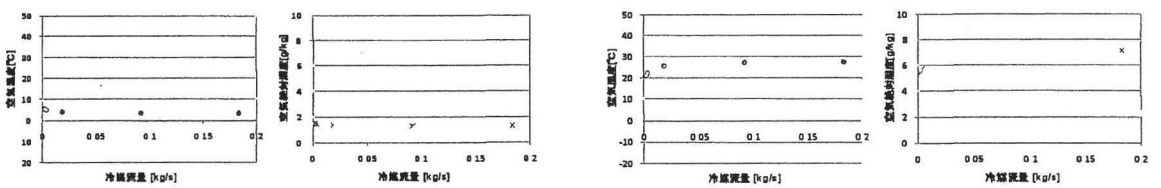
3) 作成したデシカント槽の数値解析モデルを用い、シリカゲル量、冷温水温度・流量、風量などのパラメータの違いによる性能変化を確認した。特に、冷温水温度が性能に及ぼす影響が大きいことが分かった(図-4)。

4) 1)と同様に、蓄熱材槽の数値解析モデルを作成した。

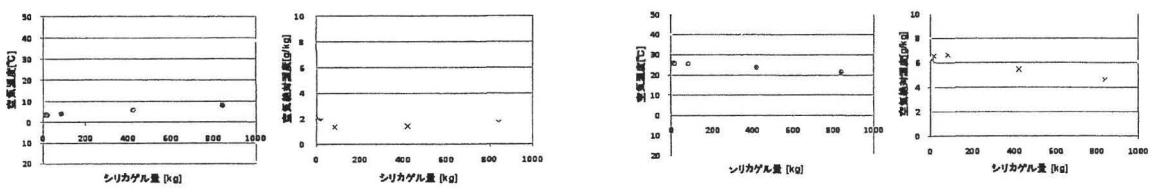
5) 作成した蓄熱材槽の数値解析モデルを用い、蓄熱材量、風量などのパラメータの違いによる性能変化を確認した。



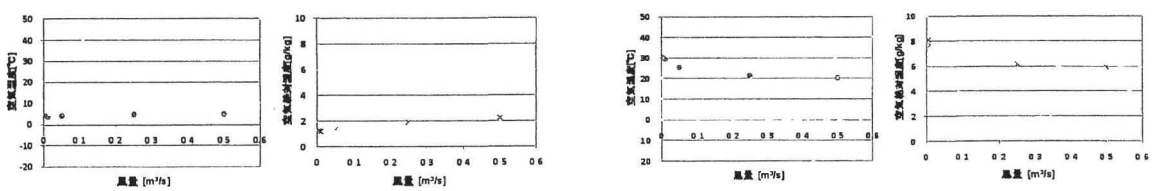
a) 供給冷水温度 $T_{R,I}$の違いによる性能変化



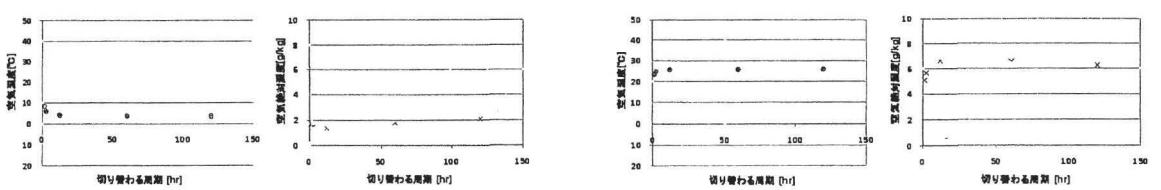
b) 供給冷水流量 m_Rの違いによる性能変化



c) シリカゲル量 m_Sの違いによる性能変化



d) 風量 Q_Aの違いによる性能変化



e) 切り替わる周期の違いによる性能変化

図-4 パラメータの違いによる吸湿性能変化

● 作成したデシカント槽の数値解析モデルと蓄熱材槽の数値解析モデルを動的エネルギー解析プログラムであるTRNSYSと気流ネットワーク解析プログラムであるTRNFLOWに組み込み、提案した住宅用バッチデシカント空調システムの加湿・暖房性能を評価した。以下にその結果を示す。

1) 札幌を対象地域とし、吸湿を行うデシカント槽に-10℃の冷水を、加湿・暖房を行うデシカント槽に60℃の温水を供給することによって、吸湿を行うデシカント槽における入口側と出口の平均絶対湿度は各々0 00370 kg/kg'と 0 00153 kg/kg'となり、約 58 65%の吸湿効果があった。加湿・暖房を行うデシカント槽における入口側と出口の平均絶対湿度は各々0 01640 kg/kg'と 0 01770 kg/kg'であり、約 7 35%の加湿効果があった(図-6)。

2) 吸湿を行うデシカント槽における入口側と出口側の平均冷水温度は各々-10℃と-8 06℃であり、外気からの顕熱回収量と吸湿時の吸着熱の回収量が 5361 03 kJ/h であった。加湿・暖房を行うデシカント槽における入口側と出口の平均温水温度は各々60℃と 54 56℃であり、デシカント槽に 15035 74 kJ/h の熱量を供給した(図-7)。

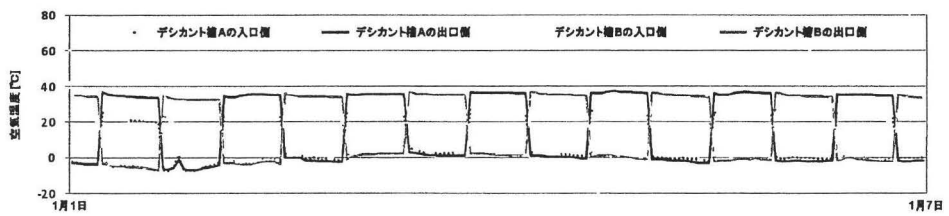


図-5 デシカント槽 A、B の出入口側空気温度 [℃]

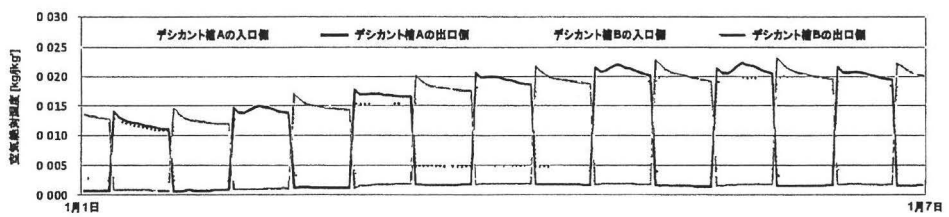


図-6 デシカント槽 A、B の出入口側空気絶対湿度 [kg/kg']

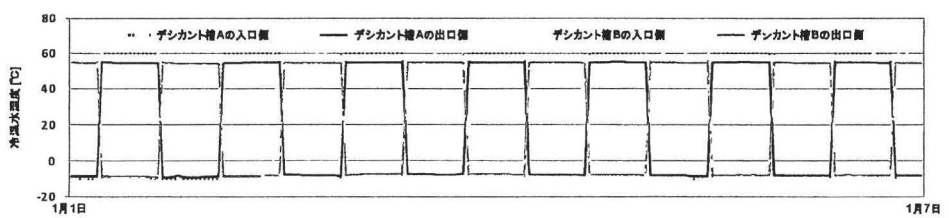


図-7 デシカント槽 A、B の出入口側冷温水温度 [℃]

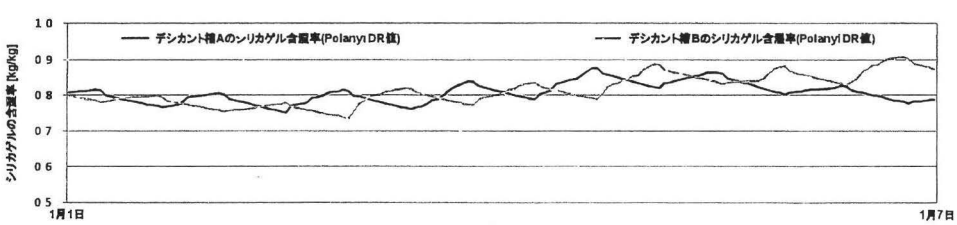


図-8 デシカント槽 A、B のシリカゲルの含湿率(Polanyı DR 値) [kg/kg]

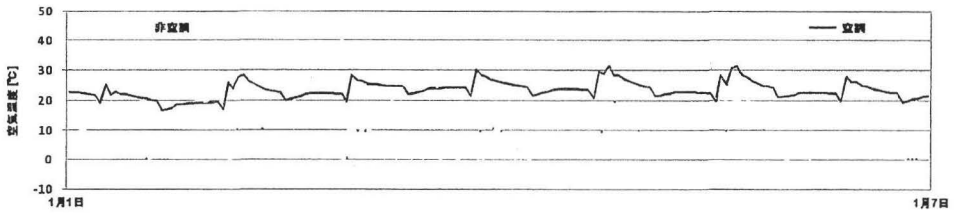


図-9　空調有無による室内空気温度 [℃] (MB)

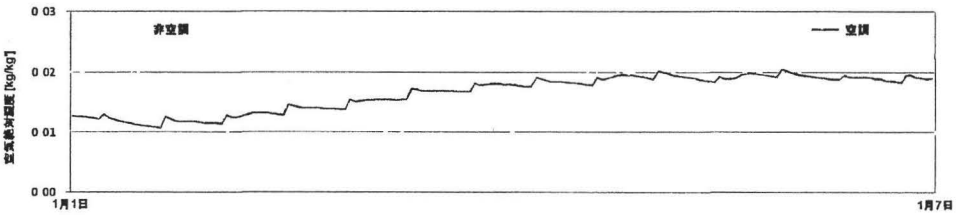


図-10　空調有無による室内空気絶対湿度 [kg/kg'] (MB)

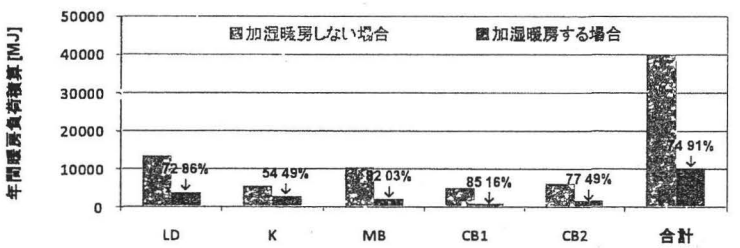


図-11　年間暖房負荷への対応性能

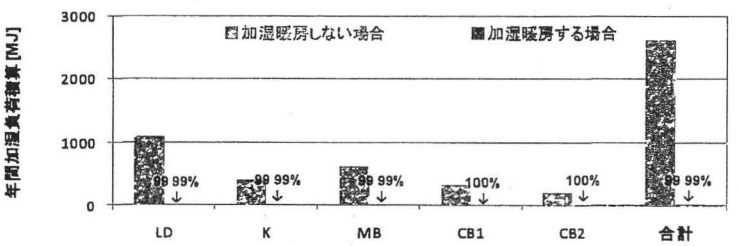


図-12　年間加湿負荷への対応性能

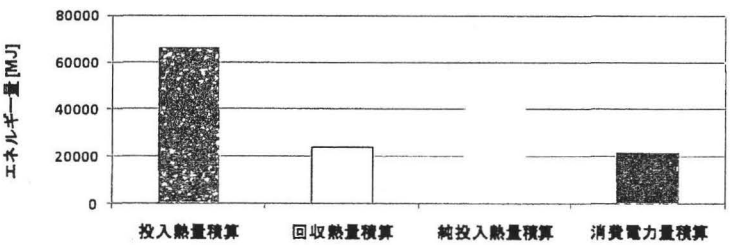


図-13　エネルギー積算

3) 提案した空調システムの運転により、暖房設定温度である20℃以上に維持することができ、平均絶対湿度(MB)が0 01651 kg/kg'となり、冬季の加湿設定条件よりも高く、十分な加湿能力を持っていると考えられる(図-9、図-10)。

4) 提案した住宅用バッチ式デシカント空調システムの運営によって、約74 91%の年間暖房負荷を処理することが出来ることが分かった。の削減効果があり、すべての空調ゾーンの加湿負荷の処理ができ、年間加湿負荷の約 99 99%を処理することが可能であった。また、室内にかかった全熱負荷(暖房負荷+加湿負荷)に比べ、約 49 73%のエネルギー量を投入して負荷に対応出来ることが分かった。(図-11、図-12、図-13)。

● 作成したデシカント槽の解析モデルと蓄熱材槽の解析モデルを用い、提案した住宅用バッチ式デシカント空調システムの除湿・冷房性能を評価した。

1) 脱着を行うデシカント槽に 50℃の温水を、除湿・冷房を行うデシカント槽に 10℃の冷水を供給することによって、脱着を行うデシカント槽における入口側と出口側の平均絶対湿

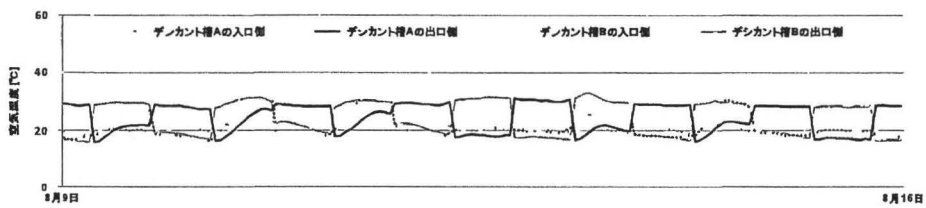


図-14 デシカント槽 A、B の出入口側空気温度 [℃]

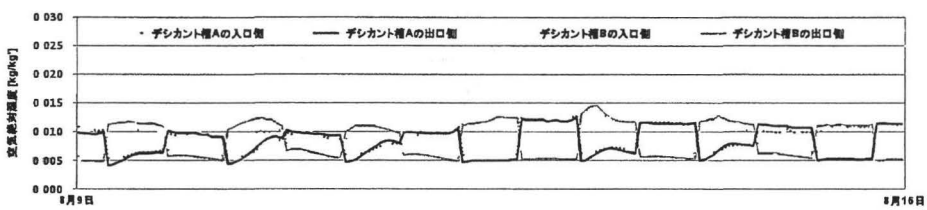


図-15 デシカント槽 A、B の出入口側空気絶対湿度 [kg/kg']

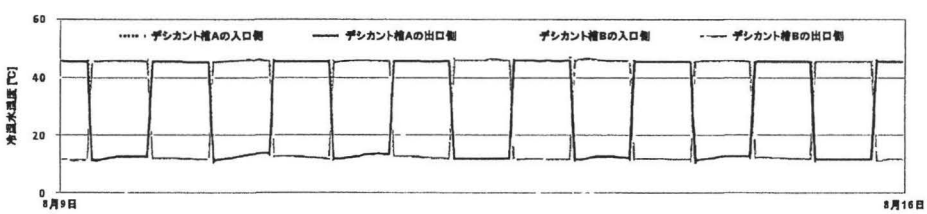


図-16 デシカント槽 A、B の出入口側冷温水温度 [℃]

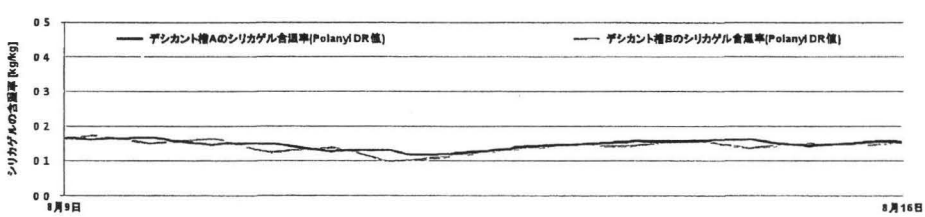


図-17 デシカント槽 A、B のシリカゲルの含湿率(Polanyı DR 値) [kg/kg]

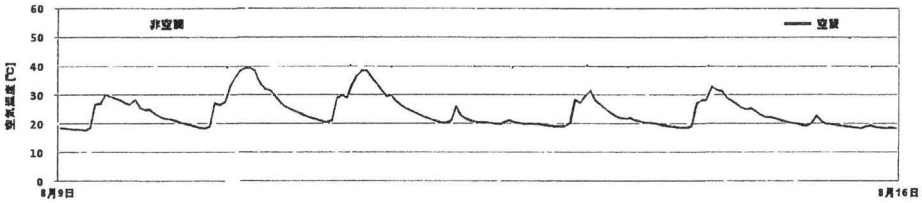


図-18　空調有無による室内空気温度 [℃] (MB)

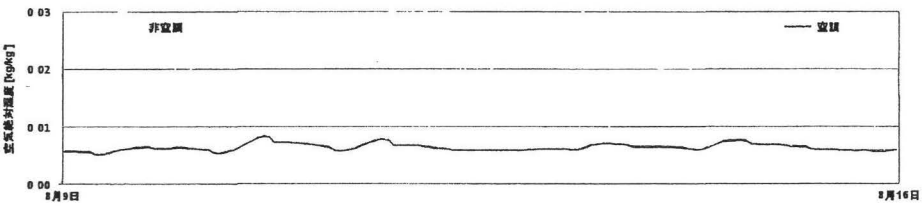


図-19　空調有無による室内空気絶対湿度 [kg/kg'] (MB)

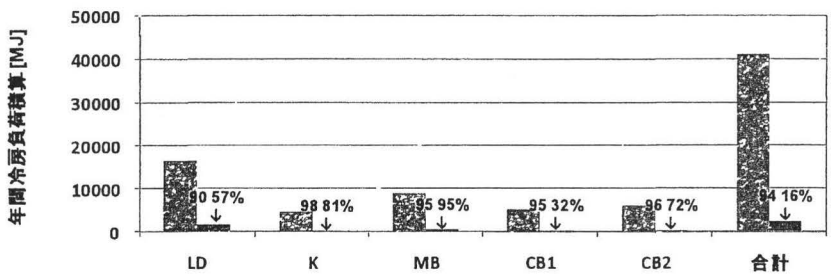


図-20　年間冷房負荷への対応性能

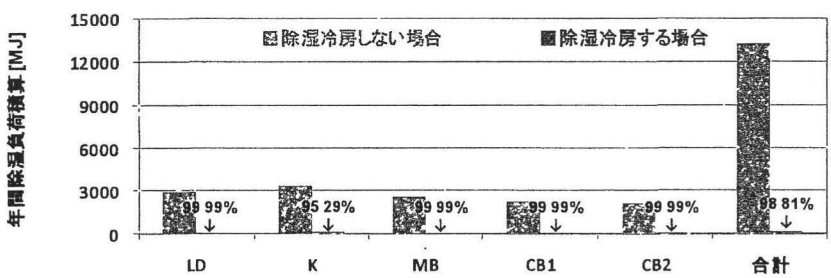


図-21　年間除湿負荷への対応性能

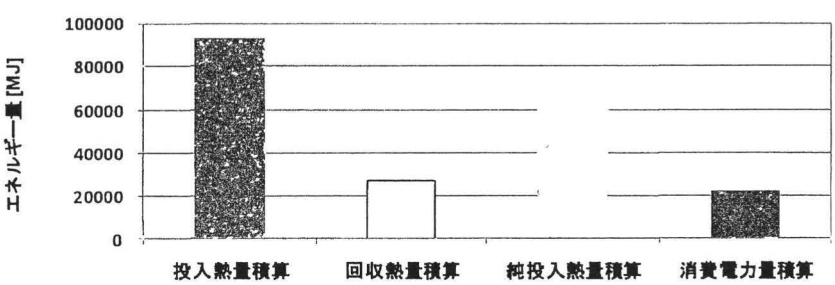


図-22　エネルギー積算

度は各々0 01086 kg/kg'と 0 01166 kg/kg'となり、約 7 34%の脱着効果があることが分かった。除湿・冷房を行うデシカント槽における入口側と出口側の平均絶対湿度は各々0 00654 kg/kg'と 0 00563 kg/kg'であり、約 13 96%の除湿効果があった(図-15)。

2) 脱着を行うデシカント槽への供給熱量、吸湿を行うデシカント槽が外気から回収した顕熱量と吸着熱量を確認した(図-16)。

3) 提案した住宅用デシカント空調システムの運転により、平均空気温度(MB)23 98℃に制御出来ることが分かった(図-18)。しかし、南側に位置する空調ゾーンにおいては日中の日射の影響により、室内温度が 30℃程度になる傾向があった。日中の日射の影響を抑えるためには、カーテンやひさしの活用が有効であると考えられる。平均絶対湿度(MB)が 0 00642 kg/kg であり、夏季の除湿設定条件(0 0126 kg/kg')よりも低いことから、提案した空調システムの除湿能力が確認出来た(図-19)。

4) 提案した住宅用バッチ式デシカント空調システムを導入することで、約 94 16%の冷房負荷と約 98 81%除湿負荷の処理することが可能であった。また、室内にかかった全熱負荷(冷房負荷+除湿負荷)に比べ、約 38 12%のエネルギー量を投入して負荷に対応出来ることが分かった(図-20、図-21、図-22)。

● 日中の温かい外気又は日中の南側に位置する部屋の空気を蓄熱源として活用し、蓄熱材槽に溜まった熱を夜間暖房に活用する場合の夜間暖房負荷の削減効果について検討を行った。以下にその結果を示す。

1) 札幌において、日中外気から蓄熱を行った場合は 11 7%の夜間暖房負荷の削減効果が、日中の南側の室内空気を蓄熱源として夜間暖房を行った場合は21 7%の夜間暖房負荷の削減効果があった。しかし、夜間暖房を行っても夜間の室内温度が 10℃以下になる時間帯が多く、夜間にかかる暖房負荷によく対応しているとは言えない。これは、日中の外気温度が暖房設定温度である 20℃より低い場合も多いため、十分な蓄熱が出来なかったことが原因であると考えられる(図-23、表-1)。

2) 那覇において、夜間暖房熱源を日中の外気又は南側の室内空気とした場合、夜間(午後 6 時~午前 6 時)の室内温度が 20℃以上に制御でき、夜間暖房負荷の削減率(各々25 3)も札幌における夜間暖房負荷の削減率よりも高いことが分かった。しかし、実際に非空調の際の空調ゾーンにかかった夜間暖房の絶対値が異なり(札幌 3086 6 MJ、那覇 659 2 MJ)、那覇での夜間暖房削減効果が札幌の夜間暖房削減効果より大きいとは言えない(図-24、表-2)。

3) 日中の時間帯に蓄熱を行い、夜間に蓄熱材槽にたまった熱をより円滑に利用するためには、太陽熱の収集による蓄熱、蓄熱材量の増量、空調風量の調節などの工夫が必要であると考えられる。

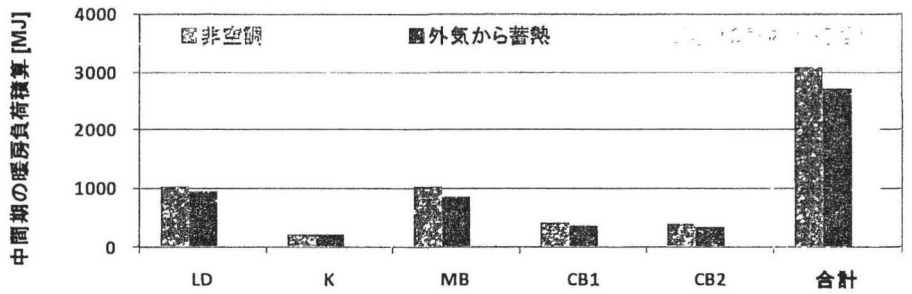


図-23　中間期における夜間暖房負荷の削減効果［℃］

表-1　中間期における夜間暖房負荷の削減比率

		LD	K	MB	CB1	CB2	合計
暖房負荷 [MJ]	非空調	1019 8	225 6	1021 2	418 6	401 4	3086 6
	外気から蓄熱	941 1	218 6	847 3	363 2	356 3	2726 5
	南側の室内から蓄熱	869 9	193 5	719 8	311 0	321 8	2415 9
暖房負荷の削減効果[%]	外気から蓄熱	7 7	3 1	17 0	13 2	11 2	11 7
	南側の室内から蓄熱	14 7	14 3	29 5	25 7	19 8	21 7

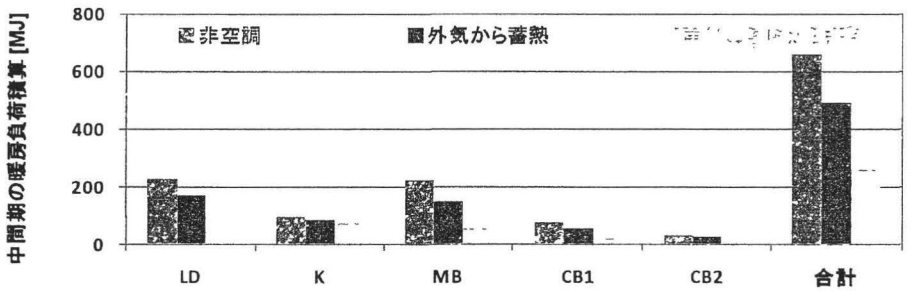


図-24　中間期における夜間暖房負荷の削減効果［℃］

表-2　中間期における夜間暖房負荷の削減比率

		LD	K	MB	CB1	CB2	合計
暖房負荷 [MJ]	非空調	228 1	95 3	224 5	78 7	32 6	659 2
	外気から蓄熱	172 4	85 1	150 3	56 9	27 9	492 5
	南側の室内から蓄熱	95 5	74 9	53 6	20 7	16 4	261 1
暖房負荷の削減効果[%]	外気から蓄熱	24 4	10.8	33 1	27 7	14 6	25 3
	南側の室内から蓄熱	58 1	21 4	76 1	73 7	49 7	60 4

9 2　今後の課題

- 空調システムに影響を与えるパラメータに関する最適化

  冬季の加湿・暖房性能の評価結果と夏季の除湿・冷房性能の評価結果を見ると、提案した空調システムは、加湿・除湿負荷には良く対応しているが、冬季における夜間の時間帯と夏季における日中の時間帯に往々にして顕熱負荷に対応出来ない場合があった。シリカゲル量、蓄熱量、空調風量、冷温水温度・流量などのパラメータに対する最適化を行い、室内にかかる負荷によく対応する手法に関して検討を行う予定である。

- 実機実験による提案した住宅用デシカント空調システムの性能評価

  本研究から得られたテータを基に、実大実験用の空調システムを制作し、実大住宅における提案した空調システムの性能を評価する予定である。

- ヒートポンプのサーモサイクルを考慮した性能評価

  今回の検討では、ヒートポンプにおける冷温水の熱交換、のサーモサイクルまで考慮しなく、デシカント槽に目的している冷温水を循環させることと想定している。今後、ヒートポンプの熱交換性能も再現出来る段階の数値解析モデルを作成し、外気条件及び室内環境の変動に伴う熱回収及び熱供給を評価する予定である。

- 太陽熱を補助熱源とした場合の性能評価

  デシカント槽への供給熱量とデシカント槽から回収した熱量のバランスが合わず、回収した熱量より供給する熱量が大きい。太陽熱収集器を提案した空調システムに組み込んだ場合の空調システムの性能を評価する予定である。太陽熱を補助熱源とする場合、夜間暖房への活用も可能であると考えられる。

- 提案した空調システムの実用化に関する検討

  提案した空調システムのコンパクト化、太陽熱をデシカントの再生熱及び暖房熱の補助熱源としての活用などにより、省エネ性能を確保する上に、実用化への可能性を高める必要性がある。また、新築の建物の場合、計画段階からシステムを設置するための検討が必要である。建物のリフォームに提案した空調システムを適用するための手法についても検討が必要である。

木造住宅の気候調節機能に及ぼす建物仕様の影響

名古屋大学大学院生命農学研究科

教授　佐々木康寿

1　緒　　言

一般に，木材・木質材料・木造建物は優れた断熱性や吸放湿性を有すると考えられており，これに関して多くの研究がなされている．しかし，住宅内の居住温熱環境は建物仕様・室容積・気密性・断熱性などの内的要因と，気候・方角・周辺環境などの外的要因が複雑に絡み合って形成されるために，個々の特性を追求するだけでは一律的な評価を与えることは難しい．

本研究では，外的条件がほぼ等しい同一敷地内に外形・室容積が同一で，壁・屋根・床の仕様がそれぞれ異なる３種の木造実大実験建物を建築して，建材や仕様が居住環境，特に温湿度環境に及ぼす影響を検討している．

前半では，特に壁体構成に焦点を絞り，室内温度環境および冷房負荷の低減効果に関する検討の基礎データとして，各壁体の熱物性を実験的に測定することを目的とした．すなわち，小試験体を対象としたJIS準拠試験により熱貫流率および熱拡散係数を測定した．また，実大壁体を対象とした自作の大型熱伝導率測定方法を考案し，JIS準拠試験結果との比較からその妥当性を検討した．

続く後半では，室容積・立地条件が同じで，壁，屋根，床の仕様がそれぞれ異なる三種の実大実験建物について，エアコン作動時を含む温湿度に関するサンプリングを行い，建材・仕様が居住環境，特に温湿度環境に与える影響を調べた．本研究では，日照など建物を取り巻く外的条件がほぼ等しいと判断できる同一敷地内に，外形・室容積は全く同じにした上で，壁，屋根，床の仕様を変えた実大実験建物を３棟造り，建物仕様が温湿度居住環境に与える影響について比較，検討しようとするものである．

2 方　法

2.1 壁体構成

各壁体の構成を表１に示す．１号棟および２号棟は天然素材で構成されており，対して３号棟は現在広く普及している一般的な建売型住宅仕様である．

表１中の２号棟の壁体構成について，木小舞（スギ）は土荒壁の厚さ 70㎜ 中に含まれる．また，JIS 準拠試験用小試験体には木小舞が入っていない．

2.2 JIS 準拠試験

小試験体を対象とした測定は，「JIS A 1412-2-1999 熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法－第２部：熱流計法（HFM 法）」に準拠して行った．試験体は壁体の外周４面を 30㎜ 厚のヒノキ材枠で囲ったものである．断面積は外寸 360×360㎟，壁体部 300×300 ㎟であり，厚さは 80㎜（２号棟スギ下見板なし）～125㎜（３号棟）である．実験は恒温実験室内（平均室温 22.2℃）で行った．加熱板（180Ω）を同種試験体２体で挟み，試験体外側表面を除く外周４面を押出発砲ポリスチレンフォーム断熱材（厚さ 100㎜）で断熱した．加熱は電圧制御とし，加熱板の消費電力，加熱板表面温度，試験体２体それぞれの内側（加熱板側）および外側（室内側）表面温度，および室内温度を測定した．測定間隔は，実験開始しばらくは 10 分，温度上昇が緩やかになった後は 30 分とした．

表1　壁体構成

	1号棟		2号棟		3号棟	
	材料	厚さ (㎜)	材料	厚さ (㎜)	材料	厚さ (㎜)
室内側	土中塗り	10	土中塗り	10	プラスターボード	12
↕	スキ板	40	土荒壁	70	クラスウール	100
↕	土荒壁	40	(木小舞)	(8-9)		
↕	防水シート	1	防水シート	1	防水シート	1
外壁	スキ板	5-15	スキ板	5-15	サイディング	12

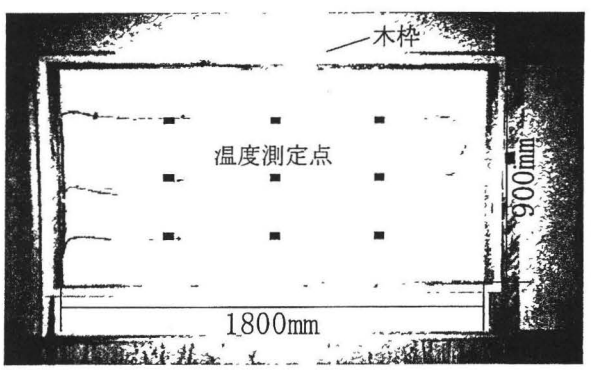


図１　実大建物における熱貫流率測定

2.3 実大試験

木造実験建物（4×4㎡）を対象として平板加熱法による実大試験を行い，実験建物壁体の熱貫流率測定を試みた．加熱板には一般家庭用のホットカーペット（１畳＝約 1800×900 ㎟）を用い，

各建物の東面内壁を直接加熱した．図1はカーペット設置前の東面内壁である．カーペットは写真中の木枠の中にはめ込み設置した．室内側への熱流を遮断するためにカーペットの室内側に硬質ウレタンフォーム断熱材（厚さ100mm）を配した．加熱は電圧制御とし，カーペットの消費電力，断熱材室内側表面温度（3箇所）カーペット表面温度（9箇所），内壁表面温度（9箇所），外壁表面温度（3箇所），および室内温度，外気温を測定した．測定間隔は10分とした．

2.4　調査建物

愛知県安城市の同一敷地内に建築した実大の実験建物3棟で，構造，室容積が同じで，次項に示すとおり建物仕様が異なっている．これらの建物を用いて夏季（7～9月）にエアコン作動下で温湿度サンプリングを行なった．

2.5　建物仕様

各建物は共通して床面積が4×4 m^2で，日射の影響を排すため窓は全て遮光した．各建物の仕様は，1号棟および2号棟はそれぞれスギ板材や土など天然素材を用いた造りとなっている．これに対して3号棟は現在広く普及している一般的な建売型住宅仕様で，木質系および無機質系の建材を使用している．特に壁の構成が大きく異なっており，1号棟では壁内部に厚さ40 mmのスギ板を含み，2号棟は厚さ70 mmの土を塗っている．3号棟のみが床・天井・壁に厚さ100 mmの断熱材を使用し，壁に木質系建材のプラスターボードを用いた一般的建売型住宅仕様となっている．

2.6　調査方法

実験建物の室内と屋根裏に温湿度測定器を1箇所ずつ（計6箇所），加えて3号棟南側の地上130 cmに設置した百葉箱内の計7箇所に設置した．温湿度センサーは室内，屋根裏ともに部屋の中央部の底面上50 cmの位置に設置した．また，室内中央部には輻射温度計を，床下にも温度計を設置した．これらの他に，熱電対を各建物室内の天井，中央部，内壁（東西南北面の4箇所），および外壁（西面）の計7箇所／建物に装着した．このようにして，日中の一定時間エアコンを一定温度（24, 26, 28℃）に設定し，温湿度および消費電力の経時変化を記録した．同時に，百葉箱横の地上200 cmにSAT計を設置し相当外気温度を測定した．

3　結果と考察

3.1　熱貫流率

表２にJIS準拠試験の結果を，また表３に実大試験の結果を示す．表２および表３中の熱コンダクタンスC，見かけの熱伝導率λ，熱貫流抵抗R，熱貫流率Kはそれぞれ次式(1)～(3)で表される．式中，Qは加熱板の発熱量，Aは加熱板の表面積（JIS試験 A_J=0 09 m^2，実大試験 A_h=1.57 m^2），dは壁体厚さ，Δθは壁体の内ー外表面温度差である．また，α_iは室内側熱伝達率（9 $W/m^2 \cdot K$），α_oは外気側熱伝達率（23 $W/m^2 \cdot K$）とした．表２には，熱貫流率について実験値Keと計算値Kcを併せて示した．

・JIS準拠試験の場合（表２）

$$C = Q/(\Delta\theta \ 2 \ A_J) \quad (W/m^2 \ K) \qquad (1) \qquad \lambda = d \ C \quad (W/m \ K) \qquad (2)$$

$$R = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\sum_j \frac{d_j}{\lambda_j}} + \frac{1}{\alpha_o}$$

$$= \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{C} + \frac{1}{\alpha_o} \quad \left(\frac{1}{W/m^2 \ K}\right) \qquad (3)$$

・実大試験の場合（表３）

実大試験における熱コンダクタンスは，室内側に配した断熱材から室内への熱の流出Q_iを考慮し，次式(4)となる．

$$C = (Q - Q_i)/(\Delta\theta \ A_h) \quad (W/m^2 \ K) \qquad (4)$$

ここで，Q_iは断熱材の熱抵抗を 2.5，加熱板の表面温度と断熱材の室内側表面温度との差を$\Delta\theta_i$として，次式(5)により求めた．

$$Q_i = \Delta\theta_i \ A_h / 2.5 \quad (W) \qquad (5)$$

表２より，熱貫流率の実験値Keは計算値Kcと近い値であり，3号棟＜＜1号棟＜2号棟となった．すなわち，壁体の断熱性は3号棟，1号棟，2号棟の順で優れている．一般土壁仕様の2号棟について，土壁のみの場合の見かけの熱伝導率λは 0.63～0.78 であるが，これは既往の研究と一致す

る値である．一方，1号棟は2号棟の土壁の一部（厚30mm）の代わりに40mm厚スギ板を配した壁体である．これにより，壁体の断熱性が改善されたと考えられる．

表3より実大試験の結果を見ると，熱貫流率Keは計算値Kc（実大の1，2号棟については壁内部の空気層を考慮）とほぼ合致しており，本実験方法は概ね妥当と考えられる．2号棟ではKeがKcよりやや小さいが，この原因として，小試験体にはない8～9mm厚木小舞の影響が考えられる．仮に土壁内部に厚さ9mmのスギ面材があるとするとKc=1.61 W/m²·Kとなり，KeとKcの差異は小さくなる．

3.2 熱拡散係数

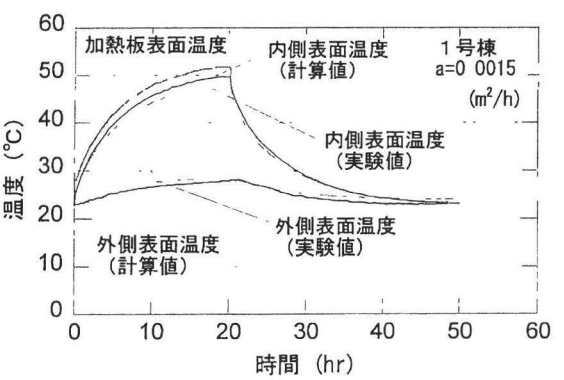
JIS準拠試験結果に対して1次元非定常伝熱数値計算を行い，熱拡散係数aの推定を試みた．

表2 JIS A 1412-2 準拠試験による小試験体の熱貫流率

試験体No	実験状況 スギ下見板	実験状況 空気層	厚さ d (m)	発熱量 Q (W)	壁体内ー外表面温度差 Δθ (℃)	C (W/m2·K)	見かけの熱伝導率 λ (W/m·K)	熱貫流率 実験値Ke (W/m²·K)	熱貫流率 計算値Kc (W/m²·K)	熱貫流抵抗 R (m²·K/W)
1号棟	あり	なし	0 107	10	24 4	2 28	0 24	1 69	1 24	0 59
			0 107	15	34 8	2 40	0 26	1 75	1 24	0 57
	なし	なし	0 092	10	21 9	2 54	0 23	1 83	1 54	0 55
			0 092	15	35 2	2 37	0 22	1 73	1 54	0 58
2号棟	あり	あり	0 112	10	15 5	3 58	0 40	2 31	2 27	0 43
			0 112	15	25 5	3 27	0 37	2 17	2 27	0 46
	なし	なし	0 08	10	7 0	6 00	0 48	3 11	3 50	0 32
			0 08	15	10 2	8 17	0 65	3 61	3 50	0 28
			0 08	20	11 4	9 79	0 78	3 90	3 50	0 26
3号棟	ー	なし	0 125	3	30 9	0 54	0 07	0 50	0 32	2 01

表3 実大試験による壁体の熱貫流率

実験棟No / d (m) / Kc	発熱量 Q (W)	試料通過熱量 Q−Q₁ (W)	壁体内ー外表面温度差 Δθ (℃)	C (W/m²·K)	熱貫流率 Ke (W/m²·K)
1号棟	71 8	54 9	26 0	1 34	1 11
0 105	83 2	63 9	27 6	1 47	1 20
1 12	90 1	69 2	29 0	1 52	1 23
2号棟	68 7	53 1	19 9	1 70	1 35
0 095	82 8	63 7	20 3	2 00	1 53
1 89	89 8	69 0	21 0	2 10	1 58
3号棟	51 1	27 9	39 7	0 45	0 42
0 125	52 4	28 8	44 6	0 41	0 39
0 32	59 3	31 2	46 0	0 43	0 40



3.3　温度変動と消費電力

図3にSAT計上面の温度と屋根裏温度の差を示す．これは7月27日の記録で，エアコンは24℃に設定し10時～16時の間作動させたものである．これによれば各建物とも9時頃より温度差が顕著になっていくが，その中でエアコンが作動している10時～16時に着目すると，1号棟と2号棟ではほとんど同じ挙動を示し，3号棟の温度差が他に比べて若干小さいことがわかる．このことは3号棟の屋根裏の気温が最も高くなっていることを示すもので，屋根の仕様の違いに起因するものと考えられる．すなわち，1および2号棟では日本瓦＋土葺き70 mm＋スギ板70 mm(1号棟)・ヒバ板10 mm(2号棟)であるのに対し，3号棟では洋瓦＋防水紙＋ヒバ板10 mmという仕様であった．この時の屋根裏温度と天井温度（室内側）との差を図4に示す．これによれば，エアコン作動開始の10時より温度差が顕著となり，3号棟の温度差が最も大きい．各建物ではエアコンが作動しているので室内温度はいずれも約24℃を保っており，室内側天井もこれに近い温度となっていると考えられる（後述）．したがって，この図に示される3号棟の温度差は天井の仕様の違いが大きく影響していると考えられる．すなわち，1および2号棟の天井は共にスギ板化粧板12 mmであるのに対して，3号棟ではプラスターボード9.5 mm＋グラスウール100 mmとなっており，断熱材の効果が見てとれる．

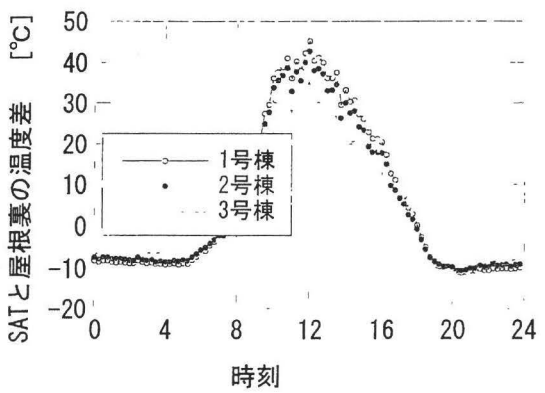


図3　SATと屋根裏の温度差

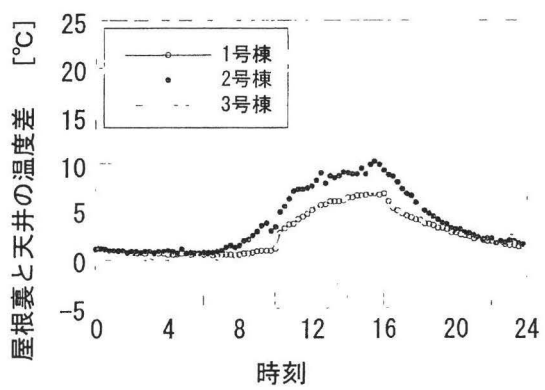


図4　屋根裏と天井（室内側）の温度差

図5には上記と同じ時の1, 2, 3号棟の屋根裏，天井，室内，床下の各温度を示す．これによれば，

3 号棟の屋根裏温度は他に比べて日中に高く，反対に夜間には低いことがよくわかる．室内温度は各棟ともエアコン設定温度の 24℃に近い値を示している．これに対して天井温度は 1, 2 号棟では概略 27～28℃であるのに対し，3 号棟では概ね 25℃を下回っており，上述のように天井仕様の違い（断熱材の有無）が大きな影響を及ぼしているものと判断される．さらに 16 時（エアコン off）以後の室内温度の上昇に注目すると，1, 2 号棟では 30℃を超えるのに対し，3 号棟では 30℃を超えることはなく夜間も低めの室内温度を保っている．夏季にエアコン使用を前提とするならば，3 号棟が最も過ごしやすいかもしれない．なお，床下温度は各建物ともほとんど同じ挙動を示した．

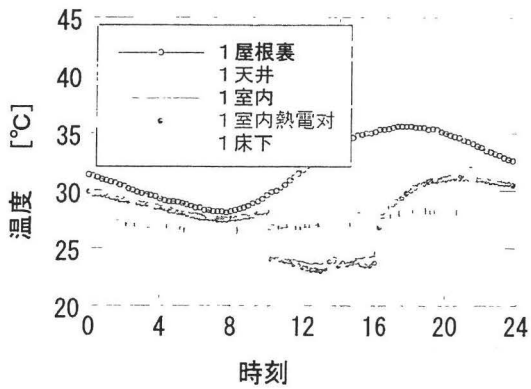


図５(a)　１号棟の各温度

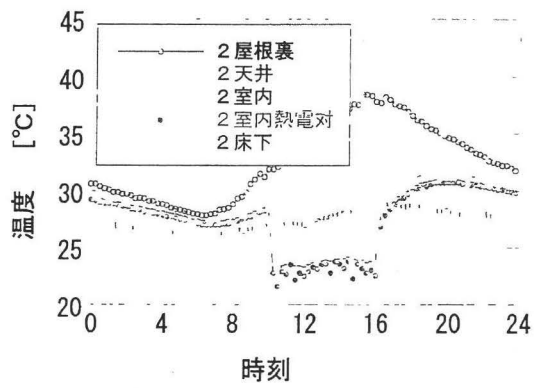


図５(b)　２号棟の各温度

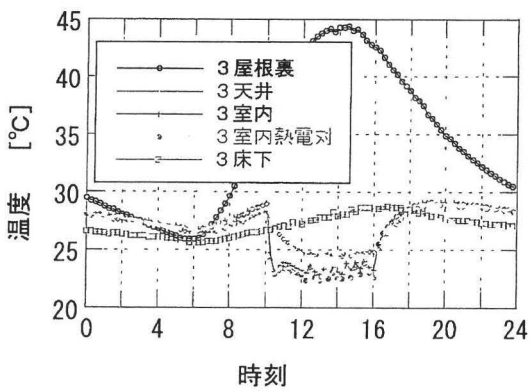


図５(c)　３号棟の各温度

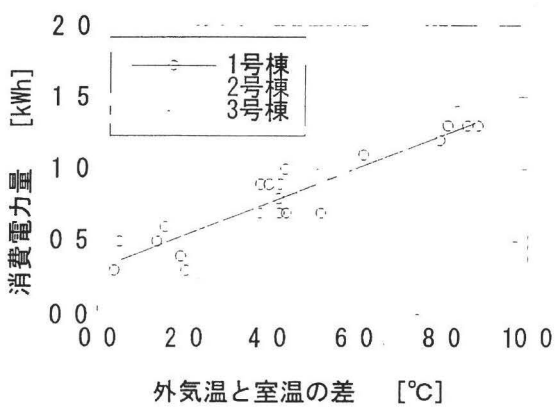


図６　消費電力量と温度差

図６には測定期間中の外気温と室内温度との差と消費電力量の関係を示した．これより外気温と室温との差が大きいほど（エアコンの）消費電力が増加し，両者には比例関係が見られる．回帰線

の傾きは3棟の中で2号棟が最も大きく，次いで1号棟，3号棟の順であった．土塗り壁仕様の2号棟の消費電力量が温度差に最も敏感で，特に差が大きくなった場合の消費電力量は大きい．これに対し，板＋土塗り壁仕様の1号棟では全般的に消費電力量は少なめである．3号棟は温度差が大きい場合には消費電力量は最も少ないが，差が小さい場合には最も多い．

同一敷地内にある実大実験建物3棟を対象として，夏期の室内温湿度を測定し，エアコンの消費電力との関係を調べた．各実験建物の壁体構成はそれぞれ①厚さ40 mmのスギ板材を内包した土壁，②一般的な土壁（土壁厚さ70 mm），③厚さ100 mmのグラスウール製断熱材＋PB壁である．また，エアコンの設定温度は24，26，28℃とした．実験の結果，室内温度と外気温との温度差が大きくなるとエアコンの消費電力は大きくなり，両者の間には壁体構成によらず正の相関が認められた．詳細に見ると，温度差が大きい場合は③断熱材＋PB壁＜①板材内包土壁＜②一般的な土壁の順に消費電力が大きくなり，各壁体の熱物性（前報）を反映した結果となった．ただし，①板材内包土壁では温度差が小さくなるにつれて消費電力が顕著に軽減された．エアコンのOn／Off時の温度変化速度は，③断熱材＋PB壁＜①板材内包土壁＜②一般的な土壁の順に大きかった．

環境湿度応答型因州和紙抗菌壁紙の開発

鳥取大学工学研究科
准教授 吉井英文

近年、各種微生物やカビの増殖防止のために、抗菌性材料が広く普及している。各種抗菌性材料の多くは、銀錯体系抗菌物質をプラスチックやセラミックに練り込んだもので、銀を触媒とした活性酸素による抗菌作用を利用している。その他、芳香族化合物を含浸させた材料も開発されているが、銀錯体系化合物の環境汚染や有機化合物の使用規制により、安心して用いることができる新しい抗菌性材料の開発が望まれている。また、銀、キトサン等抗菌剤は開放空間における壁紙上に付着した微生物の繁殖を抑制する機能はあるが住宅の押入れや靴箱等のような閉鎖空間を抗菌性とする用途には使用できていなった。また、抗菌物質の徐放コントロールは、ナノエマルションの安定性と徐放能、及びシクロデキストリンのナノカプセル技術を用いており、薬剤における DDS 研究の最先端課題として注目されている研究課題である。この応用製品開発に各社鎬を削っているが、安全性の観点から製品化はまだまだ先の状態である。従来製品として、衣服材料にシクロデキストリン修飾体を練りこんだ商品は開発されているが、抗菌性物質を徐放させる機能を持たせた和紙は、現状では見当たらない。また、抗菌性プラスチック等も開発されているが、銀錯体系化合物をプラスチックに練りこんだものが多く、環境の湿度に対応して抗菌性香気ガスを放出するタイプの商品はないのが現状である。

鳥取県の特産品として、因州和紙がある。因州和紙で作製する壁紙は、コウゾ、ミツマタ、ガンピなどを原料とする和紙は独特の質感があり繊維が丈夫で長持ちする。また、和紙は抗菌剤の環境応答型徐放性素材として適しており、しかも、抗菌性和紙を壁紙などインテリアとして用いれば和風で高級感のある商品となる。抗菌物質を包接するシクロデキストリンは、環境の湿度に応答して抗菌物質を徐放する特質を持っており、和紙にこのカプセルを漉き込むことにより、その応答性を高感度にできると推察している。この環境応答型抗菌壁紙和紙を出来るだけ低い価格で、高級感のある壁紙として開発する。そのため、本研究開発は、天然抗菌性物質をシクロデキストリンによる包接や乳化噴霧乾燥法によってマイクロカプセル化し、これを和紙中に担持含浸することによって環境条件に応答して抗菌物質を徐放する高機能和紙を開発するものである。　この目的に従って、

（1）抗菌香気物質を含むマイクロカプセルの作製

（2）マイクロカプセルからのフレーバー、抗菌物質の徐放特性

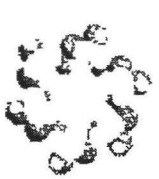
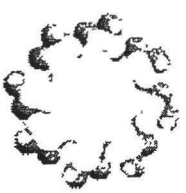
について検討した。

手漉き和紙、機械漉き抗菌壁紙にマイクロカプセルを担持し、その効率等について検討した。これらの結果を基に、特許化を目指して研究を継続している。

1）抗菌香気物質を含むマイクロカプセルの作製

シクロデキストリン (Cyclodextrin, CD)は、グルコピラノース単位からなるα-1,4結合の環状オリゴ糖である。シクロデキストリン1分子に含まれるグルコース単位の数によりα-(6量体)、β-(7量体)、γ-(8量体)CDと呼ばれている。 CDは *Bacillusmacerans* amylaseでデンプンを加水分解することで得られる。シクロデキストリンの最大の特徴は環状構造の内部空孔に疎水的性質を持ち、種々の化合物の疎水部分を取り込み水溶液中，固相中において包接化合物を形成する能力である、このユニークな性質により多くの基礎的、 応用的研究が行われている。シクロデキストリンの特質を、表1に示す。

表2　天然CDの特質

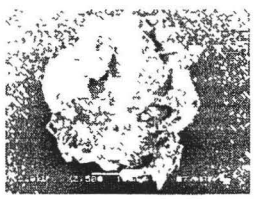
	α-CD	β-CD	γ-CD
Number of glucopyranose units [-]	6	7	8
Molecular weight [g/mol]	972	1135	1297
Cavity diameter [nm]	0 57	0.78	0 95
Outer diameter [nm]	13 7	15 3	16.9
Height of torus [nm]	0 79	0 79	0 79
Cavity volume [nm^3]	0 174	0 262	0 427
Water solubility at 25° C [g/100 mL]	14 5	1 85	23 2
Molecular structure (Graphic model) Plan view			
Side view			

本研究では、凍結乾燥、噴霧乾燥、混練法によりシクロデキストリンを用いた抗菌物質、フレーバーの包接粉末を作製した。

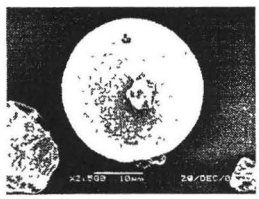
- 噴霧乾燥法・・・ 液状原料が熱風中に微小な粒子として噴霧され、乾燥しながら塔内を落下していき固体として回収される。
- 凍結乾燥法・・・ 凍結状態にある材料から氷を昇華させて水分を除去するプロセスである。
- 二軸混練法

・・・二軸のテーパー型スクリューを異方向に回転させ、サンプルを強い力で混練する。

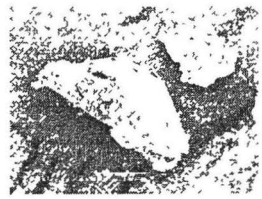
包接手法や包接条件によるフレーバー包接率の違い、またSEMによる表面構造の違いを検討した。また、恒温恒湿下でのフレーバー種類と湿度による徐放特性を検討した。さらに熱重量分析 (DSC&TG) による包接フレーバーの徐放特性の解析を行った。



凍結乾燥法



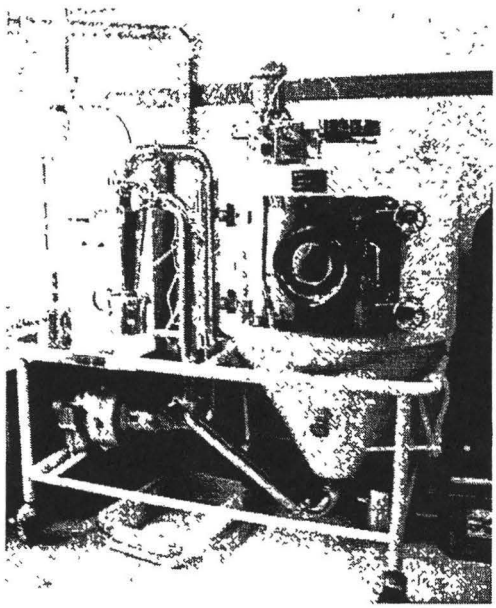
噴霧乾燥法



混練法

図 1. 包接方法による包接粉末の表面構造

噴霧乾燥機は、大川原化工機製 L-8 型を用いた。



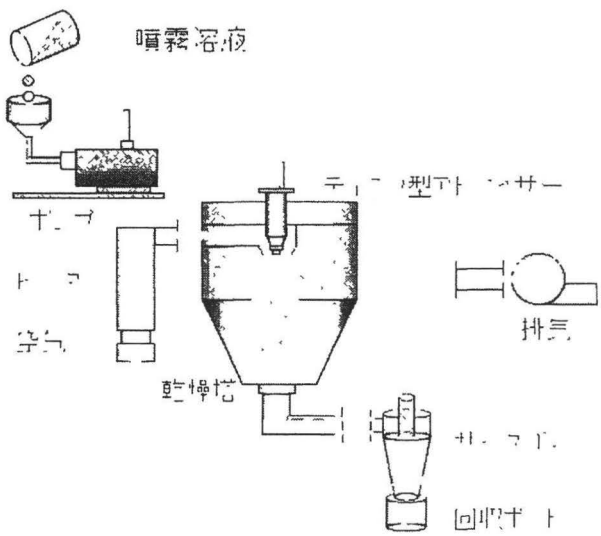


図 2 噴霧乾燥機(L-8, OKAWARA)

仕様

モデル	・L-8
ヒーター	：電気ヒーター
乾燥塔	：直筒 800 D×560 H（mm）
	円錐 650 H（mm）（円錐部角度 60°）
サイクロン	：φ 140×450 H（mm）
排風器	. 9 2 m^3/min（最大）
水分蒸発量	・3 kg/h（熱風温度 250 °C, 排風温度 100 °C で運転した場合）
アトマイザー	：ディスク型（10,000～40,000 rpm）（φ 50×14 H（mm））

独特なピン形状により、ディスク上あらゆる部分において均一な液膜を形成し、微粒化された液滴の粒度分布はシャープなものとなる。ディスク回転数により、粉末製品の平均粒子径の調整が可能である。

スプレードライヤの原理と特性

1 液体原料をアトマイザーディスクで微粒化させる。

2. 微粒化された液滴は、熱風との瞬間的接触・乾燥により粉末化される。

3. 粉末製品は、球状で多孔質であり、流動性、溶解・分散性に大変すぐれている。

4 食品・医薬品などの特に熱に敏感な物性でも、良質な粉末製品を得ることができる。

5 装置や工程の省略ができ、一挙に粉末製品が得られ汚染を防ぐことができる。

であり、作製粉末は球体のマイクロカプセルを得た。

混練法に用いた二軸混練機は栗本鉄工製を用いた。

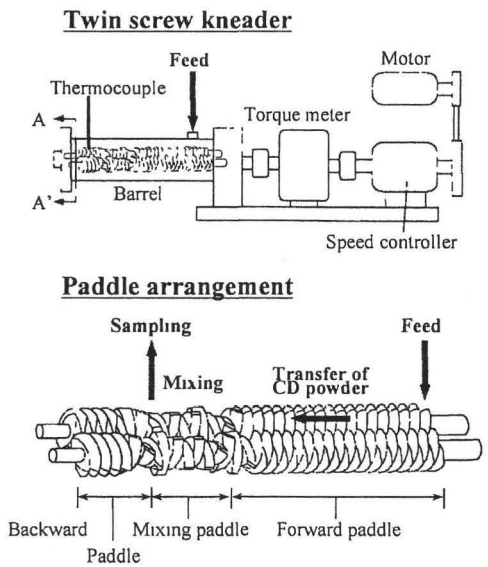


図3 混練機

d-リモネン包接デキストリン粉末の噴霧乾燥による作製は、所定濃度の CD 水溶液（10～30%）を作製し，これに 10 モル倍のリモネンを加え包接させた後、ホモゲナイズし、噴霧乾燥溶液とした。包接時間の検討を行う目的で，包接条件として攪拌を行わないもの，および 1 時間、24 時間攪拌した溶液を作製した。噴霧乾燥の入口熱風温度を検討するため，熱風温度を 120℃、160℃、および 200℃に変化させた。噴霧乾燥包接粉末は包接率、電子顕微鏡(SEM)による粉末形態の観察、粒子径、粉末 X 線回折，および徐放速度などを測定し，粉末の特性解析を行った。図 4 に種々の初期 CD 濃度に対する噴霧乾燥粉末中のリモネン包接率の結果を示す。 α-CD 包接粉末は，初期固形分濃度が増加するにつれて，包接率も上昇するが、βおよびγ-CD 噴霧乾燥粉末のリモネン包接率は初期固形分濃度にはほとんど依存せず一定である．噴霧乾燥粒子の形態を図 5 に示す。α-CD の場合小さな結晶が球状の塊となっている。これは，包接によって生じた結晶粒子が噴霧液滴乾燥時に一部溶解し凝集したものと考えられる。これに対して溶解度の極めて低いβ-CD の場合は結晶粒子として噴霧乾燥されている。最も溶解度が高いγ-CD では結晶はみられず，ほとんどが球状の粒子状となって乾燥されている．

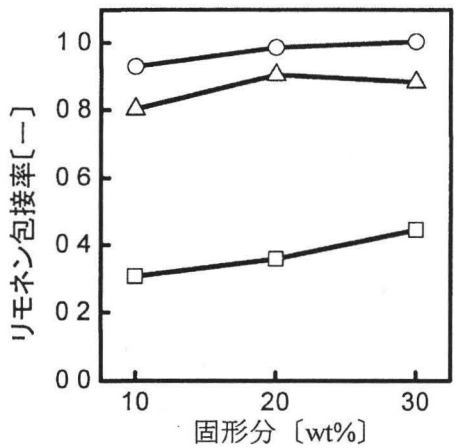


図５　初期 CD 濃度に対する包接率
(□:α-CD,○:β-CD ,△:γ-CD)

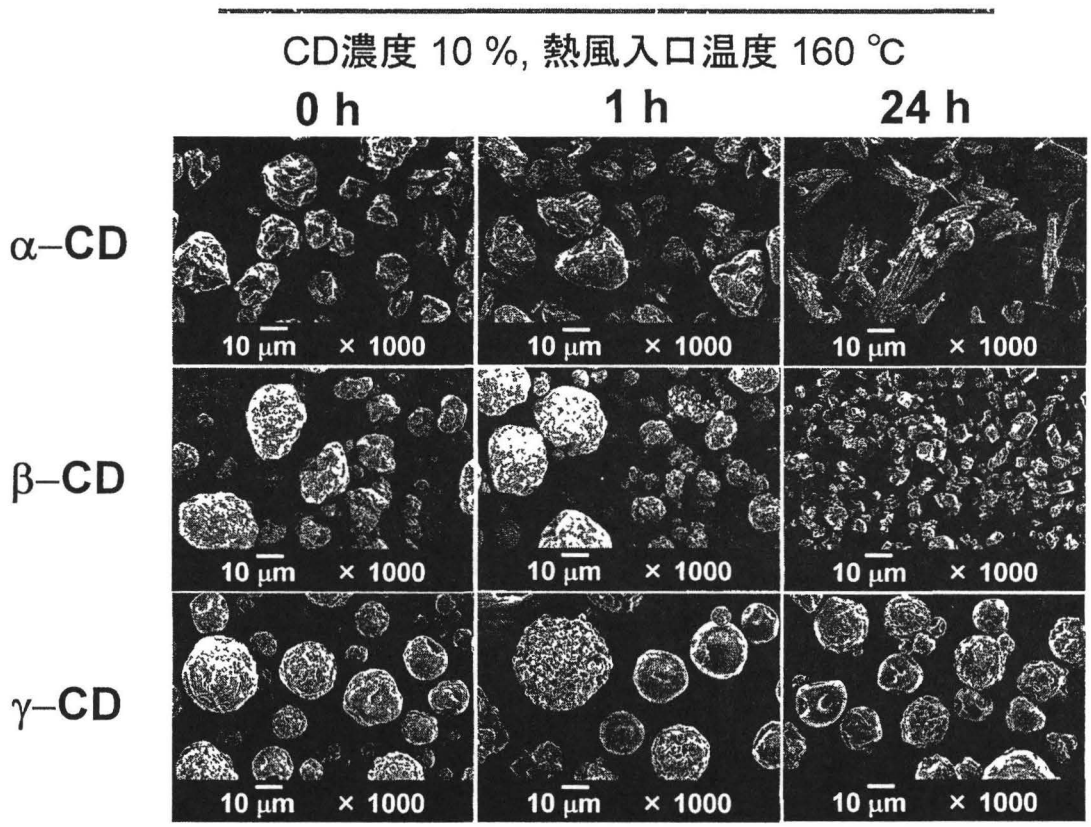


図６　攪拌時間の異なる場合の天然 CD 包接体の噴霧乾燥粉末の構造

この噴霧乾燥手法を用いて、ヒノキオイル、AITC 等の抗菌剤を包接した CD 噴霧乾燥粉末を、コート剤を用いて作製した。その作製粉末の顕微鏡写真を以下に示す。

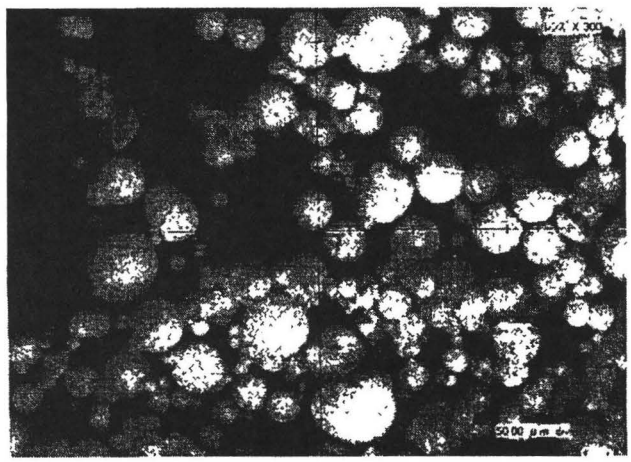


図 7　コート剤被膜青森ヒバ包接 β-CD 粉末顕微鏡写真

上記のような抗菌マイクロカプセルを作製した。

2）マイクロカプセルからのフレーバー、抗菌物質の徐放特性

抗菌物質、香気物質などシクロデキストリン(CD)の包接機能を利用して固体粉末化し、昇華、酸化等に関する保存安定性を高める研究がなされている。しかし、包接化されたゲスト物質の徐放特性や安定性については、その応用上の重要性に関わらず研究例は少ない。抗菌物質であるイソチアン酸アリル（AITC）、ヒノキチオール、およびリモネンを包接した各種 CD 粉末からのフレーバー徐放過程を測定した。AITC を例として包接フレーバーの徐放速度に与える CD の種類、関係湿度と温度の影響を詳細に検討した。図８に示すように、AITC の徐放速度はγ≈β>α-CD の順に高くなった。特にα-CD の徐放速度は極めて低い。これはα-CD の分子空洞直径が AITC の分子サイズにフィットしているためと考えられるが、定量的な検討は行っていない。図９に、温度 60℃におけるβ-CD に包接された AITC の徐放速度に与える関係湿度の影響を検討した結果を示す。徐放速度は関係湿度に顕著に依存し、特に 60%以下の低湿度域における変化が大きいことがわかった。CD へゲスト分子が包接されるのに水の存在が不可欠であることは前述したが、包接されたゲスト分子の脱離（徐放）にもまた水の存在が深くかかわっていることがわかる。これに関する分子論的な検討は行っていないが、包接されたゲスト分子と水分子との交換が起こるのではないかと考えられる。CD とゲスト物質の組合わせ、温度、関係湿度によって複雑に変化する徐放速度を解析するため、固気・固液系の反応速度解析に用いられる Avrami- Erofeev 式を用いた。

$$R = \exp\left[-(kt)^{n}\right] \qquad (1)$$

(1) 式中の R は粉末中の AICT の残存率、t は時間、k は徐放速度定数、n は徐放機構を表すパラメーターである。（18）式から、ln(-lnR)を lnt に対して点綴すると直線の傾きと切片から n と徐放速度定数 k が得られる。種々の温度および関係湿度条件下における徐放速度定数 k を、空気中の水蒸気濃度に対して点綴した結果を図 10 に示す。k は水蒸気濃度によって良好に相関されてい

る。またβおよびγ-CD の k はα-CD の k に比べて極めて低い値であるが、水蒸気濃度依存性はほとんど同じである。

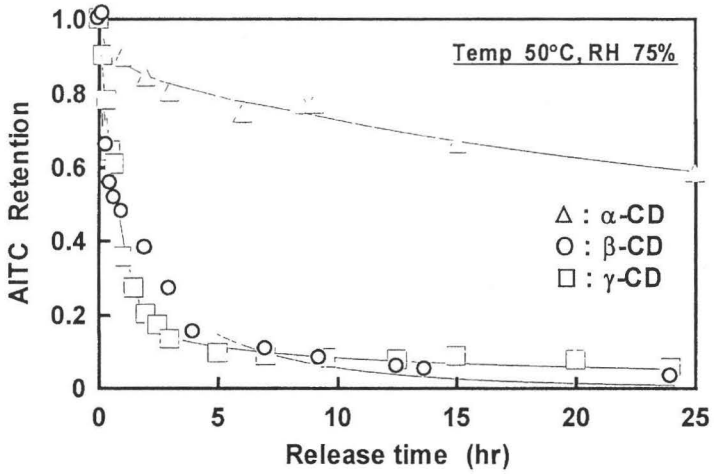


図８　AITC 分子包接フレーバーの徐放特性

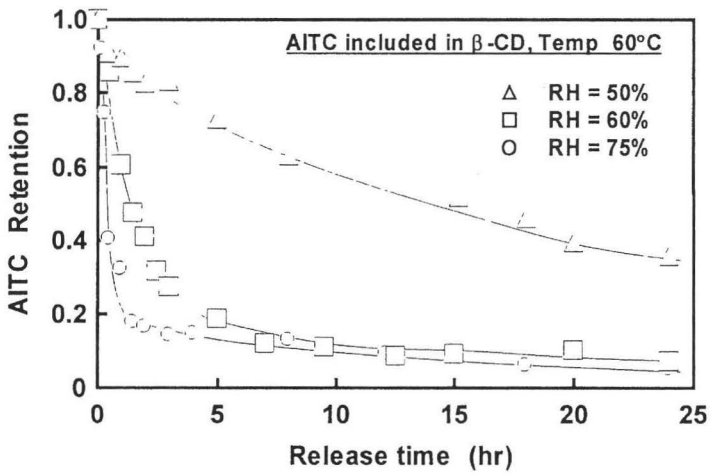


図９　分子包接フレーバーの徐放特性に与える湿度の影響

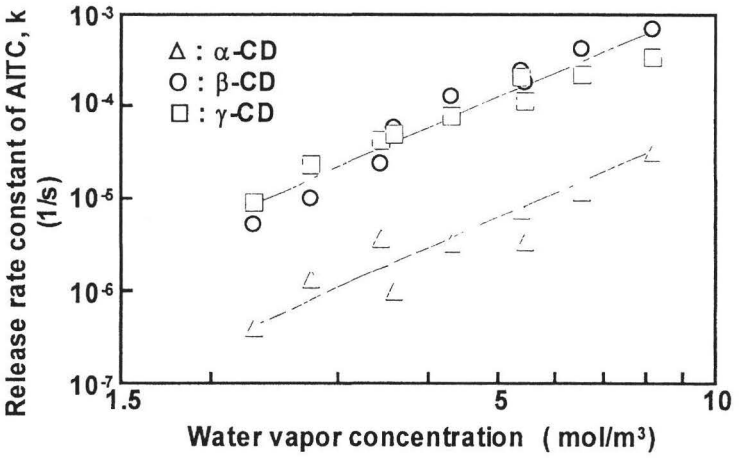


図 10　水蒸気濃度による徐放速度定数の相関

リモネン包接β-CD マイクロカプセル担持因州和紙壁紙からのリモネン徐放

リモネン包接β-CD マイクロカプセル（PLCD）を担持した因州和紙からのリモネン徐放速度を、図１１に示した装置で測定した。その徐放結果の一部を図 12 に示す。

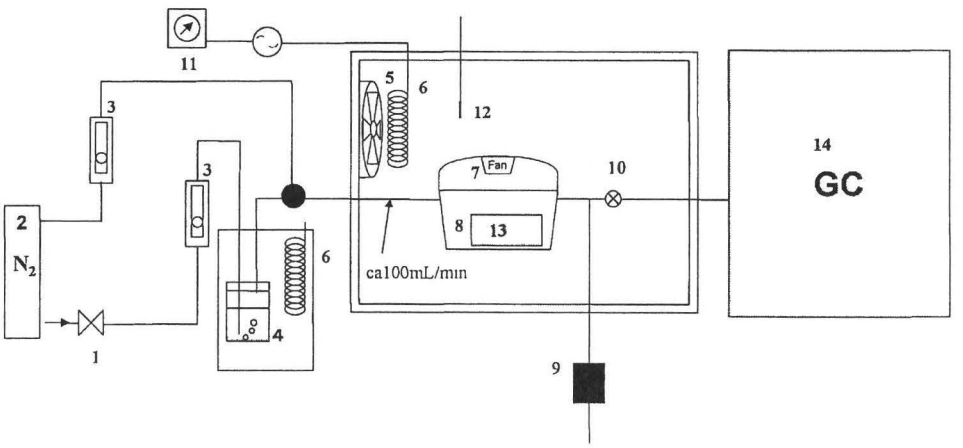


図 11　過渡応答法による和紙からの抗菌フレーバー徐放挙動測定装置

機械漉きで作製した因州和紙の湿度に応答してリモネン徐放速度が変化しており、湿度に応答して抗菌物質が徐放される因州和紙を作製することができた。このリモネンを、各種抗菌物質に変化させてその抗菌能について評価した。

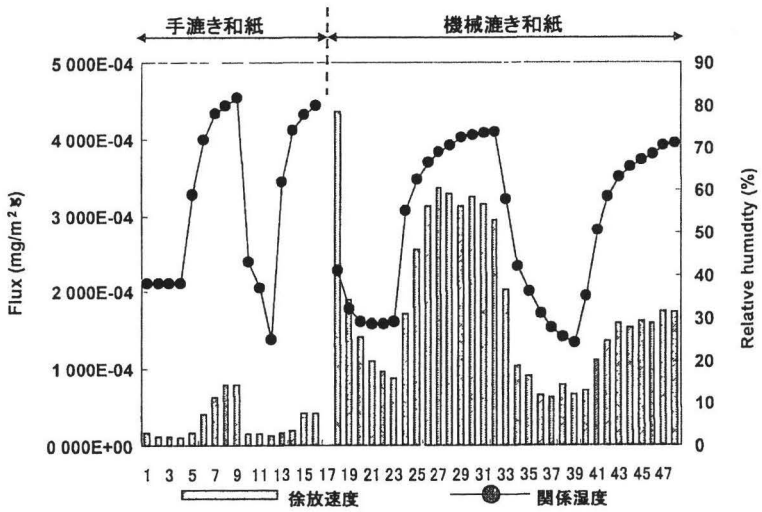


図. 12 AITC 包接 CD 粉体からの AITC 徐放挙動

抗菌香気物質を含むマイクロカプセルを、シクロデキストリンを基材として作製しその基本的特質について検討した。その結果、環境の湿度に応じた香気物質の徐放特性が明らかとなった。抗菌香気物質を、環境の湿度に応じて徐放する因州和紙壁紙を試作することができた。今後、湿度応答特性をより高度に制御するためのシステム構築、ならびに抗菌物質のシェルフライフの制御の検討を実施していきたいと考えている。

児童のアレルギー疾患と居住環境との関連についてのアンケート調査

東北大学大学院　工学研究科

教授　吉野　博

1. はじめに

近年，児童のアレルギー性疾患の有症率は全国的に上昇しているが，その原因には遺伝的要因や食物などの他，現代人が90%以上を過ごす[文1)]といわれている室内の居住環境の変化も無視できない。室内の居住環境では，各種建材，家具，家電製品，PC，生活用品や殺虫剤などから化学物質が発生しており，特に近年，VOCのみならず可塑剤，難燃剤などの添加剤に含まれるフタル酸エステルや有機リン酸などが発生しており，これらの物質と健康障害との関連性が指摘されている。また，建物の気密性の向上と不適切な換気計画が原因で室内の湿度が上昇し，それに伴い結露の発生や，カビ，ダニ，ゴキブリの微生物が繁殖しやすい環境に推移してきた。即ち，居住者は化学物質や微生物のようなアレルギー性疾患の誘発因子に対する曝露リスクが高くなったといえる。既に，スウェーデン，ブルガリア，中国等の国々では，大規模な疫学調査を企画・実施し，居住環境との関連への関心は国際的に非常に高まっている。

これまでに，居住環境とアレルギー性疾患や喘息に関する調査研究・報告例は国内でも見られるが，それらの既往研究では室内でのVOCsとカビ数の物理環境測定およびアンケート調査を行い，どの因子が優位に影響しているかについてのみ検討しているものが大半である。また，室内環境の形成に深く関わる断熱気密性や換気などの建物に関する調査項目が十分ではないため，建築的な観点からの防除策の提示には至っていない。

そこで本研究では，①建物の断熱気密性能，換気量，室内温湿度などの建築環境工学的視点を取り入れ，居住環境がアレルギー性疾患や喘息に与える影響を，疫学的な調査を通じて明らかにする，②得られた結果を基に居住環境に関連する健康リスク要因を明らかにし，最終的に我が国特有の建築的な防除策を体系的に整備する，ことを目的とする。

申請者らの研究グループでは大きな研究フレームを，Phase1～Phase3と3段階想定しており，Phase1でアレルギー性疾患の有病率調査，Phase2でPhase1の調査対象を患者群(ケース)と対照群(コントロール)に分けたケース・コントロール研究の手法を用いたアンケート調査，Phase3ではさらに対象を絞り込み，実測調査を計画した。なお，本申請はPhase2に対して行った。

現在まで，Phase1，Phase2 のアンケート調査を実施し，Phase3 の実測調査を進行している段階である。本報告書では，Phase1，Phase2 のアンケート調査の結果を中心に報告する。

2. 疫学的手法[注1)] に基づいた調査デザイン

本調査では，全国の小学4，5年生を対象とした大規模な調査を企画した。アレルギー性疾患は遺伝的要因や食物要因、環境要因が関係しているが、10歳前後の児童は最も体内のIgE工

大量（アレルギー性症状の発症と関連）が多く，環境要因に作用されやすいと言われている。そのため、本研究では、小学4、5年生を対象とした。

調査プロトコールは，スウェーデンで実施されている疫学調査(DBH)[文2)]を参考にしており，調査段階を踏むごとに調査対象を限定し，より詳細な内容を把握する。

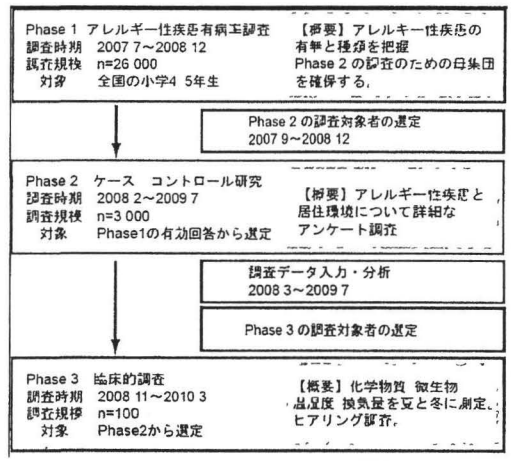


図2.1　調査の全体概要

図2 1に調査の概要を示す。調査は3つのPhaseから成る。Phase1ではアレルギー性疾患の有無と種類に関する全国規模のアンケート調査を行う（サンプル数約26000件）。Phase2はケース・コントロール研究と位置づけ，Phase1で得られた有効回答の中から3,000件程度の対象を抽出し，アレルギー性疾患と居住環境との関連について詳細なアンケート調査を行う。さらに，Phase3は臨床的調査とし，居住環境がアレルギー性疾患に及ぼす影響を検討するために，住宅の実態調査を行う。測定対象住宅はPhase2の調査結果に基づき選定する。調査項目は化学物質濃度や微生物量（カビ、ダニ等），温湿度，換気量などである。同時に生活行動やアレルギー性疾患等の症状に関するヒアリングも実施している。

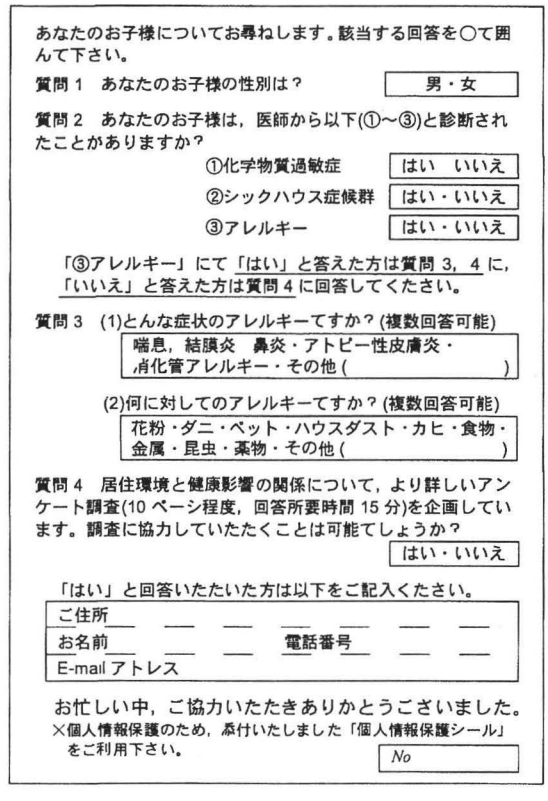
Phase1は2007年から開始し，順次アンケート用紙の配布・回収を行ってきた。またPhase2の対象住宅に対しては，2008年2月よりPhase1と平行してアンケート用紙を配布・回収をしてきた。Phase3はPhase1ならびにPhase2の調査結果を参照しながら，臨床的調査を計画し，居住環境がアレルギー性疾患に及ぼす影響を検討するために，住宅の実測調査を行った。2008年11月より調査を開始し，現在までに秋季，冬季，梅雨期の3つの時期で実測調査を実施してきた。

3．児童のアレルギー性疾患の実態調査（Phase1）

3.1　調査概要

Phase1 調査として，児童のアレルギー性疾患の有病率等の実態を把握する。調査対象は小学 4, 5 年生とし, 各都道府県の教育委員会と小学校に調査を依頼し，承諾を得られた小学校を通じて図 3 1 に示すアンケート用紙（返信用はがき）を配布する。

調査項目は図に示す通りであり，回答は対象児童の健康状態を熟知している保護者に依頼した。各疾患に関する回答は，医師の診断に基づくものに限ることとし，自らの判断での症状の


あなたのお子様についてお尋ねします。該当する回答を○で囲んで下さい。

質問 1　あなたのお子様の性別は？　男・女

質問 2　あなたのお子様は，医師から以下(①～③)と診断されたことがありますか？

①化学物質過敏症　はい　いいえ

②シックハウス症候群　はい・いいえ

③アレルギー　はい・いいえ

「③アレルギー」にて「はい」と答えた方は質問 3，4 に，「いいえ」と答えた方は質問 4 に回答してください。

質問 3　(1)とんな症状のアレルギーてすか？(複数回答可能)

喘息，結膜炎　鼻炎・アトピー性皮膚炎・消化管アレルギー・その他（　　）

(2)何に対してのアレルギーてすか？(複数回答可能)

花粉・ダニ・ペット・ハウスダスト・カヒ・食物・金属・昆虫・薬物・その他（　　）

質問 4　居住環境と健康影響の関係について，より詳しいアンケート調査(10 ページ程度，回答所要時間 15 分)を企画しています。調査に協力していただくことは可能てしょうか？

はい・いいえ

「はい」と回答いただいた方は以下をご記入ください。

ご住所

お名前　　電話番号

E-mail アドレス

お忙しい中，ご協力いただきありがとうございました。

×個人情報保護のため，添付いたしました「個人情報保護シール」をご利用下さい。

No

図 3.1　Phase1 アンケート用紙

申告は避けるよう周知した。

調査は 2007 年 7 月より北日本から順次実施し，2008 年 12 月まで継続して実施した。

3.2 配布数と回収率

表 3.1 に結果を示す。対象地域は，全国の各都道府県である。小学校への協力依頼は，全都道府県に対して実施したが，協力不可の県がいくつか見られる。アンケート用紙の配布数は比較的，北海道，東北，関東地域が多くなっており，西日本の小学校への配布数は少ない。配布数は全部で 26,438 件であり，回収数は 7,392 件，回収率は 28 0%である。このうち，2,651 人から Phase2 での詳細アンケート調査への協力を得た。

表 3.1 Phase1 の配布数と回収状況

ID	都道府県	地域区分	対象者(人)	回収数(件)	回収率(%)	Phase2 対象者(人)
1	北海道	北海道	881	182	20 7	58
2	青森県	東北	413	228	55 2	93
3	岩手県		573	215	37 5	75
4	宮城県		955	282	29 5	69
5	秋田県		3,165	689	21 8	248
6	山形県		1234	370	30 0	113
7	福島県		980	307	31 3	94
9	栃木県	関東	1,429	256	17 9	104
10	群馬県		567	170	30 0	52
11	埼玉県		1,688	570	33 8	247
12	千葉県		7,484	2,232	29 8	898
13	東京都		757	177	23 4	60
14	神奈川県		882	278	31 5	100
15	新潟県	東北	616	214	34 7	54
21	岐阜県	中部	138	40	29 0	17
22	静岡県		506	140	27 7	39
23	愛知県		644	208	32 3	53
27	大阪府	関西・中国	92	33	35 9	10
28	兵庫県		317	128	40 4	42
30	和歌山県		363	105	28 9	38
31	鳥取県		209	41	19 6	10
32	島根県		181	69	38 1	20
33	岡山県		35	13	37 1	3
34	広島県		359	67	18 7	22
35	山口県		87	24	27 6	10
36	徳島県		133	34	25 6	9
37	香川県		43	11	25 6	4
41	佐賀県	九州・沖縄	681	134	19 7	46
45	宮崎県		560	93	16 6	36
46	鹿児島県		279	63	22 6	24
47	沖縄県		187	19	10 2	3
計			26,438	7,392	28 0	2651

3.3 単純集計結果

今回は数が充足されていない県も含まれるため、表 3 1 に示すように 6 つの地域に分けて集計を行った。図 3 2 に Phase1 の集計結果を示す。

3.3.1 各疾患の有病率

各地域ともアレルギー性疾患の有病率が高く，全体では 49 9%となり，2 人に 1 人が何らかのアレルギー症状を有していることになる。一方，化学物質過敏症やシックハウス症候群の有病率は相対的に低いが，これらの症状は診断が難しいことが理由の一つであると考えられる。

3.3.2 アレルギー性疾患の症状別有病率

症状別で見ると，各地域とも「アレルギー性鼻炎」の有病率が最も高く，次いで「喘息」や「アトピー性皮膚炎」の割合が高い。アレルギー性鼻炎の有病率は中部地方で 39.5%と最も高く，その他の地域でも 30%前後で推移しており，全体で 33 4%となった。喘息は医学的に西日本の方が東日本よりも有病率が高くなる傾向が指摘されているが，今回の調査では地域性による有病率の違いは認められない。その他の症状も，地域によりばらつきがあるが，地域性は明確でない。

今回得られた症状別の有病率の結果を文部科学省により実施された「アレルギー疾患に関する調査研究」（2004年度公立学校全数調査）[注2)文4)]や過去に実施されたアレルギー性疾患有病率調査と比較する。文部科学省の調査では，主な症状は各都道府県とも10%前後であり，本調査の方が各症状とも有病率は高くなっている。この理由として，問題意識の高い者の方が回答した可能性があり，バイアスによる影響があると推察される。しかし，本調査でのPhase1の位置づけは，Phase2の対象を抽出するための事前調査とする意味合いが強いため，このような差異については深く追求していない。

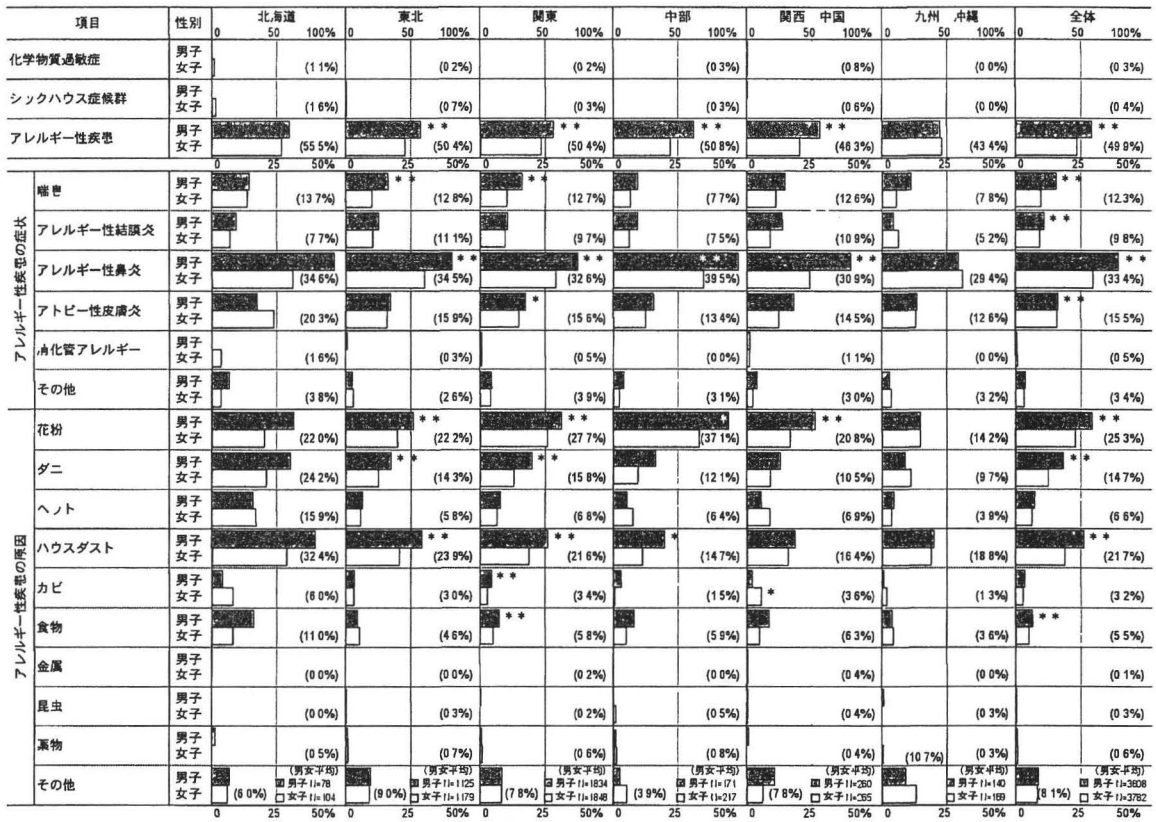


図 3.2　Phase1 の単純集計結果(**:p<0.01,*:p<0.05)

3.3.3 アレルギー性疾患の原因

各地域ともアレルギー性疾患の原因として，「花粉」をあげる割合が高く，全体の 2 割程度の児童が花粉による健康影響を訴えており，特に中部地方で花粉を原因にあげる割合が 37.1％と非常に高い。次いでハウスダストを原因にあげる割合が高く，北海道（32.4％），東北（23.9％），九州・沖縄（18 8％）では，花粉よりハウスダストを原因にあげる割合の方が上回っているため、アレルギー性疾患の原因物質として室内中のハウスダストは無視できないことがわかる。ハウスダストには、ダニやカビなどの微生物、SVOC が含まれていると推察され，これらが何らかの影響を及ぼしている可能性が示唆される。

3.4　男女差の検定

化学物質過敏症，シックハウス症候群，アレルギー性疾患，アレルギー性疾患の各症状，アレルギー性疾患の原因について男女差で χ^2 検定を行った。

アレルギー性疾患の有病率は，女子よりも男子の方が高い傾向にあり，東北，関東，中部，関西・中国で男子の方が女子よりもアレルギー性疾患を発症する割合が有意に高い。全体で見ても男子 55.3％，女子 44 8％と男子の方が有意に高くなり，これは一般的に指摘されていることと照合している。

症状別における男女差の検定の結果では，喘息が東北，関東で有意に男子の方が女子よりも有病率が高い。これは医学的な見地からも喘息の有病率は男子のほうが高いことが知られており，本調査でも同様の結果が得られた。その他の地域でも，有意差は認められないが男子の方が高くなる傾向を示した。またアレルギー性鼻炎についても，東北，関東，中部，関

西・中国で有意差が見られた。特に中部の男子のアレルギー性鼻炎の有病率が46 8%と非常に高い。全体で有意差が見られた症状は，喘息，アレルギー性結膜炎，アレルギー性鼻炎，アトピー性皮膚炎でいずれも，男子の方が症状を有している割合が有意に高いという結果が得られた。

表４１　アンケートの配布数と回収数

ID	都道府県名	地方区分	配布数	回収数	回収率
1	北海道	北海道	58	32	55 2%
2	青森県	東北地方・新潟県	86	58	67 4%
3	岩手県		75	45	60 0%
4	宮城県		81	57	70 4%
5	秋田県		246	170	69 1%
6	山形県		111	73	65 8%
7	福島県		74	39	52 7%
9	栃木県	関東地方	103	59	57 3%
10	群馬県		53	26	49 1%
11	埼玉県		206	137	66 5%
12	千葉県		863	538	62 3%
13	東京都		69	47	68 1%
14	神奈川県		103	78	75 7%
15	新潟県	東北地方・新潟県	53	37	69 8%
21	岐阜県	東海地方	17	9	52 9%
22	静岡県		41	31	75 6%
23	愛知県		56	38	67 9%
27	大阪府	関西・中国・四国地方	12	9	75 0%
28	兵庫県		42	23	54 8%
30	和歌山県		46	34	73 9%
31	鳥取県		10	6	60 0%
32	島根県		20	15	75 0%
33	岡山県		2	2	100 0%
34	広島県		22	16	72 7%
35	山口県		10	7	70 0%
36	徳島県		9	7	77 8%
37	香川県		4	3	75 0%
41	佐賀県	九州・沖縄地方	41	35	85 4%
45	宮崎県		36	23	63 9%
46	鹿児島県		22	9	40 9%
47	沖縄県		3	1	33 3%
合計			2574	1664	64 6%

4. ケース・コントロール研究（Phase2）

4.1　調査概要

調査は，Phase1 にて Phase2 のアンケートに協力可能かを尋ね，承諾が得られた居住者へ2008年4月よりアンケート用紙を送付した。表 4 1 にアンケート用紙の配布数と回収数を示す。配布先は都道府県ごとに示しているが，地域によりばらついており，均等には配布していない。本報では，表中の「地域区分」に示すように 6 つの地域に分け集計を行った。2009年 9 月上旬の有効回答数は 1664 件（回収率 64 6%）である。回収分の児童の性別は、男子：811 人、女子：853 人となっており、女子の割合が若干高い。

表 4.2　Phase 2 の主な調査内容

調査の分類		調査項目	
個人属性		性別	出生順位
		授乳期の栄養	アレルギー歴
健康状態		児童の体調不良症状	アレルギー性症状
		医師の診断による既往症	同居家族の体調不良症状
		持続性の咳やたん，気道過敏症，喘息様症状等の呼吸器系症状	
		湿疹 アトピー 花粉症様症状などのアレルギー症状	
居住環境	周辺環境	・周辺環境の特徴	周辺の施設
	住宅属性	住宅構造	・部屋の広さ，仕上げ材
		・床面積	・開口部の構成
		・暖冷房設備	換気設備
	室内環境	・カビ，ダニの発生状況	・ペットの有無
		・掃除の頻度	防虫剤等の使用状況
		喫煙状況(喫煙者の有無，一日の喫煙本数)	

表 4 2 に主な調査項目を示す。調査項目は児童の個人属性，健康状態，住宅属性，室内環境に関連する内容である。また，遺伝的要因と区別するために，家族のアレルギー体質に関する項目を設けた。児童の呼吸器・アレルギー性疾患の調査項目として，「持続性のせき」「持続性のたん」「喘鳴」「花粉症様症状」「気道過敏症」「喘息様症状（既往）」「喘息様症状（現在）」「アレルギー性疾患（現在）」「アレルギー性疾患（既往）」を取り上げた。各症状の判別は，環境庁版の ATS-DLD 調査票準じた質問項目を設け，いくつかの質問の回答の組合せにより行う。アンケート用紙作成においては，スウェーデンで実施されている疫学調査（DBH）[文3)]にて用いられているアンケートを参考にしている。

4.2 単純集計結果（湿度環境と児童のアレルギー性症状）

図4 1に単純集計結果のうち，湿度に関わる項目を示す。居間の湿気では，北海道で「乾燥ぎみ」の割合が高いのに対し，東北地方以南では，「特に感じない」の割合が高い。居間の結露においては，各地域とも「窓・サッシ」が60～80％となっている。東北地方・新潟県では，

他の地域に比べ，「窓・サッシ」以外にも結露が生じているという回答が見られた。また，「結露しない」割合は地域ごとの差が見られず，50％程度の住宅では程度に差があるものの結露が発生しているようだ。居間のカビの発生では，各地域で「窓・サッシ」が多く，40％程度となっており，「発生しない」割合も40～60％であった。

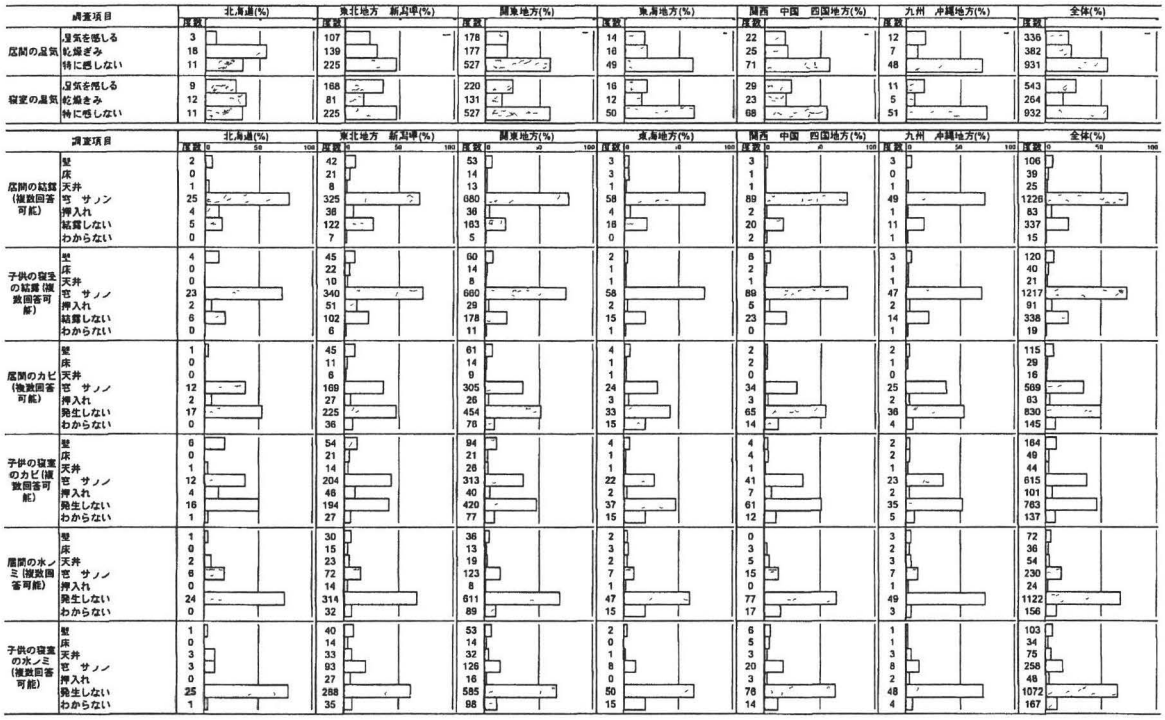


図4.1　Phase2単純集計結果（湿度環境）

図 4.2 に単純集計結果のうち，児童のアレルギー性症状についての結果を示す。「何らかのアレルギー性症状(既往)」がある児童は，九州・沖縄地方を除く地域で 70％程度である。「何らかのアレルギー症状(現在)」についても北海道を除く地域で 50％程度であり，過半数の児童にアレルギー症状が見られる。

アレルギー性症状では，「花粉症様症状」が北海道で 40%，東北地方以南では 50%を超えており，特に関東地方では 60%となっている。

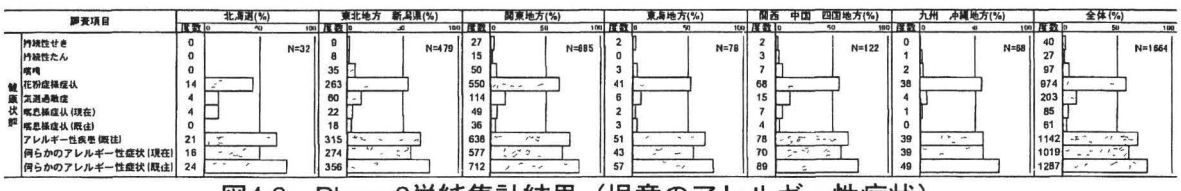


図4.2　Phase2単純集計結果（児童のアレルギー性症状）

4 3　単変量解析

4.3.1　解析方法

アレルギー性疾患には，遺伝的要因や環境的要因など様々な要因が複合して影響しているが，本調査の質問項目の各要因がどの程度症状に寄与しているのかを検討するためには，交

絡因子の影響を取除いた上で解析を行う必要がある。それぞれの居住環境に関連する要因とアレルギー様症状の「症状あり群」と「症状なし群」についてクロス集計を行い，表 4.2 の個人属性，住宅属性，室内環境を要因とした単変量解析により「症状なし群」に対する「症状あり群」の発症リスクであるオッズ比[α 3)]を算出し，各要因の影響の程度を明らかにする。

その後，各症状に対する独立した要因を検討するため，χ^2 検定の結果で有意確率 p<0.2 であった要因を共変量として，児童の個人属性（性別：男子/女子、父親及び母親のアレルギー：あり/なし）で調整したロジスティック回帰分析（変数減少法）[α 4)]を行い，標準化回帰係数と調整オッズ比，95%信頼区間を算出した。今回は，症状として「花粉症様症状」「気道過敏症」「喘息様症状（現在）」の 3 症状を解析対象として取り上げた。結果を表 4.3~表 4.5 にそれぞれ示す。なお解析には SPSS Japan Inc の統計ソフト SPSS for Windows Ver 16 を使用した。

4.3.2 解析結果

(a) 花粉症様症状

表 4.3 に花粉症様症状に及ぼす要因に対する多変量解析の結果を示す。住宅形式では「戸建住宅」に対して「集合住宅（木造）」「集合住宅（RC）」のオッズ比がそれぞれ 2.40（p<0.05），1.51（p<0.01）と有意に 1 以上となった。逢坂ら[文 5)]は，1984 年 6~7 月にかけて，東京都の小学生を対象に，気管支喘息やアレルギー性鼻炎の代表的なアレルゲンであるダニ IgE 抗体陽性比率を住宅構造別に調査した。その結果，単変量解析により，その比率は木造住宅よりも，気密性の高い鉄骨・

表 4.3　花粉症様症状に関する多変量解析の結果

要因			花粉症様症状				
			偏回帰係数	オッズ比	調整オッズ比	95%信頼区間 下限	95%信頼区間 上限
個人属性	性別	男/女	0.53	1.74 ***	**1.71** ***	1.38	2.11
	父親のアレルギー	あり/なし	0.59	1.99 ***	**1.81** ***	1.47	2.24
	母親のアレルギー	あり/なし	0.85	2.44 ***	**2.33** ***	1.87	2.92
住宅属性	住宅形式	集合住宅(木造)/戸建住宅	0.88	2.05 *	**2.40** *	1.22	4.71
		集合住宅(RC)/戸建住宅	0.41	1.45 **	**1.51** **	1.17	1.96
	開放型暖房機 寝室	あり/なし	0.01	1.18	1.01	0.77	1.33
	換気設備の運転状況	換気設備+常時運転/設備なし	0.31	1.13	**1.36** *	1.00	1.84
		換気設備+間欠運転/設備なし	0.17	1.04	1.18	0.88	1.59
		換気設備+停止/設備なし	-0.26	0.79	0.77	0.52	1.16
室内環境	カビ 窓 サッシ以外	両室発生/発生しない	0.32	1.08	1.38	0.62	3.08
		一室発生/発生しない	-0.39	0.72	0.68	0.45	1.03
	水シミの発生	両室発生/発生しない	0.28	1.37 *	1.32	0.96	1.82
		一室発生/発生しない	0.19	1.14	1.21	0.87	1.69

決定係数 R^2=0.074　有意確率 *** p<0.001 ** p<0.01, * p<0.05

表 4.4　気道過敏症に関する多変量解析の結果

要因			気道過敏症				
			偏回帰係数	オッズ比	調整オッズ比	95%信頼区間 下限	95%信頼区間 上限
個人属性	性別	男/女	0.49	1.47 *	**1.62** **	1.17	2.25
	父親のアレルギー	あり/なし	0.53	1.94 ***	**1.70** **	1.21	2.39
	母親のアレルギー	あり/なし	0.56	1.99 ***	**1.75** **	1.19	2.58
住宅属性	周辺地域	耕作地域/住宅地域	-0.11	1.08	0.89	0.58	1.38
		工業地域/住宅地域	0.74	2.26 **	**2.09** *	1.12	3.91
		商業地域/住宅地域	-0.08	1.24	0.92	0.52	1.63
		耕作+工業地域/住宅地域	0.31	1.31	1.37	0.38	4.89
	換気設備の運転状況	換気設備+常時運転/設備なし	-0.35	0.58 *	0.71	0.43	1.17
		換気設備+間欠運転/設備なし	-0.03	0.98	0.98	0.63	1.51
		換気設備+停止/設備なし	0.08	1.01	1.08	0.61	1.92
室内環境	カビ 窓・サッシ以外	両室発生/発生しない	1.06	2.47 *	**2.88** *	1.07	7.76
		一室発生/発生しない	0.29	1.10	1.34	0.72	2.50
	水シミの発生	両室発生/発生しない	0.84	2.39 ***	**2.33** ***	1.56	3.46
		一室発生/発生しない	0.03	1.13	1.03	0.61	1.72
住まい方	除湿器 寝室	あり/なし	0.62	1.90 **	**1.86** **	1.16	3.00
	小鳥の飼育	あり/なし	1.36	2.56 *	**3.90** ***	1.69	8.99

決定係数 R^2=0.087　有意確率 *** p<0.001, ** p<0.01 * p<0.05

表 4.5　喘息様症状に関する多変量解析の結果

要因			喘息様症状(現在)				
			偏回帰係数	オッズ比	調整オッズ比	95%信頼区間 下限	95%信頼区間 上限
個人属性	性別	男/女	0.26	1.25	1.30	0.80	2.12
	父親のアレルギー	あり/なし	0.52	1.73 *	**1.67** *	1.01	2.78
	母親のアレルギー	あり/なし	0.33	1.60	1.39	0.79	2.44
周辺環境	周辺地域	耕作地域/住宅地域	0.50	1.74 *	1.65	0.91	3.01
		工業地域/住宅地域	1.37	4.53 ***	**3.94** ***	1.73	8.99
		商業地域/住宅地域	-0.03	1.28	0.97	0.39	2.44
		耕作+工業地域/住宅地域	0.25	1.21	1.28	0.15	11.09
住宅属性	寝室の広さ	～4.5畳/8畳～	-0.82	0.48	0.44	0.12	1.65
		4.5畳～6畳/8畳	-0.39	0.60	0.67	0.36	1.27
		6畳～8畳/8畳	-0.81	0.42 **	**0.44** *	0.23	0.84
	換気設備の運転状況	換気設備+常時運転/設備なし	-0.24	0.83	0.79	0.38	1.65
		換気設備+間欠運転/設備なし	0.02	1.41	1.02	0.54	1.92
		換気設備+停止/設備なし	-0.43	0.76	0.65	0.24	1.77
室内環境	カビ 窓・サッシ以外	両室発生/発生しない	0.86	4.31 **	2.35	0.68	8.13
		一室発生/発生しない	0.23	1.27	1.26	0.50	3.19
	水シミ	両室発生/発生しない	0.95	2.56 ***	**2.59** ***	1.45	4.60
		一室発生/発生しない	0.04	1.17	1.04	0.46	2.36
	ダンスの防虫剤	あり/なし	-0.73	0.52 **	**0.48** **	1.39	6.79
	居間 防臭剤	あり/なし	1.12	2.03	**3.07** **	0.30	0.78
	寝室 加湿器	あり/なし	0.69	2.60	**1.99** *	1.06	3.74
	寝室 テレビ	あり/なし	0.56	1.96 **	**1.75** *	1.07	2.88

決定係数 R^2=0.142　有意確率 *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05

鉄筋住宅の方が有意に高いと報告している。一方で東ら[文6]が行った埼玉県における居住環境とアレルギー疾患の関連に関する調査では，「木造住宅」であることが「この1年間の呼吸器症状あり」に有意に影響を及ぼしていた。「結露」も集合住宅の方が発生しやすいことが知られており，気密性が高いため，換気が不十分であると室内に停留した汚染物質が屋外に排出されにくくなる。そのため，一度高湿度環境が形成されると適切に湿度管理をすることが非常に重要となる。高湿度環境や結露の発生は，微生物汚染を促し結果として症状の発症リスクを高めたものと考えられる。

その他換気設備について「設備なし」に対して「換気設備＋常時運転」している場合，OR=1 36（p<0.01）と花粉症様症状の発症を高めるリスクとして有意であった。その他，周辺環境やカビといった花粉症様症状の発症に関連がありそうな要因については，多変量解析の結果で有意差は見られなかった。

（b）気道過敏症

表4 4に気道過敏症に及ぼす要因に対する多変量解析の結果を示す。周辺環境では「工業地域」に属する児童は，症状を発症するリスクがOR=2 09と有意に1以上となった。近年の大気汚染は，浮遊粒子状物質（SPM）や窒素酸化物などを主体とした移動発生源汚染に移行しつつあり，近年の研究で呼吸器症状の有症率の分布は，農村よりも大都市，非沿道よりも沿道の方が発症する割合が高いことが報告されている。今回の調査では単変量解析，多変量解析ともに「幹線道路」の近くに住む児童が，住まない児童と比較して有意差は見られず，症状の発症とは影響しないという結果になった。しかしながら，工業地域の近くに住む児童は，呼吸器系疾患を発症するリスクが高いことが示されたことから，大気汚染等が児童の健康に何らかの影響を及ぼしている可能性が示唆された。

室内環境について，カビや水シミが「両室発生」している場合，発生していない住宅と比較して，それぞれオッズ比が2.88（p<0 05），2 33（p<0.001）と症状の発症に与える影響が非常に大きい。これらの問題はDampnessとして海外の研究でもカビや水シミが呼吸器やアレルギー疾患の発症と関係があることが報告されている[文7) 8)]が，本調査でも居間と子供の寝室の両方でカビや水シミが発生している場合，児童の健康に与える影響の強さが見られた。

居住者の住まい方では，寝室に「除湿器」が置いている住宅の方が，オッズ比が1 86と有意に1以上である。除湿器を置いている住宅の居住者は，普段から高湿度環境であることを意識しており，その改善策として除湿器を設置していると考えられる。除湿器自体が児童の健康に影響を及ぼしているというよりはむしろ，湿気に関わる生活環境が影響していると考えられる。

また，ペットとして「小鳥」を室内で飼育している住宅に居住している児童の気道過敏症を発症するオッズ比が，3 90（p<0 001）となり標準化回帰係数からも最もこの症状に影響を及ぼしている要因となった。

（c）喘息様症状（現在）

表4.5に，喘息様症状（現在）に及ぼす要因に対する多変量解析の結果を示す。周辺環境では，気道過敏症と同様に「工業地域」に属する児童の発症リスクOR=3.94（p<0.001）と有意に高い。喘息や気道過敏症などの呼吸器系疾患に周辺環境が与える影響が大きいことが改め

て指摘できる。

居室の広さでは，寝室の広さが8畳以上と比較して「6~8畳」に住む児童の発症リスクが0 44（p<0 05）と有意に1より小さい。吉野ら[文9)]の調査によると，部屋が狭くなるほど児童のアレルギー発症リスクが高くなる傾向を示したと報告している。本調査でも部屋が狭い方ほど発症リスクが低減したが，これはダニやカビなどのアレルゲンは居室が広くなると同時に増加し，部屋が広くても濃度が希釈されることなく曝露量のみが増加するからではないかと考えられる。

暖房の運転状況や換気設備で症状の発症に有意な差は見られなかった。室内環境では，カビの発生で有意差は見られなかったが，水シミが「両室発生」の場合，発生していない住宅に居住する児童よりも発症リスクが2.59（p<0 01）と有意に症状に影響を及ぼしている。

居住者の住まい方に関して，「タンスに防虫剤」を使用している住宅の方が症状の発症リスクが小さく，居間で「防臭剤」，寝室で「加湿器」を使用している住宅の方が，児童の発症リスクに与える影響がそれぞれ3 07（p<0.01），1 99（p<0 05）となった。これらに関しては，この製品から出る化学物質や機器が健康に影響を与える要因も考えられる。防虫剤や防臭剤には，人体に有害な化学物質が含まれている場合があり，使用には注意が必要である。一方で，居住者の児童がアレルギー症状を持つため，その親がにおいや湿気に対してより配慮している結果だとも考えられる。

寝室に「テレビ」がある児童の方が，症状を発症するリスクが高い（OR=1.75（p<0 05））。テレビやパソコンなどの電子機器類には，プラスチック製品が多く使用されており，化学物質が放散されることも知られている。近年の海外の研究[文3)]では，プラスチックに含まれる可塑剤の一部が呼吸器やアレルギー疾患の発症に関連性が見られると報告されている。一方で，ハウスダスト中に含まれるフタル酸エステル類が，シックハウス症候群やアレルギー性疾患の原因の一つだと考えるには無理があり，種々の原因の最終段階として考えるべきとの報告もある[文10)]。本調査でも，周辺機器を含めテレビが何からの影響を症状に与えているものと推測されるが，今後より詳細に検討していく必要がある。

5.まとめ

児童のアレルギー性疾患の有症率が全国的に上昇していることを背景に，居住環境との関連性を明らかにするために，疫学的な調査デザインを行い，全国規模の調査を実施した。本研究報告では，児童のアレルギー性疾患の種類と有病率を把握するため調査（Phase1），ケース・コントロール研究に基づく調査（Phase 2）の分析・考察を行い，以下の知見が得られた。

1．Phase1

① 全国的にアレルギー性疾患の有病率は高く，全体で 49 9％であった。また症状別に見ると，アレルギー性鼻炎の有病率が高く，次いでアトピー性皮膚炎や喘息の割合が高かった。しかし，本調査では各症状において地域性は認められなかった。

② 男女差の検定では，アレルギー性疾患の割合は男子の方が女子よりも有意に高く，症状別でも喘息やアレルギー性鼻炎などで，有意差が見られ男子の方が発症する割合が高い

ことが確認できた。

③ アレルギー性疾患の原因として花粉，ハウスダスト、ダニの割合が高く，微生物の影響が無視できないことがわかった。

2. Phase2

① 単純集計結果より，居間の湿度環境において「窓・サッシの結露」が各地域で 60％を超えており，地域に関わらず多くの住宅で結露が生じている。また、室内の「カビ」の発生も窓・サッシで 4 割近くとなり、多くの住宅で居住者がカビの発生を認識していることがわかった。

② 単純集計結果より，「何らかのアレルギー症状(既往)」を持つ児童が 60％程度である。また，アレルギー症状として「花粉症様症状」の割合が，北海道に比べ東北地方以南で高くなっている。

③ 単変量解析より，児童のアレルギー性疾患は室内環境要因に関連性があることが示唆された。特に，湿気が多い状態における「結露」や「カビの発生」が，各症状に有意な関連性を示しており，アレルギー性疾患の発症に何らかの影響を及ぼしている可能性が示唆される。

④ 多変量解析の結果では，周辺環境で「工業地域」が呼吸器系疾患の発症リスクを高める要因として有意であった。

⑤ 多変量解析より，児童のアレルギー性疾患は室内環境要因に関連性があることが示唆された。特に，湿気が多い状態における「結露」や「カビの発生」が，各症状に有意な関連性を示しており，アレルギー性疾患の発症に何らかの影響を及ぼしている可能性が示唆される。

【注】

1) 疫学的調査では，一定規模の母集団を対象としたアンケート調査等の結果を統計的に分析することにより結論を導く手法をとることが多い。

2) 文部科学省は，児童および生徒のアレルギー疾患の実態と，疾患ごとの学校における取り組みの現状を調査している。対象は,全国の公立小学校，中学校，高等学校 36,830 校，12,773,554 人である。

3) オッズ比とは，ある事象の起こる確率と起こらない確率の比をいう。単変量解析で得られるオッズ比を調整しないオッズ比（単にオッズ比と呼ぶことが多い），多変量ロジスティック回帰分析で得られたオッズ比は，交絡因子を考慮して得られた調整されたオッズ比として，オッズ比と区別するために「調整オッズ比」と呼ぶ。

4) 多変量解析の場合，有意確率が 0 15 の独立変数が合っても，多変量解析で交絡因子を調整すると，有意差が得られる場合がある。そのため，多変量解析のモデルに変数を組み込む際は，有意確率の基準は一般に大きくとる。

【参考文献】

1) 池田耕一，塩津弥佳，吉澤晋，野崎淳夫：生活時間調査による屋内滞在時間と活動量、室内空気汚染物質に対する曝露量評価に関する基礎的研究　その１，日本建築学会計画系論文集，第 511 号，pp 42-52，1998

2) C.G.Bornehag, J Sundell, T Sigsgard : Dampness in buildings and health . Report from an ongoingepidemiological investigation on the association between indoor environmental factors and health effects among children in Sweden, Indoor Air 2004; 14, pp.59-66, 2004.

3) C.G.Bornehag , J.Sundell , Ch.JWeschler, T Sigsgaard, B Lundgren, M Hasselgren, L Hagerhed-Engman : The Association between Asthma and Allergic Symptoms in Children and Phthalates in House Dust A Nested Case-Control Study , Environmental Health Perspectives, vol 112, pp 1393-1397, 2004

4) アレルギー疾患に関する調査研究委員会：アレルギー疾患に関する調査研究報告書，文部科学省，2007 年 3 月

5) 逢坂文夫他：学童における血清ダニ IgE 抗体と居住環境との関係の研究（第 1 報）住宅環境との関係について、日本公衆衛生誌 32-1、pp 731-737、1985

6) 東賢一，塩津弥佳，池田耕一：埼玉県における居住環境とアレルギー疾患の関連性に関する調査研究，日本建築学会環境系論文集，第 584 号，83-90，2004 10

7) MS Zuraimi, K W. Tham, FT Chew and PL Ooi : Housing Characteristics and young children' s respiratory health in tropical Singapore, Healthy Buildings 2006, pp 161-163, 2006.

8) U Haverinen-Shaughnessy, J Pekkanen, A Hyvarinen, A Nevalainen, T.Putus, M.Korppi, D Moschandreas, Children' s homes-determinants of moisture damaged and asthma in Finnish residences, Indoor Air 2006, No.16, pp 248-255, 2006

9) 吉野博，北條祥子，高田美紀，角田和彦：宮城県の児童を対象とした生活環境と健康障害との関連についての調査研究，日本建築学会環境系論文集，第 558 号，87-94，2002 8

10) 財団法人　日本公衆衛生協会：シックハウス症候群の関する相談と対策マニュアル，2009.9

ハウスダストの鉛汚染と室内汚染源

東京大学新領域創成科学研究科

准教授 吉永 淳

1 本研究の背景と目的

室内環境の化学物質汚染としてこれまで注目されてきたのは、アルデヒドやトルエン等揮発性の有機化合物による室内空気汚染であった。しかしながら、不揮発性化学物質としてハウスダストに含まれる室内化学汚染物質にも目を向けるべきであると考える。たとえばわれわれは、日本人の鉛摂取量の約半分がハウスダストに由来する可能性を見いだした(Aung et al., 2004)。鉛は低いレベルであっても、小児の知的発達を障害する重金属として注目を集めている。欧米では幼児期の鉛曝露によって、学童期の小児の落ち着きがなくなり、小学校での成績や素行に影響を及ぼし、さらには長じてからの中退・非行問題とも関連していることが報告されており、わが国でも内閣府食品安全委員会において平成 20 年度より鉛のリスク評価が行われている。

そこで本研究では、日本の一般家庭から採取したハウスダストを対象にして、実体顕微鏡によるダストの形態観察と化学分析法による鉛分析を行い、ハウスダストの組成などの基礎的データを採るとともに、ハウスダスト中の何が鉛を多く含むのかを突き止める。一方、ハウスダストの元素組成やその他の情報を元に、統計学的な手法を用いてハウスダスト中鉛の起源を推定する。その結果を基に、ハウスダスト管理による小児期の鉛曝露レベルの低減化対策について提言を行うことを目的とした。

2. 研究の方法

(1) 調査1

首都圏の一般家庭 10 世帯に家庭用掃除機ごみの提供を依頼した。得られたごみ試料はふるいを用いて粒径ごとに 7 分画(>2 mm; 1-2mm; 500 μm-1mm, 250-500μm; 100-250μm; 53-100μm; <53μm)し、2mm 以下の 6 画分をハウスダストとした。粒径ごとのハウスダスト試料は、①混酸(HNO_3/$HClO_4$/HF)分解-ICP 発光法/ICP 質量分析法による鉛など多元素分析、②実体顕微鏡/走査型電子顕微鏡(SEM)観察、および鉛濃度の高い画分については、③局所蛍光 X 線分析(XRF)を行った。

(2) 調査 2

首都圏の一般住宅を対象に家庭用掃除機ごみの提供を依頼した。依頼したのは、同じ集合住宅の建物のなかの異なる世帯(部屋)や、同じハウスメーカーによる隣り合った建て売り住宅など、建物(=建材)や地理的条件の同じ、9 箇所(棟)27 世帯である。得られたごみ試料のうち、250μm のふるいを通過したもののみをハウスダスト試料として分析に供した。試料は混酸(HNO_3/$HClO_4$/HF)分解-ICP 発光法/ICP 質量分析法による鉛など多元素分析を行い、建物内・建物間変動を計算した。

3. 結果と考察

(1) ハウスダストの組成

わが国の一般家庭に関する情報は極めて乏しい。図 1 に調査 1 で対象とした 10 世帯のハウスダスト(<2 mm の粒径のみ)の粒径別重量組成を示した。図中 unknown としたのは、頭髪、繊維くずのような繊維状のごみがからまりあった糸玉様のもので、確かな粒径が不明だったものである。この繊維状が 30%を占め、それ以外の各粒径は約 10%で、もっとも微細な粒径のダストが 20%と他の約 2 倍であった。

これらハウスダストのなかにどのようなものが含まれているのか、粒径ごとに実体顕微鏡および SEM による観察を行った。粒径 100μm 以下になると実体顕微鏡ではほとんど同定は不可能であった。形態からだけではそれらの物体が何であるかは、いくつかの例外を除くと同定が困難であった。

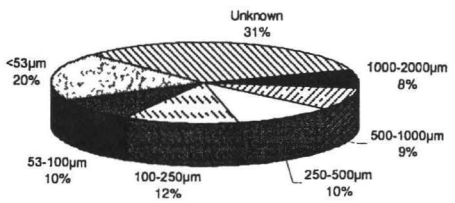


図 1 ハウスダストの粒径別重量比

各粒径の物体をすりつぶし、X 線回折(XRD)や蛍光 X 線分析法(XRF)によって分析した結果と、形態観察の結果とを併せて、一般家庭のハウスダストに含まれるものの同定を行った結果を表 1 にリストアップした。粗大粒子側には小石などのほか建材等の無機物、食物・植物・昆虫などの生物起源のものなど多種多様なものが見いだされている。250μm 以下になると同定された物質はほとんどなかった。

表 1 首都圏 10 世帯のハウスダストから同定された物質リスト

粒径分画(μm)	ハウスダスト組成
1000~2000	人の爪・皮膚片、植物片、食物片、畳破片、木屑、プラスチック片、塗料片+、鉱物(長石*等)、建材(石膏*)、シリコンゴム+、骨+、無機物*($CaCO_3$)、紙片、発泡スチロール片、ビニール片、消しゴムカス、ガラス破片等
500~1000	NaCl*、節足動物の他、プラスチック片・塗料片・葉片・木屑・鉱物等の 1000~2000μm の物質がさらに細かくなった物質等
250~500	ダニ、NaCl*の他、500~1000μm の物質がさらに細かくなった物質等
100~250	ダニの他、250~500μm の物質がさらに細かくなった物質等
53~100	100~250μm の物質がさらに細かくなった物質も観察されたが、全てを明確にすることは困難
<53	組成を明確にすることは困難
その他	繊維 (カーペット、頭髪、ペットの毛など)

＊ XRD や XRF によって同定。

(2) ハウスダスト中鉛濃度

調査 1 で対象とした 10 世帯のハウスダストで、(1)のように 6 粒径に分粒したものを酸分解し、ICP 質量分析法で鉛濃度を測定した。その結果を図 2 に示した。全体として鉛濃度の世帯間のばらつきは大きかったが、とくに粗大画分でばらつきが大きかった。また、全体の傾向として粒径の小さいハウスダストほど鉛濃度が高かった。これは粒径が小さいほど比表面積が大きくなり、鉛のような汚染物質の場合、粒子表面に吸着して存在していると考えられるため、粒径が小さいほど濃度がたかくなるものと考えられる。ただし、図 2 に示したように、もっとも微細な画分(<53 μm)では鉛濃度は頭打ちか、やや低下傾向を示した。

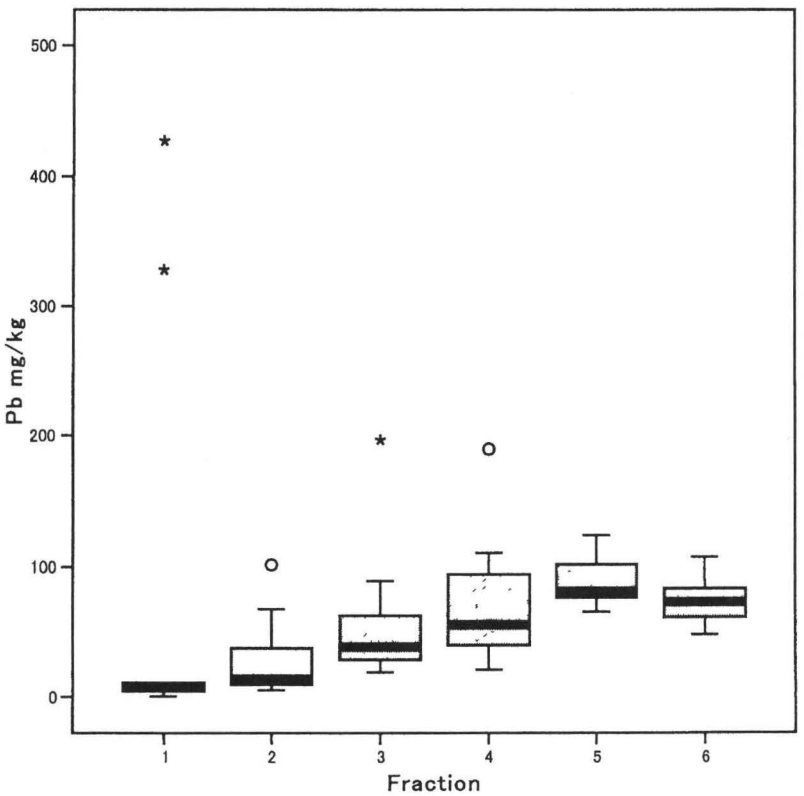


図 2 ハウスダストの粒径ごとの鉛濃度。

横軸、Fraction 1～6 はそれぞれ粒径 1～2 mm、500 μm～1mm、250～500 μm、100～250 μm、53～100 μm、<53 μm。図中箱の中の横線は中央値、箱の上下端は 75 および 25 パーセンタイル値、*及び○は四分位範囲の 3 倍、1.5 倍を超えるサンプルをそれぞれ表す。

ハウスダストの基本情報として、鉛以外の元素組成を表 2 に示した。これは 10 世帯×6 粒径=60 試料の元素濃度の中央値である。鉛のように粒径によって濃度が変動する元素もあるので、この表に示した値はハウスダストの元素組成の概略を表すものであることに注意されたい。測定対象元素のうち、ハウスダストの主成分と考えられるものはカルシウム、アルミニウム、鉄などで、これらは%オー

表 2 首都圏 10 世帯のハウスダスト中元素濃度

元素	単位	中央値	元素	単位	中央値
Al	%	2.44	Mo	mg/kg	<15
Ba	mg/kg	218	Na	%	0.974
Ca	%	3.56	Ni	mg/kg	36.2
Cd	mg/kg	0.432	P	%	0.126
Cr	mg/kg	34.9	Pb	mg/kg	58.5
Cu	mg/kg	151	S	%	0.330
Fe	%	1.19	Sr	mg/kg	94.7
K	%	0.833	Ti	%	0.174
Mg	%	0.523	V	mg/kg	35.9
Mn	mg/kg	313	Zn	mg/kg	506

ダー以上であった。それ以下はアルカリ金属やアルカリ土類金属など、およびリンや硫黄などがサブ%オーダーであった。これらから、ハウスダストには土壌(Al や Fe)や無機物(アルカリ、アルカリ土類)が含まれること、生物起源のものが含まれること(K, P, S)など示唆しており、図 3 や表 2 にしめした形態観察結果を裏付けるものであった。

図 3 はハウスダスト中アルミニウム濃度で各元素濃度を規格化し、それを地殻存在度と比較した、Enrichment Factor(EF)という指標にしたものである(式 1)。

$$EFe = \frac{[Me/Al]_{indoor\_dust}}{[Me/Al]_{crustal}} \quad \cdots(式1)$$

EFe はある元素 *e* の EF、*Me* は室内塵中のその元素の濃度あるいは地殻存在度、
Al は室内塵中 Al 濃度あるいは地殻 Al 濃度

したがって EF=1 は地殻の存在度と同等ということを意味する。EF が 1 を超えるものは、地殻に比べて濃縮して存在すること、つまり人為的な汚染があることを示す。ハウスダスト中の元素ではカドミウム、銅、りん、鉛、硫黄、亜鉛の 6 元素が EF=10 付近かそれ以上を示した。カドミウム、銅、亜鉛は、鉛と並んで典型的な汚染重金属であり、われわれの一般環境同様、身近な室内環境もこれらの重金属によって汚染されていることを明瞭に示すものである。一方、りんはおそらくハウスダスト中に生物起源のものが多く含まれることによるものであろう。硫黄も生物起源のものもあるが、上記の重金属が硫酸塩か硫化物として存在している可能性を示すものであるかもしれない。

(3) ハウスダスト中元素濃度から推定した鉛の起源

調査1で対象とした 10 世帯、6 粒径の元素組成データをもとにして、因子分析を行った結果を表 3

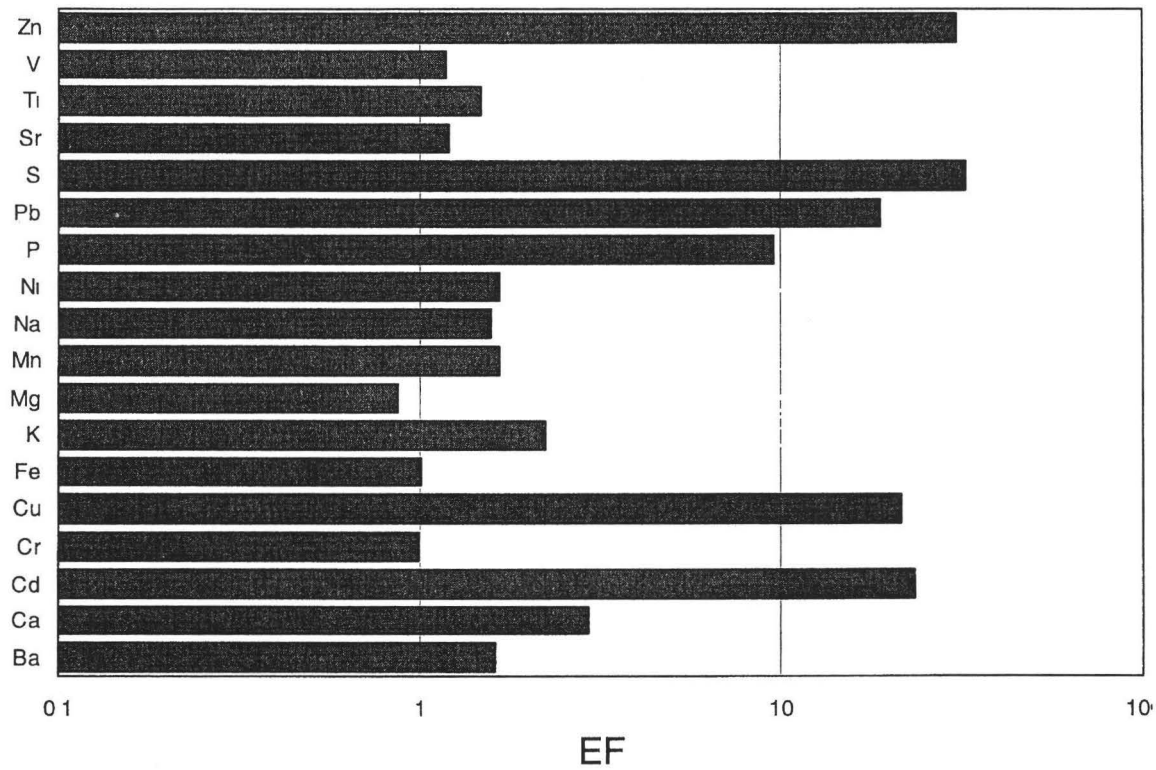


図 3 ハウスダスト中各種元素の Enrichment Factor

に示した。バリマックス回転後の因子負荷量平方和が 1 を超える因子は 4 つあり、この 4 因子で説明可能な分散は 73%であった。全体の分散の約 30%を説明する因子 1 は Al, Fe, Mn, Ti など、土壌関連元素の因子負荷量が大きく、「土壌」の因子であると考えられた。因子 2 は Cd, Cu, Ni, Zn に負荷量が大きく、「汚染元素」の因子、因子 3 は Ba, Cr, S, Pb および Ti の負荷が大きい。これらの元素は、塗料に多く含まれるもので、「塗料」の因子と考えられた。因子 4 は Na, K に負荷量が大きく、「アルカリ金属」の因子とした。鉛は「塗料」の因子に 0.719 と大きい負荷を示したほか、「土壌」、「汚染元素」の因子にもそれぞれ 0.318、0.306 と比較的大きな負荷量をもつ。この統計結果より、ハウスダストを汚染している鉛の起源として、塗料がまず第一に示唆された。次いで、土壌由来あるいは何らかの重金属汚染に由来する鉛も混じり込んでいることも併せて示唆された。

(4) ハウスダスト中鉛含有物

実際のハウスダスト試料の粒ごとの XRF 分析を行って鉛を高濃度に含有する物質の検索を行った。対象としたのは調査 1 で対象とした世帯のうち、鉛濃度が最も高かった ID 1 の 1～2 mm の画分である(鉛濃度 826 mg/kg)と、調査 2 で対象とした世帯で 250 m 以下の粒径の鉛濃度がもっとも高かった(1420 mg/kg)世帯のハウスダストである。ピンセットを使用してこれらの画分の中からいくつかのものを拾い出し、試料台に載せて XRF によるマッピング分析を行った。調査 1 の世帯 ID 1 の分析の結果、鉛濃度がきわめて高い物体が見いだされた(図 4)。これは肌色～黄土色の薄片状の物体(図 5)であったが、何なのかは同定不可能であった。

表 3 因子分析の結果

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Al	**0.779**	0.301	0.233	0.439
Ca	**0.674**	−0.020	0.144	−0.186
Fe	**0.860**	0.328	0.149	0.221
Mg	**0.858**	0.078	−0.066	0.107
Mn	**0.819**	0 403	0.064	0.283
Sr	**0.877**	0.130	0.020	0.199
Tı	**0.735**	0.144	0.455	0.036
V	**0.860**	0.349	0.068	0.122
Cd	0.139	**0.786**	0.280	−0.059
Cu	0.288	**0.850**	0.163	0.100
Nı	0.217	**0.732**	0.098	0.114
Zn	0.184	**0.786**	0.280	−0.059
Ba	0.385	0.289	**0.552**	0.474
Cr	0 408	0.544	**0.612**	0.129
S	−0.270	0.308	**0.516**	0.167
Pb	0.318	0.306	**0.719**	0.148
K	−0.011	0.239	0.211	**0.869**
Na	0.287	−0.231	0.047	**0.588**
P	**−0.454**	−0.186	−0.230	−0.029
Square Loadıng	6.219	3 635	2.154	1.843
% varıance	32.7	19.1	11.3	9.70
Cumulatıve %	32.7	51.9	63.2	72.9

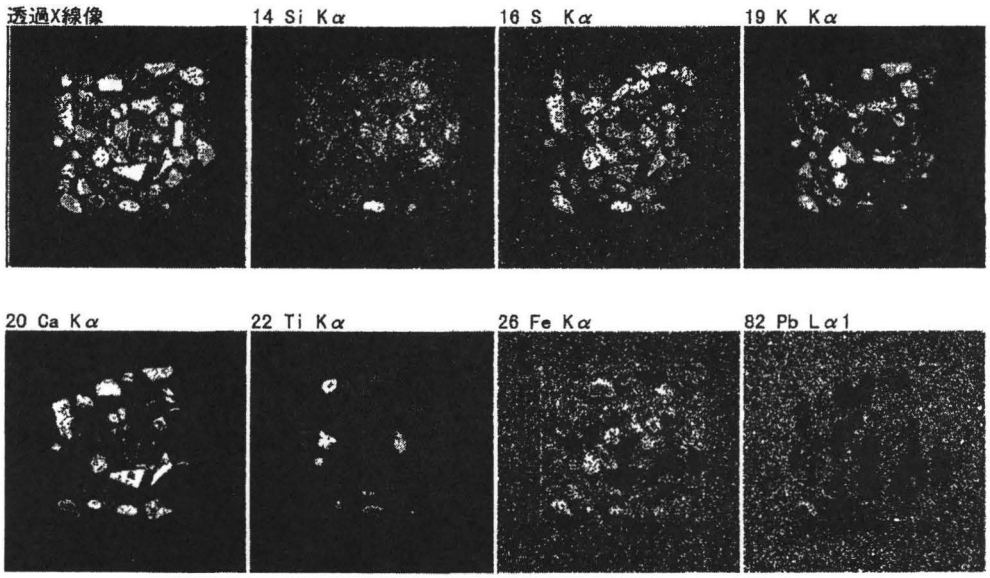


図 4 世帯 ID 1 の掃除機ごみの XRF マッピング。右下の画像中央やや左上に赤く染まっているものが鉛を高濃度に含有することを示す。

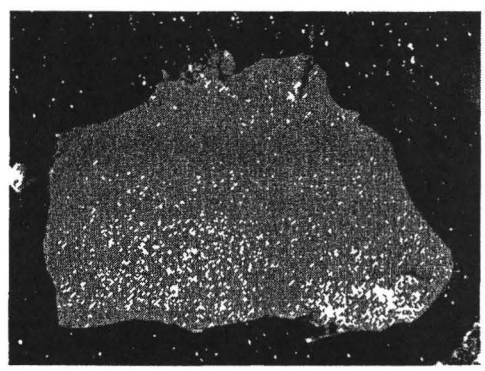
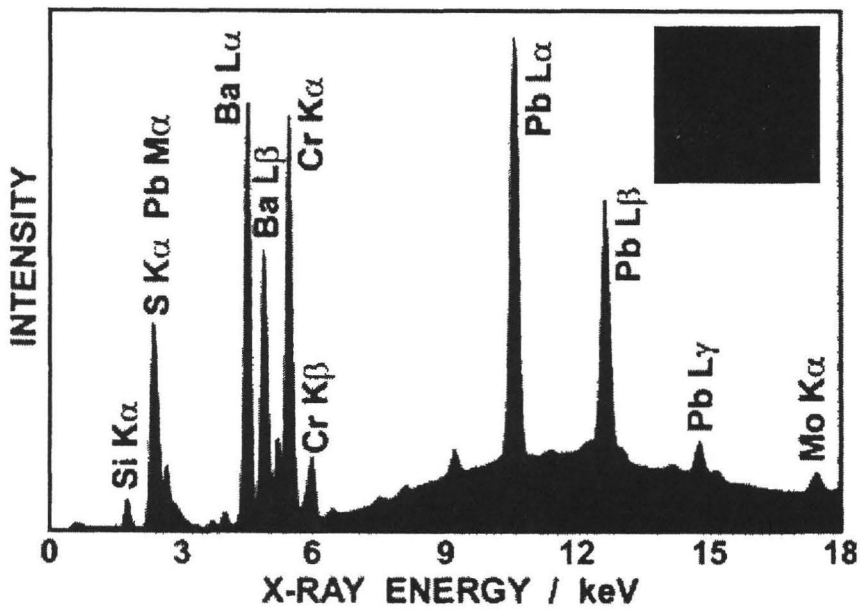


図 5 図 4 で高濃度の鉛を含有することが判明した物体の実体顕微鏡写真(×40)

この物体についてさらに詳細な XRF スペクトルを採取したところ、カルシウム、クロム、チタン等を高濃度に含有することが判明した。これらの情報から、図 5 の物体は塗料片である可能性が高い。

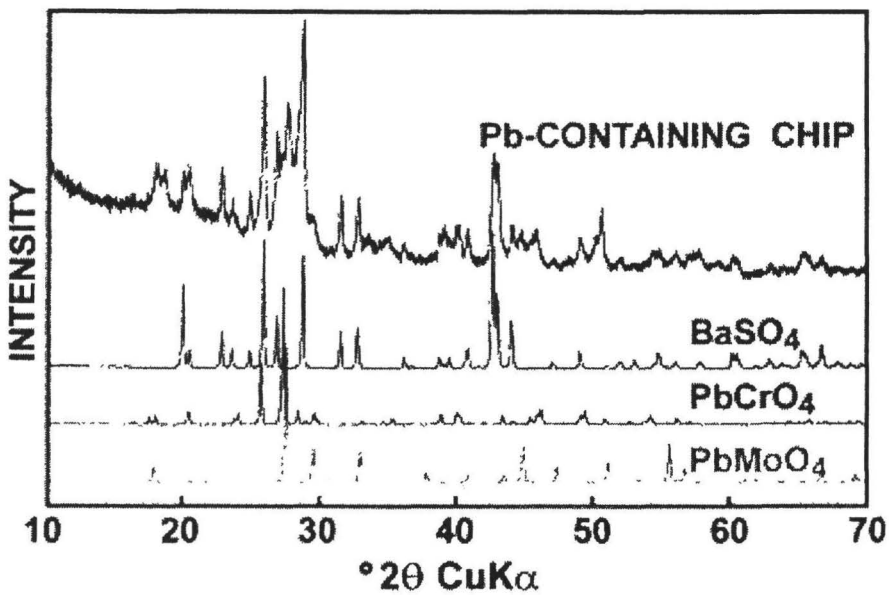
調査 2 で見いだされた、<250 μm のハウスダストの鉛濃度が 1420 mg/kg を示した世帯の掃除機ごみの粗大粒子のなかから、同様に鉛濃度のきわめて高い物体を見いだした。これは焦茶色のシート上薄膜片で、同じ掃除機ごみの中に多数見つかった。しかしながら、これが何であるかは、形態や色、当該世帯の住人への聞き取りなどによっても明らかにならなかった。

蛍光 X 線で詳細なスペクトルを取ったところ、鉛の他にバリウム、クロム、モリブデン等が検出された(図 6)。ハウスダスト B の粉末 X 線回折分析の結果、クロム酸鉛、モリブデン酸鉛、硫酸バリウムなどを含有していることが示された(図 7)。これらの元素組成・化合物情報は、ハウスダスト B も塗料片



室内塵B中の鉛含有物質の蛍光X線スペクトル

図 6 鉛濃度が 1420 mg/kg であった世帯のハウスダスト中に見いだされた薄膜状の物体(ハウスダスト B、右上の写真)と、その XRF スペクトル



室内塵B中の鉛含有物質と硫酸バリウム，クロム酸鉛，モリブデン酸鉛の粉末X線回折パターン

図 7 ハウスダスト B の粉末 X 線回折パターンと、各種化合物のパターンとの比較。ハウスダスト B が硫酸バリウム、クロム酸鉛、モリブデン酸鉛を含有していることを示す。

であることをつよく示唆している。

(5) ハウスダスト中鉛の起源に関する考察

ハウスダストの元素組成をもとにした統計学的解析結果および、実際のハウスダスト試料の各種化学分析の結果はともに、ハウスダスト中鉛の起源として塗料を指し示していた。

XRF などによって塗料片状物体を高鉛含有物として同定した。調査 1 および 2 で対象とした計 37 世帯のうち、2 世帯でこのような高鉛含有物体が同定された、ということはこれらの例がけっしてまれなケースであったということではなく、こうした物体が一般的な世帯のハウスダストに存在している可能性を示すものである。一方、こうした特異的な物体の見つからなかった調査 1 の他の 9 世帯の結果を含めた多変量解析結果(表 3)でも、鉛が塗料に特徴的な元素群の一員であったことからも、「塗料起源説」は一般性があると考えてよい。

1960 年代までの主に欧米で住居用に使用されていた塗料に鉛を含むものがあったこと、それが小児の鉛中毒の原因となったこと、は大変有名な話である。しかしわが国にはそもそも住居にペンキを塗るという習慣があまりなかったこともあって、塗料が原因の鉛中毒は知られていない。また、1960～70 年代以降、欧米各国で塗料の鉛含有量に関する規制が進んだこともあり、わが国でも業界自主規制として 0.07%という鉛濃度の規制値が存在する。したがってわが国で生産されている塗料が今回示したような高濃度鉛含有塗料片として、一般家庭のハウスダストに混入するということは考えづらい。

図 5, 6 に示した鉛高濃度含有塗料片と思しきものは、おそらくこうした塗料の鉛含有量規制のない国で生産された塗料を使用したなんらかの文物からはがれ落ちた塗料片であると推定される。

(6) 塗料以外の鉛源について

(5)ではハウスダスト中の鉛源として塗料を中心に論じたが、表 3 に示したように、ハウスダスト中鉛は「土壌」や「重金属汚染」といった因子への負荷量もやや大きく、これらの寄与も無視することはできない。Ishibashi et al. (2008)は、日本全国 41 世帯からハウスダスト、近隣土壌、室外ダストの 3 点セットをサンプリングし、そのなかの鉛濃度を測定した。その結果、ハウスダスト中鉛と土壌中鉛、室外ダスト中鉛濃度の間には、統計的にぎりぎりに有意・有意でない、という程度の弱いものながら、関連を見いだしている。この結果は、近隣土壌や窓から混入する室外ダストなどに含まれる鉛も、ハウスダスト中の鉛に多少なりとも寄与をすることを示しており、本研究の表 3 の結果とも整合する。

さらに、本研究では、Ishibashi et al.が分析したハウスダスト等試料を提供してくれた 41 世帯のうち、20 世帯分について、ハウスダスト、土壌、室外ダストの鉛同位体比 ($^{207}Pb/^{206}Pb$, $^{208}Pb/^{206}Pb$) の測定を行った。世帯ごとに比較した結果、土壌とハウスダストの同位体比の間には有意な相関がなく (r=0.375, NS)、この 20 世帯についていうと、土壌はハウスダストの鉛に有意な寄与をしていない、と結論できる。鉛濃度で同様の比較をした場合には有意な相関が得られ、土壌もハウスダストの鉛に寄与している、との結論であったが (Ishibashi et al., 2008)、同位体比の方がより specific な指標であるため、濃度にみられたごく弱い有意な相関は因果関係を示すものではない可能性が高いと判断した。一方、室外ダストとハウス

ダストの鉛同位体比の間に有意な正の相関（$r=0.574, p<0.05$）が見られている。鉛濃度で両者を比較した場合は有意ではなかったが、同位体比を使うと両者の関連が明白となってきた。鉛同位体比を使用した比較では、ハウスダスト中鉛と室外ダスト鉛の間の類似性が指摘でき、窓等から侵入する室外ダストがハウスダスト中鉛の起源として一定の寄与をしていることが示された。

調査 2 では、対象とした 27 世帯から収集したハウスダストのうち、粒径が 250 μm 以下のもののみを対象として混酸分解、ICP 発光法、ICP 質量分析法によって多元素同時分析を行った。これらのハウスダスト試料中鉛の起源を推定するために、鉛と他元素との相関分析を行った。その結果、鉛－モリブデン、鉛－カドミウム（r=0.649）、鉛－スズ（r=0.601）がきわめて高度（p<0.001）に有意な正の相関を、鉛－銅（r=0.578）、鉛－硫黄（r=0.567）、鉛－アンチモン（r=0.564）、鉛－クロム（r=0.519）が p<0.01 で有意な相関を、それぞれ見いだされた（すべてスピアマンの順位相関係数）。有意な相関を持つペアは、表 3 の因子 1～3 の元素とほぼ重なるものであり、「塗料」や「重金属汚染」（あるいは EF の大きい元素（図 3））との関連があることが、調査 2 でも示された。

スズやアンチモンとの間の相関から、ハウスダスト中鉛とスズ、アンチモンとは、それぞれ汚染源を共有しているものと推定できる。鉛とスズはハンダの材料としてよく知られている。室内環境中にある電子部品や基盤などに鉛スズハンダは多用されている。鉛－スズの相関は、ハンダがハウスダスト中鉛に寄与していることを示唆しているのかもしれない。また、アンチモンはプラスチック製品の安定剤として添加されていることがよく知られており、鉛にも同様の用途がある。したがって室内環境中のプラスチック製品からハウスダストへの混入を示唆しているのかもしれない。

以上のように、本研究と関連研究（Ishibashi et al., 2008）の結果から、ハウスダスト中鉛の起源と考えられるものを整理すると、表 4 のようになる。

表 4 ハウスダスト中鉛の起源とかんがえられるもの

起源	根拠	確実性
塗料	・鉛濃度の高い世帯のハウスダストから実際に見いだされている（図 4～6） ・一般家庭のハウスダスト元素組成に基づく統計的推論（表 3）	◎
土壌	・一般家庭のハウスダスト元素組成に基づく統計的推論（表 3） ・世帯ごとに解析した場合の鉛濃度の土壌－ハウスダスト間の相関	△
室外ダスト	・世帯ごとに解析した場合の鉛同位体比の室外ダスト－ハウスダスト間の相関	○
ハンダ	一般家庭のハウスダスト中に見られたスズ－鉛濃度間の高度に有意な相関	△
プラスチック	一般家庭のハウスダスト中に見られたアンチモン－鉛濃度間の高度に有意な相関	△

4. まとめと提言

首都圏の計 37 世帯から収集した掃除機ごみをもとに、粒径分画してハウスダスト試料を得、鉛などの元素濃度、形態観察、組成分析、X 線回折など、さまざまな分析を行って、わが国の一般家庭におけるハウスダストの鉛濃度、組成などについて基礎的なデータを得た。

ハウスダストの鉛濃度は、粒径や世帯によって大きく変動したが、平均的に見ても地殻存在度の 10 倍以上濃縮しており、人為的な汚染があることは明らかであった。ヒトの曝露源となりうる粒径分画(<250 μm)の鉛濃度の中央値は 55.0 mg/kg であり、最大で 1428 mg/kg という濃度の試料が見いだされた。特に高い鉛濃度を示した 2 世帯から、鉛を高濃度に含む塗料片と思われるものが見いだされ、塗料がハウスダスト中鉛の起源の一つであることは明白であった。塗料以外にも、屋外の土壌や室外ダストなど、室内に持ち込まれた家具や電化製品由来と考えられるプラスチックやハンダなどもハウスダスト中鉛の起源の候補であった。

本研究で明らかとなった平均的なハウスダストの鉛濃度であっても、鉛の影響を受けやすい小児の鉛曝露にとって小さくない寄与をする。今後小児の鉛曝露量を低下させるために対策が必要とされる場合、ハウスダストからの寄与を減らすためには、①鉛含有塗料を使用したものを室内に持ち込まない、②土壌や室外ダストなどの環境媒体の室内への混入量を減らす(あるいは掃除の徹底)とともに、こうした媒体中の鉛濃度を減らす一般的な対策の必要性、③電化製品などの含鉛部品の低減化、などが提案できる。このうち②や③はすでにさまざまな規制(土壌環境基準、土壌汚染対策法、RoHS 指令など)がなされている一方、①については未だ余り注目を集めていない。海外からの輸入製品の鉛スクリーニングを行う必要がある。

5. 引用文献

Aung NN., Yoshinaga J., Takahashi J.: Exposure assessment of lead among Japanese children. Environ Health Prevent Med, 9: 257-261 (2004)

Ishibashi Y., Yoshinaga, J., Tanaka A., Seyama H., Shibata Y.: Lead and cadmium in indoor dust in Japanese houses - relationship with outdoor sources. Indoor Environ 11: 93-101 (2008)

高木麻衣, 田宮さやか, 吉永淳, 宇田川弘勝, 田中敦, 瀬山春彦, 柴田康行, 上松あゆ美, 加治正行:同位体比分析に基づく日本人小児の鉛曝露源解析. 環境化学, 18. 521-531 (2008)

Yamamoto N., Takahashi Y., Yoshinaga J., Tanaka A., Shibata Y.: Size distribution of soil particles adhered to children's hands. Arch Environ Contam Toxicol, 51: 157-163 (2006)

6. 成果

[1] 誌上発表

(1) 中村有希, 高木麻衣, 吉永淳, 田中敦, 瀬山春彦, 柴田康行. 日本の室内塵の元素組成と鉛の起源. 室内環境, 11: 11-20 (2008)

(2) 峡戸孝也, 高木麻衣, 吉永淳, 田中敦, 瀬山春彦, 柴田康行:ハウスダスト中元素濃度の変動要因. 環境化学, 19: 87-94 (2009)

[2] 口頭発表

(1) 高木麻衣, 吉永淳, 石橋由梨, 田中敦, 瀬山春彦:日本家屋のハウスダスト、土壌および室外ダストの鉛同位体比. 第 18 回環境化学討論会、6 月 9-11 日、つくば

IH調理器の最適な換気評価手法の検討

国立保健医療科学院　建築衛生部
都市環境室長　鍵　直樹

1 はじめに

住宅における台所環境は，調理器としてガスレンジが主流であったのに対し，近年では電磁(IH)調理器の利用が多くなってきている。両者の調理器については，調理の効率などエネルギーの観点から多くの議論が行われている。

そこで本研究では，ガスレンジとIH調理器の換気扇の最適な換気評価の手法を検討するための一助として，それぞれの調理器具周囲における水蒸気ミストの性状を明らかにすることで，水蒸気ミスト特有の挙動について明らかにするものである。

2. PDPAによる鍋から発生するミストの測定

ガスレンジとIH調理器のミストの性状，特にミストの粒径と空間中の濃度を測定するために，PDPA(Phase Doppler Particle Analyzer) systemを用いて検討を行った。 ガスレンジ及びIH調理器共に鍋上部のほぼ上部中央部に，水面からの測定位置の高さを変えることにより，水（純水）の沸騰時における鍋液面からの高さ毎のミストの測定を行った。

表2-1に液面高さ毎に測定したミストの平均粒径，最大粒径，個数濃度を示す。ガスレンジに比べてIH調理器の方がミストの個数濃度が1から2桁多いこと，またIH調理器では平均粒径が8-10μmであるのに対し，ガスレンジでは4-5μmであった。 また，空間中の温度分布では，ガスレンジでは，高さ200 mmにおいて60℃程度まで温度が維持されているのに対し，IH調理器では，直近でも50℃以下であり，空間中における温度条件が異なっていることが確認された。これによるミストの粒径に影響を与えていることが示唆される。

表2-1　ミストの粒径及び個数濃度の結果

	測定高さ H [mm]	個数平均径 D_{10} [μm]	最大粒径 D_{max} [μm]	個数濃度 [cm^{-3}]
IH	20	7 65	20 59	2 90E+04
	50	6 08	11 04	1 49E+04
	200	5 91	12 15	1 18E+04
	400	4 63	9 11	4 96E+03
	750	6 27	8 94	1 40E+02
ｶﾞｽﾚﾝｼﾞ	20	6 98	12 54	6 92E+02
	100	5 94	11 41	1 98E+02
	200	ND	ND	ND

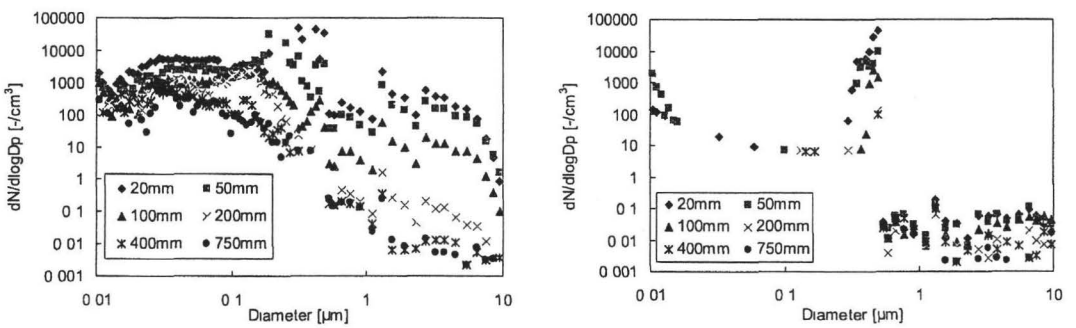
3. WPS による鍋から発生する超微粒子ミストの測定

前章では，PDPA によって数μm 以上の比較的大きな粒子を対象とした。これよりも小さいミストの存在について検討した。

本研究では超微粒子の計数が可能な WPS（Wide range particle spectrometer, WPS 1000XP, MSP 製）を用いて，鍋から発生する蒸気ミストの計測を行った。この計測では，空気中に含まれる粒子がバックグランドとして存在し，この計測装置により感度良く測定することから，発生したミストとバックグランドとを切り分けるのが困難であるため，クリーンルームにおいて測定を行った。測定項目は PDPA の実験と同様に行った。

図 3-1 に WPS による各測定高におけるガスレンジ及び IH 調理器のミスト粒径別濃度測定の結果を示す。両者とも 0 3μm に多くの粒子が計測され，ガスレンジのほうが全体的に高い濃度の傾向となった。また，先の実験で対象とした粒径よりも小さな粒径 20-100 nm についても多くの粒子を検出した。さらに両者とも液面より近い場所になればなるほど，その濃度が高い傾向となった。ミストの見えないガスレンジであっても，超微粒子が多く存在することが明らかとなった。

また，ガスレンジの方では，粒径数μm 程度と 20～30 nm 程度の超微粒子の領域の 2 つにピークが存在した。これは燃焼ガスの残渣によるものとこれを核に成長したμm オーダーの粒子が検出されたものと考えられる。一方，IH の場合には，0 3μm 前後の粒子が凝縮・凝集で生成した後，一気に蒸発して消失している可能性が読み取れる。



a)ガスレンジ　　b)IH 調理器

図 3-1　WPS によるミストの粒径分布測定結果

上記の測定で，計測されたものが純水によるミストか，ガス発生による排気粒子かを検討するために，沸騰しない鍋の測定及び水分除去のできるディフュージョンドライヤ（Diffusion tube DD）を通して WPS により計測を行った。

図 3-2 にガスレンジよる純水沸騰状態と鍋に蓋をして蒸気が発生しない状態，即ちガス燃焼の排気について WPS と DD を通した測定結果を示す。まず，沸騰状態では，粒径 30 nm 及び 0 1μm にピークを有し，DD を通すことにより，0 1μm 程度の粒子を中心に濃度が下がった。これは水分の除去によるものであり，粒径 30 nm 及び 0 1μm 共に水分を含む粒子で，その残渣が粒径 30nm であったことが分かる。一方，沸騰前のガス燃焼の測定では，10 nm 程度の超微粒子を中心に検出しており，これが DD により大部分が消失した。これは，燃焼によ

り生成した粒子がガス排気によるものであり，そのほとんどが水であるものの不揮発性の粒子を含んでいることを示している。よって，ガス燃焼により水を主体とした粒子が生成し，沸騰することで空間中において，この粒子を核に凝集・凝縮を繰り返すことにより成長しているものと考えられる。

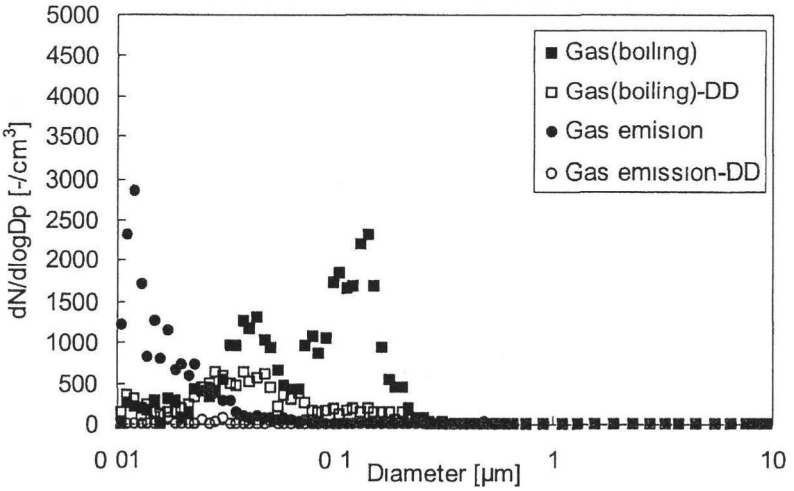


図 3-2　ガスレンジにおける DD を通した粒子の測定結果

4. 研究のまとめ

本研究では，ガスレンジと IH 調理器において，それぞれの調理器具周囲における水蒸気ミストの性状を検討するために，PDPA 及び WPS を用いて微粒子及び超微粒子の測定を行った。

PDPA による検討では，ガスレンジに比べて IH 調理器の方がミストの個数濃度が 1 から 2 桁多いこと，また IH 調理器では平均流径が 8-10μm であるのに対し，ガスレンジでは 4-5μm であり，ガスレンジの方が小さい粒径において分布していることが認められた。これには，調理上部の温度分布の違いが示唆され，ガスレンジは，高さ 200 mm まで 60℃程度まで温度が維持されているのに対し，IH 調理器では，直近でも 50℃以下であり，これによるミストの粒径に影響を与えていることが考えられた。

また，WPS により超微粒子領域の測定を行ったところ，両者とも 0 3μm に多くの粒子が計測され，20-100 nm についても多くの粒子を検出し，可視できない超微粒子が存在していることを明らかにした。さらにその生成について検討を行うためにディフュージョンドライヤを用いた測定を行ったところ，ガス燃焼により水を主体とした粒子が生成し，沸騰することで空間中において，この粒子を核に凝集・凝縮を繰り返すことにより成長していることを推測した。

IH 調理器では，燃焼に伴う排ガスの発生はないが，調理に伴って発生する水分が室内の各部表面に沈着することにより，周囲壁への汚れの付着，クロスのはがれなどにつながる可能性があり，換気の設計には水蒸気ミスト，特に超微粒子についても考慮して行う必要があるものと考えられる。

医療福祉施設における介護臭を対象とした脱臭装置の開発に関する研究

大同大学
准教授　光田　恵

1. はじめに

高齢社会が進む現在、医療福祉施設に対する関心が高まり、看護・介護環境が注目されている。これまでに病院内で行われるおむつ交換時に発生する排泄物臭が最も気になるにおいであるということを明らかにした[1)]。また、おむつ交換時の臭気の発生量、臭気の拡散に影響する要因、病室の臭気のレベルに影響を与える臭気物質についても明らかにし、臭気低減に対する効果的な臭気の捕集箇所を明らかにしてきた[2) 3)]。

本研究では、医療福祉施設の施設管理者、従業員を対象に実施したヒアリング調査の結果を基に、おむつ交換時用脱臭機の脱臭効果について検討した。排泄物臭の主な臭気物質であるメチルメルカプタンを用いて、臭気の拡散を防ぐために効果的な排気風量、脱臭方式について実験的検討を行い、フィールド調査において実際の病室でのおむつ交換時の脱臭効果について検討した。

2. 福祉施設におけるヒアリング調査

2 - 1. 調査概要

東海圏590施設に対するアンケート調査において、「ヒアリング調査にも協力できる」と回答した20施設のにおいに対する意識、臭気対策、設備、においに対する不満点等を再検討し、ヒアリング調査を7施設に依頼した。そのうち調査の承諾を得た3施設で調査員3名又は4名により面接調査法を実施した。調査項目はにおいの意識、おむつ交換時のにおい、脱臭機に望む機能についてである。

2 - 2. 調査結果

調査結果を表1に示す。3施設でほぼ同様の回答が得られた。おむつ交換時のにおいは「かなり気になる」と回答しており、施設内全体では「人から発生するにおいも気になる」という回答であった。脱臭機の使用時期は「タイマー付でにおいが気になる時に使用する」であった。これらの回答からおむつ交換時の使用に加え、常時使用できる空気清浄機としての機能も望まれ

表1 ヒアリング調査結果

項　目	内　容	回答施設数
においの意識	施設内だけでなく、人からのにおいも気になる	3
おむつ交換時のにおい	かなり気になる	3
脱臭機の使用場所	居室、汚物処理室	3
脱臭機の使用時期	においが気になる時のみ(タイマー使用)	2
脱臭性能	瞬時に無臭(消臭スプレーと同等)	3
脱臭機運転音	気にならない程度	3
	換気扇程度の音であればよい	2
	掃除機は大きすぎる	3
脱臭形式	設置式	3
脱臭機の設置位置	壁掛け式(認知症の入居者の手の届かない位置)	3
脱臭機の大きさ	入居者が驚かない程度	2
脱臭機のデザイン	妄想を引き起こさせにくく圧迫感や恐怖感のない壁に一体化する色、形状(薄型、凹凸なし)	2
脱臭機のメンテナンス	簡単に手入れ(フィルター掃除、水洗、交換等)できる	2
脱臭機の付加機能	除菌(抗ウィルス)作用、加湿機能	3
	タイマー(おむつ交換時に自動起動)	2
脱臭機の機器価格	効果による(高くても必要であれば購入)	3

※脱臭機の項目は、脱臭機に求められている機能についてである

ていると推察できた。また、脱臭機の運転音、大きさ、設置位置については入所者に脱臭機が設置してあると意識させず、生活の邪魔にならない危険のない天井埋め込み式、または薄型の壁掛け式が望ましいとされた。脱臭効果については「瞬時に無臭になる」が望ましいが、日常生活の中で気にならないにおい（臭気強度 2 相当）でも介護現場では受け入れられるとされた。メンテナンスは「簡単」なもの、価格は「効果次第で高価格でもよい」とされた。

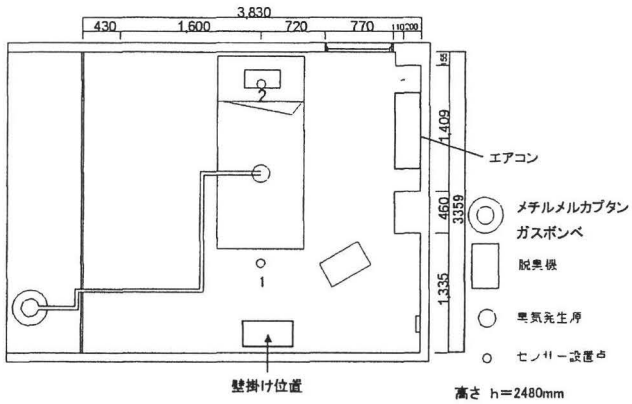


図 1 実験室配置図

しかし、グループホームなど小規模な施設では、購入が困難であるという回答もあった。近年、医療福祉施設においては院内・施設内感染が問題視されていることから、付加機能として「除菌作用」「加湿機能」も望まれていることが明らかになった。

3. 実験室における脱臭機の脱臭性能評価

3 - 1. 実験概要

ヒアリング調査の結果を基に作成した脱臭機を用い、病室を想定した実空間において、最も効果的なおむつ交換時用の臭気の拡散を制御できる脱臭方式、排気風量を明らかにすることを目的とした。

実験室配置図を図 1 に示す。病室を想定した空間と臭気を注入する空間の 2 つに分けた。病室面積は 12.9 m^2、容積は 31.9 m^3 である。1 人床の病室を想定してベッドは部屋の中央に配置し、脱臭機はベッドの足元付近の臭気発生源から約 1000mm 離れた点に床置きした。壁掛けの場合は、ベッド足元側の臭気発生源から約 1500mm 離れた点の床上 1800mm に設置した。エアコン運転時は室温を 25℃設定とした。においセンサー（ニオイセンサ AET-S コスモス電機製）は、予備実験結果から最も応答の良かった臭気発生源に近いベッド足元の床上 460mm（図 1 の 1 の点）とベッド頭側の床上 1300mm（図 1 の 2 の点）に設置した。

3 - 2. 実験方法

臭気の低減を実感できる目安として、初期の臭気を臭気強度 3 相当（楽に感知できるにおい）のレベルとした。実験室外のメチルメルカプタンボンベにチューブを接続し、ベッドの中央でにおいが発生するようにした。メチルメルカプタンは、排泄臭の 1 つの主成分であるため、用いることにした。臭気の除去に要する時間 15 分を目安に、脱臭機は 20 分間作動させた[2)]。

臭気注入 15 分前からにおいセンサーを作動させ、センサー値が安定していることを確認した。臭気物質注入直前に脱臭機の運転を開始し、注入終了後 20 分間運転した。脱臭機停止後は、室内の残留臭気物質を吸引ダクトを用いて強制排気した。においセンサー値の変動

を確認するため、脱臭機停止から7分30秒後までにおいセンサーを作動させ評価した。

3 - 3. 脱臭機の条件

脱臭機の特徴を表2に示す。活性炭タイプと光触媒タイプを使用した。両タイプとも床置きダクトなし、壁掛けダクトなしの実験を行った。活性炭床置きタイプのみ極細ダクトと正面カバーを丸穴、大穴に開口加工しダクトを付けたものを用いて実験を行った。エアコンの気流やエアコン内のフィルターへの吸着を考慮し、エアコンは停止して行ったが、壁掛け時のみエアコン運転も条件に加えた。脱臭機を使用しないブランク実験と併せて全11条件とし、表3に示す風量4段階で実験した。

表2 脱臭機の特徴

タイプ	活性炭	光触媒
脱臭口	脱臭機正面下方から吸引し、上部へ排気する	脱臭機側面から吸引し、上部へ排気する
フィルタ枚数	活性炭フィルター5枚	活性炭フィルター1枚
設置方法	床置き、壁掛け	床置き、壁掛け
ダクト口	極細、大穴、丸穴	なし
特徴	吸着量が多く、瞬時対応できる	吸着した菌や汚れは全て分解するので長期間使用できる

表3 脱臭機の風量

脱臭機の種類	ダクト	風量(㎥/min)			
		弱	中	強	ターボ
活性炭	なし	0.9	1.6	2.4	4.7
	極細	0.5	0.8	1.3	2.1
	大穴			3.2	5.6
	丸穴			3.0	5.1
光触媒		1.6		3.0	

3 - 4. 実験結果および考察

図2に示すように、3段階の濃度に調整したサンプリングバッグ内のにおいセンサー値を測定し、臭気強度とにおいセンサー値の関係を求めた。相関係数0.97と強い相関が認められ、においセンサー値から臭気強度への変換が可能であることが確認された。臭気強度とにおいセンサー値の関係式を用い、各条件のピーク時の臭気強度と臭気強度が2（何のにおいかわかる弱いにおい）に減衰するまでの時間を求めた。頭側の変動を図3に示した。

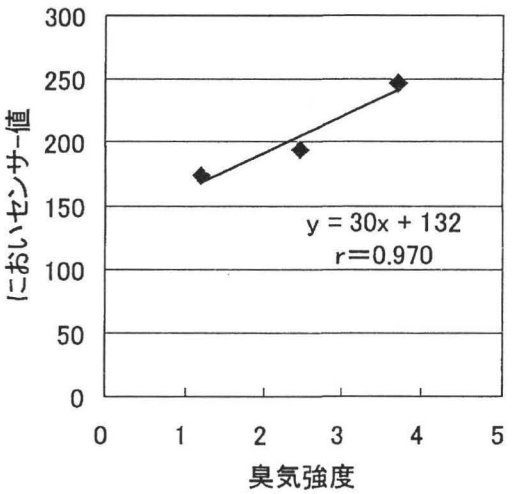


図2 臭気強度とにおいセンサー値の関係

ブランク実験ではピーク時の臭気強度が5以上と強烈なにおいレベルを示し、1時間を経過しても臭気強度の減衰は認められなかった。活性炭ダクトなし床置きでは風量弱でピーク時の臭気強度が最も低く、脱臭効果が高かった。活性炭ダクトなし壁掛けのエアコン停止では風量ターボでピーク時の臭気強度が低く、活性炭ダクトなし床置きと同等の脱臭効果を認めた。エアコン運転では風量ターボでピーク時の臭気強度が低かった。エアコン停止に比べて臭気強度が2まで減衰する時間が長くなっており、気流による臭気の攪拌が影響しているものと推測された。活性炭極細ダクト床置きでは風量弱以外のピーク時の臭気強度が3以上で、減衰までの時間も25分以上要した。ダクトの形状と正面カバーの形状が脱臭性能に影響していると考えられ改良が必要となった。改良後の活性炭大穴ダクトと活性炭丸穴ダクト床置きでは、丸穴ダクトの風量強でピーク時の臭気強度が低く、最も脱臭効果が高かった

光触媒ダクトなし壁掛けのエアコン停止では風量強・弱ともにピーク時の臭気強度が最も低く、脱臭効果が高かった。各条件の中で活性炭丸穴ダクト床置き風量弱の臭気強度が最も低く脱臭効果が高かった。脱臭方式、風量により脱臭効果に差があるが、いずれも 30 分間運転すれば臭気強度 2 まで減衰することが明らかになった。

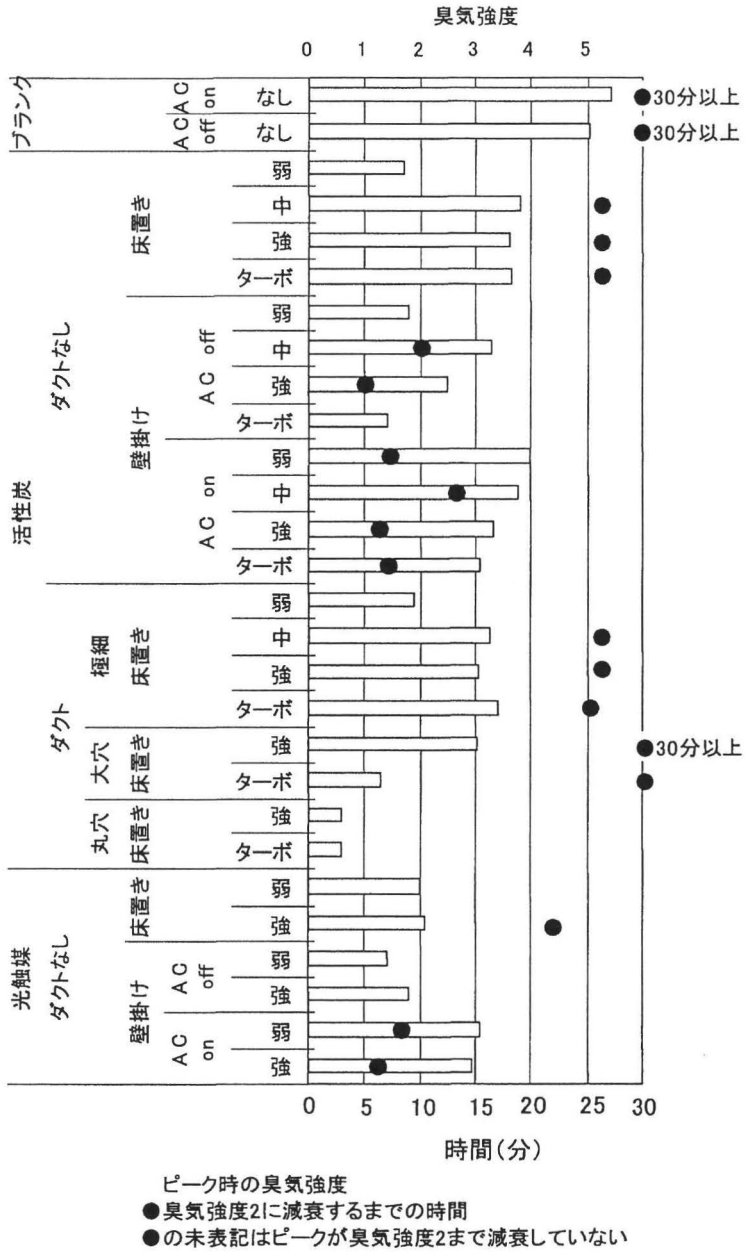


図 3 頭側ピーク時の臭気強度と臭気強度 2 に減衰するまでの時間

4. 実際の病室における脱臭機の脱臭性能評価

4 - 1. 実験概要

実験室実験において明らかにした脱臭性能の高い脱臭機を用いて、医療施設の 1 人床病室で行われる、実際のおむつ交換時の臭気の拡散をどの程度制御できるか明らかにすることを目的とした。実験で使用した病室の配置図を図 4 に示す。面積は 21.8m²、容積は 56.0m³、病室上部の換気扇の風量は 54.2m³/h であり、換気扇の風量から測定した病室の換気回数は 1 回/h であった。実際の病室では常時エアコンを運転していることが多いため、すべてエアコン運転で実施し 25℃設定とした。においセンサーは図 4 のベッド足元の床上 735mm、病室中央の床上 1300mm に設置した。

4 - 2. 実験方法

4 人床病室ではおむつ交換以外の臭気や他の患者から発生する臭気の影響を受けるため、これらの要因を排除するために患者を 1 人床病室に移動し調査した。においセンサーが安定していることを確認するため、患者入室の 60 分前からにおいセンサー値を記録した。患者入室直前に脱臭機の運転を開始し、患者入室 20 分後に患者を退室させ脱臭機を停止した。

脱臭機停止後もにおいセンサー値の変動を確認するため、患者入室 60 分後までにおいセンサーを作動させた。脱臭機はダクトがベッド脇に届く壁面近傍に床置きした。

においセンサーによる評価に加え、患者の病室入室直後、おむつ交換中、おむつ交換直後、それ以降は10分間隔で入室60分後まで調査員による臭気強度、不快度による感覚評価も実施した。感覚評価はおむつ交換中はカーテンの外側で行い、おむつ交換終了後はカーテンの内側で行った。

4 - 3. 実験条件

脱臭機の種類と風量は実験室における脱臭機の脱臭性能評価結果で、最も脱臭効果の高かった活性炭ダクトなし風量弱、活性炭丸穴ダクト風量強、光

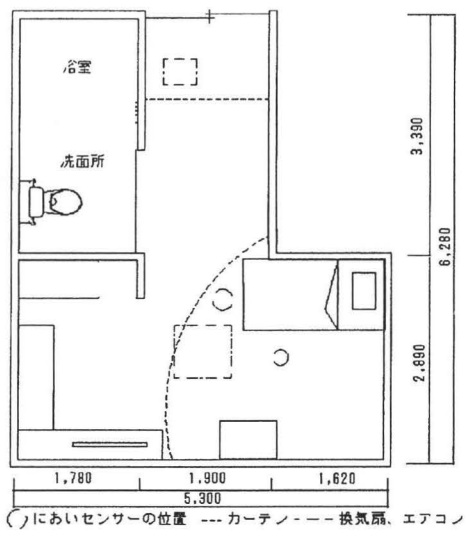


図 4 調査病室配置図

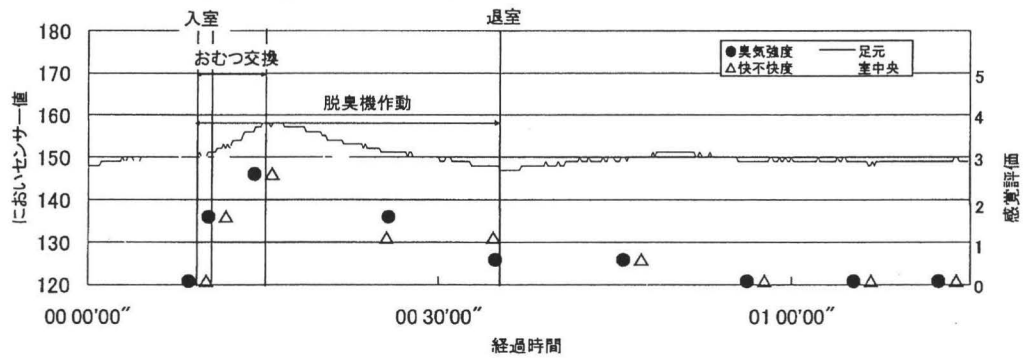


図 5 活性炭ダクトなしのにおいセンサー値と感覚評価

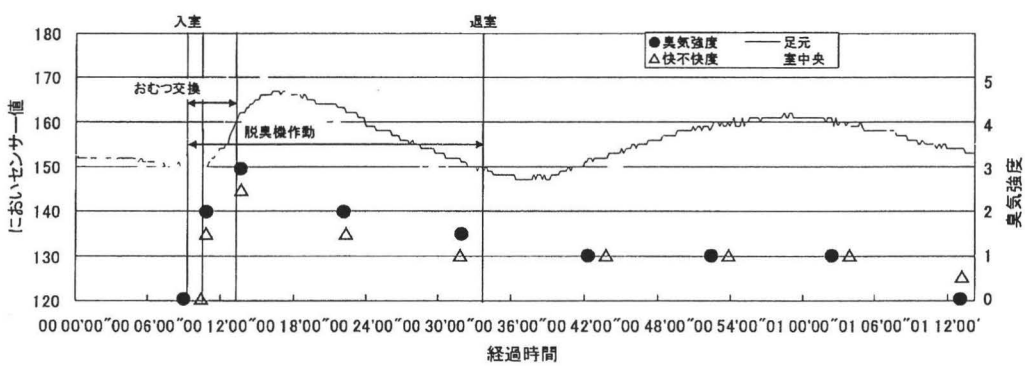


図 6 光触媒ダクトなしのにおいセンサー値と感覚評価

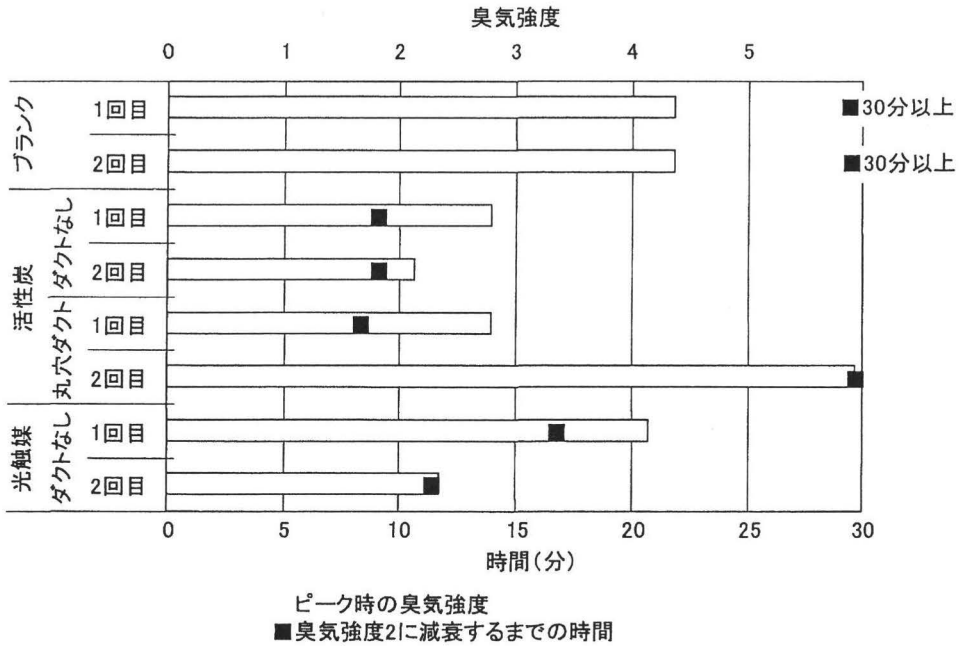


図 7 ピーク時の臭気強度と臭気強度 2 に減衰するまでの時間

触媒風量弱を採用した。ブランク実験はエアコンからの送風のみで行った。以上の 4 条件を各 2 回ずつ実施した。

4 - 4. 実験結果および考察

活性炭ダクトなしのにおいセンサー値、感覚評価の経時変化を図 5 に、光触媒ダクトなしのにおいセンサー値、感覚評価の経時変化を図 6 に示した。また、各条件のピーク時の臭気強度と臭気強度 2 に減衰するまでの時間を図 7 に示した。

ブランク実験では、おむつ交換後 40 分を経過しないと臭気強度 2 以下とならなかった。においセンサー値は 1 時間経過後もおむつ交換開始前のレベルまで回復しなかった。活性炭ダクトなしでは、おむつ交換終了 10 分後に臭気強度 2 以下となった。においセンサー値もおむつ交換開始前と同等またはそれ以下まで回復した。活性炭丸穴ダクト 2 回目では、ピーク時の臭気強度が 5 以上となり、臭気強度 2 まで減衰するのに 30 分要した。他の条件に比べておむつ交換に要した時間が 1 分長かったため、その間に臭気が拡散し広範囲の臭気をダクトで捕集できなかったと推察された。

光触媒ダクトなし 1 回目では、おむつ交換に要した時間が 3 分と長かったためおむつ交換中のにおいセンサー値が上昇したと推測された。2 回目のにおいセンサー値もおむつ交換終了時から回復しなかった。実験室で行ったメチルメルカプタン単ガス実験では脱臭効果が認められたが、本調査では複合臭のため単ガスのときほどの効果がみられなかったと推測される。おむつ交換時の病室内臭気の成分分析結果を参考にすると、病室内の臭気の主要成分はメチルメルカプタン、低級脂肪酸、アセトアルデヒドなどと推測できるが [2)]、その分解過程で生成される酢酸にセンサーが応答したものと推察された。

おむつ交換中、脱臭機作動中、退室後のいずれにおいても、ブランク実験に比べて活性炭

ダクトなしの場合の臭気強度が有意に低くなった。本実験で使用した病室面積では、家庭用脱臭機の活性炭を3倍増量したタイプである活性炭ダクトなし脱臭機を用いた時が最も脱臭効果が高かった。

5.まとめ

本研究では、福祉施設の施設管理者、介護職員を対象におむつ交換時に望まれる脱臭機についてのヒアリング調査を実施し、その結果を基に試作機を作成しおむつ交換時の脱臭効果を検討した。得られた知見を以下に示す。

(1) 脱臭機の性能には瞬時に無臭レベルまで効果を発揮するものを求めていたが、日常生活の中で気にならないにおい（臭気強度2相当）でも介護現場では受け入れられるとされた。メンテナンスは「簡単」なもの、価格は「効果次第で高価格でもよい」とされた。付加機能として「除菌作用」「加湿機能」も望まれていることが明らかになった。

(2) 実験室における脱臭性能評価において、脱臭機を30分間運転すれば臭気強度2まで減衰することが明らかになった。中でも、活性炭丸穴ダクト床置き風量弱を用いた時の脱臭効果が最も高かった。

(3) 実際の病室における脱臭性能評価実験では、本実験で使用した病室面積では、活性炭ダクトなし脱臭機（家庭用脱臭機の活性炭を3倍増量したタイプ）を用いた時の脱臭効果が最も高かった。ピーク時の臭気強度は2程度に抑えられ、臭気強度2までに減衰する時間は10分以下であった。活性炭丸穴ダクトを使用した場合、おむつ交換に要する時間が長くなると臭気が拡散してしまい臭気の捕集ができなかった。

(4) 光触媒ダクトなしを使用した場合、メチルメルカプタン単ガスでは効果があるが、低級脂肪酸、アセトアルデヒドなどを含む複合臭であるおむつ交換時の病室臭気に対しては高い効果が得られなかった。

【謝辞】調査にご協力頂いた医療福祉施設関係者の皆様、調査員の皆様に心より感謝申し上げます。

【参考文献】

1) 板倉朋世、光田恵他：病院内のにおいに対する看護職員の意識に関するアンケート調査，におい・かおり環境学会誌，第37巻，第6号，pp.437～448，（2006，11）

2) 板倉朋世、光田恵：医療施設における病室内の臭気のレベルに関する研究，日本建築学会環境系論文集，第73巻，第625号，pp.327～334，（2008，3）

3) 板倉朋世、光田恵他：高齢者のおむつ交換時における排泄物の臭気特性に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第73巻，第625号，pp.335～341，（2008，3）

レンジフードのオイルミスト捕集率測定・評価方法に関する研究

千葉工業大学工学部 建築都市環境学科
教 授 小峯 裕己

1 研究目的

レンジフードのミスト状汚染質捕集率の測定・評価方法を提案する事を目的とする。調理時に発生するオイルミストに近い粒径分布を持つオイルミストを、実調理時の発生機構と類似した機構で、定常発生させる手法を開発する。天ぷら、フライ、炒め物など、複数の調理に対応した発生方法を検討する。オイルミストの定量分析方法を検討し、定常発生量の把握、フードに捕集されたオイルミスト量の定量方法を開発する。またガス状汚染質とミスト状汚染質を比較することにより、総合的にオイルミスト捕集率の測定・評価方法を体系化する。

2・実調理時におけるオイルミストの発生機構の解明

2.1 揚げ物調理時に発生するオイルミストのプロファイル

揚げ物調理時に発生するオイルミストのプロファイルの特性を得るために、オイルミストが発生する実調理の一例として、衣なしのポテトフライ、衣が片栗粉のチキンナゲット、衣がパン粉のコロッケの3食材を取り上げた。発生するオイルミストの挙動を規定する特性として、発生量及び粒径分布を考えた。工業製品の冷凍食品を使用し、調理の直前まで冷凍庫で保管し、投入する量は約 100gとした。

ポテトフライは調理開始から30秒での発生量が少なく、調理半ばの発生量が最も多いと考えられる。調理時間帯後半に大粒径領域の発生量が多い事が明らかになった。チキンナゲットは調理開始から調理開始 30 秒までの発生量が卓越している。これは、チキンナゲットに付着していた霜や衣から、多くの水蒸気が発生しことが原因であると考えられる。チキンナゲットでは、調理時間帯前半に大粒径領域の発生量が多い事が明らかになった。コロッケはチキンナゲット程ではないが、調理開始から調理開始30秒までの発生量が多いこと、他の2食材と比べると全般的に安定していることがわかった。また、調理時間帯後半に発生量が多い事が明らかになった。

3食材を比較し、全調理時間の平均を見ると、ほぼポテトフライとチキンナゲットの発生量は同等であることがわかる。また、これら2つに比べてコロッケの発生量は少ないことがわかった。調理開始から調理開始30秒までの発生量は他の2食材と比べてもチキンナゲットの発生量が卓越していることがわかった。調理開始 30 秒から調理終了まででは対象的にポテトフライの発生量が多くなっている。したがって、ポテトフライとチキンナゲットは対象的な発生特性を持っていると考えられる。そこで、全粒径の質量濃度の合計値の経時変化を見ると、チキンゲットは初期の発生量が非常多いが、その発生量は時間経過と共に少なくなっている。これに対してポテトフライの初期の発生量は、チキンナゲットに比べて少ないが、調理半ばでの発生量が最大であった。粒径 835～6732nm のバンドの質量濃度合計値の経時変化を見ると、ポテトフライとチキンナゲットやコロッケは対照的な発生特性を持っていることが確認出来る。チキンナゲットおよびコロッケは衣があり、初期に発生量が大きく、時間経過と共に安定していく特性は衣付きの食材の特性と言える。一方、衣のないポテトは、逆の傾向を示している。

2.2 オイルミスト発生機構の解明

揚げ物オイルミスト発生のメカニズムの仮説では、揚げ物に供する食材には水分が含まれていることが主たる要素だと挙げられる。これを 180℃前後の油中に投入すると、食材表面は瞬時に昇温され、食材表面の水分は水蒸気となる。水が水蒸気に変化する際には体積が約1,000 倍に変化するため、水蒸気は食材中にはとどまれず、食材表面の微細な空隙から気泡となって噴出する。この気泡が油表面で破裂し、オイルミストを飛散させると考えられる。食材への加熱が継続し、内部の温度が 100℃を超えるとその部分の水分が蒸発していくので、調理中、気泡の噴出は継続する。食材表面の水分は徐々に消費され、表面近傍から水分が出きった時点で、食材の表面付近温度が油温に近づき、焦げ色が付くことになる。

3 オイルミスト発生装置の発生機構

捕集率は発生量と捕集量の比であるから、発生量と捕集量を把握する必要がある。発生量が毎回異なる場合は発生量と捕集量を同時に測定する必要があるが、発生量測定方法では、同時に捕集量を測定することはできない。捕集率測定には、実調理ではなく、揚げ物オイルミストの定常発生装置が不可欠といえる。

そこで、油中に気泡を噴出させることによりオイルミストを定常的に発生させる装置を考案した。フライで食材から噴出する気泡は微細であるため、模擬食材として多孔質材を用いた。ポテトフライの表面積を概算し、焼結石を 3 つ用いた。気体は、N_2ガスを用い、注入量はマスフローコントローラにより精密に制御を行うこととした。

4 炒め物オイルミスト発生装置

炒め物は、通常、フライパンなどにオイルをひいて加熱し、オイルが十分に熱せされた状態の鍋に、水分を含んだ食材を投入し、火を通していく。このような調理で発生すると考えられる汚染質は、油と水の様々な大きさの粒子であり、油は大きい粒径から、油はね、オイルミスト、油煙に分類され、水は大きい粒径から、水滴、水ミスト、水蒸気に分類できると考えられる。

実調理を観察した結果、炒め物においては、上記すべての汚染質が発生しており、その発生メカニズムは以下に分類されることがわかる。①油煙は、フライパンなどに油をひいて熱すると発生する。②水蒸気、水ミストおよび水滴は、油をひいて熱したフライパンなどに食材を投入した際に発生する。水蒸気は、食材に含まれる水分が、高温になった油や鍋に接し、瞬時に気化することで発生し、水ミストや水滴は、この膨張する水蒸気が食材表面などについた水分をはじき飛ばすことによって発生すると考えられる。③オイルミストと油滴は、上記の水分が瞬時に気化する際に発生する。

炒め物調理によって発生するオイルミストは、揚げ物調理によって発生するオイルミストと、大枠の発生機構が似ている可能性が高く、自ずとその特性も似て来る可能性がある。炒め物調理では、油表面で、微少な水分の気化を満遍なく行う必要があり、油分と水分をうまく混ぜ

合わせる必要があるが、現段階で実調理の発生の特性をつかんでいないことや、水分投入の難点などの思案事項があるため、実験段階に至っていない。

5・オイルミスト発生量の定量分析方法の検討

5.1 オイルミスト発生量の定量分析方法

油分の測定方法として、鍋直上にフィルタを設置した捕集ボックスを設置し、発生したオイルミストを全量捕集し、フィルタに含まれた油分を定量することとした。使用するフィルタは粒径分布測定の結果を考慮して発生するオイルミストのほとんどを捕捉できるようエアサンプラ用ガラス繊維濾紙(捕集効率 99.99%)を用いることとした。濾紙の圧力損失が大きいので、必要な排気風量を得るため、550mm 角(0.3025m^2)の濾紙を用いた。なお、フィルタを通過する粒子がほとんどないことを確認するために、フィルタ後方の粒径分布を前出の粒径分布測定器を用いて測定し、影響がないことを確認している。

フィルタに補修された油分の定量方法は、油分を含んだフィルタを縦に 6 等分に折りたたみ、渦状に巻いた上で 1ℓビーカーに入れ、ノルマルヘキサンで溶解した。濾紙の油分が十分に抽出されるよう、超音波振動器を用いて 15 分かけて抽出した。ノルマルヘキサンの沸点は採取した油分より十分に低いので、エバポレーターにより、この溶液から溶媒を蒸発させて取り除くと油分のみを得ることができる。得られた油分については、非分散赤外線吸収法による油分濃度計を用いるために、専用の溶媒(H-997)で溶解する。溶液の油分濃度(mg/ℓ)を計測し、捕集量に換算する。

ノルマルヘキサンによる油分の抽出方法では、超音波を長時間に亘って作用させても、1度の抽出過程で全量を抽出することは難しい。多数回にわたる抽出は、溶媒の使用量や定量に必要な時間の面で現実的ではないため、1 度の抽出で測定する方法を採用した。このため、1 回の抽出で、どれだけの油分量を回収出来るか(抽出量とする)を知るため、既知の油分量をガラス繊維濾紙に付着させ(付着量とする)、付着量と抽出量の関係を調べた。付着させる油分の量は、食材ごとの発生量に概ね該当するように 10 から 60mg と設定した。回収率(付着量と抽出量の割合)と付着量の関係を見ると、付着量が増加するにつれて回収率が増加する傾向が見られたので、回収率を付着量の 1 次式で近似することとした。以上より、本研究では、ガラス繊維濾紙から抽出できた量を、得られた検量線から求める事とする。

5.2 油はねとオイルミストの分離

実調理では、大粒径の油滴から小粒径のミストまで、連続した分布で油分が発生していると考えられる。調理器具周辺に飛び散る油滴、いわゆる油はねは、浮遊して、室内の壁・天井など広範囲を汚すオイルミストより大分大きい粒子であり、その飛散挙動は弾道的であり、もとより排気フードの捕集対象ではない。そこで、その判別を油分が到達する鍋上のフィルタの設置高さによって行なうこととした。言い換えれば、フィルタ設置高さまで到達した油分を、フードが捕集すべき油分、すなわちオイルミスト発生量と規定することとした。

設置高さを決定するため、フィルタ設置高さと油滴飛散量の関係を調べた。油滴飛散量の把握方法は、トッププレート上に 70mm 角のステンレス板を敷き、油分濃度計を用いて油はねが飛散する量、すなわち飛散量(mg)を計測する方法によった。

調理方法については、鍋中での食材の移動をある程度抑制するため、金属製のざるを用いる事とした。

本来は、設置高さを増していくと、フィルタに付く油滴が減り、周囲に飛び散る量が増大していくはずだが、300mmから400mmに高くした時点で飛散量が減少した。減少した理由は、油滴が350mm以上に届きにくくなっていた可能性がある。そこで、この高さを飽和点と判断し、今回のオイルミスト捕集に当たっては設置高さを 350mm とした。しかし、チキンナゲットは油滴がフィルタに付着しているのを目視により確認できたので、この食材に限り、設置高さを500mm とした。したがって、実調理の発生量の測定では 350mm(500mm)に到達した油分を発生量と規定する事とした。

5.3 実調理のオイルミスト発生量の測定結果

次に、実調理時における発生量の測定を油分定量法で行った。フード設置高さは前述した350mm(チキンナゲットは500mm)とし、食材毎に3回ずつ測定した。

実験の結果、ポテトフライとチキンナゲットの発生量は概ね等しかった。コロッケの発生量は他の 2 者に比べて少ないといえる。ポテトフライはチキンナゲットと比べ測定毎のデータのばらつきがある。これはポテトフライの個体差や表面積の違いが影響していると考察した。粒径分布の測定でも同じような発生の傾向が見られたので、一般的傾向と考えて差し支えないと思われる。

オイルミストの油分定量法は、一応の完成を見たが、付着した油分の回収率が低く、精度的には問題がある。したがって、現時点での計測データに高い信頼性はなく、油分定量法以外のミスト測定法の開発も必要であると考えられる。

5.4 新たなミスト測定法

調理では、様々な汚染質が発生していることを前述したが、捕集率への影響は空気動力学的な性質に基づくものであり、オイルミストと水ミストは、ミスト状汚染質として、油煙と水蒸気はガス状汚染質として、その挙動をグルーピングすることが出来ると考えられる。

仮に、水ミストとオイルミストの挙動が似ているとすれば、水ミストの測定でミスと状汚染質の捕集性能を把握すること事も検討可能になる。

例えば、フードに吸引された水ミスト混じりの空気を加熱し、捕集水分を完全に蒸発させて湿り空気とし、絶対湿度を測定する事により、風量と併せて捕集水分を測定するアプローチがある。手順が複雑な化学的な定量方法でないため、容易に測定を行うことが出来る。

絶対湿度を測定するには、温度と相対湿度より求める方法と、露点温度から求める方法が考えられるが、捕集率を求める精度を確保するには、鏡面冷却式露点温度計を用いる方法

を採用する必要がある。鏡面冷却式露点計は一般的な湿度計の校正機器であるため、高価であり、本研究の予算内では測定することは出来ず、今後の検討課題とする。

6・発生装置操作パラメータの検討

6.1 発生装置の発生量の把握

開発したオイルミスト定常発生装置の特性を把握する為、粒径分布と発生量を測定により確認した。オイルミストの発生メカニズムによれば、オイルミスト発生量は油表面で破裂する気泡の量に依存し、気泡の量は注入するN_2ガスの量に依存すると考えられる。そこで、N_2ガスの注入量によってオイルミストの発生量をコントロールできるかを検証するために、目視での実調理と発生状況の類似性を元に、3ℓ/min、7ℓ/min、11ℓ/minの3水準の注入量の場合で測定した。発生装置における発生量測定においても、実調理時と同様に、捕集位置を検討した上でフィルタに発生したオイルミストを捕集し油分定量法によって定量した。

その結果、N_2 注入量をコントロールすることによって各スパンでのオイルミスト発生量を精度良く得ることが出来、N_2 注入量と発生量には比例関係があることが確認出来た。

しかし、発生量の水準はコロッケ程度であり、他の 2 食材の発生量には至らなかった。そこで、発生量を増大させるため、N_2 の注入量を多くしたところ、気泡が油表面で破裂する性状が実調理と大きく異なり、実調理を再現しているとは考えられない状況となった。目視で確認する限りでは、7ℓ/min 程度の注入量が実調理の状況を良く再現しており、このことから、実調理での水蒸気噴出量も 7ℓ/min 程度であると考えられた。

ガスの噴出量が同程度であるのにオイルミスト発生量が異なる理由は、実調理では、油中で水分が蒸発して水蒸気が噴出しているのに対して、発生装置では、元々ガスである N_2 を油中に放出しているからではないかと考えられる。実調理での水分の放出は、穏やかにガス状の水蒸気が噴出するだけではなく、一部は水分のまま微少な水滴として油中に入り、水蒸気爆発を起している可能性がある。事実、発生量が発生装置に近いコロッケでは、揚げ物特有のはね音がほとんど発生しないが、ポテトやナゲットでは発生しており、これこそが微少な水蒸気爆発の音ではないかと考えた。

このようなメカニズムであるとすれば、ポテトやナゲットでの発生量に近づけるためにはガスだけではなく、水分の投入も不可欠であると考えられ、気相・液相の混相流を注入する発生装置の開発が課題と考えられる。

6.2 粒径分布

小、中粒径にはほとんど差は見られなかったが、大粒径部分では注入量による差が見られた。やはり、注入量が多いほど、発生量(質量濃度)が多くなる傾向が得られた。したがって、発生量は大粒径部分の質量濃度の大きさに依存すると考えられる。また、実調理と定常発生装置の小粒径から中粒径部分の粒径分布はほぼ一致した。しかし、大粒径部分は実調理と比べると発生量(質量濃度)が少ない。実調理では、微少な水蒸気爆発によって、油表面が

大きく破裂し、比較的大粒径のオイルミストも生成されている可能性がある。

以上より、先ほどの実調理の発生量の測定でも示した通り、大粒径を発生装置で作り出すには、水分の投入が必要である可能性がある。全調理行程での平均質量濃度の推移を見ると、発生量はほぼ一定水準を維持していた。特定のバンドに注目しても、その発生量は一定水準を維持していた。また、実食材との発生量を比較すると、発生装置は、ポテトフライ、チキンナゲットには及ばなかった。しかし、コロッケ程度の発生量水準はほぼ再現できることを確認した。

6.3 水分投入の検討

開発、改良した定常発生装置は、捕集率に測定に適した装置であることが明らかになった。粒径分布をより実調理に近づけるためには、水蒸気の投入が必要であると考えられ、参考実験ではあるが油中に水分を投入し、粒径分布を計測した。ごく少量の水を供給し、供給用金属パイプを比較的長く油に浸し、水分が通過する際に、一部が蒸発して水と水蒸気の二相流になるようにした。目視で確認する限りでは、水分が不規則に水蒸気爆発を起こし、油が飛び散る場合もあり、実調理に近いものではなかった。しかしながら、粒径分布を見る限り、困難であった中・大粒径部の発生を確認することが出来た。また、計測された発生量はチキンナゲットより多かった。発生量を制御できていると言い難いため、現段階では再現性のある発生方法とはいえないが、今後は投入水分量を、窒素量と同様に厳密にコントロールすることにより、大粒径部の発生量をコントロールすることができるのではないかと考えられる。

7・オイルミスト捕集率測定

7.1 捕集率の測定ーオイルミストの発生量

捕集率は、フードの性能を確かめる重要な性能評価指標であり、室内への拡散や壁などへの付着を防ぐためにも、欠かせない判断材料になる。本実験では、鍋から発生したオイルミストの発生量とフードに吸われた捕集量の割合を捕集率とする。開発したオイルミスト定常発生装置の発生量は、供給 N_2 流量 7ℓとした。事前に測定した発生量の測定 3 回分の平均値は 16.78mg であり、これを捕集率の分母である実験中の総発生量とする。

7.2 オイルミスト捕集率の測定

前途で改良したオイルミスト定常発生装置と発生量測定方法を応用して、実際に捕集率の測定を行なった。発生量測定で用いた捕集ボックスを家庭用フードに見立て、捕集ボックスを油面高さ 900mm の位置に設置した。

実調理の発生量測定で用いたガラス繊維フィルタと同一のフィルタをフード（捕集ボックス）の吸い込み面全面に設置し、そこに到達したオイルミストを全量捕集した。一般的な捕集率測定では、フードに捕集された汚染質量をダクト内で測定し、それを捕集量とするが、オイルミストのような汚染質はフード・ダクト内に付着し、正確な捕集量が計れない恐れがあるからで

ある。排気風量は 100, 150, 200m^3/h の 3 水準とした。その他の測定条件は発生量測定実験等と同一とした。

捕集率測定を行った結果、少排気風量であるにも拘わらず、かなり高い捕集率となった。同一排気風量における捕集率には 20%程の偏差はあるが、排気風量が増大するにつれて捕集率が上昇する傾向が認められる。比較的高い捕集率になった理由としては、圧力損失が極めて大きい濾紙に必要な風量を通過させるため、実験室内をかなり高い正圧にしていたので、室外への漏気や空気密度が実験室内の気流性状に影響を及ぼし、オイルミストが拡散しにくい状況であった可能性がある。飽和曲線を近似曲線と仮定し、最小二乗法によりオイルミスト捕集率を求めた。

8・ガス状汚染質の捕集率とオイルミスト捕集率の比較・検討

8.1 CFD 解析による汚染質の挙動

現在、日本建築学会、空気調和・衛生工学会の厨房換気設備に関する委員会で、ミスト状汚染質の捕集率に関する試験・評価方法を検討しているが、ミスト状汚染質を、ガス状汚染質と同等に取り扱う考え方が主流である。しかし、2 つの粒子の特性(粒径・密度)は大きく異なるため、ミスト状汚染質に対する捕集率の測定も必要であると考えられる。

そこで、ミスト状汚染物質の代表としてオイルミストを取り上げ、オイルミスト相当の粒子サイズと質量を与え、曲線状に流れる空気流に載せた場合の挙動を解析する。ガス状汚染質と比較により、調理時に発生する汚染物質において捕集性能に違いが出る可能性があるかを検討する。また、粒子の粒径を変化させることによって捕集率に差異が出るか確認する。

ガス状汚染質とミスト状汚染質には様々な違いがあるが、大きな違いのひとつに、密度の大きさが挙げられる。一般に、ミスト状汚染質の密度はガス状汚染質の約 1000 倍程度である。また、質量が大きいものほど慣性力が働き、空気の流線が急激に曲がるところでは、流線より逸脱した動きをする。また、同じ密度であったとしても粒径が大きくなれば質量が大きくなるため、働く慣性力も、大きく異なってくると考えられる。ガス状汚染質とミスト状汚染質では、慣性力が、粒径と密度の両面で影響を及ぼすと考えられる。

例えば水分は、調理時に発生する汚染質の中でも最も一般的と言えるが、水蒸気として発生する場合と、湯気(微小な水滴＝水ミスト)として発生する場合が考えられる。したがって、水の場合は、ガス状・ミスト状のどちらの汚染質にもなりうる。また、これらがフードに吸われていく過程で、水蒸気が凝縮して水ミストとなったり、水ミストが凝集して水滴になったりする可能性もある。液体(ミスト状)の水は水蒸気の密度の約 1700 倍であり、水ミストはガス状の水蒸気とは、大きく異なる挙動を示す可能性もある。

このように、調理時に発生するミスト状汚染質が、ガス状汚染質とは異なる挙動を示すなら、それぞれの汚染質の捕集率に差が生ずると考えられる。そこで、それぞれの代表的な汚染質を取り上げ、その挙動をCFD解析により検討した。解析空間は、局所排気型フードを簡略化したものである。

8.2 CFD 解析概要

①燃焼排ガス(ガス状汚染質)の密度とオイルミスト(ミスト状汚染質)の密度を持つ粒子を発生させ、排気口(吸引面)に吸われる際の挙動の違いを調べた。粒子の大きさは、ガス状汚染質、ミスト状汚染質共に等しくした。②オイルミスト粒子の粒径を変化させ、同じ密度の粒子が粒径によって捕集率に差異が出るかどうかを確認した。解析コードとしては、STREAM for Windows V7 を用いた。

解析領域は、幅 100mm、奥行き 100mm、高さ 1000mm で、領域の下面から 0.3m/s の初速を与えた粒子と空気を発生させた。粒子は 0.1 秒ごとに 9 個発生させた。高さ 500mm の位置に幅 100mm、高さ 200mm の開口を設け、0.15m/s の速度で空気を吸引する。これが局所排気に相当にする排気口である。捕集率の異なる理由が慣性力であるかを確認するため、吹き出し口と吸い込み口の面の角度を垂直にして流線を大きく曲げたことになっている。

また、領域上部に開口部(幅 100mm×奥行き 100mm)を設け、そこでは吸引を行わず、自然流出(表面圧力境界)とした。

捕集率の算出は、排気口(吸引面)の直前に検査面を設け、その面を通過した粒子とのうちどれだけが排気口(吸引面)を通過するかで評価した。求める粒子の捕集率計算式は吸引した粒子の個数と検査面を通過した粒子の個数の比である。

解析の結果、ガス状汚染質は吸引している開口部にほとんど吸い込まれているが、ミスト状汚染質の一部は開口部から吸引されず領域内に浮遊し、密度の違いが挙動に大きな影響を与えていることがわかった。それぞれの捕集率を算出すると、オイルミストの捕集率は、燃焼廃ガスより 10 ポイント以上低かった。粒径が 1μmのものは、粒子の一部が捕集されずに浮遊しているが、10μmの粒子ではさらに多くの粒子が捕集されずに浮遊し、その一部は質量か大きいため重力の影響を受けて下方に落ちた。捕集率は 15%近い差が生じた。1μm のオイルミストが 85%捕集されるのに対して、10μm のオイルミストは 68%しか捕集されなかった。

このように、同じ密度の粒子(オイルミスト粒子の大小の比較)でも、粒径が大きくなると挙動が変わる)。したがって、調理時に発生する汚染質でも、粒径によって捕集率に差が生じている可能性がある。

以上より捕集率はガス状汚染質の捕集率＞ミスト状汚染質の捕集率となり、これは、小さい粒径の捕集率＞大きい粒径の捕集率である可能性が示唆された。

すなわち、ガス状汚染質とミスト状汚染質を捕集率に関して同等と見なす考え方には疑問があり、レンジフードの最も重要な性能評価指標である調理に伴って発生する様々な汚染物質の捕集率については、ガス状汚染質に対する捕集率だけでなく、ミスト状汚染質に対する捕集率も必要であると考えられる。

9 オイルミスト捕集率測定・評価方法の体系化

9.1 オイルミストの捕集率測定法

基本的には発生量と捕集量は同時測定する事が望ましいが、本報告書で提案するオイルミスト測定法では、発生量をオイルミスト発生後の上昇途中での到達量で規定しているため、同時測定は不可能である。しかし、開発したオイルミスト定常発生装置は再現性が十分に高いため、同時測定を行わなくても、精度の高い発生量把握が可能であると考えている。

いかに、提案するオイルミスト測定方法をまとめる。

■発生装置:

オイルミストの発生方法には定常発生装置を用いる。

■油分定量方法:

油分を採取したフィルタをノルマルヘキサンで溶解し、超音波振動器を用いて油分を抽出する。エバポレーターにより、当該溶液よりノルマルヘキサンを蒸発させて完全に取り除く。得られた油分を、非分散赤外線吸収法による油分濃度計によって、油分濃度(mg/ℓ)を計測する。一回の抽出では、フィルタから油分全量を回収できないため、既知の油分を抽出するテストにより検量線を作成し、これにより測定値を捕集量に換算する。

ただし、この方法は油分の回収率が低く、十分な精度が確保されていない事に留意する必要がある。

■発生量の測定:

鍋内に油を入れ、油温度が 180℃になった時点で試験を開始する。試験開始と同時に発生装置のエアレーションを行う。鍋上面から高さ 350mm の位置に、試験直前にガラス繊維ろ紙(捕集効率 99.99%)を設置し、発生量としての油分を採取する。試験時間は 3 分とし、オイルミストを全量捕集し、定量する。各風量水準における測定回数は 3 回とし、その平均を発生量とする。

■捕集量の測定:

フードの吸い込み面に、試験直前にガラス繊維ろ紙を設置し、捕集量としての油分を採取し、油分定量法により定量する。その他の、実験方法・手順は発生量の測定と同様である。

■捕集率の算定方法:

捕集量と発生量の比を捕集率とする。

9.2 レンジフードの捕集率評価方法

現状の評価方法では、ミスト状汚染質はガス状汚染質と同じ挙動をするものとして扱う事になっており、両者の特性を考慮していない。

したがって、今後の捕集率評価方法のあるべき姿としては、以下のようにまとめることが出来る。

■ガス状汚染質:

トレーサーガス捕集率測定法(排気捕集効率試験(財)ベターリビング BLT VU-07)

■ミスト状汚染質:

オイルミスト捕集率測定法(例として小峯研究室の提案する方法)

ただし、現状では、炒め物オイルミストに関しては実調理時の特性把握ができていない事、発生装置は大粒径の再現が未開発であり改良の余地が有る事、オイルミスト定量法の精度が高くない事、CFD 解析で示唆されたガス状汚染質とミスト状汚染質の挙動の違いを、実験室実験により検証する必要がある事、などの課題が残っている。

ピンポイント補強による鉄筋コンクリート建築の耐震性能の飛躍的合理化

豊橋技術科学大学
准教授　真田 靖士

１．本研究の背景と目的

建物の設計が性能評価の体系に移行しつつある世界的な流れの中，建物あるいは部材の性能を定量的に評価する必要性が認識されて久しい　こうした社会背景の下，筆者らも鉄筋コンクリート（以下，RC）構造の耐震性能評価を目的に，その部材内部を伝達される力の応答に着目した研究を展開してきた[例えば 1), 2)]　とくにRC耐震壁を対象に，本構造の危険断面における部材内力を取得するため力の計測システムを構築するとともに，本システムを応用して力の応答を計測した．その結果，耐震壁の危険断面に作用するせん断力は，とりわけ終局域において圧縮側端部に集中することが実験的に明らかとなった．こうした実験結果は，本構造の力学的な弱点を同時に指摘しており，力が集中する圧縮側柱脚部をピンポイントで補強することにより，弱点のみならず部材全体の耐震性能を飛躍的に向上し得る可能性を示唆していた

以上の背景の下，本研究では，RC 耐震壁の力学的弱点である圧縮側柱脚部をピンポイント補強した場合に得られる耐震性能の改善効果を明らかにするため，本構造を対象とする一連の破壊実験を実施し，破壊挙動や耐震性能について比較検討した．

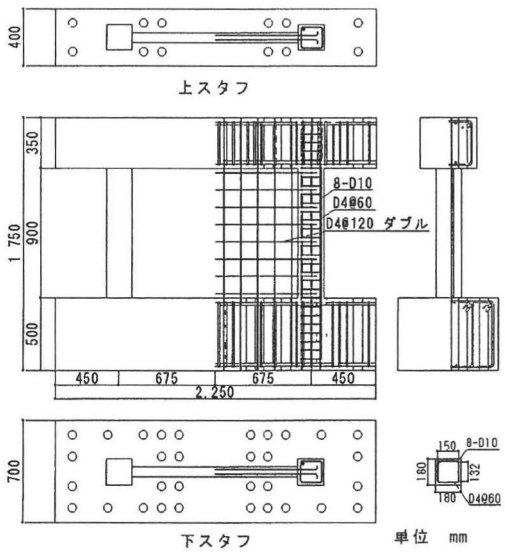
２　研究の方法

２．１．研究対象

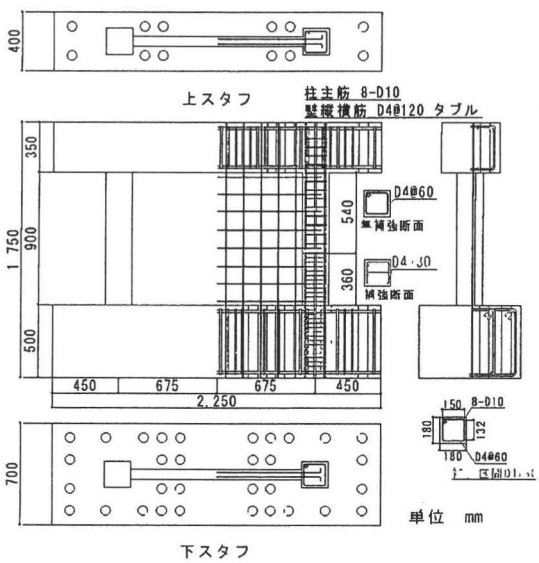
上記の目的を遂行するため，わが国の現行基規準[3), 4)]に基づく曲げ降伏が先行するRC連層耐震壁の脚部を模擬した 3/10 スケールの耐震壁模型を試験体のプロトタイプとして設計した　ピンポイント補強による耐震性能の改善効果を検証するため，ピンポイント補強の有無をパラメータとして，

1) 基準試験体　無補強の試験体
2) 補強試験体Ⅰ　側柱脚部のせん断補強筋量を３倍に割り増した試験体
3) 補強試験体Ⅱ．側柱脚部を鋼管により補強した試験体

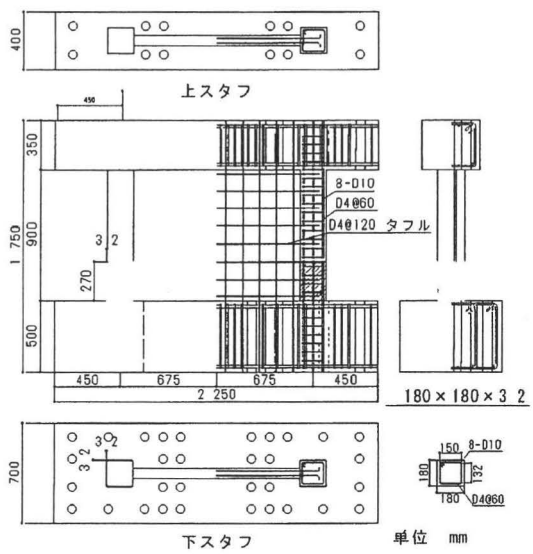
の計３体の試験体を製作した．各試験体の平面図，立面図および配筋図を図１に，各補強試験体の補強の状態を写真１に示す　また，表１に試験体の製作に用いた材料の力学的特性を示す



(a) 基準試験体



(b) 補強試験体 I



(c) 補強試験体 II

図 1 試験体の平面図，立面図，配筋図

表 1 材料試験結果

(a) コンクリート

試験体	材齢（日）	σ_B (MPa)	σ_t (MPa)
基準試験体	48	22.3	2.2
補強試験体 I	53	20.7	2.3
補強試験体 II	33	20.3	2.0

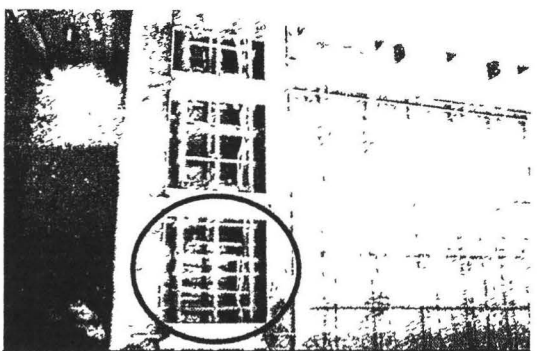
ここで，σ_B コンクリートの一軸圧縮強度，σ_t コンクリートの割裂強度である

表 1 材料試験結果

(b) 鉄筋

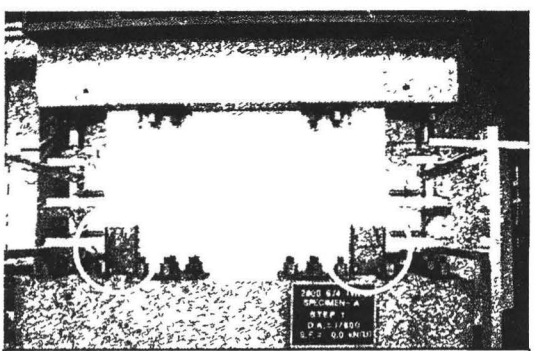
呼び名	E_s (GPa)	f_y (MPa)	ε_y (μ)	f_t (MPa)
D10	184	352	1913	492
D4	164	383	2335	537

ここで，E_s 鉄筋のヤング係数，f_y 鉄筋の降伏強度，ε_y 鉄筋の降伏歪度，f_t 鉄筋の引張強度である．



危険断面より 360mm の補強筋量 3 倍

(a) 補強試験体 I



危険断面より 270mm を鋼管補強

(b) 補強試験体 II

写真 1 補強試験体の補強の状態

2．2．載荷方法

上記の試験体を対象に，豊橋技術科学大学内の耐震実験施設において，破壊実験を実施した．図 2 に載荷装置を示す　載荷方法は計 300kN の一定軸力載荷での，水平方向への準静的な正負交番繰り返し載荷とした．水平載荷は原則として層間変形角 1/800 まで 1 サイクル，1/400，1/200，1/100，1/50 まで各 2 サイクルずつ繰り返す計画としたが，実験途中で試験体が軸力支持能力を喪失した場合は載荷を終了した．また，本実験で用いた試験体は連層耐震壁の 1 層を想定したため，せん断スパン比が常に 1.2（図 2 の h/l）となるように，水平力の増減に伴う曲げ戻しモーメントを鉛直ジャッキにより作用した．

2．3．計測方法

各試験体に対し，各部の変形，側柱の主筋と帯筋，壁の縦筋と横筋の歪度を計測した　とくに試験体の変位の計測位置を図 3 にまとめる．同図中，片矢印は絶対変位，両矢印は相対変位，アルファベットは載荷制御に用いた変位をそれぞれ指す．水平変位は絶対変位として計測したため，a－b を試験体を代表する層間変位とした．

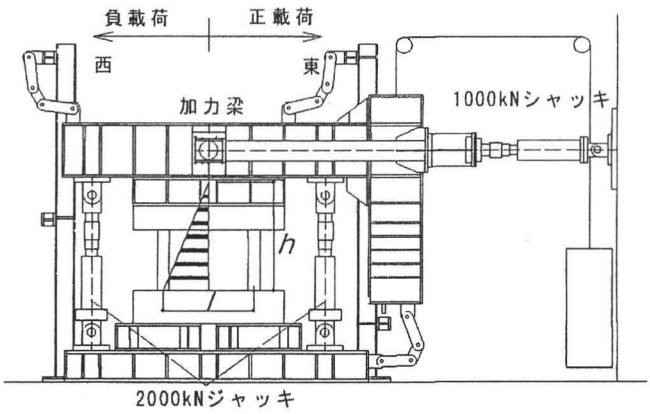


図 2 載荷装置

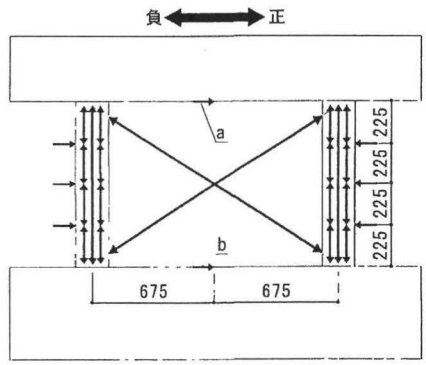


図 3 変位計測位置

3．実験の結果

3　1．破壊経過

以下に各試験体の破壊経過をまとめる．併せて，図 4 ではひび割れ図により試験体の最終破壊状況を示す

基準試験体

基準試験体は，変形角 1/800 正載荷ピーク時に壁パネルに初期せん断ひび割れ，引張側柱に初期曲げひび割れがおよそ同時に発生して剛性低下した　1/200 正載荷時に歪度を計測した主筋の約 8 割が降伏，また壁パネル引張側の縦筋が降伏し，大きく剛性低下を示したことから，曲げ降伏機構を形成したと考えられる．また，1/200 正載荷ピーク時には最大耐力 352kN を記録した　その後，1/100 正載荷ピーク直前で圧縮側柱が脚部でせん断破壊するとともに壁脚部でスリップ破壊を生じ変形が 0.0138rad.まで急激に進行した　最大変形時には最大耐力の約 50%まで耐力低下した　その後，負載荷途中に軸力支持能力を喪失したため実験を終了した

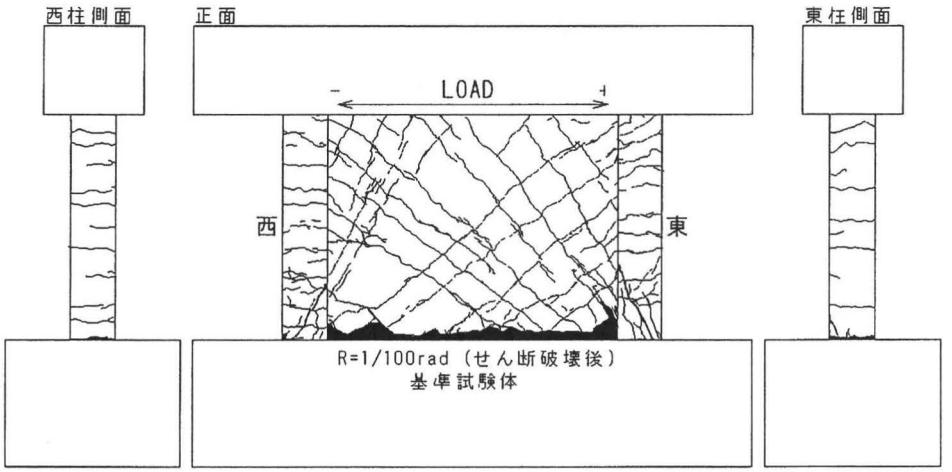
補強試験体Ⅰ

補強試験体Ⅰは，変形角 1/200 まで基準試験体と概ね同様の破壊性状を示した．1/100 正載荷ピーク直前で最大耐力 356.0kN を記録した．本試験体の最大耐力は基準試験体と概ね等しい結果である．その後，1/50 正載荷途中，圧縮側柱脚部がせん断破壊した　試験体の変形性能を耐力低下開始点で定義し，本試験体を基準試験体と比較すると，表 1 より本試験体のコンクリート圧縮強度は基準試験体よりも約 7%低かったが，変形性能は 30%以上向上した．

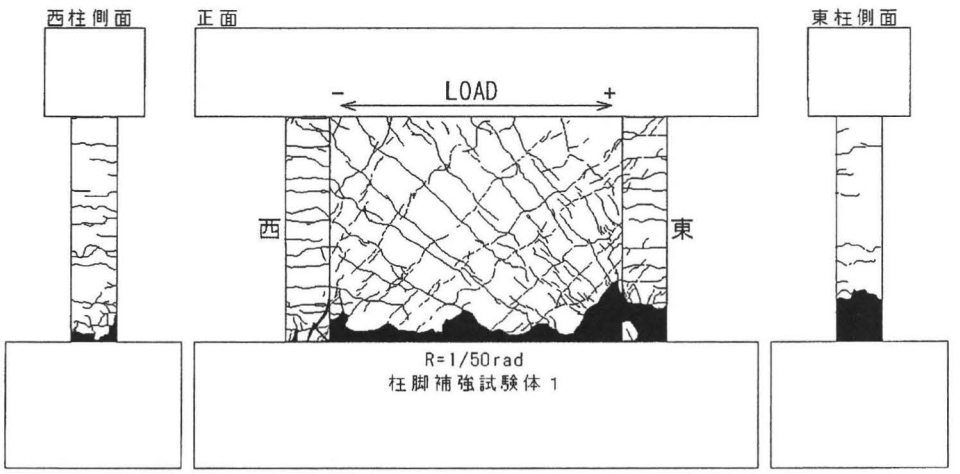
補強試験体Ⅱ

補強試験体Ⅱは，変形角 1/200 まで基準試験体と概ね同様の破壊性状を示した．曲げ降伏機構を形成した後 1/100 正載荷ピーク時には最大耐力 384.5kN を記録した．表 1 より，本試

験体のコンクリート圧縮強度は基準試験体よりも 10%程低かったが，最大耐力は約 10%増大する結果となった．これは鋼管を危険断面直上より設置したため，鋼管が柱の拘束効果に加えて，圧縮力負担にも寄与したためと考えられる．その後，1/50 正載荷途中の変形角 0.0149rad.までは側柱がせん断破壊することなく安定した荷重変形履歴を描いた　図 4(c)に示すように，本試験体は最終的に柱脚の鋼管直上の無補強部分に損傷箇所が推移し，当該部分でせん断破壊して耐力劣化し始めたが，1/50 載荷サイクル終了時まで軸力支持能力を維持した．

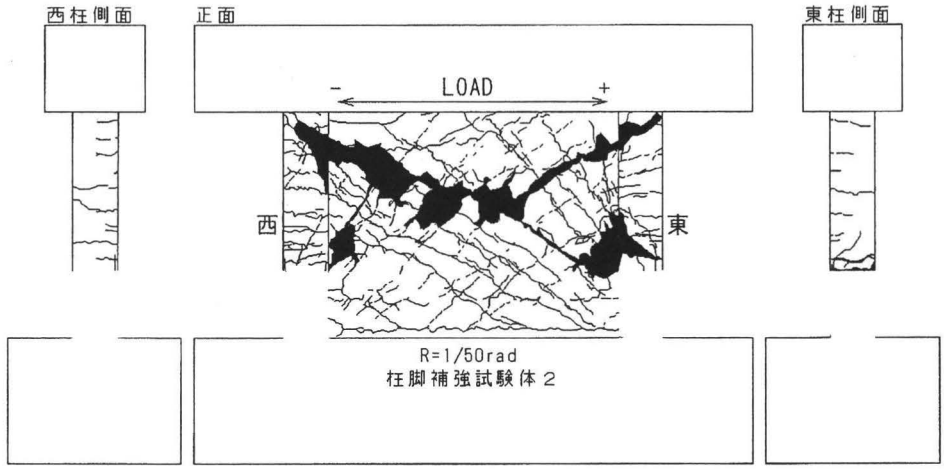


(a) 基準試験体



(b) 補強試験体 I

図 4 最終破壊状況

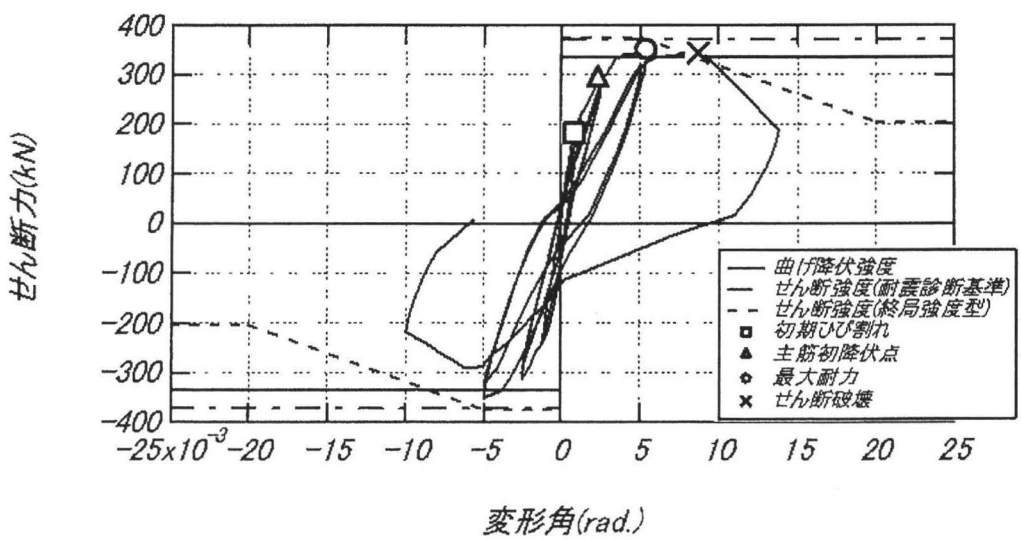


(c) 補強試験体Ⅱ

図 4 最終破壊状況

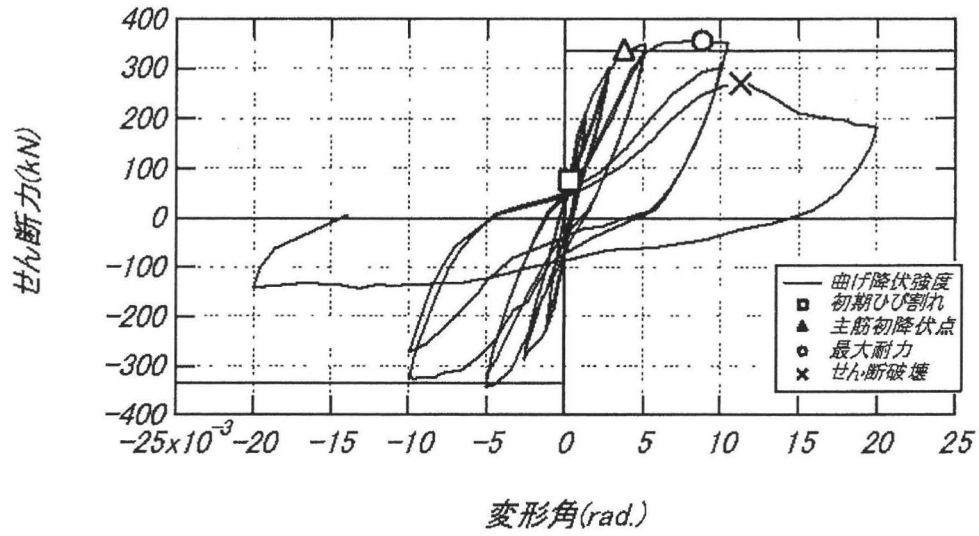
３　２　荷重－変形関係

各試験体の全載荷サイクルの荷重－変形関係を図５に示す　同図には各試験体の曲げ降伏強度の計算値[5]を，また，図５(a)には基準試験体のせん断強度の計算値[5),6)]を併せて示した．図５(a)より，基準試験体の曲げ耐力について，計算値が実験値を良好に評価している．また，終局強度型耐震設計指針[6]によるせん断強度の計算値は，実験でのせん断破壊点を精度よく推定している　補強試験体Ⅰ，Ⅱの性能を基準試験体と比較すると，側柱脚部のせん断補強筋量を３倍にしたことで，変形性能（せん断破壊時の変形として定義した）は約 1.4 倍向上した．また，鋼管により補強することで，最大耐力が約 10%向上し，変形性能は約 1.7 倍にまで向上した

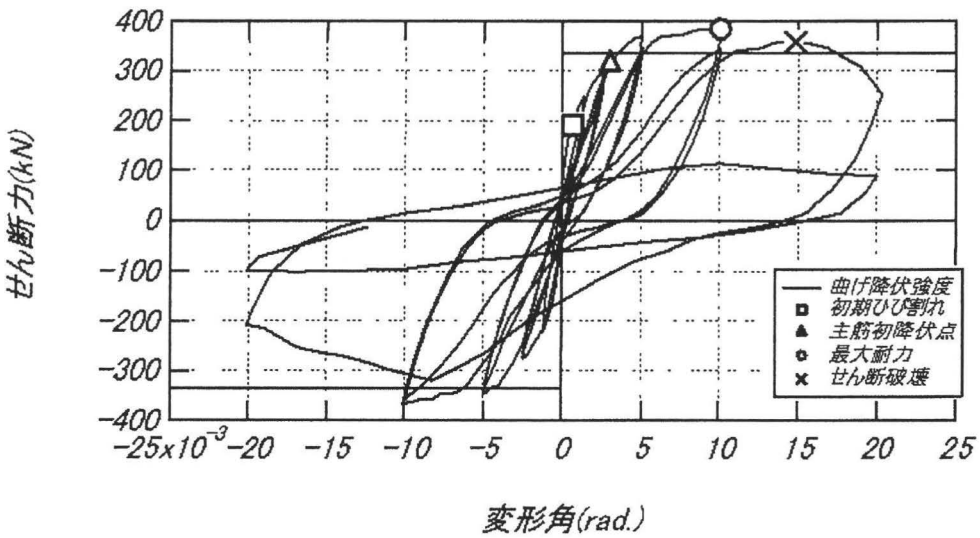


(a) 基準試験体

図 5 荷重－変形関係



(b) 補強試験体Ⅰ

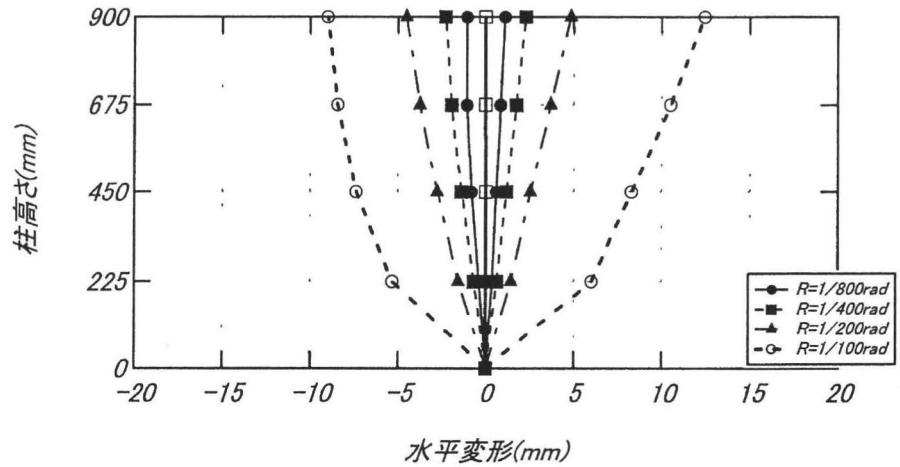


(c) 補強試験体Ⅱ

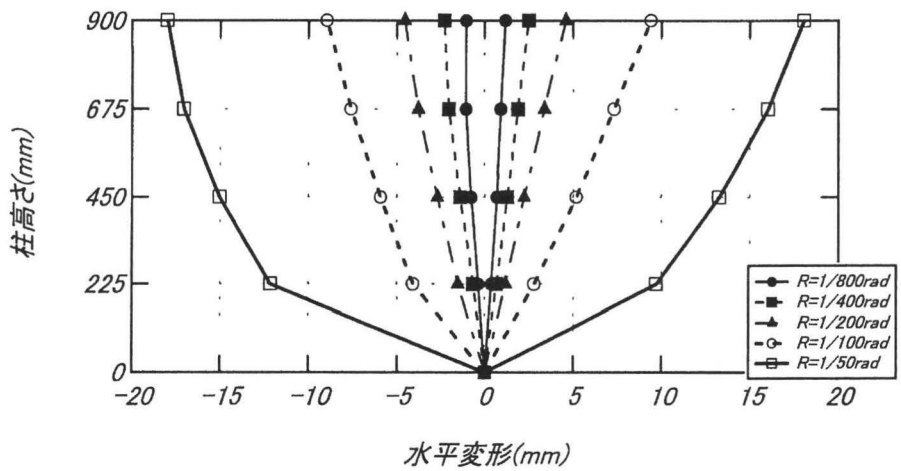
図 5 荷重－変形関係

3．3　壁高さ方向の水平変形分布

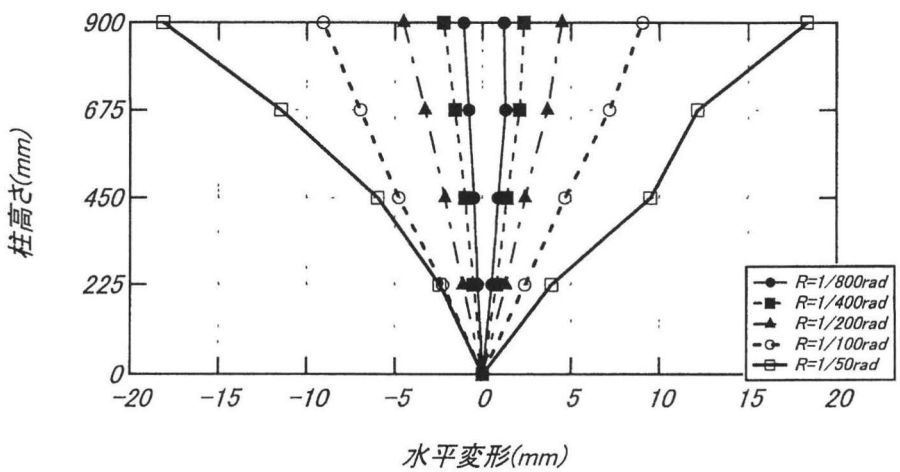
図 6 に各試験体の高さ方向の水平変形分布を示す．終局域に着目すると，基準試験体，補強試験体Ⅰでは脚部への変形集中が顕著であり，側柱脚部のせん断破壊に至った破壊メカニズムと整合している．補強試験体Ⅰでは側柱脚部のせん断補強筋を 3 倍に割り増したが，脚部への変形集中を抑制することはできなかった．一方，補強試験体Ⅱでは鋼管の設置により脚部の変形が抑えられ，局所的な変形集中が生じていない．この効果が結果として相対的に優れた変形性能の実現に寄与したものと考えられる．



(a) 基準試験体



(b) 補強試験体 I



(c) 補強試験体 II

図 6 水平変形分布の推移

3．4．累積消費エネルギー

図 7 では各試験体の累積消費エネルギーを比較して示す．1/200 の載荷サイクルまで各試験体の破壊性状が近似していた結果，およそ同等のエネルギー消費を示した．その後，基準試験体のエネルギー消費が 1/100 のサイクルで両補強試験体を一時的に上回った　ただし，これは同試験体がせん断破壊により急激に水平変位が増大した結果に起因する　結果的に，両補強試験体は 1/50 の載荷サイクルまで水平耐力，軸力支持能力を保持したため，補強試験体Ⅰでは基準試験体を 1.7 倍以上，補強試験体Ⅱでは 2.6 倍以上に上回るエネルギー吸収性能を示した．

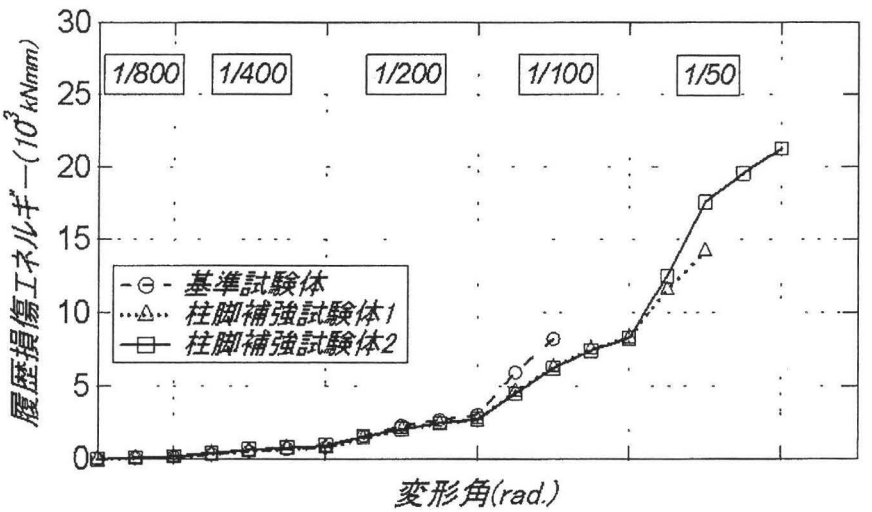


図 7 累積消費エネルギーの比較

4　まとめ

RC 耐震壁を対象に側柱脚部を局所的に補強（ピンポイント補強）した場合の耐震性能の向上効果について実験的に検討した　現行の耐震基規準[3),4)]を満足する従来型の試験体（基準試験体），基準試験体の側柱を対象に脚部のせん断補強筋量を 3 倍に割り増した試験体（補強試験体Ⅰ），脚部を鋼管により補強した試験体（補強試験体Ⅱ）を計画し，静的な破壊実験を実施した．これらの実験結果の比較を通して得られた知見を以下にまとめる．

1) 局所的補強を施した補強試験体Ⅰ，Ⅱは，無補強の基準試験体と比較して耐震性能が向上した　せん断補強筋量を 3 倍にした補強試験体Ⅰでは変形性能が約 40%向上し，鋼管補強を施した補強試験体Ⅱでは耐力が約 10%，変形性能が約 70%向上した．とくに後者について，変形性能に加えて耐力も向上した結果は，鋼管が柱の拘束のみならず，圧縮力負担にも寄与したためである
2) 補強試験体Ⅰの最終的な破壊メカニズムは基準試験体と同様であった．せん断補強筋量の割り増しにより，耐震壁脚部への変形集中を抑制することはできなかった　一方，補強試験体Ⅱは脚部への変形集中が抑制され，最終的には損傷が無補強部に推移した．

3) 両補強試験体は基準試験体を上回るエネルギー吸収性能を示した．本実験では，補強試験体Ⅰのエネルギー消費が基準試験体を約 1.7 倍，補強試験体Ⅱが約 2.6 倍上回った．

上記を総合して，現行の耐震基規準を満足する RC 耐震壁の耐震性能（耐力と変形性能）は，圧縮側柱脚を鋼管により拘束することで合理的に向上できることを実験的に検証した

参考文献

1) 真田靖士，村瀬正樹，壁谷澤寿海・鉄筋コンクリート造耐震壁の局所せん断力・軸力の計測実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.2，pp.451-456，2005.6
2) 廣瀬泰三，真田靖士，Botırjon Yorkınov　曲げ降伏先行型耐震壁の危険断面応力計測に基づく力学的弱点の抽出，コンクリート工学年次論文集，Vol.30，No.3，pp.457-462，2008.7
3) 国土交通省住宅局建築指導課他　2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書，2007.8
4) 日本建築学会　鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999.11
5) 日本建築防災協会　既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説 2001 年改訂版，2001.10
6) 日本建築学会　鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990.11

対外発表

1) 廣瀬泰三，Botırjon Yorkınov，佐島悠太，真田靖士　耐震壁側柱脚部の鋼管を用いた局所的補強効果の検証実験，第6回日本地震工学会大会－2008梗概集，pp.32-33，2008.11
2) Yasushı Sanada, Taızo Hırose and Botırjon Yorkınov: Detectıon and Partıal Strengthenıng of a Structural Weak Poınt ın R/C Shear Walls, Proceedıngs of the 7th Asia Pacıfic Structural Engıneerıng and Constructıon Conference 2009 & 2nd European Asıan Cıvıl Engıneerıng Forum, pp. 318-323, Aug. 2009
3) 廣瀬泰三，佐島悠太，高橋央，真田靖士・曲げ降伏する耐震壁の構造弱点の抽出とその応用その1実験による脚部応力の取得，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2構造Ⅳ，pp.455-456，2009.8
4) 佐島悠太，廣瀬泰三，高橋央，真田靖士　曲げ降伏する耐震壁の構造弱点の抽出とその応用その22次元非線形有限要素法解析による検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2構造Ⅳ，pp.457-458，2009.8
5) 高橋央，佐島悠太，廣瀬泰三，真田靖士　曲げ降伏する耐震壁の構造弱点の抽出とその応用その3局所補強による耐震性能向上効果の検証，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2構造Ⅳ，pp.459-460，2009.8
6) 廣瀬泰三，真田靖士，佐島悠太　力の計測に基づく曲げ降伏先行型耐震壁の力学的弱点の抽出とその補強効果，日本建築学会構造系論文集，Vol.75，No.647，pp.203-212，2010.1

旧来の(築35年以上)不適格軸組木造住宅の非破壊による耐震改修計画の策定研究

特定非営利活動法人(NPO)建築技術支援協会

理事　太田統士

報告書要約

1．本研究の目的

既存不適格住宅の耐震改修は緊急を要する課題である。しかも、これらの既存住宅は耐震改修に際して改修を要する構造部分は目視できない部分が多く、壊してみなければ改修計画　が策定しにくいのが実情であろう。

本研究の目的の第一は、現存している昭和56年以前に建てられた木造住宅の設計図書を収集し、この時代の構造を顧みて図面に隠れた構造部分を洗いだし、また、住宅公庫木造工事標準仕様書の内容の移り変わりから、この時代の工務店で建てられた住宅の基礎・構造躯体等の実態 と傾向を推定することである。

第二はこれにより、建物の一部分を壊して確認しなくても、耐震改修の計画策定が容易と　なる方法を研究することにある。更に、現在進行している既存不適格住宅の実際の耐震改修　事例も加えて今後の耐震改修の実務に資するべく調査研究を行った。

2．既存不適格木造住宅の事例収集

東京近辺で町場の工務店が施工した32戸の図面を収集した。その内訳は下表のとおり28件がS56年代以前のものであるが、未だ56年の改正基準法の認識が希薄な59年までの4件を含めることとした。

収集した事例で主体が真壁構造であるものは合計28件あり、その内2件は、建設年代がS10年代とS50年だと大きく異なるがいずれも小舞壁仕様の平屋建伝統的構法である。

主体が大壁構造で一部に真壁構造を有するがのものは4件であり、建設年代はいずれもS50年代となっている。

以上から見て、一般に既存不適格木造住宅は殆どが真壁構造で、外周壁はともかく設計図で示されてない限り間仕切壁には筋かいがない軸組である。

3．検査及び分析方法

①簡易耐震診断は、(社)日本建築士事務所協会編の方法及び(財)日本建築防災協編の方法の両方で検討。精密耐震診断と比較検討し、簡易診断方法の有効性の範囲を検討。

②一般診断及び精密診断は㈱インテグラルも木造住宅耐震診断ソフトを用いた。

③耐震診断に加えて、壁長さ、壁及び柱の直下率塔を算定し、総括検討の資料とした。

4．事例の構造概要

収集した既存不適格住宅事例の構造については、その殆どが真壁構造であることは先に述べた。当時の真壁構造の通例からみて、外周壁には筋かいが入っているが間仕切壁には無いものが多い。したがって存在壁量の算出に当たっては、外周壁については図示の有るものは図示とおり、図示のないものは筋かい位置を想定して行った。また間仕切りは図示のない限り筋かい無しとして算定した。この場合筋かいサイズは真壁であるので指示のない限り 15×90 とした。

基準法上の壁量を算定した結果、建設時から１件を除き全て壁量が不足していることが分かった。また本事例の住宅は壁率や壁直下率及び柱直下率に関しても、故杉山東大名誉教が授嘗て報告していた内容よりも低かった。

5．耐震診断の結果

一般的な簡易耐震診断、計算による一般診断および精密診断の診断結果を比較検討し、各診断法による事例の構造特質をつかみ、設計図等の不備な既存非適格木造住宅、なかでも往時の最も一般的な真壁構造の耐震要素の共通事項を抽出する事とした。

6．結論

取り上げた事例は 32 戸に過ぎないが、設計図等が不備な既存不適格木造住宅の耐震診断のため、各データーを精査分析しそれに工学的判断を加えて、存在する実質的な壁面長さに乗じる壁倍率を仮定し見なしの存在壁量を算定することとした。

この方法は往時の主流であった真壁構造の既存不適格木造住宅に適用できるものと考え、以下にみなし壁倍率表を示す。

	１階		２階	
部位	外周壁	間仕切	外周壁	間仕切
仮定する壁倍率	1.2	0	1.0	0

存在壁長さ(実質的な壁)に対するみなし壁倍率

以上により、一定レベルの設計・工事管理・施工に達していなと推定できるか、或いは設計図書等が不備な真壁構造を主体とするの木造住宅,については、耐震診断の事前調査に於いて、部分的取り壊しや家具移動による各種センサー調査等の面倒だけでも避ける必要がある。したがって前項仮定の下に取り壊し無く直接精密診断を行って差し支えないものと結論づける次第である。

以上

非構造部材の耐震設計の合理化と普及型耐震対策技術

明治大学理工学部
准教授　小林正人

１．本研究の背景と目的

兵庫県南部地震以降の国内の地震では，窓ガラスの飛散や屋内運動場の天井落下，空調室外機の脱落など設備機器・非構造部材の被害がクローズアップされ，一般の人々にも設備機器・非構造部材の被害が広く認知されるようになってきている[1)]。

床応答加速度は，地震応答解析時の建物の減衰仮定，特に各次モード減衰の固有振動数依存性に大きな影響を受けることを明らかにしている[3)4)]。建物の減衰には，構造種別，形状・規模，骨組形式，内・外装材などの様々な要因が関係するため，その特性を評価することは容易ではないが，今日までに様々な減衰モデルが提案されている。減衰には固有振動数依存性や振幅依存性[5)6)]があり，これらを考慮した減衰定数の推定式のひとつとして次式が提案されている[7)]。

$$h_1 = A \times f_1 + Bx/H + C \quad (1)$$

$$h_{s+1} = D \times h_s \quad (s = 1,2) \quad (2)$$

ここに，h_s：s 次減衰定数，f_1：1 次固有振動数，H：軒高，

x/H：無次元変位振幅，x：建物頂部の変位振幅，

A,B,C,D：構造種別などにより定まる定数

２．研究成果

２．１　高層・超高層建物の床応答評価

本項では 10 層モデルと 25 層モデルの建物について，地震応答解析時の構造物の減衰モデルの仮定が，建物の地震応答及び床応答に与える影響を分析する。はじめに実測による建物の減衰データ[9)]を整理し，モード減衰定数の固有振動数依存性を考慮した減衰モデルの提案を行う。提案するモデルは，１次減衰定数に占める粘性減衰定数と複素減衰定数[10)]の比率を設定することで，モード減衰定数の固有振動数依存性を調整するモデルである。

２．１．１　実測による固有周期と減衰定数の評価

建築物の減衰小委員会（日本建築学会）が作成した実測減衰データベース[9)]に基づいて，建築物の減衰特性，特にモード減衰定数の固有振動数依存性について示す。実測減衰データベースに収録されている鉄骨造建物のうち，並進モードについて３次までの固有周期及び減衰定数が評価されている 60 棟についてのデータを検討する。

図１に各次減衰定数と固有振動数の関係を示す。全体的には，高次になるほど減衰定数は増加する傾向を示しているが，必ずしも線形的に増加するわけではなく，建物ごとで様々な

変化を示す。中には高次の減衰定数が低下するものもある。図２は，これらの傾向をより明瞭にするために，固有振動数比（各次固有振動数を１次固有振動数で除した値）と減衰定数比（各次減衰定数を１次減衰定数で除した値）の関係を示したものである。図２から減衰定数の固有振動数依存性は，設計で最も一般的に用いられている剛性比例型減衰に比べ，かなり小さいことがわかる。減衰一定型を下回るケースも確認できるが，全体的には，剛性比例型と減衰一定型の中間的な特性を示していることがわかる。

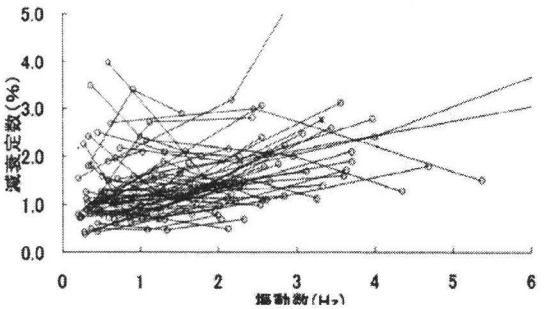


図１．各次減衰定数と固有振動数の関係

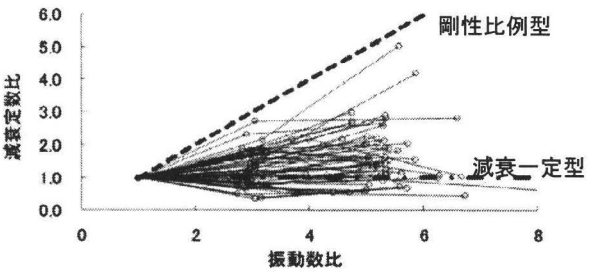


図２．振動数比と減衰定数比の関係
（減衰定数の固有振動数依存性）

２．１．２　固有振動数依存性を考慮した減衰モデル

（１）　粘性減衰と複素減衰（履歴減衰）の重ねに合わせによる評価法

建物の減衰について，粘性型減衰要素と履歴型減衰要素の重ね合わせによる減衰評価を行い，各次減衰定数の固有依存性を次式により簡易に表現した[1]。

$$ {}_sh = {}_sh_V + h_H = ({}_sf / {}_1f)\,{}_1h_V + h_H \qquad (3) $$

ここで，${}_sh$ ：s 次減衰定数、${}_sf$ ：s 次固有振動数

${}_1h_V$，h_H ：1 次粘性減衰定数及び履歴減衰定数

特に，1 次減衰定数は（4）式となる。

$$ {}_1h = {}_1h_V + {}_sh_H = {}_1h_V + h_H \qquad (4) $$

（4）式により，1 次減衰定数に占める粘性減衰と複素減衰の比率を変化させると，2 次以降のモード減衰定数の固有振動数依存性を調整することができる。本論では，粘性減衰と複素減衰の重ね合わせにより評価するこの減衰モデルを複合型減衰モデルと呼称する。

（２）　解析モデル

本論では，10 階建，25 階建の S 造建物を想定した多質点系せん断型モデルを用いる。質量は各質点とも 1000ton，階高は各階 4m とする。高さ方向の剛性分布と耐力分布は Ai 分布のせん断力に比例するに設定しており，1 階の降伏せん断力係数は，それぞれ 0.32，0.22 となっている。1 次固有周期は 1.0 秒と 2.4 秒となっている。以後，それぞれ 10 層モデル，25 層モデルと呼ぶ。また，1 次減衰定数は 2%とする。各層の復元力特性は，Normal bi-linear 型とし，2 次剛性は初期剛性の 5%となっている。

（3） 減衰仮定

図４に複合型減衰（以後，複合型と称する）の１次減衰定数の粘性減衰と複素減衰の重ね合わせの比率の差異による各次減衰定数の固有振動数依存性を示す。横軸は，各次の固有振動数を 1 次固有振動数で除して基準化しており，縦軸は各次減衰定数の値である。図中の $h_{s+1}=1.3h_s$，$h_{s+1}=1.4h_s$ (s=1,2) はそれぞれ S 造建物，RC 造建物の実測から得られた微小振幅における各次減衰定数である [7]。

1 次減衰定数の粘性減衰と複素減衰の比率を 1：4 (0.004：0.016) とした場合が，概ね適合することがわかる。建物が弾性範囲で振動している場合，減衰の主たる要因は，部材間やクラック面間の摩擦による内部摩擦減衰および外部摩擦減衰からなる構造減衰と地盤に起因する減衰であると考えられ [5]，振動数に依存しない履歴型の減衰が大きな割合を占めていることに対応している。図５に各減衰モデルを設定した場合の 10 層モデル頂部の絶対加速度伝達関数（後述の（５）式から算定）を示す。１次のピークは一致しており減衰モデルによる差はなく，高次になるにつれてその差が顕著となることがわかる。

（4） 地震応答解析時の複合型減衰モデルの設定法

地震応答解析を行う場合の複合型減衰モデルの設定法を示す。建物が弾性応答（線形応答）する場合，複合型減衰モデルは伝達関数を用いた周波数応答解析を行うことができる。しかし，建物の応答が塑性域まで進展する場合は，時刻歴応答解析を行う必要がある。複素剛性で与えられる複合型減衰モデルを時刻歴応答解析で用いるためには，特別な解析方法を用いらなければならない [12]。本論ではより簡便な方法として，各次減衰定数が複合型を再現するような比例減衰行列 C_p [8] を作成して対応する。本節では，その妥当性について示す。

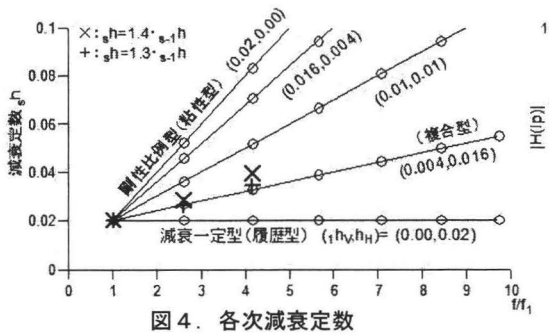


図４．各次減衰定数

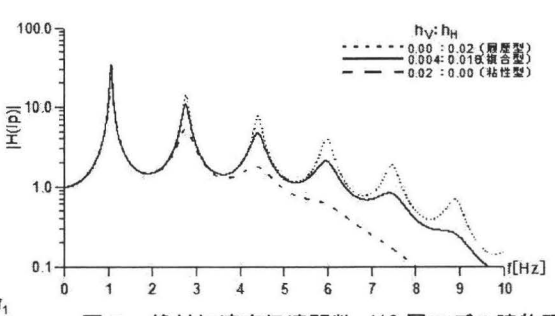


図５．絶対加速度伝達関数（10 層モデル建物頂部）

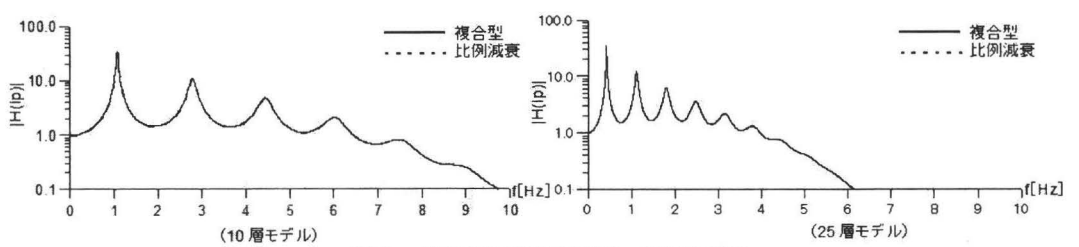


図６．絶対加速度伝達関数（建物頂部）

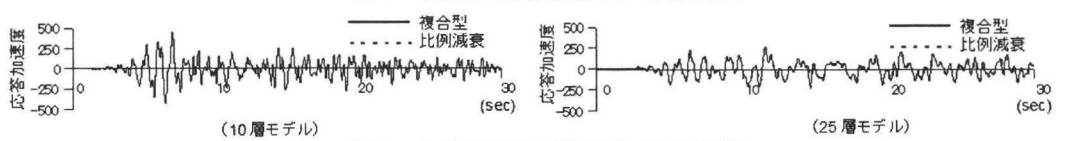


図７．加速度応答の時刻歴（建物頂部）

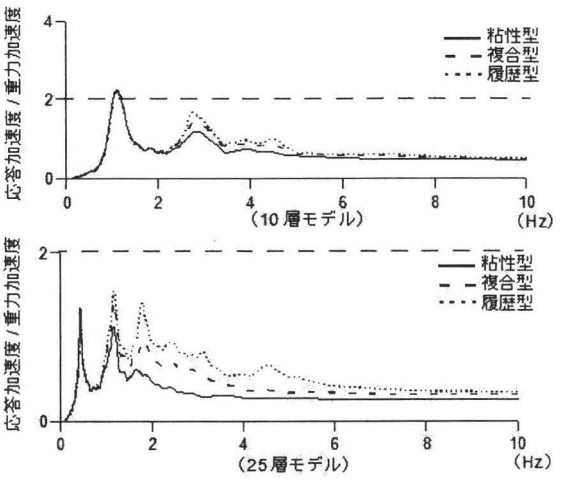


図８．頂部加速度応答スペクトル（レベル１）

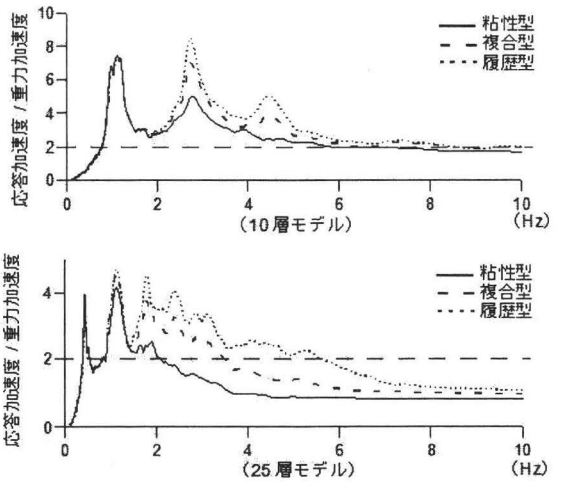


図９．頂部加速度応答スペクトル（レベル２）

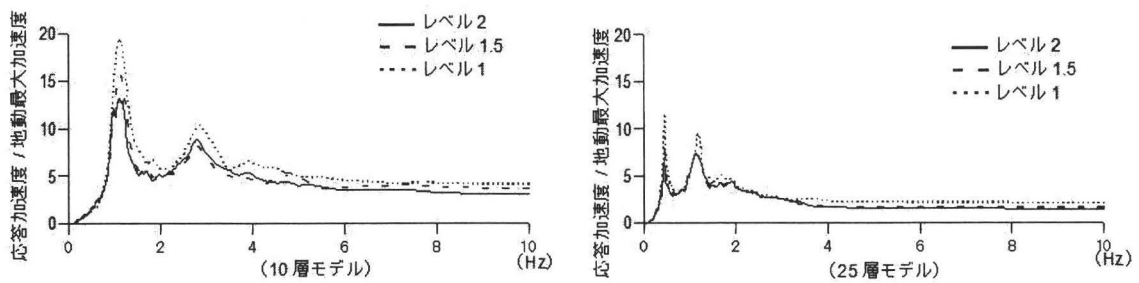


図１０．頂部加速度応答スペクトル（複合型モデル）

表1　地動入力加速度

入力レベル		最大加速度
レベル1	稀に発生する地震動	113.23 (cm/s^2)
レベル1.5	極めて稀に発生する地震動×0.75	424.61 (cm/s^2)
レベル2	極めて稀に発生する地震動	566.14 (cm/s^2)

建物モデルは 3.2 節で示した 2 つのモデルとし，減衰モデルは複合型（:）=(0.004 : 0.016) とする。入力波は，表 1 に示す告示波（稀に発生する地震動）を用いる。複合型および比例減衰行列を仮定した場合の絶対加速度伝達関数は(5)，(6)式となる。

・複合型減衰モデルを用いた場合の絶対加速度伝達関数

$$H_{\ddot{x}} = \{1\}\omega^2\left(\left\{-\omega^2 M + i\omega C + (K + K'i)\right\}^{-1} M\{1\}\right) \tag{5}$$

・比例減衰行列を用いた場合の絶対加速度伝達関数

$$H_{\ddot{x}} = \{1\}\omega^2\left\{-\omega^2 M + i\omega C_p + K\right\}^{-1} M\{1\} \tag{6}$$

図 6，図 7 に建物頂部の絶対加速度伝達関数および絶対加速度応答波形を示す。グラフはほとんど一致しており，比例減衰行列は複合型をよく表現できていることがわかる。本論では，地震応答解析では時刻歴応答解析を行い，比例減衰行列を用いて複合型の代替とする。

２．１．３　床応答スペクトル

（１）　減衰モデルが床応答スペクトルに与える影響

設備機器等の耐震設計の基本となる床応答スペクトルに着目して減衰モデルの影響を評価する。レベル１入力の場合，図８の10層モデル，25層モデルともに減衰モデルの違いにより高次振動応答には大きな差が生じる。特に，25層モデルではその差が顕著に現れている。レベル２入力の場合の床加速度応答スペクトルを図９に示す。図から，建物の応答が塑性域まで進展する場合でも高次振動においてレベル１入力の場合と同様，減衰モデルの強い影響が現われている。

地動レベルの違いが床加速度応答スペクトルに与える影響について示す。図10は床加速度応答スペクトルを地動最大加速度で除して基準化したものである。建物の応答が弾性域から塑性域まで進展すると応答スペクトルの倍率は全体としては低下する。しかし，２次以降の高次応答の低下の割合は１次応答ほど大きくない。このことから，建物の塑性化は２次以降の高次応答に対してはそれほど影響しないことがわかる。

２．２　高層免震建物の床応答評価

近年，免震建物の高層化が実現し，建物高さは増加傾向にある。図 10 はビルデイングレター[13]の性能評価シートに掲載された免震建物の掲載時期と建物高さの関係を示したものである。2001年以降の高層化は特に著しく，150m を超える超高層免震建物も建設されている。

一方，現在高層免震建物の設計に係る地震応答解析では，上部構造部の減衰仮定に関する検討が行われる[14]。最も一般的な減衰仮定は，慣用的に使用されている剛性比例型減衰であるが，作成方法や扱いが簡便な反面，高次モードの減衰定数を過大に評価する傾向がある[7]。そのため，全ての振動モードで一定とした減衰仮定が用いられることもある。

そこで本報では，免震建物の減衰仮定による影響を簡易に評価するための資料を提示する。

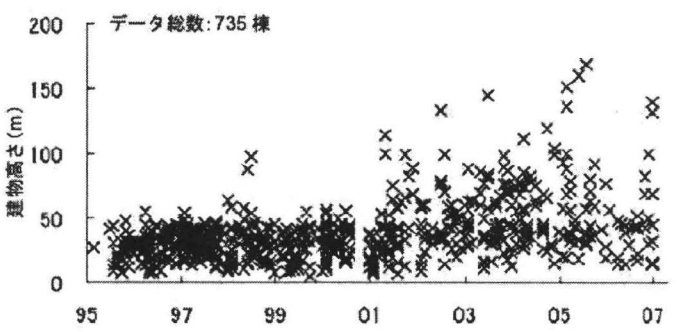


図１０．免震建物の高さの推移

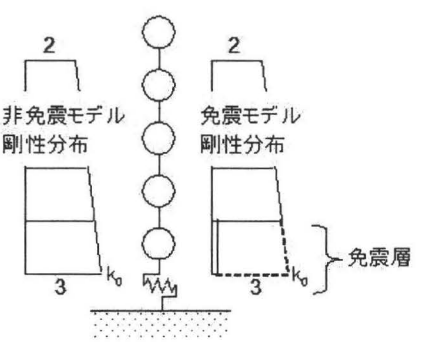


図１１．解析モデル

２．２．１　減衰モデル

現在，設計や解析の場面では免震建物の減衰マトリクスは慣用的に次のように作成されることが多い。

・免震層を取り除いた上部構造部の基礎固定モデルに対して，減衰マトリクスを作成する。

・基礎固定モデルの減衰マトリクスに対して，免震層を挿入するマトリクスの拡張操作を行う。

２．２．２　減衰仮定と振動特性

（１）　解析モデル

免震を施さない非免震モデルとして，各層の質量 980ton，剛性分布が最上階が最下階の 2/3 の台形分布となる 5 質点モデルを作成する。免震モデルは非免震モデルの最下層の剛性を変えたものとする（図 11）。上部構造部は弾性とする。

免震層にアイソレーターの剛性を設定した場合の免震モデルの刺激関数を図 12 に示す。周期比 R_T が 0.5 程度になると上部構造の変形が大きくなりはじめ，1.0 程度では，上部構造部の全体の変形量は，免震層と同程度となる。

免震モデルの各次減衰定数を評価した。ここでは，上部構造部の減衰マトリクス $[C_u]$ に剛性比例型および各次一定型を設定した場合を示している。また，上部構造部の減衰マトリクス設定時に与えた減衰定数を免震モデル全体系の高次モードの減衰定数と比較して示している。なお，上部構造部のみの 1 次モードと全体系の 2 次モードでは固有振動数が異なるため，横軸を振動次数で表している。

剛性比例型減衰は高次モード減衰の過大評価が問題視されるが，減衰マトリクスの設定を行うと，免震モデル全体系での高次の減衰定数は，上部構造部の減衰マトリクス設定時に与えた減衰定数よりも高い値となる。したがって，免震建物においては，高次モード減衰の過大評価の傾向がさらに強まることになる。

２．２．３　減衰仮定と地震応答評価

（１）　解析パラメーターと入力地震動

表 1 に示す解析パラメーターに対して，地震応答解析を行う。入力地震動は 50kine に基準化した El Centro NS，Taft EW，Hachinohe NS の観測波 3 波，ならびに告示の 2 種地盤に対応（簡略法の地盤増幅係数を用いた）する告示波 3 波（位相特性：JMA-Kobe NS, Hachinohe NS, 乱数位相）の計 6 波を用いる。

（２）　免震層の応答（最大変形およびエネルギー消費率）

図 7 に b_s が 20，60 のときの周期比 R_T に対する免震層の最大変形を示す。減衰仮定による差が最も大きかった El Centro NS と，最も小さかった Taft EW について示す。また，図 8 に周期比 R_T に対する免震層のエネルギー消費率（免震層の吸収エネルギー／総入力エネルギー）を示す。減衰仮定による差が最も大きかった Taft EW と，最も小さかった告示波（乱数位相）について示す。

表 1　解析パラメーター

解析パラメーター	検討範囲
周期比	0.05～1.0　0.05刻み
ダンパーの剛性比	1，5，10，20，30，40，60，80，100
減衰定数の振動数依存性	0，0.25，0.5，0.75，1.0

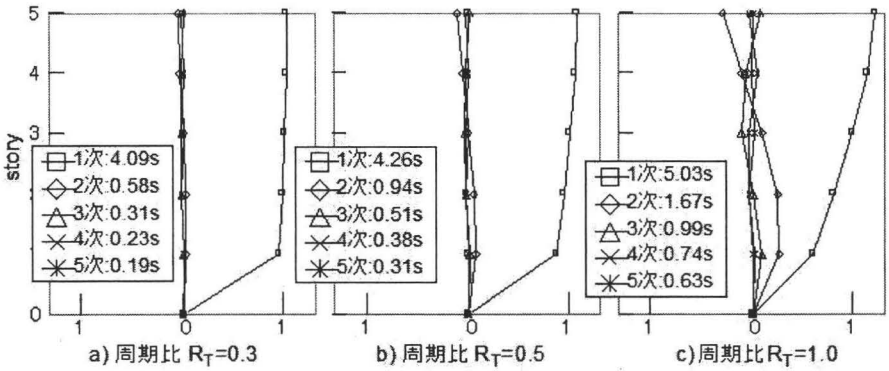


図１２．周期比 R_T と刺激関数

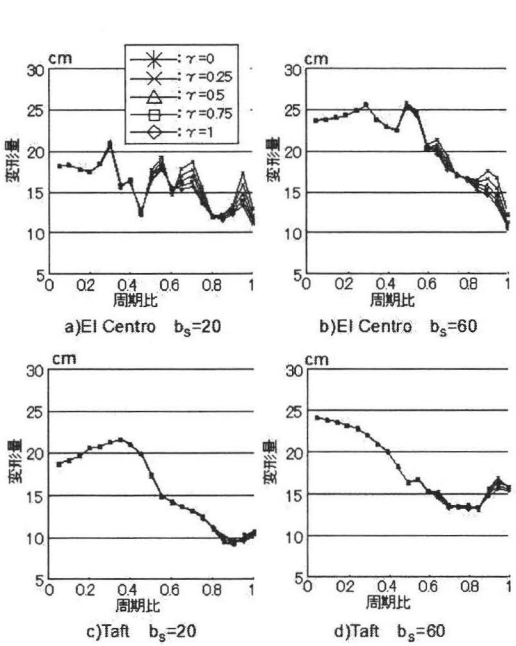


図１３．免震層の最大変形

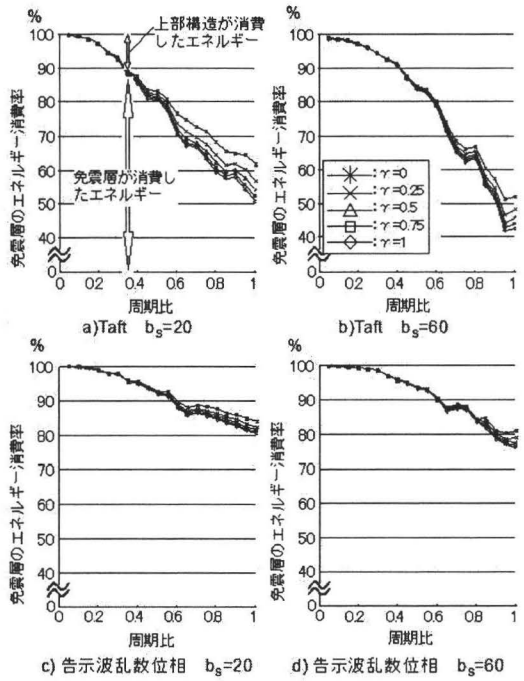


図１４．免震層のエネルギー消費率

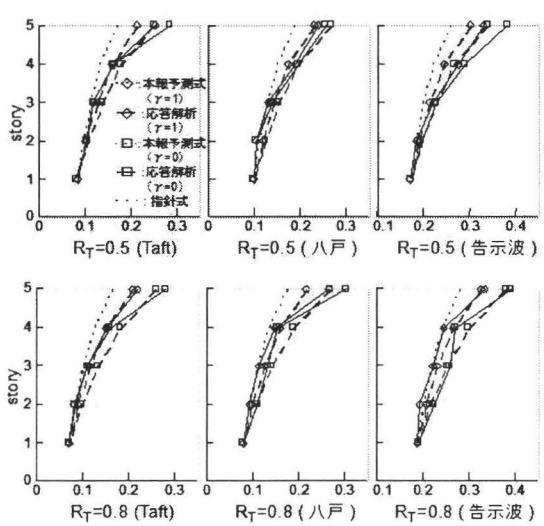


図１５．せん断力係数の応答予測

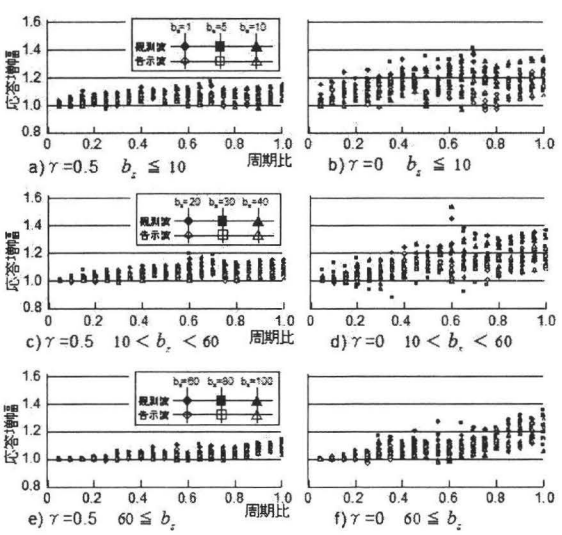


図１６．剛性比例型減衰モデルに対する加速度の応答増幅

（３）　上部構造部の加速度応答

一般的に加速度応答には高次モードの影響が顕著に現れ，高さ方向にくの字型の応答分布となり，建物頂部に最も大きな応答が生じることが知られている。各減衰モデル設定時の解析結果を，剛性比例型($\gamma=1$)の解析結果で除した値を，減衰モデルによる加速度の応答増幅として定義する。図 16 に加速度の応答増幅の算定結果を示す。図より次のことがわかる。

1) せん断力係数と同様，周期比が 0.3 程度まではダンパーの初期剛性の影響が比較的顕著に現われているが，周期比が 0.3 以上になると徐々にその差は小さくなっている。

2) せん断力係数と同様，周期比が大きくなると減衰モデルによる影響が大きく現れる。各次一定型($\gamma=0$)では，剛性比例型減衰に対する応答増幅が 1.3～1.4 倍程度となる。

（４）　まとめ

免震構造における減衰マトリクスの作成方法を整理し，地震応答解析時に免震建物の上部構造部に設定する減衰モデルの仮定が免震建物の応答に及ぼす影響について示した。特に，上部構造部のせん断力係数および加速度応答に与える影響を定量的に示し，また，せん断力係数については，周期比や減衰モデルによる影響を考慮した応答予測式を，免震指針の応答予測式に対する応答倍率の形で誘導した。本報の主な結論を以下に示す。

免震建物の地震応答に及ぼす減衰仮定の影響

・免震層の変形量およびエネルギー消費率は，周期比に応じて増減するが，全体的な傾向としては，周期比の増加に対して減少する傾向を示す。また，減衰仮定の影響は，周期比 0.5 程度まではほとんど無いが，周期比が大きくなるにつれて差が生じる。

・減衰モデルが上部構造部の加速度応答に与える影響は，周期比が大きくなると顕著になり，各次一定型($\gamma=0$)では，剛性比例型減衰に対して，1.3～1.4 倍程度の応答増幅となる。

２．３　長周期地震動に対する床応答評価

２．３．１　はじめに

近年、建物の耐力性能の向上により地震発生時には、構造部材の被害が抑えられ、家具・設備機器等を含む非構造部材による被害が広く認知されるようになっている。非構造部材の耐震対策は、建物の機能・財産保持の観点から、重要な項目の一つである。本報では、発生が危ぶまれる長周期地震動が床応答へ及ぼす影響を分析する。

２．３．２　地震応答解析

25 階建て S 造建物を想定した多質点系せん断型モデルを用いる。質量は各質点とも 1000ton、階高は各階 3.2m、高さ方向の剛性分布と耐力分布は Ai 分布の層せん断力に比例するように設定し、1 階の降伏せん断力係数は 0.22、1 次固有周期は 2.4 秒とし、複合型減衰を用い、1 次の減衰定数は 2%とする。各層の復元力特性は Normal bi-linear 型とし、2 次剛性は初期剛性の 5%と設定した。

なお、減衰仮定は前述２．１．２（４）の複合型モデルを用いる。

（1） 入力地震動

標準波としてランダム位相の告示波を 3 波用いる。告示波は建築基準法で定められた極めて稀に発生する地震動に第 2 種地盤の地盤増幅係数 Gs（簡略法）を乗じたものを目標スペクトルとし、包絡関数は Jennings 型を仮定、次式によりマグニチュードをパラメーターとし、継続時間を変化させた。

$$t_d=10^{0.31M-0.774} \tag{11}$$

ここで、t_d：継続時間、M：マグニチュード

直下型地震として JMA-kobe-NS を、長周期地震として、日本建築学会から公開されている波形[3]から 8 種類を用いた。

（2） 解析結果

各入力地震動における最大層間変位と最大応答加速度を図 5 に示す。告示 3 波は全て塑性化、kobe は上層部分のみ塑性化、長周期は岸和田、豊中以外は概ね下層部分のみ塑性化している。頂部加速度スペクトルを図 7 に示す。告示波は 3 波とも同じような傾向が見られる。Kobe は 1 Hz 以下の帯域では非常に小さく、1 Hz 以降で大きい値となっている。これは直下型の特徴であると言える。長周期は反対に 1 Hz 以下で 3000gal を超え、告示波よりも大きな値が出ているが、それ以降の高次モードではほとんど変化を見ることはできない。

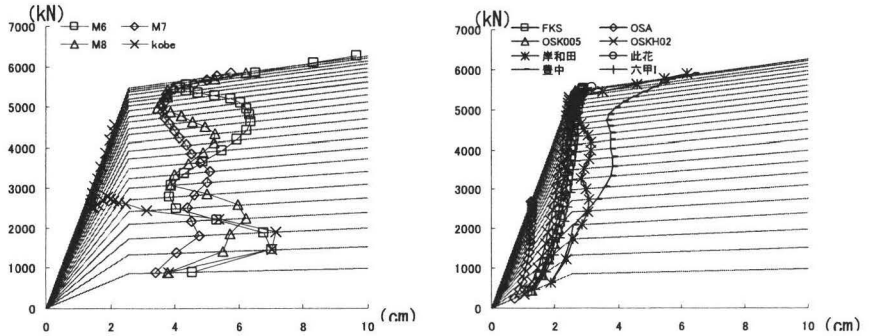


図１７　Q—δ関係と最大応答値

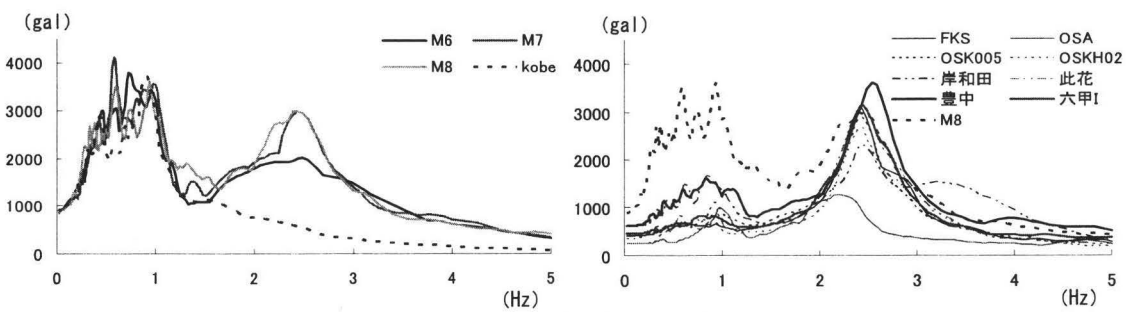


図２０　頂部加速度スペクトル

２．３．３　まとめ

本報では、複合型減衰モデルを用いたときの各入力地震動が建物の床応答に与える影響を分析した。減衰特性は高次モードへ特に影響を及ぼす。告示波の継続時間の差は建物へのエネルギー量に大きく影響を与える。また、長周期地震動の影響は高次モードへの影響は小さいが、特に 1 次モードに現れることがわかった。最大加速度の小さい長周期地震が加速度スペクトルでは告示波と同等ないし、それ以上の値であることからも注意が必要であると言える。

２．４　振動台実験

２．４．１　目的

・非構造部材の耐震対策のための、地震時における家具の応答性状の把握
・加振方法の違い（一軸加振と三軸加振）による応答性状の比較
・転倒防止器具の効果を検証する

２．４．２　内容

非構造部材の耐震対策を目的とし、性質の異なる地震動について既往の提案式より転倒曲線を算出し、実験データから比較・検討を行う。主な検討項目は以下の通りである。

・入力地震動
・試験体サイズの変化による転倒率の変化
・転倒防止器具の有無による応答制御
・積載荷重の変化と重心位置の考慮

２．４．３　試験体

実験の試験体には表 3 に示す幅 150mm の集成材を用い、実大試験体と縮小試験体の 2 種類を作成した棚を使用する。実大試験体は 5 段の棚、縮小試験体は 2 段の棚を有しており、以下のように重さ 10kg の砂袋を各棚に配置することで重心と積載荷重の調節を行う。

なお図 2 には冶具に設置した状態の実大試験体全体図を示す。

実大試験体　：　寸法　（　600×450×1500　）

- 積載荷重なし
- 5 段全てに 20kg ずつ配置
- 上 2 段に 40kg、3 段目に 20kg 配置
- 上 2 段に 50kg ずつ配置

縮小試験体　：　寸法　（　425×160×1500　）

- 積載荷重なし
- 上段に 20kg、下段に 10kg 配置
- 上段に 30kg 配置

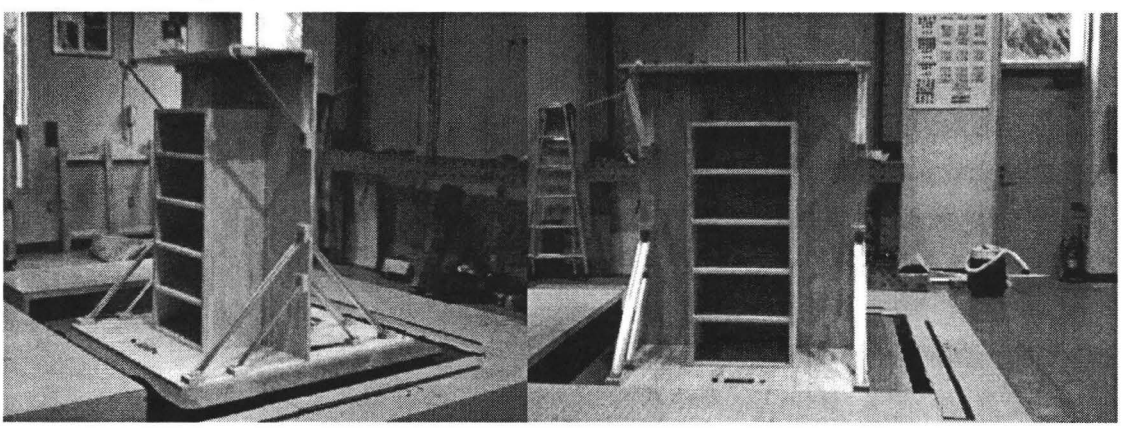


図 2.　冶具及び実大試験体

2．4．4　入力地震動

今回の実験で入力する地震動は新潟県中越地震と兵庫県南部地震の元波２種類を用意。

元波の最大加速度はそれぞれ 1307.9gal、818gal となっているが、振動台及び冶具の関係から、入力波の最大加速度は 918.6gal、605.2gal となっている。

2．4．5　転倒防止器具

実験には以下の３種の転倒防止器具を使用し、地震時の挙動を調べた。

(1)突っ張り棒：棚の天板と天井の間に挿入し、地震時のロッキングを低減させる。

(2)耐震マット（粘着マット）：粘着性のゲル状のもので、家具の底面と床面を接着させる。

(3)ストッパー：家具の前下部のくさび状に挟み込み、家具を壁側へ傾斜させる。

2．4．6　既往の提案式

実験の検討には日本建築学会の提案式[18]と金子の提案式[19]を用いる。

日本建築学会の提案式は転倒する可能性のある最小の入力レベルの加速度として求める式で、今後は転倒限界と呼ぶ。

転倒限界 A_0 は以下の式で示される。

$$A_0 = \begin{cases} \dfrac{b}{h}g & ,F_e > F_b \\ \dfrac{gb}{11\sqrt{h}}F_e, & F_e \le F_b \end{cases} \qquad (12)$$

$$F_e = A_f/(2\pi V_f) \quad , \quad F_b = 11/\sqrt{h} \qquad (13)\ ,\ (14)$$

ここで、

A_f：床応答の最大加速度〔cm/s²〕、V_f：床応答の最大速度〔cm/s〕

b：家具の幅の 1/2〔cm〕、h：家具の重心高さ〔cm〕、g：重力加速度〔cm/s²〕

金子の提案式は家具の転倒する確率が 50%となる加速度 A_{R50} を求めている。

$$A_{R50} = \frac{B}{H}g\left(1+\frac{B}{H}\right) \qquad (F_e \le F_b) \qquad (15)$$

$$= 10\frac{B}{H}\left(1+\frac{B}{H}\right)^{2.5} * 2\pi F_e \qquad (F_e > F_b) \qquad (16)$$

$$V_{R=50} = A_{R=50}/(2\pi F_e) \qquad (17)$$

ここで、

$A_{R=50}$：転倒率 50%のときの床加速度

B：家具の幅〔cm〕、H：家具の高さ〔cm〕、g：重力加速度〔cm/s²〕

A_{max}：床応答の最大加速度〔cm/s²〕 V_{max}：床応答の最大速度〔cm/s〕

等価振動数：$F_e = A_{max}/(2\pi * V_{max})$、境界振動数：$F_b = \dfrac{15.6}{\sqrt{H}}\left(1+\dfrac{B}{H}\right)^{-1.5}$ (18)，(19)

２．４．７　実験結果

各地震動と試験体の転倒状況を以下に記す（○：転倒あり、×：転倒なし）

３方向入力を行った場合

実大試験体	M=0kg	M=100kg	突っ張り棒	耐震マット	ストッパー
兵庫県南部	○	×	×	×	×
新潟県中越	×	×	×	×	×

実大（上部）	M=0kg	40, 40, 20kg	突っ張り棒	50, 50kg	突っ張り棒
兵庫県南部	○	×	×	○	×
新潟県中越	×	×	×	×	×

縮小試験体	M=0kg	M=20, 10kg	突っ張り棒	耐震マット	ストッパー
兵庫県南部	○	○	×	○	○
新潟県中越	○	○	×	○	○

縮小（上段）	M=0kg	M=30kg	突っ張り棒	耐震マット	ストッパー
兵庫県南部	○	○	×	○	○
新潟県中越	○	○	○	○	○

２．４．８　まとめ

実大試験体は50%の確率で転倒すると予測していたがほとんど転倒が発生しなかった。重心を考慮し、上部に積載荷重を集中させた場合かなり転倒しやすい状態となり、転倒防止器具にもかなりの負荷が発生していた。

耐震マット、ストッパーは試験体がスウェイすると適正な位置からずれてしまい、以後効果を発揮することができていなかった。

縮小試験体(上段に30kg)に中越地震を入力した際、転倒防止器具として突っ張り棒を用いたが器具も破壊し、試験体が転倒した。X方向のみの加振では転倒が抑えられているため、３方向入力を考慮することも重要であるといえる。

実大試験体では転倒していないケースでもロッキングおよび試験体の移動が確認されたが、突っ張り棒を用いることでそれらを防ぐことができた。転倒には至らずとも内容物の落下が予測されるため、転倒防止器具を用いるメリットは十分あると言える。

４．研究成果論文

［１］小林正人, 宮島義徳：高層免震建物の上部構造部の減衰モデルと免震効果に関する研究, 日本建築学会技術報告集, 第29号, pp. 51-56, 2009. 2

［２］並木昭和, 小林正人：建物の減衰特性と長周期地震動を考慮した床応答評価に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, B-2分冊, p. 753-754, 2009

壁土や下地の工法の地域性を考慮した土塗り壁の耐震性能に関する研究

横浜国立大学
教授　山崎　裕

1．本研究の背景と目的

伝統的構法の木造住宅に安心して住まうためには、十分な耐震性能を確保する必要があり、それには、伝統的構法での主な耐震要素の一つである土塗り壁の耐震性能が適切に評価されなければならない。土塗り壁の耐震性能を検証するための実験研究は、近年精力的に行われており、特定の仕様の土塗り壁については、0.5 以上の壁倍率を与えることが可能になった。これまで筆者らは、土塗り壁の耐震性能とそれに大きな影響を与えるであろうと思われる壁土の力学的特性との関係に着目し、実験的な検討を行ってきた結果、壁土の一軸圧縮強度と引張強度から、土塗り壁の最大せん断耐力および破壊形式が推定できることを示した。また、RBSM（剛体バネモデル）による数値解析手法の適用性についても検討を行っている。

本研究では、材料強度特性の異なる 3 箇所の産地の壁土（中塗り土）を用いた実大の土塗り壁試験体と下地の仕様が異なる土塗り壁試験体を製作し、せん断加力実験により、その耐震性能を検証する。また、これらの土塗り壁試験体に使用された壁土の材料試験結果を用いて、RBSM（剛体バネモデル）による土塗り壁の数値解析を行い、解析による土塗り壁の耐震性能評価の可能性についても検討する。さらに、数値解析で壁長や壁厚が異なる土塗り壁の最大せん断耐力の推定を試みる。

2．研究の方法

本研究では、まず、実際に使われている 3 種類の壁土（中塗り土）を取り寄せ、壁長が 1820mm の土塗り壁試験体（中塗り仕上げ）を 3 体、および、下地の仕様が異なる 2 体を製作する。そして、せん断加力実験を行い、耐力性状および破壊性状を把握する。また、これらの壁土の材料強度試験を行い、強度特性を把握する。

次に、RBSM による数値解析を行い、実験結果との比較から解析モデルの妥当性を検証する。さらに、壁長や壁厚が異なる土塗り壁についても、数値解析によって最大せん断耐力を推定する。

(1)土塗り壁試験体の製作およびせん断加力実験の概要

本研究で使用する壁土（中塗り土）は、昨年度行った既報 1)の実験結果から、強度特性が異なる 3 種類を選定した。既報 1)におけるこれらの壁土の強度と今回同じの土で作成した壁土の強度との比較を図 1 に示す。材料強度試験の供試体は 2 種類あり、40mm×40mm×

160mm の供試体では JIS R5201 に準じた試験を、φ50mm×100mm の供試体では、圧縮および割裂引張試験を行った。既報 1)では、必要な壁土が少量であったため、これらの土を普段から使用している熟練の左官職の方 3 名にそれぞれ作成、送付いただいたが、今回は多量の壁土を試験体製作場所まで運搬することが困難であったため、その 3 名とは別の方に全て作成していただいた。3 種類の壁土は、強度特性が異なるものを選んでいたが、今回の産地 A の壁土については強度がかなり高くなり、産地 C の強度特性に近くなった。その原因としては、今回の産地 A の壁土は含水率が低く、密度が 2 割程度高かったことが考えられる。

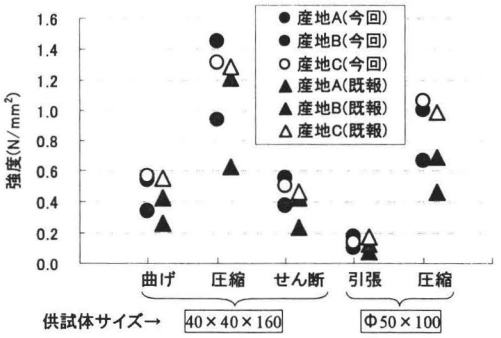


図 1　壁土（中塗り土）の材料強度

表 1 に土塗り壁試験体の一覧を示す。3 種類の壁土に対して同じ下地の試験体が 1 体ずつあり、下地の仕様が異なるものも 2 種類製作したため、計 5 体である。下地は、既報 2)において報告した土塗り壁工法のアンケート結果で多数の回答があった下地の仕様であり、間渡しが丸竹で小舞が割竹の下地、間渡しも小舞も割竹の下地、および、間渡しが丸竹で小舞が葦の下地である。葦は 2 本一組として、割竹の小舞とほぼ同数配置した。図 2 には、間渡しが丸竹で小舞が割竹の土塗り壁試験体の軸組および下地と壁土施工後の断面を示す。荒壁土には全試験体で荒木田土を用い、厚さは 30mm 程度である。荒壁の乾燥後、中付け（むら直し）に次いで中塗りを行った。中付け土と中塗り土では、土や砂等の配合比は若干異なるが、材料強度試験の結果はほぼ同じであったので、中付け土は中塗り土と同じとみなせる。乾燥後の実測によると、中付けおよび中塗り層の厚さは、表側と裏側とで計 25mm 程度であった。

表 1　土塗り壁試験体一覧

試験体名	荒壁土	中塗り土の産地	間渡し	小舞
I-1	荒木田土	A	丸竹	割竹
I-2		B		
I-3		C		
I-7		A	割竹	割竹
I-8		A	丸竹	葦

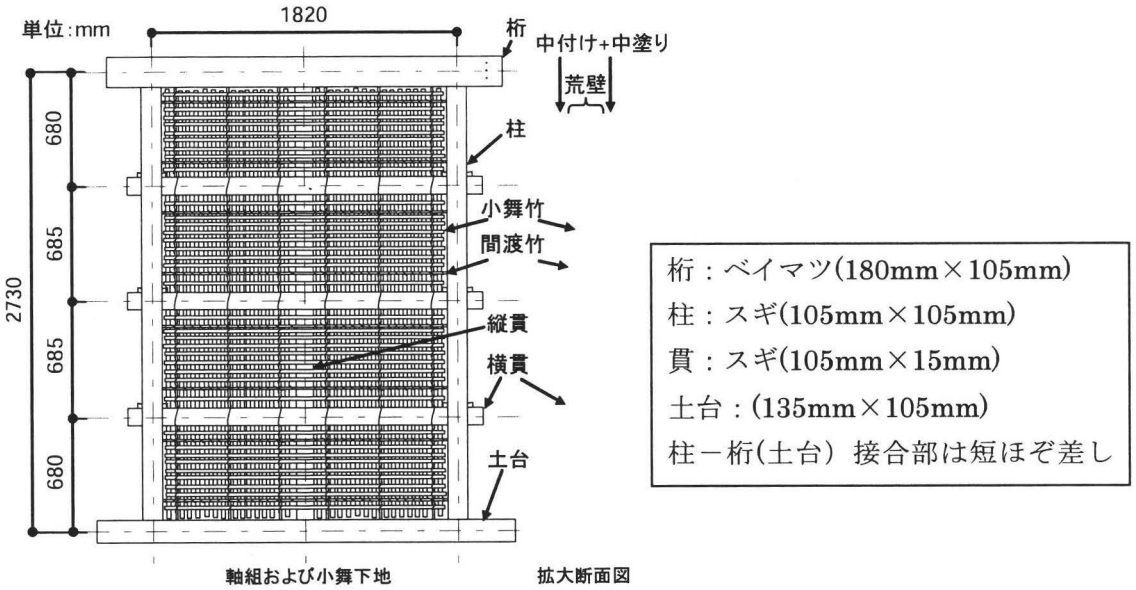


図 2　土塗り壁試験体

(2) 土塗り壁の数値解析の概要

土塗り壁の数値解析には、基本的に既報 3)の方法を用い、解析の対象とする試験体の仕様に合うように変更を加えた解析モデル（図 3）を用いる。」

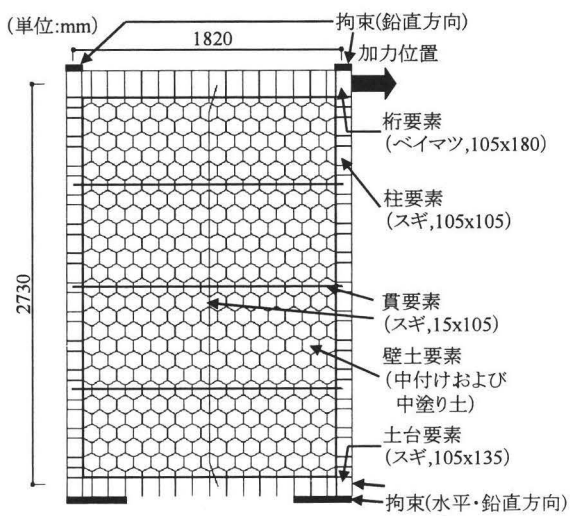


図 3　土塗り壁試験体の解析モデル

(a) 壁土のモデル化

壁土については、中付け土と中塗り土は同じ強度特性とみなし、応力－ひずみ関係については、圧縮試験の際に図 4 に示した方法によって測定した供試体自体のひずみから、図 5 のようなモデルを設定した。せん断強度と引張強度は、材料試験結果の平均値である表 2 の値を用いた。

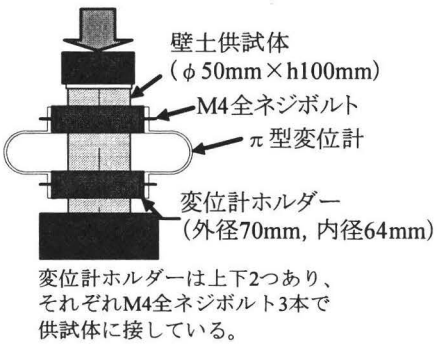


図 4　壁土のひずみの測定

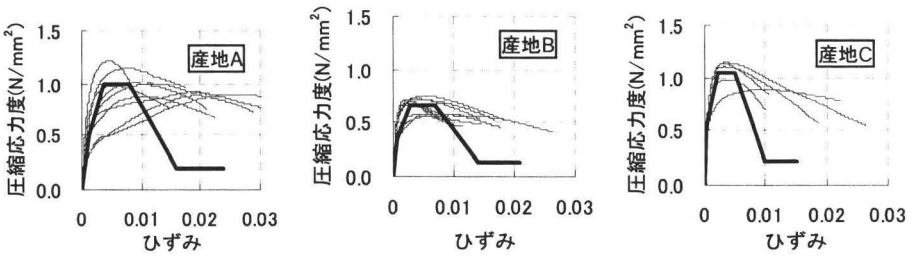


図 5　壁土の応力－ひずみ関係モデル
(細線は実験値、太線は解析モデル)

表 2　壁土のせん断強度と引張強度(N/mm²)

	せん断	引張
産地A	0.55	0.17
産地B	0.38	0.10
産地C	0.50	0.14

(b) 軸組のモデル化

横架材および柱は、弾性で等方性の 4 角形要素でモデル化した。弾性係数は、柱と土台は 7kN/mm²、桁は 10kN/mm² とした。試験体の土台や桁に対する柱端部の水平方向のずれ量は、ほぞ側面がめり込み強度(7.5N/mm²)に達するとき 2mm になるように設定した。

また、試験体の桁の上端で両側柱の直上に、鉛直方向の変位の拘束を設定した。これは、試験体の柱頭・柱脚接合部にはホールダウン金物などの補強金物は無く、試験体の桁の浮上

りを加力フレームの梁の下端に取り付けたリニアスライダーにより拘束しているためである。軸組のみで解析を行った結果、せん断剛性は 57.1kN/rad.であった。

(c) 壁土と軸組との接触部分のモデル化

貫と壁土要素の重心とは、図 6 のような、長さ 1mm のリンク要素で接続した。軸方向の応力－変位関係はバイリニアとし、降伏変位と降伏応力度は、4.5mm と 0.6N/mm² とした。本来、この降伏応力度は、中付けおよび中塗り土の圧縮強度によっても異なると考えられる。しかし、この土塗り壁試験体では、壁土が軸組内でロッキングを生じた際、横貫による圧縮力によって隣接する荒壁が圧壊したとき、中付けおよび中塗り層の曲げ強度が高いために、横貫の近傍だけではなく、さらに広範囲に渡って中付けおよび中塗り層が浮上ったため、上限値と考えられる固定値を採用した。

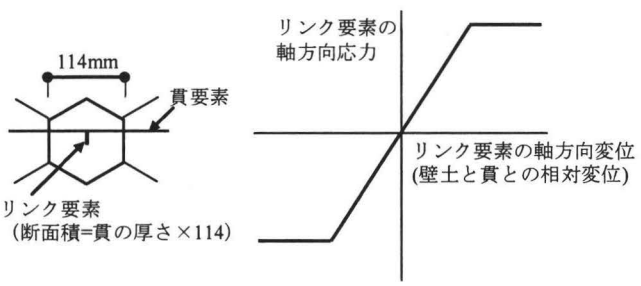


図 6　リンク要素とその復元力特性

3．研究の成果

(1) 土塗り壁試験体のせん断加力実験

図 7 に 3 種類の壁土の土塗り壁試験体の荷重－変形曲線を、写真 1 に最大変形時の各試験体を示す。各試験体とも、壁土のロッキングによる隅角部の圧壊の後、せん断ひび割れが生じ、1/100rad.で最大耐力となった。その後中付けおよび中塗り層が荒壁層から全体的に浮上り、耐力が低下した。中付けおよび中塗り層が浮上ったとしても、落下しない限りある程度の耐力は期待できるが、1/50rad.付近に達すると、中付けおよび中塗り層が荒壁層と接着しているのは、中心付近のみであり、実際の地震における振動状態においては、すぐに落下してしまうものと思われる。

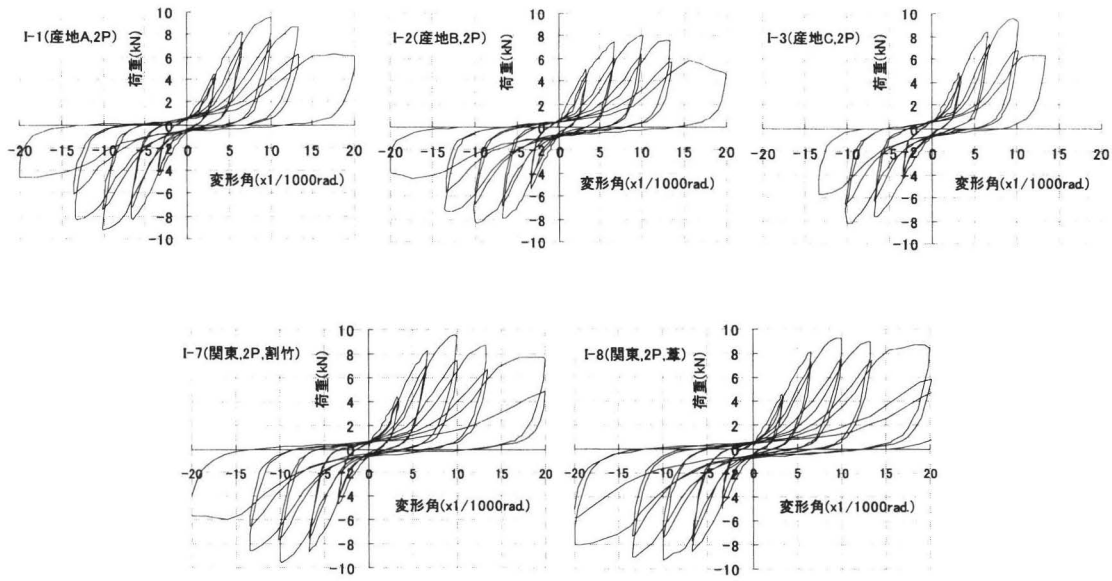
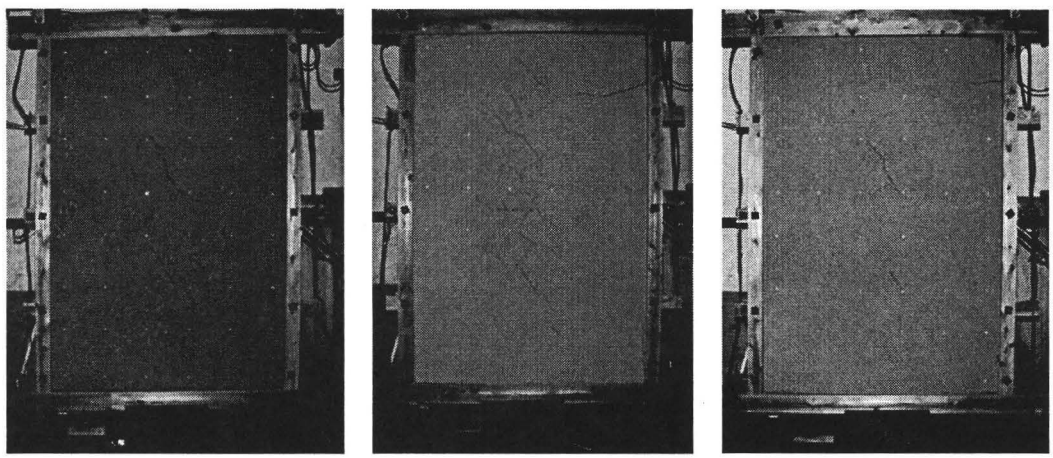
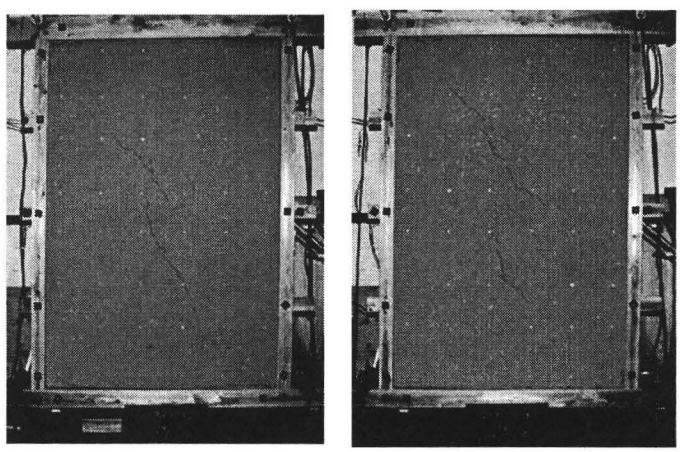


図 7　土塗り壁試験体の荷重－変形関係



(a) I-1 の 1/50rad.時　(b) I-2 の 1/50rad.時　(c) -3 の 1/75rad.時



(d) I-7 の 1/50rad.時　(e) I-8 の 1/50rad.

写真 1　最大変形時の土塗り壁試験体

図 8 に正側加力の各ピーク時における、中付けおよび中塗り層の負担せん断応力度の推移を示す。これは、各試験体の耐力から、軸組および荒壁層の負担せん断力を差し引いたものである。軸組のみの実験は別途行っており、1/100rad.時の耐力は 0.23kN であった。荒壁層の負担せん断力は既往の荒壁仕上げの試験体 [4]の耐力から軸組のみの試験体 [5]の耐力を差し引いて求めた。土塗り壁試験体における最大のせん断応力度の比は、産地 A：B：C＝1.19：1.00：1.10 であり、大きくとも 20%程度の差である。中塗り土のΦ50×100 の圧縮強度の比は 1.50：1.00：1.59 であり、土塗り壁試験体の比よりかなり大きく、今回の土塗り壁の最大せん断耐力は、単純に壁土の圧縮強度に比例するわけではないといえる。

図 9 は下地の仕様が異なる試験体における中付けおよび中塗り層のせん断応力度の推移である。下地の仕様が異なっても、最大耐力まではほぼ同じ耐力性状であり、下地の違いが土塗り壁の耐力性状に及ぼす影響はほとんどないといえる。

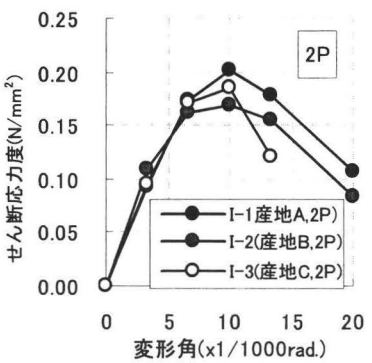


図 8　壁土が異なる試験体のせん断応力度

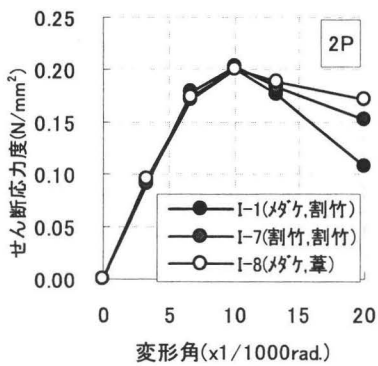


図 9　下地の仕様が異なる試験体のせん断応力度

(2) 数値解析結果

図 10 に土塗り壁試験体の荷重－変形関係の実験値と解析値を示す。図 9 の結果から、今回の実験では、下地の仕様の違いが土塗り壁の耐震性能に及ぼす影響はないと判断し、I-7 と I-8 試験体については、解析を行っていない。実験結果の荷重値は中付けおよび中塗り層の負担せん断力であり、特定変形角時における各試験体の耐力から、荒壁層と軸組の負担せん断力を差し引いた値である。一方、解析結果の荷重値は、解析モデルに作用させたせん断力から、軸組の負担せん断力を差し引いた値である。軸組と荒壁層での負担せん断力は小さいので、実質的には中付けおよび中塗り層の負担せん断力を土塗り壁の負担せん断力とみなすことができる。

解析での最大せん断耐力は概ね実験値に近い値が得られているが、産地 C の土塗り壁についてはせん断剛性の解析値が実験結果より大きい。壁土の応力－ひずみ関係のモデル等につ

いては、まだ検討の余地がある。

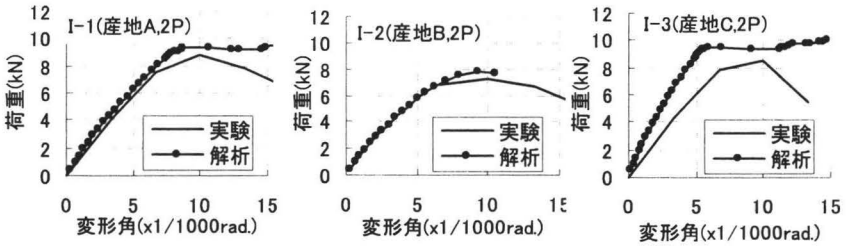


図 10　実験値と解析値の比較

(3) 土塗り壁の最大せん断耐力の変動幅の評価

以上の結果から、全国の土塗り壁の最大せん断耐力の変動幅を評価する。

φ50mm の供試体による中塗り土の圧縮強度は、既報 1)の結果から 0.32N/mm²～1.28Nmm² と推定され、平均は 0.79N/mm²、標本偏差は 0.25N/mm² である。ここでは、40mm×40mm の供試体の圧縮強度の 71.7%がφ50mm の供試体の圧縮強度とみなしているが、これは、本研究の土塗り壁のせん断加力実験に併せて行った材料強度試験の結果から導いた関係式に基づいている。

次に、本研究で行った土塗り壁のせん断加力実験から計算した、中付けおよび中塗り層の負担せん断力の最大値を表 3 に記入し、さらに、表中ハッチで示した不足しているデータを数値解析により補間する。

表 3 に記入したデータに基づき、壁土の圧縮強度と土塗り壁の最大せん断耐力（中付けおよび中塗り層の負担せん断力の最大値）との関係を図 11 に示す。ここでは、圧縮強度が 0.67N/mm²～1.06N/mm² の結果を示しているが、これは既報 1)で行った材料試験結果が正規分布に従うと仮定すると、下側 31%、上側 14%を除いた 55%に相当する。従って、全国の 55%の土塗り壁について、図 11 のように土塗り壁の最大せん断耐力を推定できたものと考えられる。

表 3　壁土の圧縮強度・壁厚と試験体との対応

壁土産地	圧縮強度 (N/mm²)	中付け+中塗25mm		中付け+中塗50mm	
		2P	1P	2P	1P
B	0.67	I-1			
A	1.00	I-2			
C	1.06	I-3			

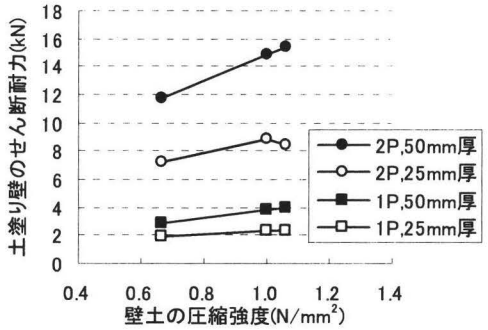


図 11　壁土の圧縮強度と土塗り壁の最大せん断耐力との関係

中付けおよび中塗り土の圧縮強度に 1.6 倍程度の差があっても、壁長によらず、中付けおよび中塗り層の厚さが 50mm の場合では 30%程度、25mm の厚さでは 20%程度の差であり、土塗り壁の最大せん断耐力には、壁土の材料強度ほどの差は生じていない。

この結果は、中付けおよび中塗り層のみを評価の対象としているが、実際の土塗り壁では、荒壁層や軸組の負担せん断力もこれに一律に加算される。そうすれば、各地の土塗り壁の最大せん断耐力の比は、さらに小さくなると考えられる。

4．まとめ

壁土の産地と下地の仕様の違いが土塗り壁の最大せん断耐力に及ぼす影響を把握するため、壁土の産地および下地の仕様をパラメータにした土塗り壁試験体の静的せん断加力実験を行った。今回の実験では、土塗り壁の最大せん断耐力に壁土の圧縮強度ほどの差は生じなかった。また、下地の仕様の違いについては、土塗り壁の最大せん断耐力への影響は認められなかった。

次に、3 種類の壁土の材料強度試験の結果を用いて、土塗り壁の数値解析を行った結果、最大せん断耐力については概ね実験値に近い結果が得られたが、せん断剛性については大きな差が生じている場合があり、壁土の応力－ひずみ関係のモデル化の方法等にはまだ検討課題が残った。

更に、土塗り壁のせん断加力実験と数値解析とを組み合わせ、日本各地の土塗り壁のうち、55%に相当する範囲で最大せん断耐力の推定を行った。

謝辞

本研究は(社)日本左官業組合連合会の岡野専務理事、鈴木理事をはじめ、壁土をご提供いただきました左官職の方々の多大なご協力のもと実施されました。ここに記して、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

1) 中尾方人,山崎裕:土塗り壁の耐力および変形性能の推定に関する実験的研究（その 11　各地の壁土の強度の変動幅について）,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ,pp.489-490,2008.9
2) 中尾方人,山崎裕：土塗り壁の耐力および変形性能の推定に関する実験的研究（その 9 真壁形式の土塗り壁工法に関するアンケート調査）,日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ,pp.237-238,2007.8
3) 中尾方人,山崎裕:数値解析による土塗り壁のせん断抵抗機構の検討,日本建築学会構造系論文集,第 636 号,pp.331-338,2009.2
4) 中尾方人，一文字里紗，山崎裕，石橋庸子：土塗り壁のせん断抵抗機構およびせん断耐力の評価法に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 598 号，2005.12
5) 中尾方人，山崎裕，田中純：土塗り壁のせん断耐力の評価に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.49B，pp.573-578，2003.3

居住空間におけるデュアル・システムの構築
－仕事と子育ての両立と持続可能な高効率型居住空間の探求－

足利工業大学
准教授　渡邉美樹

1．研究の目的と背景

核家族化による子育て事情の変化や、少子、高齢化が引き起こす問題点が指摘されるようになってから既に久しい。さらに、女性が積極的に社会に進出するようになり、家庭内での家事のみならず、高齢者の介護や育児の担い手が不足し、これらの諸問題に拍車をかけている。日本の核家族世帯の変化をみると、昭和60年の2280万世帯から、平成17年2840万世帯へと、緩やかながら年々増加している。また、夫婦のいる世帯の就業類型を見ると、平成7年以降、夫婦とも働いている世帯は減っているものの、夫のみ就業の世帯数（割合）は減少し、妻のみ就業の世帯が増加している。一方、夫婦のいる世帯数の中で、夫婦が共に就労している割合が最も大きいのは、首都圏ではなく1位福井県58.2%、2位山形県57.8%、3位富山県56.6%、4位石川県55.1%などの地方である（平均44.4%、東京都は40.3%）。また、1世帯の世帯人数の平均は、1位山形県3.09人、2位福井県3.00人となっており、共働き率の順位と類似している（東京都は2.13人、全国平均は2.55人）。これは、仕居が広く、親と同居するなど家族が多いほど、共働きし易い条件になっていることを示している。また、家族が多いことが、子育て環境を確保しながら共働きができる環境を作る、といった相乗効果を生んでいる事を示している。共働きの家族は、平日帰宅後から翌日出勤までの、就寝時間以外の短い時間の中で、家事、育児、趣味、仕事の残り、団らんを行わなくてはならない。従って、この僅かな在宅時間内の行動が、非常に高密なものになることは言うまでもない。しかし、従来の住居の間取りや、面積計画は、そうした、一部の時間帯における、行動の希薄さや過密さに対応した、機能や規模を備えているとは言い難く、また、そうした調査研究も十分になされていない。さらに、現在、刻々と少子化が進ん

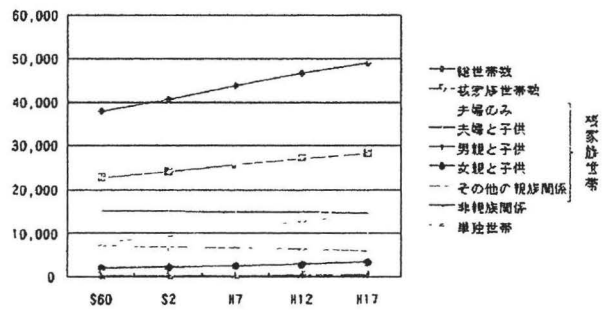


図1家族類型別一般世帯数（千人）、統計局

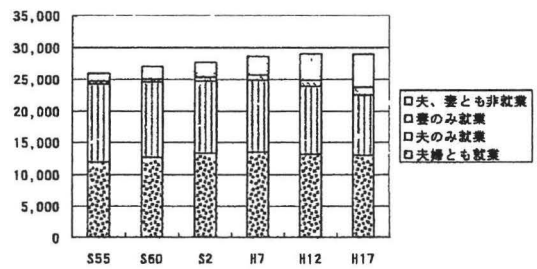


図2夫婦の就労状況推移、（千人）、統計局

足利工業大学建築学科　准教授　博士（工学）　Assoc Prof ,Ashikaga Institute of Technology, Dr Eng

でおり、働きながら子育てを行う職場環境と共に、安心して子育てを行える居住環境が必要といえる。そこで、本研究では、共働きの家庭居住空間についての研究の初期段階として、実地アンケートを基本とした現況調査を行い、現況にみられる特徴と問題点について、考察を行う。

2．調査の対象と方法

表 1　調査対象と基本データ

No	件名	住居形態	家族構成（子）年代 夫婦＋				父	母	子	子2	子3	居住面積(㎡)	延床面積(㎡)	居住タイプ	調査方法	通勤時間（分）		在宅時間（分） *自宅勤務，仕事 買物の時間を除く					家事の時間（分）	
			人数									1F,2F,3F,4F				父	母	父	母	子	子2	子3	父	母
1	K	戸建て 3階建	1	小	—	—	40	40	9	—	—	42,42,40	122	2LDK	イ	15	0	915	*1050	1020	—	—	80	290
2	W	戸建て 4階建	1	小	—	—	40	40	8	—	—	35,38,38,31	137	3LDK	ア	40	150	750	700	800	—	—	25	100
3	K	戸建て 2階建	2	小	中	—	40	40	13	9	—	104,28	132	4LDK	ア	50	60	720	830	840	840	—	60	120
4	O	戸建て 2階建	2	小	小	—	40	40	7	6	—	56,51	105	4LDK	ア	60	60	570	840	810	810	—	30	190
5	U	戸建て 2階建	1	乳児	—	—	40	40	0	—	—	68,60	129	4LDK	ア	30	0	750	*1155	1350	—	—	60	185
6	I	マンション	1	小	—	—	40	40	9	—	—	82	82	3LDK	ア	0	65	*960	815	900	—	—	215	110
7	S	マンション	2	小	中	—	—	—	—	—	—	150	150	3LDK	ア	10	50	695	695	850	690	—	75	95
8	Y	マンション	1	小	—	—	40	40	8	—	—	72	72	3LDK	イ	30	10	570	790	790	—	—	0	175
9	T	マンション	2	乳幼児	乳幼児	—	50	40	5	3	—	90	90	3LDK	ア	70	70	630	885	1005	1005	—	0	170
10	T	マンション	2	小	小	—	40	40	10	8	—	71	71	3LDK	ア	40	50	710	820	860	800	—	15	160
11	T	マンション	1	大	—	—	50	50	23	—	—	32	32	2DK	イ	0	15	*1020	840	555	—	—	35	115
12	K	マンション	2	小	小	—	40	40	12	7	—	55	55	3LDK	イ	15	0	705	*1320	710	790	—	65	710
13	M	マンション	1	小	—	—	30	40	7	—	—	67	67	2LDK	ア	90	0	630	*990	830	—	—	0	395
14	M	マンション	2	小	小	—	40	40	12	8	—	82	82	3LDK	ア	60	30	620	820	910	740	—	120	230
15	S	戸建て 2階建	1	小	—	—	40	40	7	—	—	57,57	105	3DK	イ	0	0	*900	*900	830	—	—	100	55
16	N	戸建て 2階建	3	中	中	高	40	40	17	14	13	58 49	107	4LDK	ア	25	15	525	845	550	685	560	0	330
17	T	戸建て 2階建	3	小	中	大	50	50	21	17	10	53,52	105	4LDK	ア	60	0	720	*1260	300	585	890	0	155
18	H	戸建て 2階建	1	大	—	—	50	50	21	—	—	72,36	108	4LDK	ア	20	20	810	900	970	—	—	0	150
19	J	戸建て 2階建	2	小	大	—	40	40	20	9	—	48,45	93	4LDK	ア	100	10	420	1190	665	930	—	0	350
20	K	戸建て 2階建	2	大	社	—	50	50	23	21	—	105,40	145	7K	イ	10	5	740	835	750	720	—	0	145
21	K	戸建て 2階建	3	大	社	社	50	50	23	21	21	95,72	167	5LDK	ア	30	30	660	1140	720	820	460	0	300
22	T	戸建て 2階建	2	大	社	—	50	40	21	18	—	110,56	166	7DK	ア	120	20	360	840	600	770	—	0	140
23	N	マンション	1	小	—	—	30	40	6	—	—	90	90	3LDK	イ	15	0	660	*1020	900	—	—	10	260
24	Y	アパート	2	小	大	—	50	40	21	8	—	53	53	3K	ア	20	30	540	840	840	750	—	0	120

居住空間の現状を知るため、東京都内 14 件および関東近辺（10 件）に住まう共働き家族 24 世帯について、現地インタビュー、実測調査あるいは、郵送によるアンケート調査を行った。調査内容は、平日および休日の各家族のタイムテーブルの他、家事や家庭内での動作について、1．料理と食卓、2．洗濯、物干し、アイロン、3．身支度、4．子育て、5．収納、6．団らん、7．接客、8．防犯、9．将来構想について、間取りや動線、工夫点、不便な点、便利な点、広さなどについての質問とした。インタビュー用紙を事前に郵送し、調査内容について確認をとり、住居平面に関しては、事前に簡単な間取り図を送ってもったうえで、複写し、インタビュー時に、家具、家事や移動動線を描き込んだ。収集したアンケート、インタビュー時の写真、間取り図、家具プロット図、動線図をもとに、住居の平面図を作成し、分析データとして用いた。

3．調査結果

調査対象事例の居住形態は、全 24 事例のうち、マンションが 12（32～150 ㎡、平均 77 ㎡）、一戸建ては全て 2 階建て以上で 12 事例（93～167 ㎡、平均 125 ㎡），住戸の間取りは、3LDK が最も多く、9 事例であった。その他、1DK から 7DK まで様々であった。父の年代は 40 代が 13 人、母は 19 人と、丁度小、中学生の就学時がいる世代である。子供の数は、1 人が 10 家庭、2 人が家庭、3 人が 3 家庭で、少子化を如実に表している。父と母の通勤時間の平均は、40 分と 30 分であり、おおよそ、住宅近辺に職場を持っていることが解る。父母の睡眠を含む在宅時間は、平均 13 時間である（睡眠を含まない在宅時間）は、家事時間の平均は、父 37 分、母 210 分と、母が極端に多い結果となっている。

4．分析と考察

前述したように、各住居の間取りは、一部をのこして「n-LDK」といった、ごく一般的なタイプで区別できるが、各部屋の用途をみると、ある特徴があることがわかる。これについて、東京都内の事例 14 件に対象を絞って考察する。まず、子供のための独立した勉強部屋や遊び室を確保している事例は、12 件（その他は、乳児の事例と,遊び室と家族の寝室兼用の事例）あり、そのうち子供と寝室を共にする事例は 7 件と、子供室で就寝する事例 6 件よりも多い。この中で、子供が複数いる、部屋が狭い、家族全員の洋服などが置いてある等の理由により、将来的にも子供が、遊び室で就寝不可能な事例は 4 件である。また、独立した書斎を確保している事例は 7 であり、うち 2 件は、夫婦別々の書斎を確保している。一方、書斎はあるが、子供室が無い事例は 3 件である（そのうち、在宅勤務は 1 件）。インタビューによると、子供の就寝室（遊び部屋に就寝不可能な事例を含み）が確保されていない家庭でも、将来的に書斎をつぶす事はないと、全員が答えている。その理由として、①家庭と仕事の諸事を分ける事が、精神的にも必要だから②子供が仕事の書類に手を触れないように③子供が就寝後、パソコンなどで作業をする事がある④子供が子供部屋にこもるのが心配だから、といった解答を得た。従って、多くの場合、書斎スペースではなく、独立した書斎室の確保が必要とされており、子供室を確保するよりもむしろ優先されていることが解る。これは、子供の年齢にも関わるが、完全な子供室を与えることによって、子供とのコミュニケーションが途絶える恐れへの配慮もある。また反面、生活用品の整理の困難さから、1 部屋が倉庫になっている事例が 6 件あり、住居の部屋割りと広さ、室の有効利用についての諸課題が確認された。

表-2 家族構成と間取りの分析表

次に、家族の移動と滞留の場についての考察をまとめる。調査対象事例について、調査結果から得られた朝、夕の動線経路を 300 ミリの幅にとり、「移動領域」とした。その他、「移動領域

番号	部名	住居形態	夫婦＋人数	夫婦＋就学			年化・年齢 母	子	子2	子3	居住面積(㎡) 1F 2F 3F 4F	延床面積(㎡)	居住タイプ	用途、間仕切り 用途タイプ
1	K	戸建て 3階建	1	小	—	—	40	9	—	—	42 42 40	122	2LDK	
2	W	戸建て 4階建	1	小	—	—	40	8	—	—	35 38 38 31	137	3LDK	
3	K	マンション2階	2	小	中	—	40	13	9	—	104 28	132	4LDK	
4	O	戸建て 2階建	2	小	小	—	40	7	6	—	56 51	105	4LDK	
5	U	戸建て 2階建	1	乳	—	—	40	0	—	—	68 60	129	4LDK	
6	I	マンション	1	小	—	—	40	9	—	—	82	82	3LDK	
7	S	マンション	2	小	中	—	—	—	—	—	150	150	3LDK	
8	Y	マンション	1	小	—	—	40	8	—	—	72	72	3LDK	
9	T	マンション	2	幼	幼	—	40	5	3	—	90	90	3LDK	
10	T	マンション	2	小	小	—	40	10	8	—	71	71	3LDK	
11	T	マンション	1	大	—	—	50	23	—	—	32	32	2DK	
12	K	マンション	2	小	小	—	40	12	7	—	55	55	3LDK	
13	M	マンション	1	小	—	—	40	7	—	—	67	67	2LDK	
14	M	マンション	2	小	小	—	40	12	8	—	82	82	3LDK	

凡例

•	—	/												
壁のない分割	壁、扉あり	階の変化	居間	食堂	台所	父書斎	母書斎	夫婦寝室	母寝室	父寝室	子供寝室	子供勉強部屋	子供遊び部屋	予備室・倉庫

÷延べ床面積×100」により、住居全体に対する移動領域のパーセンテージを見、また、「移動領域÷就寝以外の在宅時間」によって、在宅時間あたりの移動領域を算出した。まず、移動領域面積の平均値を見ると、朝、夕ともに母が多いが、母は夕方の移動領域面積が 9.6 ㎡→11 6 ㎡に上昇するのに対し、父はほとんど変わりがない。延べ床面積に対する移動領域の割合をみても、父は、朝、夕が８0%と８5%、母は11 0%、13 3%と、母が夕方移動する領域が大きい。子供は、6 6%、7 6%と、朝夕で余り変化せず、しかも父以上に移動する領域が狭いことが解る。ちなみに、朝、夕共に、母はキッチンを、父は食卓テーブル、子は食卓テーブルとリビングの中間地点（キッチンへの視線が通る箇所）を中心として滞留している事が解った。就寝以外の在宅時間を見ると、父は最高 10 時間で、2 時間という極端に短い例もあるが、母は 5 時間～15 5 時間（在宅勤務）と、ある程度まとまった在宅時間を確保している。次に、「在宅時間あたりの移動領域面積（移動面積÷在宅時間）」を見ると、父 3.0 ㎡、母 2 7 ㎡、子供 1.8 ㎡となり、父の数値が母の数値を上回る。これにより、父は、効率的に移動しているという考察も成り立つ。さらに、それらの数値をグラフに示すと、以下のような考察が得られた。①延べ床面積が大きくなるにつれて、母の移動領域面積は増加する傾向にあるが、父と子供の移動領域面積には、余り変化がない。②在宅時間と移動領域面積をみると、父と母に、両者の関連性はみられず、子は、父の在宅時間が極端に少ない例を除き、父と同じ領域に分布することがわかる。③在宅時間と家事時間は、父、母共にほぼ比例していることがわかる。

最後に、本調査での特徴的な事例についての考察を行う。事例 No 9 は、父、母が独立した書斎を持ち、父は書斎隣の洋室で就寝、子供と母は、リビングに接続した和室スペースで就寝し、子供室は無い例である。2 人の子供が未就学児である事もあるが、父の寝室となっている洋室

表-3 家族の移動領域

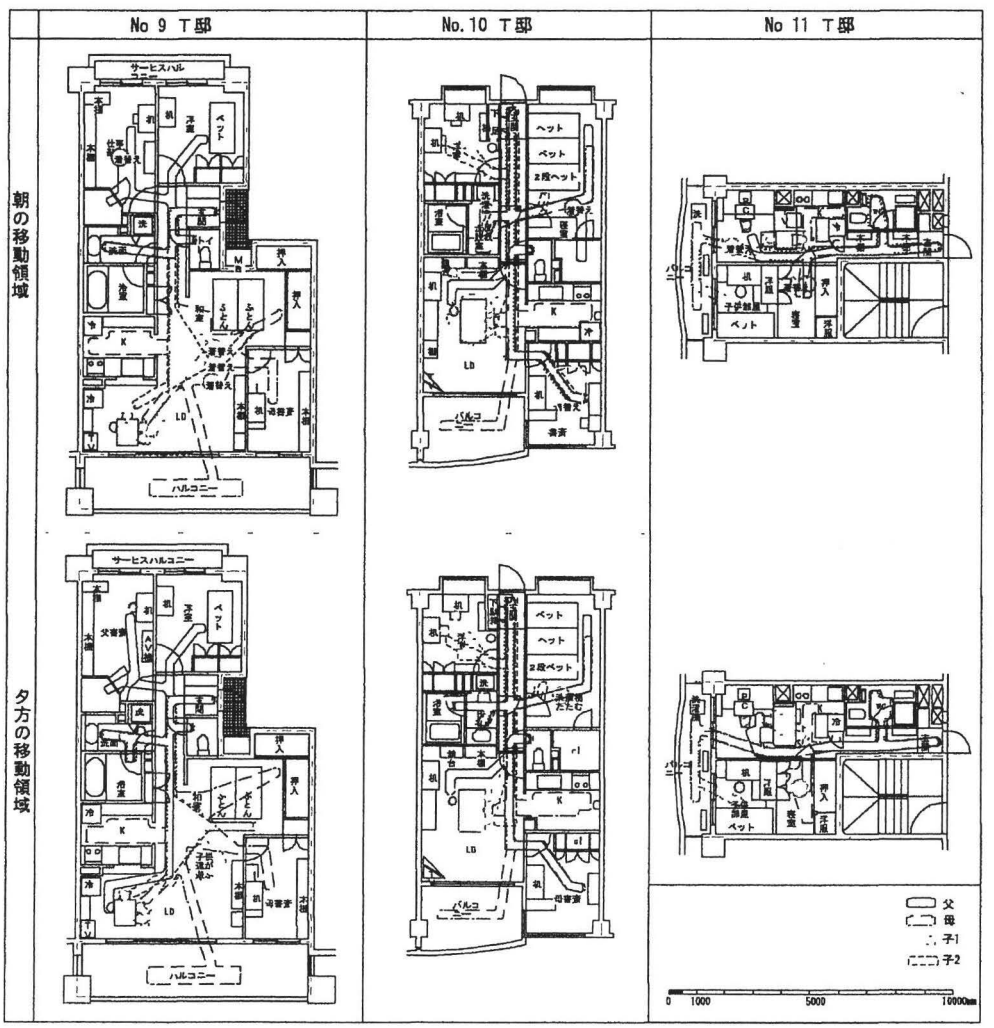
No	邸名	移動領域（㎡）※										移動領域（㎡）（キッチン）	
		朝					夕						
		父	母	子	子2	子3	父	母	子	子2	子3	父	母
1	K	9	12	4	—	—	10	14	6	—	—	2	2
2	W	5	10	5	—	—	10	12	9	—	—	1	3
3	K	11	10	10	8	—	12	14	10	9	—	3	3
4	O	9	10	6	6	—	9	15	8	8	—	2	2
5	U	10	15	0	—	—	9	11	0	—	—	0	3
6	I	9	5	6	—	—	11	10	8	—	—	2	3
7	S	7	10	7	6	—	8	15	7	7	—	0	3
8	Y	6	10	7	—	—	5	11	8	—	—	0	2
9	T	4	15	6	5	—	4	15	6	6	—	0	3
10	T	8	10	6	6	—	7	9	4	5	—	0	2
11	T	3	5	4	—	—	4	7	5	—	—	0	1
12	K	5	8	5	5	—	5	8	5	6	—	0	2
13	M	6	8	4	—	—	7	11	5	—	—	0	3
14	M	7	7	6	6	—	6	11	8	8	—	0	2
15	S	7	9	5	—	—	7	8	7	—	—	2	2
16	N	5	12	9	7	7	6	14	9	8	8	0	3
17	T	4	12	5	6	4	4	8	6	6	4	0	2
18	H	10	8	6	—	—	11	15	7	—	—	0	3
19	J	5	11	8	6	—	6	8	9	6	—	0	2
20	K	10	16	8	7	—	10	16	8	7	—	0	4
21	K	9	10	9	9	9	10	20	13	11	12	0	2
22	T	10	14	11	11	—	12	16	13	13	—	0	3
23	N	11	11	9	—	—	10	18	11	—	—	1	2
24	Y	5	10	6	6	—	7	13	6	6	—	0	2

は、将来的にも子供室になる見込みがなく、父と母の書斎を無くす計画もない。従って、子供が

成長する将来は、同じ建物の住居をもう一件購入して住まう計画である。このように、父と母の書斎を確保すると、就寝時間が不規則な父が別室で就寝し、母と子は、リビングを寝食の場とする、ワンルーム型居住となる。家族の移動領域を見ても、父と母の書斎が、住居と切り離されている様な、家族が踏み込むことのない場所となっている。No 10 は、3 つの個室を、母の書斎、子供の勉強部屋、家族の寝室として使用している例である。子供の勉強部屋には、ベッドを入れるスペースが無く、寝室の収納は、父が使用している。勉強部屋と母の書斎にある収納に着替えをしまっているため、毎朝、全員が母の書斎で着替えをする。遊ぶ、勉強する、着替える、寝る場所がそれぞれ異なり、不便であるが、毎日家中をくまなく移動する生活も、子供にとっては楽しく、家族の動線が交錯することによって、コミュニケーションが生まれる可能性もある。No 11 は、10 坪の 1 -DK マンションを、工夫して仕切ることによって、夫婦寝室、子供室、リビング・ダイニング、父の書斎スペースをも構成している例である。子供室へは、バルコニーに出てから入り、家族の移動領域はきわめて簡潔に整理されている。共働き家族の子育て空間、居住空間としての最小限のコアを、ここに見ることができる。

表-4 特徴ある間取りの例、朝、夕の動線

5．まとめと課題



共働き家族の居住空間に関して、これまでに得られた所見をまとめる。

（1）子供の遊びスペースは確保されていても、就寝は父・母と一緒である例が多い。これは、子供の年齢にも係わるが、将来的にも子供に就寝室を与えない考えの家庭も多かった。

（2）子供専用の部屋よりもむしろ、父・母の書斎の確保が優先されている。これは、家庭にいる時間は子供と共に過ごしたい考えや、家庭と仕事を分離したいという考えからである。

（3）キッチンや洗面など、一時的に使用頻度が高いスペースについて、若干の広さと、収納力が求められている。キッチンでは食料品など、買いだめをして保管するスペース（パントリー）、分別ゴミ置き場、洗面所では、複数が同時に脱衣する広さと、下着などを効率的に収納するスペースが求められている。

（4）平日にも洗濯を行う家庭が多いが、バルコニーか室内で干し、浴室乾燥機は有効に活用されていない。

（5）休日、積極的に知人を招く家庭と、ほとんど接客しない家庭に大きく分かれる。

（6）家事の負担は、7～8割型妻が担っているが、育児については、夫が積極的に関与している。また、家事、育児共に、祖父母の援助を受けている家庭は少ない。

（7）子供の成長に合わせて、住み替えを計画の家庭も多い。現在の住まいでの経験が生かされることは必須といえる。

以上の所見から、共働き家族の居住空間について、考察と、今後の課題を述べる。

（1）必要な間取りは、夫婦の書斎1～2部屋、子供の勉強部屋、寝室、LDKである。

（2）洗面・脱衣・ランドリーは、作業スペースが広めで風通しが良く、室内干しできることが望ましい。

（3）キッチンは、クローズドでなくても良い。パントリーがあることが望ましい。

（4）食事時間がそのまま団らんの時間となる場合が多く、リビングの確保よりも、広めのダイニング＋子供の遊びスペースが有効である。

（5）書斎は広くなくても良いが、独立している必要がある。母の書斎は、キッチンの近くが望ましい。

（6）子供部屋は、遊びスペースは不要だが、衣類の収納、勉強机が置け、将来就寝可能であることが望ましい。

以上、共働き家族の住空間について調査と考察を行った結果、従来の間取りやスペースの配分について、再検討すべき事項があることが解った。

玄関空間と靴の脱履動作特性に応じた姿勢保持椅子に関する研究

北海道立北方建築総合研究所
研究職員　林　　昌宏

1．本研究の背景と目的

少子高齢化が進行する中、住空間における生活行為を誰もが容易に行なえるようにするユニバーサルデザインが求められている。日常生活における動作の不便さ、不都合はいろいろな所で起こるが、とりわけ玄関などでのしゃがみ込み、立ち上がりなどの動作に伴う狭小空間において発生している。バリアフリー化の進行とともに玄関の段差が縮小、解消され、移動のしやすさは向上するが、反対に靴の脱履動作は難しさを増す傾向にある。上り框がある場合に比べ低い位置までしゃがみ込むため、脱ぎ履きの動作や立ち座りが難しくなり、特に高齢者にとってはつらい動作となる。このため椅子を設置するなどの解決策がとられているが、狭い玄関では椅子の設置が限定され、適切な座面の高さや大きさが用意されていなければ、機能しない恐れもある。筆者らは、狭小な玄関での椅子の必要性や動作の評価に関わる基礎的実験を行なってきたが、住宅玄関の空間構成の実態観察から、高齢者や若年者など様々な対象者と靴の種類に応じて動作時の姿勢に違いがあり、それぞれの使用者による最適条件に対して、狭小玄関において占有できる空間の制限との関係を検討する必要がある。

玄関での転倒予防、動作の容易性を確保するため、健常者のみならず高齢者、障害者が玄関においてどのようにして靴を脱ぎ履きしているのか、また、どのような支持条件があれば効果的に姿勢を保持し靴の脱履行為を行なえるかを解明し、狭小な玄関でも設置可能な姿勢保持椅子の形状を明らかにする。

2．研究方法

(1)玄関の空間特性実態調査

賃貸住宅などの比較的狭小な玄関の形態と下駄箱などの設備の設置状況及び住民属性による使用状態を調査する。

(2)靴の脱履動作に伴う必要空間の検討

ブーツやひも付きの靴など靴の種類ごとに脱ぎ履き動作を把握し、どの程度の空間が必要になるか、健常者、高齢者、障害者など動作者の身体属性との関連を明らかにする動作特性実験を行なう。

(3)姿勢保持椅子の形状と靴脱履動作評価実験

狭小な玄関を設定し、そこで実用化可能な形状と実際の使用感の評価実験から最小の空間占有で姿勢保持の機能を確保する椅子の適切な形状を検討する。

3．研究結果

(1) 玄関の空間特性実態調査

今回は、55人の学生を対象にアンケート調査を行ない、玄関の図面と写真を合わせて提出

させた。調査項目は以下のとおりである。

住宅の種類、家族構成（人数、年齢、性別）、玄関での手すり・椅子の使用、玄関と室内の段差、玄関戸の形式、玄関の写真と玄関の平面図、靴を履く・脱ぐ姿勢(靴のタイプ8種[表1]に対する動作の姿勢4種[図1])。

表1　靴のタイプの分類

靴のタイプ	類似の種類	タイプの特徴
①サンダルタイプ	草履、下駄・ミュール	かかとの部材が無くつま先で履く
②スリッポンタイプ	ローファー・モカシン・バレエ	ヒールの無い靴
③パンプスタイプ	ローヒール、ハイヒール	ヒールがある靴
④スニーカータイプ	運動靴、ウォーキングシューズ	柔らかい素材で踝まで紐有
⑤長靴タイプ	レインシューズ、ゴム長靴	柔らかい素材で長い靴
⑥紐革靴タイプ	ビジネスシューズ、トレッキング	革製の靴で、紐で結ぶ
⑦ブーツタイプ	ショートブーツ、ハーフブーツ	革製のブーツですねの中間の長さ
⑧ロングブーツ		革製のブーツで膝までの長いブーツ

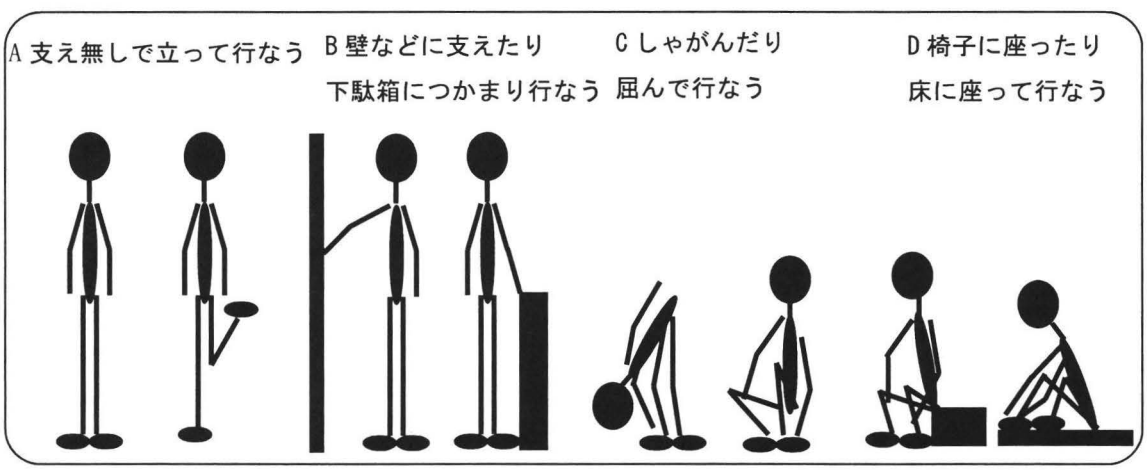


図1　靴を履く・脱ぐ姿勢の分類

表2　調査結果

回答数	55人	回答者年齢	平均19.9歳
男女比	男性12%、女性88%	家族人数	平均3.3人
室内の段差	平均122㎜		
玄関戸の形式	外開き96%、引き戸4% 片引き2%		
住宅の種類	戸建40%、民間賃貸33%、 公営住宅9%、その他18%		

回答者55人の属性としては、学生対象なので平均年齢19.9歳でほとんどが若年者で、女性が88%でほとんどを占めていた(表2)。玄関戸の形式はほとんどが外開きだった。家族人数は、平均3.3人で、四人と一人が多く、回答者の親世代の40～50代の家族が多かった。戸

建て住宅に住んでいるのが 40%で、民間賃貸が 33%だった。

玄関と室内の段差の数と上がり框の段差は 1 段で 150mm 前後が多く平均 122mm だった。玄関の土間部分の面積は、1 ㎡以下が 1/3、2 ㎡以下までで 2/3 を占めており、民間賃貸住宅では平均 1 ㎡未満で、平均 2 ㎡以上の戸建住宅と玄関面積に差がみられた(図 2)。

土間部分に置いてある靴の数は 2〜4 足で過半数を占め、家族 1 人当たり 1 足程度であった(図 3)。土間に置かない場合は、下駄箱に収納するだけでは無く、靴を乾かしたり暖めたりするため居間などに置くケースがあった。玄関には靴のほかにも傘、掃除用具、ゴルフバッグなどが置いてあり、靴を脱ぎ履きする場所が狭くなっていた。

靴の履く姿勢は A(立って履く)が最も多く、次に D(座り履く)、C(屈み履く)、B(支え履く)の順だった。靴タイプ別の履く姿勢は①サンダル、②スリッポンで A がほとんどを占め、③パンプス、④スニーカー、⑤長靴で A が半数程度でそれぞれ多い。⑦ブーツでは C が最も多く、⑥紐革靴、⑧ロングブーツでは D が最も多い(図 4)。履きやすい靴ほど立位となり、足首部分が狭い靴になると屈むようになり、紐を結んだりファスナーをあげたりする靴ほど座る姿勢になっていた。

脱ぐ姿勢 A(立ち脱ぐ)が最も多く、次に B(支え脱ぐ)、D(座り脱ぐ)、C(屈み脱ぐ)の順だった。靴タイプ別の履く姿勢は①サンダル、②スリッポンで A がほとんどを占め、③パンプス、④スニーカー、⑤長靴で A が半数で多く、⑥紐革靴でも A が最も多い。⑦ブーツでは B が最も多く、⑧ロングブーツでは D が最も多い(図 5)。脱ぐ場合も履く場合と同様に、脱ぎやすい靴ほど立位の姿勢が多くなり、手がかかる靴ほど座る姿勢が多くなった。④スニーカーや⑥紐革靴は脱ぐ場合の姿勢が履く場合よりも立位が増え、脱ぎやすさが表れていた。

玄関で手すりを使いたいと思うことがあるのが 20 人で、椅子を使いたいと思うことがあるのが 11 人で、どちらも使いたいと思うことがあるは 9 人だった(図 6、7)。靴を履き脱ぎする姿勢が B(支え)の場合に手すりの要望があり、逆に D(座り脱ぐ)場合は手すりを不要とする傾向があった。

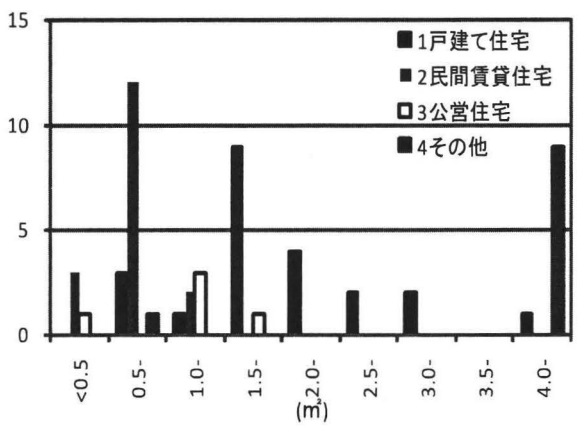


図 2　玄関の土間面積

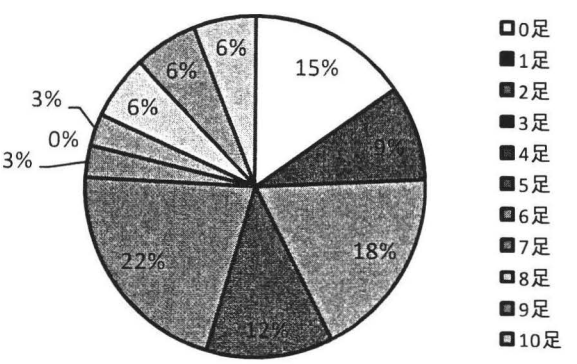


図 3　玄関土間にある靴の数

調査結果をまとめると、ロングブーツなどを履くときには立ったままでは不安定になるので椅子などの支えが必要である。一方、玄関が狭いため大きな椅子を設置するスペースが無い。これらを解決するために、コンパクトな椅子の開発が必要であると考えられる。

（2）靴の脱履動作に伴う必要空間の検討

I)若年女性の動作

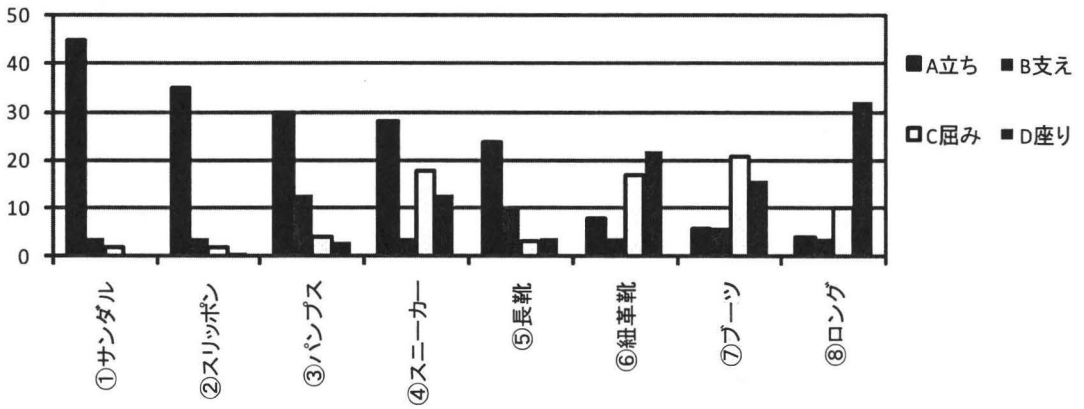


図4　靴タイプ別の靴を履く姿勢

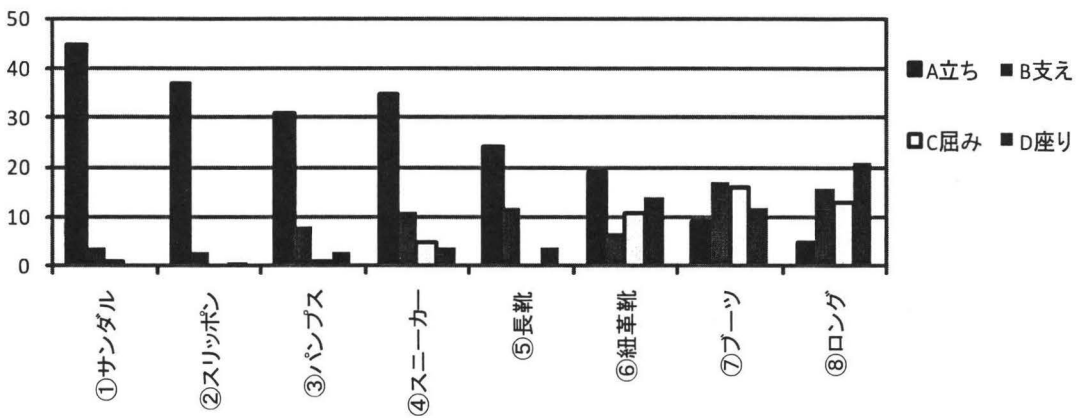


図5　靴タイプと靴を脱ぐ姿勢

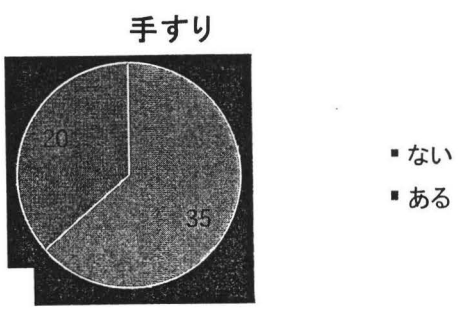


図6　手すりを使いたいと思うこと

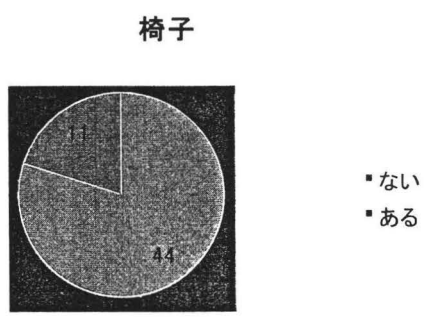


図7　椅子を使いたいと思うこと

a)実験方法

狭小空間（土間が 0.5～1.0 ㎡）で、若年女性がブーツを脱ぎ履きする際の動作解析を行なった。高さ 400mm の椅子を基準に高さの条件を変更した場合のブーツを履く様子を比較した。

まず、土間部分に想定した床反力計に立った状態から椅子に座り靴を脱ぎ、主観量を聞いた。次に椅子に座って靴を履き立ち上がり、主観量を聞いた。椅子の高さは順序効果に配慮してランダムに実験を行なった。最後に 50mm ごとに最も好ましい高さを選ばせた。

主観量：履きやすさ 7 段階(とても履きやすい[+3]、履きやすい[+2]、やや履きやすい[+1]、どちらでも無い[0]、やや履きにくい[-1]、履きにくい[-2]、とても履きにくい[-3]）、同様に座りやすさ、脱ぎやすさ、立ちやすさについても 7 段階

空間条件：椅座位　高さ(0、200,400,600）、壁支持

実験装置：　マーカー撮影(VICON612)[胴体、上腕、前腕、手部、大腿、下腿、足部]、床反力計(AMTI)、デジタルビデオ(SONY)

対象者：若年女性　4 名(A,K,O,W)

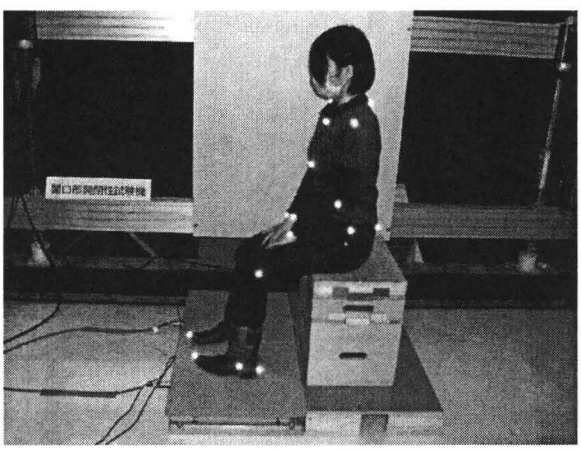


写真 1　実験風景

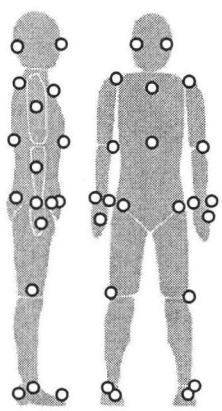


図 8　マーカー取り付け位置

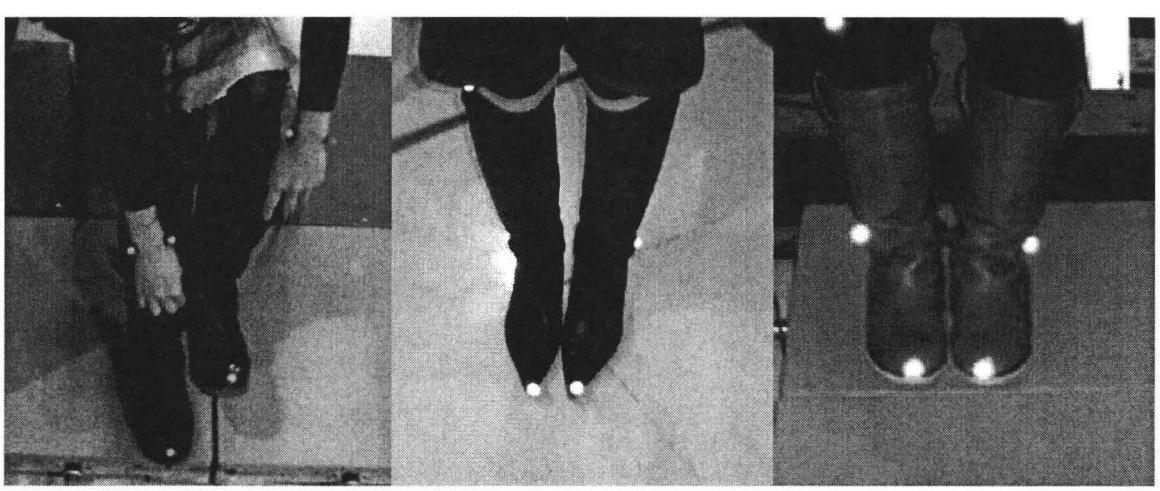


写真 2　使用したブーツ

b)実験結果

履きやすさに関する主観量は高さ 300mm と 400mm での評価が良く、脱ぎやすさに関する主観量は、300mm の次に 100mm が良かったが、被験者によるばらつきがありの最も脱ぎやすいと答えた高さは異なっていた(図 8、9) 。座りやすさ立ちやすさに関しては、400mm、300mm の順で評価が良かったが、これも被験者により好みが異なっていた。

各評価を被験者ごとにみると、ブーツの形状と履き方の違いにより、評価が分かれていることがわった。被験者 A は靴内側にファスナーがあるブーツのため深い前屈姿勢になるため、標準より低めの 300mm で全般的に評価が良く、好ましい高さは 250mm であると答えた。被験者 K は、ファスナーの無いブーツのため履くときの手の位置が高くすることができるので、椅子の高さが高くなるほど評価が良くなり、好ましい高さは 550mm であると答えた。被験者 O はファスナー無しであるが足との隙間が少ないタイプのため力を入れて履く姿勢をとるため、靴の履きは 400 前後で評価が良いが、脱ぎは 100 で最も評価が良かった。400mm が好ましい高さであると答えた。被験者 W は、履きは 400mm で、脱ぎは 600 で評価が良く、好ましい高さは 600mm だった。

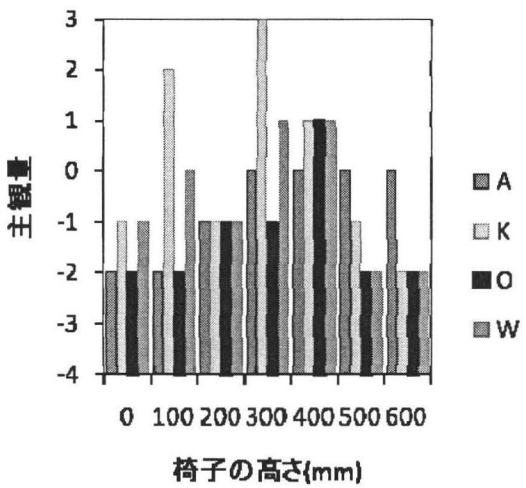


図 9　靴の履きやすさの主観量

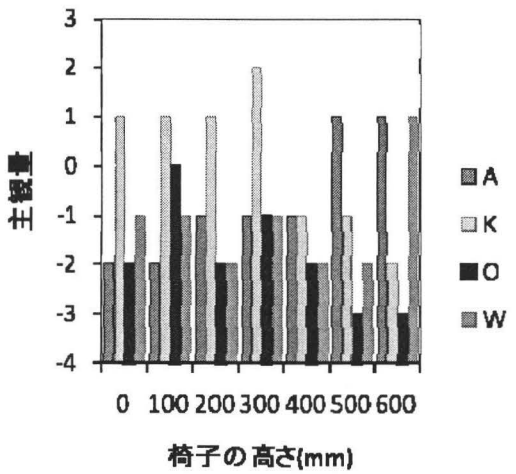


図 10　靴の脱ぎやすさの主観量

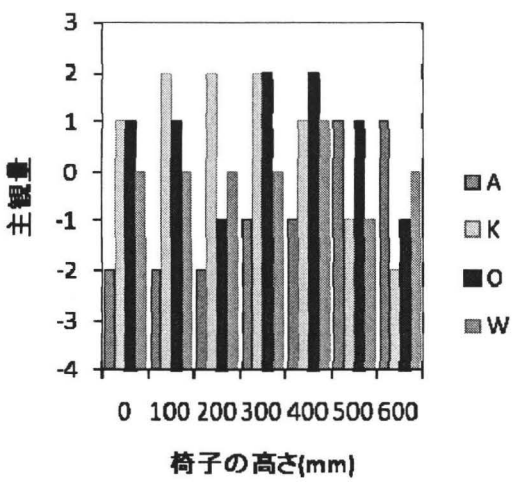


図 11　椅子の座りやすさの主観量

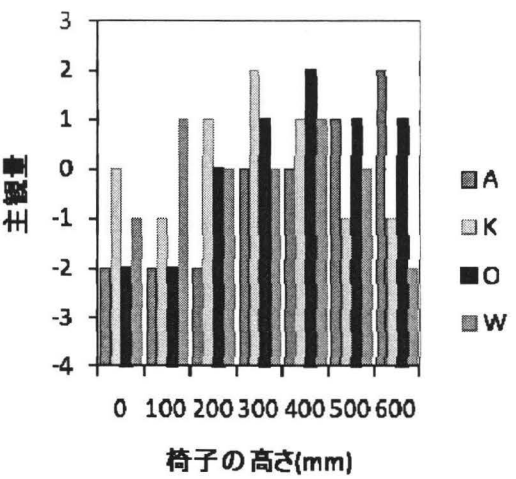


図 12　椅子の立ちやすさの主観量

Ⅱ)立位不安定者の動作

靴の脱ぎ履き動作に問題をかかえている対象者として、身体機能が低下している立位不安定者について検討を行なった。身体属性と動作の関連を明らかにする動作特性実験を行なった。実験装置などは前項と同様の環境で実施した。

A)被験者H

被験者は下肢に障害があるが、通常は立位のまま靴の脱ぎ履き動作を行なっている。自宅で靴を履く際には長い靴べらを使用し、靴を脱ぐ際には上がりかまちの段差で脱ぐ動作を行なっている。立ち座り動作の負担感が、立位の不安定感よりも大きいので、椅子などは設置していない。

標準高さ(400mm)の条件で、靴の脱ぎ履きの動作を履く動作別(①床で紐を結ぶ、②膝にかけて結ぶ、③靴べらで履く)と脱ぐ動作別(④床で紐を解く、⑤膝にかけて解く、⑥段差にかけて脱ぐ)での姿勢や手順を計測した。また、日常使用している靴を準備し、靴を履く姿勢として3つを比較した。3種類の靴(紐の結び動作がある柔らかい靴としてスニーカー、紐を解かずに履く硬い靴として革靴、足だけで履ける靴としてスリッポン)の通常の脱ぎ履き動作を計測した。

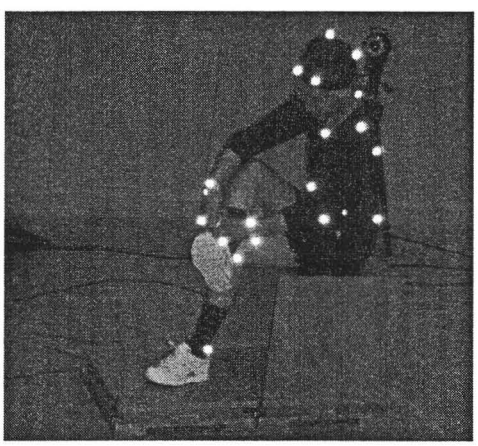


写真3　膝に足をかける姿勢

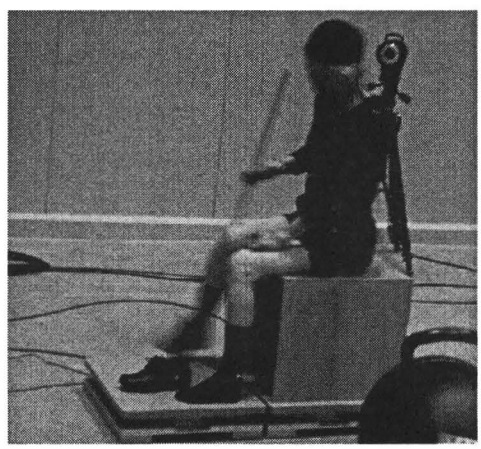


写真4　長い靴べらで靴を履く姿勢

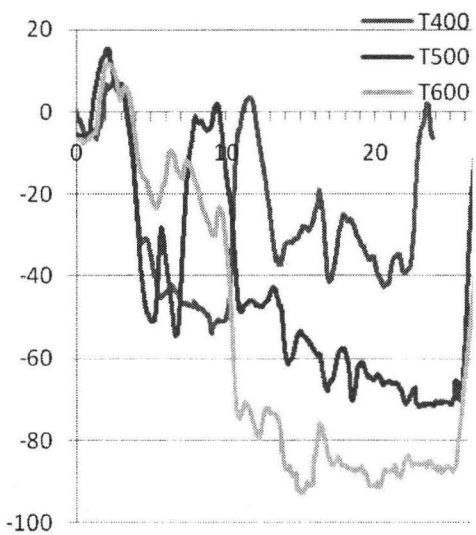


図13　高さ別胸の角度

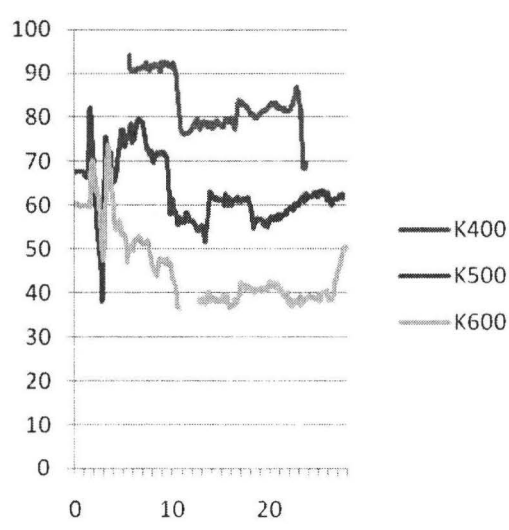


図14　高さ別膝の角度

履く動作について、紐タイプは床に靴を置いたまま結ぶ場合と、膝に足をかけて上で紐を結ぶ場合とがあった。革靴は靴べらを使用する場合、指で入れる場合、足だけで履く場合があったが、座っている際には足だけでは力が不足し、手で膝を押して履いていた。スリッポンは足だけで脱ぎ履きをしていた。

脱ぐ動作は、スニーカーは履く際と同様に床で紐を解く場合と、膝に足を乗せて結ぶ場合がみられた。革靴は片足でもう一方の靴を押さえて脱ぐ場合と框に靴をかけて脱ぐ場合があった。スリッポンは足だけで脱いでいた。

椅子の高さにより、靴の履き方に変化が生じ、紐を結ぶ動作は体を屈曲させる必要があるが、バランスを取れない被験者は、長い時間前屈を続けられないことが確認された。

B)被験者G

右片麻痺患者であるが、通常は立位のまま靴の脱履動作を行なっている。自宅では壁に腰部を支えて転倒を防止している。立ち上がりにバランスを失ったり筋肉への負担が大きくなったりするので、立位のままの動作を選択している。

実験は被験者持参のファスナー付きブーツを用いて、高さの異なる条件で靴を履く動作を分割し、5ブロックの分析を行なった。

座位の変化

膝の角度は、腰の位置が高くなるため、膝の角度は大きくなる(屈曲が小さくなる)。腰の角度は、腰の位置が高くなるため、腰の角度は大きくなる(屈曲が小さくなる)。足の位置は前に出てくる。手の位置は左手の位置は変わらないが、右手は大腿に乗せられなくなっていく

左履きの変化

膝の角度は、靴を履くための高さは靴の高さで変わらないが、膝の角度は大きくなる。腰の角度は、腰の位置が高くなるため腰の角度は大きくなる。足の位置は、支持のため前に出ている。

手の位置は、左手は、姿勢保持のためにイスに支持している。

右足持ちの変化

腰の角度は、足を持つために前屈が大きくなり、腰の角度は小さくなる(屈曲が大きくなる。足の位置は、右手で補助的に持ち上げる位置が低くなる。手の位置は、右手は内側から外側に変化し、左手はアキレス腱側から脛骨側に変化している。

右ジッパーの変化

膝の角度は、腰が高くなるため角度が大きくなる。腰の角度は、腰掛けが浅くなり、腰の角度が小さくなる。足の位置は、支持のため前に出ている。手の位置は、右手は右への姿勢保持のため全て内側になるが支持は小さくなる。

さらに靴寄せの段階でも、膝の角度などに変化がみられ、靴を置く位置により脱ぎ履きへの影響が確認された。ファスナー付きの靴では、椅子が高くなることで前屈姿勢がきつくなるデメリットが発生していた。また、麻痺した右足を膝の上に固定している姿勢でも椅子が高い方が滑り落ちる力が大きくなるため不安定な動作となっていた。

靴を履く際の動作解析結果を高さ 3 段階（400,500,600mm）を比較する（図 16,17）。座面の上昇にともない約 2 度角度が大きくなり、脊柱の屈折が大きくなっていた。胸部は 400mm ではあまり角度を変えずに動作しているが、座面が高くなるとファスナー位置は床面からの高さは変わらないので、より深く前傾して動作を行なう傾向が確認された。

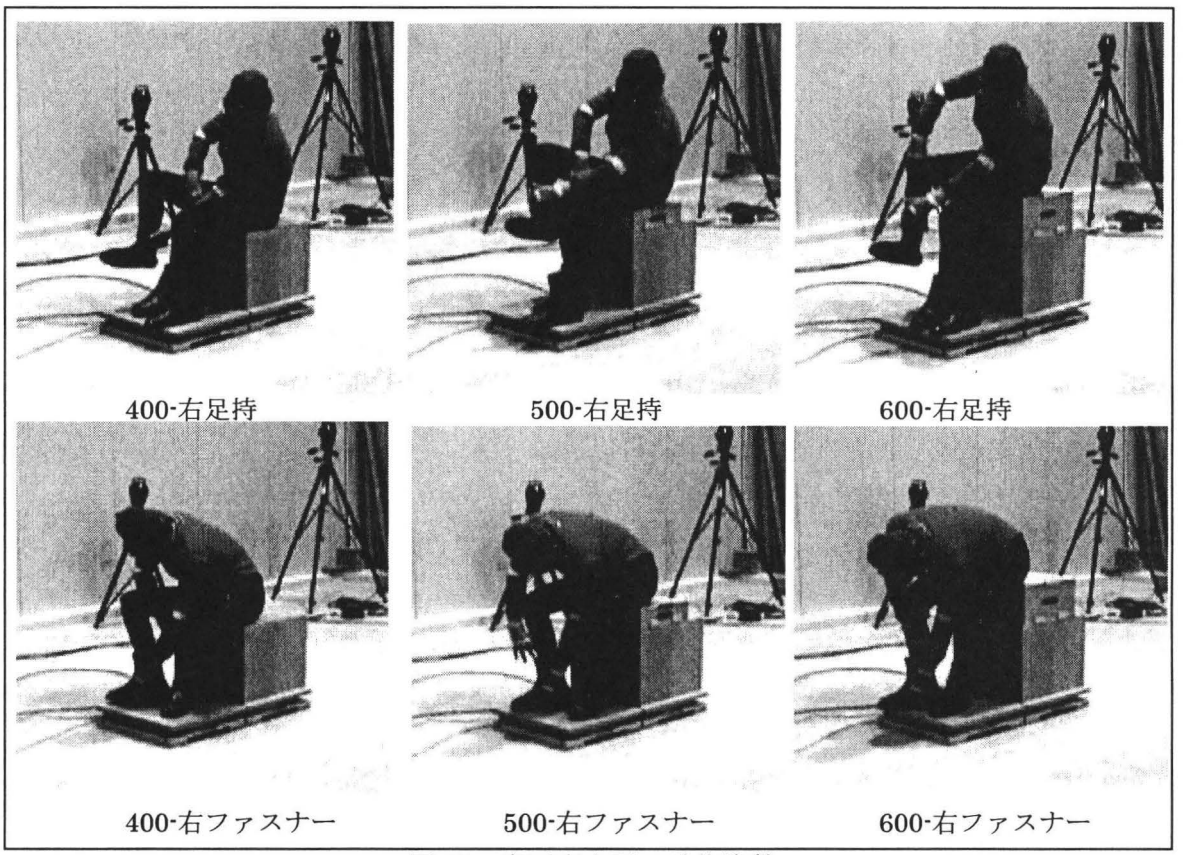


図 15　座面高さ別の動作姿勢

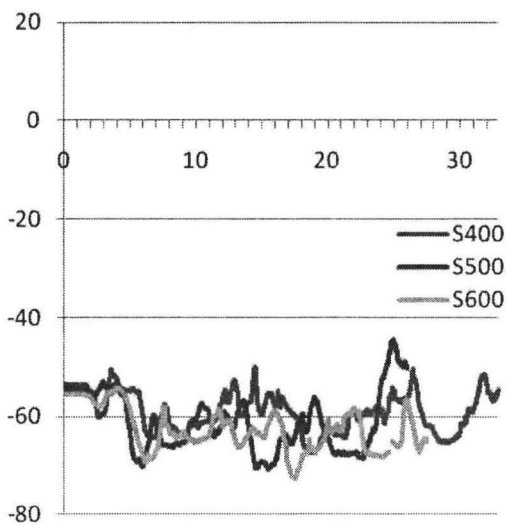


図 16　高さ別脊柱の角度

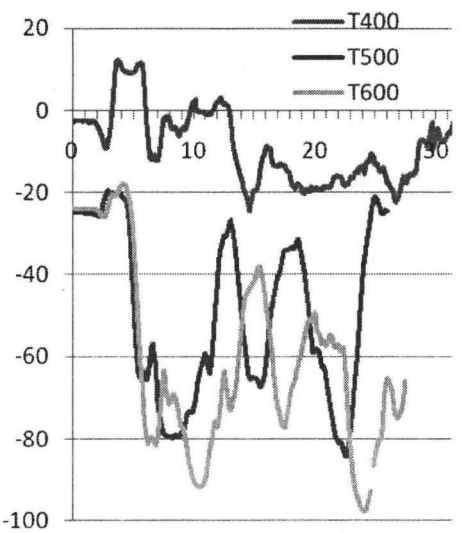


図 17　高さ胸の角度

（3）姿勢保持椅子の形状と靴脱履動作評価実験

必要空間の実験の結果から、椅子の使用時の動作評価が高くなる要素と矮小空間での椅子の占有面積を検討し、試作品のデザインに活用する。

Ⅰ)傾斜椅子

・狭小玄関は1㎡未満の土足土間部分を有する2㎡程度の広さ

・不安定になる靴として、ブーツ(特にロングブーツ)に対応する

占有面積をできるかぎり小さくするために座面積を小さくしても座れる形状として座面高さを高めに設計する。また、その際に臀部との接触面を大きくするために座面を傾斜させた。追加で、傾斜座面で滑らずに座れるように座面表面材料の比較検討を行なった。

座面積が小さいが、必要最小限の面積を満たしているので不安定感は無かった。傾斜した座面により前屈姿勢時の大腿部の角度と一致し、臀部への圧力が高くならず、靴を履く動作に問題は無かった。

Ⅱ）二方向椅子

・靴の履き変えの際、室内床を靴下などで歩行した状態から土間床にある靴を履く状態へ足の位置を変更する動作をサポートする。

・二方向に座ることのできる椅子を土間床との境界に設置する。

条件を満たすために、L 型の肘掛兼背もたれを取り付け二方向への立ち上がりするための肘掛や手すりとしての機能及び座る際の背中のクッションによる衝撃吸収の検討を行なった。

狭小空間の椅子として壁へ接して設置するため、椅子への接触時の動作はあまり速くならず、クッション部の効果は小さかった。立ち上がり時は、健常者は板厚程度でも手がかりとすることが可能なので、しっかりと握る必要は無かった。

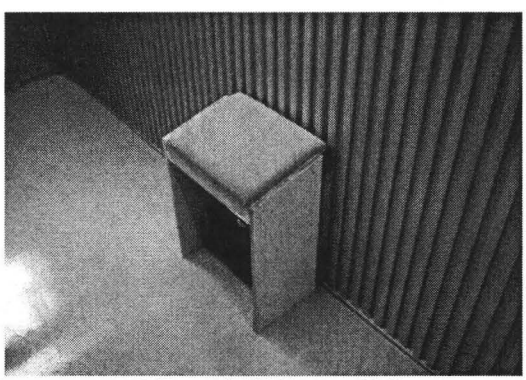


写真5　傾斜椅子の試作

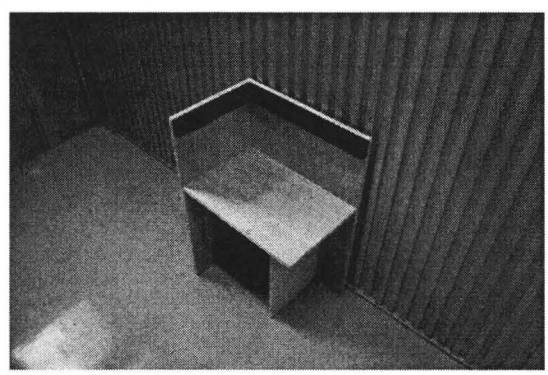


写真6　L型椅子の試作

4．まとめ

玄関での靴を脱履する動作についてアンケート調査から、靴と姿勢について明らかにした。動作実験から、ロングブーツなどを履く際の椅子による姿勢の分析を行ない、安定性の向上について確認した。障害者が玄関での脱履動作を測定し、適切な姿勢について検討を行ない、脱履時の姿勢を保持する機能と立ち上がり動作を支援する機能が必要であることが明らかになった。狭小空間での椅子の設置を想定して、最小限の面積占有で最大限効果をあげる椅子について検討を行ない、試作品により効果を確認した。

環境共生集合住宅における夏季の住みこなし過程に関する研究

東海大学工学建築学科
准教授　高橋　達

1　研究目的

今年度、日本国政府がCO_2排出量25%削減を掲げたように、われわれの身近な生活における地球環境負荷をいかに小さくするかは、建築に限らずすべての産業・民生分野に及ぶ緊急課題であり、環境共生住宅は住宅における環境負荷削減と快適な住空間を両立するために、その実現が強く望まれている技術の一つである。

環境共生住宅では、夏季において屋上や壁面・窓面の緑化、日射遮へい、通風などの複合によって自然のポテンシャルを活かした涼房空間を実現するように計画されている。しかしながら、これらの涼房手法という物理的ハードウェアは、図１に示すように、それを活かし、その物理的効果を十分に発揮させる住まい方支援や自助努力にもとづく住みこなし過程というソフトウェアに補完されてこそ、はじめてその機能が有効に働くことになる。したがって、環境共生住宅のための涼房手法が導入・普及していくためには、それを活かすソフトウェア――夏季の「住みこなし過程」がソフトウェアとして必要になる。

このようなことから、本研究では外部植栽も含めて涼房計画が行なわれた環境共生集合住宅を対象にして、室内外熱環境に関する物理量と意識について実測調査を行うとともに数値解析を実施し、涼房に関する住みこなしの実現に必要な条件について、定量的に明らかにすることを目的とする。

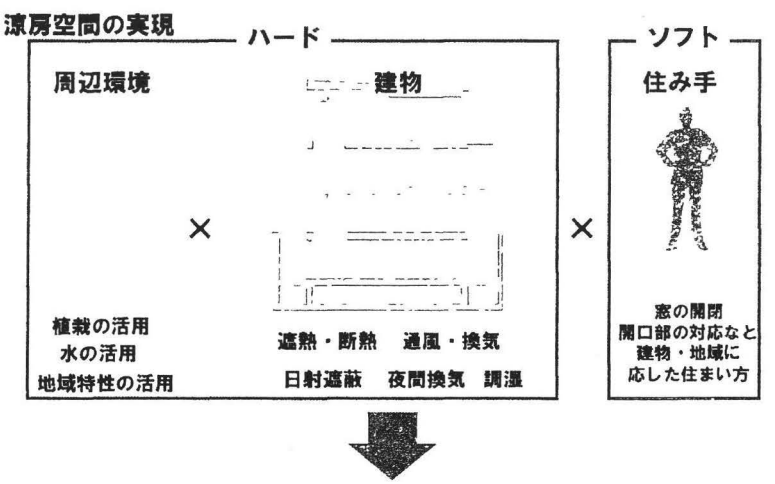


図１　環境共生住宅における涼房に関する住まい方と住みこなし過程

2　研究方法

対象とする環境共生集合住宅における室内外の熱環境に関する実測・意識調査・数値解析を行った。

図２に対象住宅の概要を示す。実測調査の対象は東京都の経堂、練馬、井荻、大森にある４つの環境共生集合住宅（以下、「経堂」「練馬」「井荻」「大森」）である。「井荻」「大森」の２つは2007年に竣工後はじめて夏を迎えた。これらの集合住宅は、研究協力者である㈱チームネットによって、環境共生手法の導入・統合・マーケティングに関するコンサルティング・プロデュースが実施されたものである。

「井荻」は、RC造、地上６階建ての従来型マンションであり、６階以外のベランダにはロールスクリーンとともに、緑化できるように腰高のプランター台や簾用フックが、１階住戸には夜間換気用のスリット付シャッター、６階住戸には強風時に自動巻上げするオーニング・ロールスクリーンが導入されている。また、リビングを中心として二方向以上の通風経路が確保できるように開口部が設けられている。

低層の「大森」ではベランダだけでなく南側の広い共用部(庭)に高木と池を設けるとともに屋上菜園・緑化屋根が導入されている。

「経堂」「練馬」はそれぞれ「井荻」「大森」と類似した住宅タイプである。「経堂」「練馬」「井荻」「大森」の築年数は、それぞれ７年、５年、１年、１年である。

表１に実測項目を示す。実測項目は、室内の空気温湿度、相当外気温、グローブ温度などであり、実測期間は2007年7/21～8/28、2008年7/19～8/24とした。「井荻」「大森」の２住戸はベランダの気温、屋上の外気温度、相当外気温度、「大森」屋外の気温分布などを計測した。実測は後述する住まい方支援前後に行い、各集合住宅に計測機器を取り付け、室内の温湿度、外気温湿度、相当外気温などを計測した。

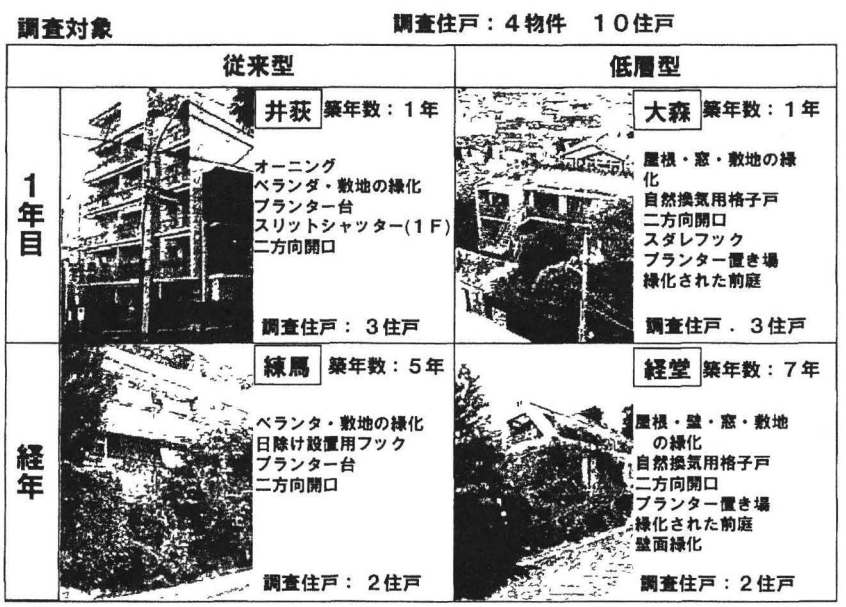


図２　対象住宅の概要

	STEP1	STEP2	STEP3
実施時期	【4月下旬～5月初旬】	【7月下旬～8月中旬】	【9月下旬】
プログラム	緑を楽しむ暮らしセミナー	①モニター住戸実測 ②改善サポート(お宅訪問会)	成果報告会
対象	入居者全員	モニター住戸	入居者全員
内容	①緑を活用した暮らし・日射遮蔽・夜間換気の重要性を伝えるためのセミナーを実施。 ②モニター住戸を募集し、植栽による日除けの設置。	①希望者を対象に、温度測定を実施。 ②実測結果に基づき涼しさづくりのための暮らし方の改善提案を実施。 ③お宅訪問会を実施し、モニターそれぞれの暮らし方を確認しあう。	①最終的に得られた成果を入居者全体に報告し、夏を涼しく暮らすノウハウを共有化する。 ②入居者が実体験、感想を報告し、情報交換を行う。

図３　住まい方支援の概要（入居後初年度）

数値解析は、空気変動のシミュレーションソフト Solar Designer と AE SimHeat を用いて、実測した外気温などを入力して、住戸別に換気量、日射量の日射透過率などの条件を変化させた場合の室空気温を算出するために行った。なお、計算モデルは、計算室温が実測値と±1℃以内で一致するように作成した。

図３に住まい方支援の概要を示す。実測期間の中間的な月日に、住まい方相談会への参加者を募り、これらの環境共生集合住宅のプロデュース会社の担当者（研究協力者の藤井・甲斐、㈱チームネット）が業務の一環として住まい方支援を行った。その内容は、直近１週間の室温計測値を開示した後、参加者の住戸を１つずつ訪問しながら赤外線放射カメラによる熱画像を開示して、熱源・冷源を確認し、日射遮へい・夜間換気の実施を実施していない住まい手に助言するというものである。

3　結果・考察

一般に住宅では引渡し後に住まい手が独力で住まい方を体得する必要があり、特に季節選択性という課題をもつ日本で従来と異なる住まい方を実現するには、専門家による住まい方支援が不可欠と考える。本研究で対象とする集合住宅は、つくり手による涼房に関する住まい方支援が業務の一環で行われている稀有の例である。このようなことから、表２に示すような流れで住まい方支援を行なった結果、住まい手が実現した涼房習熟プロセスが図４、図５である。

図４、図５は、涼房の習熟履歴は、各住まい手に対する聞き取り調査により、プロデュース会社のセミナーや住まい方相談会などの涼房に関わる行動の軌跡を涼房習熟プロセス」として整理したものであり、これは住環境教育の研究３）を参考にして、習熟度合により学習項目を学習、行動、他者との相対化に分類し、その有無を整理するようにしたものである。これらの図では、図の左から右への流れは習熟の深度を表している。

1F 南側住戸の住まい手は、緑に接する暮らしを望んで入居しており、入居前説明会や入居後セミナーにより日射遮蔽を積極的に学習・体感している。そのため、入居初年度(2007)で植栽日除けの常習化や夜間の窓開放が内発的に実践できている。さらに、初年度住まい方相談会ではプロデュース会社から助言を受けるだけでなく、積極的に他の住まい手へ自らの涼房手法を発信している。次年度(2008)住まい方相談会では初年度と同様に換気の改善指導を受け、また、自らの経験を他の住まい手へ伝えている。さらに、積極的習熟の結果、窓に植栽日除けを設けている。

4F 南側住戸の住まい手は環境意識が高く初年度は 1F の住まい手と同様の履歴を辿り、改善提案により西窓の日除けを次年度に設けている。仕事で忙しいため次年度相談会は参加していない。

表２　住まい方支援の流れ（入居直前から入居次年度夏まで）

入居の直前・直後	初年度 5～7月	初年度 7月	初年度 8月上旬	次年度 5～7月	次年度 7月	次年度 8月上旬
簡単な実験による植栽日除け・夜間換気の体験学習、植栽・日除けの設置サポート。	住まい方相談会への参加者を管理組合経由で募集。	室内熱環境の計測。計測項目 室内空気と外気の温湿度。	住まい方相談会。相談会直近1週間の室温計測値の提示、参加者各住戸を訪問し熱源・冷源を赤外線放射カメラで確認、室外日除け・夜間換気の徹底を助言。	住まい方相談会への参加者を管理組合経由で募集。	室内熱環境の計測。 計測項目 室内空気と外気の温湿度。	住まい方相談会。相談会直近1週間の室温計測値の提示、参加者各住戸を訪問し熱源・冷源を赤外線放射カメラで確認、室外日除け・夜間換気の徹底を助言。

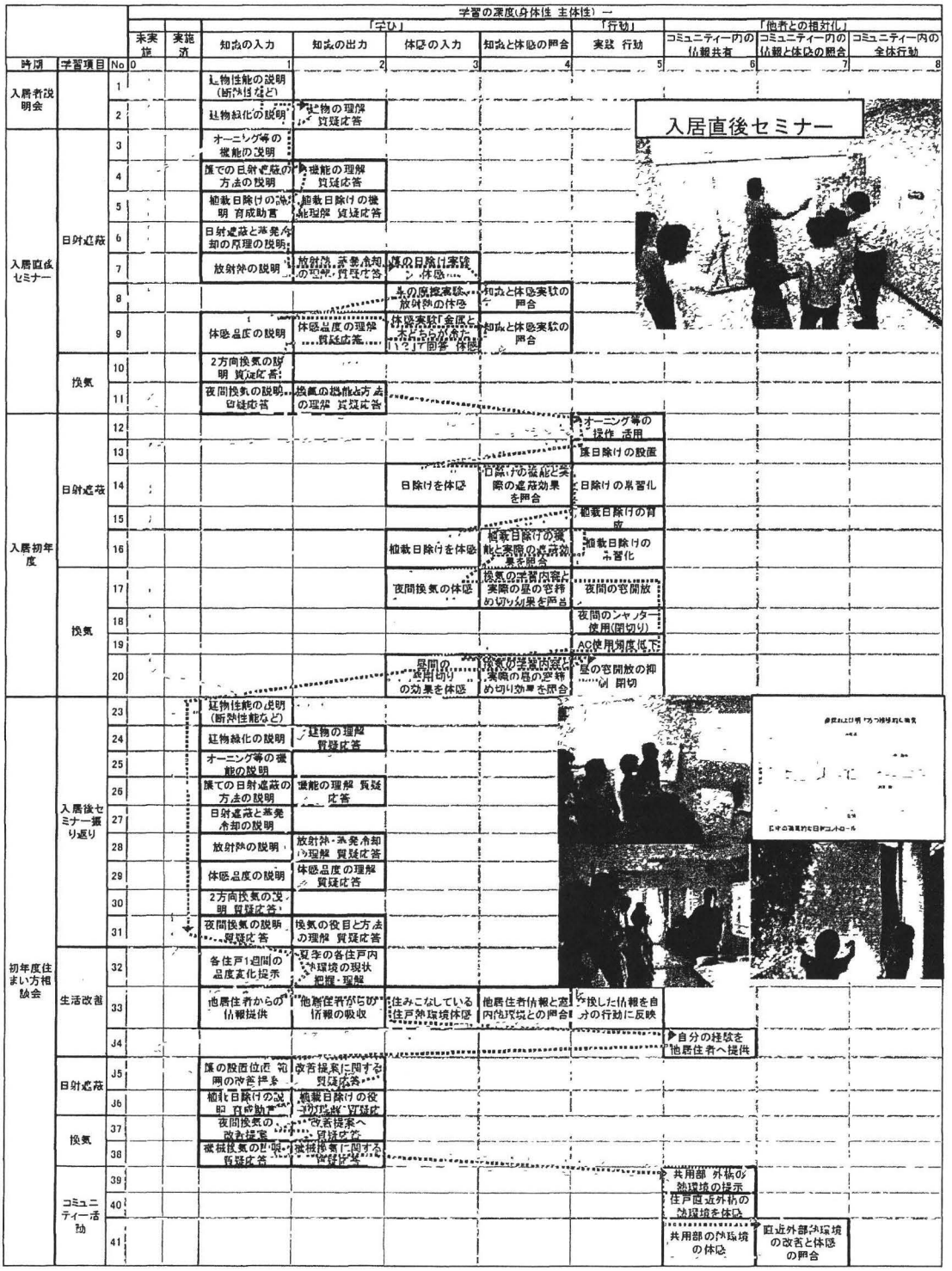


図４　涼房習熱プロセス(入居直前～初年度住まい方相談会まで、「井荻」の３住戸)

6F 北側住戸の住まい手は単にデザイナーズマンションを欲していたので、入居前説明会、入居後セミナーに全く参加していない。そのため、室内熱環境より眺望を優先させており、日除けの新設を考えず、そのため設置もせず、エアコンで室内熱環境を調整していた。初年度住まい方相談会では実測室温が提示されることによって現状を把握するとともに、他住戸の室内熱環境を体験したことで眺望だけでなく快適な住まい方も重要と気付いている。また、入居後セミナーの振り返りでセミナーでの入力情報を吸収し、改善提案を筆者や他の住まい手から吸収している。その結果、初年度相談会後～次年度相談会では、積極的に植栽日除けの育成と簾の設置、夜間の窓開放

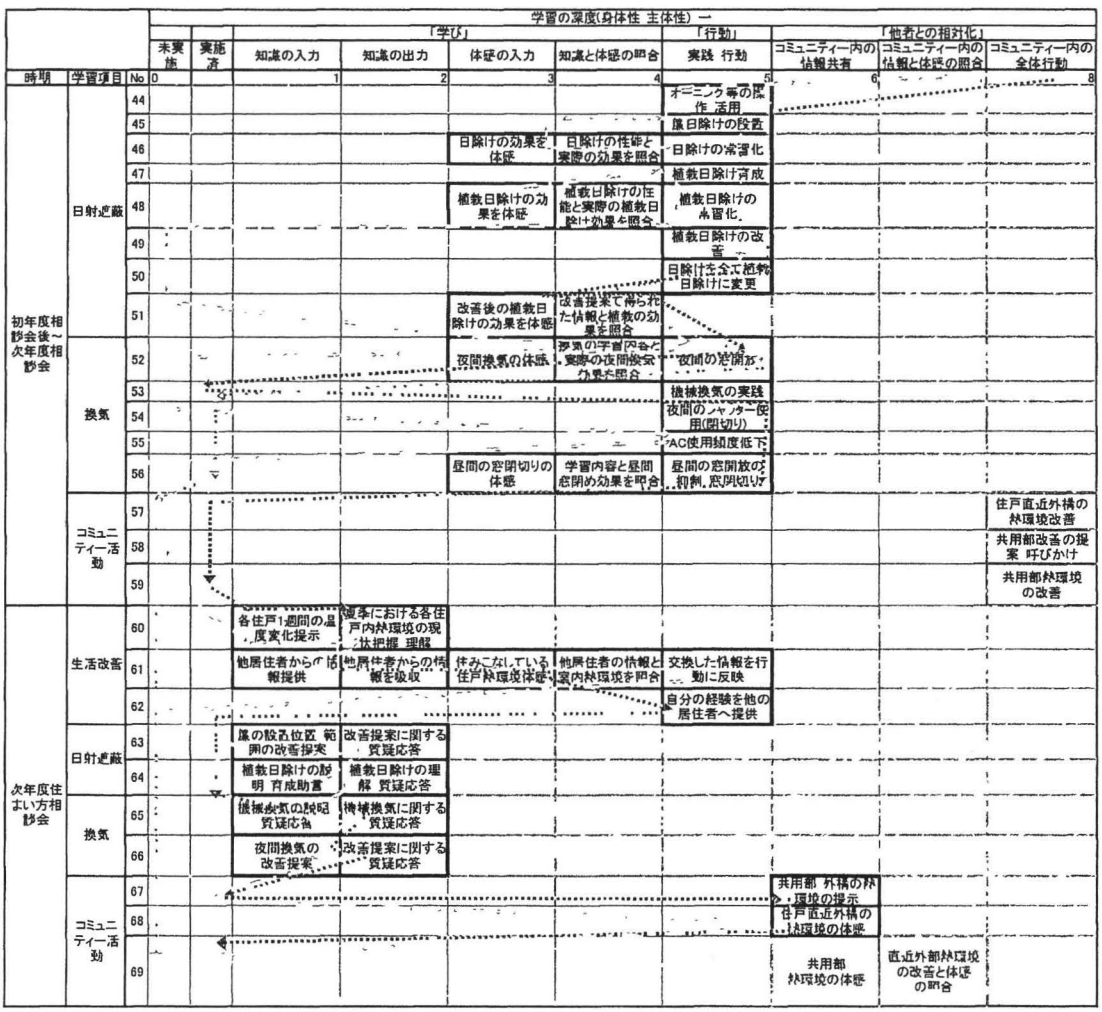


図５　涼房習熟プロセス(初年度住まい方相談会直後～次年度住まい方相談会、「井荻」の３住戸)

を実践し、次年度ではエアコンの使用頻度低下に至っている。

6F 住戸の住まい手は、元々涼房への意識が低く、入居直後の学習が欠いたにも関わらず次年度に住まい方改善を実践しているので、環境意識の低い住まい手であっても入居後(複数年・複数居住者間)の住まい方支援が住まい方改善行動の実践につながると考える。

図６に窓面における遮蔽物の魚眼画像の経時変化を、図７に初年度(2007 年)、次年度(2008 年) の室空気温の分布を、図８に窓面における形態係数の内訳を示す。1F 南側住戸では、昼間の室空気温が初年度で 24～33℃、次年度で 24～30 3℃になっている。室空気温の最高値は初年度 33℃だったが、次年度には 30℃に低下している。初年度から次年度にかけて室空気温が 3℃低下したのは、初年度では東側窓面のみで植栽日除けを設けていなかったのが、次年度には南・西側の窓面をも植栽日除けで覆ったためと考える。

4F(中間階)南側住戸は、初年度の室空気温が昼間で 26.3～34.7℃、夜間で 25.4～32 6℃になっている。最高室空気温は初年度で 35℃、次年度で 33.6℃になっており、大きな変化はない。これは、4F 住戸の住まい手が次年度に多忙のため、熱環境調整行動を改善する余裕があまりなかったためと考える。

6F(最上階)北側住戸は、初年度の室空気温が昼間で 25.5～40℃、夜間で 24 3～39℃になっている。次年度では、室空気温が昼間で 24～34.6℃、夜間で 26 4～34.7℃である。室空気温の最高値は、初年度で 40℃になっているのに対し、次年度では 35℃になっており、初年度に比べ 5℃下げられている。

6F 住戸の住まい手は、初年度は備えつきのオーニングが強風でほとんど使用できず、初年度は日射遮蔽・夜間換気を行わなかったため、東西の窓から日射が室内に侵入し、昼間に蓄熱した熱を夜間に換気で排出していなかった。その結果、昼夜ともに室空気温が高いままであった。

しかしながら、次年度では、住まい手が積極的に西窓には簾を、東窓のあるバルコニーには植栽日除けを設けたため、初年度から次年度にかけて形態係数は、西窓における簾が 0.05 から 0.95 に、東窓における植栽日除けが 0 から 0 05 に増加している。それと同時に終日通風を行うようになったので、昼夜の室空気温の変化幅を減少することができている。

図９に涼房余地度日を示す。ここで言う「涼房余地度日」とは、住まい手が日曜大工程度の手間で実現できる涼房手法の組み合わせを実施した場合における予側室空気温と現状室空気温との差を、猛暑時１週間について積分したものであり、涼房に関する住みこなしの目安と考えている。

なお、涼房余地度日を導出するための数値解析は、シミュレーションソフト AE-Sim/Heat を用いて、実測した外気温や日射量などを入力し、住戸別に換気量、窓外日除けの日射透過率などの条件を変化させた場合について室空気温を算出した。なお、計算対象期間は、2007 年、2008 年ともに全実測期間である。また、計算する上で猛暑期間とした１週間は、1F・4F：2007 年 7/24～7/31(19℃≦SAT≦76.7℃、6F は AC 使用のため別期間)、6F・8/11～8/17(25.1℃≦SAT≦78.8℃)、2008 年 7/20～7/27(22.6℃≦SAT≦77.2℃)である。

1F 住戸は夜間の換気回数を現状の 10 回/h から 20 回/h にした場合、2007 年で 6 5℃・日/週になっていた涼房余地度日が、2008 年では 0.06℃・日/週になっている。1F 住戸では、

次年度に涼房の余地がほとんど0なので、住みこなしが完了していると考える。

4F住戸は、夜間の換気回数を40回/hにした場合、涼房余地度日が2007年で6.1℃・日/週となっており、2008年には0.67℃・日/週に減少している。夜間換気の徹底と、室外日除けの日射透過率を減少させた場合では、2007年に11.8℃・日/週になっていた。

4　結論

集合住宅の涼房実現に関する住まい方支援について実測・住まい方調査・数値解析を行った結果、以下のことが明らかになった。

1）「涼房習熟プロセス」の作成により、学習の深さ別に有効な住まい方支援の行動項目を把握することができるようになった。

2）緑に接する暮らしを望んで入居した1F住戸の住まい手は、入居初年度から植栽日除けを徹底して設けるに留まらず、さらに他の住まい手に情報発信するに至っている。

3）1F住戸では西窓への日除けの設置改善が行われたため、初年度から次年度にかけて最高室空気温が33℃から30℃に下がり、涼房余地度日が6.5℃・日/週から0 06℃・日/週に減少した。次年度で涼房に関する住みこなしがほぼ完了している。

4）)単にデザイナーズマンションを希望していた6F(最上階)住戸の住まい手は、入居初年度、涼房への意識・行動が不十分であったにもかかわらず、初年度の「住まい方相談会」で涼房手法の提示や他の住まい手などからの助言によって意識の変化があったため、次年度から室外日除け新設などの住まい方改善を実践するようになった。

5）6F(最上階)住戸では初年度から次年度にかけて日除けの新設により西窓の「日除け」の形態係数を0 05から0.93に増加させるなど、大きな住まい方の改善が行われた。その結果、最高室空気温は40℃から35℃に下がり涼房余地度日は60～98%減少した。

6）1Fの住まい手のように、住まい方支援を受けて室内熱環境改善を実践した住まい手達は、他住居者への情報発信・共用部植栽の育成検討にまで内発性が発現するので、共用部の緑化なども認めるような入居時の規約を予め策定しておくことが望ましい。

7）住まい方支援を受け、熱環境改善行動を実践した住戸では、涼房余地度日が減少したので、涼房余地度日は、涼房に関する住みこなしの度合いを示す尺度の一つになりうると考える。

以上により、複数年・複数居住者合同で行う住まい方支援は、意識の低い入居者を熱環境改善にまで至らせること、また、そのような住みこなしの度合が涼房余地度日と対応することが明らかになった。

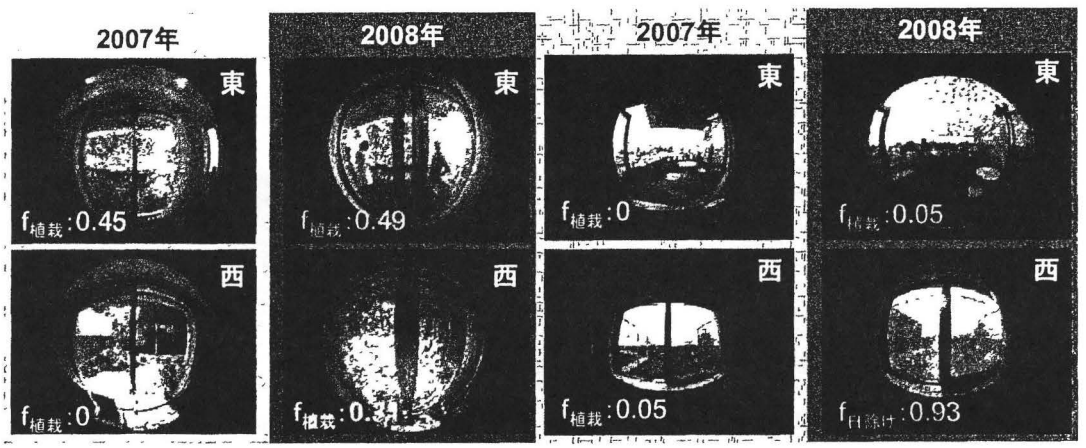


図６　窓における遮蔽物の形態係数算出のための魚眼画像
（左２列は「井荻」1F 住戸、右２列は「井荻」6F 住戸）

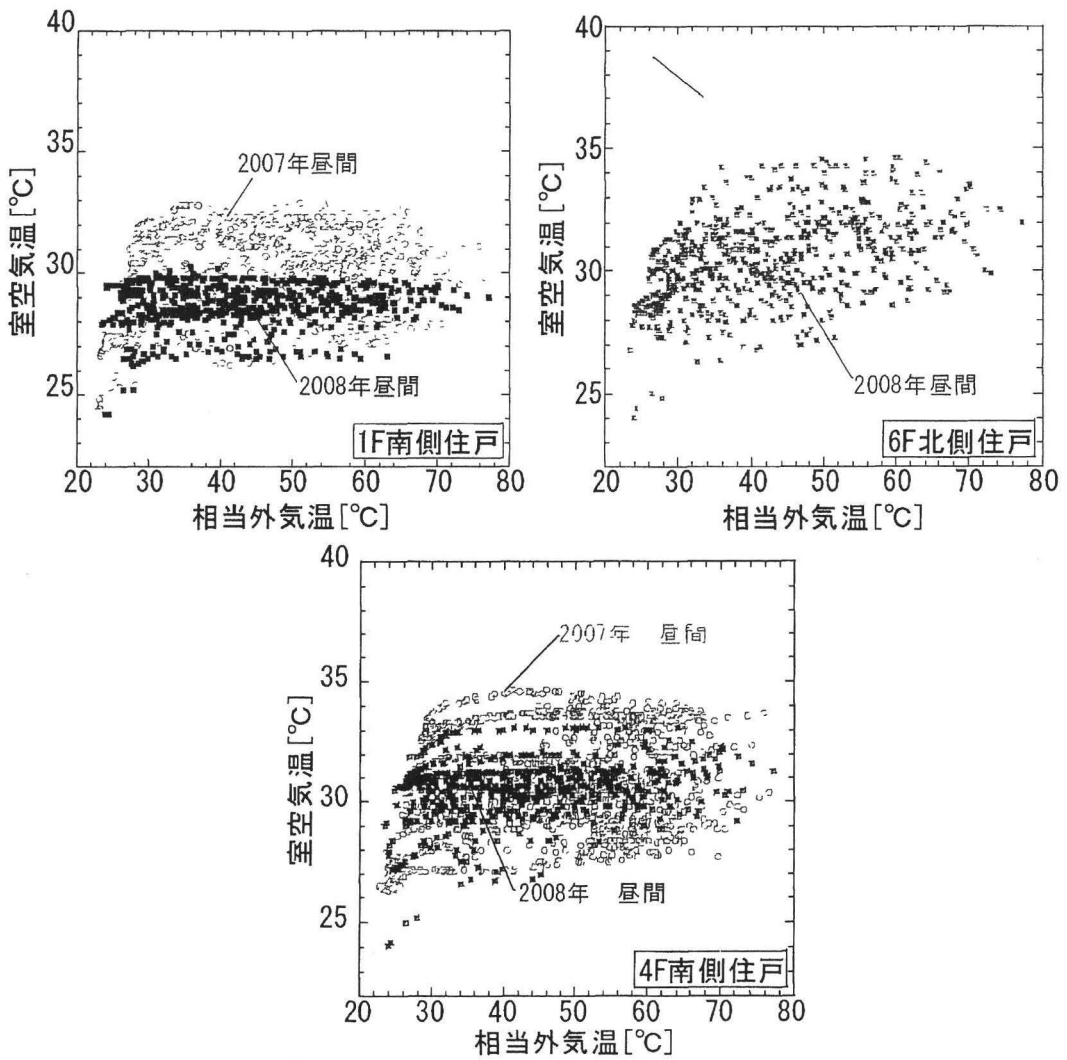


図７　「井荻」1F・4F・6F 住戸における室空気温分布の経時変化

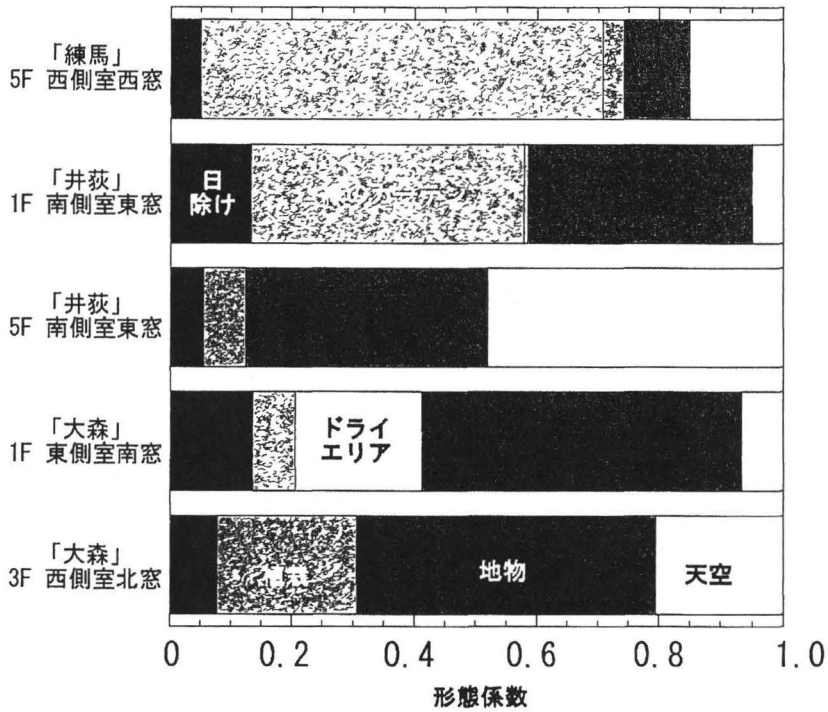


図８　窓面における遮蔽物の形態係数

（各窓の中心に正対し魚眼画像外縁に窓が外接する地点で撮影）

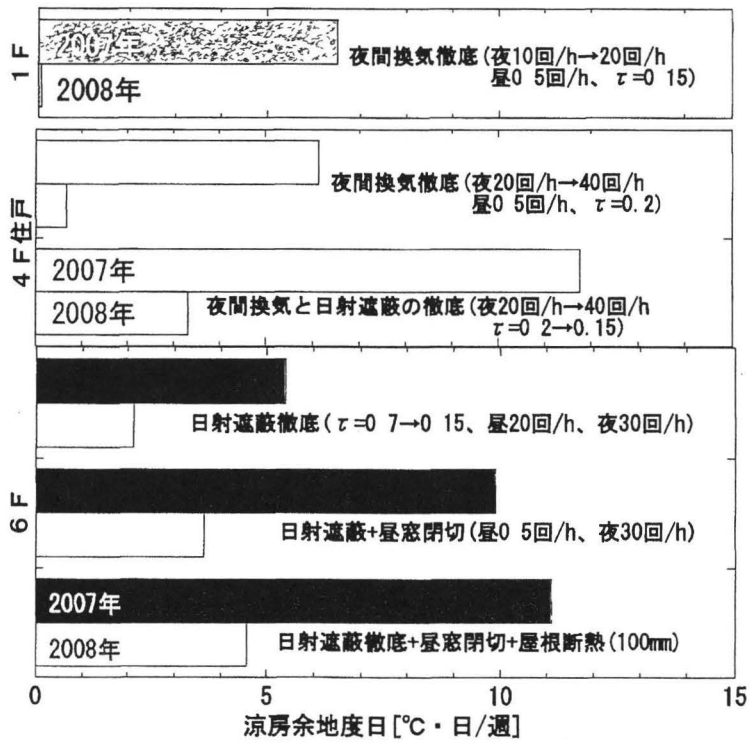


図９　涼房余地土日の経時変化

参考文献

1）荒嶽慎・高成田恵介・小溝隆裕・斉藤雅也・宿谷昌則：環境共生型コーポラティブ住宅における夏季の住まい方に関する研究(その 1 敷地内外の温熱環境)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、 pp. 425-426、2001 年。

2）高成田恵介・荒嶽慎・小溝隆裕・斉藤雅也・宿谷昌則・環境共生型コーポラティブ住宅における夏季の住まい方に関する研究(その２. 温熱環境が住まい手の意識や行動に与える影響)、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、 pp. 427-428、2001 年。

3）例えば、高橋達・西川竜二：住環境教育プログラム開発の実際―環境工学者の視点から―、日本建築学会環境工学委員会熱環境運営委員会第 36 回熱シンポジウム「温暖・蒸暑地域から学ぶバイオクライマティックデザインの未来」、pp. 119-122、2006 年。

本研究に関する発表論文

1）藤井廣男・五十嵐賢征・高橋達・甲斐徹郎・緑化手法を取り入れた集合住宅の凉房実現過程に関する実測調査（その１．実測概要と室内外熱環境）、日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集、D-2、pp. 515-516、2008 年。

2）五十嵐賢征・藤井廣男・高橋達・甲斐徹郎．緑化手法を取り入れた集合住宅の涼房実現過程に関する実測調査（その２．室内熱環境に関する物理量と意識）、日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集、D-2、pp 517-518、2008 年。

3）藤井廣男・五十嵐賢征・小林康昭・高橋達・甲斐徹郎：緑化手法を取り入れた集合住宅の涼房実現過程に関する実測調査（その３．住まい方支援と涼房習熟プロセス）、日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集、D-2、pp. 459-460、2009 年。

4）小林康昭・五十嵐賢征・藤井廣男・高橋達・甲斐徹郎・緑化手法を取り入れた集合住宅の涼房実現過程に関する実測調査（その４．住まい方支援と改善効果の評価）、日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集、D-2、pp. 461-462、2009 年。

家族類型別省エネルギー手法の提案に向けた単独世帯の住宅内エネルギー消費に関する研究

豊橋技術科学大学工学部建設工学系

助教 源城　かほり

1. 本研究の背景と目的

2008 年から京都議定書の第一約束期間が始まったが，住宅部門の CO_2 排出量は増加傾向にあり，その削減が急務の課題となっている。一方，わが国における 1 世帯当たりの平均世帯人員は 2005 年において 2.55 人であり，2005 年における世帯人員別割合は 1 人世帯が全世帯の 29.5%，2 人世帯が全世帯の 26.5%を占めており，1 人世帯や 2 人世帯がわが国における主要な世帯人数となっている[1]。さらに，日本の世帯数の将来推計によれば[1]，2010 年には，一人当たりのエネルギー消費量が多い単独世帯が全国の約 5,000 万世帯に占める割合は 31.2%となり，夫婦と子の世帯数を上回って最多の家族類型となる。また，今後も，単独世帯の世帯数は増加し，2030 年においてその割合は 37.4%まで上昇することが予想されている。このような世帯構成の変化を踏まえると，効果的な CO_2 削減方策を提示するために，単独世帯をはじめとする少人数世帯のエネルギー消費特性を明らかにすることは大変意義深い。ところが，住宅向けの省エネルギー手法は 4 人家族を対象として推奨されているものがほとんどであり，家族類型別に整理されていないのが実態である。特に，今後，世帯数の増加が予想され，エネルギー消費量増大の主要因となる恐れのある単独世帯を対象とした調査は未だ少ない。今後は，住宅における長期的な省エネルギー化を進めるためには，家族類型の変化に対応した省エネルギー対策の整備が必要であり，単独世帯をはじめとする少人数世帯のエネルギー消費特性を明らかにすることは意義深い。

本研究では，家族類型別省エネルギー手法の提案に向けた第一歩として，まずは単独世帯をはじめとする少人数世帯に着目し，住宅内エネルギー消費の実態把握と消費特性の解明によって少人数世帯における省エネルギー手法を提案することを目的とする。

2. 研究の方法

本研究は，住宅内エネルギー消費に関するアンケート調査と詳細測定の二種類の調査方法によって実施する。

アンケート調査に関しては，調査内容の核となる住宅内エネルギー消費については電気やガス，灯油などの光熱費の伝票から把握する。また，エネルギー消費量との関連が深い住まい方に関する各種質問を設ける。さらに，現状の生活において省エネルギーに対してどれくらい取り組んでいるかについても調査し，省エネルギー手法提案のための資料とする。なお，本調査は，単独世帯が多いと考えられる大学生を対象として実施する。

詳細測定に関しては，少人数世帯数軒を対象として選定し，年積算エネルギー消費量及びエネルギー消費量の用途別内訳を明らかにし，そのエネルギー消費特性について明らかにする。また，測定期間中に一定期間，実験的に省エネルギーに配慮した住まい方に変えてもらい(省エネライフスタイル実験と呼ぶ)，その際にどの程度の省エネルギー効果が得られるかについて評価する。

3. 研究の成果

3.1 アンケート調査を用いた単独世帯におけるエネルギー消費量に関する実態把握

アンケート調査は2007年度冬期及び2008年度冬期の2回にわたって実施した。

2007年度冬期調査の対象は，宮城県と秋田県に所在する2つの大学の学生(2～4年生)である。結果を世帯類型別に比較するため，アンケート調査には，一人暮らしの単独世帯の学生だけでなく，家族と同居する家族世帯の学生にも回答してもらう。調査方法は2つの大学でやや異なる方法をとっているが，いずれも講義時間を利用して配布し，2週間前後を目途に回収箱に提出してもらい，回収する。アンケート調査用紙と共に，室内温度測定のための液晶温度計も配布する。調査時期は，2007年12月中旬から2008年2月上旬である。

2008年度冬期調査の対象は，宮城県に所在する教育大学の学生(2～4年生)である。結果を世帯類型別に比較するため，アンケート調査には，一人暮らしの単独世帯の学生だけでなく，家族と同居する家族世帯の学生や寮に住んでいる学生にも回答してもらう。アンケート調査用紙は講義時間を利用して配布し，10日後を目途に回収箱に提出してもらい，回収する。アンケート調査用紙と共に，室内温度測定のための液晶温度計も配布する。調査時期は2009年1月下旬から2月上旬である。

調査内容は，住宅属性のほか，各種設備と家電機器の所有状況や使用状況，住宅内の省エネルギー行動への取り組みの状況等である。住宅内エネルギー消費量を把握するため，年間光熱費に関する調査項目を設けている。各年における調査内容はほぼ同一であるが，家電機器の使用状況と年間光熱水費，室内温度の項目に一部違いがある。住宅内エネルギー消費量算出のため，光熱水費について調査している。液晶温度計の読み取りによる室内温度の調査も併せて実施する。

(1)2007年度冬期アンケート調査の結果

入居期間が1年未満の世帯や途中でエネルギー源を変更した世帯を除いた有効回収数は198軒(回収率78%)であり，家族類型別内訳は単独世帯118軒，家族世帯64軒，寮16軒である。対象地域は主として宮城県，秋田県である。

学生単独世帯の住まい方とエネルギー消費実態に関するアンケート調査の結果，得られた知見は以下のとおりである。

1) 学生単独世帯では調理や家事の頻度が家族世帯に比べて低い傾向があり，また冬期における主な入浴形態としてシャワーが使用されている。
2) 住宅内の省エネルギー行動の実行度には世帯間で差が見られる(図1)。
3) 学生単独世帯の年積算エネルギー消費量[注1)]は5～21GJ/年の範囲にばらついている(図2)。他調査(井上ら，2006年)の単独世帯と比較すると，本調査の学生単独世帯の

年積算エネルギー消費量は少ない(図 5)。

4) 住宅内において省エネルギーに取り組む度合いが高くなるほど，年積算エネルギー消費量の削減につながる傾向がある(図 2)。

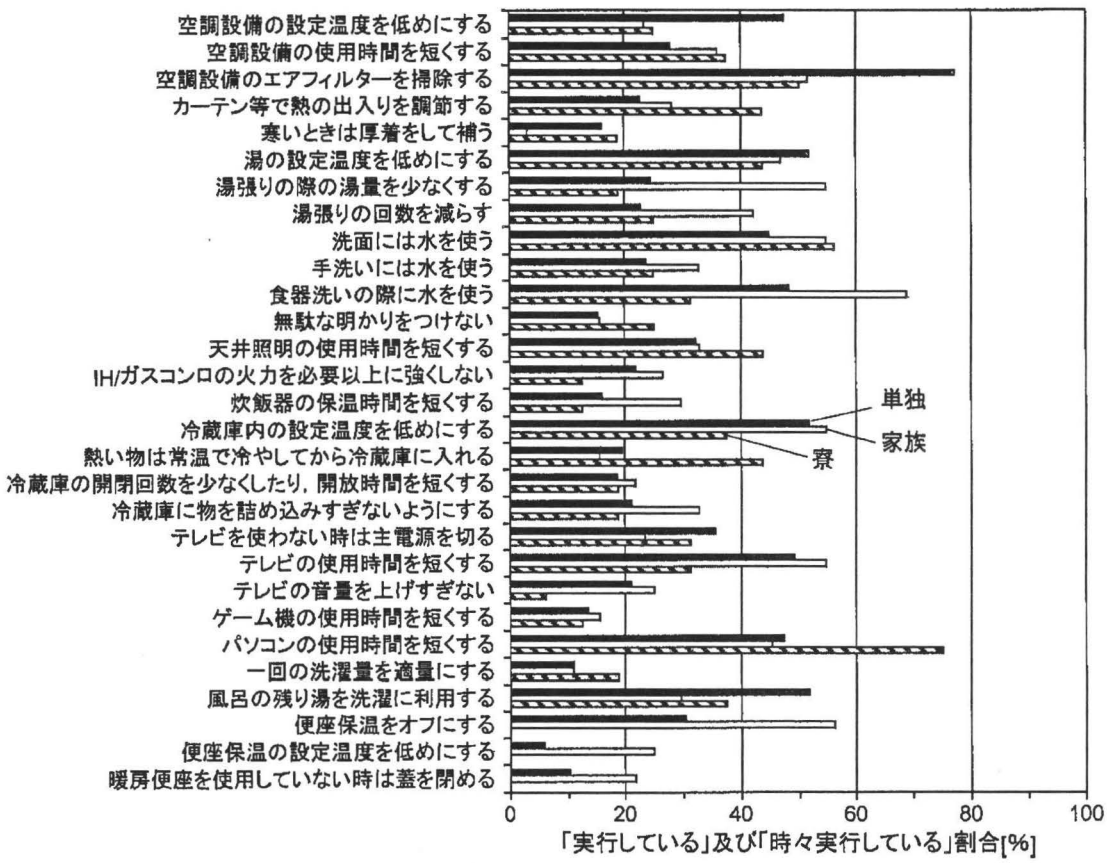


図 1　住宅内における省エネルギー行動の実行度(2007 年度冬期アンケート調査)

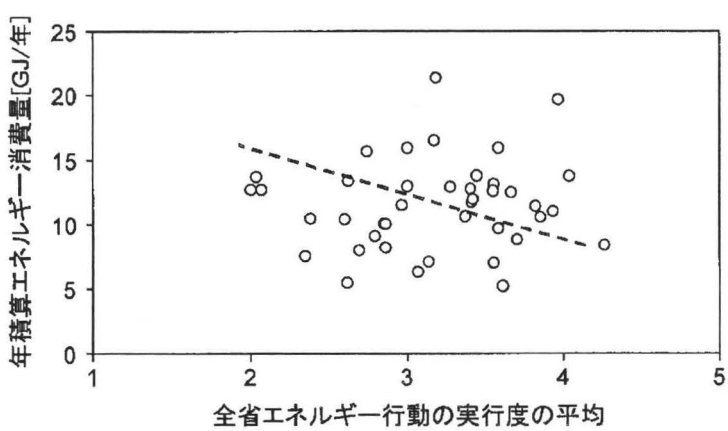


図 2　省エネルギー行動実行度の平均と年積算エネルギー消費量の関係(2007 年度冬期アンケート調査)

(2)2008 年度冬期アンケート調査の結果

入居期間が 1 年未満の世帯や途中でエネルギー源を変更した世帯を除いた有効回収数は 130 軒(回収率 96%)であり，家族類型内訳は単独世帯 61 軒，家族世帯 56 軒，寮 13 軒である。対象地域は主として宮城県である。

学生単独世帯の住まい方とエネルギー消費実態に関するアンケート調査の結果，得られた知見は以下のとおりである。

1) 学生単独世帯の 9 割以上の世帯で，エアコン，冷蔵庫，炊飯器，電子レンジ，テレビ，ノートパソコン等一通りの家電機器が所有されている。
2) 家族世帯に比べると，エアコンの設定温度が冷房時に低く，暖房時に高い傾向がある。主な入浴形態は年間を通じてシャワーである。また，調理の頻度が家族世帯に比べて著しく低い。
3) 地球環境問題への関心の高さに比して，その関心が実際に省エネルギー行動へ結びついている割合は低い。この傾向は家族世帯も同様である。
4) 住宅内の省エネルギー行動の実行度にはその内容や世帯ごとに違いがあるが，まだ実行度が低いものが多く，省エネルギーの余地は残されている。また，一部の省エネルギー行動では，学生単独世帯の実行度の方が高いものもある(図 3)。
5) 東北地域における学生単独世帯の年積算エネルギー消費量[注1)]は 4～21GJ/年の範囲にある(図 4)。他調査(井上ら，2006 年)[2],(住環境計画研究所，2009 年)[3]の単独世帯と比較すると，本調査の学生単独世帯の年積算エネルギー消費量は少ない(図 5)。
6) 住宅内において省エネルギーに取り組む度合いが高くなるほど，年積算エネルギー消費量の削減につながる傾向がある(図 4)。

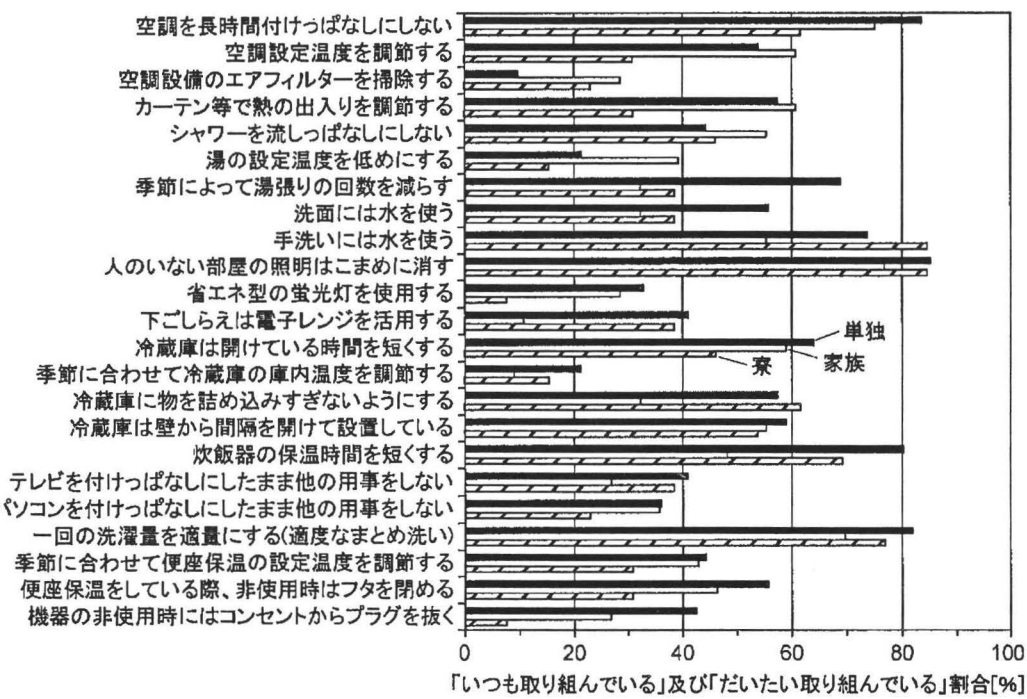


図 3　住宅内における省エネルギー行動の実行度(2008 年度冬期アンケート調査)

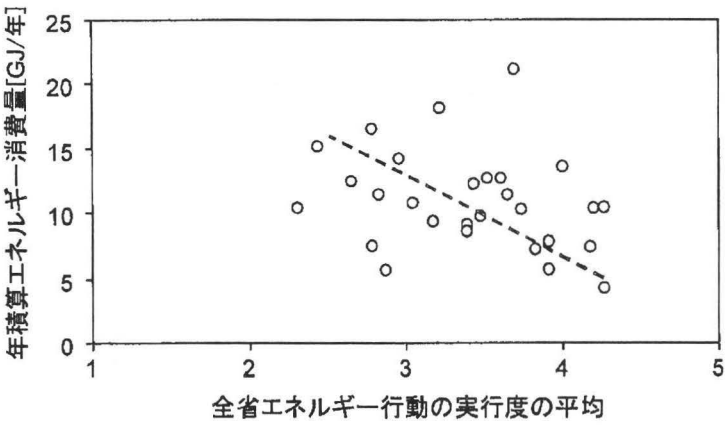


図 4　省エネルギー行動実行度の平均と年積算エネルギー消費量の関係(2008 年度冬期アンケート調査)

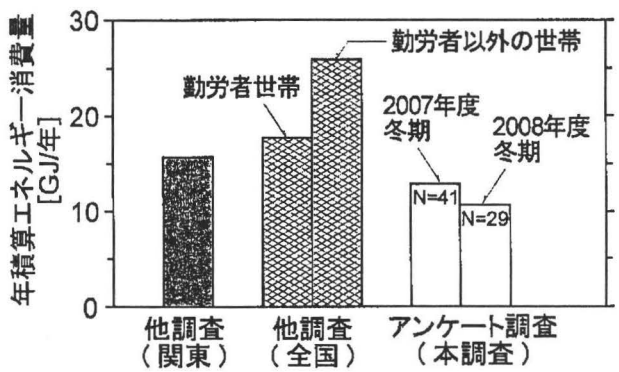


図 5　単独世帯における年積算エネルギー消費量の既往調査[2),3)]との比較

3.2　実測調査による単独世帯及び 2 人世帯におけるエネルギー消費特性の解明

単独世帯及び 2 人世帯におけるエネルギー消費特性と，ライフスタイルでの配慮によりどの程度の省エネルギー効果が期待できるかを明らかにすることを目的として，両世帯を対象とした詳細な実測調査および省エネライフスタイル実験を実施する。実測調査においては，エネルギー消費量を電気，ガス，灯油の熱源別に測定し，同時に室内外温熱環境も測定した。省エネライフスタイル実験では，対象住宅の所有機器に応じて作成した省エネライフスタイルメニューを居住者に提示し，実行可能な項目について無理のない範囲で一週間の実行を依頼した。メニューの実行度の程度と，同時に計測しているエネルギー消費量を比較し，効果を分析する。実行度は，実行前，実行時において居住者に 5 段階で評価してもらうことによって把握した。単独世帯については春期，夏期，秋期，冬期の 4 回実施し，2 人世帯については冬期，春期，夏期の 3 回実施した。

社会人単独世帯のエネルギー消費特性に関する実測は2007年3月から2008年2月までの1年間にわたり実施した。対象住宅は秋田県由利本荘市内の集合住宅3軒(A01，A02，A03邸)であり，3軒の居住者はいずれも1人住まいで，社会人である。竣工年は1999～2003年であり，延床面積は29～73m^{2}である。3軒とも次世代省エネルギー基準の断熱気密性能を有している。

A01邸は全電化住宅，A02，A03邸は灯油・ガス併用住宅である。居住者はいずれも平日は8時頃から20時頃まで不在が多く，休日も外出することが多い。特にA01邸の居住者は週末実家に戻ることが多く，その際には洗濯や調理を実家で済ませている。

高齢者夫婦世帯のエネルギー消費特性に関する実測は2008年7，8月から2009年7，8月までの1年間にわたって実施した。対象住宅は秋田県にかほ市内の戸建木造住宅2軒(D01，D02邸)であり，竣工年はそれぞれ1966年，1975年，延床面積はそれぞれ149m^2，177m^{2}である。使用熱源は灯油，ガスの併用である。居住者は2軒とも高齢者夫婦であり，夫婦のうちいずれか一方は在宅することが多い。また，D01邸に比べてD02邸では所有機器の数が多いが，D01邸では所有機器の数は少ないものの，冷蔵庫と冷凍庫を1台ずつ所有している点が特徴的である。

秋田県における社会人単独世帯及び高齢者夫婦世帯のエネルギー消費量に関する実測調査及び省エネライフスタイル実験を通じて得られた知見は以下のとおりである。

1) 実測対象である 3 軒の社会人単独世帯の年積算エネルギー消費量[注1)]は 12～23GJ/年の範囲にある(図 6)。年積算エネルギー消費量は，在宅時間，暖房方式や給湯の使い方などの住まい方や使用設備の違いに影響されている。
2) 社会人単独世帯の住宅内エネルギーの用途別消費特性として，給湯用が年積算エネルギー消費量に占める割合が高いのは家族世帯と同様であるが，娯楽情報用の割合が高いのは社会人単独世帯の特徴の一つと言える。厨房用の消費割合は世帯の調理頻度によって左右されるため，社会人単独世帯で厨房用の割合が低いとは一概に言えない。
3) ある社会人単独世帯では，省エネライフスタイルを年間通じて実践した場合にエネルギー消費量は 2.8GJ/年，CO_2排出量[注2),3)]は 0.4t/年削減できることを示す事例データが得られたが(図 7)，この結果には年積算エネルギー消費量に占める比率の高い空調と給湯を削減できたことが影響している。また，居住者が省エネライフスタイルに意欲的に取り組んだ結果であり，エネルギー消費量の削減に効果的であった省エネライフスタイルの内容は，空調の「使用時間を短くする」，給湯の「湯量を減らす」，「風呂の回数を減らす」である。

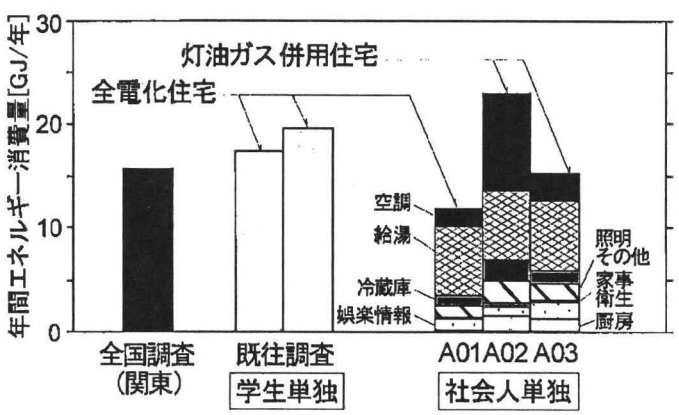


図 6　本調査と既往調査の年積算エネルギー消費量

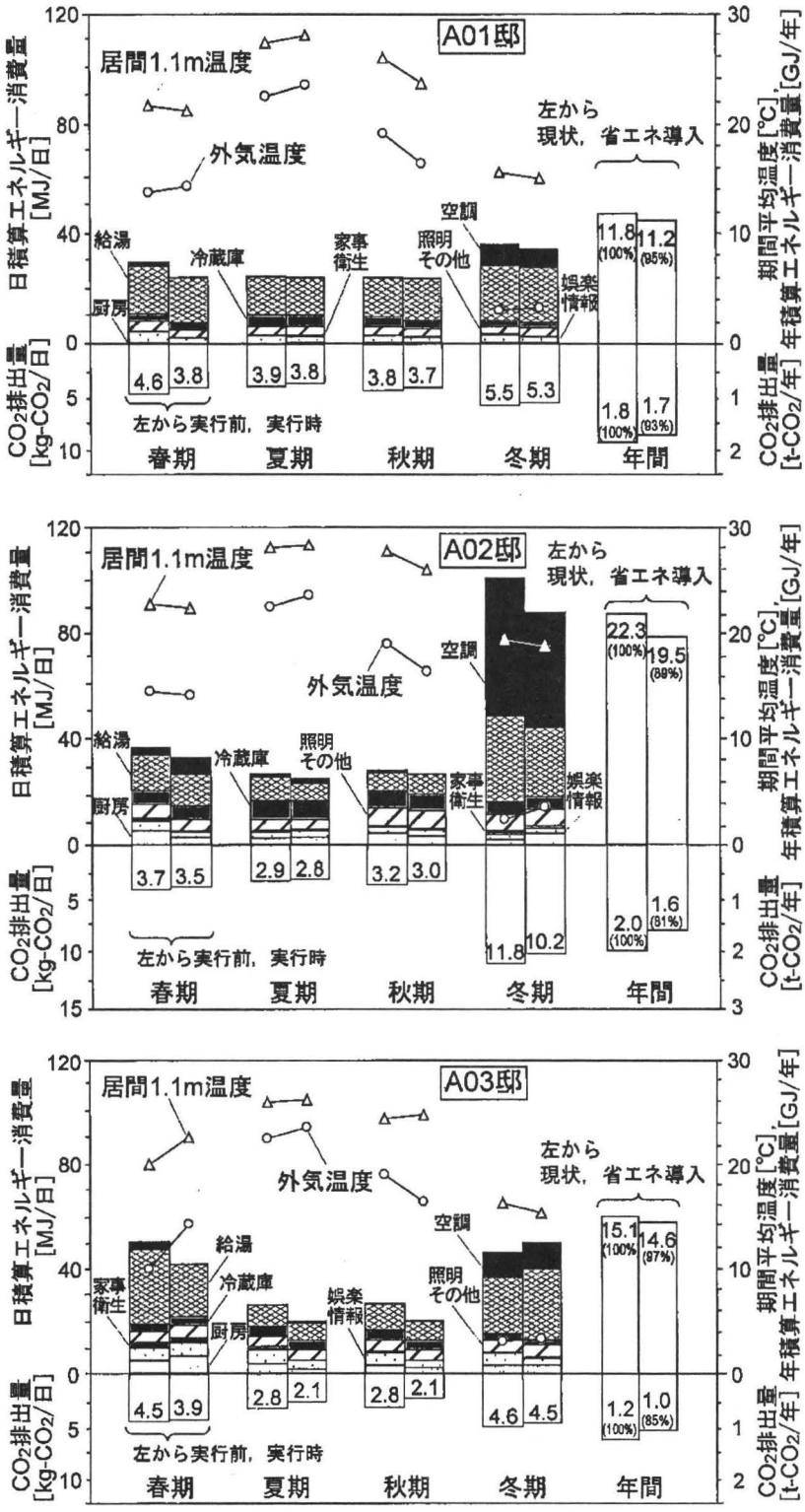


図7　省エネライフスタイルの実施による日積算及び年積算エネルギー消費量[注1)]，CO_2排出量[注2),3)]の結果

4) 実測対象である 2 軒の高齢者夫婦世帯の年積算エネルギー消費量[注1)]はそれぞれ 46GJ/年，44GJ/年と同程度であるが暖房や給湯といった用途別消費割合は使用設備の違いによって異なっている(図 8)。また，他調査[3)]の秋田県の年積算エネルギー消費量と比較すると 2 軒とも消費量が少ない。1 人当たりの年積算エネルギー消費量はそれぞれ 23GJ/人・年，22GJ/人・年であり，本研究のアンケート調査や実測調査から得られた標準的な単独世帯の年積算エネルギー消費量と比べて多い。これには，世帯間の住まい方の違いだけでなく，単独世帯の多くが集合住宅に居住しているのに対し，本実測対象の高齢者夫婦世帯が戸建住宅に居住しているという違いも関係しているものと考えられる。

5) 実測対象の高齢者夫婦世帯 2 軒ではいずれも日頃から省エネに配慮した住まい方が実践されていたため，省エネライフスタイル実験による大きなエネルギー削減効果は得られなかったが，冬期において給湯，娯楽情報，家事衛生の用途においてエネルギー消費量の減少が見られた。

4. 少人数世帯における省エネルギー手法の提案

学生単独世帯を対象としたアンケート調査，社会人単独世帯及び高齢者夫婦世帯を対象とした実測調査の結果から少人数世帯における省エネルギー手法を世帯ごとに提案して結びとする。ただし，省エネルギー手法は実生活に支障のない範囲で，また熱空気環境の快適性を損なわない範囲で取り組むことが重要である。例えば省エネルギーのために換気設備の運転を停止することは空気環境の質の低下につながるため，望ましくない。また，これ以上省エネルギー手法を取り入れる余地のないくらいに日頃から省エネルギー行動を実践している世帯や，年積算エネルギー消費量が標準よりも少ない世帯では現状以上の省エネルギーを進めるのは難しいと考えられる。したがって，標準的な年積算エネルギー消費量に比べて自分の世帯の消費量がどの程度であるのかについて知り，必要に応じて省エネルギー手法を取り入れていくことが重要である。

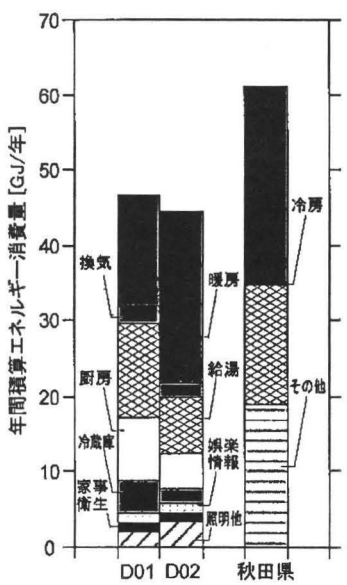


図 8　年積算用途別エネルギー消費量[3)]

4.1 学生単独世帯における省エネルギー手法

学生単独世帯を対象としたアンケート調査の結果，省エネルギー行動の実行度がまだ低く，今後，実行度を上げる必要のある項目について以下に列挙する。

空調

- 空調設備の使用時間を短くする
- 空調設備のエアフィルターを掃除する
- カーテン等で熱の出入りを調節する
- 寒いときは厚着をして補う

給湯

- 湯張りの際の湯量を少なくする
- 湯張りの回数を減らす
- 湯の設定温度を低めにする
- 手洗いには水を使う

照明

- 無駄な明かりをつけない
- 省エネ型の蛍光灯を使用する

厨房

- IH/ガスコンロの火力を必要以上に強くしない
- 炊飯器の保温時間を短くする

冷蔵庫

- 熱い物は常温で冷やしてから冷蔵庫に入れる
- 冷蔵庫の開閉回数を少なくしたり，開放時間を短くする
- 冷蔵庫に物を詰め込みすぎないようにする
- 季節に合わせて冷蔵庫の庫内温度を調節する

娯楽情報

- テレビの音量を上げすぎない
- ゲーム機の使用時間を短くする

家事衛生

- 一回の洗濯量を適量にする

4.2 社会人単独世帯における省エネルギー手法

社会人単独世帯(秋田県における全電化の木造集合住宅1軒及び灯油ガス併用のRC造集合住宅2軒)における省エネライフスタイル実験の結果，効果的であったメニューをエネルギー消費量の用途別に以下に示す。

空調

- 使用時間を短くする
- 非使用時にコンセントを抜く

給湯

・ 湯量を減らす
・ 風呂の回数を減らす

4.3 高齢者夫婦世帯における省エネルギー手法

高齢者夫婦世帯(秋田県における灯油ガス併用の木造戸建住宅 2 軒)における省エネライフスタイル実験の結果，効果的であったメニューをエネルギー消費量の用途別に以下に示す。

空調

・ 設定温度を 1℃低くする
・ 使用時間を 1 時間短くする

給湯

・ 湯の設定温度を 1℃低くする
・ 入浴は間隔を開けずに続けて入り，二度焚きをしないようにする
・ 湯張りの位置を低めに設定する
・ 洗顔は水を使う
・ 手洗いは水を使う

娯楽情報

・ テレビの使用時間を 1 時間短くする

照明

・ 人のいない部屋など，無駄な明かりをつけない

謝辞

アンケート調査にご協力いただいた宮城教育大学，秋田県立大学の学生の皆様に御礼申し上げます。実測調査にご協力いただいた居住者の方々をはじめ，関係各位に謝意を表します。

注

1)エネルギー換算には電力3.6MJ/kWh, 灯油37.3MJ/L, 都市ガス(13A)45.9MJ/Nm^{3}を使用した。
2)CO_2排出量算出にはCO_2換算係数として電力0.555kg/kWh，灯油2.49kg/L，都市ガス2.08kg/m^{3}を使用した。
3)CO_2削減量算出にはCO_2換算係数として電力0.69kg/kWh，灯油2.49kg/L，ガスは2.08kg/m^{3}を使用した。

参考文献

1) 国立社会保障・人口問題研究所：人口統計資料集，2009 年(http://www.ipss.go.jp/).
2) 井上隆，水谷傑，田中俊彦：全国規模アンケートによる住宅内エネルギー消費の実態に関する研究　影響を及ぼす要因に関する分析その 2, 日本建築学会環境系論文集 No.606, pp.75-80，2006 年 8 月.
3) 住環境計画研究所：家庭用エネルギー統計年報 2007 年版，2009 年 1 月.

簡単･安価な太陽熱空気集熱暖房器の開発

国立大学法人　静岡大学
助教　松尾　廣伸

1．本研究の背景と目的

家庭用エネルギー需要は90年度比で+30%以上と大幅に増加しており、その削減が強く求められている。一方、高齢化社会を迎え、段差などのバリアフリーだけでなく、温熱環境のバリアフリー化も問題となりつつあり、エネルギー消費量の増加が見込まれる。そこで住宅のエネルギ需要の約3割を占める暖房負荷に着目する。現在、国内において複数の太陽熱空気集熱器が発売されているが、高価であったり、現場施工が手間であったりと、安価で簡単に使用できるものが存在しない。一方、近年では利用率が大幅に低下してきているものの、太陽熱温水器やソーラーシステムの集熱パネルには選択吸収膜が用いられており、その性能は非常に優れている。そこで、これらの集熱パネルを流用することで、コストを抑制しながら、性能の良い空気集熱機を開発することを目的とする。

2．実験方法

実験は、浜松市新都田の本学実証試験ハウス(Wish house)横に簡易実験棟を建てて行った。現在の実験棟の外観を Fig. 1 に示す。実験にはほぼ南を向いた壁面を利用し、条件が異なるパネルが最大12枚設置可能となっている。実験には、ソーラーウォール（CANADA Conserval 社製, 以下SW）と、ソーラーコレクタ（矢崎総業製, SC-E1020、以下SC-E）および太陽熱集熱器（同、ゆワイター集熱板、以下SC）を加工したものを用いた。

SC-E は一旦解体し、Fig.2 に示すように加工を行い、再び組み立てた。下部には吸込み用の開口部が設けてある。実験は、集熱板の種類、透過板の有無・種類、SCおよびSC-E内の水の有無、潜熱蓄熱材の相変化温度、ファンの動作・停止・風量などをパラメータとして集熱温度の計測を行った。

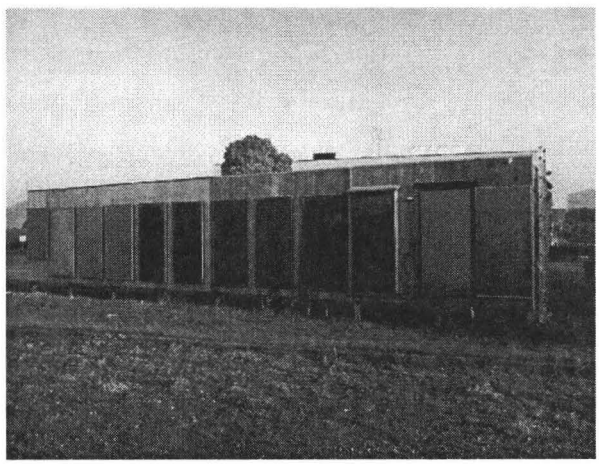


Fig. 1 Appearance of the experiment.

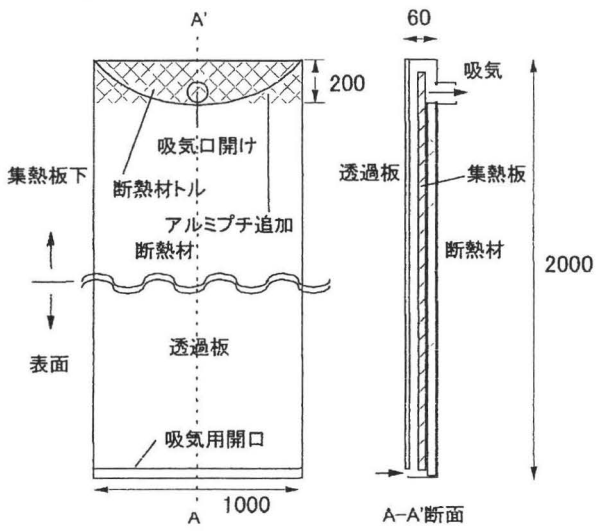


Fig.2 Experimental apparatus.

その後、水集熱も併用し、ヒートポンプ給湯機を接続して暖房・給湯実験を行い、取得熱量の評価を行った。

3．空気集熱実験結果

実験結果の一例として、2007 年 11 月 3 日～7 日の計測結果を Fig.3 に示す。この結果から、到達温度は 90℃近くになり、SW、SC-E、SC のコレクタによる違いは、外気温が 20℃を越えるような場合にはほとんど無いことがわかる。また、ファン風量を増加すると集熱量および集熱効率も増加する。

集熱板内に潜熱蓄熱材(PCM)を設置した場合(Fig.4)には、立ち上がり温度は若干遅くなる程度であるが、到達温度は、PCM の温度と容量に応じて低下し、最高で約 10℃低下した。また、夕方の温度低下が PCM を用いることで緩やかになり、特に高温の PCM を用いた場合には夕方の家族団欒の時間まで必要な温度を維持することができる。低温の PCM は夜遅い時間になって効果を発揮し、深夜から明け方に掛けての吸気温度の低下を防ぐことができる。

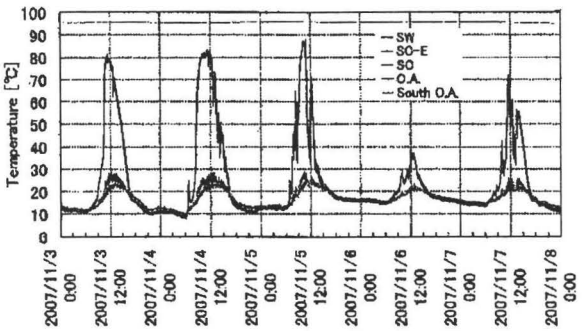


Fig.3 Influence of solar collector's kind.

様々な種類の透過板を用い、その影響を確かめた。さほど大きな影響ではないが、ガラス単板が最も集熱効率が高い結果となった。

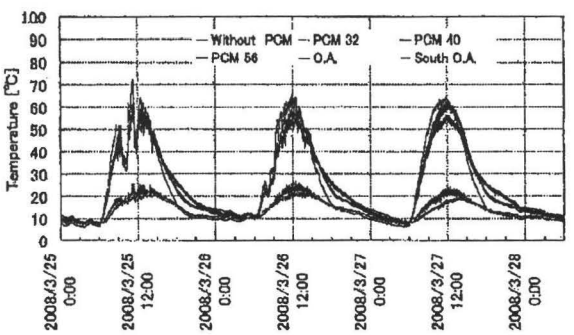


Fig.4 Effect of PCM

ともすると、集熱時の温度変化や太陽熱利用率だけを議論の対象としてしまいがちであるが、非使用時には簡単に 100℃を越えてしまう。そのため、断熱材の選定には注意を要する。また、パイプやファンにも注意を要する。

4．水集熱併用実験

ハイブリットコレクタでの日射熱取得量、取得率、COP（本論文中では、消費電力に対する熱出力の比）を貯湯槽入水温度、貯湯槽出水温度、吹出し温度、外気温より算出した。Fig.5 に各設定時における日積算日射量と総日射熱取得量の関係を示す。同図より、いずれの場合にも日射量が増加

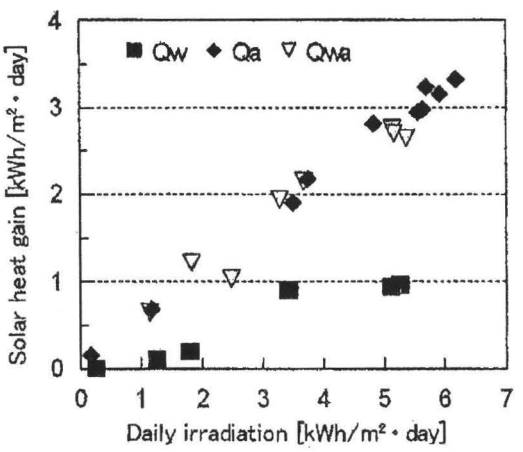


Fig.5 Solar heat gain vs daily irradiation.

すると日射熱取得量が増加することがわかる。また、設定が空気・水集熱併用と空気集熱のみは水集熱のみに比べて総日射熱取得量が多いことがわかる。水集熱の場合の日射熱取得率が低いのは、高温集熱を行っているためである。

日平均COPと日射熱取得率の変化の例をFig.6に示す。同図より日平均COPや日射熱取得率は日積算日射量に大きく依存しないことがわかる。これは、ポンプと吹出しファンの消費電力差の影響がおおきいためである。計測期間おける日平均COPは日積算日射量1kWh/m²day以上の場合、水集熱のみの場合が約17～47、空気集熱のみの場合が約16～77、空気・水集熱併用の場合が15～47であった。日射熱取得率は空気・水集熱併用時に高くなった。これらをうまく利用したいものである。

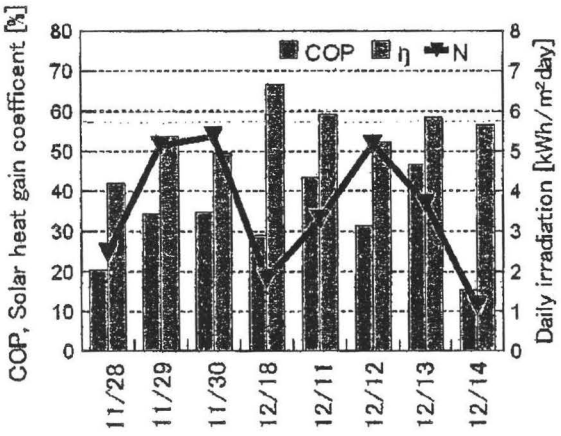


Fig. 6 Daily COP, heat gain, and daily irradiation.

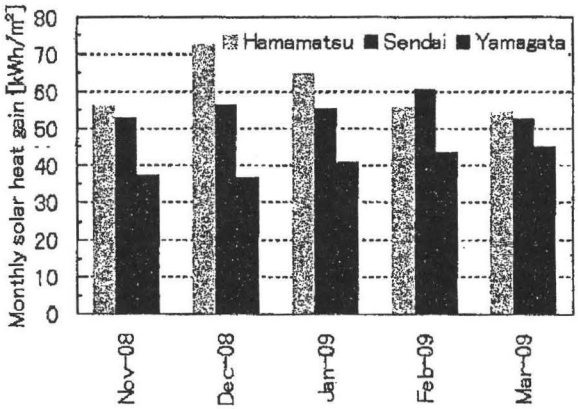


Fig.7 Simulated monthly solar heat gain.

5．空気集熱シミュレーション

本研究で開発した空気集熱器を40m³/hのファンと共に導入した場合の日射熱取得量について、全天日射強度から直散分離を行い、傾斜面日射量を求めた後に実験から得られた集熱効率を掛けて算出した。その月積算値をFig.7に示す。同図から、浜松、仙台においては、毎月50kWh/m²もの熱量が取得可能であることがわかる。若干少ない山形においても40kWh/m²程度は望むことができる。

以上のように従来の空気集熱器以上の能力を持ち、通年利用可能な空気・水ハイブリッドソーラーコレクタを開発した。今後も更なる効率化のための研究を行う予定である。

本研究による成果は、以下に発表した。

(1) 松尾、鎌倉：「ソーラーコレクタの改良による安価な空気集熱器の開発」、太陽／風力エネルギー講演論文集2008、pp. 357-360, (2008)
(2) 松尾、白井、鎌倉：「太陽熱を優先するヒートポンプ給湯機開発のための予備実験」、太陽／風力エネルギー講演論文集2009、pp. 101-102, (2009)
(3) 白井、松尾、鎌倉：「ハイブリッドソーラーシステム連携ヒートポンプ給湯機による給湯・暖房実大実験」、太陽／風力エネルギー講演論文集2009、pp. 471-474, (2009)

雪解け水を直接利用するふく射式冷房技術の開発

財団法人雪だるま財団
チーフスノーマン 伊藤 親臣

1.背景

現在，実用化されている雪冷房は「冷風循環式」と「冷水循環式」大別でき，本研究では後者の「冷水循環式」に「放射冷房」の機能を兼ね備えた新しい冷房装置を考案した．

研究した新システムの特徴は雪の融解水と室内空気を直接接触させることにより，従来の冷水循環式には期待できなかったフィルター効果を持たせることができること，さらに，装置表面に融解水を流し，約 5℃の放射面とすることで，冷放射効果を高める．さらに冷水が流れる事で空気の循環を促進させる気流を形成し冷房効果を高めることが期待できる．

現在，多くの公共施設や店舗でアトリウム空間が存在しているが，これもそのまま冷房装置にする研究も進められている．アトリウム用流水冷房として研究されている落下冷水方式は，雪を冷熱源とし大空間の上部から水滴を落下させ空間を冷房する方式である．この研究では水の入口温度を低く，落下する冷水の水量を多くすれば空間の温度を下げられることが実験的に証明されている．また，アトリウム空間にある流水を冷却面と考え，水分の移動という観点から調湿・除湿について垂直・水平のプールを利用した研究もなされている．一方で，新しい材料として光触媒を建物外壁面に塗布し，その表面に水を流し建物周辺の温度を下げるという研究もなされている．また飲食店，美容院，パチンコ店，事務所など「外から店内の雰囲気は見せたいが，プライバシーの観点から店内をはっきり見せたくない」という観点から，ウォーターカーテンの需要は伸びてきている．

1．　流水—空気直接接触式冷房装置の概要

今回考案した流水—空気直接接触式冷房装置とは，空気と約 5℃の流水が強制対流により熱交換を行う面と，放射＋自然対流で熱交換を行う面を併せ持つ冷房装置である．

1.1　流水—空気直接接触式冷房

流水－空気直接接触式とは，空気と流水が直接接触することで熱交換し，冷房が行われるという方式である．さらにこの方式では冷水循環式に使われているような熱交換器が不要である．また，冷熱媒体も水であるため，冷熱輸送管が小型化でき，空気と水の接触により空気の清浄および調湿効果が期待できる．この方式は，貯雪施設から送られた流水と室内からの空気が流路内で直接接触し熱交換を行い，強制対流熱伝達と水蒸気の凝縮潜熱により空気の熱を奪い冷房する．

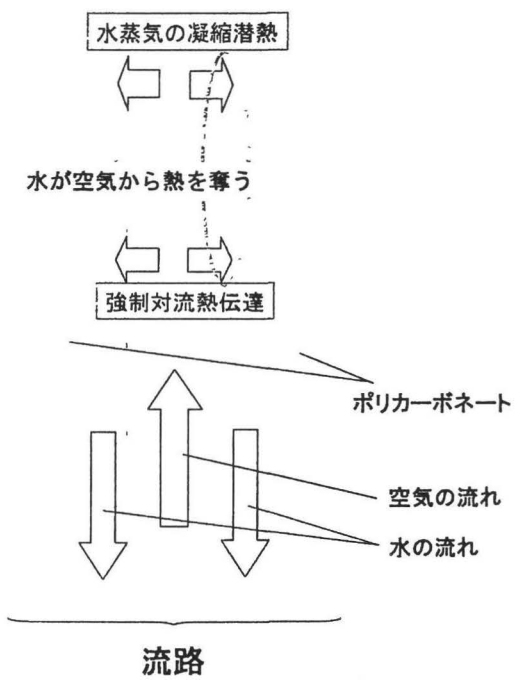


図 2-1　流水—空気直接接触式の熱収支概念図

2.　実験装置の試作

2.1　装置の設計

冷風循環式冷房装置と冷水循環式冷房装置の2つの装置の特色を併せ持ち，さらに放射冷房を組合せた新たな雪冷房装置として，流水―空気接触式冷房装置を考案し，図 4-4, 4-5 に示すように装置を設計，試作し実験を行った．流路には長さ 1.65m，幅 1.0m，厚さ 3mm のポリカーボネートを 3 枚使用した．3 枚のポリカーボネートは 25mm 間隔で重ねて鉛直に設置した．表面 1 面では約 5℃の融解水を流すことにより，放射＋自然対流で熱交換を行い，残り 4 面（2 層）で強制対流により熱交換を行う．また水を流路に均一に流すために装置上部にオーバーフロー型の水槽を取り付けた．空気は下部水槽部に取り付けた 2 つのファンから吸込み，上部から吹出す．

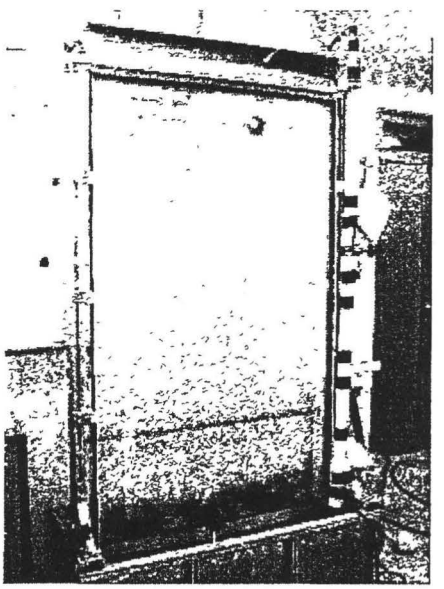


図 2-1　製作した実験装置

表 2-1　設計仕様（流路）

項目	単位	
流路幅	m	1
流路長	m	1.7
流路高さ	mm	25
傾斜角	℃	90

表 2-2　設計仕様（水槽）

a）上部水槽

項目	単位	
水槽容量	ℓ	0.89
全水槽容量	ℓ	2.7
水槽間距離	mm	8

b）下部水槽

項目	単位	
タンク面積	m^2	0.49
高さ	m	0.28
容量	m^3	0.14

表 2-3　冷房熱量算出結果

伝熱形態		単位	冷房熱量算出結果
強制対流伝熱面		kW	3.8
放射＋自然対流伝熱面	放射伝熱		0.21
	自然対流伝熱		0.21

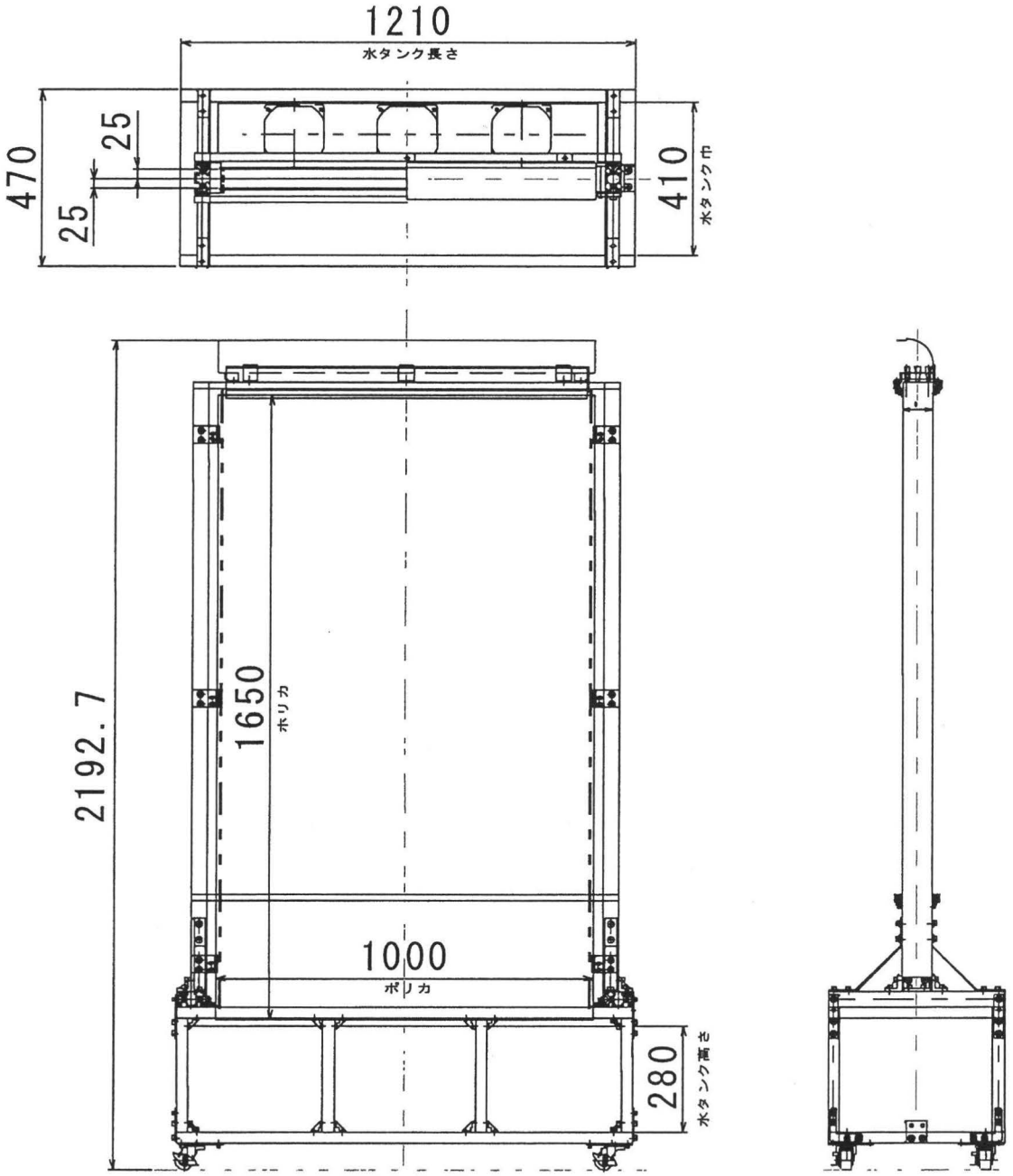

1210
水タンク長さ
470
25
25
410
水タンク巾
2192.7
1650
ポリカ
1000
ポリカ
280
水タンク高さ

図 2-2　実験装置組立図

空気と水の循環について

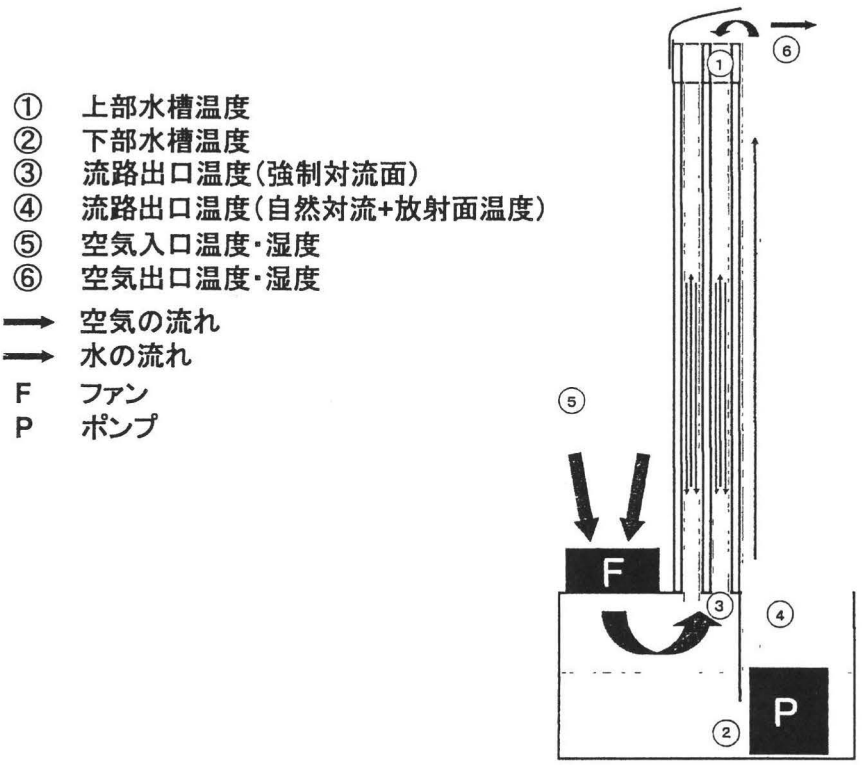


図 2-3　流水冷房装置概要

空気の循環：室内空気は下部水槽部分に取り付けられた 2 つのファンから吸込まれ，3 枚のポリカーボネートの間を通り，上部から吹出される．ポリカーボネート上を流れる約 5℃の水と直接接触し熱交換する．

水の循環：下部水槽で冷やされた水がポンプで上部オーバーフロー型水槽まで汲み上げられ，流路内へと流れる．流路内で空気と熱交換した水は下部水槽でまた冷やされる．

実験時，4 箇所に温度センサーを設置し，水温を測定した．また⑤，⑥，室内代表点に温湿度センサーを設置し，空気の温度・相対湿度を測定した．

4　　空調実験

1)　実験方法

実験開始時の室内温度を 30℃～32℃，相対湿度を 50～60%に設定し，水流量，伝熱面積を変化させ実験を行った．また流水放射面の影響を調べるため，ポンプのみを運転したときの温湿度変化も調べた．実験は冬期間であったので，設定した温度まで室内を暖め加湿をした．下部水槽内の水の冷却には雪または氷を用い，水槽内の温度が 6℃以下になってから実験開始とした．これは実際の雪冷房装置の雪の融解水温度が 2～3℃程度であり，貯雪庫から空調室までの間の冷熱損失を考慮して 6℃以下と定めた．水の流量は上部水槽部分で汲み上がる水量を 20 秒間測定し，その 3 倍の量を流量とした．

2)　計測項目

表 4-1 に測定条件をついて示す．

表 4-1　測定条件

項目	測定方法・機器	測定間隔	測定箇所
温度・湿度	温度・湿度センサー 使用機器・ T&D RTR-53 おんどとり Jr.	30 秒	空気温湿度 3 箇所
	温度センサー 使用機器： T&D RTR-52 おんどとり Jr.	30 秒	水温 3 箇所
PMV	使用機器： ポータブルＰＭＶ計 MODEL AM-101	1 分	冷房装置正面 2mの位置
風速・風量	・ 風速計を用い流路出口の風速を測定 ・ 出口面積と風速から風量を算出 使用機器：風速温度計 TA-361		空気吹出し口 1 箇所
熱画像	運転前，運転中の熱画像を撮影 使用機器：サーモトレーサ TH6200R		放射面

3)　使用機器について

使用した機器の仕様は以下の通りである.

表 4-2　使用機器仕様

項目	規格	台数
AC プロペラファン (MRS16-BUL)	回転速度：2800 r/mın 最大風量：6.2 m³/min 最大静圧：127 Pa 騒音　　・49 dB	2
水中ポンプ (ポンディ KS-20)	最大吐出し量．40 l/mın 全揚程　　：3.9m	1
温度湿度センサー (T&D RTR-53 おんどとり Jr)	温度センサー：サーミスタ(0〜55℃) 測定精度 ±0.3℃ 測定表示分解能：0.1℃ 湿度センサー：高分子湿度センサー（10〜95%RH) 測定精度：±0.5%RH 測定表示分解能・1%	3
温度センサー (T&D RTR-52 おんどとり Jr)	温度センサー：サーミスタ（-60〜155℃) 測定精度．±0.3℃ 測定表示分解能：0.1℃	3

表 4-3　ポータブルＰＭＶ計仕様

測定項目	測定範囲	精度
PMV	-3〜+3	
気温	0〜50℃	±0.5℃
グローブ温度	0〜50℃	±0.5℃
平均放射温度	0〜50℃	ISO7726 ANNEX B により算出
相対湿度	0〜100%	±3%RH
気流速度	0〜1m/s 1〜5m/s	±0.1m/s ±0.5m/s
PPD	0〜100%	

5　　まとめ

新たに考案した流水冷房装置を設計，試作し，空調実験を行った．

・ 強制対流伝熱面

空気吹出し口からの温度，湿度は共にほぼ一定の値を保ち，湿度調整と温度低下の空調装置としての性能を果せた．熱交換特性として，伝熱面積・水流量の 2 つのパラメータについて検討した．伝熱面積を変化させても，伝熱面積当りの交換熱量に違いは見られず，伝熱面積に比例した交換熱量が得られることがわかった．また流量による交換熱量への影響は見られなかった．空気が水に奪われた熱量の平均値は 365W/m^2，水が空気から得た熱量の平均値は 371W/m^2 であった．空気が失った熱量の平均値と水が得た熱量の平均値はほぼ同じ値を示した．

・ 放射+自然対流伝熱面

放射面の放射による伝熱量の平均値は 107W/m^2，自然対流による伝熱量は 110W/m^2，凝縮による伝熱量は 194W/m^2，水が得た熱量の平均値は 456W/m^2 であった．放射+自然対流+凝縮による伝熱量と水が得た熱量はほぼ等しくなった．

○　　設計計算値と実験結果の比較

強制対流伝熱面の実験結果が設計計算値に比べ，小さくなった．流路全体に水を流すことができず，流水面積が全体の 7 割程度であったことが原因であると考えられ，算出結果の 7 割の能力が得られると考えると，概ね，計算どおりの出力が期待できることが確認できた．

また実験結果から放射伝熱面での凝縮伝熱による出力が期待できることがわかった．従来の放射冷房では放射面での結露が欠点とされており，露点に達しないように放射面温度を露点温度より高めに設定しなければならなかった．しかし放射面を流水面とすることで放射冷房のそれらの欠点を補うことができ，流路全面にうまく水を流すことができれば，設計計算値以上の出力が期待できることがわかった．

流路面全体に水を流すこと，また流路以外での結露を防ぐことが課題である．

○　**PMV 指標を用いた温度変化換算**

ポンプのみを運転したときの，室内湿度，平均放射温度，PMV の変化から温度変化を算出した．実験から得られた室内湿度，平均放射温度変化を室内温度変化に換算すると，室内温度を 2.3℃下げるのと同じ効果であることがわかった．

○　**熱伝達係数**

伝熱面積による熱伝達係数の違いは交換熱量と同様に見られなかった．また水の流量が増加するほど熱伝達係数が増加する傾向が見られる．

○　**除湿効果検証**

伝熱面積の違いによる水分凝縮量には違いはあまり見られなかった．放射面での水分凝縮量が強制対流伝熱面の水分凝縮量に比べ 3～4 倍の値を示した．冷水を流し放射面で水分凝縮させることで，実験装置の凝縮水分量は大幅に増加することがわかった．

○　**放射冷房−強制対流の組み合わせによる最適運転**

ポンプのみの運転で室内を十分に除湿し，ファンを運転することにより短時間で室内を快適空間にすることに繋がる．

横型光ダクトシステムによる住宅における省エネルギーの可能性に関する研究

千葉工業大学工学部建築都市環境学科
助教　望月　悦子

1．本研究の背景と目的

住宅におけるエネルギー消費の内訳は図1に示すように、約1割を照明用電力が占めている[1]。都市部住宅密集地域では、高層マンションと戸建住宅が混在・密集しており、建築基準法で定める日影時間の制限は満たしているものの、採光に有効な窓を確保することが難しくなっている。また、集合住宅においても、北側に位置する居室や玄関・廊下などは十分な日照が確保できず薄暗いため、日中でも人工照明を使う頻度が高くなっている。

日中の照明用消費電力を削減するためには、昼光利用が基本となるが、従来の採光に対する考え方は、直射日光は排除し、天空光のみを利用する、というものであった。直射日光は天候による変動が大きく安定しない光源であり、亜熱帯地域に属する日本においては、窓際で過度の熱取得をもたらしうる。しかし、直射日光のエネルギー量は膨大であり、窓からの採光が望めない環境においては、直射日光の変動や窓際の熱負荷といった問題を解決した上で、室内に照明用エネルギーとして採り入れることが望ましい。最近では、各種昼光照明システムの開発も進み、直射日光を間接光として室内に採り入れる試みも行われている[2)3)]。しかし、昼光利用による省エネルギー効果については、オフィスビルでの検証が中心であり、住宅における省エネルギー効果を検証した例は少ない。

本研究では、直射日光利用型の昼光照明システムの一つである光ダクトシステムを取り上げ、光ダクトシステムによる住宅居間の照明用エネルギー削減効果を検討した。昼光利用による日中の人工照明消灯可否については、通常、設計基準照度に基づき判断されるが、本研

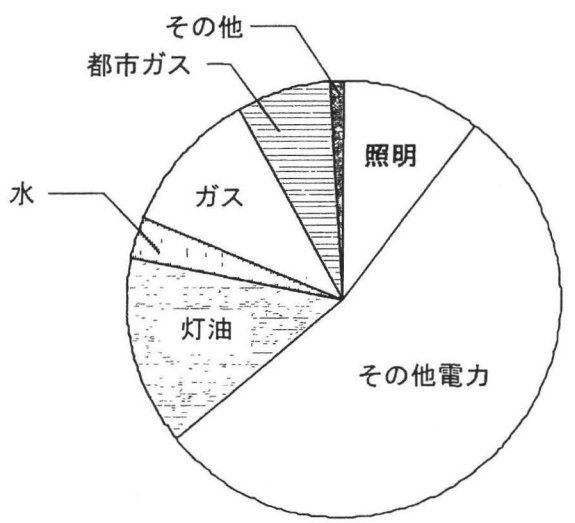


図1　住宅におけるエネルギー消費の内訳[1]

究では、住宅居間で想定される各行為に対する適正照度を被験者実験により明らかにし、在室者の感覚量に基づく省エネルギー効果の検証を行った。

2．実験概要

2－1　実験室概要

実験は、埼玉県越谷市にある長谷工コーポレーション技術研究所内にある実験住宅棟にて行った。光ダクトシステムは、採光部が真南に面するように設置してある。図 2 に光ダクトシステム採光部の様子を示す。採光部の反射鏡の傾斜は、22.5 度に設定した。光ダクトシステムの導光部は、採光部から並列に 2 つ設置してある。

図 3 に実験室の平面図を示す。実験棟内には、廊下を挟んで左右に同じ大きさの居間を想定した実験室を用意した。光ダクトシステムの導光部は、廊下と西側実験室（以降、光ダクト実験室と記す）の上に設置してある。西側実験室の天井には光ダクトシステムの放光部（70 cm 角）があり、周囲に補助照明用の蛍光ランプ（40 W ツイン型蛍光ランプ、昼白色 5000 K（FHP45ENA）・温白色 3500 K（FHP45EWWA）各 2 本）を設置した。東側実験室（以降、人工照明実験室と記す）の天井には、西側実験室の光ダクト放光部と同じ大きさとなるよう天井照明（40 W ツイン型蛍光ランプ、昼白色 5000 K・温白色 3500 K 各 2 本）を設置した。蛍光ランプ前面はトレーシングペーパーで覆ってあり、拡散光源となるようにした。蛍光ランプの出力は、床上 70 cm の机上面高さで 115～395 lx の範囲で自由に調光できる。左右どちらの実験室とも、北側にある窓は暗幕で遮蔽した。図 4 に実験室内の様子を示す。

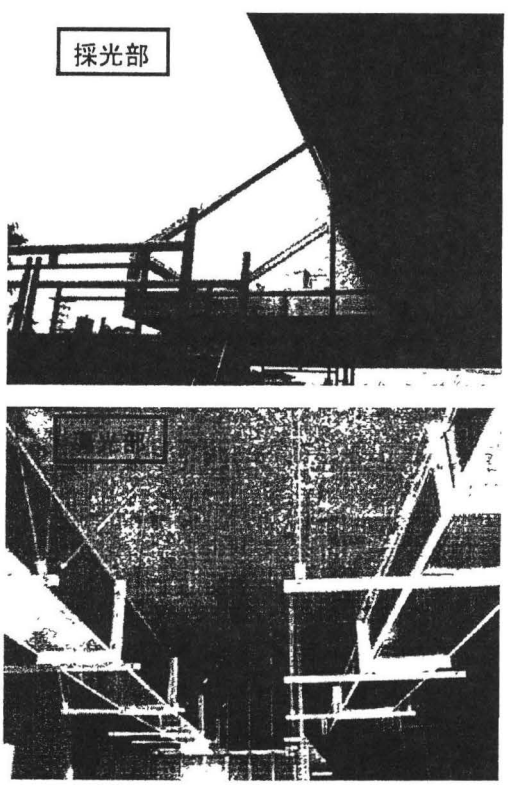


図 2　光ダクトシステム採光部・導光部の様子

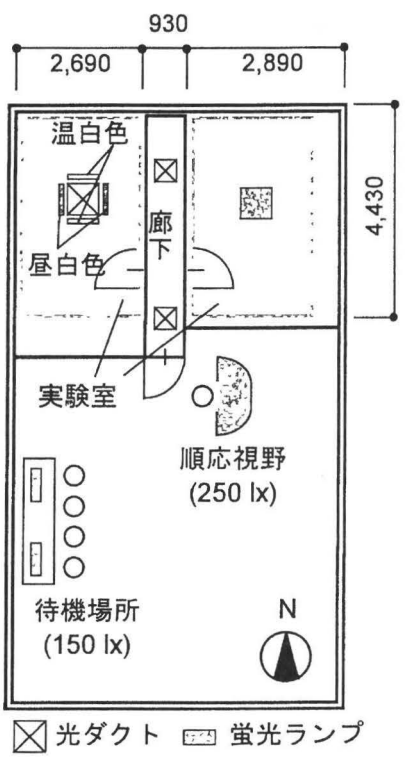
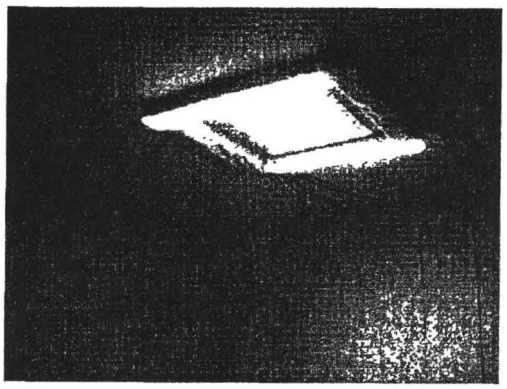
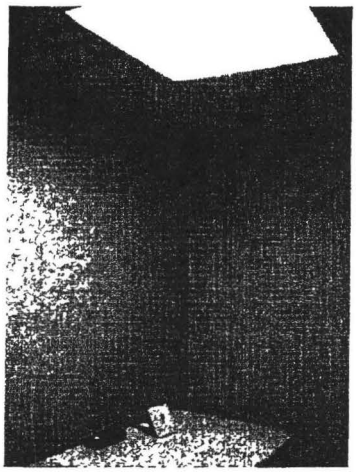


図 3　実験室平面図



光ダクトシステム放光部の様子



人工照明実験室の様子

図４　実験室内の様子

２－２　実験日時

実験は 2007 年 9/21～10/6 の間 5 日間(秋季)、12/17～21 の 5 日間(冬季)、計 10 日間に渡って行った。実験は、光ダクトシステムからの昼光が望める晴れまたは明るい曇天の日に行った。各日とも 8:30～16:30 の間 4 回ずつ実験を行った。

２－３　実験手順・申告内容

図 5 に 1 日の実験スケジュールを示す。1 日の実験には被験者 4 名を用いた。被験者は、机上面照度が約 150 lx に設定された待機場所で、机上面を注視しながら待機した。その後、1 名ずつ廊下入口に設置された順応視野装置(目の位置の鉛直面照度約 250 lx)を約 2 分間注視し、目を十分順応させた後、実験室に移動し左右の実験室の明るさを比較、その後、光ダクトシステムのある実験室の明るさ、放光部のまぶしさを評価、室内光環境の印象を SD 法による 13 の形容詞対で評価した。

一連の評価終了後、待機場所に戻り、次の実験開始まで待機した。再び廊下入口の順応視

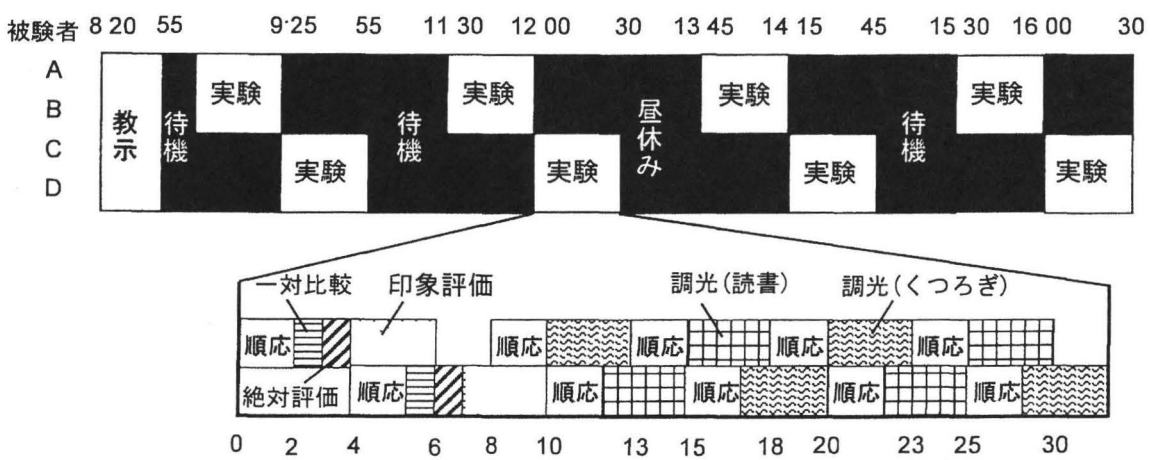


図5　一日の実験スケジュール

野装置を約2分間注視し、目を約250 lxに順応させた。順応後、二つの実験室のうち、実験者の指示する方に入室し、読書あるいはくつろぎを想定した場合に、天井補助照明が必要か否かを判断し、必要と判断した場合は、各行為に対し適切な明るさとなるよう天井照明を調光した。調光後、実験室滞在中の明るさの変動に対する許容度、調光後の実験室の明るさ、実験室光環境の快適性について評価した。この手順を、一つの実験室につき、読書とくつろぎの2つの行為を想定して行い、もう一方の実験室についても同様の実験を行って、一つの時間帯の実験を終了する。各実験と実験の間には、順応視野装置を注視させ、250 lxに被験者の目を順応させた状態で評価を行った。天井照明の光色は、秋季実験では昼白色のみ、冬季実験では昼白色および温白色の2種類を用いた。

実験は、9:00～10:00、11:30～12:30、13:45～14:45、15:30～16:30の4つの時間帯に繰り返し行い、一日の実験を終了する。人工照明実験室の設定照度は、一日4回の実験のうち、2回は机上面照度150 lx、残りの2回は机上面照度300 lxに設定し実験を行った。評価する実験室（光ダクト実験室、人工照明実験室）、天井照明の光色（昼白色、温白色）、人工照明実験室の設定照度（150 lx、300 lx）の呈示順序による影響、調光実験で想定する行為（読書、くつろぎ）の順序による影響のないよう、条件はランダムに呈示した。

実験中は、光ダクト実験室には被験者の使用する机前方（床上 70 cm）に色彩照度計（KONICA-MINOLTA CL-200）を設置し、机上面照度と相関色温度を1秒間隔で連続測定した。人工照明実験室には、机前方に照度計センサー（KONICA MINOLTA T-10M）を設置し、机上面照度を10秒間隔で連続測定した。また、被験者が申告あるいは天井照明の調光を開始した際の机上面照度を実験者が記録用紙に記録した。

2－4　被験者概要

被験者は1日4名、各季5日間の実験で20名ずつ（秋季: 男17名、女3名、平均21.8歳、冬季: 男14名、女6名、平均21.9歳）を用いた。

3．実験結果

3－1　光ダクトシステムによる昼光の分光分布

図6に一例として、2007年10月17日15時に測定した屋外ならびに光ダクト実験室、2008年1月9日12時に測定した屋外ならびに光ダクト実験室、および人工照明実験室の分光分布を示す。各データは、2回測定した値の平均値を用いている。

光ダクト実験室における分光分布は、屋外昼光の分光分布に比べ、短波長成分が相対的に減少しているものの、屋外昼光の分光分布と類似していることがわかる。

一方、人工照明実験室における分光分布は、昼白色蛍光ランプ、温白色蛍光ランプとも輝線スペクトルの波長は一致しており、光ダクト実験室の分光分布と比べ、不連続なスペクトル分布になっていることがわかる。

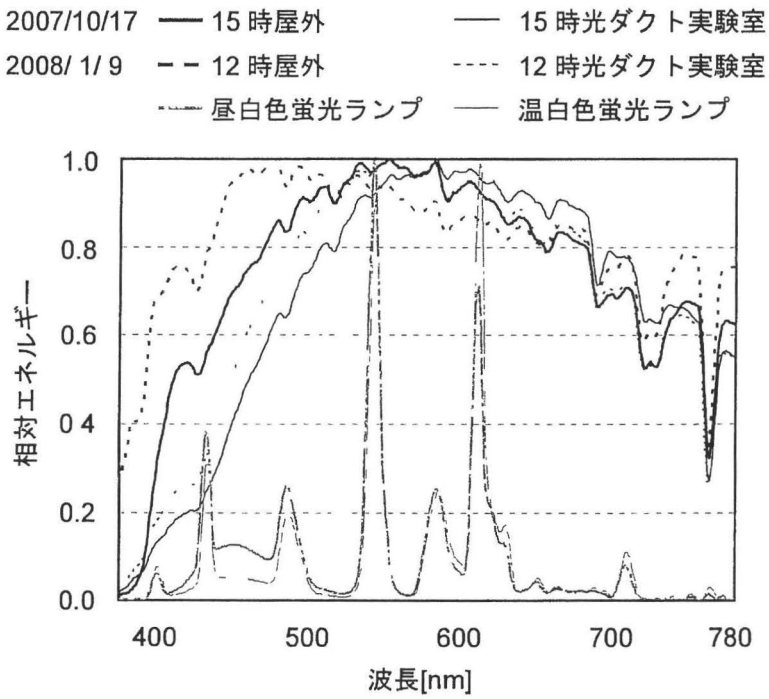


図6　屋外、実験室の分光分布

3－2　室内の明るさ評価

図7に、光ダクト実験室入室直後の室内の明るさ評価と机上面照度の関係を示す。秋季実験の結果について見ると、机上面照度が100 lx以上あれば過半の被験者が、机上面照度が250 lxを超えると約9割の被験者が室内を「やや明るい」「明るい」と評価した。冬季実験では、秋季実験よりも暗い側の評価が全体的に多くなっていたが、秋季実験と同様に、机上面照度が100 lx以上で過半の被験者が、250 lx以上で約8割の被験者が室内を「やや明るい」「明るい」と評価していた。

3－3　光ダクトシステム放光部のまぶしさ評価

秋季実験では、机上面照度が40～250 lxで約30%の被験者が、机上面照度が250 lxを超えると6割以上の被験者が光ダクト放光部をまぶしいと評価した。冬季実験では、机上面照度が100～250 lxでも放光部をまぶしいと評価する被験者が6割程度いた。

室内が明るいと評価される場合（机上面照度100 lx以上）には、光ダクト放光部を直視するとグレアを生じる可能性がある。

3－4　実験室内光環境の快適性評価

図8に、光ダクト実験室および人工照明実験室における机上面照度と光環境の快適性評価の関係を示す。光ダクト実験室については、秋季実験では、机上面照度が40～100 lx程度の場合は、被験者の約半分が室内光環境を不快と評価していたが、机上面照度が100 lxを越えると、80%以上の被験者が室内光環境を快適と評価した。冬季実験でも、机上面照度が100 lx

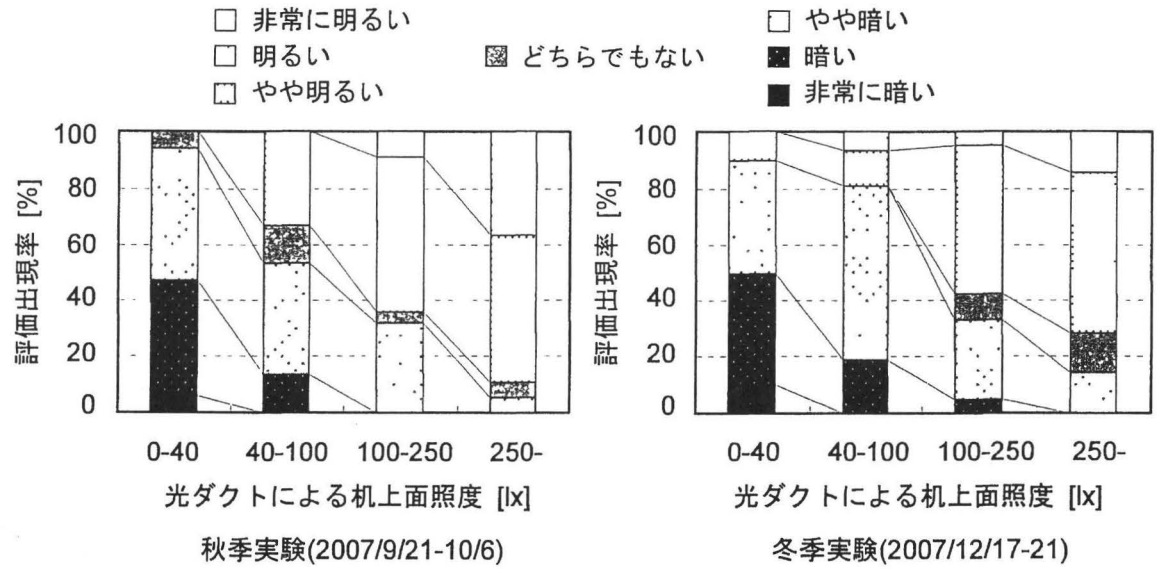


図 7　光ダクト実験室入室直後の明るさ評価

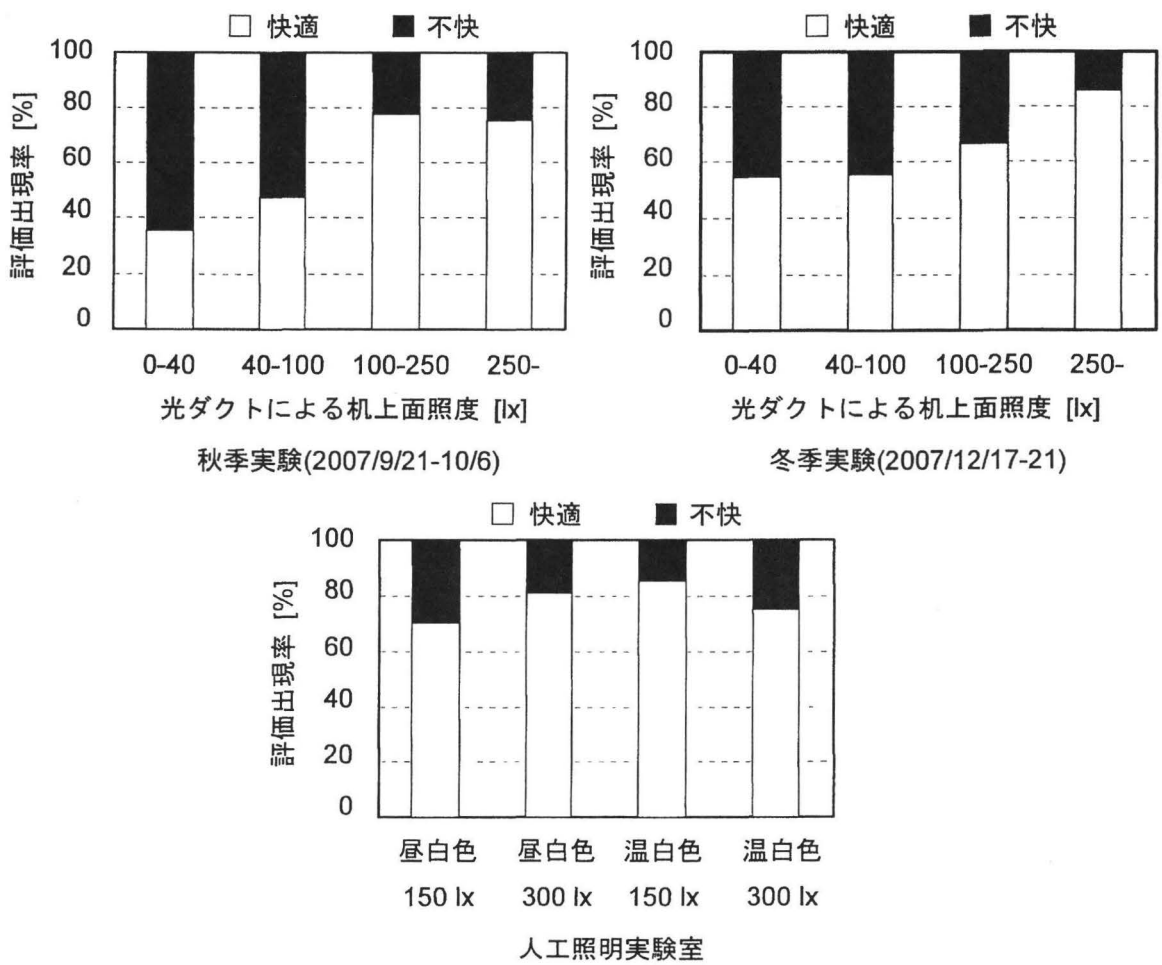


図 8　実験室内光環境の快適性評価

で約 70%、250 lx 以上で約 90%の被験者が室内光環境を快適と評価した。

一方、人工照明実験室における光環境快適性の評価については、秋季実験では、一日 4 回行う実験のうち、2 回は昼白色蛍光ランプを用いて机上面照度 150 lx、残り 2 回は昼白色蛍光ランプを用いて机上面照度 300 lx に設定し被験者に評価させた。また、冬季実験では、一日 4 回行う実験のうち、昼白色蛍光ランプを用いて机上面照度 150 lx、300 lx および温白色蛍光ランプを用いて机上面照度 150 lx、300 lx に 1 回ずつ設定し、被験者に評価させた。昼白色蛍光ランプ各条件の結果は、秋季実験と冬季実験を合わせた被験者 40 名述べ 60 回分の申告値、温白色蛍光ランプ各条件の結果は、冬季実験の被験者 20 名述べ 20 回分の申告値より求めている。昼白色蛍光ランプを用いた場合は、設定照度が高いほど、光環境を快適と評価した被験者の割合が多いが、温白色蛍光ランプの場合は、設定照度が低いほど、光環境は快適と評価された。しかし、いずれの条件でも、7 割以上の被験者が人工照明実験室の光環境を快適と評価していた。

3－5　光ダクト実験室の天井照明点灯率

図 9 に、居間における行為として、「読書」と「くつろぎ」を想定した場合の光ダクト実験室における天井照明の点灯率を示す。秋季実験では、併用照明の蛍光ランプは昼白色のみ、冬季実験では、昼白色と温白色の 2 種類を用いた。

併用照明に昼白色蛍光ランプを用いたときの結果について見ると、秋季実験では、くつろぎの場合、光ダクトによる机上面照度が高くなるにつれて、天井照明の点灯率は減少し、机上面照度が 100 lx 以上あれば、併用照明の点灯率は 40%、すなわち約 6 割の被験者が併用照明を不要と判断した。しかし、読書を想定した場合には、光ダクトからの机上面照度によらず、常に 80%以上の被験者が天井照明を必要と判断していた。冬季実験の結果についても、くつろぎの場合は秋季実験と同様、光ダクトからの机上面照度が高くなるにつれて天井照明点灯率は減少したが、天井照明点灯率は秋季実験の結果よりも高く、最低でも 50%以上であった。一方、読書の場合については、光ダクトによる机上面照度が 250 lx 未満では天井照明

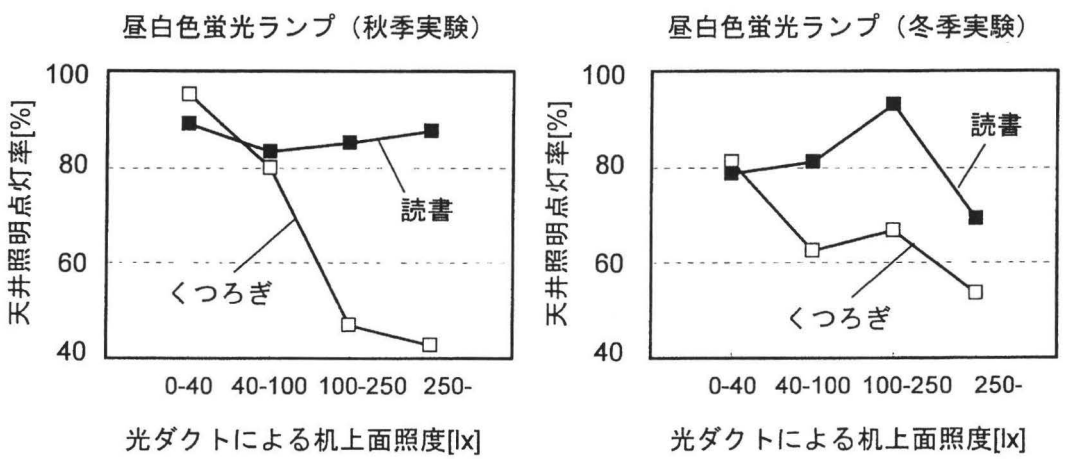


図 9　居間における各行為を想定したときの天井照明点灯率

点灯率が 80%を超えていたが、250 lx 以上であれば、天井照明点灯率は約 70%となった。

併用照明に温白色蛍光ランプを用いた場合は、読書、くつろぎの場合とも、机上面照度が 250 lx 以上のときの天井照明点灯率は、昼白色蛍光ランプを用いた場合とほぼ同程度であったが、光ダクトによる机上面照度と天井照明点灯率の間に明確な関係が見られなかった。冬季実験において、光ダクトから室内に入射する昼色の色温度は 4000 K 前後の白色であったのに対し、温白色蛍光ランプの相関色温度は 3500 K でオレンジがかった白色あった。光ダクトからの昼光と併用照明との光色の不調和を緩和するために、必要照度以上に補助照明量を多く設定した可能性が考えられる。

３－６　光ダクトシステム実験室の適正照度

図 10 に居間における各行為を想定した場合に、ちょうど良いと感じる明るさとなるよう被験者に調光させた光ダクト実験室における机上面照度を示す。図中の棒線は偏差を表す。また灰色の棒は、光ダクトシステムによる机上面照度であり、白、黒の棒で示される設定照度から灰色の光ダクトによる照度を差し引いた値が、被験者が併用照明で補った蛍光ランプによる照度である。

人工照明実験室における被験者の設定照度は、昼白色蛍光ランプの場合は、秋季、冬季両実験の全被験者 40 名が昼白色蛍光ランプを用いた場合に設定した机上面照度の中央値で示しており、温白色蛍光ランプの場合は、冬季実験の被験者 20 名が設定した机上面照度の中央値で示している。読書、くつろぎの場合とも、温白色蛍光ランプの方が昼白色蛍光ランプよりも、設定照度は低くなっていた。

秋季実験、冬季実験とも、光ダクトによる机上面照度が高くなるにつれ、被験者は机上面照度を高く設定した。また、くつろぎを想定した場合よりも、読書を想定した場合の方が机上面照度を高く設定していた。

秋季実験、冬季実験とも、光ダクトによる机上面照度が 250 lx 未満のときは、光ダクト実験室での設定照度は、人工照明実験室の設定照度よりも低くなっていた。光ダクトによる机上面照度が 250 lx を超えると、人工照明実験室よりも光ダクト実験室での机上面設定照度が高くなっているが、ほとんどが光ダクトシステムからの昼光による照度である。冬季の結果を見ると、各行為とも温白色蛍光ランプの方で昼白色蛍光ランプよりも設定照度が高くなっており、分散分析の結果からも有意差（$p<0.05$）が確認された。

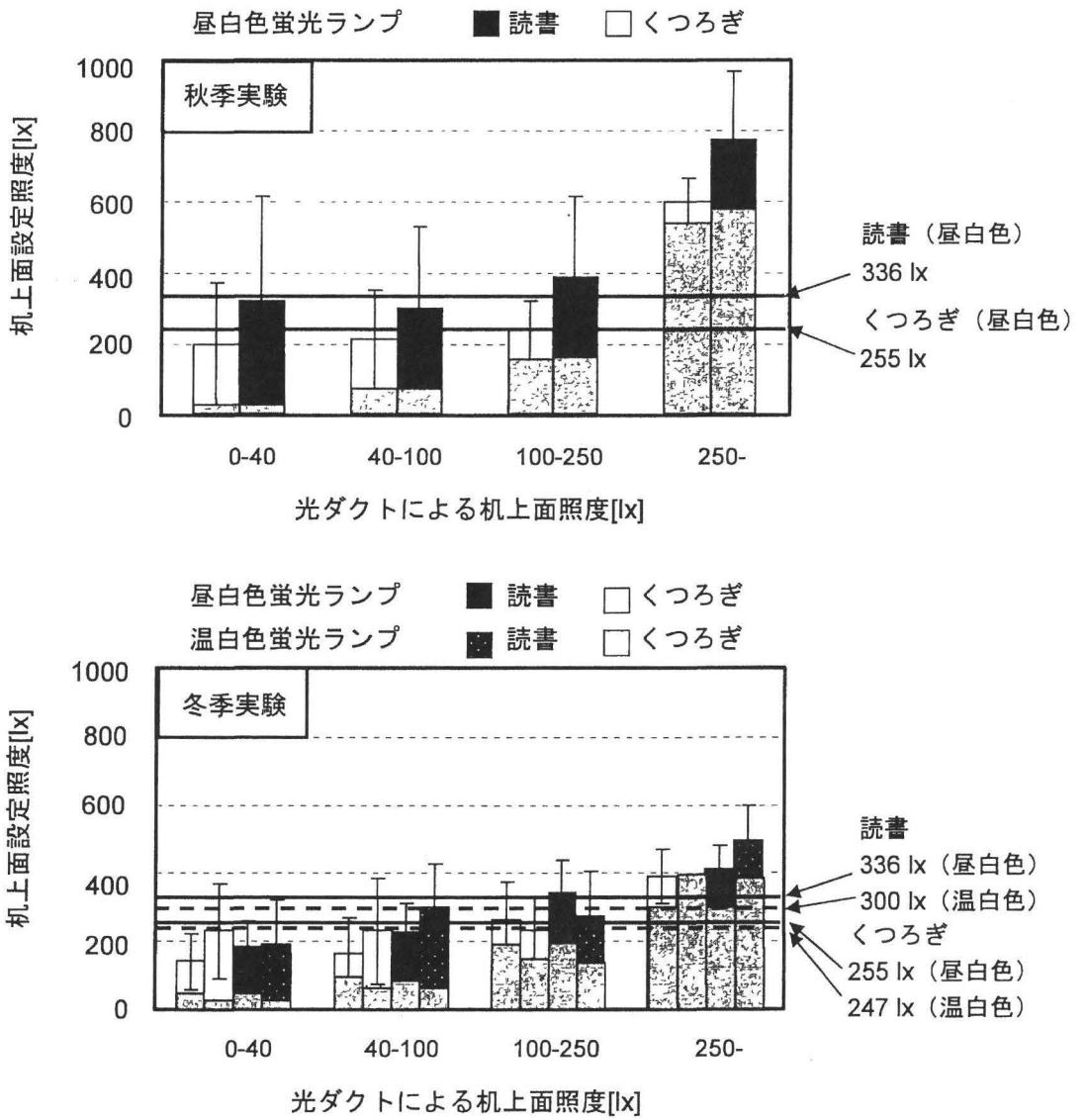


図 10　居間における各行為を想定したときの適正照度（被験者が設定した机上面照度）

4　光ダクトシステムによる天井照明用消費電力削減の効果

4 章では、被験者が住宅の居間における各行為に対し適切と感じる机上面照度が明らかになった。ここでは、光ダクトシステムを用いた昼光導入を行うことで、日中の住宅居間において、人工照明用消費電力がどの程度削減可能か試算する。

4－1　計算方法

計算対象室は、図 3 に示した実験室とほぼ同じ大きさの居間（D: 2.4 m×W: 3.6 m×H: 2.4 m）とした。室内各面の反射率は、天井 70%、壁 50%、床 10%とした。

被験者実験により明らかになった居間における各行為に対する室内の所要照度（図 10 参照）を基準とし、照度が不足する場合は天井照明を点灯、所要照度を満たしている場合は消

灯するものとし、各時間帯で必要となる人工照明電力量を試算する。天井照明に使用する蛍光ランプは、昼白色と温白色の二種類とし、昼白色蛍光ランプを使用する際の所要照度は、秋季実験と冬季実験の結果の平均値を用いた。温白色蛍光ランプを使用する際の所要照度は、冬季実験の結果を用いた。

今回の実験では、屋外照度条件と光ダクトシステムから室内に入射する昼光照度の関係については調査していないため、光ダクトシステムによる昼光照度の予測が十分にできない。ここでは、実験実施日における照明用消費電力の削減効果に限って検証することとした。

4－2　計算結果

図 11 に、光ダクトシステムにより昼光導入を行う室において、読書とくつろぎの各行為に対して所要照度を満たすように天井照明を点灯した場合と、人工照明のみで室内照明を行う場合の照明用消費電力量と、光ダクトシステムを用いた場合の照明用消費電力量削減率の計算結果を示す。

昼白色蛍光ランプを用いる場合、ほとんどの時間帯で照明用消費電力量は削減できることがわかった。くつろぎの場合は、読書の場合に比べ補助人工照明の設定照度が低く、9 時から 14 時の間は、照明用消費電力量削減率は 80%以上となった。しかし、16 時以降になると、光ダクトからの昼光入射量が少なくなるため、補助人工照明の点灯率が増え、設定照度も高くなったため、削減率は 40%以下になった。読書の場合は、くつろぎの場合よりも設定照度が高くなるため、くつろぎの場合と比べて削減率は低くなるが、9 時から 14 時の間で、60%

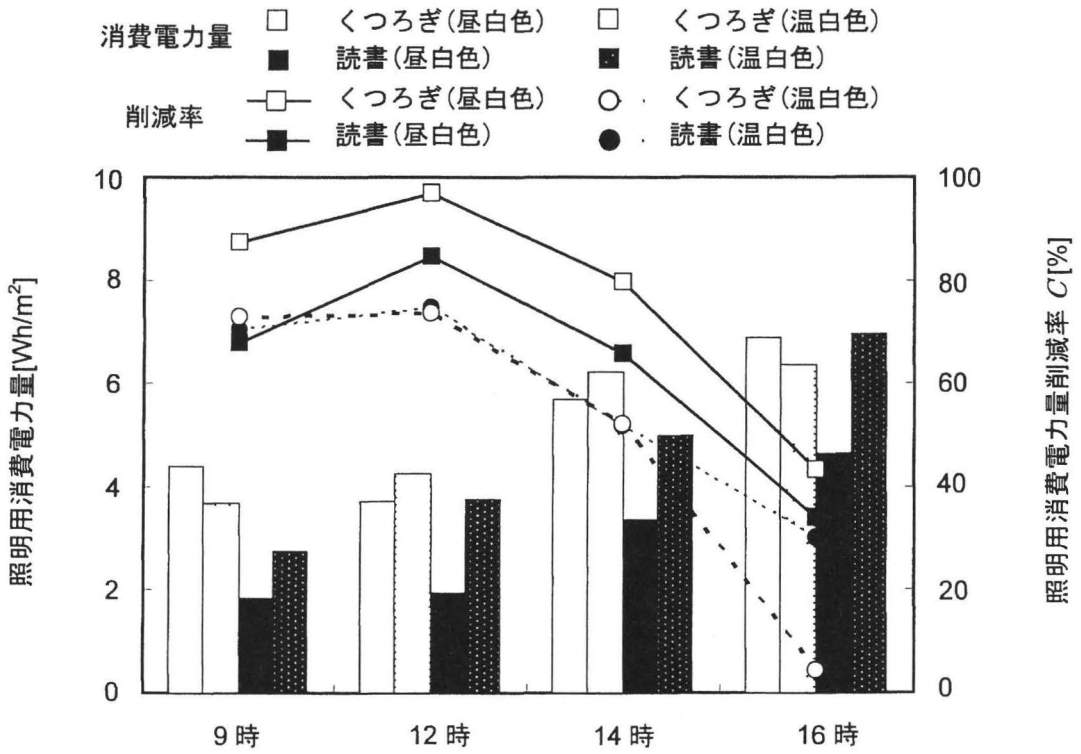


図 11　光ダクトシステムによる照明用消費電力の削減効果

程度の照明用消費電力が削減可能となることがわかった。

温白色蛍光ランプを用いる場合は、光ダクトシステムから入射する昼光の色との違和感から、昼白色蛍光ランプを用いる場合よりも机上面照度が高く設定されたため、削減率は低くなったが、14時までであれば、読書、くつろぎの場合とも、40%の照明用消費電力を削減可能であることがわかった。

5．まとめと今後の展開

直射日光利用型の昼光照明システムの一例として、光ダクトシステムを取り上げ、光ダクトシステムによる住宅居間の光環境評価、ならびに照明用消費電力の削減効果を、実大実験住宅における被験者実験により検討した。

結果、光ダクトシステムによる昼光照度が250 lx以上あれば、ほぼ全ての被験者が室内を明るく、快適と評価したが、光ダクトシステム放光部を直視したときにグレアを感じた。また、居間における行為として「読書」「くつろぎ」を想定した場合に、適正な明るさとなるよう併用照明を調光させたところ、人工照明のみの場合は、読書の場合で300～340 lx程度、くつろぎの場合で250 lx程度となった。これに対し、光ダクトシステムによる昼光照明を行う場合は、光ダクトから入射する昼光量が多くなるにつれ設定照度も高くなったが、14時までの間であれば、くつろぎの場合で80%程度、読書の場合で60%程度の照明消費電力が削減可能となることがわかった。

今回の実験では、屋外の昼光照度と光ダクトシステムによる昼光照度の関係については調査していないため、一年間を通した太陽位置や天候の影響は考慮していない。今後、通年での光ダクトシステムの省エネルギー効果を検証していく必要がある。

また、光ダクトシステムは、鏡面反射により昼光を搬送するシステムであるため、太陽位置によっては、放光部から室内に放出される昼光に指向性が残り、グレアを生じる可能性もある。今後、放光部の拡散特性についても検討していく必要がある。

6．参考文献

1) 財団法人省エネルギーセンターホームページ
http://www.eccj.or.jp/pamphlet/living/06/02_2.html

2) 例えば、小林光, 藤井浩史, 伊藤朋香, 山本出, 望月悦子, 田辺新一, 川口隆: 太陽光採光システムの開発（その1～その3）, 日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）, D-2分冊, pp. 483-488, 2008年9月

3) 例えば、M, Al, Marwaee.: A field study of tubular daylight guidance installations, Lighting Research & Technology, 38, 3, pp. 241-258, 2006

非住宅用可動間仕切及びドアの変遷

東京理科大学工学部第一部建築学科

教授　真鍋恒博

■研究の背景

建築分野で用いられる様々な部品や構法は、時代の要請や技術の発展によって変化している。しかし、その変化の足跡については、ニュース性のある特殊な事例のみが記録され、ごく一般的に使われている「普通のもの」については、変遷の詳細な記録があまり残されていないのが現状である。そこで本研究室では、1983(S58)年度より様々な部品・構法を対象として変遷の調査を行ってきた。こうした研究の一環として、本研究室では「可動間仕切」については 1986(S61)年度に、「金属製ドアの変遷」については 1987(S62)年度に調査を行い、その結果は書籍「図説 近代から現代の金属製部品の変遷 第1巻 開口部関連部品／真鍋恒博著」(株式会社建築技術／1996. 02. 10)として公表されている。しかし、一度調査した部品や構法も、それがなくならない限り変化し続けている。そのため、変遷史研究が本来の役割を全うするためには、継続的な調査が必要である。

可動間仕切及びドアについても状況は同様であり、住宅用については、昨年度「我が国における住宅用出入口関連部品の変遷」として調査を行ったが、非住宅用については未調査である。

既往研究の調査以降の約 20 年間に、対象部品を取り巻く環境は変化した。例えばオフィス空間では IT 化がよりいっそう進み、また労働者の権利を尊重し、オフィスの居住環境や安全性の向上等にも配慮がされるようになった。バブル景気も対象部品に大きな影響を与えたことが予想できる。それと同時に、オフィスにデザイン性や高級感を要求するケースも増えてきている。他の用途においても、学校にはより自由度が高く安全な平面計画が望まれるようになり、医療関係施設については、特に高齢者施設等が増加し、バリアフリーが追求されている。これらを反映した部品の変化は、既往研究以降記録されていない。

以上の背景に加え、現在では製品の立ち上げに関わった開発担当者の多くが引退時期を迎えており、また関連企業にも統廃合が進む等の緊急性もある。そのため、こうした変遷を早急に調査し、記録する必要がある。

■研究目的

主としてオフィスビル・公共施設・学校・医療施設等を含む非住宅建築で使用されてきた可動間仕切及びドアの変遷を把握することを目的とする。社会背景・業界背景や、サッシ等他の開口部関連部品の変化との関連を考慮することで、部品の変化およびその経緯・傾向等を多角的に明らかにする。

■研究対象

可動間仕切の具体的な対象部品としては、固定式可動間仕切・開閉式可動間仕切・学校間仕切・トイレブース・収納間仕切等が挙げられる。なお、衝立式の固定式可動間仕切(以下「衝立式可動間仕切」と表記)は、他の固定式可動間仕切とは性格が異なるので別個に扱った。また、内装壁面パネルについても対象に含むものとする。ドアについては、非住宅に一般的に使用されるものを対象とし、防火・耐火ドア、遮音ドア、耐震ドア等、各種性能を有するものも対象とした。他の一般的な開き戸として、上吊りドア・ストアフロント製品も対象とした。

■研究の方法

①文献・雑誌調査

対象部品に関する既往研究の成果を把握し、関連書籍や企業の社史等の文献、製品に関する記事が掲載されている雑誌(建築知識)を調査し、対象部品に要求される性能や、その変化の様子を把握した。

②企業調査

主に対象部品の開発・販売を行っている企業に対して、アンケート調査(24件)やヒアリング調査(9件)を行い、製品の開発年及び開発背景や、業界全体の動向等の情報を収集した。これらの調査時には、過去のカタログ、統計資料、図面等、一般には入手が困難な資料をも収集した。

③変遷データベース・手法カードの作成

製品の開発または発売された年代、内容(背景・特徴等)、各種分析項目(材質・形状等)、対応資料等で構成する変遷データベースを作成した。主要な製品に関しては、写真や図面等とともに製品の特徴をまとめた資料カードを作成した。

④分析

各対象部品の変遷の全体像と、その背景を把握した。その際、単に製品を時系列に並べるだけではなく、各種観点から分析を行うことで、様々な要求に対する手法の移り変わりも明らかにした。

⑤資料保存

収集した過去のカタログや図面等は貴重な資料であるため、一定の書式を定めてデータベース化し、検索・閲覧可能な形で保存した。

■調査結果

1．固定式可動間仕切の変遷

①固定式可動間仕切の登場

オフィスにおける我が国初の固定式可動間仕切は、1952(S27)年に日本相互銀行で使用された木製の間仕切であると言われている。昭和30年代に入ると、経済発展による企業の規模拡大に伴い、事務室の配置換えの頻度が増した。そのため、移設の容易な間仕切が要求され、1960(S35)年頃にスタッド式の固定式可動間仕切がオフィス家具メーカーにより製品化された。昭和30年代後半になりビル建設ラッシュが到来すると、ブラインド・サッシなどを製造する企業も相次いで固定式可動間仕切の分野に進出した。

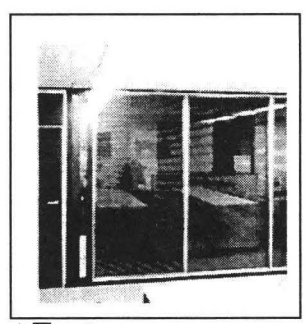
1967(S42)年には、建物の高層化、巨大な執務空間の登場、技能工の不足、建築基準法の改正による内装部材の不燃・耐火基準の強化といった背景から、在来構法の間仕切に代わるものとして、パネル式の固定式可動間仕切が製品化された。1972(S47)年、従来の可動間仕切の欠点を改良したスタッド隠蔽パネル式の固定式可動間仕切が製品化され、以降の主流となった。

1986(S61)年、通商産業省(現:経済産業省)のニューオフィス推進委員会により「ニューオフィス化推進についての提言」が発表され、快適かつ機能的なオフィスが期待された。また、この頃の市場ではスチールを採用して防火性・不燃性を高めた製品が多く発売された。

②1980年代後半

バブル景気による建築需要の増大に伴って、壁面内装パネルと収納間仕切の需要が増大した。また、スタッド式の利点である施工の簡易性に着目した製品開発がなされた。一方で、OA に対応した付加価値の高い機能を持たせた製品も見られた。

1986(S61)年に開発された㈱イトーキの『フレキシウォール FAN』はスタッドにアルミを使用したスタッド式の製品で、簡易施工・短納期に対応している。しかし不燃仕様ではなく、遮音性能も低いことから高層ビル・大型オフィスでの採用はほとんど無かった。



▲図－1
多様な機能を持ったパネルを用いた製品　松下電工㈱

1989(H01)年、『オフィシングウォール』(**図－1**)が松下電工㈱から発売された。標準パネルのほかに照明・空調・収納・掲示・内蔵ブラインド等のパネルが用意された。間柱がなく、パネルの間の配線スペースに横通し配線が可能なほか、分電盤組込みパネルを使用することで、天井・床の配線に接続ができた。

また同年、㈱イトーキからは『フレキシウォールスペクタ』が発売された。アルミスタッドに棚を設置することができた。

③1990年代前半

バブル景気により間仕切需要は拡大し、ニーズは多様化した。これを背景に様々な機能を持った製品が開発されたが、バブル景気が崩壊するとオフィス投資は減少し、低価格帯の製品が主流となった。

1990(H01)年、『フレキシウォール FCH』が㈱イトーキから発売された。鋼製のスタッド隠蔽パネル式の製品であり、上位機種であった。遮音性に優れていたほか、目地部に棚などを

取り付けることができた。

④1990年代後半

1998(H10)年頃、東京を中心とした都市部の金融機関の店舗、外資系企業のオフィスで、パネル全面にガラスを使用した製品が採用されるようになった。これは主にイタリアからの輸入品であったが、国内のオフィス家具メーカーも、これまでの製品に比べてガラス枠が目立たない製品(ガラスパーティション)の開発・販売を始めた。

1998(H10)年、『プランナーウォールGa』がコクヨファニチャー㈱から発売された。

⑤2000年以降

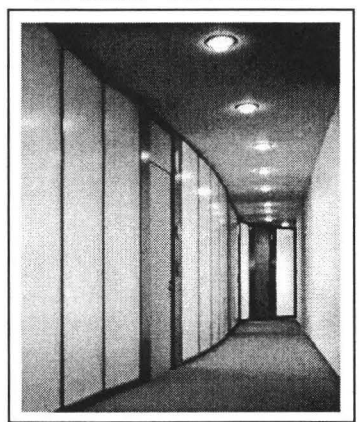
全面ガラスの固定式可動間仕切は、ガラス突き付け部分にシーリング材を使用していたため、可動性に難があった。そのため、シーリングに代わる固定方法が求められていた。

2000(H12)年頃、ガラス同士を接合するプラスチック製のジョイントが開発された。これにより、シーリング材を用いずにガラス同士を接合することが可能となった。

2000(H12)年、『セーフウォールG』(**図－２**)が㈱岡村製作所から発売された。ガラス同士の接合部にプラスチック製のジョイントが用いられているため、他の全面ガラスの製品と比べて分解・移設が容易であった。

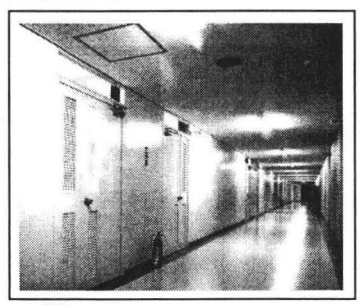
▲図－２
プラスチック製の接合部材を用いた製品　㈱岡村製作所

また、オフィスビルの平面計画の多様化に伴い、2003(H15)年、パネルの連結角度の調節によって擬似的に曲面を構成できる製品が登場した(**図－３**)。



▲図－３
擬似的に曲面を構成できる製品
㈱イトーキ

近年、ガラスを多用した製品が目立つが、市場の約８割を占めているのは、鋼板製のスタッド隠蔽パネル式の製品である(**図－４**)。メラミン樹脂焼付塗装を施した鋼鈑に石膏ボードを裏打するなどのパネルの仕様には、ここ約20年間に大きな変化は見られない。



▲図－４
市場の約８割を占める一般的な製品の一例　コマニー㈱

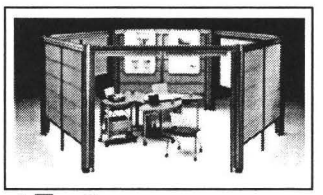
２．衝立式可動間仕切の変遷

①衝立式可動間仕切の登場

1958(S33)年頃、移設容易な間仕切として衝立式可動間仕切(ローパーティション)が製品化された。1970年代前半、オフィスの執務内容の専門化・個人化に対応して、大部屋を高さの低い衝立・家具等で仕切るオフィス空間が考えられるようになった。それに伴って融通性の高い間仕切が要求され、衝立式可動間仕切が再評価された。1981(S56)年には、パネルの自由な組み合わせが可能な、OA化に対応したシステムローパーティションが登場した。

②普及と多様化

バブル経済の崩壊後、高価格帯の製品が販売不振に陥る一方、安価な製品はクロスの吸音効果や使用時の利便性が評価され、コピー機の周辺やミーティングコーナーなどで利用された。1990年代、パソコンが普及すると、机と一体化したシステムローパーティションも多く発売され、オフィス家具として位置付けられるようになった。一方、ローパーティション単独の製品はあまり使われなくなった。



▲図－5
支柱とパネルの組み合わせが特徴的な製品　㈱イトーキ

1990年代後半以降、上位機種で多様な使い方のできる製品が発売された。例えば、2002(H14)年には支柱に様々な機能を持ったパネルを組み合わせて空間を構成する製品が登場した(**図－5**)。また、他の固定式可動間仕切と同じく、ガラスを多用して開放感を謳った製品が多く登場した。

現在では、他の固定式可動間仕切と意匠を揃え、事務室全体に統一感をもたらす工夫がなされている。

3．開閉式可動間仕切の変遷

①各開閉方式の製品化

1950年代に伸縮式･引戸式･折戸式の各開閉方式が製品化された。伸縮式と折戸式は主に住宅で普及したが、ほとんど開閉されない例が多く、開閉式可動間仕切としての役割を必ずしも果たしていたとは言えなかった。

引戸式は伸縮式･折戸式に比べて平滑性･遮音性に優れたために、オフィスの会議室やホテルの宴会場などで普及し、現在に至ってもそれは変わっていない。また、ホテルの宴会場では遮音効果を高めるために引戸式を900～1000㎜の間隔で二列に配置することが、一般的に行われていた。

②オープンスクールの登場

学校において、S40 年代頃から、当時の教室だと授業を運営しにくいと教師から意見が出始めていた。これは、1950(S25)年に作られた、校舎を RC で建てるための標準設計がもたらした学校建築の画一化が原因であった。これ以降、学校建築が見直されるようになり、我が国で始めてオープンスクールを目指した学校、加藤学園が 1973(S48)年に建設された。そこには引戸式の開閉式可動間仕切が採用され、1988(S63)年頃には複数のメーカーから、開閉に必要な力が小さくすむ学校向け製品が発売された。オープンスペースの活用方法は学校によって様々なものであったが、オープンスペースに対する要望は高く、オープンスペースを学校に設置した場合に容積率を上乗せできる、義務教育諸学校施設費国庫負担法が 1984(S59)年に制定された。オープンスペースの普及に対応して、1985(S60)年に立川ブラインド工業㈱から『スライディングドア 50L』が発売された。これは開閉に必要な力が小さくすみ、学校向けの製品として開発されたものであった。その後も㈱ニチベイから 1988(S63)年頃に発売された『OS-50』など、多くのメーカーからオープンスペースを視野に入れた引戸式が製品化された。これらの多くは、遮音性の向上が主たる課題であったようで、遮音性の向上を謳った広告が目立った。

④引戸式の改良

製品化されてから1970年代まで、引戸式のパネルには主に木材が用いられていた。しかし、高い遮音性能を確保しにくいといった問題があった。当時から可動間仕切の分野はヨーロッパが進んでおり、㈱岡村製作所は西ドイツのプラナコードGmbH社(現:ドルマヒュッペ社)と1974(S49)年に技術援助契約を締結した。これにより、同社は1975(S50)年に国内初のスチール製引戸式の『フェローウォール90』を発売した。裏打ち材には遮音ゴムを、充填材にグラスウールを用いていた。

また、以前から大型の引戸式には電動駆動を用いた製品に対する需要があったようであり、1978(S53)年に中央大学に納入されて以降、ホテル・宴会場・ホールなどに採用された。

⑤安定期

兵庫県南部地震が1995(H07)年に発生したが、引戸式がレールから落ちるといった関連する被害は目立たなかった。これは、引戸式はパネルが揺れることも考慮されて開発されていることが理由として考えられる。耐震補強や耐震製品の開発に着手した企業もあったようであるが、耐震製品として売り出した広告などは見当たらなかった。また、一般的な仕様の製品の広告もほとんど見られず、製品の改良もあまりなかったと考えられる。

この頃の開閉式可動間仕切は引戸式以外ほとんど見られず、一部の企業は伸縮式・折戸式を販売していたが、オフィスなどではあまり採用されていなかった。一方で、住宅用では伸縮式・折戸式のどちらも使われていた。

⑥高遮音製品の登場

大スパンを持ったビルの建設や製品の取替え時期と重なったこともあってか、2000年代に入ると、高遮音製品が発売されるようになった。㈱イトーキから2000(H12)年に発売された『アルデゴ』は、主要部材にアルミを用い、パネルにはアルミ制振板を使用することで、パネルを軽量にしながら遮音性能を高めた。アルミ制振板は新幹線の外面に用いられているものを参考に、同社がアルミメーカーと開発をしていた。

また、同時期には、㈱岡村製作所から『ダイナウォール』が発売された。これは裏打材の石膏ボードを二重に使用し(片面に2枚ずつの計4枚使用)、通常の引戸式を二重に用いた場合と同等の遮音性能を持っていた。パネル厚は145mmと通常の80～100mmと比べて非常に厚いが、従来のようにパネルを二列に配置する必要がなかったために、コストの削減とスペースの確保につながった。納入先にはホテルの宴会場やホールなどがあった。

▲図－6
開閉式ガラスパーティションの一例　㈱イトーキ

⑦ガラスパーティションの登場

2000(H12)年以降、開閉式可動間仕切においてもガラスを用いた製品への要望が生じ、当初は輸入品で対応していた。2000年代半ばには、固定式ガラスパーティションの普及を受け要望が高まり、国内のオフィス家具メーカーも開閉式ガラスパーティショ

ンの製造・販売を始めた(**図－６**)。しかし、開閉式ガラスパーティションの納入自体はあまり多くないようで、自社で開閉式ガラスパーティションを販売しているメーカーでも、引き続き輸入品を販売している場合もある。

４．上吊りドアの変遷

①引戸式の登場と普及

病室において、ベッドの出し入れができるだけの広い開口、小さな力で開閉が可能であること、手が使えなくても開閉が可能であること、などの機能が要求され、1970年代半ばには病室の出入り口に引戸式上吊りドアが採用されていた。当時から、ベッド・医療機器の搬入時の安全性を考慮し床にレールはなく、自閉装置と終端でドアを止めるエンドストップ機能は付けられていた。

その後、1980(S55)年頃から病院が多く建設されたこともあり、引戸式が病室で主流となった。ビル建築のエントランスに用いられた引戸式自動ドアの他に、引戸を使用していた例はほとんど発見できず、住宅・病院以外で引戸はほとんど使用されていなかったことが推測できる。

②自閉装置の搭載

引戸式用のクローザーは1970年代にはすでに開発されていた。当初は病院向け引戸式にクローザーが開発されたようであるが、磁石の反発による開閉機構であったために、病院では医療機器への影響を懸念され導入には至らなかった。

しかし、引戸式上吊りドアは製品化された当初から自閉装置を搭載し床レールもなかったようだ。1979(S54)年に㈱くろがね工作所から発売されたボールベアリング式精密スライドレールを用い自閉機能を持った『アキュドアユニット』など、引戸式上吊り戸は他の機構のドアと異なり、吊り元側の工夫で自閉装置を持たせることが可能であったためである。

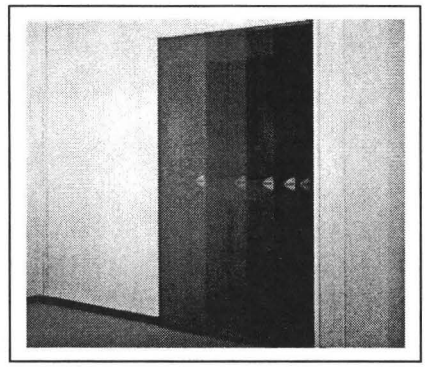
③開閉機構の改良

レールの改良が進み、1980年代に入ると開扉の容易な機構持った製品が登場し始めた。その一例として、1980(S55)年に駆動部にボールサスペンションを採用し開閉の軽量化を図った『ハンガードアユニットFHD』がオフィス家具メーカーのイトーキ㈱から発売された。同年には、日本ドアーチェック製造㈱から『スライドチェック』が発売され、病院でもクローザーが使用されるようになった。これはドアを全開後、一定時間経つと自動的に閉まるディレードアクションを採用していた。

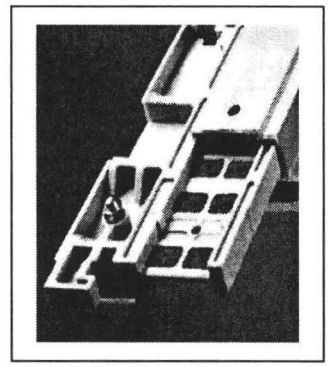
④屋内用自動ドアとアシストドアの登場

店舗などに用いられる屋外用の上吊り自動ドアは1960年代にすでに製品化されていたが、屋内で上吊り自動ドアが使われ始めたのは1980年代後半であった。1988(S63)年に間仕切メーカーの㈱コマツパーティションから発売された『タッチ・ドア・TD』(**図－７**)は、扉内に小型モーターを内蔵し光電スイッチによるタッチ方式で開閉を行うものであった。

また、リニアモーターを引戸式上吊りドアに採用した『リニアード』（**図－８**）が1991(H03)年に㈱岡村製作所とトヨタ車体㈱によって共同開発された。これは、アシストドアの機能を向上させたドアとして、我が国で始めて室内ドアにリニアモーターを採用した製品となった。走行音が非常に小さく、動力部が扉と非接触であったため、それまで自動ドアの弱点とされていた停電時も小さな力で開閉が可能であった。



▲図－７
扉内に小型モーターを内蔵した製品
㈱コマツパーティション

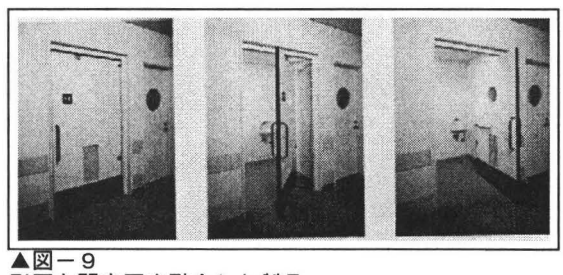


▲図－８
上吊りドアに採用されたリニアモーター　㈱岡村製作所

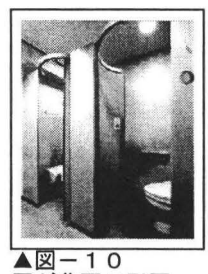
⑤UD（ユニバーサルデザイン）製品の開発

我が国は1994(H06)年に高齢社会を迎えたこともあり、1990年代後半になると高齢者施設が建設されるようになったことに対応して、1990年代後半頃からは上吊りドアの開閉機構を工夫した注目したUD製品がこの頃多く開発された。

その例として、1996(H08)年に小松ウオール工業㈱から発売された車椅子利用者でも開閉しやすい機構を持った『LS ドアー カムフォート』（**図－９**）や、1997(H10)年頃に㈱岡村製作所から発売された戸が曲面でレールが円弧状のレールを採用したトイレブース用ドア『ウェイブレット』（**図－１０**）などが挙げられる。『LS ドアー カムフォート』は引戸と開き戸を融合した製品ある。戸は開き戸のように回転し吊り元は引き戸のように水平移動をするため、戸の引き込みスペースがなくても広い開口も取れる。『ウェイブレット』は、ユーザーからトイレブース用ドアは開閉がしにくいという要望から製品化につながった。新たな機構にすることで、設置と開閉に必要なスペースが従来の開き戸よりも狭くすむというメリットもあり、和式便器から洋式便器にリニューアルする際にも適していた。

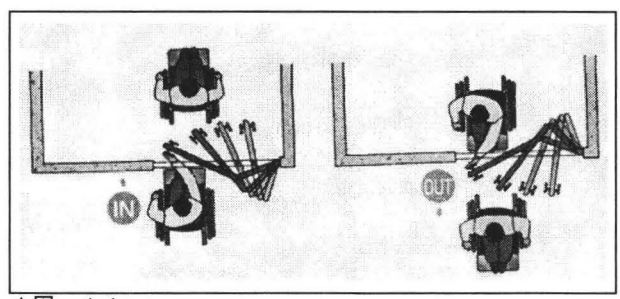


▲図－９
引戸と開き戸を融合した製品
小松ウオール工業㈱



▲図－１０
戸が曲面の引戸
㈱岡村製作所

また、同年に日本ファイリング建材㈱から発売された『マルチオリド』（**図－１１**）は、戸当りがなく両方向から押すことで開閉が可能なため、車椅子利用者など引く動作が困難な人でも開閉を容易にした。この製品は、これまであまり用いられなかった折戸式を採用したこともあり、当時は設計



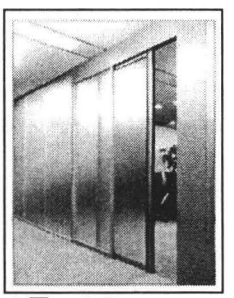
▲図－１１
両方向に開くことができる製品　日本ファイリング建材㈱

事務所などからも注目を浴びたが、他のメーカーが同様の機構の製品を発売し始めたのはこのときから10年近く経ってからであった。

これまで、引戸は主に医療施設等に採用されていたが、1990年代後半になるとオフィスなどでも引戸が使われるようになった。1997(H09)年に『リニアード UD』が㈱岡村製作所から発売された。これは1991(H03)年に同社から発売された『リニアード』の仕様を病室・療養室向けに限定し価格を抑えたものであった。しかし、病室・療養室のみならずオフィスでも採用が進み、全国で2500セットの受注があった。

⑥UD製品の普及

リニアモーターを用いたアシストドアは㈱岡村製作所のみが製造していた。しかし、医療施設だけでなく住宅やオフィスなど他の用途も含めニーズが高まったことから、トヨタ車体㈱が他のメーカーにもエンジンを販売するようになった2002(H14)年以降、リニアモーターを採用したアシストドアの発売を他のメーカーも開始した。その一例として、2004(H16)年に㈱イトーキから発売された『アシスタッドドア』(**図－１２**)などがある。



▲図－１２
リニアモーターを採用した製品の一例
㈱イトーキ

開閉機構の工夫は2000年代に入ってから続けられ、2003(H15)年には引戸式と折戸式を融合した『LS ドアー グライド』が小松ウォール㈱から発売された。これは引戸のように戸を水平に動かすが、戸は折戸のように折り畳むため、開閉が容易で引き込みスペースが不要であった。

またこの頃、フリーストッパーの性能が向上し戸がしっかりと静止するようになった。当時から、すでに医療施設用に力を入れていたコマニー㈱は、2004(H16)年に車椅子利用者などと実際に検証を行いフリーストッパーの効果が実証できたため、フリーストッパーを本格的にアピールするようになった。これまで製品化されてきたUD製品は、2003(H15)年4月にハートビル法が制定されたことを背景に、導入が一層進む傾向にある。

⑦近年の動向

近年は、医療施設以外の用途においても引戸を採用するケースが増えている。その主な要因として、省スペース化、喫煙室の設置の増加、公共トイレのUD化などが挙げられる。荷物を抱えたままでも開閉が容易なドアの需要もあり、オフィス家具メーカーの㈱イトーキも医療施設で多く用いられている引戸式と折戸式を合わせた形状の『ユーポルタ』を2006(H18)年に発売した。

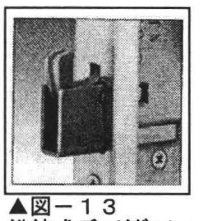
５．集合住宅用玄関ドアの変遷

①鋼製ドアの普及

1938(S13)年頃に片面フラッシュドアが製造され、公団の集合住宅等に普及した。1960年代後半には従来の製造方法より低コストの化粧鋼板が開発された。従来のフラッシュ戸よりも豊富なデザインに対応できたため、化粧鋼板は1980年代半ばには分譲住宅玄関ドアの主流となった。

②高付加価値製品の登場

防火戸の規定が1990(H02)年に緩和され、鋼製以外の製品も防火認定の対象となった。木質系防火戸で初めて甲・乙種防火戸認定試験に合格した製品は、三和シヤッター工業㈱が1991(H03)年頃に発売した『セラミドール』と言われているが、木質戸のニーズは以前から高く、メーカー各社から木製のものも含め様々な木質系防火戸が発売された。1990年代後半には、高齢者施設の増加に対応して、玄関用引戸式上吊りドアが開発された。



▲図－１３
鎌錠式デッドボルト

治安の悪化に対して、建物の防犯性能への取り組みが不充分であったことから、2002(H14)年に官民合同会議が設置され、2003(H15)年には「防犯性能の高い建物部品目録」が定められた。これ以降、ダブルロックと鎌錠式デッドボルト(**図－１３**)が標準仕様となった。

③近年の動向

構造に大きな変化はないが、換気機能を付加した単身者用向け製品や、スタイリッシュなデザインの女性専用向け製品など、用途に合わせた開発がされている。一方で、デザイン全体の傾向としては構成の簡素化が指摘できる。

また、2007(H19)年６月の改正建築基準法制定により、耐火性能の個別審査が始まった。従来は類似品であれば審査の必要がなかったが、今回の改正に伴う個別審査化の影響で、シリーズの統廃合をするメーカーも見られる。

■まとめ

調査結果をまとめ、対象部品の変遷の概要を**図－１４**に示す。可動間仕切には開放感が要求されるようになったほか、オフィスの使い方の変化に伴って新たな機能が提案されている。上吊りドアは医療施設等向けに1990年代後半からUD化が進み、戸とレールの形状も変化してきた。集合住宅用玄関ドアは法規の改正に合わせて改良される傾向にある。

図－１４　非住宅用可動間仕切･ドアの変遷の概要

景観計画における形態規制とこれに対応する建材の供給体制の実態調査

千葉大学大学院園芸学研究科

准教授　秋田　典子

1　本研究の背景と目的

（1）研究の背景

2004年12月に景観に関する総合的な法律として景観法が制定されてから約５年が経過し、現在、多くの自治体が景観法に基づく景観条例及び景観計画の策定に取り組んでいる。

景観法では、法第8条第2項第二号の「良好な景観の形成に関する方針」及び同第三号の「行為の制限に関する事項」に基づく規制内容を定めた法第8条第3項第二号の「規制又は措置の基準」にて、自治体が独自に建築物や工作物の形態等の基準を定めることが可能になっている。このうち後者の「規制又は措置の基準」は、特定届出対象行為（自治体が特に景観のコントロールが必要であるとして条例で定めた一定規模以上の開発等）の変更命令の根拠にもなっており、建築行為を行う主体にはその遵守が求められている。

景観法に基づき自治体が独自に策定した景観計画における形態規制の内容には、高さや壁面後退等の従来の建築基準法や都市計画法に基づく規制だけでなく、建築物や工作物（エクステリア）に使用する色彩や素材、意匠等も含まれている。したがって景観計画の内容は、直接的には建築主の建材の選択に、間接的には建材マーケットの動向にも影響を及ぼす。

しかし現時点では、全国の自治体が景観計画にどのような形態規制を定めているか、十分に把握されていない。また、景観計画には「落ち着いた色調」「出来るだけ自然素材を使用」「地場産の材料使用」等の抽象的な表現が使用されているものも多く、こうした規定がどのように運用されているかも明らかになっていない。一方で、近年の景観計画に基づく形態規制に対し、建材の供給側がどのような生産体制で対応すべきか、あるいは形態規制に十分対応できるか等については、これまで検討されないまま現在に至っている。

（2）研究の目的と方法

本研究は、景観計画に基づく自治体独自の形態規制の実態と、これに対応するための建材の供給体制及び規制への対応に係る課題を明らかにし、形態規制と建材供給のあり方についての提言を行うことを目的としている。

そこで、第一に、全国の景観計画における形態規制の概要の把握及び類型化を行う。ここでは、景観計画の形態規制に定められている色彩や素材、形態等の内容を把握し類型化し、特に建材に関係の深い規制内容の特性を分析する。

第二に、景観計画に基づく形態規制に対応するための建材の供給体制及び課題の抽出を行う。ここでは、既に景観計画の運用実績のある自治体における適用事例の調査を実施し、同事例に使用された建材の生産側の供給体制、規制への対応状況の分析を行う。

以上を踏まえて現行の景観計画の課題及び供給側の対応の可能性について考察する。

2　全国レベルの景観計画の策定動向

（1）各自治体における景観計画及び景観条例の策定動向

景観計画を策定する主体となる景観行政団体の数は、平成 20 年 12 月 1 日時点において全国で 47 都道府県、17 政令指定都市、39 中核市、269 市町村の 372 の地方公共団体である（国土交通省発表）。都道府県、政令指定都市、中核市は景観法の施行と同時に自動的に景観行政団体となるが、それ以外の 269 の市町村は自ら積極的に景観行政団体となる意思表示をし、知事のとの協議、同意を経て景観行政団体となっている。このため、これらの景観行政団体は積極的に景観計画の策定に取り組む意思を明確に持つ自治体であると言える。

都道府県別の傾向を見ると、自動的に景観行政団体になる地方公共団体以外の景観行政団体の数が 10 以上の地域は、埼玉県（11）、神奈川県(16)、山梨県(12)、岐阜県(10)、静岡県(10)、愛媛県(17)、鹿児島県(16)であり、比較的豊かな自然環境を有する自治体や、神奈川県や静岡県のように県が積極的に自治体が景観行政団体になるよう働きかけている場合が多い。これに対し、政令市・中核市以外の景観行政団体が 1 つもないのが秋田県であった。

一方、景観計画の策定状況は、平成 20 年 12 月 1 日時点において全国で 138 団体である（国土交通省発表）。すなわち現在 372 ある景観行政団体のうち約半数が景観計画を策定済みであり、約半数が策定中であると言える。景観計画の策定数の最も多い都道府県は神奈川県であり、通常は 3 から 5 の自治体で景観計画が策定されているのに対し、神奈川県内では 13 の自治体で景観計が既に策定、運用されている。

（2）国による景観計画策定の誘導

景観法の運用を担当している国土交通省都市・地域整備局公園緑地・景観課景観・歴史文化環境整備室の平成 21 年 6 月の報告によると、景観計画に基づき取り組みを進める地域の数は、平成 21 年 3 月に閣議決定された社会資本整備重点計画において、「良好な景観・自然環境の形成等による生活空間の改善」に関わるものとして、平成 19 年度に 92 地域であったものを、目標年次である平成 24 年に 500 地域に増加させることが目標値として示されている。現在、自治体の合併等が進み全国の自治体数が 1000 程度になっていることから、約半数の自治体で景観計画を策定することが目指されていると言える。これは、国土交通省が平成 20 年 4 月に全国の地方公共団体に対して実施した調査において、472 団体が今後 5 年程度以内に景観計画を策定する意向があると回答したことを踏まえての目標値であり、実態をある程度反映していると思われる。

3　景観計画の分析

（1）全国的な景観計画の策定状況

全国的な景観計画の内容の動向については、財団法人都市づくりパブリックデザインセンターが主催した平成 21 年度都市づくりと景観行政講習会における国土交通省の報告が詳しい。以下では、同セミナー配布資料等をもとに分析を行う。

国土交通省の調査結果によると、平成 20 年 6 月時点で策定済みの 123 の景観計画のうち、全国の景観計画の対象区域として行政区域全域を対象としている自治体が全体の 9 割あり、一部のみを対象としているのは 11 団体であった。また、景観法には重点区域等の定めはないが、独自に重点区域を指定している自治体が 8 割以上あった。

景観法では、届出対象行為は自治体が条例で追加選択や適用除外をすることが可能である。また、このうち必須届出対象行為については、届出をしない場合に 30 万円以下の罰金が科せられる。

実際の景観計画においては、景観計画を策定しているほぼ全ての自治体で必須届出対象行為に指定されている建築物の建築等と工作物の建設等が届出対象行為に位置付けられている。また、開発行為についても約 7 割の自治体が届出対象行為に位置付けている。一方、選択可能な届出対象行為のうち最も多く採用されているのが、土地の開墾等と屋外における土石等の堆積、木竹の植栽等であり、それぞれ 60 から 70 件程度であった。さんごの採取と火入れについては採用が見られない。

景観法では、各届出対象行為ごとに行為の制限（景観形成基準）を定めることになっている。景観形成基準を超えると勧告をすることが出来る仕組みになっており、景観形成基準は 4 種類から選択することができる。このうち法第 16 条 1 項の届出を要する行為ごとの良好な景観の形成のための制限については、景観計画の対象区域で述べたように、重点区域等の区域を設定して区域ごとに定めることも、行為の規模や類型ごとに定めることも可能になっている。

実際の景観計画においては、ほぼ全ての自治体が建築物・工作物の形態意匠の制限のうち色彩の制限を採用しており、約 8 割の自治体が形態の制限を採用している。また、高さの最高限度や壁面位置について制限しているのは、4 割程度であった。一方、建築物の建築や工作物の建設等においてその他の制限を行っているのが半数近くあった。

特定届出対象行為に指定された場合、建築物又は工作物の形態又は色彩その他の意匠の制限に対し、設計変更命令の基準を定め、色彩やデザインの基準に違反した届出があった場合には変更命令が出される。変更命令に従わなかった場合、50 万円以下の罰金（法第 101 条）あるいは原状回復命令（法第 17 条第 5 項）、原状回復命令に従わなかった場合は一年以下の懲役（法第 100 条）又は 50 万円以下の罰金（法第 100 条）が定められている。

実際の景観計画の中では、特定届出対象行為を全域に設定しているものが 8 割程度あり、重点区域のみを特定届出対象行為としているのはわずかに 3%程度であった。また、特定届出行為の設定をしていないものが 2 割程度あった。

この結果から、大部分の自治体が景観法に基づく届出を行う行為について変更命令まで可能な特定届出対象行為に位置付けており、担保性を強く指向していることがわかる。

（2）景観計画の類型化

①景観計画における形態意匠規制

景観計画の中でも形態意匠の規制に関わるのは、法第8条第2項第二号の「良好な景観の形成に関する方針」及び同三号の「行為の制限に関する事項」に基づく規制内容を定めた法第8条第3項第二号の「規制又は措置の基準」である。

本研究では、このような形態意匠に関する規制内容（以下、景観形成基準という）について、どのようなタイプのものがあるのか類型化するために、景観計画の策定自治体数が最も多く、市街地と自然環境の双方を有する神奈川県内の自治体を対象として分析を行った。この際、自治体は景観計画の策定において先進事例を参照することが多いため、神奈川県の中でも特に景観計画の策定時期が早かった、①小田原市（平成17年12月16日日策定）、②秦野市（平成18年4月1日策定）、③真鶴町（平成18年5月1日策定）、④横須賀市（平成18年6月26日策定）、⑤逗子市（平成18年6月30日策定）の5自治体の景観計画を抽出した。

②行為の制限に関する事項における規制内容の分析結果

分析の結果を表1に示す。5自治体の景観計画における行為の制限に関する事項は、真鶴町のように詳細に形態意匠や材料に関する基準について記述しているものがある一方で、全く意匠についての記述がなく、色彩に関する基準のみをマンセル値を詳細に定めているケースが見られた。以上のことから、景観計画のタイプは、規制の対象と規制の具体性という2軸で整理できることが分かった。図6に景観計画のタイプを示す。

抽象的な基準で形態等を含めて総合的な形態コントロールを実現しようとしているのが真鶴町、秦野市であり、具体的な基準で総合的な形態コントロールを実現しようとしているのが小田原市である。また、具体的な基準で単一目的を達成しようとしているのが逗子市、横須賀市であった。抽象的な基準で単一目的を達成しようとするものはなかった。

図では、景観計画のタイプについて、「目標水準指向型」「最低基準確保型」「単一目的達成型」の3つのタイプに区分した。景観計画は概ねこの3つのタイプに整理できると考えられる。

表3．神奈川県内の自治体の景観計画における形態規制

景観計画の名称	小田原市 景観計画	ふるさと秦野 生活美観計画	真鶴町 景観計画	横須賀市 景観計画	逗子市 景観計画
形態意匠		目立たない／落着いた／解放感・ゆとり／一体感／勾配屋根／壁の凹凸や雁行／スカイラインに配慮	陸屋根を避け傾斜屋根・折り重なる／柔らかいつながり／装飾／住の太さ／南面の設計／意匠を施した窓		
色彩	色相・彩度（マンセル値）／木材・土壁・ガラス等の材料色は可／屋根の無釉の和瓦・銅板・草葺きは可	色彩の調和／極端に明度の高いもの・低いもの／明度・採度（マンセル値）	原色を避ける／落ち着いた暖かい色彩／周辺環境との調和	色相・彩度・明度（マンセル値）	色相・彩度・明度（マンセル値）
材料		自然素材	自然な材料／小松石／木材		
設備・外構	植栽／化粧型枠／構造物の修景／設備の修景／日よけテントの一体化	連続性に配慮した植栽／設備の修景／夜間照明	よう壁は小松石積み		

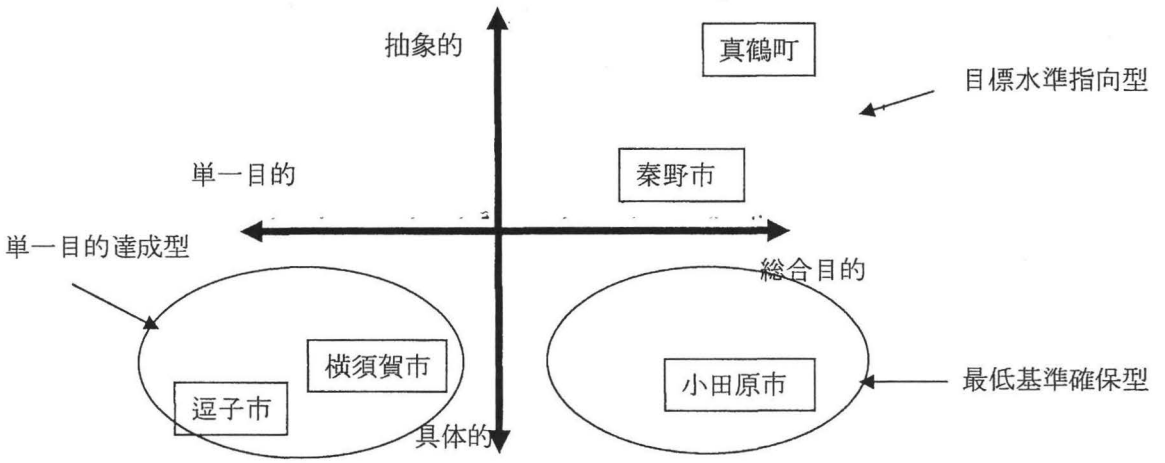


図６　景観計画に基づく規制のタイプ

４．詳細な形態規制を有する景観計画

（１）重要文化的景観を含む景観計画における形態意匠規制の内容

重要文化的景観は文化財であることから、伝統的建造物と同様に建築の形態意匠や材料に関する規定が詳細に定められていると考えられる。そこで本調査では、9 件の重要文化的景観を含む自治体の景観計画のうち、入手できた４つの景観計画について分析を行った。

この結果、重要文化的景観に関わる形態意匠制限については、一般的な景観計画における形態意匠制限と大きく異なるものはないことが明らかになった。ただし形態意匠については和風や木造建築と明示しているものが多い。一方、色彩については一般的な景観計画ではマンセル値により数値基準を定めているケースが多いのに対し、重要文化的景観においては全てのケースで周囲との調和という抽象的な表現が全て使用されていた。これは、地域の伝統的な建築物等の色彩や自然環境の中でこれに調和した建築物の色彩については、マンセル値等で客観的に評価できるものではないと認識されたためだと考えられる。

（２）京都市の景観計画

京都市の景観計画の対象区域は、市全域ではなく特に良好な景観の形成のために建築その他の行為の制限を実施する区域約 44,916ha（市域の約 54%）を景観計画区域としている。

京都市では、既に都市計画法等の法律を通じて様々な規制制度が適用されていた。したがって、景観計画においては、このような従前の規制制度との対応を計画にし、これに基づきゾーニングを行ってゾーンごとのデザイン基準を定めている。

京都市では市中心部の大部分が景観規制の対象になっている。景観規制は市内をいくつかのゾーンに区分するゾーニングによって実施されている。この中でも特に規制が厳しいのが美観地区であるが、美観地区には市の中心部が殆ど含まれており、商業活動等にも大きな影

響を及ぼす。また、景観規制は、形態規制に加え眺望景観等に関する規制も行われている。眺望に関わる規制は極めて範囲が広く、市民や事業者は開発時にならないと当該敷地にどのような規制がかかっているのか把握することが困難な状況にある。

京都市景観計画における良好な景観の形成に資する建築物の形態意匠の制限は、共通基準と地区別の基準の２本立てとなっている。共通基準は表１に示すとおりである。また、地区別基準の例として、比較的範囲の大きい町並み型建造物修景地区の規制内容を表７に示す。

表６．共通基準

項目	規制内容
屋根の色彩	日本瓦及び平板瓦は原則としていぶし銀とすること 銅板は素材色又は緑青色とすること 銅板以外の金属板及びその他の屋根材は、原則として光沢のない濃い灰色、光沢のない黒及び光沢のない濃い茶色とすること
塔屋等の高さ	３m以下
塔屋等の位置、規模及び形態意匠	建築物の本体と均整がとれたもの
建築物の外壁	傾斜した壁（柱）としないこと。ただし、良好な市街地の景観形成に資する形態意匠を有するものについてはこの限りではない
主要な外壁に使用する材料	光沢のないもの（ガラス及び自然素材を除く）
主要は外壁の色彩	禁止色を明示、彩度を低く保つような制限。ただし着色を施していない自然素材は除く。
屋上に設ける建築設備	ルーバー等で適切に修景し、建築物の本体と調和したものとするよう配慮
空地	公共の用に供する空地に面して駐車場等の開放された空地を設ける場合は、周囲の景観に調和した門、塀又は生垣等を設け、町並みの連続性に配慮
駐車場	自走式の駐車場や駐輪場等を設ける場合は、門、塀又は生垣等を設け、町並みの連続性に配慮

表７　町並み型建造物修景地区の規制内容

区分	対象	規制内容
低層建築物	屋根	勾配屋根又は屋上のパラペットの形状等により、勾配屋根に類似する工夫を施すなど、良好な屋上の景観に配慮
	屋根材等	地域特性を踏まえた良好な屋上の景観に配慮
	外壁等	道路からの十分な後退、又は壁面の分節等により、周辺への圧迫感の低減を図るように配慮
	屋根以外の色彩	市街地の町並みに調和する色彩
中高層建築物	屋根	勾配屋根又は屋上のパラペットの形状が勾配をもつ屋根形状のように頂部がまとめられることなどにより良好な屋上の景観形成に配慮
	屋根材等	地域特性を踏まえた良好な屋上の景観に配慮
	外壁等	壁面の分節等により、周辺への圧迫感の低減を図るように配慮
	屋根以外の色彩	市街地の町並みに調和する色彩

５　形態規制に関するケーススタディ１　京都市における景観規制に対する合意形成

（１）景観整備機構としての京都市・景観まちづくりセンターの取り組み

京都市は、前述のとおり厳しいデザイン基準を定めている。このため、デザイン基準に対する住民や事業者の合意形成を進めるための様々な取り組みが行われている。そのうちの１

つが、京都市景観・まちづくりセンターによる住民との協働の景観まちづくりである。

京都市景観・まちづくりセンターは、平成3年11月に京都市まちづくり審議会から住民による自主的なまちづくり活動を支援する第三者機関の設立について提言を受けたことを契機とし、その後の検討を経て、平成9年10月に設立された組織である。

同センターは、平成17年5月に全国に先駆けて景観法に基づく景観整備機構の指定を受けた。景観整備機構に指定される組織の多くは、景観整備機構としてスタートしたのではなく、既に景観やまちづくりに関する活動に取り組んできた組織である。同センターも、景観整備機構に指定される前に約9年間、独自のまちづくり支援活動等に取組んできた。したがって、景観整備機構となっても基本的な活動内容に変化はなく、これまでの活動を継続している。これは、京都市景観・まちづくりセンターが、景観法の検討時に景観整備機構のモデルとして想定されていたためでもある。

ただし、景観整備機構の指定を受けて大きく変化した点が、「京町家まちづくりファンド」を創設し、ファンドを原資として京都の伝統的なまちなみのベースとなる京町家の改修に対する助成事業を開始したことである。京町家まちづくりファンドは、一般からの寄付・民間都市機構（民都）・京都市からの補助がそれぞれ約3分の1ずつの割合で、全体で1億5千万円の基金からスタートしている。

京町家まちづくりファンドによる「京町家改修モデル事業」では、京町家の維持・改修のための費用として、工事費の2分の1あるいは上限500万円が助成される。平成18年度、19年度はモデル事業実施期間となっており、景観形成、文化発信、地域まちづくりの視点で、リーディングケースとなるモデル物件を選定し、18年度は7件、19年度は13件に対して助成事業を実施した。平成20年度は18件の応募があり、10件選定した。

図7　まちづくりファンドにより修景されたエアコン室外機

平成20年度のファンドによる助成予定額は、総額で約2000万円である。これだけでは京都市内のごく限られた建物しか対象にできないため、同センターでは基金の充実を図るために、「京町家まちづくりファンド支援自動販売機」として、自動販売機の売上金から一定の割合の金額をファンドに自動的に寄附される仕組みを導入したり、バナナに京町家まちづくりファンドの支援シールを貼り自動販売機と同様に売上金から一定の割合の金額をファンドに寄附する仕組み等を検討している。更に平成20年11月にはニューヨークにて京町家のシンポジウムを開催し、歴史的建造物保存の国際的なネットワークの形成や京町家まちづくりファンドの認知度の向上、寄付拡大に向けたアピールを行い、京町家の維持・再生に向けた取り組みを積極的に行っている。

（2）明倫学区における景観・まちづくりの取り組みとセンターのよる支援

「明倫学区」は、「田の字地区」と呼ばれる京都市都心部の北西に位置し、祇園祭の山鉾が集中する歴史的・伝統的な地区である。京都市が平成10年に策定した「都心再生まちづくりプラン」では、職住共存地区のモデルにもなっており、都心部に位置するにも関わらず、地域の努力により京町家が比較的多く残されてきた地区である。

明倫学区の人口は、平成2年頃まで減少の一途をたどっていたが、平成7年以後、共同住

宅の居住者等の増加により急激に増加している。一方で、地域の産業である和装産業等の低迷、担い手の減少・高齢化等を背景に地域の活力が低下し、祇園祭や地域行事の維持等にも影響を生じさせているとともに、学区民としての一体感やコミュニティ意識が薄れるなど、まちづくりの担い手づくりが課題となっていた。

そのような状況の中、京都市景観・まちづくりセンターは、地域の共有空間を新旧住民の双方が相互に活用する中で、新住民のまちづくりへの参加を促そうという観点から、地域住民や京都市とともに、祇園祭の町会所や共同住宅の共用空間を対象に、新旧世代が集い交流する場の形成を展望した調査を実施した。

景観面では、まちづくりのしつらえ調査として、「ハレの日のしつらえ」や「宵山、巡業時のしつらえ」「祇園祭の夜店」等を３者により詳細に調査した。また、京町家の外観に露出しているエアコンの室外機に木製のカバーを取り付けて京都らしい景観とする取組みを、地域が主体となり学区全体に呼びかけた結果、明倫学区内の 14 軒の京町家で工事が実施された。ある町内会では木製のエアコン室外機のカバーの設置が町内挙げての取組みとなり、京町家の連坦するまちなみのお化粧直しが住民の発意で行われた。こうした取り組みからは都心部での地域住民の景観に対する意識の高さが伺われるとともに、景観改善の効果が市民にとっても明確に認識できるものとなった。

（３）修徳学区における地域共生型地区計画の策定による京町家の保全

京都市都心部の伝統的な産業と町家が混在する職住混在地区（いわゆる田の字地区）は、1980 年代後半のバブル期以降、急激な土地利用の変化が生じ、景観の混乱や伝統的な地域コミュニティの弱体化等、様々な課題を抱えるようになる。こうした状況に危機感を抱いた京都市は、1998 年に「都心再生まちづくりプラン」として職住共存地区整備ガイドプランを策定する。協働型地区計画は、職住共存地区固有の仕組みであり、アクションプランの軸となるものとして位置付けられている。まず、第 1 段階として地区計画の方針のみを策定し、地域で方針を共有し合意を形成する。この段階で市は方針のみを都市計画決定する。第 2 段階として概ね 2, 3 年をかけて市の支援を受けながら地元中心で地区計画の方針の実現に向けた取り組みを継続的に実施する。第 3 段階としてこれまでの取り組みをベースに地元主体で建築のルールを地区整備計画に定め、地区整備計画に地権者の合意が得られた時点で改めて都市計画決定を行う。

2008 年 11 月末時点で、京都市内の職住共存地区に指定されている区域内で 3 地区が地区計画の方針に対する都市計画決定を行っており、現在 3 地区は共に「取り組みの継続」段階にある。

協働型地区計画の特徴は、地区計画の方針と整備計画とを切り離し、方針のみを先行して策定・合意形成・都市計画決定し、その後数年かけて地元でまちづくりの機運が醸成されてから整備計画を策定し、再度都市計画決定する点にある。方針に対する地域の合意の確認方法は、アンケートによる 8 割合意であり、地区まちづくり計画とほぼ同じである。ただし、計画の策定主体が地区まちづくり計画の場合は協議会等に明確化されているのに対し、協働型地区計画の場合やや曖昧になっている。また、方針のみで都市計画決定を行うことの法的効果は殆どなく、これに加えて修徳学区以外の地区でも方針の決定後にまちづくり憲章のような任意のルールを策定しており、「まちづくり」と地区計画のずれが見られる。更に任意ル

ールに基づく地元開発協議は現状では制度上の根拠がなく、不安定な運用が避けられない。しかし、協働型地区計画では実質的に地区レベルのまちづくりの大枠を都市計画決定により担保した上で、地元協議によりきめ細かなコントロールを行っている訳であり、地方分権時代の開発コントロールの在り方について重要な示唆を与え得る試みであると考えられる。

6　形態規制に関するケーススタディ２：ハウスメーカーによる形態規制への対応

（１）京都市のデザイン基準への対応

京都市が建築物の形態意匠について詳細な基準を定めたことを受け、ハウスメーカー各社はこれに対応した商品を開発し対応している。

積水ハウスは、屋根や外壁の素材、屋根勾配、外装部材などの和風意匠対応とともに、京都の気候風土や住まい方に配慮して、坪庭や通り土間などのプラン提案を盛り込んだ地域商品「五洛」を2007年度に発表した。制限のある中でも敷地条件を考慮し、主に市街地の美観地区に対応する「洛央モデル」と、主に郊外の風致地区に対応する「洛郊モデル」を開発し、賃貸住宅商品として「京洛舎」を開発している。

一方、大和ハウスは同じく京都市の「新景観政策」に対応した２階建て賃貸住宅として、セジュールウィルモア京都仕様を開発し、2007年度に発表した。和風の外観デザインに日本建築の技法や意匠を取り入れ、「深い軒」や「勾配軒天」「連なる庇」を実現し、屋根には陶器製平瓦を使用するなどのデザインによる集合住宅を開発している。

旭化成ホームズは、京都エリア限定商品として「風洛（ふうら）」を開発し、同社の基本的なデザインである陸屋根ではなく傾斜屋根を採用している。

このような地域独自のブランド開発は、京都市の場合、庇の長さや屋根の勾配等のデザイン基準が明確であるため、これと整合しない部分のみに対応する商品を開発すれば、それ以外は各ハウスメーカーが既に使用していた材料を活用することで、基準に合致した商品とすることが可能であるためだと考えられる。しかし、基準との整合は細かな点まで求められており、ハウスメーカーにおける基準クリア型の工業化住宅の開発は必然の解だと思われる。

（２）真鶴町の「美の基準」への対応可能性の検討

個々の自治体の景観計画に定められた独自の基準に対応するのが最も困難であると考えられるのがハウスメーカーである。ハウスメーカーは材料等が予めいくつかのパターンに決められているので、工務店等と比較して景観規制への柔軟な対応は比較的困難であると考えられる。　ただし、実際に戸建て住宅レベルで景観計画に基づく規制を実施している自治体は限定的である。ここでは、戸建て住宅を留めでの対象とし、抽象的な基準を運用している真鶴町をケーススタディとして、形態規制の方向性について検討した結果、デザインガイドラインの根拠を明確にする必要があること、デザインガイドラインが却って設計側の思考停止をもたらす可能性があること、地形が景観において大きな要素になっていることが確認された。

7　まとめ

以上の研究結果から、景観計画における形態規制とこれに対応する建材の供給体制について、以下のように論点を整理することができる。

①景観計画に基づく自治体独自の規制の一般化

まず、現在、多くの自治体で景観計画が策定されており、今後もその数は増加し、大部分の自治体が景観計画に基づく独自の形態規制を展開すると考えられることである。また、景観計画を通じた形態規制の対象としては、建築物の建築等、工作物の建設等に加え、木竹の伐採や屋外における土石の堆積等も多くの自治体が視野に入れていることが明らかになった。

②形態規制の３類型

自治体の形態規制のパターンは、抽象的な基準で形態等を含めた総合的な景観コントロールを目的とした「目標水準指向型」、具体的な基準で形態等を含めた総合的な景観コントロールを目的とした「最低基準確保型」、具体的な基準で色彩等の特定の景観コントロールを目的とした「単一目的達成型」の３つのタイプに区分できた。また、抽象的な基準で特定の景観コントロールを目的とするものはなかった。

③詳細な形態規制を有する景観計画の特性

重要文化的景観を含む景観計画や京都市のように歴史的な都市においては、詳細な形態規制が定められている。このうち前者については、周辺との調和等と抽象的な基準が多く採用されているのに対し、後者については後述するように極めて詳細なデザイン基準が定められていた。これは京都市において市の中心部が景観地区に指定されており、通常の景観計画では届出のみで良いのに対し、「認定」という手続きを取る必要があるために、具体的な基準が求められたと考えられる。また、具体的な基準のあり方については、現在も議論が行われており「進化するデザイン基準」と位置付けて市民や事業者の合意を図っていた。

④まちづくりと連携した景観形成

厳しい形態規制を実現するためには、地域の合意が不可欠である。京都市では詳細なデザイン基準を適用している市の中心部において、地域共生型地区計画として地区計画の方針のみを定める手続きを行っており、これを契機として住民同士の合意形成を進めている。

⑤ハウスメーカーの形態規制への対応可能性

ハウスメーカーでは京都市のように厳しい規制の自治体においては、予め自社で調達可能な建材のうち、基準に適合するものを組み合わせた新商品を開発していた。新商品と言っても新たに材料を開発するのではなく、既存の材料で基準に適合するものを使用している。このような基準適合型の商品開発は必然の結果であるが、一方でデザイン基準を通じて自治体が実現しようとしている地域との調和や、新たなデザインの創造等には結び付きにくい。今後は、事業者の創造性を促す形態規制の在り方について検討することが必要であると言える。

古新聞紙を原料とする「健康木質ボード」の製造に関する研究

阿南工業高等専門学校

機械工学科　教授　西岡　守

1. はじめに

紙1kgを製造するには、木材1.8kgを必要とし、そこから、パルプを0 9kg製造し、薬品等と合わせて1kgの紙となる。必要となる水の量はパルプ製造に100～200ℓ、パルプから紙への工程で40～130ℓ必要となる。また、エネルギーとして、蒸気5～10kg、電力0.65～1 23kWh、重油0 04～0.08ℓが必要であると言われている。すなわち、紙の製造には多くの木材及びエネルギーが必要となるため、古紙の再利用は重要である。

古新聞紙の再利用手段として、新聞用紙、紙器用板紙、印刷・情報用紙等の用紙として利用されているが、古紙を原料とする木質ボードとしても利用できうると考えられる。現在の古新聞紙の回収率はほぼ90%以上であり、原料として供給が容易であるという利点がある。したがって、大量生産が期待できる。実用的には、コンクリート型枠、建築材料等として多くの用途が考えられる。

2．実験

2．1 ボード材料と作製方法

本研究では、粉末から成型したボード(以下粉末ボード)及び裁断した古新聞紙から成型したボード(以下裁断ボード)の2種類を作製した。材料はボードの原料に1mmメッシュに粉砕した古新聞粉末、又は7cm角に裁断した古新聞紙を使用し、ボード化する際の接着剤として、ケイ酸ナトリウム水溶液を使用した。ボードの作製方法を以下に示す。

① 粉末ボードは、古新聞紙粉末及びケイ酸ナトリウム水溶液、又は水を1対1で混練し、裁断ボードは、裁断した古新聞紙をケイ酸ナトリウム水溶液中に一定時間浸漬した後、原料とした。

② 成型容器の内側に剥離剤及びテフロンシートを用い、材料を充填した。

③ 成型容器をボード作製装置にセットし、所定圧力、所定温度に加圧及び加熱した。

④ 所定の圧力及び温度で10分間保持後、冷却後成型容器からボードを取り出し、乾燥した。

2．2 実験器具・装置

成型容器(70mm×70mm×40mm)を用いた。ボード作製装置は、成型容器、ヒーター、油圧ポンプ、フレームから成り、成型圧力の加熱にはシース形フレキシブルヒーターを使用した。

2．3 ボード作製条件と評価試験

ボードの作製条件は、古新聞紙粉末ボードは、成型圧力を1～5MPa、成型温度を100～200℃とし、裁断ボードでは成型圧力3MPa、成型温度120～140℃とした。また、ボード化の際に接着剤としてケイ酸ナトリウム水溶液を用いると共に比較のため、水のみでのボード作製も行った。ケイ酸ナトリウム水溶液は、2倍希釈及び4倍希釈を用いた。作製したボードの評価試験として、JISに準拠した曲げ強度試験、剥離強さ試験、木ねじ保持力試験、吸水厚さ膨張率試験を行った。

3．結果と考察

3．1 曲げ強さ試験

成型圧力3MPaにおける成型温度の変化による各ボードの曲げ強さを図1に示す。ケイ酸ナトリウ

ムの2倍希釈では、成型温度100～120℃で曲げ強さが高く、約55MPaとなった。140℃以上の成型温度では、曲げ強さは急激に低くなり、成型温度200℃での曲げ強さは約20MPaと最低の値を示した。水のみ及び4倍希釈でボードを成型した場合、成型温度の曲げ強さへの影響はほとんど無く、100～200℃の範囲においてほぼ10MPa前後の値となった。これは、2倍希釈のケイ酸ナトリウム水溶液によるボードの曲げ強さはケイ酸ナトリウム水溶液中のガラス成分の絶対量が多いことから高くなり、成型温度140℃以上の成型温度において曲げ強さが低くなるということを示している。

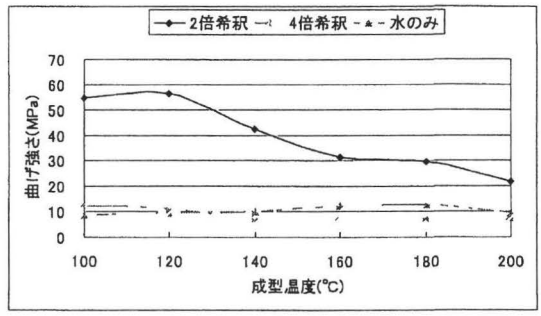


図1 成型温度と曲げ強さの関係
粉末ボード；成型圧力3MPa

図2に成型温度120℃、成型圧力3MPaの条件でケイ酸ナトリウム水溶液2倍希釈、4倍希釈及び水のみを用いて成型した裁断ボード及び粉末ボードの曲げ強さを示す。裁断ボードでは、ボードを作製した際に層状に剥離が発生したことで、粉末ボードに比べ曲げ強さが大きく減少した。これは、ボードの原料を粉末ではなく、裁断した新聞紙にしたことでボードの結合状態が低下したためだと考えられる。また、ケイ酸ナトリウム水溶液を用いると、水のみでの成型よりもボードの曲げ強さの低下が大きくなった。ケイ酸ナトリウム水溶液での成型で曲げ強さの減少が大きい理由として、成型前に裁断した新聞紙をケイ酸ナトリウム水溶液に浸した時に新聞紙を重ねて浸した際、新聞紙に均質に染み込まなかったために十分に固まらず、剥離が発生したためと考えられる。

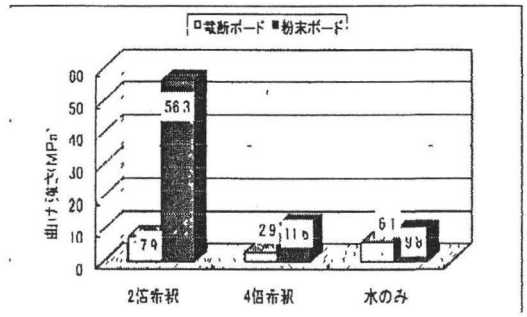


図2 裁断及び粉末ボードの曲げ強さ
成型温度120℃；成型圧力3MPa

図3に裁断ボードの浸水時間によるボードの曲げ強さの違い示す。浸水時間を48時間として成型したボードが1時間浸水して成型したボードよりも曲げ強さが大きい値を示した。48時間浸水したことで1時間浸水したものよりも、ケイ酸ナトリウム水溶液の新聞紙への浸透がより大きくなったためと考えられる。しかしながら、成型温度及び成型圧力が同じ条件の粉末ボードと比較すると、裁断ボードと粉末ボードでは、曲げ強さに大きな違いがある。やはり、ボード化する際には、新聞紙を裁断して成型したボードよりも、粉末から成型したボードは接着力が強く、ボードとして実用的となることが分かった。

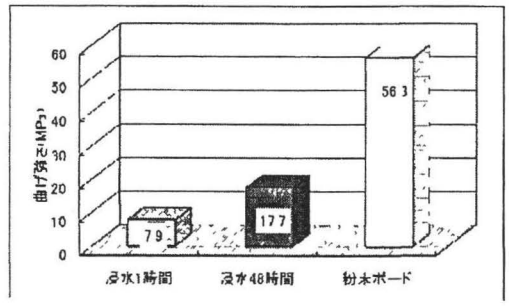


図3 浸水時間による曲げ強さの違い
成型温度120℃；成型圧力3MPa

3．2 剥離強さ試験

成型圧力 3MPa における成型温度の変化による剥離強さの変化を図 4 に示す。剥離強さ試験は、曲げ強さにおいて高い値を示した 2 倍希釈ケイ酸ナトリウム、成型圧力 3MPa を選択した。成型温度 100～180℃においては約 0.65MPa となった。市販されている木質ボードのひとつである素地パーティクルボードの剥離強さは 0.3MPa 以上であるので、本研究で作製したボードは実用的なものであると言える。一方、成型温度 200℃では剥離強さが 0 45MPa に激減した。これは、成型温度が 180℃を超えると、古新聞紙粉末とケイ酸ナトリウムとの接着力が低くなり、剥離強さが低下したと考えられる。

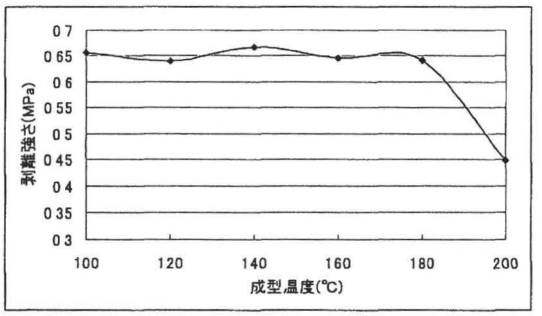


図 4 成型温度と剥離強さの関係
粉末ボード；成型圧力３ＭＰａ

3．3 木ねじ保持力試験

成型圧力 3MPa における成型温度による木ねじ保持力の変化を図 5 に示す。木ねじ保持力試験は、剥離強さ試験と同様の作製条件で行った。成型温度 100～180℃では、木ねじ保持力がほぼ一定で 520N 程度を示した。市販の素地パーティクルボードのＪＩＳ規格が 500N 以上であることから、本研究のボードはこれと同等であると言える。しかし、成型温度が 200℃では 275N に激減し、剥離強さ試験と同様の傾向が見られた。これらの結果から、成型温度 180℃以上になると古新聞紙粉末とケイ酸ナトリウムとの接着力の低下や古新聞紙粉末の炭化による変化等が考えられる。

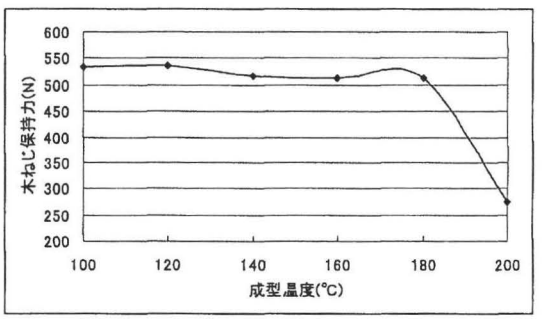


図 5 成型温度と木ねじ保持力の関係
粉末ボード；成型圧力３ＭＰａ

3．4 吸水厚さ膨張率試験

成型圧力 3MPa における成型温度の変化による各ボードの吸水厚さ膨張率を図 6 に示す。水のみ及び 4 倍希釈で成型したボードでは、成型温度の上昇に伴って吸水厚さ膨張率減少の傾向が見られる。2 倍希釈で成型したボードでは、成型温度の影響はあまり見られず、膨張率は 39～26%である。2 倍希釈では、ケイ酸ナトリウムの接着効果によって、紙粒子間の結合が生じ、膨張を妨げたものと考えられる。

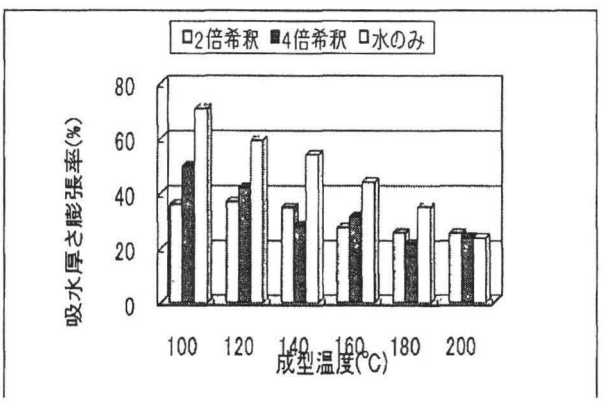


図 6 成型温度と吸水厚さ膨張率の関係
粉末ボード；成型圧力３ＭＰａ

3．5 破断面観察

走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）により曲げ強さ試験後の破断面の写真を図 7 に示す。曲げ強さにおきて低い値を示した(b)、(c) では新聞紙の繊維の結合が比較的進んでおらず空隙も多く見られる。一

方、高い曲げ強さを示した (a)、(d) では、古新聞紙の繊維が強固に結合しておることが分かる。繊維の結合の状態が作製されたボードの曲げ強さを発現していることを表している。

4. おわりに

本研究では、古新聞紙を加熱しながら圧縮成型することによるボード化について検討した。成型圧力、成型温度、接着剤の濃度を変更させ、ボードを作製し、曲げ強さ、剥離強さ、木ねじ保持力、吸水厚さ膨張率等の測定を行った。

曲げ強さ試験の結果では、粉末ボードは、2 倍希釈のケイ酸ナトリウム水溶液を用い、成型圧力 3MPa において成型温度 100℃が 54MPa、成型温度 120℃が 56MPa となった。また、裁断ボードでは、ボードに剥離が発生し粉末ボードに比べると新聞紙の接着の低下によって曲げ強さが低下することが分かった。剥離強さ試験及び木ねじ保持力試験の結果では、100～180℃においては、剥離強さが約 0.65MPa であるが、成型温度が 200℃となると極端に減少する結果となった。この結果から、成型温度が 200℃でボードの表面や内部での古新聞紙粉末が炭化したと考えられる。吸水厚さ試験では、成型温度の上昇により、膨張率は減少する傾向が見られた。成型温度の上昇により、古新聞紙粉末に変化が生じ、ボードが吸水するのを妨げたと考えられた。

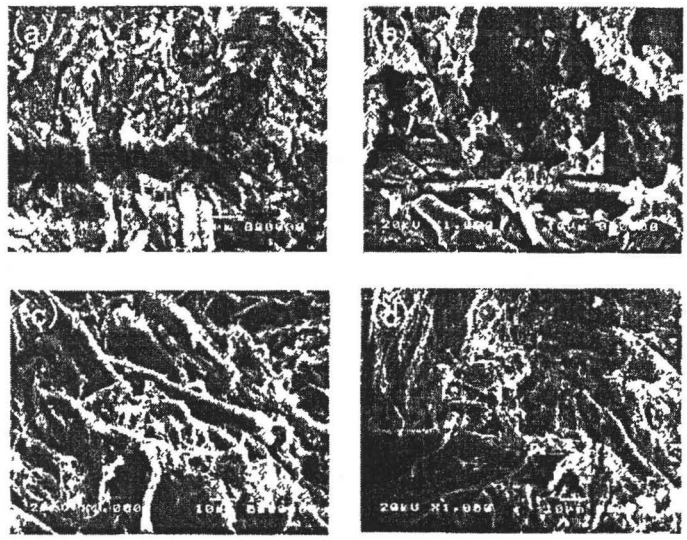


図 7 SEM 写真

(a) 2 倍希釈 1MPa 200℃ (b) 水のみ 1MPa 120℃

(c) 4 倍希釈 1MPa 120℃ (d) 2 倍希釈 1MPa 120℃

古新聞の再利用、再資源化を考え、その一つであるボード化に関して、研究を行ったが、評価試験の結果から、今回の条件で作製したボードは、曲げ強さ試験、剥離強さ試験及び木ねじ保持力試験の結果から、市販の素地パーティクルボードと比較しても同等以上の強度が得られた。吸水厚さ膨張率試験の結果に関しては、市販のボードに比べると 2 倍以上の値を示したため、今後どのようにして膨張率を低下させるかを検討する必要があるが、評価試験全体の結果からは、実用的であるといえる。これらから、古新聞紙のボード化が有用であり、環境問題における廃棄物処理の再利用という点で効果を期待できる。

枠組壁工法住宅解体材の構造材としての再使用に関する基礎的研究

独立行政法人建築研究所　建築生産研究グループ
上席研究員　中島史郎

1．研究の背景と目的

日本国内における木材の年間消費量は約 6500 万 m^3 であり、このうちの約 2300 万 m^3 が建築用として消費されている。一方、年間約 750 万 m^3 の建築解体材と約 350 万 m^3 の新築廃材が建築分野より排出されている。排出される解体材と新築廃材のうち約 300 万 m^3 はパーティクルボードなどの再生ボードの原料またはパルプ原料として使用されているが、残りの約 800 万 m^3 は焼却または熱利用されている。木材は炭素を吸収・蓄積できる数少ない資源である。

近年、バイオマスのエネルギー利用が急速に広がっている。長い年月をかけて木材に吸収された大気中の二酸化炭素は、木材がエネルギー源として利用された瞬間に大気中に戻され、地球温暖化を促進させる。木材が大気中の二酸化炭素を蓄積するという特性は、地球温暖化防止の一助として利用することができる。すなわち、木材をマテリアルとして利用する時間を延ばすことによって、大気中に放出する二酸化炭素の量をコントロールすることができる。

木造建築物の工法の一つである枠組壁工法は規格化された断面の製材を組み合わせた工法である。また、釘接合により各部材を接合しているため、材に欠き込みや切り欠きなどの欠損が生じることが少ない。このため丁寧に手解体を行った枠組壁工法による建物からは、再利用や再使用に適した解体材が得られやすい。本研究では、枠組壁工法の解体材を構造利用するための技術的な知見を整備することを目的として、枠組壁工法解体材の強度等級区分法、強度特性値の誘導方法を検討する上で必要となる材の物性・強度データを収集した。

2．解体材の物性測定

2．1　物性測定の概要

解体材約 2000 本の中から、断面形状が 38×89mm（寸法形式 204）の解体材 600 体を抽出し、以下に示す各項目についての物性を測定または記録した。

①材の寸法の測定

②材の重量の測定

③材の表面含水率の測定

高周波容量式木材含水率計（株式会社ケット科学研究所 HM-520）を用いて、89mm 幅の２材面について各３カ所測定。

④材の縦振動法による弾性係数の測定

小型加速度計および FFT アナライザを用いて、材の縦振動時の固有振動数を測定。

⑤材面の釘穴等の欠点の種類、大きさ、位置の記録

各解体材の６材面の状態が判別できる写真を撮影し、記録。記録した写真を確認しながら６材面について釘穴の位置と数を測定し、記録。解体材を長さ方向に 400mm 間隔で

区切り、６材面にある釘穴の数を計測。

⑥解体材の抽出

抽出した 600 体の解体材の中から引張試験に供する試験体 300 体を選別した。

２．２　物性測定の結果

引張試験用に抽出した 300 体の解体材の各特性値は概ね表１のとおりであった。また、各物性値の分布は図１に示すとおりであった。

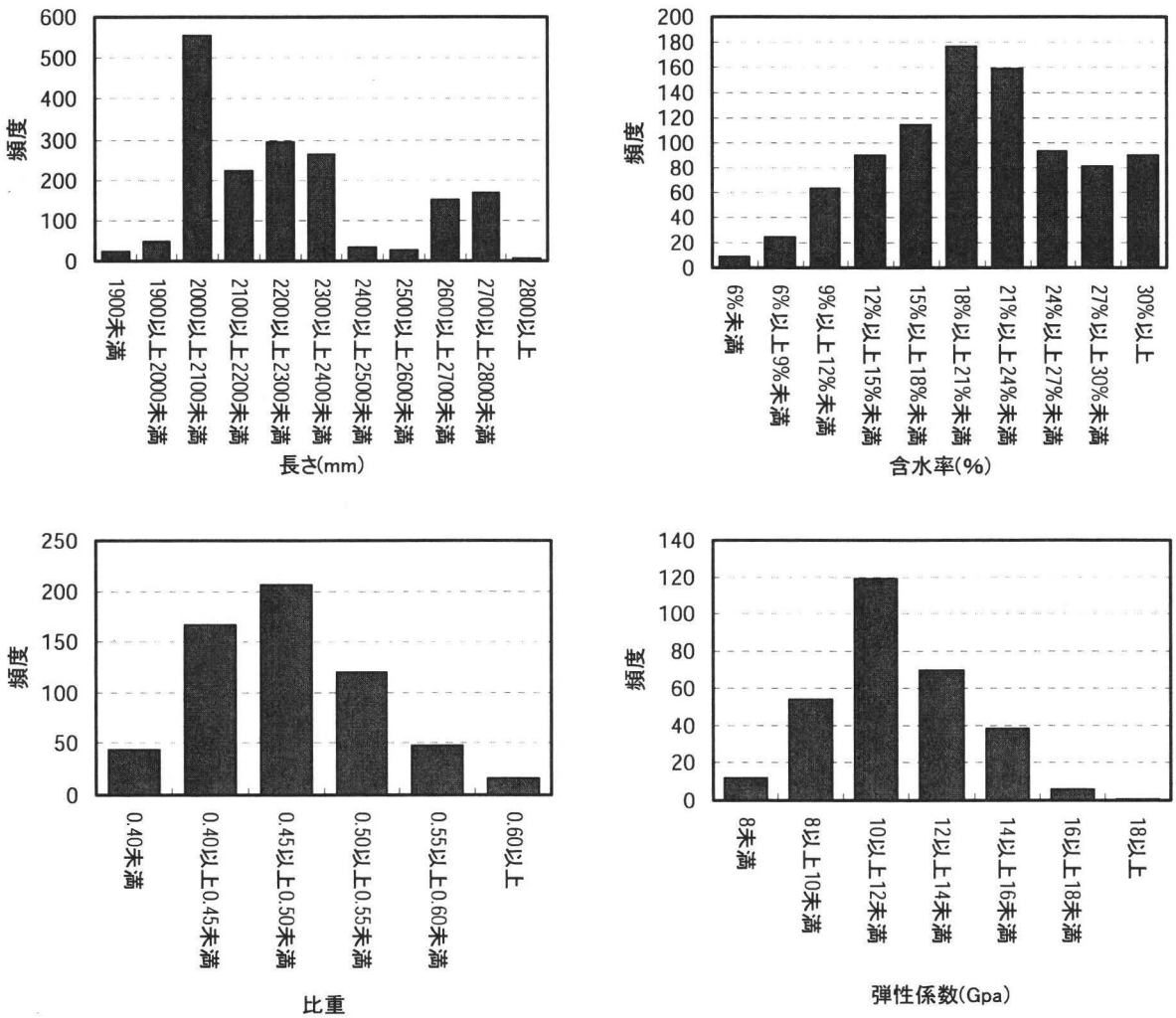
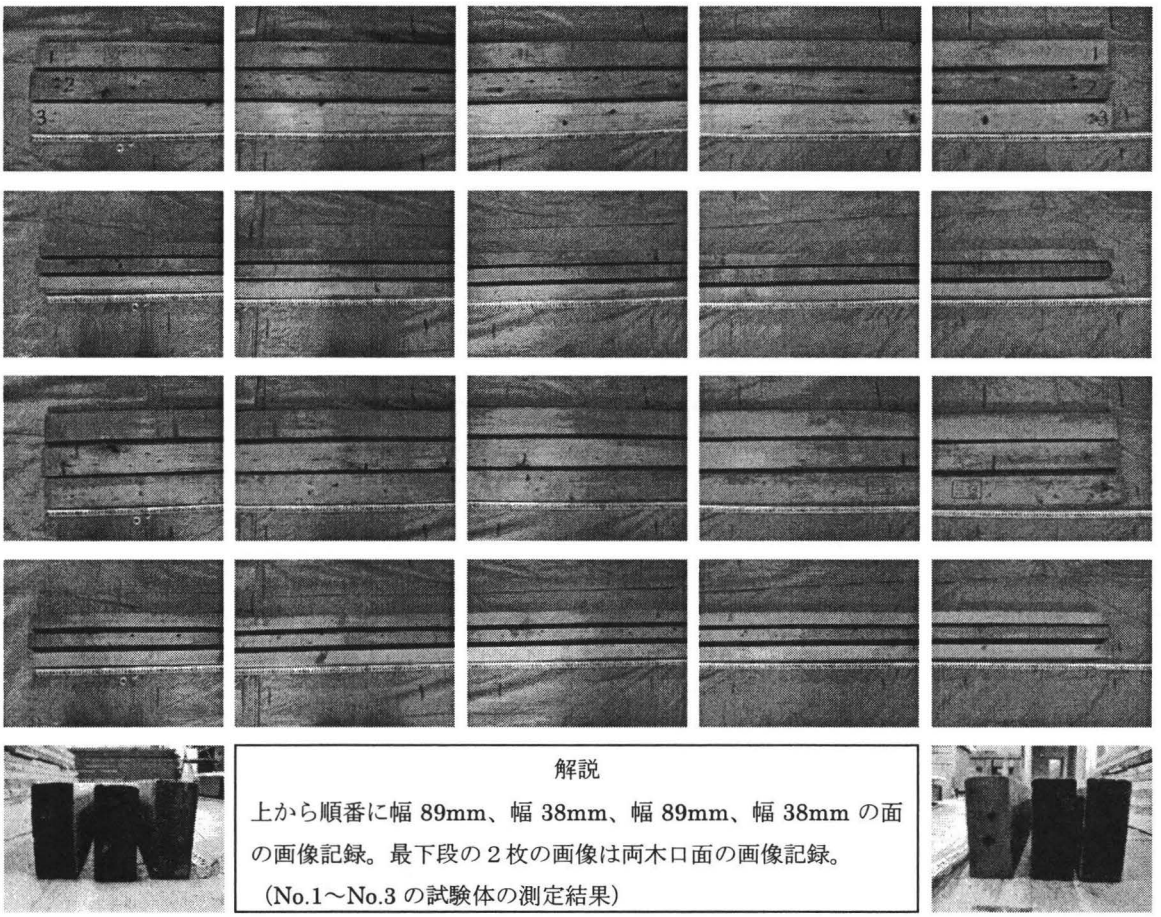


図１　解体材の物性

表１　解体材の特性値

物性値	最小値	平均値	最大値	標準偏差	変動係数
材長(mm)	1817mm	2260mm	2800mm	245mm	10.8%
含水率(%)	4.0%	21.0%	88.0%	8.8%	42.1%
比重	0.35	0.48	0.69	0.06	12.1%
弾性係数(GPa)	6.7GPa	11.6GPa	18.4GPa	2.2GPa	18.8%

図２に６材面の損傷状況を記録した写真の一例を示す。また、表２に釘穴の本数を記録した結果の一例を示す。



解説

上から順番に幅 89mm、幅 38mm、幅 89mm、幅 38mm の面の画像記録。最下段の２枚の画像は両木口面の画像記録。

（No.1～No.3 の試験体の測定結果）

図２　解体材の６材面の画像記録結果の例

表２　解体材の釘穴に関する測定記録結果の例

No.			～400	～800	～1200	～1600	～2000	～2400	～2800	～3200	～3600	～4000
1	表1	穴	1	0	2	0	2	1	0			
		+傷	1						1			
	横1	穴	3	3	3	1	4	2	6			
		+傷										
	表2	穴	0	1	0	0	2	0	0			
		+傷										
	横2	穴	5	0	0	2	0	0	0			
		+傷										
	木口－左	穴	2	解説　試験体 NO. 278 の測定例								
		+傷										
	木口－右	穴	2									
		+傷	1									

３．目視等級区分

３．１　目視等級区分の概要

引張試験用に抽出した 300 体の解体材について、枠組壁工法構造用製材の日本農林規格に示されている方法に従い目視等級区分を行った。目視等級区分は資格を有する目視等級区分士

（Grader）が実施した。写真1に目視等級区分を実施している様子を示す。目視等級区分においては、以下の2点について材の区分を行った。

①解体材の等級が、材を使用する前に等級区分したときの等級、すなわちS-P-S甲種2級を満たしているかどうか

②乾燥によって収縮した材の断面寸法が、前述の枠組壁工法構造用製材の日本農林規格に規定されている寸法の許容範囲内にあるかどうか

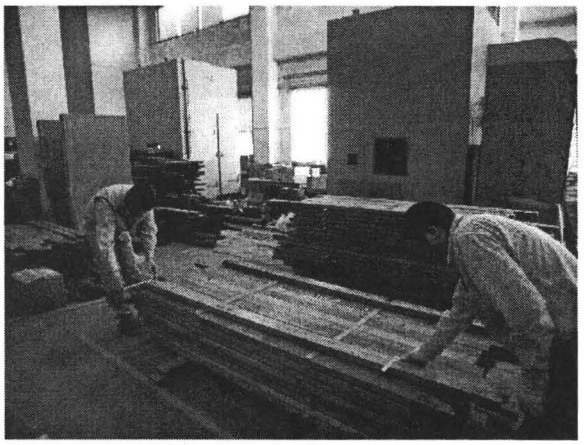


写真1　目視等級区分を実施している様子

3．2　目視等級区分の結果

材の欠点によって元々の等級であるS-P-S甲種2級を満足しなかった材は94本であり、抽出した全解体材の約2/3を占めていた。表3にS-P-S甲種2級を満たさなかった要因（欠点）を記す。

表3　S-P-S甲種2級を満たさなかった要因

合否の結果	本数	割合	合否の結果	本数	割合
合格	206	68.6%	不合格	94	31.4%
			丸み	36	38%
			曲がる	15	16%
			貫通割れ	15	16%
			材縁節	10	11%
			穴	6	6%
			ねじれ	6	6%
			節	5	5%
			集中節	2	2%

S-P-S甲種2級を満たさなかった要因として最も多かったのは「丸み」であり、「曲がり」、「貫通割れ」、「材縁節」、「穴」、「ねじれ」、「節」、「集中節」の順になっていた。節以外の欠点は、材の使用時に生じた可能性が高く、解体材に固有な欠点と考えられる。一方、節については、解体材に固有な欠点ではなく、元々行われた目視等級区分の方法と今回実施した木質等級区分の方法に実質的な相違があったものと考えられる。

４．引張試験

４．１　引張試験の概要

抽出した 300 体の解体材の引張試験を実施した。試験は福島県林業研究センター内の引張試験機（写真２参照）を用いて実施した。試験を行った条件は以下に記す通りである。

①荷重速度　：5mm/min

②加力スパン：両材端部から約 300mm を引いた長さ（例えば、長さ 2364mm の材であれば加力スパンは 1764mm となる）

③試験環境　：温度約 5℃、相対湿度約 50%

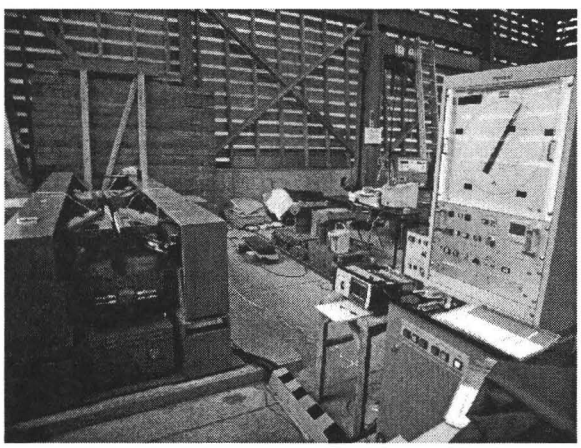


写真２　引張試験を実施した試験機

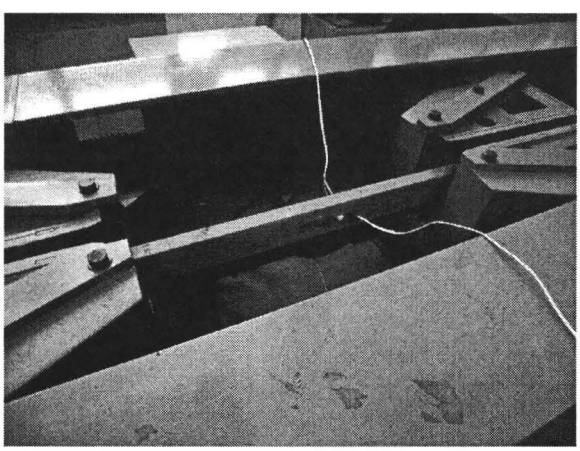


写真３　引張試験の様子

写真３に引張試験の様子を示す。引張試験においては以下の各項目の測定を行った。

①材に載荷した荷重

②材の変形量

③材のひずみ量（89mm 幅の両材面にて測定）

④材の破壊形状

4．2　引張試験の結果

引張強度の平均値は 28.0(N/mm²)、標準偏差は 12.1(N/mm²)、変動係数 43.0(%)であった。一般に製材の強度のばらつきは、変動係数で約 15%から 20%であるので、実験に供した解体材の強度のばらつきは大きかったと言える。一方、引張試験時の破壊の仕方は大きく分類すると、節からの破断、釘穴からの破断、加工穴からの破断、繊維傾斜部分からの破断、引張破断、引張試験機のチャック部分での破断、損傷部分から破壊であった。表４に破壊形状別に引張強度の平均値を示す。引張破断により破壊した試験体の平均引張強度は 39.9(N/mm²)と最も高く、節などの欠点がない材の引張強度が高いことが確認された。一方、解体時に損傷が生じた材の引張強度は 19.0(N/mm²)と最も低かった。同様に加工穴がある材の引張強度も低い値を示した。このように解体時、又は、施工時に材に生じた損傷によって、材の引張強度が低下していたことが確認できた。

表４　破壊要因別の引張強度

破壊形状	引張強度 (N/mm²)	破壊の数	
		破壊した試験体数	比率
節からの破断（節）	26.3	181	60%
釘穴からの破断（釘）	28.1	63	21%
加工穴からの破断（穴）	23.3	15	15%
繊維傾斜部分からの破断（目）	26.5	9	9%
引張破断（破）	39.9	62	21%
チャック部分での破断（チ）	29.7	37	12%
損傷部分から破壊（傷）	19.0	19	6%

（注）括弧内の文字は表６の破壊要因の欄の略称を示す。

4．3　引張の基準強度の算定

引張試験の結果を用いて引張の基準強度を算定した。基準強度は式１により算定した。

（基準強度）＝（引張強度の 5%下限値）×（2/3）　　・・・（式１）

実験結果に基づいて算定した基準強度の値は 4.8(N/mm²)であった。樹種群 S-P-S の引張の基準強度の値は告示（平成 12 年国土交通省告示第 1451 号）にて表５のように定められている。実験に供した解体材の基準強度は乙種スタンダードとほぼ同等であり、元々の等級である甲種２級の基準強度は満足しないことが確認された。解体材に固有の欠点や使用時の劣化等により、強度低下が生じたものと判断される。

表５　告示に定める基準強度

樹種	区分	等級	基準強度（引張）(N/mm2)
S-P-F 又は Spruce Pine Fir	甲種	特級	16.8
		１級	12.0
		２級	11.4
		３級	6.6
	乙種	コンストラクション	8.4
		スタンダード	4.8
		ユーティティ	2.4

５．解体材を構造材として再使用するための考察

以上のように解体材の引張強度は新規の材料に比べると低い。新規の材料よりも強度が劣る解体材を構造材として再使用するためには、比較的健全な材を何らかの方法を用いて選別する必要がある。以下、幾つかの選別方法により抽出した解体材の基準強度の算定値について記述する。解体材は以下に記す方法により選別した。

選別方法１：目視等級区分により S-P-F 甲種２級と判断された材を選別

選別方法２：縦振動法によって求めた弾性係数が S-P-F 甲種 2 級の曲げ弾性係数の基準値 9.6(GPa)以上の材を選別

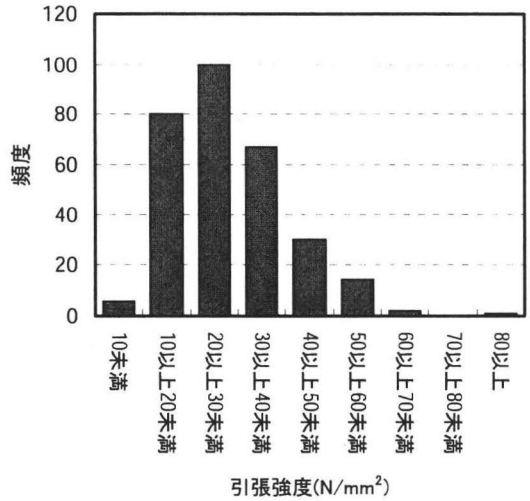
選別方法３：縦振動法によって求めた弾性係数が 10.0(GPa)以上の材を選別

選別方法４：縦振動法によって求めた弾性係数が 10.5(GPa)以上の材を選別

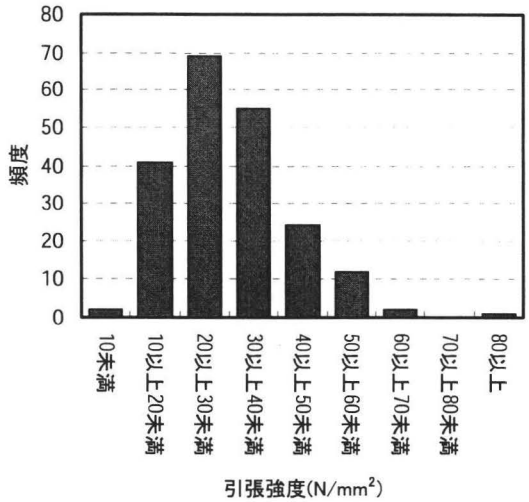
選別方法５：縦振動法によって求めた弾性係数が 11.0(GPa)以上の材を選別

上記の方法によって選別した材の引張強度の分布を図３に示す。また、表６に選別した材の引張強度の特性値を示す。前述のように抽出した全解体材の基準強度の算定値は 4.76(N/mm^2)であった。目視等級区分により S-P-S 甲種 2 級と同等と判断された解体材の基準強度は 6.20(N/mm^2)であり、全解体材よりも基準強度は約 1.5(N/mm^2)高くなったが、歩留まりは 68.7%にとどまった。一方、弾性係数を用いてサンプリングした場合は、例えば S-P-S 甲種２級の基準弾性係数である 9.6(GPa)以上の材を選別すると、基準強度は 6.70(N/mm^2)、歩留まり 84.0%となり、目視等級区分よりも効率的に強度が高い材を選別することが可能であった。S-P-S 甲種２級の基準弾性係数である 9.6(GPa)を基準に材を選別すると、S-P-F 甲種３級の基準強度が得られるという結果が得られた。

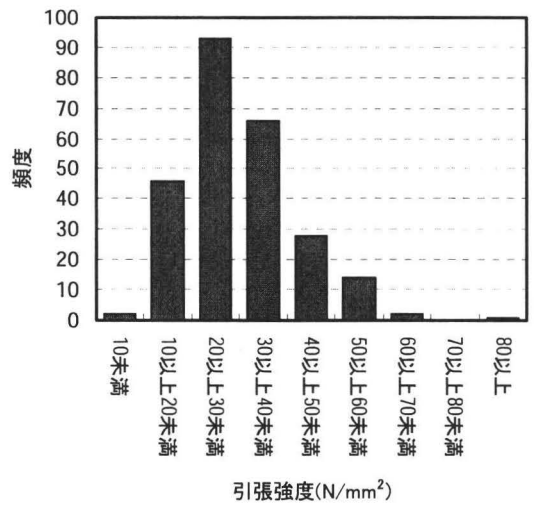
さらに、より高い弾性係数を基準として材を選別すると、より高い基準強度が得られた。例えば、弾性係数 10.0(GPa)以上を材の基準強度は 7.08(N/mm^2)、弾性係数 11.0(GPa)以上の材の基準強度は 8.16(N/mm^2)と求まった。ただし、選別の基準が厳しくなるほど、歩留まりは低下し、弾性係数 10.0(GPa)以上を材を選別すると歩留まりは 78.0%、弾性係数 11.0(GPa)以上の材を選別すると歩留まりは 58.0%となった。



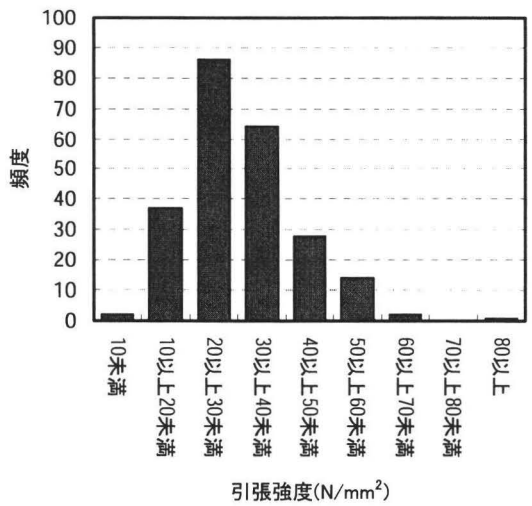
(a) 全数



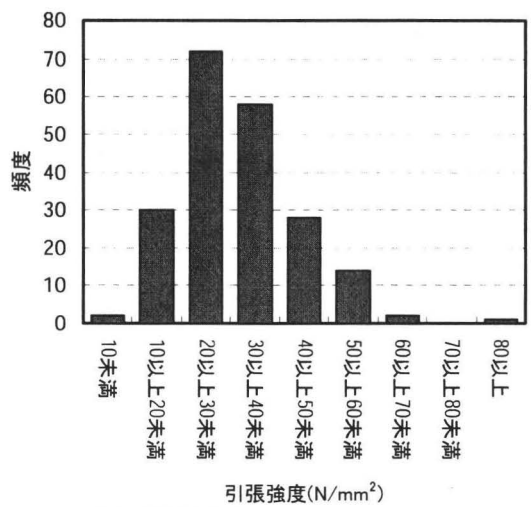
(b) 目視等級区分 S-P-S 甲種 2 級



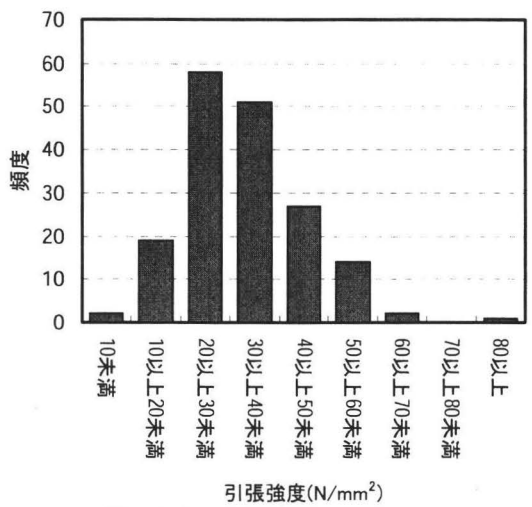
(c) 弾性係数 9.6GPa 以上



(d) 弾性係数 10.0GPa 以上



(e) 弾性係数 10.5GPa 以上



(f) 弾性係数 11.0GPa 以上

図 3　選別した解体材の引張強度分布

表６　選別した解体材の引張強度と特性値

特性値	引張強度 平均値 (N/mm²)	引張強度 標準偏差 (N/mm²)	引張強度 変動係数 (%)	基準強度 算定値 (N/mm²)	標本数	歩留まり (%)
抽出した全解体材	28.0	12.1	43.0	4.76	300	100
目視等級区分 S-P-S 甲種２級	30.2	12.0	39.9	6.20	206	68.7
弾性係数 9.6GPa 以上	30.1	11.6	38.5	6.70	252	84.0
弾性係数 10.0GPa 以上	30.8	11.6	37.8	7.08	234	78.0
弾性係数 10.5GPa 以上	31.6	11.9	37.7	7.29	207	69.0
弾性係数 11.0GPa 以	33.0	12.0	36.3	8.16	174	58.0

６．まとめ

枠組壁工法住宅から排出される解体材を構造材として再使用できる可能性について明らかにすることを目的として、解体材の引張強度に関する知見を実験により収集した。実験により得られた知見をまとめると以下のようになる。

（１）　全解体材（300 体）の引張強度試験結果から算出した基準強度の値は、4.8(N/mm²)であり、S-P-S 乙種スタンダードに相当する値であった。使用時や解体時に生じる様々な損傷によって手解体を行っても解体材は、初期の強度等級を満足しない。

（２）　目視等級区分によって選別した解体材の基準強度の算定値は、6.2(N/mm²)であり、全解体材よりも約 1.5(N/mm²)高くなったが、歩留まりは低く 68.7%であった。

（３）　S-P-F 甲種 2 級の基準弾性係数の 9.6(GPa)を基準として、これよりも弾性係数が高い材を抽出した集団の基準強度の値は 6.7(N/mm²)であった。また、歩留まりは 84.0%であり、目視等級区分で選別するよりも効率的に強度の高い材を抽出することができた。この選別方法によって、S-P-S 甲種 3 級相当の材を抽出することができた。

（４）　より高い弾性係数の材を選別することによって、より強度の高い材を抽出することができるが、その分歩留まりは低下する。

塩化ビニル系建設廃材を用いたリサイクルシートの配合設計に関する研究

明治大学理工学部

准教授　小山　明男

1. はじめに

高度経済成長以降に建設された建築物の更新期を迎え，今後，建設廃棄物が増加すると予想されるなか，建設廃棄物中に含まれる廃プラスチック建材は多い。循環型社会形成推進基本法制定以来，我が国のプラスチック類の再資源化率は増加し，最終処分量は減少した。

しかし，現状ではその多くをサーマルリサイクルに頼り，依然としてマテリアルリサイク率は低い。その要因として，建設資材の多くは複数種の原料を組み合わせて使用しており（表1），これらの分離は技術的に困難であったことや，分離に多大なエネルギーを必要とする。またリサイクルを行う際に，再生原料となる廃材の，年間生産量，使用年数等が一定ではなく，廃材の供給が不安定で，効率的な生産が阻害されているのが，現状である。

当研究室が開発した新たな分離技術で，これまで困難であった廃材の分離に成功した。そこで本研究では効率的な再資源化システムを構築するために，再生原料が各物性に及ぼす影響を把握することで，要求品質を満たす新たな配合方法の開発を目的とする。

表1　各種塩ビ製品の材料構成とリサイクル技術の現状

塩ビ製品	複合材	リサイクル概要
管・継手	-	廃パイプをリサイクル拠点で粉砕し パイプメーカで再生利用
農ビ	-	洗浄、破砕処理後、再生樹脂に転換し 床材に再生利用
床材	フィラー ポリエステル・ナイロン繊維	新築施工端材、余材を回収 粉砕加工後、床材に再生利用
壁紙	紙	工場端材を破砕し 猫砂原料に再生利用
タイル カーペット	ナイロン繊維	複合製品を粉砕、チップ化して タイルカーペットに再生利用
		破砕、粉砕、ペレット化後、 再生塩ビシートとして再生利用
		精密切削粉砕加工により 塩ビ層を分離回収し再生利用
防炎メッシュシート	ポリエステル・ナイロン	-
防音シート	硫酸バリウム	-

2. 叩解システムの概略

2.1 叩解法による素材の分離

図 1 に叩解装置の概略図を示す。回転工具を秒速 120m で高速回転させた円筒状容器内にあらかじめ 10～30mm 程度に細片化した複合塩ビ樹脂廃材を投入する。投入された廃材は，本装置によって極めて短時間に 300μm 以下に微粉化される。叩解は，強力な遠心力ならびに回転気流を利用した被処理物および容器内壁面との摩擦等による。この際，微粉化される被処理物の相対的な密度差によって塩ビ分とパルプや繊維分が分離される。叩解直後から繊維分を容器内から取り除くことによって効率的な叩解が促進され，安定した連続投入が可能となる。

2.2 再生塩化ビニル粉体の品質

図 2 に廃塩ビ製品を叩解装置により破砕して得られた再生樹脂粉体の粒度分布を示す。これより，本装置によって非常に細かく粉砕化できることがわかる。また，各種プラスチックシート系製品を叩解装置に適用した場合に得られる再生樹脂粉体の状況を図 3 に示す。いずれの製品も塩ビをはじめとした樹脂と素材の異なる繊維によって複合されているが，叩解法により破砕した結果，再生樹脂粉体と繊維分とに分離することが可能となっている。なお，再生樹脂粉体については，繊維分を完全に除去できているわけではないが，再生樹脂粉体側に含まれる繊維分は，おおむね 1%未満であった。

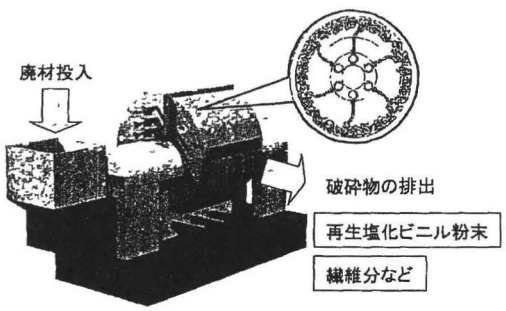


図 1　叩解装置概略

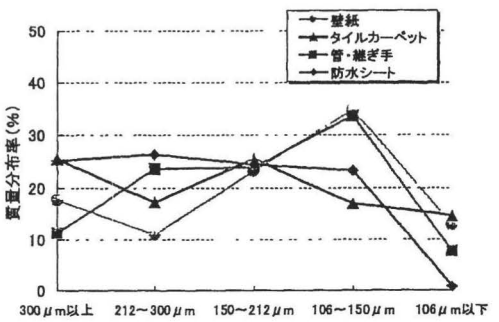


図 2　再生粉体粒度分布

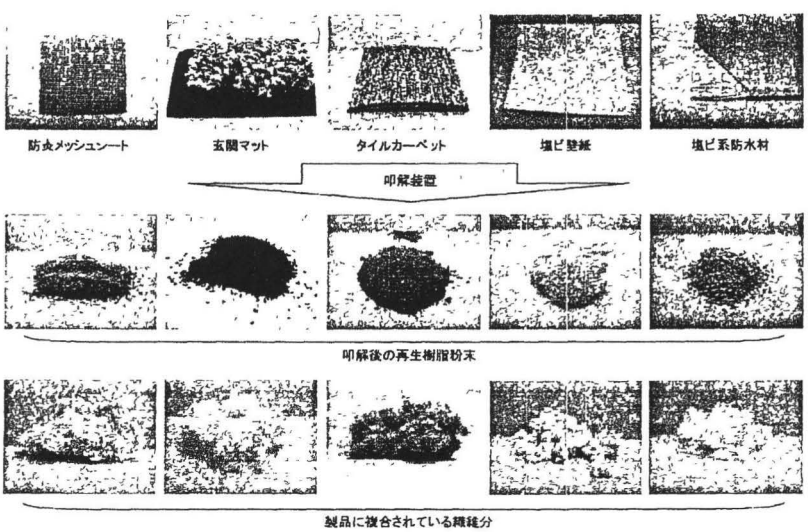


図 3　叩解後の製品状況

3. 叩解法のインベントリ評価

ライフサイクルの製造段階の一部である原材料製造段階を対象に叩解システムによる再生原材料製造の環境影響について，インベントリ評価を行った結果について報告する。

3.1 分析調査対象

叩解システムによる壁紙由来の再生原材料製造段階，および比較対象としてバージン原材料製造段階について，エネルギー消費量およびCO_2排出量を算出した。

3.2 分析対象範囲

図4にバージン原材料製造時の分析対象範囲を，図5に再生原材料製造時の分析対象範囲を示す。

3.3 分析条件

(1) 再生原料

・運搬条件は，廃材発生地点から1次処理工場まで4t車（積載量2t）で走行距離100km（輸送1），1次処理工場から2次処理工場まで4t車（積載量2t）で走行距離50km（輸送1）と設定した。

・叩解システムの実測結果から歩留まりを60%と設定し，廃壁紙1000t回収に対して600tの再生原料が製造されたこととした。それに合わせてバージン原料が600t製造される場合を比較した。

・再生原料の製造工程における電力消費量は，装置の実測値を参考に，処理能力1t/時の施設における電力消費量513kwhとした。

・廃壁紙は混合廃棄物として回収されることが一般的であるが，ここでは廃壁紙のみを回収したと想定し，1次処理工場での分別作業による影響は考慮しない。

・再生樹脂粉体の用途は，防水シートとした。なお，後述する再生樹脂シートの品質から，再生樹脂粉体のみでは防水シートのJIS規格値を満足することが困難であることから，再生樹脂粉体の使用率（リサイクル率）を60%とした。

(2) バージン原材料

・バージン原料の組成比を，塩ビ系防水シートの原料と想定し，塩ビ樹脂：可塑剤：炭酸カルシウム＝45：25：30とし，これを600t製造したと想定した。

・バージン原料および再生原料ともに，原料製造後のシート製造工場への運搬は考慮しない。

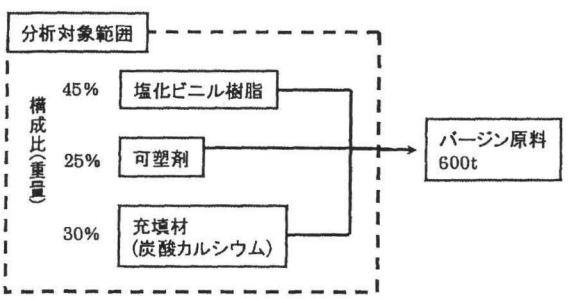


図4 インベントリ分析の範囲
（バージン原料）

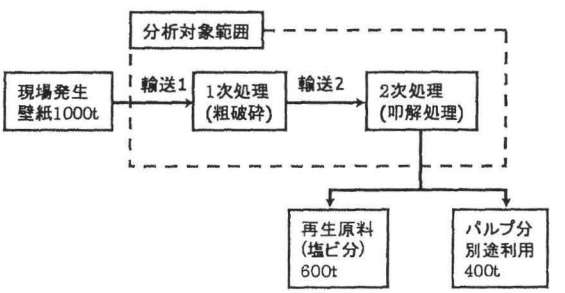


図5 インベントリ分析の範囲
（再生原料）

3.4 原単位の設定

表2に陸上輸送の CO_2，SOx および NOx の発生原単位を，表3にエネルギー種別の CO_2，SOx および NOx の発生原単位を，表4にバージン原料製造 1t 当りのエネルギー消費原単位および CO_2 排出原単位を示す。

3.5 分析結果および検討

図6に防水シートの原料製造に係わる消費エネルギーおよびCO2排出量のインベントリ分析結果を示す。エネルギー消費量およびCO2排出量ともに，再生原材料を製造することにより，バージン原材料を製造するのと比較して低減しているのが確認でき，エネルギー消費量およびCO2排出量はともに約70%の低減効果があった。塩ビ樹脂は石油を原料とし，さまざまな重合過程を経て製造されるため，バージン原料のエネルギー消費量や CO_2 排出量が大きくなる。この結果から，叩解法は，資源有効利用のみならず，CO_2 排出などの環境負荷低減に対しても有用な技術といえる。

表2 陸上輸送の CO_2，SOx，および NOx 発生原単位

車種(燃料)	燃料消費 (km/l)	CO_2排出 (kg/km)	SOx排出 (kg/km)	NOx排出 (kg/km)
20tトラック(軽油)	2 2	1 180	0 00145	0 00364
15tトラック(軽油)	2 7	0 962	0 00118	0 00297
11tトラック(軽油)	3 2	0 812	0 00100	0 00250
10tトラック(軽油)	3.5	0 742	0 00091	0 00229
4tトラック(軽油)	5 5	0 472	0 00056	0 00145
4t特殊トラック(軽油)	5 0	0 519	0 00064	0 00160
2tトラック(軽油)	8 0	0 323	0 00040	0 00100
2tトラック(ガソリン)	6 0	0 367	0 00012	0 00050

出典 プラスチック処理促進協会

表3 エネルギー種別発熱量，CO_2，SOx および NOx 発生原単位

エネルギー	平均発熱量		換算係数		C 発生量 (g-C /kcal)	CO_2 発生量 (g-CO_2 /kcal)	Nox 発生量 (g/ kcal)	Sox 発生量 (g/ kcal)
	単位	k cal						
石炭(輸入炭)	kg	6200	−		0 099	0 363	0 000486	0 00194
重油(C重油)	L	9800	0 913	kg/l	0 082	0 3	0 000252	0 00096
原油	L	9250	0 860	kg/l	0 078	0 286	0 000252	0 00325
軽油	L	9200	0 830	kg/l	0 078	0 287	0 000252	0 00069
灯油	L	8900	0 799	kg/l	0 077	0.284	0 000252	0 00069
LPG	kg	12000	−	−	0 068	0 251	0 000004	0.00001
ナフサ	L	8000	0 727	kg/l	0 076	0 279	0 000252	0 00325
NGL	L	8100	0 737	kg/l	0 077	0 281	0 000252	0 00325
LNG	kg	13000	0 717	kg/m^3	0 056	0 207	0 000003	0 00001
潤滑油	L	9600	0 881	kg/l	0 080	0 295	−	−
天然ガス	m^3	9800	−	−	0 056	0 207	0 000350	0 00001
都市ガス	m^3	10000	−	−	0 058	0 214	0 000350	0 00001
電力(国内)	kwh	2250	−	−	0 046	0 169	0 000120	0 00010
電力(輸入アルミ	kwh	1364	−	−	−	−	−	−
ガソリン	−	−	−	−	−	−	−	−

出典 ライフサイクルインベントリー分析の手引き

表4 原料製造 1t あたりの各種原単位

原料種類	エネルギー消費原単位 (Mcal/t)	CO_2排出原単位 (kg-CO_2/t)
ポリ塩化ビニル樹脂	5992	1430
フタル酸エステル	5457	1375
炭酸カルシウム	22	0 005

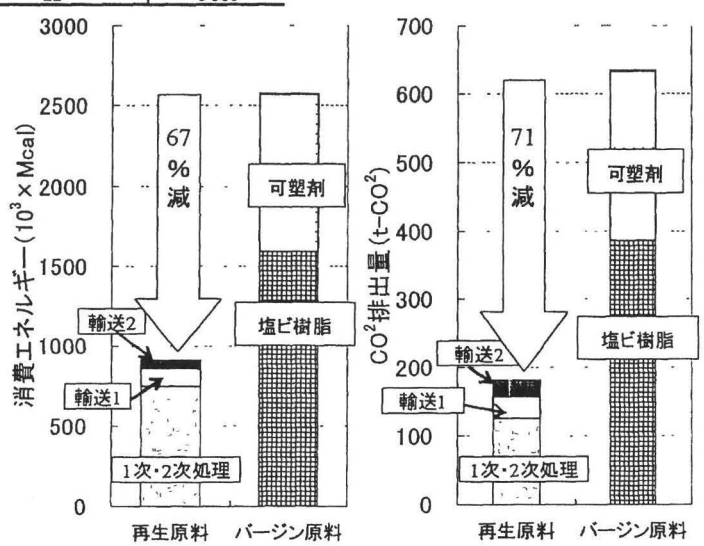


図6 インベントリ分析の結果

4. 再生樹脂シートの品質評価　実験概要

4.1　使用材料

(1)　使用廃材

建築現場から回収された，使用済みのタイルカーペット，壁紙，防水シートおよびビニル床材（長尺塩ビシート）を，叩解法により 300μm 以下に微粉化したものを再生塩化ビニル粉体として使用し，各種試験を行った。

(2)　使用した塩ビ樹脂

バージン材として，ポリ塩化ビニルと可塑剤を 5 3 の割合で配合して使用した。なお，ポリ塩化ビニルはT社の「PVC TH-1300」を，可塑剤はD社の DIDP（フタル酸ジイソデシル）を使用した。

(3)　使用した炭酸カルシウム

バージン塩ビ樹脂の充填材として，炭酸カルシウムはY社の『アオクラミクロカル 350』を使用した。

(4)　塩化ビニル製品の原料組成

表 5 に各種製品の一般的な原料組成を示す。

4.2　シート作製方法

均質シートは，ポリ塩化ビニル（PVC），可塑剤（DIDP），再生樹脂粉体（廃壁紙粉体：記号を W，廃タイルカーペット粉体：記号を T，廃防水シート粉体：記号を：WS，廃床材粉体：記号を FO とする。）これら原料を所定の配合で混合し，温度 160℃に設定したミキシングロールに投入し，練混ぜ，厚さ 0.5mm の再生樹脂シートを成形した。図 7 に均質シート作製風景を，図 8 に作製した均質シートを示す。

表 5　各種製品の一般的な原料組成

廃材名	組成(%)		
	PVC	可塑剤	炭酸カルシウム
壁紙	36	20	44
タイル	18	15	67
防水	48	28	24
床材	30	15	55

※メーカー各社へのヒアリングによる平均値

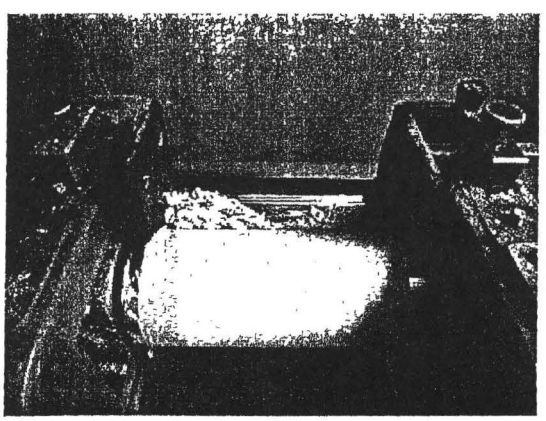


図 7　均質シート作製風景

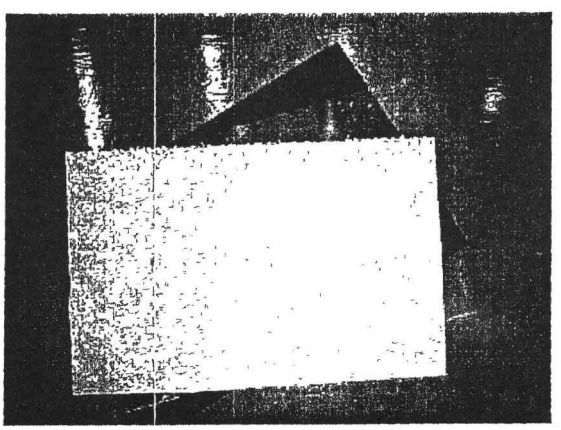


図 8　作製した均質シート

4.3 試験体水準

(1) シリーズ1再生樹脂シート

試験体水準を表6に示す。各再生原料をリサイクル率0～100%で配合して，計21水準作製した。

(2) シリーズ2塩化ビニルヴァージンシート

試験体水準を表7に示す。品質の影響因子を塩ビ，可塑剤，炭酸カルシウムとし，配合を変えて計28水準作製した。

4.4 試験項目

本研究での再生樹脂シートの適用製品としては，塩ビ系防水シート（JIS A 6008）とした。表8に試験項目・試験体寸法を示す。

表6 試験体水準および配合概略（シリーズ1）

試験体名	各種再生材配合率(%)	バージン材配合率(%)	試験体名	各種再生材配合率(%)	バージン材配合率(%)
VT-80-20	20	80	VWS-80-20	20	80
VT-60-40	40	60	VWS-60-40	40	60
VT-40-60	60	40	VWS-40-60	60	40
VT-20-80	80	20	VWS-20-80	80	20
VW-80-20	20	80	VFO-80-20	20	80
VW-60-40	40	60	VFO-60-40	40	60
VW-40-60	60	40	VFO-40-60	60	40
VW-20-80	80	20	VFO-20-80	80	20
V-100	0	100			

※ Vバージン材 T廃タイルカーペット W廃壁紙 WS廃防水シート FO廃床材

表7 試験体水準および配合概略（シリーズ2）

試験体名	割合 PVC (%)	可塑剤 (%)	炭カル (%)	試験体名	割合 PVC (%)	可塑剤 (%)	炭カル (%)
PDC 53-27-20	53	27	20	PDC 37-23-40	37	23	40
PDC 52-28-20	52	28	20	PDC 36-24-40	36	24	40
PDC 51-29-20	51	29	20	PDC 30-30-40	30	30	40
PDC 50-30-20	50	30	20	PDC 33-17-50	33	17	50
PDC 49-31-20	49	31	20	PDC 32-18-50	32	18	50
PDC 48-32-20	48	32	20	PDC 31-19-50	31	19	50
PDC 43-37-20	43	37	20	PDC 30-20-50	30	20	50
PDC 45-25-30	45	25	30	PDC 24-26-50	24	26	50
PDC 44-26-30	44	26	30	PDC 18-22-60	18	22	60
PDC 43-27-30	43	27	30	PDC 27-13-60	27	13	60
PDC 42-28-30	42	28	30	PDC 26-14-60	26	14	60
PDC 36-34-30	36	34	30	PDC 24-16-60	24	16	60
PDC 39-21-40	39	21	40	PDC 23-17-60	23	17	60
PDC 38-22-40	38	22	40	PDC 25-15-60	25	15	60

表8 試験項目および試験体寸法

試験項目		試験体寸法
引張性能		JIS K 6251の4.(試験片)に規定するダンベル状3号形
引裂性能		JIS K 6252に規定する切り込みなしアングル形
温度依存性	60℃	JIS K 6251の4に規定するダンベル状3号形
	-20℃	
加熱伸縮性		300×30 mm

5 実験結果および検討

5.1 引張性能

(1) シリーズ1

図10，11にシリーズ1における各種再生原料の配合率と引張強さ，伸び率の関係を示す。各再生原料ともに配合率が高くなるにつれて，引張強さ・伸び率ともに低くなる傾向がみられた。廃材ごとにバラつきは，各種廃材が構成する塩化ビニル配合割合・可塑剤割合配合・炭酸カルシウム配合割合や元の原料の品質に影響すると考えられる。また同じ配合率でみても，壁紙が最も低く，防水シートが最も高い結果が得られた。これは防水シートの原料の品質が他のものに比べ，良いためと考えられる。また実線はJIS規定値を示しており，いずれの廃材を用いた場合でも，廃材の配合率40～50%まではJISを満たし，製品化の可能性がある。実線はJIS規格。

(2)　シリーズ 2

図 12 に原料配合率と引張強さの関係を示す。図より，PVC・可塑剤の配合割合が高くなればなるほど，引張強さは大きくなる傾向がみられ，炭酸カルシウムの配合割合が高くなるほど，引張強さは小さくなる傾向がみられた。PVC は原料配合割合 30～60%，可塑剤は 10～30%，炭酸カルシウムは 20～50%で塩ビ防水材の JIS 規定値（破線：1000N/cm^2 以上）を満たした。

図 13 に原料配合割合と伸び率の関係を示す。引張強さと同様に PVC 配合率が高くなれば伸び率は増加，可塑剤配合率が高くなれば伸び率は増加，炭酸カルシウム配合率が高くなれば伸び率は減少する傾向がみられた。また均質シートを作製する際に，可塑剤配合率が高すぎても均質シートの作製が困難になる。

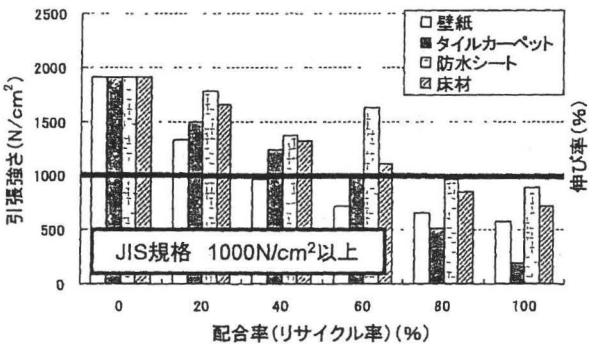


図 10　配合率と引張強さの関係
（シリーズ 1）

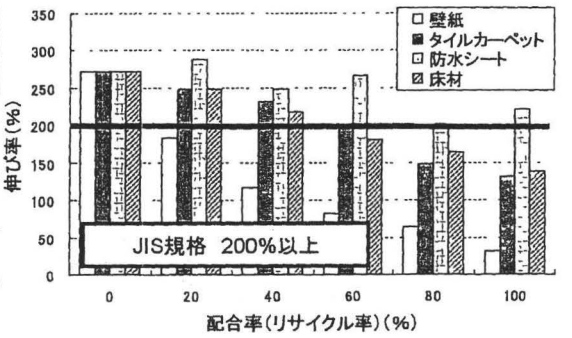


図 11　配合率と伸び率の関係
（シリーズ 1）

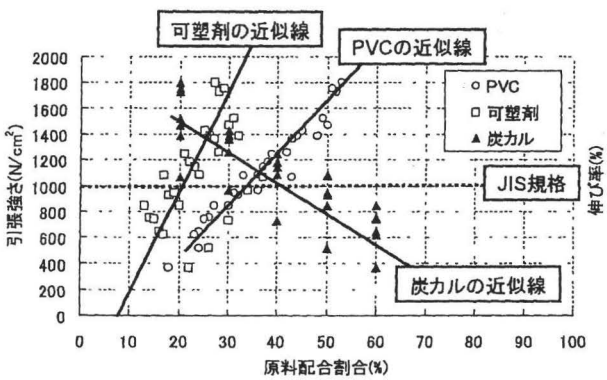


図 12　原料の配合率と引張強さの関係
（シリーズ 2）

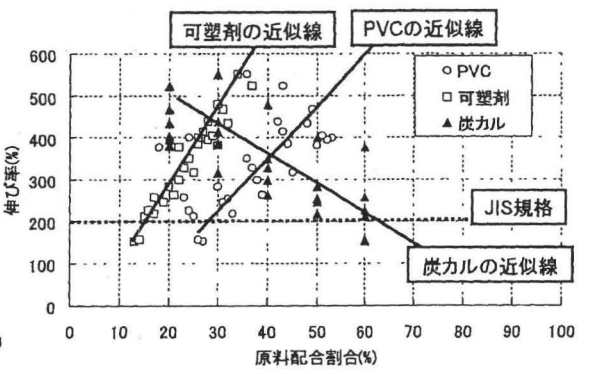


図 13　原料の配合率と伸び率の関係
（シリーズ 2）

5 2　引裂性能

(1)　シリーズ 1

図 14 にシリーズ 1 における各種再生原料の配合率と引裂強さの関係を示す。図 10 の引張強さと同様に，各再生原料ともにリサイクル率が高くなるにつれて，引張強さが低くなる傾向がみられた。また実線は JIS 規定値を示し，床材においてはリサイクル率 60%まで満たした。

(2)　シリーズ2

図15にシリーズ2における原料配合率と引裂強さの関係を示す。図12の引張強さと同様に，PVC・可塑剤の配合割合が高くなればなるほど，引裂強さは大きくなる傾向がみられ，炭酸カルシウムの配合割合が高くなるほど，引裂強さは小さくなる傾向がみられた。PVCは原料配合割合40～60%，可塑剤は20～30%，炭酸カルシウムは20～40%でJIS規定値（点線：400N/cm以上）を満たした。

5.3　加熱伸縮性　(シリーズ1)

図16にシリーズ1における加熱伸縮性試験結果を示す。全ての水準でJIS規格(伸び:2mm縮み：4mm）を満たした。全体的にみて廃壁紙粉体を使用したものは縮む傾向がみられた。いずれも廃材の影響は小さいといえる。

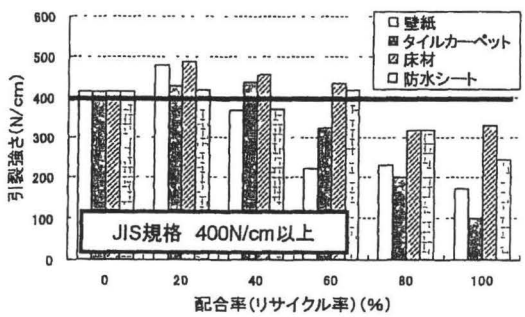


図14　配合率と引裂強さの関係
(シリーズ1)

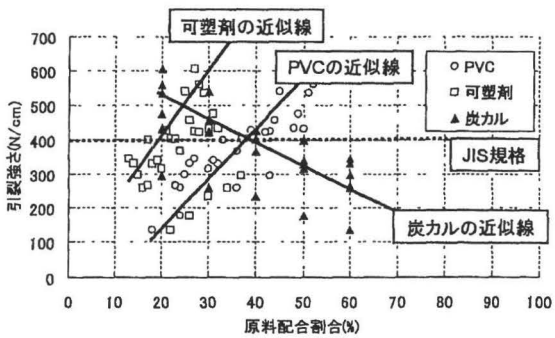


図15　原料の配合率と引裂強さの関係
(シリーズ2)

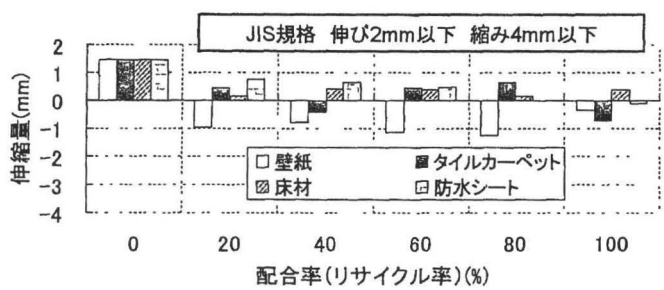


図16　加熱伸縮性試験結果（シリーズ1）

6　原料の組成が品質に及ぼす影響　実験概要

6 1　使用材料

4 1の使用材料を参照。

6 2　試験体水準

シリーズ3としてシリーズ2の水準において，廃材を一定の割合（25，50%）で置換・配合したものを計55水準作製した。表9にシリーズ3の試験体一覧を示す。

6.3　試験項目

4 4の試験項目参照。

7. 実験結果および検討

7.1 引張性能

図 17～図 19 に原料配合割合と引張強さの関係を示す。PVC 配合率が高くなれば，引張強さは増加する傾向がみられた。しかし PVC 配合率が高くしすぎると，作製した均質シートの自己収縮により表面に裂傷が生じ，均質シートの品質に影響を及ぼした。可塑剤配合率が高くなれば，引張強さ増加する傾向がみられたが，可塑剤配合率が高すぎても，均質シートの作製が困難になる。炭酸カルシウム配合率が高くなれば，引張強さは減少する傾向がみられた。また可塑剤の配合率が高くなれば廃材配合別にみてみると，壁紙配合に比べるとタイルカーペット配合のものが引張強さは大きくなった。また，再生樹脂シートの引張強さの結果をみてみると，廃壁紙粉体 100%使用の再生樹脂シートが廃タイルカーペット粉体 100%使用のものの方が高くなっている。これは使用した廃材の原料の組成に影響すると思われる。壁紙に比べ，タイルカーペットの組成は PVC と可塑剤の割合は低く，炭酸カルシウムの割合は高くなっているため，ヴァージン原料の投入が多くなってしまうためである。

伸び率も引張強さと同様の傾向がみられたが，PVC 配合割合と伸び率の関係をみてみると，廃材が配合された時，伸び率が著しく減少した。

表 9　試験体水準一覧（シリーズ 3）

シリーズ2における水準名	廃壁紙混入率25%	廃壁紙混入率50%	廃タイル混入率25%	廃タイル混入率50%
PDC 50-30-20	○	－	○	－
PDC 49-31-20	○	－	○	－
PDC 48-32-20	○	－	○	－
PDC 45-25-30	○	○	○	－
PDC 44-26-30	○	○	○	－
PDC 43-27-30	○	○	○	－
PDC 42-28-30	○	○	○	－
PDC 39-21-40	○	○	○	○
PDC 38-22-40	○	○	○	○
PDC 37-23-40	○	○	○	○
PDC 36-24-40	○	○	○	○
PDC 30-30-40	○	○	○	○
PDC 33-17-50	○	○	○	○
PDC 24-26-50	○	○	○	○
PDC 24-16-60	○	○	○	○
PDC 23-17-60	○	○	○	○

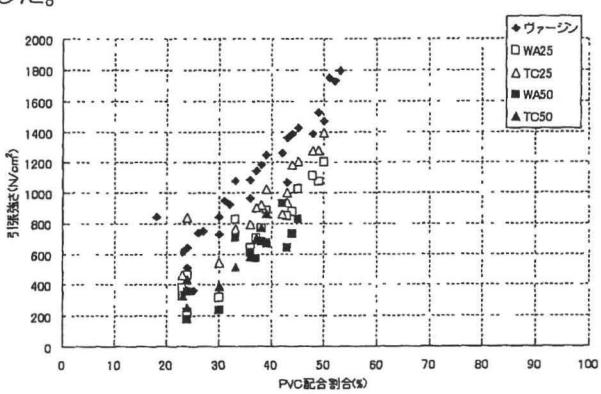


図 17　PVC 配合割合と引張強さの関係（シリーズ 3）

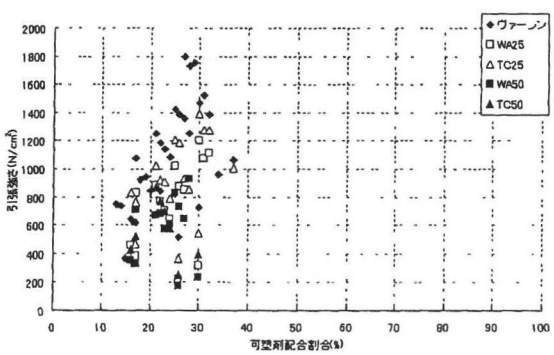


図 18　可塑剤配合割合と引張強さの関係（シリーズ 3）

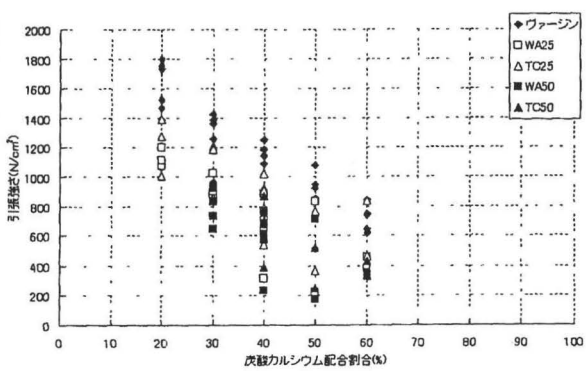


図 19　炭酸カルシウム配合割合と引張強さの関係（シリーズ 3）

7 2　引裂性能

引裂強さも引張強さと同様の傾向がみられた。

7.3　加熱伸縮性

図 20 に原料組成が同じ水準において廃材配合率と伸縮量の関係を示す。廃材を配合したものは，ヴァージン材だけ使用のものと比べ，収縮量が大きくなっている。これは廃材を使用しているため，ヴァージン材だけ使用のものに比べると，PVC 量や可塑剤量が減っているためと考えられる。

8. 再生樹脂シートの品質予測

強度試験の結果によれば，各種組成や廃材の影響が確認された事から，原料の組成から均質シートの強度特性を予測可能であると考えられる。そこでシート物性をあらかじめ予測する品質予測式を提案する。ヴァージン原料の強度試験結果を重回帰分析することで以下のような式を得た。

$$Qv = A + \alpha \times P + \beta \times D + \gamma \times C$$

Qv　ヴァージン品質
A　強度特性定数
P　PVC原料組成(%)
D　可塑剤原料組成(%)
C　炭酸カルシウム原料組成(%)
α　PVC定数
β　可塑剤定数
γ　炭酸カルシウム定数

※廃材の組成は表1のメーカーへのアンケートの平均値を用いている。

上記の式を用いて，シリーズ 1 およびシリーズ 2 の水準の引張強さ，伸び率および引裂強さに関する品質予測を行った。図 21 に一例として引張強さの予測値と実測値の関係を示す。ヴァージン材では精度よく品質を予測できるものの，廃材種類により，予測値と実測値にバラつきがあるのがわかる。これは廃材の使用環境および使用年数の違いや，廃材自体に混入されてしまう不純物の影響と考えられる。そこで，下記の式のように廃材種類ごとに廃材係数を設定（表 10）し，補正を行った。

$$Qw = W \times Qv$$

Qw　廃材品質
W　廃材係数
Qv　ヴァージン品質

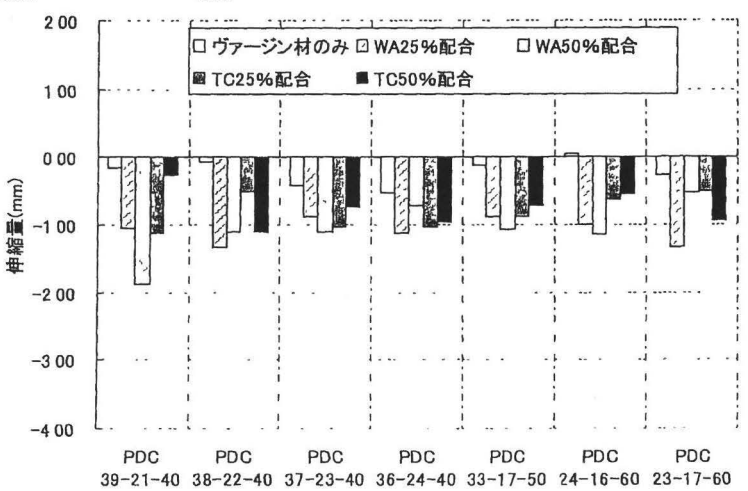


図 20　加熱伸縮性試験結果（シリーズ 3）

図 22 に補正後の引張強さの予測値と実測値の関係を示す。図より廃材種類ごとに係数を設定することで，品質予測精度が向上することがわかる。なお廃材係数は値が低くなればなるほど,原料の品質が悪いことを表す。

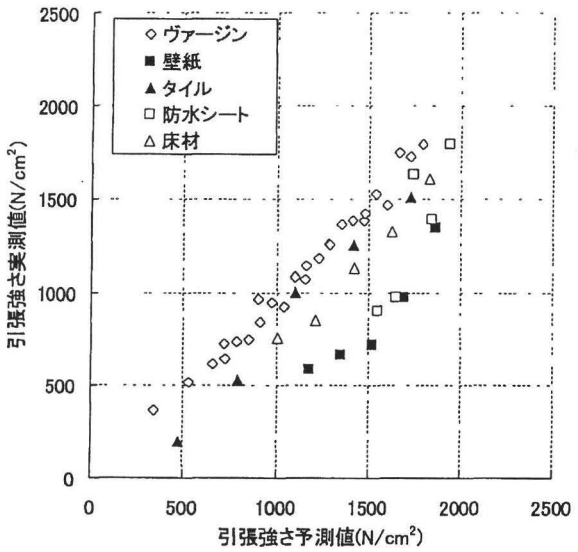


図 21　引張強さの予測値と実測値関係

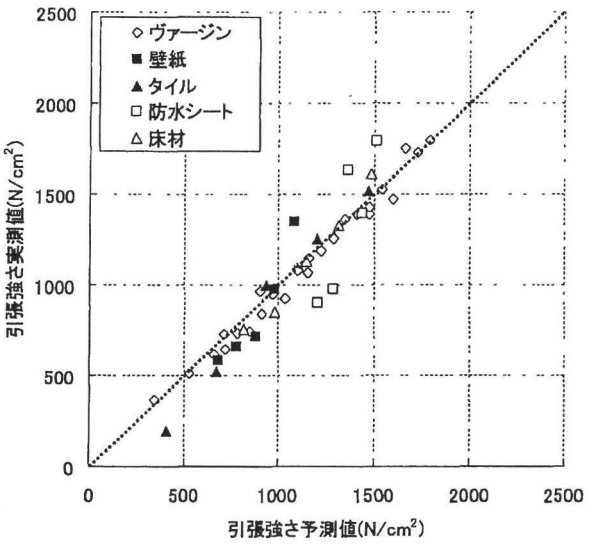


図 22　引張強さの予測値と実測値関係（補正後）

9　配合設計手法の提案

本研究の成果として，防水シートの新たな配合設計手法を提案する。単純にリサイクル率を向上させるのであれば複合化という手段もあるが,本研究では均質シートの機械的性質(引張強さ・伸び率・引裂強さ）についておこなった。

9.1　要求品質を満たす廃材の混入率を設定

図 23 に廃材混入率と JIS 規格に対する引張強さ比のイメージ図を示す。廃材種類により廃材混入率と JIS 規格に対する引張強さ比の図は異なる。手順を以下に示す。

① 廃材混入率を設定する。

② 廃材混入率 0%のときの目標品質（この場合では JIS 引張強さ比）が定まる

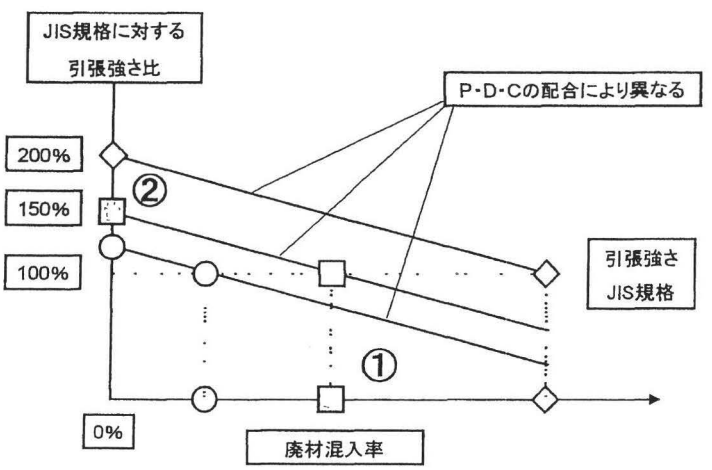


図 23　配合設計手法　手順 1

9.2　目標品質を満たす配合割合を決定

9.1の要求品質を満たす廃材混入率の設定により廃材混入率0%の時の要求する引張強さが決まる（図24）。引張強さより原料の組成が決まる。手順を以下に示す。

③　引張強さが決まることで，ヴァージン原料のみを使用した原料の組成が決定する。

④　廃材を混入することでヴァージン原料だけのものに比べ，品質が劣ることを考慮し補正を行う。

⑤　③，④より廃材を混入した原料の組成が　決定する。

9.3　配合

91，92より配合が決定する。

9.4　機械的性質の配合設計手法

91～93 では引張強さの配合方法を述べたが，ここでは均質シートの機械的性質（引張強さ・伸び率・引裂強さ）を総合した配合方法について述べる。図25に新たな配合方法のフロー図を示す。

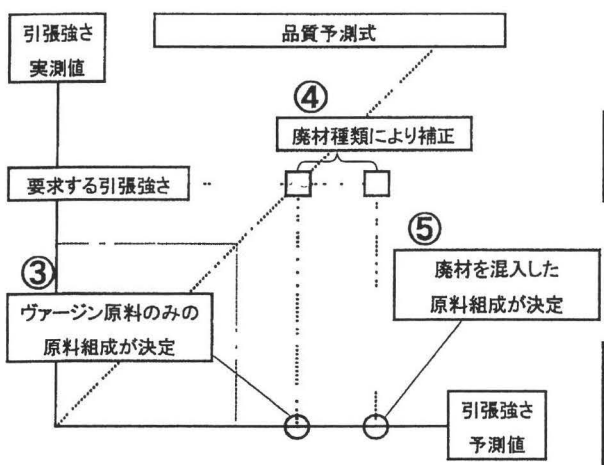


図24　配合設計手法　手順2

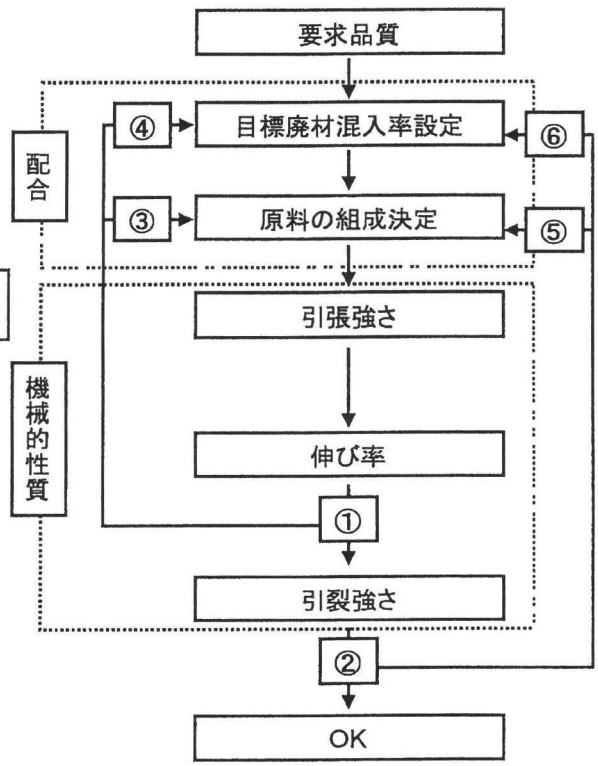


図25　配合設計手法フロー

10　　結論

原料組成の割合を考慮することで，再生樹脂シートの品質予測が可能となる方法を示すことができた。今後は，耐久性等についても同様の検討を進めることで，廃塩ビを原料とした再生樹脂シートの品質予測および活用方法の開発が進むと考えられる。

溶性触媒を用いた木材の常温･気相アセチル化と木質材料への応用

筑波大学大学院 生命環境科学研究科
准教授 小幡谷 英一

1．はじめに

木材は、軽い割に強く、再生産可能で、加工に要するエネルギーも少ない環境調和型材料です。木材の環境性能を活かすためには、より多くの木材を、より幅広い用途に活用するだけでなく、それをより「永く」使う工夫が求められます。木材に含まれる炭素は、もともと樹木が生育する過程で大気から吸収した二酸化炭素に由来します。そのため木材は、焼却しても大気中の二酸化炭素を増やさない、と言う意味で「カーボンニュートラルな材料」と呼ばれることがあります。ただ、樹木が生育するのに数十年の年月を要することを忘れてはなりません。数十年かけて成長した樹木を数年間で使い捨ててしまったのでは、決してエコロジカルとは言えないのです。木材は一種の「炭素貯蔵庫」であり、永く使って初めて「環境に優しい材料」となるのです。

木材は、その寸法や材質が湿度によって大きく変化するため、日本のように湿度変化の激しい環境では、反ったり、へたったり、場合によっては割れてしまったりすることがあります。また、菌やシロアリに浸食され、短期間で使えなくなる場合もあります。これらの問題を解決し、木材を安定して長期間使用できるようにするための方法の一つがアセチル化です。アセチル化とは、木材を「無水酢酸」と呼ばれる薬品と反応させ、木材に含まれる水酸基（−OH）をアセチル基（−$OCOCH_3$）に置き換える処理です。水となじみやすい（親水性と言います）水酸基を、水となじみにくい（疎水性と言います）アセチル基に置き換えることで、木材は水分を吸収しにくくなり、湿度が変化しても材質や寸法があまり変化しなくなります。つまり、木材の材質や寸法が安定するのです。さらに、菌や昆虫、日光に対する抵抗性も高まるので、水と接触する部分や、日光にさらされる屋外でも長期間使用できます。薬品を用いた化学処理の中には、薬剤が溶け出したり揮発したりして問題を生じるものもありますが、アセチル化の場合、処理過程で発生するのは酢酸（いわゆるお酢）のみであり、処理後の木材から有害物質が発生することもありません。また、熱処理やフォルムアルデヒド処理のように木材が脆くなることもありません。このようにアセチル化は、木材の優れた性質を損なうことなく、その安定性や耐久性を飛躍的に高めることができる優れた化学処理なのです。

木材のアセチル化については、環境意識の高い欧州においてさかんに研究され、既に複数のプラントが稼働を始めています（図１）。木材をアセチル化する際には、通常、100℃以上に加熱した無水酢酸（液体または蒸気）を用いますが、可燃性で刺激性の無水酢酸を高温で使用することから、薬剤の加熱や回収のための複雑で大規模な設備が必要です。もし、木材を常温でアセチル化することができれば、設備をかなり簡略化することができるはずです。しかし、アセチル化木材に関するこれまでの研究は、その実用性能に焦点を当てたものが多く、常温でのアセチル化を試みた例はありませんでした。

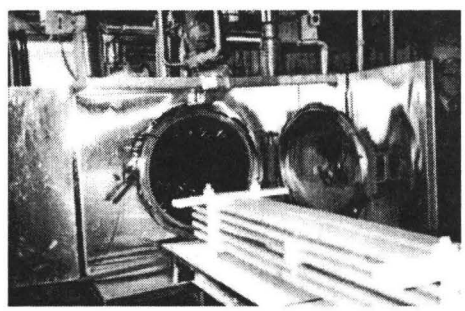


図１　アセチル化プラントの一例
（スウェーデン）

そこで本研究では、安価で無害な水溶性の無機塩（酢酸カリウム、KAc）を触媒（反応を促進するための薬剤）として用いることにより、これまで不可能であった木材の常温・気相アセチル化を試みました。また、アセチル化木材の疎水性を活かすための試みとして、汎用熱可塑性樹脂の一つであるポリスチレンとの複合化に取り組みました。なお、得られた結果については学術雑誌に掲載済み（または投稿中）ですので、実験方法や結果の詳細については末尾に列挙した論文をご参照下さい。

2．研究成果

2.1　液相法におけるKAcの触媒効果

液相法とは、液状の無水酢酸に木材を浸すことでアセチル化する方法です。触媒として KAc を用いる場合には、KAc の水溶液を木材にしみ込ませ、乾燥して水を除去してから無水酢酸に浸します。ここではこの液相処理における KAc の触媒効果について述べます。

アセチル化すると、木材は重くなります。このときの重量増加率（WPG）は、処理の程度を評価するための重要な指標です。針葉樹材の場合、WPG が 20%を超えると十分に処理されたと判断できます。

図 2 に 120℃における WPG と処理時間の関係を示します。木材にあらかじめ KAc を導入しておくことにより、反応が著しく速くなり、WPG が 20%に達する時間が 5 時間から 2 分に短縮されました。従来から頻用されているピリジンを触媒に用いた場合でも、WPG20%を達成するのに 17 分を要します。

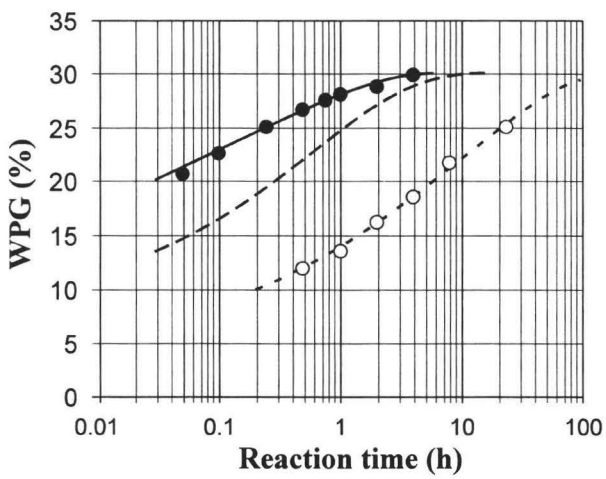


図 2　120℃における WPG と反応時間の関係
○：無触媒、●：KAc 触媒、
破線：ピリジン触媒

つまり KAc を用いることで処理時間を 1/180 に短縮でき、その効果が従来のピリジン触媒の 10 倍程度であることが明らかとなりました

次に、処理温度が低い場合の KAc の効果について検討しました。20℃における WPG と処理時間の関係を図 3 に示します。触媒を用いない場合、反応はほとんど進行しませんでした。また、ピリジンを触媒に用いた場合にも、18 日間の処理で得られた WPG は 8%以下でした。一方、KAc 触媒を用いた場合、18 日間の処理で WPG が 20%に達しました。少なくとも現時点において、KAc は常温での木材のアセチル化を可能にする唯一の触媒です。

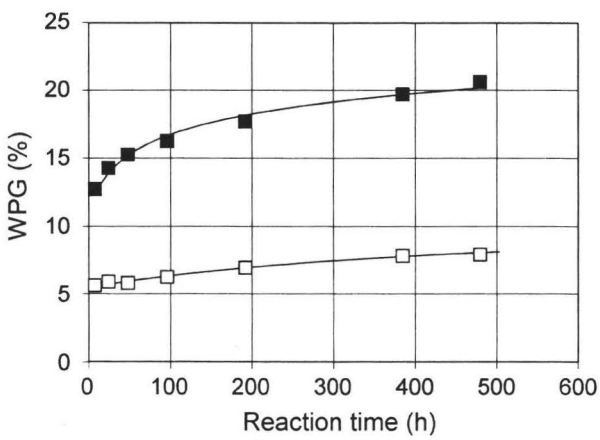


図 3　20℃における WPG と反応時間の関係
□：ピリジン触媒、■：KAc 触媒

なお、20～120℃における反応速度を詳しく調べたところ、アセチル化反応における活性化エネルギーが低温と高温で明らかに異なることがわかりました。高温でのアセチル化反応においては、無水酢酸が木材成分の中に拡散する速度がアセチル化反応の速度を左右する（拡散が律速となる）ことが既に明らかとなっていますが、低温においては、拡散が律速とはならないことがわかりました。

2.2 混液法におけるKAcの触媒効果

上述した液相法では、十分な量の触媒を木材中にあらかじめ導入しておく必要があるため、通常のアセチル化プロセスに加えて触媒を含浸するプロセスが必要でした。そこでこの含浸プロセスを省略するために、KAc を溶解させた無水酢酸／酢酸混液を用いる方法（混液法）を検討しました。KAc は無水酢酸には溶けませんが、酢酸にはある程度溶けます。そこで、無水酢酸、酢酸および KAc の混合液を用いることで、無水酢酸と KAc を同時に木材にしみ込ませ、迅速にアセチル化しようというのがこの混液法です。

120℃においては、含浸法、混液法いずれによってもアセチル化反応が著しく促進され、混液法が有効であることが明らかとなりました。ところが 40℃では、混液法による反応速度が含浸法に比べて著しく遅いことがわかりました。図 4 に、40℃における WPG と処理時間の関係を示します。含浸法（II）では 8 時間の処理で WPG が 20%を超えましたが、混液法（III）では 8 日間処理しても WPG が 15%に達しませんでした。これは、混液が木材に浸透せず、十分な KAc が細胞壁中に導入されなかったためと推察されました。さらに、混液法を用いて低温で処理された木材は、異常に低い寸法安定性を示しました。これは、細胞内腔の収縮を伴う不均一なアセチル化に起因するものと推察されました。混液法は処理温度が高い場合にのみ有効な方法であると言えます。

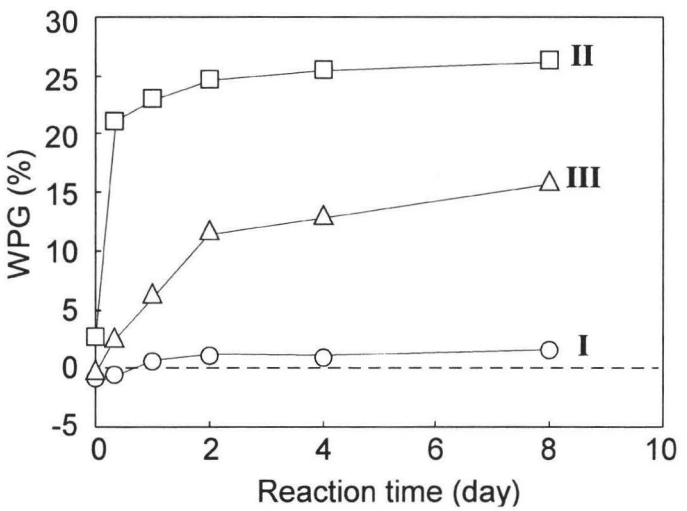


図５　40℃での液相アセチル化による重量増加率（WPG）と反応時間の関係
Ⅰ：無触媒、Ⅱ：あらかじめ KAc を導入した木材を無水酢酸中で処理した場合、
Ⅲ：無水酢酸・酢酸・KAc の混合液中で処理した場合

2.3　気相法におけるKAcの触媒効果

気相法とは、気化した無水酢酸の蒸気に木材を曝すことによってアセチル化する方法です。液相法や混液法と異なり、木材中に液状の無水酢酸が浸透しないため、最小限の無水酢酸によってアセチル化することができますが、無水酢酸の蒸気を木材内部まで拡散させる必要があるため、大断面の木材を均一に処理するのは困難であるとされています。

本研究では、図 6 および図 7 に示すような簡単な装置を用い、あらかじめ KAc を含浸した木材を無水酢酸蒸気に暴露しました。

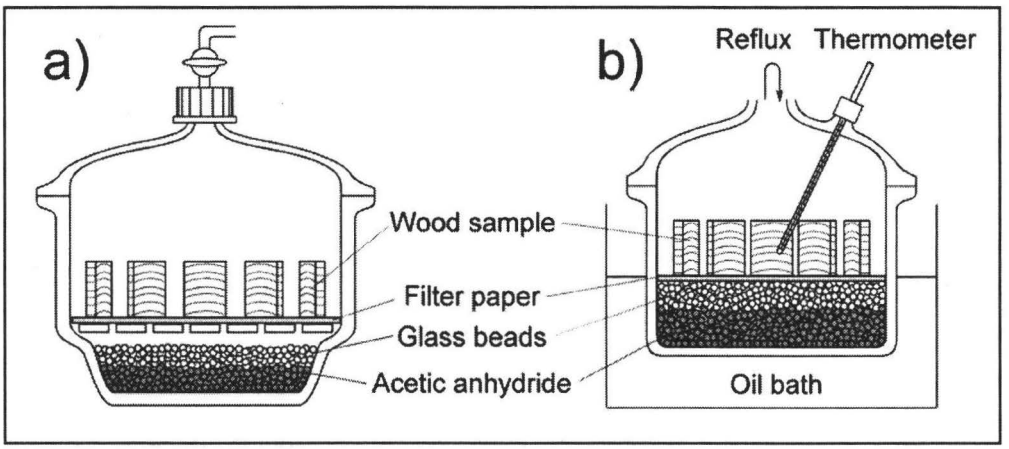


図 6　気相アセチル化の反応系
a)：低温（25℃）用、b)：高温（120℃）用

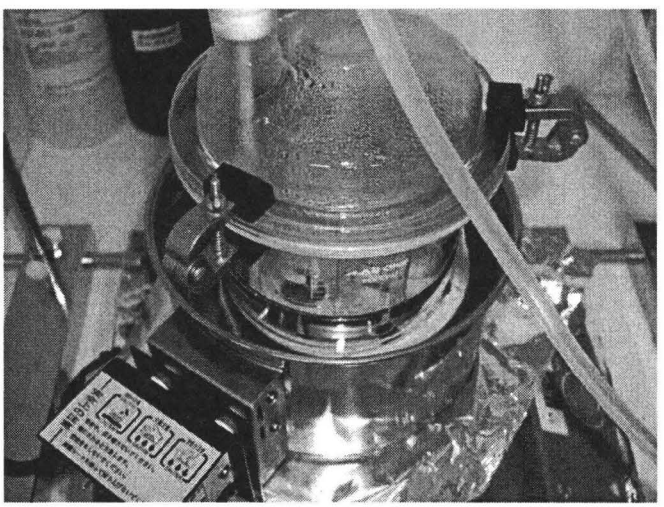


図 7　気相アセチル化の反応槽

図 8 に、120℃で 3～12 分間気相処理したときの WPG と触媒導入量（CL）の関係を示します。KAc の導入量が 20%以下の場合、KAc の導入量とともに WPG が大きくなりましたが、それ以上 KAc を導入すると逆に反応速度が低下しました。これは、木材細胞壁の内側に付着した KAc によって無水酢酸蒸気の拡散が妨げられたためと推察されました。気相処理の場合、適切な KAc 含浸量の選択が必要であると言えます。

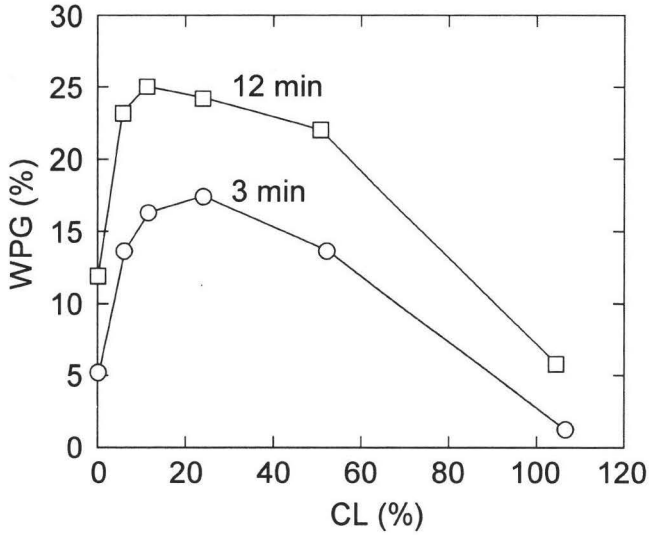


図 8　120℃での気相処理による WPG と KAc 導入量（CL）の関係
○：3 分処理，□：12 分処理

25℃での気相処理による WPG と処理時間の関係を図 9 に示します。KAc は常温においても高い触媒効果を示し、7 日間の処理で WPG が 20%に達しました。また、液相処理の場合と同様、処理温度に関わらず、重量増加率とともに吸湿性が低下し（図 10）、寸法安定性が向上しました（図 11）。KAc を触媒に用いることで、加熱が不要で薬剤ロスのない「常温・気相アセチル化」が実現することが示されました。

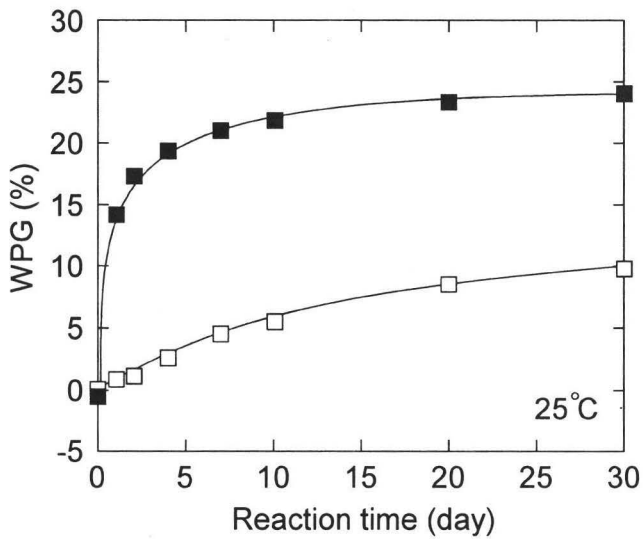


図 9　25℃での気相アセチル化による WPG と反応時間の関係
□：無触媒、■：KAc 触媒

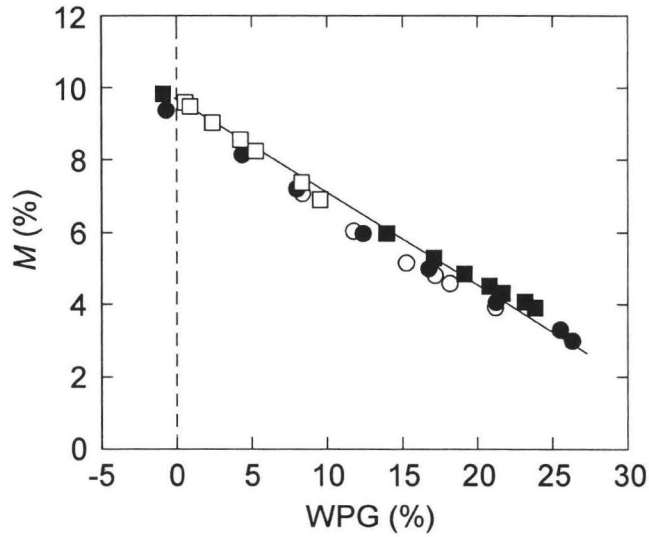


図 10　アセチル化処理材の 25℃、57%RH における平衡含水率（M）と WPG の関係
□：無触媒、■：KAc 触媒

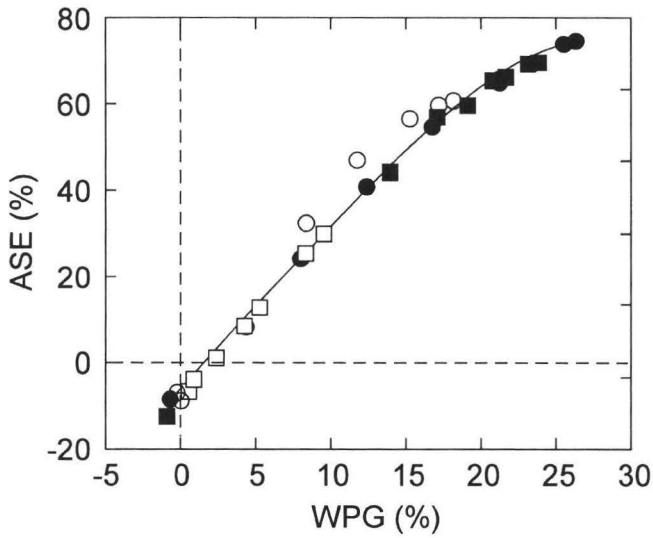


図 11　アセチル化処理材の抗膨潤能（ASE）と WPG の関係
□：無触媒、■：KAc 触媒

2.4　KAcを用いた木粉の常温アセチル化

木材を砕いて作られるパーティクルや木粉は、パーティクルボードやファイバーボードを始めとする木質材料の原料となります。これらの木質材料は、住宅内装材や家具材に幅広く利用されているだけでなく、住宅解体材を始めとする木質系廃棄物の再利用法としても重要です。木質材料の性質は、それを構成するパーティクルや木粉の性質に大きく左右されます。したがって、パーティクルや木粉をアセチル化することにより、寸法安定性や耐久性に優れた木質材料を作ることができると考えられます。そこで、KAc を触媒に用い、木粉を常温でアセチル化することを試みました。

ブロック状の木材では、液相法と気相法でアセチル化反応速度に大差はありませんでした。一方、木粉の場合、液相法と気相法で反応速度が明らかに異なりました。図 12 に、KAc を含浸した木粉を 25℃でアセチル化したときの WPG と処理時間の関係を示します。気相法で処理した場合に比べて、液相法で処理した場合には、反応速度が遅くなりました。

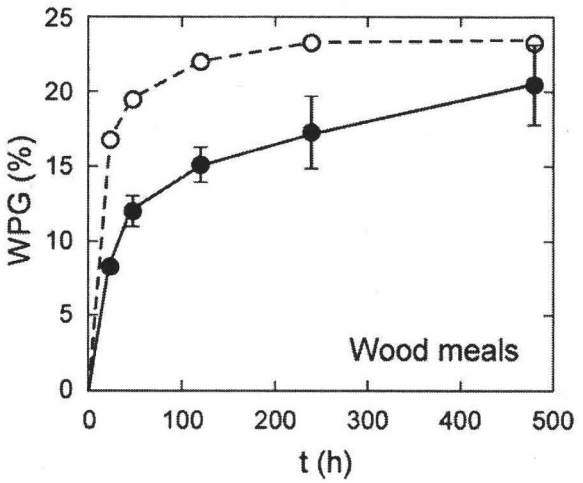


図 12　25℃で木粉をアセチル化したときの WPG と処理時間（t）の関係
○：気相処理、●：液相処理

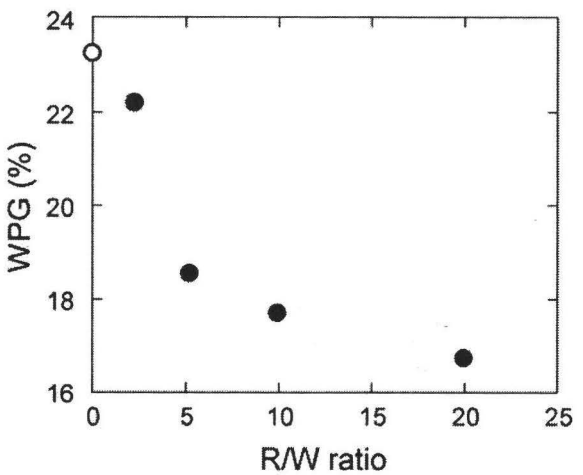


図 13　25℃、10 日間のアセチル化による重量増加率（WPG）と液比の関係
○：気相処理、●：液相処理

図 13 に、木粉を 25℃で 10 日間液相処理したときの WPG と液比（試料に対する無水酢酸の質量比）の関係を示します。液比が小さい、すなわち木材に対して無水酢酸が少ないほど、WPG が大きくなりました。この現象は、高温で処理した場合には認められませんでした。様々な検討を行った結果、液相処理において木粉の反応速度が低かったのは、導入された KAc の一部が反応液中に徐々に溶解し、その触媒効果が低下するためと推察されました。KAc を用い、常温で木粉をアセチル化処理する場合には、気相処理が有効であると言えます。

2.5 熱可塑性樹脂を用いたアセチル化木材の接着

本来、木材は水になじみやすい性質（親水性）を示し、ベンゼンなどの疎水性有機溶媒とはあまりなじみが良くありません。ところが、アセチル化によって木材が疎水化されると、様々な疎水性物質とのなじみが良くなります。そこで、木材をアセチル化することにより、様々な疎水性樹脂との付着性が向上するのではないかと考えました。

本研究では、アセチル化木材を3種の汎用熱可塑性樹脂（ポリエチレン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル）で接着したときの引張せん断接着強度を測定しました。乾いた状態では、ポリ酢酸ビニル（いわゆる木工用ボンド）が最も高い接着性能を示しましたが、湿潤時（水に浸けた状態）においては特にアセチル化木材—ポリスチレン系が高い接着力を示しました。木材をアセチル化することにより、熱可塑性のリサイクルプラスチックを接着剤として利用できることが示されました。

2.6 アセチル化—樹脂含浸圧密処理木材の特性

先の実験で、アセチル化木材がポリスチレン樹脂（PS）と良くなじむことがわかりました。そこで、あらかじめPSをしみ込ませたアセチル化木材を加熱・圧縮し、向かい合う細胞壁同士を接着することで、力学性能を改善するとともに圧縮変形を固定することを試みました。

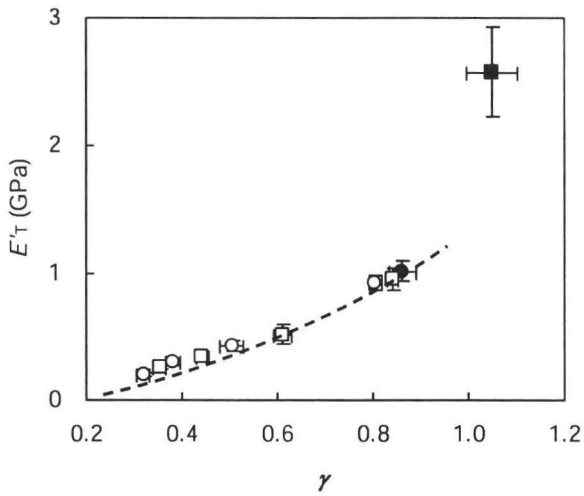


図14　アセチル化木材を圧縮したときの接線方向のヤング率（E'_T）と比重（γ）の関係
○：室温で圧縮したもの、●：180℃で熱圧したもの、□：PS樹脂を含浸し、室温で圧縮したもの、■：PS樹脂を含浸し、180℃で圧縮したもの

図14に、PS樹脂を含浸した上で圧縮処理したスギ材のヤング率と比重の関係を示します。PS樹脂を含浸した上で熱圧したところ、接線方向のヤング率が著しく増大しました。同様の効果は曲げ強度についても認められましたが、PSを含まない木材や、常温で圧縮した場合には認められませんでした。また、無処理材よりもアセチル化した木材の方が、熱圧したときの力学性能の向上が著しいことがわかりました。PSを含浸した上で熱圧したアセチル化木材は高い寸法安定

性を示し、温水中でも圧縮変形がほとんど回復しませんでした。今回用いた方法は、熱圧の際に溶剤の揮発や接着剤の化学反応を伴わず、PS の溶融と凝固のみによって短時間で細胞壁同士を接着できるという利点があります。ポリスチレン樹脂は食品トレイにも使われる安全な樹脂であり、安全性が重視される用途（例えば管楽器の管体）への応用が期待されます。

2.7 アセチル化木粉—樹脂複合体の特性

木粉と樹脂を混合して成形した「木粉—樹脂混合体（WPC）」は、プラスチックと同様の方法で成形することができ、耐水性や耐候性に優れる上、木材に似た外観を呈することから「グリーンプラスチック」として様々なエクステリアに利用されています。ただ、その多くは木材の割合（木材充填率）が 30%程度と低く、「木粉混じりのプラスチック」の域を出ていません。そのため、より多くの木材を含む WPC の開発が各所で行われています。

一般に、木材充填率が高いほど WPC の力学性能は向上します。ただ、その一方で耐湿性や耐水性は低下します。WPC の優れた性質を維持しながら木材充填率を高めるためには、木粉—樹脂間のなじみを良くすると同時に、木粉自体の材質安定性や耐水性を高める必要があります。そこで、KAc を用いて木粉をアセチル化し、ポリスチレン（PS）と混合して加熱成型することにより、木材を 70～95%含む木粉—PS 複合体（WPSC）を作製し、その力学性能や寸法安定性を評価しました。

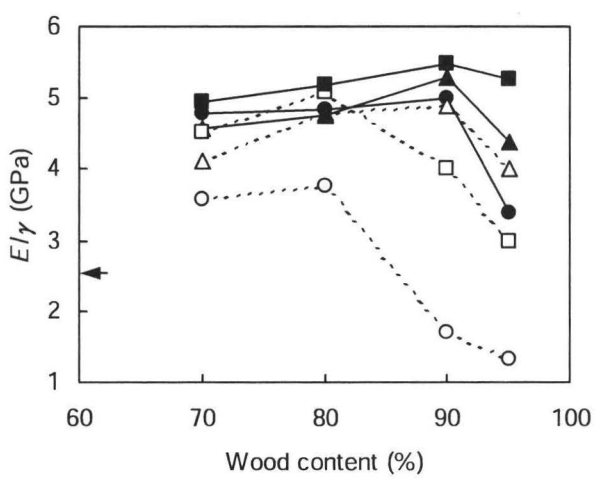


図 15　木粉—PS 複合体の比ヤング率と木材充填率の関係

○、●：粗い木粉（355~850 μm)を用いたもの、△、▲：中程度の木粉（150~355 μm)を用いたもの、□、■：細かい木粉（~150μm)を用いたもの、白抜き：アセチル化していない木粉を用いたもの、黒塗り：アセチル化した木粉を用いたもの
注 1：木粉と PS の混合物を型枠に入れ、160℃、10MPa で熱圧・成形した。
注 2：矢印は PS のみ（木材充填率 0%）の値を示す。

図 15 に示すように、アセチル化 WPSC の比ヤング率（ヤング率を比重で割った値）は、アセチル化していない木粉を用いた WPSC や PS 自体に比べて高く、アセチル化木材と PS がよくなじむことがわかりました。同様の傾向は曲げ強度についても認められました。また、アセチル化していない木粉を用いた WPSC の力学性能や寸法安定性が木材充填率 80%以上で急激に低下し

たのに対し、アセチル化 WPSC のそれらは 90%以下の木材充填率ではほぼ一定でした。さらに、図 16 に示すように、アセチル化していない WPSC は温水中で著しく膨潤し、その一部は完全に分解してしまいましたが、アセチル化 WPSC を水に浸けたときの寸法変化はわずかでした。木粉のアセチル化は、WPC の性能を損なうことなく木材充填率を高めるための有効な手段であると考えられます。

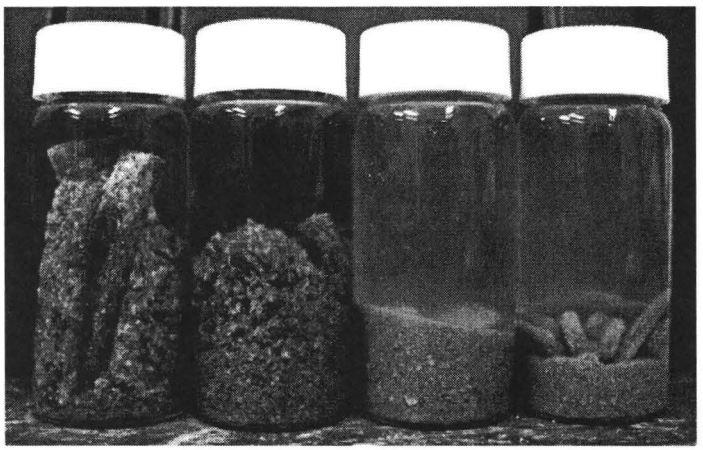


図 16　温水浸せき（50℃、24 時間）後の無処理木粉—PS 複合体の外観
左から、木材充填率 70%、80%、90%、95%
なお、アセチル化木粉を用いた複合体は外観上ほとんど変化しなかった。

3．摘要と今後の課題

安価で無害な無機塩である KAc を触媒に用いることで、従来不可能であった常温での気相アセチル化が可能となりました。KAc をあらかじめ木材中に含浸した上で、数日間処理する必要があるため、処理コストの面では従来法に劣りますが、薬剤の加熱や回収に要する設備が不要である上、扱いの容易な水溶性触媒を用いるため、小規模施設において低エネルギーでアセチル化するのに適した方法であると言えます。

さらに、アセチル化された木材が疎水性樹脂、特にポリスチレン樹脂に対して高い親和性を示すこと、アセチル化木材をポリスチレンと複合することにより、寸法安定性や耐水性に優れた圧密木材や木粉－樹脂複合体を得られることが明らかとなりました。

本研究によって確立された常温・気相アセチル化は、大規模な設備や複雑な工程を必要としないため、特に楽器製作者の間で注目を集めています。既に具体的な処理方法を解説した資料をフランス弦楽器製作者協会のウェブサイト上で公開していますが、今後はアセチル化木材の材質安定性や耐久性、安全性を活かした用途として、管楽器管体への適用を試みたいと考えています。

本研究に関連する論文の一覧

1. E.Obataya and K.Minato: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood: extraordinarily rapid acetylation at 120°C. *Wood Sci.Technol.* **42**(7), 567-577 (2008/10)
2. E.Obataya and K.Minato: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood at low temperatures I. Simplified method using a mixed reagent. *J.Wood Sci.* **55**(1), 18-22 (2009/02)

3. E.Obataya and K.Minato: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood at low temperatures II. Vapor phase acetylation at room temperature. *J.Wood Sci.* **55**(1), 23-26 (2009/02)
4. E.Obataya and K.Minato: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood: reaction rates at low temperatures. *Wood Sci.Technol.* **43**(5-6), 405-413 (2009/08)
5. E.Obataya and K.Minato: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood: Advantages of vapor-phase treatment at low temperatures. *Wood Sci.Technol.* 投稿中
6. 大澤晃司、小幡谷英一、梶山幹夫：アセチル化木材と熱可塑性樹脂の接着強度. 木材学会誌、投稿中
7. 大澤晃司、小幡谷英一、山内秀文：アセチル化木材－ポリスチレン複合体の力学特性. 木材学会誌、投稿中
8. 大澤晃司、小幡谷英一、山内秀文：アセチル化木粉－ポリスチレン複合体の力学特性. 木材学会誌、投稿中

地球温暖化防止を目的とした木毛繊維断熱板の開発研究

お茶の水女子大学　生活環境教育研究センター
名誉教授　田中 辰明

1．本研究の背景と目的

民生用エネルギー消費は日本全体のエネルギー消費の1/3程度を占め、かつライフスタイルの変化、快適性の追及などにより、放置すれば消費量はますます増大する傾向がある。これを削減するには住宅・建築の断熱化が大きく寄与する。

現在市場に出ている断熱材の多くは生産時に大きなエネルギーを消費し、かつ用済みになった場合には廃棄物となり、その処理に問題を残すものである。そこで、生産時には二酸化炭素を吸収し、用済みになっても自然に無公害で戻すことが出来る木材を原料とする「木毛繊維断熱板」に着目した（Fig. 1参照）。木毛繊維断熱板はドイツで材木を使用することで林業の活性化を計ることを目的に進められている。また、断熱材であるので、住宅・建築の省エネルギー化に寄与し、地球温暖化の防止に役立つ。これらの日本への適用について研究することを目的とし、以下を実施した。

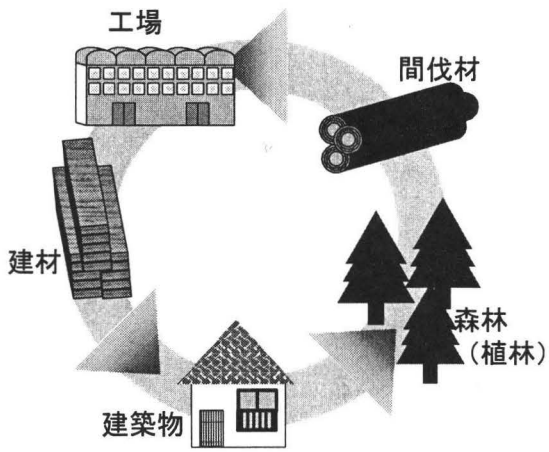


Fig. 1 森林－植林－木材－建物の循環

木毛繊維断熱板はドイツでは小規模ながら製造、商品化されているので、それらの概要調査を実施する。また、木毛繊維からなる断熱材であるので、使用方法（断熱材の位置等）を間違えると、断熱材が湿潤になりカビなど湿気による害を受けることも予想されるので、非定常熱湿気同時移動解析プログラムWUFI日本版により日本の各地域における正しい木毛繊維断熱板の配置、防湿シートの位置などを定め、設計の指針を作成する。

2．木毛繊維断熱板の物性調査

木毛繊維断熱板の熱伝導率、比熱、比重、吸水率、水蒸気拡散抵抗係数など基本物理特性、その他特徴的な物性に関して調査した結果を示す。

2.1 物性に関する整理

2.1.1 密度

密度（kg/m^3）は体積と乾燥時の質量を測定すれば、式） 1により得られる。また、多くの建材について既知の値であり、文献等で探すことが可能である。

式） 1　$\rho = \frac{m}{V}$　　ここでρ：密度（kg/m^3），m：乾燥時の質量（kg），V：体積（m^3）

2.1.2 熱伝導率

熱伝導率（W/mK）は各物質の熱の伝わりやすさを示し、この値が大きいほど断熱性が低く、例えば鉄は約84（W/mK）、発泡スチレンは約0.03（W/mK）である。式） 2で求められ、多くの建材で既知の値であ

る。ただし、この値は密度や温度、含水率に依存する。空隙がなく密度が一定の金属のような材料では、熱伝導率はほとんど一定の値だが、建材として使用される空隙をもつ断熱材のような材料では熱伝導率に幅があることに注意を必要とする。

式) 2 $\lambda = -q \cdot \frac{d}{\Delta T}$ ここでλ：熱伝導率（W/mK），$-q$：熱流束（W/m^2）単位面積あたりに通過する熱の量，d：材料の厚み・距離（m），ΔT：温度変化（K）

2.1.3 比熱

比熱（J/kgK）はある物体1kgを1℃（K）上げるのに必要なエネルギーで、物質ごとに固有の値である。

式) 3 $c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T}$ ここでc：比熱(J/kgK)，ΔQ：熱量（J），m：乾燥時の質量（kg），ΔT：温度変化（K）

2.1.4 水蒸気拡散抵抗係数

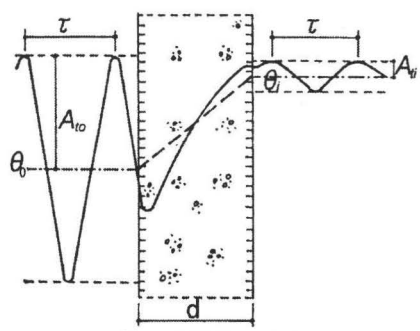
水蒸気拡散抵抗係数μは日本ではあまりなじみのない物性値であるが、国際規格ISO 9346「断熱—物質移動—物理量および定義」[1]の中で規定されており、現在日本工業規格でも用語や定義の整理がおこなわれている。水蒸気拡散抵抗係数μは材料の湿気の通しにくさが、同じ厚みの空気層の湿気の通しにくさに比べて何倍かを示す無次元の物性値である。日本ではまだ湿気に関する建材物性値が整理されていないため、湿気の通しやすさを示すのに湿気伝導率あるいは透湿率(g/mhmmHgあるいはkg/mhPa)が使われることがある。これらからの換算式を次式に示す(なお、静止空気の湿気伝導率が示される文献は少ないが文献2によると、0.077～0.1（g/mhmmHg）と記載されているので参考に示す[2]。

式) 4 $\mu = \frac{1/p}{1/\delta} = \frac{\delta}{p}$ ここで μ：水蒸気拡散抵抗係数（-），p：材料の湿気伝導率あるいは透湿率（g/mhmmHg,, kg/mhPa），δ：空気層の透湿率（g/mhmmHg, kg/msPa）

2.1.5 比熱の通過と振幅の減少並びに位相の遅れ

熱容量は室温が一定に保たれるかどうかに関わる値であり、それは物質固有の比熱という物性値に関係する。熱容量はその物質の比熱に密度を乗じた値で、比熱が大きいほど、また物質の質量が大きいほど大きくなる。

ガラスを通して日射が室内に入る。これが床や壁に当たり相互放射を行い、また一部は床や壁に吸収されて時間遅れを伴って床や壁表面温度を上昇させる。壁や床の表面温度との温度差により室内空気に対流が起こり、室温を上昇させる。床や壁が厚いと熱容量が大きくなるため、日射が室内に入ってから時間遅れを伴って室温が上昇する。一方床や壁が薄い材料すなわち熱容量の少ないと、日射が入れば直ちに室温が上昇する。日射は周期的に変動するものであるが、熱容量の大きい部屋に入った日射熱は振幅の遅れが大きくなる。つまり日射熱の影響による室温変化が遅れて生じる。このような現象は外壁や屋根を通過する熱の現象にも適用できる（Fig. 2参照）。木毛繊維断熱板は他の通常の断熱材に比べて熱容量が大きいのでこの遅れが生じると考えられる。



式) 5 $TAV = A_{ti}/A_{to}$

TAV：振幅減衰，θ_o：平均外気温度（°C），θ_i：平均室内温度（°C），A_{to}：外気温度振幅（°C），A_{ti}：平均室内温度振幅（°C），τ：周期

Fig. 2 熱流は壁体を通過することにより振幅が減衰する

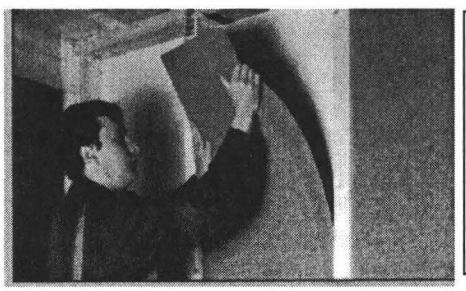
2.2　木毛繊維断熱板の基本物理特性

木毛繊維断熱板を取り扱う業者に関して、ドイツ現地への聞き取り調査をした結果、Table 1が推薦された。そのうち一部の商品について調査結果をFig. 3、Fig. 4、Fig. 5に示す。

さらに木毛繊維断熱板及び比較対象建材等の基本物理特性について文献調査を実施した[3)]。その結果をTable 2、Table 3、Table 4に示す。

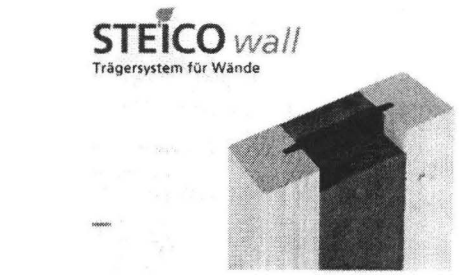
Table 1 木毛繊維断熱板実態調査結果

番号	社名	URL
1	Fa. Steico（ドイツ）	http://www.steico.de/index.htm
2	Fa. Pavatex（ドイツ）	http://www.pavatex.de/
3	Fa. Smrečina Hofatex Slovakia（スロバキア）	http://www.hofatex.eu/
4	Fa. Doser Holzfaser -Dämmsysteme GmbH（ドイツ）	http://www.doser-dhd.de/
5	Fa. Glunz（ドイツ）	http://www.glunz.de/
6	Firma Kronoply GmbH（ドイツ）	http://www.krono.com/cms/ziel/32141/DE



商品詳細データ（2004/9 現在）holzFlex 040（HOMATHERM 社）
記述　Semi rigid 木繊維スラブ　WF-EN-13 171_T3-TR2, 5-AF5 cert.-nr. 23.15-1417, 木質繊維断熱材（WF）　conform to EN 13 171:2001-10、組成　原材料：ウッドチップ、接合剤：ポリオレフィン、耐火剤：Ammmoniumupolyphosphate mix、製造 constituent 材料の混合－consolidation（液化）-continuous baff への成型のための接合過程－指定するサイズにカット、積み重ね、梱包、厚さ　30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 200（単位 mm）、サイズ　1,200×625、1,250×570（厚さ 60 mm から 200 mm：50mm 以外）その他のサイズも可能

Fig. 3 holzFlex (R)（HORMATHERM 社　カタログより抜粋）



Typ	Gurt b*h [mm]	Höhe H [mm]	Längen [m]	Gewicht [kg / lfm]
STEICO wall SW45	45*45	160	In Längen von 7,0 m, 9,0 m, 13,5 m und auf Anfrage bis 16 Meter erhältlich	2,4
	45*45	200		2,7
	45*45	240		2,9
	45*45	300		3,3
	45*45	360		3,7
STEICO wall SW60	60*45	160		3,0
	60*45	200		3,3
	60*45	240		3,5
	60*45	300		3,9
	60*45	360		4,3
	60*45	400		4,5
STEICO wall SW90	90*45	240		4,8
	90*45	300		5,2
	90*45	360		5,7
	90*45	400		5,8

Fig. 4 STEICO wall（STEICO 社）カタログより抜粋

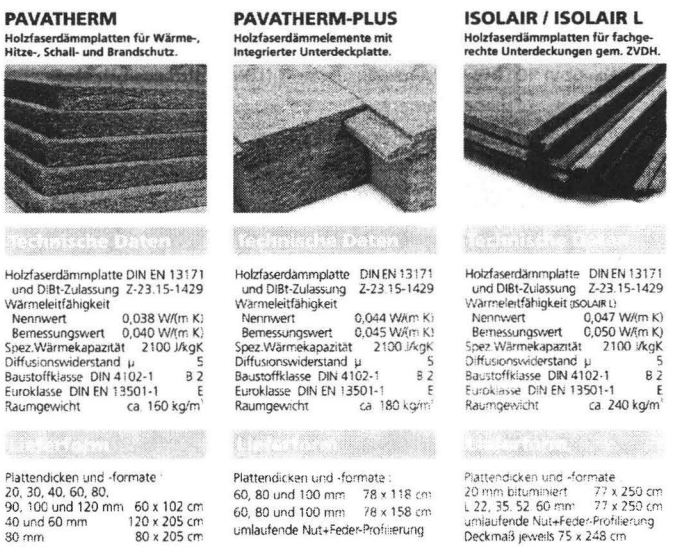


Fig. 5 PAVATEX 社商品群（カタログより抜粋）

Table 2 木毛繊維断熱材の熱伝導率及び水蒸気拡散抵抗係数[3)]

材料	λ（W/nλ測定値			μ（-）
	呼称値	分類I	分類II	
木毛繊維断熱材（DIN EN13171）	0.032	0.035	0.043	5
	0.033	0.036	0.044	〃
	0.034	0.037	0.045	〃
	0.035	0.038	0.046	〃
	0.036	0.039	0.047	〃
	0.037	0.040	0.048	〃
	0.038	0.041	0.049	〃
	0.039	0.043	0.052	〃
	0.040	0.044	0.053	〃
	-	-	-	〃
	-	-	-	〃
	-	-	-	〃
	0.065	0.071	0.085	〃

Table 3 木材[3)]

材料	ρ (kg/m³)	λ (W/mK)	c (J/kgK)	μ (-)	
				乾燥	湿潤
構造用木材	500	0.13	1600	50	20
構造用木材	700	0.18	1600	200	50
合板	300	0.09	1600	150	50
合板	500	0.13	1600	200	70
合板	700	0.17	1600	220	90
合板	1000	0.24	1600	250	110
セメント含有おがくず板	1200	0.23	1500	50	30
おがくず板	300	0.10	1700	50	10
おがくず板	600	0.14	1700	50	15
おがくず板	900	0.18	1700	50	20
OSB板	650	0.13	1700	50	30
MDFを含む木毛板	250	0.07	1700	5	2
MDFを含む木毛板	400	0.10	1700	10	5
MDFを含む木毛板	600	0.14	1700	10	12
MDFを含む木毛板	800	0.18	1700	10	20

Table 4 木毛繊維断熱材の密度、熱伝導率、水蒸気拡散抵抗係数[3)]

材料	ρ (kg/m³)	λ (W/mK)	μ (-)
木毛繊維断熱板（DIN68755）			
035	(110～450)	0.035	5
040	〃	0.040	〃
045	〃	0.045	〃
050	〃	0.050	〃
055	〃	0.055	〃
060	〃	0.060	〃
065	〃	0.065	〃
070	〃	0.070	〃
木毛軽量板（DIN EN1101） 板の厚さ≧25 mm			
065	(360～460)	0.065	2～5
070	〃	0.070	〃
075	〃	0.075	〃
080	〃	0.080	〃
085	〃	0.085	〃
090	〃	0.090	〃
15 mm≦板厚≦25 mm		0.15	〃
木毛板 10 mm≦板厚≦25 mm	(460～650)	0.15	2/5
065	〃	0.065	〃
070	〃	0.070	〃
075	〃	0.075	〃
080	〃	0.080	〃
085	〃	0.085	〃
090	〃	0.090	〃
板厚≧25 mm	(360～460)		

3．木毛繊維断熱板を使った施工事例の紹介

3.3　エネルギーパスの紹介

ドイツでは2008（平成20）年 7月からエネルギーパスが義務化された。床面積 1m² 当たり、年間に使用するエネルギーを（kWh）で示すものである。その例をFig. 6に示す。

ドイツでは住宅そのものの省エネルギー化に本腰を入れている。住宅の年間エネルギー消費量を一目で分るようにした「エネルギーパス」を作成し、住宅を新築、改築する際にこ

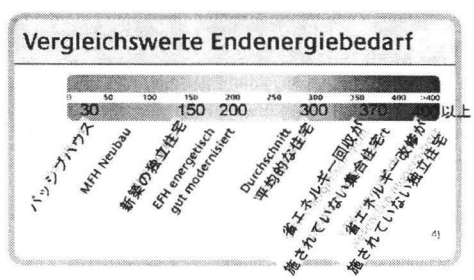


Fig. 6 住宅のエネルギーパスの例

れを発注者に渡さなければならなくなった。ドイツでは賃貸住宅に居住する人が多いのだが、オーナーが住宅を賃貸する際にエネルギーパスを提示することが法律で義務付けられた。年間のエネルギー消費量を横帯の尺度で示している。この横帯は着色されていて、右側の赤く示されている部分はエネルギー消費量が多く、中央の黄色は標準的、左の緑色は少ないことを示している。

3.4　毛繊維断熱板を用いた低エネルギー住宅の施工事例

ここでは、木毛繊維断熱板を用いた低エネルギー住宅の様々な住宅の施工事例を紹介する。

3.4.1 木毛繊維断熱板による制振遮音床を用いた施工事例

木毛繊維断熱板の制振遮音床を用いた住宅住宅は Q''_h= 61,75 KW/(m²a)の低エネルギーハウス（当時の独の低エネルギーハウス基準に準拠）である。Fig. 7に用いた木毛繊維断熱板、Fig. 8に平面図、Fig. 9に外観、Fig. 10に室内の様子を示す。2004 年に竣工した。

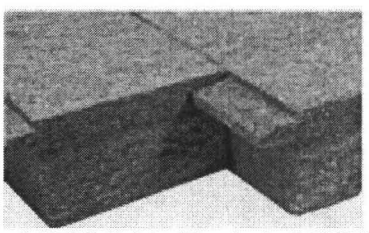


Fig. 7　制振遮音床に用いた木毛繊維断熱板

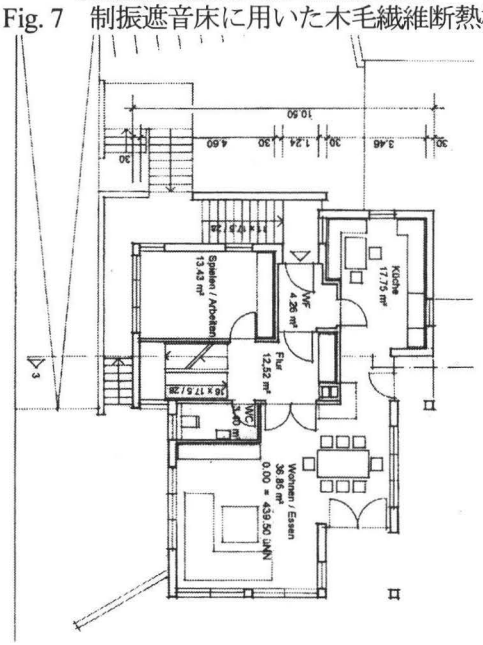


Fig. 8　平面図

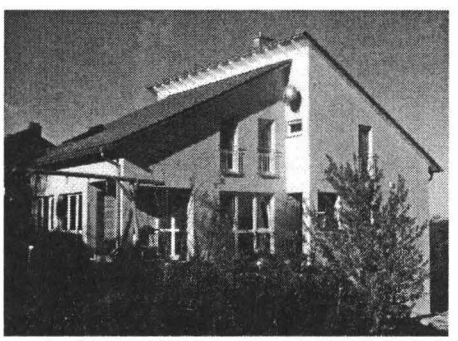


Fig. 9　木毛繊維断熱板による制振遮音床を用いた住宅外観（2004 年竣工）

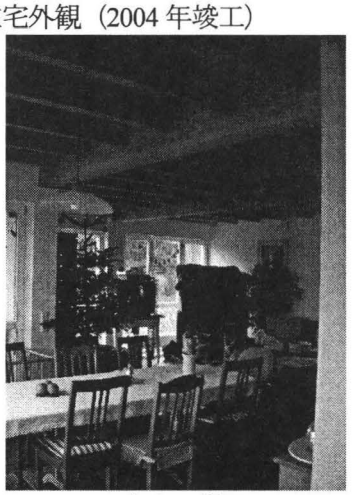


Fig. 10　室内の様子

3.4.2 木毛繊維断熱板用いたパッシブハウスの施工事例

Fig. 11は木毛繊維断熱板を壁で用いた住宅の外観である。この戸建住宅は Q''_h= < 15,00 kWh/m²a のパッシブハウスである。パッシブハウスで重要なのは断熱と夏の暑さ防止である。

Fig. 12に木毛繊維断熱板、Fig. 13に壁の構造を示す。2004 年に竣工した。

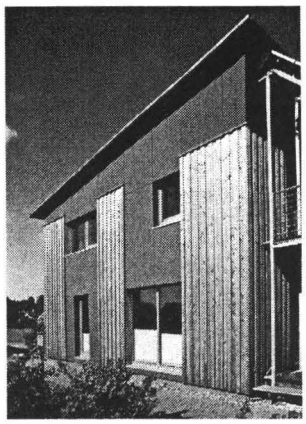


Fig. 11　2004年に竣工したパッシブハウス外観

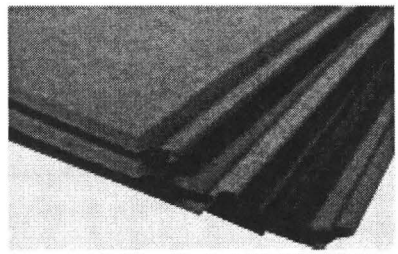


Fig. 12　用いた木毛繊維断熱板（Pavatex ISOLAIR　L）

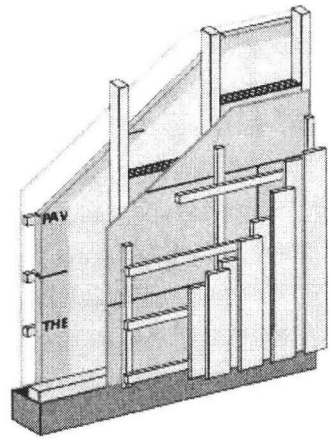


Fig. 13　壁の構造

4．木毛繊維断熱板を用いた構造の熱湿気性状解析

4.1　　背景と解析の目的

本研究では日本各地において木造建物の壁内湿気性状を明らかにすることを目的とし、非定常熱湿気同時移動解析を実施した。防湿のためにシートに加えて、吸放湿性が高いため結露防止が期待できるとされる木質繊維系断熱材に着目し、無機繊維断熱材と木毛繊維断熱材、防湿シート有無の比較を実施した。通称次世代省エネルギー基準[4]で区分される各地域において、断熱材の種類及び防湿シートが木造建物壁内湿気性状に与える影響を明らかにすることを目的とし、非定常解析を実施した。

4.2 方法

4.2.1 非定常解析プログラム

1次元非定常熱湿気同時移動解析プログラム WUFI Pro 4.1 for Japan（フラウンホーファー建築物理研究所）を用いた。熱湿気の蓄積と移動は式） 6、式） 7の連立方程式を元に解析される。WUFI は水蒸気及び液水移動、日射および雨の影響を考慮した上で1次元での非定常熱湿気同時移動を解析できるプログラムである[5)6)]。

式）　$6\ \frac{\partial H}{\partial T}\cdot\frac{\partial T}{\partial t}=\nabla\cdot(\lambda\nabla T)+h_v\nabla\cdot(\delta_p\nabla(\phi p_{sat}))$, 式）　$7\quad \frac{\partial w}{\partial \phi}\cdot\frac{\partial \phi}{\partial t}=\nabla\cdot(D_\phi\nabla\phi+\delta_p\nabla(\phi p_{sat}))$

H：湿った建材の蒸発潜熱（J/m3），T：温度（K），λ：熱伝導率（W/mK），hv：水の蒸発潜熱（J/kg），p：蒸気圧（Pa），psat：飽和蒸気圧（Pa），δ：空気中の水蒸気拡散伝導率（kg/msPa），φ：相対湿度（-），w：含水率（kg/m3），Dφ：水分移動係数（m2/s）

4.2.2 構造

Table 5に各建材の物性値、Fig. 14に壁体断面構造の解析モデルを示す。木質繊維系断熱材の比較対象として、一般的に充填断熱に用いられる無機繊維断熱材を選択した。住宅省エネルギー基準に合わせてI地区の場合のみ、付加断熱を施す設定とした。充填に木質繊維系断熱材（以下 WFB）を用いる場合は、同じ木質繊維系断熱材を付加断熱とし、充填に無機繊維断熱材（以下 MW）を用いる場合には押出法ポリスチレンフォーム（以下 XPS）を付加断熱として設定した。

壁体は屋外側より、外壁－通気層－透湿防水層－付加断熱（I 地区においてのみ）－合板－充填断熱－ポリエチレン製防湿シート(PE)－石膏ボードを想定した。以下防湿シートを設置した場合を”シートあり”、設置しない場合を”シートなし”と呼ぶ。

Table 5　建材物性値

種類	外壁	透湿防水層	合板	防湿シート	石膏ボード	XPS	MW	WFB
密度 (kg/m^3)	230	130	500	130	850	40	60	168
空隙率 (m^3/m^3)	0.9	0.0010	0.5000	0.0010	0.6500	0.9500	0.9500	0.8830
熱容量 (J/kgK)	920	2300	1500	2300	850	1500	850	2100
熱伝導率 (W/mK)	0.05	2.30	0.10	2.30	0.20	0.03	0.04	0.04
水蒸気拡散抵抗係数(-)	3.23	100.0	700.0	50000.0	8.3	450.0	1.3	3.3

防湿シート:ポリエチレンシート、ォーム、MW：無機繊維系断熱材、WFB：木質繊維系断熱材

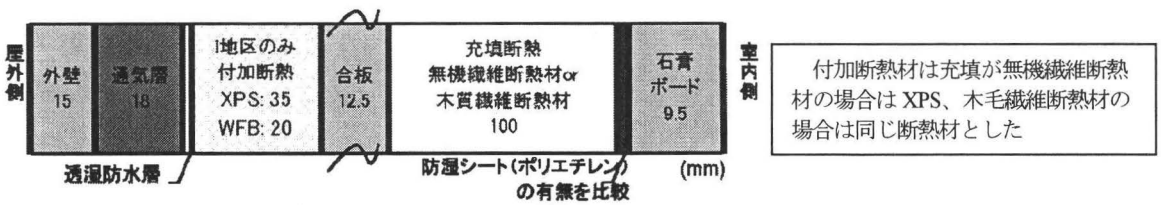


Fig. 14　壁体モデル（XPS：押出発泡スチレン、WFB：木毛繊維断熱材、I 地域のみ付加断熱）

4.2.3　気象条件

Table 6に対象地域の平均及び最高、最低の気温及び湿度、室内温湿度設定を示す。対象地域は次世代基準の各地域区分より２都市から３都市を選択した。気象条件は拡張アメダス気象データ標準年[7]を基に WUFI 用に変換された WUFI 付属データを用いた。室内温湿度は 2 月 15 日に最低 20° C･40%RH、8 月 15 日に最高 28° C･60%RH を示すサインカーブとなるよう設定した。

Table 6　対象地域の温度及び湿度（平均、最高、最低）

気象条件		温度 (℃)			相対湿度 (%RH)		
区分	都市	平均	最高	最低	平均	最高	最低
I	旭川市	6.9	33.3	-21.7	77	100	16
I	札幌市	8.9	32.6	-13.2	71	100	26
II	弘前市	9.9	33.3	-11.0	76	100	20
II	盛岡市	10.2	33.2	-13.1	73	100	20
III	仙台市	12.2	32.7	-6.1	70	100	12
III	長野市	11.6	34.5	-9.4	73	100	15
IV	新潟市	13.8	36.5	-3.8	70	100	20
IV	金沢市	14.3	34.3	-2.4	72	100	19
IV	東京都	16.1	35.3	-0.8	62	100	17
V	宮崎市	17.4	34.8	-5.8	73	100	17
VI	那覇市	22.7	32.7	10.9	75	100	33

4.2.4　その他の条件

分析開始時の湿度は、各地域の平均湿度に対する典型的な建材の含水率（プログラム搭載データ）を、また温度は各地域の平均温度を与えた。分析は経年の水分蓄積を確認するために条件が厳しい冬季にむかう 10 月 1 日から 3 年分実施した。建物の向きは南向き、10m までの高さの戸建て建物を想定した。降雨量、風向、風速等によりその方位の構造にあたる雨の量が算出される。垂直の壁を想定しているので、そのうち 70%がかかると想定した。

4.2.5　判定基準

住宅性能評価機関等連絡協議会ガイドライン（2004）[8] 及び、ドイツ工業規格 DIN4108-3[9] を参考に、全体含水率（kg/m^2）が経年で増加[8) 9)]した場合水分の蓄積の危険性があり、構造内任意の点の湿度が 98%RH 以上で結露[8]、80%RH を長期間超えるとカビの危険性[9]があると判断した。

4.3　結果および考察

4.3.1　含水率

含水率が経年上昇すると水分蓄積の可能性があるとして不適切であると判断できるが、本結果ではすべての条件で水分の蓄積は見られなかった。

4.3.2　湿気分布

Fig. 15からFig. 18に旭川市、Fig. 19からFig. 22那覇市における壁体断面湿気分布を示す。実線は解析最後の

データ（3 年目 10 月 1 日 0:00 時点）、網掛けは解析期間中の履歴を示す。寒冷地の旭川市では温度差の大きい充填断熱と合板の境界が高湿度になることが分かった。I 地区（旭川市、札幌市）、II 地区（弘前市、盛岡市）、III 地区（仙台市、長野市）及び IV 地区の新潟市、金沢市の計 8 都市で同様の傾向であった。一方那覇市の場合は、逆に湿気が遮られる防湿シート屋外側が最も高湿度になり、宮崎市、東京都でも同様の傾向を示した。

4.3.1 相対湿度

旭川市、（I 地区）、札幌市（I 地区）の解析 3 年目の相対湿度変化をFig. 23、Fig. 24に示す。無機繊維断熱材充填断熱（I 地区は XPS 付加断熱）でシートなしの場合、冬季に 80%RH 以上の高湿度を示した。この傾向は旭川市、札幌市、弘前市、盛岡市、仙台市、長野市、新潟市、金沢市で同様の傾向であった。防湿シートを設置するとどちらの断熱材でも冬季の高湿度が改善され、シートの防湿効果が認められた。また、シートなしで断熱材を木質繊維系に変えると、冬季の湿度が低くなった。中でも札幌市、仙台市、新潟市、金沢市では 80%RH 以下に維持された。この理由は、木質系断熱材が無機繊維断熱材に比較して湿気を通しにくいため、室内から壁に入った湿気のうち湿気のたまりやすい断熱材と合板の境界に達する湿気が少なくなるためであると考えられる。しかし改善が認められるとはいえ、80%RH に近い高い湿度を示しているため、室内条件等によっては 80%RH を超える可能性があることを考慮しなければならない。

一方、蒸暑地那覇市、宮崎市における相対湿度変化をFig. 25Fig. 26に示す。那覇市ではどちらの断熱材でも、シート屋外側で夏季に 80%RH 以上の高湿度であったが、東京都ではどちらの断熱材も 80%RH 以下であった。

宮崎市では、無機繊維断熱材の場合には夏季に 80%RH 付近に達していたシート屋外側の相対湿度が、木質系断熱材の場合は 80%RH 以下に維持された。那覇市、東京都においても木質系断熱材の方が低い湿度であった。これは冬季結露の場合と逆に、壁内に入ってくる夏の湿った外気が木質系断熱材で吸湿されるため、シートに達する湿気の量が少なくなると考えられる。実際のところ那覇市、宮崎市のような V 地区、VI 地区で寒冷地仕様の建物を建てることはほとんどないと考えられる。しかし、今回解析対象とした新潟市、金沢市、東京都では同じ IV 地区でありながら異なる壁内湿気分布となるような場合がある。したがって、気象条件に工法がふさわしいかどうかをシミュレーションすることが重要である。また、様々な断熱材により、同じ断熱性能でも湿気に関する物性値により、湿気性状が異なるため事前に解析することで湿気の害を回避し、工法の選択肢を増やすことが可能となるであろう。

4.4 結論

本項では木造建物における断熱材の種類及び防湿シートの有無が、壁体内部湿気性状に与える影響を明らかにすることを目的とし、非定常熱湿気同時移動解析を実施し、以下の結論を得た。I、II、III 地区及び、IV 地区のうち新潟市、金沢市の寒冷地ではシートを設置することにより、断熱材屋外側が冬季に高湿度になるのを防ぎ、断熱材を無機繊維断熱材から木質繊維系に変えると冬季の湿度がひくくなる傾向が認められた。

那覇市、宮崎市では、防湿シートを設置するとその屋外側で夏季に高湿度となるが、木質系にすると少し湿度が低くなった。

5. まとめ

本研究では、生産時には二酸化炭素を吸収し、用済みになっても無公害で自然に戻すことが出来る木材を原料とする「木毛繊維断熱板」に着目した。これらの日本への適用について研究することを目的とし、調査を実施した。木毛繊維断熱材の基本物理特性の文献調査結果を提示した。また同時に、市販されている商品の情報も示した。また木毛繊維断熱板を用いた低エネルギー住宅の施工事例を紹介した。さらに、木毛繊維断

熱板を用いた構造の熱湿気性状解析を実施し、日本の各都市において非定常熱湿気解析をおこない、各地域に適した工法を示した。木毛繊維断熱板は、非定常解析で地域の気候ごとにその工法が適しているかどうかを確認することにより、より安全に日本においても適用できることを示した。

参考文献

1) 国際規格 ISO 9346「断熱—物質移動—物理量および定義」

2) 木村幸一郎: 建築計画原論（新版）: 共立出版株式会社 (1959)

3) Erich Cziesielski: Bauphysik Kalender 2004: Ernst & Sohn (2004)

4) 次世代省エネルギー基準解説書編集委員会: 住宅の省エネルギー基準の解説: （財）建築環境・省エネルギー機構 (2002)

5) H. M. Künzel; Aussen dampfdicht, vollgedaemmt? Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten aussen dampfdichter Steildaecher; bauen mit holz (1998)

6) 柚本玲; 非定常熱湿気同時移動解析プログラム：WUFI（ヴーフィ）について; 建材フォーラム; No.362 (2006) p.13-p.15

7) 拡張アメダス気象データ; 日本建築学会編

8) 住宅性能評価機関等連絡協議会, 計算又は実験の結果による温熱環境（結露の発生を防止する対策）に関する試験ガイドライン（2004/04）

9) ドイツ工業規格 DIN4108-3

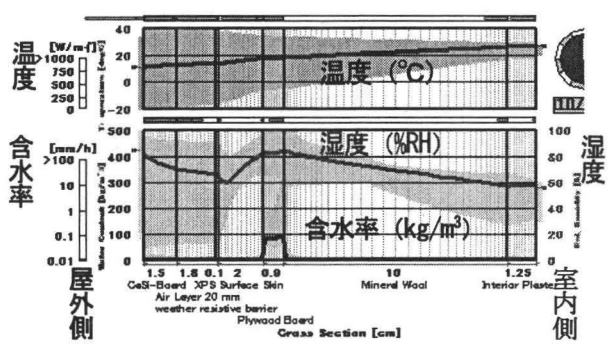


Fig. 15 旭川（I 地区）－防湿シートなし－充填断熱材：無機繊維断熱材－付加断熱を押出法ポリスチレンフォーム（XPS）の壁体断面湿気分布

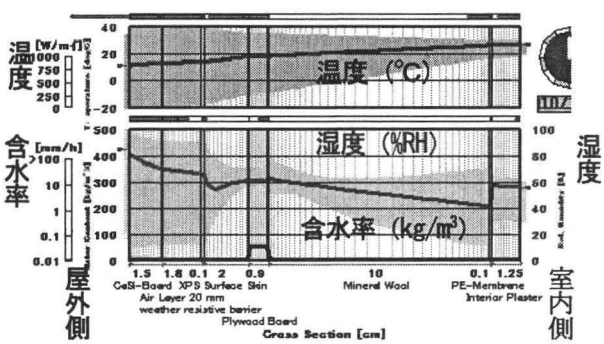


Fig. 16 旭川（I 地区）－防湿シートあり－充填断熱材：無機繊維断熱材－付加断熱を押出法ポリスチレンフォーム（XPS）の壁体断面湿気分布

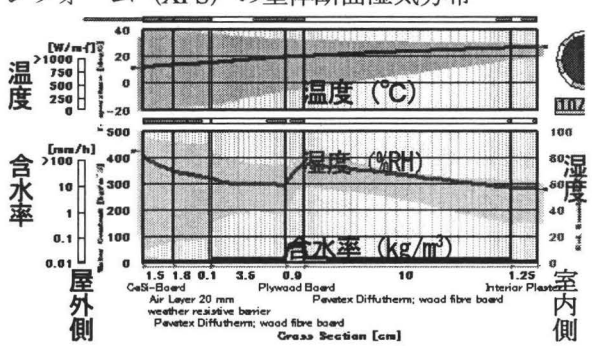


Fig. 17 旭川（I 地区）－防湿シートなし－充填および付加断熱：木毛繊維断熱材（WFB）の壁体断面湿気分布

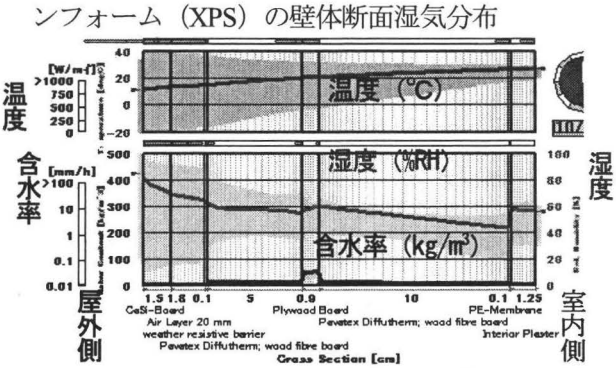


Fig. 18 旭川（I 地区）－防湿シートあり－充填および付加断熱：木毛繊維断熱材（WFB）の壁体断面湿気分布

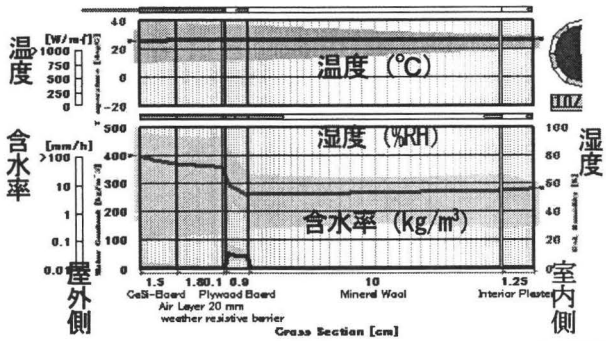


Fig. 19　那覇（VI 地区）－防湿シートなし－充填断熱材：無機繊維断熱材の壁体断面湿気分布

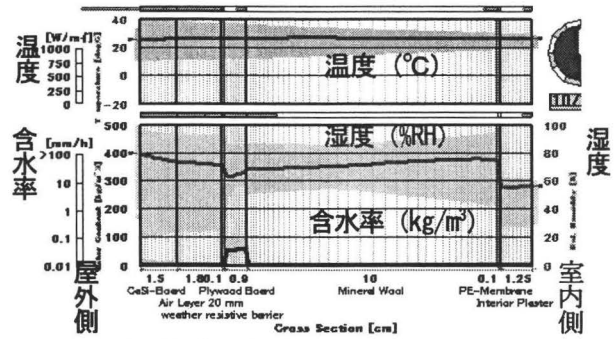


Fig. 20　那覇（VI 地区）－防湿シートあり－充填断熱材：無機繊維断熱材の壁体断面湿気分布

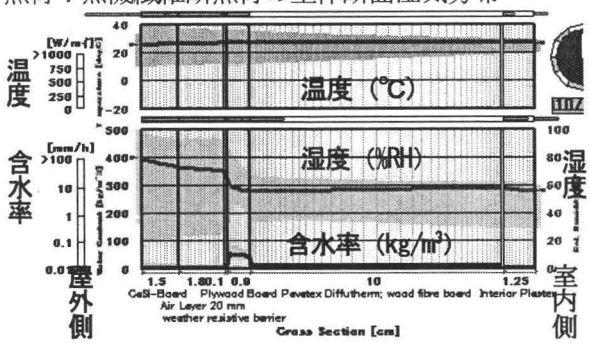


Fig. 21　那覇（VI 地区）－防湿シートなし－充填断熱：木毛繊維断熱材（WFB）の壁体断面湿気分布

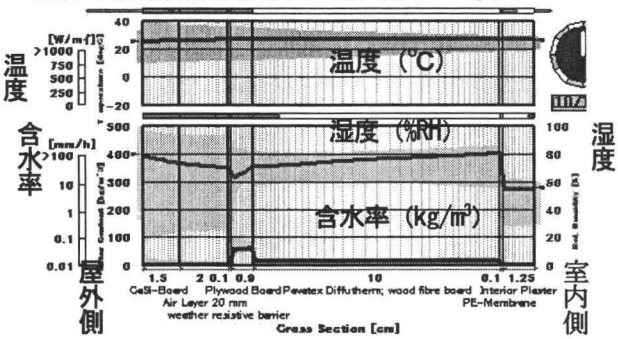
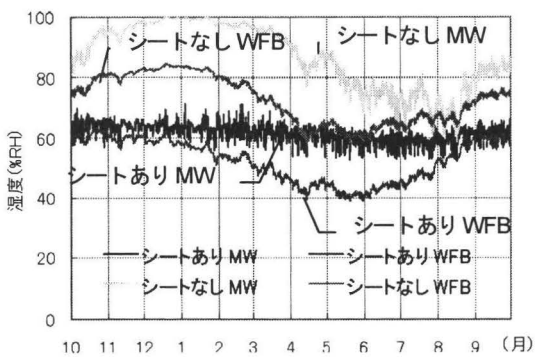
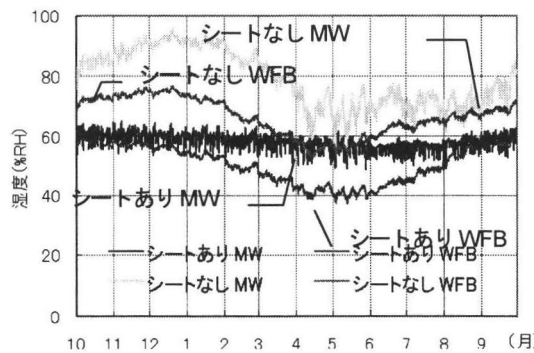


Fig. 22　那覇（VI 地区）－防湿シートあり－充填断熱：木毛繊維断熱材（WFB）の壁体断面湿気分布



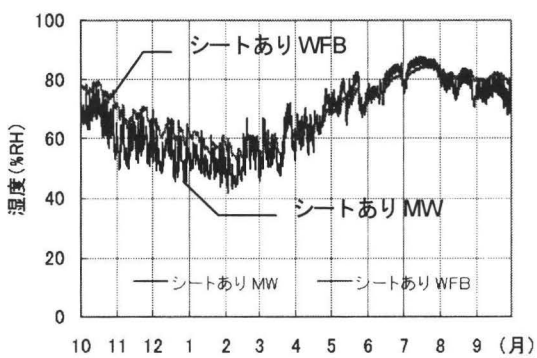
MW：無機繊維断熱材、WFB：木毛繊維断熱材

Fig. 23　断熱材屋外側の相対湿度変化（旭川：I 地区）



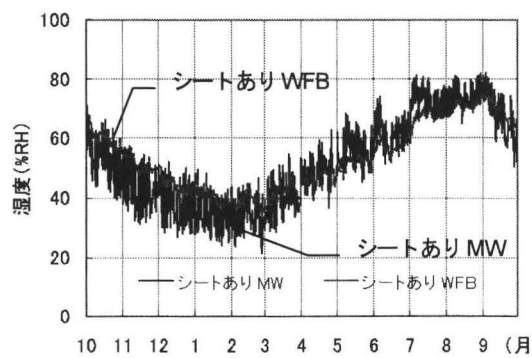
MW：無機繊維断熱材、WFB：木毛繊維断熱材

Fig. 24　断熱材屋外側の相対湿度変化（札幌：I 地区）



MW：無機繊維断熱材、WFB：木毛繊維断熱材

Fig. 25　防湿シート屋外側の相対湿度変化（那覇：VI 地区）



MW：無機繊維断熱材、WFB：木毛繊維断熱材

Fig. 26　防湿シート屋外側の相対湿度変化（宮崎：V 地区）

間伐した地域材利用による木造耐力要素の開発

岐阜県立森林文化ｱｶﾃﾞﾐｰ
講師　小原勝彦

１．本研究の背景と目的

１．１　研究背景

近年岐阜県では針葉樹間伐材の利活用の活性化に向けて取り組んでいる。戦後植樹されてきた樹木が生長してきており、多量にある樹木の建築への活用方法を模索している状況である。また、1995 年の阪神大震災や近年の各地での震災等から、一般の方々にも木造建築の耐震性への関心が高まってきており、耐震性能の高い木造建物の開発に期待が高まっている。

間伐材を利用した耐力壁要素として、これまで製材半剛接合架構、面格子耐力壁、および幅矧ぎパネル耐力壁の開発に関わってきた。また、間伐材幅矧ぎパネル水平構面の開発、および間伐材の構造躯体を現しで用いるための仕口接合金物の技術開発に関わってきた。これらの技術開発からの間伐材を構造要素として利用していく技術的ノウハウの蓄積を生かし本研究に取り組む。

１．２　岐阜県の森林の現状

岐阜県の森林所有区分面積の内訳は、国有林が 181 千 ha、民有林が 686 千 ha で、民有林は県土面積の 64.6%を占めている。全国に比較して、岐阜県では民有林の割合が高く、民有林面積は平成 13 年度末現在で全国第３位である。岐阜県の民有林の樹種別面積をみると、人工林ヒノキの割合が全国数値に比較して高くなっており、平成 13 年度末現在で、岐阜県のヒノキ人工林面積・蓄積とも、高知県に次いで第２位となっている。また、岐阜県の森林蓄積量は年々増加しており、国有林を含めた蓄積は 152,759 千 m^3、うち民有林蓄積は 127,789 千 m^3 となっている。特に近年では人工林蓄積が著しく増加している。

これは、人工林における杉の蓄積量が増加してきているが主要な要因のひとつである。岐阜県内のスギ人工林は、現在 34,694 千 m^3 であり、毎年 685 千 m^3 ずつ生長している。一方、伐り出される量は、毎年 118 千 m^3 程度であり、生長量の 1／6 にすぎない。あとの５／6 は、森林に蓄積され、将来の貴重な森林資源になっている。その反面、生長していく樹木を利用していく方法も模索しなければならない。

岐阜県中濃地域の杉の面積の齢級分布をみると、戦後植林された７齢級～９齢級（35 年生～45 年生）の杉の面積が非常に多いことが分かる。林業では、伐採対象となる樹木が９齢級以下の場合は「間伐材」とされ、10 齢級以上の場合は「長伐期材」とされている。

ここで、９齢級（45 年生）の岐阜県中濃地域の杉の胸高直径（cm）の分布を見る。胸高直径とは人間の胸の高さにおける樹木の直径のことである。同じ９齢級（45 年生）であっても、胸高直径が 10cm 程度のものから 46cm 程度のものまである。例えば、末口直径（丸太にしたときの樹木の先端側の直径）が小さくとも 18cm 程度以上でないと、12cm×12cm 程度の正角材（柱材）を得ることはできない。

以上より、戦後植林した杉の蓄積量が非常に多くなっている状態であり、現状では生長量の 1/6 程度しか利用されていない状況であることが分かる。また、同じ樹齢の樹木であっても、その径級にはばらつきが大きく、小径の間伐材の利用方法が重要である。同時に、大径の木材の副製品（辺材など）の利用方法も重要である。

１．３　研究目的

本研究では、現状の地域の森林状況を踏まえた上で、小径の間伐材および大径木材の副製品（辺材など）の利用方法の１つとして、間伐材を利用した様々な耐力要素への利用を提案する。そして、耐力壁や水平構面を開発するための基礎データを取得することを目的とする。

２．間伐した地域材利用による「補剛面格子耐力壁」の開発（その１）

２．１　面格子耐力壁の現状

面格子耐力壁（耐力壁とは地震力や風圧力などに抵抗する壁のこと）は平成 15 年 12 月 9 日の国交告第 1543 号で、土塗り壁、落とし込み板壁とともに壁倍率（耐力壁の強さを示す指標）が位置づけられた。壁倍率とは実験から得られる 4 つの耐力の最小値で求められる。その耐力とは、①初期剛性（初期の時点での変形のし難さ、建物が変形しても内外装材が不具合を生じない状態として概ね 1/150rad.時、20mm 弱変形時の耐力）、②最大耐力の 2/3 の耐力、③降伏耐力（除荷された場合に工学的に変形がゼロに戻ると想定可能な限界の耐力）、③エネルギー吸収性状（大地震時の挙動からエネルギー一定則に基づき逆算して求めた耐力）である。

この面格子耐力壁の構造的メカニズムは、各節点部分での木材同士のめりこみであるため、最大耐力は高く、変形性能も高いのが特徴である。また、加工時及び施工時に各節点での部材同士の隙間がどうしても生じるため、初期剛性が低いという特性がある。つまり、前述の「①初期剛性」で壁倍率が決まってしまっているわけである。

筋かいや構造用合板の耐力壁と比較すると、これらの特性がよく分かる。従って、同告示の仕様では面格子耐力壁（樹種はスギ、格子材は 105mm 角材、その間隔は 310mm 以下、節点の嵌合は相欠き）は壁倍率 n が 1.0 と低い値とされている。一般的な耐力壁の壁倍率は筋かい（断面が 45×90mm）耐力壁では 2.0、構造用合板耐力壁では 2.5 である。従って、面格子耐力壁の壁倍率がこのような数値であるとなかなか利用されにくい。

２．２　面格子耐力壁の改良方針

面格子耐力壁は初期剛性を高めることにより、壁倍率を高くすることが可能である。このように剛性を補うことを本研究では「補剛」と言う。面格子耐力壁を補剛する方法は大きく 2 種類考えられる。各節点を込み栓やビスなどで補剛する「節点補剛」と、格子間に補剛材を挿入して補剛する「格子間補剛」である。

また、格子材めり込み強度の向上のために節点の勘合部分を両相欠きとした。こうすることにより、プレカット加工を容易にできる。こうすることで、50×100mm の部材を利用することができ、より小径木な間伐材を利用することを目的にできる他、長伐期材の辺材部分を有効利用する可能性をも探った。

２．３　静的せん断加力実験

（１）せん断加力実験の方法

財団法人日本住宅・木材技術センター企画編集の「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008 年版）」中の「第 6 章　試験方法と評価方法」の「6.3 鉛直構面及び水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための断試験」に準拠して実験を実施した。アクチュエータ（100[kN]±300[mm]）を供試体の桁高さに設置して加力を行った。加力治具は梁の両端部を鋼棒（φ16）で緊結したものを用いた。面外座屈を防ぐ治具を桁の２ヵ所に設置した。鉛直荷重を無載荷による柱頭柱脚固定式もしくはタイロッド式による実験方法とした。加力は正負交番繰り返し加力とし、変形角が 1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50[rad.]で３回繰り返し加力を行い、その後破壊まで単調加力を行った。

（２）供試体概要

供試験体は 2 種×3 体であり、長さ 910[mm]、高さ 2730[mm]の軸組構法の壁構面である。供試体「両面化粧型」は新築対応用、供試体「パネル型」は改修対応用と想定した壁である。両供試体とも縦格子は断面 100×50mm を用いて、横格子に対して両相欠きで格子節点を構成している。各格子節点はビスによる節点補剛をした。「パネル型」は格子を嵌め込んだパネル枠（断面 100×45mm）をビスにより軸組躯体に留めつけた。両供試体とも木材は全て岐阜県産スギ間伐材を使用した。

２．４　実験結果

（１）破壊概要

両供試体とも各格子節点での部材のめり込み、各格子節点でのビスのめり込みが確認できた。

（２）荷重－変位関係

荷重－変位関係(包絡線)を図 2.1 に示す。参考値として、告示仕様の面格子耐力壁(n=1.0)、筋かい耐力壁(n=2.0)、構造用合板耐力壁(n=2.5)を併せて図中に記載した。

告示仕様面格子耐力壁に比較し、節点補剛をした「両面化粧型」及び「パネル型」では、初期剛性が高い。筋かい耐力壁や構造用合板耐力壁に比較し、節点補剛をした「両面化粧型」及び「パネル型」では、最大耐力が高い。

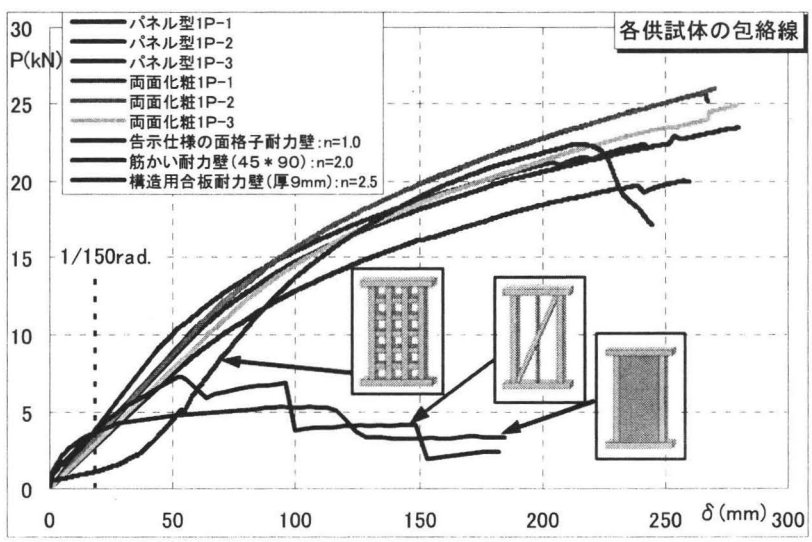


図 2.1　荷重－変形関係

（3）壁倍率とエネルギー吸収性状

短期許容基準耐力は(2/3Pmax、Py、P1/120or150rad、0.2･Pu/Ds)の最小値から求めた。3体のばらつきを評価した壁倍率(低減係数考慮せず)とその決定因子を表 2 に示す。壁倍率の決定因子は、両供試体とも P150rad であった。その結果を表 2 に示す。壁倍率は「両面化粧型」では 1.88、「パネル型」では 2.13 であった。

等価粘性減衰定数(Heq)、等価剛性(Ke)、履歴吸収エネルギー(EH)は、Heq は「両面化粧型」では 0.09～0.20、「パネル型」では 0.10～0.18 であった。Ke は「両面化粧型」では 0.13～0.40、「パネル型」では 0.12～0.43 であった。

2．5　「補剛面格子耐力壁」の開発（その１）のまとめ

告示仕様では 105 角材で壁倍率が 1.0 であるが、それよりも細い 100 角材を利用して、高倍率面格子耐力壁の可能性を探ることができた。それは、節点補剛により、100×100 の格子材を利用した面格子耐力壁の初期剛性を高めることができたためである。3 体のばらつきを評価した壁倍率は 1.88、2.13 であり、告示仕様の面格子耐力壁よりも高い値が得られた。

3．間伐した地域材利用による「補剛面格子耐力壁」の開発（その２）

3．1　小径間伐材による補剛面格子耐力壁の目的

第 2 章の「補剛面格子耐力壁の開発」により、告示仕様では 105 角材で壁倍率が 1.0 であるが、それよりも細い 100 角材を利用して、高倍率面格子耐力壁の可能性を探ることができた。このことにより 50×100 材の利用提案ができた。しかし、さらに小径の間伐材利用の可能性を探るため、断面の小さな 90mm 角や 75mm 角などを利用した面格子耐力壁による高倍率面格子耐力壁の可能性を模索することを目的とする。

3．2　静的せん断加力実験

第 2 章で示した加力方法により、静的せん断試験を実施した。供試体は、7 仕様 9 体とした。長さ 910[mm]、高さ 2730[mm]の軸組構法の壁構面である。全仕様ともビスによる節点補剛、「パネル型」とし、改修対応用と想定した壁である。

両供試体とも縦格子は断面 70×37.5mm もしくは 90×45mm を用いて、横格子に対して両相欠きで格子節点を構成している。「パネル型」は格子を嵌め込んだパネル枠をビスにより軸組躯体に留めつけた。全ての両供試体の木材は、全て岐阜県産スギ間伐材を使用した。

3．3　実験結果

（1）破壊概要

全供試体とも破壊概要として、各格子節点での部材のめり込み、各格子節点でのビスのめり込みが確認できた。

（2）荷重－変位関係

荷重－変位関係(包絡線)を図 3.1 に示す。参考値として、告示仕様の面格子耐力壁(n=1.0)、筋かい耐力壁(n=2.0)、構造用合板耐力壁(n=2.5)を併せて図中に記載した。告示仕様面格子耐力壁に比較し、いずれの供試体でも初期剛性が高い。筋かい耐力壁や構造用合板耐力壁に比較し、いずれの供試体でも最大耐力が高い。

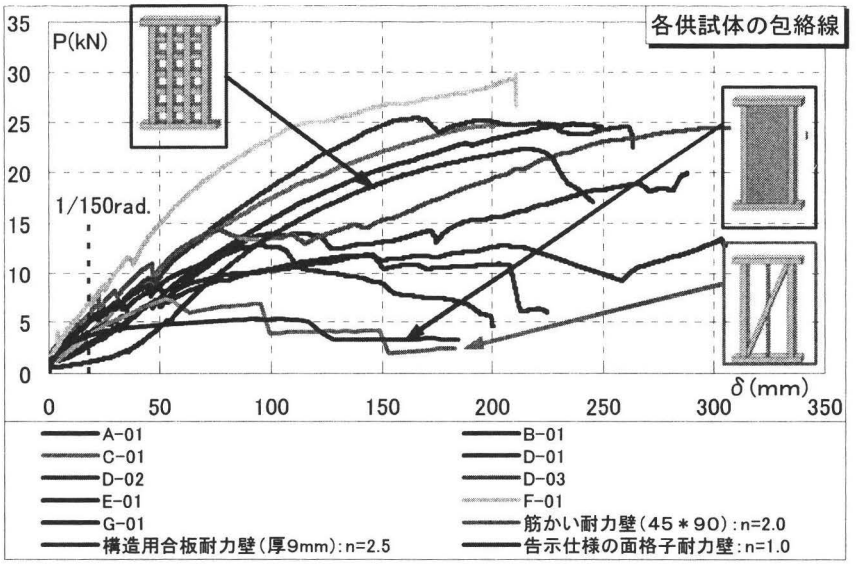


図 3.2　荷重－変形関係

（3）壁倍率とエネルギー吸収性状

短期許容基準耐力は(2/3Pmax、Py、P1/150rad、0.2･Pu/Ds)の最小値から求めた。壁倍率(低減係数考慮せず)を表 2 に示す。壁倍率の決定因子は、E-01 供試体を除き、P1/150rad であった。

等価粘性減衰定数(Heq)、等価剛性(Ke)、履歴吸収エネルギー(EH)を図 6～8 に示す。Heq は 0.07～0.17、Ke は 0.15～0.30(1/150rad.程度)、EH は 50～100(1/150rad.程度)であった。

3．4　パネル型面格子耐力壁の実験結果と理論値の検証

（1）理論値の計算

供試体の面格子パネルの仕様を考慮し、それぞれ面格子パネルの剛性 Kp1、Kp2、Kp3 を計算する。計算した剛性を並列バネとして足し合わせ、面格子パネルの総合剛性 Kp とする。この Kp と、面格子パネルの圧縮筋かい剛性 Ka、面格子パネルの柱へのめり込み剛性 Kc、面格子パネルの横架材へのめり込みによる剛性 Kb、ビスによるせん断剛性 Kd を直列バネとし、耐力壁全体の剛性 K を算出する。

$$Kp = Kp_1 + Kp_2 + Kp_3 \qquad \text{式 3.1}$$

$$K = \frac{1}{\left(\frac{1}{Kp} + \frac{1}{Ka} + \frac{1}{Kc} + \frac{1}{Kb} + \frac{1}{Kd}\right)} \qquad \text{式 3.2}$$

ここで、

Kp1,2,3	面格子パネル 1 枚分の剛性
Kp	面格子パネルの総合剛性
Ka	面格子パネルの圧縮筋かい剛性
Kc	面格子パネルの柱へのめり込みによる剛性
Kb	面格子パネルの横架材へのめり込みによる剛性
Kd	ビスによるせん断剛性
K	パネル型面格子耐力壁の剛性

（２）実験結果と理論値の比較

実験結果におおよそ近い理論値を得ることができた。しかし、パネル端寄せの理論値では、実験結果に近い値を得ることができなかった。今後は、柱の曲げ強度などを考慮することが課題である。

３．５　「補剛面格子耐力壁」の開発（その２）のまとめ

告示仕様では 105 角材で壁倍率が 1.0 であるが、それよりも細い 75mm 角材や 90mm 角材を利用して、高倍率面格子耐力壁の可能性を探ることができた。それは、節点補剛により、面格子耐力壁の初期剛性を高めることができたためである。各供試体において壁倍率は 75mm 角材仕様供試体では、1.59～1.61 程度であり、90mm 角材仕様供試体では、2.14～3.49 程度であり、告示仕様の面格子耐力壁よりも高い値が得られた。また、理論値との検証では、理論値が実験値を概ね捉えていることが確認できた。

４．間伐した地域材利用による「スギ板材水平構面」の開発

４．１　目的

スギ中目材の需要拡大のため、スギ平角材の普及をはかるべく全国各地でスパン表が整備されている。岐阜県では「岐阜県スギ横架材のスパン表」を、2008 年度にパーフェクト版[2)]を、2009 年度に配布版３分冊[3)～5)]を作成した。その一方で、スギ材製材に関しては、平角材のような主製品ばかりでなく、同時に副製品の需要を喚起しなければ、相対的にスギ中目材の需要は増えてはいかない。特に平角材は柱材とは異なり、副製品の比率が高く、その利用を図ることは重要な位置付けとなる。かつてのスギ材は各種造作材としてその用途は多岐にわたっていたが、現在各種建材が普及する中にあって、ますます需要が減っている。

そこで副製品の利用方法の一つとして、スギ板材による「水平構面」の開発をすることを目的とする。

４．２　静的せん断加力実験

（１）せん断加力実験の方法

財団法人日本住宅・木材技術センター企画編集の「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008 年版）」中の「第６章　試験方法と評価方法」の「6.3 鉛直構面及び水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための断試験」に準拠して実験を実施した。アクチュエータ（100[kN]±300[mm]）を供試体の桁高さに設置して加力を行った（図 2.4）。加力治具は梁の両端部を鋼棒（φ16）で緊結したものを用いた。面外座屈を防ぐ治具を桁の２ヵ所に設置した。鉛直荷重を無載荷による柱頭柱脚固定式もしくはタイロッド式による実験方法とした。加力は正負交番繰り返し加力とし、変形角が 1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50[rad.]で１回繰り返し加力を行い、その後破壊まで単調加力を行った。

（２）供試体概要と破壊概要

水平構面の剛性のあたりをつける目的であるので、供試体は６仕様×各１体とした。

（３）水平構面の許容せん断耐力と床倍率

許容せん断耐力（括弧内、床倍率）およびその決定因子は、供試体 MSN：P1/150 にて決定・4.38kN/m（2.24）、供試体 MSP：Pu・$0.2\sqrt{(2\mu-1)}$にて決定・7.88kN/m（4.02）、

供試体 MNN : P1/150 にて決定・0.95kN/m（0.48）、供試体 A : P1/150 にて決定・0.64kN/m（0.32）、供試体 B : P1/150 にて決定・9.61kN/m（4.90）、供試体 C : P1/150 にて決定・1.31kN/m（0.67）であった。

4．3　「スギ板材水平構面」の開発のまとめ

床面での許容せん断耐力（括弧内、床倍率）の最も大きい値は、表 4.1 の仕様 5 で 0.76kN/m（0.36）である。また、屋根面での許容せん断耐力（括弧内、床倍率）の最も大きい値は、表 4.1 の仕様 7 で 0.39kN/m（0.20）である。これらと比較すると、本実験の結果は、供試体 MSN : 4.38kN/m（2.24）、供試体 MSP : 7.88kN/m（4.02）、供試体 B : 9.61kN/m（4.90）、供試体 C : 1.31kN/m（0.67）などでは、充分設計に利用できる水平剛性を有していると考えられる。

5．地域材を有効利用するための間伐・乾燥における木材管理について

間伐された地域材を利用するためには、間伐時や乾燥時における木材管理が重要になる。ここで、本研究内で実施した①間伐時の木材管理と、②乾燥時の木材管理についてケーススタディーとしての位置づけで以下に述べる。

5．1　ヤング係数選木による間伐（択伐）

森林にある状態で樹木のヤング係数が分かるのであれば、選木による間伐（択伐）を施業することにより、ユーザーが利用したい木材として有効に利用することが可能となる。そこで、立木の状態でのヤング係数を計測し、その後、乾燥、製材した木材をグレーディングマシンによりヤング係数を計測した。その比較を 28 本の立木および木材について実施した。

立木でのヤング係数は、Ｔｒｅｅ Ｃｈｅｃｋｅｒ（日本ビニロン株式会社製）を用いて計測した。Ｔｒｅｅ Ｃｈｅｃｋｅｒは応力伝搬速度法にて、応力の伝播速度を計測するもので、応力伝播速度からヤング係数を求める。センサー評点間距離を 1m として応力伝播速度を計測した。

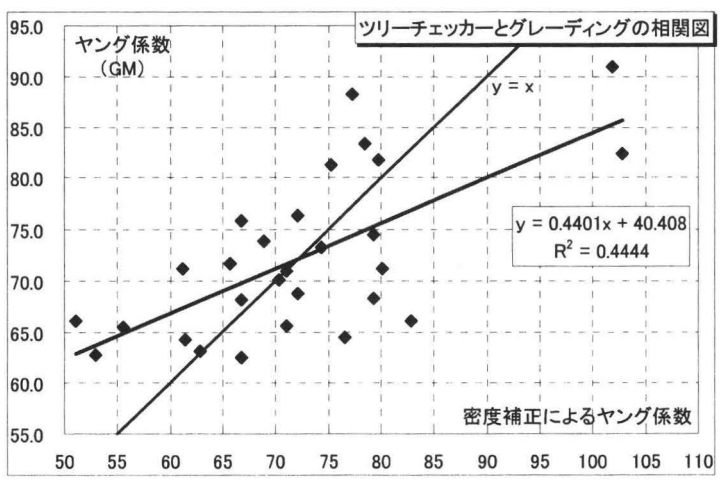


図 5.1　立木時のヤング係数とグレーディングマシンでのヤング係数

立木時のヤング係数とグレーディングマシンでのヤング係数の関係を図 5.1 に示す。この相関係数は 0.44 程度であった。立木時のヤング係数が 6,500N/mm² 程度以下であるときに、概ねグレーディングマシンでのヤング係数は、立木時のヤング係数よりも高い値となるようである。立木時のヤング係数とグレーディングマシンでのヤング係数の関係には概ね傾向があることが分かった。

５．２　内部割れを防ぐ乾燥方法

（１）内部割れを生じた平角の基準強度

木材強度について特に注意すべき事項は、乾燥との関係である。天然乾燥では、表面割れが生じる。最近、「ドライングセット＋高温乾燥」という一連の乾燥スケジュールが普及しているが、ドライングセット後の乾燥時間を短縮しようと、高温で処理して内部割れを発生する材がある。これは、短時間での高温乾燥により一部の木材では過乾燥状態になるために、内部割れが生じる。髪の毛程度の割れは問題ないが、大きく開く割れや樹心を中心にミカン割れのような状態の割れを生じると、強度低下を起こすことが明らかとなっている。ヤング係数はあまり変わらないが、ヤング係数の高い材ほど強度低下率が大きく、ヤング係数で等級区分する手法だけでは、強度の担保にはならないことが分かってきた。当然、接合部での強度低下も懸念される。

（２）内部割れを防ぐ乾燥方法

材の内部割れへの対応は、発注者側が納材期間を長く確保することである。スギ平角の場合、内部割れのない温度設定では、生材からの乾燥で合計 15 日程度でも、かなり含水率が高いものが存在する。そこで、100℃以上の温度で短時間に乾燥しようとすると、初期の含水率のばらつきが大きいため、過乾燥の材料が増え、その材に内部割れを生じる結果となってしまう。一方で、含水率のばらつきは一向に減らず、含水率 50%を越える材も依然として生じることとなる。このように過度な温度設定は、含水率の安定した木材を得られないことになる。

最小限、乾燥と養生も含め 30 日～40 日は必要となる。さらにいいのは天然乾燥である。石油の高騰、CO2 排出削減の観点からも推進するべき対策となる。適切に 1 日程度のドライングセットをすれば、天然乾燥時での表面割れの危険性が減少する。乾燥倉庫などの大掛かりな設備は必要ない。6ヶ月程度トタン屋根程度の覆いで、十分 D20 の安定した乾燥材を入手できる。受注者側で天然乾燥をしていない場合、県産材利用のメリットを享受しあう立場を認識しあい、両者協力して対応に望むことが、今後より一層必要となる。

ドライングセット後、75℃の２週間乾燥でも含水率にばらつきが生じる。100℃以上の乾燥を続けると過乾燥材が生じ、内部割れとなる。しかしばらつきの減少には結びつかない。低温で時間をかける天然乾燥ではばらつきが防げる。

５．３　材種によるヤング係数の傾向

建築では、様々な断面、材長の材種を必要とする。岐阜県内の製材工場が生産した材の強度分布状況を図 5.5 に示す。断面が大きい材ほど高いヤング係数の材は見込めないことが分かる。これは、①大きい材ほど年輪幅が広い、②太い元玉に近い材ほどヤング係数が低い、などの原因がある。発注者側もこの現象を踏まえ、部分的少量なら対応できるが大量にスパンを飛ばす場合Ｅ 90 以上の過度な要求はせず、さらに大きい断面や集成材で対応するなど納材業者側への負担をかけない配慮が必要である。

５．４　地域材を有効利用するための間伐・乾燥における木材管理についてのまとめ

地域材を有効利用するためには、地域の森林での間伐の状況についても配慮する必要がある。それは、各地域での森林の状況が非常に違い、各地域の森林の抱える問題が違うからで

ある。高温乾燥が主流の昨今では、木材の過乾燥には充分留意した乾燥スケジュールが重要である。過乾燥では内部割れが発生しやすくなるからである。従って、短期的な納材スケジュールをユーザー側（住宅メーカー、設計者、工務店、大工など）が製材側に要求せず、過乾燥にさせないようなゆとりのある納材スケジュールとする必要がある。材種によるヤング係数の傾向から、横架材として利用したい長尺で断面の大きい平角材では、ヤング係数が低くなる傾向がある。このようなこともユーザー側が木造建築を設計していく際および、木質構造関連の開発の際に留意する必要がある。

地域材を有効利用するためには、その地域の森林、木材流通（乾燥・製材など）が抱える状況に対応した柔軟な方針での開発が必要となる。地域の状況を配慮した木材管理が必要である。

６．間伐した地域材利用の設計への適用

６．１　「補剛面格子耐力壁」の古民家への適用

本研究で開発した「補剛面格子耐力壁」を実物件における設計への適用を試みた。構造検討は、限界耐力計算を用いて実施した。対象とした古民家は改修（移築）建物である。

土壁（塗り厚さ 7.0cm 以上）、補剛面格子（高耐力面格子、格子材 90mm 角）、補剛面格子（高耐力面格子、格子材 120mm 角）の単位骨格曲線を図 6.1 に示す。初期剛性は土壁が高いが、耐力は大変形時には補剛面格子耐力壁が高い。限界耐力計算により求めた骨格曲線を図 6.1 に示す。

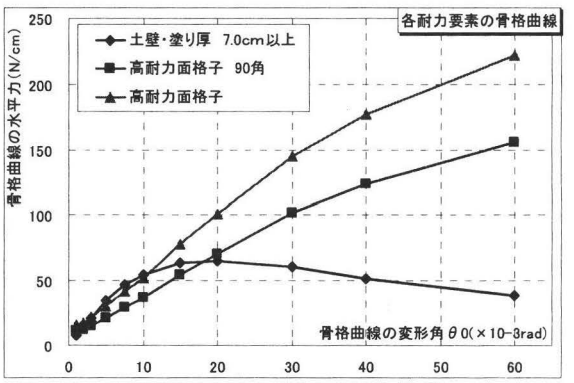


図 6.1　補剛面格子の単位骨格曲線

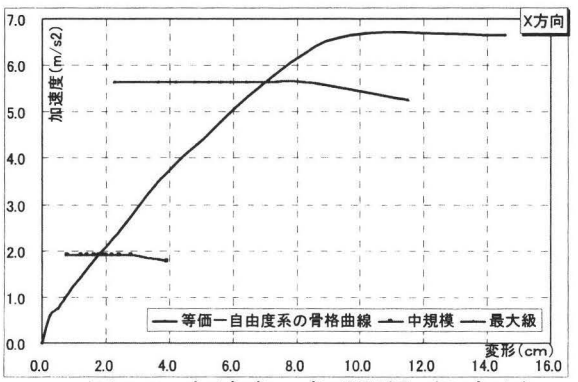


図 6.2　加速度－変形関係（X 方向）

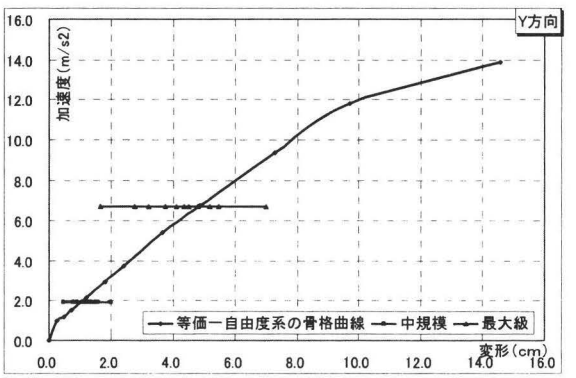


図 6.3　加速度－変形関係（Y 方向）

補剛面格子を各所に配置した古民家は、中地震時変形で 1/200rad.以下、大地震時変形で 1/40rad.以下の設計であった。

６．２　「補剛面格子耐力壁」の古民家への適用のまとめ

「補剛面格子耐力壁」により古民家の耐震性能を充分確保可能な設計ができた。本研究で開発した「補剛面格子耐力壁」は実際の設計への適用の可能性があることを確認できた。間

伐された地域材を利用していくための、ひとつの事例を示すことができた。

7．本研究のまとめ

近年岐阜県では針葉樹間伐材の利活用の活性化が問題となっている。戦後植樹されてきた樹木が生長してきており、多量にある樹木の建築への活用方法を模索している状況である。そこで、本研究では、現状の地域の森林状況を踏まえた上で、小径の間伐材および大径木材の副製品（辺材など）の利用方法の１つとして、間伐材を利用した様々な耐力要素への利用を提案した。そして、耐力壁や水平構面を開発するための基礎データを取得した。

間伐した地域材利用による「補剛面格子耐力壁」の開発（その１）および（その２）では、耐力壁の水平せん断加力実験を実施し、以下のことが分かった。

① 告示仕様では 105 角材で壁倍率が 1.0 であるが、それよりも細い 100 角材を利用して、高倍率面格子耐力壁の可能性を探ることができた。それは、節点補剛により、100×100 の格子材を利用した面格子耐力壁の初期剛性を高めることができたためである。3 体のばらつきを評価した壁倍率は 1.88、2.13 であり、告示仕様の面格子耐力壁よりも高い値が得られた。

② 告示仕様では 105 角材で壁倍率が 1.0 であるが、それよりも細い 75mm 角材や 90mm 角材を利用して、高倍率面格子耐力壁の可能性を探ることができた。それは、節点補剛により、面格子耐力壁の初期剛性を高めることができたためである。各供試体において壁倍率は 75mm 角材仕様供試体では、1.59～1.61 程度であり、90mm 角材仕様供試体では、2.14～3.49 程度であり、告示仕様の面格子耐力壁よりも高い値が得られた。

③ その２について、理論値との検証では、理論値が実験値を概ね捉えていることが確認できた。

間伐した地域材利用による「スギ板材水平構面」の開発では、水平構面の水平せん断加力試験を実施し、以下のことが分かった。

① 許容応力度計算における板材張り水平構面の許容せん断耐力と比較して、本実験の結果は、供試体 MSN：4.38kN/m（2.24）、供試体 MSP： 7.88kN/m（4.02）、供試体 B：9.61kN/m（4.90）、供試体 C：1.31kN/m（0.67）などでは、充分設計に利用できる水平剛性を有している。

地域材を有効利用するための間伐・乾燥における木材管理についてでは、前述の各開発時に森林、乾燥、製材などについて調査したものをまとめ、以下のことが分かった。

① 各地域での森林の状況が非常に違い、各地域の森林の抱える問題が違うため、地域材を有効利用するためには、地域の森林での間伐の状況についても配慮する必要がある。

② 過乾燥では内部割れが発生しやすくなるため、高温乾燥が主流の昨今では、木材の過乾燥には充分留意した乾燥スケジュールが重要である。

③ 短期的な納材スケジュールをユーザー側（住宅メーカー、設計者、工務店、大工など）が製材側に要求せず、過乾燥にさせないようなゆとりのある納材スケジュールとする必要がある。

④ 材種によるヤング係数の傾向から、横架材として利用したい長尺で断面の大きい平角材

では、ヤング係数が低くなる傾向がある。

⑤ 地域材を有効利用するためには、その地域の森林、木材流通（乾燥・製材など）が抱える状況に対応した柔軟な方針での開発が必要となる。地域の状況を配慮した木材管理が必要である。

間伐した地域材利用の設計への適用では、「補剛面格子耐力壁」の古民家への適用を試みた。以下のことが確認できた。

① 対象とした古民家は改修（移築）建物ではあるが、「補剛面格子耐力壁」を利用することにより古民家の耐震性能を充分確保可能な設計（限界耐力計算による設計）ができた。本研究で開発した「補剛面格子耐力壁」は実際の設計への適用の可能性があることを確認できた。

② 間伐された地域材を利用していくための、ひとつの事例を示すことができた。

本研究の成果が、間伐材の利用促進、長伐期材の辺材の利用促進などに繋がり、岐阜県の森林資源の利用拡大の為の先進事例のひとつになっていくであろう

参考文献

1）岐阜県：「岐阜県森林づくり基本計画」、岐阜県林政部林政課、2007.3

2）岐阜県木材協同組合連合会：「岐阜県産スギ横架材のスパン表」総頁数 878 頁　2009.3

3）岐阜県立森林文化アカデミー監修　岐阜県木材協同組合連合会：「岐阜県産スギ横架材のスパン表【技術解説編】」、総頁数 84 頁、2009.11

4）岐阜県立森林文化アカデミー監修　岐阜県木材協同組合連合会：「岐阜県産スギ横架材のスパン表【一般地域編】」、総頁数 178 頁、2009.11

5）岐阜県立森林文化アカデミー監修　岐阜県木材協同組合連合会：「岐阜県産スギ横架材のスパン表【多雪区域編】」、総頁数 178 頁、2009.11

6）財団法人日本住宅木材技術センター：「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2008 年版）」第 4 版、総頁数 658 頁、2009.6

7）小原、福本、髙橋、今西、河本：「間伐材利用耐力壁の耐力性能とエネルギー吸収性能に関する研究 その５．辺材利用の面格子耐力壁の静的加力実験」日本建築学会大会論文、2008.9

8）Katsuhiko Kohara, Asuka Takahashi and Mitsuo Fukumoto; A Study on Structural Timber Bearing Wall with Additional Performances, the 14th World Conference on Earthquake Engineering 2008.10, Beijin, China

8）小原、福本、髙橋：「間伐材利用耐力壁の耐力性能とエネルギー吸収性能に関する研究 その６．パネル型面格子耐力壁の静的加力実験」日本建築学会大会論文、2009.8

9）木下、福本、髙橋、小原：「間伐材利用耐力壁の耐力性能とエネルギー吸収性能に関する研究 その７．パネル型面格子耐力壁の実験結果と理論値の検証」日本建築学会大会論文、2009.8

１０）『ぎふの木』木造建築構造特記仕様書作成委員会：「『ぎふの木』木造建築構造特記仕様書および同解説」、総頁数 143 頁　2009.

竹材の超高度利用による循環型住宅資材の開発

鹿児島大学　農学部
准教授　服部芳明

１．研究目的

研究の目的は、セルロースを割合として約 50%含んでいる木質資源あるいは木質系建築廃材を原料として用い、熱プレスあるいは押出し成形が可能な熱可塑性材料を開発することである。さらに、熱可塑性を示す成形材料として竹材を用い、住宅資材に成形可能な材料を新規に開発することである。当研究での熱可塑性材料開発のポイントは超臨界二酸化炭素の活用にある。

２．研究事項

(1) 効率的な脱結晶化条件の決定

機械的粉砕によって、竹材の結晶化度を低下させる効率的な条件を求めるため、次の実験を実施した。チップ状の竹材から微粉末状にするために、①ウィレーミルによる方法、②高速回転する石臼コロイダーによる乾式粉砕、③振動ミルによる粉砕次の方法について検討した。

(2) 超臨界二酸化炭素を用いたバッチ式による竹粉への熱可塑性の付与

脱結晶化したセルロースを含むリグノセルロースを加水分解ならびに脱水柔縮合のための条件をバッチ式によって検討した。

二酸化炭素の超臨界点は、温度約 31℃、圧力約 7.4MPa である。この条件下で分解反応や脱水重縮合反応が期待できる。超臨界状態で生じた化学反応の確認には、既存の設備である FT-IR 装置ならびに ATR 装置を用いて分析した、新規に獲得した有機官能基の分析をした。

(3) 単軸押出成形機を利用した連続式反応装置による竹粉への熱可塑性の付与

射出成形装置を用いた方がより現実の生産条件に近いため、予定を変更し、射出成形装置を用いることにした。

(4) 新規な試作品の開発

既存設備である熱盤プレス機を用いて熱圧成形した。試作した成形物は、①熱圧プレス機によって 10cm 角の板状の成形物。②金型を用いて成形した、小型のカップ状の成形物。③射出成形装置によって成形したダンベル型の強度試験用の成形物である。

試作した成形物の強度的性質は、既存の設備である万能強度試験機を用いて評価した。

次項以降に、検討結果を述べる。

3 竹粉セルロースの脱結晶化

3.1 目的

竹粉の微粉化に伴うセルロースの相対結晶化度の変化を調べた。

3.2 方法

3.2.1 相対結晶化度

竹粉のセルロースの相対結晶化度(結晶化指数)は、X 線回折実験によって測定できる。X 線

回折の強度曲線から、相対結晶化度を求める方法はピーク強度から求める方法を用いた。X線の回折実験には、全自動多目的X線回折装置を使用した。

3.2.2 竹粉の微粉砕

竹粉を微粉砕する過程は次のようである。まず、未乾燥竹粉を 100℃に調節した乾燥機にて、全乾状態とした。ついで、石臼による磨砕によって粉砕する装置であるコロイダーによって、微粉状に粉砕した。粉砕は数回繰り返した。粉砕した竹粉を 60#の篩によって篩い分けた。さらに、微粉化した竹粉を、振動ボールミルによってさらに微粉化した。

3.2.3 走査電子顕微鏡による観察

各種の微粉化処理をした竹粉は、走査電子顕微鏡を用いて観察した。

3.3 結果

3.3.1 各種の粉砕処理をした竹粉

図 3.1 にコロイダーによって微粉砕した竹粉、図 3.2 に振動ボールミルによって粉砕した後の竹粉の走査電子顕微鏡像を示す。竹粉はコロイダーによって数十μm に微粉化されることがわかった(図 3.1)。また、振動ボールミルによって 3.5 時間粉砕すると、竹粉は、数十μm に微粉化され、13 時間の処理によって、数μm に微粉化されることがわかった(図 3.2)。

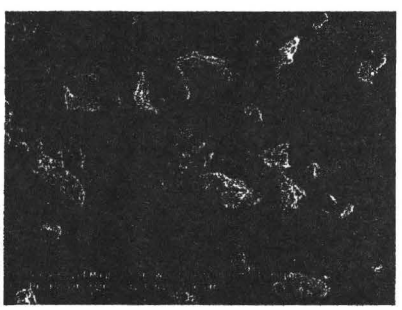


図 3.1 竹粉の走査電子顕微鏡像(コロイダーによる粉砕後、篩#60 を通過した竹粉)

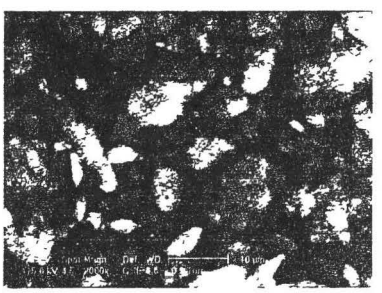


図 3.2 竹粉の走査電子顕微鏡像(竹粉 50%と PVA50%を振動ボールミルによる 13 時間粉砕後)

3.3.2 竹粉の相対結晶化度

各種の粉砕処理をした竹粉のX線回折強度曲線を分析すると、コロイダーによって処理した竹粉と振動ボールミルによって 1 時間処理した竹粉では、22° 付近に鋭いピークを示し、一方、振動ボールミルによって 11 時間かけて微粉化した竹粉ではこのピークは小さくなる。図 3.3 に各種の微粉化処理をした竹粉の相対結晶化度を示す。コロイダーによる磨砕処理によって得た竹粉の相対結晶化度は、平均 47.3%、標準偏差 1.4%であったが、振動ボールミルによって 11 時間処理して微粉化すると、相対結晶化度は 16.8%に低下した。

3.4. 結論

(1) 石臼をすり合わせるタイプのコロイダーによって竹粉を数十μmの大きさに微粉化できた。この時点での竹粉セルロースの相対結晶化度は約 47%であった。

(2) 竹粉を振動ボールミルによって 11 時間処理することによって、相対結晶化度を約 17%に小さくすることができた。

(3) 振動ボールミルによって、13 時間粉砕処理をすると、竹粉は数μm 程度の大きさに微粉化することができた。

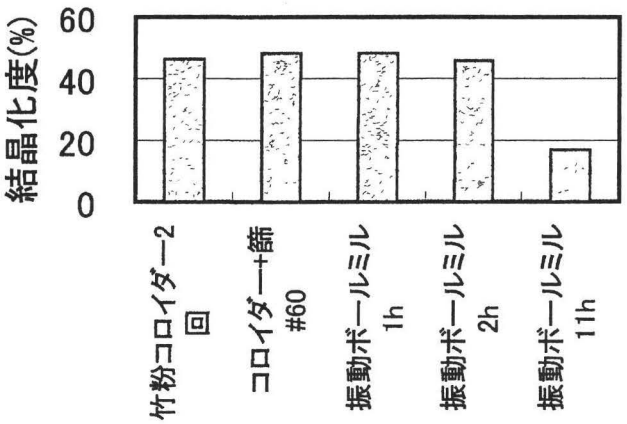


図 3.3　各種の微粉化処理をした竹粉の相対結晶化度

4. 熱盤プレスによる成形物の試作

4.1. 目的

本研究によって開発した竹粉を含む熱可塑性樹脂を原料として用い、熱圧によって成形物を試作した。成形物は 10cm 角の板材ならびに小カップである。

4.2. 方法

プレス用の金型は次の 4 種類を用いた。①10cm 角のボード成形用、②「ふくろう」の模様成形用、③「梅の花」模様成形用、④カップ型成形用である。なお、②と③の型は、エポキシ樹脂製であり、①の 10cm 角のボード成形用の金型に挿入して使用した。

4.3. 結果

それぞれの金型による成形物の例を、図 4.1～図 4.4 に示す。構成成分のひとつとしてポリビニルアルコールを用いたが、これを PVA と略記した。また、助剤として、トリポリリン酸ナトリウム、四ホウ酸ナトリウム(硼砂、Borax)、エチレングリコールを用いた。

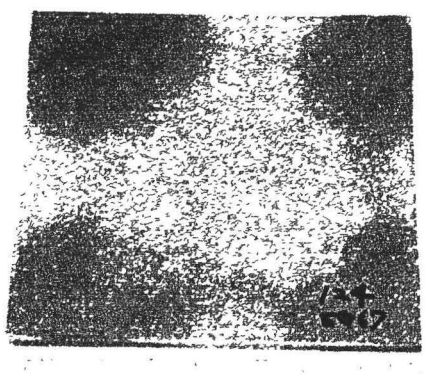


図 4.1　10cm 角金型による試作ボード(圧縮温度 185℃、圧縮圧力 4.5MPa、構成成分;竹粉:67%、PVA:10%、エチレングリコール 18%、曲げ強さ:74.3MPa)

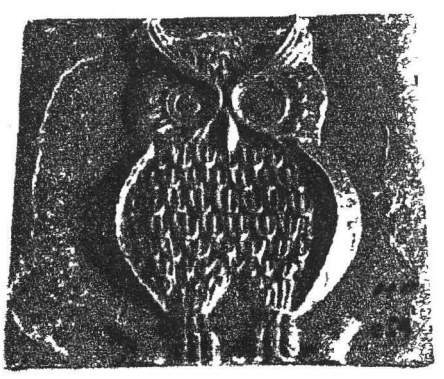


図 4.2 「ふくろう」の模様の成形物(構成成分;竹粉 54%、PVA:10%、グリセリン:20%、トリポリリン酸ナトリウム:3%、四ホウ酸ナトリウム:3%)

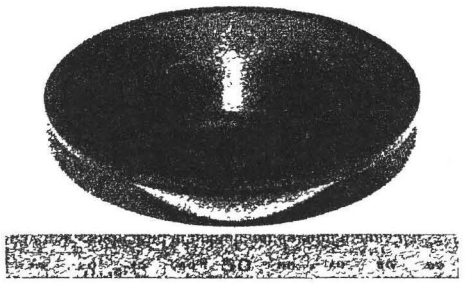


図 4.3　カップ型の成形物(構成成分;
竹粉 50%、PVA:50%)

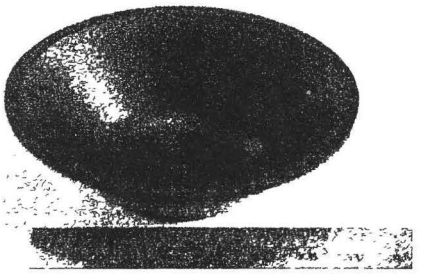


図 4.4 カップ型の成形物(構成成分;
竹粉 88%、PVA:10%、
四ホウ酸ナトリウム:2%)

以上に示したように、熱圧によって様々な形状の物を成形できることがわかった。さらに、微細な形状を忠実に表現しており、十分に満足のいく成形品が成形できることが確認できた。

5. 射出成形機による成形物の試作

5.1 目的

本研究の目的は、竹材を原料として循環型住宅資材を開発することにある。これまでの検討によって、バンブーバイオプラスチックとも称することができる樹脂を新規に開発した。本項では、新規に開発したバンブーバイオプラスチックを用いた成形物を試作することを目的とした。射出成形法は、成形加工性が特段に優れており、成形加工の効率が良く、量産性には不可欠である。樹脂の組成として、竹粉を 50%以上含有する樹脂を射出成形できることは、バンブーバイオプラスチックを汎用的に利用できる樹脂の有する特性として不可欠な性質である。本項は、新規開発した樹脂を射出成形し、実際に試作品を製造して、射出成形できることを示すことを目的とした。

5.2 方法

射出成形機は、鹿児島県工業技術センターの金属粉末射出成形機を用いた。当成形機は、直圧型締方式を採用している。用いた樹脂の構成成分は竹粉 60%、PVA40%である。

5.3　結果

射出成形法によって試作した成形品の例を図 5.1 に示す。下側に見える成形物は引張強度測定用試料の成形品である。図 5.2 に射出成形した試作品の写真を示す。寸法は、厚さ 4mm、試験体中央部の直線部分の幅 7.5mm、長さ 110mm、つかみ部の幅 11.95mm、つかみ部分の長さ 28.0mm である。このように、新規に開発したバンブーバイオプラスチックは、射出成形ができることが確認された。

6. 熱圧成形物の強度特性

6.1 目的

目的は、竹粉とポリビニルアルコール(以下、PVA と称す)、添加物からなる樹脂を熱圧成形し、成形品の強度特性を知ることである。強度特性として曲げ特性を調べた。特に、グリセリンによる可塑特性の促進について調べた。

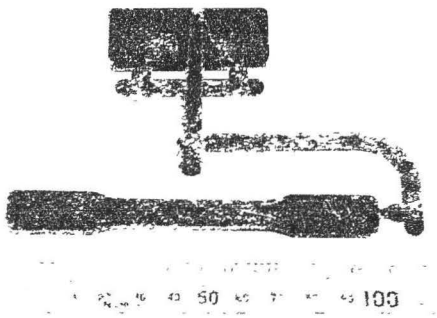


図 5.1 成形品(引張用試験体とゲート、ランナ、スプルの様子が見とれる。)

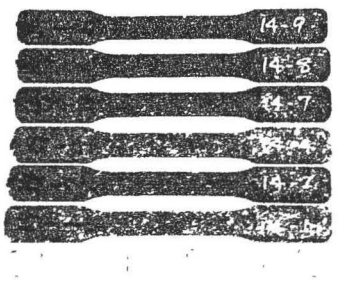


図 5.2　試試験体作した射出成形品

6.2　試験方法

6.2.1 原料樹脂

表 6.1 に、曲げ試験に供した各シリーズ(試料番号 25、28、32)毎について、試験片の数、構成成分の割合、ならびに、試験時の平均含水率、平均密度を標準偏差、変動係数とともに示す。なお、構成成分の割合は、重量%で示されている。

表 6.1　試験体の構成成分、平均含水率、平均密度

No.	n	構成成分					含水率	密度
		竹粉 (%)	PVA (%)	けん化度 (%)	四ホウ酸ナトリウム(%)	グリセリン (%)	(%)	(g/cm^3)
25	4	70	20	99.2	10	0	9.27	1.30
28	4	60	30	99.2	0	10	7.12	1.31
32	4	80	20	99.2	0	0	4.24	1.34

PVA : T-330ST(けん化度 99.2%),　n : 試験片数

6.2.2　強度試験機と曲げ治具

用いた強度試験は、万能強度試験機(AG-I-100kN、株式会社島津製作所製)である。支点間距離(スパン)は 50mm とした。試験速度は 1mm/min とした。曲げ応力と曲げ弾性係数を求めた。

6.3　曲げ試験の結果

表 6.2 に、曲げ弾性係数の測定結果を示す。表 6.3 に、最大曲げひずみを示す。表 6.4 には、曲げ弾性係数を示す。得られた結果から次のことが分った。

(1) グリセリンを 10%添加すると、曲げ強さと曲げ弾性係数は共に小さくなり、それぞれ、約 16 N/mm^2、794 N/mm^2 であった。しかし、最大曲げひずみは約 4%となり、グリセリン添加しなかった試料に比べて大幅に大きくなった。

(2) 竹粉の配合割合が 80%、PVA が 20%の場合に、曲げ強さ、曲げ弾性係数が最も大きく、それぞれ約 52 N/mm^2、5,580 N/mm^2 であり、曲げ最大ひずみは、約 0.9%であった。

(3) 配合割合が、竹粉 70%、PVA20%、四ホウ酸ナトリウム 10%の場合には、曲げ強さは約 34 N/mm^2、曲げ弾性係数は 4,630 N/mm^2、曲げ最大ひずみは 0.78%であった。

表 6.3　曲げ強さの測定結果

No.	n	構成成分					曲げ強さ	標準偏差	変動係数
		竹粉 (%)	PVA (%)	けん化度 (%)	四ホウ酸ナトリウム(%)	グリセリン (%)	(N/mm²)	(N/mm²)	(%)
25	4	70	20	99.2	10	0	33.5	3.4	0.10
28	4	60	30	99.2	0	10	16.2	0.9	0.05
32	4	80	20	99.2	0	0	51 9	5.6	0.11

PVA : T-330ST(けん化度 99.2%),　n : 試験体数

表 6.4　曲げ弾性係数の測定結果

No.	n	構成成分					曲げ弾性係数	標準偏差	変動係数
		竹粉 (%)	PVA (%)	けん化度 (%)	四ホウ酸ナトリウム(%)	グリセリン (%)	(N/mm²)	(N/mm²)	(%)
25	4	70	20	99.2	10	0	4,633	421	0.09
28	4	60	30	99.2	0	10	794	113	0.14
32	4	80	20	99.2	0	0	5,578	742	0.13

PVA : T-330ST(けん化度 99.2%),　n : 試験体数

表 6.5　最大曲げひずみの測定結果

No.	n	構成成分					最大曲げひずみ	標準偏差	変動係数
		竹粉 (%)	PVA (%)	けん化度 (%)	四ホウ酸ナトリウム(%)	グリセリン (%)	(%)	(%)	(%)
25	4	70	20	99.2	10	0	0.78	0.09	0.12
28	4	60	30	99.2	0	10	3.98	0.30	0.08
32	4	80	20	99.2	0	0	0.90	0.05	0.05

PVA : T-330ST(けん化度 99.2%),　n : 試験体数

7. 射出成形物の強度特性

7.1　目的

竹粉とポリビニルアルコール(以下、PVA と称す)からなる樹脂を射出成形し、成形品の強度特性を知ることを目的とした。強度特性として引張特性と曲げ特性を調べた。射出成形した試料の例を図 7.1 に示す。下側に見える成形品が引張強度測定用の成形物である。

7.2　試験方法

7.2.1　射出成形機と原料樹脂

使用した射出成形機は鹿児島県工業技術センターに設置されている金属粉末射出成形機である。

表 7.1 に竹粉の配合割合と射出成形機と金型の温度条件を示す。成形には竹粉の配合割合と射出成形条件を変化させた。なお、用いた PVA のけん化度は 79.0%であった。

成形した試験体の形状はダンベル型である。試験に供した試験体数を表 2 に示す。弾性率の測定には、引張の場合と曲げ試験の場合ともに全ての試験体を供した、引張強さと曲げ強さの測定には表 7.2 に示すように分割してそれぞれの試験に供した。

7.2.2 引張弾性率と引張強さ、ならびに、曲げ弾性率と曲げ強さ

引張強さの測定のためには、引張弾性率の測定が終了した後、荷重を一旦 0 とし、伸び計を取り外してから、改めて荷重を加えて測定した。この時の引張弾性率は、荷重 500(N)と荷重 750(N)時のひずみを用いて、曲げ応力－曲げひずみ曲線の傾きから算出した。

曲げの支点間距離(スパン)は 60mm とした。試験速度は 2mm/min とした。

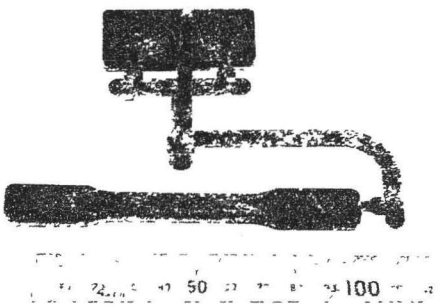


図 7.1 成形品(引張用試験体とゲート、ランナ、スプルの様子が見とれる。)

表 7.1 樹脂の成分と成形温度条件

試料	成分(重量%)		成形機加熱シリンダ内の温度(℃)				金型温度
番号	竹粉	PVA	ノズル側			ホッパ側	(℃)
8	20	80	170	185	185	185	室温
12	60	40	185	195	195	170	50
13	60	40	187	195	200	170	50
14	60	40	190	198	200	170	50

表 7.2 供試した試験片の数

試料番号	試験体全数	引張弾性率測定数	引張強さ測定数	曲げ弾性率測定数	曲げ強さ測定数
8	9	9	5	9	4
12	3	3	2	3	1
13	3	2	1	3	2
14	6	5	3	6	3

7.3　試験結果

7.3.1　引張試験の結果

試験体の破断した位置はチャックのつかみ部分ではなく、少し離れた位置で破断した。この結果から、引張試験時の試験体の破断位置は、全てについて良好であったと判断できる。

試料番号 12～14 をまとめて、番号 8 と共に、引張弾性係数、引張強さと引張破壊ひずみの測定結果を表 7.3～表 7.5 に示す。既に示したように、試料番号 12、13、14 は、いずれも原料配合割合は竹粉 60%、PVA40%であり、射出成形時の条件が異なる。試料番号 8 の原料構成割合は竹粉 20%、PVA80%である。

表 7.3 に示した引張弾性係数の値をみると、原料構成割合は竹粉 20%、PVA80%である試料 No.8 の試験体では約 5800(N/mm²)であり、一方、原料配合割合は竹粉 60%、PVA40%である試料 No.12、13、14 では引張弾性係数が 8,900～9,600(N/mm²)であった。竹粉の配合割合の高い方が、引張弾性率が大きくなることが分った。表 7.2 に示した引張強さでは、引張弾性係数の場合と同様に、原料構成割合は竹粉 20%、PVA80%である試料 No.8 の試験体では約 41(N/mm²)であり、一方、原料配合割合は竹粉 60%、PVA40%である試料 No.12、13、14 では引張弾性係数が 46～61(N/mm²)であり、竹粉の配合割合の高い方が、引張強さが大きくなることが分った。表 7.3 に示した引張破壊ひずみでは、竹粉の配合割合と破壊ひずみとの関係は明確な傾向は認められなかった。

表 7.3　引張弾性係数の測定結果

No.	試験体数	曲げ弾性係数 (N/mm²)	標準偏差 (N/mm²)	変動係数 (%)
8	9	3,885	205	5.28
12～14	12	6,492	351	5.41

表 7.4　引張強さの測定結果

No.	試験体数	引張強さ (N/mm²)	標準偏差 (N/mm²)	変動係数 (%)
8	5	41.3	2.7	6.6
12～14	6	57.1	5.7	10.1

表 7.5　引張破壊ひずみの測定結果

No.	試験体数	引張破壊ひずみ (%)	標準偏差 (%)	変動係数 (%)
8	5	2.63	0.42	15.9
12～14	6	2.73	0.64	23.5

8. 超臨界二酸化炭素による処理実験

8.1 目的

当研究項目での目的は、新規開発したバンブーバイオプラスチックの耐水性を向上させる手法として、バインターとして用いているPVAの耐水性を向上させることである。このため、PVAを対象として、簡易な処理によって分子内架橋や分子間架橋を生じさせることができるのかどうかについて検討した。この架橋の促進のために超臨界二酸化炭素の活用を検討し、次のことを行った。(1) 超臨界二酸化炭素の役割を探ること。(2) 温和なホルマール化反応において、ホルマール化が超臨界二酸化炭素処理によってカルボニル基の導入などの化学変化が生じるのかどうかを確かめること。

8.2 方法

8.2.1 試料

供試試料として、けん化度の異なる次の2種類のPVAを用いた。この2種類は、(1) PVA-96、けん化度は96.0%(完全けん化物)、(2) PVA-80、けん化度は79.9%(部分けん化物)、である。

これらのPVAを熱盤プレスによって10cm角寸法のボードに成形した。圧締時の温度は、PVA-96では176℃、PVA-80では185℃であった。

8.2.2 アルデヒド類による処理方法

PVAを熱圧プレスして成形した成形物を、温和な条件化下でアルデヒド類による処理をした。用いたアルデヒド類はグリオキサールである。(1)グリオキザールは両末端基にアルデヒド基を有するジアルデヒド類である。処理は、試料を常温下で45分間、それぞれのアルデヒド水溶液に浸漬することによって行った。

8.2.3 超臨界状態の二酸化炭素による処理方法

超臨界状態の二酸化炭素による処理は、アルデヒド類によって処理をした後の試料を超臨界状態の二酸化炭素の中に浸漬することによって行った。超臨界二酸化炭素による処理の有無による違いを比較するために、ひとつの試料を2分割し、一方を超臨界二酸化炭素に浸漬し、もう一方は浸漬しなかった。

超臨界状態の二酸化炭素を得るための装置として、臨界点乾燥装置を改良して用いた。この臨界点乾燥装置は小型の圧力容器を有している。この圧力容器に、液体状態の二酸化炭素を封入し、そして、超臨界状態となるように所定の温度、所定の圧力をこの圧力容器内で維持し、試料を一定時間の間、超臨界二酸化炭素に浸漬した。超臨界二酸化炭素への浸漬処理は、具体的には、グリオキザール水溶液などのアルデヒド類の水溶液に試料を浸漬処理した後の試料を、一旦風乾した後、超臨界二酸化炭素に15分間浸漬することによって行った。

8.2.4 赤外吸収スペクトルの測定法

各乾燥試料の赤外吸収スペクトルを、日本分光㈱製FT/IR-4200を用い、ATR(Attenuated Total Reflection、全反射)法によって測定した。用いたATR装置は、日本分光㈱製ATR PRO410-S型である。

8.3 結果

8.3.1 PVA成型物の赤外吸収スペクトル

乾燥状態(全乾状態)の試料を対象として測定した赤外吸収スペクトルを、PVA-96と

PVA-80 について図 8.1 に示す。

一般に、分子内にカルボキシル基を有するカルボン酸では、>C=O、-C-OH、O-H、の各振動と-CH_2-などの骨格振動による吸収帯が認められる。具体的には、遊離酸の場合の-OH 伸縮振動は 3560cm^{-1}～3500cm^{-1}に、会合酸の場合の-OH 伸縮振動は 2700cm^{-1}～2500cm^{-1}に、脂肪族飽和酸では、C=O の伸縮振動が 1725cm^{-1}～1700cm^{-1}に、-C-O の伸縮振動および O-H の面内変角振動は 1440cm^{-1}～1395cm^{-1}と 1320cm^{-1}～1211cm^{-1}に、-CH2-の面外変角振動は 1350cm^{-1}～1180cm^{-1}の領域で吸収帯を示すとされている。

図 8.1 に示したスペクトルでは、3276cm^{-1}付近に幅広い強い吸収が認められた。この吸収帯は水酸基由来の吸収であり、このように幅が広い吸収は水素結合している特徴である。

さらに、2940cm^{-1}と 2905cm^{-1}付近とに 2 本の強い吸収が認められた。PVA の CH_2 基の C-H 伸縮振動には、対象振動と逆対象振動の 2 種があるとされるが、2 本の吸収はこれらに対応する。

PVA-80 には 1732cm^{-1}に強い吸収が認められた。PVA-96 にはこのピークが 1709cm^{-1}に出現している。この吸収は、>C=O バンドの対称伸縮振動に帰属される。また、ガス状態のカルボニル基であれば隣接官能基の効果を定量的に評価でき、あるカルボニル基を有する化合物についてカルボニル基の波数を、1720.96+隣接基の効果の総和(cm^{-1})という式を用いて予測できるとされている。この手法を用いれば、吸収帯の波数が 10～20 cm^{-1}程度異なることは、隣接する官能基の違いを判断する手掛かりを与えると考えられる。

この波数域を詳しく見ると、PVA-80 と PVA-96 では吸収の位置が 23cm^{-1}異なり、PVA-80 の方が高い波数を示した。また、PVA-80 ではショルダーを示していることから、PVA-96 とほぼ同じ波数の吸収が重なっていることがわかる。

これらの結果から、PVA-96 には存在しなかった吸収帯が、グリオキザール処理とその後の超臨界二酸化炭素処理によって生じたものと判断できる。

ポリビニルアルコールの製造工程では、ポリ酢酸ビニルが、けん化工程を経てアセチル基が加水分解され、ポリビニルアルコールに変換されるが、けん化度が低いとアセチル基が残存する。すなわち、けん化度の低い部分けん化物である PVA-80 は、アセチル基を多く持つことになる。このため、PVA-80 では、PVA-96 に比べて 1732cm^{-1}の吸収が強いものと考えられる。

脂肪酸では、1440 cm^{-1}～1395 cm^{-1}の領域と 1320 cm^{-1}～1210cm cm^{-1}の領域に 2 吸収帯があるとされており、これは、C-O 伸縮振動と O-H 面内変角振動によるものと考えられている。なお、エステル基は C-O-C の対称伸縮振動及び逆対称伸縮振動に由来する 2 本のピークを 1300 cm^{-1}～1050 cm^{-1}に与えるとされている。酢酸エステルについては、C-O 伸縮振動は、一般に 1250cm^{-1}～1230cm^{-1}の範囲で吸収があり、この吸収の程度は大きいとされている。このことから、PVA-80 に認められた 1429cm^{-1}と PVA-96 に認められた 1416cm^{-1}とは、脂肪酸の C-O 伸縮振動と O-H 面内変角振動による吸収によると考えられる。また、PVA-80 に認められた 1240cm^{-1}、ならびに、PVA-96 に認められた 1260cm^{-1}とは、酢酸エステルの C-O 伸縮振動、あるいは、脂肪酸の C-O 伸縮振動と O-H 面内変角振動、あるいは、両者の重なった吸収によると考えられる。

1141cm^{-1}の吸収は、結晶性バンドと称される吸収である。1141cm^{-1}の吸収帯はPVA-80、PVA-96ともに認められる。1141cm^{-1}の吸収がより大きい場合には結晶化の程度がより大きいとすると、PVA96の方がより結晶化度が高いものと考えられる。PVA-96の方がけん化度が高いことから結晶化度も高いと理解できる。

また、PVA-96には、1087cm^{-1}と1021cm^{-1}に吸収が、PVA-80には1090cm^{-1}と1021cm^{-1}に吸収が認められた。すでに述べたように、酢酸エステルのC-O伸縮振動は一般に1250cm^{-1}～1230cm^{-1}で吸収が大きいとされている。さらに、第1級アルコールのエステルでは1064cm^{-1}～1031cm^{-1}に第2吸収帯が出現するのに対して、第2級アルコールのエステルでは1100cm^{-1}に現れるとされている。また、田所によれば1093cm^{-1}、1083cm^{-1}の吸収帯はC-O伸縮振動に帰属される。したがって、1087 cm^{-1}と1090cm^{-1}は、C-O伸縮振動による吸収であると考えられる。一方、1021cm^{-1}に認められた吸収については、その帰属は不明である。この吸収帯は、これまでに報告されているPVAの赤外吸収スペクトルには認められていないため、PVA以外の由来の物質である可能性がある。

8.3.2　超臨界二酸化炭素による処理の効果(グリオキザール処理試料)

図8.2には、すでに示した図8.1の未処理乾燥試料の赤外吸収スペクトルを表示波数の範囲を変更して再掲載した。すでに述べたように、鎖状飽和エステルでは>C=O伸縮振動に由来する吸収が1750 cm^{-1}～1735 cm^{-1}の領域に出現するとされている。

けん化度が96%と相対的に高いPVA-96では1709cm^{-1}に吸収帯を示した。一方、けん化度が80%と相対的に小さいPVA-80では、1732cm^{-1}の吸収が強かった。また、ショルダーを示していることからPVA-96と同じ波数(1709cm^{-1})での吸収が生じている。PVA-80では、1732cm^{-1}の吸収が強かったことから、酢酸エステルがPVAに残存していると考えられる。

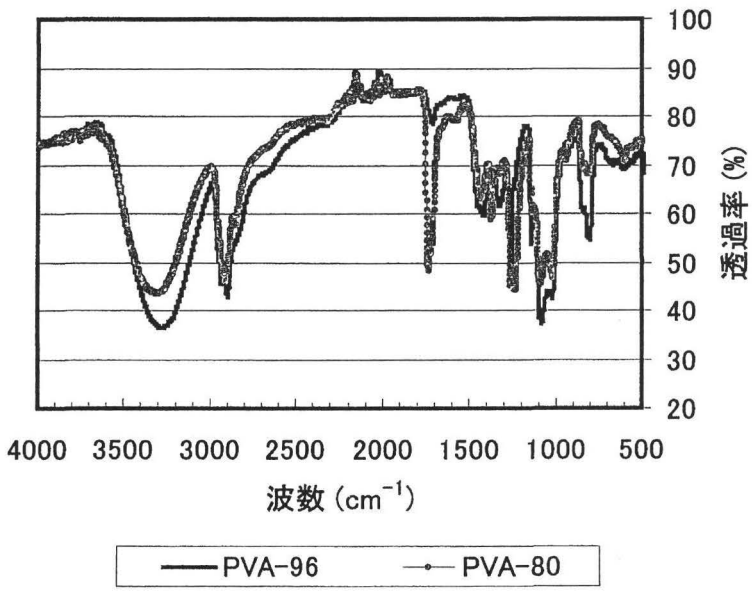


図8.1　PVA-96とPVA-80の赤外スペクトル

酢酸エステルの場合には、C-O 伸縮振動による吸収が、一般に、1250 cm^{-1}～1230 cm^{-1} に出現し、さらに、第 1 級アルコールのエステルの場合には 1064 cm^{-1}～1031cm^{-1} に第 2 吸収帯が出現し、第 2 級アルコールでは 1100cm^{-1} に出現するとされている。この付近の吸収帯に注目すると、PVA-96 の場合には、1265cm^{-1} と 1092cm^{-1} に吸収帯が存在する。一方、PVA-80 では 1260 cm^{-1}、1245 cm^{-1}、1096 cm^{-1} にそれぞれ吸収帯が存在する。このため、いずれの PVA 試料にも酢酸エステルが残存することがわかる。

図 8.3 に、PVA-80 について、超臨界二酸化炭素によって処理した試料と処理しなかった(処理する前の)試料の赤外吸収スペクトルを波数 2000cm^{-1}～1000cm^{-1} の範囲で示す。超臨界二酸化炭素による処理とは、すでに方法の項で述べたように、グリオキザール水溶液(40%)に浸漬した後、風乾してから超臨界二酸化炭素に 15 分間浸漬するという処理である。

まず、超臨界二酸化炭素処理をする前の試料、すなわち、グリオキザール処理のみの場合と、グリオキザール処理していない試料とを比較すると、次のことが言える。(1)グリオキザール処理をしていない場合に認められていた 1732cm^{-1} の吸収帯が消失した。また、(2)1260cm^{-1} 付近に見られた吸収帯もほぼ消失した。(3)1429cm^{-1}～1240cm^{-1} の領域に認められた吸収も消失した。これらの吸収帯は、グリオキザールの処理によって消失したことを示しているが、なぜ消失したのかその理由は現時点では不明である。

次に、超臨界二酸化炭素の処理によって変化した吸収帯に注目すると、超臨界二酸化炭素の処理によって 1732cm^{-1} の吸収が新規に出現した。グリオキザールによる処理前には 1709cm^{-1} に吸収帯があったが、この吸収帯はグリオキザール処理によって一旦は消失し、その後、超臨界二酸化炭素処理によって波数が少し大きい 1738cm^{-1} に新規に出現している。この領域の吸収はカルボニル基に由来するが、吸収帯の波数が少し異なったことは、この吸収の原因となるカルボニル基に隣接する官能基が異なるためであると考えられる。すでに述べたように、小川らによって隣接官能基の効果を定量的に評価できることが示されており、このような波数 20cm^{-1} 程度の違いはカルボニル基に隣接する官能基の効果であると判断できる。

また、超臨界二酸化炭素の処理によって 1260cm^{-1} の吸収がより明瞭になっている。特に、図 8.3 に示した PVA-80 の場合には、超臨界二酸化炭素の処理によって 1731cm^{-1}、1378cm^{-1} の吸収帯が新たに明瞭に出現している。

以上のことから、PVA にそもそも存在したカルボニル基が、グリオキザール処理によって一旦消失し、超臨界二酸化炭素の処理によって隣接する官能基の種類がことなるカルボニル基が出現したことになる。PVA に存在したカルボニル基が、グリオキザール処理によって消失したことは、アルデヒド基の強い還元作用となんらかの関係があるのかも知れない。また、超臨界二酸化炭素処理によって、隣接する官能基の種類を異とするカルボニル基が生成したことを示唆している。

8.4 結論

以上の赤外吸収スペクトルの解析結果から、(1)グリオキザール処理によって、PVA に残存するカルボニル基が消失すること、(2)超臨界二酸化炭素処理によって、隣接する官能基を異とするカルボニル基が生成することが示唆された。

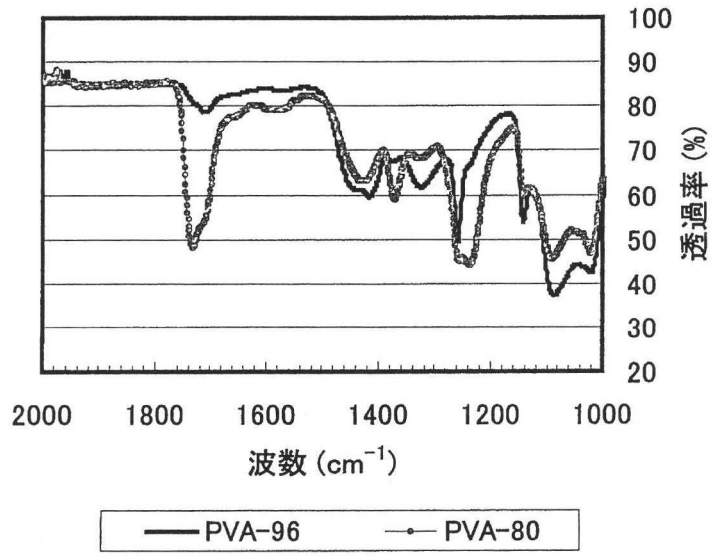


図 8.2　PVA-96 と PVA-80 の赤外スペクトル

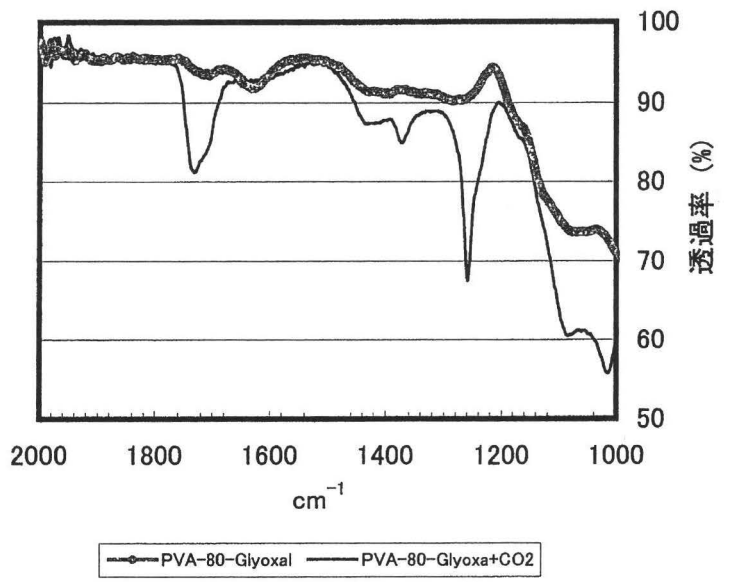


図 8.3　超臨界二酸化炭素処理による変化(PVA-80、グリオキザール処理済)

高温低湿処理を施したスギ柱材の接合部性能に関する研究

秋田県立大学木材高度加工研究所
准教授　岡崎 泰男

１．本研究の背景と目的

住宅品質確保法の制定等の影響を受け、木造住宅の品質保証に対する世間の目が厳しくなっている。建築用部材としての木材に着目した場合、「表面割れ」がその餌食とされ、表面割れのある木材は敬遠される傾向が強まっている。そういった世の中の流れの中で、「割れない」乾燥法として普及が拡大しているのが高温低湿乾燥法である。この乾燥法では、乾燥初期に木材の表面にドライイングセットを発生させることにより表面割れの発生を抑制できるため、スケジュールをうまく調整すれば、柱材の表面に割れを生じずに乾燥することができる。しかし、高温で処理することによる材質の劣化、材表面に割れは発生しない代わりに内部に発生する「内部割れ」の影響等によるせん断強度の低下等が指摘されており、その使用において一抹の不安を拭い切れていない。

無欠点小試験木材を高温環境下に置くと熱劣化により強度が低下することは古くから知られている。では、柱等の実大サイズの木材についてどうかと言うと、現状は、〇〇の高温低湿乾燥スケジュールで樹種××を乾燥させた材と中温乾燥（乾球温度100℃未満）材の曲げ強度を比較すると、差があった（なかった）という研究が大半を占めており、どの程度のサイズの材を乾球温度何℃で何時間乾燥すれば劣化が発生する、といった科学的な検証が行われていない。そこで申請者らは、8種類の温度・時間条件下にスギ柱材を置き、調湿後、曲げ強度試験を実施して比較検討を行なう、曲げ強度については120℃で96時間処理すると、強度低下が発生し、その他の条件では有意な強度低下は見られないという結果を得ている。

上述の実験により、120℃で96時間処理することにより強度低下が発生することはわかったが、これだけでは強度低下が発生するメカニズムが不明であり、サイズが変わった場合にどのような影響がでるのかは不明である。また、高温処理による劣化、内部割れは、曲げ強度よりも割裂・せん断強度への影響が大きいことは当然予想されることであり、その相互作用で決まるボルト・ドリフトピン・釘・木ねじ等の接合部強度が影響を受けることが予想される。本研究では、上記8種類の条件下で処理をした木材の、ボルト・ドリフトピン・釘・構造用ビス接合部強度試験を実施し、その影響を明らかにするとともに、細分化した無欠点小試験片を取り出し、せん断、割裂等の試験を実施、強度低下がどのようなメカニズムで発生するかを明らかにすることを目的としている。

2．研究の方法

2.1　試験体

スギ心持ち正角材（12×12×365cm）288 本を供試材とした。高温低湿処理を施す前に，タッピング法で縦方向の動的ヤング係数を求め，ロット（1ロット36本）間のヤング係数の分布が等しくなるように8ロットに分別し，それぞれ別の条件下で高温低湿処理を施した。処理条件は表1に示した通りであった。高温低湿処理後，含水率15%を目標として屋外あるいは60℃の温度条件で調湿し、曲げ強度試験を実施した。その後、両端の破損していない部分から長さ約600mm の材を取り出し接合部用試験体、長さ300mmの材を取り出し、無欠点小試験体用試験体とした。

実施した接合部試験は、1）釘の引抜き試験、2）釘の鋼板添板型一面せん断試験（繊維直交方向加力）、3）ラグスクリューの鋼板添板型一面せん断試験（繊維平行方向加力）、4）ボルトの鋼板添板型二面せん断試験（繊維平行方向加力）であった。

実施した無欠点小試験体試験は、1）曲げ試験、2）縦圧縮試験、3）せん断試験であり、いずれもJIS Z-2101に準拠して行った。供試体は、以下の手順に従って作成した。長さ300mmの心持ち正角材の表面から順番に厚さ約20mmの板を5枚切り出し、それぞれの板から節等の欠点および乾燥割れを含まないように、JIS Z-2101曲げ試験、圧縮試験、せん断試験法に準拠する試験体を各１体（せん断試験については2体）作成した。ただし、割れ等の損傷が激しく無欠点試験体を作成できない場合は、元の材の健全部位から試験体を作成した。

表1　高温低湿処理条件

処理条件	蒸煮			乾燥			処理終了時含水率 (%)
	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	処理時間 (h)	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	処理時間 (hr)	
A	95	95	12	120	90	96	3.2
B	95	95	12	120	90	72	5.1
C	95	95	12	120	90	48	17.6
D	95	95	12	120	90	24	29.9
E	95	95	12	105	75	96	8.3
F	95	95	12	105	75	72	12.3
G	95	95	12	95	65	96	13.4
H	85	85	12	85	75	240	11.0

2.2　接合部試験

1）釘の引抜き試験

試験概要は、図1に示した通り。釘（ZN90）を試験体の長さ方向および幅方向の中央部に釘引抜き試験用治具（厚さ6mm鉄板）を介して打ち込み、面に対して垂直方向に引っ張り、その際の荷重および引抜け量を、それぞれロードセルおよび変位計で測定した。使用した試験機は、ミネベア製NMB-100kNであり、加力速度はクロスヘッドスピード1mm/minであった。加力は、最大荷重到達後、荷重が最大荷重の約80%に低下するまで行った。試験終了後、

試験体から厚さ約20㎜の含水率用測定試片を取り出し、全乾法により含水率測定を行った。

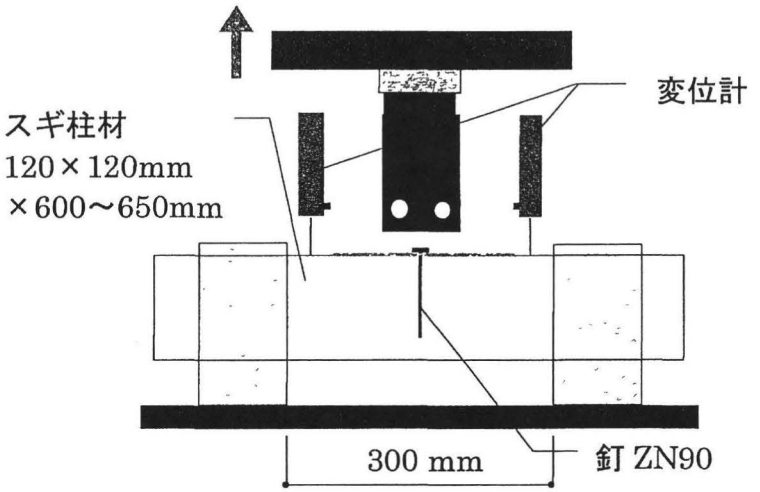


図1 釘の引抜き試験概略図

2) 釘の鋼板添板型
一面せん断試験（繊維直交方向加力）

試験概要は、図2に示した通り。釘（ZN90）を試験体の上面端部から33㎜、長さ方向の中央部付近に41㎜間隔で釘せん断試験用治具（厚さ12㎜鉄板）を介して釘を2本打ち込み、繊維方向に対して直交方向に引っ張り、その際の荷重およびせん断変形量を、

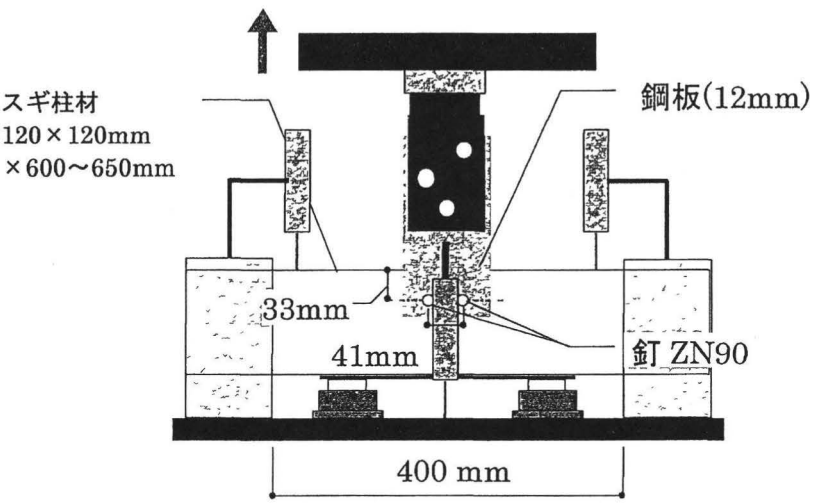


図2 釘 繊維直交方向 一面せん断試験概略図(釘2本)

それぞれロードセルおよび変位計で測定した。使用した試験機は、ミネベア製NMB-100kNであり、加力速度はクロスヘッドスピード5㎜/minであった。加力は、最大荷重到達後、荷重が最大荷重の約80%に低下するまで行った。釘2本試験終了後、反対側の面端部から33㎜、長さ方向の中央部付近に41㎜間隔で釘せん断試験用治具（厚さ12㎜鉄板）を介して釘を3本打ち込み、同様のせん断試験を行った。試験終了後、試験体から厚さ約20㎜の含水率用測定試片を取り出し、全乾法により含水率測定を行った。

3) ラグスクリューの鋼板添板型一面せん断試験（繊維平行方向加力）

試験概要は、図3に示した通り。ラグスクリュー（M12×110mm）1本を試験体の木口面から90mm位置の幅方向の中央部付近に、試験機に固定した12mm鋼板を介して打ち込んだ後、繊維方向に対して平行方向に加力し、その際の荷重およびせん断変形量を、それぞれロードセルおよび変位計で測定した。ラグスクリューの下穴径は8mmとした。使用した試験機は、ミネベア製NMB-100kNであり、加力速度はクロスヘッドスピード10mm/minであった。加力は、最大荷重到達後、荷重が最大荷重の約80%に低下するまで行った。試験終了後、試験体から厚さ約20mmの含水率用測定試片を取り出し、全乾法により含水率測定を行った。

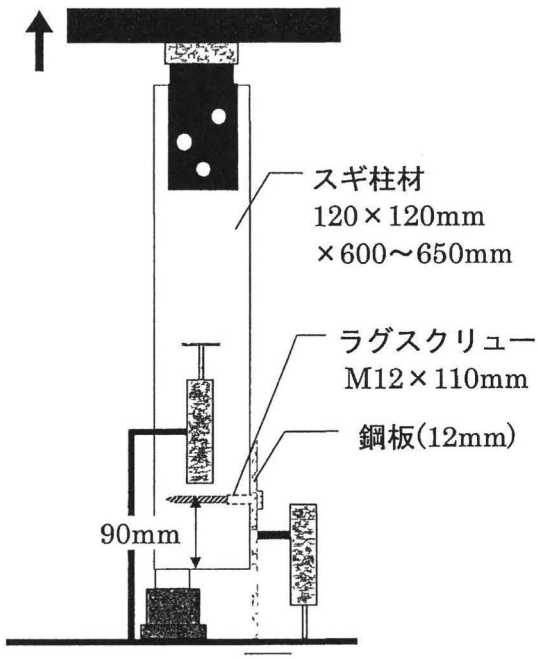


図3 ラグスクリューの鋼板添板型一面せん断試験（繊維平行方向）

4) ボルトの鋼板添板型二面せん断試験（繊維平行方向加力）

試験概要は、図4に示した通り。試験体の木口面から90mm位置の幅方向の中央部付近に12mmの貫通穴を設け、長さ165mmのM12六角ボルトを試験機に固定した12mm鋼板を介して差し込んだ後、その端をナット留めし、試験体繊維方向に対して平行方向に加力し、その際の荷重および変形量を、それぞれロードセルおよび変位計で測定した。使用した試験機は、ミネベア製NMB-100kNであり、加力速度はクロスヘッ

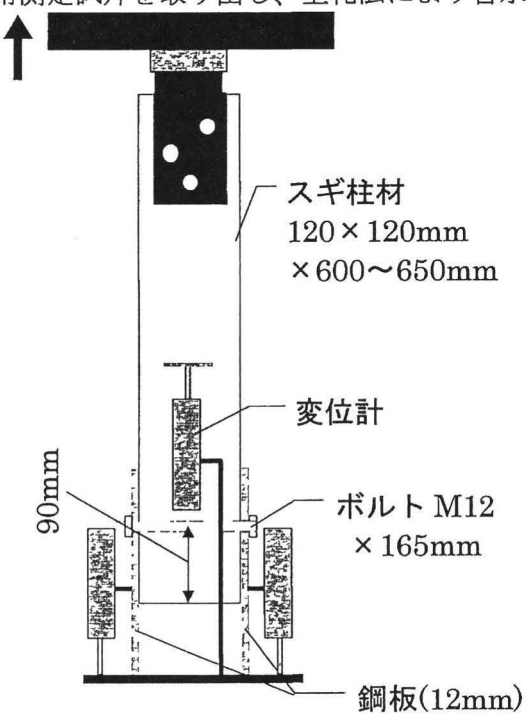


図4 ボルトの鋼板添板型二面せん断試験（繊維平行方向）

ドスピード10mm/minであった。加力は、最大荷重到達後、荷重が最大荷重の約80%に低下するまで行った。試験終了後、試験体から厚さ約20mmの含水率用測定試片を取り出し、全乾法により含水率測定を行った。

2.2 無欠点小試験体試験

1) 曲げ試験

長さ300mmの心持ち正角材の表面から順番に厚さ約20mmの板を5枚切り出し、それぞれの板から節等の欠点および乾燥割れを含まないように、「JIS Z-2101 9.曲げ試験 9.1試験体」に準拠した曲げ試験用試験体（断面寸法20mm×20mm、長さ300mm）を作成し、試験に供した。ただし、割れ等の損傷が激しく無欠点試験体を作成できない場合は、元の材の別の健全部位から試験体を作成した。試験は、「JIS Z-2101 9.曲げ試験 9.2試験方法」に準拠して行った。スパン280mm、クロスヘッドスピード2.5mm/minでスパン中央部分を加力し、試験体が破壊するまでの間の荷重および中央部分のたわみを測定した。使用した試験機は、ミネベア製ALL-5ｋNであった。試験終了後、全乾法による含水率測定を行った。

2) 縦圧縮試験

長さ300mmの心持ち正角材の表面から順番に厚さ約20mmの板を5枚切り出し、それぞれの板から節等の欠点および乾燥割れを含まないように、「JIS Z-2101 7.圧縮試験 7.1縦圧縮試験 7.1.1 試験体」に準拠した縦試験用試験体（断面寸法20mm×20mm、高さ40mm）を作成し、試験に供した。ただし、割れ等の損傷が激しく無欠点試験体を作成できない場合は、元の材の別の健全部位から試験体を作成した。試験は、「JIS Z-2101 7.圧縮試験 7.1縦圧縮試験 7.1.2 試験方法」に準拠して行った。クロスヘッドスピード2.5mm/minで加力し、試験体破壊時の荷重を測定した。使用した試験機は、ミネベア製ALL-5ｋNであった。試験終了後、全乾法による含水率測定を行った。

3) せん断試験

長さ300mmの心持ち正角材の表面から順番に厚さ約20mmの板を5枚切り出し、それぞれの板から節等の欠点および乾燥割れを含まないように、「JIS Z-2101 10.せん断試験 10.1試験体」に準拠したせん断試験用試験体（木口面における一辺の長さ20mm、高さ30mm）を作成し、試験に供した。ただし、JIS規格には「せん断面は、原則として柾目面及び板目面とする」とあるが、本実験では、正角材の表面から平行に木取りした板からせん断試験体を作成しているため、木目をそろえることはできないので、せん断面が板面と平行になるような試験体を1体、直角になるような試験体を1体、計2体の試験体を作成し、試験に供した。また、割れ等の損傷が激しく無欠点試験体を作成できない場合は、元の材の別の健全部位から試験体を作成した。

試験は、「JIS Z-2101 10.せん断試験 10.2 試験方法」に準拠して行った。クロスヘッ

ドスピード1mm/minで加力し、試験体破壊時の荷重を測定した。使用した試験機は、ミネベア製ALL-5ｋNであった。試験終了後、全乾法による含水率測定を行った。

３．結果および考察

３．１　結果

接合部の強度試験結果は表 2 に、小試験片の強度試験結果は表 3 に示した通りであった。なお、小試験片の強度試験結果は、1 供試体から得られた 5 体（せん断試験については 10 体）の試験体の平均値を供試体の強度値とし、各グループごとにその平均値および標準偏差を求めている。各条件ごとに強度分布を求め、一般的な中温乾燥に相当する条件 F の結果と t 検定による母平均の差の検定を行った。それぞれの試験についての結果は、以下の通りであった。

1) 釘の引抜き試験

いずれの条件とも、危険率 5%水準で条件 H との有意差は認められず、処理温度および処理時間による釘引抜強度の変化は見られないという結果が得られた。

2) 釘の鋼板添板型一面せん断試験（繊維直交方向加力）

最も厳しい処理条件であった条件 A については、釘 2 本、3 本試験双方について、危険率 5%水準で、条件 H との有意差が認められたが、その他の条件については優位差が認められず、乾球温度 120℃で 72 時間を超えて処理を行うと、釘の繊維直交方向の一面せん断強度が低下することになるという結果が得られた。

3) ラグスクリューの鋼板添板型一面せん断試験（繊維平行方向加力）

最も厳しい処理条件であった条件 A については、危険率 5%水準で、条件 H との有意差が認められたが、その他の条件については優位差が認められず、乾球温度 120℃で 72 時間を超えて処理を行うと、ラグスクリューの一面せん断強度が低下することになるという結果が得られた。

4) ボルトの鋼板添板型二面せん断試験（繊維平行方向加力）

条件 A,B については、危険率 5%水準で、条件 H との有意差が認められたが、その他の条件については優位差が認められず、乾球温度 120℃で 48 時間を超えて処理を行うと、M12 ボルトの二面せん断強度が低下することになるという結果が得られた。

4) 無欠点小試験体曲げ試験

いずれの条件とも、危険率 5%水準で条件 H との有意差は認められず、処理温度および処理時間による曲げ強度の変化は見られないという結果が得られた。

5) 無欠点小試験体縦圧縮試験

いずれの条件とも、危険率 5%水準で条件 H との有意差は認められず、処理温度および処理時間による縦圧縮強度の変化は見られないという結果が得られた。

6) 無欠点小試験体せん断試験

いずれの条件とも、危険率 5%水準で条件 H との有意差は認められず、処理温度および処理時間によるせん断強度の変化は見られないという結果が得られた。

３．２　考察

試験の結果、無欠点小試験体の強度低下が認められないのにも関わらず、処理条件によっては接合部強度の低下が認められる、という結果が得られた。また、ラグスクリューおよびボルトのせん断試験においては、内部割れが強度低下に影響していることを示唆する結果が得られた。これらの結果より、本研究で試験体に対して施した高温低湿処理条件では、セルロースの熱分解等に起因するミクロな強度低下は発生しておらず、内部割れ等のマクロな損傷が強度低下の要因となっていることが推測できる。ただし、試験時の含水率の違い、木取り等が試験結果に影響している可能性も否定できないため、さらに検討する必要がある。また、今回は、破壊強度のみを検討の対象とし、初期剛性や靭性については検討を行っていないが、基準強度・許容応力度等を算出することを想定した場合、これらの性質についても検討していく必要がある。

４．まとめ

8 種類の高温低湿処理条件で処理したスギ心持ち正角材に対し、釘の引抜き試験、釘の鋼板添板型一面せん断試験（繊維直交方向加力）、ラグスクリューの鋼板添板型一面せん断試験（繊維平行方向加力）、ボルトの鋼板添板型二面せん断試験（繊維平行方向加力）、高温低湿処理材から採材した無欠点小試験体の曲げ試験、縦圧縮試験、せん断試験を行った結果、以下の結論が得られた。

1) 無欠点小試験体の強度については、いずれの条件とも有意差は認められなかった。
2) 釘の引抜き強度についても、有意差は認められなかった。
3) それ以外の接合部強度については、乾球温度 120℃で処理時間 96 時間という最も厳しい条件である条件 A については、乾急温度 85℃で処理時間 240 時間の条件 H との有意差が認められた。また、次に厳しい条件である条件 B についても、ボルトの二面せん断試験については、有意差が認められた。

無欠点小試験体の強度低下が認められないのにも関わらず、処理条件によっては接合部強度の低下が認められる、という結果、および、ラグスクリューおよびボルトのせん断試験においては、内部割れが強度低下に影響していることを示唆する結果より、本研究で試験体に対して施した高温低湿処理条件では、セルロースの熱分解等に起因するミクロな強度低下は発生しておらず、内部割れ等のマクロな損傷が強度低下の要因となっていることが推測できる。ただし、試験時の含水率の違い、木取り等が試験結果に影響している可能性も否定できないため、さらに検討する必要がある。また、今回は、破壊強度のみを検討の対象とし、初期剛性や靭性については検討を行っていないが、基準強度・許容応力度等を算出することを想定した場合、これらの性質についても検討していく必要がある。

表2　接合部強度試験結果

記号	処理条件			接合部強度				
				釘引き抜き (kN)	釘せん断 (kN)		ラグスクリュー一面せん断 (kN)	M12 ボルト二面せん断 (kN)
					2 本	3 本	1 本	
A	DT/H	120/96	n	22	27	27	16	11
	MC_0(%)	3.2	avg	2.74	5.86*	7.30*	18.5*	40.8*
	$MOE_{avg.}$(kN)	6.80	s.d.	0.621	1.14	1.36	2.88	7.06
B	DT/H	120/72	n	19	23	23	17	16
	MC_0(%)	5.1	avg	3.13	6.21	7.82	20.7	40.2*
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.20	s.d.	0 897	1.27	1.29	3.78	9.66
C	DT/H	120/48	n	23	23	23	17	6
	MC_0(%)	17.6	avg	3.09	6.44	8.12	20.8	46.6
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.11	s.d.	0.952	1.29	0.95	6.30	8.28
D	DT/H	120/24	n	21	22	22	14	12
	MC_0(%)	29.9	avg	2.68	6 40	8.50	21.9	50 5
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.00	s.d.	0.846	1.11	1.48	2.38	11 5
E	DT/H	105/96	n	23	24	24	15	11
	MC_0(%)	8.3	avg	2.79	6.65	8.18	21.2	56.9
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.20	s.d.	0.942	1.01	1.17	2.45	9.61
F	DT/H	105/72	n	26	26	26	16	5
	MC_0(%)	12.3	avg	3.03	6.67	8.55	20.3	45.6
	$MOE_{avg.}$(kN)	6.99	s.d.	0.751	1.28	1.54	3.40	11.4
G	DT/H	95/96	n	21	21	21	18	7
	MC_0(%)	13.4	avg	2.97	6.32	8.84	20.6	45.7
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.03	s.d.	0.719	0.97	1.64	2.26	9.33
H	DT/H	85/240	n	19	22	22	16	11
	MC_0(%)	11.0	avg	2.90	6 80	8.44	22.4	54.8
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.40	s.d.	0.794	1.65	1.41	3 90	9 17

DT/H　乾球温度／処理時間、MC_0：仕上り含水率、MOE_{avg}：各処理条件のMOE平均値。

*　：　条件Hに対して、危険率5%水準で有意差有り。

乾燥前に条件A-G では95℃で12 時間、条件H では85℃で12 時間蒸煮を行った。

表3　無欠点小試験体強度試験結果

記号	処理条件		無欠点小試験体試験強度			
				曲げ (N/mm^2)	縦圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
A	DT/H	120/96	n	12	11	12
	MC_0(%)	3.2	avg	47.8	33.9	7.66
	$MOE_{avg.}$(kN)	6.80	s.d.	9.23	4.87	1.16
B	DT/H	120/72	n	12	11	12
	MC_0(%)	5.1	avg	47.1	33.1	7.47
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.20	s.d.	7.10	2 92	1.30
C	DT/H	120/48	n	15	15	14
	MC_0(%)	17.6	avg	49.0	30.8	7.48
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.11	s d.	4.50	3.29	0.66
D	DT/H	120/24	n	15	15	15
	MC_0(%)	29.9	avg	48.3	29.6	7.52
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.00	s.d.	8.48	4.43	0.75
E	DT/H	105/96	n	12	12	12
	MC_0(%)	8.3	avg	48.8	31.5	7.65
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.20	s.d.	6.69	2.96	1.05
F	DT/H	105/72	n			
	MC_0(%)	12.3	avg			
	$MOE_{avg.}$(kN)	6.99	s.d.			
G	DT/H	95/96	n	14	14	14
	MC_0(%)	13.4	avg	49.4	31.1	7.70
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.03	s.d.	8.51	4.73	1.14
H	DT/H	85/240	n	16	16	17
	MC_0(%)	11.0	avg	49.3	30.8	7.60
	$MOE_{avg.}$(kN)	7.40	s.d.	5.42	3.26	0.74

DT/H . 乾球温度／処理時間、MC_0 : 仕上り含水率、MOE_{avg} : 各処理条件のMOE平均値。

*　　条件Hに対して、危険率5%水準で有意差有り。

乾燥前に条件A-G では95℃で12 時間、条件H では85℃で12 時間蒸煮を行った。

中華人民共和国の建築・住宅生産における工業化構工法の導入可能性に関する基礎的研究

芝浦工業大学　工学部　建築学科
教授　南　一誠

1. 研究の背景と目的

1972年9月の日中国交正常化、1978年の平和友好条約締結から30年が経過し、日中間の貿易、投資は拡大の一途にある。2006年度の中国のGDPは1990年度比で7倍と急拡大を続けており、世界の経済成長を牽引するようになっている。沿岸部では、改革開放後は都市化の進展が著しく、特に北京市、上海市はオリンピックや万国博覧会を背景として、大規模な建築物や高層住宅の建設が急ピッチで進められている。しかし農民工に頼る現在の中国の建築生産は生産性が低く、品質確保、工程管理のため先進国の高度な建築生産手法を導入することが必要な状況になっている。近年では中国でも現場労働者の賃金上昇が進みつつあり、工業化構工法の導入に関心があるが、中国の研究機関で工業化工法、システム建築を研究しているものはほとんどなく、わずかに深圳にある万科建築研究センターが行っている程度とされる。一方、日本では戦後一貫して、建築生産の合理化に努めてきた実績があり、日本の工業化構工法を中国に技術移転することが期待されている。本研究では、技術移転伴う検討課題やプロセスについて基礎的研究を行うものである。

日本と中国とでは、政治経済体制や産業基盤、技術水準が大きく異なり、日本の建築技術を直ちに中国の建設生産に適用することはできない。技術移転に先立ち、建築生産技術の前提となる社会、経済、技術的条件について調査を行う必要がある。技術移転が可能なだけでなく、適切な日本の工業化構工法の抽出を行い、技術移転に伴う種々の課題の検討作業を行うためには、建築生産、住宅建設に関する関連法令、行政組織、需要動向、インフラ整備状況、関連産業の成熟度、建設技術者の実態などについて基礎的情報を収集、分析することが必要である。分析すべき項目は以下のように整理することができる。

①住宅生産、建築技術に関することを担当している政府機関である中華人民共和国建設部や北京市、上海市の担当部署の組織、所管事項など
②建築技術、不動産に関連する法令、税制など
③地域別の建築生産、住宅生産の将来需要
④建設需要が想定される地域のインフラ整備状況
⑤素材産業、建材産業の生産能力、技術的水準
⑥建設労働者の技能水準、需給状況
⑦建築生産における品質管理、安全管理などの現状と改善すべき項目
⑧技術移転が可能で、適切な日本の工業化構工法
⑨技術移転に伴う社会経済的課題、技術的課題
技術移転に伴う現地法人の組織、人材育成およびその工程。

2. 中国における住宅・建築市場の動向と工業化構工法の可能性

中国の経済成長率は2007年上半期にピークを向かえ、その後低下している。2008年の経済成長率の低下は、アメリカ発の金融危機の影響ではなく、中国政府がインフレ抑制のために実施した2008年1月からの金融引締め政策や人民元高などの内的要因が原因であるとされている。2008年下半期には、インフレは沈静化に向かっており、中国政府発表の4兆元（56兆円）の内需拡大の景気対策が2009年下半期には効果が出て、上海万博が開かれる2010年には景気は上向くであろうと予想されている。

中国政府は、①景気対策としての公共投資の増額、低中所得者向け住宅の供給、②四川地震・環境問題対策としての住宅の品質向上、耐震補強、工業化の推進、③集合住宅の大量供給のための都市郊外型の低所得者向け低層住宅および都市型の高所得者向け超高層住宅の建設を行う必要があるとしている。一方、不動産業界としては、建設労働者の賃金が上昇しており、また住宅の品質を向上させ、維持管理コストを削減することに迫られており、工業化構工法を採用する機運が高まっている。

第11次5カ年計画（2006年から2011年）を受けて策定された4兆元の景気刺激策の第1番目の施策として、低所得者向けの低価格住宅の建設が掲げられている。10項目からなる施策の3番目にも鉄道・道路・空港などのインフラ建設が掲げられており、土木二次製品においてコンクリート工法の採用が拡大すると予想されている。この施策により、コンクリート系の工業化住宅の建設が促進されると期待されるが、2003年より政府が指導しているにも関わらず、これまでのところ大きな進展は見られていない。

中国の住宅竣工面積は12億㎡以上である。その内、商品住宅の比率は、10年前は1割程度であったが、その後、急速に拡大しており、2015年には4割を越すと予想されている。商品住宅の構成比率としては、高級マンションが10%（約54万戸）、一般マンションが75%（約405万戸）、経済適用住宅が15%（81万戸）になると予想されている。

高級マンションの内、20%（約11万戸）が高層マンションとなり、その10%（約1万戸）が、高品質を追求するためPCa工法を採用すると予想されている。既に一部のデベロッパーはPCa工法を採用し始めている。また低所得者向けの経済適用住宅の内、33%（約27万戸）は量産化によるコスト削減を行うため、国家の主導によりPCa工法を採用するとされている。PCa工法の採用比率はかならずしも高くはないが、国全体の工事量が大きいため、工業化工法の事業としては相当の規模になると考えられている。

中国の粗鋼生産量は2006年度には日本の4倍の年間4億トンを超え、今後も増加が見込まれている。中国の政策担当者の中には将来の鉄鋼の販路として建築、住宅分野を期待するとの意見があるとされる。今のところ、鉄骨は工場生産のためコストが高く、実施例が少ないため設計者も不慣れである。そのため高層の建築物でも鉄筋コンクリートで設計されることが多かった。鉄骨の品質も悪く、かつては大規模な建築物の場合、ロールHを輸入することがほとんどであった。しかし北京オリンピックでの競技施設建設を経験した中国では技術力の向上が見られ、一部の現場では日本の総合建設業並みの技術を見せるようになっている。上海万国博日本政府館の主要構造である鉄骨はすべて中国で調達されるに至っている。したがって、今後は、PCa工法だけでなく、鉄骨系のシステムズビルディングの構工法も開発が

進むものと考えられる。

3. 中華人民共和国における建設関連法令、施工規範

（1）建設関連法体系

日本の国土交通省に相当する政府機関は中国、住宅都市農村建設部である。中国は一元多重立法体制をとっており、各部門が異なるランクの立法権を持っており、建設関連だけでも膨大な数の独自の法体系、基準類が存在している。中国の法体系は、国家規律、国務院行政規則、部門規則、国際条約・慣例から構成されている。国内的には部門規則の下に指導性文件と称せられる指針、さらにその下に参考性文件と称せられる基準・規範がある。このほか、地方政府が定める法規や自治条例が存在している。

建築関連の法体系としては、GB（国家規範）、JGJ（地方規範）、GBJ（局規範）などで構成されている。国家規範などがない場合は、国営企業向けの規範が制定されることもある。具体的には、国家建築標準設計図集、現行建築施工規範大全(設備も含む)、現行建築構造規範大全、現行建築設計規範大全、現行建築材料規範大全、現行建築検査規範大全（中国建築工業出版社、ISBN978-7-112-07499-0）などが使用されている。「建築設計説明書」は特記仕様書と技術標準書の内容を併せ持った内容である。

法令の表現には、①強制(must)、②一般の状況の下ではこれを採用する、③推薦規範(したほうが良いとの表記)の 3 種類がある。日本とは違い、法令施行時に着工している工事に対しても、遡及措置が行われることがあるので留意が必要である。実際の運用は設計院や監督官庁の判断によるもので、その都度、確認することが必要である。

法令の体系：

- 国家標準（GB）、（CECS）
- 国家推薦基準（GB-T）
- 建設令（JS）
- 国家建設標準（GBJ）
- 城市建設（CJ）
- 城市建設建築（CIJ）

監理者の検査については、業務標準がある。官庁検査は書類検査が中心であり、指導的立場の検査を行う。現場を見るが最近は、指摘事項は少ない。消防検査も同様であるが、規範に記述がなくても、事故事例などをもとに指導することがある。

設計院と監理公司（かんりこんすう）を兼ねることはできるが、施工者との兼業はできない。1994 年、民営化に伴い管理者が独立して管理工程師が生まれた。それ以前は施主の中に管理者がいた。法案設計、初歩設計、施工図設計の 3 段階に別れており、日本の確認申請に相当する政府の認可が各段階で必要となる。図面審査公司（こんす）が行う。

（2）建築関係の規準策定、研究開発機関

中国建築科学研究院が規準の策定や研究の受託を行っており、主要な国家規準の策定を担

当している。現在、工業化住宅規準を編集中とのことである。

その下部組織である中国建築標準設計研究院では、規準の策定および設計の受託を行っている。非構造壁に関する規準や、標準設計図の策定を行っている。

概して中国の政府機関は規準、標準の策定に際して、企業の実態を元に規準を策定する姿勢が見られるとのことである。PCa 工法についても、後述する万科などの先進企業の実績を踏まえて、規準の検討が行われることになると考えられる。

（3）設計資格

中国では日本の一級建築士に相当する建築師資格制度が 1990 年に制定され、資格認定試験が 1995 年から実施されている。受験に必要な実務経験年数は 3 年以上である。登録機関は、中国全国建築登録管理委員会である。　設計組織としての資格は、工事規模の大小、地域を問わずどのプロジェクトでも担当できる甲級から地域、規模が限定される乙級、丙級、また所属機関の施設に限定される丁級に区分されている。

4. 工業化構工法の導入実例：プレキャストコンクリート工法の技術移転

日本のゼネコン、M 社が、中国、深圳の万科企業集団にプレキャストコンクリート(PCa)技術を技術協力しているケースについてヒアリング調査した。M 社は 2003～04 年に、上海地下鉄建設においてシールド技術の支援を行い、近年も北京市のシールドトンネル工事のコンサルティング業務を受注するなど、中国に対するコンサルタント業務の実績が豊富である。中国最大の住宅デベロッパーである万科とは 2007 年に業務提携を行い、主に①PCa 工業化基準の策定、②住宅建設の工業化に関する施工管理、③PCa 工場の計画・運営について技術供与、技術指導を行っている。M 社の取り組みで注目すべきは、工事の受注ではなく技術を売ることに的を絞った中国進出を行っていることである。

中国でも、かつて大量に住宅建設が行われた時代には大型 PC パネル工法やティルトアップ工法による中層集合住宅が建設されたが、断熱性能が低く、また施工精度も悪かったため、最近ではあまり用いられなくなっていた。冬期の気温が低い中国では、冬期の施工を考えて PCa を採用することもあったが、1976 年 7 月に中国河北省で発生した唐山地震では多くの被害が発生し、評価は芳しくなかった。しかし 2008 年 5 月に起こった四川大地震を契機に、中国ではより質の高い建築に対する関心が高まり、所定の品質を確保し、少ない労働力で短工期に施工を行うことが可能な PCa 工法が再度、関心を集めるようなった。

中国は建設量が日本に比肩しないほど大きく、スケールメリットが出しやすいという状況にある。業界トップ企業の万科が取り組むことは、工業化工法（PCa 工法）が中国において広まる先導的役割を果たすことになると期待されている。

(1)万科企業集団の概要

1984 年に設立され、当初は貿易、小売、製造業、広告などを取り扱っていた。1988 年に不動産事業に進出、1996 年に中国政府系華潤グループの傘下となる。2001 年に小売業から撤退して、不動産事業、特に住宅開発を専業とするようになった。

売上額は 2001 年に 32 億元、2006 年に 212 億元（約 3000 億円）と急成長であり、利益率

も約 10%である。今後 3 年間における目標成長率は、年平均 57%と高い。香港、上海、北京、深圳に開発用地を保有し、中国 10 都市に拠点を持っている。

2007 年の中国不動産ランキングでは、万科企業は新築着工 700 万㎡、年間竣工 600 万㎡で 1 位である。2 位の保利地産は新築着工 230 万㎡、年間竣工 200 万㎡であり、万科企業の規模が圧倒的に大きい。M 社は IT 関連技術を活用して、企画、設計、施工、維持管理まで一貫したサービスを、万科に提供することで独自性を出し、他社との差別化を図っている。

(2)万科企業集団が供給する住宅の品質問題

2006 年に 7 万戸の住宅を供給したが、漏水に関するクレームが 12000 件、給排水不良に関するクレームが 6000 件発生したとされる。現在、鉄筋コンクリートの床スラブは厚さ 100mm で施工されており、界床としての遮音性が不足している。設備配管は下階の天井内に配管しており、漏水時や改修時に問題が発生すると懸念される。中国では住宅の品質に関する法令、基準が未整備であり、入居者の意識も未だ高くないため、問題点は表面化していないが、いずれ品質不良の問題が顕在化、拡大するであろうと万科企業集団懸念している。そのため、日本の技術を移転し、現時点ではコストが高くとも、品質の向上を目指すことに着手したと言う。

万科は華南地方の広州、深圳、香港などの大都市のほぼ中央に位置する東莞市に、工業化住宅の研究拠点「万科建築研究中心」を有している。M 社との技術提携により、PCa 工法を採用した実験棟「青年の家」、「首改実験棟」を建設し、日本の PCa 工法の中国での適用実験を行っている。2008 年 4 月に着工した「首改実験棟」では、在来工法で施工した柱と PCa 部材の納まりの精度が日本に比べて低く苦労したとのことであるが、日本から M 社の協力業者の鉄筋工、型枠工を派遣して技術指導を行っている。

深圳市内で万科が展開する大規模住宅開発「第五園」の第 4，5 期工事において M 社現地法人が PCa 工法に関する技術指導や施工支援を行っている。ここでは M 社現地法人は実験棟「青年の家」での経験を活かし、プラン作りから参画している。万科は①量産体制の確立と②安定した品質の確保を PCa 工法の導入効果として期待している。しかし中国においても世界的な景気低迷の影響を受け、マンション市況が急速に冷え込み、在来工法よりコストが高い PCa 工法は現場施工中でも見直しされることとなった。当初設計では PCa とする予定であった梁と床スラブは現場打ちに設計変更され、PCa は壁、バルコニー、階段に限定されることとなっている。

中国には「納まり」や「取り合い」の概念が乏しく、内装仕上げにおいては、天井やタイルの目地合わせを行う習慣がないとされる。しかし、中国においても高品質の仕上げが求められるようになっており、日本の品質管理の技術移転が望まれるようになっている。しかし、M 社現地法人の技術者らによると、中国の工事現場では日本では当然となっている、安全通路の確保、作業員事務所の設置、禁煙などのマナーなど基本的なことが徹底しておらず、現場の品質確保、安全管理のためには、まだ相当の対策が必要とのことである。技術移転の前提となる現場の基盤整備から始めなければならないということであろう。

5. 中国における建築生産の現状

(1)中国現地企業の実情 上海市南部、洋山深水港の工事現場

中国上海市の南東役 100km に所在する洋山深水港の液化天然ガス備蓄基地の現場を調査した（2008 年 4 月）。

洋山深水港は上海臨港新城産業エリアの沖合にある。同エリアは上海市の南に位置する新都心であり、計画面積は 100 キロ平方メートル、建設面積は 50 キロ平方メートルである。5.6 キロ平方メートルの滴水湖を中心とする都市総合生活区は、居住人口 50～60 万人と計画されている。上海における 22 世紀の新都心として既に造成工事が完成し、これから施設建設が始まるところである。新都心や洋山深水港は湾岸部の埋立地であるため、建物の軽量化が必要であることや、上海万博までに大規模な施設建設を行う必要があるため、鉄骨系のシステムズビルディングの採用が検討されている。

1）生産組織の概要

中国では元請建設業に相当する「総請負」に 12 種類、専門工事業に 7 種類あるとされる。現地調査した企業は、中核華興上海 LNG 項目部である。本工事の請負契約の構造は EPG が元請であり、その下に一次下請け、さらにその下に「包工頭（ほうとうこう）」、その下に「班」がある。「班」は企業体ではない。ヒアリングした企業は元請けの免許を持っているが、下請けとして工事に参加していた。このようなケースは、中国では多い。

中国の下請けは労務下請と専門工事の下請けに区分される。専門工事は材工が一体である。主要材料、鳶足場、型枠は一次下請けが支給することになっている。調査した現場では、包工頭は 1 社のみであり、過去の工事実績も考慮した上で、入札により決定されていた。「班」は鉄筋、型枠、コンクリートの 3 工事を担当している。技術レベルはそれまでの施工実績で判断している。資格は日本の制度に近いものである。型枠工事の職人の手配は包工頭が行っている。型枠の品質が悪い場合の対応は包工頭が行うことになっている。型枠班には技能の差があるため、技能を向上させる必要があるとのことである。

賃金は労働契約法により、地域ごとに包工頭などの最低賃金が定められている。型枠工、鉄筋工、とびは同じ賃金である。農民工は一定賃金であり、政府が最低賃金を 890 元（月額）と定めている。今回調査した現場は、本土から橋で渡る立地という不便な条件であることなどから、高い金額が支払われていた。

工事前に元請け、下請けが帽子やベルトの着用など、安全対策に関する訓練を行っている。技能訓練は行っておらず、徒弟制度で対応している。農民工、包工頭にも経営能力があれば昇進の道が開けているが、今のところ農民工は元請けに昇進することはない。

工事代金の支払については、調査した現場の発注者は国営企業なので、支払いに関するトラブルはないとのこと。中国にも前渡金の制度はあり、この現場では 5%支払っている。元請け、下請け、発注者が出来高をチェックし、下請けには月極めで支払っている。一次下請けは必ず３０%受け取る。既済部分が支払済みでも問題が起きれば、それ以降の支払いから差し引かれることがある。トラブルが発生した場合、日本には紛争処理委員会があり、裁判によらずに解決する方法があるが、中国でも裁判まで行くことはなく、その前になんとなく解決することが多いとされる。

2）建造士制度について

制度はまだ過渡期である。建造士の試験問題が示すように、建造士に期待されている職能像は幅が広く、財務、積算も習得しなければならない。中国では設計、施工の両方の監理を行うことになっており、視察した現場では、会社の中を、設計監理、施工監理、材料調達監理の３つに分けていた。法的には施工監理のみを行えばよいが、この現場では発注者からの要望があり、第３者監理を行っている。設計変更図については、元請け企業のＥＰＧ社が図面を作成し、発注者の技術部門が図面承認を行っている。管理項目は施工会社の内規によっている。

3）福利厚生について

医療保険、傷病保険はある。健康保険は管理の職員のみを対象としている。

(2)日系総合建設業Ｋ社の実態調査

中国に進出している日系大手総合建設業の上海支店に対してヒアリング調査を行った。

1）設計・工事管理について

設計院の図面は粗く、施工標準図の番号が書かれているだけである。施工図は設計院が作成する。ふかし、梁位置の変更などの設計変更の図面作製も設計院の仕事である。

設計変更については、構造が関わるものは設計院の許可を得る必要がある。Ｋ社も自ら施工図を作成するが設計院の承認を得る必要がある。現場の職人を継続して別の現場でも雇用することは民間工事では許されている。設計院と材料メーカーが共同で標準施工図を作成している。

2）入札・契約関係について

オープンテンダーである。Ｋ社は入札管理署に、入札免除申請を行って発注している。現地の施工会社も同様である。今でも国営企業は同列の企業に発注を行っている。包工頭について規制はない。設備工事も元請けに入れば元請けの裁量で決める。

元請け企業は、指定銀行に保証金として 100 万元を預託して、施工許可を得る。施主については、1 年以内の工期の工事の場合、50%以上の資金を銀行に用意する必要がある。施主には、工事期間中にキャッシュフローに問題が生じないように注意喚起を行っている。

中国では、契約はあるが契約通り支払わないことが多い。材料メーカーも支払わない限り納品しない。地方自治体の企業は、法律により躯体工事を直営で行うこととされているため、すべてを下請けに発注しないで行っている。労働力の下請け会社は許されている。現地企業もその方針である。元は同じ国営企業だったものが分離して下請け会社になっている。中国のゼネコンは、労働力下請けという名目で地方のゼネコンに発注している（上海の現場の下請けには安徽省、江蘇省、浙江省の人が多い）。

Ｋ社は躯体工事を外注しているが、政府の建設委員会も外資系企業については許可している。WTO 加盟の影響があると想像される。外資系企業は外資 50%以上の案件しか受注できないことになっている。国内企業投資率が 50%以上の工事なら受注することが可能である。マイルストンによる出来高払いを依頼している。企業が支払不能になると営業停止処分になり、建設委員会の HP に掲載される。建設紛争処理委員会もある。

農民工には、春節の前に年1回だけ支払う。日常的にはたばこ銭程度を支払う。土工、左官は出稼ぎである。仕上げ工事は、材工型発注であり、農民工は少ない。各地方に定額積算方式がある（材料単位＋労働費率）。

人件費は65～100元（日額）であり、住居、保険料、福利厚生、派遣会社の管理費が含まれる。その内、30～70元が労働者に支払われる。日本でも30～35%は福利厚生費であろう。単価については、定額管理局がインターネットで情報を流しており、インターネットで情報を得て、その時々の単価で積算を行っている。定額管理局には、工事費のある比率を納めている。

(3)日系総合建設業T社の実態調査

元豊田紡織上海工場管理棟の復元工事現場（2008年5月24日竣工）を調査した。築88年歴史的建造物である。T社の下に、設備工事（空調、消防など）、内装工事、外構工事の下請けが工事を行っている。下請けの3社は、中国の国営企業である。内装工事は大和ハウスとの合弁企業、ハッピーハウス社が担当している。T社は2級の資格を取得している。

この現場の農民工は、上海市沖合の島にある同じ村の出身者が来ている。30～40人単位で田舎から出てくることが多い。レンガ工の賃金は、食事代、宿舎費を含み、70～100元（日額）、3000元（月額）程度である。この現場はほかの現場より、50元（日額）ほど高い支払いである。上海には最低賃金制度があるが、その単価では労働者は集まらない。現場は土日も含めて稼働している。管理者、農民工とも収入を得るため、土日も働きたがる。

40歳代以上は元国営企業の職員だったことが影響しているが、30歳代以下は技能が低い。労働力の調達は包工頭が行う。上海市内に数か所の現場を持っている。

技能訓練は社内で行っているが、若い人は自分で勉強する。T社は具体的な教育を行っていない。農民工については、福建省、四川省の労働基地で訓練する。

設計と施工の兼業はできない。設計と監理公司は別組織である。設計院の下に監理公司を持っており、設計院が監理することは認められていない。

6. 省エネ、エコ建材に関する技術移転

（1）中国の建設技術開発における重点推進項目

第11次5カ年計画期における建設技術の推進・強化を目的として、建設事業への新しい科学技術の積極的な取り込みを図るため、2006年12月28日、中国、住宅都市農村建設部は「建設分野新技術推進応用規定」と「建設部新技術推進応用管理細則」に基づき、「建設事業第11次5カ年計画　重点推進技術分野」を制定している。その中で、下記の重点推進項目が定められている。これらの項目に関して、日本の先端的な建設技術を移転するニーズは高いと言える。

建設事業第11次5カ年計画　重点推進技術分野	重点推進項目
1　建築省エネと新エネルギー開発利用技術分野	
（1）　建築外壁保護構造、保温断熱技術と新型省エネ建築体系	

（2） 熱供給暖房と空調冷房の省エネ技術
（3） 再生可能エネルギーと新エネルギーの応用技術
（4） 都市と建築グリーン照明の省エネ技術
（5） 建築省エネ設計管理、エネルギー効率測定評価と表示
（6） 既存建築の省エネ改修技術
2． 省スペースと地下空間の開発利用技術分野
3． 節水と水資源開発利用技術分野
（1） 都市給水の節水技術
（2） 生活用水の節水技術
（3） 雨水と海水の利用技術
（4） 汚水の再利用技術
4． 資材節約と材料資源の合理的な利用技術分野
（1）グリーン建材と新型建材
（2）コンクリート工事資材の節約技術
（3）鉄筋工事資材の節約技術
（4）化学建材技術
（5） 建築廃棄物と工業廃棄物の回収利用技術
5． 都市の環境フレンドリー技術分野
6． 新農村建設の先進適用技術分野
7． 新型建築構造、施工技術と施工、品質安全技術分野
（1） クリーンで新型の建築構造技術
（2） 重大工事施工技術
（3） 既存建築の強化改造技術
（4） 新型板、手すり技術
（5） 建設工事施工、品質、建築防火安全技術
8 情報化応用技術分野
9 都市公共交通技術分野

（2）中国省エネルギー関連技術

中国では全エネルギー消費量の 4 分の 1 以上を建築部門が占めると推定されている。国民の生活水準の向上により建築・住宅部門のエネルギー消費量はさらに増大すると考えられる。このような状況を踏まえ、中国国務院は 2006 年 10 月、「民用建築省エネルギー条例」を施行し、省エネルギーに取り組んでいる。その具体的な施策として、エネルギー消費量の多い技術や工法、材料、設備については資料を禁止・制限すると同時に、効率のよいものを推奨する政策を進めている。具体的に推奨されている省エネ、エコ建材としては、①新型壁体材料（非粘土非中空レンガ）、②保温・断熱材料、③リサイクル関連材料、④屋上・壁面緑化がある。

従来、夏暑く冬寒い大陸性気候の中国では、外壁に高い断熱性が要求され、在来構法の建物ではレンガを用いて、厚さ 35~45 ㎝の外壁を構成することが多かった。しかし土壌資源の節約、省エネ、固形廃棄物利用等の観点から、大量の石炭を消費する粘土非中空レンガの生

産は禁止されている。替わって軽量ブロックである型壁体材料（非粘土非中空レンガ）が用いられるようになっている。地方政府によっては、新型壁体材料専用機金を設けて、納付金を納めさせ、検査に合格した場合には還付金を支給することにより、断熱性能の高い外壁構法の普及を図っている。

中国、住宅都市農村建設部によると、中国の建築物の総延床面積は 2007 年末時点で 430 億㎡となっている。このうち全体の約 95%に相当する 408 億㎡の建築物が省エネ基準に適合していない。建設部のデータによると省エネ改修には 1 ㎡あたり 200 元が係ると試算されており、省エネ改修の市場規模は 8 兆元、日本円にすると 100 兆円を上回る規模になっている。中国には、極めて大きな既存建物の省エネ改修の市場が存在していることになる。

中国国内には約 1 万 8 千社の建材企業があるとされ（中国建築建材企業年鑑 2006）、生産が過度に分散した状況にあることを受け、政府は模造製品、不良製品の問題、不正競争の拡大などの問題に対処するため、業界の健全な発展のため、業界の集約を図る政策である。したがって、日本の中小企業は何らかの先端的技術を有しない限り中国進出は容易ではない。中国市場に参入をするには規模の大小を問わず、高い生産性（コスト削減策）や高度な環境対策技術を有していることが必要である。

7. まとめ

経済の躍進が顕著な中華人民共和国では、今後も建築･住宅生産の成長が予想されている。所得、生活水準の向上とともに、より高品質、高性能の建築物を求める機運が高まっており、日本の高い施工技術を中国の建築生産に移転するニーズは高い環境にある。北京オリンピック、上海万博を経験した中国は、建築技術の進歩も進んでいるが、建材企業は市場の拡大を背景に乱立気味であり、政府による業界再編政策も動き出している。高い生産性や高い品質を実現する技術を有する日本企業は、工業化構工法や環境・省エネ技術の移転において、中国市場に参入できる可能性は十分に存在する。複雑な法体系、申請・許可手続きなど、ビジネスを進めるうえで、中国固有の社会システムに習熟する必要はあるが、膨大な新築建設の需要、ストック改修需要を有する中国建設市場は、市場規模の縮小が避けられない日本の建築・住宅産業にとって、今後の有望な市場となりうる。工事の受注ではなく、技術コンサルティングに軸足をおいた海外でのビジネスも重要性を増すと考えられる。

引用参考文献

1. 脱請負　前田北京の挑戦(1)~(5)、日刊建設工業新聞、2008 年 9 月 25 日、26 日、29 日、30 日、10 月 2 日
2. 大成建設は海外でこんなことまでできます　建設計画の進め方[中国編]、1999 年 4 月、大成建設株式会社
3. 中国における省エネ・エコ建材市場参入可能性調査、2008 年 10 月、日本貿易振興機構上海センター

アルミニウムスクラップの効果的な国際流通と中国におけるアルミリサイクル調査

横浜国立大学
教授　梅澤　修

1．本研究の背景と目的

現在、銅やアルミニウムサッシのスクラップは中国に輸出され、国内リサイクルに回わるスクラップ量は減少しており、スクラップ利用の促進が阻害されている。中国がアルミニウムサッシスクラップを輸入できるのは日本国内相場よりも高値で購入しているからと言われている。しかし、中国が高値で買える理由と実態が明確ではない。その不明確な点を調査し、その結果の解析から中国へのスクラップ集中を緩和する手立てについて提言を行うことが重要と考える。また、中国のアルミニウムスクラップの輸入量と国内回収量を明らかにするとともに、ドロスの発生量とその処理の実態を明らかにし、日本のアルミニウムサッシスクラップやドロスのリサイクルについて将来動向を検討することは有意である。

本調査では、中国におけるアルミニウムサッシの需給とその原料調査に係わる内容（中国では建材がアルミニウム製品における主力製品）に限定し、委託調査を中心に検討した。スクラップやドロスの消費量について調査が困難であることが判明し、中国が高値で世界中からスクラップを購入可能な原因について推定が得られた。

2．調査方法

（1）委託調査

中国有色金属工業協会再生金属分会の傘下の北京中色再生金属研究所（所長　張希忠　氏）に調査を委託した。同研究所は中国の金属のリサイクルにつては、長年の蓄積情報を所持している。

（2）調査結果の検討

調査委員会を構成し、調査委託項目の検討、そして委託調査の解析結果の検討を行った。委託調査の整理および解析は島田幹事が担当した。依頼先への３回の質問による内容確認を行い、整理・解析した。その上で、調査・解析内容の検討を委員会において実施し、島田幹事を中心にして報告書にとりまとめた。

なお、アルミニウムサッシの原料構成の調査が難しいことから、需給統計データを積み上げて推定しなければならず、年度の違いがあるものの需給統計データを利用した。

3．調査報告

報告書「中国におけるアルミニウムサッシ生産量とその原料構成状況」にまとめた。中国におけるアルミニウムサッシ生産量と消費量、中国におけるアルミニウムスクラップの輸入、

アルミニウムサッシスクラップの輸入、再生アルミニウムサッシメーカーの原料構成、アルミニウムサッシ生産の主要メーカーの原料構成が不明な理由などについて取りまとめた。

中国における委託調査から、アルミニウムサッシ生産量シェア 10%以下である再生アルミニウムサッシメーカーにおけるスクラップ消費に関する情報はあるが、アルミニウムサッシ生産量シェアが 90%以上であるサッシメーカーのスクラップ消費に関する情報が皆無であることが判明した。その理由としてアルミニウムサッシメーカーの節税が挙げられ、調査目的である何故アルミニウムスクラップを中国が世間相場より高値で買える原因について一応の理解が得られた。ただし、17%増地税（消費税）が高値買いの原因と考えられ、スクラップ高値買いを阻止する具体的な政策立案は難しい。

以下に島田幹事の解析による調査報告書（委託調査資料を含む）の概要を添付し、研究報告（要約版）とする。

「中国におけるアルミニウムサッシ生産量とその原料構成状況」（要約版）

（独）物質材料研究機構　　島田正典

1．委託調査の報告概要

資料-5 の表-1[1]（表示せず）にサッシメーカーと生産量が表示されている。資料-5 の表-4（表示せず）に、再生サッシメーカーの生産量が表示され、このようなサッシメーカーはサッシメーカー全体の 10%以下とされている。原料構成はこのような再生サッシメーカーからがヒヤリングされている。この情報は、貴重な情報ではあるが、90%シェアのサッシメーカーの原料構成が解らないということは、なんとも残念である。

2．まとめ

2．1．中国のサッシ生産量と消費量

報告書に表―1 の中国アルミサッシ生産量と消費量が掲載されている。これは、中国有色金属工業年報[2]（公式統計）に掲載の型材（section）の数値を引用した。この数値には、建設以外例えば自動車などに使用される押出材全般が含まれている。

表―1　2004 年～2007 年中国のアルミサッシ生産量と消費量 単位：万トン

	生産量	輸入量	輸出量	消費量
2004年	280	7.7	22.7	265
2005年	358	8.8	37.2	329.6
2006年	484	11.17	68	427
2007年	619.8	9.5	78.4	550.9

表―2　押出材生産とサッシ生産量の推定（単位：kt）

	押出材				サッシ生産量の推定
	生産量	輸入量	輸出量	消費量	
	①	②	③	④	⑤
				①+②-③	④*（0.8～0.9）
2001 年	1,067	63	69	1,061	955
2002 年	1,759	78	103	1,734	1,561
2003 年	2,338	66	155	2,249	2,024
2004 年	2,800	77	227	2,650	2,466
2005 年	3,580	88	372	3,296	2,657
2006 年	4,840	112	680	4,270	3,416
2007 年	6,198	95	784	5,509	4,407

本調査はサッシが使用する原料の調査が主体なので、中国有色金属工業協会再生分会傘下の北京中色再生金属研究所に調査を委託した。アルミ用途別需要動向につては、英国の調査会社 CRU や安泰科の方に定評がある。今回は入手していないが、2004 年と 2005 年に別途入手したものを図―1（表示せず）に示す。2004 年は 2466kt で、上記の表 2 に示す押出材の

生産量に対しては0.88、押出材の消費量に対しては0.93に数値ダウン、2005年は2656.8ktで表2の押出材の生産量に対して0.74に、押出材の消費量に対して0.806に数値ダウン。図—1（安泰科）のデータは需給量なので、後者の消費量との比較の方が望ましい。中国有色金属工業年鑑で押出材の生産量は容易に得られる。こ値から換算してサッシ生産量を求めるには、2004年までは、90%ダウン、2005年以降は自動車などの用途が増加したとみて、80%で建設用サッシ類を推定した。その結果を表－2のサッシ生産量の推定の欄に示した。因みに、日本の押出全体に建設の占める割合は、2000年66.6%から2005年には60.9％と暫減している。

2．2．再生サッシメーカー以外の90%シェアのサッシメーカーの原料構成が不明理由

最後の委託調査先への質問として、生産シェアー90％のメーカーに対してはヒアリングを行っていない理由について問い合わせた。その回答は、

前便で連絡した通り、今回の調査はかなり当所の長年重なってきた人脈を使って、はじめて調査できたわけです。貴殿問い合わせたアプローチ（ヒヤリングの申し込み）は中国では、通用されていません。その原因は下記通り：

1、環境保全監督管理がますます厳しくなっている。

2、ドロスからアルミを回収する技術はますます重視されている。

3、消費者意識の問題で、生産者はスクラップを利用したとしても、スクラップを利用したことをPRしたくない。（詳しくは調査報告書をご参照）

4、「調査」をうけ、情報を公開したあら、企業自身に対し、何のメリットはないだけではなく、かえて節税など都合が悪くなる。

5、市場経済の発展につれて、企業でも秘密を漏らさないという意識が強くなり、リサーチ会社の調査に警戒している。

結局、大部分のサッシメーカーは原料のヒヤリングに応じてくれない。その理由が「節税などで都合が悪くなる。」という記載が重要な情報であり、これが、中国がスクラップを世界中から高値で買い上げることが根本原因である。

これが何故かという説明をすると、中国では17%という高い数値の増地税（消費税）が商品に掛けられている。これは、国内で生産された原料から中間製品、最終製品まで増地税が上乗せされて流通している。勿論輸入された原料、製品に対してもこの税金は適用される。ところで、このとき増地税のかけられていないものを購入（脱税・節税）できるとまるまる儲けとなるので、その率が大きいだけに業者にとっては魅力である。外資系の企業（台湾[上海シグマ]、日本[種々]）や国営企業は、それほどでもないが、中国現地の私企業は、節税・脱税にあくなき挑戦を行っている。中国政府は輸送伝票から生産量をチェックしたり、脱税の内部告発者には賞金を出したり、脱税者には厳しい罰則をかしたり、目立つ脱税はできない仕組みをつくっているが、この中で現地私企業は上手にすり抜けて節税・脱税を行っている。

例えば、中国で生産されたものは、原料の段階から税金がかけられており脱税は難しいが、輸入品は比較的節税・脱税が行い易い。また、地金に比較して途中から発生するスクラップやドロスは比較的節税・脱税が行い易い。従って、輸入したスクラップやドロスは節税・脱税の温床になっていると考えられ、極端なことを言うと、輸入スクラップは世間相場より、17%高く買っても損しないことになる。
このような節税・脱税を行い易い対象物であるスクラップやドロスを中国現地の私企業は、原料として使用していることを簡単には情報開示しない理由である。　ところで、中国が世間相場より高くスクラップを購入できる方法の中で、今回の増地税の節税・脱税が、可能性が最も大きいと考えられる。

２．３．90%シェアのサッシメーカーの原料構成

中国のサッシの原料構成を求めるに際して、組み立て加工スクラップ15％は中国でも優先的使用しており、これから消費される加工スクラップ量を推定した。また、国内の使用済製品の廃棄からの回収スクラップ及び輸入スクラップの消費量は、サッシのアルミ製品生産比率を図―１の用途別需要から 30%と読み取り、このシェアでスクラップを消費されるとして推定した。地金のスクラップの消費量が決まれば、ドロスは比較的容易に推定できると考える。

この推定を行うには、輸入スクラップ量と中国国内スクラップの発生量をまず正確に把握する必要がある。

２．３．１．輸入アルミスクラップのアルミ含有率の不整合

・輸入アルミスクラップのアルミ含有率

Resourceの報告書の10頁の「４．中国アルミニウムスクラップの輸入量」に2007年のアルミスクラップ輸入量（税関統計）は、209 万トンである。税関統計した際、第 6 類と第 7 類をあわせて統計しているから、実際のアルミスクラップの輸入量は税関統計データーの70～80％である。

この詳細を質問したところ、　第 6 類スクラップは（輸入通関の際）自動登録制度で取り扱っており、その商品名はそのたアルミスクラップです（アルミ含有量90％以上）。その税関番号は7602000090。　この場合の第7類スクラップの商品名はアルミをメインとして回収する廃電線など（廃蓄電池、廃電線、雑品電気を含め）ですが、その税関番号は7602000010。第7類スクラップのアルミ含有量は一応何％～何十％です（具体的な数値の記載なし）。税関は統計した場合、第6類と第7類をあわせて統計している。よって、総合的に考えてみると、実際輸入量は税関統計したデーターより少ない。

・輸入スクラップの占めるアルミサッシスクラップの割合

「３．３．アルミサッシのスクラップ（２）古スクラップ」に「中国では、輸入したアルミスクラップは鋳造アルミとアルミサッシを分けて、それぞれ統計に記載されていないので、輸入アルミスクラップの統計データーがない。当方調べて、判明したのは、中国輸入したアルミスクラップの中で、アルミサッシスクラップは30％以下である。」の記載されている。

・アルミスクラップ輸入量

以上から 2007 年の中国のサッシスクラップの輸入量は

209 万トン×0.7(ｱﾙﾐ含有率)×0.3(ｻｯｼの占める割合)=44 万トン

この中で日本からの占有率を 6 割(あるアルミ業界の権威者の推定)とすると、日本から使用済みサッシ輸出量は 26 万トンとなる。

ところで、筆者が作成した「表-2　日本の中国へのアルミニウムスクラップの輸出」の⑩行の「ミックスメタル除く」の「' 2007」の輸出量は、139,499 トンで約 14 万トンである。この値は、日本国籍のスクラップ輸出業者のヒヤリング情報も加味する大きくは、かけ離れていないと考える。ただし、金属を混入する雑品の輸出の主体者は、日本に在住する中国人の業者である。この業者には雑品中の金属含有率を 2003 年までヒヤリングが可能であって情報が得られているが、2004 年以降は、ヒヤリング拒否などで、情報が得られていない。

上記で中国の調査では日本からの使用済みサッシ輸出量は 26 万トンに対して、筆者の推定では 14 万トンで 10 万トン以上の違いがある。この違いの原因は、resource の報告書の「4. 中国アルミニウムスクラップの輸入量」に記載の「実際のアルミスクラップの輸入量は税関統計データーの 70～80％である。」に誤りがあり、55～65％と低い可能性がある。7 類には廃電線などと記載されているが、廃電線のアルミ含有量が小さいのは被覆プラスチックが付着したまま輸出されているからと考えられる。日本ではアルミ電線は送電線で使用されるくらいで、日常的に頻繁には見受けるものではないが、9 年ほど前に、米国の西海岸のスクラップ業者を訪問する機会があり、その時にスクラップヤードに被覆アルミ電線が多量に積み上げられているのに驚いた経験がある。なお、日本の輸出統計にはないが、輸入統計には、税関番号は 7602000090 と税関番号は 7602000010 が存在する。中国の輸入統計に、税関番号は 7602000090 と税関番号は 7602000010 が存在するか否か再度チェックする必要がある。チェックした結果、税関番号は存在するが、中国では実際にはデータをとっていなく、resource のアルミ含有率の推定を誤っている可能性がある。アルミニウムサッシの原料構成を調査するにあたり、節税・脱税のため中国のサッシメーカーからヒヤリングにより、特にスクラップ消費量を聞き出すことは困難であることが判明した。残された方法は統計データから導き出す以外にない。スクラップ消費量を把握するには、輸入スクラップのアルミ含有量を把握することがポイントである。通常輸入スクラップのアルミ含有量は 100%と考えられるが、実際はかなり含有量が低い。過去の需給統計データから、アルミ製品原料投入とアルミ製品の生産量（需要量で置き換え）のバランスから輸入スクラップのアルミ含有量を見つけ出す必要があり、それを試みた。

２．３．２．国内スクラップ発生量

北京中色再生金属研究所から有償で過去に筆者が入手していた文献[6]から引用。2001 年と 2002 年は共に、700～800kt もこの調査依頼時に入手。

表—3　中国アルミスクラップの発生量（単位：千トン）[6)]

			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
使用済み設備（古いスクラップ）	①				320	460	430	558	680
梱包スクラップ（古いスクラップ）	②				180	180	200	220	240
その年で発生した新スクラップ	③				323	370	420	480	540
総量		①+②+③	750	750	823	1010	1050	1258	1460
新スクラップを除いた計		①+②	775	725	500	640	630	778	920

注）このデータは筆者が過去に調査依頼し、有償で購入したものである。2007年のスクラップ発生量を予測してみた。

②行、③行の値はある程度比例的に増加している。2005年から2006年の増加率と同じ増加率で2006年から2007年も増加したとして推定する。

①行は、必ずしも、比例的でない。設備関係では、中国では建物の除却統計はない。新築の竣工状況で判断するしか方法がない。

表-5で、建物の竣工面積のデータを見ると、上表の①行の数値が減少した2005年に対応する2004年から2005年。2004年は25000万平方メートル増は、12000万平方メートルに減少。2005年から2006年は、20000万平方メートルの増加。

2006年から2007年は24000万平方メートルと増加。従って、2006年から2007年のスクラップ発生量は2006年より若干多めが見込まれる。

表-4　中国アルミスクラップの発生量の修正（単位：千トン）[5)]

			2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
使用済み設備（古いスクラップ）	①				320	460	430	558	680
梱包スクラップ（古いスクラップ）	②				180	180	200	220	240
その年で発生した新スクラップ	③				323	370	420	480	540
総量	④	①+②+③			823	1010	1050	1258	1460
j 実際	⑤	④*0.85			700	859	893	1,069	1,241
	⑥	④-③			500	640	630	778	920
	⑦	(⑤-③) /⑥			0.75	0.76	0.75	0.76	0.76
新スクラップを除いた真の計	⑧	(①+②) *⑦			376.6	488.5	472.5	589.3	701.0

注）③は一定で、①+②+③が⑤の値にするには、①+②に対して0.85ではなく⑦の行の数値を掛けた。

これは、原料供給と需要のバランスから国内発生スクラップに輸入スクラップから解体したものが含まれるとして減少させたものである。

2001年と2002年のスクラップ発生量は、700～800ktで、スクラップの種別が明確でなく、古いスクラップに対する係数は決定できなかった。

２．３．３、総需要

2004年と2005年の総需要を示す。これは筆者が過去に安泰科から有償でしたものである。2001年～2003年は種々資料から個々の種別データを積み上げて以下のように中国のアルミ総需要を推定した。

表-５　中国アルミ総需要（需要のデータのないものは、生産量で代用）[kt]

項目　＼年				2001	2002	2003
アルミ板				970	1030	1120
アルミ箔				280	325	380
アルミ押出材				1300	1750	1850
ダイカスト・鋳造				982	1065	1500
電力ケーブル				907	1379	1009
計				4439	5549	5859

２．３．４．輸入スクラップのアルミ含有率の把握

・輸入スクラップのアルミ含有率の把握方法

ａ→需給統計の枠を超えて増減した地金消費量（kt）

X→輸入ｱﾙﾐｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ量（kt）

Y→ﾄﾞﾛｽ発生量（kt）

ﾄﾞﾛｽ発生率：地金（塊状）2%、ｽｸﾗｯﾌﾟ6%

ﾄﾞﾛｽ発生量：材料の溶解は形かえて2回行われるとした。即ちドロス発生量の対象は、出発原料の2倍とした

ﾄﾞﾛｽからのｱﾙﾐ金属回収率：ﾄﾞﾛｽｱﾙﾐ含有量（50%）×ﾄﾞﾛｽからのｱﾙﾐ回収率（70%）

＝35%

内容的には

Y＝｛（地金消費量＋ａ）＊地金溶解ﾄﾞﾛｽ発生率＋（輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ量+国内発生ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ量）*ｽｸﾗｯﾌﾟ溶解ﾄﾞﾛｽ発生率｝×2・・・①

（地金消費量＋ａ）*地金溶解歩留＋（輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ量＋国内発生ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ量)*ｽｸﾗｯﾌﾟ溶解歩留＋ﾄﾞﾛｽ発生量＊ﾄﾞﾛｽからのｱﾙﾐ回収率＝ｱﾙﾐの総需要・・・②

結局、中国の①はアルミ材料を溶解したときの材料毎のドロス発生量を換算した式である。②は左側がアルミ材料供給量で、右側がアルミ需要量で式である。

2005年の場合の7119の地金消費量、900の国内スクラップ発生量、8859の総需要量の3つ未知数を代入することにより輸入スクラップのアルミ含有量を推定できる。この未知数の内、地金消費量はWBMSなどから容易に得られるが、国内スクラップ発生量（表―５参照）と

総需要（表-11 の⑤）は専門調査機関が調査した値を入手して挿入した。例えば、2005 年の場合、

$$Y=[(7119+a)\times 0.02+(X+900)\times 0.06]\times 2 \cdots\cdots ①$$

$$(7119+a)\times 0.98+(X+900)\times 0.94+Y\times 0.35=8856 \cdots\cdots ②$$

（イ）2001 年

2001 年は需給統計の枠内の地金消費なので　「a＝0」　である。地金消費量は 3492kt、国内ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量 775kt、総需要量 4439kt。

①、②式に代入して、

X＝210．857

この X の値から輸入スクラップのアルミ含有率を計算すると、

輸入ｽｸﾗｯﾌﾟアルミ含有率＝輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ量/輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｸﾞﾛｽ量＝210.857/367.862

＝0.57→57%

（ロ）2005 年

2005 年は需給統計の枠内の地金消費なので　「a＝0」である。地金消費量は、7119kt、国内ｽｸﾗｯﾌﾟ発生消費量 700kt、総需要量 8856kt。

①、②式に代入して

X＝912.336

この X の値から輸入スクラップのアルミ含有率を計算すると、

輸入ｽｸﾗｯﾌﾟアルミ含有率＝輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ量/輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｸﾞﾛｽ量＝912.336/1687

＝0.54→54%

２．３．５．需要統計の枠を超えて、地金消費の増減

（イ）2002 年

2002 年は需要統計の枠を超えて、地金消費の増減があったので、「a」のﾊﾟﾗﾒｰﾀｰが必要となり、輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ含有率は 55%とした。地金消費量は、4115kt、国内ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量 725kt、総需要量 5549kt を①、②式に代入して

a＝493.712

地金材料不足

（ロ）2003 年

2003 年は需要統計の枠を超えて、地金消費の増減があったので、「a」のﾊﾟﾗﾒｰﾀｰが必要となり、輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ含有率は 55%とした。地金消費量は 5194kt、国内ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量、総需要量 5859kt を①、②に代入して、

a＝-315.835

材料供給オーバー

（ハ）2004 年

2003 年は需要統計の枠を超えて、地金消費の増減があったので、「a」のﾊﾟﾗﾒｰﾀｰが必要となり、輸入ｽｸﾗｯﾌﾟｱﾙﾐ含有率は 55%とした。地金消費量は、6043kt、国内ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量、860kt、総需要量 8495kt を①、②式に代入して、

a＝1050.923

材料供給不足

２．３．６．サッシの原料構成

前提条件の第一は、サッシのスクラップ消費量は、輸入スクラップや国内発生スクラップのトータルに対して、用途別需要のサッシのシェア（約 30%）に比例するとした。ただし、加工スクラップ（新スクラップ）発生量は、通常サッシ生産量の 15%あり、この比率で、サッシの加工スクラップは消費されたとし、再生分会の調査した新スクラップ分は算入から除外した。サッシ材料の 50%以上をスクラップに依存するサッシ生産が 1 割ほどあるが、このスクラップ消費量では考慮しなかった。ドロス発生量は、地金（塊状）2%、スクラップは 6%で約 2 回溶解すると、ドロスからのアルミ回収量を 35%として計算した。

表 6 の⑬行がサッシのスクラップ消費量、⑭行がドロス消費量で、サッシでの地金の消費量は、⑫行の値から⑬行と⑭行の合計値を除算した値で、⑮行に示した。

表-6　中国国内スクラップ発生量（kt）とサッシの材料構成

年				2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
				700～800	700～800					
中国国内	再生分会	①		750	750	823	1010	1050	1258	
ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量	実際	②		775	725	670	860	900		
	比率	③	②/①	0.103	0.97	0.85	0.85	0.85		
地金消費量		④		3492	4115	5194	6043	7119	8648	12347
総需要		⑤		4439	5549	5859	8495	8856		
統計枠外の地金消費		⑥		0	-493.7	315.8	-1050.9			
輸入スクラップ量	グロス	⑦		368	447	654	1200	1687	1766	2091
	アルミ量	⑧		210	246	360	660	911	971	1,150
輸入スクラップ含有率		⑨		57%	55%	55%	55%	54%	55%	55%
新スクラップを除くスクラップ量		⑩				377	489	473	589.3	701
押出材生産量		⑪		1061	1734	2249	2,650	3,296	4270	5,509
サッシ生産量(一部推定含む)		⑫	⑪*0.8～0.9	955	1,561	2,024	2,466	2,657	3,416	4,407
サッシのスクラップ消費量推定		⑬	(⑧+⑨) *0.3+⑫*0.15				714	814	981	1,216
サッシのドロス消費量推定		⑭	((⑫-⑬)*0.2+⑬ *0.6)*2*0.35				545	600	753	958
サッシの地金消費量推定		⑮	⑫-⑬-⑭				1207	1243	1682	2233

3．問題点と今後の課題

3．1．調査機関の調査したサッシの生産量は、実際よりも低く報告されていること

安泰科は、元々、中国の国の調査機関であったが、1999年の機構改革で、民間調査機関になっている。現在の国の調査機関は、中国有色金属工業協会であるが、ここの調査結果はあまり正確でない（特に、鋳造・ダイカストの生産データが抜けている）。安泰科は主に、ヒヤリングで情報を集めていると考えられる。

上記表を参照して、中国の2005年のアルミ需要は、日本の需要の約2倍である。中国のアルミの需要は最近著しく伸びている。スクラップの回収量は、使用済み設備・機器から排出されたものであるから、過去の蓄積がなければ少ない可能性がある。しかし、加工スクラップは、加工の蓄積には関係なく現在の生産量に比例して排出される。

中国の需要は日本の2倍なのに、加工スクラップ量は日本より少ない。少なくとも、現在の加工スクラップの2倍の発生がなければならない。北京中色再生金属研究所などがメーカーにヒヤリングした際、メーカーが実際のスクラップ消費量よりも少なく回答してきたためと考えられる。
即ち、安泰科などがアルミ製品生産量をヒヤリングする際に回答者がスクラップの消費分のある部分が削除して報告するため、集計された生産量が低めになる可能性がある。

このように低めなる要因として、圧延・押出工程と機械加工工程が、同一企業が行い、リターンスクラップとして、外部に報告されないケースがことあるも考えられる。工程毎に企業分離してケースと同一企業のケースが比率がどうような状況であるかは今後調査課題である。

ところで、アルミの加工スクラップ発生量の日本と中国比較を考えているときに、節税した原料から製造した製品を生産量に繰り入れると、その分の原料に何を当てるかが問題となり、大変面倒なことになることに気がついた。結局、その分を差し引いて生産量を低く申告した方が無難だからである。

機械加工処理を外部で行わず内部で加工することは、原料を確保する上では有利である。増地税の高い中国では日本で普及している機械加工の企業分割化を抑制する傾向があるのかもしれない。もし、そうだとする加工スクラップは、節税対象として小さく、節税対象としては、輸入スクラップがやはり大きいと考えるのが順当であろう。

3．2．輸入スクラップのアルミ含有量は70～80％で問題ないという可能性

従って、中国のアルミ製品の生産量は、現在報告されているものより、少なくとも、1割弱ほどの生産量が大きいという可能性は十分に考えられる。その割合がどの程度であるかは、勿論、今後の検討課題である。

今回の知見は、また、別問題を投げかける。即ち、北京中色再生金属研究所の主張する輸入スクラップのアルミ含有量70～80%に疑問を投げかけ、材料の供給と需給のバランスから、アルミ含有量として55％を導きだした。しかし、サッシの生産量が、5%～10%アップすると、輸入スクラップのアルミ含有量は70～80％でも問題がなくなるのである。筆者の推定した2．3．に記載の日本からのアルミサッシの中国への14万トン（表-2）が、26万トンに一致しない原因が、北京中色再生金属研究所の予測する輸入スクラップの中でサッシスクラップが占める割合の30%を低く変更する必要があるのか、中国の輸入サッシスクラップに占める日本の割合の60%（日本の権威者の予測）を低く変更しなければならないのか。また、ほかに原因も含めて検討が必要になってきた。

表-7　日本と中国のアルミ需要量とスクラップ消費量の比（単位：t）

1）日本の2005年度アルミ需要 （経産省の生産統計から筆者推定）		1）中国の2005年のアルミ需要（安泰科）[3]	
圧延	2,350,307		
鋳造	530,041		
ダイカスト	1,333,201		
その他	279,142		
計	4,492,691	計	8,856,000
（出荷ベース）			
2-1）日本の2005年度ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量 マテリアルフローから推定（筆者作成）		2-1）中国の2005年ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量 （北京中色再生金属研究所）[6]	
スクラップ発生量	1,995,601	加工スクラップ	420,000
国内スクラップ消費量	1,807,230	回収スクラップ	630,000
		計	1,050,000
2-2）日本の2005年度スクラップ発生量 ｱﾙﾐ生産統計からのｱﾙﾐ協会の換算表で ｽｸﾗｯﾌﾟ発生量推定（筆者作成）		2-2）上記の修正（需給バランスから）	
加工スクラップ	542,503	加工スクラップ	420,000
回収スクラップ	1,096,065	回収スクラップ	473,000
計	1,638,568	計	890,000
（マテリアルフローなみにアップが必要）			

建築学習システムと体験型学習教材の活用による建築教育の実践研究

明治大学理工学部
専任教授　澤田誠二
専任教授　酒井孝司
専任准教授　小山明男
専任准教授　大河内学
専任准教授　小林正人

1．研究の背景と目的

近年，大学等の教育現場における様々な学習・教育の場面において，魅力ある教材の作成や効果的な教育システムの開発が求められている。建築教育も決して例外ではなく，多様な教育機関において特色ある建築教育の実践に力が注がれている。しかしながら，これらの多くが，細分化した建築の一分野のみを対象としたものであり，また，その実践者と少数の関係者の間でしか認知，共有されていない場合がほとんどである。これらの取り組みは，我が国における建築教育全般の向上には，必ずしも寄与していない。

一方，建築教育現場の現状を見ると，20 世紀後半から様々な建築技術・材料が急速に導入されたために，講義による各要素の情報伝達にとどまることが多く，建物に統合するノウハウまで習得させる例は極めて希となっている。そのため，建築を学習した者が，今急速に変わりつつある建築産業界の実務に適応できず，地球環境問題を考慮した建物のつくり方の進展に追従できていないなどの問題を生じている。建築教育は早急な改革を必要としている。

本研究課題は，これらの諸問題を解決すべく，e-ラーニングを用いた建築学習システムと体験型学習教材の開発による建築教育システムの構築を目的とするものである。特に“建築構法”を中心とした建築教育システムを構築するところに本研究の特色がある。

本研究は，以下の 4 つのサブテーマを主軸として，さらにそれぞれの研究成果を有機的に結合して総合的な研究成果を達成しようとしたものである。

①建築構法学習システム（e-ラーニングシステム「構法百科」）の開発
②建築環境体験教材（環体）の開発
③建材性能学習教材（材料劣化データベース）の開発
④建築構造学習教材（構造模型教材）の開発

本報告は，これらの研究計画を設定して開始した研究についての最終報告である。研究の申請時から今までの間に，“建築活動を取巻く環境”については“地球環境問題”がさらに重視されるようになり，“低成長経済化の建築産業”の姿もより鮮明になった。また同時に“ IT 社会化”がさらに進展したという状況の変化がある。こうした状況の変化に対応するため，本研究の目的に関して，次の修正を行った。

①本研究で扱う教材システムが，より直接的に学習効果の向上につながるようにすること
②同時に体験学習の側面がより鮮明化・強化できるようにすること

2．建築学習システム（e-ラーニング）の開発

建築は非常に大きな「モノづくり」である。現代の建築教育の現場において「モノづくり」を重視するのであれば，本来学生は体系的に建築を組み立てている要素の連関や機能分担に関して学ぶ必要がある。しかし，先鋭的な教育をしている場合には，ともすればデザイン偏重に陥りがちであり，そうでなければ旧態依然とした構造学，設備（環境工）学，材料学，計画学，歴史学を設計演習が統合するという状況が一般的には見受けられる。特にデザイン面に関しては，時代の移り変わり（流行と言っても良い）に対応するため，「モノづくり」のための知識が軽視される傾向が強いと言っても過言ではない。

そこで，建築の初学者にも使いやすく，建築を構成するデザイン・構造・環境（設備）といった各要素から建築事例に至る，あるいは一つの建築事例からそれを構成する各要素の組み立ての原理に至る様な知識を習得するための，インタラクティブ建築構法学習の e-ラーニングが望まれていた。そのためこの e-ラーニングシステムの研究開発に着手し，諸大学の建築構法教育関係者の参加する「構法教育研究フォーラム」を組織し，試行授業による教育効果の検証と現行の建築構法科目シラバスとの照合を薦めている。

システムはインターネット経由によるユビキタス学習のためのものとし，建築の初学者にも使い易くデザインした。なお現在のシステムは「構法百科」と呼んでいる。

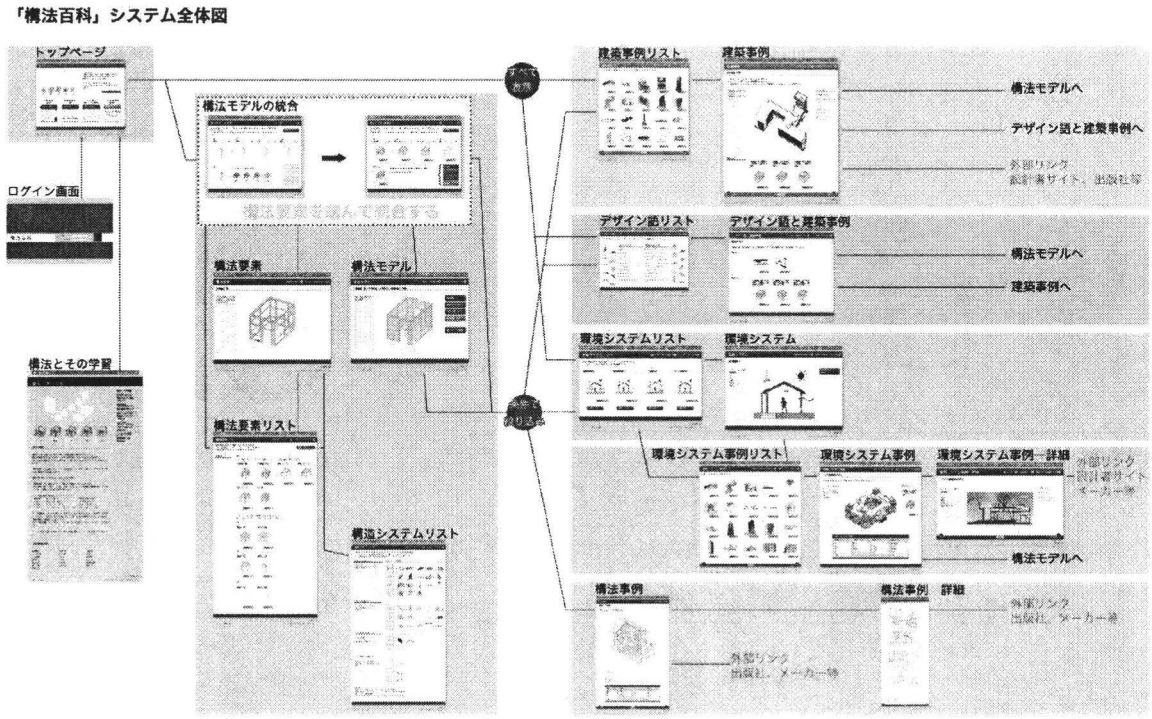


図 2-1　建築構法学習支援システムの概要

1）システムの構成概要（図 2-1）

本システムは画像群（構造モデルや建築事例の画像）とテキスト（説明文やデザイン語等）などで構成される各種画面からなる。学習者は，これらを巡り歩くことによって建築構法の

体系的知識を習得する。各画像の表示形式は統一され，建築を構成する「モノ」（構成要素）はその種類に応じた色で表現される。画像群には「著名な建築の外観図」や「部分図」があり，あるいは関連サイトにリンクが張られていて，学習者はそれらの関係を見つつ，建築構法の原理を習得する。

２）構法のモデル化（図 2-2）

建築構法の体系的理解の基になるのは，建築が一般的に「構造」，「外周（屋根・外壁）」，「内周（床・壁・天井）」と「設備」の４つのシステムで構成されるという考え方である。これら各部分は様々な機能を分担し，その集合が建築を構成する。

－構造システム：建築の安全性を分担
－外周システム：建築を自然環境から保護
－内周システム：建築環境を使い易く快適化
－設備システム：衛生・調理と環境制御を支援

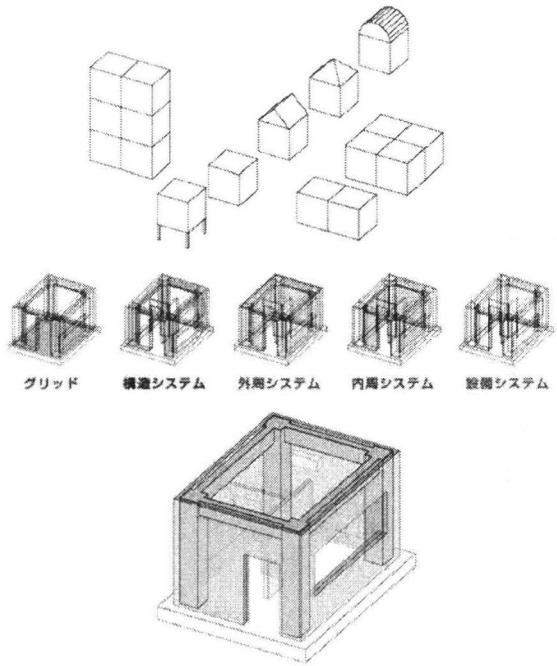


図 2-2　４つのシステムと構法モデル

３）システムにおける学習プロセス

画面はトップページから本システムについての解説ページに移る。学習者は，そこで以下の４つのテーマを選択することが出来る。

［テーマ１］構法モデルの統合：「構造」・「外周」・「内周」・「設備」について，各モデルを選択

［テーマ２］環境システムリスト：「自然環境順応」，「自然環境対抗」，「ローテク環境共生」，「ハイテク環境共生」から選択

［テーマ３］デザイン語リスト：「建物全体をイメージする語」と「建物の表情をイメージする語」を選択

［テーマ４］建築事例リスト：古今東西の建築 200 事例の中から選択

学習者は，自分のイメージする建築を「建築事例リスト」や「デザイン語」から選択することが多いかもしれない。これらの画像とテキストとは対応する「構法モデル」にリンクされ，そこに進む過程で学習者はイメージする建築の「構法モデル」を理解することができる。一方で，建築をモノの集積と考え，そこから出発して建築の全体像に至ることもできる。ただし，構造，外周，内周，設備システムを組合せた構法モデルには，一般的には存在しないものがあるので，学習者にそのことを課程の中で知らせるようになっている。こうした抽象化された建築構法の周辺には，木造・鉄骨造・コンクリート造などの建築の図が配置され，学習者は以上の画像・テキスト群を巡ることによって建築構法の原理を学ぶ。

４）まとめと今後の課題

経験知の集成である建築構法の体系はほぼ無限の多様性を有し，また日々変化している。初学者が建築「モノづくり」の根幹に関わるこのような膨大な知識を体系的に習得するには，

数多くの事例に触れ，それぞれの成り立ちを理解することにより自ら体系を構築してゆくことが最も効果的である。そのような意図で開発されたのが本業績，インタラクティブな建築構法学習 e-ラーニングシステム「構法百科」であり，その最大の特長は，建築を組み立てている要素の連関や機能分担の体系的理解を助けるために，①建築を構成するデザイン・構造・環境（設備）といった各要素から建築事例に至るルートおよび②一つの建築事例からそれを構成する各要素の組み立ての原理に至るルートという双方向の検索が可能なように工夫されているところにある。2008 年には建築構法教育を担当する大学教員による「構法教育研究フォーラム」を組織し，試行授業による教育効果の検証とシステムの改良を行い，さらに建築構法科目シラバスとの整合を実現するなど，本システムはすでに実用段階に達している。

本システムの開発は，e-ラーニングという新しい教育メディアの可能性を最大限に活用して建築構法の膨大な知識をわかりやすい視覚情報・テキスト情報の体系として提供し，また双方向的な学習を可能にしたという点できわめて重要な意味を持つ先導的な研究として一定の成果をあげた。また，「構法教育研究フォーラム」を組織したユニークな研究方式により，それぞれ特色のある教育プログラムを持つ複数大学における本システムの運用により，いずれにおいても学生の評価は高く，本システムの実用性と汎用性は十分に検証された。さらに，コンテンツの追加変更の自由度，および新たな参加者へ開かれたシステム運用が保証されていることから，本システムは建築構法教育のオープン・プラットフォームとしていっそう大きく育ってゆく可能性を秘めている。

3．建築環境体験教材（環体）の開発

「建築環境工学」は，従来「建築計画原論」と呼ばれ，その名の通り，建築計画の根幹を成す体系として，渡辺らにより端緒が開かれた。以降，気候風土や自然現象の物理的把握を基礎とし，「建築設備」とともに，建物内外の快適性を担保することを目的として発展してきた。それに伴い，取り扱う範囲の拡大，現象を表現する理論の高度化が進み，建築初学者にとって難解な分野との印象を持たれることが多い。しかし，「建築環境工学」の基礎は，暑さ・寒さ等を感じる人間の五感であり，如何に不快な環境を制御するか，に帰結する。従って，環境分野の教育では，この基礎に立ち返り，実現象に対する体験から，学生の興味を引き出し，意識向上を図る必要があり，新教育システムとして体験型学習が必須と考えられる。そこで，本研究では，実際の現象を体験可能な教育体系の構築を最終目標とし，その端緒として，建築初学者を対象とした環境体験型学習教材の開発と体験学習の効果検証を行う。

1）環境境体験装置の開発

2007 年度の問題点を参考に，2008 年度に再度，環境体験装置の設計と製作を行った。装置作成の開発に際し，2007 年度同様，装置の運搬・組立ては 2～3 名で対応可能となることや，装置内での環境体験は 1 回に 2 名程度で出来ること，製作費を 20 万円程度として 5 年程度で更新可能なこと，運搬用コンテナを作成することを与条件とした。また，これらの要求を満たすため，装置の形態は約 2m 立方の箱，重量は 20kg 程度とする制約を設けた。

2008 年度末に完成した体験装置の概略を図 3-4 に示す。装置は 1.9m 立方で，フレームと各種壁パネルで構成される。フレームはアルミ製とし，軽量化を図っている。大きな改良点

として，パネルの組合せにより，体験要素を変更できるようにした。なお，装置には，図示の他，壁・天井に取付ける吸音パネル，庇・よしず部品や，風温計等の環境計測器が含まれる。総重量は 50kg となったため，3 個の運搬コンテナに分割格納することとした。装置の組立て状況を図 3-5 に示す。部材接合にはボルトを用い，レンチのみで組立て可能である。組立て時間は，熟練者 3 名で 10 分程度となった。

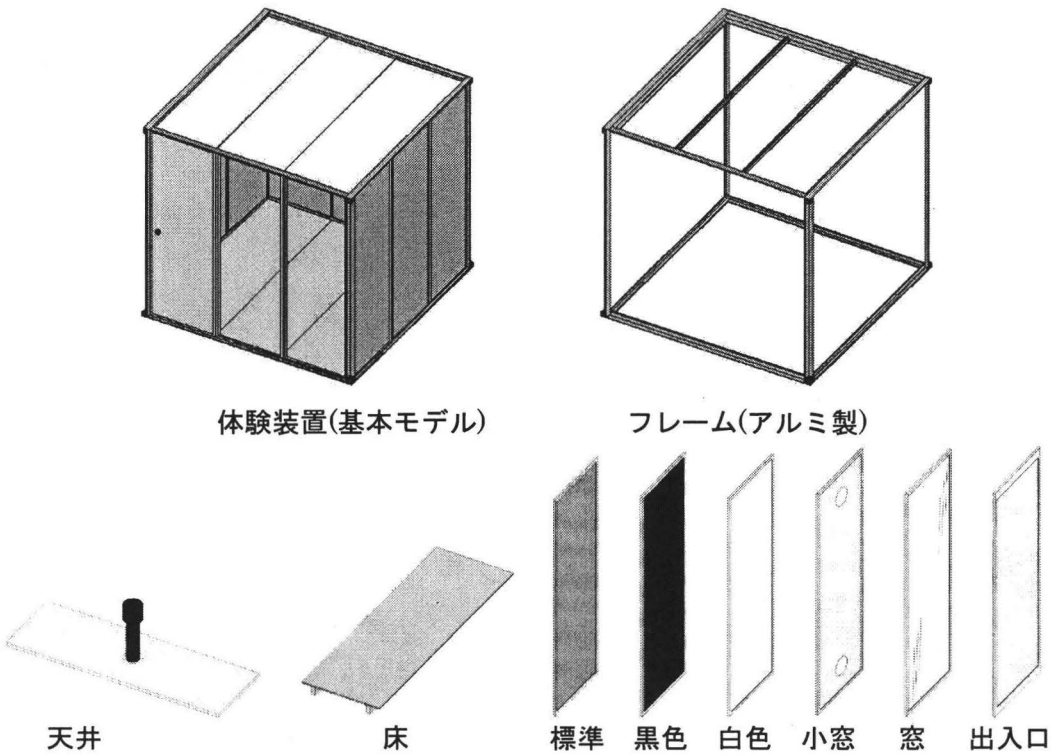


図 3-4　環境体験装置の概略

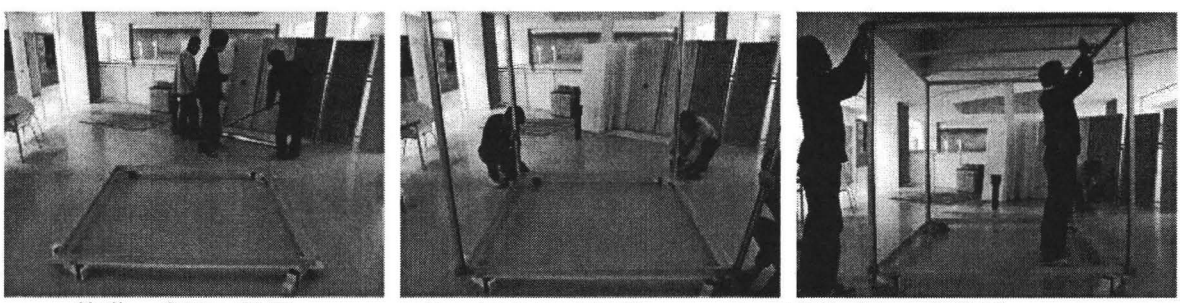
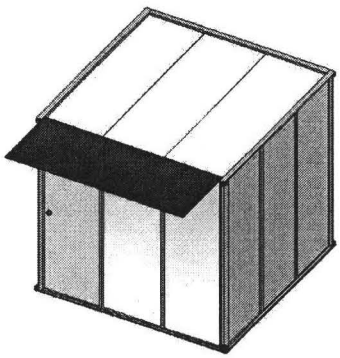
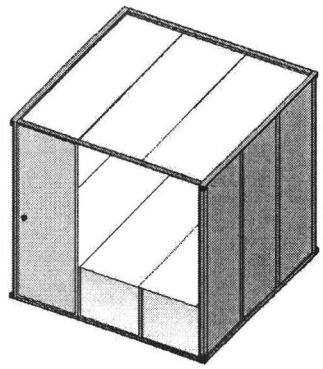


図 3-5　体験装置の組み立て状況



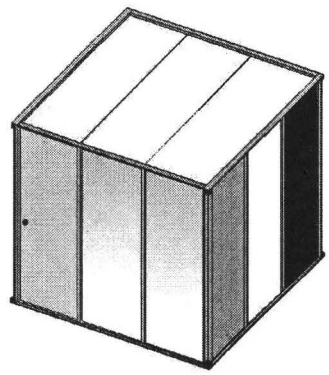
測定器：日射計，照度計，温度計
体験項目：
・日よけ効果
・内外温度差との関係
・設置方位依存性

庇モデル



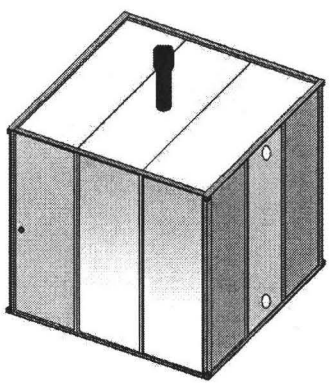
測定器：日射計，照度計，温度計
体験項目：
・日よけ効果
・内外温度差との関係

すだれモデル



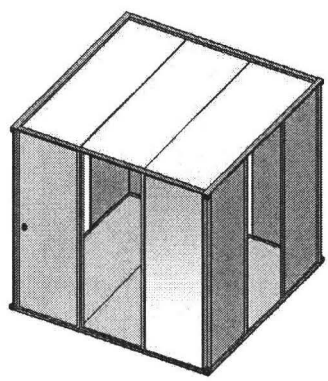
測定器：サーモカメラ
体験項目：
・壁の色と温度の関係
・日射反射・吸収効果
・熱放射

日射反射吸収モデル



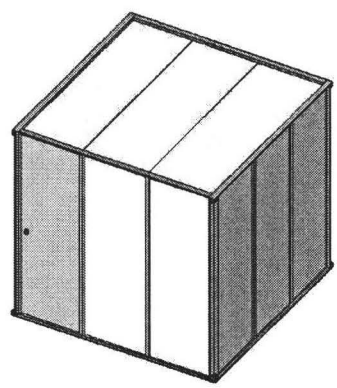
測定器：風速計，吹き流し
体験項目：
・微風の発生
・微風の経路
・内外温度差との関係

温度差換気モデル



測定器：風速計，吹き流し
体験項目：
・風の通り道(通風輪道)
・外部風との関係

通風モデル



測定器：騒音計，音源，温度計
体験項目：
・吸音と遮音
・断熱性

吸音・断熱モデル

図 3-6　環境体験モデル

また，パネルの組み合わせモデルと体験項目を図 3-6 に示す。体験モデルは，基本モデルを加え 7 モデルとした。体験実験では，基本モデルで体感後，各モデルへ変更して変化を体感することを想定している。庇モデルは，窓面上部に，暗色のビニル板を設置したものである。すだれモデルは，市販の簾を窓面に吊り下げる。庇，すだれモデルは，相互比較も可能である。日射反射吸収モデルは，白色・黒色の日射反射率の相違が，表面温度の差となる現象を，壁パネルを交換することで体験できる。温度差換気モデルは，外気温と室温の差による煙突効果を期待したモデルで，屋根面中央に開閉可能な煙突と，側面に穴空きパネルを設置する。通風モデルは，各壁面の中央パネルを取り外したものである。吸音・断熱モデルでは，壁パネルにプラスチック繊維パネル(25mm)を付加することとした。吸音・断熱体験のみ

が屋内で体験可能となっている。

2）まとめ

体験装置の試作では，実大スケールの模型を作成したことで，より建築への興味を深めたとの感想が多くみられた。学生のものづくりに対する要求は高いものと類推された。体験装置としては，完成品を提供するより，自作させるほうが，より高い教育効果が得られることがわかった。費用等の問題もあるため，今後検討が必要である。

試作から得た問題点を基に，装置を再設計して新環境体験装置を作成した。装置について見学会を開催し，アンケートを行った結果，概ね好意的な評価が得られた。

自由記述から，学生の体験に対する要求は高いことが確認できた。また，実際の建物で体感したほうがよいと思われる項目についても，体感したいとの希望がみられた。この装置を用いることで，実際の建物での体感を喚起できる可能性があることが示唆された。また，講義中での体感も望まれていることがわかった。

体験したい環境についてのアンケートでは，ライトシェルフ，残響，対流，蓄熱等の体感する機会が少ない項目が抽出された。今後，体験モデルを追加したい。

以上の結果から，実際の授業への導入が可能と判断された。今後は，1 年次の環境系導入科目等において，体験学習を実施する予定である。また，実施結果から問題点を抽出し，本教材の更なる改良を行いたい。

4．建材性能学習教材（材料劣化データベース）の開発

21 世紀の国際的な合意指標となっている「持続的発展可能な経済社会」の構築のために，建築分野全体においては建築物の長寿命化・高耐用化を目標に掲げている。そのためには，建築物を使う人をはじめとする様々な人々に対して「スクラップアンドビルドからの脱却」という 21 世紀型建築に向けての意識改革が必要不可欠になってくる。建築物を造る側が上述の意図を込めた建築生産を行うことにより，一般の人々にもサステナブル建築の重要性を説くことができるので，とりわけ建築生産者側の人材育成が急務となってくる。

そこで，建築学を本格的に学び始める場である大学を初めとする様々な教育機関では先に示すような今後の建築に対する意識改革を促すために，学生にはサステナブルに関する教育が必要になってくる。その目標に向けて，建築材料学の立場からは長寿命化・高耐用化に関わりの深い知識の習得を学生に求めていくことになる。一方，学生の基礎的知識の低下や複合的に捉える力の低下が深刻との指摘もあり，教育分野では基礎的知識の向上・総合力の育成に取り組む必要が出てきている。それゆえに，長寿命型に要する諸知識を理解させるための教育方法を今後模索していくことが建築の分野で重要なものになっていくと考えられる。

このような背景から，大学 2･3 年次という大学生レベルの中でも最も中級である学年を本研究の対象者にして，その学生たちが建築物の長寿命化・高耐用化に関わる建築材料の知識を効果的に習得するための教材開発およびその教材を効率的に扱うための活用方法についての研究を行う。

1）劣化データベースの開発

建築物は用途によって，建築物全体としての要求性能が各々異なる。そこで本研究では，

以下の 8 カテゴリーの代表的な用途を扱うこととした。

①学校・②住宅・③店舗・④オフィスビル・⑤病院・⑥工場・⑦官公庁・⑧その他

本研究では建築物の部位を建物全体・構造部分・仕上げ部分の 3 種類に大きく分ける。また，本研究において仕上げ部分とは仕上げ材料が施される部位と定義する。対象とする学生に建築物のイメージを簡単に捉えさせるために本研究では仕上げ部位を学生がイメージしやすい屋根・外壁・床・内壁・天井・開口部・接合部の 7 種類に大別する。

学生に理解を促すためには学生の印象に残るようなものが有効であると考えられる。そこで，本研究では視覚的に印象が残りやすいであろう実際の建築物の劣化写真を扱う。その際に図 4-4 のように全体写真と劣化箇所を拡大したものを示す。全体写真を示すことで，劣化部位の特定をするきっかけになり，拡大写真を示すことで，汚れ・破損等の劣化の視覚的な特徴を捉える観察力の養成に役立つと考えられる。

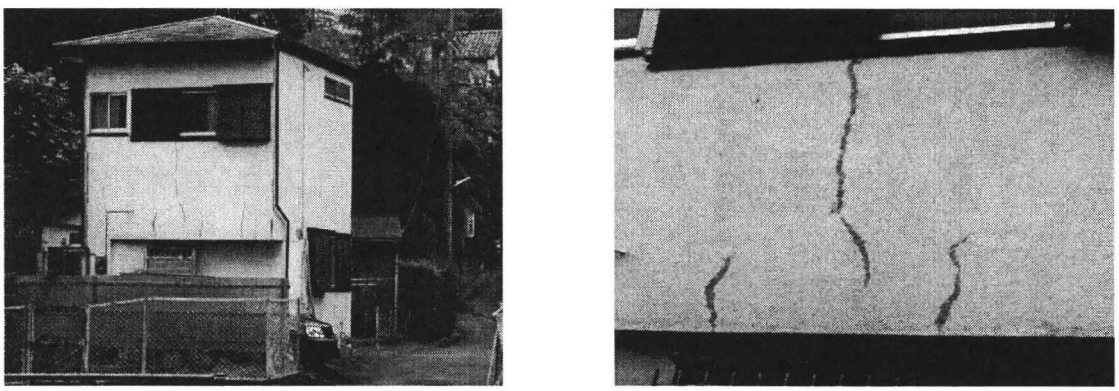


図 4-4　砂壁状モルタルの劣化（ひび割れ）・劣化箇所の拡大写真

建築物の各々の部位に要求される種々の要求性能について学生は簡略的(長・短所程度)で良いので種々の材料特性を把握する必要がある。その特性を把握せずには適切な材料設計を行うことができないため設計・材料選定段階での劣化の対策のためには材料の特性を把握することは不可欠である。

そこで本研究で目指すデータベース・システムの対象者が大学生であることを考慮して，材料の特性をおおまかに 4 段階で評価したものを提示する。

2）活用法の概要

本研究で目指す教材はインターネット上で配信する教材（e-Learning 用教材）である。そこで，学生が本システムを活用するに至って複雑な操作を最小限に抑えるために，本システムではクリックするだけの極めて簡単な操作にする。また，掲載項目も本学で設置されている建築材料の講義に沿ったものにしていく。講義に沿ったものにすることで，講義の履修者は毎回の講義の復習にもなり，未履修者も履修者同様の内容を学ぶこともできるので活用する動機付けになると考えられる。学生の基本的な使用手順の一例を示す。

①本システムにアクセスする

②科目を選択する（構造材料の劣化と仕上げ材料の劣化の選択をする）

③材料名を選択する。④劣化の種類を選択する。⑤事例の写真を選択する。

⑥劣化の原因と対策を学ぶ。⑦劣化シートを閲覧する。

3）まとめ

建築材料の劣化現象を理解させるための支援ツールとし，建築材料の知識習得のために効果的な活用方法の模索を今後も継続して行っていく。今後の課題は，以下のとおりである。

①講義との関連性を知るために本学の学生を対象とした建築の初学者に実際に使用してもらい，アンケート調査を実施してアンケート調査の結果から得られる様々な要望・改善点から改良していく。

②劣化データベースに関しては現段階では劣化事例数が不十分なので事例数を増やしていきデータベースとしての充実さを増すように今後も調査を行っていく。

③劣化している箇所には何らかの補修が施されているので，今後は補修にも着目してデータベースの充実化を図ることも検討している。

④学生の劣化の理解度を測るために本システムに演習問題等の自学自習用の項目を加えて，本教材の効果性を明らかにする。

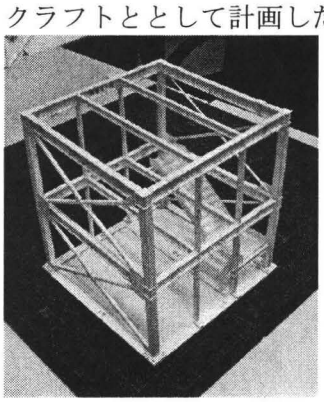
5．構造性能学習教材（構造模型）の開発

建築構造とくに鋼構造，鉄筋コンクリート構造，木質構造など各種構造科目では，その単元は，部材毎に構成されることが多く，はり，柱，接合部，柱脚などそれぞれ個別に扱われることがほとんどである。また，時間の制約上，それぞれの部材を総合した建物全体の構造的特性を扱うことは難しく，建物への総合化の点で大きな課題が残ることが多い。

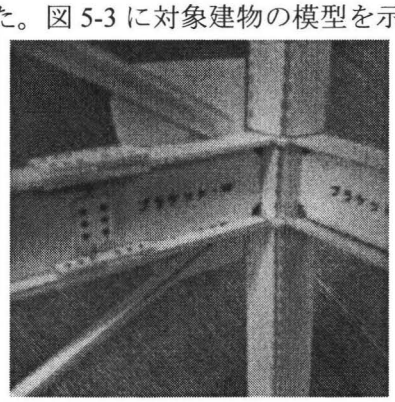
建築物の変形や力の流れを直感的に理解する能力と各種構造部材を総合して建物全体の構造特性を把握する能力を養うことは，近年一般化しつつある“構造デザイン”教育そのものであるともいえる。そこで本研究課題では，建築構造－構造デザイン－構造力学教育の総合化を目指した教材開発を行う。

1）建築構造学習教材（構造模型）の開発

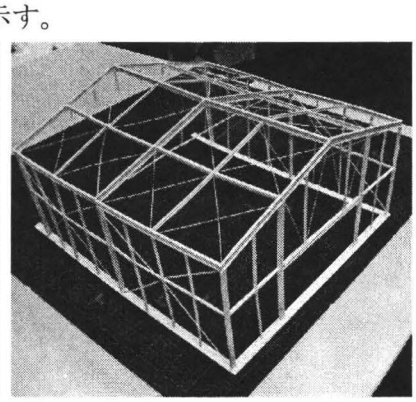
ここでは，建築構造学習教材の開発について報告する。まず，鉄骨構造の構造部材構成を学習する建築構造学習教材作成のための基本建物モデル（事務所および工場）の選定および模型作製方法を計画した。表現する構造要素は，柱，梁，ブレースおよび各接合部（柱・梁接合部，梁継手，柱脚），床スラブ，屋根構面などであり，スチフナ，各種補剛プレートのレベルとした。模型は，加工が容易で安価であるため，スチレンペーパーを用いたペーパークラフトととして計画した。図 5-3 に対象建物の模型を示す。



(a) 2 階建事務所建築



(b)接合部



(c)工場建築

図 5-3　対象建物の模型

2 階建事務所建築はスケール 1／20，工場建築は 1／200 で製作した。作成の難易度や教材としての使用性および鋼構造のディテールの学習の観点から，工場建築は取りやめとした。2 階建事務所建築を模型教材とするために，「製作図面」と「模型作製の手引き」を作成した。その一部を図 5-4 に示す。なお，2 階建事務所建築の模型は，A3 サイズのスチレンペーパー6 枚で作成することが可能である。

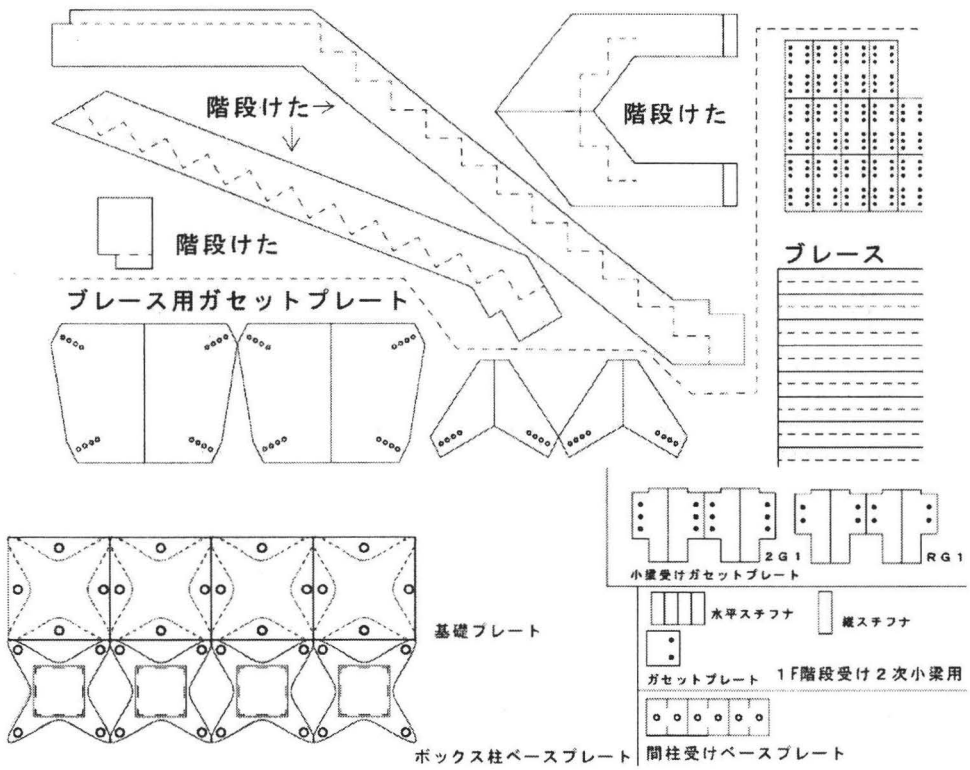


図 5-4　製作図面の例

2）まとめと今後の課題

建築構造学習教材は，授業への導入の結果極めて効果的な学習効果が得られることが確認された。学生からの評価も高く，今後改善点を反映しながらよりよい教材への進化させていく計画である。今後の課題は次のとおりである。

①手順書の精度向上：写真や作製手順の説明などについて，否定的な意見が多く寄せられたため，手順書の更なる改良が必要である。

②授業への導入方法：“来年の履修者にも勧めたい”という意見から，今後は模型作製の希望者の増加が予想される。今回は教員側で模型材料等を配布する方法を採用したが，来年以降は科目予算との関係もあり検討が必要である。また，今後は希望者 or 全員，個人 or グループ等での製作も視野に入れた方策が必要である。

6．まとめ

教育というシステムは社会システムの把握や改変あるは発展のためにある。この研究でとりあげた教育とは建築・都市分野を対象とし，その課題は，サステナブル社会への移行に対応することである。こうした背景を踏まえ本研究では，サステナブル住環境の計画・構築にとっての中核的科目である建築構法学（モノづくりとしての建築論），建築環境学，建築構造学，建築材料学の新教育システム開発を試みた。

その結果，建築構法教育のシステム化は，初学者にとって有用であることが分かった。すなわち，材料・構造および環境関連の諸知識が構造的に整理されていて，それらの建築デザインへの統合が自然に習得できる。また，諸知識は豊富な画像情報を含み，それらの遷移は最新の情報処理技術に支援されて快適かつ効率良く行われる。

建築環境，建築構造の各科目では，情報化社会の進化と教育の専門分化の過程で失われた学習者の体感能力に着目し，それの回復を兼ねた学習のための教材について研究し一定の成果を得た。この内，構造システム模型は授業への導入が可能と判断でき，建築環境体験装置も，今後の改良研究を経て授業導入を始める計画である。建築材料学は，サステナブル社会の住環境づくりにおける資源循環にとって最重要である。そのため今回の研究では，材料劣化データベースづくりについて研究を進めた。

今後の研究では，開発した教材・教授方法システムの授業への導入に伴うシラバス内容との調整，および，設計科目と各科目の関係の適正化を進める必要がある。また，今回獲得した教材・教授方法の知識を適用する他科目に関する研究・開発も進めるべきである。

７．研究成果論文

[１]澤田，酒井，小山，小林：新時代に対応する建築初学者教育のシステム化に関する研究，明治大学理工学部研究報告，第 39 号(95)，pp. 1-16，2008. 9

[２]菅野恵介，澤田誠二，大坪明：建築構法学習支援 e-ラーニングシステムに関する研究開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，E-2，pp. 669-670，2009

[３]吉増，澤田，酒井，上野，小山，小林，青井：実大建築環境体験装置の開発研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，E-2，pp. 679-680，2009

戸建て宅地地盤の危険性を抽出するための新しい地盤調査技術の開発

東京都市大学

教授　末政直晃

1．本研究の背景と目的

2000年に品確法が施行されて以来，戸建て住宅の建設に際しては，その宅地において地盤調査が行われるようになった．特にこのような住宅の宅地では，スウェーデン式貫入試験(以下，SWS試験と呼ぶ)と呼ばれる地盤調査法が専ら利用されている．これは，SWS試験が他の地盤調査法に比べて簡便・低価格であることによっている．しかしながら，最近，この試験法の欠点も指摘され始めた．例えば，SWS試験では健全と判断された地層が，不同沈下の元凶といわれる腐植土層であったために，住宅建設後に有害な不同沈下が発生してしまったケースである．逆に，ある地層が地盤沈下の恐れの少ない凝灰質粘土であったにも関わらず，SWS試験で不健全と判定されたために，コスト高となる杭基礎を選定してしまったケースもある．このような事例が後を絶たないのは，SWS試験の地盤調査法としての感度に問題があるからに他ならない．

そこで本研究の目的は，宅地地盤の状態を現行のSWS試験と同等の簡便性でありながら，より高い精度で判定できるような，新しい地盤調査システム(NSWS)を提案することである．

本研究の目的は，これまでの研究成果に基づいて，NSWS試験の精度やデータ分析能を向上させるとともに，他形状のスクリューポイントの利用などを試みることにより，本試験法のより一層の利便性向上を図るものである．

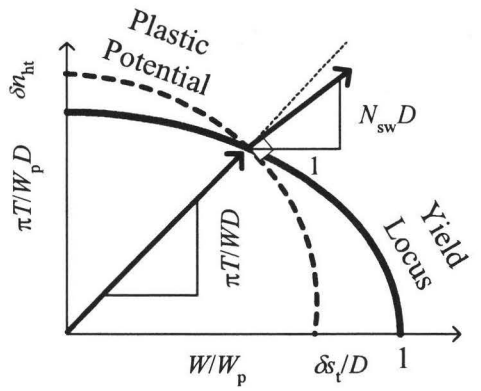
2．スウェーデン式貫入試験に対する塑性論アナロジーモデルの適用

(1)背景

スウェーデン式貫入試験は，載荷・反力装置や電力を必要としない等，装置が簡単であり，試験の迅速性に優れている．その反面，土質採取が難しいため，土質判別を行いにくいことや貫入メカニズムが複雑であるため，結果の解釈は経験的な方法に頼らざるを得ない等の欠点もある．特に後者に関連して，Nsw(半回転数／m)が応力や荷重の単位を有していないため，もう一つの計測項目であるWsw(N)との関係が不明確である点を指摘できる．例えば，Nswが50である粘土層とWswが1000(N)である粘土層とは，定性的に硬軟の関係を把握することはできても，定量的にそれらの強度の比を求めることはできない．このことは，今後，集積された調査結果から地盤沈下量との関係を求めようとした場合，あるいは試験結果の高度利用を図る際に問題となることが予想される．

そこで，本研究で提案する方法は，鉛直荷重であるWsw(N)と，Nsw(半回転数／m)に関連する回転トルクを計測して，スウェーデン式貫入試験を回転トルクと鉛直荷重を組み合わせた

地盤貫入方法と捉えることで，先の問題点を解決することを試みたものである．また，二つの荷重を組み合わせた変形問題に対しては，以下に述べる塑性論アナロジーモデルが有効であることから，スウェーデン式貫入試験に対して塑性論アナロジーモデルを適用することとした．本モデルの概要は参考文献[1]に譲るとして，ここでは後述する実験結果の解釈を容易にするために，解析結果を説明する．



図—1 塑性論アナロジーモデルの概念図

(2) スウェーデン式貫入試験への塑性論アナロジーモデルの利用

Nova & Montrasio[2]によって提案された塑性論アナロジーモデルとは，土の応力とひずみの関係を与える構成則と同じ枠組み(アナロジー)を利用して，構造物の荷重と変位との関係を記述する数学モデルのことである．構造物に負荷される荷重には鉛直荷重やモーメント，水平荷重などがあるが，構造物の破壊時荷重はその他の荷重の組み合わせによって変化する．塑性論アナロジーモデルでは，このような組み合わされた荷重の大きさを降伏曲面として記述すると共に，これらの荷重にそれぞれ対応する変位増分を，塑性ポテンシャル関数を用いて記述するものである．

スウェーデン式貫入試験は，荷重段階における鉛直荷重に加えて，回転段階における回転トルクをその作用荷重とする試験であるので，塑性論アナロジーモデルを適用できる組み合わせ荷重の問題の一つであると言える．スウェーデン式貫入試験では，異なる 2 種類の荷重を用いることがこれまで試験結果の解釈に煩雑さを与えていたが，塑性論アナロジーモデルの援用によってむしろ新たな地盤情報を与えることが可能となると思われる．

さて，荷重段階の鉛直荷重 W と回転段階のトルク T による仕事増分は，

$$\delta E = \pi T \delta n_{ht} + W \delta s_t \qquad (1)$$

と表される．ここでδn_{ht}とδs_tはそれぞれ半回転数と沈下量の増分である．式(1)を自沈荷重 Wp とスクリューポイントの最大直径 D の積を用いて正規化すると，

$$\frac{\delta E}{W_p D} = \frac{\pi T}{W_p D}\delta n_{ht} + \frac{W}{W_p}\frac{\delta s_t}{D} = T_n \delta n_{ht} + W_n \frac{\delta s_t}{D} \qquad (2)$$

となる．ここで Tn および Wn はそれぞれ正規化トルクと正規化荷重である．また，式(2)の結果から後述する塑性ポテンシャルの適用においては，Tn とδn_{ht}および Wn と$\delta st/D$がそれぞれ同軸性を有するものと判断した．

種々の実験結果から，スウェーデン式貫入試験で得られるトルクと鉛直荷重による降伏曲面は，原点に中心を有する楕円で表記できることが確かめられている[1]．そこで，この降伏曲面を降伏曲面係数 cy を用いて，

$$c_y T_n^2 + W_n^2 = 1 \qquad (3)$$

と表すこととする．なお，この降伏曲面は次のような別形式で表すことも可能である．

$$\left[\frac{\pi T}{D}\right]^2 = \frac{1}{c_y}\left[W_p^2 - W^2\right] \qquad (4)$$

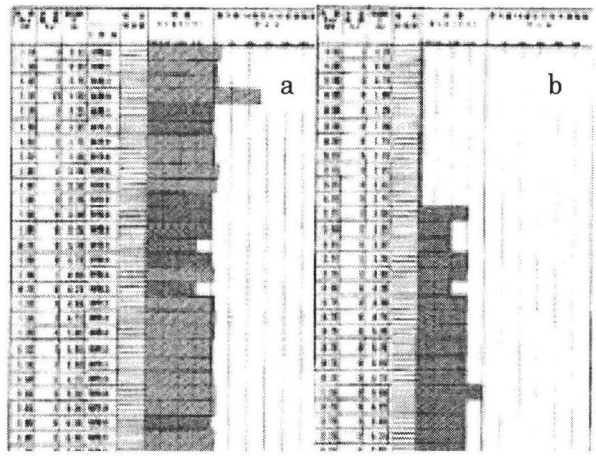
塑性ポテンシャル関数についても降伏曲面と同様な楕円形状を有するものと仮定すると，

$$c_p T_n^2 + W_n^2 = 1 \qquad (5)$$

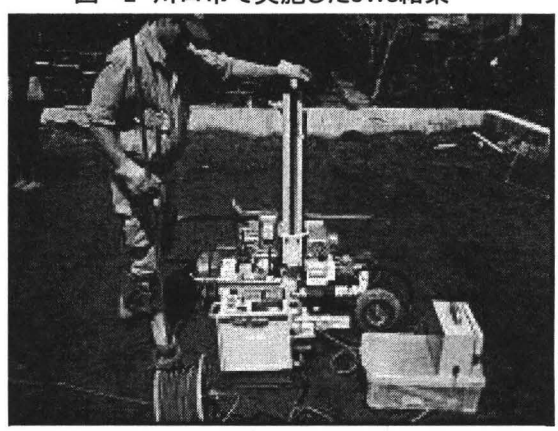
と表せる．ここで cp は塑性ポテンシャル係数であり，これが cy に等しい時には関連流れ則が成立することとなる．式(5)を微分することにより塑性ポテンシャル関数に直交する方向を求めると，

$$N_{sw} D = \frac{\delta n_{ht}}{\delta s_t / D} = c_p \frac{\pi T}{WD} \qquad (6)$$

となる．ここで 1m 貫入量当りの半回転数 Nsw にスクリューポイント最大径を乗じた NswD を正規化 Nsw と定義する．得られたパラメーターの概念図を図—1 に示す．



図—2 川口市で実施したSWS結果



写真—1 自動NSWS試験装置

3．NSWS 試験の実地盤への適用—摩擦除去と土質判別

(1) ロッド摩擦の除去の試み

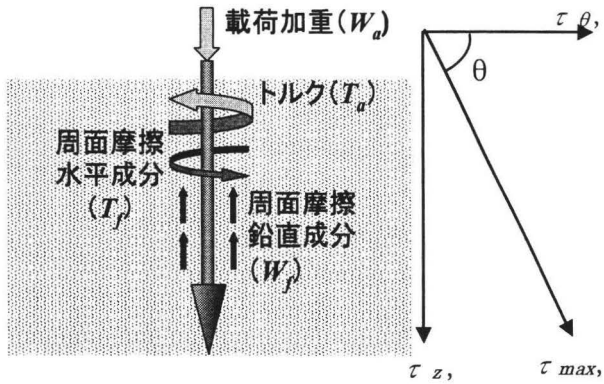
SWS 試験における土質判別は，試験データ，周辺状況，試験時における調査員の感触等で確定される．しかし，シルト，粘土，ローム，有機質土等をまとめて粘性土と称しているため，不同沈下の原因となる圧縮特性の高い有機質土も同じ区分で括られてしまう．有機質土にはセメントの硬化反応を阻害するフミン酸が多量に含まれるため有機質土の土質判別は必要不可欠である．また，ロッドに作用する周面摩擦力が不明確であることも土質判別を難しくしていると考えられる．

著者らが実施した一連の SWS 試験結果[3]から，表層に礫を多く含む良く締固めが施してある盛土があるとロッドに作用する周面摩擦力が大きくなり，下層を過大評価する傾向にあることが解った．その一例を紹介する．

図—2 に埼玉県川口市の沖積層で実施した SWS 試験結果を示す．また，a)は通常の試験方法で，b)は表層から 2.5m までをミニラムサウンディング試験機で削孔してから，その穴を利用して SWS 試験を行ったものである．深度 4.5m から 7.0m に着目すると事前に削孔していない a)は，回転によって貫入されているのに対して，b)では荷重による自沈層であった．この差は，ロッドに作用する周面摩擦力が起因しているものと考えられる．以上の結果からも分かるように SWS 試験においてロッドに作用する周面摩擦力の除去は必要であり，現行の SWS 試験方法で求められた試験結果は，実際を過大評価している可能性がある．

写真—1 に試験で使用した自動 NSWS 試験装置を示す．この試験装置は，自動 SWS 試験装置を改良したものである．通常の SWS 試験では，ロッドを静止状態で定荷重（Wsw)を載荷し，

沈下量が目標の深度に達しない場合においては，ロッドを回転(Nsw)させて貫入する 2 段階載荷方法で試験が行われる．それに対して，NSWS 試験では，試験中は常にロッドが回転しており，回転しながら荷重が増加する単調載荷方式を採用している．NSWS 試験によって取得される試験データは，最大トルク（*Max. T*）平均トルク（*Av. T*），最小トルク（*Min. T*）および貫入量（*L*），沈下速度（*V*）とロッドの回転数（*N*）である．NSWS 試験方法は，初期載荷荷重（0.25N）が載荷されると 1 回転分のトルク等の計測を行う．その後，貫入量が 25cm に到達するまで，1 回転毎に 0.38 kN，0.5 kN，0.63 kN，0.75 kN，0.88kN，1kN の順に荷重が増加し，その都度，上記に挙げた項目の計測を行う．



図—3　ロッド周面摩擦の概念

また，ロッドに作用する周面摩擦力を算定するために，25cm 貫入毎にロッドを回転させたまま 1cm 引き上げて，スクリューポイントをわずかに引き上げた状態でトルク（T_m）の計測を行っている．

図—3 にロッド周面摩擦の概念図を示す．NSWS 試験では，ロッドを回転させながら地盤に貫入させるため，ロッドに作用する周面摩擦力は鉛直成分（W_f）と水平成分（T_f）に分けることができる．これらの成分はそれぞれ次のように表せる．

$$T_f = 2\pi r^2 \cdot L \frac{v_\theta}{\sqrt{v_v{}^2 + v_\theta{}^2}} \cdot \frac{T_m}{2\pi r^2 L} \qquad (7)$$

$$W_f = 2\pi r \cdot L \frac{v_v}{\sqrt{v_v{}^2 + v_\theta{}^2}} \cdot \frac{T_m}{2\pi r^2 L} \qquad (8)$$

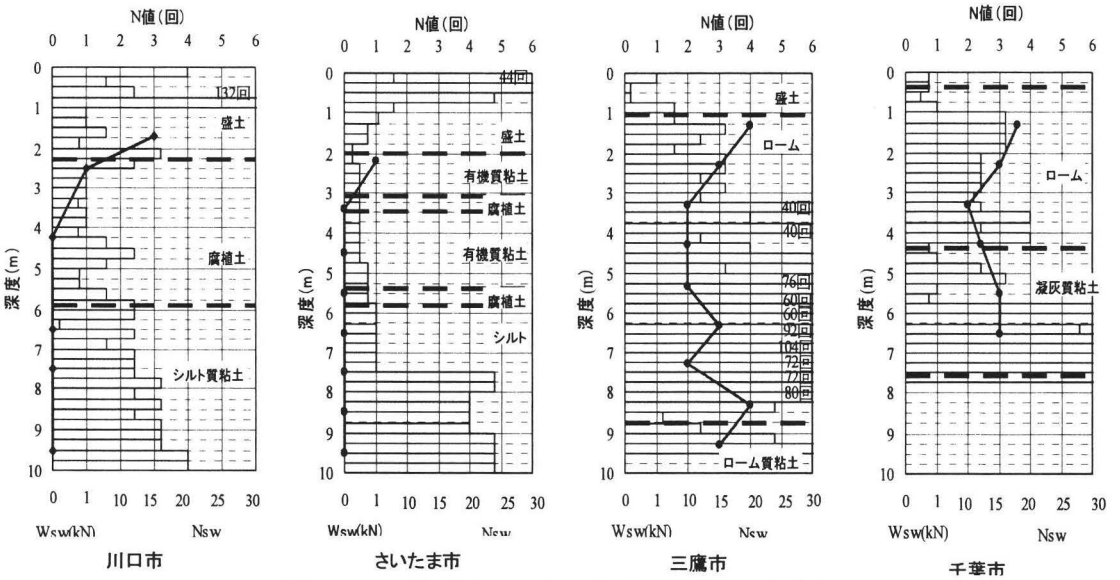
ここで，T_mは 25cm ごとに計測されたロッドの周面摩擦トルク，rはロッド半径，Lは貫入量，v_θならびに v_zはロッド表面上でのロッドの回転速度と沈下速度である．

これ以降に示される結果においては，これらの摩擦推定式を用いてロッドの摩擦成分を除去することにより求めたものである．

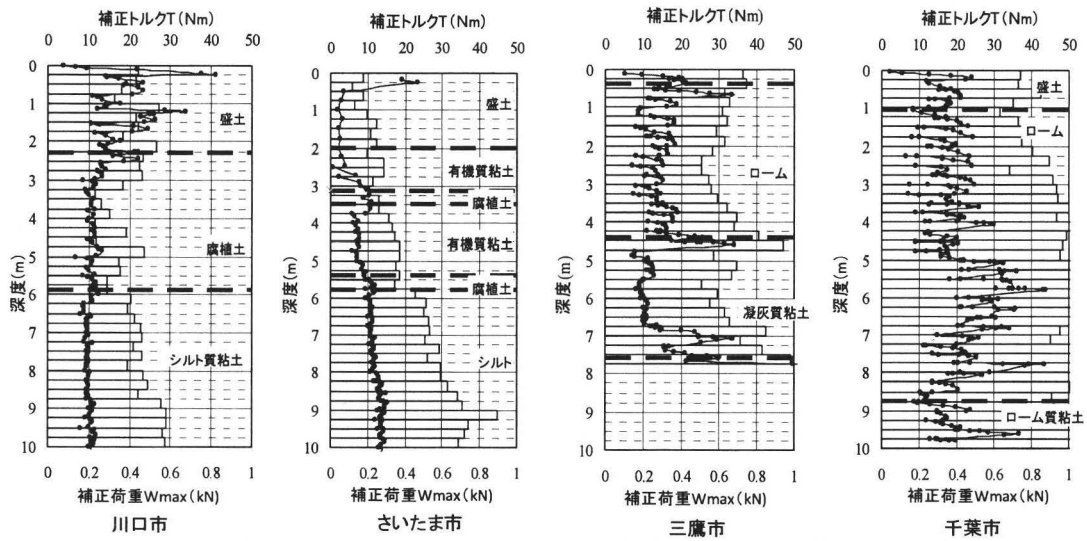
(2)NSWS 試験による土質判別の試み

本論文では，埼玉県川口市，さいたま市，東京都三鷹市ならびに千葉市にて実施した試験結果について述べる．また，NSWS 試験との比較のために SWS 試験および標準貫入試験を実施した．図—4 に SWS 試験結果および標準貫入試験結果を重ね合わせたものを示す．

川口市の地盤は，地表面から 2.3m までが，礫を多く含んだ埋土層 (N=1～2)，2.3m から 6.0m までは腐植土層（N=0），6.0m から 10.0m は粘土質シルト層（N=0）で構成されている．標準貫入試験時に確認された孔内水位は約 1.0m であった．また，さいたま市は，地表面から 1.7m までが，埋土層，1.7m から 3.0m までは有機質粘土層 (N=1)，3.0m から 3.6m は腐植土層 (N=0)，3.6m から 5.4m はシルト層（N=0），5.4m から 5.8m は腐植土層（N=0），5.8m から 10m はシル



図—4　N値(川口、さいたま、三鷹、千葉)

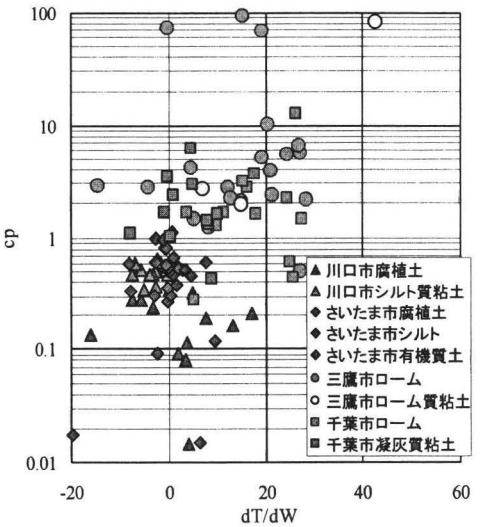


図—5　補正トルク(川口、さいたま、三鷹、千葉)

ト層（N=0）で地盤が構成されている．標準貫入試験時に確認された孔内水位は約 3.3m である．一方，三鷹市の地盤構成は，地表面から 1.0m までが，ローム主体の埋土層であり，1.0m から 8.75m までがローム層（N=2～4），8.75m から 10.0m はローム質粘土層（N=3）である．標準貫入試験時に確認された孔内水位は約 3.8m であった．千葉市の地盤は，地表面から 0.4m 埋土されおり，0.4m から 4.4m まではローム層（N=2～3.6），4.4m から 7.6m は凝灰質粘層（N=3～7），7.6m から 15.45m は細砂層（N=11～21）で構成されている．標準貫入試験時に確認された孔内水位は約 7.5m である．

図—5 に NSWS 試験より得られた修正トルクと修正荷重を示す．図中の補正トルクは，NSWS 試験結果より得られたトルク値から(7)式により算出された水平方向の周面摩擦トルク成分を差引いたものである．また，補正荷重は，鉛直成分のロッド周面摩擦を差引いたものであり，ロッド荷重も考慮している．

川口市の修正トルク値の応答に着目すると，表層から深度2mまでの盛土層と深度2mから6mの腐植土層および深度6mから10mのシルト質粘土層の修正トルク値とその応答がそれぞれ異なっていることが分かる．このことは，他のケースにおいても同様の傾向を示している．修正トルクは，地盤の固さのみならず土質の境界を探るための一助となる．また，修正荷重は，どのケースにおいても修正トルク値が高くなるにつれて荷重が大きくなる傾向を示した．



図—6 $dT/dW-c_p$関係

これらのデータを用いて，25cm毎に２章で説明した塑性ポテンシャル係数(Cp)と修正トルク—修正荷重関係の傾き(dT/dW)を計算し，土質ごとに色分けしてプロットしたのが図—6である．まず，Cp値によりロームおよび凝灰質粘土，ローム質粘土は，Cp値がおおむね１以上に分布するのに対して，腐植土およびシルトは１未満に分布する．また，dT/dWに着目すると，ロームやローム質粘土，腐植土は正の値を示す傾向にあり，シルトおよび凝灰質粘土は負の値を示す傾向にあった．これらのことより，洪積層と沖積層の区別は，Cp値が１以上でdT/dWが正の場合に洪積層とし，Cp値が１未満の場合に沖積層と区別する事とした．また，Cp値から0.3を境に0.3未満に腐植土が分布し0.3以上にシルトが分布している．これらよりCp値が0.3未満の場合に腐植土の可能性が高く，dT/dWが正の場合は，腐植土と判別する事が出来る．

これより，NSWS試験装置を用いることによりロッドに作用する鉛直成分と水平成分の周面摩擦力の算出が行えた．また，複数のデータ処理を行うことにより，大まかではあるが洪積層，沖積層，腐植土層の判別が出来ると考えられる．

(3)NSWS試験によるN値の推定

ここでは，洪積層の谷地形に入りこんだ腐植土層を挟む沖積層がある川口市と洪積台地であるさいたま市で実施したNSWS試験結果について述べる．また，試験でNSWS試験結果との比較のためにSWS試験，標準貫入試験を実施している．

図—7と8に川口市ならびにさいたま市で実施したSWS試験および標準貫入試験結果を示す．標準貫入試験結果に示す換算N値は，SWS試験結果をもとに稲田の提案式によって算出した．

川口市の4mから9mに着目すると，SWS試験結果においては，換算N値が2.8(Wsw=0.75kN)から3.8 (Nsw=16) であるのに対して，標準貫入試験結果で得られたN値は0であったことから，SWS試験結果は，過大にN値を評価していることが分かる．この要因としては，ロッドに作用する周面摩擦力の影響が考えられる．一方，さいたま市においては，川口市とは逆にSWS試験結果における換算N値が標準貫入試験より得られたN値より小さく，N値を過小に評価していることが分かる．

NSWS 試験結果においては N 値と比較するために，25cm 地盤に貫入するのに要する区間貫入エネルギーを用いた．1 回転毎の貫入エネルギー δE は(9)で表される．

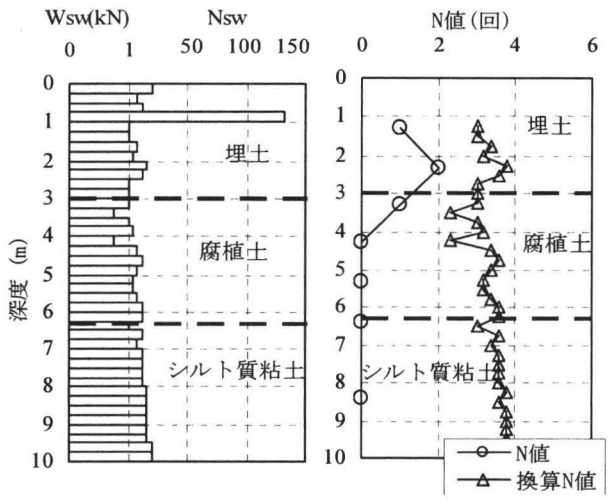
$$\delta E = \pi T \delta n_{ht} + W \delta s_t \qquad (9)$$

ここで，T は回転貫入時にスクリューポイントに作用するトルク，W は上載荷重，δn_{ht} は半回転数，δs_t は上載荷重による貫入量である．この貫入エネルギーを 25cm 毎に足し合わせたものを区間貫入エネルギー dE とした．

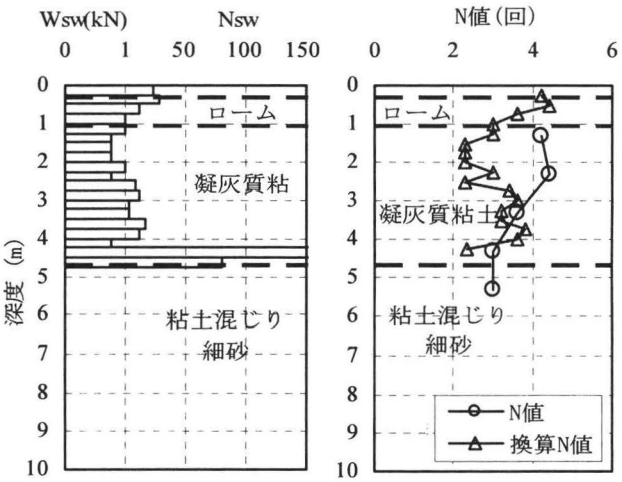
図—9 に標準貫入試験より得られた N 値と 25cm 毎の区間貫入エネルギー関係を示す．川口市とさいたま市の両者とも，N 値と区間貫入エネルギーに高い相関性が得られた．一方，川口市とさいたま市では，N 値が 1 (回)に対する区間貫入エネルギーに差が見られた．しかし，Cp によって地盤種別が区分できれば，沖積層用の N 値換算式と洪積層用の N 値換算式を用いることによって，NSWS 試験から N 値を推定することが可能であると考えられる．

4．試験結果に及ぼすスクリューポイント形状の違いの影響

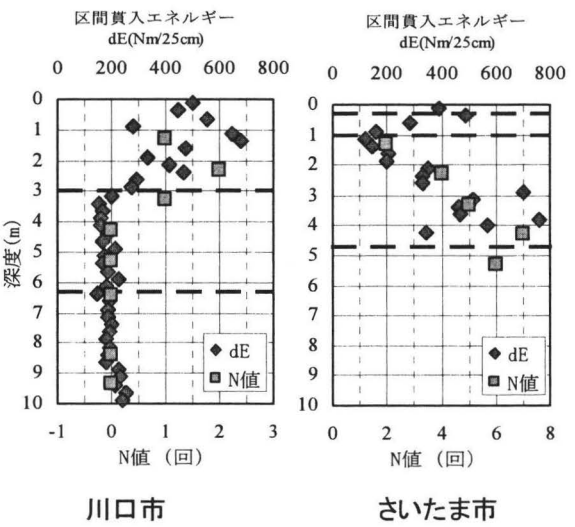
スクリューポイントが SWS 試験結果に及ぼす影響は既に指摘されているところである．しかしながら，それらの多くが JIS 型のスクリューポイントを利用することが前提となっていて，試験精度を向上させるためのスクリューポイント形状について検討された例はない．そこで，本章ではスクリューポイント形状の違いが SWS あるいは NSWS 試験結果に及ぼす影響を検討し，新しい地盤調査システムを構築する際のスクリューポイント形状の設定について述べる．



図—7　川口市のSWS試験および標準貫入試験結果



図—8　さいたま市のSWS試験および標準貫入試験結果

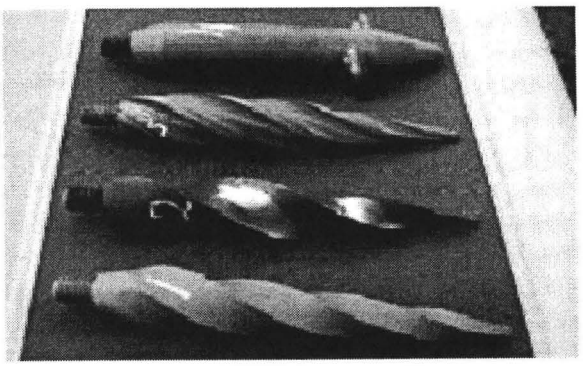


図—9 N値-25cm毎の区間貫入エネルギー関係

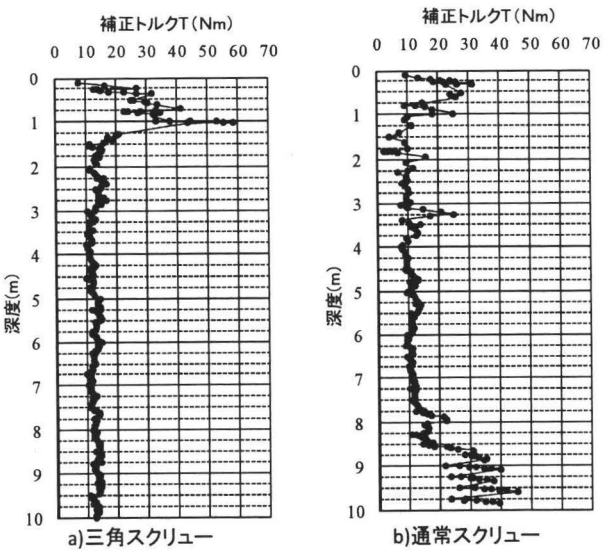
通常のJIS型スクリューポイントでは，断面が正方形となっているが，新たにその断面形状が正三角形となるようなスクリューポイントを作製した．ただし，このスクリューポイントを回転させたときに得られる最外縁の形状と大きさは，JIS型のそれと同一である．写真—2には4つの異なる形状を持ったスクリューポイントを示している．手前から正方形断面を有する通常のもの，三角形断面を有するもの，十字型の断面を有するもの，先端部に回転翼を有するものである．

予備試験の結果，三角形断面のものが他に比べて良い結果を与えたことから，これ以降前者二つのスクリューポイントを比較することとした．

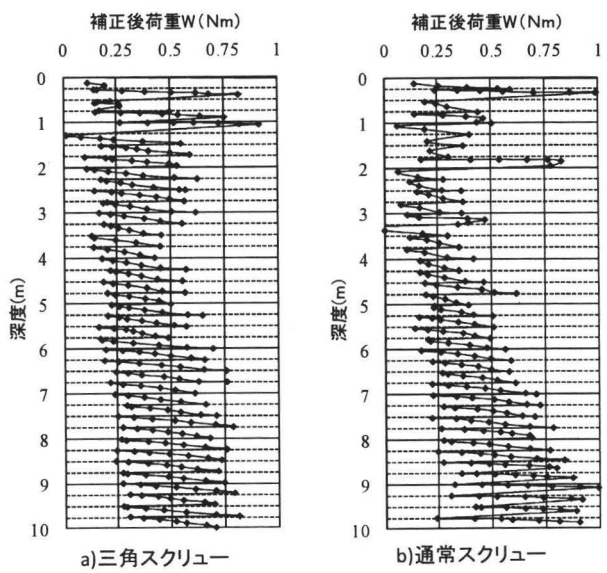
断面形状を三角形とした意図は，スクリューポイントの摩擦面の減少にある．特にローム地盤や凝灰質地盤でのSWS試験においては，粘土がスクリューポイントの周辺に纏わりついて，スクリューポイントが見掛け上円錐状となり，その貫入抵抗が大きくなることが指摘されている．これはスクリューポイントの周面と粘土との間に働く摩擦力がスクリューポイント最外縁に働く摩擦力よりも大きいことによる．この現象が生じると，スクリューポイントの切削能力が失われるため，スクリューポイントが貫入しづらくなり，この影響によってその地盤が本来持っている強さよりも大きく判定される．宅地の沈下障害を考えた場合には，これは危険側の判定となる．断面形状を三角形にすると，スクリューポイント側面の総面積が減少するため，スクリューポイントと粘土の付着力が同じであっても，通常のものに比べて粘土のまとわりつきを防止することができると期



写真—2　様々な形状のスクリューポイント
(1：通常(正方形)，2：三角形，3：十字型，4：羽根型)



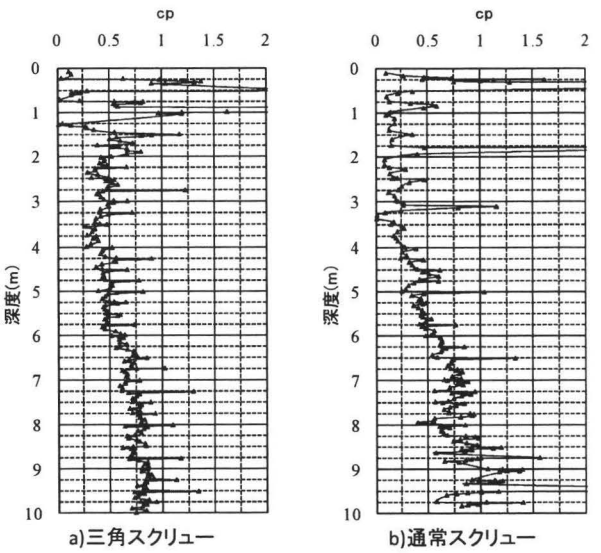
図—10　スクリューポイントの比較：補正トルク



図—11　スクリューポイントの比較：補正後荷重

待される．さらに，切削刃の角度は，正方形断面のそれが 90 度であるのに対して，三角形のそれは 60 度となるため，地盤の切削能力も向上する．

このような効果を検証するため，断面形状が正方形である通常スクリューポイントと断面が三角形であるスクリューポイントを用いて試験を実施し，得られた結果を比較することにより，試験結果に及ぼす断面形状の違いについて検討した．



図—12 スクリューポイントの比較：Cp

実験は，市原市において行われた．この現場は盛土層の下に深度 2.5m～5.5m 間に腐植土層，その下から 14m 程度までにシルト層，その下に緩い砂層が堆積している．標準貫入試験による N 値はほとんどが自沈層となっている．このような地盤に対して，NSWS 試験を実施した．両試験の実施点の間隔は 1m 程度であり，土質の違いはないものと考えられる．

図—10 はロッド抵抗を差し引いた，補正トルクの結果である．a)がスクリューポイントの断面形状が三角であるもの，b)が正方形であるものを示している．これより，三角形断面の結果は正方形断面のそれよりも滑らかなデータを与えていることが分かる．また，8m 以深では，正方形断面の補正トルクが上昇するのに対して，三角形断面のそれではほぼ一定値となっている．N 値の深度分布から判別すると，5.5m～12m 間はほぼ N 値が 0 となるシルト層であり，ほぼ均質であると想定される．しかしながら，正方形断面の結果では，補正トルクが 8m 以深で増加しており，異なる傾向となっている．これはスクリューポイントへの粘土のまとわりつきが発生したものと思われる．また，総じて三角形断面のデータの方が N 値分布と良く対応していることも言える．

図—11 は補正荷重を比較したものである．先に述べたように，8m 以深では正方形断面の最大荷重の方が大きくなっており，スクリューポイントの貫入抵抗力が増加したことが伺える．また，補正荷重の結果においても，三角形断面の方が N 値分布と良い対応を示している．図—12 は土質判別の指標である cp を比較したものである．これにおいても三角形断面の結果の方がばらつきが少なく，土層区分に適切に対応しているといえる．

以上の結果から三角形断面を有するスクリューポイントの方が現行の正方形断面のそれに比べてデータのばらつきやバイアスが少なく，土質判別の分解能が増加するものと言える．

また，これまでの検討によると，SWS 試験においては，スクリューポイントの貫入エネルギーは主として鉛直荷重によって与えられ，回転トルクの寄与率はさほど高くないことが分かっている．しかしながら，塑性論アナロジーモデルの観点からは，貫入に対して鉛直荷重とトルクという 2 つの荷重成分をバランス良く寄与させることが土質の判別能力を向上させ

る点で望ましいと言える．従って，例えばユーロコードで用いられているスクリューポイント形状のように，先端角を大きくすることでスクリューポイントの切削能力を高め，牽いては貫入に対するトルクの寄与率を増加させるとともに，一方ではここで得られた結論のように三角形断面とすることで粘土のまとわりつきを防止することが必要であるといえる．

6．まとめ

本研究では，SWS 試験において，簡便性や迅速性が高いといった長所を生かしながらも，土質判別の精度が低い等の欠点を補うような，新しい SWS 試験システム(NSWS 試験)を提案した．そして，その土質判別性能の向上を図り，さらなる改良を施すための基礎的知見を得るために，関東を中心とする多くの現場実験を実施して，その結果を分析した．これらの結果から，砂や細砂，火山灰質土のみならず，粘性土や腐植土を判別する枠組みを構築するとともに，その有効性を検証した．

また，更なる改良を施すにはスクリューポイントの形状を変えることも一つの方法であって，そのためには三角形断面で先端角度が大きいスクリューポイントが効果的と考えられる．

参考文献

1)末政直晃，新開景子，須澤倫寛：スウェーデン式貫入試験の貫入機構の一考察，最近の地盤調査・試験法と設計・施工への適用に関するシンポジウム，地盤工学会，2006

2)Nova, R., and Montrasio, L. (1991): Settlements of shallow foundations on sand, *Geotechnique*, vol.41(2), pp.243-256.

3)大和真一，末政直晃，田中剛：新しいスウェーデン式調査法で腐植土地盤を見つける，基礎工，Vol.37, No.6, pp.84～89, 2009.

色彩浮造り合板を用いた製品開発

北海道立林産試験場
研究職員　松 本 久美子

1．はじめに

1－1．これまでの研究の概要

北海道の人工林から伐出されるトドマツ、カラマツなどの針葉樹材は現在その大半が構造材や梱包材などに用いられている。そこで研究代表者らは、そういった北海道産針葉樹材の高付加価値化と用途の拡大を目指して平成18年度JSTシーズ発掘試験「浮造り*合板の開発」において内装用や家具用として使用可能な意匠性の高い合板の製造に取り組み、色彩浮造り合板として開発に至った（特許申請中　特願2008-114522）。

色彩浮造り合板の製造方法としては、まず表層となる針葉樹単板を、顔料で着色された接着剤を用いて接着し、合板内部に着色層を形成する。次にその合板の表面に浮造りを施すことで早材部が削り取られて木目に沿って着色層を露出させる。着色に顔料を用いることで任意に色彩を設定することが可能となり、例えば、存在感を示す赤や青などの原色を用いたり、黒灰色を使って落ち着いた古材調など（写真 1）、様々なイメージを創出することが可能となった。また、色彩と同時に表面に凹凸が付くことで、特徴的な意匠を持つ合板が製造可能となった。

また、上記の色彩浮造り合板の意匠性を客観的に評価する指標として、露出した色彩、すなわち着色部の面積率と浮造りにより表面に生じる凹凸の数値化を取り上げた。

*浮造(うづく)り：針葉樹材は春に形成される早材部が夏以降より形成される晩材部よりも柔らかく、表面を適当な方法で研削すると早材部のみが削れて晩材部が浮き上がる。この性質を利用して木目を引き立たせる技法を浮造りと呼ぶ。

1－2．

本研究の目的

本研究では、上記の研究成果を踏まえて、色彩浮造り合板の特徴的な意匠を活かした製品のデザイン開発・試作をおこなうことを目的とした。また、実大の合板の大きさと厚さに対応可能な測定装置の製作を含む合板の表面の凹凸の測定方法を検討し、それと露出した着色部の面積率や浮造りの程度との関係など色彩浮造り合板の意匠性の評価について検討することとした。

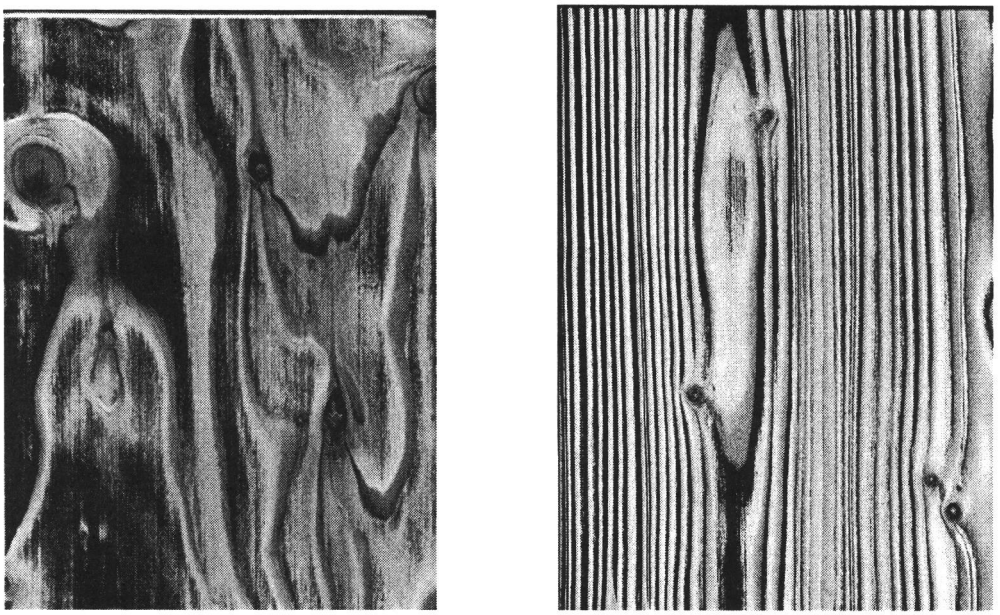


写真１　青色を配色した色彩浮造り合板（左側）と黒色を配色したもの（右側）
左側：カラマツ、ロータリ単板使用　右側：カラマツ、スライス単板使用

2．製品のデザイン開発と制作

色彩浮造り合板を用いた家具のデザイン開発と試作をおこなった。本研究においては、オフィスでの使用を考慮したパーティション、店舗等の商用施設での使用を想定したシェルフ、一般住宅や保育所などでの使用を想定したトイボックスのデザイン開発をおこなった。これらのうち、パーティションとシェルフは試作をおこない、展示会で実際に使用した。

また、札幌市の家具・インテリアデザイナー　有限会社　Y.IMAGINE　吉本亜矢氏、有限会社　杏和建具と共同でオープンシェルフを制作し、INTERIOR PRO EX CO　(IPEC) 2008 に出展した。

2－1・わん曲パーティション

オフィスでの使用を考慮したパーティションを制作した。パーティションはわん曲集成材と組み合わせて設計されたもので、形状により自立式パーティションとしての使用が可能となった。デザインコンセプトを以下に記す。

- 色彩浮造り合板、わん曲集成材とも積層材であるという利点を活かし、わん曲集成材の曲面に沿って最外層に貼り付けることにより、柔らかさを表現した。
- 色彩浮造り合板を製品の一部に採用し、木材本来の木目と対比させることにより、その特徴的な彩りや模様を強調した。
- 色彩浮造り合板を製品の片面にのみ貼り付けることにより、製品の表裏で異なる表情を持つ特徴的なデザインとした。

制作したパーティションは、2008 年 8 月 9、10 日におこなわれた「北の大地の森林作り展」において有限会社　杏和建具のブースで使用された。現在は北海道立林産試験場のロビーにて打ち合わせスペースを確保するために利用されている（写真 2）。

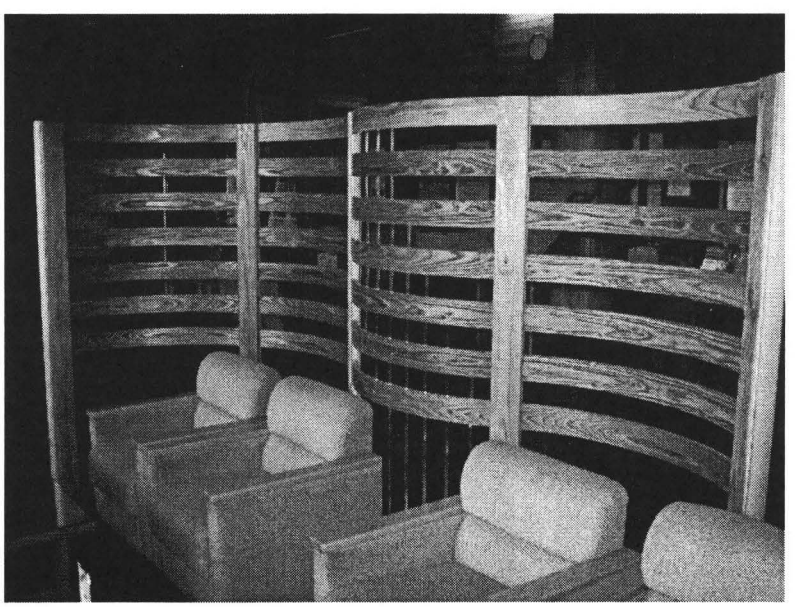


写真 2　北海道立林産試験場ロビーでの使用状況

2－2．M-シェルフ

図1にM-シェルフを示した。このシェルフは、強い表現力を持つ色彩浮造り合板を透明なアクリル板と組み合わせることにより、色彩浮造り合板の躍動感やアクリル板の落ち着きが効果的に表現され、見る角度によって異なった趣を与えるシェルフとなっている。

4枚の色彩浮造り合板は折りたたみが可能な接合となっており、たたむことで容易に運搬することができる。また、繋げる色彩浮造り合板の枚数を増減することで、シェルフの幅を調節することができ、さらにそれらの広げ方でも微調整することができるため、設置スペースや用途に合わせた使い方が可能となっている。

試作したM－シェルフは東京ビッグサイトにて2008年11月12～14日に開催された第30回ジャパンホーム＆ビルディングショーの㈱日本システム機器のブース内に展示された。

図1　M-シェルフ

2－3．トイボックス

色彩を自由に調色でき、イメージのコントロールが可能であるという色彩浮造り合板の特徴を生かして、パステルカラーを用いて児童用トイボックスのデザイン開発をおこなった（図2）。木の持つ柔らかさや温かみに触れることが情操教育の一助となるだけでなく、パステルカラーの色彩浮造り合板によって強調された木目の面白さやかわいらしさが子供の興味を引くことで、玩具の片付けや整理整頓を促す効果が期待できる。

図2　TOY BOXの製品イメージ

2－4．オープンシェルフ「IRO」

札幌市の家具・インテリアデザイナー　有限会社　Y.IMAGINE　吉本亜矢氏、旭川市の有限会社　杏和建具と共同でオープンシェルフを作製した。

「IRO」は紙を山折り、谷折りしたようなフォルムの色彩浮造り合板を使った外枠と、鏡面仕上げの4枚の棚板で構成されたオープンシェルフである。両側面にも小さなスペースを設けて飾り棚として見せる収納を可能にしている。また、空間を仕切るパーティションとしての使用も可能となっている。

「IRO」は2008年11月19～22日に東京ビッグサイトで開催されたINTERIOR PRO EXCO (IPEC) 2008のデザイナーズ・ショーケースに出展され、審査の結果、大賞を受賞した（写真3）。

写真 3　オープンシェルフ「IRO」の IPEC2008 での展示風景

3．色彩浮造り合板の意匠性に係る評価方法の検討

色彩浮造り合板の特徴は、浮造りによって表面に生じる凹凸と露出した色彩（着色部）である。本研究では、それらの数値化を検討した。また、得られたデータをもとに、それらの関連性や色彩浮造り合板の3次元可視化を試みた。

3－1．測定装置の製作

現在、木材や木製品の表面形状を測定する手法としては、JIS に規定される表面粗さ測定が挙げられる。しかしながら、最大測定距離が 80mm であることや微小な表面の凹凸の測定を目的としているため、浮造りのような大断面のサンプルの測定や評価には不適である。そこで本研究では、実大サイズの色彩浮造り合板の表面を計測するために、測定装置の考案と製作をおこなった。

測定装置は、XY ステージ上にサンプルとなる色彩浮造り合板を置いて、そのサンプル上をサーボモータを用いてレーザー変位計を移動させてデータを収集する構造とした（写真 4）。装置は、最大 300×900mm のサンプルの測定が可能であり、レーザー変位計を固定する部分を Z（高さ）方向に稼働可能として対応できるサンプルの厚さの自由度を高めた。また、これまでより測定範囲が広がったことにより、膨大なデータ量で収集時間がかかることが懸念されたため、速度や精度、安定性で信頼性の高いサーボモータにより駆動することとした。

測定は、レーザー変位計から常時出力される電圧をデータロガーにより一定間隔で収集し、その後、パーソナルコンピュータによって距離データへの変換、最大、最小などの算出方法について検討した。本研究では、効率のよいデータ処理をおこなうためのデータの間引き機能や、収集したデータを DXF 形式に変換する機能も追加した。

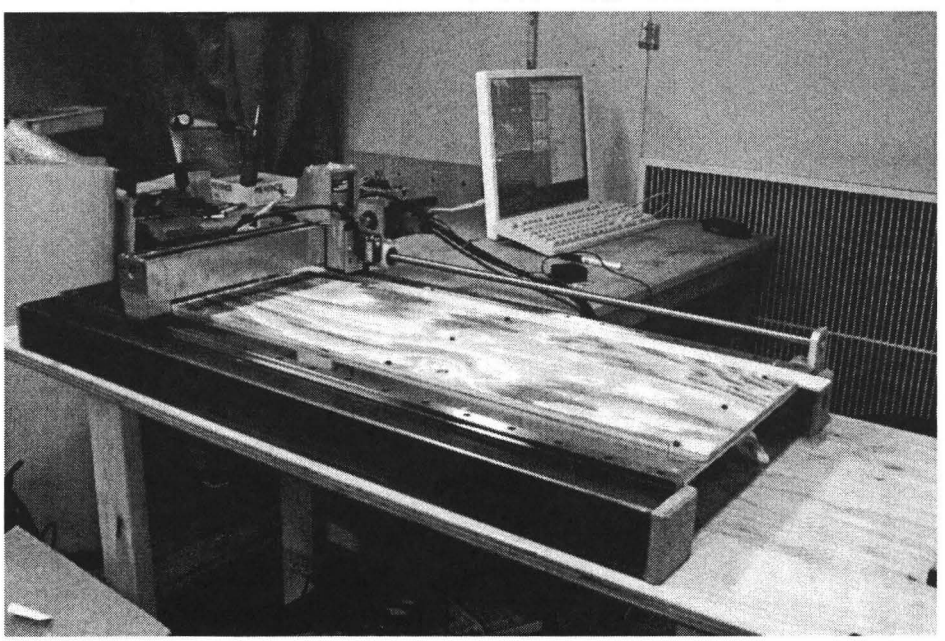


写真 4　製作された表面測定装置の外観

3－2．合板表面の測定とその可視化

サンプルの幅方向をX方向、長さ方向をY方向として測定した。データのサンプリングはX方向0.1mm間隔、Y方向10mm間隔でおこなった。サンプリングしたデータの厚さごとに、256階調のグレースケールを適用して描画をおこない、合板表面の凹凸の2次元による可視化を試みた。また、データよりX方向0.1mm間隔でY方向上の厚さの最大値、最小値を特定してサンプル全体での平均最大値および最小値とそれらの差を算出した。

一例として、カラマツのロータリ単板を用いて作製された合板表面を描画した2次元可視化データを図3に示した。

また、得られたデータをDXF形式に変換し、3次元可視化したものを図4に示した。図4のサンプルはカラマツのスライス単板で製造された色彩浮造り合板である。

今回の研究においては、サンプリングしたデータの数が膨大になるために、処理はVisual Basicを用いてプログラムを組んでおり、データの間引きや移動平均を算出するなどして補正をおこなったり、厚さの最大値、最小値等を算出するなど、研究者ら独自の手法によりおこなっている。したがって、今後の更なる測定実績の積み重ねやデータの処理方法の精査や測定精度の検証などが必要ではあるが、今回の研究により、考案された手法を精査して更なる検討を進めていくことで色彩浮造り合板のような起伏に富んだ表面をもつ材料を測定・評価できる一手法となり得ることが示唆された。

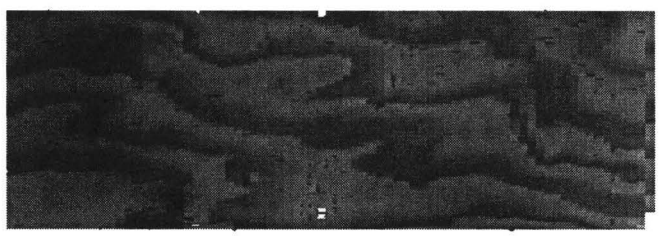


図3　カラマツロータリ単板で製造された色彩浮造り合板表面の2次元可視

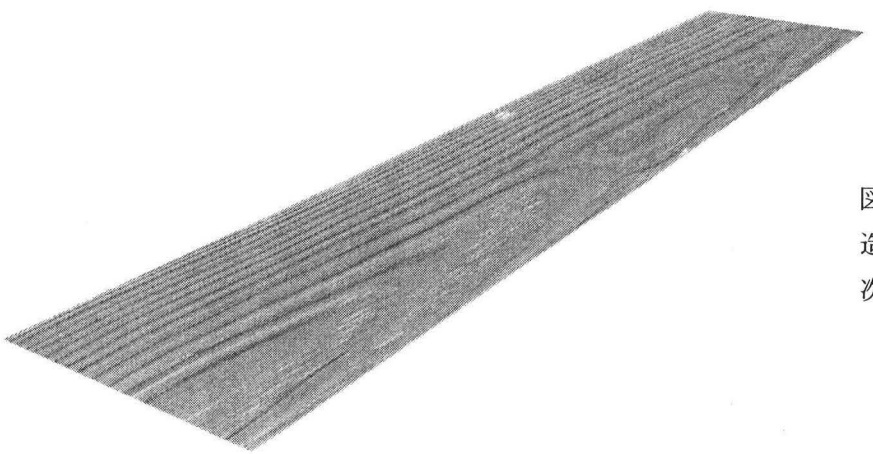


図4　カラマツスライス単板で製造された色彩浮造り合板表面の3次元可視

３－３．合板の着色部の面積測定

色彩浮造り合板の特徴の一つである色彩すなわち合板表面に露出した着色部の面積を測定した。測定方法としては、色彩浮造り合板表面をイメージスキャナ（EPSON 製：GT-F650）でデジタル画像として取り込み、その後 2 値化処理をすることで着色部と木部を区分して着色部の面積を全体に占める割合で算出した。浮造りの過程と着色部の面積との関連を検討するために、浮造り加工機に一回かける度に着色部の面積を算出した。

カラマツはトドマツよりも、同程度の着色部面積率となるのにより多くの浮造りの回数を要した。これはスライス単板でも同様の傾向が見受けられた。これは、カラマツの気乾比重が 0.53 でトドマツのそれの 0.42 よりも高いことに起因していると思われる。

また、今回の浮造りの工程は、研究代表者らが目視により判断をおこない、その結果ロータリ単板での適当と思われる着色部は 40～50%程度、スライス単板のそれについては 30%程度であった。単板の種類により、最適な着色部の面積率は異なるものと考えられる。

低価格、軽量シリコン系薄膜太陽電池の開発

岐阜大学大学院 工学研究科
教授 野々村 修一

1. 研究の目的

本研究では、シリコン系薄膜太陽電池の低価格、軽量化を実現するための要素技術である、[1]化学気相体積(CVD)法の一種であるホットワイヤーCVD 法を用いて透明電極の低温堆積技術の開発、および[2]高効率化が期待できる微結晶 SiC を用いたヘテロ接合 n-i-p-型シリコン系薄膜太陽電池の開発を行う。薄板 SUS 基板と光導入用の安価で薄いガラス板が使用可能となる。これらの技術開発により高効率を維持し、低価格化と軽量化を目指す。 上記の技術開発が実現できれば「透明電極の堆積温度の低下により、コストが安い薄い低融点ガラス上に良質な透明電極が形成できる。」「ホットワイヤーの輻射熱および励起種が表面反応を活性化し、低温基板においても結晶化が可能となり、移動度が大きな透明電極が作製可能となる。」が期待できる。

また、[2]に関しては、「薄い SUS 基板の使用によりシリコン系薄膜太陽電池自体の軽量化が実現できる。また光導入ガラスとして安価で薄いガラスが使用できるために軽量化と低価格化が実現できる。」 問題点として、「n-i-p 型シリコン系薄膜太陽電池の性能が耐熱ガラス/透明電極上に堆積した p-i-n 型シリコン系薄膜太陽電池の性能(アモルファスシリコン a-Si:H 太陽電池モジュール～9%、a-Si:H/微結晶 Si タンデム型太陽電池モジュール～13%)に劣っている。」点が挙げられる。この問題点を解決するために微結晶 SiC を用いたヘテロ接合技術を導入し、n-i-p 型シリコン系薄膜太陽電池の効率の改善を行う。上記の観点から、シリコン系薄膜太陽電池における経済性の問題点である「低価格化と軽量化」の実現が期待できる。

2. 研究の方法

本研究の目的のためにホットワイヤーCVD 法を用いる。この方法は高融点金属に電流を流しホットフィラメントを形成する。ホットフィラメント上にて原料分子を分解し、基板に薄膜を堆積させる方法である。高温フィラメントからの輻射エネルギーも利用できること、金属表面での触媒反応も期待できることから低温基板温度での酸化物透明電極の形成と結晶化による移動度の改善に有効である。また、水素の添加による原子状水素の効果も調べる。また原子状水素の発生効率がプラズマ CVD 法に比べて優れており、微結晶 SiC 薄膜の作製にも利用する。

研究計画として「透明電極の低温堆積技術の開発」を行う。 より低い基板表面温度にて結晶化が実現できる作製条件 (1)フィラメント温度依存性(2)水素添加に関する探索を行う。また「微結晶 SiC を用いた n-i-p 型シリコン系薄膜太陽電池の開発」を行う。微結晶 SiC のn型およびp型ドーピングを行い、ヘテロ接合 n-i-p 型太陽電池の効率向上を行う。(1) 微結晶 SiC に PH_3 ガスを用いて n 型ドーピングを行い、電気伝導度および光電気伝導度等の最適化を行う。(2) n-i-p 型太陽電池のn層、i 層、p層の膜厚の最適化を行い、変換効率の向上を目指す。TiO_2 薄膜の作製にはチタニウムテトライソプロポキシド(TTIP)『$Ti(OC_3H_7)_4$』を、SnO_2 薄膜の作製にはテトラエチルスズ『$Sn(C_2H_5)_4$』を用い、バブリング法にて蒸気を反応室内に導きフィラメントにて分解し、不純物は添加していない。

3. Cat-CVD 法を用いた SnO_2 薄膜の作製

Hot-wire CVD 法は高温フィラメントにて原料ガスを分解するために、酸素を含む原料ガスを使用する場合には金属フィラメントの酸化がフィラメントの劣化を誘発する。この問題により一般に Hot-wire CVD 法においては酸化物の製膜が困難と思われる。しかしながら実際には Hot-wire CVD 法を用いて酸化物の製膜が可能であ

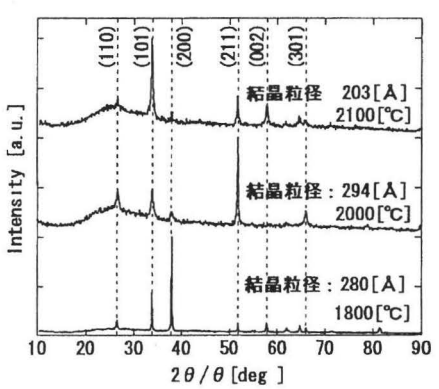


図1 フィラメント温度 1800[℃]、2000[℃]、2100[℃]における XRD スペクトルの比較

ることが分かった。

フィラメント温度 1800、2000、2100[℃]における XRD スペクトルの比較を図1に示す。フィラメント温度1800[℃]では結晶面(200)に最も強いピークが、フィラメント温度 2000[℃]では結晶面(211)、フィラメント温度 2100[℃]では結晶面(101)に強いピークが見られる。フィラメント温度の変化に伴い異なる配向性が変わることが分かった。

フィラメントの輻射熱によって基板表面の温度が変化したため、および後述する原子状水素の効果により、異なる配向面に成長したと考えられる。また、フィラメント温度2100[℃]では結晶粒径が294[Å]と大きいが、フィラメント2100[℃]では203[Å]に減少した。

フィラメント温度1800、2000、2100[℃]における電気伝導度の測定を行った。フィラメント温度2000[℃]にて 8.2×10^{-1}[S/cm]の電気伝導度が得られた。フィラメント温度 1800[℃]では電気伝導度が 4 桁程度減少している。この理由として、試料中のアモルファス成分が多いことが挙げられ、キャリア移動度やキャリア濃度の低下に起因している可能性がある。また、フィラメント温度2100[℃]の場合にも電気伝導度が4桁程度減少している。これは結晶粒径が小さくなることにより、移動度の低下を招いたと考えられる。電気伝導度 8.2×10^{-1}[S/cm]を有するフィラメント温度 2000℃にて作製した SnO2 薄膜のホール効果を測定した。多数キャリアは電子であり、そのキャリア移動度は～8 $cm^2/V\cdot S$、キャリア密度は～$2x10^{18}$ $/cm^3$ であった。市販の Asahi-U type SnO_2 の移動度は 30 $cm^2/V\cdot S$ (密度～$2x10^{18}$ $/cm^3$) であり、1/4 程度の電気伝導度まで迫ることができた。

製膜後の SnO_2 が多量の原子状水素に晒された場合には、水素が酸素を還元し、金属が析出するために酸化物の光透過性が失われることが知られている。しかしながら、酸化物の製膜時における原子状水素の影響は分かっていないのが現状である。製膜時に少量の原子状水素を添加することにより SnO_2 の結晶化に対する原子状水素の影響を調べた。

H_2 分圧 0.0[Pa]、0.5[Pa]、1.0[Pa]、3.0[Pa]、5.0[Pa]で作製した試料の XRD スペクトルを測定した。水素分圧 0.0[Pa]、0.5[Pa]、1.0[Pa]においては SnO_2 の配向面に対応する回折ピークが検出され、水素分圧 3.0[Pa]、5.0[Pa]では金属 Sn の配向面に対応する回折ピークが検出された。水素分圧 3.0[Pa]、5.0[Pa]では原子状水素により全ての酸素が還元され金属 Sn が堆積されたと考えられる。

水素分圧 0.0[Pa]では結晶面(211)に最も強い回折ピークが検出されたのに対し、水素分圧 0.5[Pa]及び 1.0[Pa]では結晶面(101)に強い回折ピークが検出された。このピークはフィラメント温度 2100[℃]、水素分圧 0.0[Pa]で作製した試料と同じ配向面を持っていた。配向面は基板表面温度に依存していると考えられるので、フィラメント温度を上昇させた場合と同様の効果が得られている。その理由として原子状水素が挙げられる。微結晶 Si 薄膜の製膜時には、原子状水素によりナノ結晶 Si が成長する。一般に Si の結晶化温度は 600℃以上が必要であるが、原子状水素の密度が増加すると基板表面温度が 150℃程度で結晶化が生ずる。酸化物薄膜である SnO_2 を堆積する際にも原子状水素は結晶化を促進しる働きがあること、さらに高密度の原子状水素が存在する条件では SnO_2 を構成する酸素原子をエッチングすることがわかった。原子状水素が SnO_2 の配向性に大きく影響を与え、原子状水素による凹凸形状の制御も可能であることがわかった。

4. Hot-wire CVD 法を用いた TiO_2 薄膜の作製

TTIP を原料として Hot-wire CVD 法を用いて TiO_2 薄膜の作製を行った。反応室内の圧力が 2torr にて 40～50 nm 程度の大きさのナノ結晶が得られている。XRD 解析より結晶構造はアナターゼ構造であった。さらに製膜中に少量の水素を添加することによりアナターゼ構造からルチル構造に変化することを見いだした。この結果は酸化物 TiO_2 の製膜においても原子状水素のエネルギーが酸化物ナノ結晶化させる効果があることを示している。原子状水素が膜表面の酸素をエッチングする効果と膜に原子状水素のエネルギーを与えて結晶化させる効果との競合現象と理解すれば得られた結果を説明できる。この効果は SnO_2 薄

膜の製膜において水素添加により結晶面の方位が変化した結果と同様に解釈できる。

5. 微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたヘテロ接合薄膜 Si 太陽電池

a-Si および a-SiC 薄膜は構造柔軟性のために不純物ドーピングの効率が悪く、この解決法として微結晶化することによりドーピング効率を上げることができる。薄膜 Si 太陽電池の窓層に用いられる a-SiC:H 薄膜を微結晶 SiC 薄膜に置き換えればドーピング効率の改善等が見込まれて、変換効率の向上に寄与できると考えられる。

n 型微結晶 3C-SiC:H 薄膜の電気伝導度を図2に示す。作製方法はモノメチルシランガスと水素の混合ガスを原料ガスとして用い、Cat-CVD 法を用いてコーニング 1373 ガラス基板上に製膜した。フィラメントの温度は 1700℃とし、ドーピングガスとしてホスフィン(PH_3)を用いて n 型化した。図3は基板温度 300, 400, 500℃に設定した場合のドーピング率を変えて作製した試料の電気伝導度の変化を示す。基板温度を 300[℃]から 500[℃]へと高くするに従って、電気伝導度が 5.0×10^{-4}[S/cm]から 8.2×10^{-2}[S/cm]へ増加した。また活性化エネルギーは 0.12[eV]から 0.06[eV]へ減少した。基板温度を高くすることによって微結晶 3C-SiC:H 薄膜の結晶性が高くなり、ドーピング効率と電子移動度が向上し、高い電気伝導度を示した可能性と n 型化させる粒界の欠陥生成とが合わさった結果と考えられる。

シリコン系薄膜太陽電池では、電子と正孔の寿命の差から p 側入射が一般的に採用されるが、B_2H_6 を用いた p 型微結晶 3C-SiC:H 薄膜の電気伝導度は 10^{-8}~ 10^{-6} S/cm と低く、n 型のような電気伝導度の改善は観られなかった。このために薄膜 Si 太陽電池において一般に採用される p 側入射の p-i-n 型太陽電池ではなく、n 型・c-3C-SiC:H 薄膜を裏面電界層に用いることにより Back Surface Field (BSF)効果を得ることが期待できる p 側入射 nip 型アモルファスシリコン (a-Si:H)薄膜太陽電池を試作した。

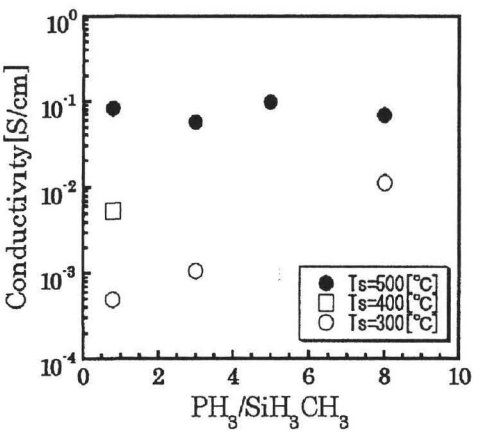


図2. Hot-wire CVD 法を用いて作製したPドープ微結晶 3C-SiC 薄膜の電気伝導度の基板温度及びドーピング率依存性

透明電極(Asahi-U, SnO_2)上に微結晶 3C-SiC:H 薄膜すると SiC を微結晶化させるために必要な原子状水素により透明電極は還元され、光透過率の低下を招く。この問題を回避するために TiO_2 薄膜を透明電極保護膜として使用した。透明電極/TiO_2 基板上に a-Si:H 太陽電池を作製し、p 層上に光入射側の透明電極として ZnO 薄膜をスパッタ法で堆積した。その後、収集電極としてアルミニウムを真空蒸着した。太陽電池構造は、透明電極/ TiO_2 (40nm)/ n-type μc-3C-SiC:H (25nm) / undoped a-Si:H (350nm) / p-type a-$Si_{1-x}C_x$ (20nm)/ ZnO/ Al である。変換効率の測定は p 層側より光照射を行った。太陽電池構造及び発電特性を図3に示す。変換効率は 6.06%が得られ、V_{oc}、J_{sc} 及び F.F. はそれぞれ 0.878V、11.1 mA/cm^2 及び 0.62 であった。

微結晶 SiC-3C-SiC:H 薄膜をドーピング層に用いたタンデム型薄膜太陽電池を作製する場合においては、図 3 に示したトップセルのシリコン薄膜太陽電池上に微結晶 3C-SiC:H 薄膜を堆積する必要がある。しかし SiC を微結晶化させるための原子状水素により Si 薄膜がエッチングされて微結晶 3C-SiC:H 薄膜が堆積できない問題がある。そのために中間層材料として酸化チタン薄膜の利用を試みた。シリコン薄膜上に酸化チタン薄膜を作製する場合には、シリコ

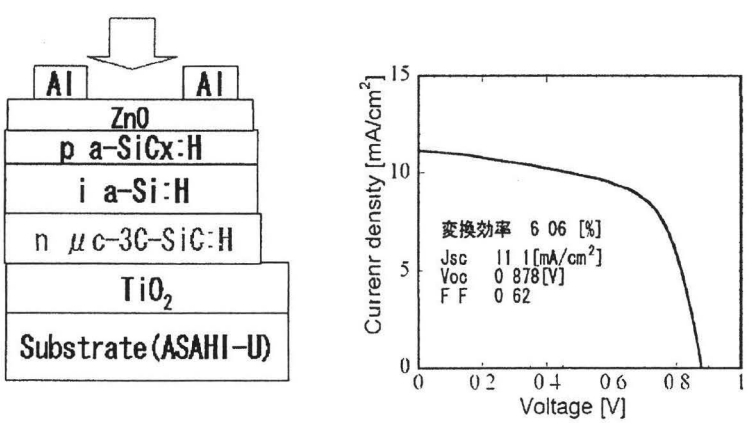


図3. 裏面反射基板を用いて n 型微結晶 SiC-3C-SiC 薄膜を裏面電界層に用いた素子構造と光起電力特性。

ン太陽電池中の水素の脱離を阻止するために酸化チタン薄膜の作製温度をシリコン薄膜の作製温度(～300℃)まで下げる必要がある。電子ビーム蒸着法を用いてコーニング 1373 ガラス基板上に酸化チタン薄膜を製膜した。ターゲットには、Nb_2O_5 を約 2[wt%]ドープした酸化チタンターゲットを用いた。基板温度300℃にて作製した TiO_2 中間層の電気伝導度は 9.1×10^{-6}[S/cm]であった。この電気伝導度は面積 $1cm^2$、厚さ 40nm の直列抵抗として概算すると、約 $10^{-1}\Omega$ であり、太陽電池の直列抵抗成分への影響は無視できると判断した。作製したタンデム型太陽電池にて、開放電圧 1.73[V]、短絡電流 4.96[mA/cm^2]、曲線因子 0.62、変換効率 5.31[%]を得た。太陽電池の開放電圧が 1.73V とシングル接合では得られない高い値となっている。また曲線因子も 0.62 と比較的高い値が得られており、酸化チタン薄膜の直列抵抗成分の影響も小さいと結論できる。以上の結果より、酸化チタン薄膜を用いることにより微結晶 3C-SiC:H 薄膜を用いたタンデム型薄膜太陽電池用の中間層形成技術の基礎を築くことができた。今後 a-Si:H/ 微結晶 Si:H タンデム型太陽電池に応用することにより効率の改善が期待できる。

6. まとめ

Hot-wire CVD 法を用いてn型微結晶 3C-SiC 薄膜を用いたヘテロ接合 a-Si:H 太陽電池を試作した。また原子状水素による透明電極の還元と薄膜 Si トップセルのエッチングを TiO_2 中間層により抑止できることを示した。また Hot-wire CVD 法を用いて SnO_2 薄膜と TiO_2 薄膜の作製手法を確立した。Hot-wire CVD 法において、酸化物薄膜の微結晶化にも原子状水素の効果があることを示した。本研究の目的である、[1]透明電極(SnO_2,TiO_2 等)を低温で作製可能とする技術開発を行うことによる低価格化や軽量化の実現。[2]スーパーストレート構造ではなく、薄い SUS 基板上に n 層、i 層、p 層の順に太陽電池を形成する n-i-p 構造(SUS 基板/n-i-p 接合 Si 薄膜/透明電極、光入射は透明電極側)と安価なガラス窓を用いる方法によりシリコン系薄膜太陽電池の低価格化と軽量化が実現可能となる。これらの要素技術が本助成研究にて確立できたと考える。

密集した漁村集落における風･熱環境の解明

熊本県立大学　環境共生学部

准教授　辻原　万規彦

１．本研究の背景と目的

地球温暖化問題を解決するための視点は様々であるが，建築分野からは，例えば，自然エネルギーを有効利用した省エネルギー対策を講じることが挙げられる。一方，人々が生活を営んでいる場所は様々であることを考えれば，高層建築物が建ち並ぶ市街地での熱環境の改善はもちろん，それ以外の密集した住宅地での熱環境の改善も大きな問題である[1)]。

そこで，熱環境の視点から既に環境が悪化している都市の密集した住宅地ではなく，更に密集していながらも自然エネルギーを有効に利用して良好な環境を形成していると言われる漁村集落に注目した。この密集した漁村集落を調査し，その成果を都市の密集した住宅地の劣悪な環境改善のためにフィードバックすることを考えた。また，対象スケールの大きな都市ではなく，小さなスケールである漁村集落を対象とした方が，より詳細に検討できると考えたことにもよる。

このような背景の基で，本研究では，集落内の住宅や路地で風通しが良いと言われている密集した漁村集落の熱環境を調査して，特に風などの自然エネルギー利用[2), 3)]の仕組みを解明することを試み，都市の密集した住宅地における熱環境を改善するための方策を得ることを目的とする。都市環境を改善するために，漁村集落の環境を調査してフィードバックするという視点からの研究はこれまでにはなく，本研究の大きな特色である。

具体的な目的は，次の２点である。

（１）漁村集落内の路地空間や空き地を流れる風の様相を把握することで，都市の住宅地における風の流れを改善するためのヒントを得る。同時に，漁村集落では高齢化が進み，居住者がいなくなったために住宅が取り壊されてできた空き地が点在するが，特にこの空き地が風通しをさらに良くしている可能性があるとの仮説を検証する。

（２）集落内の住宅の内部に流れ込む風の様相を把握することで，路地空間や空き地を流れる風との関係を明らかにする。そのため，集落内の住宅の開口の向きなどのデータ収集や住宅内部の温熱環境調査を行う。

２．研究の方法

熊本県天草市牛深町[4), 5), 6)]の真浦・加世浦地区[7), 8)]（図１）を具体的な調査対象とした。この２つの隣接する集落は古くは中世から，少なくとも江戸期から続いていると言われ，「背戸（せど）」（うらぐち）が語源とされる「せどわ」と呼ばれる細い路地が縦横に入り組んだ独特の集落形態（図２）が見られる[9)]。集中的な現地調査は，2007 年８月６日（月）から８月 10 日（金）と 2008 年８月 18 日（月）から８月 22 日（金）行い，適宜予備調査や補足調査を行った

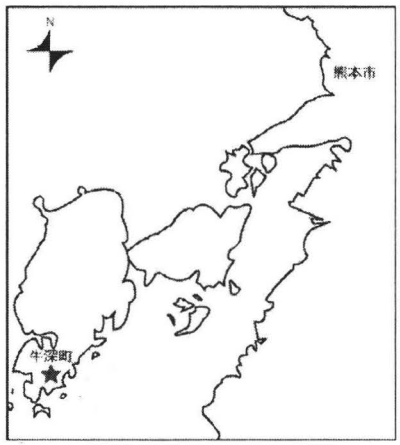


図１　調査対象地区の位置

図２　集落内と微気象の測定点

２．１　対象集落全体の微気象の観測

基礎的なデータを得るため，漁村集落内部の微気象を実測調査した（図２）。

2006 年６月４日（日）から 2008 年１月 27 日（日）まで，加世浦地区の消防団の屋上（地上高さ 5300mm）に自動気象観ステーション（MAWS201）を設置し，集落における気象データ（気温，相対湿度，日射量，放射収支量，雨量，気圧，風向・風速）を収集した。ただし，2006 年９月 17 日（日）から９月 24 日（日）は台風の影響で機器を一時撤収した。また，真浦地区の消防団の屋上（地上高さ 5300mm）にも同様の測定機器を，2007 年７月 20 日（金）から８月 18 日（土）まで設置した。なお，2008 年度については，集中的な現地調査の際のみ同様の自動気象ステーションを設置した。

集中的な現地調査の際には，2007 年度と 2008 年度とも，上記の自動気象観測ステーションのほかに，軒先などの雨に濡れない場所 25 ヶ所に，データロガー付き小型温湿度計（TR-72S, TR-72U）を設置し，１分間隔で気温と湿度を測定した。また，2007 年度の集中的な現地調査の際には，アスマン通風乾湿計（SK-RHG）と簡易風向指示器を用いて，集落内の 12 点で，１日４回，08:00（朝），12:00（昼），16:00（夕方），20:00（夜）の移動測定を行った。

２．２　漁村集落内部の空き地周辺での風の動きの把握

全国の数多くの農山漁村と同様に，対象とする集落でも住民の流出が多く，空き家になった後，安全上の理由などから家屋を取り壊した空き地が散見される。空き地や入り組んだ路地が集落内部の風の流れに与える影響を明らかにするために，実測調査を行った。

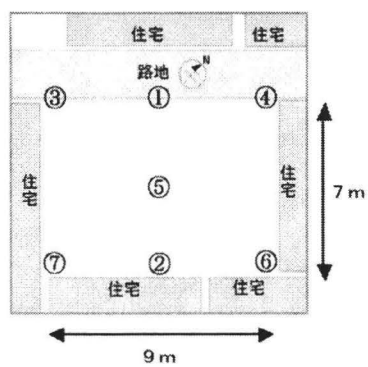


図３　空き地内部の測定点

実測は，2007 年度の集中的な現地調査の際に行った。対象とした空き地は真浦地区の空き地で，北西側は狭い路地に面し，その他の三方は２階建ての住宅に囲まれている。空き地の中央部に３次元超音波風速計を常時設置し，もう１台の３次元超音波風速計を空き地の周辺部の６ヶ所に移動させ，１時間（１ヶ所につき 10 分間の測定を６回）を１セットとし，2007 年８月７日（火）の朝から８月９日（木）の昼まで，合計 10 セットの測定を行った（**図３**）。

さらに，実測を行った空き地とその周辺の住宅37軒ならびに６ヶ所の空き地と路地をモデル化し，CFD を用いて，空き地とその周辺地域の気流性状と温度分布の解析を行った。また，北西風（山風）の場合と南東風（海風）の場合における空き地内部の気流と温度変化に着目し，周辺地域への影響を解析した。**表１**に計算条件，境界条件ならびに風向パターンを示す。

表１　計算条件と解析条件

乱流モデル	標準k－εモデル
解析領域	110m (x) ×90 0m (y) ×35 m (z)
メッシュ数	107 (x) ×106(y) ×4 6(z)
温度指定	解析領域: 30 ℃
	流入部;3 0℃
流体密度	ρ=1. 293×1 0^-3kg/m^3
境界条件	建物壁面: 一般化対数則
	流入部:流速固定　u= 1. 0m /s
風向パターン	東、西、南、北、南東(海風)、北西(山風)

２．３　漁村集落内部の路地空間での風の動きの把握

集落全体からの視点ではなく，個々の路地に着目し，路地を通り抜ける風の実態把握を目指して，特徴ある路地を選定し，実測調査を行った。

実測は，2008 年度の集中的な現地調査の際に行った。対象は，真浦・加世浦地区内の路地，海側駐車場ならびに真浦・加世浦地区の北側に位置する桜木展望台である。2008 年８月 20 日（水）には，性質が異なると考えられる７つの路地（**表２**）を選定し，路地に形成される風の流れを探るため，各路地５m 間隔の６ヶ所（25m）で風向・風速を測定した。８月 21 日（木）では，さらに４つの路地に絞り，選定した路地の風と交差する路地や空き地との関連性を探るため，各路地内の６ヶ所で風向・風速を測定した。なお，路地６での測定では海側駐車場での測定も１ヶ所とした。

表２　調査対象とした路地の特徴

路地	形状	方向	幅員※	位置
1	直	南北	中	山側
2	曲	南北	広	
3	直	東西	狭	
4	曲	南北	広	
5	直	南北	中	海側
6	直	東西	狭	
7	直	南北	狭	

※幅員は「広:3m～，中:2～3m，狭:1～2m」とする．

Tr 式微風速計（AM-09T）を用いて風速を測定し，手製の風向指示器（２mm 厚のスチレンボードを使用）とポリプロピレン製の吹き流しを用いて風向を目視した。測定高はそれぞれ 1550mm，800mm とし，測定間隔は両日とも 15 秒で，各路地で 10 分間の測定を行った。

２．４　漁村集落における住宅の風・熱環境の把握

調査対象集落で，2005 年度に筆者らが行ったアンケート調査の結果，自宅内の風通しについて肯定的な意見（「風通しが良いと思う」と「どちらかと言うとそう思う」を合わせたもの）が約 66%を占めた[10]。このような建物内の環境の実態把握を目指して，実測調査を行った。

対象は真浦公民館と加世浦公民館の２軒とした。当初，集落内の空き家を対象として実測を行うことを計画していたが，使用許可の関係で，公民館を対象とすることになった。住宅と公民館ではその構造や間取りが異なることから，集落内の一般的な住宅内部の温熱環境を把握できたわけではなく，結果の扱いについては注意を要する。

表３　真浦公民館における開口部の開閉パターン

	真浦・広間		真浦・奥	
	玄関	東西の窓	勝手口	東西の窓
８月６日（16:20～19:30）	開放	開放	開放	開放
８月７日（09:40～20:30）	開放	開放	開放	開放
８月８日（09:45～20:30）	閉鎖	開放	閉鎖	開放
８月９日（09:45～20:30）	閉鎖	閉鎖	閉鎖	閉鎖

実測は，2007 年度の集中的な現地調査の際に行った。各公民館の玄関に面する「広間」と勝手口に面する「奥」の部屋の中心部の床上高さ 1200mm で，気温，湿度，グローブ温度，風

速を測定した。また，垂直温度分布を調査するため，各公民館の広間と奥の部屋の中心部と，加世浦公民館の広間の中心と玄関との間の５カ所で，床上高さ0(床面)，225，450，900mm，高さ方向の中心（天井高の半分の高さ），天井面から900，450，225，0mm（天井面）の計９点で温度を測定した。真浦公民館（**図４**）では，このほかに風速計を２台設置し，開口部の開閉パターンに合わせて風速計を移動させながら測定を行った。**表３**に玄関，勝手口と窓の開閉パターンを示す。開口部を開けることを「開放」，閉めることを「閉鎖」と略した。

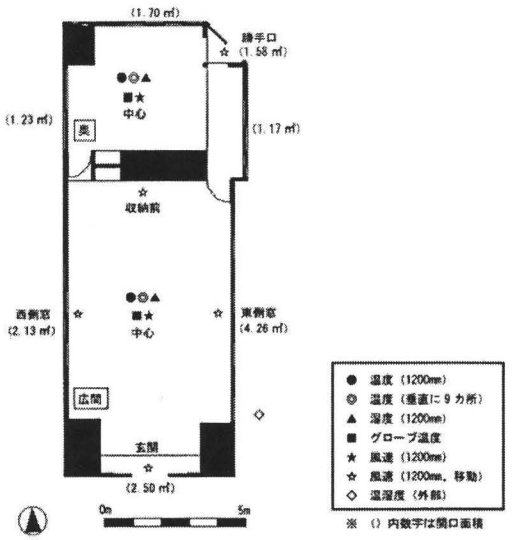


図４　真浦公民館の平面図と測定点

３．調査の結果と考察

３．１　対象集落全体の微気象

一例として，2007年８月７日の気温と風向の分布図（**図５**）を示す。これらの分布図から，調査対象とした真浦・加世浦地区は次のような４つのゾーンに分けることができた。

①は，真浦地区の奥（北側）かつ山側のゾーンで，午後から気温が低くなるゾーンである。三方を山で囲まれているため，山からの冷気によって気温が低くなったと考えられる。②は，真浦地区の手前（南側）かつ海側のゾーンで，午後から夜にかけて気温が高くなるゾーンである。コンクリート舗装面が多く，その影響により気温が高くなったと考えられる。③は，加世浦地区の奥と中央部（北側）のゾーンで，一日を通して他よりも気温が高く，ヒートアイランドを形成しているゾーンである。建物が密集しているため，気温が高くなったと考えられる。④は，加世浦地区の手前（南側）のゾーンで，午前中に気温が高くなるゾーンである。朝日があたるため，気温が高くなったと考えられる。

これらのゾーンの形成には，海風や山の冷気などの地形の影響と，密集の度合い，さらには地面の被覆の違いなどが影響を与えていると考えられた。

３．２　漁村集落内部の空き地周辺での風の動き

３．２．１　実測による空き地の気流性状

10回の実測結果のうち，例として，2007年８月７日に行った１回目（08:40ー09:56）と４回目（16:30ー17:40）の結果を**図６**と**図７**に示す。

１回目（08:40ー09:56）では，北西部の路地近傍では測定ポイント③，①ならびに④ともに北西から西の風が吹いていた。また，空き地中央部の測定ポイント⑤においても，同様に北西の風が確認できた。南東部の住宅の壁面付近では，壁面に沿って北東もしくは南西へ風が吹いていた。風速は，路地の近傍で約0.5m/s～0.7m/s，空き地の中央部で約0.4m/s～0.5m/s，南東の住宅の壁面付近で約0.2m/s～0.4m/sと，路地に近づくにつれて大きくなっていた。続く２回目（10:00ー11:10）では，路地の近傍の風向が路地に沿って北東もしくは南西へと変化したが，空き地中央部と住宅の壁面付近では大きな変化は見られなかった。風速も全体的に0.1m/sほど上昇したが，大きな変化は見られなかった。４回目（16:30ー17:40）になると，

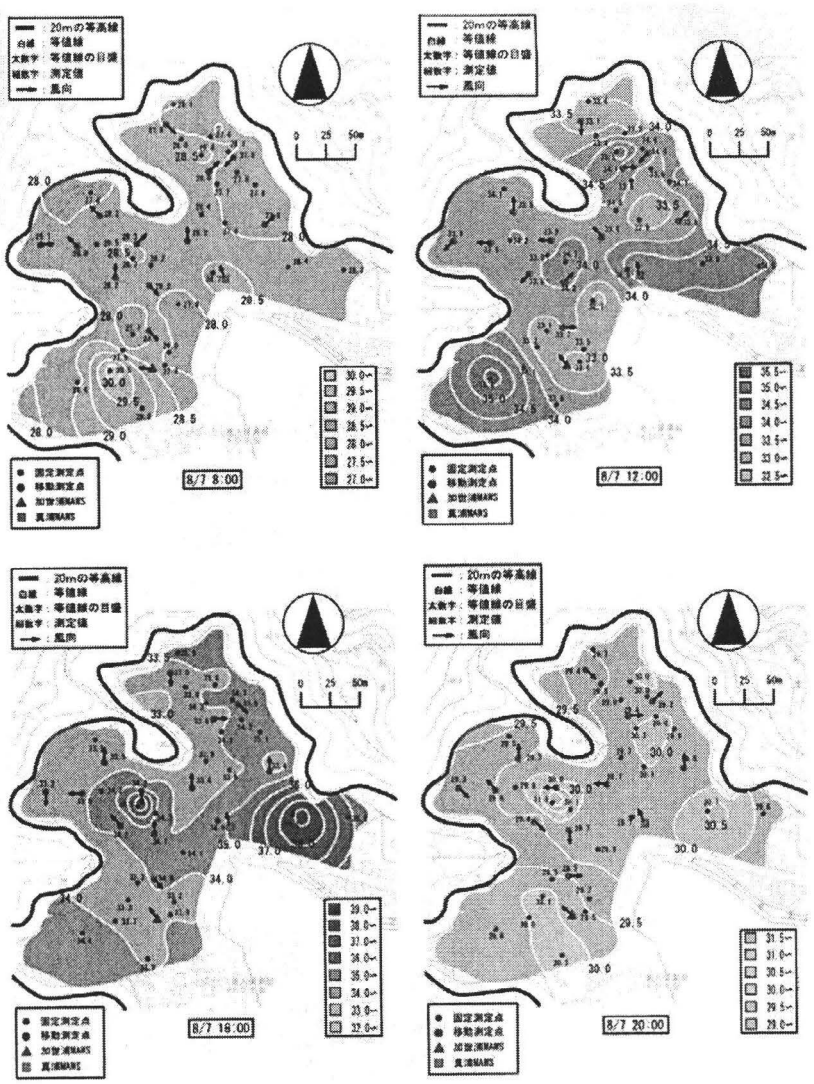


図５　2007 年８月７日の気温と風向の分布

風速が小さくなり，測定ポイント①，⑤ならびに②のラインで南東の風が発生した。

これらの結果から，空き地上空の風向と空き地内部の風向は必ずしも一致しないことが明らかになった。

３．２．２　CFD による空き地とその周辺の気流性状と温度分布

上空が北西風（山風）の場合と南東風（海風）の場合の CFD を用いた解析の結果として，地表 1600㎜ の平面での温度等値線図と風速ベクトルを**図８**と**図９**に，空き地中央部の断面での温度等値線図と風速ベクトルを**図 10** と**図 11** に示す。

図８では上空が北西風（山風）のとき，空き地の内部では逆に南東の風が発生している。

図 10 では，上空を通る北西風（山風）が空き地の南東部の住宅の壁面に衝突して下降し，空き地の内部で循環流が発生している。一方，**図 11** では，北西風（山風）の場合に比べ，上空を通る南東風（海風）のうち住宅の壁面に衝突する気流が少ないため，空き地の内部へ流入する気流の量が少ない。そのため，空き地の内部では循環流が発生することがなく，地表へ向かって気流が下降している。これらの気流の変化は，空き地の北西部と南西部にある住

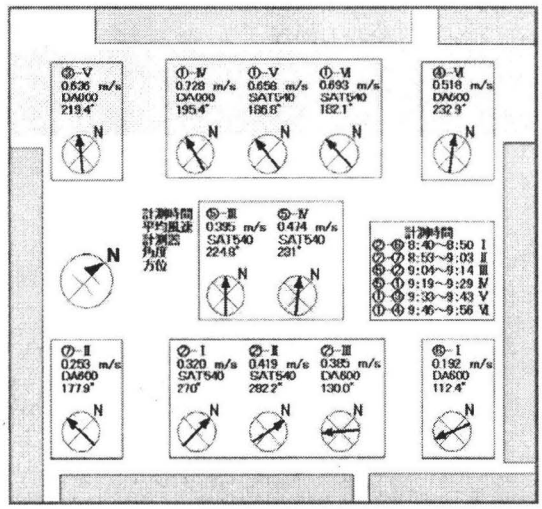


図６　空き地内の風向・風速の測定結果
８月７日　１回目（08:40ー09:56）

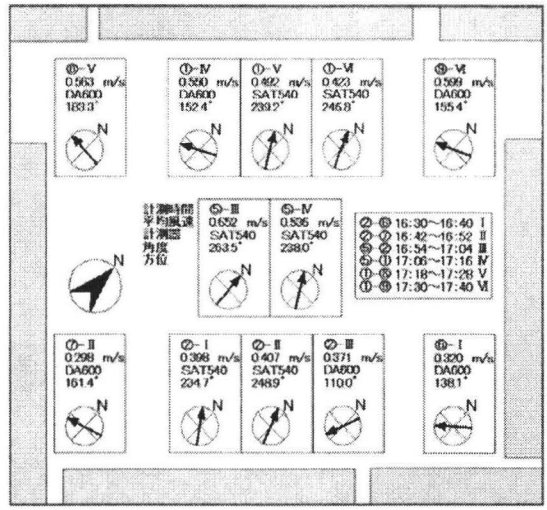


図７　空き地内の風向・風速の測定結果
８月７日　４回目（16:30ー17:40）

宅の高さの違いによって発生するものと考えられる。

また，断面での温度分布では，北西風のときには空き地の内部に発生した循環流によって地表の熱が撹拌されているが，南東風のときには地表に熱が滞留したままである。

３．２．３　実測結果と CFD による解析結果の比較

実測の結果と CFD による解析の結果を比較すると，次のようなことが言える。

上空が北西風(山風)の場合，CFD による解析結果では，路地の近傍に位置する測定ポイント③，①ならびに④付近では南東の風が発生しており，実測結果の傾向と一致する。また，測定ポイント⑤付近でも同様に南東の風が確認できる。一方，上空が南東風(海風)の場合，

上空の風向：北西風（山風）

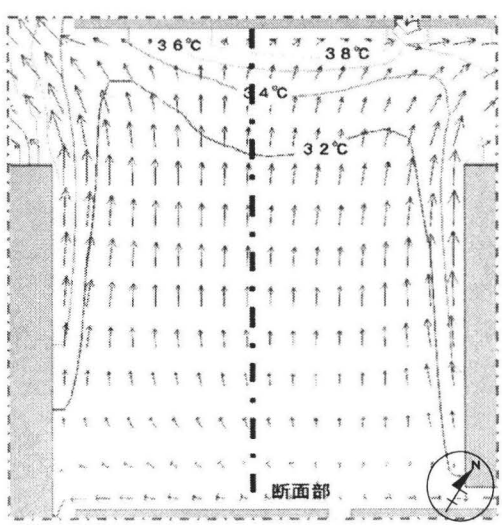


図８　地表 1600mm 地点での平面の
温度等値線図と風速ベクトル

上空の風向：南東風（海風）

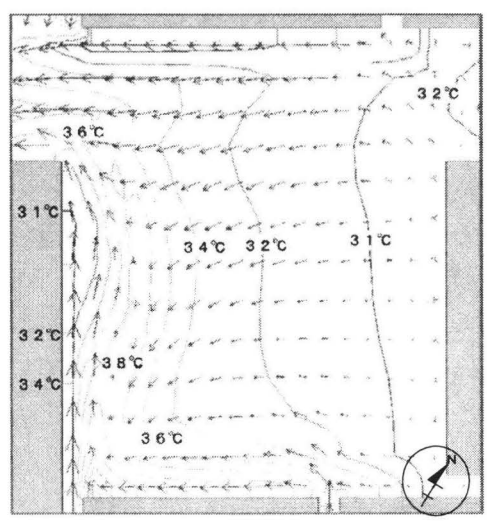


図９　地表 1600mm 地点での平面の
温度等値線図と風速ベクトル

上空の風向：北西風（山風）

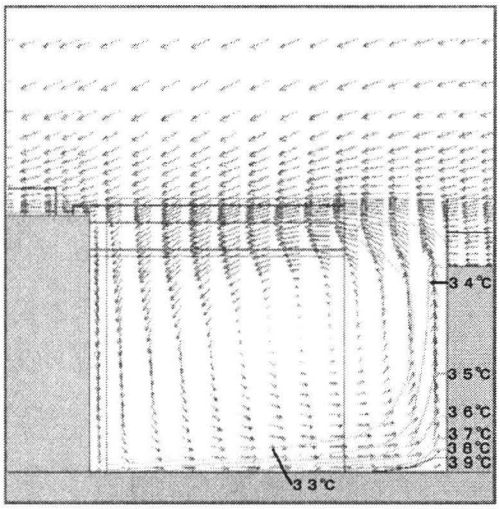


図 10　空き地中央部の断面での
温度等値線図と風速ベクトル

上空の風向：南東風（海風）

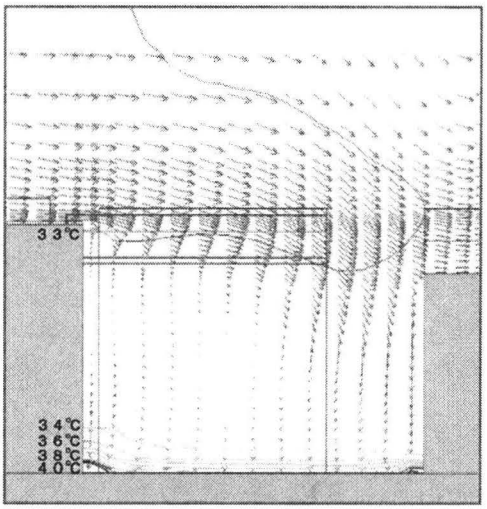


図 11　空き地中央部の断面での
温度等値線図と風速ベクトル

CFD による解析結果では，測定ポイント③，①，④ならびに⑦付近では実測結果と同様に北東の風が確認できる。しかし，測定ポイント⑤と②付近では，実測結果では南東の風が吹いているのに対し，CFD による解析結果では北東の風が発生している。このように CFD による解析結果と実測結果では異なる部分もあるが，全体的な気流は再現されていると言えよう。

これらの比較より，実測の際，午前中に空き地中央部にあたる測定ポイント⑤で常に南東風が記録された要因は，空き地の上空を通る北西風が住宅の壁面に衝突して下降し，発生した循環流によるものだと推察される。南東風が吹く午後でも，空き地中央部では午前とほぼ同様の風向が記録された。しかし，午後の風向を想定して行った CFD による解析結果では，測定ポイント⑤付近では実測結果と異なる風向となったため，CFD による解析結果により実測の際の上空の風向を判断することは難しい。

上空の風向が北西風の場合と南東風の場合で空き地の内部の気流性状が異なる要因は，空き地の北西側と南東側に立地する住宅の高度差によると考えられる。その結果，空き地の内部へ流入する気流の量が著しく異なっており，密集した集落における通風を空き地によって促進するためには，空き地の大きさと周辺住宅の高低差の比率が関わってくると推察される。

３．３　漁村集落内部の路地空間での風の動き

３．３．１　路地に形成される風

2008 年８月 20 日の実測結果の一例として，朝の結果を**図 12** に示す。

路地２と５では一定方向への風の流れではなく，測定した場所によって風向の異なることが多い。これらの路地が集落の奥に位置していることや，交差する路地や空き地から吹き込む風によって風向が乱れていると考えられる。路地４，６ならびに７では，比較的一定方向の流れが形成されている。しかし，空き地近くの測定場所のみ風向の異なることがあり，空き地の存在が風向の異なる要因になっていると推測される。路地１と３では，一定方向の流れが形成されている。これは，これらの路地が山の近くに位置していることや，空き地がなく交差する路地から吹き込む風が少ないためであると考えられる。

路地の方向と基準風向（真浦地区のMAWSの風向）については，両者が平行である場合と平行でない場合にわけられる。一般に，実測における街路内風向は街路に直交な方向に上空風が吹いたときには循環流が発生することにより逆流を示し，街路方向に上空風が吹いたときには同じ方向へ流れるという関係に単純に沿うものではなく，いずれにしても街路に平行な風になることが多い[11]とされている。今回は平行であるパターンが少ないが，両者が平行な場合は，基準風向と路地風向は一致することが多く，平行でない場合は，路地に沿った風向となることが多い傾向が確認され，平行な場合には，路地１のように逆の風向も確認された。

なお，８月 21 日の結果は，紙幅の関係から省略した。

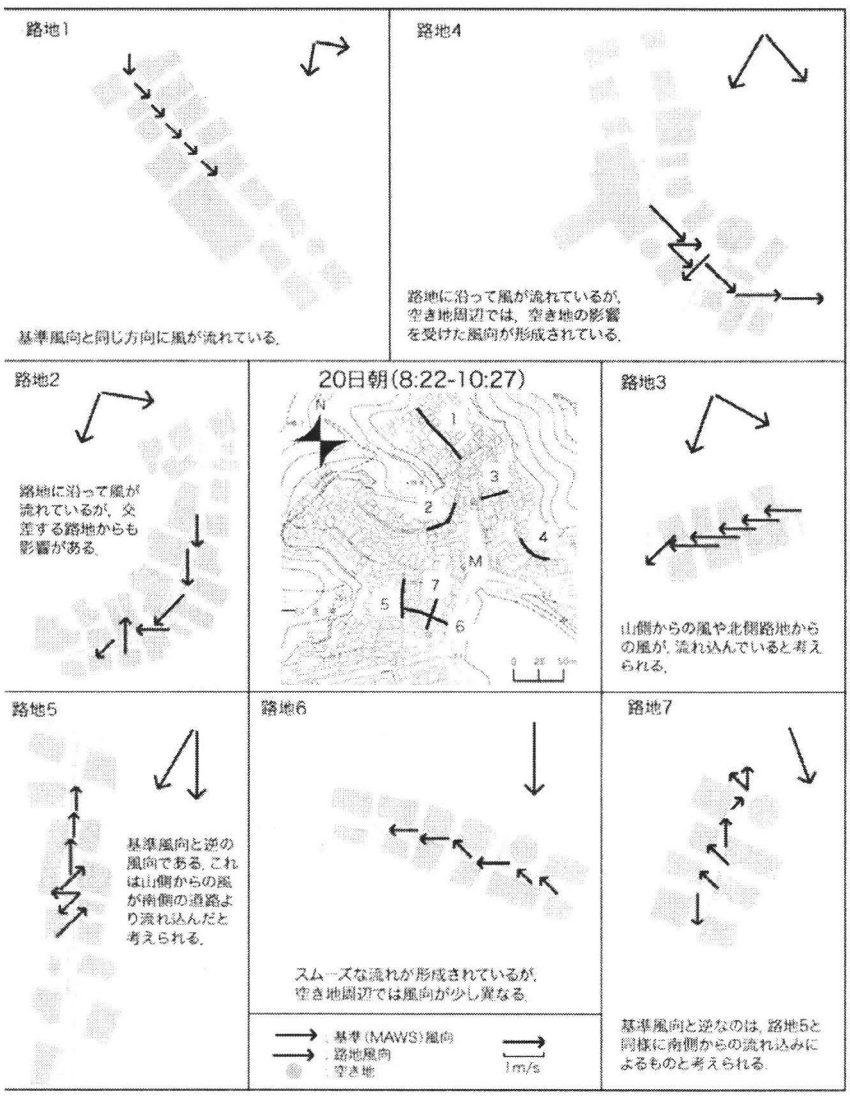


図 12　2008 年 8 月 20 日の路地における風の様子（朝）

３．３．２　風速比による比較

2008 年 8 月 20 日の実測結果から算出した風速比の分布図を**図 13** に示す。なお，風速比は，基準風速（真浦地区の MAWS の風速）に対する路地における風速の割合である。

路地の幅員と形状については種別の明確な差は現れなかった。幅員に関しては，それぞれの差が１－２m 程度のために風速への影響が明確に現れなかったと考えられる。形状に関し

ては，曲線状の路地２と４についてみると，路地４の風速比が大きい。これは路地４が山に面した位置にあり山側に空き地があるため，同じように山の近くだが集落の奥に位置する路地２よりも風を路地内へ取り込みやすくしていると考えられる。

路地の方向については，基本的に路地に平行な基準風向の場合に風速比が大きくなる傾向にあるがすべてではない。東西方向の路地３と南北方向の路地７を比較すると，路地３は夕方のみ路地に平行な基準風向であるのに対して，路地７は朝昼夕すべてで一致している。しかし，風速比は路地３の方が大きい。また，路地４では路地に直交する基準風向であるが，風速比は大きい。路地の方向のみならず，路地の位置やこれまでの研究でも指摘されている空き地の存在が路地における風速に関係していることが推測される。

時間帯で比較すると，夕方の風速比が大きい。これは基準風速が弱まる一方で，路地風速はあまり弱まらないためである。特に山側でその傾向が顕著であり，日没前後に吹き始める山風の影響と考えられる。これは夏季における夜間の排熱促進に有効であると推測される。

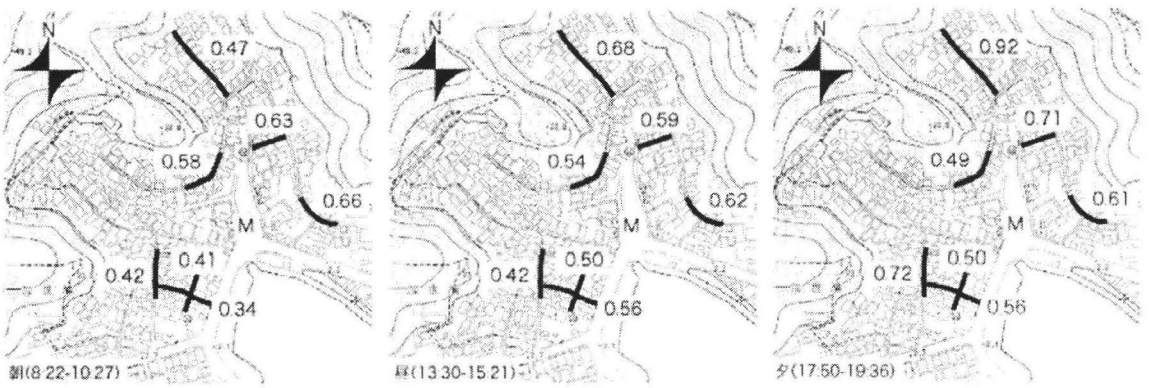


図 13　8 月 20 日の各路地の風速比

３．４　漁村集落における住宅の風・熱環境

３．４．１　公民館内部の温熱環境

2007 年度の真浦公民館の温熱環境の実測結果より，室内外温度差と開閉パターンの影響から，一日を 08:00ー14:00，14:00ー20:00，20:00ー08:00 の３つの時間帯に分けた。

（１）08:00ー14:00 の時間帯（図 14）

外気温の温度上昇に比べ，室内の温度の上昇が緩やかであるため，外気温より室内の温度が低い時間帯である。開口面積が小さい開閉パターンほど室内の温度が低く，開口部からの気温の高い外気の侵入を防いでいたと考えられる。真浦地区では公民館の南側に公園や駐車場があり，そこで熱せられた空気が，海からの南風で室内に入ったと推測される。

（２）14:00ー20:00 の時間帯（図 15）

室内の温度が外気温と同じ，もしくは外気温より高くなる時間帯である。８月７日と８日は自然換気により室内から屋外へ排熱されるが，８月９日は閉鎖しているため熱が逃げない状態であったと考えられる。８月９日は 14 時頃から，室内の上部から温度が上昇しており，８月７日と８日においても，床面と天井面のみ温度が高くなっている。このことから，天井面と床面から対流によって空気が暖められて上昇し，天井近傍に滞留したと考えられる。

（３）20:00ー08:00 の時間帯（図は省略）

８月７日と８日では，開口部を閉鎖したことで夜間の室内外温度差は約２℃で一定しており，すべての開口部を閉鎖した 20:30 頃から気温が一旦少し上昇している。このことから，20:30 以降も天井や壁からの放熱が続いていると推測される。したがって，躯体が完全に冷却されるまで自然換気を行えば，室内の温度上昇を防ぐことができると考えられる。

（４）窓の開閉パターンと温熱環境

８月７日と８月８日を比較した結果では，08:00ー14:00 の間は玄関と勝手口を閉鎖したことで屋外の熱気の流入を防ぎ，室内の温度の上昇を抑えられたと考えられる。一方で，一日を通してみると，卓越風向と一致する玄関と勝手口の閉鎖は室内の温熱環境の改善に大きな影響を与えないと考えられる。また，08:00ー14:00 と 20:00ー08:00 の室内外温度差は３日間ともほとんど同じで，14:00ー20:00 は開口面積の小さい８月８日の方が低い。このことから，室内の温度上昇を防ぐための適切な通風量があると考えられる。

次に，８月７日と８月８日は，室内の温度が外気温とほとんど同じか少し低い温度で推移しているが，８月９日は 14:00 頃に外気温より高くなり，17:00 頃に室内外温度差が最大となる。この温度推移の状況から，おおよそ 12:00 までは開口部を閉鎖して換気を行わず，12:00 以降に排熱を行うことが望ましいと考えられる。ただし，今回は室内の発熱が全くない状態での結果であり，実際の生活を想定した場合には午前中から換気を行って排熱を促進した方が良い場合もあり得る。

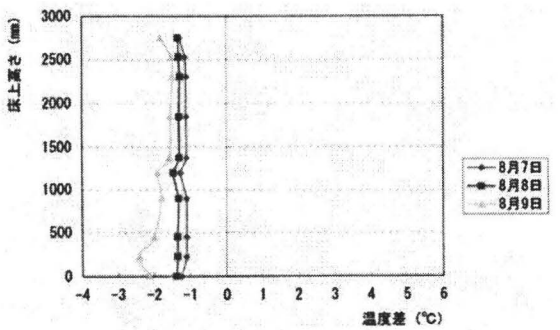


図 14　10 時の真浦公民館の広間における室内外温度差

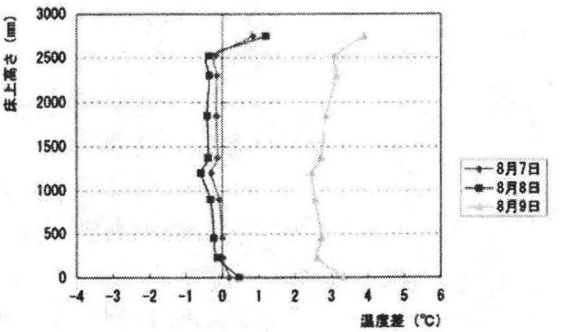


図 15　16 時の真浦公民館の広間における室内外温度差

３．４．２　公民館内部の通風環境

８月７日と８日の公民館内部と外部の風速比を，それぞれ**図 16** と**図 17** に示す。

真浦公民館と加世浦公民館ともに，広間と奥では，広間の風速の方が大きい。次に，真浦地区の消防団の屋上に設置した MAWS の風向は，８月７日と８日はともに南東であるが，このときすべての測定点で風速比はほぼ同じである。このことから，風上と風下の２面に開口を設けることが通風量の増加に寄与していないと考えられる。密集した集落における建物の通風計画は，卓越風向のみを考慮した方法では不十分である可能性が示唆される。

４．まとめ

集落内の住宅や路地で風通しが良いと言われている密集した漁村集落の風・熱環境の解明を試み，都市の密集した住宅地における熱環境を改善するための方策を得ることを目指して

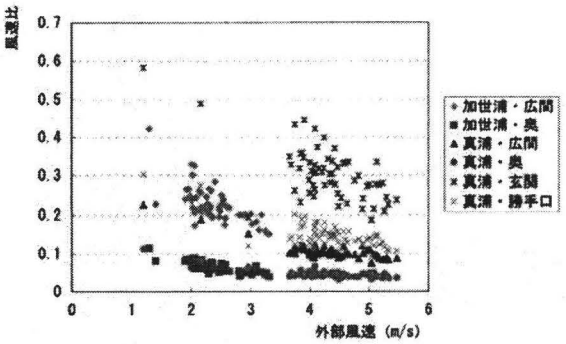


図16　8月7日の公民館内部と外部の風速比

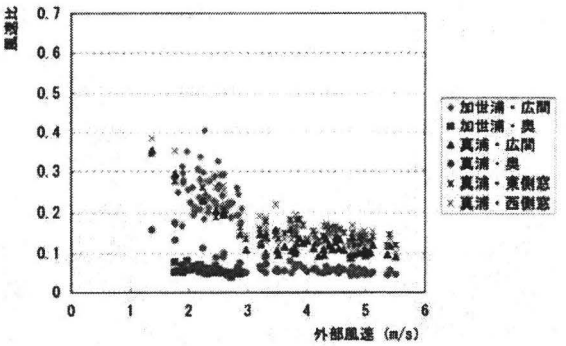


図17　8月8日の公民館内部と外部の風速比

研究を行った。その結果，以下のようなことが明らかになった。

（1）集落全体の微気象からみたゾーン分け

調査対象とした密集した漁村集落である熊本県牛深町真浦・加世浦地区は次のような4つのゾーンに分けることができた。これらのゾーンの形成には，海風や山の冷気などの地形の影響と，密集の度合い，さらに地面の被覆の違いなどが影響を与えていると考えられた。

筆者らによる対象集落の形成過程についての既往の研究[12]とこれらのことから，最も早くから集落を形成していた場所では比較的快適な温熱環境を形成しており，その後埋め立てが進んで，結果として住宅に取り囲まれた場所ではごく小さな規模ではあるもののヒートアイランドを形成していると指摘できる。また，最後に埋め立てられた海岸線に接する場所では，海風の影響もあり，比較的快適な温熱環境を形成していると指摘できる。

（2）集落内の空き地周辺での風の動き

真浦地区の空き地における風向・風速の実測により，上空風の風向と空地内の風向が必ずしも一致しないことがわかった。また，CFD を用いた空地と周辺地域の気流性状と温度分布の解析結果より，上空風が低い住宅から高い住宅の方へ吹く場合，上空風が住宅の壁面に衝突し空地内へ下降して循環流が発生していることがわかった。さらに，実測結果と CFD を用いた解析結果の比較により，上空風と空地の内部の風向が異なる要因は，空地の内部で発生する循環流によるものであると推察された。

これらのことから，密集した街区に適切な形状の空間を設けることによって，この空間から路地を通して風が分配され，周辺街区の通風が促進されると考えられる。

（3）集落内の路地空間での風の動き

路地形態の違いによる風環境の差は明確には現れなかったが，路地の向きと集落上空の風向が一致している場合に，必ずしも風速比が大きくなるとは限らなかった。集落の境界からの路地の位置や周辺環境も関係していると考えられた。また，路地に吹く風は交差する路地や空き地からの風の影響を受けるが，交差する路地が海に対して直交している場合，また山側に空き地のある路地では，特にこの傾向が顕著に表れた。

筆者らによる対象集落の風通しについての既往の研究[13]とこれらのことから，集落の境界周辺の路地では，比較的一定方向の通風が得られることで風通しの良さを感じることができるのに対し，集落の中心部では様々な要因から乱れが大きく，風通しの良さを確保するには，上記の（2）でも触れたように，空き地を活用することが有用であると考えられる。

（4）集落における住宅の風・熱環境

実測を行った公民館では，20:00 を過ぎても壁や天井からの放熱が続いていることが推測され，躯体が完全に冷却されるまで自然換気を行うことが室内の温度上昇を防ぎ、快適に過ごすために必要だと考えられた。また，日中では，開口部を東西窓のみ開放，すべて開放，すべて閉鎖の順に室内の温度が低かったことから自然換気を行う際には適切な通風量があると考えられた。

これらのことから，卓越風向だけではなく様々な風向に対応する開口部を適切な面積となるように，なおかつ適正な時間帯に開閉を行うことで，住宅内の快適な環境を確保できると考えられる。

付記

本研究は，共同研究者である熊本県立大学環境共生学部の細井昭憲 准教授，安浪夕佳 助手，熊本県立大学環境共生学部４年生の坂田佳寿子さん(2008 年３月卒業)，田邉雄太郎君(2008 年３月卒業)，八木綾子さん（2009 年３月卒業）との共同研究による成果である。実測にあたっては，加世浦地区区長 鯖江要様と真浦地区区長 平尾一喜様をはじめとする，両地区住民の皆様，熊本県立牛深高等学校教諭 渡邉史先生に多大な協力を頂いた。

参考・引用文献

1) 辻政宏，鉾井修一：住宅密集地域における路地空間および住戸内の夏期温熱環境に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第 562 号，pp. 23-30，2002. 12
2) 鳴海大典，水野稔，下田吉之：地域気候特性に配慮した地域・建築計画指針に関する基礎的検討-都市周辺の丘陵地を対象とする気候解析を通して-，日本建築学会計画系論文集，第 561 号，pp. 93-100，2002. 11
3) 竹林英樹，森山正和，芝池英樹：夏季夜間における山麓冷気流の市街地熱環境緩和効果に関する研究，日本建築学会環境系論文集，第 591 号，pp. 69-74，2005. 5
4) 梅田悦志：牛深漁業の今昔，梅田悦志，1998. 6
5) 鶴田文史編著：天草潮深のふるさと，牛深歴史文化遺産の会，2007. 8
6) 吉川茂文：写真集　牛深今昔，熊本日日新聞情報文化センター，2001. 7
7) 栗津八郎：牛深市真浦・加世浦漁村集落に関する研究，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第 2 号，pp. 145-148，1972. 3
8) 石橋和幸，延藤安弘，横山俊祐：高密漁村集落における集住作法について-熊本県牛深市真浦・加世浦地区の事例-，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 41-42，1989. 10
9) 廣木よしこ：町並みスケッチ 10 牛深市真浦・加世浦地区，まいらいふ（熊本日日新聞社）2005 年 10 月号，pp. 14-16，2005. 10
10) 加藤浩司，山本美沙，辻原万規彦，岡本孝美：夏季の風環境に関するアンケート調査ー密集した漁村集落の生活環境に関する研究　その３ー，日本建築学会九州支部研究報告，第 45 号・２〔環境系〕，pp. 453-456，2006. 3
11) Y. Nakamura and T. R. Oke：Wind，Temperature and stability conditions in an EAST-WEST oriented urban canyon，Atmospheric Environment Vol. 22，No. 12，pp. 2691-2700，1988
12) 黒田侑香，野口裕子，加藤浩司，山本美沙，辻原万規彦：集落形成の歴史と海辺の暮らしに関する聞き取り調査ー密集した漁村集落の生活環境に関する研究　その５ー，日本建築学会九州支部研究報告，第 45 号・３〔計画系〕，pp. 625-628，2006. 3
13) 加藤浩司，山本美沙，辻原万規彦，岡本孝美：夏季の風環境に関するアンケート調査ー密集した漁村集落の生活環境に関する研究　その３ー，日本建築学会九州支部研究報告，第 45 号・２〔環境系〕，pp. 453-456，2006. 3

可変インフィルを用いた木造廃校舎の利活用に関する研究
～旧上秋津小学校校舎を対象に～

所属機関名　University of Pennsylvania
役職　特別研究員（Post-Doc）李容圭

1.　はじめに

1-1.　本研究の背景と目的

近年、過疎化や少子化による児童数の減少、市町村合併に伴う公立小中学校の統廃合など、地域ごとの様々な事情から余裕教室や廃校舎が増加してきている。また、1992 年～2004 年では、廃校跡地の 8 割で何らかの活用を行っており、全体の 7 割で既存建物が現存しており、全体の 6 割で既存施設を活用している[1]。活用用途としては地域交流施設など地域コミュニティの活動拠点として多様な交流の契機となることが期待される。そのため、余裕教室や廃校舎において、地域の多様な活動ニーズに応じたフレキシブルな空間利用を実現することが求められるといえる。わが国はストック型社会へと移行し、大量にあるストックのマネジメントが社会的な課題となっている。住宅供給の分野では既存集合住宅ストックの再使用、再生利用の手段として、ＳＩ集合住宅に代表される「二段階供給方式」の発展的な試みが研究され始めている。二段階供給方式はスケルトンとインフィルを明確に分離し供給することにより、多様な住要求に対応と長期的な利用の実現をその意義としている。地域の多様な活動ニーズに応じたフレキシブルな空間利用が求められている廃校舎の活用が議論されるなか、ストックのマネジメント手法として検討されている二段階供給方式の考え方を発展的に取り入れ、スケルトン状態を最大に生かしたまま、インフィルを用い地域の要求へ対応させることが必要であると言える。

本研究では、地域の様々な活動の拠点施設として活用が期待される上秋津小学校旧校舎での実践を通じ、スケルトン状態を最大に生かした上で、可変インフィルの開発プロセスを考察することにより可変インフィルを用いた木造廃校舎の利活用の可能性と課題を明らかにすることを目的とする。

1-2.　研究の課題と方法

研究の課題としては、 可変インフィルの要素技術の考察、木造廃校舎の利活用における地域の要求と可変インフィルの開発目標の把握、可変インフィルの開発目標に対応可能な要素技術の検討と可変インフィルの製作・評価を挙げている。

2. 理論的考察

2-1. 廃校舎の特徴

現在残っている全国の多くの廃校舎は、この標準設計に沿って設計がなされており、教室・廊下・階段の寸法や、配置計画、平面計画など非常に共通性の高い建築物である。教室

[1] 文科省は H13 年（2001 年）に廃校とその有効活用の実態を全国的にアンケートにより調査報告を行っている。

の特徴としては、大きさ(平面)：およそ7m×9m、天井高：およそ3m、廊下側の前後に1つずつ入り口がある、等が挙げられる[2]。本研究においては、4間×５間の典型的な教室空間を対象とし、既存躯体（床、天井などの内装を含む）をスケルトンと捉えた上で、そのスケルトンを最大限生かした範囲で利活用を考察することで、多くの廃校舎への汎用性を確保することができると考えられる。

2-2. 可変インフィルとしての可動収納家具

これまでＳＩ集合住宅は性質の異なるスケルトンとインフィルに分け計画・建設・供給することにより、多様な住要求への対応と、生活的社会資本の形成の実現が図られてきた。インフィルは建物の中で物理的に変更可能な部分であり、その中でも居住者の住要求変化に従って変更可能な可変インフィルと、供給主体によって固定的に保持される固定インフィルに分類される。可変インフィルは利用主体の意思により自らあるいは専門家によって変更可能なインフィルとして位置づけられる。

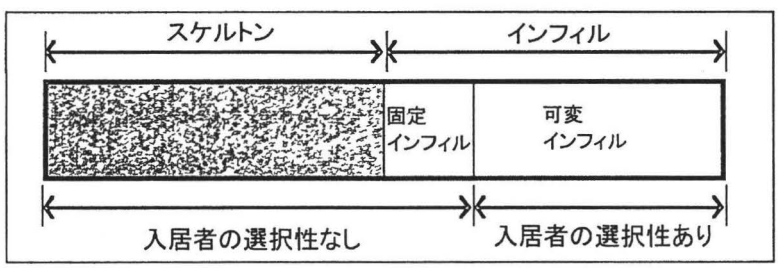


図1　泉北ニュータウン桃山台Ｂ団地の設計参加の領域

本研究では住要求の変化に対応して居住者の意思や負担により移設可能なインフィルを可変インフィルとして定義しており、可動収納家具は、仕切りの機能を果す可変インフィルのひとつであり、可変間仕切と共に一般的にSI集合住宅で使用されている。可動収納家具は収納としての機能と仕切りとしての機能が同時に追求される特徴を持っているといえる。

地域交流施設として廃校舎を活用する際には、収納設備の少ない教室空間において、時には教室全体を一体的に利用し、時にはいくつかの空間に区切って利用することで、地域の様々な活動ニーズに対応することが求められるため、可動収納家具を活用することは有効であると考えられる。

3. 研究の概要

3-1. 上秋津小学校旧校舎

旧田辺市立上秋津小学校は和歌山県南部の田辺市上秋津に位置する 1954 年に建築された木造 2 階建ての校舎である。近年、上秋津地区は交通の利便性向上と市街地拡大によって人口が増加し、2006 年より新設の校舎へ移転することとなり、廃校舎となった。2007 年には、地域住民の出資により株式会社秋津野が設立され、上秋津ガルテンの運営が行われている。

3−2. 研究プロセス

研究課題の可動収納家具の開発目標に対応可能な要素技術の考察は主として文献研究とし

[2] 何野学　建築関連法規か廃校後の公立小学校の用途変更に及ぼす影響について、日本建築学会計画系論文集　2006 11

て進め、旧校舎の利活用における地域の要求と可動収納家具の開発目標の把握（開発課題の把握段階）、可動収納家具の製作は地域産業システムを用いることで継続的な維持管理が出来るように進められた（技術の模索と開発段階）。開発課題の把握段階では、2007年11月に行われた地域住民との秋津野ガルテン事業者を対象とした1次インタビュー調査の結果、具体的な活用計画が明確には確立していないことを明らかにし、地域住民が潜在的に求めるニーズを具体化するため「活用シナリオ」と「可動収納家具の1次案（初期案）」の提示を行った。 また、2008年 7月には住民7人が参加する検討会を行い、具体的な可動収納家具の開発目標を明らかにした。技術の模索と開発段階では、これらの 開発課題に答えるため2008年8月からは可動収納家具の要素技術模索と試作品の製作が行い、11月に搬入された。

表1　プロジェクトのプロセスと主体の関係

段階	月日	活動	内容	関連主体			
				大学	NPO	工務店	地元
開発課題の把握段階	2007 1 1 8	1次実測調査	校舎の物理的な現状把握	○			
		1次ヒアリング	校舎の利用計画（ガルテン）	○			○
	2008	シナリオ作成	利用イメージを具体化するため、有得る4つのシナリオを作成	○			
	4月	要素技術の検討	既存可変インフィルの要素技術を性能の観点から検討	○			
	6 1	2次実測調査	撤去された校舎部材の現状と再利用の可能性の把握	○		○	
	6 1	2次ヒアリング	対象教室の選定とその利用計画の把握	○			○
	6月	2次ヒアリング（メール）	対象教室の改修計画と内装把握（タダミ）	○	○		○
		可動収納家具1次案の検討	家具の開発条件の導出 条件に合う家具の案を検討（BOXタイプ）	○			
	7 6	検討会	対象教室の具体的な利用イメージを把握し、家具への要求を導出 具体的な開発課題の把握	○			○
技術提案の模索と開発段階	7 11	可動収納家具の詳細検討	性能の観点から技術的な提案検討	○			
	8月	可動収納家具の2次案の検討	フレームと面を一体に製作する案を検討 対象教室への他家具の搬入計画から数量把握	○			○
		モックアップ	家具の技術的な検討のためモックアップを製作	○			
	9 1	可動収納家具の3次案の検討	モックアップの検討による修正案検討	○		○	○
	9 9	1次発注	BOX20個（材の加工まで）を工務店に発注	○		○	
	9 10-10 6	可動収納家具の詳細検討	足回り、長板などのディテールの検討	○		○	
	10 7	2次発注	長板、材の組立てを発注	○		○	
	10 8-12	可動収納家具の詳細検討	長版接合用だぼのディテール				
	10 16-10 22	可動収納家具の詳細検討	塗料の検討、色味	○			○
	10 30 11 2-3	塗装	下塗り、上塗り	○			○

→ プロジェクトの流れ　▒ 可動収納家具の設計
→ 主体間の情報の流れ　○ 関連主体　[ ] 統合主体

4. 可動収納家具の要素技術の考察

本研究では、要素技術の考察を行うため、 長年検討されてきたSI集合住宅の可動収納家具を対象とした。単位可動収納家具の仕組みとその設置方法に着目して、これまでどのような要素技術を持つ可動収納家具が作られてきたのかを明らかにした。また、可動収納家具の要素技術の特性を把握するため、可動収納家具に求められる性能に注目することにした。まず、設計図を入手して単位可動収納家具の仕組みとその設置方法を把握し、これらの性能に影響を与えると考えられる項目を導出した。次に各可動収納家具の項目への該当可否を把握することで性能を検討した。調査対象は、既往研究で住み方が明らかになっている11事例のSI集合住宅の可動収納家具とする。これらは各時代を代表する先行的事例であると言える。次に、各事例のある役所の住宅課・住宅公社、UR、可動収納メーカー、設計担当者などから可動収納家具の設計図が入手出来た9事例[3]を導出した。

4-1. 可動収納家具の仕組みと設置方法

収納家具は、パネル式、ボックス式、パネル＋ボックス式の３つのタイプに分類されている[4]。パネル式は扉や側面板、背面板、棚板などパーツを組み合わせて構成する方式である。ボックス式はいくつのボックスを組み合わせて構成する方式である。簡単に組み合わせるため、施工時間が短縮できると言われている。パネル＋ボックス式はパネル式とボックス式を組み合わせたものである。本研究では、パネル式、ボックス式が対象となっている。

可動収納家具PH-Sはパネル式である。設置は床面にベース枠を固定し、隣接する可動収納家具と共有する側板、天板、棚板を組み立てる。最後に前後の戸と背板を設置する。仕上げ工事は可動収納家具設置後に行われた。PH-Qはパネル式である。設置は側板1枚を立て上部ジャッキで固定し、裏板を雇で取り付けジャッキで固定する。棚板を差し込み、側板と戸を取り付けて固定する。最後に巾木と廻縁を取り付ける。仕上げ工事は可動収納家具設置後に行われた。SHは天袋と本体に分かれているボックス式である。天袋は梁の形に合わせているため本体より奥行が浅い。設置は天袋と本体のボックスを連結し、梁の下に置き梁の形に添った転倒防止板を本体と天袋に挟むことで行う。建具はなく仕上げ工事は設置の前に行われた。MNはパネル式であり、天袋と本体に分かれている。設置は方立（側板）を水平材（天板、棚板など）で連結し、固定金具で上下に突っ張る。最後に廻縁を取り付ける。仕上げ工事は設置の後に行われた。TK・SMは上下2つのボックスユニットを連結するボックス式である。設置はユニット上下にジャッキボルトを、横に遮音パッキンを取付けた後、ユニットを組立てジャッキボルトで固定し、幕板・廻縁の取付けで行う。仕上げ工事は設置の前に行われた。SAは１つのユニットのボックス式である。設置はユニットに組み込まれている上下部のジャッキーを調整して天井に突張ることで行う。仕上げ工事は設置の前に行われた。FYは上下2つのユニットを連結するボックス式である。設置は上部のジャッキと下のキャスターを上下させ突っ張ることで行う。仕上げ工事は設置の前に行わ

---

[3] KEP エステート鶴牧、ハイタウン北方は、既往研究から住み方の把握か可能てあったか、可動収納家具のデータの入手か困難てあったことや使用許可を得られなかったことなどのため対象外とした。（初見他 4 名　ハイタウン北方・高橋棟（非分節型住戸）の住まわれ方、日本建築学会学術講演梗概集、pp101-102、2000　9 南一誠他 1 名　KEP エステート鶴牧－３低層棟における居住履歴と住戸の可変性に関する研究、日本建築学会計画系論文集，第 621 号、pp 29-37、2007 11）

[1] 住環境の計画編集委員会偏　住環境の計画―住宅を計画する―、彰国社、1990

れた。建具は居住者が購入することで併設可能である。IGは１つのユニットのボックス式である。設置はFYと同一であった。UEは天井高より低いボックス式である。設置のための特別な作業はなく仕上げ工事は設置の前に行われた。ASも天井高より低いボックス式である。設置は天井高までの高さを持つ転倒防止パネルを単位可動収納家具の間に挟んで設置する。引戸が本体と一体になっている。仕上げ工事は設置の前に行われた。

4－3. 可動収納家具の性能と検討項目の把握

可動収納家具に求められる性能項目の考察を行った。性能（performance）は建築全体あるいは部分がそれぞれの機能をどの程度果たしているか、またはどの程度に果したらよいか、ということを定量的、定性的に示すものと定義されており、可動収納家具に対して、財団法人ベターリビングの優良住宅部品性能実験方法書では収納家具で室空間を間仕切る時に「遮音性」、「遮光性」、地震時等における「安全性」、衝撃荷重に対する「抵抗性」を性能としてあげている[5]。また、日本住宅公団（当時）が行ったKEP（1980）では、収納家具の移設の施工性に着目して「アセンブリー実験」、「間取り替え実験」を行うなど、移動における性能を定義していた[6]。性能に影響を与える検討項目を探るため、まず、対象可動収納家具の仕組みと設置方法から要素技術を導出した。要素技術はタイプによるものと、個別に採用しているものがあった。次に、各要素技術を性能項目への影響可否から構造化を行った。

「移設の施工性（以下、移設）」については、キャスターの有無、単位可動収納家具自体の解体・固定有無、単位可動収納家具以外の建具など解体・固定有無が、「遮音性・遮光性（以下、遮音・遮光）」については、隙間の発生に関係する側板共有可否、隙間を防ぐ部材の有無、連続水平材有無、仕上げ工事の工程、建具の併設可否が、「安全性・抵抗性（以下、安全）」については、転倒防止装置の有無、天井高までの高さの有無が影響すると判断し、各事例がこれらの項目に該当するのかを把握した。

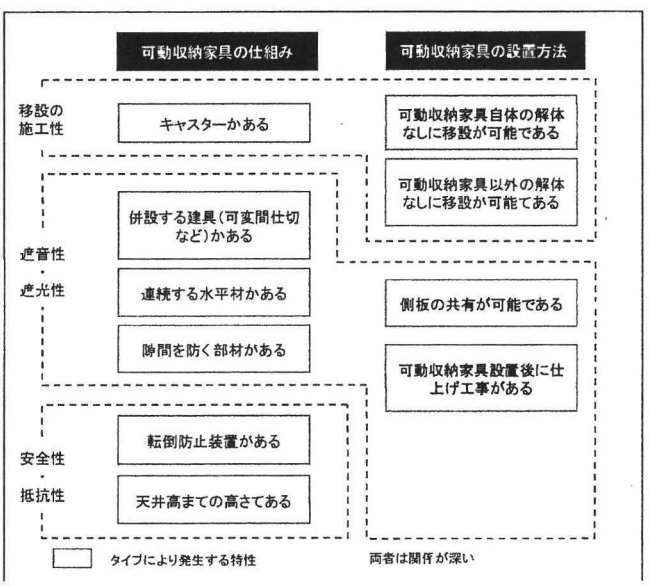


図2　性能の影響する項目の構造化

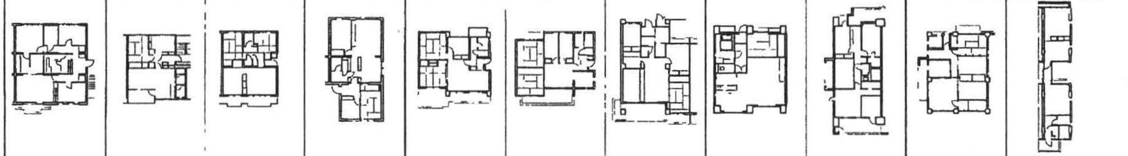
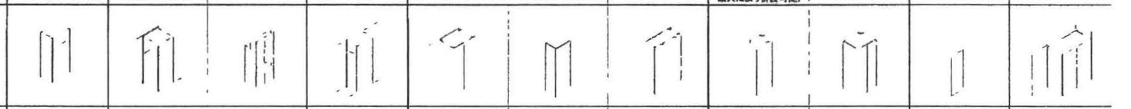
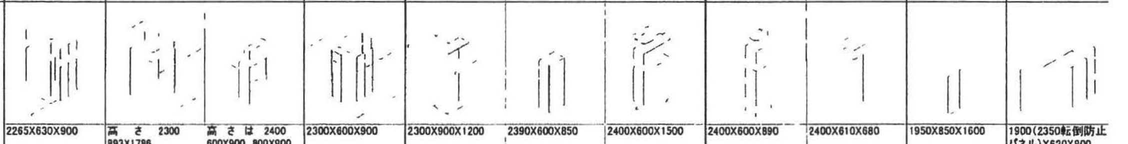
[5] http //www cbl or jp/blsys/shinsei/file/kisoku06 pdf

[6] 日本住宅公団（当時）　前野町六丁目団地 KEP 住戸設計図

4－4. 可動収納家具特性の変遷

パネル式は1970年代－80年代初期までに登場し、移設の施工性よりは仕切りとしての完成度を図っていたと考えられる。ボックス式は1970年代から登場した。ボックスユニットに解体されるためパネルに解体されるパネル式よりは移設が容易であるが、高い移設の施工性を図っていたとは考え難く、仕切りとしての完成度も高くはなかったと考えられる。しかし、その次に登場したジャッキーが付いたタイプは、隙間を防ぐ部材や、建具を併設するなど、仕切りとして一定の性能を図っていたと考えられる。さらにキャスターが付いたタイプは解体せずに移設が可能であるなど以前より移設が容易であり、隙間を防ぐ部材や建具を設置できるなど仕切りとしても一定の性能を同時に図っていたと考えられる。一方、2000年代初期からはキャスターやジャッキーなどが付いていない単純なボックス式が登場した。キャスターはないが解体する必要はないなど移設における一定の施工性を図っていたと考えられる。しかし、開口部ができるなど以前より仕切りとしての完成度は高くないと考えられる。

表1 可動収納家具の仕組みと設置方法

		1970－80年代初期				1980年代中期-90年代中期			1990年代末期		2000年代初期	
		PH		SH	MN	TK	SA	SM	HY	IG	UE	AS
住宅一般事項	所在地	千葉県美浜区		群馬県前橋市	東京都	広島県府中市	鹿児島県	兵庫県三田市	東大阪市	大阪府	熊本県八代市	京都府京都市
	建築年	S棟 1972	Q棟 1973	1976	1980	1985 1987	1987 1991	1997	1999	1999	2002	2002
	供給主体	民間	民間	公営住宅	公団住宅	公営住宅	公営住宅	公営住宅	公社住宅	公団住宅	公営住宅	民間
	供給方式	分譲	分譲	賃貸	分譲	賃貸	賃貸	賃貸	賃貸	賃貸	賃貸	賃貸
	住戸平面 × 可動収納家具											
スケルトン	階高	2300	2300	2300	2370	2700-2650	2650	3150	2775	2400	2480	2480
	面積	102 3	60 5	61 38		63-67 6	58 49-66 08	92	72 71	66 1 80 1	77 8	77 6
	可変インフィル	可動収納家具 可変間仕切(建具)	可動収納家具 可変間仕切(建具)	可動収納家具	可動収納家具 可変間仕切(建具)	可動収納家具 可変間仕切(建具)	可動収納家具 可変間仕切(建具)	可動収納家具 可変間仕切(建具)	可動収納家具 可変間仕切(居住者購入により併設可能)	可動収納家具 可変間仕切(建具)	可動収納家具	可動収納家具
可動収納家具物理的条件	形状											
	構成図											
	高さX奥行X幅	2265X630X900	高 さ 2300 893X1786 893X893	高さは 2400 600X900 800X900	2300X600X900	2300X900X1200	2390X600X850	2400X600X1500	2400X600X890	2400X610X680	1950X850X1600	1900(2350転倒防止パネル)X620X800
	タイプ	パネル式	パネル式	ボックス式	パネル式(方立式芯押えタイプ MD社)	ボックス式	ボックス式	ボックス式	ボックス式	ボックス式	ボックス式	ボックス式
	可動収納家具の工程	可動収納家具→建具→仕上げ	可動収納家具→建具→仕上げ	仕上げ→可動収納家具	建具→可動収納家具→仕上げ	仕上げ材→可動収納家具→建具	仕上げ材→可動収納家具→建具	仕上げ材→可動収納家具→建具	仕上げ材→可動収納家具→建具	仕上げ材→可動収納家具→建具	仕上げ材→可動収納家具	仕上げ材→可動収納家具
	単位可動収納家具の設置順番	バース部材→底板→下部側板 背版→上部側板 背版→天板→家具のトビラ	基本側板を片側1枚立て上部ジャッキーて固定→裏板を履て取付上部ジャッキーて固定→側板任意の位置にたぼを取付棚板を差し込む→幕板、回縁取付	下のボックスに上のボックス連結→配置→転倒防止パネル設置	バース部材→方立を棚板て緊結→背板→天井固定金具て上下に固定→巾木、幕板 回縁取付	アジャスターボルト取付け→クッション材側板に取付→ユニットの配置→ユニットの組立→上下部アジャスター調整→トビラ 幕板 回縁取付	可動収納家具の配置→上下部アジャスターの調整て固定	アジャスターボルト取付け→クッション材側板に取付→ユニット組立→上下部アジャスター調整→トビラ、幕板 回縁取付	可動収納家具の配置→下部キャスター収納→上部アジャスター調整→壁に遮音パッキン フィラ設置	可動収納家具の配置→下部キャスター収納→上部アジャスター調整→壁に遮音パッキン フィラ設置	可動収納家具の配置	可動収納家具の配置→転倒防止装置設置
移設の施工性	キャスターがある	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	あり	あり	なし	なし
	可動収納家具自体の解体なしに移設が可能である	なし	なし	なし×1	なし	なし×2	あり	なし×2	あり	あり	あり	あり
	可動収納家具以外の解体なしに移設が可能である	なし	なし	あり	なし	なし	なし	なし	あり×3	なし	あり	あり
遮音性 遮光性	側板の共有が可能てある	あり	なし	なし	あり	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	隙間を防ぐ部材がある	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	なし	なし
	連続水干材がある	あり	あり	なし	あり	あり	なし	あり	なし	なし	なし	なし
	可動収納家具設置後に仕上げ工事がある	あり	あり	なし	あり×4	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	併設する建具(可変間仕切など)がある	あり	あり	なし	あり	あり	あり	あり	なし×5	あり	なし	なし
安全性 抵抗性	転倒防止装置がある	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	なし	あり
	天井高までの高さてある	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	あり	なし	なし
× 該当する項目は網がけにする。×1 梁のためボックスへの解体が要、×2 大きさのためボックスへの解体要、×3 建具併設時は解体要、×4 床材の工事 ×5 購入により併設可能		曽根陽子 パイロットハウスにおける居住者と住戸平面の経年変化 日本建築学会計画系論文集 第540号、pp89－96 2001 2		新住宅普及会住宅建築研究所 住居における公室の計画に関する研究 住宅建築研究所報 No9 1982	岩下繁昭 一二年後のKEP前野町ハイツ 群居、群居刊行委員会 第29号 1992 4 pp106-110	齋藤広子他1人 スケルトン型賃貸集合住宅に対応した可変インフィルの供給 管理上の課題、都市住宅学29号、pp70-77、2000	建研、市浦都市開発建築コンサルタンツ 可変型集合住宅に関する調査研究報告書、2001 3	齋藤広子他1人 スケルトン型賃貸集合住宅に対応した可変インフィルの供給 管理上の課題 都市住宅学29号 pp70-77、2000	高田光雄他4人 スケルトン賃貸型集合住宅のIMSの開発と適用に対する居住者の評価 日本建築学会技術報告集第18号 pp235-238 2003	柴田義隆 可動収納をもつ可変型住宅における住まい方の特性と評価に関する研究 熊本大学大学院自然科学研究科、修士論文 2003		高田光雄 まちづくり支援技術としてのスケルトン インフィル方式 コンクリートテクノ Vol22 No5、May 2003、pp9－15

以上の考察から、性能の観点からの時代ことの可動収納家具の要素技術の特性を把握することが出来た。パネル式とボックス式のジャッキ付きタイプなどは移設の施工性よりは仕切りとしての性能を図る事例、移設の施工性を図っても仕切りとしての性能を同時に求める事例が多かった。一方、近年のボックス式の高さの低いタイプなどは仕切りとしての性能より、移設の施工性を図るこれまでとは異なる特性の事例が現れた。

5. 開発課題の把握

5-1. シナリオの作成

地域住民の潜在的な再活用の要求を具体化するために研究者が属している研究グループは 1 次インタビュー調査の結果と秋津野ガルテン事業の計画書を基にして４つのシナリオを作成した。1 次インタビュー調査では地域住民と NPO 関係者を含め 3 人と行った。

校舎の活用シナリオとしては大学の研究室などが休みに訪れる研修施設として活用される「大学のセミナー」、ガルテンとして大勢の訪問客が訪れるレストランとして活用される「レストランの補足施設」、住民が生産した農産物などを展示する「農産物の展示施設」、地域住民のクラブ活動や集会所として活用される「地域のコミュニティ活動」が想定できた。

5-2. 1 次案（検討案）の設計

旧校舎の物理的な観点からの設計条件、旧校舎の活用ニーズからの設計条件、既往可変インフィルの課題からの設計条件を構造化することで可動収納家具の１次案(初期案)の設計条件明らかにし、その提案を行った。提案される可動収納家具の１次案は潜在化している地域住民の可動収納家具の開発課題を具体化する手掛かりとしてその役割が期待された。 設計条件の構造化の結果「小規模であること」、「多様な組み合わせに対応できること」、「軽量であること」、「セルフビルドに対応できること」を挙げることができた。また、これらの設計条件は転倒の安全性、施工性、可変性の性能に関係する。

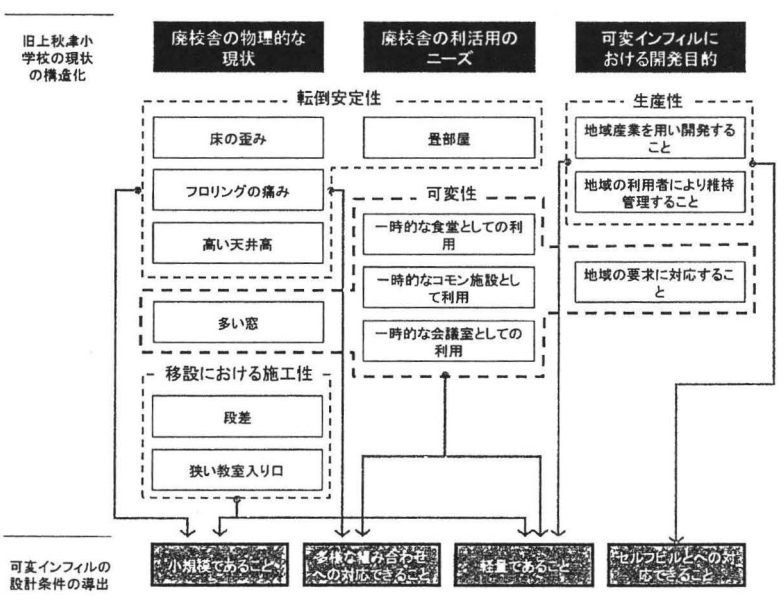
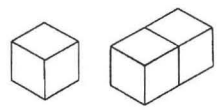
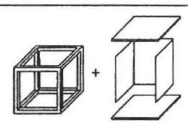


図3　可変インフィルの開発目標の構造化と条件の導出

従って、4 章の可動収納家具の要素技術の考察から遮音性、遮光性など仕切りとして性能を図っていないこれらの設計条件には、「パネル式」や「パネル＋ボックス式」ではなく、「ボックス式」が相応しいといえる。また、転倒の安全性や可変性に応えるためには単純なボックス式が容易であるといえる。１次案としては、400x400x400 のユニットを組み合わせる可動収納家具を提案した。

表３　箱形可変インフィル （暫定案） の検討

	考案した事項	暫定案
6/16	持ち運びやすいこと　安定性かあること 要求に対してフレキシブルに対応できること 等の条件に答えるため 単位ユニットの組み合わせによる家具とする	
6/30	面ではなく、フレームによる工法とし 側面の板材を内側に入れる フレームをできる限り細くする 板材をフレームからも脱可能とする。	

5-3. 最終案の開発目標の把握

１）初期案に対する地域住民のニーズ

地域住民が求める可動収納家具の開発目標をより具体化するため、地元の利用者が参加する初期案の検討会が2008年7月6日 に旧校舎の中で行われた。検討会では、「初期案」に対する地元の利用者の理解を高めるため、可動収納家具の模型が、「シナリオ」に対する理解を高めるため、可動収納家具の利用様子のイメージが用いられた。その結果、 可動収納家具の初期案に対しては収納される物、可動収納家具の重さ、機能、 素材、色、組み方などの具体的なディテールまで議論ができ、シナリオに対しては校舎の用途、使用人数、家具の配置などの 教室空間の具体的な利用イメージを固めることが出来た（表8）。

表４　可変インフィル 開発課題の構造化

調査項目		意見	意見から見た提案の課題
シナリオについて	教室の用途	暮らしの休憩室、レストランの離れ、ミーティング、宴会場	・収納＋仕切りとテーブル＋椅子か容易に変えられること
	需要人数	町内会が100人ほどいるため、最大40人くらい。テーブルを使用すると30人くらい	・椅子とテーブルに対応すること ・一般テーブルと並べて使えるように高さを調整すること
	家具の配置	普段はテーブルと椅子として使いたい	・収納、間仕切り機能は補助的な役割にすること
		スペースを取らないように重ねて収納できれ	・家具の耐久性を確保すること
		以前の学校のイメージを残したい	・セルフビルにして対応すること
		団体の時にはテーブルを脇に寄せて置きた	・テーブルに対応すること
可動収納家具について	収納物	食器、お飾棚の収納	水平を確保すること
		本や雑誌などの収納	・提案の大きさて対応
		小物や花の飾り棚	水平を確保すること
		スリッパの下駄箱	・提案の大きさて対応
	機能	収納物かみえないように扉を付けたい	重くなり、多様な組合せか難くなるため対応しないこと
		椅子にする使う時に背もたれかほしい	・重くなり、多様な組合せが難くなるため対応しないこと
		普通のテーブルと会わないのてはないか	・一般テーブルと並べて使えるように高さを調整すること
	重さ	軽くしてほしい	・提案の重さて対応
		10Kg以内にすべき	提案の重さて対応
	大きさ	高さは2段くらい重ねて安定するくらいがよい	・提案の大きさて対応
	素材	アルミなどの別素材てもいいのてはないか	素材の単価が高く、メインテナンスか難しくなるため対応しないこと
	色	カラフルにしたい	・色を変えられる素材と構造にすること
		後から決めればよい	・色を変えられる素材と構造にすること

2) 最終案の開発課題の構造化

検討会では可動収納家具の具体的なニーズや利用イメージを顕在化ことが出来、その構造化を行った。

6. 最終案の製作と評価

6-1. 最終案の技術模索

最終案の開発目標に対応できる要素技術の模索を図るため、研究グループによる要素技術の提案（2 次案）を行い、これらの要素技術に対する地域住民と業者による検討を行うことで 矛盾する可動収納家具のニーズを整理し最終案（3 次案）を提案することが出来た。

1) テーブルへの変更

2 次案では、テーブルのニーズに対応すること、より多様な組み合わせを実現すること、変形のし易さから、長板を二つのユニットに掛けることでテーブルを設けることが検討された。ユニットの上部と長板に同一の大きさの穴をあき、長いダボをはめ込むことで安定した接合を行うことが検討された。3 次案では、長板の穴を複数作ることでテーブルの長さを調整することが検討された。また、接合部とならない穴を埋めるための意匠的な役割を持った短いダボが検討された。

2) 寸法の調整

2 次案では、市販のテーブルの高さに配慮してユニットの寸法を 400X400X400㎜ として提案した。3 次案では、 幅は慣習的寸法として 360㎜ を取り、高さは椅子としての高さ、内法寸法でＡ４サイズが縦に入る高さ、二段に重ねたときに教室の腰壁を越えない高さを考慮して、390㎜（内法間口寸法 300㎜×300㎜）としている。

3) 耐久性の確保

2 次案では、ユニットの耐久性を配慮して木造フレームを金物で固定し、板をビスで設置することにした。検討会では、木造フレームを金物で固定すると衣装が良くない意見とユニットのフレームの内側に板をはめ込む案が改善策として提示された。3 次案では、 耐久性を保ちながら軽量にするため、ユニットのフレームの内側に板をはめ込む案が設計で選択された。また、テーブルとして使うための長板は強度の高いヒノキを使うことにした。

4) 水平の確保

2 次案では、重ねる際の転倒安定性を確保するため、ユニットの間にダボをつける案が検討された。最終的にはユニットの足回りのダボには弾力性が異なるゴム製とスポンジ製の接着剤付き保護パットを重ねることで、歪みと畳に対応することが検討された。検討会では、提案したゴム製の足回り製品では重ねた際の転倒に対する安全性に不安があるため、檜丸棒により重ねることが提示された。3 次案では、 高さ 5 ミリの桧の丸棒と高さ 8㎜ の硬質のゴムをビス止めすることを選択した。

5) 維持管理に容易な仕組み作り

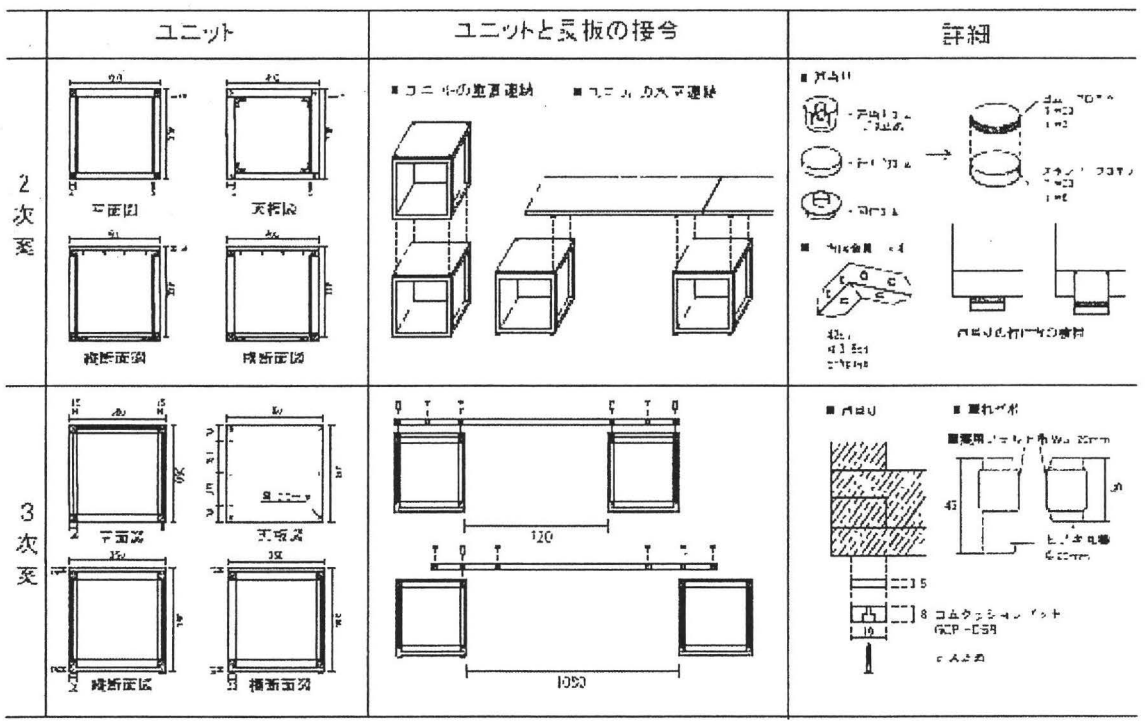
2次案では、フレームを金物で繋ぐ単純な家具式構造にすること、手に入れやすい既製品の部材を利用することが検討され、地域の利用者によるメンテナンスを可能にすることが 図られた。検討会では、維持管理の主体として地域の利用者ではなく木工所などの地域の産業を

用いることでユニットの他性能を追求することが提示された。3次案では、地域と密着している地域産業を維持管理の主体とし、衣装と耐久性を図るようにした。

6) 軽量の確保

2 次案では、フレームの材として耐久性の良いヒノキを採用することで太さを抑えることが図られた。その結果、 Mock-up ユニットの重さを 3.79Kg まで抑えることが出来た。

表 5　可動収納家具の詳細



6-2. 利用実態

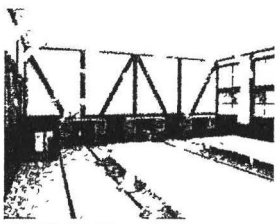
可動収納家具の設置対象教室（1 階に位置している左から３つ目の教室）で想定された 3 つのシナリオに基づいて最終的には 2008 年 10 月 11 日から 12 日に、20 個のユニットと 6 枚の長板、50 個のダボが製作され搬入が行われた。後、10 月 30 日、11 月 2 日の 2 日間の塗装をもって製作を完了した。2009 年 5 月 2 日と 3 日には開発された可動収納家具の利用実態を把握するための使い方調査と利用者に対するヒアリング調査を行った。

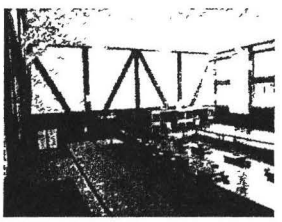
その結果、可動収納家具ユニットの寸法が指摘されているものの、対象教室に限らず、様々な場所に配置されていることや、「動かしやすい」「気軽にいろいろな場所に移動させて使われている」という意見から、「小規模であること」、「軽量であること」に一定の成果が得られていると言える。また、「レイアウトするようなセンスはない」などと答えていたが、限られた可動収納家具の数と6ヶ月と言う短い時間の中でも2段門の字型に組んだ棚など想定外の組み合わせが現れたり、非専門家の主婦が主にレイアウトを変更するなど「多様な組合せに対応できること」にも対応可能性が見え始めていると考えられる。しかし、接

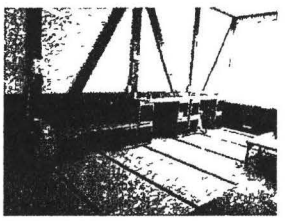
合用ダボを用いるべきところに用いられていないところが観察されたり、ユニットの完成度や接合部の要素技術の不満が指摘される意見が多いなど「セルフブルに対応できること」に対しては十分な成果を得られてはなくまだ課題も多いことが明らかになった。

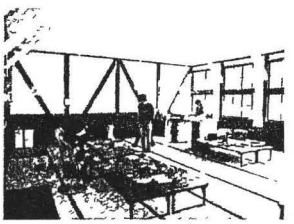
表 6.　可動収納家具の使い方

農村暮らしの室での利用


2008 11 16


2008 12 21


2009 1 14


2009 5 2

7．結論

本研究では、地域の様々な活動の拠点施設として活用される廃校舎における可変インフィルの開発条件を整理した上で、上秋津小学校旧校舎での実践を通じ、開発条件の実現に向けた可動収納家具開発の可能性と課題を明らかにすることが出来た。

可変インフィルの開発プロセスに地域の住民と業者が参加することにより具体的な利活用のイメージを共有できることが出来、開発された可変インフィルも技術的な課題は残っているものの可変インフィルの開発前提条件に対応することが明らかになった。また、セルフブルに対応するための機能性を高めた可変インフィルの検討が今後の技術的な課題として挙げられる。

【追記】
本研究の成果は、下記のように日本建築学会大会における発表をおこなっている。
○李容圭（京都大）他著
「SI集合住宅に用いられる可動収納家具の変遷について」
2008年度　日本建築学会大会学術講演梗概集E-1分冊，p 1003-1004，2008年

○新開洋介（京都大）他著
「上秋津小学校旧校舎における可動式家具の開発　可変インフィルを用いた木造廃校舎利活用に関する研究　その1」
2009年度　日本建築学会大会学術講演梗概集E-1分冊，p 1159-1160，2009年
（建築計画部門ポスターセッション）

可動型ルーバ用能動消音装置の開発･研究

国立鶴岡工業高等専門学校
制御情報工学科長　教授　柳本　憲作

1 本研究の目的と背景

近年、省エネルギーの観点から高気密・高断熱の住宅が望まれる一方、シックハウスによる健康被害対策となる換気が重要な課題である。ルーバは、窓枠に細長い羽板を一定間隔・一定角度で並べた換気用装置で、外部からの風雨や塵埃を防ぐために空調および換気用の大型ダクト端に多く用いられている。また外観ならびにプライバシー向上の観点から、外部からの視線を遮って換気ができ、狭い空間でも開閉し易い構造である可動型ルーバが、住宅の浴室やトイレの窓に多く用いられてきている。集合住宅やアパート・マンションの多い日本の住宅事情を考えたとき、窓からの隣家への生活音の漏れは、無視することのできない課題である。さらに、このルーバは機械・機器の冷却用換気口ならびに大型プレス機械の遮音用エンクロージャの通風口などに利用されており、その用途も広い。これら機械・機器を設計するうえで、内部からの放熱・通気と遮音といった本来相容れぬ目的の双方を考慮に入れる必要がある。そこで本研究は、可動型ルーバが設置された開口部における通気と遮音といった、相容れぬ目的を達成する方法として、アクティブ・ノイズ・コントロール（ANC）を利用した方策を研究することとした。

能動騒音制御は、従来ダクトのような音波が二次元的に伝播する比較的低周波数領域で有効とされているが、本実験ではルーバによって区切られた各羽板間を二次元的空間と考えることで、広範囲な周波数領域での能動消音により音響放射エネルギーを遮断して、遮音特性の向上を目的とした。

居室内の騒音防止設計を目的とした研究では、建築用の換気用スリーブにグリルやレジスタなどの換気口部品が設置された小型換気装置の遮音性能を明らかにするために、それぞれの音響インピーダンスと透過損失について明らかにされている[1)]。

さらに、工作機械などの外板に設けられ、内部熱源からの放熱に用いられているベーングリルに関する研究については、羽板の角度，羽板ピッチ，羽板長さに対するそれぞれの音響透過損失について明らかにされている[2)]。

また機器開口部における通気と遮音といった相容れぬ目的を達成する方法として、アクティブ・ノイズ・コントロール（ANC）を利用した方策が研究されている。これらは、機器壁面に設けたスリット状共鳴器と ANC との複合消音システムや、大型開口部の小型ダクト化による ANC による消音効果について報告されている[3),4)]。

本報告は、可動型ルーバ用の能動消音装置のシステムの構築とこれらの消音効果を実験的に明らかにするために、音響インテンシティ計測による音場の可視化を行った結果について示している。

2．研究方法

本研究では、無響箱の開口部に可動型ルーバならびに能動消音装置を設置し、本システムによる遮音特性、挿入損失の測定実験を行った。実験で用いた開口部を持つ無響箱を図1に、可動型ルーバを図2に示す。本システムはルーバの羽板にアクチュエータとして圧電スピーカを取り付け、この羽板自体を制御音源として能動消音制御を行った。制御方式として、単チャンネルANC、単チャンネルANCを複数行う独立分割制御方式さらにマルチチャンネルANC方式による消音効果を比較検討した。

この二次音源化したルーバを取り付けた開口部における ANC による減音効果について、開口部からの音のエネルギーの流れを知るために音響インテンシティ法を用いて音の視覚化を行った。図3に示したように、音響インテンシティ分布は開口部面に向かって水平面と垂直面の2面で測定した。1面（0.6m×0.6m）の測定点は144個とした。水平面は、開口部に平行で200mm離れた地点を測定平面とし、その前方に12×12個の升目を持つ測定平面用フレームを設置した。それぞれの升の中心を測定点として、AIマイクロフォンを用いてAIレベルを測定した。垂直面は、開口部中央に垂直で200mm離れた地点を最初の測定点の列となるように測定平面用フレームを設置し水平面と同様にして測定した。また、エラーマイクを開口部の中央に設置することが消音する位置に最適かどうか調べるためエラーマイクを175mm上方に移動したときの音響インテンシティ、さらに二次音源の出力の分布を調べるため二次音源からピリオド信号を出力し、音響インテンシティを測定した。

音響インテンシティの測定で得た水平面のデータを用いて、音響パワーレベルを計算した。$_1$番目の音響パワーレベルをIL_1として、測定点の総数Nを144点，測定面の1升の面積Aを$0.0025m^2$として次式で計算を行った。

$$PWL = \sum_{i=1}^{N}(A \times IL_i) \quad [\mathrm{dB}] \qquad (1)$$

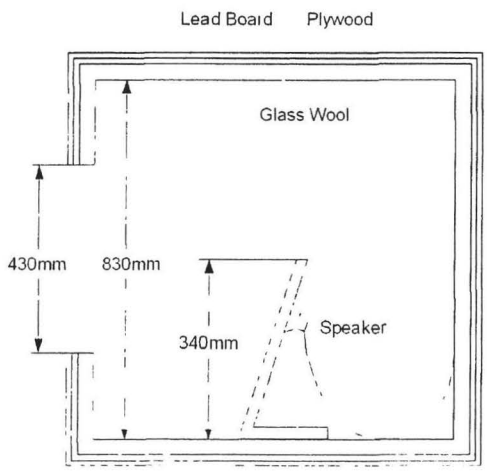


図1　無響箱の内部構造

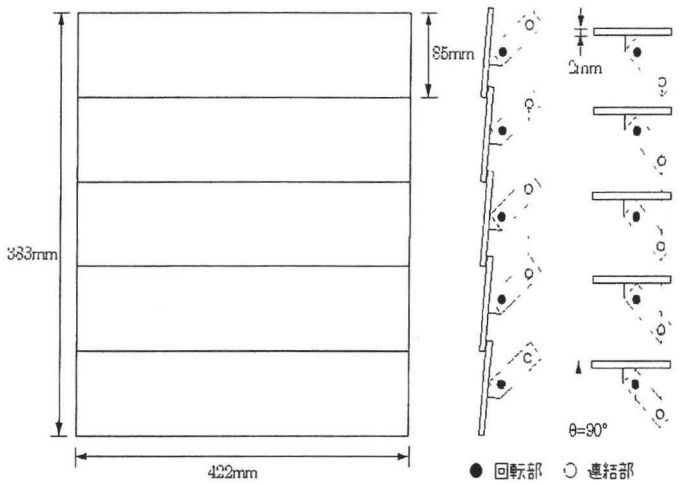


図２　可動型ルーバの構造

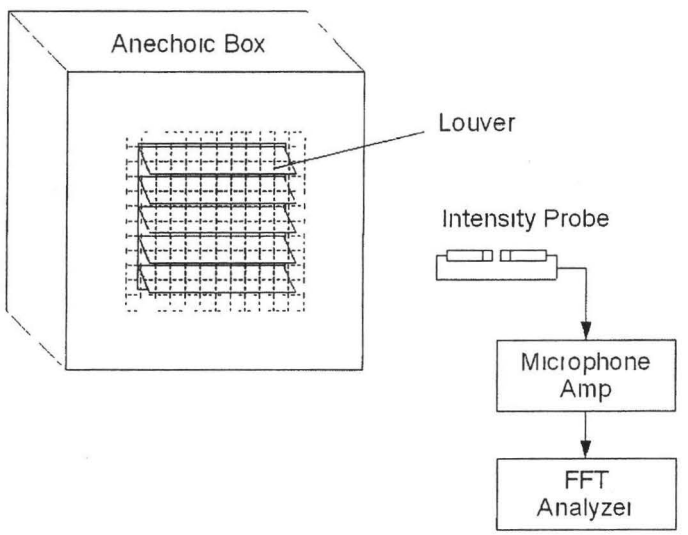


図３　AI システム図の構成図

2・1　ルーバと制御音源

試作した可動型ルーバは、採光も考慮し樹脂製の羽板の片面に方形状の平板の圧電スピーカを取り付けたもので、極力スピーカ反面からの逆位相音を吸音する構造とした。ルーバの概要を図４に示す。これによりルーバ羽板間に放射される制御音同士の干渉が押さえられ、効果的な消音量が得られた。ルーバの羽板の枚数は５枚、寸法は 425×85mm、厚さ２mm のポリメタクリル樹脂製である。ルーバの開口角度は手動により 0°から 90°まで 15°刻みで開閉する。制御用音源として 45×45×5mm のカード型スピーカをそれぞれの羽板裏面の中央部に貼付している。これら５個のカード型スピーカはゲイン・位相調整用アンプを介して DSP ボード出力端子に接続され、同系統の制御音を放射する。このルーバを無響箱（内寸 0.83m×0.83m×0.83m）の開口部（0.43m×0.43m）に取り付けた。

二次音源から同系統の制御音を放出させたとき、ルーバ中央から 0 15m の位置で測定したルーバ開口角度 90° での二次音源の周波数特性を図５に示す。500Hz 以下のときと 2kHz のときに放射音圧レベルが低下している。

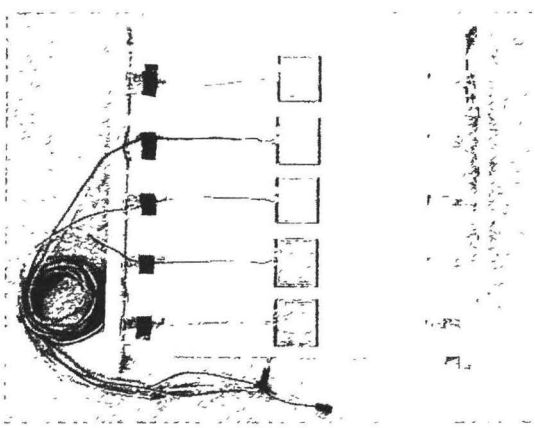


図４　カード型スピーカを羽板に取り付けた可動式ルーバ

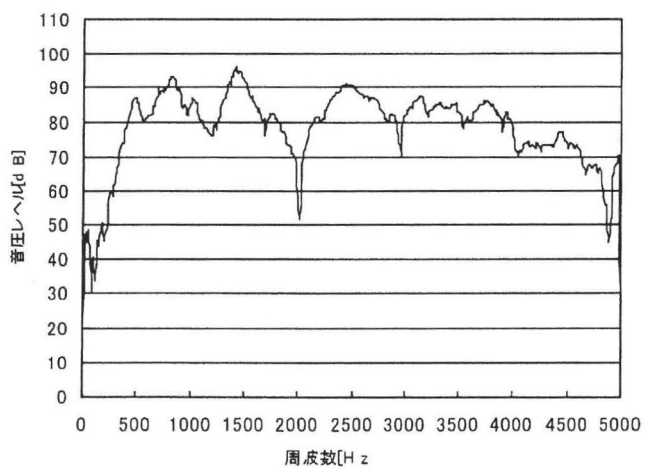


図５　二次音源の周波数特性

2・2　単チャンネルANCによる消音実験および方法

システム構成を図6に示す。前述のアクチュエータとしてカード型スピーカを羽板の裏面中央に取り付けたルーバを無響箱の開口部に取り付ける。無響箱内に一次音源としてスピーカを設置し、正弦波を出力する。この一次音源であるスピーカから、200Hzから4kHzの範囲の1/3オクターブ帯域周波数の中心周波数の正弦波を、スピーカから250mm離れた位置における音圧レベルが70dBから71dBの間となるようにFFTアナライザのシグナルジェネレータから出力した。

本実験では適応フィードバックのFiltered X LMSアルゴリズムによる単チャンネルANCを行った。アルゴリズムのフィルタ長を250、ステップサイズを$\mu=1\times10^{-6}$とした。制御ポイントは、無響箱の開口部水平面から0.15m，床上より高さ0.53mのほぼルーバの中央にエラーマイクを設置している。逐次このエラーマイクで検出した音響信号（制御結果）をDSPに通し、エラーマイクの位置での音圧レベルが最小となるように制御スピーカを駆動させている。使用したDSPボードは中部電機社製のADSP324(DSPチップ　TMS320C31)でパーソナルコンピュータ内スロットに装着して使用している。

消音量の観測は、エラーマイク位置(Mic.A)のほかに開口部上部（Mic B：床上より高さ0.69m)、開口部中部（Mic.C)、開口部下部（Mic D：床上より高さ0.37m）の4点で行っている。減音量は、制御前と制御後の音圧レベルの差から求めている。音圧レベルはFFTアナライザと騒音計で観測した。さらに、前述したようにルーバ付近の音場をAI計測装置により可視化するとともに、制御前後における音響パワーの変化を計算する。また、ルーバの中央で垂直面についても同様に計測している。

また開口部に何も取り付けない状態の音圧レベルを測定し、その値とANC後の音圧レベルの差から、各周波数のANCを用いた可動式ルーバの挿入損失（ANCとルーバによる消音量）を求め、減音量（ANCのみによる消音量）と比較した。

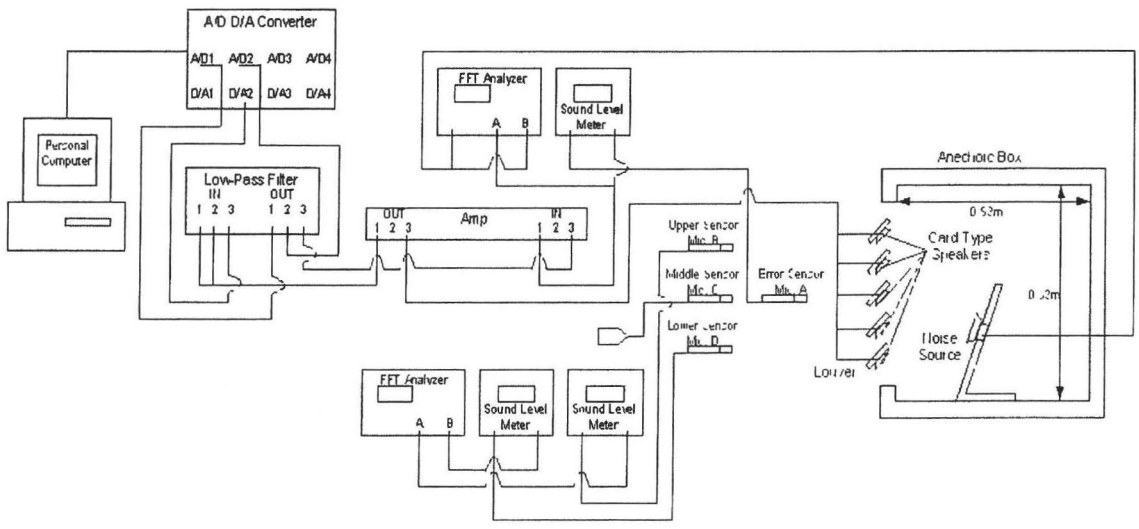


図6　単チャンネルANCシステムの構成図

3．　実験結果および考察

3・1　単チャンネルANCによる消音効果

エラーマイクの位置における減音量を図7(a),(b)に示す。図7(a)に示したように、500Hz, 800Hz, 1000Hz, 1600Hz, 2500Hzのとき約15dB～20dBほど減音されている。一方、250Hz, 315Hz, 2000Hzでは減音量が少なくなっている。これは図5の二次音源の出力が弱い周波数と一致しており、この二次音源による制御音の出力が弱く、減音量が少なかったためであると考えられる。

図7(b)に示したように、開口角度が大きくなるにつれ減音量は、増加する傾向にある。このことからルーバの開口角度が大きいほどANCの効果が高くなることが分かった。

他の観測ポイントの開口部上部（Mic.B）では200Hzと2000Hz～3150Hzにおいて減音効果が見られ、開口部中部（Mic.C）では800Hzと3150Hz, 開口部下部（Mic D）では200Hzと400Hzにおいて減音効果が見られた。

このように制御ポイント以外の観測点の開口部上部、開口部中部、開口部下部において、ほとんどの場合で数dBしか減音量が得られず、逆に音圧レベルが上昇することもあった。これは騒音が、ルーバによって反射、回折等により、開口部から放射される音が干渉し、エラーマイクの位置での音圧レベルが最小となるように処理された制御音を付加しても効果的に減音しなかったためだと思われる。

開口部に何も取り付けない開口状態の音圧レベルと、ANCによる可動式ルーバの音圧レベルとの差から挿入損失を求めた。エラーマイクの位置におけるそれらの結果を図8に示す。

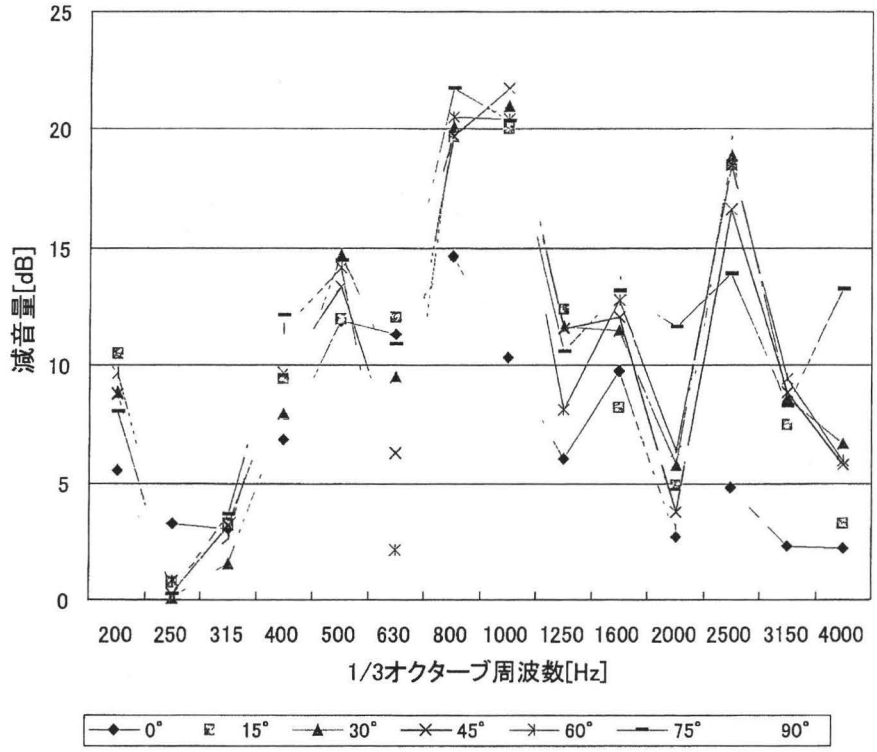
比較のために、ルーバのみの挿入損失の測定結果を図9に示す。開口角度が0°では、ルーバが閉じており、羽板どうしが重なり合っている部分があるため音の漏れも少なく、ある程度の減音量が得られている。開口角度15°の測定値が示しているように、ルーバがわずかに開いただけで遮音効果は急激に落ち、また開口角度によらず低周波数域での遮音効果が非常に小さくなっている。また、減音量が負を示しているのは、受音点が1点であるため、ルーバによる音の干渉による音の増加が原因と考えられる。

図8に示したANCとルーバによる挿入損失とルーバのみによる挿入損失を比較して、明らかにANCによる減音効果が大きくなっている。

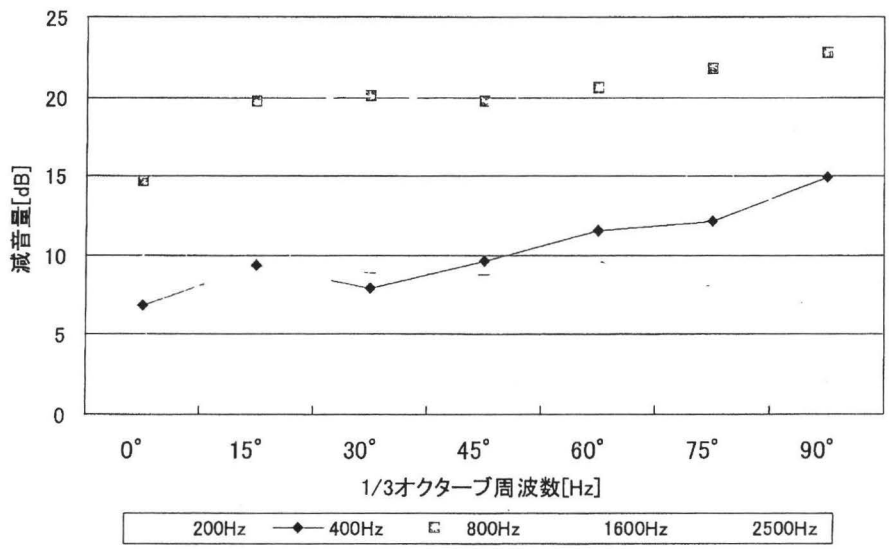
3・2　音響インテンシティの測定結果

図10(a)～(f)、図11(a)～(f)はルーバの開口角度15°、45°、90°の開口部に対して水平面および垂直方向の音場のAI分布を示している。これらのAI観測は、一次音源の周波数800Hzに対するANC前後のものである。図よりANC前後ともにルーバの開口角度が大きくなるにつれて、AIレベルの最も強くなる場所は徐々に上に位置している。これは一次音源が開口部に対して上向きに設置されているため、開口角度が大きくなるほど開口部から放射される音の指向性が上向きになっているためと考えられる。

これらAI分布図から明らかなように制御点より下方向で広範囲にサイレントゾーンが形成されている。このことからルーバ開口角度に対して適切な制御ポイントを設定することでさらに広範囲な消音が得られると考えられる。



(a). 周波数に対する減音量



(b). 開口角度に対する減音量

図7　エラーマイクの位置における減音量

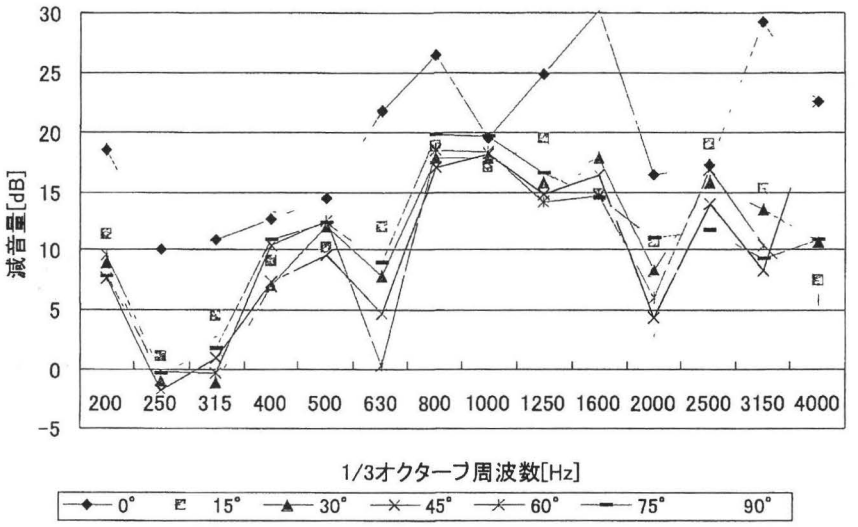


図８　ANC を用いた可動式ルーバの挿入損失

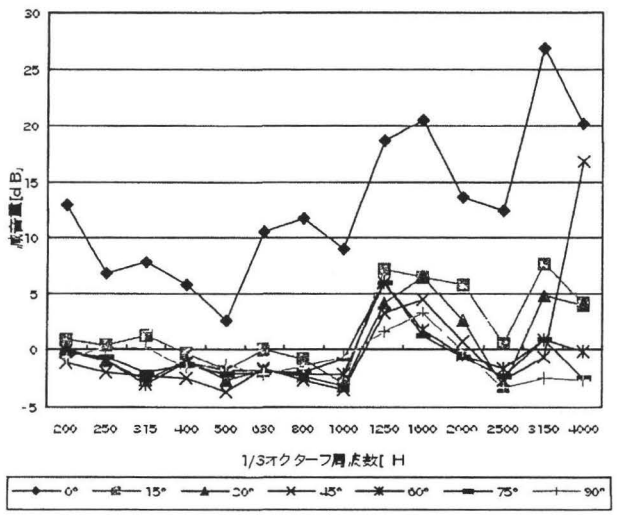


図９　ルーバ開口角度の違いによる挿入損失の変化

3・3　独立分割制御方式によるANCの減音効果

単チャンネルのANCシステムを2系統並列動作させる独立分割制御方式によるANCの減音効果について示す。

実験では図13に示したように開口部中央に位置する場所(Mic.P_A)と、その10cm上方に位置する場所(Mic P_B)にエラーマイクを設置した。二次音源である可動式ルーバの羽板5枚のうち、下から3枚の羽板をMic P_A，残りの上から2枚をMic P_Bのエラーマイクにそれぞれ対応させている。なお、Mic.P_A，Mic P_Bのエラー信号を制御するANCシステムをそれぞれシステムA，システムBとする。測定は、ルーバの開口角度を45°，一次音源を周波数800Hzの正弦波としたとき、ルーバ開口部から垂直面の音響インテンシティを計測した。図12のANC制御Offと比較して、図13のシステムAとシステムB両方を使うときのほうが全体的に大きな減音効果がある。また、図14，図15は、制御ポイントがそれぞれP_A，P_BにおけるにシステムA,システムBのANC時のAI分布図である。また図16，図17は、従来の単チャンネルANCによる、それぞれ制御ポイントをP_A，P_BにおけるAI分布である。

4．　本研究のまとめ

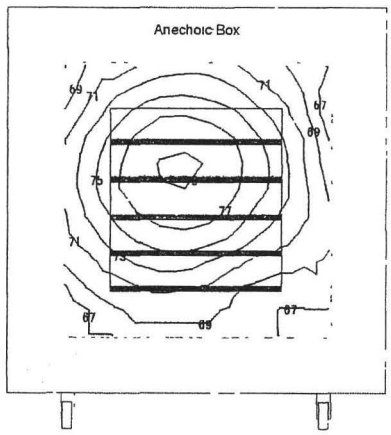
本研究では無響箱の開口部に可動型ルーバならびに能動消音装置を設置し、遮音特性、挿入損失の測定を行い、さらに音響インテンシティ計測による音場の可視化を行い、本システムによる消音効果を明らかにした。

単チャンネルANCによる消音実験では、制御ポイントであるエラーマイクの位置において、広範囲の周波数域で開口角度0°から90°まで約2dBから20dBの消音量となり、ANCによる減音効果が得られた。単チャンネルを2系統用いた独立分割制御方式によるANCでは、広範囲で減音効果が得られた。

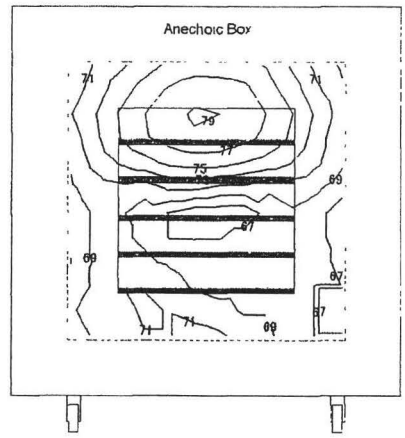
音響インテンシティ計測による可視化により、エラーマイク付近でははっきりと減音しているのが確認された。またルーバ開口部におけるAI分布では、周波数の増加にともない音の強弱を示すモードの数も増えるのが観測された。可視化により制御ポイントであるエラーマイクは、比較的騒音の大きな位置に設置することで効果的な減音効果が得られることがわかった。

参考文献

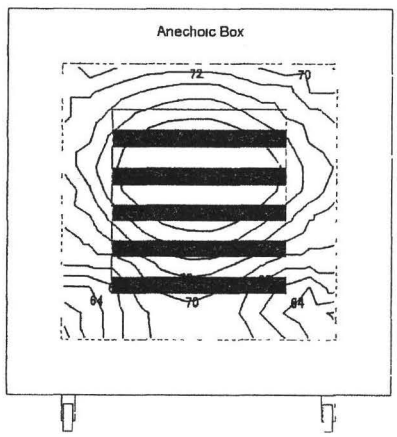
1) 大内，松井，小型換気装置の遮音性能に関する研究—音響インピーダンスと透過損失について—，日本音響学会誌53巻4号，pp258-267，1997
2) 一宮，宮口，音響インテンシティ法を利用した間げきの音響特性に関する研究，日本機械学会論文集（C編）57巻536号，pp334-338，1991
3) 渡部，柳本，谷藤 他，円形空気薄膜層を壁面内に有する機械開口部からの音響放射（能動型分布音源による消音特性），日本機械学会論文集（C編）68巻674号，pp282-289，2002
4) 江波戸，蛭間，塩山 他，開口部放射音を対象とした能動消音制御，日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004公演論文集，pp38-41，2004



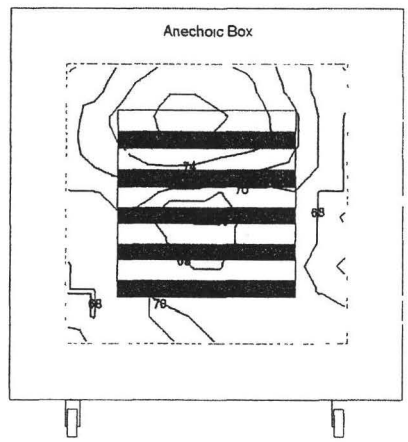
(a). 15° ANC-Off



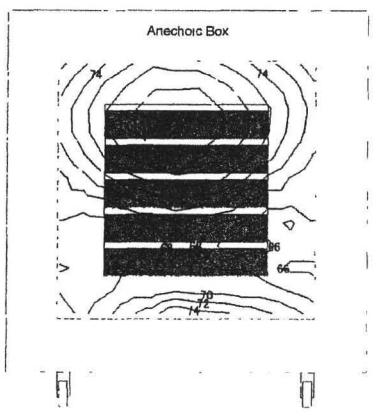
(b) 15° ANC-On



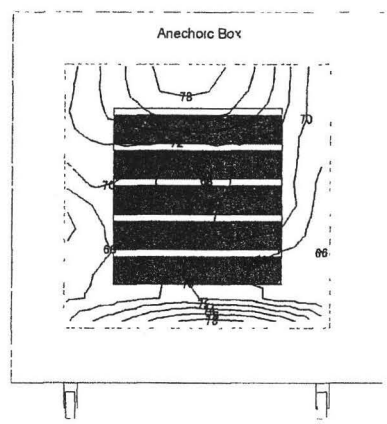
(c) 45° ANC-Off



(d). 45° ANC-On

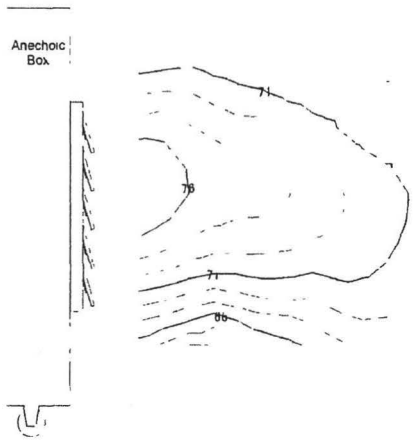


(e) 90° ANC-Off

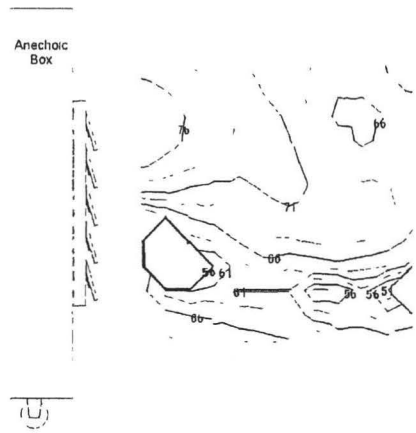


(f). 90° ANC-On

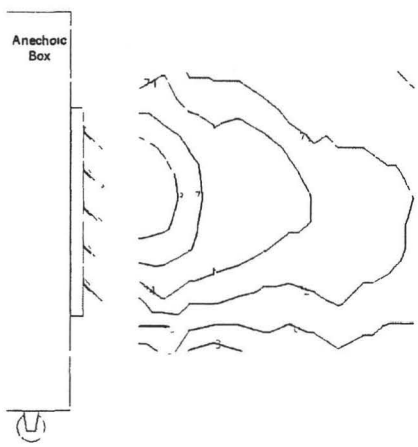
図 10　ルーバ開口角度の変化による水平面の AI 分布



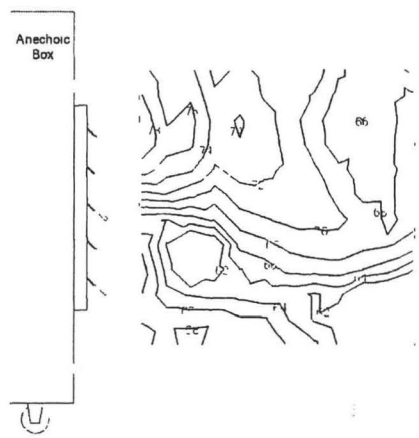
(a). 15° ANC-Off



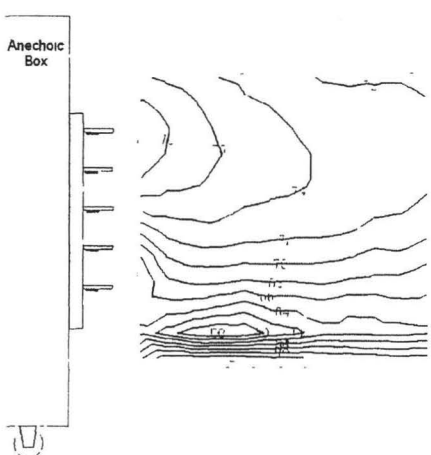
(b) 15° ANC-On



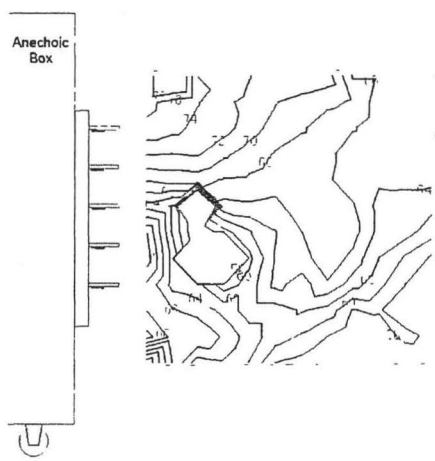
(c). 45° ANC-Off



(d) 45° ANC-On



(e). 90° ANC-Off



(f). 90° ANC-On

図 11 ルーバ開口角度の変化による垂直面の AI 分布

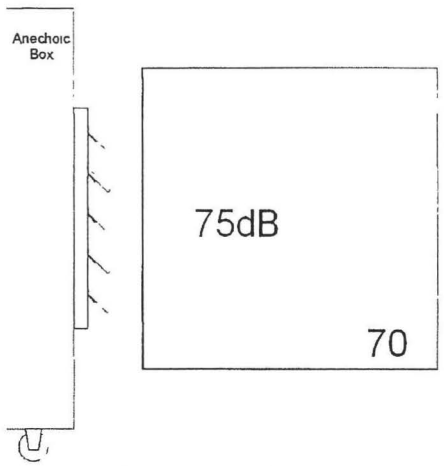


図 12　ANC 無し

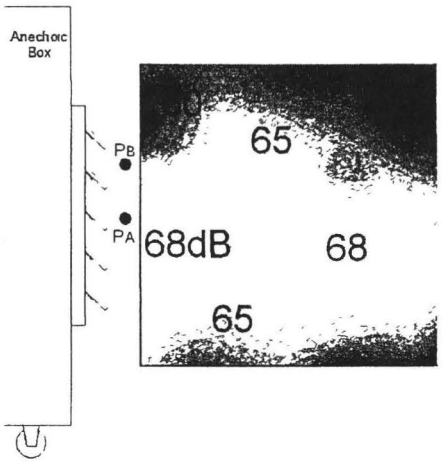


図 13　制御点 P_A と P_B における
独立分割制御方式による ANC

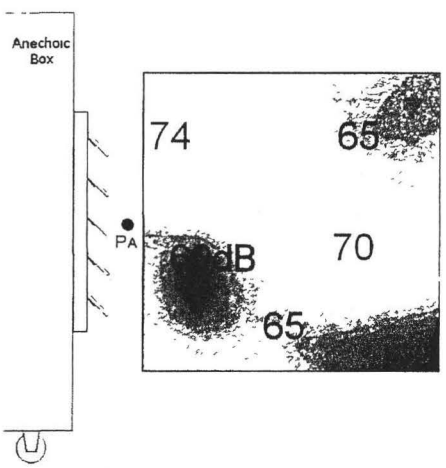


図 14　制御点 P_A のみの ANC 制御
(独立分割制御方式)

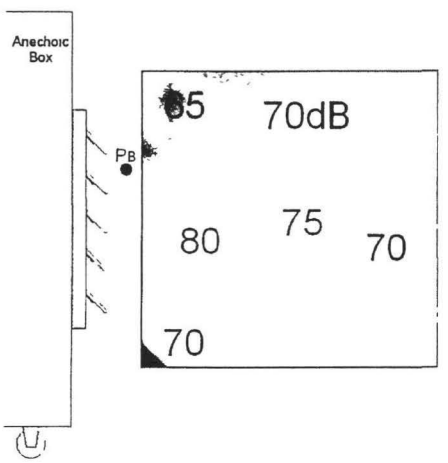


図 15　制御点 P_B のみの ANC 制御
(独立分割制御方式)

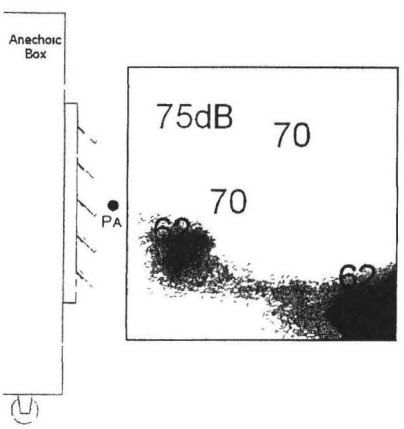


図 16　単チャンネル ANC
(制御点 P_A にした場合)

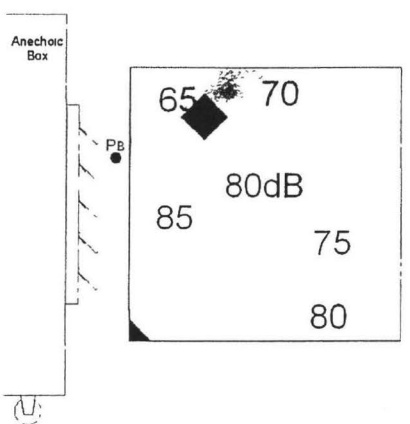


図 17　単チャンネル ANC
(制御点 P_B にした場合)

高効率並列計算アルゴリズムによる壁体透過音の数値計算

早稲田大学環境総合研究センター
准教授　鴇田　泰弘

1．　研究の目的

音源側音場の音響問題、壁体を構成する固体の振動問題および受音側音場の音響問題を連成し、高い精度で解を得る手法を確立することを目的とする。

対象とする解析モデルは建築物におけるあらゆる開口部を想定する。しかし、複雑な構造をもつドアや窓をいきなり高い精度で解くことは極めて難しい。そこで本研究では単層ガラスを透過する音を解析対象として、より複雑な透過音解析の基礎を築くことを目的とする。

2．　解析手法

3次元における音場の支配方程式をスタガードグリッド系（$\Delta x=\Delta y=\Delta z$、図-1 参照）により離散化する[1]。

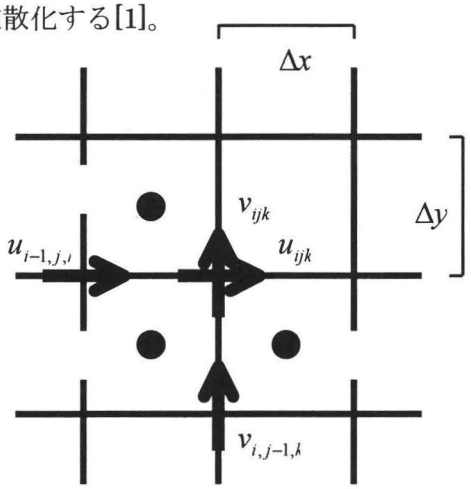


図-1　音場の離散化
（z- 軸は省略している）

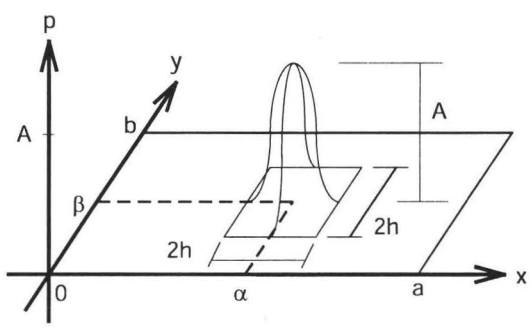


図-2　初期時刻における音圧分布
（z- 軸は省略している）

$$u_{ijk}^{n+1}=u_{ijk}^{n}-\frac{\Delta t}{\rho_{air}\Delta x}\left(p_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2}-p_{i-1/2,j+2/2,k+1/2}^{n+1/2}\right),\quad v_{ijk}^{n+1}=v_{ijk}^{n}-\frac{\Delta t}{\rho_{air}\Delta y}\left(p_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2}-p_{i+1/2,j-2/2,k+1/2}^{n+1/2}\right)\tag{5, 6}$$

$$w_{ijk}^{n+1}=w_{ijk}^{n}-\frac{\Delta t}{\rho_{air}\Delta z}\left(p_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2}-p_{i+1/2,j+2/2,k-1/2}^{n+1/2}\right)\tag{7}$$

$$p_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2}=p_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2}-\frac{\kappa\Delta t}{\Delta x}\left(u_{ijk}^{n}-u_{i-1,j,k}^{n}\right)-\frac{\kappa\Delta t}{\Delta y}\left(v_{ijk}^{n}-v_{i,j-1,k}^{n}\right)-\frac{\kappa\Delta t}{\Delta z}\left(w_{ijk}^{n}-w_{i,j,k-1}^{n}\right)\tag{8}$$

ここで u,v および w はそれぞれ x-，y- および z- 方向の粒子速度を表す。p は音圧、ρ_{air} は空気の密度、κ は体積弾性率を表す。

インパルス音源を近似した初期条件として以下の式で記述される連続で滑らかな音圧分布を仮定する（図-2 参照）。

$$p(t=0,x,y,z)=\begin{cases} A\left[\cos^2\left\{\frac{\pi}{2h}(x-\alpha)\right\}\cos^2\left\{\frac{\pi}{2h}(y-\beta)\right\}\cos^2\left\{\frac{\pi}{2h}(z-\gamma)\right\}\right] \\ \qquad (\alpha-h\le x\le\alpha+h,\beta-h\le y\le\beta+h,\gamma-h\le z\le\gamma+h) \\ 0 \qquad (0\le x<\alpha-h,\alpha+h<x\le a)\ (0\le y<\beta-h,\beta+h<y\le b) \\ \qquad (0\le z<\gamma-h,\gamma+h<z\le d) \end{cases} \tag{9}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t}(t=0,x,y,z)\equiv 0 \tag{10}$$

ここで、A は音源の振幅を、h はインパルス音源の空間幅半値を、(α,β,γ) は音源の中心位置を、$a\times b\times d$ は直方体音場の大きさを表す。

窓表面を除く全ての境界は剛であると仮定する。したがって、$\partial/\partial n$ を境界に垂直方向の微分作用素とすると窓表面以外における境界条件として次式が得られる。

$$\partial p/\partial n=0 \tag{11}$$

3次元における振動場の支配方程式[3]をスタガードグリッド系（$\Delta x=\Delta y=\Delta z$、図-3 参照）により離散化する[4]。

$$U_{ijk}^{n+1}=U_{ijk}^{n}+\frac{\Delta t}{\rho\Delta x}\left((\tau_{xx})_{i+1/2,j,k}^{n+1/2}-(\tau_{xx})_{i-1/2,j,k}^{n+1/2}\right)$$
$$+\frac{\Delta t}{\rho\Delta y}\left((\tau_{xy})_{i,j+1/2,k}^{n+1/2}-(\tau_{xy})_{i,j-1/2,k}^{n+1/2}\right)+\frac{\Delta t}{\rho\Delta z}\left((\tau_{xz})_{i,j+1/2,k}^{n+1/2}-(\tau_{xz})_{i,j+1/2,k-1}^{n+1/2}\right) \tag{23}$$

$$V_{i+1/2,j+1/2,k}^{n+1}=V_{i+1/2,j+1/2,k}^{n}+\frac{\Delta t}{\rho\Delta x}\left((\tau_{yx})_{i,j+1/2,k}^{n+1/2}-(\tau_{yx})_{i-1,j+1/2,k}^{n+1/2}\right)$$
$$+\frac{\Delta t}{\rho\Delta y}\left((\tau_{yy})_{i+1/2,j,k}^{n+1/2}-(\tau_{yy})_{i+1/2,j-1,k}^{n+1/2}\right)$$
$$+\frac{\Delta t}{\rho\Delta z}\left((\tau_{yz})_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2}-(\tau_{yz})_{i+1/2,j+1/2,k-1/2}^{n+1/2}\right) \tag{24}$$

$$W_{i+1/2,j,k+1/2}^{n+1}=W_{i+1/2,j,k+1/2}^{n}+\frac{\Delta t}{\rho\Delta x}\left((\tau_{zx})_{i,j+1/2,k}^{n+1/2}-(\tau_{zx})_{i-1,j+1/2,k}^{n+1/2}\right)$$
$$+\frac{\Delta t}{\rho\Delta y}\left((\tau_{zy})_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}^{n+1/2}-(\tau_{zy})_{i+1/2,j-1/2,k+1/2}^{n+1/2}\right)$$
$$+\frac{\Delta t}{\rho\Delta z}\left((\tau_{zz})_{i+1/2,j,k}^{n+1/2}-(\tau_{zz})_{i+1/2,j,k-1}^{n+1/2}\right) \tag{25}$$

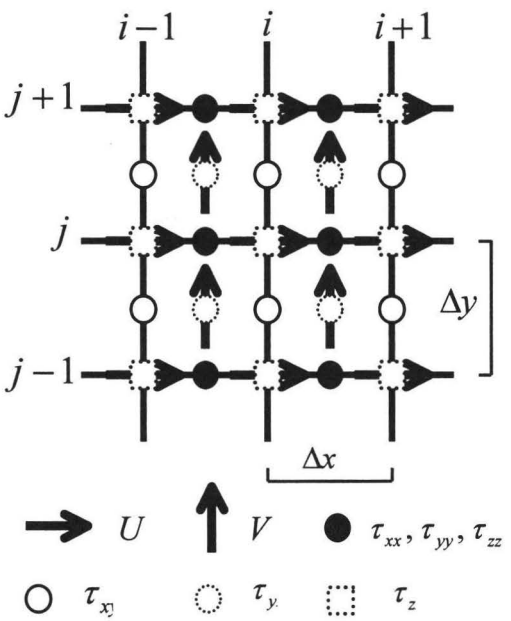


図-3　振動場の離散化（z・軸は省略）

$$(\tau_{xx})_{i+1/2,j,k}^{n+1/2}=(\tau_{xx})_{i+1/2,j,k}^{n-1/2}+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta x}\left(U_{ijk}^{n}-U_{i-1,j,k}^{n}\right)$$
$$+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta y}\left(V_{i+1/2,j+1/2,k}^{n}-V_{i+1/2,j-1/2,k}^{n}\right)+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta z}\left(W_{i+1/2,j,k+1/2}^{n}-W_{i+1/2,j,k-1/2}^{n}\right)+\frac{2\mu\Delta t}{\Delta x}\left(U_{ijk}^{n}-U_{i-1,j,k}^{n}\right) \tag{26}$$

$$(\tau_{yy})_{i+1/2,j,k}^{n+1/2}=(\tau_{yy})_{i+1/2,j,k}^{n-1/2}+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta x}\left(U_{ijk}^{n}-U_{i-1,j,k}^{n}\right)+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta y}\left(V_{i+1/2,j+1/2,k}^{n}-V_{i+1/2,j-1/2,k}^{n}\right)$$
$$+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta z}\left(W_{i+1/2,j,k+1/2}^{n}-W_{i+1/2,j,k-1/2}^{n}\right)+\frac{2\mu\Delta t}{\Delta y}\left(V_{i+1/2,j+1/2,k}^{n}-V_{i,+1/2j-1/2,k}^{n}\right) \tag{27}$$

$$(\tau_{zz})_{i,j,k+1/2}^{n+1/2}=(\tau_{zz})_{i,j,k+1/2}^{n-1/2}+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta x}\left(U_{ijk}^{n}-U_{i-1,j,k}^{n}\right)+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta y}\left(V_{i+1/2,j+1/2,k}^{n}-V_{i+1/2,j-1/2,k}^{n}\right)$$
$$+\frac{\lambda\Delta t}{\Delta z}\left(W_{i+1/2,j,k+1/2}^{n}-W_{i+1/2,j,k-1/2}^{n}\right)+\frac{2\mu\Delta t}{\Delta z}\left(W_{i+1/2,j,k+1/2}^{n}-W_{i+1/2,j,k-1/2}^{n}\right) \tag{28}$$

$$(\tau_{zx})_{i,j,k+1/2}^{n+1/2}=(\tau_{zx})_{i,j,k+1/2}^{n-1/2}+\frac{\mu\Delta t}{\Delta z}\left(U_{ijk}^{n}-U_{i,j,k-1}^{n}\right)+\frac{\mu\Delta t}{\Delta x}\left(W_{i+1/2,j,k+1/2}^{n}-W_{i-1/2,j,k+1/2}^{n}\right) \tag{29}$$

$$\left(\tau_{xy}\right)^{n+1/2}_{i,j+1/2,k}=\left(\tau_{xy}\right)^{n-1/2}_{i,j+1/2,k}+\frac{\mu\Delta t}{\Delta x}\left(V^{n}_{i+1/2,j+1/2,k}-V^{n}_{i-1/2,j+1/2,k}\right)+\frac{\mu\Delta t}{\Delta y}\left(U^{n}_{ijk}-U^{n}_{i,j-1,k}\right) \tag{30}$$

$$\left(\tau_{yz}\right)^{n+1/2}_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}=\left(\tau_{yz}\right)^{n-1/2}_{i+1/2,j+1/2,k+1/2}+\frac{\mu\Delta t}{\Delta y}\left(W^{n}_{i+1/2,j,k+1/2}-W^{n}_{i+1/2,j-1,k+1/2}\right)+\frac{\mu\Delta t}{\Delta z}\left(V^{n}_{i+1/2,j+1/2,k}-V^{n}_{i+1/2,j+1/2,k-1}\right) \tag{31}$$

ここで U,V および W はそれぞれ x-, y- および z- 方向の振動速度を、τ_{ij} はガラス面に対する応力テンソルを、ρ は窓材の密度を表す。また、$\lambda=E\sigma/(1-2\sigma)(1+\sigma)$ および $\mu=E/2(1+\sigma)$ は Lame の定数である。E は Young 率、σ は Poisson 比である[2]。

同一グリッド点上での式(5)から得られるガラス面に対する垂直方向の粒子速度 u は式(23)から得られるガラス面に対する垂直方向の振動速度 U に等しい[6]。したがって(I,J,K)をガラス面上の点におけるグリッド番号の組とすると次式が得られる。

$$u^{n}_{IJK}=U^{n}_{IJK}. \tag{35}$$

同一グリッド点上での音場内のガラス表面における音圧の空間偏導関数はガラス表面に対する垂直方向の応力に等しい[6]。したがって次式が得られる。

$$-\left(\frac{\partial p}{\partial x}\right)^{n}_{IJK}=\left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}+\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}\right)^{n}_{IJK} \tag{36}$$

「最小断面平行分割法(bread slicing method)」を用いて数値計算する場を分割する[7]。本研究においては、図-4 に示すように窓面に平行に解析対象場を分割することになる。

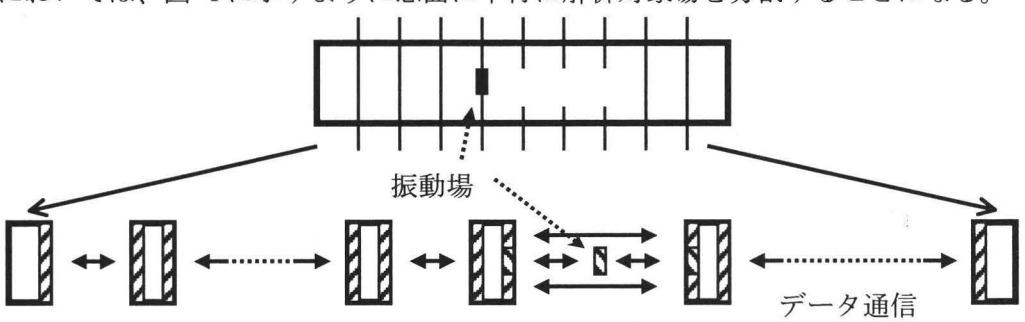


図-4　最小断面平行分割法による解析対象場の分割

場を分割した切り口にあたる面同士のデータのやり取りを MPI [8] を用いて行う。各プロセスは分割された領域を１つずつ受けもって数値解析を行い、図-4 に示すように場を分割した切り口面上の数値解析結果を通信しあう。

3．　Friedrichs スキームによる音場解析

Friedrichs スキームは音場問題を離散化した他の差分スキームとは異なった特徴をもつ。その特徴は人工粘性[9]と呼ばれる打切り誤差によるものである。この打切り誤差を適切に調整することにより、空気吸収を考慮した音場数値計算が実現し、同時に計算量を大きく削減させる可能性がある。このような条件を成立させる関係式を導出した。

2 次元音場の支配方程式を以下の Friedrichs スキーム（式(47)～(49)）を用いて離散化し、p,u,v についての数値解を求める（図-7 参照）。

$$u^{n+1}_{ij}=\frac{1}{4}\left(u^{n}_{i+1,j}+u^{n}_{i-1,j}+u^{n}_{i,j+1}+u^{n}_{i,j-1}\right)-\frac{\Delta t}{2\rho\Delta x}\left(p^{n}_{i+1,j}-p^{n}_{i-1,j}\right) \tag{47}$$

$$v_{ij}^{n+1}=\frac{1}{4}\left(v_{i+1,j}^{n}+v_{i-1,j}^{n}+v_{i,j+1}^{n}+v_{i,j-1}^{n}\right)-\frac{\Delta t}{2\rho\Delta y}\left(p_{i,j+1}^{n}-p_{i,j-1}^{n}\right) \tag{48}$$

$$p_{ij}^{n+1}=\frac{1}{4}\left(p_{i+1,j}^{n}+p_{i-1,j}^{n}+p_{i,j+1}^{n}+p_{i,j-1}^{n}\right)-\frac{\kappa\Delta t}{2\Delta x}\left(u_{i+1,j}^{n}-u_{i-1,j}^{n}\right)-\frac{\kappa\Delta t}{2\Delta y}\left(v_{i,j+1}^{n}-v_{i,j-1}^{n}\right) \tag{49}$$

Friedrichs スキームの打切り誤差を Taylor 展開によって求めると次式のようになる。

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{(\Delta x)^2\left(1-2\lambda_x^2\right)}{4\Delta t}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{(\Delta y)^2\left(1-2\lambda_y^2\right)}{4\Delta t}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+O\left(\Delta t^2+\Delta x^2\right) \tag{53}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}=\frac{(\Delta x)^2\left(1-2\lambda_x^2\right)}{4\Delta t}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{(\Delta y)^2\left(1-2\lambda_y^2\right)}{4\Delta t}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+O\left(\Delta t^2+\Delta y^2\right) \tag{54}$$

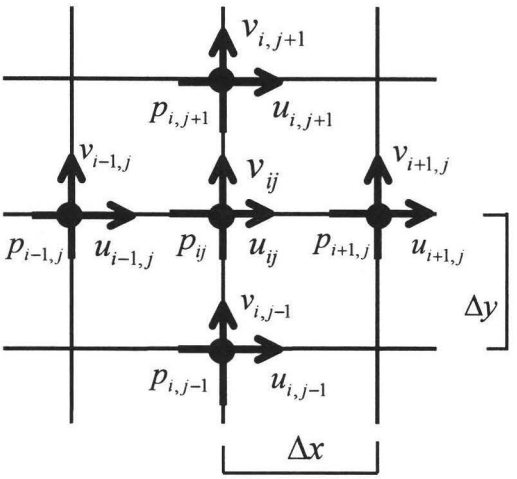


図-7 Friedrichs スキームによる空間の離散化

$$\frac{\partial p}{\partial t}+\kappa\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)=\frac{(\Delta x)^2\left(1-2\lambda_x^2\right)}{4\Delta t}\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}+\frac{(\Delta y)^2\left(1-2\lambda_y^2\right)}{4\Delta t}\frac{\partial^2 p}{\partial y^2}+O\left(\Delta t^2+\Delta x^2+\Delta y^2\right) \tag{55}$$

ここで、$\lambda_x=c\cdot\Delta t/\Delta x,\lambda_y=c\cdot\Delta t/\Delta y$ である。λ_x および λ_y は２次元音場におけるCourant数である。また $O\left(h^p\right)$ は $h\to 0$ のとき h^p と同意の無限小を表す。

正方形グリッドを用いて離散化した際のFriedrichsスキームの安定条件は

$$\lambda_x,\lambda_y\le 1/\sqrt{2} \tag{56}$$

である。従って、正方形グリッドによる離散化におけるFriedrichsスキームの数値誤差は常に人工粘性[9]としてふるまい、その強度は以下のような性質をもつことが分かる。

①空間離散化幅の２乗に比例する　②時間離散化幅に反比例する　③Courant数が小さいほど大きくなる

非常に小さな値のCourant数による解析は極めてまれであることを考えると、Friedrichsスキームに含まれる人工粘性の強度はおよそ空間離散化幅に比例すると考えてよい。

数値振動を抑制する目的で支配方程式に人工粘性項を僅かな大きさだけ加えるという用途が、もともとの人工粘性の使用法である。一方で実際の音場には媒質によるエネルギー消散が存在する。さらに式(53)～(55)により人工粘性の強さがほぼ空間離散化幅に比例することを考えると、以下のような展開が期待できる。

①空気の吸音が無視できない 2kHz 以上の高周波数帯域で空気の吸音を近似するように人工粘性の強度を調整する。

②高周波数帯域の解析においては、より強い人工粘性による数値振動のより強い抑制が期待できることから、通常の差分スキームより粗い空間離散化幅で同程度の計算精度を確保できる可能性をもつ。これが実現できれば解析に際して、必要メモリ量の大幅な削減をもたらす[11]。

ここでは、①についてさらに考察を深める。

熱伝導、媒質の粘性を加えた連続の式、運動方程式は以下のようになる[12],[13]。

$$\frac{\partial p}{\partial t}=-\rho c^2\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\delta_1\left(\frac{\partial^2 u}{\partial t\partial x}+\frac{\partial^2 v}{\partial t\partial y}\right) \tag{57}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\delta_2}{\rho}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right),\quad \frac{\partial v}{\partial t}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\delta_2}{\rho}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \tag{58, 59}$$

ここで、$\delta_1=\chi\left(1/c_v-1/c_p\right)$は熱伝導性に関する散逸のパラメータ、$\delta_2=\zeta+\frac{4}{3}\eta$ は粘性に関する散逸のパラメータである。また、χ は熱伝導率を、c_v は定積比熱を、c_p は定圧比熱を、ζ は体積粘性を、η はずり弾性を表す。

式(57)に式(58)および(59)を代入し、$\delta_1\delta_2$の項は微小項として無視し、(53)と(58), (54)と(59)および(55)と(57)の係数を比較して、次式が得られる[12]。

$$\frac{\delta_1}{\rho}=\frac{(\Delta x)^2\left(1-2\lambda_x^2\right)}{4\Delta t}=\frac{(\Delta y)^2\left(1-2\lambda_y^2\right)}{4\Delta t}=\frac{1}{\rho}\chi\left(\frac{1}{c_v}-\frac{1}{c_p}\right) \tag{63}$$

正方形グリッドによる離散化の場合$\Delta x=\Delta y=\Delta h$として、式(63)を Δh について解くと、

$$\Delta h=\sqrt{\frac{4}{\rho}\chi\left(\frac{1}{c_v}-\frac{1}{c_p}\right)\Delta t+2c^2\Delta t^2}=\sqrt{\frac{4\delta_1}{\rho}\Delta t+2c^2\Delta t^2} \tag{65}$$

となる。式(56)を $\Delta h\geq\sqrt{2}c\,\Delta t$ と変形すると、正方形グリッドによる離散化の場合(65)式が常に安定条件(56)を満たしていることが分かる。以上から Friedrichs スキーム(47), (48), (49)による解析において、式(65)を満たすような離散化を行うことにより、空気の粘性をシミュレートできる可能性をもっていることが示された。

人工粘性は数値振動を抑制する働きをもつことから、高周波数帯域に対する解析において、媒質の粘性を人工粘性により近似することで、併せて必要メモリ量の削減ができる可能性がある。また、本手法も陽差分解析であるため、並列計算への応用は容易である。最小断面平行分割法を用いた効率的な並列計算[7]も容易に構築できる。

4. 窓面振動計測による連成解析の検討

数値解析の精度を検討する目的でレーザドップラ振動計（以下LDVと略す）を用いて窓面における振動の測定を行った。数値解析および測定結果の比較により数値解析モデルの精度の向上を図る。

音場および振動場の数値解析については第２章の式(5)～(8) および式(23)～(36) を用いる。空間グリッド間隔を $\Delta x=\Delta y=\Delta z=0.05$ [m] と、時間ステップ幅を $\Delta t=0.1$ [ms] とする。ここで計算するガラス板のパラメータ[2]を表-1 にしめす。LDV による測定結果との比較にあたっては、窓のモデルとして 800 mm×600 mm、厚さ 2 mm のアクリル板を用いた。製作元の提供資料からヤング率 $E=3200$ Mpa、ポアソン比 $\mu=0.35$ となる。本計測にあたり図-12 に示す内法寸法をもつコンクリート製の箱を製作した。

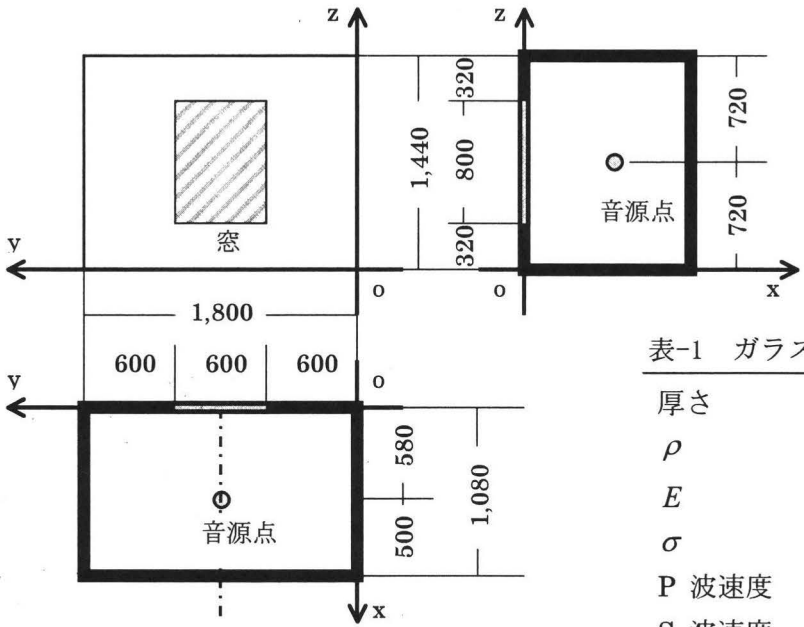


図-12　解析対象の形状

表-1　ガラス板に設定したパラメータ

厚さ	0.30 [cm]
ρ	7.94 [g/cm^3]
E	7.31 x 10^{11} c.g.s.
σ	2.40 x 10^{11} c.g.s.
P 波速度	4.99 [km/s]
S 波速度	2.85 [km/s]

壁体の厚さは 60mm とし、重量コンクリートを用いた。計測にあたっては、作業する学生などの安全性を考慮し、図-12 における窓部分にポリカーボネートおよびアクリル板を固定して透過音の測定を行っている。箱内部にスピーカ（YAMAHA NS-10M）の前面がアクリル板から 500 mm となるように上向きに設置した。100 Hz 正弦波一周期によるパルス音源を用いて加振を行った。アクリル板は油粘土を使用して固定した。箱外部に LDV を設置しアクリル板の振動速度分布を測定した。

図-15 に測定風景を示す。

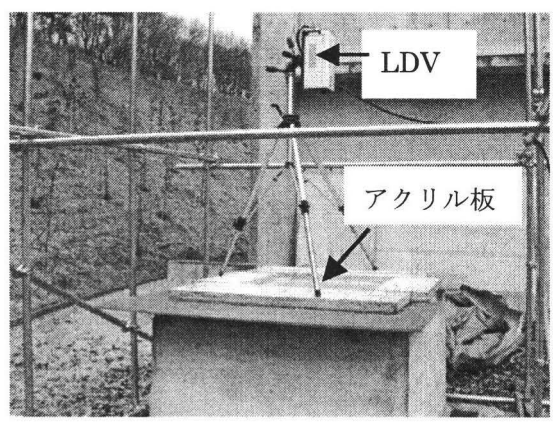


図-15　LDV による測定の様子

パルス音源により加振されたアクリル板の振動測定結果を図-16 に示す。これに対応する数値解析結果を図-17 に示す。各々の図題の数値は音源発生からの経過時間を表す。図中カラーチャートの正の値はアクリル板面に対して垂直下向きを表す。

測定結果に対して数値解析における振動伝達速度がおよそ 0.5 倍であることが予測される。数値解析における各物理量の大きさおよび計算のアルゴリズムの再検討が必要であると考えられる。

LDV を用いた窓の振動は共振のような振動速度分布が見られ振動速度分布の形状がやや異なることが見てとれる。これはアクリル板を固定する際の境界条件あるいはヤング率，ポアソン比等の物理量における値の設定での誤差による影響が考えられる。

さらに、LDV を用いてパルス音源が窓面を透過する波面の測定[16]を行い数値解析との比較検討を行う。

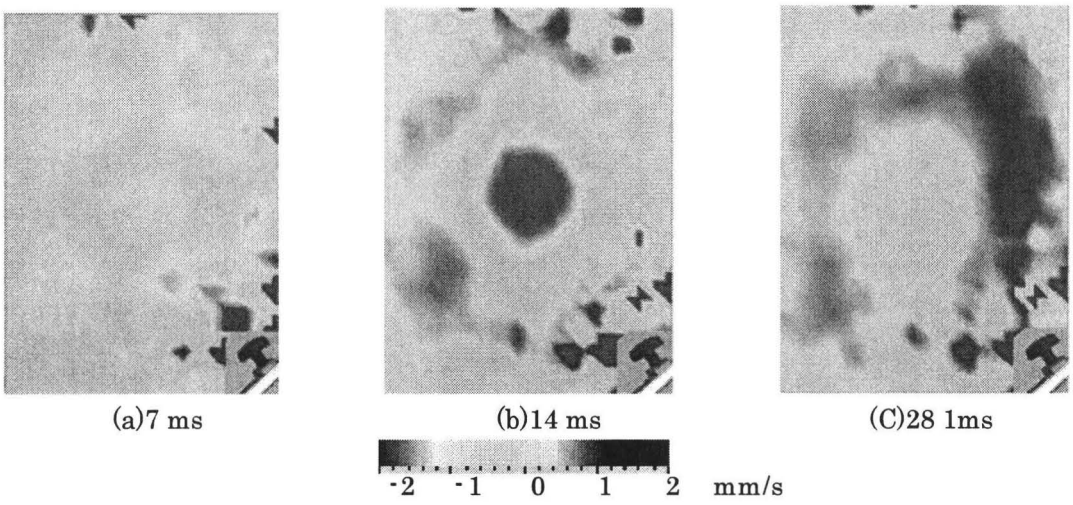


図-16　測定結果

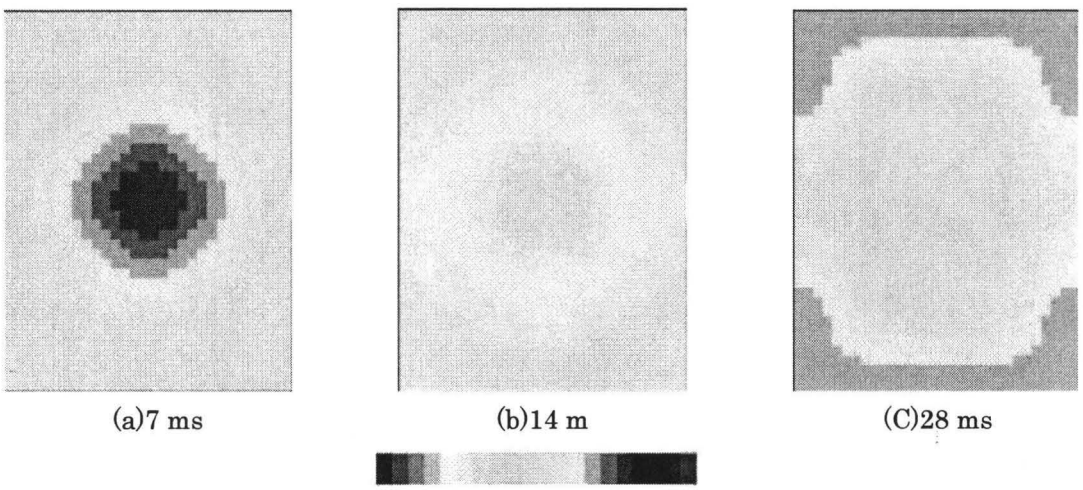


図-17 数値解析結果

5．　最小断面平行分割法による並列計算効率の定量化

最小断面並行分割法を用いた並列計算の効率を定量化する。
解析対象として３次元の波動方程式を正方形グリッド（$\Delta x = \Delta y = \Delta z$、図-7 参照）の下で離散化すると、$\lambda_x = c \cdot \Delta t / \Delta x$, $\lambda_y = c \cdot \Delta t / \Delta y$ および $\lambda_z = c \cdot \Delta t / \Delta z$ として次式が得られる[17]。

$$p_{ijk}^{n+1} = \lambda_x^2 p_{i+1,j,k}^n + \lambda_y^2 p_{i,j+1,k}^n + \lambda_z^2 p_{i,j,k+1}^n + 2\left(1 - \lambda_x^2 - \lambda_y^2 - \lambda_z^2\right) p_{ijk}^n + \lambda_x^2 p_{i-1,j,k}^n + \lambda_y^2 p_{i,j-1,k}^n + \lambda_z^2 p_{i,j,k-1}^n - p_{ijk}^{n-1} \quad (73)$$

初期条件は式(9),(10) とする(図-2 参照)。

全ての境界は剛であると仮定する。したがって、境界条件として式(11) を用いる。

以上のような初期条件(9), (10)および境界条件(11)の下で、式(73)を用いて各グリッド点における音圧の数値解を繰り返し計算していく。計算に際しては、空間グリッド幅として

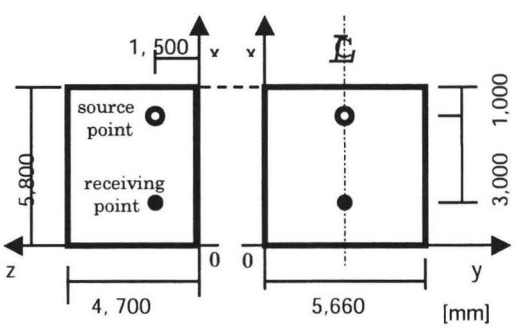


図-20　計算効率定量化のための解析対象

0.02 [m] を、時間ステップ間隔として $\Delta t = 0.02$ [ms] を設定した。
解析対象領域は最小断面平行分割法を用いて分割する。ここで解析する音場を以下の図-20に示す。この音場の場合、$yz-$ 面に平行に分割して計算する。

本研究で用いている陽差分スキームによる計算手法はその他の計算手法と比べてプロセス間通信量を小さく抑えることができる。したがって、本手法は MPI を用いた解析に適しているといえる。結果として、本手法は他の手法と比べてプロセス間通信に要する時間を短縮することができる。

表-2 に、p 個のプロセスを用いた並列計算による計算時間 $T_\pi(p)$ を示す。ここで、並列計算を行わないプログラムによる計算時間 T_σ を 1.0 とする。

時間短縮倍率 $S(p)$ および計算効率 $E(p)$は次式で定義される [8] 。

$$S(p)=\frac{T_\sigma}{T_\pi(p)}, \qquad E(p)=\frac{T_\sigma}{pT_\pi(p)} \qquad (78, 79)$$

表-2 プロセス数 p における並列計算による計算時間 $T_\pi(p)$、時間短縮倍率 $S(p)$ および計算効率 $E(p)$

p	$T_\pi(p)$[-]	$S(p)$[-]	$E(p)$[-]
1	1.0	1.0	1.0
2	0.580	1.73	0.862
3	0.442	2.26	0.754
4	0.384	2.60	0.651
5	0.337	2.96	0.593
6	0.282	3.54	0.590

p の増加に対して $S(p)$ の値が増加している。この結果から、本研究で用いた最小断面平行分割法が有効であることがわかる。p の増加に対して $E(p)$ の値が減少している。またその減少の傾向がプロセス数の増加に従って鈍化していることが見て取れる。この結果から、本研究に用いているアルゴリズムにはさらに改良が必要であることがわかる。

本章では並列計算における時間短縮倍率を算出した。その結果から、最小断面並行分割法が有効であることが示された。また本章で用いたプログラムにおける計算効率についても算出した。本研究で用いているコンピュータ・クラスタは 128 ノードから構成されるかなり大規模な並列計算システムである。しかし、この程度の規模の並列計算システムを用いても、本章での計算結果から推定するとコンサートホールのような大きさの３次元音場を高い周波数まで計算することは依然として不可能であるといえる。現在では、数千ノードから構成されるような並列計算システムが日本国内だけでも数ヶ所で構築されている。こうしたことから、数千台規模の 64bit コンピュータで構成されるコンピュータ・クラスタが構築されることが期待される。そのような並列計算システムをもって初めてコンサートホール程度の音場が高い周波数まで数値解析できるものと考えられる。

6． 数値計算による窓透過損失性能の推定

本章では、定量的な妥当性を検討する１つの解析例として、窓透過損失性能を数値解析により推定する方法を用いて検証する。

現状では３次元においては十分に高い周波数まで解析できないことから、本研究では２次

元での解析を行った。２次元音場における音場の支配方程式をスタガードグリッド系（$\Delta x = \Delta y$、図-1 参照）により離散化する[1]。

$$u_{ij}^{n+1} = u_{ij}^{n} - \frac{\Delta t}{\rho \Delta x}\left(p_{i+1/2,j}^{n+1/2} - p_{i-1/2,j}^{n+1/2}\right), \qquad v_{ij}^{n+1} = v_{ij}^{n} - \frac{\Delta t}{\rho \Delta y}\left(p_{i,j+1/2}^{n+1/2} - p_{i,j-1/2}^{n+1/2}\right) \tag{83, 84}$$

$$p_{i+1/2,j}^{n+1/2} = p_{i+1/2,j}^{n+1/2} - \frac{\kappa \Delta t}{\Delta x}\left(u_{ij}^{n} - u_{i-1,j}^{n}\right) \tag{85}$$

インパルス音源を近似した初期条件として以下の式で記述される連続で滑らかな音圧分布を仮定する（図-2 参照）。

$$p(t=0,x,y) = \begin{cases} A\left[\cos^2\left\{\frac{\pi}{2h}(x-\alpha)\right\}\cos^2\left\{\frac{\pi}{2h}(y-\beta)\right\}\right] & (\alpha-h \le x \le \alpha+h, \beta-h \le y \le \beta+h) \\ 0 & (0 \le x < \alpha-h, \alpha+h < x \le a),\ (0 \le y < \beta-h, \beta+h < y \le \beta) \end{cases} \tag{86}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t}(t=0,x,y) = 0 \tag{87}$$

境界条件については３次元のものと同一の式となる。

振動場の支配方程式を図-26 に示すようなスタガードメッシュ系を用いて次式のように離散化する[4]。

$$U_{ij}^{n+1} = U_{ij}^{n} + \frac{\Delta t}{\rho \Delta x}\left(\left(\tau_{xx}\right)_{i+1/2,j}^{n+1/2} - \left(\tau_{xx}\right)_{i-1/2,j}^{n+1/2}\right) + \frac{\Delta t}{\rho \Delta y}\left(\left(\tau_{xy}\right)_{i,j+1/2}^{n+1/2} - \left(\tau_{xy}\right)_{i,j-1/2}^{n+1/2}\right) \tag{93}$$

$$V_{i+1/2,j+1/2}^{n+1} = V_{i+1/2,j+1/2}^{n} + \frac{\Delta t}{\rho \Delta x}\left(\left(\tau_{yx}\right)_{i,j+1/2}^{n+1/2} - \left(\tau_{yx}\right)_{i-1,j+1/2}^{n+1/2}\right) + \frac{\Delta t}{\rho \Delta y}\left(\left(\tau_{yy}\right)_{i+1/2,j}^{n+1/2} - \left(\tau_{yy}\right)_{i+1/2,j-1}^{n+1/2}\right) \tag{94}$$

$$\left(\tau_{xx}\right)_{i+1/2,j}^{n+1/2} = \left(\tau_{xx}\right)_{i+1/2,j}^{n-1/2} + \frac{\lambda \Delta t}{\Delta x}\left(U_{ij}^{n} - U_{i-1,j}^{n}\right) + \frac{\lambda \Delta t}{\Delta y}\left(V_{i+1/2,j+1/2}^{n} - V_{i+1/2,j-1/2}^{n}\right) + \frac{2\mu \Delta t}{\Delta x}\left(U_{ij}^{n} - U_{i-1,j}^{n}\right) \tag{95}$$

$$\left(\tau_{yy}\right)_{i+1/2,j}^{n+1/2} = \left(\tau_{yy}\right)_{i+1/2,j}^{n-1/2} + \frac{\lambda \Delta t}{\Delta x}\left(U_{ij}^{n} - U_{i-1,j}^{n}\right) + \frac{\lambda \Delta t}{\Delta y}\left(V_{i+1/2,j+1/2}^{n} - V_{i+1/2,j-1/2}^{n}\right) + \frac{2\mu \Delta t}{\Delta y}\left(V_{i+1/2,j+1/2}^{n} - V_{i,+1/2j-1/2}^{n}\right) \tag{96}$$

$$\left(\tau_{xy}\right)_{i,j+1/2}^{n+1/2} = \left(\tau_{xy}\right)_{i,j+1/2}^{n-1/2} + \frac{\mu \Delta t}{\Delta x}\left(V_{i+1/2,j+1/2}^{n} - V_{i-1/2,j+1/2}^{n}\right) + \frac{\mu \Delta t}{\Delta x}\left(U_{ij}^{n} - U_{i-1,j}^{n}\right) \tag{97}$$

ガラス端部はピン支持とする。ガラス単板の物性値については表-1 を参照のこと[2]。

初めに第４章でも行った音場内の音圧分布の計算・表示を行う。図-28 にインパルス音源発生後の音圧分布を示す。音圧の計算値を dB 値で示す。音源の振幅を 0 dB とする。図-28 に用いたカラーチャートを図-27 に示す。5 dB 毎に異なる表示とした。

本解析では２次元解析にしたことで十分なメモリ容量を確保することができ、かなり高い周波数まで解析が行えるようになった。結果として音源から円形に波面が拡がり、窓面を透過していくパルス波の動きがよく分かる結果を得た。

図-27　音圧分布表示に用いたカラーチャート

図-28 の結果から、本手法の妥当性を定性的に確かめられたと考えられる。しかし、第４章での LDV による実験結果との比較でも、解析結果の絶対量を比較することができなかった。そこで透過損失量を比較対象として、本手法の妥当性を検証する。

解析対象とした連成場の形状を図-29 に示す。

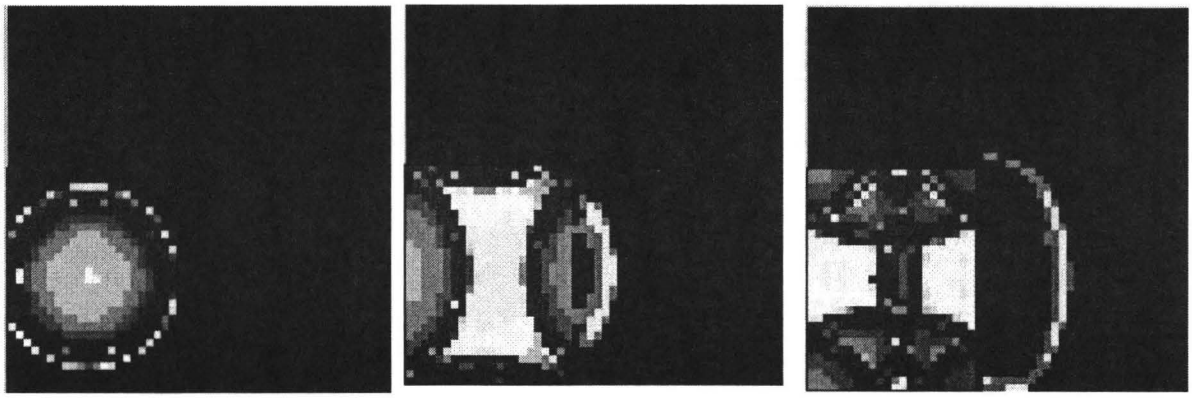


図-28　インパルス音源発生後の音圧分布

式(86)に示すような平面波形状のパルス波を音源とし、ガラス面手前と向こう側の２点での応答を計算する。

数値計算に際しては、直交グリッドを用いて空間の離散化を行った。離散化幅は0.005 mである。0.01 ms 毎の応答を計算し、インパルス応答を求めた。

計算により求めた透過前（受音点１）と透過後（受音点２）のインパルス応答からそれぞれ直接音を切り出す。それぞれ周波数解析を行い、両者のレベル差を得る。これをもって透過損失の計算値とする。

得られた透過損失の値を図-30 に示す。得られた透過損失の周波数特性は右上がりの特性を示し、ある程度の計算精度を有しているものと思われる。本章において音源として設定したパルス波は 2.8 kHz を超えると急激に減衰する周波数特性をもつ。従って、並列計算を行うなどして解析周波数上限を 2 倍程度拡大させる必要がある。

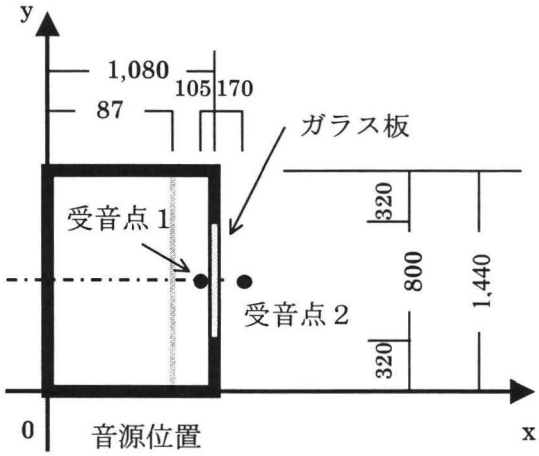


図-29　解析対象の形状

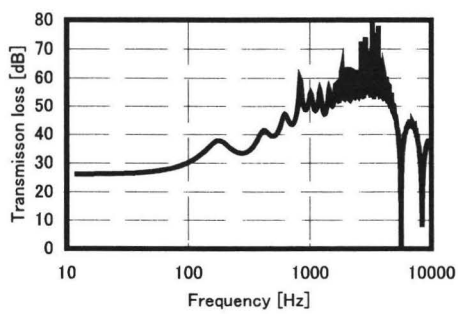


図-30　透過損失の計算値

本手法においては前提として以下の課題が存在する。

① 振動場における境界条件モデル　②時間応答解析と定常場解析

③ 音源の平面波入射とランダム入射

本報ではガラス端部はピン支持として解析を行った。しかし現実の例えば嵌め殺し窓における端部の境界条件をどのようにモデル化するかという問題は本手法の解析精度を高める上での非常に重要な要素となると考えられる。逆に言えば現状では音－振動連成場において大まかな特性を掴むといったレベルの解析に留まらざるを得ないということもできる。

7．　総括

ガラス嵌め殺し窓を想定した音響ー振動連成場の数値解析を行った。

分散メモリ型並列計算機を用いて数値解析の並列計算を行った。並列計算アルゴリズムの構築にあたっては MPI を用いた。並列計算アルゴリズム構成にあたっては、「最小断面平行分割法」という解析領域の分割法を提案した。分散メモリ型並列計算において計算時間の大部分を占めるデータ通信の効率化・高速化を目指したものである。

第１章では、本研究の目的について記した。

第２章では、スタガードメッシュ系をもつ差分スキームにより音場および振動場の支配方程式を離散化した。計算の高速化と解析周波数上限を高める目的で、連成場の並列計算を行った。さらに並列計算に際して解析時間をより短縮する可能性をもつ解析領域の分割法として「最小断面平行分割法」を提案した。また、音場と振動場の連成条件とその数理モデルのついて述べた。

第３章では、本解析対象で大きな計算量を占める音場解析の改良を図った。Friedrichs スキームには人工粘性が含まれている。初めに人工粘性と離散化時間・空間幅との関係を導出した。熱伝導・媒質の粘性を加えた支配方程式との比較を行い、空気の粘性をシミュレートするための時間・空間幅における関係式を導いた。これにより、空気の粘性をシミュレートすると同時に音場領域での計算量を圧縮する可能性を示した。実際にどの程度計算量が圧縮できるかの定量化についてはさらに検討が必要である。

第４章では、実際に本手法を用いて解析する対象を設定し実験結果との比較を行った。対象物は重量コンクリートにより製作した。走査型レーザドップラー振動計を用いて、窓面表面の振動を測定し計算結果と比較した。窓面表面の振動速度分布は計算結果と測定結果で似た傾向はもつものの、振動の速度や窓面の共振状態などで差異が見られた。透過音の可視化について引き続き試行しているものの S/N が確保できないからか未だに測定できていない。

第５章では、並列計算における効率の定量化を行った。並列計算の分野で定義されている時間短縮倍率と計算効率を算出し、本研究で提案している「最小断面平行分割法」を分析した。使用プロセス数の増加と共に時間短縮倍率も上昇し、本手法の有効性を示すことができた。一方で、プロセス数の増加と共に計算効率の低下が見られた。全ての並列計算アルゴリズムにおいて、プロセス数増加に伴う計算効率低下は不可避ではあるものの、少しでも低下を抑制させるアルゴリズムを追及しなければならない。本章で得られた知見を応用し、第３章で行った Friedrichs スキームによる計算効率の定量化につなげたいと考えている。

第６章では、透過損失を算出することで解析結果を定量的に評価した。現状では３次元解析では十分に高い周波数まで解析することができないことから、初めに２次元における音場ー振動連成解析について詳述した。音圧分布算出を行った。音源からパルス波が円形に拡がり、さらに窓を透過していく様子を示すことができた。さらに、平面波のパルスを音源とし透過損失を算出した。得られた透過損失の周波数特性は右上がりの特性を示し、ある程度の計算精度を有しているものと考えられる。

第４章における計測結果との比較、第６章における透過損失の算出により、第２章で提示した本手法の有用性を示した。２次元での解析結果にはある程度の妥当性が確認できたと考えている。一方で第５章における計算効率の定量化からの推定で、３次元での解析には数百を超えるコンピュータ・クラスタが必要になることが分かった。そこで第３章に示した人工粘性の導入などにより計算量の圧縮を図っている。それでも 100 台レベルのコンピュータ・クラスタが必要となる。また計算精度の向上には振動場における境界条件の精度向上が必須であることも分かった。

同志社大学土屋隆生氏を中心とした GPU による音場の並列計算が行われている。窓の透過音解析という本研究の課題においては、音場解析が全体の計算量の多くを占めることとなる。これに対して窓の振動解析においては計算量はそれほど多くないものの複雑な数値解析が必要となる。そこで今後、通常の音場解析を GPU を用い、窓の振動解析および連成解析を CPU を用いて解くという１台のパーソナルコンピュータ内部での並列解析を予定している。最新の CPU ではコアを２つあるいは４つもつものも一般化してきている。そこで、振動場内部も分割し並列計算する可能性もある。こうした同一コンピュータ内部での並列計算は、本研究で行った Ethernet を介したデータ通信に対して圧倒的に高速であることから、非常に高い可能性をもった計算手法であると考えている。

参考文献

[1] Y. Tokita, K. Ogino, Y. Oikawa and Y. Yamasaki, “The numerical analysis of sound fields produced by flat panel loudspeakers,” *Proc. of ICA2004*, We.P2.11, III-2373-III-2376, 2004.

[2] 佐藤泰夫, 弾性波動論, 岩波書店, 1978.

[3] 鶴秀生, “Mindlin 平板振動モデルと３次元差分法解析の比較,” 音響講論(春), pp.993-996, 2008.

[4] 佐藤,若槻, “FDTD 法による弾性波解析におけるいくつかの自由境界条件設定法の比較,” 音響講論(春), pp.1227-1228, 2006.

[5] Y. Tokita and Y. Yamasaki, ”Visualization of 3-dimensional sound fields by numerical solutions of particle displacement,” Acous. Sci. and Tech., **26**, 2, 215-217 (2005)

[6] 松本,古場,羽田野,“流体ー固体境界における超音波挙動の差分法による可視化,” 音響講論(春), pp.1191-1192, 2006.

[7] Y. Tokita, Y. Oikawa and Y. Yamasaki, “Parallel computing on the sound field analysis by bread slicing method,” Acous. Sci. and Tech., **29**, 1, 113-116 (2008)

[8] P.パチェコ,秋葉博(訳), MPI 並列プログラミング, 培風館, 2001.

[9] 登坂宣好, 大西和榮, 偏微分方程式の数値シミュレーション, 東京大学出版会, 1991.

[10] 鴇田,橘, “波動方程式に基づく長方形閉空間の音響エネルギーの非定常解析解,” 音響講論(秋), pp.807-808, 1995.

[11] 鴇田, “Friedrichs スキームによる２次元音場の数値解析,” 音響講論(秋), pp.967-968, 2007.

[12] 土屋, “FDTD 法における音波古典吸収の簡易組み入れについて,”音響講論(秋), pp.1239-1240, 2007.

[13] 鎌倉友男, 非線形音響学の基礎, 愛智出版, 1996.

[14] 鴇田,坂本,橘, “波動方程式に基づく直方体閉空間の非定常解析解,” 音響講論(秋), pp.955-956, 1994.

[15] 前川純一, 建築・環境音響学, 共立出版, p.99, 1990

[16] 池田, 岡本, 小西, 及川, 鴇田, 山崎, “レーザトモグラフィを用いた進行波の観測,” 日本音響学会誌, Vol.64, No.3, pp.142-149, 2008.3

[17] 鴇田,橘, “VRML を用いた３次元音場におけるエネルギーの流れの可視化,” 音響講論(春), p.907-908, 1997.

[18] 鴇田,坂本,橘, “波動方程式に基づく直方体閉空間の非定常解析解,” 音響講論(秋), pp.955-956, 1994.

[19] 鴇田,八十島,原川,福山,山﨑, “弾性体板加振による放射音の並列計算,” 音響講論(秋), pp.1143-1144, 2008.

[20] Y. Tokita “Parallel computing of the transmitted sound through a grass pane by bread slicing method,” Proc. of Inter-noise 2008, 0607, 2008.

[21] 鴇田, “Friedrichs スキームによる空気吸収を考慮した音場数値計算,” 日本音響学会建音研資料, pp.1-5, 2008.

[22] 中嶌,鴇田,福山,大内,山崎, “並列計算機による窓透過音の数値解析,” 音響講論(春), pp.977-978, 2009.

[23] 鴇田,大内,中嶌,福山,山崎, “数値計算による窓透過損失性能の推定,” 音響講論(秋), pp.1135-1136, 2009.

伝統的住宅保存の経済分析
－木曽妻籠宿を事例に－

新潟大学経済学部
准教授　澤村　明

1．はじめに–本研究の背景と目的、研究方法

1－1．研究の背景

伝統的住宅の維持継承には、その技術的分野だけでなく、経済的な課題の解決も求められている。保存の担い手が個人であれ団体であれ、経済的な基盤が必要であるし、経済的なサポートがないために破壊されるものも多い。

歴史的街並みを含めた遺跡・古建築物といった文化遺産は、従来、文化的価値のみで議論されることが多く、ともすれば「保存か破壊・開発か」という不毛な二元論に陥りがちであった。保存を訴える側は、開発側の経済的動機に対抗するだけの理論武装ができず、議論はかみ合わないことが多かった。そこには不動産開発と比べると文化的利用では収益が上がらないとされることが根底にある。

しかし、90年代以降の世界遺産ブームの中で、街並みなどの文化遺産に観光面での経済効果を期待する声が出てきた。そこで求められるのは、一過性のブームによる観光収益ではなく、持続可能な利用である。その期待に対して実証的な調査研究は少なく、取り組みが必要な分野である。また、街並みはそこに住む人々が存在するために複雑な要因が介在し、単に保存して観光利用すれば良いというものではない。観光客による日常生活の妨害や混雑による不利益などもありうる。街並み保存運動が全国的広がりを見せるなかでは、単に文化的価値を提唱し、住民に我慢を強いるだけでなく、経済的な実益がありうるのかどうかを実証することが必要であると思われる。

1－2．研究の目的

文化遺産を活用することで地域社会に経済的にもプラスの効果をもたらしているのか、日本の街並み保存の原点である中仙道の長野県南木曽町妻籠宿について調査を行なう。

妻籠宿は昭和43年から保存運動が始まり、昭和51年に国の重要伝統的建造物保存地区に選定された、日本の街並み保存のはしりである。妻籠では、街並みを守るために家や土地を「売らない・貸さない・壊さない」という3原則を自主規制として守っており、そうした保存運動が、観光客の呼び込みなどにより地域経済に影響を与えたかを調査する。

妻籠宿については、建築史的な調査研究のほか、社会学的な研究も行なわれているが、

その経済的側面についての調査研究は皆無であり、本研究が初めてのものとなる。長期的に考察することで、その保存の意義を改めて問い直す。

1－3．研究手法

これまでの調査研究では実現していない街並み保存の経済効果を長期的に捉えようという試みであり、妻籠宿の統計データを用いる。妻籠宿は日本の街並み保存運動発祥の地であり、観光化によって潤ったということは当事者たちの証言などで伺えるが、40年間の経済統計を用いることで、経済学的にも確認しようというものである。

2．街並み保存の長期的な経済効果–妻籠宿を事例に

街並み保存が地域経済にどのような影響を与えたかについて、イベントなどから単年度のレベルでの測定は多少の研究蓄積が見られる。しかしながら、街並み保存は10年単位で実現されていく長期的な営みであり、また保存の成功から観光地化による経済効果発現までにタイムラグが生じることもありうる。さらに社会情勢の動向により、一時的に来訪者が増えても、やがて減ることもあろう。したがって、街並み保存が地域経済にどのように影響を与えるかは、長期的に把握する必要がある。

本章では、街並み保存と地域経済の関係を長期的に把握するために、長野県南木曽町の妻籠宿を事例として、その40年の動向を観光統計などから推測する。妻籠宿を対象とする理由は、日本の街並み保存発祥の地であり40年に及ぶ各種データが利用できること、後述するように当初から観光化を視野に入れていたことからその目的の実現度を検証できること、である。

もとより妻籠宿については、その建築的価値や保存運動について、キーパーソンである小林俊彦をはじめとする当事者の証言や、さまざまな研究がなされている。本稿はそれらとは視座が異なるために、ほとんど触れない。

2－1．妻籠宿の保存と観光地志向について

1）妻籠宿保存の概略

妻籠宿は長野県の西側、岐阜県との県境に近い南木曽町に位置し、木曽中仙道の宿場として知られている。その西側の次の宿場町が馬籠宿の位置する旧山口村であったが、2005（平成17）年に岐阜県中津川市へ越境合併している。

妻籠宿の本格的な保存は1967（昭和42）年に、建築史家であった故・太田博太郎が妻籠宿の脇本陣・林家についての調査依頼を受けて来町し、その折に町並み保存について相

談を受けたことから始まる。

当時は建造物単体を文化財指定して保存することは可能であったが、連坦する建造物群を「町並み」として保存することは考えられておらず、この時、太田が妻籠を調査したことをきっかけとして、伝統的建造物保存地区が法制度化することになる。

妻籠は翌年から、長野県の明治百年記念保存事業として保存整備事業がスタートし、おりから、大阪万博以降の国内観光を喚起すべく旧国鉄が始めたディスカバージャパン・キャンペーンの効果などもあり、観光客が訪れるようになった。今日では、英語版の旅行ガイド「死ぬまでに見たい世界千カ所」(Schutz, P. [2003]) にも紹介されるなど、日本国内だけでなく、世界的に知られた観光地となっている。しかし、街並み保存の結果、観光地となったのではなく、当初から観光地となることを想定していたことについて、当事者の証言などから整理しておく[1]。

2）保存と観光地化

戦後、一寒村であった妻籠宿では、昭和30年頃から隣の馬籠宿に島崎藤村ブームが起こり、観光客で地域が潤ったという情報がもたらされていた。一方、馬籠が観光化するにつれ、妻籠を訪れる人から「馬籠は俗化した」「妻籠はこのまま残して欲しい」という感想を聞きながらも、馬籠の観光ブームは羨望の的であり、馬籠の観光客を妻籠へ引っ張ってくる方策を話し合っていたという。

1961（昭和36）年に市町村合併で現在の南木曽町と南木曽町観光協会が発足する。1965（昭和40）年には観光予備調査が行なわれ、また妻籠地区で13名によって資料保存会が発足した（後の妻籠を愛する会の母体)。翌1966（昭和41）年に国鉄などによる観光調査が入り、林家住宅などが南木曽町文化財に指定される。1967（昭和42）年には太田博太郎が視察し、これが後の重要伝統的建造物保存地区の制度化と、妻籠宿が最初の指定地区となることにつながる[2]。同じ時期、妻籠の保存計画などが新聞記事に載るようになり、翌1968（昭和43）年に「妻籠を愛する会」が設立され、長野県と南木曽町によ

1) 参考としたのは、小林俊彦 [1987、1998a、1998b、2007] 小寺武久 [1989、1998]、小笠原宏 [2004] である。

2) 太田の視察は、脇本陣の調査と依頼されながら実は街並み保存についての話だったという、悪くいえば「騙し討ち」のようなものであった、というエピソードは、太田自身も小林俊彦も明らかにしていることである。筆者が太田から私的に聞いた話では、当時、単体の建造物を保存する制度はあっても、群で保存する制度がないために、戸惑ったのだという。なお、吉兼秀夫 [2000] では「大田は小林の強い要請に渋々調査に同意する」と表現されているが、当の吉兼自身は「意図は小林さんの熱意を強調する意味で使った言葉だった」由である（2008年2月19日付メール)。なお、太田自身による証言等は、太田博太郎＆小寺武久 [1984]、太田博太郎他 [2001]。

る保存工事が本格化する。同年には年間2万2,000人であった観光客は、翌1969（昭和44）年には5万1,000人、1970年（昭和45）年14万6,000人と倍増のペースを見せ、1971（昭和46年）頃にはディスカバージャパンの一環として、女性誌などにも取り上げられ、1972（昭和47）年以降は年間50～60万人が訪れる大観光地となった。

妻籠を愛する会が設立された当時、旅館は3軒であったのが、3年ほどで旅館と土産屋を合わせて50数軒になったという。が、「住民の大部分は観光客の増加は一時的なブームだというふうに見ており、『ブームが去れば妻籠は昔の妻籠、金儲けは今のうち』という風潮が流れ」て、「保存の理と観光の利」が対立し始めた（小林俊彦［1998b］）。土地が買われるという事件も起き、1971年に住民憲章が制定される。小林の証言は下記である。

> ……利の組織（営業者のみで観光協会）と理の組織（資料保存会→妻籠を愛する会・非営業者に強い発言力をもたせた）に分けて考えて実行した。この二つの組織をうまく運用することによって、ともすれば商業主義や金もうけ一辺倒になりがちな営業者個々の暴走に歯止めをかけ、また住民運動をすすめるために（理の組織ではない）必要な資金調達を利の組織に負担させるなど、おのおのの組織の利害得失のバランスをはかりつつ、うまくことが運ぶように心がけてきた（小林俊彦［1998b］）。

ここに明言されているように、観光化とともに、その弊害についても予想した地域経営を設計していたことがわかる。以下、その観光化による経済効果について検証してみたい。

2－2．妻籠宿の観光動向－馬籠と対比しながら

長野県の観光関係統計データとしては、1967（昭和42）年度以降のものが利用できる（長野県の観光統計が昭和40年度から記録されているが、妻籠宿が観光地として掲載されるのは昭和42年度以降である）。妻籠の観光化の経緯、また旧中仙道の宿場町として「妻籠・馬籠」と並び称されることから、隣の馬籠と対比しながら、見ていく[3]。

一般に観光地の来訪者数は、有料で人数を数えられる閉じた施設以外では、概数であって正確でないことが多い。妻籠宿の場合は、駐車場を有料とし、普通車、バスなど料金種

3）以下、観光統計関係のデータは特記がないかぎり、長野県商工部観光課編「観光地利用者統計調査結果」各年度版による（昭和40～44年は「観光地利用者統計表」。平成15年以降は部署名変更）。ただし平成2年度についてはデータが欠損している。一部、（財）妻籠を愛する会と南木曽町から提供を受けた資料によって補完した。なお馬籠の属する長野県山口村は2005（平成17）年2月に岐阜県中津川市と越境合併したため、行政区分の変更に伴い調査方法等が変わっている可能性があり、2004（平成16）年度のデータまでとした。

別に応じて1台あたり平均的な乗車人数を想定、積み上げているので[4]、ほぼ正確な数値で、馬籠や南木曽から旧中仙道を徒歩で訪れる人数分、過小集計の可能性がある。

まず来訪者数としては、1985（昭和60）年度まではほぼ同じ程度の来訪者数であったが、1986（昭和61）年度以降は、馬籠来訪者が漸減気味であるのに対し、妻籠来訪者は1993（平成5）年度に98万2,000人というピークを挟んで安定的に推移し、常に馬籠来訪者を上回る状態を見せている（図1[5]）。

一方、観光消費額で見ると[6]、やや結果が異なる。統計の取られ出した1969（昭和44）年度以降、1985（昭和60）年度までは馬籠のほうが観光消費額が大きく、年度によっては妻籠の2倍の観光消費額となっている（図2）。ただしこの結果は疑わしい。長野県の観光統計で見る限り、県内にはスキーやリゾートなどの宿泊型観光地が多いため、馬籠や妻籠での観光客一人当たり消費額は、宿泊者よりも日帰りが多いこともあり、県全体の平均金額より小さい。図3が、馬籠と妻籠の一人当たり観光消費額が長野県全体の一人当たり平均観光消費額に対してどの程度に留まっているかを示している。ところが、馬籠に関しては、1985（昭和60）年度以前の一人当たり消費金額が妻籠の2倍近い金額で推移している。馬籠と妻籠に観光消費対象に大きな差はないし、宿泊率は1975（昭和50）年度まで妻籠のほうが高く以後は同じ水準であり、おそらくデータの取りかたが異なっていた

4) 藤原義則・妻籠を愛する会常務理事からの教示。2008年2月1日。

5) 筆者作成。データなどは注14参照。数値は資料欄に記載。

6) 観光消費額については統一的な定義はないが、本稿で用いた長野県統計の定義では「観光客の観光行動に伴う経費で、当該観光地内で支出した宿泊費、交通費、飲食娯楽費、土産その他買物費、観覧料又はこれに類するもの、その他。ただし、交通費のうちバス代等については、最寄りの駅から当該観光地までの往復料金」。

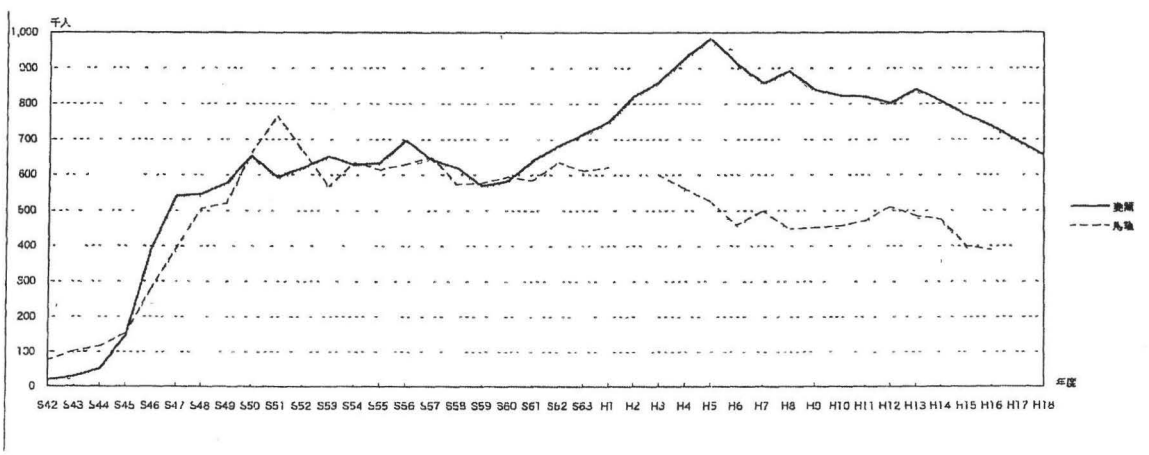


図1　妻籠・馬籠の観光客数推移

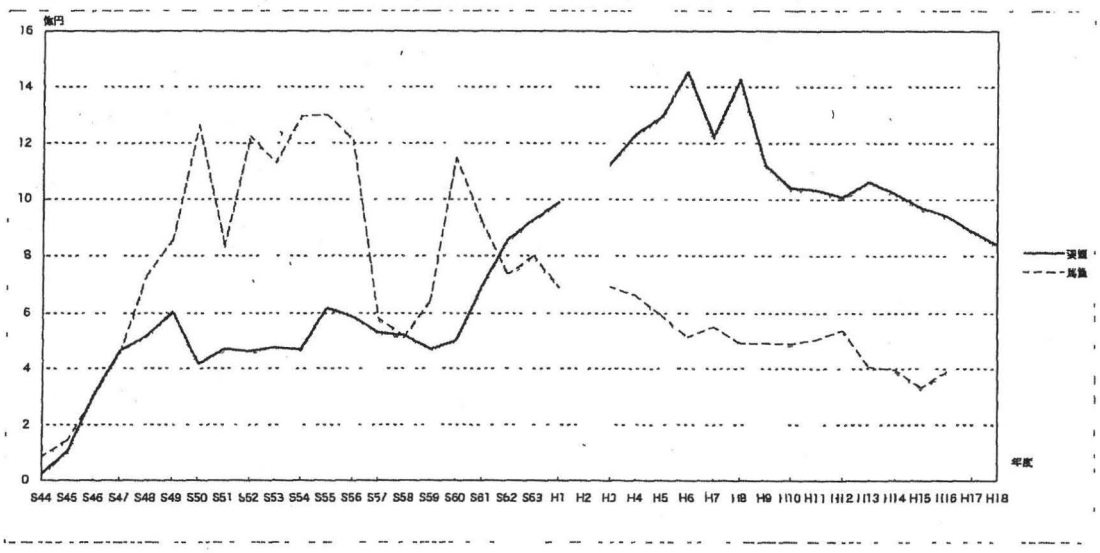


図２　妻籠・馬籠の観光収入額推移

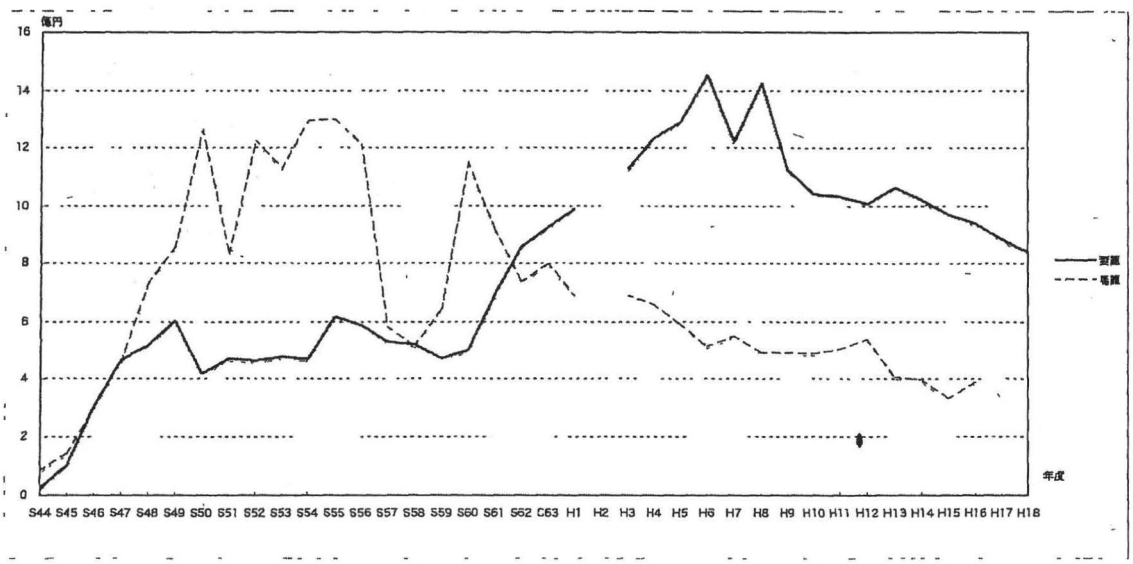


図３　馬籠・妻籠の一人当たり観光消費額の県平均値に対する割合推移

のであろう。したがって、1985（昭和 60）年度以前の馬籠の観光消費額については、図１の来訪者数に見るように妻籠と凸凹しながら同程度の金額で推移したと見るべきである。

2－3．投資対効果の略出

街並みに限らず、文化遺産は維持整備が必要であり、往々にして巨額の補修修復の費用が用いられる。ここでは、妻籠宿にもたらされた観光消費に対して、その観光客の目的である「街並み」などに支払われた公的資金を取り上げる。いわば、公共事業の費用便益分析に似た手法によって、「街並み保存はペイしたか」を検討することになる。

妻籠の街並み整備は1967（昭和42）年度以降、南木曽町、長野県、国の3者から対象事業に応じて支出されている。2006（平成18）年度までの40年間で、累積金額は29億円近い。その年度別推移と対応する観光消費額をグラフ化したのが図4である。ほとんどの年度で観光消費額のほうが大きく、累積で287億円を上回る。1992～94（平成4～6）年の3年度間に突出しているのは、本陣と歴史資料館の建設費を起債しているためである。[7]

こうした公共事業のように費用と便益との対比を分析する場合、費用が先行して支出され、便益は後年から実現する。そのタイムラグが大きい、あるいは長期間に及ぶ場合は、通貨価値の変化に応じ、ある年度の価格に揃えて比較する必要がある。図4で示した妻籠の公共支出と観光消費額の累積金額を、2006（平成18）年度価格に換算すると[8]、公共支出が63億円弱、一方の観光消費額は620億円弱である。[9]

費用便益分析では、支出した費用に対する発生便益額の比が1以上であれば良いとす

7) 本来は、その償還年数に予定利率を乗じて配分したほうが現実の公共支出金額に沿う。さらに地方交付税などによって充当される分を差し引く必要があるが、それらが不明であるため図3では起債金額を当該年度に計上した。いずれにしても費用便益分析的な結果は変わらない。

8) 経済学では「○○の時点の価値に割り引く」といい、本稿では割引率を各年度頭の長期プライムレートを用いた。

9) こうした分析で関心を持たれるのは、地域全体での収益ではなく、税収額であることも少なくない。すなわち、公共支出を税収でリカバーできたか、という視点である。その地域の税収の変化のうち、どのぐらいが観光地化に伴うものであるかを区分するのは困難であり、経済統計上は、産業連関表の税収係数を用いることが多い。まず当該年度の産業連関表があり、その産業連関表に税収係数が含まれていれば算出できるが、今回は算出できなかった。理由は次の3点である。1）利用できる観光統計からは飲食業、小売業といった業種別のデータが得られず、産業連関表で算出できない、2）長野県の産業連関表は1980（昭和55）年から5年おきに作成されていて、それを用いて1969（昭和44）年まで遡った推測をするのは妥当でない、3）そもそも税収係数は算出されていない。

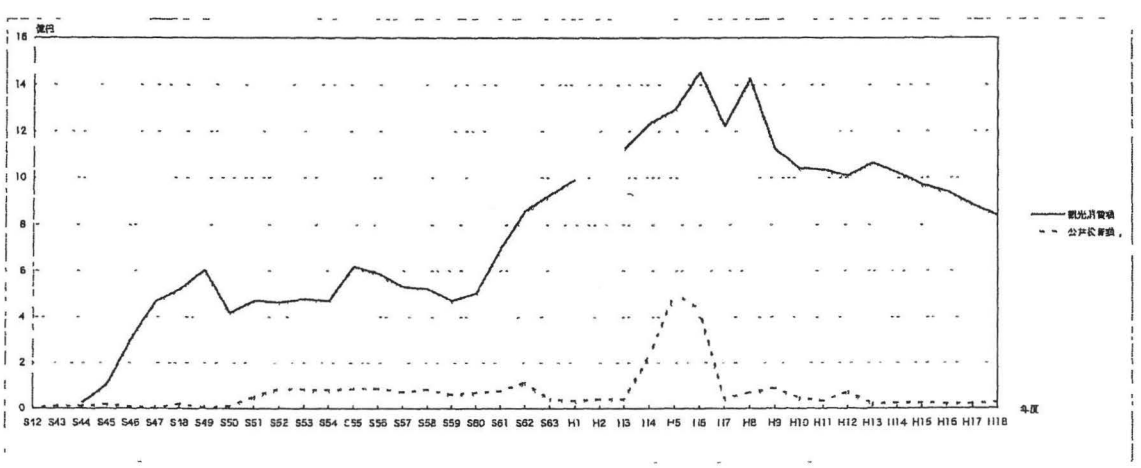


図4　妻籠の観光収入額と整備関係公共事業費の推移

る。妻籠宿の公共支出と観光消費額を比較すると、観光消費額のデータが得られる1969(昭和44)年度以降、常に観光消費額が上回り、突出した年度を除いて2から40までの幅となっている。平均で10近い数値であり、時系列的な変化には統計的に有意な傾向は見られないが、21世紀になってからはほぼ30以上の高い値で安定している。おそらく整備事業が終息し、観光地として世界的にも紹介されるほどの地位を固めたからであろう。[10)]

なお、2－2で紹介したような先行研究や、地域経済についての調査では、その地域の産業連関表を用いて、小売業、飲食業といった部門別に、1単位の消費増が巡り巡ってどのぐらいの生産額を誘発したかという、いわゆる「波及効果」を計算している。今回の長野県の観光統計では、こうした部門別のデータ存在しないため、波及効果は算出していない。

2－4．小括

本章では、日本の街並み保存発祥の地である妻籠宿について、その40年間の観光消費額の推移から、観光地としては経済的に成功を収めていることを示した。当事者の証言などで、観光地として収益が上がっていることは断片的に語られていたが、一時的なものではなく、長期にわたり持続的に地域経済に貢し続けていることが明らかであろう。

3．おわりに－本稿の意義と残された課題

3－1．本稿の意義

本稿では前半で、街並み保存について経済面ではどのように研究の蓄積があるかを紹介し、後半では妻籠宿を事例に、どのような実証が可能であるかを例示した。

街並みを保存するか破壊して開発するかという議論の際、街並み保存による経済的な効果は実証可能であり、また、その効果が長期的に続くことを示した。

一方、世界遺産ブームの今日、妻籠のように長期的に持続可能な観光地として維持できていることには、改めて学ぶべき点があろう。おそらくそれは、当事者たちが「利と理」と語るように、経済性と文化性とを両立させることを念頭に置いたことが大きいであろう。

小笠原宏によれば、1983（昭和58）年、旧称・財団法人妻籠宿保存財団、後の財団法人妻籠を愛する会の設立時には、集落保存によって直接恩恵をこうむる観光業者が3,500

10) 参照、Schutz. P.[2003]、pp.431-438。日本では、「古都京都」「中仙道を歩く、俵屋に泊まる」「奈良公園」「札幌雪祭り」「富士山に登り精神が生き返る」「パークハイアット東京」「築地魚市場」「吉野山の花見」の八つが紹介されている。「中仙道を歩く……」では具体的な地名として唯一、妻籠が挙げられているが、京都の俵屋と一体の紹介は地理的な誤解を招こう。

万円を3カ年計画で寄付することを決め、一般住民もこれに呼応して500万円、それに南木曽町から1,000万円が出され、合計5,000万円の発足基金ができたという。このように、利を得る者と、そうではない一般住民の理とのバランスを取った地域運営に拠るのではないか、とも推測できる。

3-2. 残された課題1：妻籠の将来像

本稿では、妻籠の街並み保存による観光効果について、これまでは、長期的に持続可能な観光地として維持できてきたと結論づけた。しかしながら、現在の妻籠は、日本国内の中山間地域の通弊として、高齢過疎化が進行中である。筆者が何度か訪れ、宿泊した民宿の経営者からも、「子供たちは都会へ出て行って、戻ってこないだろうから、民宿経営も自分の代で終わる」という話を耳にした。

「売らない・貸さない・壊さない」を守ってきた40年の間に、「外の人を受け入れては」という試行も行なってみたものの、慎重に選んで受け入れた人物との間に上手く行かないことがあって、そうした話もでなくなったという[11]。高齢過疎化は止められないのであるから、今後の妻籠の維持の担い手のありかたは、難問であろう。

将来的な課題の解決にあたって中心となるのは、(財) 妻籠を愛する会になると予想されるが、筆者が今回の調査で接触した中では、財団内部での情報共有にいささか疑問を感じる点もあった。公益法人制度が改正され、財団法人という組織自体も新たな段階を迎える中で、高齢過疎化という大問題への取り組みも求められ、妻籠のまちづくりも新たな段階となるのかもしれない。

3-3. 残された課題2：調査研究上の課題

本稿は街並み保存について、観光地化による経済性のみを取り上げているが、当然ながら、その街並みに住む人々が、保存することによって満足しているかといった意識も重要である。本稿で対象とした妻籠地区での街並み保存についての住民意識調査としては、妻籠と奈良井とを調査した、高井陽太他 [1993] がある。高井らによれば、街並み保存に対する賛否は、1975年の伝建地区選定当初は66.4%だったのが、1993年では78.2%と増えている。高井らのまとめでは、街並み保存賛成派は高齢者に多く、女性に少ない、となっている。ただし、妻籠と奈良井を一体で扱っており、その内訳は不明であるし、またアンケートの回収状況も書かれていない[12]。

11) 小林俊彦からの教示。2008年2月1日。

12) 回答率なども判らないので、サンプルとしては疑問がのこる。その他、近年における街並み保存に対

また、本稿では観光統計などの行政による経済統計に依拠して検討しており、統計の性質上、やや信頼性に欠ける面がある。したがって、本稿で示そうとした、街並み保存と地域経済との関係について、より精緻に分析する必要がある。そのためには、来訪者へのアンケート調査など、より精密な一次データを収集しなければならない。また、居住者に対しても街並み保存についての意識を確認することで、街並み保存が地域社会にもたらすインパクトを総合的に捉えることが、今後の課題である。

今回の調査では、当初、住民意識等についての調査に一旦は地元の同意を得られたものの、その後のやり取りで、行なえないことになった。意識調査にはデリケートな部分もあるため、信頼関係を結ぶなど、長期的な取り組みが必要であろう。

参考文献（著者名五十音順）

大島規江［2005］「伝統的建造物群保存地区における街並み保存に対する住民意識–長野県栄川村奈良井を事例として–」『日本建築学会計画系論文集』第590号、pp.81-85。

太田博太郎＆小寺武久［1984］『妻籠宿　保存・再生のあゆみ』南木曽町。

太田博太郎他［2001］『歴史的環境の保存（第8回歴史・文化のまちづくりセミナー記録）』歴史・文化のまちづくり研究会。

小寺武久［1989］『妻籠宿』中央公論美術出版。

小寺武久編著［1998］『妻籠宿II　保存事業の記録（昭和57年度～平成9年度）』南木曽町。

小林俊彦［1987］「妻籠宿・伝統的な街並み環境保全と私」『普請研究』第22号、pp.78-94。

小林俊彦［1998a］「妻籠宿保存事業30年の回想と提言」、小寺武久編著『妻籠宿II　保存事業の記録（昭和57年度～平成9年度）』南木曽町、pp.140-144。

小林俊彦［1998b］「妻籠が保存すべきもの」、長野県南木曽町＆財団法人妻籠を愛する会編『妻籠宿保存のあゆみ』長野県南木曽町＆財団法人妻籠を愛する会、pp.4-8。

小林俊彦［2007］「妻籠–『売らない』『貸さない』『こわさない』のむらづくり」西村幸夫＆埒正浩編著『証言・街並み保存』学芸出版社、pp.99-120。

Schutz, P.［2003］*1,000 Places to See Before You Die*, Workman Publishing.

高井陽太他［1993］「街並み保存に対する住民の意識に関する研究–妻籠宿・奈良井宿に

する住民意識調査と意識調査としては、大島規江［2005］がある。奈良井の伝建地区保存について、1977年と2000年の調査を比較したもので、77年では68.5%が賛成だったのが、2000年では積極的賛成が26.3%、消極的賛成が33.6%、どちらともいえないが35%、反対派5.1%という結果である。観光効果はあまり評価されておらず、観光客相手の店舗経営者でも、街並み保存の評価として「経済的効果」を挙げたのは半数程度とのことである。

おける事例−」『日本建築学会大会学術講演梗概集(F)』、pp.191-912。

Peterson, G. & Brown, T. [1998] "Economic Valuation by the Method of Paired Comparison, with Emphasis on Evaluation of the Transitivity Axiom," *Land Economics*, Vol.74 No.2, pp.240-261.

Horowitz, J. K. & McConnell, K. E. [2002] "A Review of WTA/WTP Studies," *Journal of Environmental Economics and Mamagement* 44, pp.420-447.

古兼秀夫 [2000]「妻籠の街並み保存」、鳥越皓之編『環境ボランティア・NPO の社会学』新曜社、pp.99-104。

第２部　人材育成
近世民家における室内環境調整手法･植栽計画･居住地計画の分析と現代への応用

愛知産業大学造形学部建築学科
准教授　宇野勇治

1. 本研究の背景と目的

近年、全国各地で同じような住宅が建設され、景観や住文化の観点から地域性の見直しが叫ばれている。しかしながら地域性をふまえた住まいとはどのようなものかについて、各地域おける設計上の知見は十分に示されていない。従来我が国で建設されてきた住宅（伝統民家）は室内環境をどのように調整するか、災害からいかに財産や身を守るかを考えながら、近くで得ることのできる材料を用い、習俗をふまえながら造られてきた。結果的にこれらのプロセスが住文化の地域性や地方性のある景観を創出してきたといえる。現在、古くからの住宅（民家）や景観は部分的に現存するものの、生活の総体としては見えにくい状況となっている。そこで、

全国各地で編纂されてきた郷土史（市町村誌）を対象に、近世の人々が住宅および居住地にどのような工夫や知恵を盛り込んできたのかを明らかにしたいと考えた。本研究では東北および関東地方の伝統民家における寒暑への備えや自然災害に対する防災手法についてまとめることを目的とした。

2.研究概要

本研究ではこれまでに編纂された東北および関東地方の郷土史(市町村誌)を対象に、伝統的民家における環境調節手法及び防災に関する知恵と工夫を調査した。郷土史から、防暑対策、防寒対策、積雪対策、居住地選択、防風対策、水害対策、防火対策、庭・屋敷林　に関する各内容を抽出整理した。調査対象県を青森県(1)・岩手県(5)・秋田県(5)・宮城県(5)・山形県(7)・福島県(13)・東京都(7)・神奈川県(9)・千葉県(6)・茨城県(8)・群馬県(4)・栃木県(2)・埼玉県(8)とし、各県の県立図書館や市立図書館を訪問し、調査項目に関連する記述がある郷土誌資料 80 冊を検索し、対象資料とした。上記(　)内は資料数（文献数）である。

3. 結果および考察

東北・関東地方における郷土史から防暑対策、防寒対策、積雪対策、居住地選択、防風対策、水害対策、防火対策、庭・屋敷林　に関する各内容を抽出し、データベースを作成した、伝統的民家における環境調節手法及び防災に関する知恵と工夫について分析を行った。

東北・関東における近世民家では厳しい自然環境に対応するために、地形や植物などを活用して多様な対策がとられていた。

まず、居住地選択に関しては、北風を避け、日当たりを確保するため、「北高南低」となる丘陵地の緩斜面や平たん地を選択するという記述は各県を通じてみることができた。山がちの地域では稲作に適した平地を確保し、山際に住宅を設ける傾向がみられた。地域によっては、水の確保と水害の危険性は裏腹であり、居住地選択として厳しい判断があった様子もうかがえた。

青森県では、居住地選択、積雪・防寒対策など共通して、強い西風への対策について記述されていた。秋田以南では、防風林についての記述が全ての県でみられた。防風林は、イグネ・エグネ・クネ・シセキなど地方によって異なる呼称で呼ばれ、樫の木を植えてカシグネと称するところもあった。これらは防風上重要な機能を担っていたが、それにとどまらず、燃料、肥料、火除け、西日よけ、観賞対象、家庭の歴史と力の象徴など、多面的な機能と文化的な要素を有していたこともわかった。防風林で共通してみられる樹種は杉・樫・欅などであり、樫は関東、松は東北で多く記述がみられた。植栽に用いられた樹種についても、地域によって異なる傾向が認めたれた。

このほか「囲い」による防風対策では、「風雨が吹きつける家の西側部分に板を張る」(群馬県藤岡市)、「西側に風除けの板囲いを設ける」(青森県むつ市)。「海岸で冬の季節風の厳しいところは、杭とナガラで棚を作り萱のすだれや柴などで軒下よりも高く囲った」(秋田県秋田市)。などの記述がみられた。

東北地方では全体的に積雪に対する対策の記述が多くみられ、特に「雪囲い・冬囲い」に触れるものが多かった。外ザクリ(青森県むつ市)、おしだれ(秋田県天栄村)など名称や手法に違いは見られるものの、萱や藁を編んだものを家に回す雪囲いについて多くの記述が得られた。その他、雪止め瓦、屋根荷重を支えるための二重バリ、などの記述もあった。

防寒のために北側に窓や障子戸などの開口部をできるだけ設けないといった内容が岩手県・群馬県に多くみられた。「風雪を防ぐために窓はできるだけ少なく、小さな窓ばかりで農村部では　シトミ戸が多かった」(青森県むつ市)、「保温を目的として家に直接藁をつけて囲う」(秋田県秋田市)、「稲わらや干し草　を家の周囲に積んで、屋内の保温を図った」(群馬県沼田市)など、開口面積を必要最小限としながら雪囲いを施し、カヤや藁には保温性能も期待されていたことが分かる。

水害対策について、関東地方では屋敷全体、あるいは一部に土盛りを施す「水塚」について多くの記述がみられた。盛り土を屋敷の一角にし、1 階に物置、2 階に居住できるようにしておく、避難用に舟を吊るしておく、などのほか、川に面した土地で竹やぶを育てるといった植栽による工夫の記述もあった。

東北地方では防暑対策についての記述は特に見受けられず、関東地方では「欅などを植えて、夏は日除けにし、冬は落葉して日照を得る」(神奈川県)など、樹木による防暑対策について複数の記述が得られた。また、「ヨシズを軒下に立てかけて日除けにした」（群馬県）などの記述もあった。

以上のように、近世民家における環境調節手法及び防災に関する知恵と工夫について俯瞰し、地域の特性を抽出することができた。防風林は風よけに加え、日除け、燃料など多面的機能を有し、あわせて優れた景観を形成していた。持続可能なシステムとして、現代都市における街路樹等も多面的機能と循環系を構築する必要があろう。

4. 引用文献

1) 草野和夫　東北民家史研究, 安田健一, 1991 年　2) 藤木忠義　中門造の美, 舘岩村教育委員会, 1984 年　3) 只見町史編さん委員会・只見町史-第 3 巻民俗編, 福島県只見町, 1993 年　4) 平田村：平田村史-第 3 巻民俗編, 平田村, 1988 年　5) 天栄村史編集委員会　天栄村史-第 4 巻民俗編, 天栄村, 1989 年　6) 南郷村史編さん委員会・南郷村史-第 5 巻民俗編, 南郷村, 1998 年　7) 福島県白河市　白河市史-第 9 巻各論編 1 民俗, 福島県白河市, 1990 年　8) 国見町・国見町史-第 1 巻通史・民俗, 国見町, 1977 年　9) 飯舘村史編纂委員会：飯舘村史-第 3 巻民俗, 飯舘村, 1976 年　10) 田島町史編纂委員会・田島町史-第 4 巻, 福島県南会津郡, 1977 年　11) 郡山市・郡山市史-第 7 巻民俗, 郡山市, 1969 年　　ほか 68 冊

歴史的建造物保存専門教育に関する研究
－オーストラリアの大学における保存教育－

九州大学大学院　芸術工学研究院
助教　福島綾子

筆者は平成 18 年度トステム財団研究助成によって、オーストラリアにおける歴史的建造物・歴史的環境保存教育の概要、特にニュー・サウス・ウェールズ(以下 NSW)州にあるシドニー大学 Heritage Conservation Program(以下 HCP)のプログラム構成、教育内容等を取材し、その特徴を明らかにした。また、NSW 州及び連邦政府の歴史的環境保存行政の仕組み・制度、そして民間における保存事業のあり方、保存専門家の社会的位置付け、などの特徴を現地取材によって明らかにした。

前回の研究成果を基礎とし、今回の研究の目的は下記のように設定した：

① シドニー大学 HCP の特徴をより詳細に取材し、その特徴と新たな取り組みを調査する；
② キャンベラ大学サマーコースの取材、短期集中コースの特徴を調査する；
③ NSW 州における、各種団体による歴史的環境保存の継続教育(CPD, Continuing Education)の内容、それらの実施背景と成果の調査;
④ 1970 年代以降の、オーストラリアにおける保存理念・理論がどのように発展したのか、その要因と社会的意義の調査；
⑤ 近年の活用再生事例、特に水辺空間の活用再生状況の調査；
⑥ 一連のオーストラリアの経験から、日本の保存教育への示唆を得る。

2008 年 4 月 28 日から 5 月 14 日にかけて、シドニーにおいて現地調査を実施した。調査方法は、関係者へのインタビュー、シドニー大学 HCP の演習・講義の参与観察、保存事例の現場視察、図書館等での資料収集・調査である。

シドニー大学 Heritage Conservation Program(HCP)の教育内容を、昨年度に引き続き、調査をおこなった。

HCP の必修科目である演習 Conservation Methods and Practices（保存の理論と実践）では、文化財価値評価（Assessment and Statement of Cultural Significance）と保存管理計画(Conservation Management Plan)を、具体的な対象の建造物を設定し、実践する。2008 年度は、シドニー大学キャンパス内及び周辺の、大学所有物件が演習対象に選ばれた。演習は、シドニー大学施設管理部門と HCP との契約事業としても実施された。演習の中で学生達が作成する文化財価値評価報告書と保存管理計画書は、HCP から大学に成果物として納品され、報酬が大学から HCP に支払われる。学内での文化財管理業務の需要があるために、演習と実務を兼ねたプロジェクトの実施が可能になっている。

2007 年度、新たな HCP の必修科目"New Design in Old Settings"が開講された。このコ

ースは、設計の演習はおこなわない。学生に与えられる課題は、特定のインフィルまたは活用再生事例の批評的な評価レポートである。ガルによれば、設計をおこなわない理由は、履修している学生は、設計、建築教育のバックグラウンドのない者も多く、現実的に設計をさせるのは不可能であること、そして、保存実務家としてより重要なのは、設計能力よりむしろ、適切な評価能力だからである。歴史的環境を視覚的・空間的に読み解き、そのコンテクストにおいて、新しいデザインがどのような影響を与えるか判断する評価能力は、保存実務にあたる者全てにとって極めて重要なスキルである、とガルは説明する。初めての開講を終え、この科目の成果をガルに尋ねたところ、ほとんどの学生は、建築教育を受けていなくとも、デザインの適切な評価方法を理解することができ、課題の出来も概ね良好であったという。

首都キャンベラにある University of Canberra（キャンベラ大学）は Heritage Conservation サマースクールを、学生向けではなく、一定の経験を既に持っている、保存実務に携わる社会人向けの継続教育として提供している。1991 年の開始以来、サマーコースは二種類のコースを毎年交互に開催している。二種類のコースは、下記である：

① Conservation of Traditional Buildings（伝統的建造物の保存）;

② Cultural Heritage Management（文化遺産管理）

①のコースは、歴史的建造物の様々な建材、その劣化のメカニズム、具体的な保存処置方法についてであり、期間は約 12 日間、②は保存管理に関する広範な話題を扱い、期間は約 7 日間。いずれも 1 月の夏期に開催される。どちらのコースも、オーストラリアの歴史的環境に特化している。

参加者は、①のコースは、保存に関わる建築家、考古学者などの技術者、実務家が主な対象であり、②のコースは、より政策的なため、市や郡、州などの政府職員などが主対象である。各回、平均 24 名の参加者がある。例えば、2005 年実施の①のコースには 19 名の参加者があり、その所属内訳は、政府機関が 12 名、民間が 7 名であった。

キャンベラのサマーコースは、オーストラリア国内で最も包括的かつ実践的な保存のトレーニング・コースとして、高い内外の評価を獲得している。保存の修士号など、フォーマルな学位を取得しようとすると、フルタイムで最低 1 年、パートタイムだと最低 2 年間という長い時間がかかるが、大学教育は理論中心で、必ずしも実践的な技術を身につけられるわけではない。修士課程に入学しフォーマルな学位取得に取り組む時間的余裕がない実務家や、より実践的な短期集中トレーニングを求める者のニーズには、キャンベラのサマーコースが合っている。講師のクロカー自身も過去に受講生としてコースに参加し、またクロカーが代表を務める建築事務所のスタッフも、参加させたという。保存実務家が生徒として参加するコースであるため、コースでは活発な議論、質問が飛び交い、講師自身も刺激を受けながらやっている、とクロカーはいう。

建築士と異なり、いわゆる「保存専門家」(オーストラリアでは heritage advisor, heritage consultant, heritage architect などと呼ばれる)には、資格登録制度は 2008 年時点では存在

しない。RAIA による資格制度案(draft 5)は"Architects Accredited in Heritage Conservation"という仮名称で、三段階の資格認定(Grade I～III)である。草案では、グレードの認定基準として、保存業務の経験年数、文化財保存(heritage conservation)の大学院学位取得、保存に関する CPD の受講、実務成果の提出など、細かい規定を提案している。資格は申請に基づき、審議委員会(RAIA Heritage Conservation Accreditation Board)で審議する、としている。草案を作成した保存建築家が共に強調するのは、「保存専門家として建造物に関与する者は、必ず建築の学位を持っているべきであり、これを持たない者は、十分な資質のある保存専門家として活動すべきではない」ということである。まず建築を学び、その後に保存を学ぶこと、この順序が大前提だと主張する。保存には、建築の知識がなければ理解できないことが多くあり、都市計画といった関連分野の専門家であっても、建築の深い知識がなければ、責任を持って保存にあたることは出来ない、と断言する。

本研究では、バラ憲章の発展についてもヒアリング調査をおこなった。

1964 年制定の国際憲章「ベニス憲章（INTERNATIONAL CHARTER FOR THE CONSERVATION AND RESTORATION OF MONUMENTS AND SITES）」は、文化財価値を、記念物的なものの審美的価値と歴史的価値に限定する性質を持っている。一方、オーストラリアは国家としての歴史が欧州に比して短いことがあり、欧州に多くある記念物タイプの文化財が国内にはほとんどない。そしてオーストラリアの建造物・構造物のほとんど全てが、現在も継続的に使用されている。しかしながらベニス憲章は、現在まで続く歴史的建造物の継続的使用を価値評価する仕組みを持たない。更にアボリジニ文化は、そもそも構造物をつくらない。したがって、ベニス憲章をそのままオーストラリアの文脈に適用することは意味をなさないことが明らかであった。オーストラリアには、欧州型そしてアボリジニの、性質や価値観の全く異なる文化財の双方を適切に評価する仕組みが必要であった。

ベニス憲章に代わる、現代のオーストラリア国内で共有可能な保存の理念の基礎、パブリック・スタンダードを新たに作成すべく、1978 年、AU イコモスの中に憲章起草委員会(drafting committee)が組織された。

バラ憲章が発効後、急速に普及し、行政、民間、アカデミアの広範な支持を得た。バラ憲章が描く保存の「プロセス」は、極めてシンプルであり、誰にとっても分かりやすい仕組みを提示している。このシンプルさこそが、欧州型文化にもアボリジニ型文化にも、また、海外の他の国々のどの文化にも応用を可能にした。

保存専門家の Sharon Sullivan（サリバン）によれば、バラ憲章作成の過程において、多数の専門家が参与した深い議論があったために、憲章が出来上がったときには、バラ憲章に対する強い「所有意識(ownership)」が、多くの保存関係者に生まれたのだという。

カーによれば、バラ憲章誕生以前は、保存に関わっていたのは主に建築家であり、考古学など他分野の専門家の関与はほとんどなく、異分野間での保存に関する協働もなかった。バラ憲章は、建築家だけを対象としたものではなく、分野の垣根は全くない。バラ憲章以降は、建築以外の分野の専門家も保存の領域に参加し、共に保存活動をおこなうようになった。

またクロカーによれば、バラ憲章は、民間が実施する保存事業でも頻繁に援用される。民

間の保存専門家がクライアントと交渉する際、しばしばバラ憲章の原則を根拠として使うという。

バラ憲章は 1978 年以降、数回の改訂がなされている。保存理念の発展に伴い、内容のアップデートがなされてきた。クロカーによれば、現在も、規模の大きい見直しの最中であるという。バラ憲章は決して固定することはなく、常に Working document であり、失敗から学び、改善を続けている。このことは、バラ憲章に対する信頼性の高さの要因である。また、オーストラリアの専門家によるバラ憲章の「所有意識」は、憲章に対する一種の「責任感」が生み、持続させていることも、憲章が絶え間なく発展を続ける理由だといえる。

2007 年から 2008 年にかけて、NSW 州政府は、都市計画システム・手続きの見直し、文化財行政の改革（NSW Heritage Act Review）を実施した。政府は改革の意図を、煩雑な行政手続きの効率化、と説明した。2008 年 3 月には、州政府の独立機関であった Heritage Office が、計画省の中の部局 Corporate Governance Division の下部組織 Heritage Branch として再編された。NSW ナショナル・トラストなどの保存関係団体はこの再編を、Heritage Office の“downgrade（降格）”であり、従来 Heritage Office が有していた決定権を著しく奪うもの、と厳しく批判した。都市計画システムの改革についても、従来の地区協議会が有していた自治権を奪い、計画省大臣へ中央集権化させるものであり、保全活動を阻害し、開発活動を加速させるもの、と批判した。

オーストラリアは近年、好景気が続き、地価は高騰を続けている。しかしながら、安定的な職業に就いている人は多くはないという。そのため、人々は将来の安定のために高収入を得ることを重視している。都市の開発・再開発事業は、その手段のひとつである。シドニーでは住宅地開発が盛んであり、シティエリアが拡大を続けている。

筆者がインタビューしたメレディス・ウォーカーやカーなどの保存専門家たちは、一様に指摘する・特にこの数年の間に、市民は歴史的環境や保存に対する興味を失ってきている。

本研究で明らかになったオーストラリアにおける歴史的建造物・環境保存教育の問題・課題は下記である：

① 保存技術者の技術力不足・人材不足
② 保存技術教育機会の不足
③ 保存専門家資格認定制度の不在
④ 政府・社会一般の保存に対する興味の喪失、支援の低下
⑤ 大学における保存教育のリソース低下・不足

大学における実技演習教育の不足は、筆者がインタビューをおこなった全ての専門家が指摘した事柄であるが、この点については、必ずしも大学教育としての問題であるとは考えない。既にオーストラリアの社会では、保存理論の教育は大学で、実技・実務教育は学外の場所で、という教育分担を成立させているからである。学外の実務訓練の場が少ない、という

問題はあるが、大学は理論教育に専念する場所、という専門家間での暗黙の共通認識が確立していることが、今年度および前年度の調査からも明らかになった。

RAIA のハイムは、大学における保存教育に関して下記のように指摘する：保存専門家になるための教育として、大学教育（修士）の 2 年間は絶対的に短い。また、それぞれの講義や演習も 2 時間程度で、ひとつのテーマが終わってしまう。実務を経験しない大学教育だけで保存専門家になることは、到底不可能である。こうした大学教育の難点をカバーするのが、インターンシップなどの、実践の現場におけるトレーニングである。保存専門家に必要な実務経験・技術は、大学では得られず、学外の現場でしか得られない。民間の設計事務所などでのインターンシップでは、良いメンター（指導者、世話役）がいることも重要である。しかしながら実際には、トレーニング場所も、メンターも、不足しているのが、どこでも共通する問題である。学生のトレーニングは、提供する側にとってみれば、チャリティ同然の、負担の方が大きい活動である。優秀な学生はむしろ少数である。

保存建築家のクロカーは下記のような見解を示す：大学教育では、保存という分野の概要を理解することは出来るが、表面的にとどまりがちで、より深い教育は難しい。保存を教える大学教員は、保存実務の十分な経験を持っているべきである。なぜなら、大学教員の教える保存管理計画は、しばしば、極めて非現実的で実効性のないものになりがちなためである。保存専門家になるには、単に建築家ならいいというわけではなく、歴史的環境への強い興味と関心を持っていることが重要である。保存には、多様で広範な知識が求められるからである。

④と⑤の問題は、間接的ながら、密接に関係していると考えられる。

近年、政府は大学教育の予算削減を続けている。18 年度の報告書にも述べたとおり、シドニー大学 HCP には 1992 年のプログラム設立当初、5 名の常勤教員がいた。それが現在では、1 名の常勤と 1 名の非常勤に激減しており、プログラムとしては規模が縮小している。近い将来、教員が増員される気配もないという。保存教育は、建築教育の一部として多くの場合分類されており、メインである建築プログラムほどの多数の学生の入学が、保存プログラムには毎年あるわけではない。しかし、非常勤講師のガルは、HCP に教員増員や教育経費の充実といった投資をおこなわなければ、プログラムの魅力の強化、入学者の増加にもつながらない、と述べる。

一方、NSW ナショナル・トラスト職員の Rebecca Ward（ワード）は、卒業後の問題を指摘する：保存を専攻する学生の多くは民間の企業や組織で働いており、開発業者との契約関係において業務をおこなうため、歴史的環境や文化的価値を擁護することができる立場には必ずしもない。

近年のオーストラリアは再開発思考が強い。そうした、政府そして社会全体の志向が、保存教育の機会や質に影響を与えている。

調査結果から、日本の保存教育が得るべき示唆をまとめる。

① 大学における保存理論教育の強化

日本の大学にも、既にいくつかの保存学専攻が存在する。本研究では日本の現状に関する詳

しい記述はしないが、日本の保存教育では、オーストラリアのような徹底した保存理念の教育、そしてその理念に基づく歴史的環境の文化的価値評価（cultural value assessment）の訓練が極めて弱い。建築様式・工法・歴史の学習にとどまらない、総合的・学際的な手法を用いた価値評価・解釈の手法が教育されるべきである。価値評価は、保存活動の最初の作業であり、かつその後の全ての作業の基礎となる最も重要な作業である。こうした作業の訓練の欠如が、日本の保存教育が確立されず、また歴史的環境保存という領域や専門家そのものも社会的に確立されない要因だと考えられる。

② 日本に適した保存理念の再検証

日本において文化的価値評価の作業が重視されず、手法も確立されていない要因の大きなものとして、オーストラリアのバラ憲章に相当する、国内で普遍的に共有される保存理念が不在であることが考えられる。日本の文化財保護法や景観法は、理念を語るものではなく、極めて事務的な決め事のみの記載にとどまっている。また、保存のプロセスを明確に提示しているわけでもない。保存活動に携わる者をガイドするような理念の不在が、保存活動・教育そのものの低調につながっていると考える。オーストラリアが 70 年代に自らに課したような、自国の文化的コンテクストを適正に評価できる理論と仕組みは何なのか、日本はそうした本質的な議論を、これまでおこなっていない。有機質の文化財を価値評価する仕組みを提示した「オーセンティシティに関する奈良ドキュメント」は、日本そしてアジアの文化理念を国際社会に対して提示し、文化財の概念を変えた、画期的な貢献であったことは事実である。しかし、これは日本が欧州社会に向けて発信したメッセージであり、日本社会内部における、日本人が日本の歴史的環境をどう扱うか、という日本の保存業界全体をあげた内省的議論ではなかった。「奈良ドキュメント」を下敷きにしながら、日本人が所有意識を持つことが出来、日本社会に汎用可能・共有可能な理念は何かという根本的な議論を、今一度、日本の保存専門家たちは取り組むべきと考える。徹底した議論を経て生み出した理論を我々が所有するようになれば、それは保存教育にも普及し、先述した①の問題の解決にもつながると考える。

③ 実技教育場所の確立

日本においては、保存専門家そのものが社会的に確立されていないため、保存実技訓練場所が極めて少ないのが現状である。このためにはまず先に、②で述べた保存理念の再検証・共有・確立という作業を、保存業界が経ることが必要と考える。現状では保存の実務は、全国的に共通した理念・方法論に基づいて実践されているわけではない。政府系の保存技術団体である文化財建造物保存技術協会は、独自の理念・方法論・高い技術水準を持っていることは疑いない。しかし彼らの技術や理念は、保存業界に広く普及し、スタンダードとなっているわけではない。文化財建造物保存技術協会は、インターンなどの受け入れや、職員による大学での講義などもおこなってはいるものの、それは限られた範囲のみで享受されており、日本のスタンダードを生み出すような動きにはなってはいない。したがって、こうした団体以外で保存に関わる民間の建築家などは、試行錯誤で情報収集し、自分なりのやり方を考え

るしかない状況にある。まず、保存理念が確立し、それが保存業界に広く普及すれば、大学教育にも普及し、共通理念に則って活動する保存専門家が増加することにつながる。十分な資質を持った保存専門家が増加して初めて、保存実技教育場所というものが生まれることになる。

④ 大学教育としての保存学がめざすもの

日本の大学における保存教育は、一体何を達成することを目指しているのか、その目標設定はこれまで常に曖昧であった。

オーストラリアの大学は、実務家としての保存専門家を養成するための、とりわけ理論教育部分を大学は請け負っている。そして保存の学位を、資格認定代わりに与えるという、大学にしか出来ない役割と価値を持っている（筆者による前年度研究報告にも記述）。更に、実務家向けの実技教育については、短期集中コースで大学は対応する。このように、保存教育における大学の役割は、比較的明確になっている。日本において保存専門家がいつまでも確立されない理由は、大学の目標設定が不明確であり、「保存専門家」の定義をせず、保存に特化した学位、ニーズに合わせた教育の提供をこれまでしてきていないことが大きな要因だと考える。

オーストラリアの保存専門家のパイオニアであるカーは、保存専門家になるために重要なことについて、下記のように述べている：保存専門家になるには、たったひとつのキャリアパスがあるわけではない。大学で学ぶ保存学から入っても良いし、他の分野から入っても良い。大切なことは、何事にもフレキシブルかつオープンでいること、多分野・多文化のオペレーターになることである。また、特定の専門分野の専門家になった上で、複数の専門領域の積み重ねが大切である。異なった専門性を、２－３年かけて確立する。そしてそれを積み重ねていくことが必要である。保存の学びは永遠に続く。自身が関わった保存計画は全て異なる。なぜならそれは、絶えず学び、専門家として進化を続けているからである。

保存教育が存在しない時代に専門家としての訓練を積んだカー自身の経験は、現在の保存教育にとっても示唆に富む。大学教育だけでは必ずしも完結しないのが、保存専門家である。長い時間をかけて確立していく保存専門家としてのキャリアパスにおいて、大学教育はどのように自らを位置づけ、社会における保存実務との関係を構築していくのか、そういった定義を、我々はする必要がある。そのなかで大学が自らの利点として主張すべきなのは、大学でしか教育できないこと、実社会で実務を始めると学ぶのが難しいこと、すなわち、保存理論・哲学教育、歴史教育、保存の学位提供が、日本の大学が重点を置くべき保存教育政策であると考える。

以上

第４部　シンポジウム
景観材料普及促進シンポジウム
（観光空間への提言その３）

社団法人日本建材・住宅設備産業協会

景観向上委員会顧問　渡邉　定夫

（社）日本建材・住宅設備産業協会のなかで事業運営しています景観向上委員会が、主たる事業として進めています景観の整備向上のための各種情報の収集・提供の一環として、優良な景観材料の啓発・普及促進を目的にシンポジウムを実施いたします。

本年は今日の世界的な課題でもある環境問題に係わる景観と景観材料を取り上げて、広く社会に提案し意見を求めていきたい。

土木・建築物に係わる景観材料においても、景観のみならず環境を守る機能、環境に配慮した性能、環境の持続性を持ち合わせた建材類が多くあります。また、従来からの自然素材、地域特性、環境に合わせた設計などへの理解を再認識して、新しい技術、機能、性能との融合、さらに近未来への展望を考え、「美しい国づくり」のために自治体、建築士、デザイナー、メーカー、市民が広く議論を行うことで先々への成果、手がかり、方向性を求めていくことは極めて有意義であります。機能、技術を持ち合わせてはいても、一つだけで環境に大きな影響を与えることは出来ず、あくまでも環境配慮機能の一部であり、その機能、性能、用途、他への影響などについて理解を深め、広く意見を収集して先々の「美しい国づくり」のための手がかり、方向性を求めることを目的とします。

本研究はシンポジウムを開催して、これまでの建設、住宅が歩んできた道のりを振り返り、そこから未来への展望、方向性を論議し考えるために開催します。その紐解きのためにこれまでの住まいづくり、街づくりを見つめ直し、問題点を洗い出して、これからの住まいづくり、街づくりを考えていき、又、環境に配慮された建材類のプレゼンテーションを行ない、技術、性能、機能、用途説明、明日への提案と理解を求め、環境と景観についての意見を広く求めて、今後の手がかりを探るための議論を行う場を企画・提供いたします。景観材料の持つ環境技術を紹介、説明、周知して、環境に配慮された美しいまち作りのために寄与していきます。

景観材料普及促進シンポジウムを平成２０年１１月２０日（木）東京都中央区の日本橋社会教育会館ホールにて東京大学名誉教授 渡邉定夫氏のコーディネートにより「景観材料が創る美しいまち～環境を守る～」と題して自治体、建築士、メーカー、流通、業界団体、市民等の幅広い分野から併せて１４０名を超える人が参加して実施しました。

まず主催者挨拶に続いて、公務の関係で遅れてみえる経済産業省製造産業局住宅産業窯業建材課長 渡邊宏氏の来賓挨拶と順序を変えて独立行政法人建築研究所　住宅・都市

研究グループ上席研究員兼研究主幹 岩田司氏の「これからのすまいづくり、まちづくり」と題した基調講演がありました。日本の今日までの住まいづくりのあり方、戦後から高度経済成長に進んだ住宅の変遷、地域性を考慮していない景観、それらの流れから出てきた問題点、生活様式の変化により変化してきた住宅による問題点や環境負荷の増大を指摘されました。その後に建築研究所の最新研究による建物への空気の流れに基づいてご自身が手がけられた住宅を例に取り上げ、地域性を考慮した住まいの詳細な解説・説明がありました。もともと日本の住まいは地域特性に合わせた、すまいや街づくりがなされていた事例を紹介し、地域に適応させたうえに今日の技術を組み合わせた住まいづくりが環境に配慮された景観であるとの説明がありました。環境問題に関連しても涼感舗装という環境を配慮した舗装材の案内と現場紹介があり、守る景観の意味合いから伝統材料、伝統工法ばかりを尊重すれば良いのではなく、現代の技術と融合させることが重要だと説明されました。また地球規模での地域性を理解し見据えておかないと、今後の地球環境問題を間違えてしまうという方向性、指針を提言されました。

その後、コーディネーターの東京大学名誉教授 渡邉定夫氏を中心として大日本塗料㈱ 櫻田将至氏、太平洋セメント㈱ 田中秀和氏、㈱ＩＮＡＸ 濵田敏幸氏、日本ペイント㈱ 山本光信氏、太平洋プレコン工業㈱ 馬場卓氏、ニチハ㈱ 今井俊夫氏によるパネルディスカッションが実施され「省エネで人と地球に優しい遮熱塗料」、「環境と景観に配慮した舗装材」、「都市型汚れから環境を守る。－マイクロガード加工技術」と３点のそれぞれ違う観点でのプレゼンテーションで環境や景観に配慮された製品の技術的な発表がなされました。遮熱塗料については、遮熱塗料の技術的メカニズムの説明に始まり、温度付加低減に対しての実証性能の紹介から、今後に期待されるプラスアルファの可能性までも紹介されました。舗装材の紹介では、ヒートアイランド対策に寄与する技術の種類、特長、性能とこれらを応用した植栽用舗装、河川護岸植栽と景観への配慮、生活の身近にある材料でありながら環境と景観に配慮された広い範囲での紹介がありました。防汚技術であるマイクロガードの説明では、美しい景観を長く保つ持続性という将来展望を担う技術の説明や、節水という環境保全に関わる内容が紹介されました。その後、他３名のコメンテーターよりプレゼンテーションに対する補足説明、意見、質問、疑問点が出され、会場からの質問も含めた質疑応答がなされ、環境負荷の低減や景観の持続性に効果があることを示しました。最後に各社から今後の商品、技術開発の方向性が発表された後にコーディネーターの渡邉定夫氏が、身近な環境を持続、改善させるために開発されている個別技術を、どのように組み合わせていくかということを業界挙げて取組むよう提言し幕を閉じました。

「街づくり」のキーワードとして今回「環境問題」を取り上げた。この中で、地域に合わせた住まいづくりの重要性と、自然環境を上手く取り入れた住まいづくりが環境に優しく環境負荷の低減につながり、地域の伝統だけではなく、そこに新たな技術を補っていくことが重要あることが明らかにされました。

地域性への配慮が環境と景観を守るのに重要なことではありますが、それを補佐する技術の普及と伝え方を間違えてはならず、開発するだけではなく、正しく理解して伝え

ていくことの重要性を知らしめました。

環境対策といっても様々な形があり、今回の太陽光を反射、断熱してヒートアイランド対策に貢献し、雨水を透水、保水してヒートアイランド対策に貢献するやり方、保水、透水性の効果で植栽を育てて、景観も併せて貢献するやり方、汚れの付着を抑えて美しい景観を持続させる方法等と、様々な環境に配慮された景観材料がすでに生まれていることから、今後への発展、可能性、方向性を示し、それらの融合による新たな可能性をも示すことが出来ました。

今後の環境問題については地球規模で様々な分野が考えていかなければならず、その中の住宅関連では、幅広い気候・環境条件に対応している日本が世界をリードしていくことが期待されます。

環境と景観に配慮した舗装材にもあったように、保水性、透水性、排水性の技術を利用して植栽基材として使用するだけではなく、周辺環境にも打ち解けやすい景観を有する護岸ブロックのように、一つの技術で幅広く環境や景観に対応していくことが必要であることを実感させられました。

各景観材料メーカーには本シンポジウムで得られた情報・ヒントを今後の良好な景観材料開発・提供に生かしていくことを期待します。

今回の中でも雨水で汚れを付き難くする技術で、雨水が当たらない所でも効果が見られることのメカニズム解明から、今後の新たな可能性の追求。

温度乱高下抑制による素材の劣化抑制効果の追及。

コメント中に出てきた超高強度を薄い部材で、という更なる耐久性の開発などと、今後の検証・開発を待ち望みたい事例の発表が多数ありました。また、環境に配慮された景観材料が、特殊な物ではなく、広く社会や地球環境問題を考えて、アジアに向けても発信されていくことが期待されます。

今回のシンポジウムにて、環境を配慮した景観づくりがどのようになされるべきかの実例を紹介しながら、景観材料との係わり、求められる方向性を探ることが出来ました。

しかし、地域性や将来への展望には考えさせられる方向性を示しただけで、今後への活動課題として残った。様々な環境に対応する材料や技術が個別に開発されるだけではなく、どのように組合わされて融合していくのか今後の景観材料メーカーにも求められることとなり、耐久性、持続性を備えた技術開発を広く多くの人達と議論していくことが必要だと考えられます。

リフォーム事業者・研究者のためのシンポジウム「リフォームで消費者の安心と満足をえる手法」の開催

NPO消費者住宅フォーラム
副理事長 大河内 隆之

1. 本研究(シンポジュウム)の概要

(1)実施目的　リフォーム事業者等が、消費者ニーズを的確にとらえ対応するための課題とその解決方法について取り上げ、リフォーム需要拡大に役立てる。
特に、リフォーム事業者に必要なアビリティ(実力)について研究成果と、意見交換を行う。

(2)実施日時　平成20年10月10日(金)　14:00～16:45

(3)実施場所　新宿住友ビル47階　スカイルーム第1会議室(新宿区西新宿2－6－11)

(4)主催者　特定非営利活動法人 消費者住宅フォーラム

(5)対　象　リフォーム事業者、住宅メーカー、建材流通事業者など

(6)参加費　無料(但し希望者にテキスト代　1，000円/冊)

(7)参加者数　92名(応募者114名)　目標:80名

(8)後援など　国土交通省、東京都、(中)日本増改築産業協会　、住生活月間協賛事業

2. 本シンポジュウムの実施報告

(1)プログラム　ご挨拶　特定非営利活動法人消費者住宅フォーラム　理事長　矢野　方雄

●第1部　基調講演

「リフォーム事業者のアビリティ実態調査報告とこれからの活動に対する提案」

芝浦工業大学　建築工学科　准教授　蟹沢　宏剛

●第2部　パネル討論　(パネリスト4名＋司会者)

「消費者の安心と満足をえるリフォーム」

・パネリスト(事業者)　(中)日本増改築産業協会　会長　山口慶之助
(プランナー)　インテリアコーディネーター東京 副会長　星野　和代
(行　政)　(財)住宅リフォーム・紛争処理支援センター
住宅リフォームセンター長　佐藤　研一
(研究者)　芝浦工業大学　建築工学科　准教授　蟹沢　宏剛

・司会者　新建新聞社　編集長　三浦　祐成

(2)実施結果

①集客状況　3ヶ月前より、今回のシンポジュウムの事前告知活動を、チラシの配布、当NPO法人のHome－Pageへの掲載などで開始した。更に今回は、対象が事業者であるため、工務店やリフォーム事業者対象の 業界紙やネット業者に働きかけた結果、いくつかの媒体で事前告知記事の掲載が行われ、その効果が大きかったと思われる。

(例· リフォーム産業新聞及びホームクリップのHome－Pageに掲載)

その結果、当日は事業者にとって、株価が大暴落中で経済の先行きが見えない不安一杯の慌しい日であったが、最終の入場者は92名と目標(80名を大きく上回る参加者が来場し、**会場は満席**の状態であった。

②基調講演　先ず芝浦工業大学の蟹澤准教授が、過去2年間、当NPO法人と協力して調査した「リフォーム事業者のアビリティ実態調査」の結果をベースに、基調講演を行った。内容を要約すると下記の通りである。

リフォーム市場では、訪問販売以外にも、顧客(消費者)と事業者間などで、**ミスマッチによるトラブル**が数多く発生している。 それらの事例を分析した結果によれば、 先ず事業者に求められるアビリティとは、顧客のニーズを的確に把握するために、 **現場での適切な診断と見積ができ**、問題が発生した際には、**素早く対応できる体制**をもっていることである。

更に、顧客は事業者のアビリティを、単に技術力だけに求めているのではない。**技術力以外のソフト面**(社員・下請の服装や態度、販促用具、事務所、提案方法など)のアビリティを注視し、事業者の信頼性を評価しているので、これらのアビリティを、強化することも重要である。

最近は、リフォーム市場における関連情報の氾濫により、顧客から求められる事業者の**アビリティは、益々広範囲なもので高度化**しており、事業者の一段の努力が求められている。

③パネル討論　各界の代表者4名によるパネル討論を、「消費者の安心と満足をえるリフォーム」と言うテーマで実施した。 内容を要約すると下記の通りである。

a. **顧客(消費者)に安心を与えるための事業者の対応について**

(山口氏)リフォームの**業務品質基準の確立と実施**が重要である。
顧客と業務に関して一定の約束を行い、「それを実行するために事業者はどうあるべきか」を考え、業界としてきちんと対応することを、宣言していきたい。

(星野氏)女性発言力の増大により、顧客への対応方法、服装、 感性などの**ソフト面の充実**が必要である。

(佐藤氏)**高い倫理感と法令遵守**に基づき行動することが大切と考える。

(蟹澤氏)下請の職人を含めて**施工部隊のチーム力が重要**であるので、最

近は、再び職人教育を重視する企業が増えている。

b. 200年住宅時代に相応しい事業者の対応について

（佐藤氏）200年住宅の考えの基本は、**良い物を長く使用する**ことである。中古市場の拡大などで、**新しいビジネスが生まれる**可能性が大きい。

（蟹沢氏）欧米の巨大な中古住宅市場で普及している**FM（ファシリティ・マネジメント）の手法**が、日本でも取り入れられてくると思う。

（山口氏）200年住宅の考えにより、住宅業界でも「消費は美徳」と言う考えが改められ、結果としてリフォーム事業者が増えてくることは、歓迎したい。又、これからは私の構想として、顧客に対し「食育」に対して**「住育」と言うことも実践したい**と思っている。

（星野氏）最近の流れでは、顧客から**感性に裏付けられた提案**が求められている。

c. まとめ：　満足度の高いリフォームの実現方法について

（蟹澤氏）現在、事業者問われているのは、**納得のいくコスト**で、顧客（消費者）が**期待している以上のものが提供できる**かと言うことである。又、事業者は、**アフターケア情報の活用**がポイントである。

（佐藤氏）**顧客との情報の共有**により、満足度を高めるとともに、ビジネスとして元来効率の悪い**リフォーム注文の生産性を上げる**ことも、考えるべきである。

（星野氏）顧客の話を良く聞くことと、顧客が理解できる言葉で話すことを、心掛けて欲しい。

（山口氏）顧客との十分な打合せをもつことで、顧客に**自分の構想を自分自身で実現するような意識**を持たせるように心掛けている。

（三浦氏）まとめると、事業者のリフォームビジネスを拡大するためには、顧客（消費者）から、**ソフト面を主体により幅広く高度な事業者のアビリティが求められている**と言うことである。

以上のパネリストのご意見を、今後事業者の皆さんの仕事に有効に役立てていただきたい。

④総合評価　今回は、「顧客（消費者）のニーズに適切に対応することにより、どうすれば最近伸び悩んでいる事業者のリフォームビジネスが拡大するか」について、取り上げた。この結論は、分かり易い蟹沢准教授の基調講演と、専門家によるパネル討論により、参加者は十分理解できたと思われる。この点は、終了後に回収したアンケート調査の結果からも、推定できる。最近の先の見えない不景気の厳しい影響もあって、満席の会場では、参加者の必死さがある程度感じられた。

尚、アンケートを見ると、参加した若い営業担当者の一部に、「話の内容がも

っと具体的で、明日から簡単に実行できるような方法も示して欲しかった」と言うような意見も出ていた。

⑤その他　本シンポジュウムの詳細内容を記載した報告書を、11月末までに作成し、先など関係先に配布する予定である。

以　上

エネルギーと環境コンペティション
「楽しいエコ住宅－五感で感じる住まい－」

名古屋工業大学大学院ながれ領域
教授　堀越哲美

1　はじめに

今日の地球環境問題のますますの深刻化は報道されているとおりであり，都市における資源やエネルギーを大量に消費する我々の暮らし方が大きく起因するものである。この問題の解決には，環境やエネルギーの利用に関して、身近な暮らし方を含めて学校内外での教育を通じた人材育成を時間をかけて行い，地域社会と共にその解決手段を見出していくことが，大学の建築・都市デザイン分野に求められているものと考える。

以上のことから，申請者らは平成 14 年度より「名古屋工業大学エネルギー環境教育研究会」を発足させ，平成 16 年度から現在に至るまで、全４回にわたり高校生中学生を対象として取り組み，住まいや暮らしを取り巻く環境問題の解決策について，新たな建築や都市の提案のコンペティションを開催してきた。本事業では，第４回高校生のためのエネルギーと環境コンペティションとして，楽しく住まうことの出来る住宅を生徒自ら思考・提案するコンペティションとして「楽しいエコ住宅―五感で感じる住まい―」を実施した。

2．H19 年度エネルギーと環境コンペティションの実施概要

（1）募集概要

・コンペティションの課題：

H19 年度のテーマは「楽しいエコ住宅―五感で感じる住まい―」と題して，環境を考えた「エコ(eco)」と、毎日楽しく住まうこと出来る「楽しい」の両立を工夫した住宅を考えてもらうことを意図している。

・募集方法：

募集対象は，高校生および高等専門学校の１～３年生（グループ応募は可）として，建築や設備系以外の工業高校生や普通科高校の生徒も参加できるよう，設計・デザイン部門またはアイデア部門のいずれかへ応募し，アイデア部門ではイラスト等で提案できるような応募規定とした。平成１９年１０月３１日に登録を締め切り，１２月２０日を応募締め切りとした。

図１　コンペティション募集ポスター

（２）実施結果

・審査経過と結果：

審査は部門別に行い，設計・デザイン部門は，堀越哲美（名古屋工業大学・教授），堀越秀嗣（建築家・芝浦工業大学・教授），笠嶋淑恵（建築家），北川啓介（名古屋工業大学・准教授），アイデア部門は，水谷章夫（名古屋工業大学・教授），成田君子（イラストレーター），田中稲子（横浜国立大学・助教），渡邊慎一（大同工業大学・准教授）が審査委員として担当し，平成２０年１月及び２月に審査会を開催した。作品は無記名の状態で審査された。

表１　Ｈ１９年度コンペティション入賞者一覧

設計

	氏名	作品名	学校名	学年
最優秀賞	関口 宏瀬	fallen leaves house 落ち葉の家	山梨県立甲府工業高校	2年
優秀賞	岡田 一樹	一士に迄る住まい一	埼玉県立熊谷工業高校	3年
優秀賞	村田 佑希	CIRCLE＆CYCLE	山梨県立甲府工業高校	2年
入選	大石 祐大	現代版三匹のこぶた	静岡県立島田工業高校	2年
入選	高木 純一 浅子 卓也	○凸四坪	埼玉県立大宮工業高校	3年
審査員特別賞（堀越先生）	小崎晴菜	着せ替えハウス 見えるエコ クルーヒス ウォームヒスから学んだこと	石川工業高等専門学校	3年
審査員特別賞（笠嶋先生）	香下 かなた	PED ZONE	大阪市立工芸高校	2年
山つくり賞	神保 達郎	五丁目カーテン	静岡県立島田工業高校	2年
審査員特別賞（北川先生）	川口宇秀	引き出し家	東京都立田無工業高校	3年

アイデア

賞	氏名	題名	学校名	学年
最優秀賞	なし			
優秀賞	岩下真人	リサイクル望園	山梨県立甲府工業高校	1年
入選	山口和也	四季と自然を感じる家 FREEMOVEMENT HOUSE	長崎県立長崎工業高校	3年
佳作	小沢恵理子	エコto地球	山梨県立甲府工業高校	2年
佳作	小尾藍里	Plant Pot House	山梨県立甲府工業高校	1年
佳作	佐野智恵 三上航 望月貴仁	ふうフロート	静岡県立静岡工業高校	1年

そのうち設計・デザイン部門は１１９件，アイデア部門は２２件であった。また，応募者または応募グループの出身高校の内訳は，設計・デザイン部門は工業高校および工芸高校が１５校９３件，高等専門学校が６校２６件であった。アイデア部門は工業高校および工芸高校が５校１４件，高等専門学校が２校８件であった。審査結果は表１に示す通りである。今回のテーマは住宅のハード面だけでなく、住まう人の楽しさまでトータルに考えねばならず、やや難しい課題であったにも関わらず，テーマをよく理解したものが多く見られた。

・表彰式および交流会：

平成１９年３月９日に名古屋工業大学内ラウンジにて，表彰式および交流会を開催した。受賞者１６名と所属する高校の教員や審査委員，実施メンバー等を合わせ総勢３３名が参加した。表彰式および交流会の様子は，別添資料「作品集」のｐ２を参照されたい。

表彰式では最優秀賞受賞者の作品プレゼンテーションと，その作品に関する意見交換を行った。交流会では各自の作品の説明や意見交換も非常に活発に行われ，普段交流することのない全国各地の高校や高専の教育の違いを知る良い機会を与えることができ，学生同士がいい刺激を受けたものと思われる。さらに，高校生と大学生・大学院生，大学教員等の交流の中で進路相談をする場面も見られ，今後建築系の進路を歩む上での励みになっていることを期待する。

・成果公表：

審査結果は入賞者に郵送で通知した。また，別添資料の通り，応募のあった全作品を掲載した「作品集」を制作した。応募者の今後の教育効果も考慮し，入賞者以外でも審査会で評価を得た作品に対してはコメントを掲載した。また，次年度のコンペティション募集要項と合わせて，平成１９年度コンペティションへの応募者ならびに応募高校へ配布した。

さらに，作品集自体を環境に配慮した住まいや暮らし方の教材として活かしてもらおうと，東海４県の建築系および設備系学科を含む工業高等学校，愛知県内の普通科高等学校，全国の建築系工業高等専門学校等へ作品集を配布するとともに，次年度募集要項も同封した。

３．まとめ

以上により，高校生のためのエネルギーと環境コンペティション「楽しいエコ住宅―五感で感じる住まい―」を実施した。今回で４回目を迎えた本コンペティションには，１４１点の応募があった。これを通じて，楽しく住まうことの出来る住宅を高校生自らが調査し，考える機会を提供することができたとものと考える。また，建築系の工業高校では製図の課題として応募させる例も見られ，普段，環境をテーマとして取り組むことの少ない学校に対しても，有意義な場を設けることができたものと思われる。

現在，平成２０年度のコンペティションに向けて始動しているが，今年度は普通科高校の参加数増強のためのアプローチも積極的に試みたいと考えている。このように，今後も高校生に対して環境やエネルギーに配慮した次世代の住まいや都市のあり方，暮らし方について考える機会を増やし，実践の場で活かす日が来ることを期待する。

－平成１９年度高校生のためのエネルギーと環境コンペティション実施メンバー－

堀越哲美	名古屋工業大学	産業戦略工学専攻	教授（研究代表）
落合邦彦	同上	産業戦略工学専攻	修士１年（学生代表）
佐藤陽一	同上	産業戦略工学専攻	修士１年
高木愛香	同上	産業戦略工学専攻	修士１年
村松奈美	同上	産業戦略工学専攻	修士１年
兼森周平	同上	社会工学専攻	修士２年

ほか，名古屋工業大学堀越研究室学生一同

無暖房住宅を巡って：今後の目標となりうるか？

東北大学
教授　吉野　博

1．研究の経過

1）研究の目的

本研究では、東北地域において、建築環境及び環境工学分野で住宅の省エネルギー化に関する研究を行っている大学研究者と住宅の設計など実務においてこれらの住宅の実施をリードする設計者の、研究結果や先進の取組み事例を集めることにより、今年の先進的な住宅の一つの形である「無暖房住宅」の可能性について検討する。シンポジウムの開催によって、研究者、設計者、関係業界及び学生、一般ユーザーに、先進の情報を提供し、議論することで、今後のあるべき方向について明らかにしようとするものである。

2）研究の概要

東北地域の研究者 4 名（宮城県、岩手県、秋田県）の、無暖房住宅及び無暖房住宅に近い高い断熱気密性を持つ住宅に関する近年の研究成果、これらの住宅に関する各地域（山梨県、岩手県、秋田県など）の取組みに関する報告をまとめた。また、岩手県及び秋田県を中心にした取り組みを、設計者及び実務者の知見としてシンポジウムにおいて紹介いただいた。

3）シンポジウムの概要

シンポジウムは、6 月 14 日（土）に計画されたが、当日 8 時 45 分に発生した岩手宮城内陸地震（最大震度 6 強）によって、新幹線をはじめとした鉄道及び地下鉄の運転見合わせ、高速道路の通行止めなどにより講師及び参加者が足止めとなったため、やむなく延期となった。

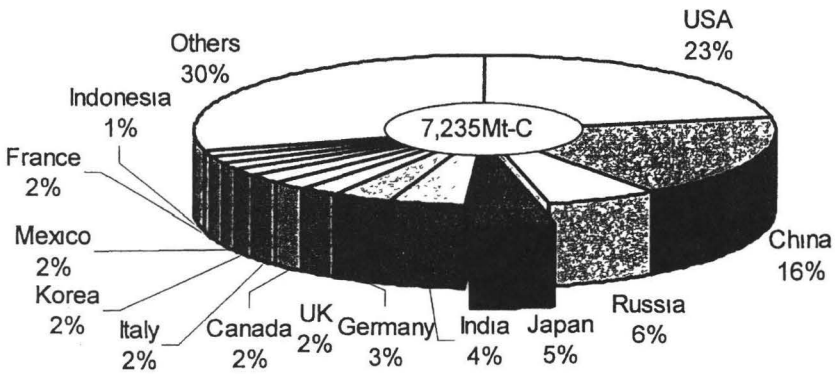
改めて、9 月 13 日（土）に、当初と同じ東北大学片平キャンパスのさくらホールにて開催された。8 月下旬には、参加申込者が 150 名を越えたため締め切りとなったが、当日の参加者は 61 名であり、主に、東北の大学などの研究者、設計事務所、工務店、学生、などであった。

総合司会は、住まいと環境・東北フォーラムの細川高夫事務局長が担当した。開会では、吉野博東北大学教授（住まいと環境・東北フォーラム理事長）から、トステム建材産業振興財団助成事業による住まいと環境・東北フォーラム主催のシンポジウムであり、近年話題となっている無暖房住宅について議論を深めてほしい旨の挨拶があった。

2．研究及びシンポジウムの内容

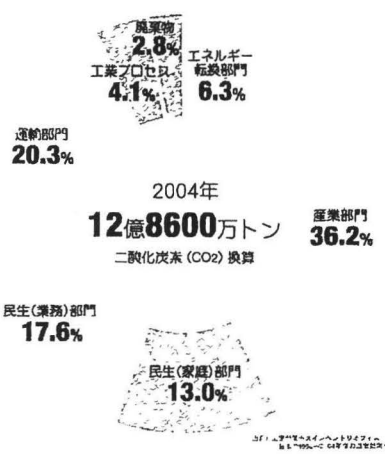
1）基調講演「我が国の省エネルギー住宅の取組みと今後の課題」
吉野博東北大学教授（既出）

基調講演では、ＩＰＣＣが示す地球温暖化の影響と対策の必要性、我国における地球温暖化ガス排出の現状や予測について、最新の情報を紹介すると共に、省エネルギー住宅について、東北大学を中心とした研究の成果を示した。地球の温度が 2.0 程度上昇する段階で、災害や健康など人間生活への影響が生じることが予測され、温暖化対策は国際的な契約事項になりつつある。我国では人口減少に伴って地球温暖化ガス排出量は自然減するとの予測もあるが、民生部門からの炭酸ガス（温暖化ガス）の排出量は、他の部門に反して増加しており、住宅の省エネルギー化は重要な課題となっている。これまで、断熱気密化、ソーラーハウスなどの研究が行われ、その延長線上に暖房エネルギーがゼロとなる住宅の可能性が示されていたことが紹介された。



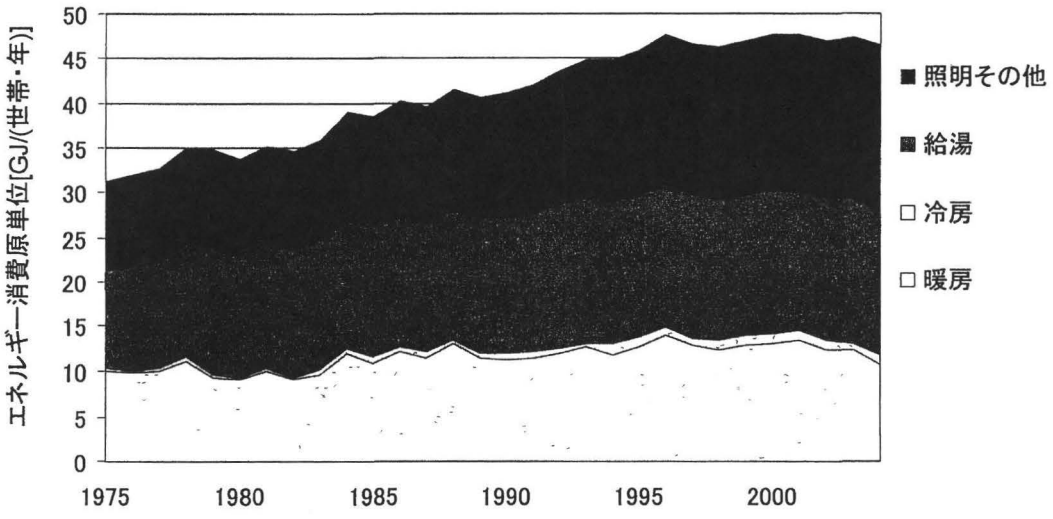
世界の二酸化炭素排出量

文献:(財)日本エネルギー経済研究所計量分析部:EDMC〆エネルギー・経済統計要覧(2007 年版)、(財)省エネルギーセンター、2007



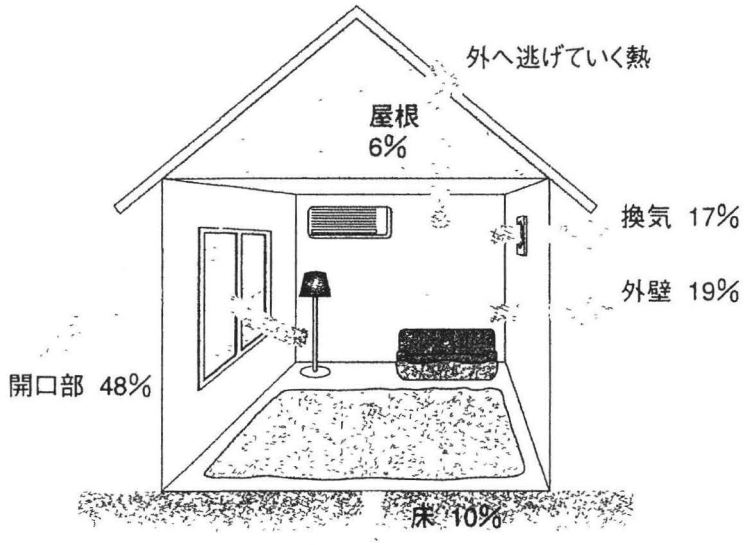
日本における二酸化炭素の排出割合

文献:温室効果ガスインベントリオフィス:日本の 1990～2003 年度の温室効果ガス排出量データ、2005、http://www.pref.nagasaki.jp/kankyo/ondankyo/site_map.html



家庭用用途別エネルギー消費量の推移

文献:住環境計画研究所:家庭用エネルギー統計年報(2004 年版)



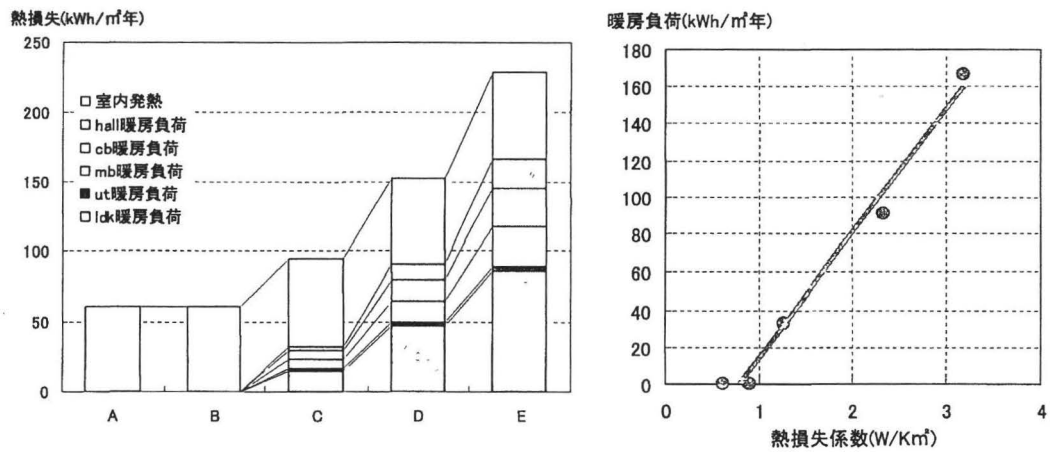
暖房時における熱損失（1992 年の基準で建てた住宅モデルにおける例：新省エネルギー基準）

文献:(財)住宅健築省エネルギー機構断熱普及促進連絡会議、(社)日本建材産業協会省エネルギー建材普及促進センター:次世代省エネルギー基準一早分かりガイドー、1999

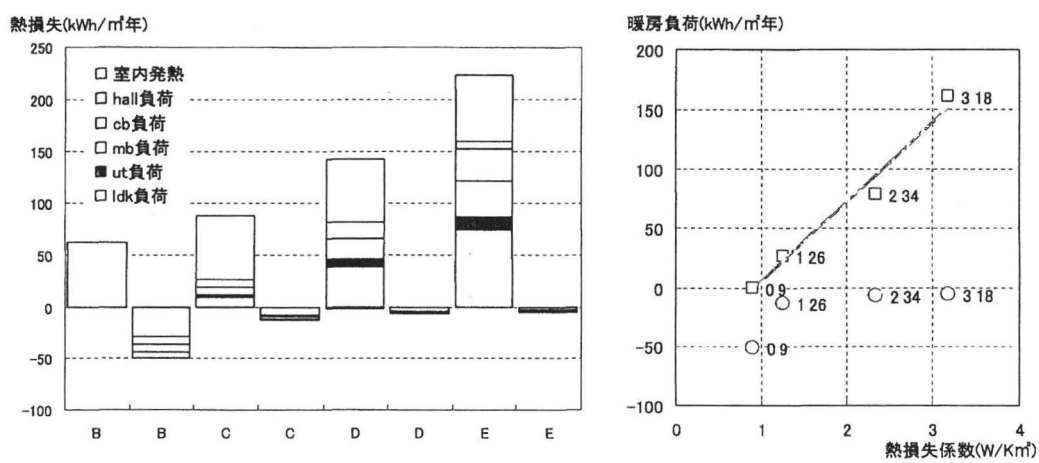
2）講演「無暖房住宅の取組み」

①「無暖房住宅の可能性と国内外の事例」
林基哉宮城学院女子大学教授

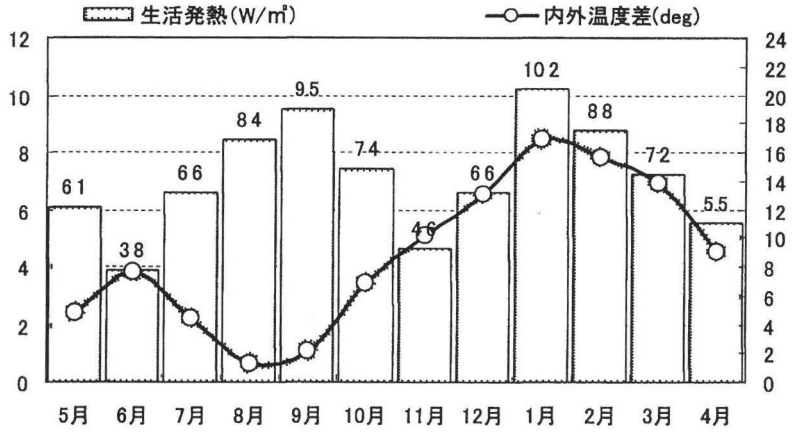
東北の住宅の室内環境の現状、無暖房住宅の仕組み、内外の事例、無暖房住宅の生活について、シミュレーションと実験住宅による研究結果を含めた、全般的な話題提供があった。無暖房住宅を、「全く暖房器具を使わない住宅」と考えるのではなく、補助暖房器具を用いることで実現の可能性が生まれ、その条件として熱損失係数：Q値を 1.0 程度以下にすることが必要である。また、高い断熱性によって年間を通じて室温が高くなる傾向があり、窓を開放する期間が長くなったり、冷房期間が長くなったりなど、従来の住宅の常識を超えた状況が生まれる可能性がある。日射遮蔽、縁側を利用した開放のデザイン、無暖房レベルの住宅にあった生活習慣を見出していく必要があることが示された。



Q値（熱損失係数）と暖房負荷



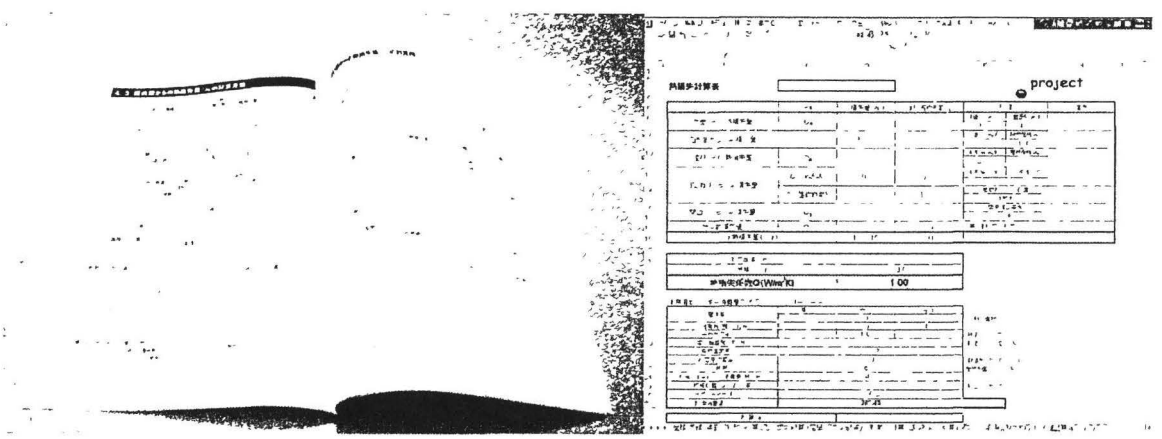
Q値(熱損失係数)と暖冷房負荷



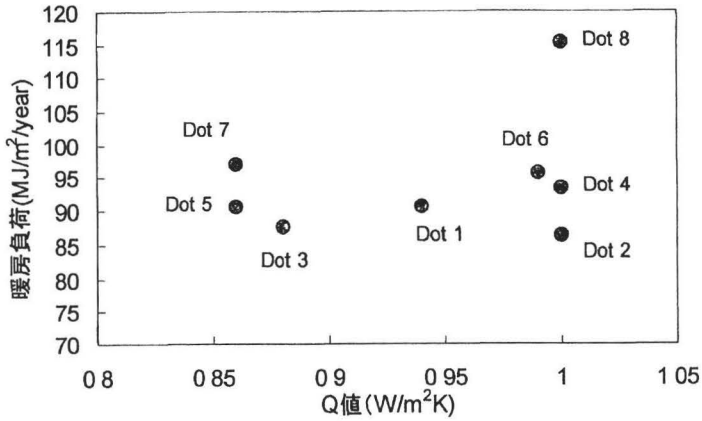
実験住宅（山梨県）の生活発熱と内外温度差の年推移

②「東北太平洋側における取組み（岩手／ﾄﾞｯﾄﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄの事例）」
本間義規岩手県立大学准教授

岩手県においてQ値を 1.0 以下にする住宅を認証する取組みと事例が示された。Q値の計算をより厳密に行うことの必要性が示され、計算法の紹介が行われた。また、暖房エネルギーを非常に少なくすることが出来るかは、Q値の低減の他に開口部の設計が重要であることが示された。ドットプロジェクトで認証された住宅が紹介され、Q値が 1.0 以下の住宅では、暖房エネルギーが灯油換算では概ね年間 500 リットル以下となっているが、住宅ごとの差はQ値ばかりではなく、生活スタイルや開口部の状況などに影響されていることが紹介された。



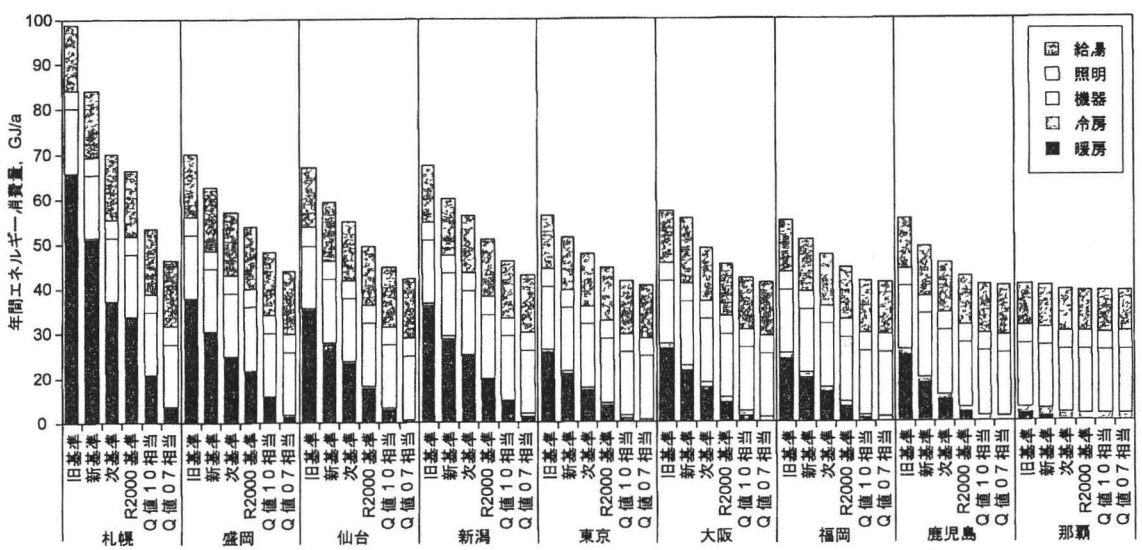
Dot Project 熱損失係数算出基準 ver 1 1　　Dot-Q 値計算シート ver 1 0



Dot Project 認証住宅の熱損失係数と暖房エネルギーの関係

③「東北日本海側における取組み（山形・秋田・青森の事例)」
長谷川兼一秋田県立大学准教授

住宅におけるエネルギー消費の実態、住宅における省エネルギーに寄与する要因の分析、日本全国を対象にしたQ値と暖房エネルギー消費に関するシミュレーション結果が紹介された。東北では全国の中では暖房に使用するエネルギー消費が多くなり、省エネルギー手法の中で断熱気密（シェルター）性能が大きな効果を持っている。また、生活習慣での工夫も一定の効果を持っていることが、実住宅での試行で認められた。全国各地でのシミュレーションでは、温暖地ではQ値が 1.0 で、また寒冷地では 1.0～0.7 で暖房エネルギーが非常に小さくなることが示された。しかし、1.0 程度で完全にゼロにするのは、温暖地を除けば難しいことを示した。

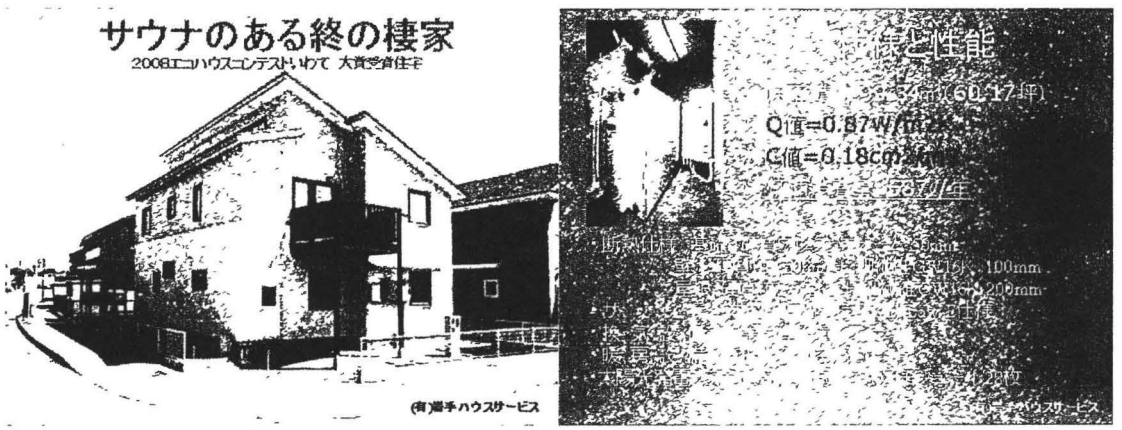


断熱性能を向上させた場合の年間エネルギー消費量の計算結果

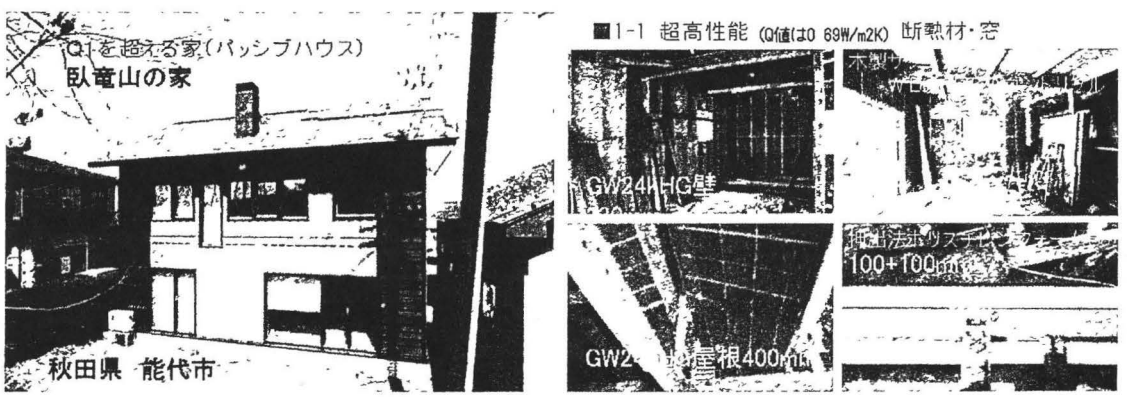
2）パネルディスカッション「住宅の無暖房化の意味と可能性」

はじめに、実践者の立場からの話題提供があった。

岩手県盛岡市の有限会社岩手ハウスサービス安藤敏樹氏からは、数々の評価を受けた取り組みの事例が紹介された。Q値を 1.0 程度以下にするためのイニシャルコストとそれによるランニングコストの削減を比較すると、早ければ 10 年程度でイニシャルコストが回収されることになるなど、快適な住環境を提供することが費用の負担を懸念することなく実現する方法があることが実証を踏まえて紹介された。

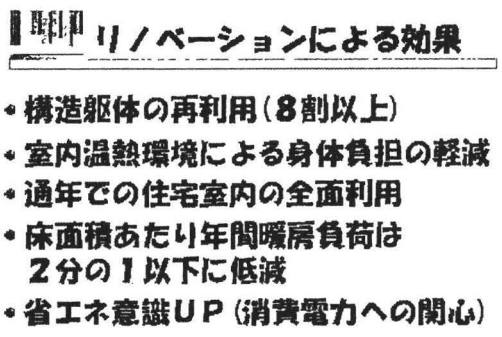


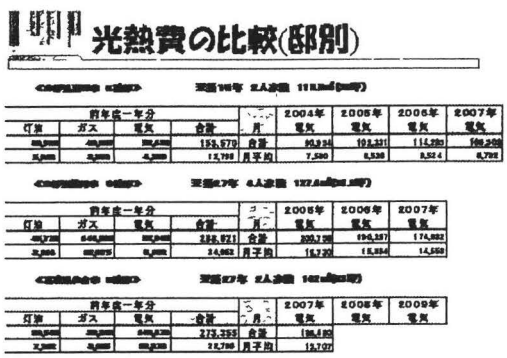
次に、「積雪寒冷地域におけるエコロジー住宅」（秋田県能代市　西方里見(建築家)）では、国内外の住宅の基準に関して、例えばドイツではパッシブハウスでは、エネルギー消費量を指標に、高い基準が設けられている。これらを踏まえた、省エネルギー住宅への長年の取組みの中で、Q値が 0.69 の住宅では、太陽熱と補助のバイオマスストーブによって暖房費がゼロとなる住宅を実現した。また、Q値を 1.0 からさらに削減する手法として、熱回収換気の効率の向上が効果的である。暖房エネルギーだけではなく、住宅におけるエネルギー消費全体を削減する必要があることを示した。



次に、「生活者の立場から見た高性能住宅の提案」（山形県鶴岡市大滝典子(親和創建・ハウジングアドバイザー)）では、住宅つくりの現場の状況を踏まえると、断熱気密性の向上など

目に見えない要素を、家作りに生かすためには、施主との関係・対話を重視する必要があることが、事例を用いて紹介された。居住してから明らかになる光熱費、住環境まで、住宅を設計施工する立場が責任を持って関わることが、新たな信頼を生み、業務の展開に繋がっていく。このような職業としての基本的な姿勢・手法が、住宅業界に見られない場合があり、これらの改善が、高性能住宅の普及に寄与することを示唆した。





これらの話題提供の後、宮城学院女子大学林基哉教授の進行で、パネルディスカッションが行われた。ディスカッションの結果をまとめると以下のようになる。

2050年の住宅生活を考えながら、無暖房住宅がこれからの目標になるのかについて、意見交換が行われた。これまで、無暖房住宅につて明確な定義が行われていないため、その捕らえ方が一定ではないことを踏まえた上で、温暖化対策の一環としても、現状の次世代省エネルギー基準よりも高いレベルの指針が必要であることが確認された。また、Q値ばかりではなく、独のパッシブハウスのようにエネルギー消費量を指標とした基準が望まれる。生活者の立場から見ると、無暖房レベルの断熱気密性の確保は、住環境、ランニングコストの点で十分に魅力的であり、今後の高齢化、エネルギー費高騰、温暖化対策の厳格化の傾向の中で、より必要とされると考えられる。

最後に、吉野博東北大学教授から、住宅のエネルギー消費の中で暖房エネルギーをゼロにしていくことは、温暖化対策においても必要な目標であるとの意見が述べられ、閉会となった。

禁 無 断 転 載

第16回（平成19年度）研究助成成果報告書

2010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

トステムショールーム東京７階

電　話　　０３－５６２６－１００８

ＦＡＸ　　０３－５６２６－１０３３