第8回（平成11年度）
研究助成成果報告書（Ⅰ）

第1部　　調査研究

2002年1月

財団法人トステム建材産業振興財団

はじめに

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

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

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

本年は財団設立11年目を迎えますが、平成13年度までの助成先は延べ250件、助成金額は2億8,128万円に達しております。

今回の助成成果報告書は、第8回（平成11年度）に助成を行なったものの成果報告書をまとめたものであります。

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

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

トステム建材産業振興財団
潮田　健次郎

目　　次

はじめに

第１部　調査研究

1－1　断熱・高気密住宅による環境設計データベースの構築に関する研究
(98-04)
東北大学大学院　工学研究科　　教　授　吉野　博　…… 1

1－2　菌・防かび性付与による木質材料のロングライフ化に関する研究
(98-06)
京都大学大学院　エネルギー科学研究科　　教　授　坂　志朗　…… 37

1－3　築壁体における熱水分挙動に及ぼす荷重の影響
(98-07)
京都大学大学院　工学研究科　　助　手　高田　暁　…… 45

1－4　次元伝熱解析によるサッシ・熱橋を含む壁体等の熱性能評価・設計ツール開発
(98-08)
都城工業高等専門学校　建築学科　　助教授　小原　聡　…… 55

1－5　常安全性の観点より見たインテリア環境と人間との心理的対応関係
(98-12)
東京理科大学　工学部　建築学科　　教　授　直井 英雄　…… 63

1－6　風の高度利用を目的とした換気量計算の精度向上に関する研究
(98-14)
東京理科大学　工学部　建築学科　　助教授　倉淵　隆　…… 69

1－7　宅解体木材の再利用に関する研究 － 性能評価と再利用システムの構築 －
(98-21)
教　授　疋田 洋子　…… 83

1－8　都市の魅力づくりに寄与する景観材料のあり方 － 既成市街地を対象
(98-24)
株式会社ジイケイ設計 地域計画部　　部　長　府 川　充　…… 123

1－9　木造スケルトン型住宅実現のための中断面集成材を用いた新たな軸組構法の開発
(99-04)
東北大学大学院 工学研究科 都市•建築学専攻　　教　授　三橋 博三　…… 129

1－10　保育園児のアレルギー性疾患と居住環境との関連性について
(99-07)
東海大学 医学部 地域保健学　　講　師　逢坂 文夫　…… 141

1－11　環境負荷低減を目的とした資材選択システムを用いた住宅設計の研究
(99-08)
京都大学大学院 工学研究科　助 手　岩田伸一郎 …… 143

1－12　蓄熱性建材の構法開発による快適居住環境と省エネルギーに関する研究
(99-09)
北海道大学大学院 工学研究科　助 手　長谷川 寿夫 …… 161

1－13　生活者と音事象との関係形成による生活騒音の風景化に関する基礎的研究
(99-12)
東京大学大学院 工学系研究科　助教授　平手小太郎 …… 167

1－14　断熱された屋根のパッシブ冷却による負荷軽減と耐久性向上に関する研究
(99-13)
岐阜工業高等専門学校 建築学科　助教授　角舎 輝典 …… 175

1－15　住宅の長寿命化に関する研究
(99-16)
早稲田大学 理工学部 建築学科　教 授　小松 幸夫 …… 193

1－16　戸建住宅地における街並み景観の持続的形成手法に関する研究
(99-18)
九州大学大学院 人間環境学研究科　教 授　菊地 成朋 …… 201

1－17　人工ゼオライトを用いたセメント系建材の有する機能の検討
(99-23)
愛媛大学 工学部 環境建設工学科　助教授　氏家 勲 …… 207

1－18　建具・家具・食器などの音鳴りからみた床振動の評価方法
(99-26)
東京工業大学 工学部 建築学科　助教授　横山 裕 …… 229

1－19　建築用接合部材の使用環境耐久性に関する研究
(99-29)
東京都城南地域中小企業振興センター　主任研究員　田村 和男 …… 241

1－20　エイジングに関するアンケート調査
(99-30)
東京都立大学大学院 工学研究科 建築学専攻　助教授　橘高 義典 …… 255

1－21　太陽ｴﾈﾙｷﾞｰを利用したふく射型冷暖房複合ﾊﾟﾈﾙの最適設計手法の構築に関する研究(3)
(99-22)
東京理科大学 工学部　教 授　谷 辰夫 …… 259

1－1　高断熱・高気密住宅における環境設計データベースの構築に関する研究

東北大学大学院
教授　吉野　博

1　本研究の背景と目的

北海道ほど寒くない東北・北陸地方においては，住宅の断熱気密化を進めることに対していくつかの問題点が建築関係の技術者から提起されている。即ち，実際に断熱気密化は省エネルギーにつながるのであろうか．気密化によって外気の自然な侵入がなくなるため，屋の空気環境に問題が生じないであろうか．露やダニ，カビなどが発生してしまい，健康面・衛生面での問題が増えるのではないか．断熱して熱が逃げにくくなるために，夏に暑くてたまらないのではないか．などといった疑問である。これらの疑問は東北･北陸地方の準寒冷地であるからこそ生じており，少なくとも理論的には問題ないと答えても，準寒冷地では残念ながら断熱気密化住宅の建設が進められて日が浅いので，実証された資料は十分に持ち合わせていないのが現状である。また，断熱気密化が真の省エネルギーにつながるかどうかについても不明である。

準寒冷地における断熱気密化住宅に関する研究は，当初東北地方を中心に調査が進められたが，近年では断熱気密化住宅の全国的な展開を背景に各地方の研究者においても独自に調査研究が行なわれ，地域の事情に応じた成果が数多く報告されるようになりつつある。多くの疑問に答えるべく準寒冷地で精力的に行なわれる高断熱高気密に関するデータは年々増加し，地域特性の明確化の観点から他地域の研究者の成果との比較も行われるようになりつつあるものの，それらの成果を共通の視点でまとめる試みが十分になされていないため，わが国においては，高断熱高気密住宅の位置づけは依然として混乱しているのが現状である。

このような背景により，本研究は，東北・北陸地方の準寒冷地における断熱気密化住宅に関する調査を進めている研究者が一堂に集い検討を重ね，これまで独自に行なわれてきた測定内容のフィードバックを行い，共通性のあるデータを抽出し組織的に調査研究を進行することにより，地域間の比較が可能なデータベースを構築することを試みるものである。本研究では，①わが国の準寒冷地を中心とした高断熱高気密住宅建設の現状を調査するとともに，②これまでの調査研究より，シェルター性能，設備性能，エネルギー消費実績，室内環境の実態などの調査結果を整理して，高断熱高気密住宅の環境設計のためのデータベースのフレームを作成し，データベースの整備・充実を図り，③設計にフィードバック可能な，住宅のエネルギー消費や居住性能を含めた環境設計に関するデータベースを構築する，ことを目的とする。

2　研究体制

研究代表者は，同様の研究を文部省科学研究費(基盤研究(A))により既に実施しており，今

回は，新たに実施される実測調査を通じてデータベースを更に充実させていくことを意図したものである。また，本研究は準寒冷地各地の研究者と共同で行っており，以下の研究分担者により構成されている。全体の統括　吉野　博(東北大学大学院，研究代表者)／東北地方の調査担当　石川善美(東北工業大学)，佐々木隆(岩手県立大学)，澤田紘次(八戸工業大学)，三浦秀一(東北芸術工科大学)／北陸地方の調査担当　赤林伸一(新潟大学大学院)，坂口　淳(県立新潟女子短期大学)，山岸明浩(県立新潟女子短期大学)，山下恭弘(信州大学)，長谷川兼一(信州大学)。このように各地の研究者と共同で行うことは以下の観点より意義深い。断熱気密化の進んだ住宅が持つ優位点と問題点は，当然，地域の気候特性に大きく左右されるが，このような住宅に対して室内熱空気環境の設計指針を確立するためには，地域的な居住環境の特性を十分考慮し，総合的に検討する必要があり，そのための有用な資料を整備するためには，各地の研究者の有機的で組織的な研究，調査が是非とも必要である。

3　研究成果

3.1　準寒冷地における住宅用エネルギー消費量の状況[1)]

全国規模の統計調査である家計調査を中心とした統計資料をもとに，全国の県庁所在都市における住宅用エネルギー消費量を算定した。エネルギー消費量は各年の気候や調査対象に変動による影響を極力減らすために，1991 年～1995 年の 5 年間を調査年とし，その平均を求めた。なお，電力については 1 次エネルギー換算(2450kcal/kWh)とした。

3.1.1　総エネルギー消費と熱源別構成

住宅一戸当たりの総エネルギー消費量を図 1 に示す。総エネルギー消費量の平均は 16Gcal／世帯・年であるが，消費量が最も多いのは青森市で，それに次ぐ秋田市，山形市も札幌市を上回っており，20Gcal／世帯・年を越えている。また，最も少ないのは那覇市で，それに九州南部の諸都市が次いでおり，12Gcal／世帯・年前後となっている。このように南北間の較差は 2 倍近くあり，全般的には気候との関連が強く見られ，寒冷な地域ほど消費量が多く，暖房デグリデーとの関連も高い。

エネルギー源別の消費量では，ほとんどの都市で電力消費の占める割合が最も多く，半分を越えているところが多い。那覇市では 7 割を越え，北陸地方や中国地方には電力消費量が 10Gcal／世帯・年を越える消費の多い都市が多い。その一方で，札幌市や東北地方等の寒冷地では，多くは半分以下となっている。しかし，電力消費量は他のエネルギーに比べると，消費量の割には地域格差が比較的小さい。

灯油の消費量は地域差が顕著に見られ，札幌市と青森市では灯油の占める割合が半分を越えており，10Gcal／世帯・年を上回る消費量である。しかし，多くの都市は 3Gcal／世帯・年以下で，20%以下の構成比となっている。また，1Gcal／世帯・年を下回る消費量となるのは南方の鹿児島，那覇市以外に，東京，大阪市，神戸市の大都市部である。

首都圏，中部圏，近畿圏の大都市では電力以外にも，都市ガスの消費量の占める割合が大きく，3 割前後の構成比になっており，5Gcal／世帯・年前後の消費量となる。その一方で，

これらの都市は灯油やLPGの消費量が小さく，都市施設によるエネルギー供給が進んでいることの反映である。

3.1.2 総エネルギー消費量の分布

図2に総エネルギー消費量の地域分布を示す。消費量が特に多い18Gcal／世帯・年以上の都市は，北海道から東北地方北部及び日本海側，北陸地方へと連なっている。16～18Gcal／世帯・年でやや消費量が多い都市は，東北地方南部の仙台市から関東地方の浦和市，横浜市，中部地方の中央高地，近畿地方の大津市，中国地方の山陰や岡山市まで分布している。14～16Gcal／世帯・年で平均的な消費量の都市は，関東地方から中部，近畿，中国地方の太平洋側を中心に，四国，九州地方まで分布している。14Gcal／世帯・年以下の消費量が少ない都市には，九州地方，那覇市以外に本州の前橋市，千葉市，神戸市がある。

また，各地方の中においても，都市間の較差は小さくない。関東地方では浦和市が多く，前橋市が少ない。中部地方では日本海側，内陸，太平洋側と消費量が少なくなる。近畿地方では大津市がやや多く，神戸市が少ない。中国地方では山陰地方や岡山市が，太平洋側の広島市や山口市に比べてやや多い。それに対して，四国，九州地方はエネルギー消費量の少ない都市が多く，都市間の較差も比較的小さい地域である。

3.2 住宅の断熱気密化の状況

地球温暖化防止のための省エネルギーや快適性向上に対するニーズの高まりなどにより，住宅における断熱・気密化が進んでいる。1980年に告示された住宅の省エネルギー基準は1992年に改正(通称「新省エネルギー基準」)され，1999年3月に再度改正されて通称「次世代省エネルギー基準」として告示された。これらの改正を契機に全国的に断熱・気密化が今まで以上に進みはじめている。たとえば，東北地方における新築住宅の断熱化率は，ガラス繊維協会の資料[2]によれば，1994年度において，壁，床，天井ともにほぼ100%に達しており，1998年度[3]では，青森，秋田，岩手において天井，壁，床にいずれの部位でもグラスウール100mmの使用率が高く，天井ブローイング断熱材では200mmが75%となっている。また，住宅金融公庫の融資利用状況[4]によれば，新省エネ基準レベルの住宅は1995年においてⅡ地域で40%，Ⅲ地域では10%となっている。さらに，住宅金融公庫が1999年8月に実施した調査[5]によれば，気密住宅[注1]の割合は全体で44%であり，地域別に見ると北海道が圧倒的に多くて84%であるが，他の地域では35～50%となっており，九州地方でも35%となっている。一方，住宅の品質確保を促進するための住宅性能表示制度を発効するべく準備が進んでいるが，ますます断熱・気密化の傾向は強まっていくものと予想される。

3.3 住宅の環境設計のためのデータベースの構築

3.3.1 データベースの内容

全国各地に建設される高断熱高気密住宅のエネルギー消費と居住性について検討や評価を行なう基盤として，共通したデータベースの構築が必要不可欠である。データベース構築の必要性は，従来までは研究者，企業，ユーザーなど多岐にわたる個々の立場より行なわれて

きたデータ収集および整理，蓄積といった過程において，共通に必要性の高いデータを抽出し統一した形式でデータを集約することにより，新たな体系化された環境設計資料の提供を可能とすることにある。

本研究において選出を行なったデータベースの項目の一覧を，表1から表7に示す。データベースの項目は，「住宅属性」「断熱・気密性能」「冬季温熱環境」「夏季温熱環境」「設備」「エネルギー消費量」「空気質環境」「居住者評価」「データ問い合わせ先」の大きく9項目に分類される。各項目に記入するデータは，原則としてデータベースに登録するデータ採取時のデータとしている。また，欠損値処理の関係から，データベースへ登録する住宅において，設定された項目に該当しない場合には「該当無し」，設定された項目に関するデータが入手されていないあるいは不明の場合には「不明」と明記こととした。さらにデータ項目によっては，回答が多岐に及ぶため数量化が困難な場合に「自由記入」を設定しているが，入力にあたっては出来る限りデータの内容が客観的に判断できるよう記述することとした。

本研究において選出を行なったデータベース項目は，1住宅当たり322データであるが，これらは居住環境評価の観点から各地域の研究者がデータベースとして整備が必要と考えられる項目である。居住環境調査は，それぞれの目的により調査項目が異なることから，データベースに登録する全ての住宅に対して，これらの膨大な測定データを充足することは困難である。そこで，本研究においては，選出されたデータベース項目を「必要度」とし，以下のような4段階のランク付けを行なった。

A：必ず入力して欲しいデータ

B：原則としてデータベースに入力するデータ

C：データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ

D：その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

この様なランク付けの提案を行なうことにより，居住環境調査に際して必要度に応じて調査項目の検討，および選定が可能となると考える。さらに，全ての項目のデータを充足していなくても，提案を行なったデータベース項目に基づいて測定データを蓄積することにより，最終的には個々の項目が充足され，解析が可能になるものと考えられる。

以下に，データベース項目の内容について簡単に示す。

①住宅属性

住宅属性は，データベースに登録された住宅の居住者および建物の概要に関する以下の項目から構成される。

1)住宅番号(必要度 A)，2)所在地(必要度 A)，3)建築年代(必要度 A)，4)建築構造(必要度 A)，5)建築工法(必要度 D)，6)建築階数(必要度 A)，7)延べ床面積(必要度 A)，8)敷地面積(必要度 D)，9)家族人数(必要度 A)，10)家族 1(世帯主)・年齢，性別，職業(必要度 D)，11)家族 2～家族 6・年齢，性別，職業(必要度 D)，12)年収(必要度 D)，13)購入価格(必要度 D)

②断熱・気密性能

断熱・気密性能は，データベースに登録された住宅の断熱性や気密性に関わる以下の項目から構成される。

1)熱損失係数(必要度 A)，2)相当隙間面積(必要度 A)，3)気密測定実施年月日(必要度 C)，4)各部位主な断熱材・種類(必要度 C)，5)各部位主な断熱材・厚さ(必要度 D)，6)各部位主な断熱材・位置(必要度 D)，7)各部位主な断熱材・特記事項(必要度 D)，8)主な窓仕様 1～3・ガラス種類(必要度 C)，9)主な窓仕様 1～3・建具構成(必要度 D)，10)主な窓仕様 1～3・ガラス性能(必要度 D)，11)主な窓仕様 1～3・外気面のサッシ材料(必要度 C)，12)主な窓仕様 1～3・外気面の建具形状(必要度 D)，13)主な窓仕様 1～3・特記事項(必要度 D)，14)開口部の遮熱の工夫(必要度 D)，15)床下防湿処理(必要度 D)

③冬季温熱環境

冬季温熱環境は，データベースに登録された住宅の冬季における温熱環境の測定結果に関わる以下の項目から構成される。なお，データベースに登録するデータは，原則として冬季の代表的測定期間の期間平均値とする。

1)明け方温度・床付近，室中央付近，天井付近，外気(必要度 B～D)，2)昼間温度・床付近，室中央付近，天井付近，外気，3)団らん時温度・床付近，室中央付近,天井付近,外気(必要度 B～D)，4)明け方湿度・室内，外気(必要度 C)，5)昼間湿度・室内，外気(必要度 C)，6)団らん時湿度・室内，外気(必要度 C)，7)温熱環境測定開始年月日(必要度 C)，8)温熱環境測定終了年月日(必要度 C)，9)測定場所(必要度 D)，10)温度測定器(必要度 D)，11)室温測定時の状況(必要度 D)，

④夏季温熱環境

夏季温熱環境は，データベースに登録された住宅の夏季における温熱環境の測定結果に関わる以下の項目から構成される。なお，データベースに登録するデータは，原則として夏季の代表的測定期間の期間平均値とする。

1)明け方温度・床付近，室中央付近，天井付近，外気(必要度 C～D)，2)昼間温度・床付近，室中央付近，天井付近，外気，3)団らん時温度・床付近，室中央付近,天井付近,外気(必要度 C～D)，4)明け方湿度・室内，外気(必要度 C)，5)昼間湿度・室内，外気(必要度 C)，6)団らん時湿度・室内，外気(必要度 C)，7)温熱環境測定開始年月日(必要度 C)，8)温熱環境測定終了年月日(必要度 C)，9)測定場所(必要度 D)，10)温度測定器(必要度 D)，11)室温測定時の状況(必要度 D)

⑤設備

設備は，データベースに登録された住宅の主に暖冷房・換気設備に関わる以下の項目から構成される。

1)暖房設備・全室暖房の有無(必要度 A)，2)暖房設備・主な暖房方式(必要度 A)，3)暖房方式・主な使用燃料(必要度 C)，4)暖房設備・運転方法(必要度 C)，5)冷房設備・全室冷房の有無(必要度 A)，6)冷房設備・冷房機の数(必要度 A)，7)冷房設備・主な使用燃料(必要度 C)，8)冷房設備・運転方法(必要度 C)，9)換気設備・全室換気の有無(必要度 C)，10)換気設備・主な換気方式(必要度 A)，11)換気設備・運転方法(必要度 C)，12)その他燃料の種類・給湯，風呂，調理，その他(必要度 D)

⑥エネルギー消費量

データベースに登録された住宅の電気，深夜電力，ガス，灯油の消費量に関わる以下の項

目から構成される。なお，電気については，住宅により契約が複数存在する場合があるため，深夜電力を含め 4 種類のデータが記入できるようにした。また，同時に住宅全体における電力の総消費量の項目を設けた。

1)電気・調査開始年月(必要度 C)，2)電気・調査終了年月(必要度 C)，3)電気・契約種別(必要度 D)，4)電気・契約容量(必要度 D)，5)電気・供給事業体(必要度 D)，6)電気 1～3・1 月～12 月使用量・年間総計(必要度 B～C)，7)電気 1～3・1 月～12 月料金・年間総計(必要度 D)，8)深夜電力・調査開始年月(必要度 C)，9)深夜電力・調査終了年月(必要度 C)，10)深夜電力・契約種別(必要度 D)，11)深夜電力・契約容量(必要度 D)，12)深夜電力・供給事業体(必要度 D)，13)深夜電力・1 月～12 月使用量・年間総計(必要度 B～C)，14)深夜電力・1 月～12 月料金・年間総計(必要度 D)，15)深夜電力を使用時の用途(必要度 D)，16)電力総計・1 月～12 月使用量・年間総計(必要度 B～C)，17)電力総計・1 月～12 月料金・年間総計(必要度 D)，18)ガス・調査開始年月(必要度 C)，19)ガス・調査終了年月(必要度 C)，20)ガス・種類(必要度 C)，21)ガス・種別(必要度 B)，22)ガス・供給事業体(必要度 D)，23)ガス・1 月～12 月使用量・年間総計(必要度 B～C)，24)ガス・1 月～12 月料金・年間総計(必要度 D)，25)灯油・調査開始年月(必要度 C)，26)灯油・調査終了年月(必要度 C)，27)灯油・1～12 月使用量・年間総計(必要度 B～C)，28)灯油・1～12 月料金・年間総計(必要度 D)，29)自然エネルギー利用・有無(必要度 C)，30)自然エネルギー利用・利用エネルギー(必要度 C)，31)自然エネルギー利用・利用用途(必要度 D)

⑦空気質環境

1)ホルムアルデヒド・調査年月(必要度 C)，2)ホルムアルデヒド・調査方法(必要度 C)，3)ホルムアルデヒド・調査結果，4)ホルムアルデヒド・単位(必要度 C)，5)VOC・調査年月(必要度 C)，6)VOC・調査方法(必要度 C)，7)VOC・調査結果，8)VOC・単位(必要度 C)，9)NOx・調査年月(必要度 C)，10)NOx・調査方法(必要度 C)，11)NOx・調査結果，12)NOx・単位(必要度 C)，13)CO2・調査年月(必要度 C)，14)CO2・調査方法(必要度 C)，15)CO2・調査結果，16)CO2・単位(必要度 C)

⑧居住者評価

データベースに登録された住宅の居住者評価に関わる以下の項目から構成される。

1)室内温熱環境(冬季)・満足度(必要度 C)，2)空気質環境(冬季)・満足度(必要度 C)，3)エネルギー消費(冬季)・満足度(必要度 C)，4)総合評価(冬季)・満足度(必要度 C)，5)室内温熱環境(夏季)・満足度(必要度 C)，6)空気質環境(夏季)・満足度(必要度 C)，7)エネルギー消費(夏季)・満足度(必要度 C)，8)総合評価(夏季)・満足度(必要度 C)，9)建設コスト・満足度(必要度 C)

⑨データ問い合わせ先

データベースに登録された住宅に関わる情報入手先に関する以下の項目から構成される。

1)調査機関(必要度 C)，2)調査結果の発表先(必要度 D)，3)その他(必要度 D)

3.3.2 高断熱高気密住宅を対象とした実測調査を基にしたデータベースの整備

断熱気密化の進んだ住宅を対象とし，実際の居住状態での室内環境やエネルギー消費量に

関する実測調査を，各研究分担者が所属する地域に関して行い，この調査結果のデータベースへ入力作業を実施した。調査項目は，可能な限り先にデータベース項目Aランクを最低限満たすよう設定している。

3.3.3 データベースの運用方法

基本的にデータベースのデータは，メールウェアとする。特にパスワード等は設けず，誰でも使えるようにする。研究者もこのデータを使用することを自由とし，広く使えるものとして構築する。

データベースのデータは次に2種類のデータで構成する。①Microsoft Excelベースのデータ一覧表，②住宅毎のデータファイル。①の形態はこれまでに整備してきたものである。また，②のファイル形式はフリーフォーマット形式とする。この形式は拡張性が高く，熱負荷計算用のデータも包括できるものである。

3.4 データベースを用いた考察

3.4.1 住宅の概要

図3にデータベースに保存されている各都道府県別のデータ数を示す。入力されているデータは，北海道地方で5件，東北地方で61件，北陸地方で273件となっており，総データ数は339件である。データ数には地域ごとに偏りが見られ，北陸地方のデータが全体の80%を占めている。しかし，データに関しては，適宜，追加・更新が行われるため，今後，さらにデータの充実がなされるものと考えられる。

図4に都道府県別の住宅における建築年代を各都道府県別に示す。全体で見ると，1990年代に建設された住宅が最も多く，全体の80%を占めている。各都道府県別では，岩手県と宮城県において1985年以前に建設された住宅が60～70%を占め，比較的建築年代が古い住宅のデータとなっている他は，1990年以降のものが大半を占めている。

図5に都道府県別の住宅における床面積の分布を示す。全体を見ると，100 m^2 前後から500m^2の範囲に分布しており，全体の平均値は174.5m^2となっている。岩手県と新潟県で規模の大きい住宅が見られている。各都道府県別の平均値は，北海道138.3m^2，青森県173.5m^2，秋田県200.1m^2，宮城県131.8m^2，山形県173.9m^2，福島県167.1m^2，新潟県175.9m^2，富長野県171.3m^2となっている。

図6に家族人数の分布を示す。全体では「3から4人」が最も多く，各都道府県別においても同様の傾向が見られる。北海道や岩手県，山形県では「2人以下」，長野県では「5人以上」が最も多い。

図7に都道府県別の住宅における熱損失係数の分布を示す。データ全体では，0.7W/ m^2K から7.0W/m^2Kの範囲に分布しており，全体の平均は2.27W/m^2Kである。各都道府県別の平均値は，北海道1.30W/m^2K，青森県2.08W/m^2K，秋田県2.16 W/m^2K，宮城県1.26W/m^2K，新潟県2.22W/m^2K，長野県2.48 W/m^2Kとなっている。また，気密性能の分布は図8のようになる。データ全体では，0.2cm^2/m^2から16.5cm^2/m^2の範囲に分布しており，全体の平均は4.3cm^2/m^2である。各都道府県別の平均値は，北海道1.28cm^2/m^2，青森県2.84cm^2/m^2，宮城

県 5.9cm²/m²，新潟県 4.93cm²/m²，長野県 3.16cm²/m² である。

3.4.2 室内温熱環境

構築されたデータベースのデータを基に，冬季における室内温熱環境についての集計結果について述べる。なお，以下の解析において用いる時間帯は，明け方は 4:00～6:00，昼間は 10:00～14:00，団らん時は 19:00～22:00 とし，各時間帯における気温の平均値を用いる。

(1)冬季における時間帯別の室内外温度

図 9 に，冬季におけるデータベースに入力された時間帯別の外気温の平均値，および標準偏差を示す。データベースに入力されたデータは，北海道から東北，北陸地域まで存在するため単純に検討はできないが，全体的な外気温の変化としては，明け方の外気温が-0.8℃と他の時間帯に比べ最も低く，次いで団らん時が 0.8℃，昼間が 3.8℃となっている。データベースに入力されたデータは，寒冷地から準寒冷地のものであることから，全体的な平均値は全国平均よりも低い値を示していると考えられる。

図 10 に，冬季におけるデータベースに入力された時間帯別の室内中央付近温度の平均値，および標準偏差を示す。外気温とは異なり室内の温度は，居住者により調節行為が行なわれていると考えられ，全体的には明け方の温度が 14.0℃と最も低く，次いで昼間が 18.4℃，団らん時が 19.7℃となっている。団らん時や昼間においては，生活時間帯のため居住者により暖房が行なわれ，ある程度の高い温度を示していると考えられる。一方，居間での生活が発生しにくい明け方においては，住宅による暖房方法（連続／間欠運転など）や建物の断熱気密性能などの条件による熱環境の違いが現われやすいことから，他の時間帯に比べ温度は低く，データのバラツキを示す標準偏差も大きくなっていると考えられる。

表 8 に，データベースに入力された住宅について都道府県別に明け方，昼間，団らん時における時間帯毎の外気温と室内中央付近温度の平均値を算出した結果を示す。明け方の外気温では，北海道が-17.5℃と最も低い値を示し，次いで岩手県が-6.1℃，山形県が-5.4℃となっている。逆に，入力されたデータの内，最も高い外気温を示すのは新潟県の 1.1℃であり，次いで富山県，石川県の 0℃となり，北陸の日本海側の地域となっている。明け方の室中央付近の温度では，北海道，秋田県，富山県，石川県では室温が 20℃前後の値を示しており，暖房方式や断熱気密化などに配慮された住宅が多いと考えられる。一方，岩手県，宮城県，山形県，新潟県，長野県の明け方の室温は，他の都道府県に比べ相対的に低い値を示すことから，暖房方式や断熱気密化などの条件が多様な住宅が存在していると考えられる。昼間の外気温度では，都道府県毎の関係は明け方と同様な傾向を示すが，長野県では外気温度が新潟県に近い値を示している。昼間の室中央付近の温度では，明け方とは異なり各都道府県の値は 17.5℃から 24.0℃の範囲にあり，居住者による暖房の影響により室温が保たれていると考えられる。団らん時の外気温度では，明け方に比べ外気温度は高い値を示すが，明け方と同様に相対的に北海道，岩手県，山形県の値が低く，新潟県，富山県，石川県で高い値となっている。団らん時の室中央付近の温度では，各都道府県の値は 18.7℃から 23.0℃の範囲にあり，昼間よりも安定した値を示している。

(2)冬季における時間帯別の室内外相対湿度

図 11 に，冬季におけるデータベースに入力された時間帯別の外気湿度の平均値，および標準偏差を示す。全体的な時間帯別の湿度の傾向は，明け方に 84.0%，団らん時に 81.9%と高い値を示し，昼間においては 68.8%と低い値を示している。

図 12 に，冬季におけるデータベースに入力された時間帯別の室中央付近湿度の平均値，および標準偏差を示す。全体的な時間帯毎の室内の湿度変化は，前述の温度や外気の湿度変化とは異なり時間帯による大きな違いは認められない。明け方の湿度は 43.6%，昼間は 41.2%，団らん時は 40.5%となり，若干ではあるが明け方から団らん時にかけて値は小さくなり，標準偏差も±22%程度となっている。

表 9 に，データベースに入力された住宅について都道府県別に明け方，昼間，団らん時における時間帯毎の外気湿度と室内湿度の平均値を算出した結果を示す。なお，外気湿度のデータは北海道，岩手県では計測されていない。明け方の外気湿度では，石川県が 90.0%と最も高く，次いで長野県が 87.8%，富山県が 85.0%となっている。逆に，宮城県の湿度は 72.4%と最も低く，次いで福島県が 75.0%，青森県が 77.9%となり，太平洋側の地域での湿度が低い様に見受けられる。明け方の室内湿度では，山形県が 60.0%と最も高く，次いで石川県が 55.0%と高くなっている。逆に，秋田県の湿度は 32.5%と最も低く，次いで青森県が 37.2%，宮城県が 37.6%となっている。明け方の室内湿度は，他の時間帯と比べ都道府県毎の差が大きく，都道府県毎に入力された住宅条件の違いによる影響が現われていると考えられる。昼間の外気湿度では，石川県が 80.0%と最も高く，次いで秋田県が 79.5%，新潟県が 71.8%となり，日本海側の地域の湿度が高い傾向が見受けられる。逆に，福島県の湿度は 49.0%と最も低く，次いで宮城県が 50.9%となっている。昼間の室内湿度では，各都道府県の値は 35.5%から 51.0%の範囲にあり，明け方に比べデータの範囲は小さくなるが，明け方と同様に秋田県と青森県の住宅の湿度は低く，山形県と石川県の住宅の湿度は高い傾向にある。団らん時の外気湿度では，昼間と同様な傾向を示すが昼間に比べ外気の湿度の値は高くなっており，60.3%から 85.5%の範囲の値を示す。団らん時の室内湿度では，ほぼ昼間と同様な傾向を示している。

(3)冬季における室内外温度差と上下温度差

図 13 に，冬季におけるデータベースに入力された時間帯別の室内外温度差の平均値，および標準偏差を示す。なお，室内外温度差は，室中央付近温度と外気温度の差である。全体的な室内外温度差は，団らん時に 18.9℃と最も大きな値を示し，明け方と団らん時は約 15℃程度の値となっている。団らん時の室内外温度差が大きくなる理由としては，夜間における気温の低下とともに室内での暖房の影響が考えられる。標準偏差では，明け方の標準偏差が最も大きく，他の時間帯に比べ外気温と室内温度において住宅による違いが顕著であると考えられる。

表 10 に，データベースに入力された住宅について都道府県別に明け方，昼間，団らん時における時間帯毎の室内外温度差の平均値を算出した結果を示す。明け方では，北海道の室内外温度差が 37.5℃と最も大きく，次いで富山県の 22.0℃，秋田県の 21.1℃となっている。逆

に，新潟県の室内外温度差は 12.3℃と最も小さく，次いで岩手県の 13.8℃，長野県の 16.9℃となっている。昼間では，北海道の室内外温度差が 27.5℃と最も大きく，次いで秋田県の 21.7℃，山形県の 20.1℃となっている。逆に，新潟県の室内外温度差は 13.8℃と最も小さく，次いで長野県の 14.5℃，岩手県の 15.0℃となる。団らん時では，室内外温度差の大きい都道府県は昼間と同様であるが，室内外温度差の都道府県は新潟県が 17.8℃，石川県が 18.0℃，長野県が 19.0℃となっている。室内外温度差は，外気温と室温の相対的な値であるため，今回の集計では，都道府県によりデータ数および住宅条件に差があり，一般的な傾向ではないので注意が必要である。

図 14 に，冬季におけるデータベースに入力された時間帯別の上下温度差の平均値，および標準偏差を示す。なお，上下温度差は室中央付近温度と室床付近温度の差である。上下温度差は，明け方が 1.5℃，昼間が 2.8℃，団らん時が 3.3℃と，明け方から団らん時にかけて大きくなっている。また，上下温度差の標準偏差は，団らん時が最も大きく，外気温が低下し暖房が行われている団らん時において，住宅の暖房方式や断熱気密性能により上下温度差の状況に差が生じていると考えられる。

図 15 に，冬季におけるデータベースに入力された時間帯別の室内外温度差と上下温度差の関係を示す。図より，時間帯によるデータの分布傾向に顕著な違いは認められないが，全体的には室内外温度差が大きくなるにつれ，上下温度差も大きくなる傾向が見受けられる。

以上，データベースに入力されたデータを基に，明け方，昼間，団らん時といった時間帯別の温熱環境の状況，および都道府県別の集計結果について報告したが，今後においては地域毎の住宅属性やデータ数の偏りを解消するためのデータ蓄積が望まれる。

3.4.3　エネルギー消費量

構築されたデータベースのデータを基に，調査対象住宅のエネルギー消費量についての集計結果について述べる。エネルギー消費量の換算には以下の値を用いた。

電気(2 次エネルギー)：1kWh＝860kcal
都市ガス：10,000kcal/m^3
LP ガス：12,000kcal/m^3(比容積 0.482m^3/kg)
灯油：8,900kcal/ℓ
1kcal/h＝4.186J

図 16 に，データベースに入力された住宅における月別の電力のエネルギー消費量を示す。電力消費量の最大値は 1 月の 2,877MJ であり，次いで 2 月の 2,513MJ，3 月の 2,339MJ となり冬季の消費量が多い。一方，最小値は 6 月の 1,489MJ であり，次いで 10 月の 1,634MJ，7 月の 1,686MJ となり春･秋の中間期の消費量が少ない。また，夏季の 8 月，9 月には消費量の増加が認められ，8 月には 2,098MJ，9 月には 1,887MJ となっている。夏季の電力消費量の増加は，主に冷房の使用によるものと考えられる。なお，年間の電力消費量の平均値は，24.8GJ である。

図 17 に，データベースに入力された住宅における月別のガスのエネルギー消費量を示す。ガス消費量の最大値は 2 月の 3,255MJ であり，次いで 1 月の 3,195MJ，3 月の 2,926MJ と

なり，電力と同様に冬季の消費量が多い。一方，最小値は 9 月の 1,345MJ であり，次いで 8 月の 1,352MJ，10 月の 1,505MJ となり主に夏季の消費量が少ない。ガスでは電力のような夏季の増加は認められない。なお，年間のガス消費量の平均値は，26.8GJ である。

図 18 に，データベースに入力された住宅における月別の灯油のエネルギー消費量を示す。灯油消費量の最大値は 1 月の 7,647MJ であり，次いで 2 月の 7,128MJ，12 月の 6,890MJ となり，冬季の消費量が多い。一方，最小値は 8 月の 477MJ であり，次いで 7 月の 782MJ，6 月の 785MJ となり，主に夏季の消費量が少ない。灯油の場合，暖房として使用される場合が多いことから，電気やガスに比べ冬季と夏季との差が明確に現われていると考えられる。なお，年間の灯油消費量の平均値は，39.2GJ である。

図 19 に，データベースに入力された住宅における月別の総エネルギー消費量を示す。なお，エネルギー消費量は，各種のエネルギー消費量に関し欠損値を含まない住宅について各月の消費量の算出を行なった。総エネルギー消費量の最大値は 1 月の 12.8GJ であり，次いで 2 月の 11.6GJ，12 月の 10.6GJ となり冬季の消費量が多い。一方，最小値は 7 月の 3.7GJ であり，次いで 8 月・9 月の 3.8GJ となり，夏季の消費量が少なくなっている。なお，年間の総エネルギー消費量の平均値は，84.6GJ である。

3.4.4 居住者意識

構築されたデータベースのデータを基に，調査対象住宅の居住者意識についての集計結果について述べる。

図 20 に，冬季と夏季の室内の温熱環境に対する居住者満足度の評点の度数パーセンテージを示す。全体的な傾向としては，冬季・夏季ともに室内温熱環境の評点が満足側の回答が全体の 60%以上を示している。冬季と夏季の違いは，若干ではあるが夏季における満足側の評点の割合が冬季に比べ低くなっており，夏季における室内温熱環境に対する検討の必要性が推測される。一方，不満足側の回答は冬季が 13.0%であり，夏季の 16.9%に比べ低い割合となっている。

図 21 に，冬季と夏季の室内空気質環境に対する居住者満足度の評点の度数パーセンテージを示す。全体的には室内温熱環境に対する回答と同様に，冬季・夏季ともに満足側の回答の割合が多く，全体の 60%以上の居住者が空気質環境に対し満足と回答している。一方，不満足側の回答は冬季・夏季ともに 10%程度となっている。

図 22 に，冬季と夏季のエネルギー消費量に対する居住者満足度の評点の度数パーセンテージを示す。エネルギー消費量に対する居住者の回答は，室内温熱環境および室内空気質環境における評点の分布とは大きく異なり，全体的には冬季・夏季ともに不満足側の回答が多くなっている。夏季においては「普通」との回答が 39.2%であり，「やや不満足」から「非常に不満足」までの 35.2%よりも多い割合を示しており，満足側の回答も 25.6%と冬季に比べ多い。冬季においては，「普通」の 39.2%に対し不満足側の回答は 46.5%となっている。この様なことから，寒冷地においては年間のエネルギー消費からみると冷房用のエネルギー消費は少ないものの，冬季における暖房用のエネルギー消費量の負担感が大きい傾向にあると考えられる。

図 23 に，冬季と夏季の総合的な室内環境に対する居住者満足度の評点の度数パーセンテージを示す。総合的な室内環境に対する評点の分布では，冬季・夏季の間に大きな違いは認められず，両者ともに全体の約 75%以上の居住者が満足側の回答をしている。一方，不満足側の回答の割合は他の質問項目に比べ低く，10%以下となっている。

図 24 に，建設コストに対する居住者満足度の評点の度数パーセンテージを示す。建設コストに対する評点の分布は，満足側の回答の割合が多く，「普通」との回答を含めると全体の 80%以上の割合を占める。一方，不満足側の回答は 17%程度を示している。

以上より，全体的な居住者の満足度についてみると，エネルギー消費に対する満足度において不満足側の回答が見受けられ，今後においてはエネルギー消費量も含めた検討が課題になると考えられる。

3.4.5　高断熱高気密住宅の居住性と省エネルギー性に関する考察

構築されたデータベースのデータを基に，調査対象住宅の熱的なシェルター性能である熱損失係数と温熱環境，およびエネルギー消費量に関する検討結果について述べる。

(1)熱損失係数と温熱環境の関係

図 25 に，冬季における時間帯別の熱損失係数と室中央付近の温度の関係を示す。熱損失係数と室中央付近の温度の関係では，全体的には熱損失係数が大きくなるにつれ，室中央付近の温度は低下するような傾向を示している。特に団らん時から昼間，明け方となるに従い，熱損失係数の増加に従い室中央付近の温度低下が顕著になる傾向が認められ，相関係数の値も高くなっている。特に，明け方の相関係数は 0.41 と最も高い値を示している。団らん時や昼間に比べ明け方において熱損失係数と室中央付近の温度との関係が強くなる理由としては，明け方においては居住者による暖房が行なわれていないケースも存在し，住宅の熱的なシェルター性能による夜間の室温低下の影響が現われやすいことによると考えられる。一方，団らん時や昼間の生活時間帯においては居住者による暖房が行なわれているために，全体的には住宅の熱的なシェルター性能の効果が現われにくいと考えられる。

図 26 に，冬季における時間帯別の熱損失係数と室内外温度差の関係を示す。熱損失係数と室内外温度差の関係では，前述の室中央付近の温度と同様に，全体的には熱損失係数が大きくなるにつれ室内外温度差も大きくなる傾向が見受けられる。また，団らん時から昼間，明け方になるに従いこの傾向が顕著となり，明け方における相関係数は 0.39 と他の時間帯に比べ高い値を示している。

図 27 に，冬季における時間帯別の熱損失係数と上下温度差の関係を示す。熱損失係数と上下温度差の関係では，室中央付近の温度，および室内外温度差の関係とは異なる傾向を示している。明け方においては，熱損失係数と上下温度差との相関関係は認められないが，昼間と団らん時においては熱損失係数が大きくなるに従い，上下温度差が大きくなる傾向が認められる。上下温度差は昼間に比べて団らん時の方が熱損失係数による上下温度差の影響が大きく，相関係数も昼間の 0.26 に対し団らん時では 0.41 と高い値を示している。団らん時において熱損失係数と上下温度差との関係が強くなる理由としては，団らん時においては暖房

による室温調整が他の時間帯よりも積極的に行なわれるケースが多く，結果として熱損失係数の大きい熱的なシェルター性能の低い住宅においては，上下温度差が大きくなっているものと考えられる。一方，明け方においては暖房が行なわれていないケースが多く上下温度差は生じ難く，全体的には熱損失係数による影響は顕著には現われなかったものと考えられる。

(2)熱損失係数と総エネルギー消費量の関係

図 28 に，冬季における熱損失係数と総エネルギー消費量の関係を示す。熱損失係数と総エネルギー消費量の関係では，明確な関係は認められなかった。全体的には，熱損失係数が 4.0W/m²K より大きい住宅では総エネルギー消費量が 50GJ から 100GJ の範囲に多くのデータ分布している。一方，熱損失係数が 2.00W/m²K 付近では，総エネルギー消費量が 40GJ から 270GJ の広い範囲にデータが分布しており，住宅によってエネルギー消費量に差があることが分かる。この様なことから，熱損失係数の向上と対応したエネルギー消費量の抑制が今後の課題であることが伺える。

図 29 に，季節別の熱損失係数と温熱環境の満足度の関係を示す。熱損失係数と温熱環境の満足との関係には明確な関係は認められないが，全体的には冬季・夏季ともに熱損失係数が大きくなるにつれ満足度が低下している傾向が見受けられる。

図 30 に，季節別の熱損失係数と空気質の満足度の関係を示す。温熱環境と同様に，空気質の満足度においても冬季・夏季ともに明確な関係は認められないが，熱損失係数が大きくなるにつれ満足度が低下する傾向が見受けられる。

図 31 に，季節別の熱損失係数とエネルギー消費量の満足度の関係を示す。熱損失係数とエネルギー消費量の関係においても明確な関係は認められず，冬季では熱損失係数が大きくなるに従い満足度が上昇する傾向が見受けられる。これは，断熱気密化による省エネルギー効果が明確ではないデータが含まれることから，その影響が全体的な評価の上にも現われたものと考えられる。

4 まとめ

準寒冷地に属する東北・北陸地方に建設されている断熱気密化住宅を対象として，各地の研究者が環境データを蓄積してきたが，本研究においては，それぞれのデータをお互いに共有し，より広い見地からの分析を行うとともに，地域間の比較が可能なようにデータベースの構築を目的とした。地理的に離れた研究者が，綿密な情報交換を可能とする背景には，最近の著しいコンピュータネットワークの技術革新とその整備がある。今後とも継続的にデータの更新がスムーズに行なわれるよう，データベースの構築には十分注意を払った。

研究成果を総括すると以下のようになる。

1)高断熱高気密住宅の建設状況調査

住宅の断熱気密化に関する現状把握のために，新築住宅の断熱化率や住宅金融公庫の融資状況のデータを概観し，現状と地域性について明らかにした。

2)省エネルギー住宅の環境設計のためのデータベースのフレーム作成

高断熱高気密住宅を対象としたこれまでの調査研究により，シェルター性能，設備性能，エネルギー消費量，室内環境の実態などの調査結果を整理し，設計にフィードバック可能なデータベースの構築について検討した。

3)高断熱高気密住宅を対象とした実測調査を基にしたデータベースの整備

データベースの内容を整備・充実するために，各研究分担者が既に所有しているデータを同一の形式にてデータベース化するとともに，新たに調査可能な地域については，データベースの項目に即した内容のデータが得られるよう，実際の居住状態での室内環境やエネルギー消費量に関する実測調査を行い，データベース化を図った。

4)環境設計のための基礎資料作成を意図したデータベースを用いた考察

以上の結果調査・整理されたデータベースを用いて住宅のエネルギー消費量と居住性に関する調査結果を集計し分析を行い，高断熱高気密住宅における環境設計のための基礎資料を体系的に整備するためのデータを蓄積した。

注1　「気密住宅」とは床面積当たりの相当隙間面積が $5.0cm^2/m^2$ 以下の住宅を指す。

参考文献

1)三浦秀一：全国における住宅の用途別エネルギー消費と地域特性に関する研究，日本建築学会計画系論文集　第510号，1998年8月
2)小田原隆：住宅における省エネルギー基準の普及に対する取組み，断熱材について，IBEC No.89，1995年7月
3)住宅金融公庫資料：省エネルギー断熱構造工事・開口部断熱構造工事の利用戸数・利用率
4)硝子繊維協会：グラスウールインフォメーション Vol.6，No.21，1999年3月
5)住宅金融公庫：住宅・建築主要データ調査報告，平成11年度—戸建住宅編—，1999年12月

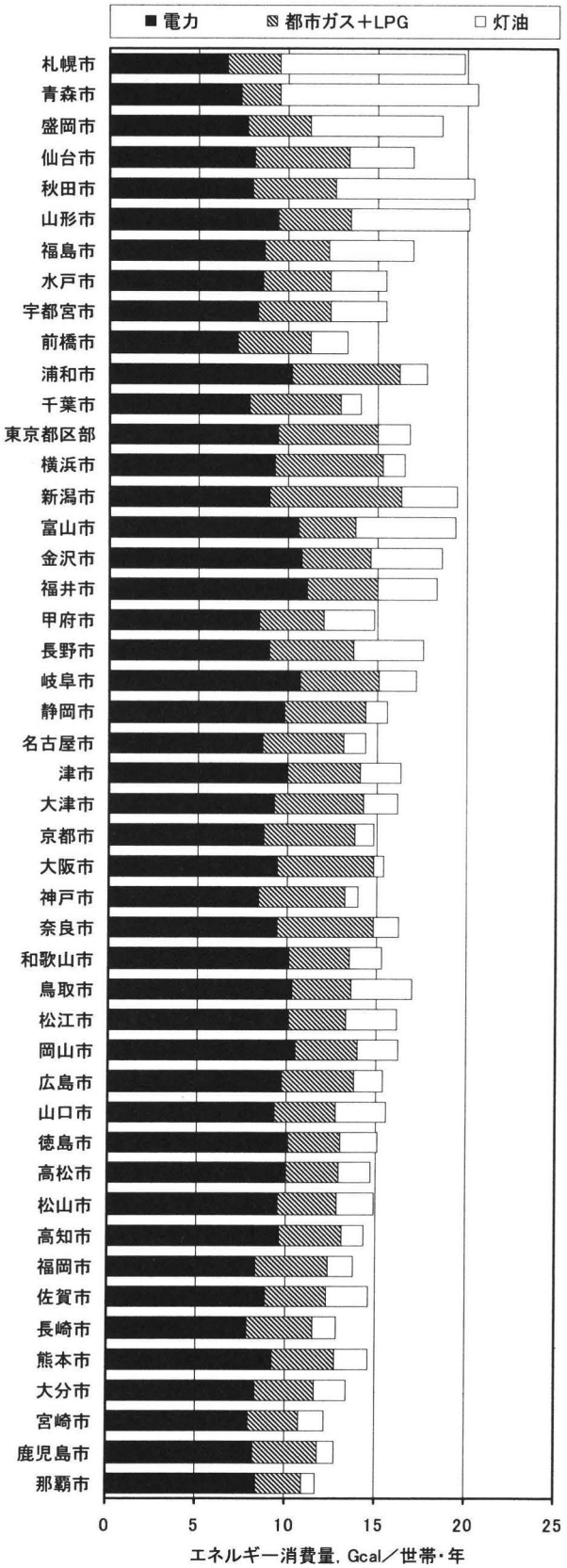


図１　エネルギー源別消費量

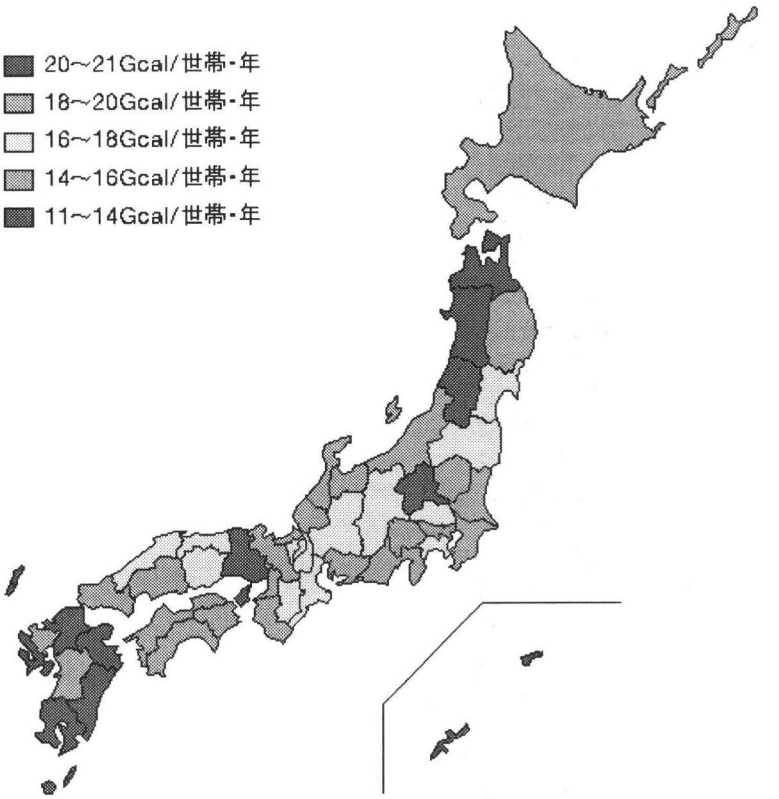


図２　総エネルギー消費量の地域分布

表1　データベース項目一覧1

番号	項目分類	項　目	細項目	内　容	必要度
1	住宅属性	住宅番号		通し番号で入力	A
2		所在地		都道府県・市町村まで	A
3		建築年代		西暦	A
4		建築構造		木造，RD造，組積造，鉄骨造，その他	A
5		建築工法		自由記入（エアサイクルなど商品名でも良い）	D
6		建築階数		1階建て，2階建て，3階建て，その他	A
7		延べ床面積		単位は㎡	A
8		敷地面積		単位は㎡	D
9		家族人数		単位は人	A
10		家族1（世帯主）	年齢	単位は歳	D
11			性別	男性，女性	D
12			職業	自由記入	D
13		家族2	年齢	単位は歳	D
14			性別	男性，女性	D
15			職業	自由記入	D
16		家族3	年齢	単位は歳	D
17			性別	男性，女性	D
18			職業	自由記入	D
19		家族4	年齢	単位は歳	D
20			性別	男性，女性	D
21			職業	自由記入	D
22		家族5	年齢	単位は歳	D
23			性別	男性，女性	D
24			職業	自由記入	D
25		家族6	年齢	単位は歳	D
26			性別	男性，女性	D
27			職業	自由記入	D
28		年収		自由記入	D
29		購入価格		単位は円	D
30	断熱・気密性能	熱損失係数		単位はW/㎡℃	A
31		相当隙間面積		単位はcm2/㎡	A
32		気密測定実施年月日		西暦，月，日	C
33		各部位主な断熱材	屋根断熱材種類	自由記入	C
34			屋根断熱材厚さ	単位はmm	D
35			屋根断熱材位置	部材外側，部材内，部材室内側などを記入	D
36			屋根特記事項	自由記入	D
37			天井断熱材種類	自由記入	C
38			天井断熱材厚さ	単位はmm	D
39			天井断熱材位置	部材外側，部材内，部材室内側などを記入	D
40			天井特記事項	自由記入	D
41			壁断熱材種類	自由記入	C
42			壁断熱材厚さ	単位はmm	D
43			壁断熱材位置	部材外側，部材内，部材室内側などを記入	D
44			壁特記事項	自由記入	D
45			床断熱材種類	自由記入	C
46			床断熱材厚さ	単位はmm	D
47			床断熱材位置	部材外側，部材内，部材室内側などを記入	D
48			床特記事項	自由記入	D
49			基礎断熱材種類	自由記入	C
50			基礎断熱材厚さ	単位はmm	D

注）必要度は居住性の評価に関して，A:必ず入力して欲しいデータ，B:原則としてデータベースに入力するデータ，C:データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ，D:その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

表2　データベース項目一覧2

番号	項目分類	項　目	細項目	内　容	必要度
51	断熱・気密性能	各部位主な断熱材	基礎断熱材位置	部材外側，部材内，部材室内側などを記入	D
52			基礎特記事項	自由記入	D
53			土間断熱材種類	自由記入	C
54			土間断熱材厚さ	単位はmm	D
55			土間断熱材位置	部材外側，部材内，部材室内側などを記入	D
56			土間特記事項	自由記入	D
57			その他断熱材種類	自由記入	D
58			その他断熱材厚さ	単位はmm	D
59			その他断熱材位置	部材外側，部材内，部材室内側などを記入	D
60			その他特記事項	自由記入	D
61		主な窓1仕様	ガラス種類	ﾍﾟｱｶﾞﾗｽ，ｼﾝｸﾞﾙｶﾞﾗｽ	C
62			建具構成	1層，2層，3層，4層	D
63			ガラス性能	普通ｶﾞﾗｽ，熱線反射ｶﾞﾗｽ，熱線吸収ｶﾞﾗｽ	D
64			外気面のｻｯｼ材料	樹脂，アルミ，木，その他	C
65			外気面の建具形状	はめ殺し，引き違い窓，押し開き窓，その他	D
66			窓特記事項	自由記入	D
67		主な窓2仕様	ガラス種類	ﾍﾟｱｶﾞﾗｽ，ｼﾝｸﾞﾙｶﾞﾗｽ	C
68			建具構成	1層，2層，3層，4層	D
69			ガラス性能	普通ｶﾞﾗｽ，熱線反射ｶﾞﾗｽ，熱線吸収ｶﾞﾗｽ	D
70			外気面のｻｯｼ材料	樹脂，アルミ，木，その他	C
71			外気面の建具形状	はめ殺し，引き違い窓，押し開き窓，その他	D
72			窓特記事項	自由記入	D
73		主な窓3仕様	ガラス種類	ﾍﾟｱｶﾞﾗｽ，ｼﾝｸﾞﾙｶﾞﾗｽ	C
74			建具構成	1層，2層，3層，4層	D
75			ガラス性能	普通ｶﾞﾗｽ，熱線反射ｶﾞﾗｽ，熱線吸収ｶﾞﾗｽ	D
76			外気面のｻｯｼ材料	樹脂，アルミ，木，その他	C
77			外気面の建具形状	はめ殺し，引き違い窓，押し開き窓，その他	D
78			窓特記事項	自由記入	D
79		開口部の遮熱の工夫		自由記入	D
80		床下防湿処理		自由記入	D
81	冬季温熱環境	明け方温度	床付近	単位は℃	C
82		(4:00～6:00)	室中央付近	単位は℃	B
83			天井付近	単位は℃	D
84			外気	単位は℃	B
85		昼間温度	床付近	単位は℃	C
86		(10:00～14:00)	室中央付近	単位は℃	B
87			天井付近	単位は℃	D
88			外気	単位は℃	B
89		団らん時温度	床付近	単位は℃	C
90		(19:00～22:00)	室中央付近	単位は℃	B
91			天井付近	単位は℃	D
92			外気	単位は℃	B
93		明け方湿度	室内	単位は%	C
94		(4:00～6:00)	外気	単位は%	C
95		昼間湿度	室内	単位は%	C
96		(10:00～14:00)	外気	単位は%	C
97		団らん時湿度	室内	単位は%	C
98		(19:00～22:00)	外気	単位は%	C
99		温熱環境測定開始年月日		西暦，月，日	C
100		温熱環境測定終了年月日		西暦，月，日	C

注）必要度は居住性の評価に関して，A:必ず入力して欲しいデータ，B:原則としてデータベースに入力するデータ，C:データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ，D:その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

表3　データベース項目一覧3

番号	項目分類	項　目	細項目	内　容	必要度
101	冬季温熱環境	測定場所		自由記入	D
102		温度測定機器		自由記入	D
103		湿度測定機器		自由記入	D
104		室温測定時の状況	暖房，窓開閉など	自由記入	D
105	夏季温熱環境	明け方温度	床付近	単位は℃	C
106		(4:00～6:00)	室中央付近	単位は℃	C
107			天井付近	単位は℃	D
108			外気	単位は℃	C
109		昼間温度	床付近	単位は℃	C
110		(10:00～14:00)	室中央付近	単位は℃	C
111			天井付近	単位は℃	D
112			外気	単位は℃	C
113		団らん時温度	床付近	単位は℃	C
114		(19:00～22:00)	室中央付近	単位は℃	C
115			天井付近	単位は℃	D
116			外気	単位は℃	C
117		明け方湿度	室内	単位は%	C
118		(4:00～6:00)	外気	単位は%	C
119		昼間湿度	室内	単位は%	C
120		(10:00～14:00)	外気	単位は%	C
121		団らん時湿度	室内	単位は%	C
122		(19:00～22:00)	外気	単位は%	C
123		温熱環境測定開始年月日		西暦，月，日	C
124		温熱環境測定終了年月日		西暦，月，日	C
125		測定場所		自由記入	D
126		温度測定機器		自由記入	D
127		湿度測定機器		自由記入	D
128		室温測定時の状況	冷房，窓開閉など	自由記入	D
129	設備	暖房設備	全室暖房の有無	有，無	A
130			主な暖房方式	東北大アンケートを参照	A
131			主な使用燃料	電気,ガス,灯油，その他	C
132			運転方法	全日，必要時	C
133		冷房設備	全室冷房の有無	有，無	A
134			冷房機の数	台数	A
135			主な使用燃料	電気，ガス，その他	C
136			運転方法	全日，必要時	C
137		換気設備	全室換気の有無	有，無	C
138			主な換気方式	全熱交換，顕熱交換，熱交換無	A
139			運転方法	全日，必要時	C
140		その他燃料の種類	給湯	電気,ガス,灯油，その他	D
141			風呂	電気,ガス,灯油，その他	D
142			調理	電気,ガス,灯油，その他	D
143			その他	電気,ガス,灯油，その他	D
144	ｴﾈﾙｷﾞｰ消費量	電気1～3	調査開始年月	西暦，月	C
145			調査終了年月	西暦，月	C
146			契約種別	契約種別の内容を入力	D
147			契約容量	単位はA	D
148			供給事業体	自由記入	D
149			1月使用量	単位はkWh	C
150			2月使用量	単位はkWh	C

注）必要度は居住性の評価に関して，A:必ず入力して欲しいデータ，B:原則としてデータベースに入力するデータ，C:データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ，D:その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

表4　データベース項目一覧4

番号	項目分類	項　目	細項目	内　容	必要度
151	ｴﾈﾙｷﾞｰ消費量	電気1～3	3月使用量	単位はkWh	C
152			4月使用量	単位はkWh	C
153			5月使用量	単位はkWh	C
154			6月使用量	単位はkWh	C
155			7月使用量	単位はkWh	C
156			8月使用量	単位はkWh	C
157			9月使用量	単位はkWh	C
158			10月使用量	単位はkWh	C
159			11月使用量	単位はkWh	C
160			12月使用量	単位はkWh	C
161			年間総計	単位はkWh	B
162			1月料金	単位は円	D
163			2月料金	単位は円	D
164			3月料金	単位は円	D
165			4月料金	単位は円	D
166			5月料金	単位は円	D
167			6月料金	単位は円	D
168			7月料金	単位は円	D
169			8月料金	単位は円	D
170			9月料金	単位は円	D
171			10月料金	単位は円	D
172			11月料金	単位は円	D
173			12月料金	単位は円	D
174			年間総計	単位は円	D
175		深夜電力	調査開始年月	西暦，月	C
176			調査終了年月	西暦，月	C
177			契約種別	契約種別の内容を入力	D
178			契約容量	単位はA	D
179			供給事業体	自由記入	D
180			1月使用量	単位はkWh	C
181			2月使用量	単位はkWh	C
182			3月使用量	単位はkWh	C
183			4月使用量	単位はkWh	C
184			5月使用量	単位はkWh	C
185			6月使用量	単位はkWh	C
186			7月使用量	単位はkWh	C
187			8月使用量	単位はkWh	C
188			9月使用量	単位はkWh	C
189			10月使用量	単位はkWh	C
190			11月使用量	単位はkWh	C
191			12月使用量	単位はkWh	C
192			年間総計	単位はkWh	B
193			1月料金	単位は円	D
194			2月料金	単位は円	D
195			3月料金	単位は円	D
196			4月料金	単位は円	D
197			5月料金	単位は円	D
198			6月料金	単位は円	D
199			7月料金	単位は円	D
200			8月料金	単位は円	D

注）必要度は居住性の評価に関して，A:必ず入力して欲しいデータ，B:原則としてデータベースに入力するデータ，C:データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ，D:その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

表5　データベース項目一覧5

番号	項目分類	項　目	細項目	内　容	必要度
201	ｴﾈﾙｷﾞｰ消費量	深夜電力	9月料金	単位は円	D
202			10月料金	単位は円	D
203			11月料金	単位は円	D
204			12月料金	単位は円	D
205			年間総計	単位は円	D
206		深夜電力を使用時の用途		自由記入	D
207		電力総計	1月使用量	単位はkWh	C
208			2月使用量	単位はkWh	C
209			3月使用量	単位はkWh	C
210			4月使用量	単位はkWh	C
211			5月使用量	単位はkWh	C
212			6月使用量	単位はkWh	C
213			7月使用量	単位はkWh	C
214			8月使用量	単位はkWh	C
215			9月使用量	単位はkWh	C
216			10月使用量	単位はkWh	C
217			11月使用量	単位はkWh	C
218			12月使用量	単位はkWh	C
219			年間総計	単位はkWh	B
220			1月料金	単位は円	D
221			2月料金	単位は円	D
222			3月料金	単位は円	D
223			4月料金	単位は円	D
224			5月料金	単位は円	D
225			6月料金	単位は円	D
226			7月料金	単位は円	D
227			8月料金	単位は円	D
228			9月料金	単位は円	D
229			10月料金	単位は円	D
230			11月料金	単位は円	D
231			12月料金	単位は円	D
232			年間総計	単位は円	D
233		ガス	調査開始年月	西暦，月	C
234			調査終了年月	西暦，月	C
235			ガス種類	都市ガス，LPガス	C
236			ガス種別	ガスのm3当りの発熱量の値を記入	B
237			供給事業体	自由記入	D
238			1月使用量	単位はm3	C
239			2月使用量	単位はm3	C
240			3月使用量	単位はm3	C
241			4月使用量	単位はm3	C
242			5月使用量	単位はm3	C
243			6月使用量	単位はm3	C
244			7月使用量	単位はm3	C
245			8月使用量	単位はm3	C
246			9月使用量	単位はm3	C
247			10月使用量	単位はm3	C
248			11月使用量	単位はm3	C
249			12月使用量	単位はm3	C
250			年間総計	単位はm3	B

注）必要度は居住性の評価に関して，A:必ず入力して欲しいデータ，B:原則としてデータベースに入力するデータ，C:データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ，D:その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

表6　データベース項目一覧6

番号	項目分類	項　目	細項目	内　容	必要度
251	ｴﾈﾙｷﾞｰ消費量	ガス	1月料金	単位は円	D
252			2月料金	単位は円	D
253			3月料金	単位は円	D
254			4月料金	単位は円	D
255			5月料金	単位は円	D
256			6月料金	単位は円	D
257			7月料金	単位は円	D
258			8月料金	単位は円	D
259			9月料金	単位は円	D
260			10月料金	単位は円	D
261			11月料金	単位は円	D
262			12月料金	単位は円	D
263			年間総計	単位は円	D
264		灯油	調査開始年月	西暦，月	C
265			調査終了年月	西暦，月	C
266			1月使用量	単位はリットル	C
267			2月使用量	単位はリットル	C
268			3月使用量	単位はリットル	C
269			4月使用量	単位はリットル	C
270			5月使用量	単位はリットル	C
271			6月使用量	単位はリットル	C
272			7月使用量	単位はリットル	C
273			8月使用量	単位はリットル	C
274			9月使用量	単位はリットル	C
275			10月使用量	単位はリットル	C
276			11月使用量	単位はリットル	C
277			12月使用量	単位はリットル	C
278			年間総計	単位はリットル	B
279			1月料金	単位は円	D
280			2月料金	単位は円	D
281			3月料金	単位は円	D
282			4月料金	単位は円	D
283			5月料金	単位は円	D
284			6月料金	単位は円	D
285			7月料金	単位は円	D
286			8月料金	単位は円	D
287			9月料金	単位は円	D
288			10月料金	単位は円	D
289			11月料金	単位は円	D
290			12月料金	単位は円	D
291			年間総計	単位は円	D
292		自然エネルギー利用	有無	有，無	C
293			利用ｴﾈﾙｷﾞｰ	太陽，地熱，風力，その他	C
294			利用用途	自由記入	D
295	空気質環境	ホルムアルデヒド	調査年月	西暦，月	C
296			測定方法	自由記入	C
297			調査結果	数値を記入	C
298			単位	調査結果の単位を記入	C
299		VOC	調査年月	西暦，月	C
300			測定方法	自由記入	C

注）必要度は居住性の評価に関して，A:必ず入力して欲しいデータ，B:原則としてデータベースに入力するデータ，C:データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ，D:その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

表7　データベース項目一覧7

番号	項目分類	項　目	細項目	内　容	必要度
301	空気質環境		調査結果	数値を記入	C
302			単位	調査結果の単位を記入	C
303		NOx	調査年月	西暦，月	C
304			測定方法	自由記入	C
305			調査結果	数値を記入	C
306			単位	調査結果の単位を記入	C
307		CO2	調査年月	西暦，月	C
308			測定方法	自由記入	C
309			調査結果	数値を記入	C
310			単位	調査結果の単位を記入	C
311	居住者評価	室内温熱環境(冬季)	満足度	5段階評価	C
312		空気質環境(冬季)	満足度	5段階評価	C
313		ｴﾈﾙｷﾞｰ消費(冬季)	満足度	5段階評価	C
314		総合評価(冬季)	満足度	5段階評価	C
315		室内温熱環境(夏季)	満足度	5段階評価	C
316		空気質環境(夏季)	満足度	5段階評価	C
317		ｴﾈﾙｷﾞｰ消費(夏季)	満足度	5段階評価	C
318		総合評価(夏季)	満足度	5段階評価	C
319		建設コスト	満足度	5段階評価	C
320	ﾃﾞｰﾀ問い合わせ	調査機関		自由記入	C
321		調査結果の発表先		自由記入	D
322	その他			自由記入	D

注）必要度は居住性の評価に関して，A:必ず入力して欲しいデータ，B:原則としてデータベースに入力するデータ，C:データベースを利用した解析を進めるため，入力された方が良いデータ，D:その他，データベースの住宅情報として参考となるデータ

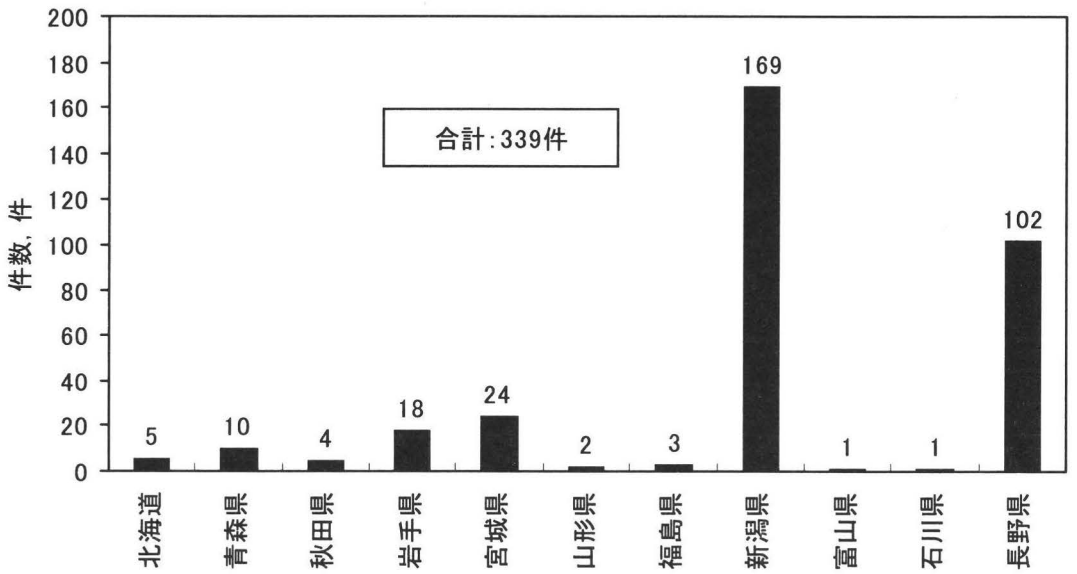


図３　各都道府県別の住宅件数

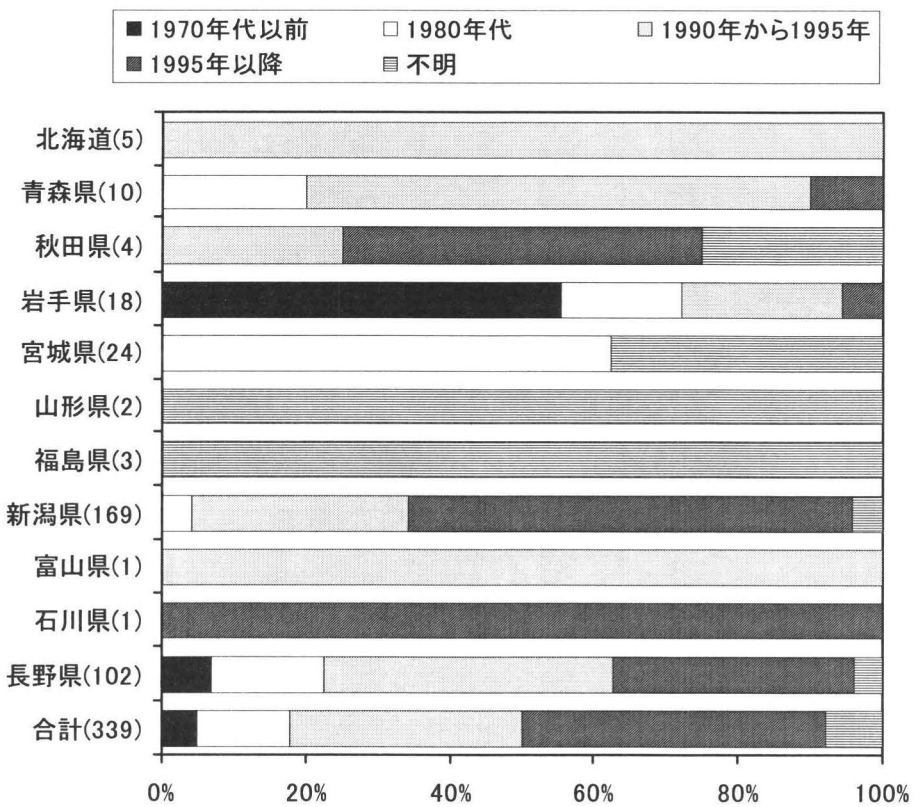


図４　住宅の建築年代

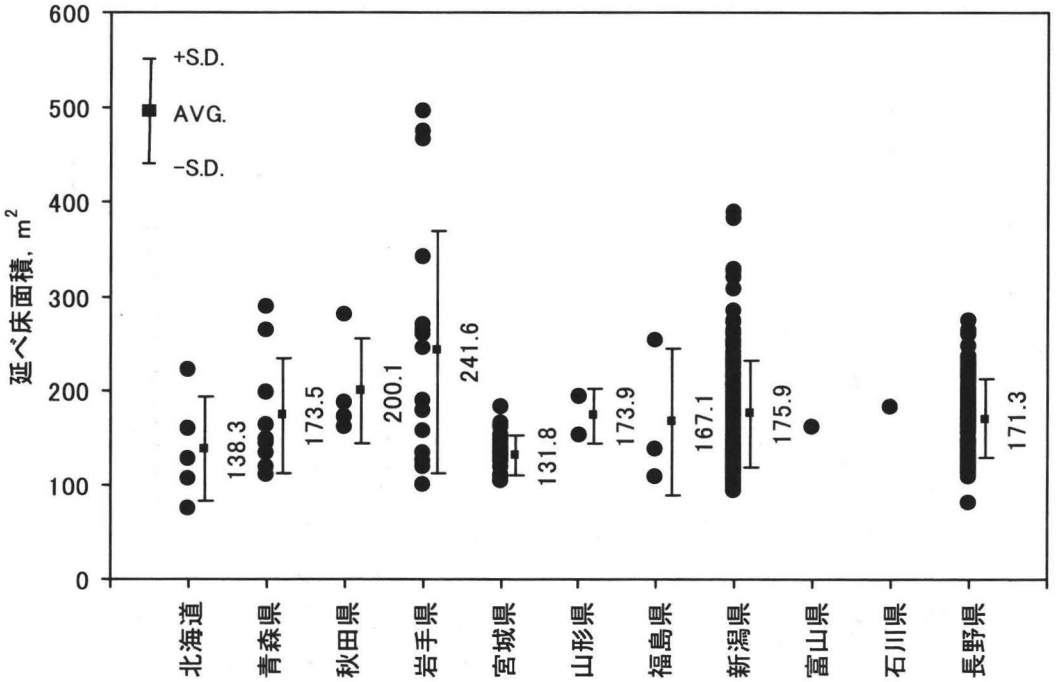


図 5　住宅の延べ床面積

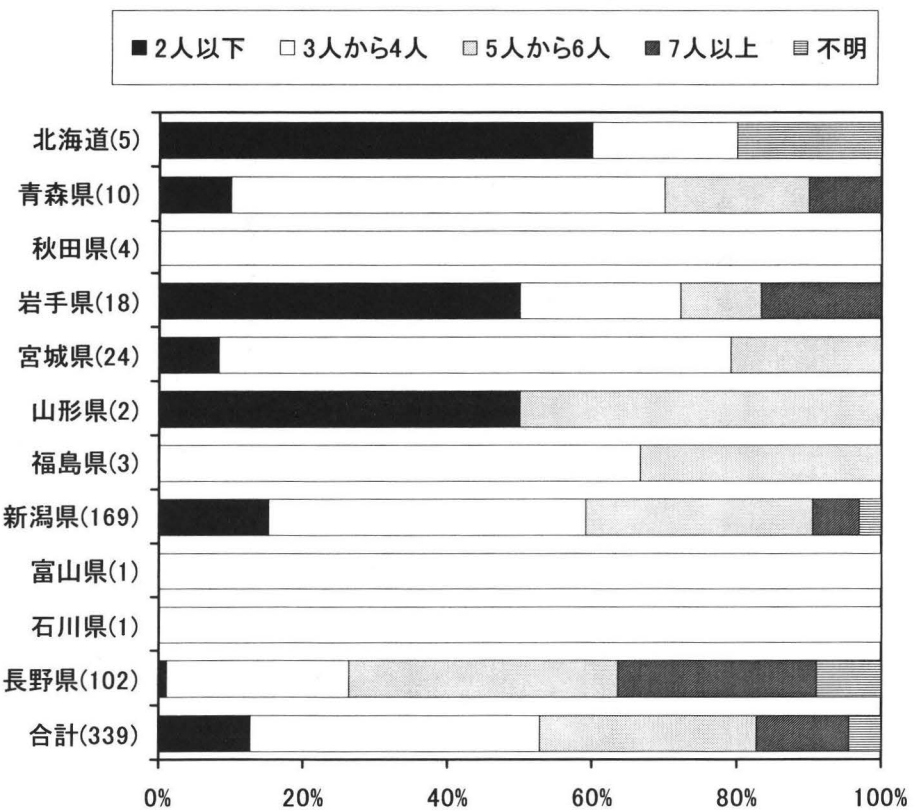


図 6　住宅の居住者人数

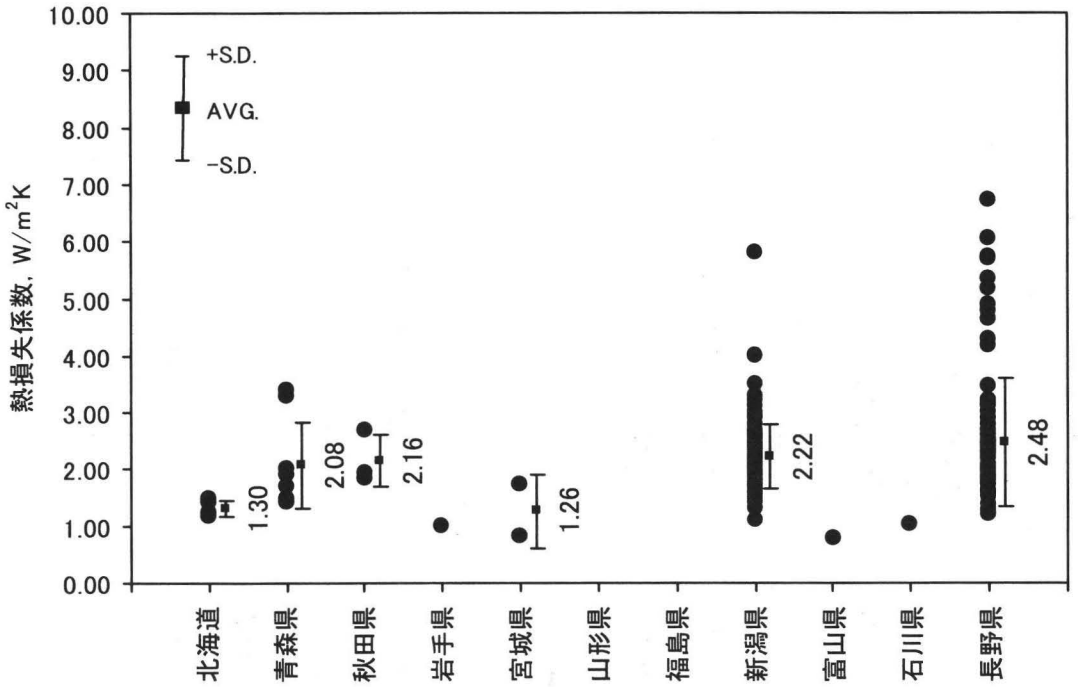


図 7　住宅の熱損失係数

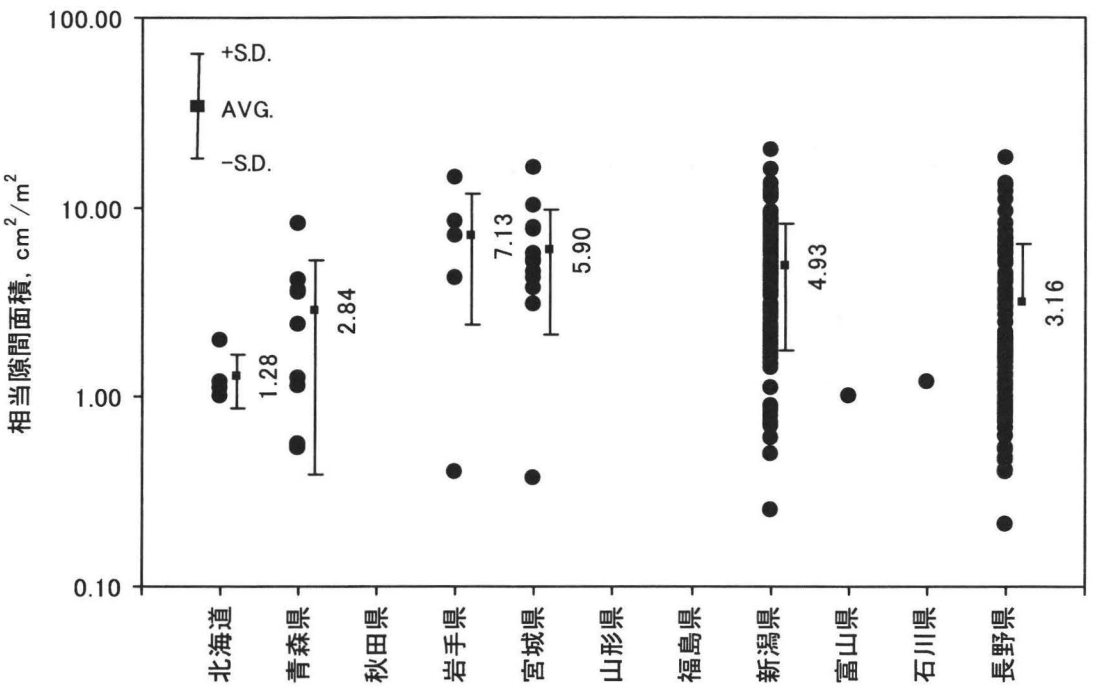


図 8　住宅の相当隙間面積

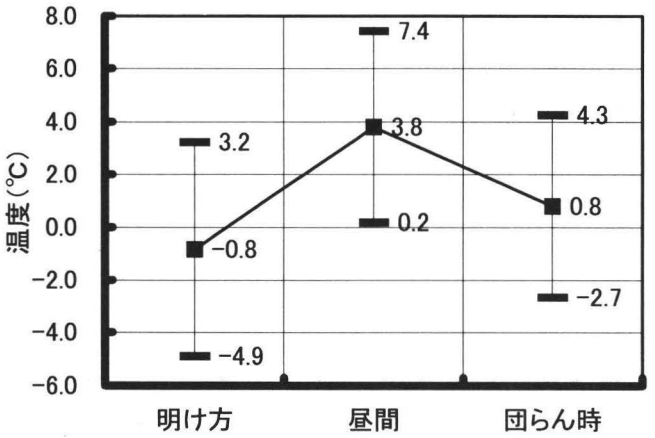


図 9　時間帯別の外気温度（冬季）

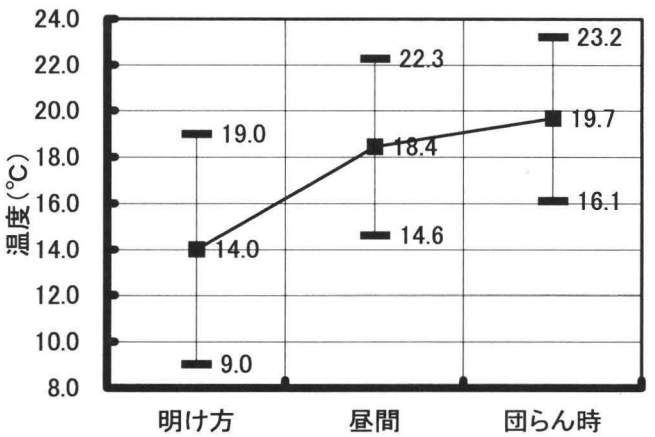


図 10　時間帯別の室内中央付近温度（冬季）

表 8　都道府県別の明け方，昼間，団らん時における外気温度と室中央付近温度（冬季）

都道府県名	データ数	明け方		昼間		団らん時	
		外気温度(℃)	室中央温度(℃)	外気温度(℃)	室中央温度(℃)	外気温度(℃)	室中央温度(℃)
北海道	4	−17.5	20.0	−6.8	20.8	−7.5	20.7
青森県	10	−2.2	16.4	2.6	19.8	−0.2	21.1
秋田県	4	−2.0	19.1	0.0	21.7	−1.1	22.4
岩手県	18	−6.1	7.7	2.4	17.5	−2.7	18.7
宮城県	20	−1.8	14.3	2.7	18.1	0.2	20.4
山形県	2	−5.4	15.1	−0.7	19.4	−3.0	20.0
福島県	3	−3.5	17.1	2.2	19.0	−0.1	20.5
新潟県	148	1.1	13.3	4.4	18.1	1.7	19.4
富山県	1	0.0	22.0	5.0	24.0	3.0	23.0
石川県	1	0.0	20.0	5.0	21.0	3.0	21.0
長野県	93	−1.6	15.3	4.3	18.7	0.7	19.8

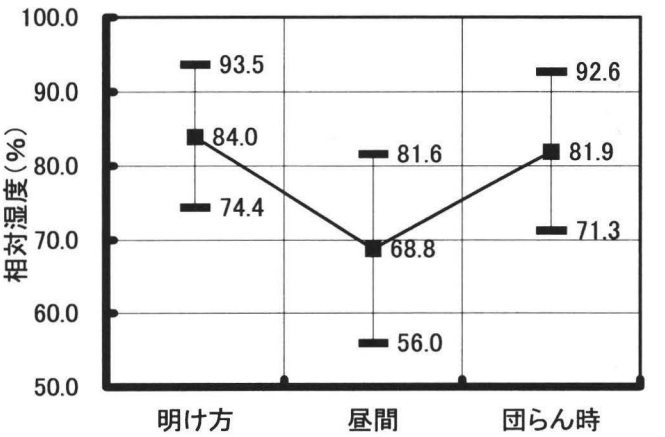


図 11　時間帯別の外気湿度（冬季）

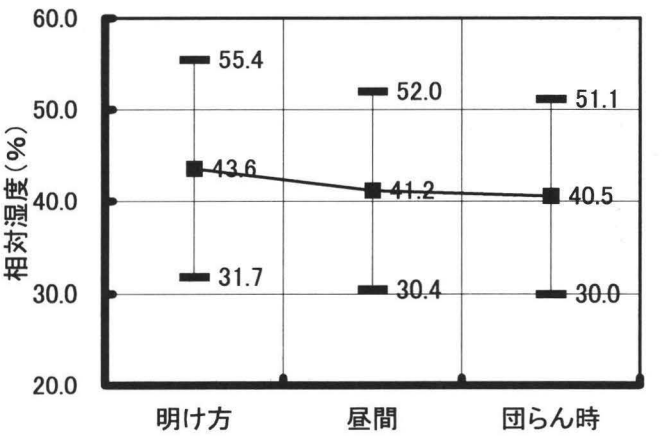


図 12　時間帯別の室内中央付近湿度（冬季）

表 9　都道府県別の明け方，昼間，団らん時における外気湿度と室中央付近湿度（冬季）

都道府県名	データ数	明け方		昼間		団らん時	
		外気湿度(%)	室内湿度(%)	外気湿度(%)	室内湿度(%)	外気湿度(%)	室内湿度(%)
北海道	3	—	46.1	—	45.4	—	46.1
青森県	10	77.9	37.2	61.8	35.9	69.6	35.6
秋田県	4	84.0	32.5	79.5	35.5	85.5	34.8
岩手県	18	—	41.8	—	40.5	—	41.1
宮城県	8	72.4	37.6	50.9	38.4	62.5	35.8
山形県	2	84.0	60.0	69.0	51.0	78.0	51.0
福島県	3	75.0	46.0	49.0	45.0	60.3	46.0
新潟県	154	83.8	42.8	71.8	40.1	84.0	38.6
富山県	1	85.0	40.0	70.0	40.0	85.0	40.0
石川県	1	90.0	55.0	80.0	50.0	85.0	50.0
長野県	92	87.8	46.3	63.5	43.7	81.7	44.0

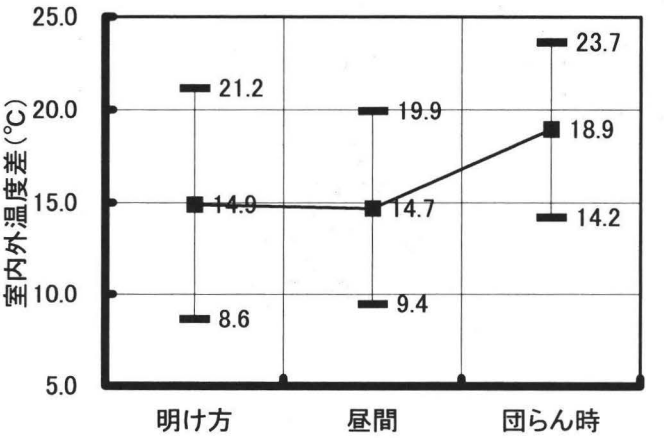


図 13　時間帯別の室内外温度差（冬季）

表 10　都道府県毎の室内外温度差（冬季）

都道府県名	データ数	室内外温度差(℃)		
		明け方	昼間	団らん時
北海道	4	37.5	27.5	28.2
青森県	10	18.7	17.1	21.3
秋田県	4	21.1	21.7	23.4
岩手県	18	13.8	15.0	21.4
宮城県	20	16.1	15.4	20.2
山形県	2	20.5	20.1	23.0
福島県	3	20.6	16.8	20.6
新潟県	147	12.3	13.8	17.8
富山県	1	22.0	19.0	20.0
石川県	1	20.0	16.0	18.0
長野県	93	16.9	14.5	19.0

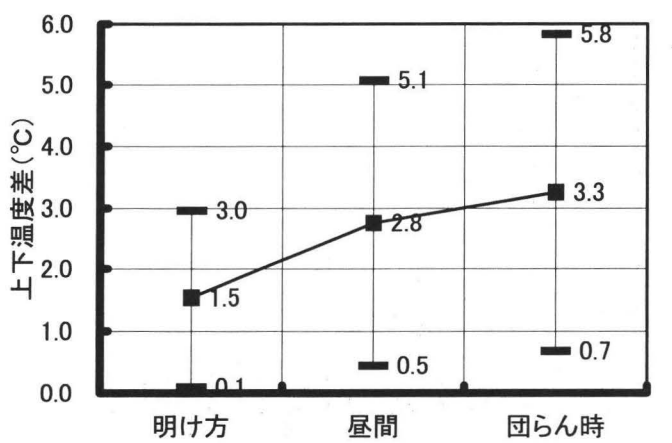


図 14　時間帯別の上下温度差（冬季）

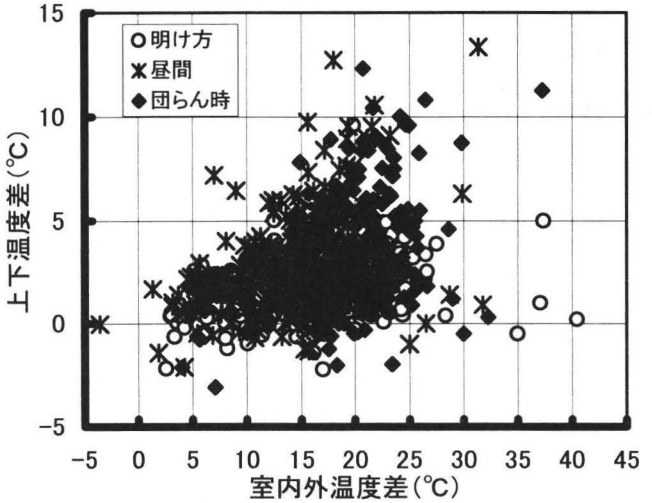


図 15　室内外温度差と上下温度差の関係（冬季）

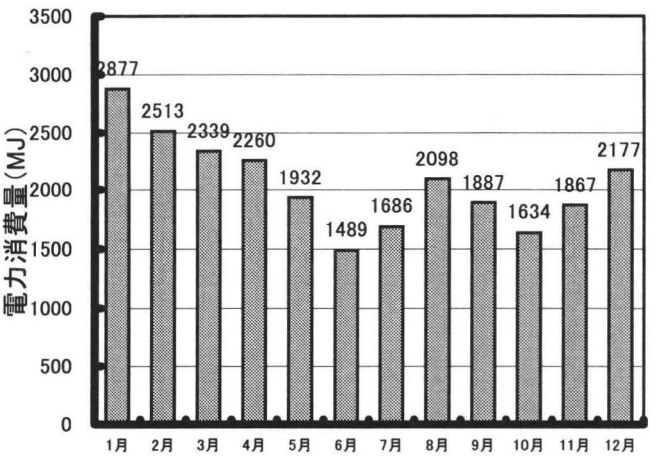


図 16　月別の電力消費量

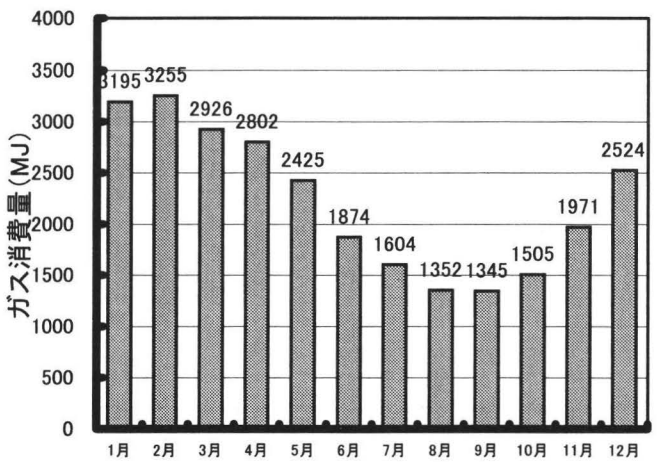


図 17　月別のガス消費量

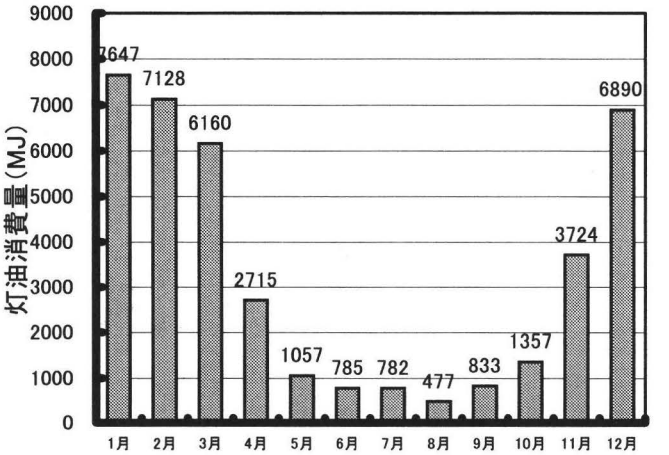


図 18　月別の灯油消費量

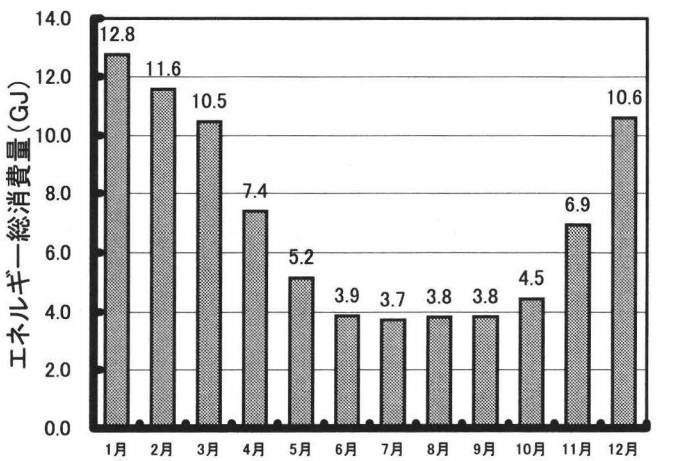


図 19　月別の総エネルギー消費量

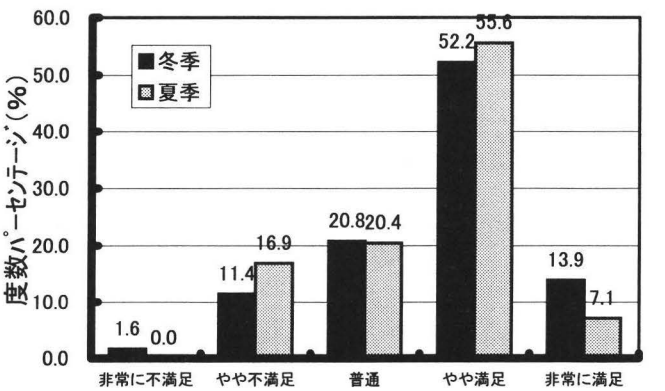


図 20　温熱環境に対する満足度

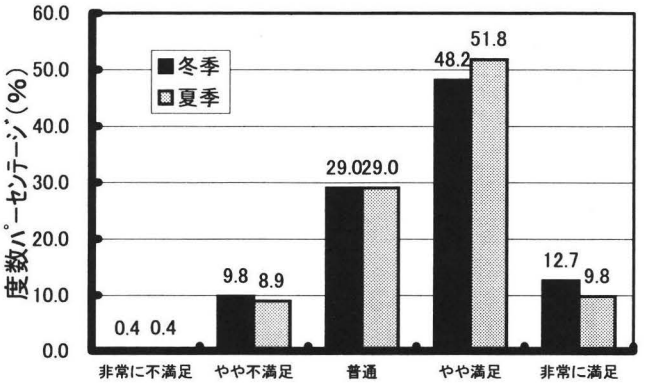


図 21　空気質環境に対する満足度

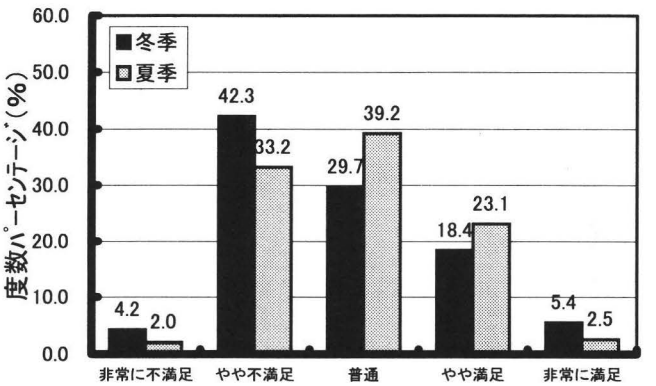


図 22　エネルギー消費量に対する満足度

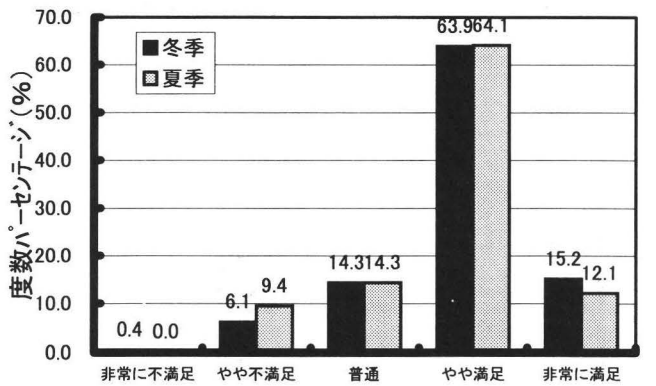


図 23　総合的な室内環境に対する満足度

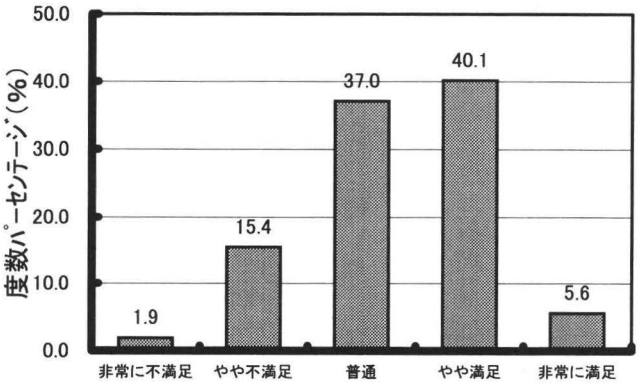


図 24　建設コストに対する満足度

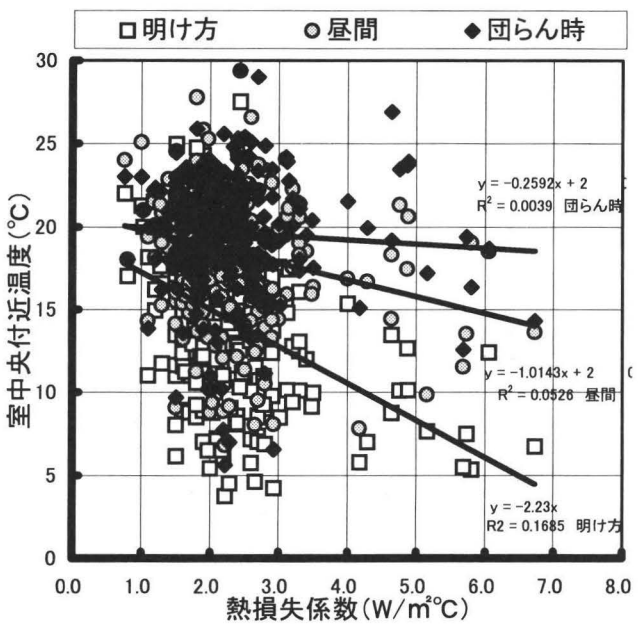


図 25　熱損失係数と室中央付近温度の関係

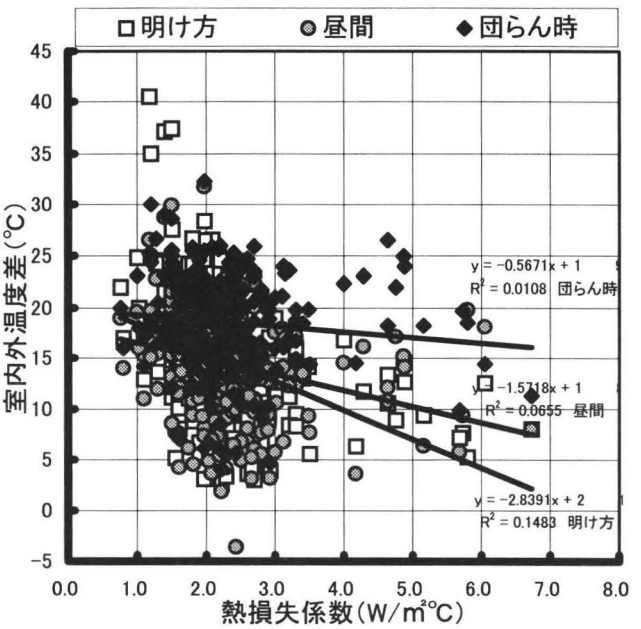


図 26　熱損失係数と室内外温度差の関係

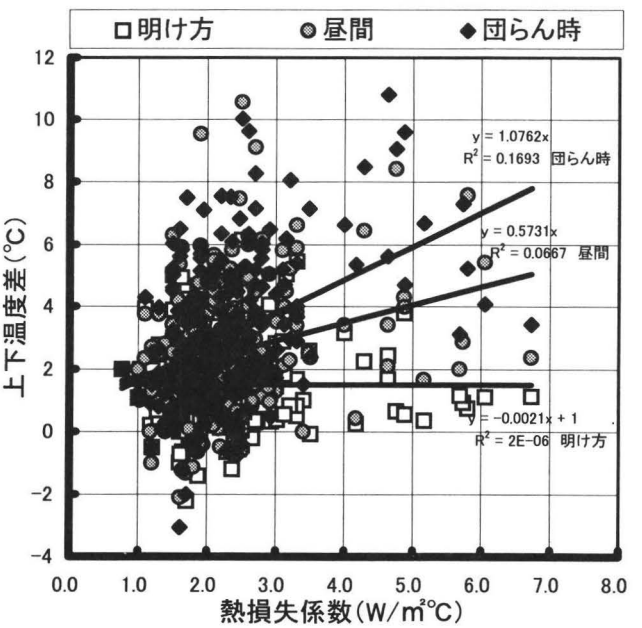


図 27　熱損失係数と上下温度差の関係

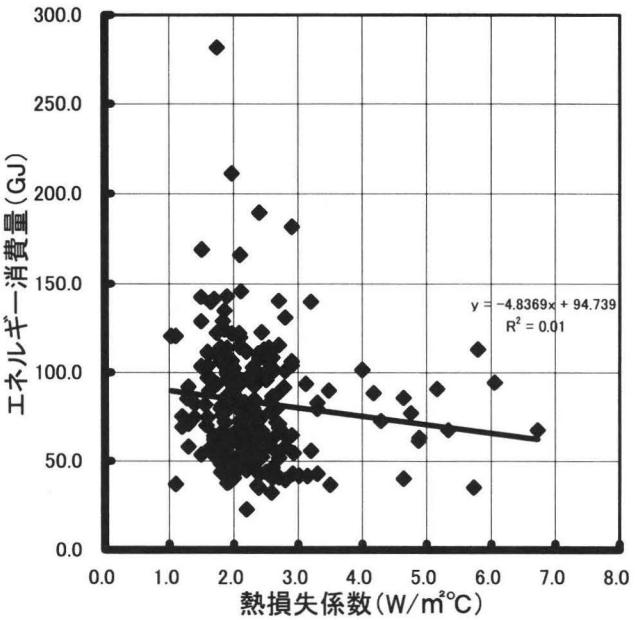


図 28　熱損失係数と総エネルギー消費量の関係

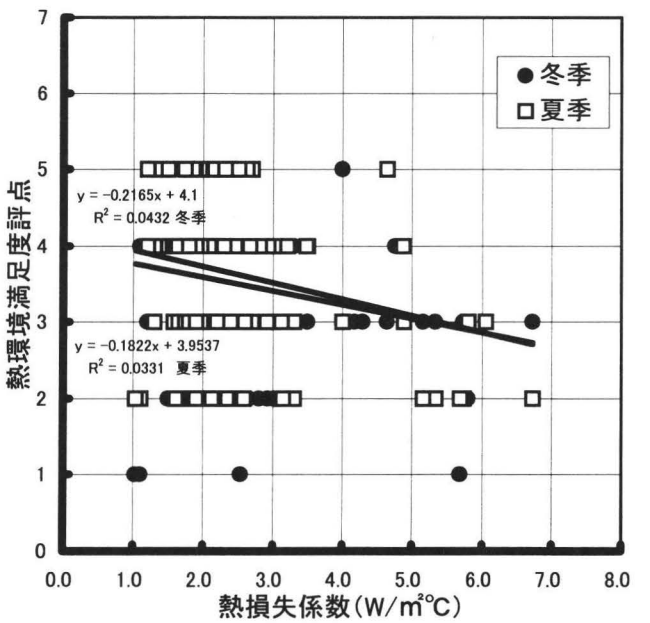


図 29　熱損失係数と熱環境満足度の関係

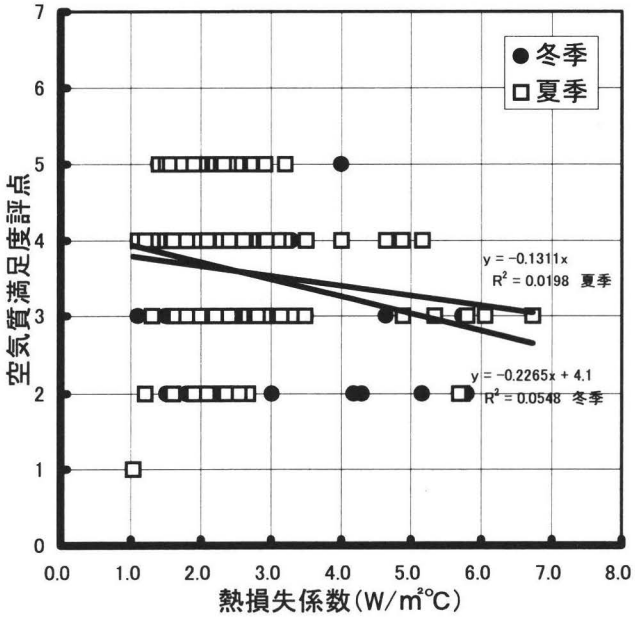


図 30　熱損失係数と空気質環境満足度の関係

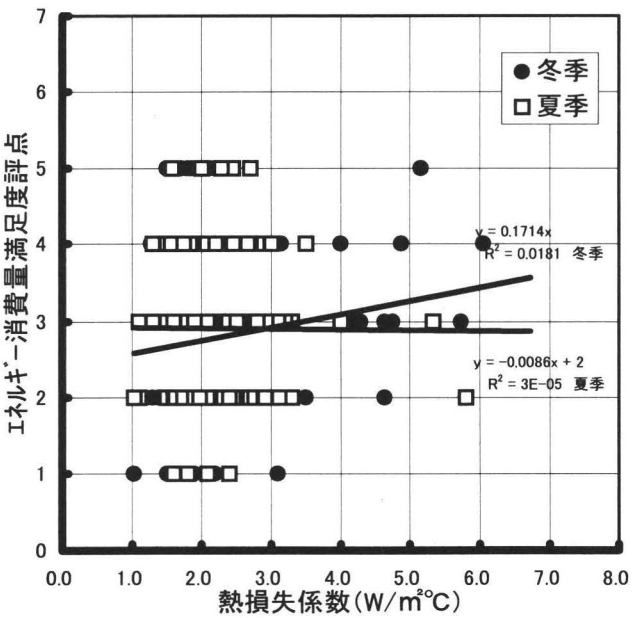


図 31　熱損失係数とエネルギー消費量満足度の関係

1－2　防菌・防かび性付与による木質材料のロングライフ化に関する研究

京都大学大学院エネルギー科学研究科
エネルギー社会・環境科学専攻
教授　坂　志朗

１．本研究の背景と目的

原始の時代より人間の生活に溶け込み、最も身近な材料として利用されてきた木材は、天然材料であるが故に、利用の目的によっては欠点となる性質を併せ持っている。この欠点を除去し、より付加価値の高い木質材料へと転換・改良していくことが、近年の木材研究の大きな流れとなっている。高耐久性木材の開発研究もその一つであり、２１世紀の地球環境保全を意識したロングライフ化木質材料の研究は、炭酸ガスの長期固定を意味する重要な課題である。

一方、当研究室では、これまで金属アルコキシドを用いたゾルー ゲル法による木材の無機質複合化の研究に、ここ数年来取り組んできた。この無機質複合化に際し、我々は木材の本来的な良さを失うことなく効果的に機能を発現させるめ、木材の多孔質特性をできる限り維持した形での無機質複合化木材の調製条件を検討し、無機物が細胞壁内に選択的に生成することが、わずかな量の無機物で、寸法安定性、難燃性、生物劣化抵抗性などの物性を効果的に向上し得ることを明らかにした。さらに、各種金属アルコキシドを用いた検討の結果、調湿試片をケイ素アルコキシドで処理することで、SiO_2 ゲルが細胞壁内にのみ選択的に生成したSiO_2無機質複合化木材が得られることを明らかにした。また、無機物をイソシアネート系及びエポキシ系シランカップリング剤で直接木材実質と共有結合させると、寸法安定性や耐熱性がさらに向上することを明らかにした。これらの結果は、無機物がむやみに細胞の内腔に複合化されるよりは、木材実質とより隣接した形で細胞壁内に取り込まれる方が、わずかな量で機能を効果的に発現し得ることを意味しており、資源の有効かつ効果的な利用の観点から意義深い。

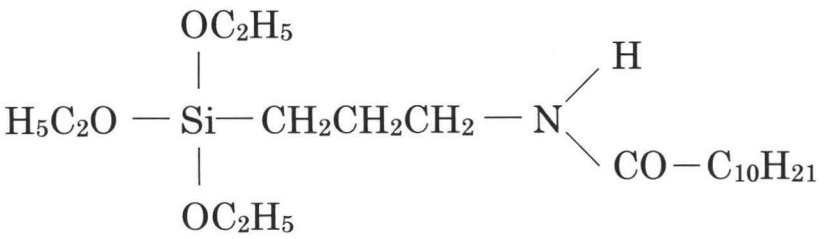
そこで、本研究では木質材料の無機質複合化による諸機能発現のトポ化学の研究をベースに、防菌・防かび性を取り上げ、防菌・防かび性官能基を無機質複合化反応系に組み込み、黴びない、腐らない改質木材の開発を本研究助成をもとに進めた。さらに、同反応系に撥水性官能基を組み込むことで、撥水機能を付与させ、さらなる防菌・防かび性の向上について検討した。そのことにより環境への負荷を低減し、環境に優しいロングライフ化木質材料の開発を試みた。

２．本研究の方法および得られた成果

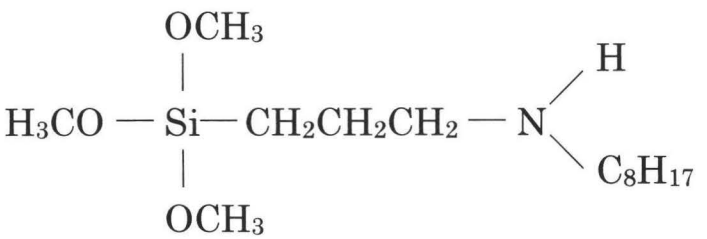
２．１．防菌・防かび性および撥水性を付与し得る試薬の調製

本研究で用いた防菌・防かび性を付与する試薬は以下の通りで、化学合成により調製した。

3-トリメトキシシリルプロピルアルキルアミド（TESHA）

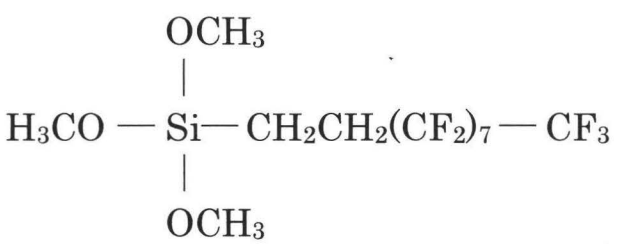


3-トリメトキシシリルプロピルアルキルアミン（TMSOA）



本研究で必要な撥水性を付与する試薬は以下の通りで、化学合成により調製した。

2-ヘプタデカフルオロオクチルエチルトリメトキシシラン（HFOETMOS）



２．２．防菌・防かび性改質木材の開発と評価

木材に直接防菌・防かび性試薬を付与した研究は多くあるが、その安定性に難があり、半永久的に機能を持続することはできない。そこで、メチルトリエトキシシラン（MTEOS）/エタノール（EtOH）/ 酢酸を用いた反応溶液に調湿試片を投入し、木材中の結合水を開始剤として、ゾルー ゲル法によりSiO_2無機質複合化木材を調製した。その際に、防菌・防かび性官能基を有する上記の有機ケイ素アルコキシド（TESHA、TMSOA）を反応系に少量添加し、防菌・防かび性無機質複合化木材を調製した。さらに、撥水性官能基を有するHFOETMOSを少量添加した反応系からも、同様に無機質複合化木材の調製を行った。

得られた無機質複合化木材の重量増加率（%）は表１に示す通りである。また、比較として、TESHA、TMSOAのみを用いて同様な処理を行って得られたTESHA木材、TMSOA木材の結果もあわせて示した。

得られた無機質複合化木材に対し、撥水性発現にともなう吸水防止性の評価を行うため、試片を蒸留水中に全面浸漬させ、それらの吸水比の変化を図１に示した。図は１４日浸漬後の無処理試片の吸水量を１として、TMSOA 添加系での結果が示してある。無処理、SiO_2 無機質複合化木材に比べ、TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材では吸水比が小さく、吸水防止性が発現していることが分かる。HFOETMOS-TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材ではさらに吸水比が小さく、吸水防止性に優れていることが分かる。水分が少ない環境では、菌は生長しにくいので、吸水防止性に優れるこれらの無機質複合化木材では防菌・防かび性の発現が期待できる。

次に防菌・防かび性の評価として、褐色腐朽菌、オオウズラタケ（*Coriolus versicolor*）および白色腐朽菌、カワラタケ（*Tyromyces palustris*）を用い、恒温器中にて２ケ月培養した後に試片を取り出し、腐朽による重量の減少並びに菌の生育状況を調べた。重量減少率の結果を表１に示す。TESHA 木材、TMSOA 木材、TESHA-SiO_2 無機質複合化木材、TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材いずれにおいても、また、白色腐朽菌、褐色腐朽菌どちらの腐朽菌に対しても、無処理木材、SiO_2 無機質複合化木材に比べて重量減少が非常に小さくなっており、TESHA および TMSOA 成分が木材の防菌・防かび性の向上に効果的であることが分かる。これらに比べ、HFOETMOS-TESHA-SiO_2 無機質複合化木材、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材では、重量減少率はさらに低い値を示しており、吸水防止性の向上が防菌・防かび性の向上に効果的に作用していると言える。

また図２には、TESHA 木材、TESHA-SiO_2 無機質複合化木材の白色腐朽菌による防菌・防かび性試験後の様子を示している。無処理木材、SiO_2 無機質複合化木材では試片表面に白く菌糸が付着しているが、TESHA 木材、TESHA-SiO_2 無機質複合化木材ではほとんど見られない。

表１　得られた複合化木材の重量増加率(%)と白色腐朽菌および褐色腐朽菌を用いた防菌・防かび性試験後の重量減少率（%）

複合化木材	重量増加率（%）	重量減少率（%）	
		白色腐朽菌	褐色腐朽菌
無処理	0	24.3	7.5
SiO_2	9.6	6.5	3.2
TESHA	1.8	2.0	1.4
TMSOA	4.0	0.7	1.0
TESHA-SiO_2	6.3	1.3	1.2
TMSOA-SiO_2	6.9	1.0	0.5
HFOETMOS-TESHA-SiO_2	7.5	0.0	0.0
HFOETMOS-TMSOA-SiO_2	8.1	0.8	0.5

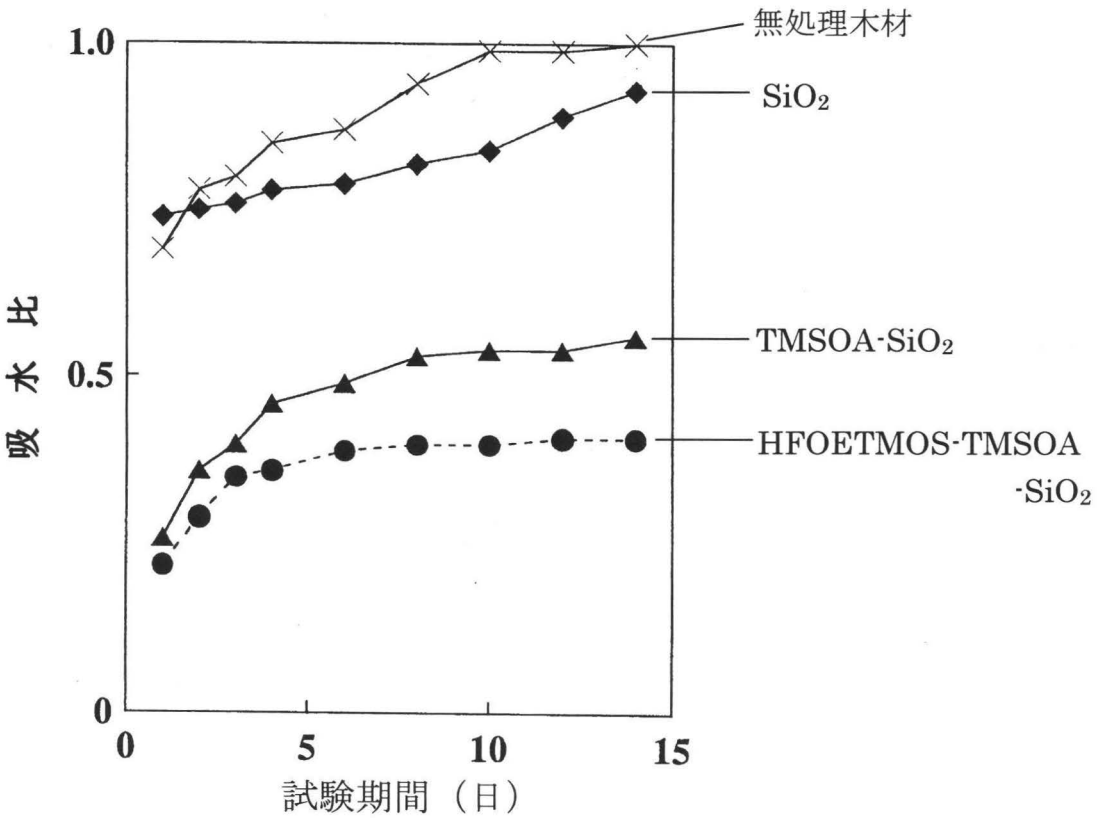


図１　TMSOA 添加系から得られた無機質複合化木材の吸水比の変化

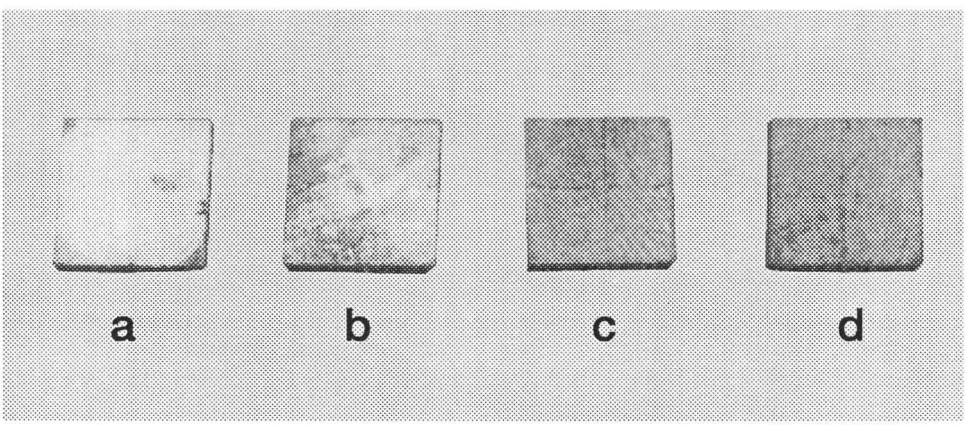


図２　TESHA 木材、TESHA-SiO_2 無機質複合化木材の白色腐朽菌による防菌・防かび性試験後の様子

（a）無処理木材　　（b）SiO_2　　（c）TESHA　　（d）TESHA-SiO_2

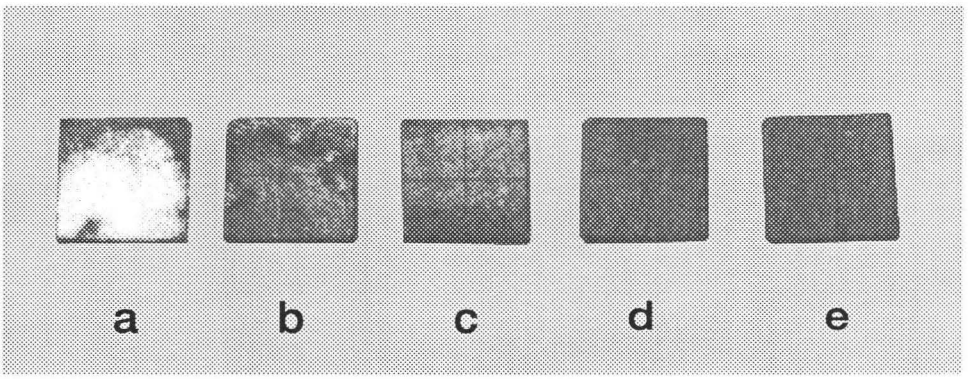


図３　TMSOA 木材、TMSOA-SiO_2、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2無機質複合化木材の白色腐朽菌による防菌・防かび性試験後の様子
（ａ）無処理木材　　（ｂ）SiO_2　　（ｃ）TMSOA　　（ｄ）TMSOA-SiO_2
（ｅ）HFOETMOS-TMSOA-SiO_2

図３には、TMSOA 木材、TMSOA-SiO_2無機質複合化木材、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2無機質複合化木材の白色腐朽菌による防菌・防かび性試験後の様子を示している。この場合も無処理木材、SiO_2 無機質複合化木材に比べ、TMSOA 木材、TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材では、菌糸がほとんど観察されない。さらに図４には、これらの走査型電子顕微鏡（SEM）観察の様子を示すが、無処理木材、SiO_2無機質複合化木材の細胞内に見られるような菌糸は、TMSOA 木材、TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材では観察されず、高い防菌・防かび性を有していることが分かる。

図５には、TMSOA 木材、TMSOA-SiO_2無機質複合化木材、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2無機質複合化木材について９ヶ月間土中埋没試験を行い、その重量減少率の変化んついて示している。無処理、SiO_2 無機質複合化木材に比べ、TMSOA 木材、TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材では、９ヵ月後においても腐朽による重量減少は低く、防菌・防かび性に優れ、また、その機能は長期的に維持され得ることが分かる。

しかしながら、木材への防菌・防かび性の付与には CCA 処理木材などで見られるように防菌・防かび剤の溶出による環境汚染の問題がある。本研究で用いた TESHA、TMSOA などを直接木材に化学修飾して得られた TESHA 木材、TMSOA 木材では、セルロースなどの水酸基との間で形成される C-O-Si の結合が不安定であり、半永久的な効果の持続が期待できない。

一方、SiO_2無機質複合化木材の調製時に TESHA、TMSOA のような防菌・防かび剤を組み込むと、この防菌・防かび成分は細胞壁内に固定された SiO_2 ゲルと Si-O-Si の共有結合を形成し半永久的な防菌・防かび効果が期待できる。したがって、このような観点から、TESHA、TMSOA 木材に比べ、TESHA-SiO_2、TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材、HFOETMOS-TESHA-SiO_2、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材は非常に優れた防菌・防かび性を有し、かつ防菌・防かび剤が溶脱することのない環境にやさしい高耐久性木材であると言える。

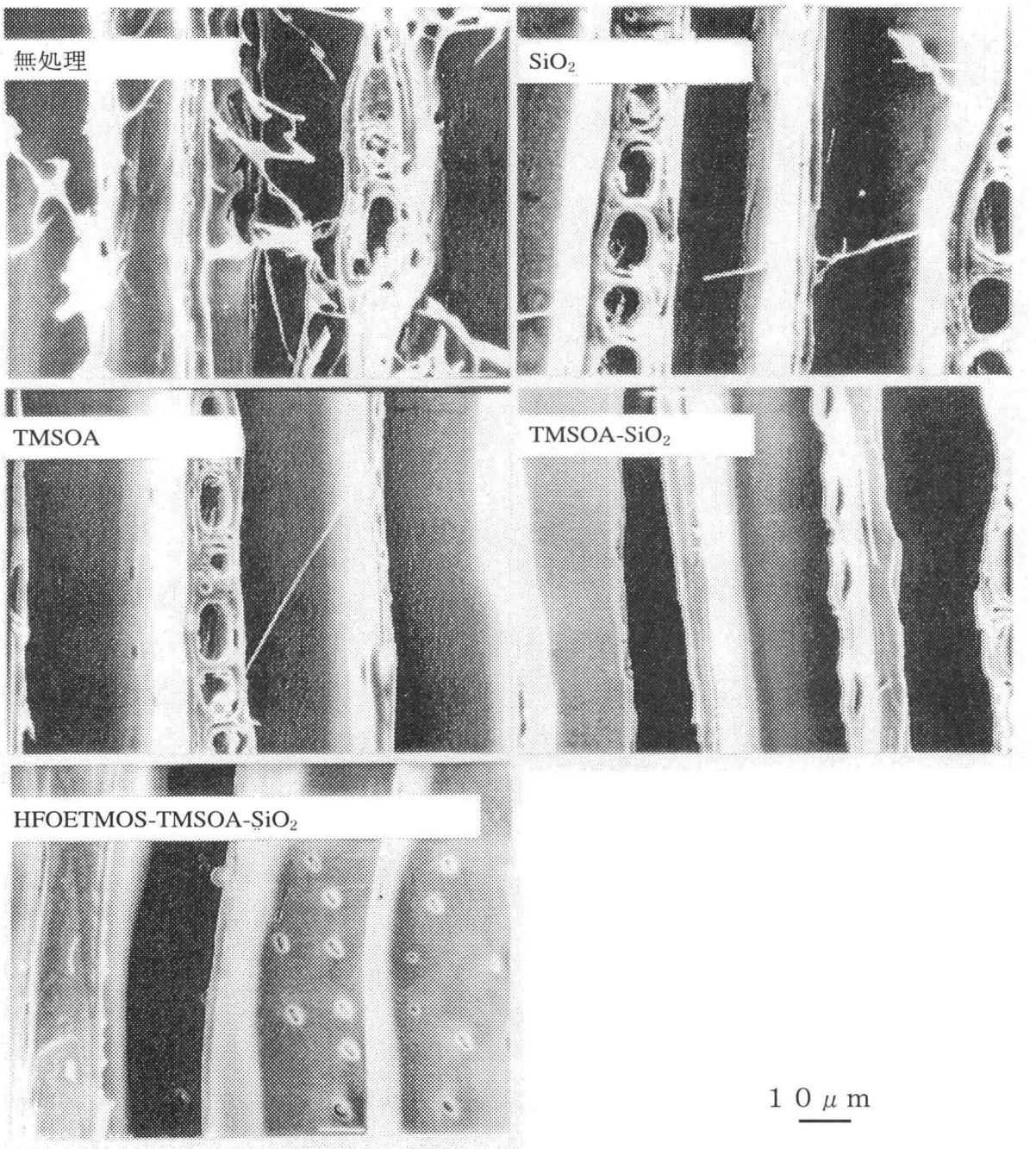


図４　TMSOA 木材、TMSOA-SiO_2、HFOETMOS-TMSOA-SiO_2 無機質複合化木材の白色腐朽菌による防菌・防かび性試験後の SEM 写真

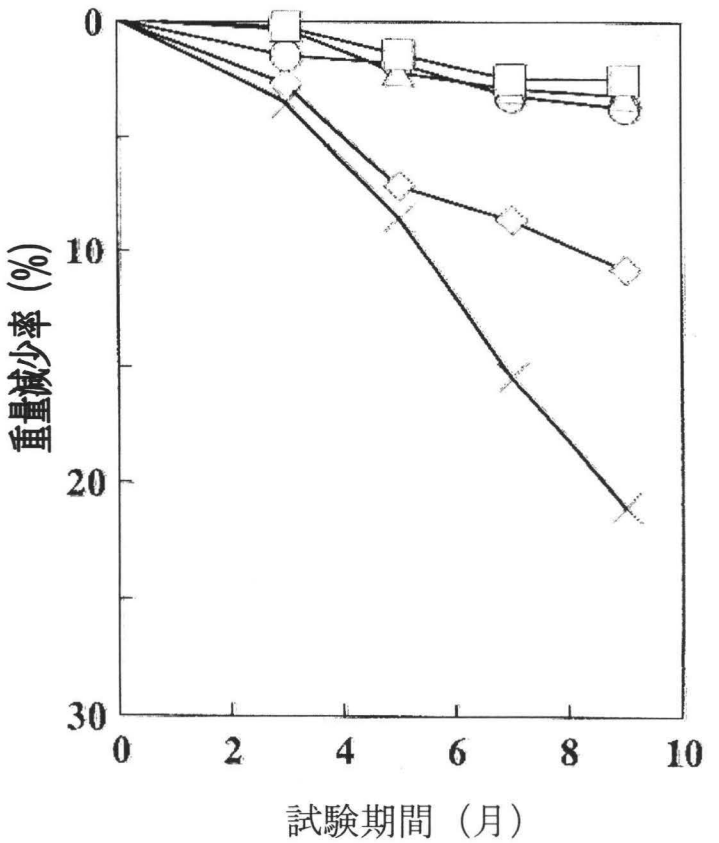


図５　土中埋没試験による TMSOA 添加系無機質複合化木材の重量減少率の変化

×　無処理木材　　◇　SiO_2　　○　TMSOA
△　TMSOA-SiO_2　　□　HFOETMOS-TMSOA-SiO_2

SiO_2 無機質複合化木材は、木材そのものに比べて寸法安定性が高く難燃性で、シロアリなどに対する生物劣化抵抗性にも優れており、本研究では、それをベースにさらに防菌・防かび性の高い高機能性のロングライフ化改良木材を開発しようとするものである。さらに、SiO_2 ゲル自身環境に優しい材料であり、いずれは自然の循環系に帰するものである。したがって、防菌・防かび性付与による環境に優しい高耐久改良木材の開発は、炭酸ガスの長期固定をも意味し、学術的にも社会的にも重要で、その意義及び効果は大きいものがあると言える。

３．実用化に向けた今後の課題

上述のように、防菌・防かび剤（TMSHA、TMSOA）の無機質への複合化による細胞壁内固定で防菌・防かび性改質木材の開発が達成できた。また、有機系撥水試薬（HFOETMOS）を用いて木材に撥水機能を付与することにより、防菌・防かび性がさらに向上し、長期的に機能が

維持され得ることが明らかとなった。今後の実用化に向けての課題としては、処理試片をスケールアップした際のサンプルへの試薬の浸透性、効率的な乾燥方法の検討などが考えられる。

4．本研究の成果を含む総説

- 坂　志朗（2000）ゾルーゲル法による無機質複合化木材の耐久性能，木材保存 26(3), 113-122.

5．本研究の成果につながった既存の研究発表

- 新谷　昇，坂　志朗，宮藤久士（1998）防菌・防かび性を付与した無機質複合化による木材のロングライフ化（Ⅰ）　－アミン系SiO_2無機質複合化木材の創製と抗菌性評価－，第 48 回日本木材学会大会研究発表要旨集，510.

- 新谷　昇，丹野史枝，坂　志朗，宮藤久士（1999）防菌・防かび性を付与した木材のロングライフ化（Ⅲ）　－ 四級アンモニウム塩型・ベタイン型・アミン型の抗菌性評価－，第 49 回日本木材学会大会研究発表要旨集，621.

1－3　建築壁体における熱水分挙動に及ぼす荷重の影響

京都大学大学院工学研究科
助手　高田　暁

1.本研究の背景と目的

多くの建築材料は、日射や外気温の作用により熱膨張し、周囲空気の温湿度変動により引き起こされる吸放湿や地盤からの吸水に伴い膨張・収縮を繰り返している。また、火災時の材料内水分の蒸発に伴う膨張や凍結時の氷生成などにより、材料中に応力が発生する。これらの応力あるいは歪により材料の空隙構造が変化し、その結果として材料内での水分や熱の移動・蓄積の性状もその影響を受ける。このような現象は建築壁体がしばしば経験するものであるが、これまで熱水分特性の「設計値」は、気象条件などの外部パラメータの影響に拘わらず一定値として与えられるのが通例であった。建材の耐久性向上や高性能化を図るには幅広い観点からの検討が必要となるが、特に材料中の水分は建材の耐久性に大きな影響を与えるため、適切な精度でその挙動を予測することが不可欠である。

とりわけ、建物構造に作用する荷重により発生するひび割れは、雨水や大気中の二酸化炭素の流入量を増加させ、コンクリートの中性化を促進する。中性化が進むと鉄筋の腐食、さらには、それに伴う鉄筋の膨張によるひび幅の増大といった悪循環を引き起こし、材料表面の剥落等、建築壁体の耐久性が著しく損なわれる可能性がある。これは窒素酸化物や硫黄酸化物が溶解する酸性雨についても同様と考えられ、液移動が関与することを勘案すると、その影響はより大きくなる可能性がある。拡散物質が及ぼす影響を把握するためには、液移動を含む水分移動性状を同時に考慮しなくてはならない。壁体表面にひび割れが発生すると、ひび割れ部分と壁体一般部における水分移動量に大きな差が生じる。特に表面仕上げがタイル等の防水性の高い材料であれば、その差はより顕著となることが予想される。

本研究では、ひび割れが存在する場合のコンクリートの液水拡散係数を実験により求め、それを基に熱・水分・拡散物質の同時移動モデルを用いて、雨水や二酸化炭素がコンクリートの中性化、建物外皮の劣化に及ぼす影響を定量的に把握することを目的とする。

2.研究の方法

荷重条件下で生ずるひび割れの存在する材料の液水拡散係数を測定し、ひび割れが材料中の液相水分移動に及ぼす影響の程度を把握する。次にそれを基にして、材料表面に防水性の高い仕上げが有る場合のコンクリート壁体を対象に、材料表面に微細なひび割れを想定し、雨水の流入と乾燥、二酸化炭素等の拡散過程を調べる。含水率分布と二酸化炭素の濃度分布に着目し、コンクリートの耐久性に及ぼすひび割れの影響について検討する。さらに、コンクリート壁体の耐久性に及ぼす二酸化炭素や酸性雨などの影響の評価を目的とし、ひび割れに着目して、二酸化炭素等の拡散物質の材料中への拡散、雨水の流入と乾燥が及ぼす影響について実験と解析の両面から検討する。

3.今までに得られた成果

3.1　典型的な建築材料に対する荷重作用下での物性値測定

チェコ工科大学の共同研究者により、セメントモルタル・ブロックに対して物性値測定が実行された。ひび割れの発生により水分拡散係数が大きくなること、またそのオーダーが把握された。表１のκは液相の水分拡散係数、δは気相の水分拡散係数である。実験では、荷重が圧縮強度の 90%に達したとき、材料中においてひびが発生していることが顕微鏡写真により確認された。荷重が圧縮強度の 90%の場合、それ以下の場合と比べて、気相の水分拡散係数は 20～30%大きくなるのに対し、液相の方は 10 倍以上に増加することが、表１より分かる。

一方、材料の乾燥収縮、湿潤膨張による材料内毛細管径の変化は非常に小さく、当初想定していた熱水分物性値への影響は小さいことが明らかとなった。そこで、ひび割れがコンクリートの耐久性へ及ぼす影響を中心に検討を進めることとした。

3.2　荷重作用下の熱水分移動シミュレーションソフトの開発およびそれを用いた数値解析

コンクリート壁体を対象として、具体的にひび割れを想定し、外界の温湿度変動、雨などの水分発生があった場合に、壁体内での含水率分布を求めるソフトウェアを開発し、典型的な条件に対して、検討を行った。ひび割れがない場合のシミュレーションも同時に行うことで、ひび割れが水分移動に及ぼす影響を定量的に把握した。

雨水の流入がある場合の材料内含水率分布について検討した。平均 10℃、振幅５℃の周期的外気温（相対湿度 50%一定）を与え、１日の降雨に対して３日間の乾燥過程を想定して計算を行った。降雨の無い時間帯にはひび割れ部から乾燥が起きているが、流入した水分は乾燥しきらず、材料内に蓄積されること、最大含水率は 168 時間後で 12%、456 時間後では 13%となり、さらにその範囲も広がっていることが明らかになった（図１、２）。したがって、表面に防水性の高い仕上げが施され、その材料にひび割れがあるような場合には、降雨の浸透と蒸発、乾燥過程が繰り返されると、条件によっては水分が蓄積する場合が考えられる。

3.3　二酸化炭素の材料内拡散の解析とそのコンクリート中性化への影響評価

ひび割れに着目して、二酸化炭素等の拡散物質の材料中への拡散、雨水の流入と乾燥が及ぼす影響について検討する。前述の熱水分移動シミュレーションソフトを基礎として、二酸化炭素の拡散、コンクリートへの吸着を考慮したモデルを構築し、数値計算により検討した。

二酸化炭素の拡散は、液水移動速度に比べてはるかに遅いことが明らかになった（図３、４）。この両者の差が大きいことは、酸性雨の場合のように液水移動によって拡散物質が材料中に浸透する方が純粋の気体拡散によるものより速く、液水移動を適切に考慮する必要性があることを示唆している。なお、この計算においては、二酸化炭素の吸着を近似的に考慮しているため、浸透速度は遅い結果となっている。

3.4　酸性溶液の浸透によるコンクリート中性化実験

コンクリート壁体の中性化に及ぼす酸性雨の影響を明らかにすることを目的とし、酸性溶液の

浸透による中性化実験を行った。

試験体としては、設計基準強度が 30MPa のものを２体、50MPa のものを２体、さらに圧縮試験後の 50MPa(以下「圧 50MP」と記す)を１体加えた３種類、計５体を用いた。これらのうち、酸性溶液を浸透させる実験には３種類を各１体ずつ用い、その後の中性化深さの測定には、酸性溶液を浸透させていない残りの 30MPa、50MPa の各１体ずつも比較のために用いた。各試験体を容器内に置き、１時間ごとに浸水過程と乾燥過程を交互に３回、計６時間行った。浸水過程では、酸性雨を想定した酸性溶液（pH4.9）を用いた。実験終了後、各試験体にフェノールフタレイン１％溶液を噴霧して、中性化深さの測定を行った（写真１）。

結果として、中性化の進行は、酸性溶液の浸透により速くなった。その速度は、大気中に放置された場合と同様に、材料組成が緻密であるほど遅い。試験体の材齢が約半年なのに対し、今回の実験に要した時間は 13 時間程度である。この短時間における条件の違いのみで、中性化深さに差異が認められていることから、酸性溶液の影響は大きいと言える。また噴霧から数時間経過後の状態は、浸水無しの試験体においては噴霧直後から殆ど変化していないが、浸水有りの試験体においては割裂直後に湿っていると判断された領域の発色が薄れている。中性化に向かう変化（従来言われている中性化と程度は違う）が試験体内部で起こっていたと考えられる。

実験終了時に容器に残った溶液の pH 値は、何れも蒸留水の pH 値である７よりも酸性側の値を示しており、試験体からアルカリ成分が流出していたことがわかる。この pH 値と溶液残量から流出アルカリ量を算出すると、材料が密であるほど流出量が多い。これは各試験体の中性化深さの違いから、密な材料ほど表面での液相アルカリ濃度が高いため、より多くのアルカリ成分が流出したと考えられる。

3.5　酸性雨の材料内拡散の解析とそのコンクリート中性化への影響評価

ここでは、材料は気相、液相、固相の３相で構成されるものとし、各相において、熱水分移動と二酸化炭素等の拡散物質の移動、さらには中性化反応の考慮を加えた新たなモデルを作成し解析を行った。微小要素内の各相における二酸化炭素などの濃度分布はそれぞれ一様とし、各相における二酸化炭素等の濃度について１次元の場合の収支式を得た。この収支式に基づき、実験と同様に６時間の間に１時間毎に酸性溶液が浸透する場合と、それとの比較のために１時間毎に純水が浸透する場合、そして全く液水の浸透が無い場合の３条件について等温場（20℃）での計算を行った。

含水率分布と水酸化カルシウム反応量の時間変化から、液水の移動に伴って材料内部に二酸化炭素が運ばれてはいないことがわかった（図５、６、７）。これは、液水に溶解している二酸化炭素が表面における反応により、消費されるためである。従って、反応量は表面においては気体で進入する場合より多いが、内部ではむしろ少ない。また、酸性溶液流入中は材料表面の中性化を促進するが、その後の乾燥過程において高含水率の状態が続くため、気相からの二酸化炭素の進入を妨げることになる。以上を考慮すると、降雨が無い場合に比べ、必ずしも酸性雨が中性化を促進するとは言えない。

材料の空隙率を変化させた場合には、空隙率が減少することにより液水流入の条件に関わらず全体的に反応量が減少していることがわかった（図８）。酸性物質が液相から材料内部への流入する場合でも空隙の密実性に影響されることによると考えられる。

水酸化カルシウムの材料外への流出量については、酸性溶液が浸透する場合よりも純水の場合が流出量は大きく、また空隙率が小さい方が流出量は大きい（図９）。これは表面の水酸化カルシウム濃度が高く保たれているほど流出量が大きくなるためと考えられる。この水酸化カルシウム流出量は同時に起こっている中性化反応による消費量と比較すると極めて小さい。しかし今回は拡散による流出量しか算出していない為、今後、材料表面で液水が静止していない場合についての検討が必要である。

4.残る問題点と対策・これから期待される成果

コンクリートの中性化実験の結果から、酸性溶液が内部側での中性化の進行を速めていることがわかった。現在の解析モデルで定量的な評価ができるよう改善が必要である。そのためには二酸化炭素の溶解速度係数と液相での反応速度係数を同定しなければならない。また今回の検討では、液相に存在する二酸化炭素と水酸化カルシウムはすべてイオン化しているものとして扱っている。しかし、実際にはこの他のイオンとのイオン積からそれらの量は決定されるため、材料内部での反応量はより含水率の影響を受ける可能性がある。この影響については現段階では定量的に把握できておらず、今後検討が必要である。また、ひび割れの性状についての実態調査を行うことも必要と考えられる。

5.研究発表の実績および予定

[1]CIB W40 Meeting（チェコ、プラハ） 平成 11 年 9 月（国際会議）
'Influence of Crack on Heat and Moisture Transfer in Concrete Wall'
[2]日本建築学会近畿支部研究発表会（大阪）平成 12 年 6 月
'コンクリート壁体の耐久性に及ぼす表面ひび割れの影響'
[3]日本建築学会大会（福島）平成 12 年 9 月
'コンクリート壁体への水分及び拡散物質の流入に及ぼす表面ひび割れの影響'
[4]日本建築学会近畿支部研究発表会（大阪）平成 13 年 6 月
'コンクリート壁体の中性化反応に及ぼす酸性雨の影響'

6.実用化計画

本研究において開発した熱・水分・酸化物の同時移動解析プログラムを用いて、荷重の作用により生じたひび割れのコンクリートの劣化に及ぼす影響が、雨水・二酸化炭素の材料内移動の観点から定量的に把握される。よって、コンクリート壁体の中性化の定量的把握を中心として、耐久性の評価に用いることが可能と思われる。

7.本研究に関する発表論文（添付資料）

[1]Y.Kishimoto, S.Hokoi, S.Takada, M.Matsumoto, R.Cerny, J.Toman, Influence of Crack on Heat and Moisture Transfer in Concrete Wall, Proceedings CIB W40 meeting, Prague, Czech, pp.87-92, 1999.9.
[2]岸本嘉彦，鉾井修一，高田暁，コンクリート壁体の耐久性に及ぼす表面ひび割れの影響，

日本建築学会近畿支部研究報告集（環境系），第 40 号, pp.181-184, 2000.6.
[3]岸本嘉彦，鉾井修一，高田暁，コンクリート壁体への水分及び拡散物質の流入に及ぼす表面ひび割れの影響，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学Ⅱ），pp.355-356, 2000.9.
[4]岸本嘉彦，鉾井修一，原田和典，高田暁，コンクリート壁体の中性化反応に及ぼす酸性雨の影響，　日本建築学会近畿支部研究報告集（環境系），第 41 号, 2001.6.

表１　圧縮載荷時の水分拡散係数

Sample	$\kappa\,[10^{-9}m^2s^{-1}]$	$\delta\,[10^{-12}s^{-1}]$
圧縮力無し	3.1	3.25
圧縮強度の38%	4.7	3.09
圧縮強度の79%	4.2	3.15
圧縮強度の90%	49.0	3.84

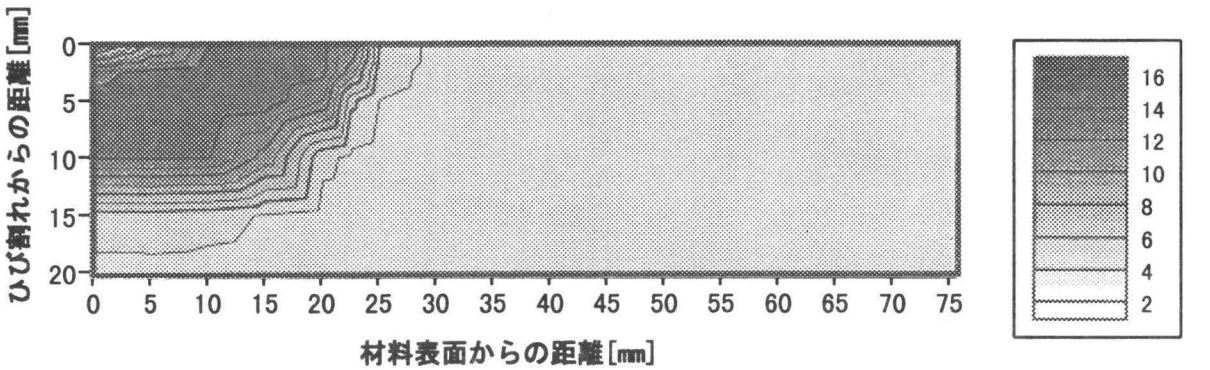


図１　周期的外気温を与えた場合の含水率分布（168 時間後）

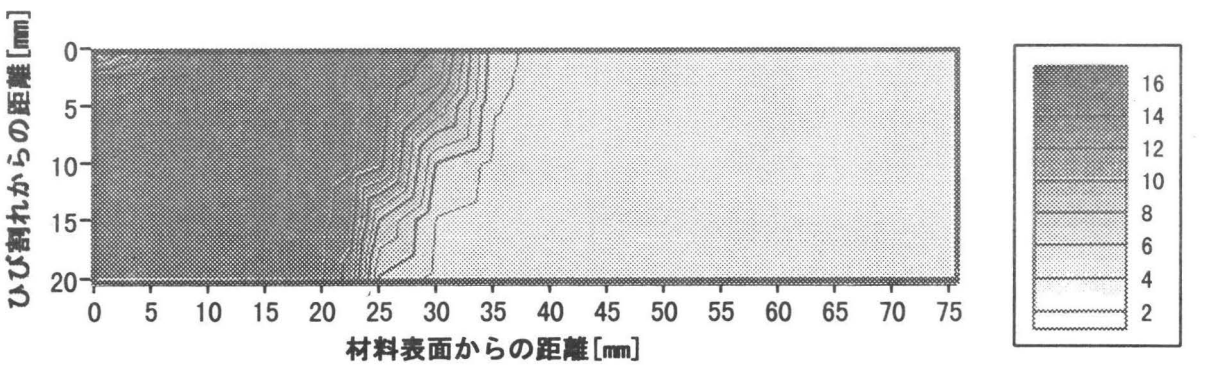


図２　周期的外気温を与えた場合の含水率分布（456 時間後）

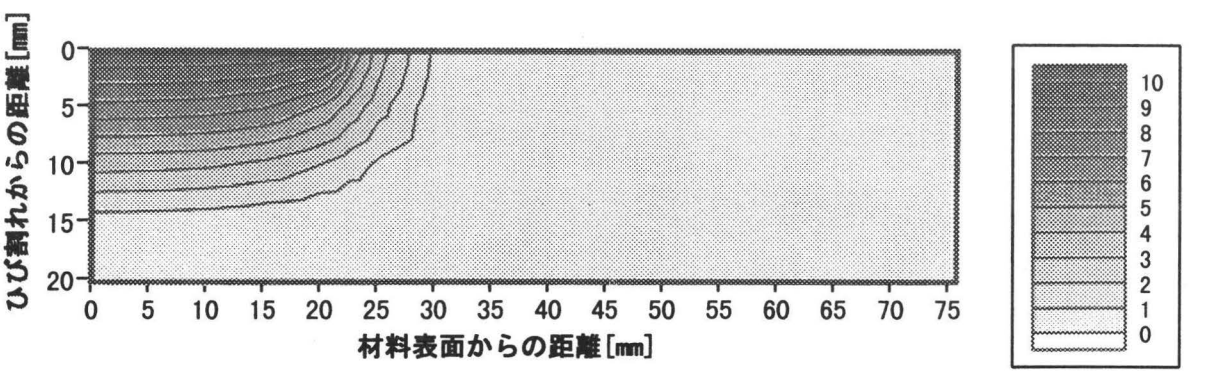


図３　表面仕上げが有る場合の二酸化炭素濃度（4320 時間後）

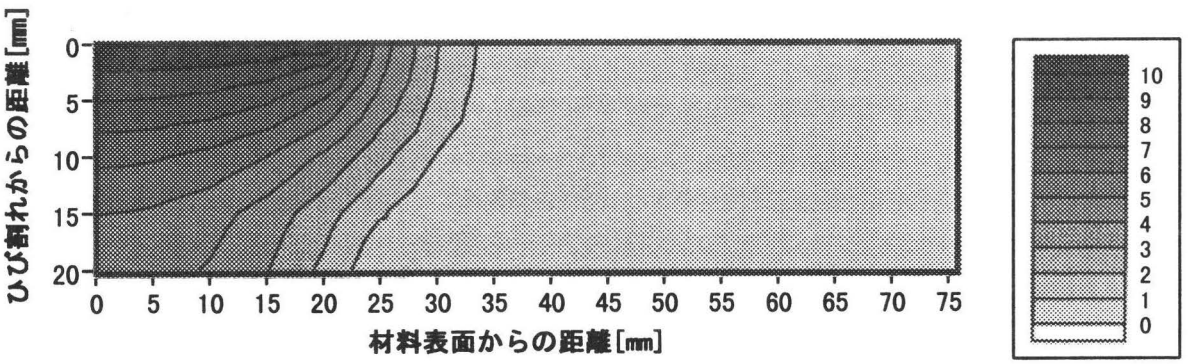


図４ 表面仕上げが有る場合の二酸化炭素濃度（8640 時間後）

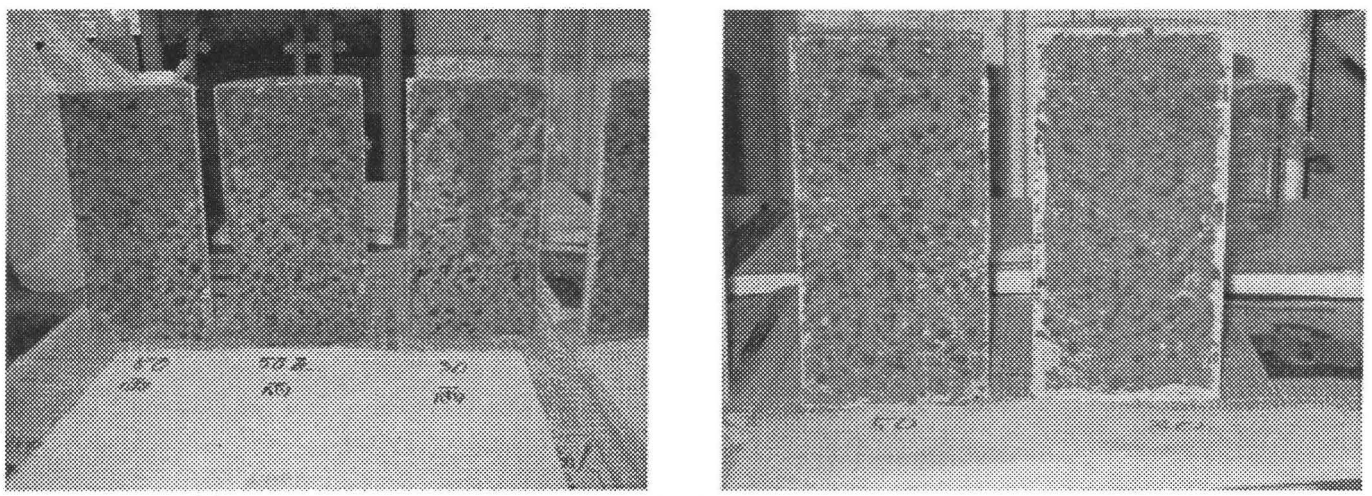


写真１ フェノールフタレイン噴霧後から２時間後の様子（右：浸水有り、左：浸水無し）

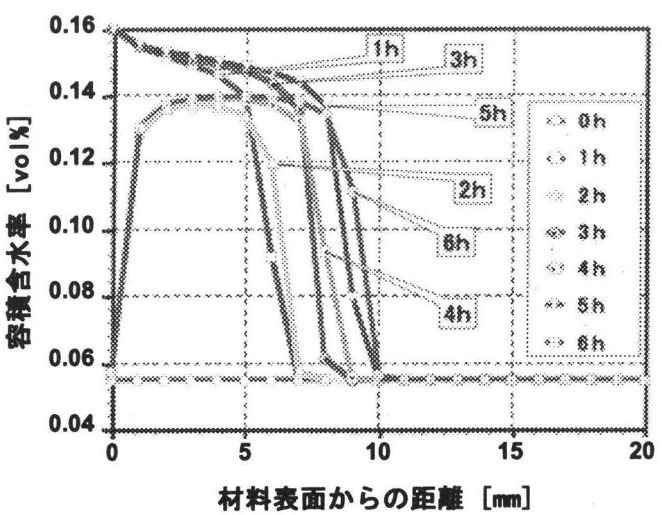


図５ 含水率分布（液水流入有り）

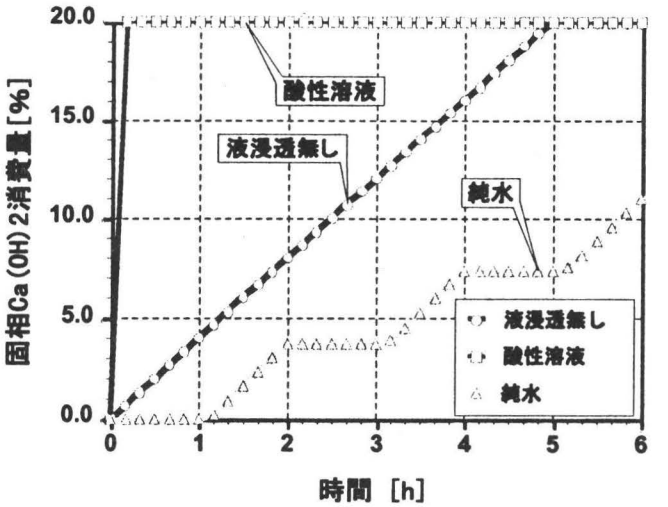


図６ 反応による $Ca(OH)_2$ の消費量（材料表面）

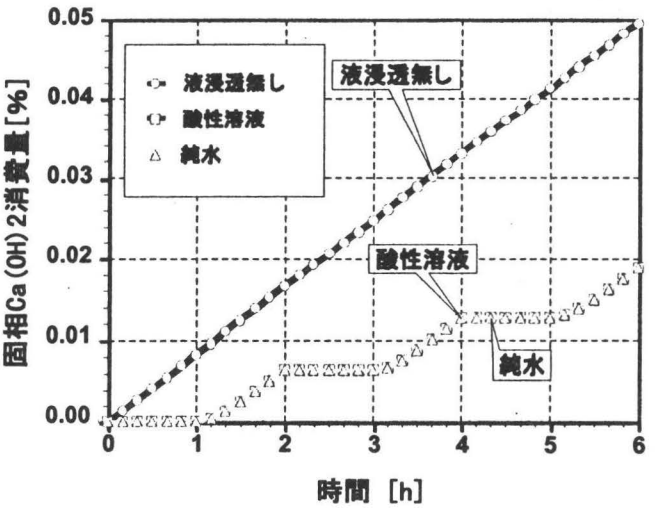


図７ 反応による $Ca(OH)_2$ の消費量（深さ１mm）

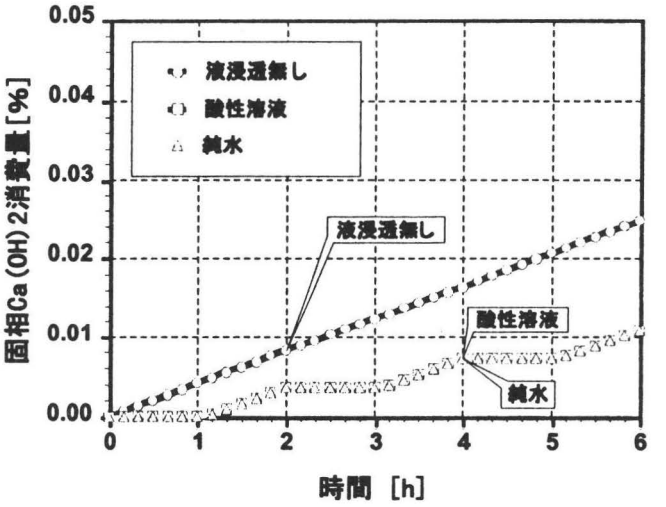


図８ 空隙率を 1/2 にした場合の $Ca(OH)_2$ の消費量（深さ 1 mm）

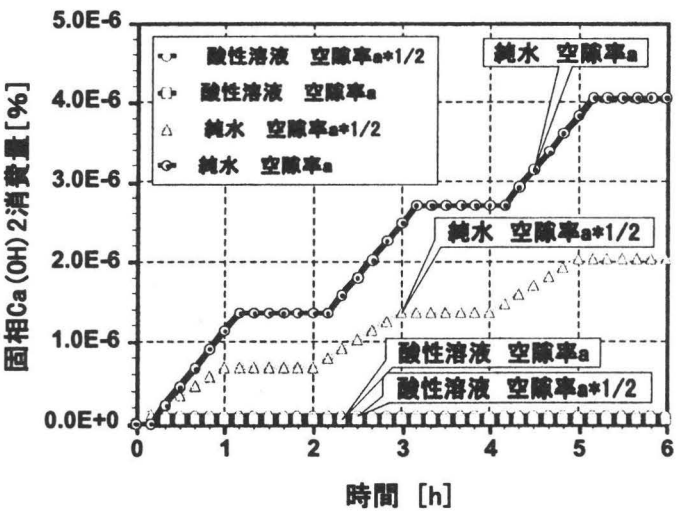


図９ 材料外へ流出する $Ca(OH)_2$ 量（深さ 1 mm）

1－4　３次元伝熱解析によるサッシ・熱橋を含む壁体等の熱性能評価・設計ツールの開発

都城工業高等専門学校
助教授　小原　聡司

１．研究の背景と目的

平成１２年３月に改正された次世代省エネ基準では熱損失係数や断熱仕様が従来より厳しく設定された。従って鉄骨住宅や金属製サッシによる熱橋等を含む壁体は３次元熱流を考慮してさらに厳密に熱貫流率を求め，事前に熱損失係数に与える影響を予め予測することがこれまで以上に重要となった。このような状況を予想して二宮は熱貫流率計算ソフトウェアの一環として定常差分法に基づく３次元壁体の熱貫流率計算用ソフトウェア(以下TB3D/FDMと呼ぶ)を開発し，このソフトは平成11年７月にIBECから市販された。既存プログラムは開発現場において設計段階で断熱部位や断熱厚さ，さらに内部結露を予測するためのツールであるが，その精度の確認は未だなされていない。一般に３次元伝熱解析プログラムによる計算結果には若干の誤差が生じることが多いが，この誤差の原因は固体伝熱部分の扱いにあるのではなく，室内外表面や中空層などの境界条件や部材の計算用モデル作成時の簡略化にあると考えられる。上記プログラムは実務レベルでは非常に有効なツールであるものの，計算結果の精度に関しては取り扱いに十分注意しなければならず，実験結果との照合が急がれる。

一方このような壁体の実大模型を用いた実験実験であっても，測定精度に注意しなければ0.5～1℃程度の誤差が生じるとされる。元来結露が発生しやすい金属熱橋における発生有無の判定は非常にシビアであり，コンマ数℃の差での結露・非結露の判定が構法や融資対象の許認可を左右する。従って通常の測定手法による計測結果とパラメータ設定が不適切な計算結果とを直接比較してもあまり意味がない。そこでこの研究では①実験室実験における温度の精密測定手法の確立，②３次元伝熱解析プログラムの改良とその運用ノウハウの確立，③シミュレーションによる優れた断熱構法・構造の提案，の３点を目的とすることにした。

２．研究の方法

既有の人工気象室２室の界壁に壁体の実大モデルを設置し，冬季定常状態下における温度データを測定する。その結果を利用して表面熱伝達率を求める。並行してTB3D/FDMを使用して，比較的構造の簡単な壁体モデルの定常伝熱解析をシミュレートする。その結果を実測結果と比較し対流熱伝達率などのパラメータの同定を行う。その際使用する熱電対の太さ，センサ貼り付け方法，温度算出に必要な冷接点の管理など表面温度測定方法には格別の注意を払い，最終的には定常・非定常状態下で測定誤差 0.1℃程度の精度を有するデータ測定方法を確立する。定常計算における精度確立の目処が立ったのちに，非定常計算が可能なように既存プログラムの一部改良を行う。次に実大金属製サッシやスチールハウスの壁体など，熱橋を有する数種類の壁体モデルについて，非定常伝熱計算を行う。これらの計算と実験では壁内外の温度分布・表面の熱流分布及び結露発生の有無を調べ，構造やモデル化にあたっ

ての断面形状簡略化の適否判定を行う。その結果，不適切な構造があれば設計方針の変更や部分的な再設計を行い，再度評価計算を行う。良好な結果が得られれば熱損失の少ない設計案として学会に報告する。

３．研究計画と達成状況

以下に示す①～⑧のステップで研究を進める予定を立てた。なお（　）内は計画段階で考えた具体的行動事項である。

①精密温度測定に関する資料収集（・建設省建築研究所訪問による精密温度測定方法の調査・実験室（人工気象室）及び測定システムの整備）

②簡易壁体モデルの製作（・鋼材業界団体から資材及び設計資料の提供を受け，１／１スケールの試験体を製作する）

③既存プログラムによる簡易壁体モデルの３次元定常計算及び表面温度分布の整理（・簡易壁体モデルの定常計算と画像処理ソフトによる画像処理を行う。）

④簡易壁体モデルを用いた定常伝熱実験（・人工気象室の整備が整い次第，実験を開始し，温度の精密測定に関するノウハウを蓄積する。）

⑤定常計算における表面熱伝達率の同定（・精密測定結果と数値計算の結果から，対流熱伝達率などパラメータを同定する。）

⑥非定常計算用プログラムへの改良（・既存プログラムに熱容量に関する項を組み込む。時間項の離散化に関してはCrank-Nicolson法を適用する。）

⑦実大壁体モデルを用いた定常･非定常伝熱実験及び改良プログラムの計算精度確認（・実スケールの壁体モデルを用い，定常・非定常伝熱実験を行い，改良プログラムの結果と同じになるか確認する。）

⑧最終非定常計算ツールの完成と断熱強化型断面設計の提案（・熱橋となる在来型のスチールハウス壁体やサッシュについて熱損失の少ない断面構造を提案する。）

以上のような計画のうち，⑥から⑧は今回の期間内では達成できなかった。従って本報告書では上記①～⑤について報告を行う。

４．研究内容と成果

４．１　簡易壁体モデルによる表面熱伝達率計測実験

４．１．１　測定目的

本研究は２つの人工気象室の界壁（図１参照）にスチールハウスの壁体を実際にはめ込んで，実験室実験における温度の精密測定手法の確立をするとともに，３次元伝熱解析プログラムの信頼性を実験により確認することを目的とする。しかし３次元の伝熱計算を行う前段階として計算に用いる室内外の表面熱伝達率の同定や，実験と計算による表面温度のばらつきの程度を２次元の比較的簡易な形状の試験体を用いて調べることにした。

４．１．２　測定方法

当初，熱伝達率を求める試験体として，厚さ5mmのガラス材と厚さ50mmの断熱材の２種を使用した。ガラス材は熱抵抗が小さいためか空気温度が反対側の部屋の空気温や上下方

向の空気温度差の影響を受け易く，位置によってばらつきが大きかった。一方断熱材（発泡ポリスチレン）は熱抵抗が大きいため反対の室の影響はあまりうけなかったが，断熱材表面にある無数の凹凸により表面温度測定の精度に疑問が残った。結果としては両者とも試験体として一長一短があり，あまり良好とはいえなかった。結局，試験体材質の選定とセンサー貼り付け方法に問題があったのではないかと考えた。そこで最終的な試験体は厚さ30mm程度で適度な熱抵抗を持つ断熱材の両面に，3mm厚ガラス板を接着剤（表面の凹凸を埋める役割を持つ）で貼りあわせ，表面温度の計測もしやすい3層の試験体を考えた（図2参照）。また両部屋における空気の循環方法については，当初部屋中央に仕切りを設置するなど工夫してみたが，自然対流に近い状態であったため，温かい空気が天井側にたまるなどして部屋内の上下方向の空気温度が均一ではなかった。そこで今回はこの仕切りを取り去って，シロッコファンや加熱箱によって強制的な空気循環を図ることにより温度分布の改善を試みた。温度分布が改善されれば熱伝達率も部位によるばらつきがなく安定することになる。そしてこの熱伝達率を用いれば数値計算と実験によってスチールハウスモデルの壁体表面温度の比較を行うことが可能となる。

4．1．3　熱伝達率導出用試験体の概要

風速測定実験結果より安定した結果が得られた箇所の近辺（図2に示す 15 箇所,）にφ0.2mm の銅・コンスタンタンの熱電対を貼付した。φ0.2mm を使うのはφ0.1mmでは細すぎて切れるなどして取り扱い上不便であること，またガラスと断熱材の間にセンサを挟み込んで接着する時に余分な隙間が生じないよう密着させるためである。通常よく用いるφ0.3mm は被覆厚により隙間を生じやすく適さない。ガラス・断熱材・熱電対のそれぞれの接着方法は事前に接着実験（接着剤成分，粘着力，接着時間を比較）を行い，最適なものを選んだ。ガラスと断熱材の接着にはスプレー式ボンドを全体に吹きつけ，粘着性を高めて空気が隙間に入り込まないようにした。また断熱材と熱電対の接着にはエポキシ系接着剤を用い，センサを内包した部分で余分なふくらみ等が生じないよう注意しながら接着した。

4．1．4　表面熱伝達率導出方法

計算値と実測値の一致を図るためには，まず計算に用いる表面熱伝達率を実験で得られた値と同一にする必要があり，そのため実際の実験室内の試験体表面における温度・熱流から表面熱伝達率を求めることが必要である。この研究では2つの熱伝達率を求める方法を採用した。すなわち壁体表面温度と空気温度から求めた総合熱伝達率 α_{tem} と壁近辺の風速から求めた表面熱伝達率 α_{win} である。α_{tem} は2つの人工気象室の界壁に設置した試験体において，室内側に設定した空間から壁体に流入する熱量，壁体内部の通過熱量，壁体から室外側に設定した空間への流出熱量が等しいという考えにもとづき，測定した壁体両表面の温度と精確に測定された断熱材の熱伝導率から計算で算出した。

(1) 壁体表面温度と空気温度から求めた総合熱伝達率 α_{tem}

一般に，屋外から壁体表面に流入する熱量と壁体内部の通過熱量と外気側表面からの流出熱量は等しいので，

$q_w = q_i = q_o \cdots (1)$

ここで,

q_w ：EPS（発泡ポリスチレン）内部の通過熱量[W]

q_i ：屋内側表面の流入熱量 [W]

q_o ：屋外側表面の流出熱量 [W]

まず，EPS 内部の通過熱量 q_w は，

$q_w = C_{eps} \cdot S \ (\theta_{si} - \theta_{so}) \cdots (2)$

ここで,

C_{eps} ：発泡ポリスチレンの熱コンダクタンス [W／㎡ K]

S ：EPS の面積[㎡]

θ_{si} ：屋内側 EPS 表面温度 [℃]

θ_{so} ：屋外側 EPS 表面温度 [℃]

C_{eps} を求めるために必要な発泡ポリスチレンの熱伝導率 λ は，建設省建築研究所に測定を依頼した。温度 θ_m により変化する λ の計算式を次式に示す。

$\lambda = 0.000197 \times \theta_m + 0.037635$ [W/(m·K)]…(3)

次に，屋内側表面の流入熱量は,

$q_i = \alpha_i \cdot S(\theta_i - \theta_{si}) \cdots (4)$

ここで，α_i（屋内側熱伝達率）を求めるために（4）式を展開すると,

$$\alpha_i = \frac{q_i}{S(\theta_i - \theta_{si})} \cdots (5)$$

（1），（2）より

$$\alpha_i = C \cdot \frac{\theta_{si} - \theta_{so}}{\theta_i - \theta_{si}} \cdots (6)$$

同様にして屋外側表面の流出熱量は,

$q_o = \alpha_o \cdot S(\theta_{so} - \theta_o) \cdots (7)$

α_o（屋外側熱伝達率）を求めるため(7)式を変形すると,

$$\alpha_o = \frac{q_o}{S(\theta_{so} - \theta_o)} \cdots (8)$$

(1)，(2)より

$$\alpha_o = Ceps \ \frac{\theta_{si} - \theta_{so}}{S(\theta_{so} - \theta_o)} \cdots (9)$$

図４は上記試験体における室内，室外側空気温度分布を示す。設定温度はほぼ屋内 20℃，屋外 0℃である。ここに示すように各温度分布グラフのばらつきや温度振幅が大きく，必ずしも一定の値にまとまるわけではなかった。そこでたとえば常に他部分に比べ大きく温度の異なった西側は省略し，中央と，東側の測定点データのみを熱流及び表面熱伝達率の計算に用いることにした。

(2)壁近辺の風速から求めた表面熱伝達率 α_{win}

スチールハウスモデル壁体においては，式(10)により実験室内の風速データに基づいた表面対流熱伝達率α_{cwin}を求める一方，式(11)により空気温と表面温から輻射熱伝達率α_{rwin}求める。なお，表面の輻射率εは屋内外ともに0.9とした。またT_1，T_2は表に示す中央位置表面温度の平均値である。まず，輻射成分α_{rwin}を下式により求める。

$$\alpha_{cwin} = 5.0 + 3.4v \cdots(10) \quad \text{(Jurges の式)}$$

$$\alpha_{rwin} = \varepsilon_1 \varepsilon_2 Cb \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \Big/ (T_1 - T_2) \quad \cdots(11)$$

表面総合熱伝達率はα_{win}はα_{cwin}とα_{rwin}の合計として求められる。

(3) α_{tem}・α_{win}と一般的な熱伝達率との比較

(1)(2)で示した方法により求めた室内外の表面熱伝達率と一般に用いられている表面熱伝達率の比較を表１に示す。まず，α_{tem}とα_{win}の違いを見てみると屋内側は両者とも似た値となっていたが，屋外側ではα_{win}のほうが1.5倍程度高い値となっていた。文献に掲載されている一般的な表面熱伝達率と比較してみる。文献では，屋内側が9.3［W／(㎡･K)］，屋外側が23.26［W／(㎡･K)］であり，α_{tem}とα_{win}に比べ，屋内側は文献の方がかなり小さい。しかし屋外側ではα_{win}の方が文献値より低く，α_{win}の方が文献値より高い値となった。この結果から特に室外側表面では人工気象室における風速とその分布の影響によりシミュレーションで一般的な文献値を用いてはいけないことが確かめられた。

４．１．５　スチールハウス簡易構造モデルの温度分布測定実験とシミュレーション結果の比較

３次元モデルで比較する前に，２次元構造で比較的簡易な構造のスチールハウス壁体モデル(図３参照）を使用し，４．１．４で求めた表面熱伝達率を用いたシミュレーション結果が実験値と一致するかを確かめる。試験体は実際のスチールハウスに使用される厚さ1mmのC形鋼を用い，室外側に合板，室内側に石膏ボードを取り付けてある。実測条件は表面温度測定時と同じく，室内側20℃，外気側0℃である。スチールハウス壁体モデルの実験結果のデータからは定常状態時の表面温度を屋外,屋内から５点ずつ取り平均値を求める。この際，最も温度のばらつきが少なく安定している中央側のデータを用いる。このようにして抽出した各節点（表面点）の温度を以後Tとして示す。

シミュレーション用プログラムは試験体が簡易形状であることから有限要素法に基づく２次元の定常伝熱解析プログラムを用い，各節点の温度を求める。シミュレーションに用いた壁体の分割状況を図５に示す。室内外空気温度は実験で得られた定常時のものと同じとし，表面熱伝達率は４．１．４で求めた値を設定した。このようにして得られた節点の温度のうち,ガラス試験体の表面温度を用いて求めた表面熱伝達率から得られた温度群をT_{tem}と呼び，試験体近傍の空気流速から直接求めた表面熱伝達率から得られた温度群をT_{win}と呼ぶ。
表２にT，T_{tem}，T_{win}の比較を示す。

室内側については，実験値TとT_{tem}，T_{win}のデータを比較してみると，Tが中央側から西側，また中央側から東側にかけて温度の上昇が大きく見られているのに対し，T_{tem}，T_{win}は中

央側から西側，東側にかけて温度の上昇がより緩やかであった。また T_{tem}, T_{win} を比較してみるとその平均温度がほぼ同じであり，温度の分布形状も良く似ていた。T_{tem}, T_{win} の温度差は0.2℃と小さかった。室外側についても室内側と同じように T_{tem}, T_{win} のデータグラフの形状が良く似ている。しかし，屋内側とは違って T_{win} の方が T_{tem} より約1℃高くなっている。実験値 T と比べてみると上部は T_{tem} と似た値になっている。しかし，T_{win} は実測値よりも0.5～2℃程度大きく，実験値 T とは似ていなかった。また，T_{tem} と T_{win} を比較すると T_{win} の方が T_{tem} より2℃程度高く，実験値 T と似た形となった。

以上の結果から，表面に凹凸のない平板状の簡易2次元壁体であっても，一般的な文献に掲載されている室内外表面熱伝達率より精度が高いと考えられる空気流速で求めた表面熱伝達率を使用しても，シミュレーションの精度はさほど向上しないことがわかった。一方壁体表面温度から求めた室内外表面熱伝達率を用いてシミュレーションを行った場合は，より実験値に近づくことがわかった。従って3次元のスチールハウスモデルでは実験を行い，表面温度から表面熱伝達率を求める必要があろう。

4．2　境界条件を改善した既存プログラムによる3次元伝熱シミュレーション

4．2．1　各種文献からの熱・湿気物性値の収集と整理

既存プログラム TB3D/FDM の中に予め収められている熱・湿気物性値は20個程度しかなく，しかも各種材料の代表的な値でしかない。従って，これだけでは数値計算で評価したり，実験結果と比較するには不充分である。そこで既往の各種文献から，熱と湿気に関する物性値（熱伝導率・透湿係数），湿気伝達率などの境界条件を収集し，まとめ直す作業も同時に行うことにした。これらの既往文献には非常に多種の材の値が揃っているが，相互に引用や孫引きがあったり，単位が統一されていないため，本来同じ値でまとめるべきものが重複して記載されていることが考えられた。これらを材種別にきちんと整理して，TB3D/FDM のデータとして使えるようにした。今回の研究では参考文献の1)～15)に示す文献から1499個の各種材料について，原典・備考・湿度・厚さ・湿気伝導抵抗・容積比熱・透透湿抵抗・透湿係数・透湿比抵抗・熱伝導率を収集し，表計算ソフトに入力した。これらのデータを材料名で並び替え，重複データを削除した上で，単位を SI 単位及び慣用単位に換算し再度整理した。並び替えた結果の一部を表5に示す。

4．2．2　3次元スチールハウスモデルの伝熱・結露シミュレーション

（1）解析対象

形状が水平・垂直線のみで構成され，モデル化も容易なバルコニーを扱った。バルコニーでは，図6のように，2階床根太が外壁のパネル状断熱材を貫通しているため，外気温が壁体内部及び室内側部材にほぼ直接伝わり，熱橋対策を行わなければ冬季には壁体内部に結露が生じる可能性が高い。断熱方法としては，張り出し根太の根元の壁体近辺に発泡ウレタンを吹き付けたり，外壁のパネル状断熱材の厚さを変えるなどの手法が考えられる。これらが防露対策として十分な性能を持ち得るか(結露を起こさないか)を判断することになる。

（2）TB3D/FDMの概要とその利用の目的

TB3D/FDM（Thermal Bridge by 3 - Dimensional Finite Difference Method）は，二宮らによって開発された差分法に基づく定常用伝熱解析ソフトウェアである。このプログラムは3次元の部材モデルを対象としてその差分メッシュの各格子温度（あるいは露点温度から許容度差）と表面熱流が計算できるが，その応用利用として熱物性値以外に湿気物性値を与えれば水蒸気圧分布計算も可能であり，ここから求めた露点温度と温度分布計算を比較すれば，結露判定まで行える。ただしこのソフトに用意されている表面熱伝達率は一般に用いられている室内外の表面総合熱伝達率であり，人工気象室における実大模型実験の結果とは個となることが予想される。また中空部の熱抵抗は熱容量のない仮想材の熱伝導率として与えられるが，その際に必要な熱流方向が3次元空間では（特にシミュレーションの段階では）確定しがたい面がある。

一方，材固有の物性値である熱伝導率は数種類のものに限定され，水蒸気分圧を求める際に必要な湿気伝導率（透湿抵抗を材厚で除したもの）も非常に限定されている。

本研究の最終目標は3次元モデルにおける温度・水蒸気分圧分布を人工気象室の結果を比較することにあるが，まず表面熱伝達率がどの程度影響するかを明らかにし，その次段階として用意した多様な物性値を計算に使用すること，そして3次元中空層の熱・湿気抵抗の扱い方の適切さの検証を行うことが必要と考えた。

そこで，4．1．4で求めた人工気象室内の表面熱伝達率をTB3D/FDMに適用し，従来の慣用値と温度分布が異なるかを調べることにした。なお同時に物性値も4．2．1で収集・整理したデータを利用した。

得られた結果は3次元可視化ソフトウェア用のデータファイルとして出力し，対象部分の温度分布・水蒸気圧分布・結露危険性を既往の慣用値・物性値を用いて求めた結果を比較した。以下にその一例を示す。

4．2．3　表面熱伝達率設定の影響

図7は筆者らが過去においてTB3D/FDMに用意されている物性値･境界条件値(以下オリジナルデータと呼ぶ)を使用して計算した場合の温度分布例である。図8は今回本研究で測定を行った表面熱伝達率と新たに収集した熱･湿気物性値を用いて計算した場合の計算例である。ともに室内外は同じ温湿度条件(室内側：20℃60%，外気側：0℃90%)である。両図は0℃～20℃を3次元カラーコンターで表したものであり，赤に近いほど高温(20℃に近い)であり，青に近いほど低温(0℃)である。両図を比較してみると，図7の温度分布図では壁体内部にある下枠ランナー・上枠ランナー及び側根太に赤みを帯びた黄色(＝17～18℃)が多くみられ，比較的高温であると判断できるが，図8の同じ部分を見ると，かなり黄みのみの色(＝15℃)である。別に計算した一次元の透湿計算から，この壁体の露点温度は約 9.6℃であるため，図7でも図8でも特に結露が発生するとはいえず，危険な状態ではない。しかしオリジナルデータと本研究で得られたデータを使用した場合では概ね 1～1.5℃程度の違いが生じており，これは無視し得ない差であると考える。より結露しやすい部分がある場合，両者の温度の違いが決定的な影響を及ぼす可能性もあろう。したがって，TB3D/FDMに用意された境

界条件（熱伝達率・中空部熱抵抗）や熱・湿気物性値に基づくシミュレーションの結果は未だその精度について再考しなければならないと考える。

５．まとめ

TB3D/FDM に用意された境界条件・物性値と，今回新たに人工気象室で測定した実際的な表面熱伝達率並びに収集・整理した熱・物性値を用いて計算した結果を比較し，TB3D/FDM による温度分布や結露判定の比較計算を行った。その結果 TB3D/FDM に含まれているデータを使用した場合と今回の研究成果を反映した計算では結露判定例が必ずしも一致せず，未だ十分な精度を持ち得ないことを明らかにした。しかし今回，実験とシミュレーションの両方が行えたのは簡易な２次元構造のスチールハウス壁体であり，本報告の４．２．３で行ったようなバルコニー部内部の中空層のように３次元的な熱流が発生するような複雑な場合までの実験までには至らなかった。今後３次元的な構造を含んだより実際的なスチールハウス壁体モデルを用いてさらに実験とシミュレーション結果のすりあわせによる精度確認が必要であろう。

1－5　日常安全性の観点より見た インテリア環境と人間との心理的対応関係

東京理科大学

教授 直井英雄

1．　研究の背景と目的

住居内で生ずる各種の事故（日常災害と総称する）の犠牲者は毎年4000人を数え、高齢化の進展とも相まって減る兆しを見せない。この災害のなかで、建築的にも有効な防止策を講じることができると考えられた種類の災害に対しては、これまでに様々な実験研究や人間工学的検討が加えられ、一通りは定量的な防止策が確立された状態にある。しかし、それらの検討はいわば物理的な面に限られたものであって、心理的な面についてはいまだほとんど手がつけられておらず、その点を加味したきめ細かい防止策にまではなっていない。たとえば、墜落防止の役目を持つ手すりや窓に関して、人間の重心に対応する物理的な必要高さは求められているが、このような高さに対しての要求は、この部位に対して人間がとろうとする心理的な行動特性によって本来異なってくるはずのものである。そのような観点からの研究はまだ例を見ない。

そこで、本研究は、日常安全性の観点から見たインテリア環境と人間との心理的な対応関係を、主として人間工学的実験を通して明らかにしようとするものである。具体的には、そのもっとも典型的な事例として①墜落防止用の手すりや窓と人間との対応関係をとりあげ、この部位に対して人間がよりかかる行動をとろうとするかしないかを分ける条件、および、②この部位前面に設けられた足のかかる部分に実際に足をかけて立つ行動をとろうとするかしないかを分ける条件を、可能な限り定量的に把握することを目的とする。

2．窓手摺の高さ・形状と人の寄りかかり行動との対応関係

2－1　研究目的

我々は、室内から外を眺めるときに、腰壁のある窓やそこに設けられた手摺に寄りかかるという行動を無意識的にとることがある。これは、見方を変えれば、窓や手摺が人に寄りかかっても良いという情報を発していることによるものとも考えられる。一方、法規上、墜落防止のために設ける手摺の高さは、１１０㎝以上と定められてい

るが、窓台や手摺のある窓などの高さについては、明確な規定はない。これは、人の寄りかかり行動との対応において、設計上定めるべきものとされているからであると考えられる。このような背景のもと、本研究では、住宅を含む各種建物において、手摺のある窓部位を取り上げ、その中で人間の寄りかかり行動に影響があると考えられる窓手摺の高さ・寸法をいくつか設定し、窓際に立つ人間の寄りかかり行動に、視覚的にどのように影響しているのかを実験を通して明らかにし、この問題に関する参考資料を得ることを目的とする。

２－２　実験方法

（１）設定条件

高さ・寸法の設定条件として、表１に示すように、手摺形状２種、手摺位置３種、床から窓台までの高さ４種、窓台から手摺までの高さ５種を設定した。

（２）実験装置

図１に示すような実験装置を作り、高さ方向の寸法条件は床台の寸法により変えられるようにした。

（３）被験者

学生１５人（男性１３人、女性２人）とした。

（４）評価方法

評価に当たっては、実験背景や素材による違い、装置の不安定さによる判断の違いは無いものとし、手摺と窓台との間は竪桟等で防護されているものとして、手摺に身を委ねるかどうかを判断させた。この場合、評価基準は「寄りかからない（０点)」「どちらとも言えない（１点)」「寄りかかる（２点)」の三段階とし、また、手摺無しの窓台のみの場合(４５・６０・７５・９０㎝)についても評価させた。

（５）データの身長補正

被験者の身長差による評価の違いを考え、すべてのデータを日本の成人男女平均身長の１６０㎝の場合の評価値に補正した。その方法は、まず実験条件値を身長比例により補正し、次に、共通の実験条件値における評価値を比例按分により求めた。

２－３　実験結果及び考察

（１）設定条件の影響程度の比較

評価平均値を目的変数とし、設定条件４つを説明変数として、数量化一類により分析した結果を図２に示す。この図は、正の値を「寄りかかる」傾向があり、負の値を「寄りかからない」傾向があると見ることができる。これを見ると、この傾向に対しては、床から手摺までの高さが最も強く影響しており、次いで手摺の位置が影響していることが分かる。また、手摺の断面形状と窓台から手摺までの高さは、ほとんど影響していないことが分かる。

（２）手摺高さおよび手摺位置の比較

図３は、手摺の断面形状を考えず、また窓台から手摺までの間隔を３０㎝と固定し

て、手摺の高さおよび位置による評価の違いを表したものである。内・外１・外２の順に評価がそれぞれ低くなる傾向が見られる。また仮に評価点１.５０以上を寄りかかるとした場合、床からの高さ９０㎝の条件内では、手摺位置が内側の場合のみ寄りかかる傾向を示していることが分かる。

（３）手摺高さ・手摺位置および窓台高さの比較

図４は、手摺の断面形状を除く他の３条件を比較したものである。ここからも窓台高さに関係なく手摺高さ１０５㎝以上および９０㎝・内側では寄りかかる傾向にあることが分かる。

（４）同じ高さの手摺と窓台の比較

図５は床から手摺までの高さと窓台のみの高さが同じ場合のグラフであり、これからも窓台の高さを基準にすると内側の手摺、それも丸手摺の方が評価が高く、外側は窓台のみの評価よりも低いことが分かる。

（５）手摺高さと手摺位置による評価結果の領域表示

図６は、（２）と同様、手摺高さ、手摺位置の違いによる評価結果をさらに領域に分けて表示したグラフである。このグラフからも、内側は９０㎝以上、また外側１、外側２は１０５㎝以上であれば寄りかかる傾向にあることが分かる。

２－４　まとめ

以上、人が手摺に寄りかかろうとする時、窓手摺から受ける視覚的な情報として、床から手摺までの高さ・手摺位置が大きく影響しており、日本人の成人男女平均身長を１６０㎝とした場合、高さは１０５㎝以上、位置は内側にあるほど寄りかかる傾向が強いこと、また、高さ９０㎝は手摺位置の違いで評価の違いが現れる微妙な高さであることなどが分かった。なお、これらの寸法は日本人成人男女の９９.９パーセンタイルの身長に換算するとそれぞれ１１５㎝、９９㎝となる。今後は、この知見を踏まえて、設計上どのように考えればいいか、更に検討を加える必要がある。

３．足がかりを持つ墜落防止用手すりに対する成人の行動特性

３－１　研究目的

バルコニー等に設けられる墜落防止用手すりの必要高さについては研究上の知見も多く、また法規にも規定がある。しかし、手すり前面に設けられる足がかり状の部分に通常の成人が登ると考えるか否かによって、その高さの取り方が異なってくる。この問題に関しては、直井研究室の過去の研究にも「足がかりを持つ柵状部位に対する成人の行動特性に関する実験研究」があるが、平らな床の上での模擬的実験装置を用いた実験であったため、信頼できるデータが出ていないのではないかとの危惧もある。そこで本実験では、より現実に近い環境での実験をすることにより、過去のデータと比較検討する余地があるのではないかと考えた。すなわち、吹き抜け部に面した１１

0cm の手すりに対し、通常の判断力を備えた成人が、平常時何気ない行動で、どの程度の寸法（高さ、幅）の足がかりの場合に、その上に足をかけて登るか、あるいは登らないかの行動特性を実験的に把握し、検討することを目的とした。

3－2　実験方法

（1）実験装置

国民生活センター--の家庭内事故解析棟を使用し、吹き抜けに面した2階部分で実験を行った。図6－1、6－2に実験装置を示す。竪桟・壁形状は、取り外し出来るようにすることで変えられるようにし、足がかり部位は高さ・幅ともに5cm 単位で変えられるようにした。

（2）設定条件

足がかりについては、過去の実験結果より、高さ・幅方向ともに最大30cm のところで登る・登らないの判断がされているため、表2に示すように手すり高さは固定（110cm)、手すり形状2種、立ち上がり高さ5種、立ち上がり幅5種を設定した。

（3）被験者

学生15人（男性12人、女性3人）とした。

（4）評価方法

被験者に実験主旨を十分に説明したのち、実験装置を体験してもらいながら評価を求めた。評価基準として「登らない（0点)」「どちらともいえない（1点)」「登る（2点)」の三段階で点数評価してもらい、被験者本人の行動傾向（質問1)、および成人一般の行動傾向（質問2）について判断を求めた。

（5）データのとりまとめ方

以上の方法でとった個人データをもとに、図7に示すように、各被験者の設定条件を日本人成人男女平均身長の160cm の場合の寸法に補正し、評価データの評価点1．5を境界とした時の足がかり高さ・幅を求めた。次に両軸上で境界と評価された足がかり高さ・幅の平均・標準偏差を求め、その平均を用いて、図7に示す計算式で求められた身長の人に対する値にそれぞれ補正することにより、日本人の95％タイルの身長の人の境界を提示した。

3－3　実験結果および考察

（1）設定条件の影響程度の比較

図8は、評価平均値を目的変数とし、設定条件5つを説明変数として、数量化一類により分析した結果である。正の値を「登る傾向がある」、負の値を「登らない傾向がある」と見ることができる。これを見ると、当然のことながら足がかり幅と足がかり高さが最も強く影響しており、質問形式、性別、手すり形状はほとんど影響していないことがわかる。また、手すり形状の竪桟・壁有りの差はほとんど無いため、以下の集計では壁有りの考察は省略した。

（2）登る・登らないの境界の比較

図９は質問 1 の高さ方向に関し、日本人の平均身長に補正した個人別データ及びその平均と標準偏差を示し、見やすさを考慮してなめらかな線にしたものである。なお、幅方向の算定は境界線の傾きから考えて当然ではあるが極めて不安定なものであったので、ここでは高さ方向での集計結果を用いることとした。

（３）過去の実験結果との比較

図１０は質問１・２における平均値を用い、日本人成人男女の身長分布の９５％タイルに補正した値と、過去の室内実験の９５％タイルの値を重ねて示したものである。これを見ると、本実験の質問１・２の結果には著しい差異はない。また、本実験では足がかり幅が増加しても足がかり高さは大きくは増加せず、被験者は足がかり高さの方を強く意識しながらで登る登らないの判断をしていると考えられる。過去の実験では足がかり幅が増加すると足がかり高さが増加しているが、これは同一平面上での実験であったために、落ちる危険を感じない状態で単なる登りやすさを判断したためではないかと考えられる。

３－４　まとめ

以上の結果をもとに、図１１のような領域を提案する。この提案する領域は本実験結果と過去の実験結果を満足するとともに、図９などにも見られる評価のばらつきも考慮したものである。ただし、要注意の幅は特に明確な根拠を持つものではない。したがって、この提案を実際の設計参考にする場合、あいまいな領域での設計、特に危険側となる場合の設計は避けるべきである。

４．今後の課題

以上、設定した 2 つの具体的な研究テーマについては、本研究により、設計の際に参考になりうる知見が得られたと考える。しかし、現実に見られる心理的対応関係に関する実験上の再現方法の的確性や、今回の被験者の選定などを批判的に考慮すると、例えば何らかの基準に結びつけるような普遍的な知見とするにはまだ問題が残る。このような点の追求は、今後の課題である。また、本研究で具体的な研究テーマとして設定していない心理的対応関係も、インテリア環境のなかではいろいろと考えられる。それらについての究明も、すべて今後の課題である。むしろ、本研究は、タイトルに掲げる問題意識、あるいは研究領域に対して、先鞭をつけた研究としての意味を持つものではないかと考えている。

なお、本研究は、千葉工業大学上野義雪氏、文化女子大学渡辺秀俊氏との共同研究として行ったものである。ここに記して、謝意を表する。

1－6　通風の高度利用を目的とした換気量計算の精度向上に関する研究

東京理科大学工学部建築学科
助教授　倉渕　隆

1　風向正面の場合に関する検討

1.1 はじめに

通風など建物内外気流が相互に影響を及ぼす複雑乱流の構造を解明する手段として，風洞実験の活用が一般的である。しかし，風洞実験では空間の静圧分布など現象解明に必須のデータ収集が困難であり，計測技術上の限界が研究進展の障害となっている。風洞実験を代替する検討手法として数値シミュレーションが注目され，k-ε モデルを用いた計算が実用予測法として広く実施されている [1]。しかし，建物前面の衝突域等での乱れの過剰評価等，問題が多い。そこで，より primitive な手法として Large Eddy Simulation（以下 LES）を用いた数値シミュレーションが一部で試みられている [2]。LES では格子スケールの局所空間平均量を予測対象とするため，本質的に非定常計算を要するが，近似が少なく乱流そのものの研究に適している。本研究では，まず単純建物周辺気流を対象に LES と風洞実験を比較してその妥当性を検討した。さらに，通風を想定した計算を実施し，建物内外の乱流構造解明を試みた。

1.2 非対称チャンネル乱流計算と風洞実験の比較 [3]

LES の流入境界条件の作成を考慮して，東京工芸大にて作成した風洞アプローチフローの再現を試みた。対象は市街地風を想定し，1/4 乗則に従う乱流境界層とする。壁法則に粗度を用いる

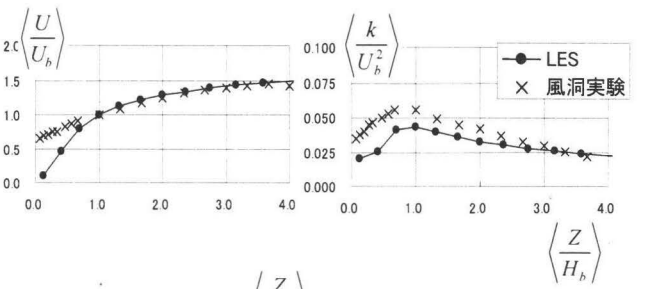


図1　風速のプロフィル　図2　乱流エネルギー

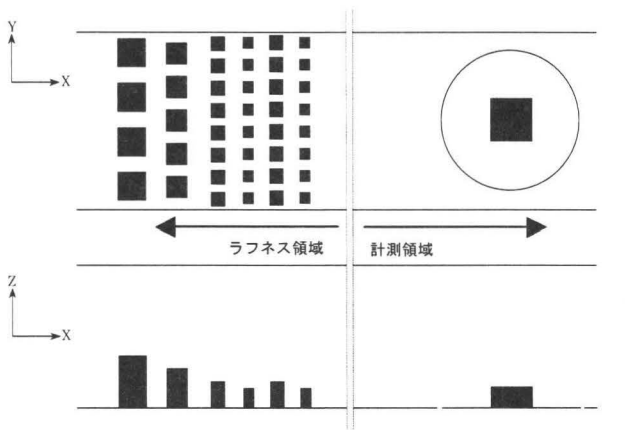


図3　概念図

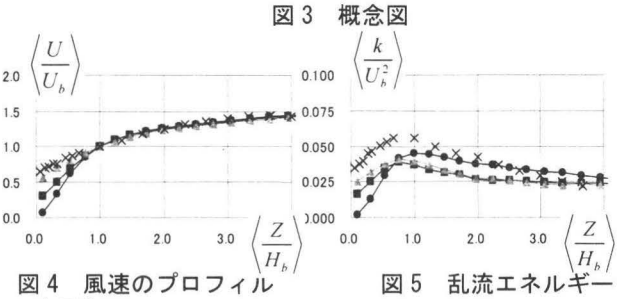


図4　風速のプロフィル　図5　乱流エネルギー

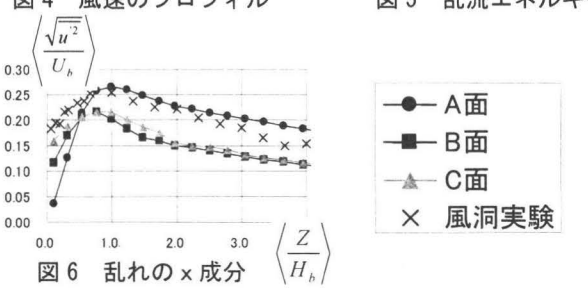


図6　乱れの x 成分

計算を実施し，風洞天井面粗度を Z_0 =0.001,床面粗度を Z_0=0.01 とした。また，主流方向，スパン方向に周期境界条件を用い，乱れの主流方向成分がピークとなる壁からの離隔距離，その地点における時間平均風速を基準とし，風洞実験との比較を行った。結果を図 1，2 に示すが，風速に関して両者は壁面近傍を除いて一致した。乱流エネルギーに関しては LES がやや低い結果となったが，類似した分布となった。

1.3 風洞気流シミュレーション

前節の方法で得られた解は図 3 に示すラフネス領域の気流に相当するため，これに続く計測領域の気流の再現を試みた。流入境界条件として粗度を用いた計算結果をストックしたものを用いた。

風洞壁面として平滑面を想定し，流出境界条件として自由流出を仮定したオイラー型境界条件を用いた。計算領域は風洞実験装置（幅 1.2m高さ 1.0m）と断面形状がほぼ同一となる寸法比 2.0:1.15:0.98 の空間とした。風洞高さを基準長 h とし，流入地点（A 面），流入地点より下流へ 0.5h 地点（B 面），h 地点（C 面）におけるデータの断面平均値を風洞実験と比較した。図 4 に時間平均風速を示すが，流入地点から下流に向かうほど壁面近傍で加速し，風洞気流に近づいている。図 5 に乱流エネルギーについて示す。ピーク値は減衰するが，壁面近傍の乱れが増加し，分布形状は風洞実験に近づいた。図 6 に主流方向成分の乱れを示すが，下流に向かうほど乱れの等方化が進み風洞実験に近づく。以上より，今回の方法で風洞気流と類似したアプローチフローが再現可能と判断した。

1.4 建物周辺気流の再現

前節の結果を踏まえて，開口部無しの建物模型を設置した状態での LES 計算を行った。流入データは今回の計算に併せ

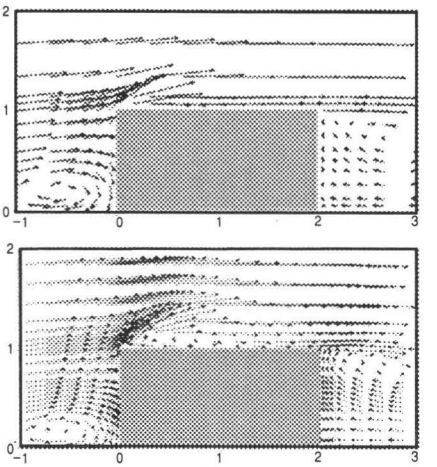


図 7　風洞実験（上）と LES（下）時間平均風速ベクトル図

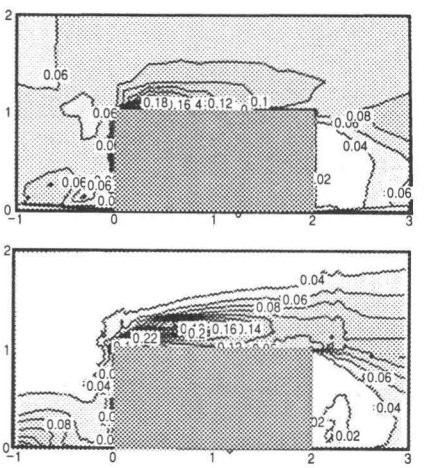


図 8　風洞実験（上）と LES（下）乱流エネルギー

表 1　通風量の比較（無次元値）

風洞実験	k-ε モデル	LES
0.043	0.041	0.042

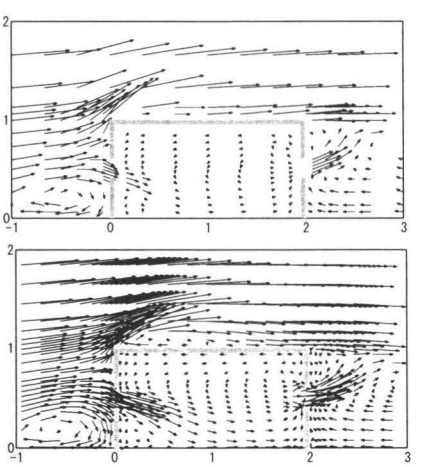


図 9　風洞実験（上）と LES（下）風速ベクトル図

たドライバー計算を再度実施し，メッシュに合わせて風速データの直線補間，平均流のプロフィルが風洞実験に正確に一致するように高さ方向の補正を行った[4]。計算時間は助走計算の後，Δ t =0.005 で20万ステップとした。図7に風洞実験とLES の時間平均風速を示す。建物前方の渦，屋根前方部分の剥離の様相，建物後方の渦がよく対応した結果となった。図8に風洞実験とLESの乱流エネルギーを示すが，両者の分布には屋上面，渦において差があるものの，k-εモデルにおける建物前方部の乱流エネルギーの過剰評価は見られず，妥当な結果を得た。

1.5 通風時における建物内外の気流性状

これまでの結果から建物周辺気流は十分な精度で再現可能と判断し，開口を持つ建物を対象とした計算を試みた。表1に風洞実験とk-εモデル，LESとの通風量の比較を示す。通風量は非常に良く対応した結果となった。図9に風洞実験とLES の時間平均風速ベクトルの比較を示す。開口ありの条件でも実験と計算の対応は良好であり，流入及び流出部の気流の様相も良く再現されている。図10に風洞実験と LES の乱流エネルギーを示す。建物内部に注目すると，上流側開口部の風下側でkが比較的大きい値をとり，斜め下方に流入する主流に沿って拡散している点など類似した様相となった。図11に中央鉛直断面の風圧係数に関する比較を示す。k－εモデルで特徴的であった建物前面における風圧係数の過大評価は見られず，風上，風下面共によく対応しており，屋根面についても概ね一致していると判断できる。最後に図12に建物風上面と風下面の風圧係数について示す。建物風上面の風圧係数がやや過大評価の傾向があるものの，類似した分布となった。

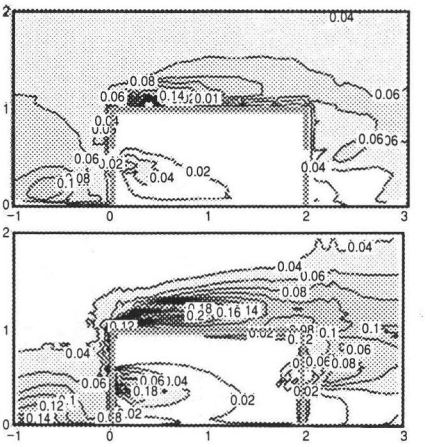


図10　風洞実験(上)とLES(下)乱流エネルギー

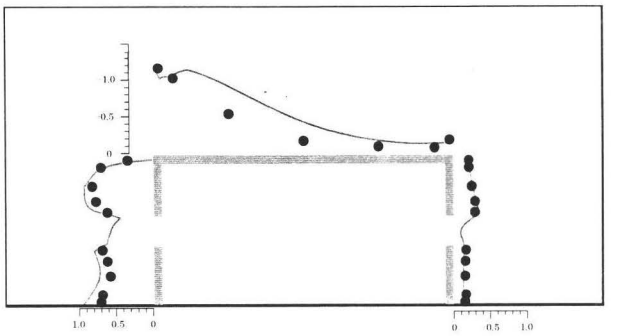


図11　中央鉛直断面の風圧係数

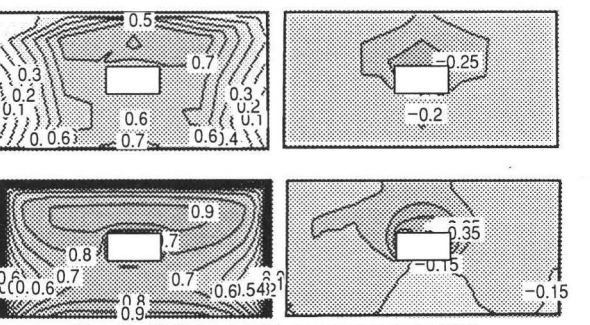


図12　建物風上面と風下面の風圧係数
(上：風洞実験　下：LES)

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial U_j W}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\overline{u_j w} - \nu\left(\frac{\partial W}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial z}\right)\right] \cdots ①$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} \cong -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial z} - \frac{\partial UW}{\partial x} - \frac{\partial \overline{uw}}{\partial x} - \frac{\partial W^2}{\partial z} - \frac{\partial \overline{w^2}}{\partial z} \cdots ②$$

U_i ： x_i 方向平均風速

W ：鉛直方向平均風速（上向き正）　w ：鉛直方向瞬時風速

x_i ：デカルト座標　　P ：平均圧力

z ：鉛直方向座標　　ν ：動粘性係数

u_i ： x_i 方向瞬時風速　　ρ ：密度

1.6 計算結果の分析

前節の結果より，LES による計算結果は実験を行った風速ベクトル，乱流エネルギー，風圧力についてよく対応することを確認した。このことより，実験的評価が困難な静圧などの値に関しても，今回の計算結果はかなりの精度で実状を反映していると期待することができる。そこで通風で特徴的な三項目についての分析を試みた。

(1) 通風気流の降下の原因

通風時の気流の特徴として流入気流の著しい下降が挙げられる。この原因を解明するために，開口部中心を通る中心軸に沿って，力の収支を求めることを試みた。まず，鉛直方向の運動量保存式は，①式となる。粘性と対称性からスパン方向微分を無視すれば②式と表すことができる。図 13 に式②の各項の大きさを具体的に評価した結果を示す。なお，式②の右辺の合計は概ね 0 となることは予め確認しており，振動を除去するため軸方向に計算結果を平滑化している。まずアプローチ気流は，X=-1.0 地点付近で循環流端部に達し，循環域外周に沿って建物に接近する。この領域は主流方向速度がほぼ一定で鉛直速度が正から負に変化するため，式②の右辺第二項は正となる。開口部に十分接近するとWが負かつほぼ一定であるが，主流方向に加速が生じ，同じく正値をとるため，図 13 に示すようにこれらの領域で第二項は大きな正の値をとる。また循環域では$\overline{w^2}$が大きいため右辺第五項による正の寄与も無視できない。流れを下降させる要因は，これらの作用を相殺する式②中の負成分と考えられるが，図 13 より-1.0 付近から開口部近くまで，右辺第一項の圧力項が対抗していることが分かる。その後開口部に十分接近すると圧力項も正へと転じ，唯一負値となるのは第四項のW成分による運動量輸送となる。以上より，流入気流の下降の一次要因は建物全面下部の循環域による圧力

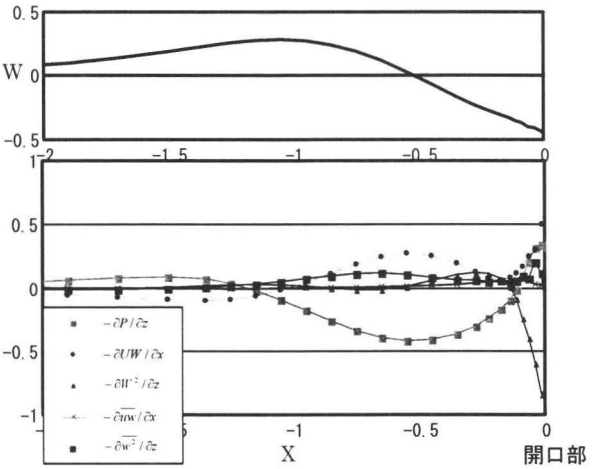


図 13　鉛直方向成分の風速と成分項毎の比較

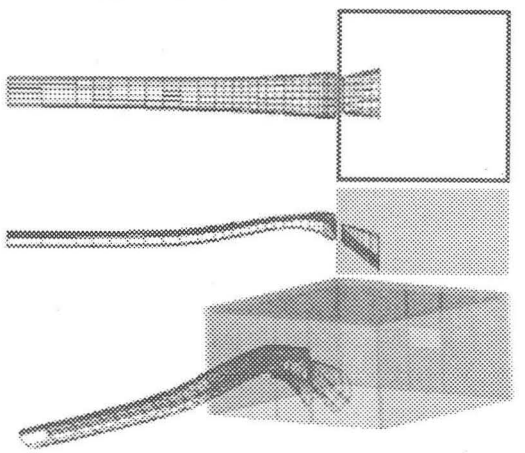


図 14　流管の様相

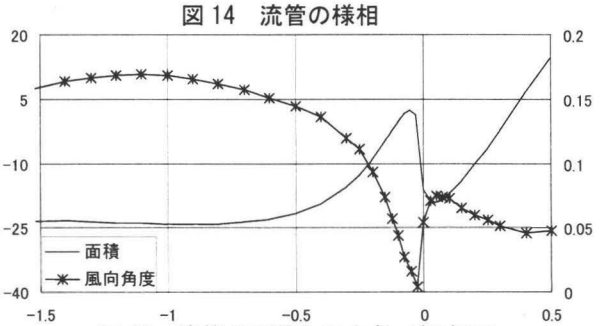


図 15　流管の面積と風向角（鉛直面）

$$\frac{\partial K}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[U_j(K+P)\right]=-\frac{\partial}{\partial x_j}\left(U_j\overline{u_iu_j}\right)+\overline{u_iu_j}\frac{\partial U_i}{\partial x_j}\cdots③$$

平均流のエネルギー輸送方程式

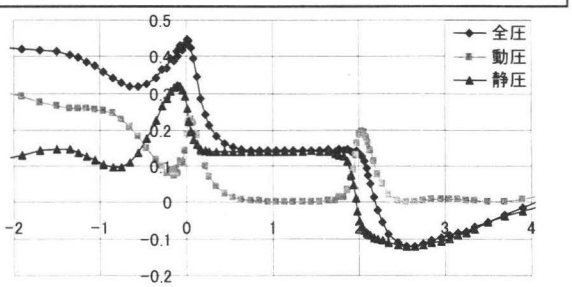


図 16　中心軸における圧力分布

勾配であり，流入の最終段階では下向き運動量輸送が重要となることが分かった。

(2) 開口部を通過する流管の形状変化

全圧損失のメカニズムを解明することを目的として，風上側開口部を通過する流管の計算を試みた。計算は開口部を 100×100 に分割してマーカーを飛ばし，各計算メッシュを通過するたびにその地点での風量，流断面積の計算を繰り返す方法を用いた。その結果，開口部上流側では上流境界まで遡ることが可能であったが，下流側では流管がねじれて十分下流までの追跡は不可能となった。図 14 に計算した流管の平面，立面図を示す。流管は当初，開口部よりやや小さい流断面積を維持して開口部方向に直進するが，建物前面の循環に押し上げられて上昇しつつ，スパン方向に引き伸ばされ，その後の下降に伴う減速によって急速に流断面積を増し，開口部に十分接近すると再び加速して縮小し，開口部に流入する。室内に流入後は急速に流断面積を増して減速する。このように，開口部を通過する流れは，減速，加速，減速が短い区間で生じる複雑な流れにより形成されていることが分かった。図 15 に流管の面積と風向角について示す。開口部流入直前には最大約 40 度の下向き角度に達している。

(3) 圧力損失に関する検討

粘性の影響を無視した平均流のエネルギー輸送方程式は式③のようになる。これを流管に適用すると，流管の全圧変化は検討区間の流管表面における Re 応力に抗してなされた仕事と流管内部の k の生産項に対応することが分かる。まず，図 16 に開口部中心軸に沿った静圧，動圧，全圧の変化を示す。全圧が開口部上流側で大きく変化しているのは，気流の軌道を無視しているためである。次に流管に沿って流管内部の流量による重み付け平均で表した結果を図 17 に示す。アプローチフローは開口部に到達するまで，加減速による静圧，動圧間でのエネルギー変化が生じるが，全圧変化は小さい。流管が開口部に達すると，まず大きな静圧低下が生じ，開口部通過後に動圧と静圧の低下が同時に生じている。図 18 に開口における圧力の比較を示す。実験では開口部中心における，水平面内の速度成分とその地点での開口なしの場合における風圧力を測定している。ただし鉛直方向に関しては先の図 15 に示すように，下向きに風速をもっているので，開口部の風向角度により動圧の補正を行ったものを用いた。全圧は開口無しの模型にて風圧力を測定しこれを全圧とした。また静圧に関しては（全圧－動圧）と定義した。LES では流管の平均値を示している。風洞実験と計算は室内圧を除き概ね対応した結

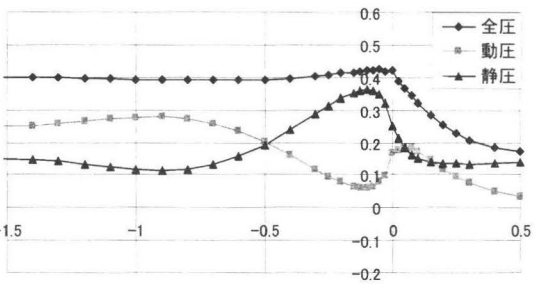


図 17　流管による圧力分布

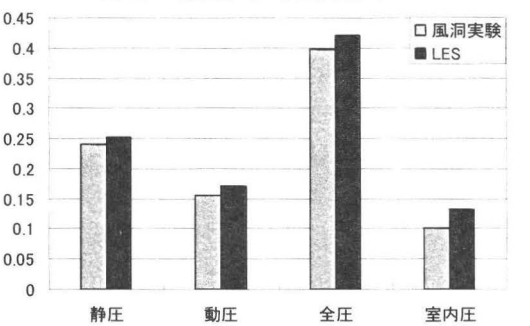


図 18　開口における圧力の比較

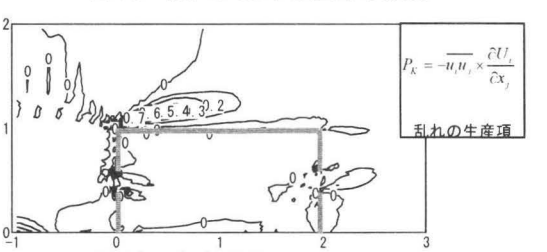


図 19　生産項 Pk

果となった。次に開口通過直後に起こる全圧損失について検討するために図19に生産項の分布を示す。前面開口通過後に乱れが多く生産されており，これが圧力損失の原因と考えられる。また実験，計算ともに全圧損失は動圧損失の約1.5〜2倍となり，良く対応した。

1.7 まとめ

本研究により以下の知見を得た。

① 流入条件を含めてLESの計算結果と風洞実験結果を比較することにより，シミュレーションの精度を確認した。

② 流入気流の降下では前半は循環の形成による圧力勾配，後半では運動量輸送によることがわかった。

③ 開口部を通過する気流のエネルギー変化を分析するために流管を想定し，圧力損失を調べた結果，開口部到達以前の損失はほぼ無視でき，到着後の損失は乱流エネルギー生産によるものであることが明らかになった。

【参考文献】

1) 飯野，倉渕，小林，嵐口：風洞実験およびCFDを併用した通風時の開口条件や主風向が異なる場合における建物内外の気流性状に関する研究　日本建築学会計画系論文集　第520号，1999

2) 富永，村上，加藤，持田：通風時の建物内外気流のLarge Eddy Simulation 日本建築学会大会，1991

3) 岩渕，倉渕，嵐口，大場：LESにおける非対称チャンネル乱流の解析に基づく風洞アプローチフローの再現に関する検討　日本建築学会関東支部，1999

4) 林吉彦：東京大学学位論文，1990

2 風向角可変の場合に関する検討

2.1 はじめに

引き続き，風向角度を変動要因とした場合のLESを実施した。計算結果は一部風洞実験結果と比較し，計算の妥当性について検討した。既往研究によれば流量係数は風向角度が大きくなると急激に低下し，これが通風量の推定に顕著な影響を及ぼすことが知られている。本報ではこの点を踏まえ，風向角度が変化した場合の建物内外の乱流構造に関し，計算結果の分析による検討を加えた結果について述べる。

2.2 計算と実験の概要

(1)計算概要

適用したLESの計算手法は基本的には前報の正面風の場合と同様であるが，風向角度がある場合には上流下流各二面で流入流出となり，この部分の境界条件設定が問題となる。今回は図1に示すように，正面風を想定したドライバ計算に対し，風向角度がついたことによる流入地点の相違を時間の相違に置き換え，ドライバ計算結果をベクトル分解して与える方法を用いた。従って，流入境界各地点に転写される流入風速は，その位置により異なる時間のドライバ計算結果が用いられることになる。また，流出境界条件としては，流出面と法線方向の瞬時平均流出速度成分に基くオイラー型流出境界条件を用いた。

(2)実験概要

実験的評価を行ったのは通風量，室内風速ベクトル，開口部流入風速，開口部全圧，及び通風気流が開口部に流入する様相に関する可視化である。通風量評価に関しては，室内にてエチレンガスを連続放出し，流出口付近での濃度を測定することによって評価した。室内風速ベクトル及び流入風速については，図2に示すスプリットフィルム型風速計を設置して測定した。開口部全圧は図3に示す全圧

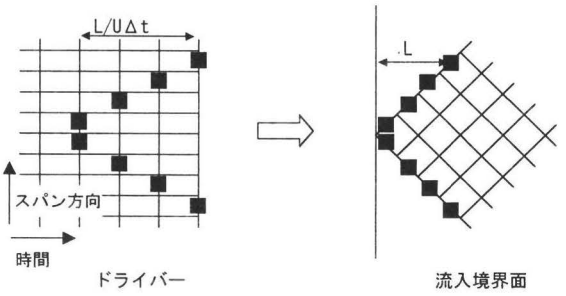


図1 流入の場合の補正

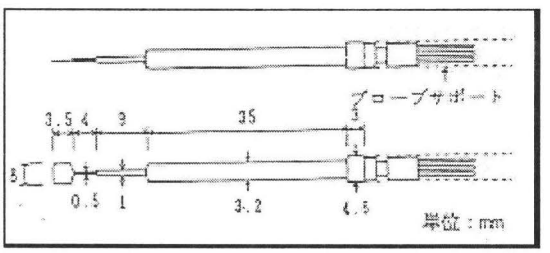


図2 スプリットフイルムプローブ

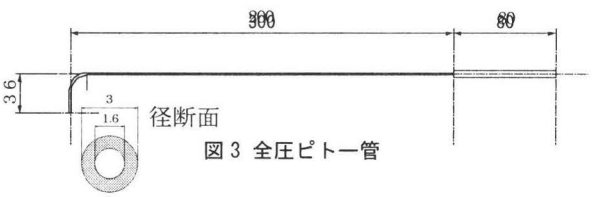


図3 全圧ピトー管

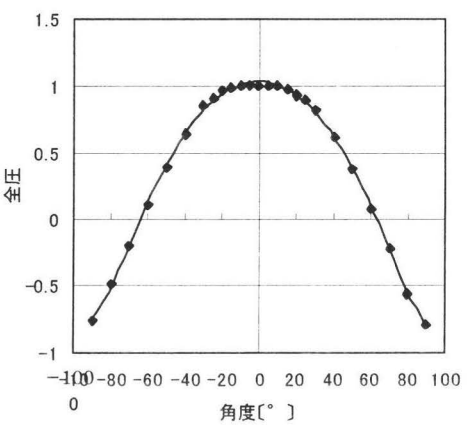


図4 全圧ピトー管指向特性

ピトー管を開口部中央地点に設置して測定した。なお，使用した全圧管の設置風向に関する測定感度については，図4のように実験に先立って評価した。図より，全圧管を真の風向に関し±20°の範囲で設置すれば，充分な精度で全圧の測定が可能であること，この範囲を超えて設置すると，全圧は過小評価されることを把

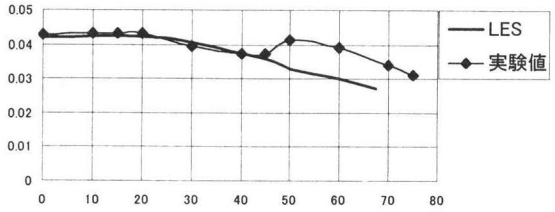


図 5 通風量

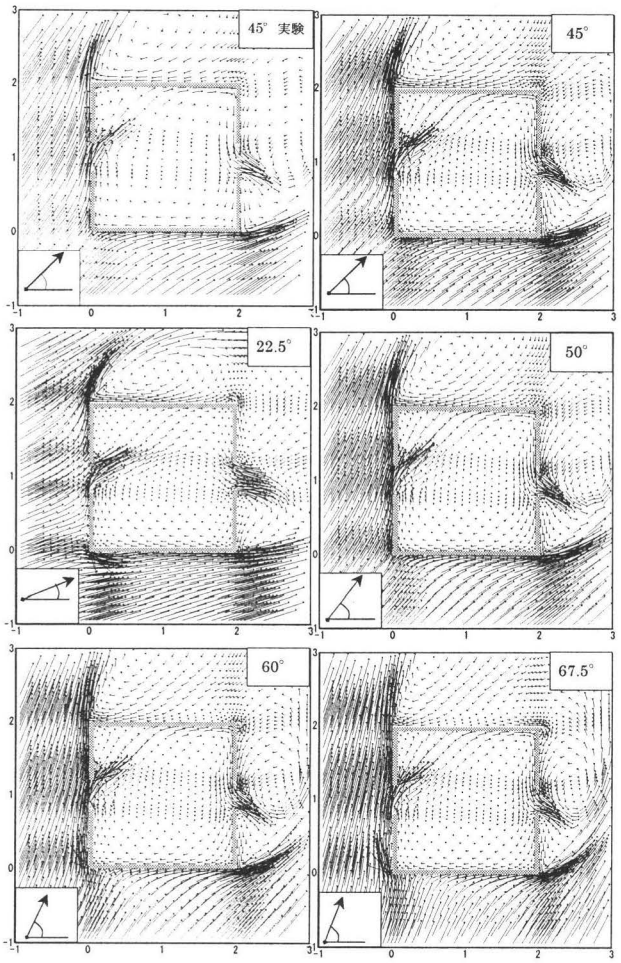


図 6 風速ベクトル（水平断面）

握した。一方，通風気流の可視化に関しては，専用の建物モデルを別途作成し，可視化風洞に暗幕をかけて背景を充分に暗くした上で，開口部付近をハロゲンランプによるスリット光源にて照射した。風上側開口部上流側にオンジナオイルによる煙を発生させ開口部を通過する煙の様相をデジタルカメラにて記録した。

2.3 計算と実験の比較

以下では，風向角度が正面以外の場合の

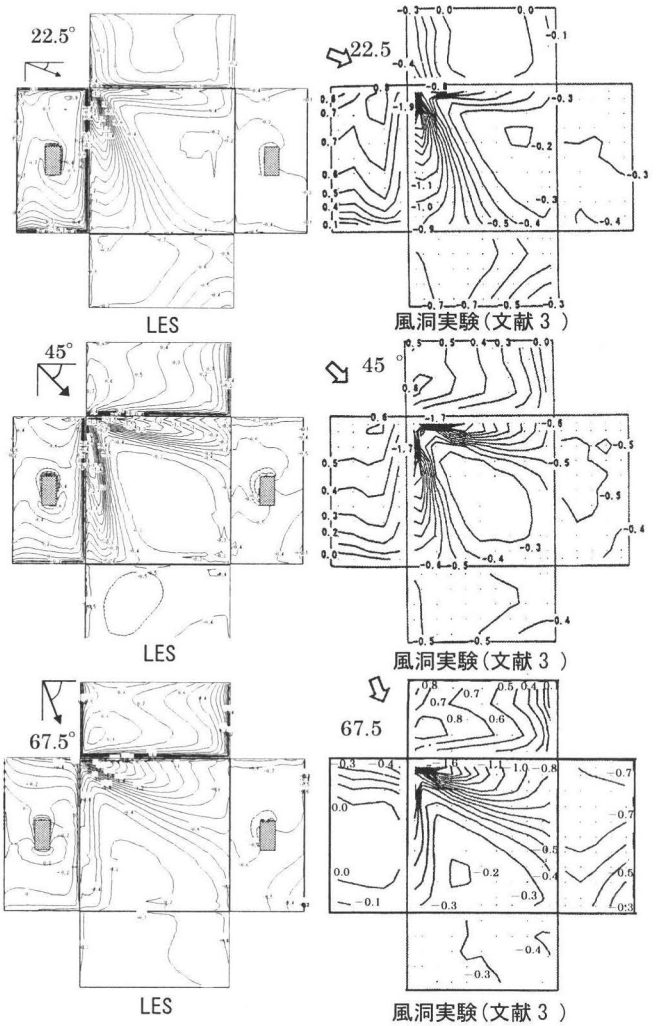


図 7 風圧係数に関する比較

LES による計算結果の様相を検討すると共に，一部風洞実験との比較に基き，計算精度に検討を加えた。

(1) 通風量

図 5 に通風量に関する風洞実験[1,2]との比較を示す。風向が 45° までは実験と良好に対応するが，これを超えると対応が悪化する。この点については実験上の誤差の可能性を含め，今後の検討を予定している。

(2) 風速ベクトルの比較

図 6 に風速ベクトル計算結果を示し，一部の条件については風洞実験結果と比較する。風向 45° の条件については、アプローチ気流が風上コーナー部分から前面の壁に沿って進み，建物進入後は概ねアプローチ気流風向に復帰するなどの様相

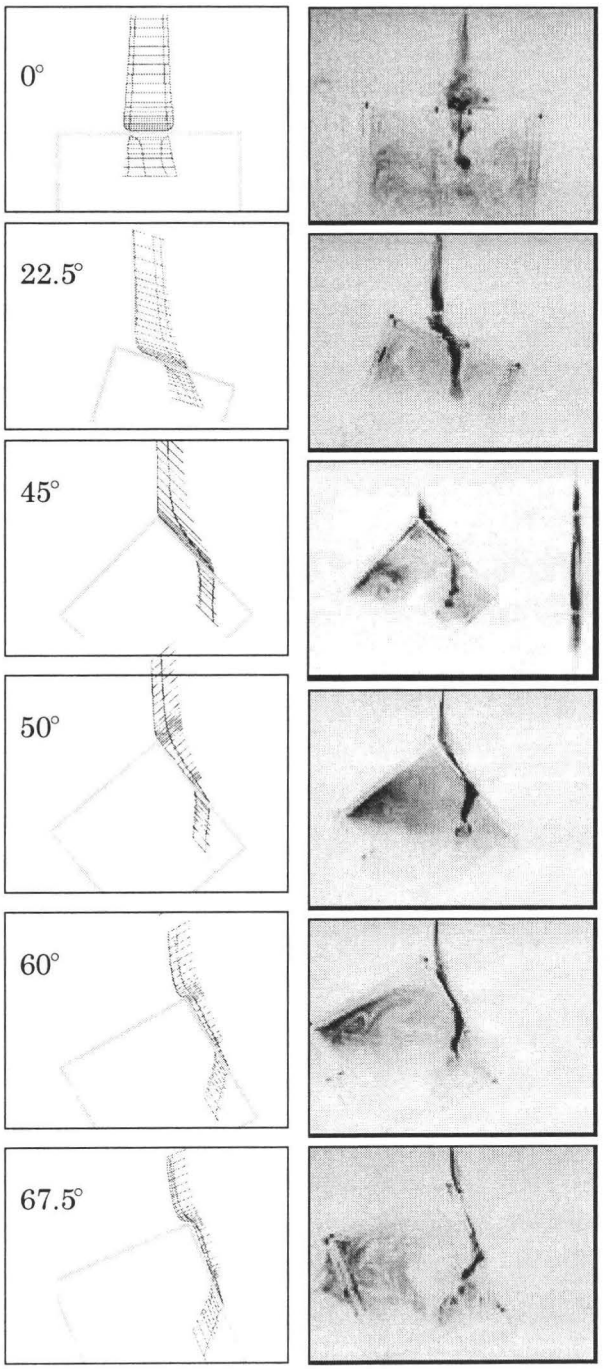


図 8 流入気流の様相

が観察され，風洞実験結果を的確に再現している。風向角度の変化の影響について概括すると，アプローチ気流は風向角度 45° までは建物前面に沿って開口部に進入する様相となるが，それ以上の風向角では風上コーナーでの剥離の影響が見られ，この点については後に詳しく分析

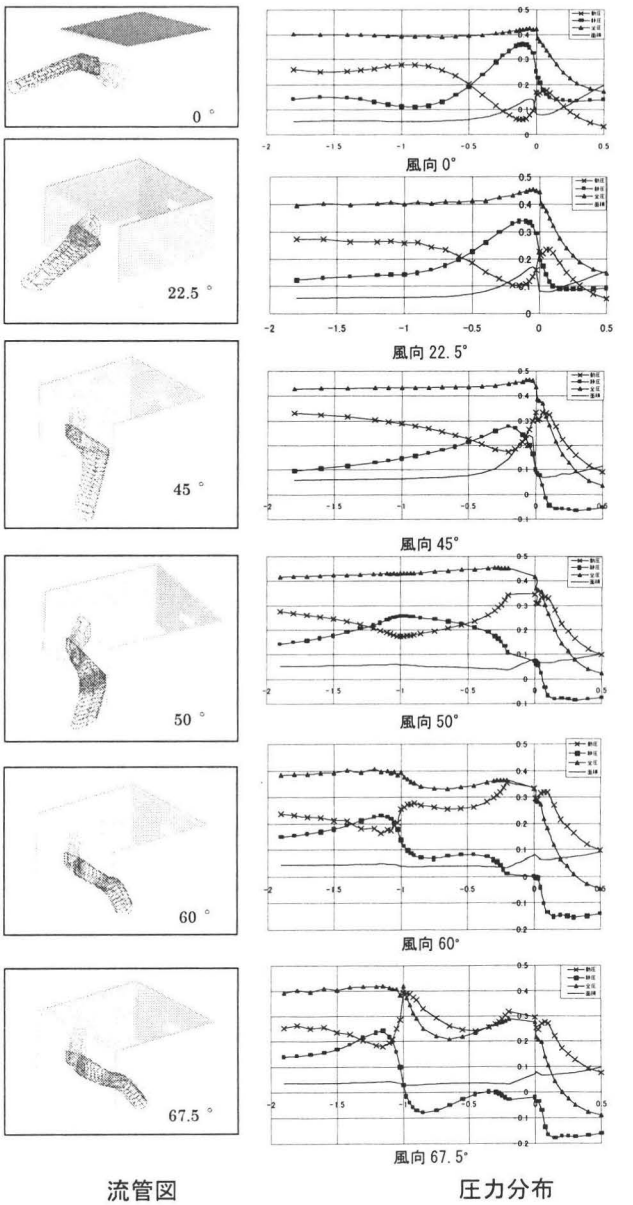


図 9 流管の様相

する。室内への流入角は，風向角度 45° 程度までは風向角に応じて変化，その後概ね一定となる。建物進入後の室内気流は時計回りの循環となり，流入と反対の風向角で流出する。

(3) 風圧係数の比較

図 7 に風向 22.5° ，45° ，67.5° の条件に対する風圧係数計算結果と開口無しの条件での既往実験結果 [3]の比較を示す。屋根面での負圧ピークがエッジから離れた地点で生じることなど，極めて良好な対応を示しているといえる。

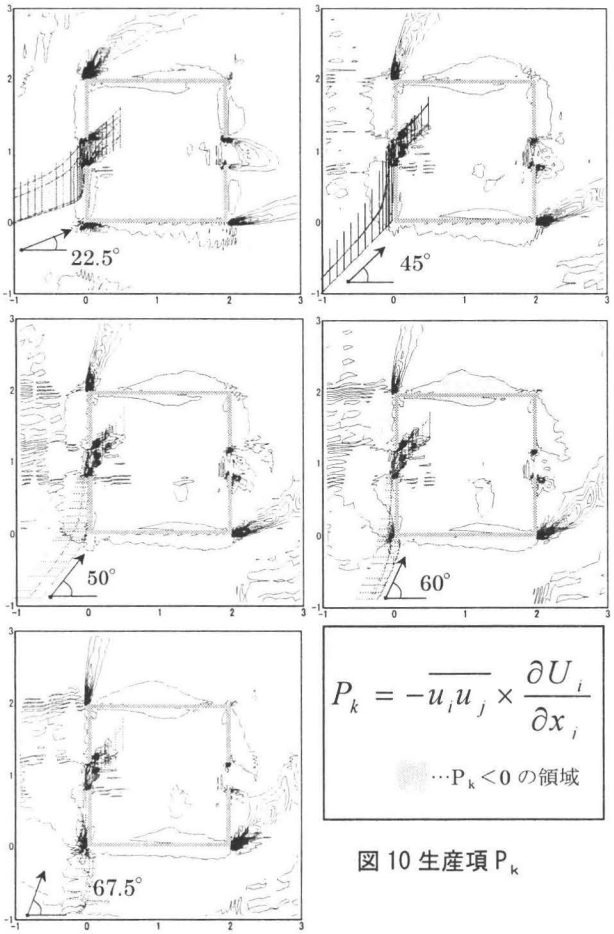


図 10 生産項 P_k

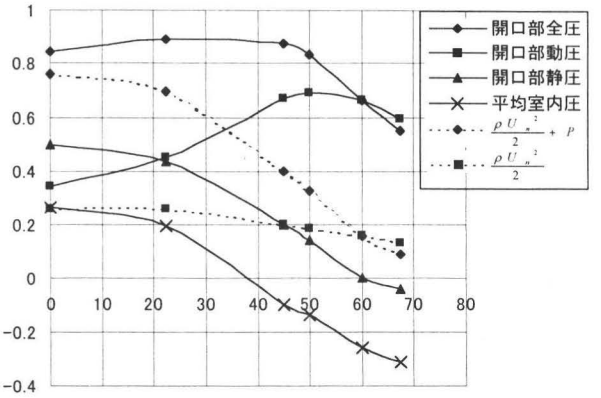


図 11 風向角による開口部における圧力変化(LES)

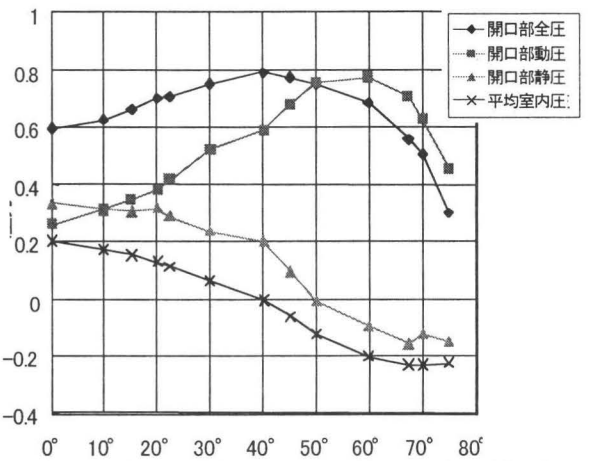


図 12 風向角による開口部における圧力変化(実験)

2.4 計算気結果の分析

(1)仮想流菅の形状変化

開口部を100×100に分割してマーカを風上側，風下側に飛ばし，マーカーの軌跡から開口部を通過する流管形状を推定した結果を，可視化結果と対比して図 8 に示す。風向 0° では流管は風上壁面に接することなく室内に到達しているが，風向が 0° を超えると風向角度が増すにつれ，風上壁面との接触面積が増大し，風向 45° では接触部分の上流端部が風上コーナーに達している。風向が 45° を超えると風上コーナーに達した流
管が風上面から一端離脱した後に再付着する様相が見られ，風向角度が大きくなると流管の剥離が顕著となる。また，室内への流入角度は風向が 45° を超えるとやや小さくなる傾向が見られる。
可視化実験結果はこれらの様相を概ね再現しているが，仮想流管の剥離や，風上角部付近での複雑な気流などの様相については，明確に観察されない。

(2)流管内の圧力変化

流管中の計算メッシュ界面にて動圧，静圧，全圧を計算し，流管中における圧力変化を求めた結果を仮想流管の様相を含めて図 9 に示す。図によれば流管の剥離の生じない風向 0° ～45° の範囲では，気流の加減速による静圧，動圧間での圧力変化があるが，両者の和である全圧の変化は小さく，この区間での圧力損失は無視できることが分かる。一方，風向が 45° を超えて増大すると，風上コーナー部分で全圧損失が生じており，風向角度の増加に伴って損失が増加している。開口部に進入後，窓枠部分で静圧が低下，引き続き室内に進入後に静圧の急激な低下と動圧の相対的に緩やかな低下が生じ

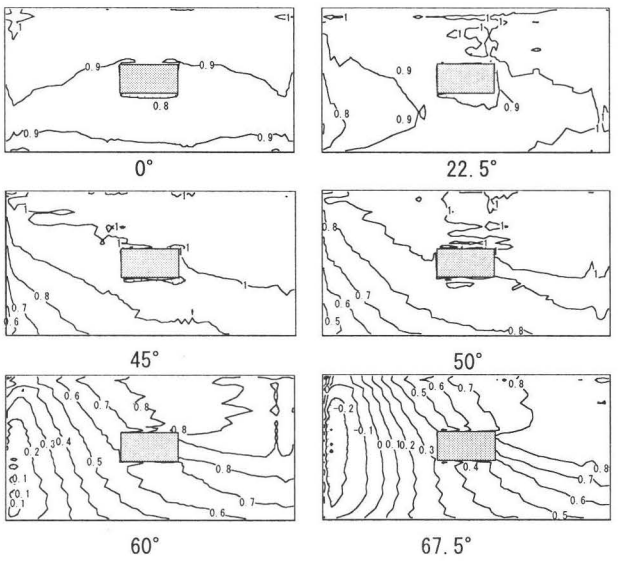


図 13 風上面における全圧分布

ている。

(3) 全圧損失の原因

開口部前後の全圧変化が風向の影響を受ける原因について検討するため，全圧変化の主要要因と見られる乱流エネルギー生産項 P_k の空間分布を流管形状と重ねて表示した結果を図 10 に示す。図によれば，風向 0° ～45° の範囲では開口部から風上コーナーに至る領域で，P_k はわずかながら負値を取っており，この領域を通過する流管内で全圧変化が小さいことと符合している。一方，風向が 45° を超えると，風上コーナーでの気流の剥離に伴う P_k の急激な増加が認められ，全圧低下が風上コーナー部分で生じることを合理的に説明している。

(4) 風向による開口部圧力変化

開口部における静圧，動圧，全圧及び，室内静圧を風向角度を変数としてプロットした結果を図 11 に示す。図では風圧力との対応を見るため，開口部に垂直な風向成分のみを動圧とした場合の結果も併せて示す。また，同様のプロットを，全圧は全圧管測定結果，動圧はスプリットプローブ測定結果，静圧は全圧－動圧として評価した結果を図 12 に示す。図 11 によれば，開口部全圧は 0° ～45° の範囲で概ね一定，その後急激に低下している。

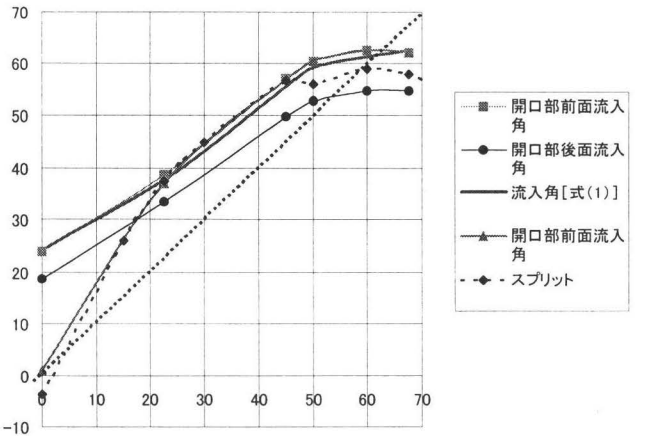


図 14 風向角、流入角

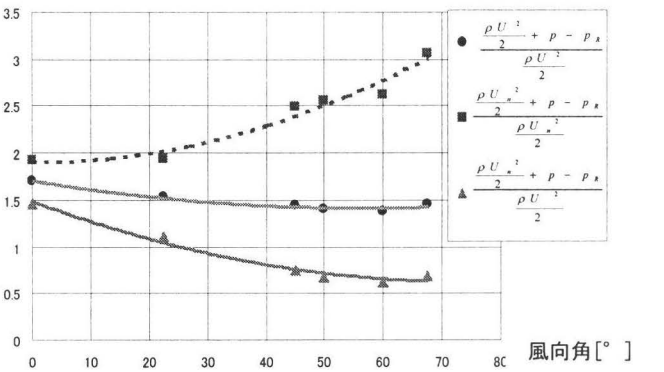


図 15 開口部における圧力損失（風向角）

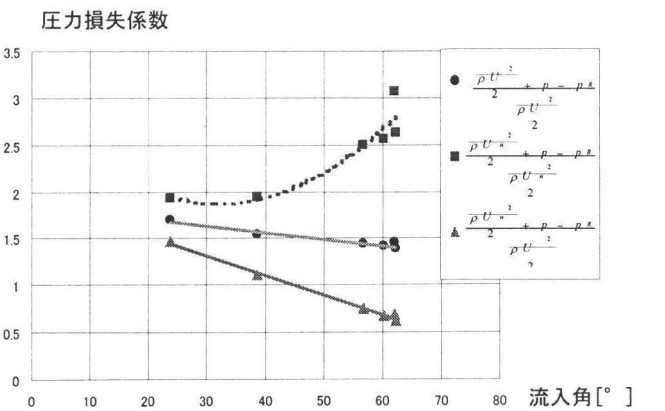


図 16 開口部における圧力損失（流入角）

動圧は風向 50° 付近で最大，静圧損失は風向によらず概ね一定となっている。これと風洞実験結果は主に，風速が 40° までの範囲での全圧に関して相違が見られ，実験では風向角度の増加に伴い増加している。この点は後述するように，風向 0° 付近で流入気流は 20° を超える大きな下向き流入角度を持つため，先述した全圧管の風向感度によって全圧が過小評価さ

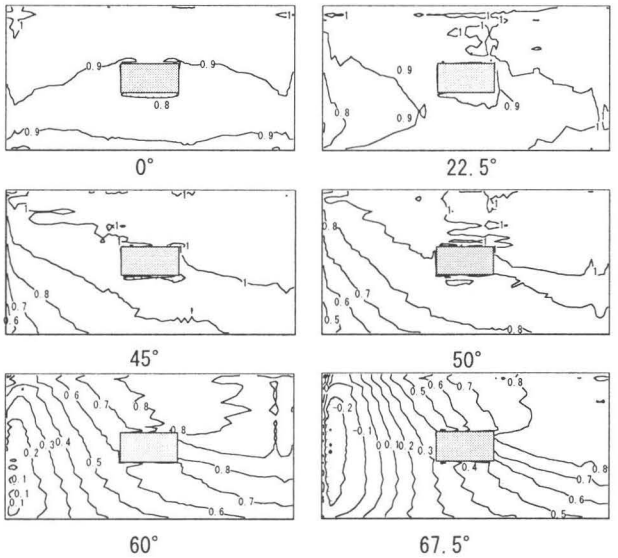


図 13 風上面における全圧分布

れた可能性が強い。次に，風上壁面における全圧の分布を図 13 に示す。剥離の影響は風上コーナー下部から始まっているが，風向 50° 程度までは開口部を含む領域で大きな分布はない。風向 60° を超えると風上面の広い範囲で剥離に伴う全圧低下が生じている。

2.5 圧力損失係数に関する評価

以上より通風気流の乱流構造は風向角度により重大な影響を受けることが明白であるが，以下では通風量に直接関係する流入角と圧力損失の関係について考察する。

風向角と流入角

図 14 に風向角と開口部前面，中央面，後面における通風の流入角の関係を示す。また，中央面における流入角の水平成分及び次式によって求めた流入角も併せて示す。

$$\frac{1}{Q}\iint\frac{U_i U_i}{2}U_n dS=\frac{1}{2}\left(\frac{Q}{A\cos\theta}\right)^2 \qquad (1)$$

ここに，Q:換気量，A:開口面積，U_n：開口部に垂直な風速成分を意味する。

また，図中にはスプリットフィルム風速計により測定された水平面内での風向も示している。図より，流入角は風向角

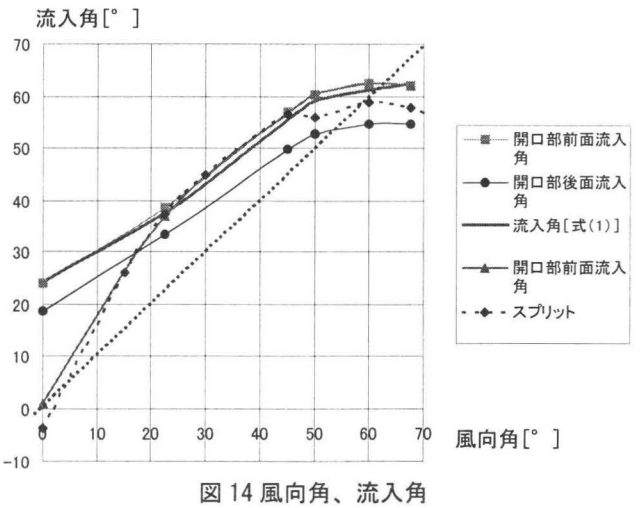


図 14 風向角、流入角

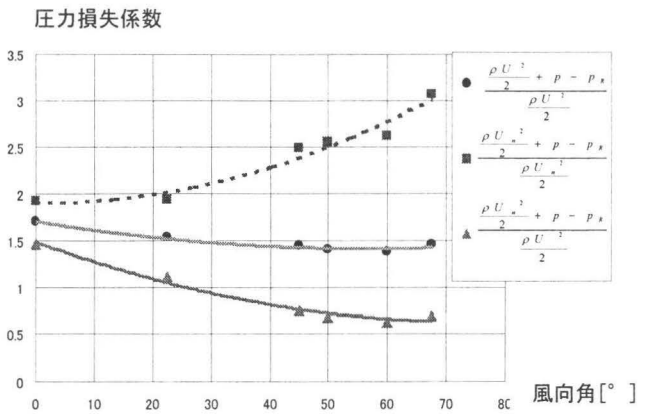


図 15 開口部における圧力損失（風向角）

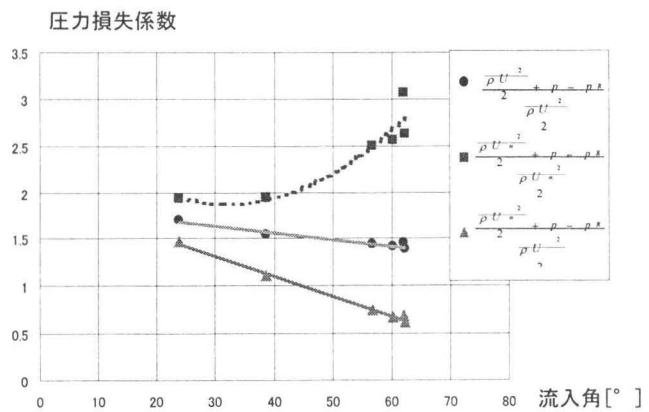


図 16 開口部における圧力損失（流入角）

が 50° 程度までは流入角より大きくなるが，それを超えると流入角が増してもあまり変化しなくなる傾向がある。流入角は開口前面から後面に至る過程で小さくなる傾向があり，式(1)で定義される風向は開口前面における流入角に近い。なお，

風向 0° における流入角は流入気流が下向きに降下することが原因となっている。

(2) 風向角，流入角と圧力損失係数

通風量算出に関連が深い圧力損失を以下のように三種類定義し，先の風向角，式(1)による流入角との関係について検討した。式(2)は(開口部全圧－室内静圧)を開口部動圧で除したものであり，式(3)は式(2)の分母分子の動圧を開口部に垂直成分で評価した一般的な通風量計算の場合の定義に近いもの，式(4)は式(3)の分母を開口部動圧に変更したものである。

$$\left(\frac{\rho U^2}{2}+p-p_R\right)/\frac{\rho U^2}{2} \qquad (2)$$

$$\left(\frac{\rho U_n^2}{2}+p-p_R\right)/\frac{\rho U_n^2}{2} \qquad (3)$$

$$\left(\frac{\rho U_n^2}{2}+p-p_R\right)/\frac{\rho U^2}{2} \qquad (4)$$

ここに，U：開口部通過風速，p：開口部静圧，p_R：室内静圧を意味する。

これらの圧力損失係数を風向角，流入角と対比して示した結果を図 15，16 に示す。圧力損失係数は式(3)>(2)>(4)の順に変化しており，特に式(3)が風向角の増加に伴い急増する傾向は既往実験結果と矛盾しない。式(2)，(4)の圧力損失係数は角度の相加に伴い減少するが，その値は流入角に対して概ね一意的に表すことが可能であり，流入角の増加に伴い直線的に減少する。

2.6 まとめ

風向角度が変化した場合の流管の形状変化，流管中の圧力損失の様相と P_k 項との対応，風向角と流入角との関係及び圧力損失係数との対応関係について検討してきた。今後は，流入角と圧力損失係数の関係に重点を置いた検討を進め，通風量予測モデルの開発を進める必要がある。

＜参考文献＞

1) 入江, 大場, 倉渕：通風時の室内気流分布の予測・評価手法に関する研究　その 3　日本建築学会大会、1999

2) 入江，大場，倉渕：通風時の室内気流空間分布の測，評価手法に関する研究　その 4，日本建築学会会，2000

3) 持田, 村上, 近藤, 土谷, 生産研究特集 3 改良 k－ε モデルを用いた低層建物モデル壁面風圧モデルの数値解析

1－7　住宅解体木材の再利用に関する研究
－性能評価と再利用システムの構築－

奈良女子大学生活環境学部
教授　疋田　洋子

研究の背景と目的

地球環境を保全するためには、増大した人間活動による環境への負荷を軽減する必要がある。特に処理に伴う環境汚染や処理場の逼迫という視点で見ると、産業廃棄物削減は必至の課題である。なかでも建築廃棄物については、その再利用率は依然として低く、日本の住宅の大半を占める木造住宅は、平均３０年程度で取り壊されており、諸外国の住宅寿命と比較して非常に短い。現段階では、解体木材が建築材料としてそのまま利用される例としては歴史的価値の高い建物の保存や移築に限られているが、今後とも排出される廃材の増加が確実である一般住宅における有効利用が望まれるところである。

本来、自然材料である木材は再生可能な資源であり、その加工に要するエネルギーも少ない。現在、廃棄物として処理されている解体木材の持つ物理的耐用年数を全うさせることにより、環境に対する負荷の軽減に大きく寄与するものと考える。本研究では、特に、資源の有効利用、省エネルギーの視点から、解体木材のカスケード型利用のシステムを構築するため、その材料としての性能評価手法を検討するとともに、再利用を推進する上で不可欠である市場成立にむけての指針の検討を目的とした。

本研究は４章から構成されている。まず、第１章では、解体木材の再利用に関して、実際に再利用を行う一般消費者および建物の計画を提案する側の建築士の意識を把握する目的で、意識調査を行った。さらに、解体木材の市場形成における問題点および今後の可能性を把握する目的で、解体木材販売業者に対する実態調査を行った。

第２章では文献調査を行った。まず、建築系専門雑誌掲載作品による事例調査を行い、再利用方法やその特徴、再利用が成功した要因について分析を行った。さらに、再利用先進国である欧米の再利用プロジェクトについての調査をあわせて行った。

第３章では解体木材の再利用の仕組みに関して、再利用経路、解体工事と現場からの搬出、解体木材の性質の視点より考察を行った。

第４章では解体木材の強度性能について、非破壊手法を用いて評価することを検討した。加速度センサーによる強度試験および軟質腐朽診断機による強度試験について、その有効性を検討した。

1. 実態調査

1.1 解体木材再利用における消費者に対する意識調査

解体木材の再利用の仕組みを構築するためには、再利用を受け入れる側の要求を把握する必要があるため、消費者に対する意識調査を実施した。

1.1.2 調査概要

1) 調査対象

調査対象は奈良県内に居住する世帯とし、集合住宅地区、戸建て住宅地区、旧市街地区および農山村地区の４つに分類した上で、奈良県の人口分布に近くなるよう配布数を調整し、配布地区を選定した。

2) 調査方法

質問紙を配布し、数日後回収した。回答者は 20 歳以上の成人男女一名とした。

3) 調査期間

1997 年 7 月～9 月

4) 配布・回収状況

配布数 949 部のうち 609 部を回収した。回収率は 64.2%で、表 1 に地区別の配布・回収状況を示す。

表 1 地区別配布・回収状況

配布地区		配布数	回収数	回収率 (%)
集合住宅地区	奈良市平城第二団地	200	145	72.5
	奈良市大宮町パークビレッジ	105	52	49.5
	生駒市辻町ガーデンハイツ	92	76	82.6
戸建住宅地区	奈良市朱雀二丁目	88	54	61.4
	奈良市学園北二丁目	134	73	54.5
	生駒市辻町	84	53	63.1
旧市街地区	橿原市今井町二丁目	39	26	66.7
	奈良市元興寺町･薬師堂町･芝新屋町（奈良町）	74	46	62.2
農山村地区	明日香村稲渕	41	23	56.1
	都祁村針ヶ別所	41	21	51.2
	川上村井光	51	40	78.4
合計		949	609	64.2

1.1.3 結果および考察

1)解体木材再利用の知識について

解体木材再利用に関する今までの知識については、何らかの形で古材に関する情報を得たことがある人が７割であった。また、実際に再利用の経験がある人は４割強であった。再利用に関する情報源では約６割が新聞、雑誌、テレビなどのマスメディアを挙げていた。地区別にみると、旧市街地や農村地区では実際に再利用していた割合や実際に見たことがある割合が高く、集合住宅地区や戸建て住宅地区ではマスメディアにより情報を得ている割合が高い。

2)解体木材（古材）再利用に対する意識について

解体木材の再利用に対する積極性を訊ねた結果、積極的に利用したいとする回答者が全体の 15%、条件次第では利用しても良いとする回答者は 71%と再利用することに肯定的な考えを持つ回答者はあわせて 86%を占めた。1994 年に当研究室で行われた調査[1)]では、再利用に肯定的であった回答者は 67%であり、調査対象は異なるが、5 年前に比べ肯定的な意見が若干増加していた。

再利用に対する積極性別に、肯定的な理由、否定的な理由を図１に示す。古材を利用したくない回答者の半数以上は古材の性能や品質についての不安を挙げている。これは再利用に積極的な回答者の中でも選択されており、再利用推進ためには古材の性能をはっきりと示すことが必要であるといえる。

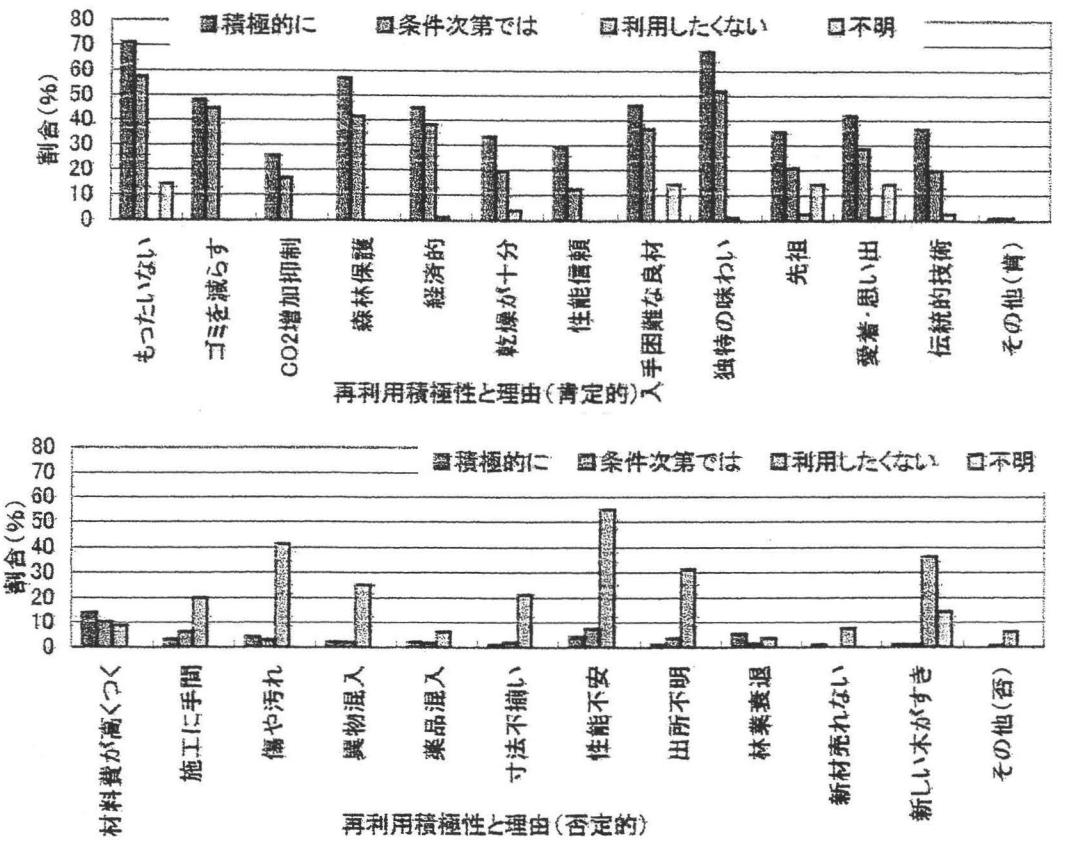


図１　再利用の積極性と理由

古材を再利用したい理由としては、特にゴミを減らすなどの環境保全に関する項目や、独特の味わいなど古材特有の付加価値を高く評価する項目が 5 年前の調査よりも多く挙げられていた。

3)古材使用工事の費用について

再利用についての積極性で「古材は使いたくない」と回答した人も含むすべての回答者に、古材を再利用してもしなくても全く同じ建物ができるとした場合、建設にかかる費用が古材を使用しない場合と比べてどの程度ならば古材を再利用するか、4 段階の選択肢から一つを回答させた。選択肢は「①古材を使わない場合よりも建設費が高くなっても使いたい」、「②同じくらいであれば使いたい」、「③安くなるのであれば使いたい」、「④古材は使いたくない」である。「高くなっても使いたい」という回答は全体の 7%、「同じくらいなら使いたい」は 33%、「安くなるのであれば使いたい」は 43%、「使いたくない」は 11%であった。再利用して同じ建物ができるのであれば、安くあって欲しいという希望が最も多いが、同じくらいであれば再利用しても良いと答える回答者も 3 割以上存在している。高くなっても利用したいとする回答者も存在しており、古材の再利用に対する意識が非常に高いと考えられる。

再利用の積極性と再利用する際の費用の関係を図 2 に示す。古材を積極的に利用したいと考えている回答者は他の回答者に比べ、古材を使った建設にかかる費用は高くなってもよいとする割合が高く、再利用に積極的であるほど許容できる建設費用は高いと言える。条件次第では利用しても良いと考えている回答者のうち、約半数が安くなるのであれば古材を使うと回答しており、新材と同程度の品質の古材を使用する場合には建設費が削減されることが条件として含まれていることがわかる。

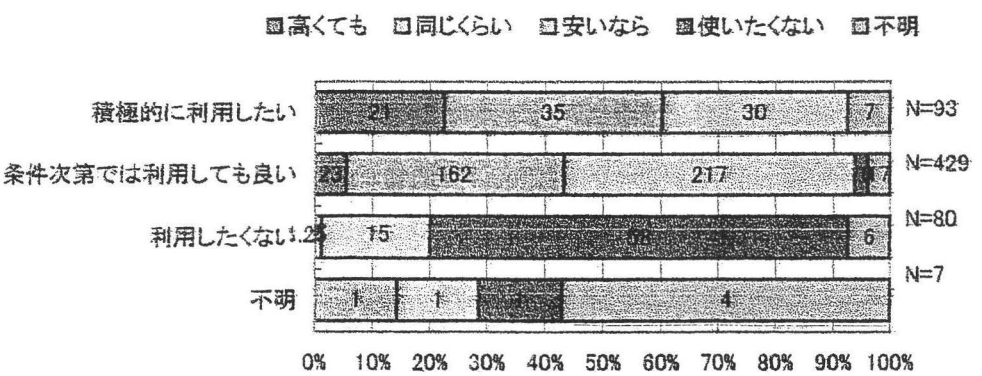


図 2　再利用の積極性と再利用にかかる費用

4)古材の再利用についての自由記入について

古材の再利用に関する質問や意見などの自由記入欄には、全回答者数 609 人中 286 人の記入があった。そのうち、古材の再利用についての不安や要望に関する記入を「経済」、「材質」、「情報・仕組み」、「技術」、「心理」、「林業」の六つの分野に分け、集計を行った結果より、二つ以上の項目について記入している回答もそれぞれの項目ごとに集計し、複数回答とした。最も多く見られた意見は「材質」に関する項目で、強度や耐朽性をはっきり示してほしい、再利用できるような材質を持つ木材は現在では手に入らないといった意見が見られた。

次に多かった項目は「情報・仕組み」についてで、再利用に肯定的な回答者からの意見が多く、もっと気軽に古材を手に入れる市場がほしいといった意見がみられた。「技術」の項目では、再利用できるほどの技術を持った職人がいない、維持管理が難しそうといった意見であった。「経済」面では、古材の入手や施工に費用がよけいにかかりそうであるといった不安を抱く意見が多く、「心理」面では、古材＝粗悪なものといったイメージや、他人の住宅部材は使いたくないという意見もあった。

1.1.4 まとめ

古材の再利用に関する意識について、奈良県在住の成人男女に質問紙調査を行い、609名から回答を得た。古材の再利用については全体の 73%の回答者が何らかの形で見たり聞いたりしたことがあるものの、そうした知識が全くない回答者も全体の２割ほど存在していた。再利用されている実物を直接見たことはなくても、何らかの媒体を通じて情報を得ている回答者は多い。再利用に対する積極性はこうした知識の有無が関係していると推察され、多くの情報をながすことは再利用の推進に寄与する手段であると考えられた。

古材を再利用してもよいと考えている回答者の中で、古材を購入して再利用したいと考える回答者が 40%近く存在しており、そのうち販売する業者があれば購入したいと思っている回答者は 75%にのぼった。特に戸建て住宅地区や集合住宅地区ではこうした意見が多く、この様な地域に古材販売機関を設けることも検討の価値があると思われる。

再利用したい古材の品質については、独特の味わいなど古材特有の付加価値を求めている回答者が多く、そうしたものは購入してでも入手したいという意見が見られた。しかし一方で、再利用しても良いとした回答者のうちの３割は、新材と同程度の品質のものや、見た目が劣っている材についても再利用したいと考えており、特別な価値のない古材でも需要が見込めることがわかった。

古材を再利用する用途では、構造材に再利用したいと考えている回答者が多かった。家具として再利用したいという回答は若年齢層において多かったことから、この様な年齢層を対象に古材を使用した家具を制作・販売することも有効である。さらに、屋外の園芸用品や装飾品、遊具など様々な用途において再利用したいという意見が見られ、日曜大工の材料として、ホームセンター等に古材販売コーナーを設置することも検討しても良いと思われる。

古材を使って建物を施工する際の費用については、再利用に対して積極的な回答者ほど高くても良いとしているものの、やはり新しい木材を使用するものに比べ安くなることを望む回答者が多い。現実的には古材を商品として市場に出すために、解体、釘抜き、洗浄などの作業が伴い、新材に比べ割高になる可能性が高い。この点については今後の課題として考える必要がある。

古材の再利用に関する要望として、特に古材の性能についての不安が多いことから、性能に関する具体的なデータを開示したり、性能を保証する制度を設ける必要があると考えられる。また、再利用したくても入手方法がわからないという意見も多く、古材の販売機関について広く情報提供する体制についても検討していく必要がある。

1.2 建築士に対する意識調査

1900 年代半ば頃まで、大阪においても建物の解体によって排出される木材（古材）の再利用は実施されていた。しかし、現在では、これらは廃棄物として扱われており、これは環境負荷の低減、循環型社会の構築を目指すべき視点において大きな課題である。

一般消費者の意識調査より、解体木材再利用に対する肯定的意見が多く見られ、受け入れる土壌はあると考えられた。それには、建築活動を行っている建築士の意識や働きかけも重要であると考えた。

そこで、建築士の古材に対する評価や古材の再利用に対する意識、古材再利用経験と今後の展望に関して意識調査を行った。

1.2.1 調査概要

1) 調査対象

社団法人大阪府建築士会会員名簿 1998 年版に登録されている 6634 名の正会員のなかから、無作為に抽出した 600 名の建築士である。

2) 方法

質問紙調査とし、郵送により配布・回収を行った。

3) 配布数および回収数

600 部配布し、387 部を回収した。回収率は 64.5%であった。

4) 調査期間

1999 年 10 月中旬から 11 月中旬

1.2.2 結果および考察

1)調査対象者の概要

調査対象者は男性が 9 割を占め、年齢では 40 代、50 代で約 7 割を占めた。従事している職種は、設計監理、設計が多かった。

2)古材再利用に関する関心とその理由

古材の再利用に関する関心については「非常に関心がある」と「関心がある」と回答した割合があわせて 8 割であり、建築士の関心の高さがうかがえた。関心をもつ理由については「古材独特のデザインに興味がある」が 43%と多く、次いで「環境保全になるから」が 24%であった。

3)古材使用建物をみた経験

また、古材を使用した建築物をみた経験については、「実際に見た」人は 59%で、多くの建築士が古材使用の建築物を見ていることがわかった。それらの多くは、店舗の内装に使用されているケースであり、構造材として使用されているものはわずかであった。

古材を見たことがある経験の有無は、回答者の解体木材再利用に対する関心度や古材に対する評価、再利用に対する意識に影響を与えていた。古材を見たことのある経験と再利用して使いたいかどうか訊ねた結果との関係を図 3 に示す。古材使用建築物を見たことのある人

のほうが使いたいと回答する割合が高く、古材使用建築物の情報を提供し、多くの人が見ることができるような体制づくりが望まれる。

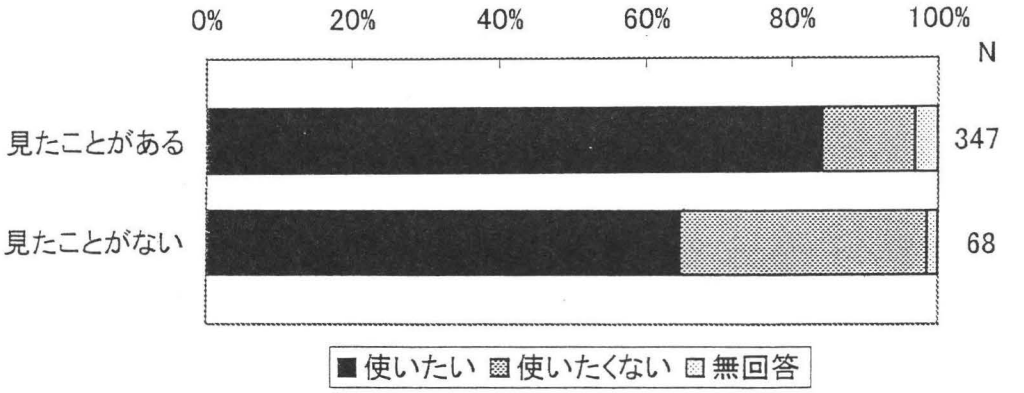


図３　古材建築建物を見た経験の有無と再利用に対する意識

4)古材に対する評価

古材に対する建築士の評価については、「価値がある」と考える建築士が 71%で、「非常に価値がある」との回答を含めると、対象者の 85%が古材に価値があると考えていることがわかった。また、価値があるまたはない理由を図４に示す。

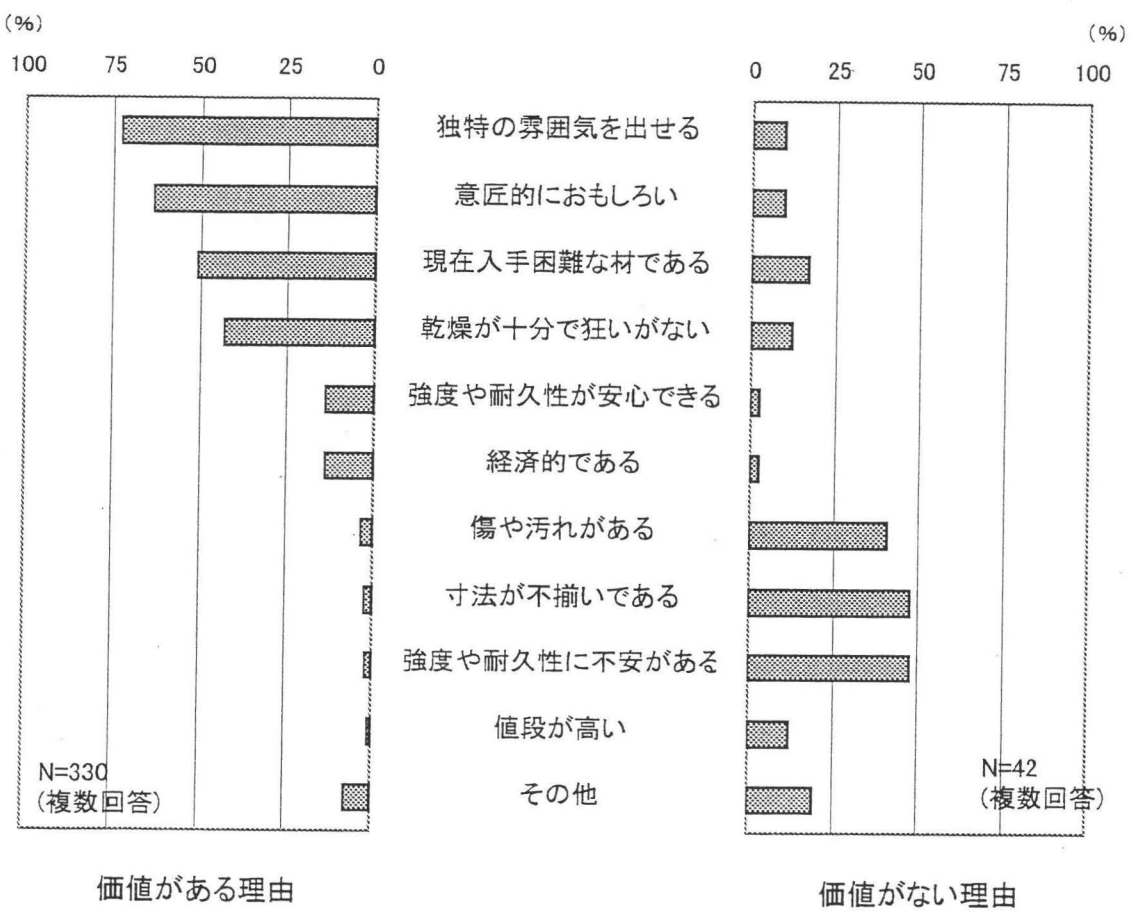


図４　古材に対する評価の理由

価値がある理由としては、「独特の雰囲気が出せるから」、「意匠的におもしろいから」等の意匠的な理由が多く、性能面では「乾燥が十分で狂いがないから」という回答が 43%と多かった。価値がない理由としては「強度や耐久性に不安があるから」「寸法が不揃いであるから」など古材の性能的な理由が多かった。5年前に居住者対象に行った調査によると、古材を利用することに対する肯定的な意見として、「経済的である」という回答が多かったが、建築士においてはこの様な理由は少なく、古材を使用することに対する経済的なメリットについては、居住者との間に相違があることがわかった。

5)古材使用経験について

さらに、対象者が今までに設計、施工をはじめ業務上関わってきた建物に古材を使用したことがあるかどうか訊ねたところ、対象者の 35%が古材の再利用を経験していることがわかった。再利用件数は3件以下が多く、5件以下の対象者が全体の 83%を占めていた。再利用した古材の入手方法は、施主の所有していた建物の部材が圧倒的に多く 85%であり、知人や友人に譲ってもらったものが約2割、業者から仕入れたとの回答は1割とわずかであり、古材市場が形成されていないことがわかる。

6)古材の使用方法

古材の使用方法は、意匠的に仕上げ部分に使った場合が最も多く、ついで骨組みだけの使用が多かった。柱や梁の利用が多く、再利用後も同じ用途として使うだけでなく、板材に挽いて床板やテーブル等に用途変更して使用される例も多く見られた。

7)提案時の施主の反応

また、建築士が施主に対して再利用を提案した際の施主の反応については、約9割が賛成と回答していたことから、建築士からの働きかけの効果は大きいことがわかった。

1.2.3 まとめ

解体木材の再利用の意識について、大阪府下の建築士 387 名に対する調査を行った。調査結果より、建築士の古材の再利用に対する関心は高く、全体の約8割が関心を持っていることがわかった。対象者の多くは古材の使用的な部分に関心を持っているが、環境負荷の低減などの理由も挙げられた。

古材を使用した建物を見たことがある経験が再利用に対する意識に影響を与えていることより、今後様々なメディアを通じて古材の再利用の事例や情報を提供していくことは有効な手段であると思われる。

また、対象者の約8割が今後古材を使いたいと回答しており、その使い方は意匠的なものを挙げていた。使いたくない理由としては、加工に手間がかかることや古材市場の情報不足、流通システムが確立されていないことが挙げられていた。

古材の再利用経験については 35%が「ある」と回答していた。入手方法は施主の所有していた部材が大半を占めていたが、その利用方法は様々なものが挙げられ、古材の利用方法の可能性が考えられた。このような情報を広く公開していくことは古材の再利用が一般化す

る足がかりとなりうると考えられる。

設計者として古材の再利用を提案した場合の施主の反応はおおむね賛成であったということからも、建築士の意識や働きかけが再利用の推進に果たす役割が大きいと考えられた。

今後は、使いたくない理由として挙げられた「欲しいときに手に入らない」、「保管する場所がない」、「寸法が不揃いである」、「強度や耐久性に不安がある」などの理由に対する改善策を検討していく必要がある。個体差が大きい古材の品質、性能を保証することは困難であるが、何らかの形で性能を保証する制度を整えるべきであると考えられる。

1.3 解体木材販売実態調査

解体木材を入手する方法のひとつとして、販売業者から購入する手段が考えられる。日本国内における解体木材販売業者は数が少なく、知名度も低いのが現状である。解体木材の再利用を推進する上では販売業者数を増やし、流通を活発化して市場を形成し、誰にでも簡単に購入できる体制を整えることが重要であると考える。そこで、今後の解体木材の流通と販売のありかたについての指針を得るため、解体木材販売業者に対して調査を行い、解体木材を入手、販売する経路の実態把握および解体木材の再利用のしくみを考察する上での販売業者の位置づけを検討する資料とする。

1.3.1 調査概要

1) 調査対象

日本国内において古材を販売している業者および団体とした。これらの機関は、新聞、雑誌、インターネットホームページ、ヒアリング等から情報を得た。

2) 方法

質問紙調査とし、郵送により配布・回収を行った。必要に応じてヒアリングも行った。なお、調査対象に木材以外の建築解体材を保管・販売している業者が存在しることから、調査用紙に解体木材を「建築物の解体材（木製の建築部材）」と定義した。

3) 配布数および回収数

14 部配布し、9 部回収した。

4) 調査機関

1999 年 7 月から 9 月

1.3.2 結果および考察

1)調査対象の概要

調査票を回収した 9 社の概要を表 2 に示す。

（イ） 大正時代から続く解体・古材販売業者で、解体工事を請け負って自社または下請け業者で解体し、その解体材を販売している。

（ロ） 古い街並みの残る土地で事業を行っており、古材のほか古美術販売なども行っている。

（ハ） もともと葭屋根販売の業者で古民家の仕事に多く携わる関係から移築再生、古材販

売も行うようになった。

（ニ）　個人で古民家の解体を行っており、古材の販売もしている。

（ホ）　重機を使った解体・土木業を主としており、1998 年から古材も販売している。

（ヘ）　建築設計および施工業を営んでおり、自社の施工に古材を使用している。

（ト）　建築設計および施工業を営んでおり、自社の施工に古材を使用している。

（チ）　会員制の団体で、古民家再生および古材の情報を集め、施工の相談に応じたり古民家取引の斡旋を行っている。

（リ）　米国から日本に古材を輸入・販売している業者である。

解体木材販売事業の創業年数は 80 年～1 年と様々であり、従業員数は 1 人～14 人と小規模な事業者が多い。解体木材の販売を主として行っているという業者は（リ）のみであり、解体業を営みながら自社解体したものを販売する業者、一般建物の施工以外に、古民家の再生工事も行う業者など他の事業を行いながら解体木材もあわせて販売する場合が多い。

事業の許可や登録などの申請内容は事業者ごとに異なり、全ての事業者に共通しているものはない。解体業を主として行っている（イ）と（ホ）は廃棄物運搬業の申請をしている。（ヘ）と（ト）は建設施工業者であるため、建設業と建築事務所の申請を行っている。また、（イ）、（ロ）及び（ニ）は解体木材のほかに古道具なども販売しているため、古物商の申請を行っている。

表２　調査対象業者の概要

業者	所在地	操業	事業開始	従業員			事業内容	事業申請
				営業事務	技術	その他		
(イ)	東京都	1921	1921	2	4		解体工事、古材木建具販売	廃棄物運搬業、古物商
(ロ)	岐阜県	1967	1970	2	2	3	古美術古民芸品販売、不動産取引業	古物商、不動産取引業
(ハ)	滋賀県	1900	1965	2	7		古民家解体移築再生販売、施工、古民家古材各種販売、葦茅葺き屋根工事、よしペン製造販売	
(ニ)	福島県	1988	1988	1			古民家解体、古材販売	古物商
(ホ)	群馬県	1977	1998	2	12		土木業、解体業	建設業、廃棄物運搬業、砂利採取業
(ヘ)	福島県	1980	1981	3	9		建築設計、施工、公共工事「民間および市町村」	建設業、建築事務所
(ト)	神奈川県	1978	1995	7	2		在来木造建築	建設業、建築事務所
(チ)	京都府	1996	1996	1			古民家再生支援、古民家・古材の情報提供、古民家及び木材の講習会・見学会・研究会	申請していない
(リ)	東京都(本社米国)	1994	1995	3			米国古材(解体材)の対日及び対欧州販売。古材利用の家具及び雑貨の販売	

2)部材種類別の在庫について

(リ)を除くと、ほとんどの販売事業者が構造材を最も多く保管している。国内の木造建物は軸組み工法が中心であるため、構造材の断面寸法は大きく長尺である。できるだけ寸法が大きい木材の方が再利用する用途が多く、有利であることが関係している。

形状変更していないものは全体の約８割を占め、このうち製材以外の処理をしている物は半数近くある。しかし、販売事業者によっては処理加工を行わずに、ほとんどをそのままの状態で保管している場合もある。形状変更を行っている部材では、特に決まった寸法はなく製材を行っているのは(イ)、(ロ)、(ハ)の３つ事業者で、柱、梁、垂木、根太などの構造材と、棚板や床板など造作用板材であった。規格寸法があるのは(ハ)と(リ)のみで、いずれも床板として加工されている。

また、建築材料としての木材のほか、建具や家具も(リ)以外の事業者で保管されている。

保管してある解体木材の需要と供給のバランスを表3に示す。部材によって在庫不足の物もあれば、在庫過剰の物もあり、また販売事業者によってその内容も様々である。(イ)および(ハ)にヒアリングをして得られた資料によると、梁などの長尺物や、板類は比較的良く売れるとのことであった。現代では断面寸法の大きな木材は新材では手に入りにくいためであると考えられる。

表3　解体木材の需要と供給のバランス

	在庫不足	同じくらい	在庫過剰
業者	部材名	部材名	部材名
(イ)	○ たる木、貫	○ 梁、松丸太	○ 3.5寸角、床柱
(ロ)		○ 常時在庫は相当量持っているがバランスが難しい	
(ハ)			○ 全般在庫過剰は古材販売の信用となるところでもある。
(ニ)			
(ホ)		○ 構造材	
(ヘ)			○ 全体的に、只、今はストックする時期と考えている。
(ト)		○ 基本的に販売のみはしないため、建築に必要と思われるものを保管	
(チ)	○ 梁、特に長大な物	○ 板、特に厚い板	○ 柱
(リ)	○		

3)解体木材に対する処理作業

事業者によって処理作業の程度は多少違いが見られるものの、多くの事業者は解体木材に何らかの処理を施している。 製材処理を施して保管している解体木材もあれば、処理を施さないでそのまま保管し、注文を受けた後に製材などの処理をする場合があることが分かる。2 つの事業者は解体作業が熟練の技術を要する作業としている。いずれも解体の対象は古民家で、手ごわしで解体作業をしており、古民家の解体作業にはある程度の技術が必要なことが分かる。しかし、解体木材の処理や加工に関してはどの事業者も特に触れていないことから、長時間の技能訓練をつまなくても作業に従事できることが分かる。

4)価格の決定方法

価格の決定方法を示す。ほとんどの事業者が作業コストを考慮して解体木材価格を決定している。(ヘ)、(ト)は解体作業にかかるコストも解体木材価格に含まれており、解体工事と解体木材販売を区分していない。材質や新材の市場価格を考慮しつつ価格を決定している事業者もある。

1.3.3 まとめ

現在国内で解体木材を販売している事業者に対し、解体木材販売の実態について質問紙およびヒアリングによる調査を行い、9つの事業者から回答を得た。

解体木材の販売は、解体や建設などの事業と並行して行われており、自ら解体作業を行う事業者が多かった。取り扱っている解体木材は伝統工法で建てられた古民家の部材が多くを占めていた。

収集した解体木材に対しては、ほとんどの事業者がくぎ抜きや清掃、製材加工などなんらかの処理を行っていた。製材加工については他業者に委託する事業者も見られた。解体木材の処理作業を行うための建物を持つ事業者もあり、木材を移動させたり、切断や製材するための機械を備えていた。また、建物内で解体木材の洗浄作業を行っている事業者もあり、上下水道設備があるものと思われる。

現在保管している解体木材の量および保管場所の広さは事業者によって大きく異なっていたが、保管場所を増やしたいとする業者が多くみられた。ほとんどの業者は解体木材を保管するための建物を持っており、建物内に製材後の解体木材などを保管している。

調査対象全体では、保管・販売している解体木材は自ら解体した建物から得たものが多いためか、事業者の支出のうち解体木材の購入費が占める割合は少ない。解体木材は産業廃棄物として扱われるために、廃棄物に関わる許可を得ていない事業者には持ち込むことができないという背景も考えられる。解体木材販売業関連の支出としては、人件費が最も多く、解体や施工の請負事業と解体木材販売事業の経営をはっきりとは区分していないため、解体木材価格には解体木材の加工処理に要した作業費のほかに、解体や施工に関する作業費も反映させている事業者が多いと思われる。広報・宣伝活動はあまり行われておらず、消費者への情報不足の一因となっている。

2. 文献調査

2.1 建築雑誌掲載作品による事例調査

解体木材の再利用の事例調査を行うことにより、解体木材の利用方法、加工方法についての指針を得られると考えた。さらに、再利用の実態を把握し、その特性を整理・分類することにより、再利用システムの構築に向けての有効な資料とすることを目的とした。

2.1.1 調査概要

1)調査対象

調査対象は、建築専門雑誌の「住宅建築（建築資料研究社）」、「新建築　住宅特集（新建築社）」、「日経アーキテクチュア（日経マグロウヒル社・日経ＢＰ社）」の3誌である。

各雑誌入手可能なバックナンバーを対象とした。調査した冊数は「住宅特集」が 240 冊、「新建築　住宅特集」が 85 冊、「日経アーキテクチュア」が 371 冊、計 696 冊である。1982 年までは「住宅建築」のみ、1989 年まではそれに「日経アーキテクチュア」を含めた 2 誌、1990 年以降は 3 誌がほとんど含まれる。

2)調査方法

雑誌に掲載された建築作品の中で、解体木材を再利用していると思われる事例を抽出し、詳細について調査を行った。調査項目は掲載年月日、建物名、所在地、設計者、施工業者、建物用途、工事種類、構造規模、敷地・建築・延べ床の各面積、竣工年、再利用部材の解体前建物概要、解体前建物と再利用後における再利用部材の用途、入手方法、再利用理由および再利用発案者である。

2.1.2 結果および考察

1)再利用事例数

再利用が行われていた事例は「住宅建築」が 127 件、「新建築 住宅特集」が 14 件、「日経アーキテクチュア」が 38 件であった。同一の建物が複数の雑誌で掲載されていた 4 件を除き、総計で 175 件の事例が確認された。

1990 年代前半まで増加傾向にあるのは、調査冊数の影響の他、事例の竣工数が増えたか、または意識的に掲載していると考えられ、社会的な背景も大きく関係するものと思われる。「日経アーキテクチュア」や「新建築 住宅特集」の掲載数が全体の掲載数の増減とほとんど関連が見られないのに対し、「住宅建築」は 1990 年代の掲載数が増加しており、事例数全体の増加に与える影響は大きい。

2)事例建築物の用途と構造別件数

解体木材の再利用が行われていた事例建築物の用途と構造別件数を表 4 に示す。事例中最も多かったのは木造住宅における工事での利用であり、全体の約 3 割を占めていた。調査対象とした雑誌のうち 2 誌が住宅を主に扱っていたため、住宅の事例件数が多くなったとも考えられる。しかしそれ以上に、木造では構造材、造作材ともに木材を利用するため、他の構造よりも解体木材利用の機会が多くなること、そして日本の木造建築の多くは住宅であるということが最大の理由と思われる。同時に解体木材を排出する建築物の多くも木造住宅であり、同じ規模の建物の部材が再利用されやすいことも一因となっている。住宅は他の目的で使われる建物と違って個人が所有する場合が多いため、材料を選定するにあたって所有者や設計者の意向が反映されやすいなどの理由も考えられる。個人の所有する建物としては、住宅以外に別荘やゲストハウスなどにも 1 割近く利用されていた。見学施設および展示施設の件数は住宅に次いで多く、全体の 1 割強を占めていた。これは歴史的・文化的価値のある建物を、移築保存すると同時に施設として利用する場合が多いことが原因として考えられる。

また、茶室の事例がかなりまとまった件数でみられた理由として、茶室建築はもともと移築される機会が多く、移築することを前提とした工法が用いられていることと、数寄屋・茶室建築において古寺や古民家の材料を用いることが流行したという背景が考えられる。

表４　事例建築物の用途と構造

用途＼構造	木造	木造を含む混構造	鉄筋コンクリート造	鉄骨造	鉄骨鉄筋コンクリート造	混構造	不明	用途別合計(%)
専用住宅	58	10	3	1				72(41)
併用住宅	6	5	1	2		1		15(9)
集合住宅		1			1			2(1)
別荘・ｹﾞｽﾄﾊｳｽ・ｹﾞｽﾄﾙｰﾑ	12	3	1					16(9)
茶室	11	2	1					14(8)
工房	2							2(1)
事務所	2(*1)		1					3(2)
店舗	2	1					2	5(3)
宿泊施設	5		2		1	1		9(5)
学校・寄宿寮	1	1						2(1)
見学施設	9	1						10(6)
博物館・美術館・展示施設	7(*2)	1	1					9(5)
資料館	3(*1)	1						4(2)
公共施設	3	1						4(2)
イベント施設	3							3(2)
文化財	2							2(1)
その他	3							3(2)
構造別合計(%)	129(74)	27(15)	10(6)	3(2)	2(1)	2(1)	2(1)	175(100)

（＊店舗併用うち数）

3)工事の種類

工事の種類については、「移築工事」の事例が最も多く５割近い件数となり、次いで「新築工事」、「その他の工事」の順であった。雑誌に掲載される作品は全体的に新築工事が多数を占める中で、再利用事例では移築工事が多くなった理由としては、移築工事がほとんど木造建築物について施されたものであることから、再利用事例になる確率が高いことがあげられる。

4)事例の所在地

事例の所在地については、出版社への情報の入りやすさから東京・神奈川・埼玉など首都圏の事例が多数を占める中、長野の事例が掲載された件数は首都圏の地域と同程度であった。古い民家には、改修や修理などのいわゆる再生工事が施されることがあり、工事の手法の一つとして解体移築や取り外した部材の再利用などが多くなる傾向が見られるが、古い建物がよく残っておりその景観を残そうとする意識が高い地域ほど、こういった再生工事が多くなっている。長野には伝統的な古い民家が多く存在しており、このような理由から地域的背景が事例数に大きく影響しているものと考えられる。比較的事例数の多かった長野以外の地域についても同様の特徴がみられ、地域的な背景は事例数に大きく影響を及ぼしていると考えられる。

同一の設計者や施工業者による工事事例が数件あり、設計者の意識や、再利用工事が可能な施工業者の存在も事例数に関係しているといえる。特に岡山に関しては古民家再生のための組織をつくって活動している設計者達による事例が大半を占めており、設計者の意識が事例数に大きく影響していると考えられる。

5)部材の利用型

部材ごとに再利用方法をみた場合、部材の用途が解体前と再利用後で同じであるのか、再利用後に用途が変更されたのか、２つのパターンが考えられる。本研究ではこのパターンを「部材の利用型」とし、その分類を以下に示す。

「用途変更無し」:再利用後も部材用途が同じである場合。「解体建物の利用型」における「移築」と「部分利用」はこれに相当する。

「用途変更あり」:部材用途が再利用後異なる場合。「解体建物の利用型」における「転用」はこれに相当する。

部材全体の割合と再利用事例の多かった部材について「部材の利用型」別割合を、それぞれ図５、図６　に示す。事例全体では、「用途変更なし」は約 2/3 の 228 件、「用途変更あり」は約 1/3 の 98 件であった。ほとんどの部材の利用方法は「用途変更なし」のほうが多く、これは解体建物の利用型においても「移築」や「部分利用」が多かったことに直接関係している。また構造材よりも造作材の件数がやや多くなっている。特に建具に関しては、ある程度統一された寸法でつくられており、取り外しにもほとんど問題はなくそのまま使うことが比較的容易であること、また構成している部品が小さくそれ以上加工するのは困難であることから、大半はそのまま建具として利用されていた。

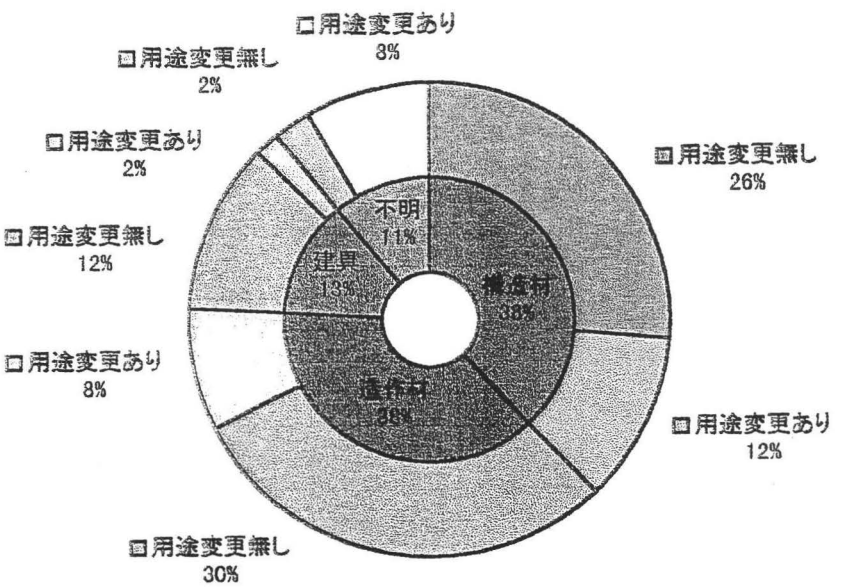


図５　部材の利用型別割合

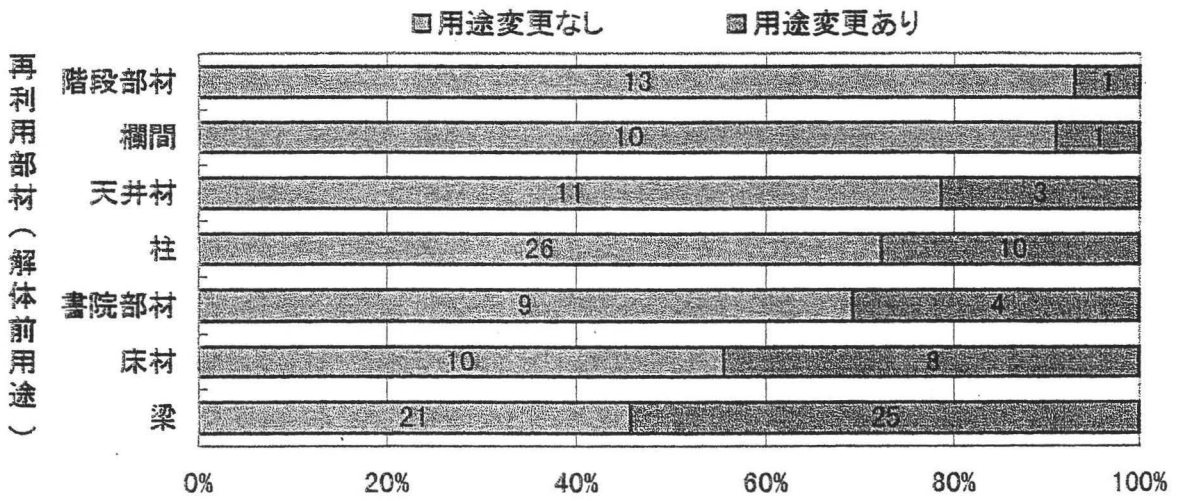


図６　部材用途別「部材の利用型」割合

逆に「用途変更あり」の方は構造材の方にやや多く見られ、断面の大きな部材は板材に製材しても比較的面積の広いものが取れることが要因となっている。特に梁は用途変更があった部材の中での事例件数は最も多く、これは再利用された梁の多くが古い民家のものであり、寸法が大きく曲がった部材が多いため、現在の住宅では使いにくいということが原因と考えられる。

2.1.3 まとめ

調査した事例で再利用されていた部材は、ほとんどが日本の伝統的な木造軸組工法で建てられた住宅のものであり、伝統的工法によってつくられた建物の材料が解体後再利用の対象となりやすいことが明かとなった。

様々な解体建物があるの中でも特に伝統的な古い民家が多く再利用されていることは、伝統的な工法による建築物は、基本的にはほぞと栓による接合でできていたため、部材への解体時の破損や付着物が少なく、再利用しやすかったためと考えられる。このことは工法により解体木材の再利用の可能性が異なってくることをあらわしている。また古い民家は、長期間に渡って大事に住み継ぐことを前提に、もともと丈夫な材料を用いて建設されていることが多く、解体した建築物から再利用可能な部材を得ることが可能となったと考えられ、また床の間、書院、玄関、欄間など高級な部材ほど利用されており、材料の質も大きく関係していると思われる。

再利用されていた部材は、構造・造作に関わらず、あらゆるものが対象となっていたが、特に柱、梁といった大きな構造材及び建具に再利用事例が多くみられた。またほとんどの部材は解体前と同じ部材用途で利用される場合が多く、建具はその傾向が強くあらわれていた。解体木材をそのままの状態で用いない場合においては、多くは製材加工によってもとの部材よりも規模の小さい部材として転用されていることがわかった。特に大きな部材は板材に製材されることが多く、構造材以外の部材への転用を可能としている。梁に関しては他の部材より若干転用される割合が多く、これは事例中で用いられていた梁は古い民家のものが多かったため、曲がった部材が多く用いられており、現在の住宅の工法にはあわないことと、大きな材料なのでそのまま用いることが出来なくても製材加工することによって使われる範囲が他の材料よりも広かったことに関係していると思われる。

解体木材を再利用するきっかけとしては、個人的な思い出を理由にあげる場合が多く、愛着のある建物程再利用されやすいことがわかる。また古いものを好むといった理由で利用される場合も多く、このことは未使用材にはない付加価値を持つ解体木材を評価し、積極的に利用したいという傾向があることをあらわしている。また住宅の中でも特に高級な材料が用いられる部分における再利用事例が多いことから、利用者側に捨てるには惜しいという意識もあることがわかる。

古い民家の部材が再利用される事例が多かった理由としては、伝統的建物やまちなみの保存、技術・文化の継承等のために再利用という手段が使われていることもあげられる。解体木材の再利用は景観保全や古民家再生とも深いかかわりを持っており、こういった分野に関わる設計者の意識も大きく関係しているといえる。事例中ローコストを理由にしたものは少なく、むしろ近年の事例には、解体費用や人件費がかさむことを覚悟の上で工事を行った場合も多い。再利用することを前提とした解体やその解体木材を利用しての施工は新しい材料を使うよりも手間がかり、人件費の高い現在の社会ではコストアップになってしまうといった背景がうかがえる。古民家部材のような価値のある部材ばかりでなく、一般住宅の解体木材の再利用を考える際にはコスト面の問題を解決する必要があると考えられる。

2.2 米国ノースカロライナ州における建設工事の廃棄物削減プロジェクト

North Carolina の各地方自治体からなる地域計画会議の一つに、Triangle J Council of Governments（以下 TJCOG）がある。TJOCG は地域的な基盤における問題点について焦点を当てており、廃棄物の管理に関するプロジェクトにおいて、解体および建設工事に由来する廃棄物削減および再利用を推進するための事例研究が 1993 年に行われた。調査内容としては建設・解体廃棄物用の埋立地の規制状況、排出された廃棄物の規模と構成の見積もり、廃棄物の削減・再利用方法、再生製品市場等であり、今後の廃棄物削減に関する行動計画をまとめている。これによると建設・解体廃材は地方自治体の廃棄物の 15～20％を占めている。

研究対象地域では回収された廃材が保管され、業者や公共機関に転売する施設が存在していることが明らかとなった。しかし新たな利用のために廃棄物を加工して再生利用することは、対象地域内では行われていなかった。

現在建設・解体廃材の中にはアルミ缶やボール紙などのように、再利用するための市場の基盤がすでに存在しているものもあるが、この地区の埋め立て地のなかで建設・解体廃材の 80％以上を占めると見積もられているその他の６つの材料（木くず、不活性廃材、アスファルト屋根材、石膏壁ボード、金属、建具）についてはまだ存在せず、市場取引の機会について将来的な研究の対象とされた。

この研究では廃品利用の実施を広めることへの障害として、①情報交換の定着の欠乏、②解体作業時間の速さ、③第三者が再利用可能な部材を処理するために現場に入ることを許可する場合の解体業者の責任、④建築物から出た廃品利用可能な部材を判別して適切に移動するための標準的な手順の欠如の、以上四点をあげている。また、再利用する際に最も重要なのは、その材料の市場性に影響するような汚染物質を最小にする必要があるということを示している。

この調査をふまえた上で、今後の建設・解体廃棄物に関する行動計画を提案しており、これに基づいて TJCOG 内に特別対策委員会を発足し、廃棄物削減のための工事仕様書　WasteSpec を作成、1995 年に出版した。

2.2.1 廃棄物削減のための工事仕様書　WasteSpec

WasteSpec は建設・解体工事書類の準備及び実施で利用するためのもので、業務すべての分野における建設廃棄物の管理に焦点を当てて使用する。工事仕様書の全体を WasteSpec に基づいて作成することもできるし、もっぱら他の仕様書を参考にして一部に WasteSpec を引用することもできる。請負業者との情報の伝達、入札業者が廃棄物管理対策を理解していることの保証、入札業者への広告や入札前または建設前での説明会、下請け業者が廃棄物管理対策を理解する場合に役立つことも期待される。

WasteSpec は、以下の内容からなっている。

- 設計者と技術者が建設・解体廃材削減と再利用を達成するための、規範となる工事仕様と予備知識
- 建設・解体廃棄物の処理方法を選択する際の予備知識
- 工事請負業者が再利用可能な廃棄物の見積もりをする際に利用できる情報
- 廃棄物の管理計画例
- 解体される建築物に使用されている、代表的な 135 の物質および品目についてのチェックリスト
- 情報源の詳細リスト

仕様書作成者が工事仕様書に書き込むための模範となる用語が、次の範囲に焦点を当てて供給されている。

- 建設工事における廃棄物削減技術の使用
- 建設廃材の同一工事内での再利用
- 現場からの建設・解体廃材の他（工事）への再販売または再利用のための回収
- 未使用建材の売り手への返却
- 新しい製品に再生するための、他の現場への搬入による建設・解体廃材の再利用

廃棄物削減のための対策として挙げられた選択肢には、その対策を行うことによる経費の増減が示されており、利用者が工事費見積もりを出す上での参考にできる。また、WasteSpec を使用する目的は廃棄物削減であるが、その範囲を超えて環境的な配慮をした対策も参考として記載されている。工事全体に関わる廃棄物削減対策としては、以下の項目について詳細な選択肢が記載されている。

- 事業主と材料の再生利用の調整
- 入札前、工事前、現場での打ち合わせ
- 解体建物部材を新築する建物に利用
- 廃棄物を最大限に再利用できるように分別・保管

なお、建設廃棄物管理については、以下の対策があげられている。

- 廃棄物管理目標　廃棄物は最小限の発生にとどめ、できる限り再使用、回収、または再生利用し、埋め立て処分はできるだけしない。
- 廃棄物管理計画　発生廃棄物の分析、処分地選択および処理費用計画、回収・再使用・再生利用提案(物質名、地元再生材市場、見積価格)、取り扱い方法、運搬方法
- 管理計画履行　廃棄物管理責任者の配置、現場指示、管理計画書の配布、分別設備設置、廃

棄物処理に関して出来高制支払いの申請

・特別計画　リサイクルに関連する税額控除、割引、その他類似の奨励に関するプログラムの最終履行

各物質について様々な対策が記載されているが、特に解体木材に関する対策を抜粋する。なお、（-$）はこの対策を選択することで工費削減につながることを示している。

・工事現場で木くずを焼却しない（-$）
・リサイクルするために、廃棄物管理計画で指定した場所に分別する（-$）
（例：材種、木質系材料、薬剤処理木材等）
・現場で再使用するために、廃棄物管理計画で指定した場所に分別する（-$）
（例：(　)平方フィート以上の板状部材、（　)インチ以上の枠部材、（　)インチ以上の截ち落とし）
・筋交いや足場などに代替利用ができる傷のついた木材を分別（-$）
・複数の選択肢があるなら、再生された物質や資源効率の良い物質を原料とした製品をつかう。（環境に配慮した対策）

WasteSpec はアメリカ、カナダにおける公的または私的な組織からの注文があり、アメリカでは 50 州のうち 37 州で購入されている。また 1997 年当初の段階で、TJCOG はアメリカ国内の 200 以上の WasteSpec ユーザーを調査し、１つを除く全ての事例において建設あるいは解体工事のコストが、仕様書に準じなかった場合に比べ同等またはそれ以下であるという結果が得られている。このほか、米国で行われている解体木材の再利用に関する政策として、ノースカロライナ州政府による解体木材市場への補助金支給、「アラメダ郡廃棄物管理局」および「アラメダ郡省資源およびリサイクリングボード」による地元市場への解体木材製品の紹介などがあり、地元のリサイクル市場を活発化させようとしている。

2.3 海外における解体木材販売について

解体木材を製品化したものは、英国や米国では Recycled Wood, Reclaimed Wood(再生木材)等の名称で呼ばれている。

英国では古い時代の建築様式を好む国民性のため、数多くの時代別建材を扱う業者が存在する。したがって、古い建物に使われていた木材もそうしたアンティーク専門業者が取り扱っている場合が多い。

一方米国では「Old Growth」と呼ばれる木材の人気が高い。これは原生林・一次林の木材であり、数百年から千年もの樹齢で成長の速度が遅く、「新しい」木材よりも高い価値を持っていると考えられている。1900 年代前半までの工場や倉庫などの建物がこれらの木材で作られていた。現在はそのほとんどが伐採禁止のため、解体した建物から得られる中古木材の再利用は現在標準の手段となっている。大きな建物に使われていたため、解体木材の寸法が大きく、構造材として、あるいは床板に製材しての利用が多いようである。解体木材の専門業者のほか、製材業者や床板材販売業者などが取り扱っている。また解体木材で作った家具の販売を行っている業者もある。

米国内で解体木材の仕入れ・販売を行っている業者へのヒアリングによると、業者の組合や団体などは存在しないようであるが、その業者が取引しているだけでもワシントン・オレゴン州に５～６社あり、西海岸だけでその 10 倍、全米でその 50 倍くらいの業者がいると予想している。

解体木材の販売だけを行っている専業者というわけではなく、事業の大きな一部として、という意味合いであるが、ざっと見積もって 200〜300 社くらいの業者が解体木材を扱っているということになる。米国での解体木材利用はすでに一般の消費者レベルまで浸透している。

木材の価格は寸法、年輪幅、節数、材種、樹齢など木材の品質によって決めるところが多いようであるが、すでに解体木材市場の価格が存在している。品質の高さおよび経年による十分な乾燥によって解体木材の価値は高く、需要も多いため、市場競争は増加し、新しい木材よりも高額な値段になってきている。

解体木材を再利用するための加工作業は手作業による部分も大きいため、低所得層を積極的に雇用し、社会的貢献を果たしている業者もある。YEP（若者雇用協力組合：非営利機関）が古い倉庫の解体を行い、経済的に恵まれない若者の雇用に役立っている。

1)米国での解体木材の集荷および製品化

米国で解体木材を入手し、日本やヨーロッパへ輸出している業者へのヒアリングによると、解体木材の集荷は以下の手順によって行われている。

(1) ビルの解体がある場合、発注者は解体業者数件に入札させる。 解体業者はビルから出てくる再生可能なものを頭にいれて入札する。
(2) 解体業者からは解体木材仕入れ・販売を行う業者に対して解体木材の見積り・オファー等が出される。
(3) 解体木材を購入したい業者は、現場へ行って欲しい部材に対して入札交渉し、契約が決定すると、即契約金を支払う。

米国にある木材製材業者は、インターネット上に作成しているホームページによると、以下のようにして解体木材を製品化している。

(1) 解体業者にどの材種がほしいのか、どの大きさにするのかを理解させる。現場でどのくらい使えるのかみて、解体業者にどうするべきかを指示する。
(2) 解体後に現場に置かれた部材を見に行く。実際の寸法、木材の密度、青さびがないか、節があるならその大きさとその頻度、移動するための機械がどの程度必要か、廃棄物の因子が何であるか見積もる。
(3) 木材を自社に運び、積み重ねておく。
(4) 切断する前に圧力洗浄して、できるだけ汚れを落とし、次の過程のために再び積み重ねる。
(5) 金属探知機を使って釘を探し、引き抜く。たくさんの釘が入っている部分もあるので、そういう部分は割れ目、ひび、裂け目、腐朽部分などといっしょに切り取る。
(6) もう一度金属探知機を使用して釘を探す。
(7) 注文に応じる前の粗い寸法に切断する。
(8) 注文を受けて適当な量、幅、及び柄の在庫を選別する。
(9) すべての板をまっすぐにし、余白を削って仕上がり製品にする。
(10) 出荷

解体木材に施す加工は日本国内で行なわれているものと大差ないが、解体木材の入手方法が解体業者への入札制度という点がはっきりと異なる。

2)解体木材の品質保証制度

再利用の動きが活発になるに従い、新たな問題も起こっている。米国では工程コストの最小化の結果、適切な鉛処理を行わない生産者や、木材の階級を欺くなどの多くの法律違反を犯す業者も存在しているようである。英国では保護指定された建物からの盗品が販売され、知らずに購入してしまうこともある。

こうした問題から消費者を守り、適正な業者を認定する制度が非営利組織によって設けられている。解体木材の再生製品であることや、その品質などを保証する組織も存在する。そのほか、解体木材の履歴等を表記した、自社の保証書をつける業者もある。

(1)スマートウッド　再発見木材プログラム　認識ナンバー(米国)

ニューヨーク市に基盤をおく非営利保護組織「熱帯雨林同盟」の中の計画であるスマートウッドプログラムは、環境への負荷を最小限にし、森林の適切な管理によってつくられた木材製品を認定している。設立当初は熱帯雨林の木材を対象にしていたが、1996 年から「再発見木材(Rediscovered Wood)」も加えられた。再発見木材とは、解体事業によって古い建物から得られた木材や、廃棄物として捨てられていた木材などを指す。認定された木材製品には認定番号が表記され、消費者が商品を選ぶ際の基準となる。

1999 年末時点で再発見木材を扱う業者として登録しているのは 13 社、そのうち再発見木材のみ扱っているのが 4 社ある。業者の事業内容は、販売のみを行う業者が 4 社、自社で製造も行っているのが 5 社である。

(2)サルヴォコード(英国)

SALVO は英国にあるアンティークおよび中古建材の情報を供給する団体で、1995 年より欧州および北米のアンティーク建材が盗品や保護指定文化財から採られたものでないことを保証する SALVO　Cord を始めた。保証のしるしとしてロゴマークをつける。135 の業者が登録している。

(3)業者独自の保証

米国のある木材業者では、再生木材に独自の保証書をつけている。保証書にはもとの建物の所在地、建物用途、何に使われていた部材か、何に再製材されたかといった情報が書かれてある。

3. 解体木材再利用の仕組みについて

解体木材を建築材料として再利用している事例は数多くあるにもかかわらず、現在のわが国の政策では「解体木材を再利用する」＝「チップ化」という手段しか考えられていない。建設発生木材を原料とするチップ化プラント数は 1995 年現在で 153 施設であるが、チップ化する方法だけで解体木材の再利用率を上げるためには 2010 年度までに 329 施設を新規に設置しなければならないという報告[2)]が出されており、現状の 3 倍以上のプラント数を必要としている。しかし、燃料や製紙・パルプ材料などのチップ需要は伸び悩んでおり、チップ化だけでは再利用率が上がるとは考えられず、また環境負荷を考えた場合にも、建築材料としての再利用を増やしていく方が望ましい。現在のところ、国内では解体木材を建築材料として再利用する認識はまだ低く、そ

の体制も整っているとは言い難い。そこで本章では、解体木材の再利用に関する現状をふまえた上で今後の再利用の仕組みについて検討し、再利用を推進するための提案を行う。

3.1) 再利用経路

解体木材が建物や家具などの材料として、木材そのままのかたちで再利用されるまでの経路を図７に示す。解体木材の再利用は、解体工事後、同じ敷地内の建築(建替え)工事で再利用される場合と、別の場所で再利用される場合との二つにわけられる。同じ敷地内で再利用されないものは、他の場所へ移動することになるが、直接再利用現場へ移動する場合と、すぐには現場へは持ち込まず、どこか別の場所で収集･保管される場合の二通りが考えられる。収集した木材をただ保管しているだけでは、再利用を行う現場へ移動させたあと、汚れを落としたり、釘などの異物を除去したりと、新材には必要ないような種々の処置を現場で施さなければならない。清掃や異物の除去、製材加工、家具やその他木材製品の製作など、現場に入る前に必要に応じた処理や加工が施されていれば、利用する側は速やかに材料を使用することが可能である。本研究では、このように解体現場から運ばれてきた解体木材を再利用するために保管し、処理や加工を適宜行う機関を「(解体木材の) 再利用機関」と呼ぶことにする。こうした機関が存在することで、解体木材を発生させた人が再利用できない場合でも、別の人がかわって再利用する機会を得ることができ、解体木材の流通に役立つと考えられる。また、この機関から直接工事現場や消費者のもとに解体木材が運ばれることはもちろん、小売店を経由して解体木材を販売する体制を整えることによって、より多くの人が解体木材を選択肢のひとつとして捉える機会が増え、解体木材の流通が活発化するものと思われる。

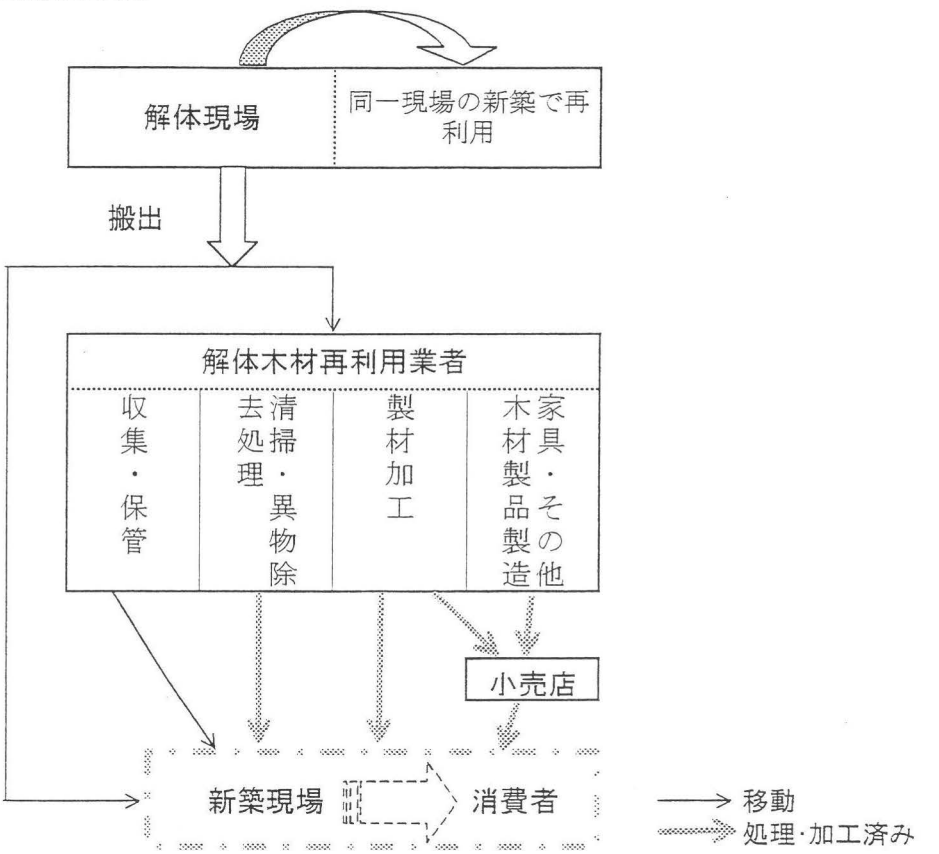


図７　解体木材再利用経路

3.2)解体工事と現場からの搬出

木造建物の解体方法とその後の解体木材の再利用方法については密接な関連性がある。丁寧に解体すれば異物の混入や工事による欠損が少なく、再利用の可能性が広がるのに対し、粗雑に解体すれば異物が混入した状態となって分別が困難となり、再利用の可能性はほとんど残らない。日本における現行の法律では解体工事に関する規制がほとんどないため、作業効率だけを優先させた粗雑な解体方法を取り締まることが出来ない。再利用できるはずの材料が廃棄物として処分されてしまうのを未然に防ぐためには、解体工事が適切に行われるような規制が必要である。

解体工事請負金額は、工事面積あたりで一律に料金が決まっているのが現状である。発注者側が充分な工事期間を与えずに解体工事を発注すると、丁寧な解体や適正な分別は時間がかかるために行われなくなり、重機であらゆる物質をまとめて壊してしまう方法が取られる。こうして発生した廃材は建設混合廃棄物となり、処分場で高い費用をかけて処理しなければならないため、その経費を削減するために不法投棄や野焼きなど違法な処理を行う業者も存在する。

廃棄物マニフェスト制度は、このような違法処理を防ぐ目的で制定され、解体工事の請負業者の責任で廃棄物処理が適正におこなわれているかを見届けるものである。しかし請負業者が違法な処理を行わないよう監視するためには、工事発注者にも廃棄物処理の責任を負わせる制度を考案するべきであると考える。また、適正な廃棄物処理を促すためには、解体工事費と廃棄物処理費を明確にした上で料金を設定する方法を採用すべきである。

できるだけ工事による欠損のない状態で解体木材を収集するためには、解体業者にそうする意欲を持たせることが必要である。解体工事費用については、丁寧に分別解体するほど高額になるが、逆に処理費用については丁寧な分別解体ほど安くなるという調査結果[1]がある。きちんと分別の行われた材料の処理費用を安く、混合廃材は処理費用を高めにし、その差を解体方法の違いによる工費の差より大きくなるよう設定すれば、丁寧に分別解体したほうが工事にかかる費用を少なくできる。また、解体木材の再利用機関が有償で解体木材を買い取る場合、ほとんどそのままで利用できる状態のものから、加工するための手間がかかるもの、チップとして利用するものと、段階的に買取料金を設定すれば、解体業者の分別に対する意識が高まり、状態の良い解体木材のストック形成につながると考えられる。

全国木材資源リサイクル協会連合会の会員に行った調査[3]によると、ほとんどのチップ化工場が処理料金を受け取って解体木材を引き取っており、有償で買い取る工場はわずかであった。これは、調査対象のチップ化工場が産業廃棄物の中間処理施設としての許可を得ているためである。第一章でも述べたように、廃棄物処理施設は廃棄物を無償または有償で引き取ることになっている。他者から引き取った解体木材を再利用するために加工処理を行う場合には、異物の除去や切断・製材処理に伴って廃棄物が生じることが見込まれる。このため解体現場から搬出された解体木材は再利用機関に有償で売却された場合にも、産業廃棄物として法の適用を受けることになる。マニフェスト制度が適用されるならば、解体木材の再利用機関は産業廃棄物処理業者として許可を受ける必要がある。マニフェスト制度は廃棄物処理の責任を追及するシステムとして優れているものの、廃棄物処理業者(無償か有償で廃棄物を引き取り、処理や処分を行う)または再生利用業者(無償か有償で廃棄物を引き取り、そのほとんどすべてを再生処理する)にしか委託できないことになっている。解体木材は工事から排出される廃棄物として当然適用されるべきではあるが、委託できる者を産業廃棄物処理業者と再生利用業者のみに限定するのではなく、廃棄する物質を

含むものを有償で引き取って再利用する業者には別に定義づけを行い、マニフェストを使って委託できるようにすることが望ましいと考える。

3.3)解体木材の性質

解体木材は、主として木造住宅を解体したものから排出されるが、その品質は建物の築年数、構造、損傷の状態などによって様々である。とくに、古民家部材のように独特の味わいがある、あるいは現在では手に入らないような品質や大きな寸法の木材などの価値があるものもあれば、そのような付加価値はまったく持たないものもある。消費者意識調査では独特の味わいのある材料を再利用したいとする意見が非常に多くみられた。これらの回答者は自分が所有している建物の解体木材を利用する以外にも、業者から購入して利用したいと思っている割合が高く、こうした付加価値のある解体木材は市場性を十分備えているといえる。また、目立つところに使いたいとする回答の割合が多く、意匠的に利用したいとする意識がうかがえる。一方、多少見た目が劣る部材でも再利用したいとする意見や、外からは見えないところで解体木材を再利用したいという意見もあり、特別な付加価値がない木材でも新材より安く手に入るのであれば需要はあると見込まれる。

このように、解体木材のなかにも古民家部材の持つ独特の味わいという付加価値があるものと、そうした付加価値はなくただの住宅部材の、まったく違う性質を持つ解体木材が存在しており、再利用する用途やそれを再利用したいと考えている消費者も異なると考えられる。これらの異なる性質の解体木材に対して、それぞれ別の再利用機関や市場を設けることで専門性が高まり、特性を生かしたきめ細かい対応が行われやすくなるものと思われる。市場価格については、古民家部材は付加価値があるため、多少高くなっても需要はあると見込まれる。一方普通の建物の部材は非常に優れた品質であるものばかりというわけではないので、販売価格はできるだけ新材よりも割安になるよう設定すれば、消費者は解体木材を使うメリットを実感できる。

4.強度性能試験について

古材の性能評価に関する既往の研究として、小原らによる「木材の老化に関する研究（第Ⅰ報）法隆寺建築古材の機械的性質」（ヒノキ）や、同じく小原らによる「木材の老化に関する研究（第Ⅲ報）欅古材の強度」、「木材の老化に関する研究（第Ⅵ報）ヒノキ材の強度の変化」などが挙げられる。これらの一連の研究は 300 年～1300 年経過した古材の強度性能を明らかにしたものである。しかし、供試材はいずれも社寺から得られたものであり、一般の住宅に比べ質の良い材料が使われていた可能性が高い。

そこで、本研究室において、主に一般住宅の解体木材（築 30 年から 243 年）を供試材とした強度性能試験を実施した（平成 8 年度、9 年度、10 年度科学研究費補助金　基盤研究(C)(2)）。その結果、欠点を除いた試験体については新材と同等以上の強度性能を有していることが明らかとなった。

古材の性能評価を行う点において、以上の研究は高く評価できるが、実際に解体木材が使用に耐えうるかどうかの判断材料にすることは難しい。材を破壊することなく、簡易にその強度性能が明らかにできれば、解体木材の実用にむけて大きく寄与するものと考えた。

そこで、本研究室に保管してある、JIS　Z　2101 に準拠して行った曲げ試験および圧縮試験

の供試材を非破壊試験により再度性能評価し、JIS 試験結果との相関を検討することを目的に測定機器の検討を行った。

1)加速度センサーによる強度試験

供試材の一端を専用ハンマーで打撃し、その振動を加速度センサーにより感知するものである。計算に使用するパラメータは材料長と体積であるため、切り欠きやほぞ穴等があってもそれ固有の体積を求めることにより、結果が得られる可能性がある。ただし、様々な形状についてサンプリング試験を行い、その形状特有の測定値のデータベースを作成しなければならない。また、欠損部分の位置による違いについても検討を要すると考えられる。

供試材として、ヒノキの角材（新材：30㎜×30㎜×600㎜）３体を用いた。実験結果を表５に示す。

表５　ヒノキ材測定結果

弾性係数

$E=(4*f^2*L^2*\rho)/g$

E: 弾性係数(kg/mm^2)

f: 共振周波数(Hz)

L: 材長(mm)

ρ: 比重(材料重量kg／材料体積mm^3)

g: 重力加速度(mm/s^2)＝9807

材料No.	共振周波数(Hz)	重量(kg)	材長(mm)	辺長(mm)	比重	弾性係数(kg/mm^2)
	f		L		ρ	E
H5－13	3125	0.199	600	30	3.685E-07	5.284E+02
H5－14	4400	0.177	602	30	3.267E-07	9.349E+02
H5－15	4387	0.223	601	30	4.123E-07	1.169E+03
(例)アルミ	8215	0.505	300	25	2.693E-06	6.672E+03

この結果より、ほぼ同等の強度性能を有するはずである供試材の弾性係数に大きくばらつきが出ることがわかった。この原因として、加速度測定器にとってＪＩＳ試験の供試材の寸法が小さすぎたため、正確な加速度が計測できなかったことが考えられた。本方法による非破壊強度性能評価を行うためには、一定以上の材長、材経が必要であることから、JIS 試験体の強度性能との相関の検討は困難であると判断された。

2)軟質腐朽診断機による強度低下診断法

実大の解体木材の強度性能を判断する方法として、軟質腐朽診断機による強度低下診断に着目した。これは、木製の電柱や木製ダムの木材についての実績が報告[4]されている。この方法が、

解体木材の強度性能の診断に応用できるかどうかの検討を行うことを目的として、以下の試験を行った。

2-1)方法

2.1.1. 材料

ヒノキ角材（40㎜×30㎜×80㎜）を使用した。材料は劣化状況を目視により観察し、５段階に分類した。各劣化レベルで 10 体以上の供試材を用意した。分類の基準は奈良県森林技術センター（前奈良県林業試験場）が採用している野外杭試験材の被害度調査基準に準拠した（表６）。ただし、判定レベル５は使用に耐え得ない劣化レベルであるため、本実験においては対象材料として採用しなかった。

表６　被害度調査（分類）基準

被害度	観察状態
0	健全
1	全面的に微弱な、あるいは部分的に軽度の、腐朽またはヤマトシロアリ被
2	かなり広範囲に軽度、あるいは極めて局部的に激しい、腐朽、またはヤマトシロアリ被害
3	２の状態に加えて、部分的に深部に達する激しい腐朽またはヤマトシロアリ被害
4	全面的に激しい深部に達する腐朽またはヤマトシロアリ被害
5＊	腐朽またはヤマトシロアリ被害によって、材が崩壊する

腐朽・シロアリ被害等の程度により、分類基準に基づいて劣化レベルを判定した供試材の様子を写真に示す。

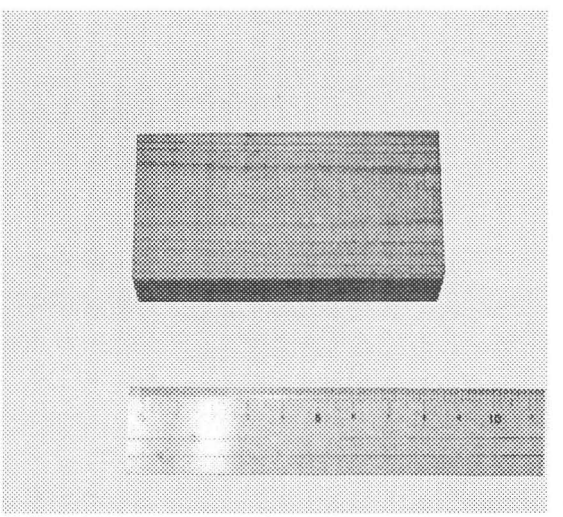


写真１　：　被害度０（板目）

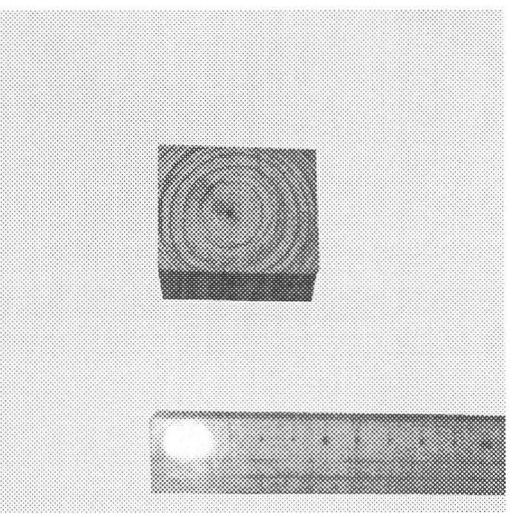


写真２　：　被害度０（木口）

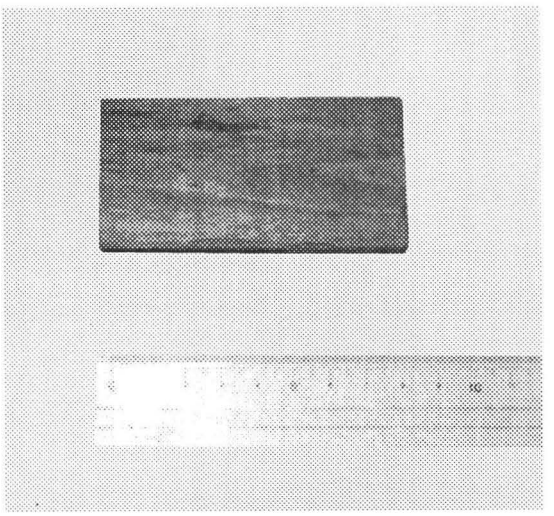


写真３　：　被害度１（板目）

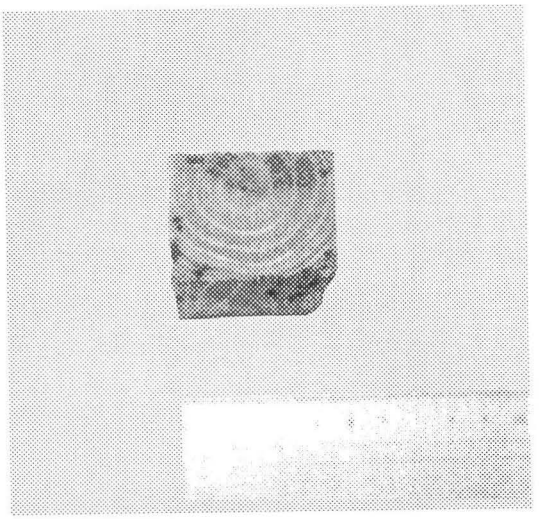


写真４　：　被害度１（木口）

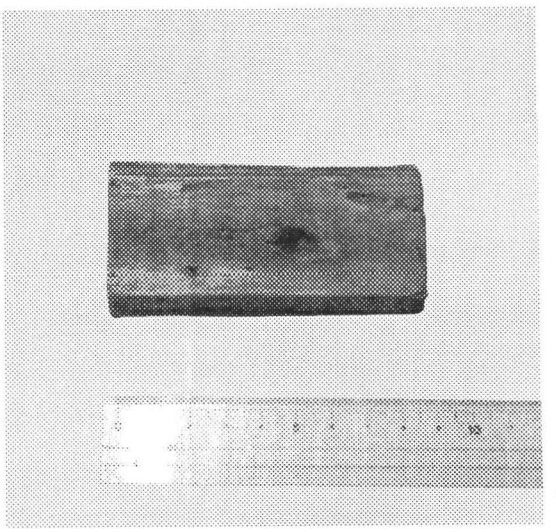


写真５　：　被害度２（板目）

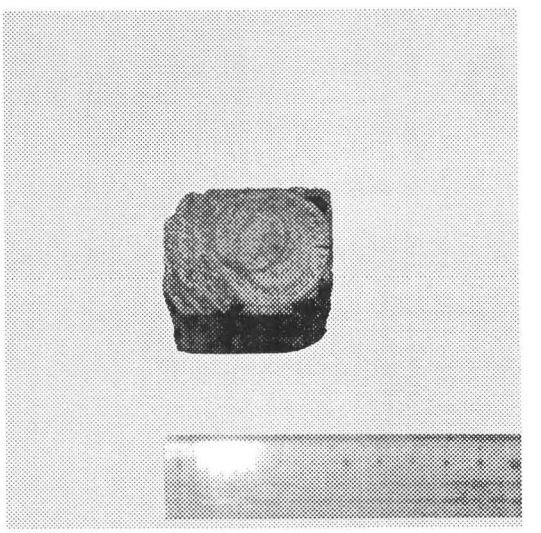


写真６　：　被害度２（木口）

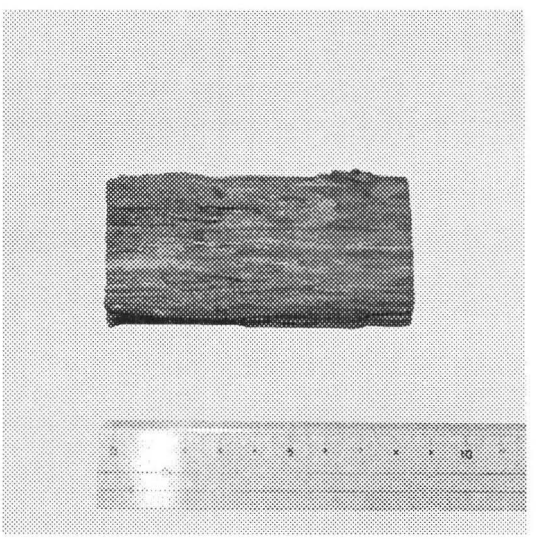


写真７　：　被害度３（板目）

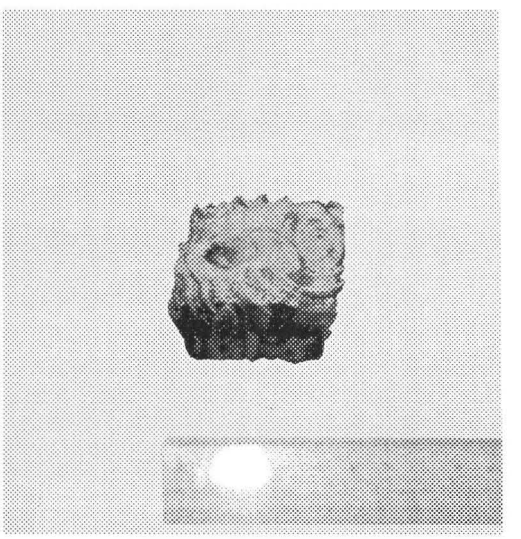


写真８　：　被害度３（木口）

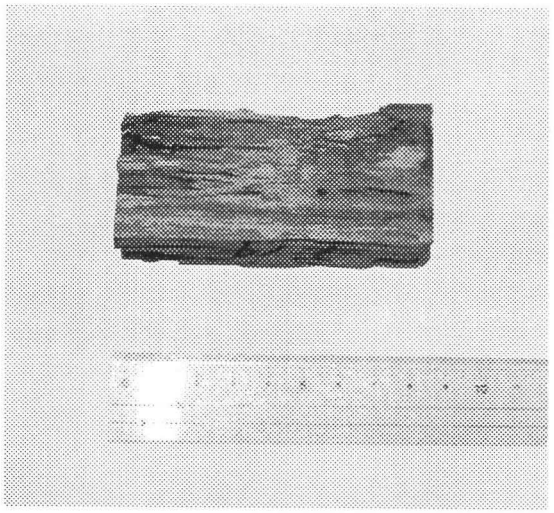


写真９　：　被害度４（板目）

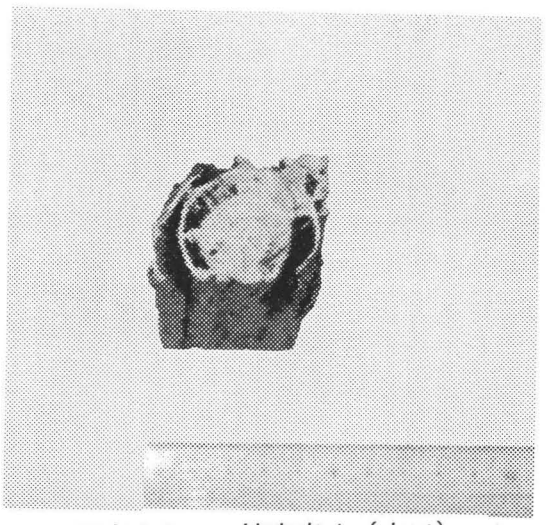


写真１０：　被害度４（木口）

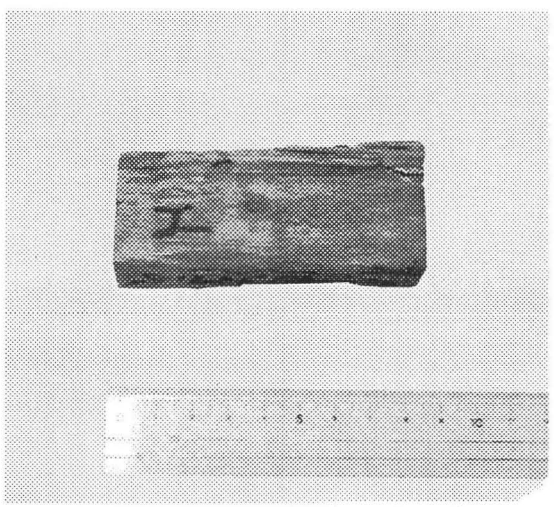


写真１１：　被害度５（板目）

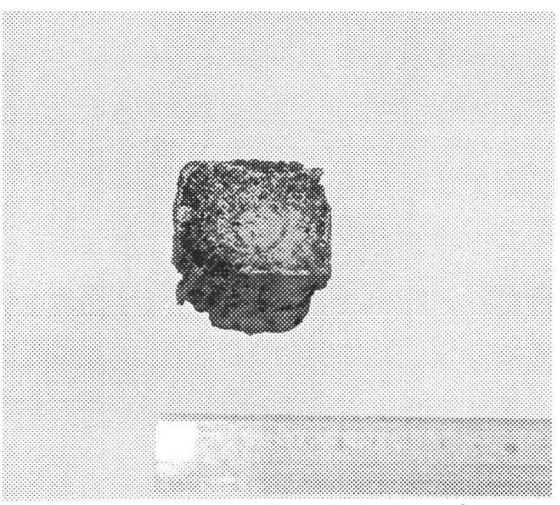


写真１２：　被害度５（木口）

2.2.2 使用器具

Pylodyn 6 Jforset　測定範囲 0～40（㎜）

器具本体は写真に示すとおりである。

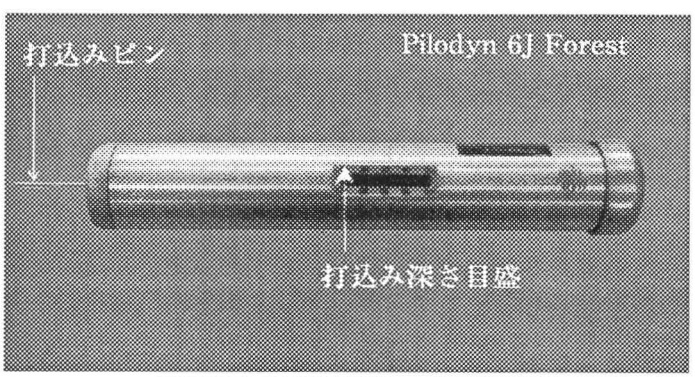


写真 13 Pylodyn 6 Jforset　本体

2.2.3 実験方法

各供試材の板目面に Pilodyn のピン打ち込みを行った。打ち込み数は各試験体５箇所づつとした。

2-2) 結果および考察

測定結果を図８に示す。劣化レベル（被害度）とピン打ち込み深さとの関係をみると、被害度０はピン打ち込み深さが 10 から 17 であり、これが健全なレベルであるといえる。被害度１と被害度２の結果をみると、被害度０に比べると若干ばらつきがみられるものの、打ち込み深さは全て 20 以下である。一方、被害度３以上をみると結果のばらつきが大きくなり、打ち込み深さも深くなる傾向が認められる。また、被害度４では、Pilodyn のピン打ち込みの圧力に耐え切れず、破壊される供試材もあった。

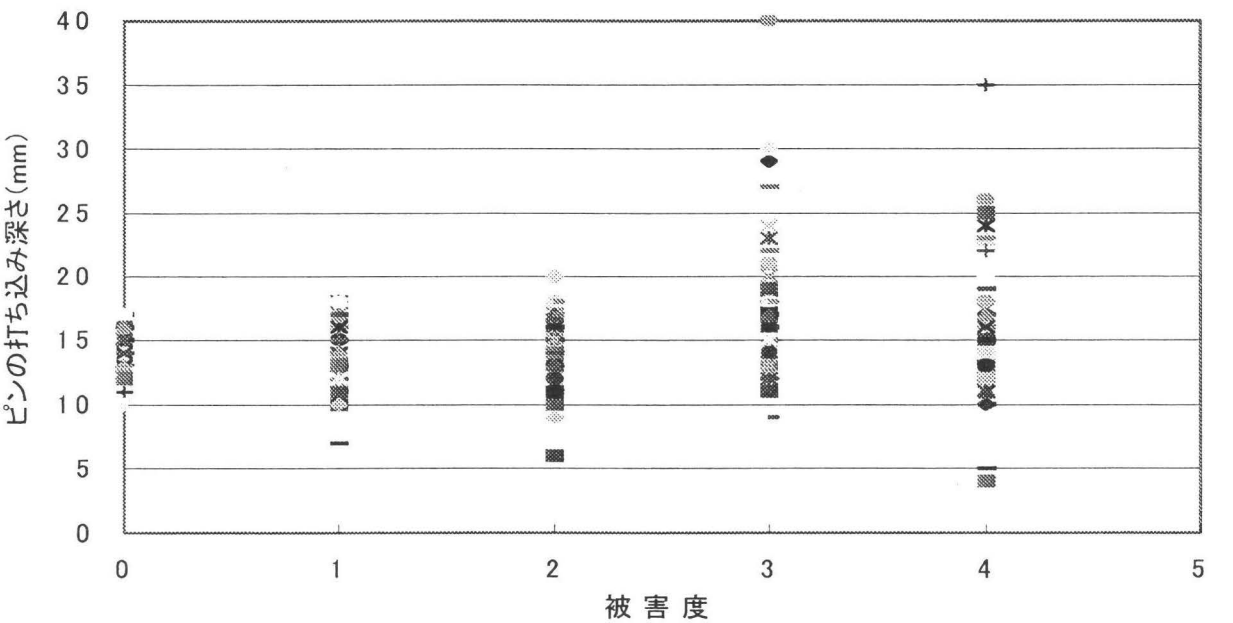


図８　劣化レベル（被害度）と Pilodyn ピン打ち込み深さとの関係

目視による被害度分類基準においては、被害度 2.5 という値が、部材が使用可能であるか否かの境界線といわれている。Pilodyn による結果をみると、確かに被害度２と被害度３とでは結果の傾向が大きく異なっており、ここに使用可能かどうかの境界があるといえる。このことより、従来から目視観察によって判断された劣化レベルと Pilodyn 測定値はおおむね対応すると考えられる。

よって、解体木材の使用の可否を判断する場合には、目視による劣化状況判断がある程度有効であると考えられる。ただし、部分的に劣化が著しく、使用可能な部分と不可能な部分に分けるような場合、または表面的に劣化状況が認められないが、内部で劣化が進行している可能性がある場合などには、Pilodyn による測定を併用することが有効であろう。

5．まとめ

解体木材の再利用に関して、再利用システムの構築および性能評価の視点から研究を行った。まず、解体木材再利用の推進の可能性を把握する目的で、実態調査を行った。一般消費者に対する意識調査結果から、古材を再利用してもよいと考えている回答者の中で、古材を購入して再利用したいと考える回答者が 40%近く存在し、そのうち販売する業者があれば購入したいと思っている回答者は 75%にのぼった。再利用したい古材の品質については、「独特の味わい」など、古材特有の付加価値を求めている回答者が多い一方、再利用してもよいとした回答者のうちの３割は新材と同程度もしくは見た目が劣っている材についても再利用に前向きな姿勢を示しており、特別な価値のない古材についても需要が見込める土壌があることが確認された。

建築士を対象とした意識調査結果からは、約８割が古材の再利用について関心を持っていることがわかった。さらに今後古材を使いたいと思っている回答者も８割を占め、提案者である建築士においても古材の再利用に対する肯定的な意見が大半を占めることが確認された。古材の再利用の経験があると回答した建築士が 35%存在しており、このような事例から再利用方法や施工上の問題点や課題を抽出し、今後の提案に生かしていける可能性も示唆された。さらに、建築士側からの再利用提案が施主に受け入れられる場合が非常に多いという結果は、今後の再利用推進に対する可能性の大きさを示していると考えられる。一方、古材を使用したくない理由としては、市場が形成されていないため、必要なときに手に入らないことや、保管場所の問題、強度や耐久性に対する不安等が上げられた。

国内で解体木材を販売している事業者に対して行った調査結果から、解体木材の販売は解体や建設などの事業と並行して行われており、自ら解体作業を行う業者が多いことがわかった。解体木材に対しては何らかの加工を施す必要があり、これらの作業スペースおよび保管場所を増やしたいと回答する業者が多かった。しかし、これらの業者は広報・宣伝活動はほとんど行っておらず、このことが、消費者への情報不足の一因となっていると考えられた。

建築系専門雑誌を対象とした文献調査からは、大半が伝統的な木造軸組み工法で建てられた住宅の部材が再利用の対象となっていることがわかった。これは、古民家などは良質な材料が使われているため、再利用の対象になりやすいという理由のほか、伝統的な工法は基本的にほぞと栓による接合であるため、解体時に部材への破損、付着が少なく再利用しやすいということも考えられる。今後再利用を進める上では、再利用しやすい工法という視点も重要であるといえる。さらに、事例中、ローコストを理由にしたものは少なく、現状では解体木材の再利用はコスト高になることは否めない。コスト面の問題を改善することが今後の大きな課題である。

米国ノースカロライナ州における建設工事の廃棄物削減プロジェクトに関する文献調査より、建設・解体工事書類の準備および実施において Wastespec という工事仕様書を運用していることがわかった。これは、建設工事における廃棄物削減技術の使用の他、建設廃材の同一工事内での再利用および他の工事への再販売または再利用のための回収、未使用建材の返却や再生するための他の現場への搬入等に焦点をあてて仕様書を作成するものである。ここで注目すべき点は、この仕様書にしたがって行われた工事の大半が建設あるいは解体工事のコストが仕様書に準じなかった場合に比べて同等もしくはそれ以下であるということである。さらに、州政府による解体木材市場への補助金制度等、リサイクル市場を活性化させるための政策が行われており、市場形成にいたるまでの補助政策の重要性が確認された。

よって、わが国において解体木材の再利用のしくみを考えるとき、最終的には解体木材の市場を成立させ、新材と同様に流通し、材料の選択肢のひとつとなることが望ましいが、段階的に進めていく必要があろう。再利用にはコスト面の問題が大きいが、同一現場内の再利用であれば、運搬等のコストが削減され、コストを低減できる可能性が高いと考えられる。次に現場から搬出される材であるが、解体木材再利用業者を一括して収集・保管、製材加工等を行い直接販売および小売店への販売を行う機関として位置付ける。ここでは、一般消費者への情報提供を行うことも重要であろう。当面は解体木材再利用業者に対して、行政的支援、例えば補助金制度や再利用部材を使用した工事に対する優遇措置等が望まれる。

最後に、解体木材の再利用に際し、再利用可能かどうかの性能評価法の検討を目的に、非破壊手法による強度試験を行った。目視による劣化レベル評価をもとに軟質腐朽診断機を用いて強度を測定した結果、おおかた良好な相関性が確認された。この結果と、JIS に準拠した強度試験より、解体木材の強度性能が新材に劣らないという結果を合わせて考えると、以下のことがいえる。解体木材を使用するにあたり、まず明らかな腐朽・シロアリ被害などを目視により確認し、まず６段階で示す劣化レベル判定を行う。それがレベル２までの劣化レベルであれば使用に耐えうる。レベル３以上の劣化レベルの場合は使用可能か同化の判断は慎重に行い、部分的な使用もしくは強度的な要求が少ない使用方法にとどめるべきであろう。また、部分的に劣化が認められる場合については健全部分との境界を Pilodyn により判定する。Pilodyn によるピン打ち込み深さが健全な材と比較して劣らなければ使用に耐えうると考えられる。なお、打ち込み深さは樹種により異なるため、常に健全部との比較という視点で判断すべきである。このように目視および非破壊的手法による強度性能判断を併用することにより、解体木材を使用するうえで障害となっていた強度性能に対する不安に対し、ある程度の指標を示すことができると考えられる。

＜参考文献＞

１．木村菜美：住宅部材の再利用に関する研究,奈良女子大学平成６年度卒業論文
２．再資源化施設・最終処分場の適正な立地に関する研究会報告
３．秋山俊夫編：木材のリサイクル,三調出版株式会社,pp49-64,1998
４．田中俊成：大正から昭和にかけて施工された木製ダムの耐久性調査，第 15 回日本木材保存協会年次大会論文集，pp.1-9，1999

＜研究発表の実績および予定＞

実績：日本家政学会関西支部第 22 回研究発表会（2000 年度）
予定：日本家政学会関西支部第 23 回研究発表会（2001 年度）

表１地区別配布・回収状況

配布地区		配布数	回収数	回収率（%）
集合住宅地区	奈良市平城第二団地	200	145	72.5
	奈良市大宮町パークビレッジ	105	52	49.5
	生駒市辻町ガーデンハイツ	92	76	82.6
戸建住宅地区	奈良市朱雀二丁目	88	54	61.4
	奈良市学園北二丁目	134	73	54.5
	生駒市辻町	84	53	63.1
旧市街地区	橿原市今井町二丁目	39	26	66.7
	奈良市元興寺町・薬師堂町・芝新屋町（奈良町）	74	46	62.2
農山村地区	明日香村稲渕	41	23	56.1
	都祁村針ヶ別所	41	21	51.2
	川上村井光	51	40	78.4
合計		949	609	64.2

表２　調査対象業者の概要

業者	所在地	操業	事業開始	従業員			事業内容	事業申請
				営業事務	技術	その他		
(イ)	東京都	1921	1921	2	4		解体工事、古材木建具販売	廃棄物運搬業、古物商
(ロ)	岐阜県	1967	1970	2	2	3	古美術古民芸品販売、不動産取引業	古物商、不動産取引業
(ハ)	滋賀県	1900	1965	2	7		古民家解体移築再生販売、施工、古民家古材各種販売、葦茅葺き屋根工事、よしペン製造販売	
(ニ)	福島県	1988	1988	1			古民家解体、古材販売	古物商
(ホ)	群馬県	1977	1998	2	12		土木業、解体業	建設業、廃棄物運搬業、砂利採取業
(ヘ)	福島県	1980	1981	3	9		建築設計、施工、公共工事「民間および市町村」	建設業、建築事務所
(ト)	神奈川県	1978	1995	7	2		在来木造建築	建設業、建築事務所
(チ)	京都府	1996	1996	1			古民家再生支援、古民家・古材の情報提供、古民家及び木材の講習会・見学会・研究会	申請していない
(リ)	東京都(本社米国)	1994	1995	3			米国古材(解体材)の対日及び対欧州販売。古材利用の家具及び雑貨の販売	

表３　解体木材の需要と供給のバランス

業者	在庫不足 部材名	同じくらい 部材名	在庫過剰 部材名
(イ)	○ たる木、貫	○ 梁、松丸太	○ 3.5寸角、床柱
(ロ)		○ 常時在庫は相当量持っているがバランスが難しい	
(ハ)			○ 全般在庫過剰は古材販売の信用となるところでもある。
(ニ)			
(ホ)		○ 構造材	
(ヘ)			○ 全体的に、只、今はストックする時期と考えている。
(ト)		○ 基本的に販売のみはしないため、建築に必要と思われるものを保管	
(チ)	○ 梁、特に長大な物	○ 板、特に厚い板	○ 柱
(リ)	○		

表４　事例建築物の用途と構造

用途＼構造	木造	木造を含む混構造	鉄筋コンクリート造	鉄骨造	鉄骨鉄筋コンクリート造	混構造	不明	用途別合計(%)
専用住宅	58	10	3	1				72(41)
併用住宅	6	5	1	2		1		15(9)
集合住宅		1			1			2(1)
別荘・ｹﾞｽﾄﾊｳｽ・ｹﾞｽﾄﾙｰﾑ	12	3	1					16(9)
茶室	11	2	1					14(8)
工房	2							2(1)
事務所	2(*1)		1					3(2)
店舗	2	1					2	5(3)
宿泊施設	5		2		1	1		9(5)
学校・寄宿寮	1	1						2(1)
見学施設	9	1						10(6)
博物館・美術館・展示施設	7(*2)	1	1					9(5)
資料館	3(*1)	1						4(2)
公共施設	3	1						4(2)
イベント施設	3							3(2)
文化財	2							2(1)
その他	3							3(2)
構造別合計(%)	129(74)	27(15)	10(6)	3(2)	2(1)	2(1)	2(1)	175(100)

（＊店舗併用うち数）

表５　ヒノキ材測定結果

弾性係数

$E=(4*f^2*L^2*\rho)/g$

E: 弾性係数(kg/mm^2)

f: 共振周波数(Hz)

L: 材長(mm)

ρ: 比重(材料重量kg／材料体積mm^3)

g: 重力加速度(mm/s^2)＝9807

材料No.	共振周波数(Hz)	重量(kg)	材長(mm)	辺長(mm)	比重	弾性係数(kg/mm^2)
	f		L		ρ	E
H5－13	3125	0.199	600	30	3.685E-07	5.284E+02
H5－14	4400	0.177	602	30	3.267E-07	9.349E+02
H5－15	4387	0.223	601	30	4.123E-07	1.169E+03
(例)アルミ	8215	0.505	300	25	2.693E-06	6.672E+03

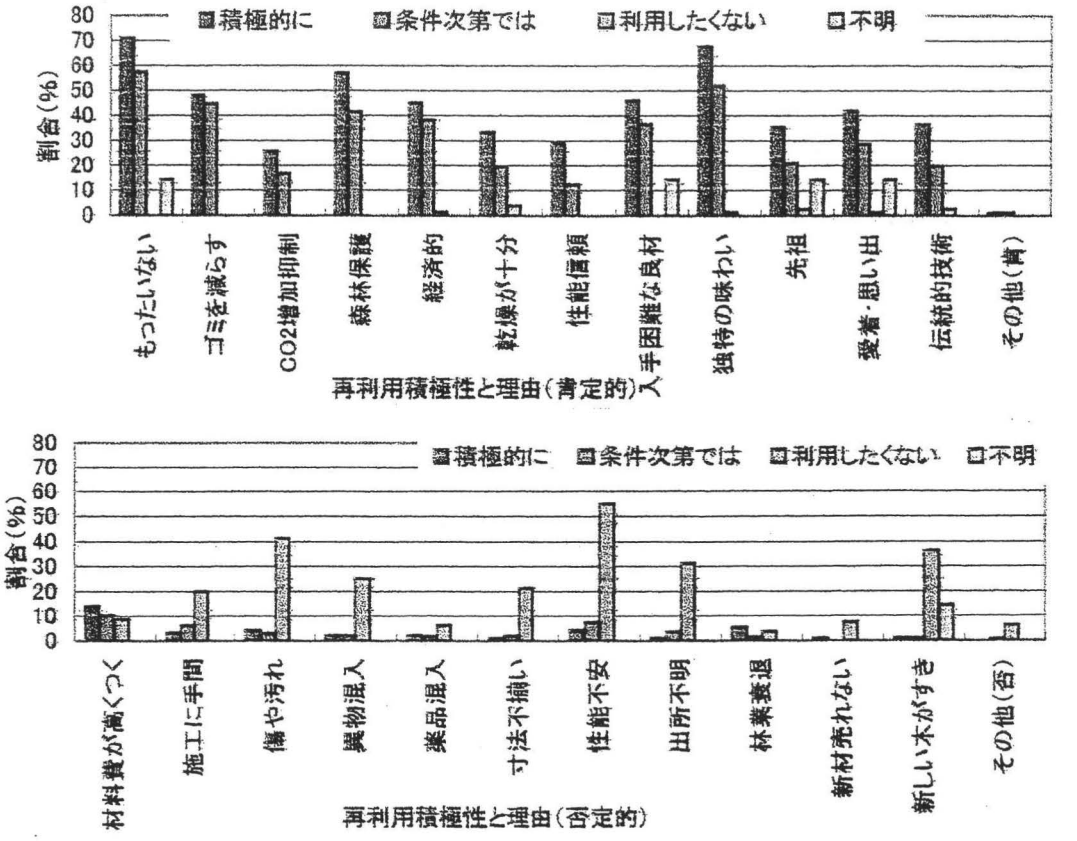


図１　再利用の積極性と理由

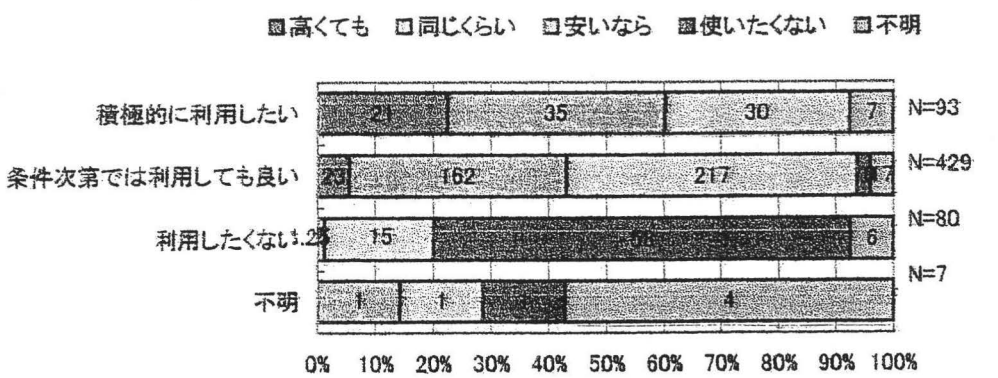


図２　再利用の積極性と再利用にかかる費用

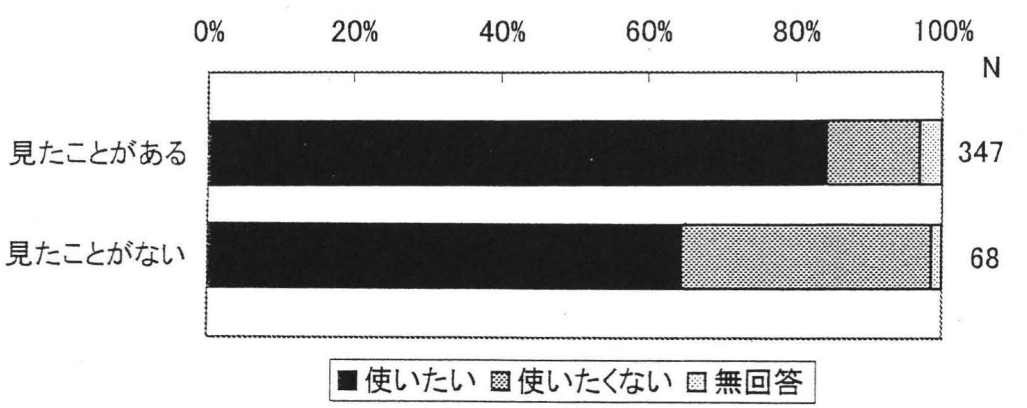


図３　古材建築建物を見た経験の有無と再利用に対する意識

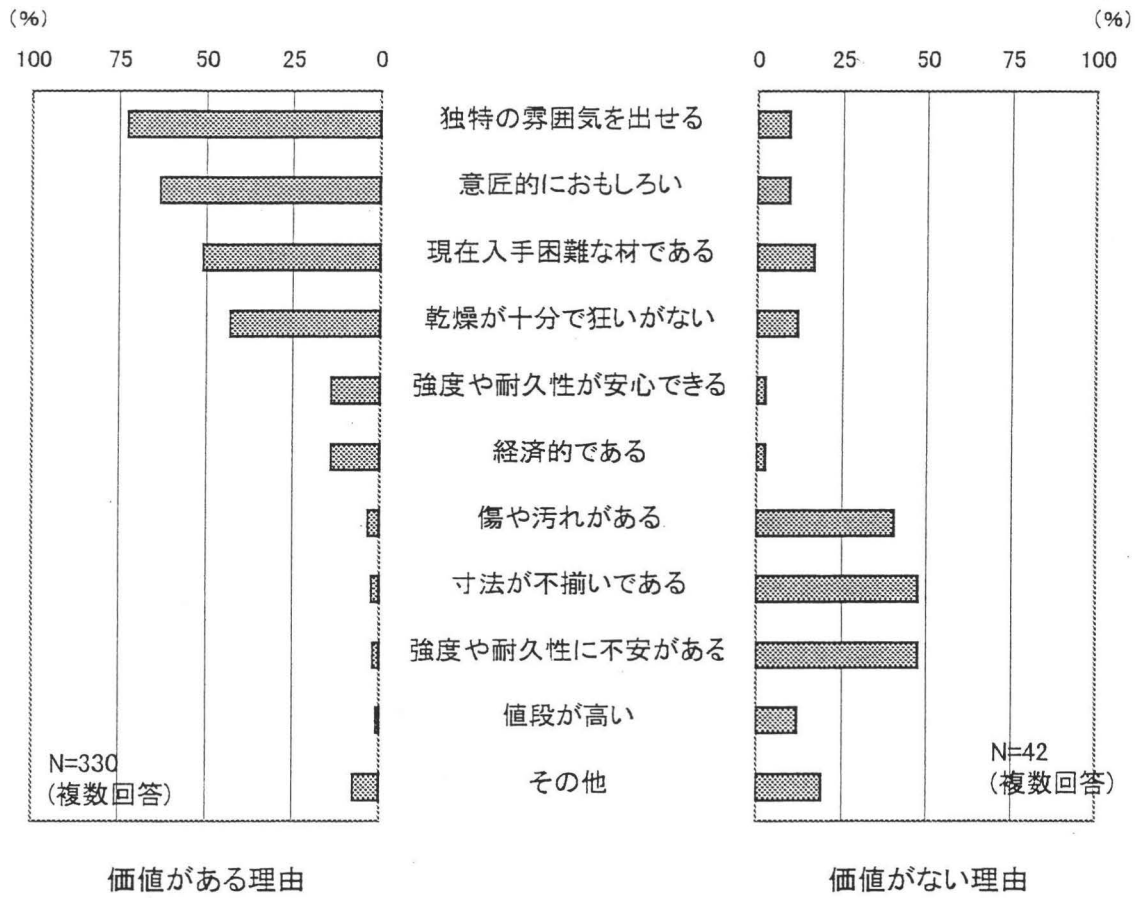


図４　古材に対する評価の理由

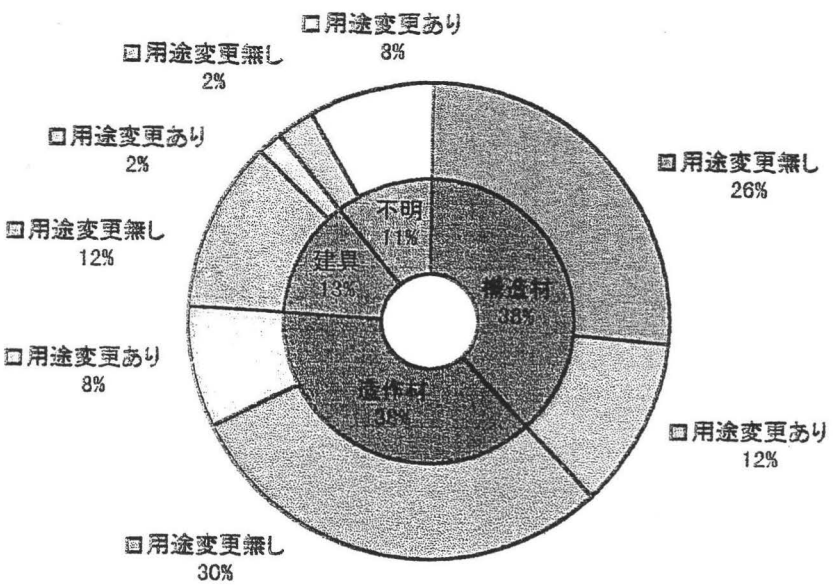


図５　部材の利用型別割合

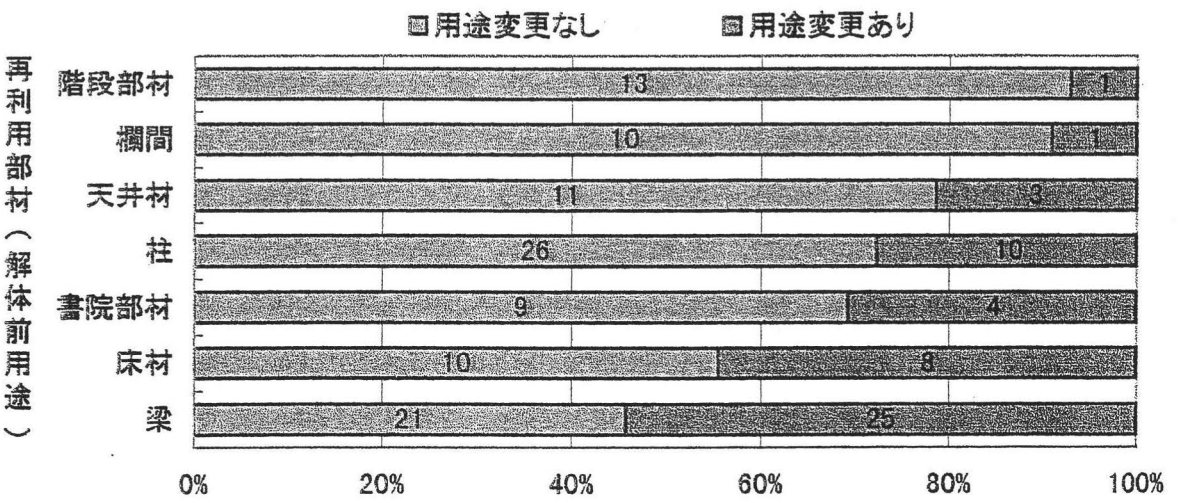


図６　部材用途別「部材の利用型」割合

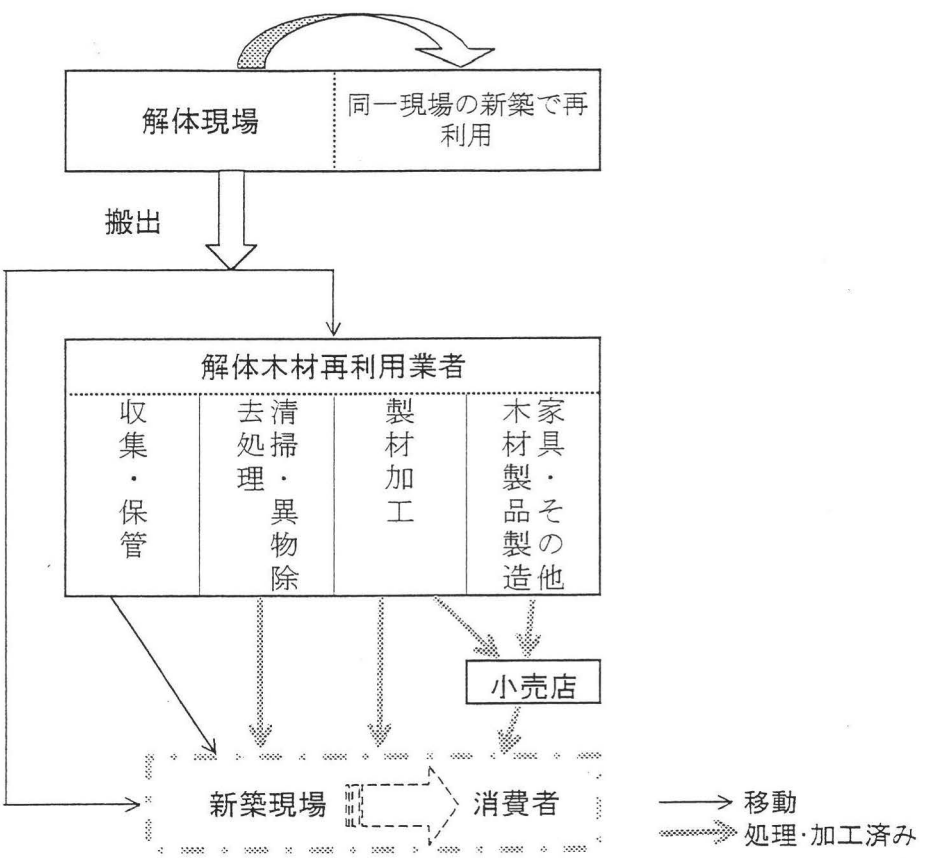


図７　解体木材再利用経路

1－8　都市の魅力づくりに寄与する景観材料のあり方
－既成市街地を対象

株式会社 ジイケイ設計

地域計画部 部長　府川　充

1、本研究の背景

我が国の都市はその多くが明治以前からの長い歴史を有しており、多くの人や物の交流と産業や情報の集積、独自の文化や伝統を育むことで、地域の顔を成す都市の中心性を形成してきた。

しかし、都市に不可欠な多くの機能は、高度成長期からのﾓｰﾀﾘｾﾞｰｼｮﾝの発達、大型ｼｮｯﾋﾟﾝｸﾞｾﾝﾀｰ等の郊外開発、公的ｻｰﾋﾞｽ機能の郊外への移転、核家族世帯の郊外ｽﾌﾟﾛｰﾙ等により、中心部から郊外へと拡散する結果となり、市街地の空洞化や商業の沈滞化、中心性の喪失といった危機を引き起こしている。

この問題に対処する為、政府は中心市街地の再生を集中的且つ強力に支援する方針を固め、１９９８年「中心市街地における市街地の整備改善及び商業等の活性化の一体的推進に関する法律」（通称、中心市街地活性化法）が成立、施行された。

一方、都市整備の分野では、これまでの経済効率優先による画一的な都市に対して、地域の歴史や個性を活用し、魅力創造を図る「都市景観づくり」が各地で進んでおり、まちの活性化にも結びつく事例がいくつも報告されてきている。

以上から質の高い優れた景観は、生活者や来訪者等多くの人々に快適さを提供し豊かな感性を醸成すると考えられ、中心市街地の魅力創造は今後益々重要となると想定され、したがって様々な都市整備や施策に対しての景観的視点より、質の高い指針等、その対応が求められることとなる。

2、目的

1）市街地活性化に不可欠な"まちの魅力づくり"要素である建築物、とりわけ街並み及びﾌｧｻｰﾄﾞの点から、良好な景観づくりの為の材料のあり方を整理し、既存ｽﾄｯｸに対する整備ｱﾌﾟﾛｰﾁや街並み景観形成の方策等の指針を求める。

2）上記1）から得られた調査結果や有意義な情報の実効性を高める為、良好な景観及び材料に関するｶﾞｲﾄﾞを作成し、地方自治体や建築等の担い手（設計技術者やﾕｰｻﾞｰ）、商店街推進機構（ﾀｳﾝﾏﾈｰｼﾞﾒﾝﾄ機構）等を対象に配布し、指針として役立てる。

以上のことより、良好な市街地景観の形成及び中心市街地活性化に寄与する事を目的としている。

3、研究の方法、計画

1）参考事例視察として以下の街並みを視察し、各々の街の持つ雰囲気とその原因良好な景観づくりのあり方を材料の面からも整理する。

2）活動内容を前半（H12年1月～6月）と後半（7月～12月）に分け前半をﾌｧｻｰﾄﾞ・街並みに関しての視察期間、後半を研究執筆期間とする。

3）使い手が自分の立場に立って街を考える「協議型まちづくり」に立ち、街並みﾌｧｻｰﾄﾞに関しての基調となる方向付けを行う。

4）都市計画的な面からのﾌﾚｰﾑの設定をし、ﾌｧｻｰﾄﾞ・街並みづくりの心得の様なものをｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸにまとめる。

街並み参考事例：

1）『造られた街並み』・…”亀戸ｻﾝｽﾄﾘｰﾄ”

2）『一般市街地の街並み（高級住宅街）』・…”代官山・南青山”

『特殊な例 』・…”原宿ｷｬｯﾄｽﾄﾘｰﾄ”

3）『一般市街地の街並み（下町界隈）』……”谷中・根津・千駄木”

4）『ﾆｭｰﾀｳﾝの街並み』…・・多摩ﾆｭｳｰﾀｳﾝ” 南大沢 ”

5） 『歴史的な街並み』・・・蔵の街 ”川越”

6） 『六甲山の麓の別荘地（高級住宅地）』・・・ 芦屋” 六麓荘”

4、実施状況

1）貴財団第7回助成事業にとりくむため、街並みとファサード研究委員会を設置し、平 成11年から平成13年9月にわたって延べ21回の委員会を開催した。

2）参考事例にとりあげた街並みは、関東（東京）7箇所および関西（芦屋）1箇所の計 8箇所を個別に視察し、特に次の「街並みとファザード評価の視点」を重視した。

① 歩いて暮らせる社会環境
② 気持ちや様子が伝わる街並みのやわらかい表情
③ 踏み込める隙間や奥行きをもった空間の存在
④ ファザードにおける図と地（統一感をもたらすものと変化を感じさせる表情）
⑤ 個から公への滲み出しやはみ出し
⑥ 部材や材料、組み合わせからくる表情や感じ
⑦ 看板の扱い方
⑧ ファザードに陰が落ちるような構成部材
⑨ バリアフリーなどの視点からのネガティブチェック

3）ガイドブックは地方自治体、設計技術者、ﾕｰｻﾞｰ、商店街推進機構（TMO）等を対象に、指針として十分役立てるものを意図した。ただし制作は予定より半年遅れて平成13年10月となった。

5、研究の成果と今後の展開

1）ガイドブック「街並みづくり（暮らしのなかの景観と材料）」は、平成１３年９月完成した。

2）ガイドブックは、景観地材料推進協議会 会員、関係自治体に配布するとともに、並行して景観材料推進協議会 ﾎｰﾑﾍﾟｰｼﾞにﾀﾞｲｼﾞｪｽﾄを掲載し、ｲﾝﾀｰﾈｯﾄを通じ広くＰＲにつとめていく。

3）景観材料推進協議会 シンポジウムにおいて、活動成果をテーマにとりあげ、都市景観における 「優良景観」への積極的な取り組みへ働きかける。

添付資料

① 街並みとファサード研究委員会 委員名簿

② 同上委員会開催記録

③ガイドブック「街並みと景観－歩いて楽しむ街並み」

景観材料推進協議会 ・ 街並みとファサード研究委員会（２００１／６／　）

	氏名	企業名	部署名	役職名	住所－１	住所－２
主査	府川　　充	株式会社ジイケイ設計	地域計画部	部長	新宿区上落合1-16-7	NKﾋﾞﾙ
委員長	大谷　正紀	旭硝子株式会社	硝子･建材事業本部硝子事業部ﾏｰｹﾃｨﾝｸﾞｸﾞﾙｰﾌ	主幹技師	墨田区錦糸1-2-1	ｱﾙｶｾﾝﾄﾗﾙ15F
委員	斉藤　新太郎	伊藤鉄工株式会社	都市景観材部	課長代理	川口市川口6-3-14	
委員	山下　　純	株式会社クボタ	住宅建材特需営業部特需営業1ｸﾞﾙｰﾌﾟ	副部長	中央区日本橋室町3-1-3	
委員	久貝　孝一	新日軽株式会社	ｴｸｽﾃﾘｱ事業本部景観推進部	部長	品川区大崎1-11-1	ｹﾞｰﾄｼﾃｨ大崎 ｳｴｽﾄﾀﾜｰ
委員	松永　富憲	トステム株式会社	ﾋﾞﾙ建材本部ﾋﾞﾙﾏｰｹﾃｨﾝｸﾞ統括部	部長	江東区大島2-1-1	
委員	大橋　裕人	ニチハ株式会社	開発企画室	課長代理	名古屋市港区汐止町12	
委員	久保　量載	日本ペイント株式会社	ﾃﾞｻﾞｲﾝｾﾝﾀｰ・ｲﾝﾀﾞｽﾄﾘｱﾙﾃﾞｻﾞｲﾝｸﾞﾙｰﾌﾟ	ﾃﾞｨﾚｸﾀｰ	品川区南品川4-1-15	
委員	足立　卓実	松下電工株式会社	電器分社 電器ﾃﾞｻﾞｲﾝ室	課長	港区芝浦1-12-3	住友成泉芝浦ﾋﾞﾙ8F
事務局	藁科　正康	景観材料推進協議会			中央区日本橋浜町2-17-8	浜町花町ビル

景観材料推進協議会　　街並みとファサード研究委員会

		開催年月日	実施概容概略
平成11年度	第1回委員会	1999. 11. 10	委員会開設挨拶, 委員長選出, 府川主査より委員会の活動内容、趣旨説明
	第2回委員会	1999. 12. 10	今後の活動内容とｽｹｼﾞｭｰﾙについて（全員参加、全員創作
	第3回委員会	2000. 1. 29	亀戸ｻﾝｽﾄﾘｰﾄを視察
	第4回委員会	2000. 3. 11	原宿（ｷｬｯﾄ　ｽﾄﾘｰﾄ）～代官山～南青山を視察
平成12年度	第1回委員会	2000. 4. 22	谷中・根津・千駄木を視察
	第2回委員会	2000. 5. 27	多摩ﾆｭｰﾀｳﾝ　南大沢を視察
	第3回委員会	2000. 6. 27	事例調査第１回～第４回の中間の纏め
	第4回委員会	2000. 7. 26	芦屋・西宮～阪急岡本～六甲ｱｲﾗﾝﾄﾞを視察
	第5回委員会	2000. 9. 6	川越市蔵造り通りの視察
	第6回委員会	2000. 9. 26	ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸの纏め方, ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸの内容について
	第7回委員会	2000. 10. 17	原稿作成ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ・ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸ「街並とﾌｧｻｰﾄﾞ」ﾍﾟｲｼﾞﾈｰｼｮﾝについて
	第8回委員会	2000. 11. 16	原稿作成ガイド（府川主査），「川越蔵つくりの町並み」原稿(斉藤委員), 次回まで各自担当の街並みの原稿を作成予定
	分科会	2000. 12. 5	ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸ制作のﾌｫｰﾏｯﾄ検討。多摩ﾆｭｰﾀｳﾝ南大沢の事例に基づき、街並みのｲﾗｽﾄを含む割付、頁構成、記載内容のｻﾝﾌﾟﾙを作成。
	第9回委員会	2000. 12. 13	「亀戸ｻﾝｽﾄﾘｰﾄ」，「多摩ﾆｭｰﾀｳﾝ南大沢」原稿、サイトマップ
	第10回委員会	2001. 1. 31	「谷中・根津・千駄木」，「芦屋　六麓」，「荘原宿・代官山・青山」原稿
	第11回委員会	2001. 3. 13	原稿落込みフォーマット「街並みとファサード評価の視点」。断面図作成について
平成13年度	第1回委員会	2001. 4. 20	「街並みとファサード評価の視点」を基に執筆者が各項目の説明・読合わせを行った。この中より、街並み及び街並み評価のキーワードを抽出。
	第2回委員会	2001. 6. 5	各委員が撮った「街」別の写真より評価の視点の各項目にマッチするものを選定。次回まで分担して平面図、断面図作成予定。
	第3回委員会	2001. 7. 4	編集会議
	分科会	2001. 8. 9	編集会議（続）
	第4回委員会	2001. 9. 4	委員会活動の総括

景観材料推進協議会　　街並みとファサード研究委員会

		開催年月日	実施概容概略
平成11年度	第1回委員会	1999.11.10	委員会開設挨拶,委員長選出,府川主査より委員会の活動内容、趣旨説明
	第2回委員会	1999.12.10	今後の活動内容とｽｹｼﾞｭｰﾙについて(全員参加、全員創作
	第3回委員会	2000.1.29	亀戸ｻﾝｽﾄﾘｰﾄを視察
	第4回委員会	2000.3.11	原宿(ｷｬｯﾄ　ｽﾄﾘｰﾄ)～代官山～南青山を視察
平成12年度	第1回委員会	2000.4.22	谷中・根津・千駄木を視察
	第2回委員会	2000.5.27	多摩ﾆｭｰﾀｳﾝ　南大沢を視察
	第3回委員会	2000.6.27	事例調査第1回～第4回の中間の纏め
	第4回委員会	2000.7.26	芦屋・西宮～阪急岡本～六甲ｱｲﾗﾝﾄﾞを視察
	第5回委員会	2000.9.6	川越市蔵造り通りの視察
	第6回委員会	2000.9.26	ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸの纏め方,ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸの内容について
	第7回委員会	2000.10.17	原稿作成ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ・ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸ「街並とﾌｧｻｰﾄﾞ」ﾍﾟｲｼﾞﾈｰｼｮﾝについて
	第8回委員会	2000.11.16	原稿作成ガイド(府川主査),「川越蔵つくりの町並み」原稿(斉藤委員),次回まで各自担当の街並みの原稿を作成予定
	分科会	2000.12.5	ｶﾞｲﾄﾞﾌﾞｯｸ制作のﾌｫｰﾏｯﾄ検討。多摩ﾆｭｰﾀｳﾝ南大沢の事例に基づき、街並みのｲﾗｽﾄを含む割付、頁構成、記載内容のｻﾝﾌﾟﾙを作成。
	第9回委員会	2000.12.13	「亀戸ｻﾝｽﾄﾘｰﾄ」,「多摩ﾆｭｰﾀｳﾝ南大沢」原稿、サイトマップ
	第10回委員会	2001.1.31	「谷中・根津・千駄木」,「芦屋　六麓」,「荘原宿・代官山・青山」原稿
	第11回委員会	2001.3.13	原稿落込みフォーマット「街並みとファサード評価の視点」。断面図作成について
平成13年度	第1回委員会	2001.4.20	「街並みとファサード評価の視点」を基に執筆者が各項目の説明・読合わせを行った。この中より、街並み及び街並み評価のキーワードを抽出。
	第2回委員会	2001.6.5	各委員が撮った「街」別の写真より評価の視点の各項目にマッチするものを選定。次回まで分担して平面図、断面図作成予定。
	第3回委員会	2001.7.4	編集会議
	分科会	2001.8.9	編集会議(続)
	第4回委員会	2001.9.4	委員会活動の総括

1－9　木造スケルトン型住宅実現のための中断面集成材を用いた新たな軸組構法の開発

東北大学大学院工学研究科
教授　三橋　博三

1．本研究の背景と目的

木造住宅軸組構法は、我が国の代表的な住宅構法である。だが先の阪神・淡路大震災では、壁量の不足や筋かい端部接合の不備などにより多くの在来木造住宅が倒壊し、不十分な構造計画による在来構法の脆弱さが露見した。昨年の建築基準法改正では、性能規定の概念が導入され、これらの構造性能評価が設計の中に位置付けられるようになった。これにより、木造建築設計における自由度は増したが、明確な構造設計が一層要求されることになったのである。

本研究では、力学的に明快な構造をもち、構造計算を可能にさせる構法として、性能信頼性の高い中断面集成材に、確実な応力伝達の仕組みをもち剛性に優れた接合金物を併せて構成する方法を提案する。そしてこれらの接合部及び実大門型フレームの力学的性能及び変形性能を明らかにすることで、住宅レベルでの新たな半剛接合架構の構築を目指すものである。この架構と耐力壁等を併用させることで、シンプルかつ開放的な空間を構成することが可能になり、木造スケルトン型住宅の実現が図られると考えられる（図1）。

2．スギ中断面集成材を用いた住宅架構の検討

2-1．中断面集成材によるモデル住宅とその架構

住宅の主要構造部材に中断面集成材を用いて架構のスパンを広くし、内部空間の柱や耐力壁をできるだけ少なくすることにより、広い連続した空間が作り出せる。この空間をフレキシブルに分割し、それぞれのライフステージに応じてプランを改変していくことにより、建て替える事なく1つの住宅を利用していくことが可能になる。

このような架構を作る際、基本となるグリッドを定めて構成した方が、プラン計画の面からも構造的な面からも合理的である。中断面集成材を用いた架構に適応する、グリッドプランによるモデル住宅の架構アクソメ図を図2に示す。

2-2　設計荷重の検討及び部材の断面寸法の統一化

この住宅モデルでは①～③通りの部分が3,640mm（2間）グリッドで構成されており、③～④通りが3,640×5,460mm（3間）のグリッドになっている。これらのグリッドの節点に柱を配置し、それぞれをつなぐ胴差、桁、及び梁を中断面集成材により構成する。この構造部材をスギ集成材とし（長期許容応力度：95kgf/cm^2、ヤング係数：70tf/cm^2）、建築基準法施行令に従い荷重を仮定して、各部材が許容応力度及びたわみ制限（10mm 以下）をクリアするための必要断面を計算した。その結果このような 2～3 間をグリッドとする架構では、240×120mm 及び 300×120mm の2種類の断面のみで、主要な骨組みを構成する事が可能であった。

一般的な木造軸組架構では接合部をピン接合と見なし、耐力壁のみが水平力に抵抗すると考えるが、中断面材を用いた架構では部材断面が大きいため、接合部に金物などを用いることにより、ある程度剛な接合が可能であると考えられる。木造において剛接合を目指した接合方法については、モーメント抵抗接合として多くの研究がされており、住宅レベルにおいてもいくつかのタイプが提案されている。より開放的な架構を実現するためには、これらの接合方法を改良し、中断面材に適した接合方法を検討していく必要がある。

3．引きボルト型接合に関する既往研究

接合金物による接合型の 1 つである引きボルト型接合は、伝統構法でも意匠性の高い接合法として用いられている。力学的にも高い回転剛性を持ち座金のめり込みによる靭性的な破壊挙動を示す特徴をもつが、施工性の悪さが指摘されていた。田中[1)]、前田[2)]、吉田[3)]らは、施工性の改善に加え、座金または材のめり込み挙動、引きボルト型接合のモーメント抵抗性に着目して、引きボルト型接合を改良し実験を行った。その結果、引きボルト型接合の特徴である高い初期剛性は得られたが、ボルトの破断による脆性的な破壊につながる危険性のあることがわかった。

4．半剛接合架構のための接合部の実験的検討

4-1. 実験目的

既往の研究を踏まえ、本研究では引きボルトの両端に「自動ボルト締め付け装置（以後、締め付け装置）」を取り付けた改良型引きボルト接合を開発した（図 3 および図 4）。これは、締め付け装置によって、更なる初期剛性の向上を図り、繰り返し載荷によるナットの緩みを減少させ、除荷時のスリップ現象を防止することを目的としている。この改良型引きボルト接合による接合部に加えて、木造ラーメン架構を目指して開発された市販の鋼板挿入型及びボックス型の接合金物を用いた接合部を比較対象として実験を行った。これらの接合部の性能データは、後の実大門型フレームの設計のための基礎データとして用いられる。

4-2. 試験体および試験方法

新たに提案した改良型接合部試験体を TS タイプとし、鋼板挿入型を JM タイプ（図 5）、JM タイプよりも金物、部材が一回り小さいものを M'タイプ、ボックス金物型をⅠ型タイプ（図 6）とする。

部材の樹種、断面サイズは、それぞれの工法において実際に用いられているものを使用した（表 1）。試験は、梁端部および柱頭を加力点とし、変位制御による正負繰り返し交番載荷で行った（図 7）。加力サイクルは 1/300rad から 1/10rad まで 6 サイクル行い、その時点で決定的な破壊が生じていない場合は、ジャッキのストローク限界まで加力した（表 2）。接合部に生じる曲げモーメント M を（1）式により、また層間変形角 $\theta 1$ を（2）式により算出した。

$$M = \text{ロードセル出力値} \times L \qquad \cdots (1)$$

$$\theta 1 = \frac{V1 - V6}{L} + \frac{V4 - V5}{H45} (\text{rad.}) \qquad \cdots (2)$$

L：加力点から柱中心までの距離（cm）

V#：図 6 に示す変位計 V#の計測値（mm）
H45：変位計 V4 と V5 間の距離（mm）

4-3. 実験結果および考察

柱 - 梁接合部試験体の曲げモーメント - 変形角曲線（図 8）を見ると、引きボルト型やボックス型金物は粘り強い変形で高い靭性を示している。引きボルト型では座金のめり込みにより、靭性が向上したと考えられる。また、引きボルト型基本形である Ta タイプ（締め付け装置のない引きボルト型）と TS タイプの第 4 及び第 5 サイクルの履歴曲線を比較すると（図 9）、TS タイプでは除荷後の急激なスリップ現象を抑制する効果が見られた。しかし、締め付け装置の規定により小さいサイズの座金を用いているため、早い段階で座金のめり込みが始まり剛性は得られなかった。

各接合型の剛性を比較すると（図 8）、JM タイプの初期剛性が特に高い。しかし、JM タイプより一回り小さく TS タイプとほぼ断面形状が等しい M'タイプでは、TS タイプとの剛性にそれほど違いはなかったため、断面寸法による効果が大きいと考えられる。また、JM タイプは初期剛性こそ高いが、JM2 試験体では木造建築の倒壊限界といわれる 1/10rad に至る前に、ドリフトピン穴からの材の割裂が生じ、脆性的破壊となった。本研究で目指している架構はシンプルな構造であるため、接合部への耐力依存性が強く、その接合部が脆性的破壊を起こすと、架構としても倒壊の危険性が非常に強くなる。従って、剛性はそれほど高くないが、変形性能に優れたボックス金物型や引きボルト型のほうが門型架構の構築には有効であるといえる。この 2 タイプは梁を落とし込む施工法としては同じであるから、意匠性で金物を全く外部に露出させない引きボルト型の方がより適当であると考えられる。

5．引きボルト型接合を用いた実大門型フレームの実験的および解析的検討

前章に示した接合型接合部の性能試験結果を踏まえ、引きボルト型接合の TS タイプを接合部に用いて門型フレームを構築することが妥当と考えられた。そこで、TS タイプを接合部に用いた門型架構について実大水平加力試験による実験的検討を行った。

5-1. 実験概要

実験は、間口 2 間の架構を想定し、高さ 2730mm、幅 3580mm の 1 層 1 スパンの門型フレームを設計し、これに対して水平加力試験を行った。

5-2. 試験体及び試験方法

試験体は、3 - 1 で考案した改良型の TS タイプ（図 3 および図 4）を接合部に用いた。中断面スギ集成材による門型フレームを C タイプとし、比較対象として樹種をカラマツに変えた L タイプを用意した。

試験方法は、加力にアクチュエータを用い、頂部梁中央を加力点とする正負交番載荷を行った（図 10）。加力サイクルについては接合部試験と同様とした。

層間変形角 $\theta 1$ は（3）式により算出した。

$$\theta 1L = \frac{\delta 1 - \delta 2}{h1} \qquad \theta 1R = \frac{\delta 3 - \delta 4}{h2} \qquad \therefore \theta 1 = \frac{\theta 1L + \theta 1R}{2} \quad \cdots (3)$$

δ1~δ4：図9における変位計H1~H4によって計測値（mm）

5-3. 実験結果および考察

（1）荷重－層間変形角曲線

門型試験体の荷重 - 層間変形角曲線（図11）を示す。接合部試験では、TSタイプは最大耐力を迎えるとその後は耐力を維持したまま、ずるずると変形が進んでいたが、門型フレームは塑性域に入ってからも緩やかではあるが耐力が上昇した。

柱 - 梁接合部、柱脚部は同じ接合部形式でも、柱 - 梁接合部ではめり込みによる靭性が高く、柱脚部は鋼製のベースに直接固定しているため初期剛性が高いといった応力性状としては異なる傾向を示した（図 12）。それが、門型フレームとして構成されることでそれぞれの応力性状が相まって図に示される結果が得られたと考えられる。小変形時には、柱脚部の剛性が強く影響し、変形が進むにつれて柱脚部単独では材の割裂による脆性的破壊の危険性もあったが、柱 - 梁接合部の座金のめり込みと柱への梁のめり込みによって、エネルギーが吸収され、架構として高い靭性を示すことになった。しかし、この引きボルト型では各所で激しいめり込みが起こり、架構に補修の必要が生じた場合は金物の交換だけでなく部材の交換が必要となってしまう点などの問題も示された。その場合、座金を大きくするなどして、めり込みを抑制するかあるいは、部材自体に損傷を起こさせないエネルギー吸収の仕組みを考案する必要があると考えられる。

（2）等価粘性減衰定数heq

門型架構の減衰性能を等価粘性減衰定数により評価した（図13）。heq値は（4）式により算出した。

$$heq = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W} \qquad \cdots (4)$$

ΔW：履歴ループ半周期分のエネルギー

W：等価ポテンシャルエネルギー

heq値はCタイプ、Lタイプとも全体的に10%以下の低い値でそれほど減衰性能がないことがわかる。門型フレームでは、変形が大きくなるとともに値も増加したが、接合部では逆の傾向を示した。これは、接合部では早い段階でめり込みが始まりエネルギー吸収性能を発揮したが、門型フレームの初期段階ではそれほどめり込みが起こらず、変形が大きくなるにつれてめり込みが増していったためと考えられる。また、自動ボルト締め付け装置の効果も、架構が大変形になるにつれて追随できなくなることも減衰性能が低い要因の一つと考えられる。

（3）構造特性係数

架構の塑性変形性能を構造特性係数により評価した（図 14）。構造特性係数を評価する上での塑性率は（5）式で求め、これを用いて構造特性係数は（6）式により求められる。

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \qquad \cdots (5) \qquad Ds = \frac{1}{\sqrt{(2\mu - 1)}} \qquad \cdots (6)$$

δu：終局変位　δv：降伏変位

Ds値が低いほど、架構に塑性変形性能があることを示すが、Cタイプで平均0.235、Lタイプでも0.30という結果を得た。文献4）によると、木質架構のみのDs値は0.533、耐力壁

を含むものでは 0.23～0.31 という結果が得られている。これと比較しても、本実験の門型フレームは耐力壁と同等のかなりの高い塑性変形性能を持っているということがいえる。

(4) 等価壁倍率

これらの架構による構造物の実現性を検討するため、木造住宅の構造設計で適用されている壁倍率による評価を行った（表 3)。

各試験体の壁倍率を見ると、接合部の試験結果から予測された壁倍率は 1.3～1.8 であった。しかし、門型フレームでは C タイプで 2.6 と約 2 倍の値を示した。この値は在来軸組構法で言う「厚さ 4.5cm で幅 9cm の木材またはこれらと同等以上の耐力を有する筋かいを入れた軸組」と同じことになり、フレームとしての実用も不可能ではないと考えられる。

6．おわりに

本研究では、木造スケルトン型住宅の実現を図るため、中断面集成材による半剛接合架構の構築を試みた。そのため、まず開放的なモデル住宅架構について必要な部材断面を計算し、それらの部材に適した接合方法を検討したところ、モーメント抵抗性に優れた引きボルト型接合が有効と考えられた。これより引きボルト型接合を用いた接合部および門型フレームを設計し、その性能について検討を行った。その結果、以下のようなことがわかった。

(1) TS タイプ引きボルト型接合は、自動ボルト締め付け装置を取り付けたことにより、除荷時のスリップ現象をある程度抑制することができた。しかし、規定の座金では引きボルト型接合の特徴である高い初期剛性は得られなかった。

(2) TS タイプ接合によりエネルギー吸収性能の高い柱 - 梁接合部と剛性に優れた柱脚部が構成でき、それらによって門型フレームを構築することで、相乗効果により高い初期剛性と座金および梁のめり込みによる靭性が得られた。

(3) 設計した門型架構は、構造特性係数による評価では高い塑性変形性能が得られたが、架構の減衰性能はそれほど得られなかった。自動ボルト締め付け装置の効果が、架構が大変形になるにつれ追随できなくなることも一要因と考えられる。

(4) 試験後の試験体は座金のめり込みによる材の損傷が激しく、架構のリユースを考慮した場合、金物の交換のみでは補修できない。座金を大きくするなどしてめり込みを抑制するか、或いは、部材自体に損傷を起こさないエネルギー吸収の仕組みを考案する必要がある。

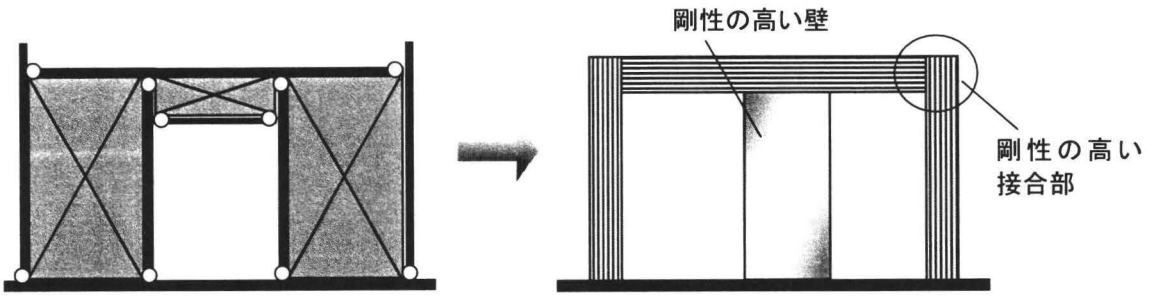
[参考文献]

1) 田中恵理子：木造住宅軸組構法における金物を用いた柱・梁接合部の開発に関する研究，平成 10 年度修士論文

2) 前田杏奈：木造住宅軸組構法におけるモーメント抵抗接合を用いた柱 - 梁接合部に関する研究，平成 11 年度卒業論文

3) 吉田暢子：木造住宅軸組構法におけるモーメント抵抗型柱脚部の開発に関する研究，平成 11 年度修士論文

4) 宮沢健二：合板耐力壁を含む集成材剛接架構の応力性状と変形性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 527 号，pp.125-132，2000.1



・柱–梁フレームの剛性が低い
・多くの耐力壁が必要
→閉鎖的空間

・集成材＋剛性の高い
接合部→開放的な空間
・シンプルかつ明確な
架構で構造計算が可能

図 1. 新たな半剛接軸組架構の概念

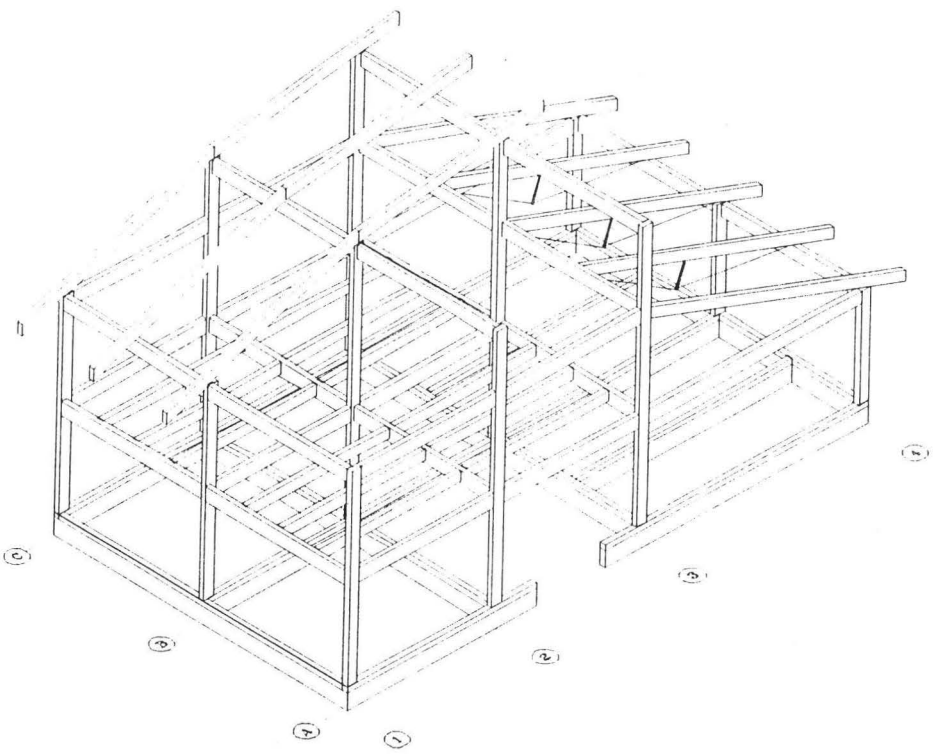


図 2. モデル住宅架構アクソメ図

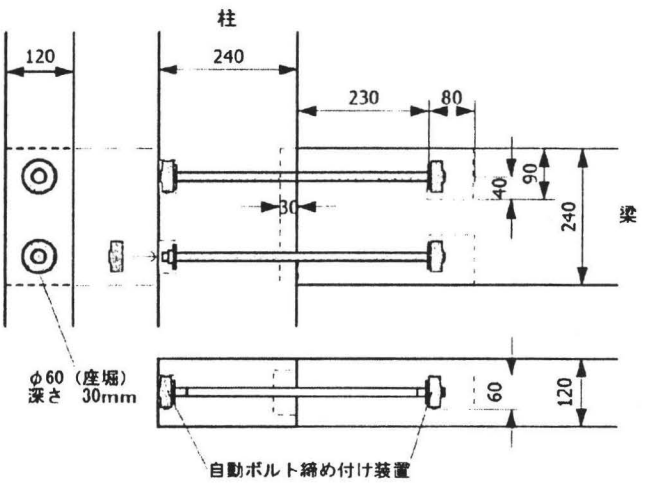


図 3. 引きボルト改良型接合部 TS タイプ（柱-梁接合部）の詳細

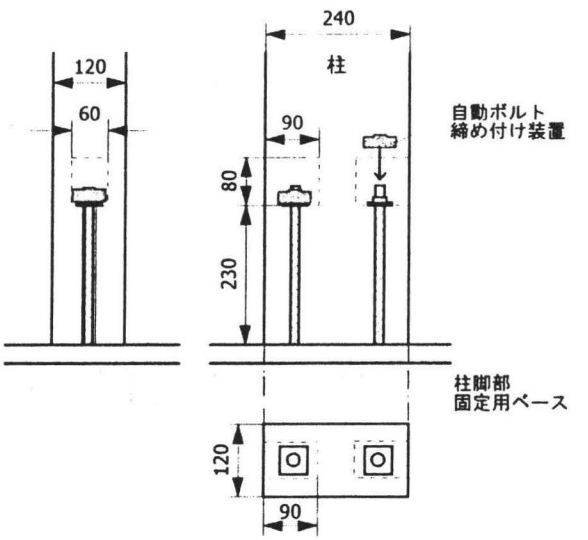


図 4. 引きボルト改良型接合部 TS タイプ（柱脚部）の詳細

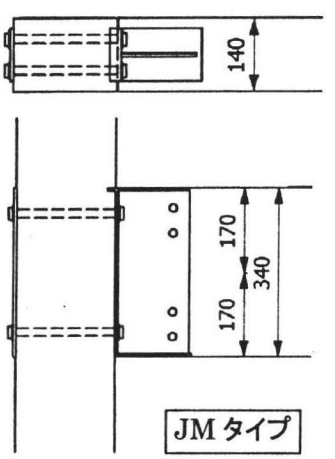


図 5. 鋼板挿入型詳細図

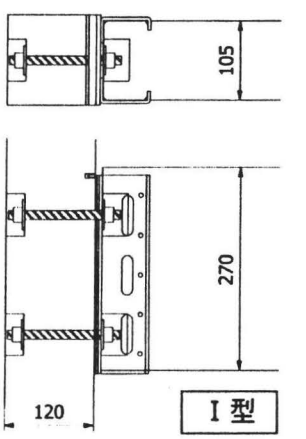


図 6. ボックス金物型詳細図

表 1. 接合部試験体部材詳細

試験体タイプ	樹種	梁		柱	
		断面	等級	断面	等級
TS	スギ	120×240	E75-F240	120×240	E75-F270
JM	カラマツ	140×340	E120-F330	140×200	E120-F330
M'	カラマツ	140×240	E120-F330	140×140	E120-F330
I	W.ウッド	105×270	E105-F300	120×120	E95-F315

※W.ウッド:ホワイトウッド　※断面:断面サイズ　単位:mm

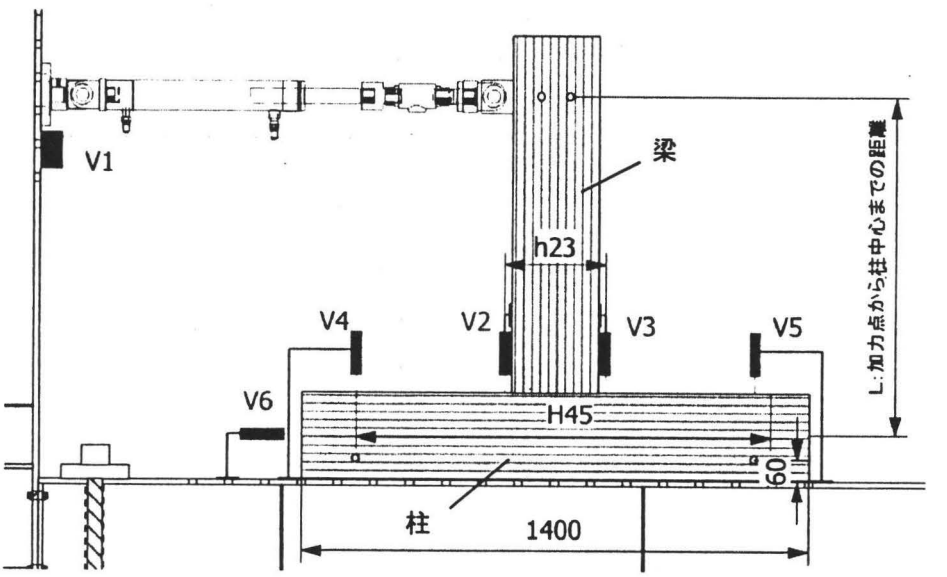


図 7. 柱-梁接合部試験体および試験装置の概要

表 2. 加力サイクル

サイクル	変形角(rad)
第1サイクル	0⇔±1/300
第2サイクル	0⇔±1/200
第3サイクル	0⇔±1/120
第4サイクル	0⇔±1/60
第5サイクル	0⇔±1/30
第6サイクル	0⇔±1/10⇒変形限界⇒0

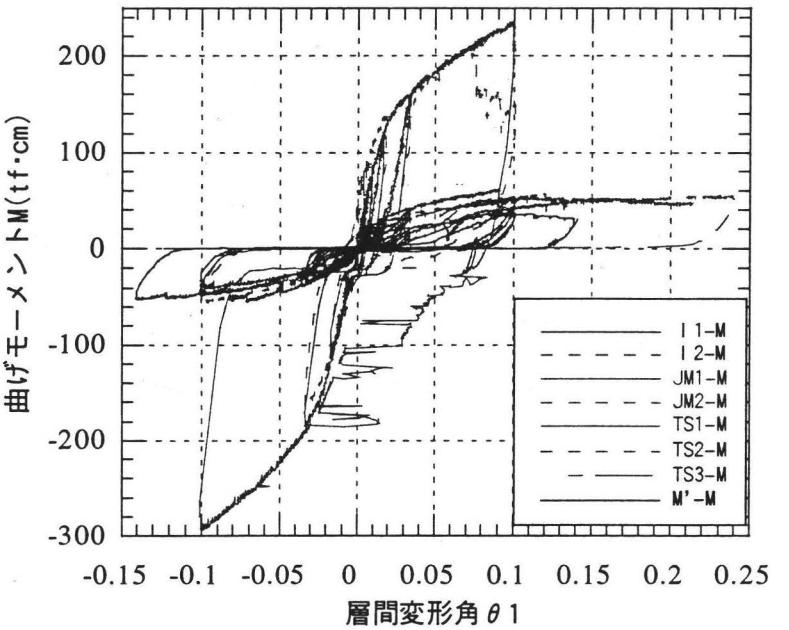


図 8. 柱-梁接合部試験体の M－θ1 曲線

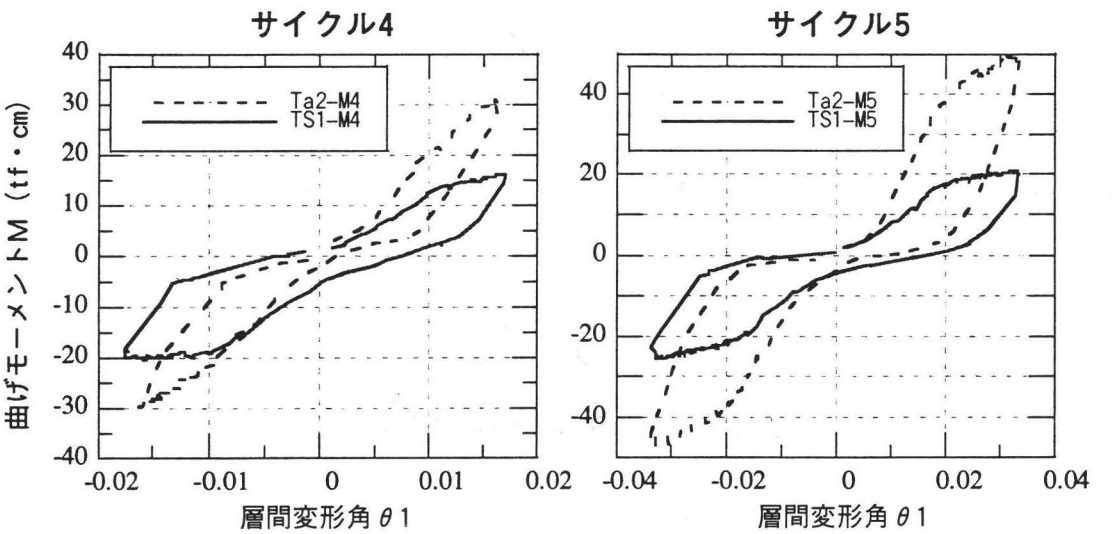


図 9. Ta･TS タイプの M－θ1 曲線

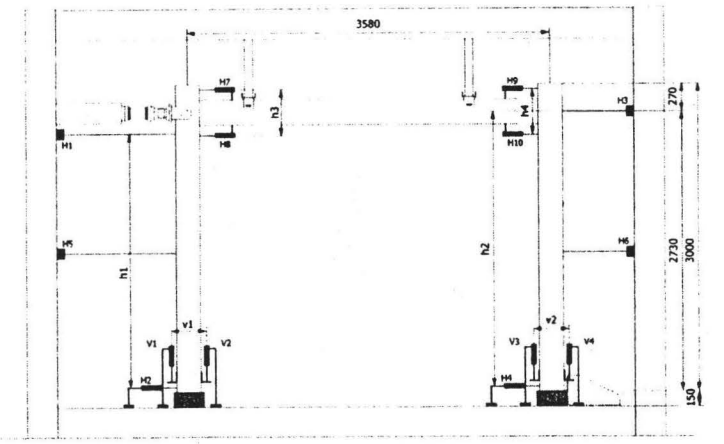


図 10. 門型フレーム試験体および試験装置の概要

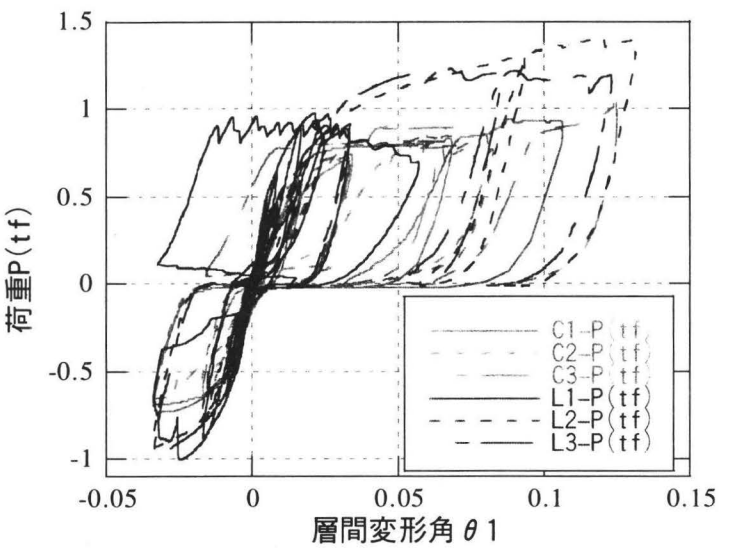


図 11. 門型架構試験体の P-θ1 曲線

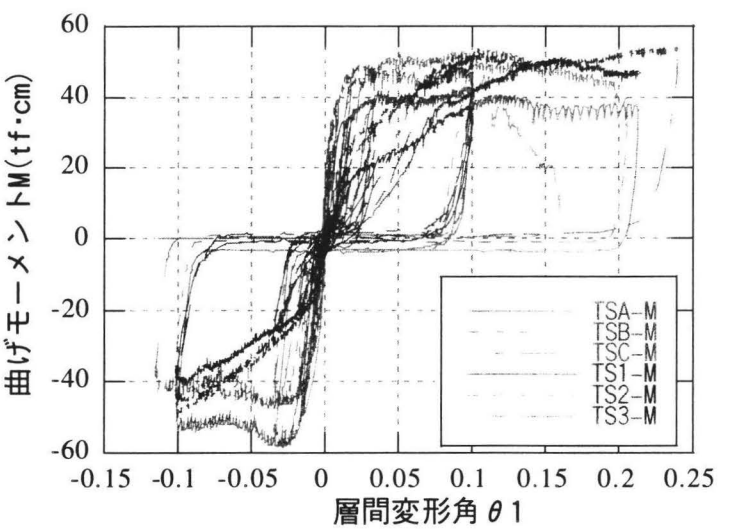


図 12. TS タイプの M-θ1 曲線 ［赤:柱脚部　緑:柱-梁接合部］

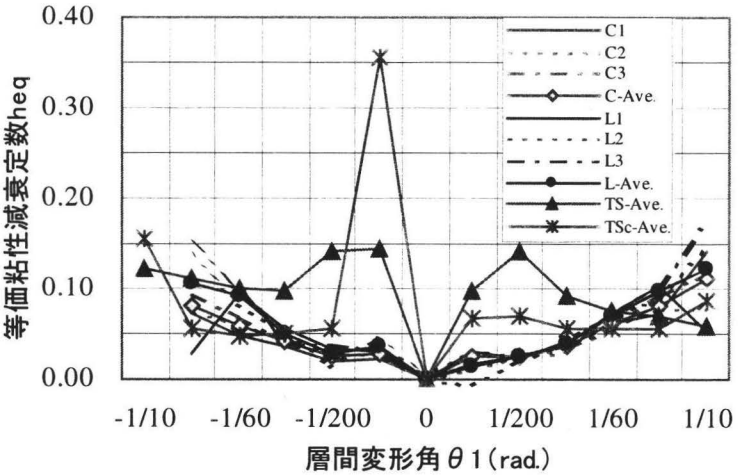


図 13. 等価粘性減衰定数

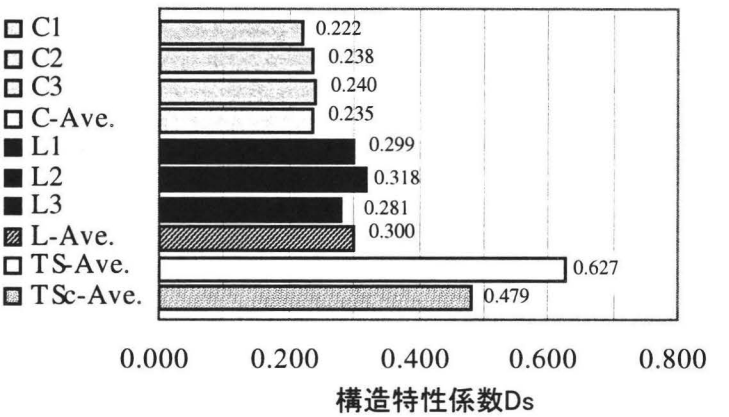


図 14. 構造特性係数

表 3. 各試験体の壁倍率

試験体タイプ	壁倍率	試験体タイプ	壁倍率
C1	2.74	L1	2.83
C2	2.28	L2	3.46
C3	2.88	L3	3.11
Cタイプ平均	2.63	Lタイプ平均	3.13
TS柱-梁	1.33	TS柱脚	1.82

1－10　保育園児のアレルギー性疾患と居住環境との関連性について

東海大学 医学部 地域保健学
講師　逢坂　文夫

［目的］
近年、アレルギー性疾患の増加が顕在化してきている。その要因として、ダニ、花粉、・真菌、大気汚染などの生活環境や基礎体力の低下、同胞数の減少などの生活形態が上げら・れ、その健康影響を指摘してきた。また最近では、揮発性有機化合物（ＶＯＣ）などの化・学物質による影響問題が表面化してきており、今回は、保育園児のアレルギー性疾患と建築年数おける母親の喫煙習慣との関連性について検討した。
［方法と対象］
調査は、東京都Ａ区の保育園（894名）の園児を対象にＡＴＳ－ＤＬＤ質問票（環境庁版）による呼吸器症状および生活形態質問票を用いて行った。質問票は、保育園を通じて配布し保護者記入後、回収した（回収率：98.0%）。
アレルギー性疾患は、最近 2年間の①喘鳴、②喘息有症者および寛解も含めた③喘鳴、④喘息を経験者とした。検討項目は、居住形態（一戸建住宅,集合住宅）、建築年数（0-1年,2-4年,5年以上）、母親の喫煙習慣（①非喫煙、②1-19本／日、③20本以上／日）および喘息の初発年齢とした。
［結果および考察］
保育園児の平均年齢は、3.1±1.8歳であった。居住形態は、一戸建：29.2%,集合:70.8%であった。建築年数は、0-1年:9.0%,2-4年:35.3%,5年以上:55.7%であった。母親の喫煙習慣は、①非喫煙者：76.5%,②1-19本／日:15.5%,③20本以上／日:8.0%であった。喘息の初発年齢をみると、居住形態では、一戸建:1.6±1.6歳,集合:1.3±1.2歳,建築年数では 、0-1年:1.2±1.3 歳,2-4年:1.2±1.5 歳,5年以上:1.6±1.3 歳（5-9年:1.4±1.1 歳,10年以上:1.9±1.4 歳）であり、集合住宅に居住する園児の初発年齢が一戸建に比べ早く、かつまた建築年数が古いほど遅延していた。
各アレルギー性疾患の有症および経験割合は、①31.8%,②10.2%,③33.3%,④12.2%であった。居住形態別にみると、①では、一戸建:24.9%,集合:34.4%,②では、一戸建:7.1%,集合:11.1%,③では、一戸建:27.0%,集合:35.7%,④では、一戸建:10.3%,集合:12.9%であり、①および③において、集合住宅が一戸建住宅に比べ有意（$p<0.05$）に高かった。建築年数でみると、①では、0-1年:36.9%,2-4年:34.0%,5年以上:27.9%,②では、0-1年:9.7%,2-4年:9.1%,5年以上:11.2%,③では、0-1年:38.1%,2-4年:35.6%,5年以上:29.2%,④では、0-1年:12.5%,2-4年:11.5%,5年以上:12.3%であり、①および③において、建築年数の増加に伴い有意（$p<0.05$）に減少した。
母親の喫煙習慣別にみると、①では、非喫煙者:27.8%,1-19本／日:31.6%,20本以上／日:33.9%,②では、非喫煙者:9.1%,1-19本／日:11.0%,20本以上／日:7.1%,③では、非喫煙者:28.8%,1-19本／日:33.1%,20本以上／日:35.7%,④では、非喫煙者:10.6%,1-19本／日:13.2%,20本以上／日:10.0%であり、①および③において、喫煙量の増加に伴い増大した。

既報告では、住居の気密性や出生順位においてアレルギー性疾患に相違が存在したため、対象者は、集合住宅に居住する第一子とした。そこで建築年数（0-1年,2年以上）および喫煙習慣（非喫煙、現喫煙）別に各アレルギー性疾患の有症および経験割合をみると、①では、建築年数（2年以上）・非喫煙群：24.5%,（0-1年）・非喫煙群：31.7%,（2年以上）・現喫煙群：40.3%,（0-1年）・現喫煙群：48.3%であり、建築年数（2年以上）・現喫煙群（$p<0.05$）および（0-1年）・現喫煙群（$p<0.01$）が（2年以上）・非喫煙群に比べ有意に高かった。②では、（2年以上）・非喫煙群：8.2%,（0-1年）・非喫煙群：8.3%,（2年以上）・現喫煙群：12.9%,（0-1年）・現喫煙群：17.2%であった。③では、（2年以上）・非喫煙群：25.2%,（0-1年）・非喫煙群：31.7%,（2年以上）・現喫煙群：43.5%,（0-1年）・現喫煙群：51.7%であり、建築年数（2年以上）・現喫煙群および（0-1年）・現喫煙群が（2年以上）・非喫煙群に比べ有意($p<0.01$)に高かった。④では、（2年以上）・非喫煙群：8.2%,（0-1年）・非喫煙群：8.3%,（2年以上）・現喫煙群：14.5%,（0-1年）・現喫煙群：20.7%であり、建築年数（0-1年）・現喫煙群が（2年以上）・非喫煙群に比べ有意($P<0.05$)に高かった。

したがって、上記の成績からみる限り、住宅の気密性や建築年数の相違により、アレルギー性疾患の健康影響が示唆され、かつまた母親の喫煙習慣がより助長していた。

［今後の展望］

今回の調査研究から得られた知見は、広く一般に啓発する必要性が存在する。２０００年４月から２００４年３月までの３ヶ年にわたり国土交通省が中心となり、厚生労働省、経済産業省、林野庁などの行政や各業界の代表などで組織されている室内空気対策研究会に私も委員として参加しており、それらの会議の中で発表し、さらに学会や講演会などでも、活動の一環として啓発していく予定です。

1－11　環境負荷低減を目的とした資材選択システムを用いた住宅設計の研究

京都大学大学院工学研究科

助手　岩田伸一郎

1．序論

1-1　本研究の背景と目的

環境問題は年々深刻さを増しており、あらゆる分野においてこれまでの成長指向のシステムは持続可能なシステムへと組換えられることが社会的に要請されている。環境負荷低減を目指したシステムには、産業マクロ的視点での低減を目指した産業システムモデルや建築の生産段階に対応したモデルが考えられる。

建築構成資材の選択は非常に多様な解の候補を持ち、また環境負荷である CO_2 排出量やコスト等複数の評価指標はトレードオフの関係にあると考えられる。個別の設計での建材選択では、これらの指標の値を同時に減らしたり、あるいは $LCCO_2$ がある一定目標値以下であればコストの最も小さいものを選択するなどして、上記のトレードオフが多目的問題として解決されることが望まれる。

これまでの建築計画における環境負荷低減の取組は、建築が完成してから、あるいは設計が完了してからはじめて建材の選択を変更するという方法に限定されていた。設計段階における建築のライフサイクルを通しての環境への配慮、つまり、環境負荷の低減を目指した設計行為において、設計の初期段階での方針の決定は重要な意味を持つと思われる。初期段階で LCC や $LCCO_2$ などの様々な予測を行いながらシステムを構築して環境負荷の低減を目指した住宅設計を行うことは、地球規模で環境負荷を軽減させるために重要な役割を果たすと考えられる。

本研究では、まず、トレードオフになる環境負荷である CO_2 排出量やコスト等複数の評価指標の関係に着目し、多目的最適化を行うことで人間生活に直接影響を及ぼす個別住宅スケールでの環境を満足する設計解の発見を目的とする。多目的問題への有用性が裏付けられている遺伝的アルゴリズム（genetic algorithms）を用いて、建材選択による環境負荷を小さくすると同時に居住環境を良くする解の発見を目的とする。選択された建材の組合せから上記の指標を同時に低減させる解を発見し、環境負荷の少ない住宅の部材や建材の構成と、それに基づいた建築部材の配置や配分、および建物の形状と構成を提示することを目指す。ま

た、環境負荷を低減の思考からは出発しにくい建築計画において、パレート最適解集合に示された多様なハイブリッド住宅の設計方法を考案することより、企画段階から環境負荷を積極的に考慮した逆問題的なアプローチの住宅設計手法と、その結果として得られる環境負荷を低減した住宅を提案するところに本研究の特徴がある。

本研究では具体的には CO_2 排出量と最終廃棄物量、コストの3評価尺度によって、導き出されるハイブリッド住宅の評価を行う。

「CO_2 排出量」・・・温暖化ガスの代表である CO_2 排出量の削減は地球温暖化問題の主たる原因とされ、早急に解決が急がれる問題である。特に CO_2 排出量の約 1/3 が建築に関わることから建築分野においても様々な検討が行われており、比較的データが整備されている。

「最終廃棄物量」・・・建設工事現場からの建設廃棄物の排出量は年間約 9,900 万トンで、産業廃棄物の約2割を占め、最終廃棄物量では約 4 割を占めている。また、不法投棄の約 9 割は建設廃棄物とされており、廃棄物量を削減することは重要な課題である。

「コスト」・・・様々な研究の結果、CO_2 排出量などが相当な水準の削減基準であっても実現可能であることが示されているものの、主として経済的理由または経営的理由で採用が見送られる傾向がある。このようなことから建築を成立させるための基盤としてコストを評価値に加える。

1-2 既往研究における本研究の位置づけ

LCC、$LCCO_2$ に関する研究ではモデルや実際の建築物に対して LCC、$LCCO_2$ 分析を行った上で、これらを合理的に削減させるための方策を模索している。

建築分野においては、比較的早くから経済性の評価手段として LCC に関する研究がなされている。石塚は RC 造の中規模事務所建築をモデルとして LCC を計算した結果から、ランニングコストが LCC の過半を占め、これを合理的に減少させることが重要であることを明らかにした(文献 1)。玄他は AHP を用いて設備システムの LCC 分析をおこなう最適案選定システムを開発している(文献 4)。高草木は、賃貸事務所建物の 20 年間の支出データの実態調査結果に基づき、賃貸事務所建物経営の収支計画のためのキャッシュアウトフローのモデルを作成した(文献 2)。

環境問題が建築分野においても重要な問題となると環境負荷の側面からのライフサイクル評価として $LCCO_2$ に関する研究が盛んに行われている。酒井他は標準使用型、リサイクル資材使用型、省エネ型の3タイプでは、$LCCO_2$ の排出量削減において省エネ型が効果的であることを指摘している(文献 3)。

岡他は産業連関表に基づいて、特に必要資源量、エネルギー消費量、CO_2 等排出量の関係を明らかにしている。事務所ビルの建設費や運転費が各産業部門に及ぼす波及効果や、究極的に消費される原料を省エネルギービルと比較した(文献 4)。また、建設に必要な主要資源量、CO_2 ・ NOX ・ SOX ・煤塵の排出量、建設に伴う産業廃棄物排出量を 406 産業部門か

ら計算している。エネルギー消費量は建設費単価に比例し、単位面積あたりの必要資源量、CO_2 等排出量、廃棄物排出量はエネルギー消費量に比例することを明らかにした(文献 5)。さらに 10 の建物を対象に、建設から運用によって生じるエネルギー消費量、CO_2 排出量を産業間で引き起こされる波及効果分を含めて連関分析手法を用いて解析・定量化している(文献 6)。住宅については、各構造別にエネルギー消費量と CO_2 排出量を算出し、単位面積あたりのエネルギー消費量は木造住宅に比べて集合住宅・軽量鉄骨住宅の方が高い原因を構造工事によるものであることを明らかにした(文献 7)。

酒井は、1985 年産業連関表の取引基本表、建設部門分析用産業連関表を用いて、建築構造ごとの単位延床面積当たりの資材消費量の解析、建築資材別炭素排出量の算出を行い、建設資材としての木材の有用性を説いている(文献 8)。また、有馬は、1 年間に着工される住宅の総数における生産から解体にいたるエネルギーをライフサイクルエネルギー調査から求め、CO_2 の発生量を C 換算で求めている(文献 9)。

廃棄物発生量については、紅谷他は構法別・用途別廃棄物量原単位の整備を行っている(文献 10)。

LCC、$LCCO_2$、廃棄物量などを個々に算出して、その効果的な削減を模索する研究は数多いが、これらの仮定条件を変数として GA を用いて環境負荷やコストが十分小さい解や最小解に近い建材選択を行う研究は数少ない。本研究グループでは、先行する研究によって、既に特定の形状における、CO_2 排出量、廃棄物量、コストの変化と、適切な建材と工法とのおおよその関係について把握している。

本研究は、「住宅の形状と空間構成」「建材・工法の選択」「3 評価値」の関係性を把握することを特徴とする。

2. 建材・工法選択 GA システム

この章では、まず、本研究グループが先行して構築したシステムの概要について簡単に解説する。GA のオペレーションを通して生成された染色体をモデル形状に適用することで住宅モデルが表現される。GA によって選択された建材・工法の組合せに対して各データベースを参照し、モデル形状の形状特性を用いて資材別使用量と空調負荷を算出し、ライフサイクルを通しての先に挙げた 3 評価値に基づき評価値を算出する。構造形式として、在来工法（木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造）と工業化工法（枠組壁敷式工法、構造用断熱パネル工法、壁式プレキャストコンクリート工法）の比較を行う。

2-1 住宅のモデル化

「建築物は各部材ごとに資材選択がおこなわれた総体である」という考えに基づきモデル化を行っている。建物モデルは主体構造部分である躯体と各部位に分解される。部位は壁、屋根、床、天井であり、さらに壁は開口部を有する。各部位は構造的部材と仕上げ部材へと

分解することができ、各部位の骨組みとなる構造的部材が主体構造部分と接続されることで部位が統合され建築個体として成立する。

部材における建材の組合せは多種多様であり、また環境負荷の観点から適切な組合せが存在すると考えられる。そのような観点から各仕上げ部材を外装材、内装材の他、下地材及び断熱材に分解する。壁式構造は主体構造部分である躯体と壁の構造的部材である壁体が一体化したものと考える。また、より多様な建材と工法の組合せを得るために1階、2階は別のものとして考えて分解する。設備、階段等は省略している。

2-2　ライフサイクルを通した評価値の算出方法

外気温や日射などの気象条件と、運送コストの算出のため、立地条件を設定する必要がある。建設地は東京とし、資材・部材の工場からの輸送距離は 100km、建築廃材の廃棄物処理場までの輸送距離を 50km と設定した。また、生活する人のライフスタイルによって空調条件は大きく異なるが、12時間全室空調としている。

3評価値は、それぞれ単位床面積・年あたりで算出される。建築物のライフサイクルは企画・設計に始まり、建設、運用、廃棄処分にいたる各段階に分けられるが、本システムでは建設から廃棄処分までを建築物のライフサイクルとして扱い評価を行う。さらに建築物のライフサイクルを資材製造、部材製造、施工、運用、改修、再生処理、廃棄処分の7過程とし、資材の搬入と廃棄処分場への輸送についても考慮している。本システムのライフサイクルにおける評価値算出方法を以下に述べる。

【資材製造過程】

資材製造に伴うCO_2排出量、コストについては、各部材に投入される資材腹使用量の総和に資材データベースで作成した資材CO_2排出量、資材コストを乗じて算出する。基礎の資材使用量は上部重量に0.3を乗じたものとする。

$$CO_2\text{排出量} = \sum_i \left(\sum_j \text{資材別使用量} \times \text{資材}CO_2\text{排出量} \right)$$

$$\text{コスト} = \sum_i \left(\sum_j \text{資材別使用量} \times \text{資材コスト} \right)$$

（i：資材の種類、j：部材を表す）

【部材製造過程】

工場での加工組立によるCO_2排出量、コストを算出する。躯体、壁体について作成された部材製造時CO_2排出量、部材製造時コストに資材重量を乗じて算出する。部材の加工組立を工場で行う工業化工法、在来S造についてのみ算出する。

$$CO_2\text{排出量} = \sum_j \left(\sum_i \text{資材別使用量} \times \text{部材製造時}CO_2\text{排出量} \right)$$

$$\text{コスト} = \sum_j \left(\sum_i \text{資材別使用量} \times \text{部材製造時コスト} \right)$$

【施工過程】

施工現場における労務及び機械使用によるCO_2排出量、コスト及び建設時廃棄物量を算出する。CO_2排出量は主として躯体建設時の機械使用によるもので決まるとして、躯体について作成した建設時CO_2排出量に床面積を乗じることにより求める。コスト、廃棄物量は各部材のデータベースの建設コスト、建設時廃棄物量に床面積または部材面積を乗じて算出する。

CO_2排出量 = 建設時CO_2排出量

$$\text{コスト} = \sum_{j} \text{建設時コスト}$$

【運用過程】

空調運転によるCO_2排出量、コストを算出する。選択された資材の断熱性能によって算出されるモデルの空調運転によるエネルギー使用量に、電力CO_2原単唖、電力コストを乗ずることで算出する。エネルギー使用量は(文献16)に準じて算出する。

$$\text{熱損失係数：} Q = \left\{ \sum_{j} AjKjHj + \sum_{j} (LfjKljHj + AfjKfj) + 0.3n \right\} / S$$

Aj ：部位の面積 [m^2]
Kj ：部位の熱貫流率 [kcal/m^2h℃)]
Lfj：土間床等の外周長さ [m]
Klj：土間床等の外周に対する熱貫流率 [kcal/(mh℃)]
Hj ：外気等の区分に応じて定まる温度差係数
Afj：土間床等の中央部の面積[m^2]
Kfj：土間床等の中央部に対する熱貫流率[kcal/(m^2h℃)]
n ：自然換気回数 [回/h]
B ：気積 [m^3]
S ：床面積 [m^2]

$$\text{日射取得係数：} \mu = \left\{ \sum_{o} \left(\sum_{j} Aj\,\eta jo \right) \upsilon o + \sum_{j} Arj\,\eta rj \right\} / S$$

A ：部位の面積 [m^2]
η ：部位の日射侵入率[-]
υ ：方位係数 [-]
S ：床面積 [m^2]
（oは方位を、rは屋根を表す）

外気温による負荷：$q_O = Q \times S \times |t - t_O|$
日 射による負荷：$q_S = \mu \times S \times J$

Q ：熱損失係数 [kcal/(m^2h℃)]
t ：室内冷暖房温度 [℃]
t_O ：外気温 [℃]
μ ：日射取得係数 [-]
J ：日射量 [kcal/m^2h]
S ：床面積 [m^2]

空調負荷による1ヶ月の電力消費量：$q = 1.16 \times 10^{-3} \times (q_O \pm q_S) \times 12 \times 30 / \varepsilon$

q_O ：外気温による負荷 [kcal/h]

q_S ：日 射による負荷 [kcal/h]

ε ：空調機の成績係数

CO_2排出量 = エネルギー消費量 × 電力CO_2排出量

コスト = エネルギー消費量 × 電力コスト

【改修過程】

耐用年数に達した仕上部材に関して改修を行う。改修される部材は改修以前と同じ仕様で改修されるものとする。また、改修時のCO_2排出量、コスト、廃棄物量は建設時と同様の値を用いて算出する。

改修回数 = 耐用年数 / 躯体耐用年数 - 1 （小数点以下切捨）

【再生処理過程】

再生処理によるCO_2排出量、コストを算出する。また、再生処理による減少廃棄物量も算出する。再生処理によるCO_2排出量、コストは資材や手法により異なるが、基本的には資材腹再生処理量に処理時CO_2排出量、処理コストを乗じて算出する。さらに、再生処理した資材は再利用されるものとして、コストから売値分を除く。

資材別再生処理量 = $\sum_j$ 資材別使用量 × 再生処理率

CO2排出量 = $\sum_i$ （資材別再生処理量 × 再生処理時CO2排出量）

コスト = $\sum_i$ （資材別再生処理量 × 再生処理時コスト）

【廃棄処分過程】

廃棄処分によるCO_2排出量、コスト、最終廃棄物量を算出する。すべての過程で使用された資材、副資材の総量から再生処理利用される資材量を除いた総量が最終廃棄物量となる。CO_2排出量、コストは最終廃棄物量に廃棄処分CO_2排出量、廃棄処分コストを乗じて算出する。

CO2排出量 = $\sum_i \sum_j$ 資材別使用量 × 廃棄処分CO2排出量

コスト = $\sum_i \sum_j$ 資材別使用量 × 廃棄処分コスト

廃棄物量 = $\sum_i \sum_j$ 資材別使用量 - $\sum_i$ 資材別再生処理量

【輸送過程】

建設現場までの資材搬入と廃棄処分場への輸送によるCO_2排出量、コストを算出する。資材搬入によるCO_2排出量、コストは部材重量に部材ごとに設定した積載効率を乗じ、輸送距

離と輸送CO_2排出量、輸送コストを乗ずることで算出する。廃棄処分場へは資材に分解されて輸送されるものとして、資材重量に資材ごとに設定した輸送効率を乗じ、輸送距離と輸送CO_2排出量、輸送コストを乗じて算出する。

$$CO_2\text{排出量} = \sum_j (\text{積載率} \times \sum_i \text{資材別使用量}) \times \text{運搬距離} \times \text{道路貨物輸送}CO_2\text{排出量}$$

$$\text{コスト} = \sum_j (\text{積載率} \times \sum_i \text{資材別使用量}) \times \text{運搬距離} \times \text{道路貨物輸送コスト}$$

$$CO_2\text{排出量} = \sum_i (\text{積載率} \times \sum_j \text{資材別使用量}) \times \text{運搬距離} \times \text{道路貨物輸送}CO_2\text{排出量}$$

$$\text{コスト} = \sum_i (\text{積載率} \times \sum_j \text{資材別使用量}) \times \text{運搬距離} \times \text{道路貨物輸送コスト}$$

2-3 データ

2-3-1 資材データベース

本研究では使用する建材を資材に分解し、各資材の総量を求め、資材データベースを用いて評価値を算出する。資材データベースは、このとき用いる資材に関してのデータである。

資材データベースとして次の3つの項目ついてデータの作成した（表1）。

[資材製造時CO_2排出量] (kg-c/kg)

[資材コスト] (円/kg)

[積載効率] (kg/kg)

また、一部の資材の使用において再生資材の使用を考慮する。再生資材にはCO_2排出量、コストを同時に低減するものと、どちらか一方を低減するものの他方を増加させるものがある。本システムにおいては、各資材使用量のうち何割を再生資材とするかについて選択を行う。再生資材としては、コンクリート、鉄、アルミニウムの3資材について使用されるものとした。コンクリートについてはポルトランドセメントの代替資材として再生資材である高炉セメント、鉄については再生資材である電炉鋼、アルミニウムについては再生地金の使用を反映するように資材細データベースを用意した。評価する項目に対して適切な再生資材割合が決定されるが、再生資材の使用割合の変域を表2のように設定した。

2-3-2 躯体データベース

本システムでは在来工法と工業化工法の比較を行えるように以下の6種類の躯体について躯体データベースを作成した。

（在来工法）・・・・木造（在来木造）、鉄骨造（S造）、鉄筋コンクリート造（RC造）

（工業化工法）・・・枠組壁式工法（2×4木造）、構造用断熱パネル工法（断熱木造）、
壁式プレキャストコンクリート工法（PC造）

躯体データベースは以下の9項目について作成した。

[資材腹使用量] (kg/m^2)

[部材製造時CO_2排出量] (kg-c/kg)

[部材製造コスト] (円/kg)

[建設時CO_2排出量] (kg-c/m^2)

[建設コスト] (円/m^2)

[建設時廃棄物量] (kg/m^2)

[耐用年数] (年)

[積載効率] (kg/kg)

[断熱性能] (m^2hdeg/kcal)

2-3-3 仕上げデータベース

仕上げデータベースは、以下の８項目について作成した。

[資材腹使用量] (kg/m^2)、(kg/m^3)

[部材製造時CO_2排出量] (kg-c/kg)

[部材製造コスト] (円/kg)

[建設コスト] (円/m^2)、(円/m^3)

[建設時廃棄物量] (kg/m^2)、(kg/m^3)

[耐用年数] (年)

[積載効率] (kg/kg)

[断熱性能] (m^2hdeg/kcal) 、(mhdeg/kcal)

仕上げデータベースは、屋根、天井、壁、床、基礎の各部唖ごとに作成し、それぞれの部唖の仕上げデータベースを屋根データベース、天井データベース、壁データベース、床データベース、基礎データベースとする。各項目とも躯体データベースと同様に定義されるが、壁体など部材厚についても選択する部材に関しては単唖体積あたりで算出する。

各部唖は構造的部材と仕上げ部材に分解でき、さらに仕上げ部材は外装材、下地材、内装材、断熱材に分解する。建材は強度、防水、耐火、遮音といった性能を持っている。本研究では強度等の性能は評価対象としないが、各部材において必要な性能を満たす建材についてデータを作成する。外装材、内装材、下地材の各々について、データを作成する建材を表3に示す。

2-3-4 再生処理データベース

解体材の再生処理方法は各資材で大きく異なるため、再生処理の問題は資材ごとに分腹して扱う。再生処理方法は資材ごとにも手法ごとにも異なるが、基本的な再生処理方法のデータベースとして以下の４項目のデータを各資材の各処理方法について整備する。

[再生処理時CO_2排出量] (kg-c/kg)

[再生処理コスト]　　(円/kg)

[再生材の収率]　　(kg/kg)

[再生材の売値価格]　　(円/kg)

再生処理を行う資材はコンクリート、木材、鉄、銅、アルミニウムの5種類とした。

2-4　コード化

建築物を各部材に分解し、各部材を遺伝子情報化することで染色体として表現する。各部材は建材の選択とともに仕様2次情報によって部材厚、窓面積割合が決定される。染色体は各部位の仕様情報、部材厚等の仕様2次情報、再利用情報を表す遺伝子の配列からなる。各部の仕様情報はデータベースを作成した建材について選択を行うが、できるだけ致死遺伝子を生じさせないために遺伝子の組合せによって読替えを行い各データベースを参照する。

建築物はGAの試行によって生成された染色体により部材の組合せとして表現される。部材間には様々な制約があり、環境負荷に有効な建材の加算的な建材選択が必ずしも成立しない。このような部材間の関係を記述し、遺伝子の読み替えや淘汰によって明らかに不適切な組合せを排除している。

以上が、本研究に先行して構築したシステムの概要である。

3.　建物の全体形状の変化による環境負荷

住宅は個々の計画において、敷地や機能、居住者など条件が個々に存在するためその建物の形状および構成は様々である。そのため、建物の形状および構成が異なることで環境負荷にどのような影響を及ぼすかを把握することは、企画段階から環境負荷を積極的に考慮した逆問題的なアプローチの住宅設計にとって不可欠である。本研究の目的は、仮定した様々な建物の全体形状と空間構成のタイプに対し、CO_2 排出量、廃棄物量、コストの評価値がどのように変わるのかを把握することである。本章ではまず、空間構成と建材・工法を固定した状態で、全体形状のみを操作した場合を対象とする。

3-1　建物形状を変化させるパラメーター

本研究では環境工学分野における熱負荷計算、および住宅に関する環境負荷研究の多くに利用されている標準問題の建物モデルを考察の基準とする（図 1）。本章では、階数が 2 階以下の独立住宅において、床面積一定という条件のもとに形状を変化させる。様々な形状の住宅に対し、その形状から部位の面積や体積を用いて資材使用量や空調負荷による電力消費量を求め、評価値を算出する。計算および分析を容易とするために、建物形状に関しては限定した変化を対象とする。建物形状を変化させる項目として①1 階床面積に対する 2 階の床面積の比（床面積比）、②東西辺長に対する南北辺長の比、③階高の 3 項目とする。それぞれの項目を個別に変化させたときの3評価値の変化を分析し、おおよその傾向を把握する。

3-2　形状変化による CO_2 排出量、廃棄物量、コストの変化

建物形状が変化すると各部位の面積や体積が変化する。外気と接する部位の面積は建物の断熱性能に影響を及ぼす。また、屋根、外壁等は日射により熱を取得する部位であり、部位の日射取得量は各方位の部位面積に比例する。これらの形状変化による形状特性と3評価値の変化を捉えることで、形状変化が及ぼす環境負荷への影響をおおよそ把握することができると考えられる。総2階建（1階面積＝2階面積）の形状モデルを「標準モデル」と、これをベースとして形状を変化させたモデルにおいて、3評価値の比較を行う。は形状を変化させたモデルの3評価値と資材構成比、資材使用量を図2に、建材仕様を表8にそれぞれ示す。

形状が変化すると各部位の面積が変化する。部位の面積は各部位の建材の使用量に比例し、外気に接する部位の面積は建物の断熱性能に影響を及ぼす。形状特性として各部位（屋根、床、外壁）の面積、建材を使用する面積として各部位の面積の総和（部材使用面積）、外気に接する部位の面積（外接面積）を考える。

また、形状が変化したとき建物の断熱性能は各部位の外接面積の他に、各方位の日射取得量の違いにより変化する。日射取得係数は建物の日射遮蔽作用を表現するものであり、冷房負荷に大きな影響を与える。日射取得係数は以下の式で表される。

$$\text{日射取得係数：}\mu = \left| \sum_{o} \left(\sum_{j} A_j \eta_{jo} \right) \upsilon_o + \sum_{j} A_{rj} \eta_{rj} \right| / S$$

A ：部位の面積　　[m^2]
η ：部位の日射侵入率[-]
υ ：方位係数　[-]
S ：床面積　　[m^2]
（oは方位を、rは屋根を表す）

冷房期の日射取得係数μw は冷房負荷に増加させる一方、暖房期の日射取得係数μs は暖房負荷を減少さる。すなわち、日射取得係数は冷房期には小さい方が、暖房期には大きい方がよい。形状特性として日射取得係数の変化を考慮する。

1）床面積比のみ変化させたとき

延床面積は一定の条件の下、1 階の床面積に対する 2 階の床面積の比（床面積比）が変化したときの各部位の面積と3評価値の変化を分析する。

図 3 は床面積比を 0.0（1階建）～2.0 の間で 0.2 ずつ変化させたときの各部位の面積の変化を示している。部材使用面積、外接面積とも床面積比 1.0（「標準モデル」）となるときが最小となっている。外接部位の面積は床面積比 0.0（1階建）のときに最大である。これは屋根面積の増大によるところが大きい。床面積一定の場合、部材使用面積や外接面積は壁面積と屋根面積のトレードオフによって決定されていることが分かる。床面積がより大きいモデルに関しては屋根面積の影響が顕著になると考えられる。

図 4 は、屋根、壁の日射取得係数の変化を示したものである。ここでは各部位の縦軸の値

に各部位の熱貫流率：K を乗じたものが日射取得係数を表す。辺長比が一定の場合、各部位の日射取得量は日射を受ける各部位の面積に比例する。屋根の日射取得係数の変化の割合は壁と比較して相対的に大きく屋根面積の増減が空調負荷に影響を及ぼすと考えられる。

図 5 は3評価値の変化を示したものである。3評価値とも部材使用面積や外接面積と似た変化となっている。

CO_2 排出量、コストは部材使用面積、外接面積が最小となる床面積比 1.0（「標準モデル」）のとき最小となっている。廃棄物量は床面積比 0.0 のとき最小となっており「標準モデル」と比較して約 3%小さくなっている。これは壁の面積の減少による資材使用量が屋根の面積の増加による資材使用量の増加を上回ったためである。

図 7 は CO_2 排出量、コストが最小となる床面積比 1.0（「標準モデル」）、CO_2 排出量が最大となる床面積比 2.0（モデル A-1）、廃棄物量が最大となり、極大値となる床面積比 0.2（モデル A-2）、廃棄物量が最小となる床面積比 0.0（モデル A-3）の 4 モデルの空調運転に伴う電力消費量、図 8 は使用資材の総重量を示したものである。

床面積比が 2.0～0.0 に変化したとき「標準モデル」の住宅と比較して CO_2 排出量は 1 倍～1.13 倍、コストは 1 倍～1.09 倍、廃棄物量は 0.97 倍～1.05 倍の幅で変化しており、CO_2 排出量、コスト、廃棄物量の順に変化の幅が大きくなっている。床面積比 0.0（モデル A-3）では、壁面積が最小となり「標準モデル」に比べて約 29%減少するが、屋根面積は 100%増加するなど、壁面積と屋根面積の間にはトレードオフの関係がある。空調負荷に関わる外接面積や部材使用面積はこれらのトレードオフの関係で決定し、それによって CO_2 排出量、コスト、廃棄物量が決定すること考えられる。

2）辺長比のみ変化させたとき

東西の辺長に対する南北の辺長の比を辺長比とする。東西の壁面は南北と比較して日射取得量が大きいため、できるだけ小さく、日射を受ける壁面積が小さい方がよい。しかし、（式 3-1）のように各部位の日射取得係数は部位の面積にも比例する。床面積一定のもとでは、辺長比の変化に伴って壁面積が変化するためにこれらはトレードオフの関係にある。

図 9 は辺長比が変化したときの各部位の面積の変化を示したものである。辺長比が変化することで変化するのは壁面積のみと考える。辺長比 1.0 が最小となり「標準モデル」に対し約 0.4%減少し、最大となる辺長比 0.4、2.5 のとき約 10%増加する。

図 10 は辺長比が変化したときの日射取得係数の変化を示したものである。辺長比が 1.0～2.5 に変化したとき、すなわち東西の辺に対して南北の辺が長い場合は冷房期の日射取得係数に大きな変化はないが、南北の辺に対して東西の辺が長くなる場合（辺長比 1.0～0.4 ）は大きくなることが分かる。暖房期の日射取得係数は暖房負荷を減少させるため大きい方がよく、辺長比が 2.5、すなわち南北の辺が最も長いモデルである。これは暖房期の南側の方位係数が大きいためである。冷房負荷に大きな影響を及ぼす冷房期の日射取得係数は小さい方がよく、辺長比 1.3 のとき最小となる。日射を受ける壁面積は辺長比 1.0 のとき最小とな

るが、方位の違いにより南北の辺長がやや長くなるモデルが冷房期の日射取得係数を最小にすることが分かる。

図 11 は表 8 の建材仕様を想定した形状変形モデルの 3 評価値の変化を示したものである。

図 12 は 3 評価値が小さくなる辺長比 1.1875（「標準モデル」）、辺長比 1.0（モデル B-2）、変域の最大値、最小値で各方位の差がもっとも顕著となる辺長比 2.5（モデル B-1）、辺長比 0.4（モデル B-3）の 4 モデルについての 3 評価値である。

図 13 は各モデルの空調運転に伴う電力消費量、図 14 は使用資材の総重量を示したものである。東西と南北の辺の長さの比が大きくない場合はそれほど大きく 3 評価値が変化しないことが分かる。

CO_2 排出量、コスト、廃棄物量は部材面積と日射取得量との関係で決定し、東西に比べ南北辺長がやや長い形状が CO_2 排出量、コストを小さくすることが分かる。

3）階高のみ変化させたとき

階高は環境負荷低減の観点からすると一般に低い方がよいことは容易に想像できる。しかし、階高は内部空間の要求からある程度の天井高を保つことも要求される。CO_2 排出量、廃棄物量と建物を成立させる条件の一つとしてコストの 3 評価値としたが、これら以外の評価尺度を考慮するときにどの程度 3 評価値が変化するのかを把握しておく必要がある。

変域 2.7m～3.7m において、階高が 0.1m ずつ増加させた場合の 3 評価値の変化を分析する。

図 15 は各部位の面積の変化を示したものである。床面積、辺長比が一定の場合、屋根面積は一定で、壁面積は階高に比例する。

図 16 は日射取得係数の変化を示したものである。辺長比が一定の場合、壁の日射取得係数は階高に比例する。壁と屋根の熱損失係数が等しいと仮定すると階高が 2.9m で壁の冷房期の日射取得係数が屋根のそれを上回り、壁面が受ける日射量が相対的に大きくなることが分かる。熱による空調負荷は部位の面積に比例することから、壁の断熱化が空調負荷削減に有効と考えられる。

図 17 は表 8 の建材仕様を想定した形状変形モデルの 3 評価値の変化を示したものである。図 18 は 3 評価値が最小となる階高 2.7m（「標準モデル」）、最大となる階高 3.7m（モデル C-3）と階高 3.0m（モデル C-1）、階高 3.4m（モデル C-2）の 3 評価値であり、図 19 は各モデルの空調運転に伴う電力消費量、図 20 は各モデルの使用資材の総重量を示したものである。

階高の変化割合に対して、電力消費量の変化割合は徐々に大きくなるが、資材使用量の変化割合は小さくなっている。これは階高の変化が電力消費量の変化に影響を与え、結果として CO_2 排出量の変化に影響を与えているといえる。

3-3 考察

空調による電力消費量の増加が CO_2 排出量の増加に大きく影響を及ぼしていることが分かる。すなわち、外気に接する面積が小さく、東西の壁面積が南北の壁面積に比べやや小さ

くなる形状が CO_2 排出量に有効である。また、廃棄物量の変化は壁面積の変化に大きく影響しており、廃棄物量の削減には正方形平面で壁面積の小さい1階建が有効だといえる。

4　建物の全体形状の変化と建材・工法の選択による環境負荷

この章では、前章同様に空間構成に関しては固定した状態とし、建材・工法の選択と全体形状を変化させる場合を対象とする。モデルの形状変化に応じたCO_2排出量、コスト、廃棄物量の最小化を目的として建材・工法選択を行う。前章のモデルに対して建材・工法選択GAシステムを試行し、建物形状とCO_2排出量、コスト、廃棄物量の最小化する建材・工法の組合せがどのように関係するのかを把握する。

1）床面積比のみ変化させた場合

「標準モデル」（床面積比1.0）とモデルA-2（床面積比0.2）、モデルA-3（床面積比0.0）のそれぞれに対して建材・工法選択を行った。各躯体別にプロットした「次世代基準値」を図21に示す。図21.a点線の集合は、コンクリート再生処理が「なし」となる1階PC造である。1階の床面積が増加するに従ってコンクリートの資材使用量が増加するため、廃棄物量を増加させることがわかる。CO_2排出量に関して優秀な解の集団を図21の斜線部に示す。「標準モデル」では1階躯体がS造、PC造が有効であるが、モデルA-2、モデルA-3では木造躯体（2×4木造、断熱木造、在来木造）が有効とる。また、廃棄物量の増加割合はモデルA-3で+9%、モデルA-2で+2%となっている。これは廃棄物量の小さい木造躯体（2×4木造、断熱木造、在来木造）が占める割合が多いためである。各モデルにおけるCO_2排出量最小解を分析すると、床面積比が大きいモデルに関しては、1階PC造またはS造に2階木造躯体というハイブリッドな躯体の組合せが有効である。床面積比が小さいモデルに関しては、コストは増加するが1階部分を木造躯体としてCO_2排出量を押さえる必要がある。

図22は各モデルのCO_2排出量最小解の3評価値を示したものである。図23、図24はこのときの空調運転による電力消費量、資材の総使用量で、図25はCO_2排出量の内訳である。空調による電力消費量はモデルA-2、モデルA-3のCO_2排出量最小解のCO_2排出量は「標準モデル」と比較して5%増加、4%増加となっているが、3章の「一箱的な在来木造住宅」の変化量よりも小さくなっている。適切な建材・工法選択がCO_2排出量の抑制に有効であること示している。また、すべてのモデルにおいて2×4木造はCO_2排出量を低減するのに有効であり、PC造はコスト削減に有効である。廃棄物量低減については2×4木造、在来木造の組合せから選択されている。

2）辺長比のみ変化させた場合

「標準モデル」（辺長比1.1875）と3-2で用いたモデルB-1（辺長比2.5）、モデルB-3（辺長比0.4）のそれぞれに対して建材・工法選択を行った。パレート最適解集合を図26に示す。辺長比の変化に対し、すべてのモデルで3評価値は大きく変化せず、同様のパレート最適個体が得られた。すべてのモデルにおいて2×4木造はCO_2排出量を低減するのに有効であり、

PC造はコスト削減に有効である。廃棄物量低減については2×4木造、在来木造の組合せから選択されている。

3）階高のみ変化させた場合

「標準モデル」（階高2.7m）、モデルC-1（階高3.0m）、モデルC-2（階高3.4m）となるモデルのそれぞれに対して建材・工法選択を行った。パレート最適解集合を図27に示す。階高が大きくなるに従って空調負荷が大きくなるため、断熱木造躯体を含む組合せが増えている。優秀解において、階高が増加するに従って断熱木造を含む組合せから選択されている。これは断熱木造がCO_2排出量を低減するのに有効であることを示している。

図28は各モデルでのCO_2排出量最小解の3評価値を示したものであり、図29、図30はこのときの空調運転による電力消費量、資材の総使用量、図31はCO_2排出量の内訳である。モデルC-1、モデル C-2のCO_2排出量最小解のCO_2排出量は3章で得られた変化量と比較して小さくなっている。

図31では階高が増加するに従って空調によるCO_2排出量が減少している。階高変化に対して、資材使用量の変化よりも空調運転による電力消費量の変化が大きく、空調負荷を抑える建材の組合せ（断熱木造躯体）が選択されたといえる。また、階高が変化する場合にも、PC造はコスト削減に有効である。CO_2排出量が階高の変化ともっとも関係の大きい評価指標であることが分かる。CO_2排出量を抑えるために壁の断熱性能が向上することが必要となる。

4-3 考察

CO_2排出量の低減には2×4木造が、コスト削減にはPC造が、廃棄物量低減には2×4木造と在来木造が有効である。床面積比が大きいモデルに関しては1階PC造またはS造に2階木造躯体というハイブリッドな躯体が組合せがCO_2排出量の削減に有効であり、ハイブリッドな躯体の有効性は建物の形状と大きく関係していることが明らかになった。

CO_2 排出量、コスト、廃棄物量を同時に小さくしようとするとき、廃棄物量が小さい解では逆に CO_2 排出量が大きくなる。廃棄物量と CO_2 排出量の間にはトレードオフにあることが明らかになった。

5 環境負荷低減を重視した住宅設計手法の考察

3章・4章の思考から、形状と環境負荷の評価値は密接に関係しており、住宅設計において、設計の初期段階から環境負荷を考慮することの重要性が明らかになった。多くの制限付きの試行ではあるが、建物形状と建材・工法の組合せのおおよその関係を把握することができたといえる。

形状の違いによって建材・工法選択に変化が現れるものもあるが、辺長比のように建材・工法の組合せとしてそれほど変化しないものもある。試行の結果は環境負荷を低減するための建築的知識と捉えることができ、このような知識を有効に活用する方法が必要である。先

に述べたように住宅形状を決定する条件や要求は様々であり、環境負荷低減の観点からのみ住宅形状を決定することは現実的にはあり得ない。CO_2 排出量といった明確な評価値と形状を決定する上での空間的な要求などを比較することは難しく、むしろ CO_2 排出量、コスト、廃棄物量などといった明確な評価値を用いて導き出された住宅を検討することで設計を行っていくことが、一つの方法として考えられる。そこで本章では環境負荷低減を重要な目標とした場合、目標値に対してどのような住宅形状が許されるのかという立場で住宅形状を捉えた設計法を提案する。

同床面積で環境負荷に有利な形状である「標準モデル」での建材・工法選択のパレート最適解は、各評価値に対してどの程度小さくできるのか、評価値に対してどのような建材・工法の組合せが存在しているのかという目安になる。「標準モデル」で得られた解の集合を初期集団として形状選択を含んだ GA の試行を行い、目標値に対して有効な建材・工法と形状の組合せを示し、住宅設計への展開の可能性を示す。標準問題モデルから出発することは、①モデルを先に決定してしまうことは環境負荷低減に大きな制限を与えることになる。②標準問題モデルによる解は建築的経験の蓄積として用いることができる。③どの程度の目標を設定するかの目安となる。の3点において意味を持つ。

本章で行う手法を図 32 に示す。「標準モデル」によるパレート最適個体をもとに目標値を設定し、パレート最適個体の建材仕様を持つ形状モデルをランダムに発生させ、これらを初期集団として GA により目標値を満たす解の探索を行う。

5-1　形状選択を含んだ建材・工法選択 GA システム

3 章で仮定した形状変化モデルの変化項目（床面積比、1F 辺長比、2F 辺長比、1F 階高、2F 階高）をモデル情報として遺伝子情報化し建材・工法とモデル形状の選択を行う（表 5-10）。遺伝子情報数は 84、ビット数は 244 となる。2 階の床面積は 1 階の床面積より小さいものとし、変域を 0.0～1.0 とし 8 段階に分けて選択を行う。床面積比 0.0 のときは 1 階建のモデルであり、1/7 のとき 2 階床面積が約 15.7 ㎡となり、1 室が 2 階に配置される程度で床面積比 1 のとき総 2 階建のモデルとなる。辺長比は 0.4～2.5 を同じく 8 段階、階高は最小高を 2.7m とし、0.1m ずつ増加するものとして 3.4m までの 8 段階とした。

5-2　形状と建材・工法の適用シミュレーション

図33のような敷地を設定し、この敷地に建設可能な形状で、設定する 3 評価値の目標値と選考基準を満たす住宅を探索する。

本研究では設計者が設定する 3 評価値の目標値として「次世代基準値」からさらに厳しい目標として、日本建築学会が目標として提言を行った「今後我が国の建築物は、生涯二酸化炭素（温室効旺ガス）排出量30%削減、耐用年数の3倍増（100年以上）を目指す」をもとに「一箱的な在来木造住宅」のCO_2排出量の70%、木造躯体の寿命が24年から100年に延びたと

きの廃棄物量を目標値（CO_2排出量：3.794[kg-C/m2・年]、廃棄物量：1.967[kg/m2・年]）とする。「標準モデル」のパレート最適個体500個体のうち目標値を満たす建材・工法の組合せは97個体（図34）であり、このときの建材仕様は96種類ある。

設計者の選考基準としてコストが小さく、できるだけ1階床面積の大きい住宅を選考するものとし、「標準モデル」で得られた解の集合を初期集団として形状選択を含んだ建材・工法選択GAシステムを用いて目標値以下でコストが小さくなる解の探索を行った。

目標値：CO_2排出量：3.794[kg-C/m^2・年]

廃棄物量：1.967[kg/m^2・年]

コスト：3.993[千円/m^2・年]

選考基準：1階床面積が大きいモデル

GAの試行で得られたコストの小さい順に上位500解のうち、設定した敷地に建設可能な解（215解）の分布を図35に示す。1階床面積が最も大きい形状モデルを選考した場合、モデルは図36のようになり、これが設計解の第1候補となる。得られた解のうち1階床面積の大きい順に5解を表9に示す。候補解の順序を決定し、順次コストを検討していくことで選考基準を満足する設計解を発見する。

このように環境負荷を評価基準とした目標値を満たした解の中から選考基準をもとに候補を絞り込むことで、環境負荷に配慮した住宅の設計が可能になるといえる。

6　空間構成の変化による環境負荷（未完）

前章までの考察では、モデル形状に応じたCO_2排出量、コスト、廃棄物量の最小化を目的とした建材と工法の選択問題を扱い、得られた解をもとにモデルの形状特性と建材・工法の組合せの関係を把握した。5章では設計条件を設定し、環境負荷の目標値に対して得られた知識を用いて設計解を絞り込んでいく設計法を示したが、設計プロセスとし確立したものではなく、また住宅の形状変化は非常に限られたものであり、実際の住宅設計で問題となる空間の多様性などは十分に考慮しきれていない。空間構成という言葉で表現されるデザインや機能といった設計問題との一体的な展開を行うことで、環境負荷低減を目指した住宅設計手法として体系化することが可能になると考えられる。

空間構成は単に空間の形状の問題ではなく、居住者の生活パターンと密接な関係を持ち、空調条件の違いやライフステージに応じた建物の改修や建替なども含めての考察が必要である。つまり、住宅モデルの設定は同時に居住者の生活モデル設定でもある。これらを念頭に置き、「空間構成の変化」「建物の全体形状の変化」「建材・工法の選択」と環境負荷との関係を把握することを目的とした。

具体的には、新たに①住宅の規模、②立地条件、③空調条件および方式の選択、④空間構成の変化に伴う部材構成比の変化、の 4 つの概念をシステムおよびモデル化に取り込むことで、住宅設計の問題をより現実的に捉えた環境負荷低減のためのシステムへ拡張することを試みた。

（以下、作業の難航により継続困難）

1－12　蓄熱性建材の構法開発による快適居住環境と省エネルギーに関する研究

北海道大学大学院工学研究科

助手　長谷川寿夫

1．本研究の背景と目的

近年、寒冷地において冬でも住宅内が快適な温度環境となり、しかもこれが省エネルギー的に実現できるように、高断熱・高気密化が進んでいる。地球環境の温暖化防止対策の観点から、寒冷地のみならず温暖地では、冷房時にも住宅の高断熱・高気密化が有効であることが、次第に認識されつつある。しかし、住宅の断熱・気密性能が高くなって冬でも快適な室温を保ちやすくなった一方で、室内発生熱や日射受熱によって、夏には（冬でも）室温が上がり過ぎて、コントロールがきかないという問題が生じている。特に我が国に多い木造住宅では熱容量が小さい建材を多く使用しているため、室温の上下変動が速くかつ大きくなっており、快適な居住性と省エネルギー性の改善が強く望まれている。

本研究は、四季それぞれにおける快適な室温の維持制御性能が、設備によってではなく建物本来の性能として備えることを設計段階から可能とし、居住者に快適な室内環境を提供しようとするものである。同時に、これを蓄熱建材とその構法の開発から実現させるために、また、省エネルギーにもつながることを実験的に検証し提示することを目的としている。

2．研究の方法

外壁・内壁の部材構成のなかから、蓄熱性状を考慮した典型的な材料と構成により、室内側温度の上昇時と下降時において、その部材の吸熱量と放熱量、およびその吸・放熱の速度を部材の各部の温度変化を測定することによって把握し、建材のもつ熱容量・熱伝導率、使用厚さ、部材の構成（複層化、空気層、表面材などの違い）などによって違いがあることを精細に検討する。

ここでは、同じ断熱を施した場合でも、室内側材料・構法の違いにより、室内側材料の蓄熱性、室温変動や損失熱量の違いなどが、室温安定性や暖房時の省エネルギー性に対する影響を検討する。このため、室内側の材料とその構成を変えた単室モデルを作製し、室内熱発生時と日射受熱時において実験的に検討した。

3．室内熱発生時の室温変動と省エネルギー性

(1)実験の概要

実験は、表-1 に示す材料を断熱層の室内側に用いて、図-1 のような単室モデル（およそ 8 畳の 1/4）を計 12 体（表-2）作製し、低温室に設置して、室温を 20℃、外気側温度を－10℃

の定常状態から室内で 100W の電球を用いて 9 時間熱発生を行い、その後、室温を 20℃に維持するために必要な熱量を熱発生停止から 15 時間後まで測定した。

室温や材料温度などの測定には熱電対を、消費熱量の測定にはヒーターと積算電力計を使用した。また、室内側材料への蓄熱量は、測定した温度から計算によって求めた。

(2)実験結果と考察

a)単室モデルの室温変動

図-2、表-3 から、単一材料で構成の単室モデルの室温上昇は、単室モデル記号で P、G、T、M、ALC、C25、C50（以下、記号のみで表す）の順に大きく、一般に室内側材料の熱容量が小さいものほど室温上昇が大きい傾向を示す。また、室温低下は、熱容量の小さな G、P は熱発生停止後急激であるが、熱容量の大きな C50、C25、ALC、M は緩やかで、特に ALC は室温が 20℃に低下するまでの時間が一番長い。これは、ALC の熱伝導率が 0.17W/mK と小さく、断熱性が良いことと比較的熱容量が大きい（32.1Wh/K）ためである。また、T はこれらの中間的な傾向を示す。

図-3、表-3 から、室内側材料が複数材料で構成されている単室モデルの室温上昇は、PG、F-CP、F-C、CaG、CG の順に大きく、室内側材料の熱容量が小さいものほど室温上昇が大きい。

図-4 から、単室モデルの室温上昇は、一般に室内側材料の熱容量が小さいものほど大きいが、材料の熱伝導率により室温上昇傾向が異なり、熱容量が同程度のものでも 5℃程度の差が生じる。同様に、P と G（熱容量：9.1Wh/K）、M と T（熱容量：20Wh/K 程度）では、熱伝導率の小さい方が室温上昇が大きい。M と T では、熱伝導率が同程度（1.5W/mK と 1.3W/mK）であるが、T の室温上昇が大きいのは、タイルの裏足部分の空気層が断熱層として働くためである。コンクリート系の材料を使用した C50、C25、ALC、M では、熱伝導率が小さい ALC のみ他と異なる傾向を示す。コンクリートの室内側に熱伝導率の小さい石膏ボードを貼った CG の室温上昇は、コンクリートのみの C50 より 1.7℃大きく、さらに壁に中空層を設けた CaG は CG より 1.2℃室温上昇が大きくなる。これはコンクリートに熱伝導率の小さい石膏ボードを貼ったり、中空層を設けることで断熱性が上がり、また、コンクリートへの蓄熱が遅くなるためである。

図-5 から、室内側材料の熱発生停止時の蓄熱量（壁と天井）と室温上昇の関係は、蓄熱量が多いものほど室温上昇が小さいが、熱伝導率によってその傾向が異なり、熱伝導率が大きい材料は、同じ蓄熱量でも、室温上昇が小さい。

b)単室モデルの省エネルギー性

省エネルギー性の検討は、「電球による 9 時間の発生熱量（900Wh)」と「熱発生停止後 15 時間室温を 20℃に維持するために消費した熱量（Q1)」の和（Q2）と「室温 20℃における 24 時間の損失熱量（Q3)」の差：(Q2－ Q3）の値（以下、この値を E 値と表す）で行い、この E 値が小さいほど省エネルギー性が高い。単室モデルの省エネルギー性の結果を表-4 に示す。図-6 から、単室モデルの室内側材料の熱容量と E 値の関係は、一般に室内側材料の熱容量が小さいものほど E 値が大きい傾向を示すが、あまり明瞭な関係ではない。熱容量が小さく、20Wh/K 程度のもの（M、T、PG、F-C、F-CP）のうち、単一材料で構成の単室モデルでは、室内側材料の熱伝導率がやや大きな M の方が T よりも E 値が小さい。これは M より T の方が室温上

昇が大きいため、内外温度差が大きくなり、損失熱量が多くなるためである。また、複数材料で構成の単室モデルでは、E 値は PG、F-C、F-CP の順に大きく、室内側材料の一部に熱伝導率の大きいコンクリートを用いることで、E 値は小さくなる。

コンクリートに石膏ボードを貼った CG、中空層を設けた CaG の E 値は、コンクリートのみの C50 の E 値とほとんど同程度に小さく、表面仕上げや中空層による E 値の差はあまり見られない。

また、室内側材料の厚さが同じもののうち、厚さが 12mm の M、G、P では、熱容量の大きな M は G や P より E 値が約 15%小さいが、厚さが 50mm で熱容量が異なる C50 と ALC では、室温変動は大きく異なるが、E 値はほとんど変わらない。

図-7 から、室内側材料の熱発生停止時の蓄熱量（壁と天井）と E 値の関係は、蓄熱量が多いものほど E 値が小さくなる傾向を示すが、あまり明瞭ではない。

図-8 から、単室モデルの室温上昇と E 値の関係は、薄い材料では、室温上昇が大きいものほど E 値が大きくなる傾向を示す。これは室温上昇が大きいものほど内外温度差が大きくなり、損失熱量が多くなるためである。室内側材料の厚さが同程度の M、T、G、P では、熱容量の大きいものほど室温上昇と E 値がともに小さく、比例関係が見られる。しかし、コンクリート系で厚さが 50mm 以上の C50、ALC、CG、CaG では、ALC のみ室温上昇が大きいが、いずれも E 値は小さく、ほとんど同程度である。

4．日射受熱時の室温変動と省エネルギー性

(1) 実験の概要

実験は、室内熱発生の実験で使用した単室モデルの南壁の室内側材料を取り除き、中央部に縦 400mm×横 600mm の複層ガラス窓を設けた単室モデルを屋外に設置し、1)自然室温の測定、2)室温 20℃から日射受熱があった時の室温変動と、その後、室温を 20℃に維持するために必要な熱量の測定、を行った。測定は、C50、C25、ALC、M、P について行った。

(2) 実験結果と考察

a)単室モデルの自然室温変動

図-9、表-6 から、最高室温は、P、ALC、M、C25、C50 の順に高く、一般に室内側材料の熱容量の小さいものほど最高室温が高い。また、最低室温は、C50、C25、ALC、M、P の順に高く、特に、日射量が少なく、夜間の外気温が低い時ほど最低室温の差が明確である。

図-10 から、一般に室内側材料の熱容量の小さいものほど日較差の平均が大きくなる傾向を示し、熱容量が約 25Wh/K 以下になるほど日較差が大きい。

コンクリート系の材料を使用した ALC を除く C50、C25、M では、日射量の多い日の室温の日較差は、M、C25、C50 の順に大きく、それぞれ 12～14℃、7～9℃、6～8℃であり、室内側材料の熱容量が大きいものほど室温の安定性が高い。特に C50 は室温が 3～11℃にあり、室温変動が少なく安定している。これに対して、P は日射量が多い日には室温が 30℃近くまで達するが、夜間には外気温と同じくらいまで低下し、室温の日較差が極めて大きい。また、ALC は日射受熱時に室温上昇が大きく、室温の日較差が 20℃くらいと大きい。

表-5 から、11 月 29 日～12 月 1 日の 3 日間の平均室温は各単室モデルとも 4.1～5.1℃と

ほとんど変わらないが、室温上昇の平均や室温低下の平均は大きく異なり、ともに、P、ALC、M、C25、C50 の順に大きく、一般に室内側材料の熱容量が小さいものほど大きくなる傾向を示すが、熱伝導率の小さい ALC は、同じ熱容量でも室温変動が大きい。特に、C50 と P は平均室温がともに 5.1℃と同じではあるが、室温上昇の平均で 13.2℃（約 4.1 倍）、室温低下の平均で 5.5℃（約 3.9 倍）の違いで、室温安定性の違いが顕著である。

b)室温 20℃から日射を受けた時の室温変動と省エネルギー性

図-11、表-7 から、単室モデルの室温上昇は、P、ALC、M、C25、C50 の順に大きい。また、室内側材料の熱伝導率の大きな C50、C25、M は、日射を受けてもすぐに室温が上昇しないが、室内側材料の熱伝導率の小さな ALC や P はすぐに室温が上昇する。

図-12 から、日射受熱時の室温上昇は、室内側材料の熱容量が小さいものほど大きくなる傾向を示す。また、室内側材料の熱伝導率が小さいものほど、同じ熱容量でも室温上昇が大きい傾向を示す。

表-8 から、単室モデルの省エネルギー性は、いずれも C50 の消費熱量が少なく、次いで、ALC、M、C25、P の順である。C50、ALC の省エネルギー性が高いのは、C50 は熱容量が 77.2Wh/K と大きいため、ALC は熱伝導率が小さく、断熱性が良いことと熱容量が 28.1Wh/K と比較的大きいためである。

また、厚さが 12mm の M と P では、熱容量と熱伝導率の大きな M の方が省エネルギー性が高く、M の 24 時間の消費熱量は P の約 8 割程度である。

図-13 から、室内側材料の熱容量が大きいものほど消費熱量が小さくなる傾向を示す。

5．室温安定性・省エネルギー性の総合評価

室温安定性・省エネルギー性の評価は、P を基準にした値で行い、室温安定性は室温上昇の比で、省エネルギー性は室内熱発生では E 値の比で、日射受熱では消費熱量の比で行い、その結果を表-9 に示す。

a)単室モデルの室温安定性評価

表-9 から、P のように熱容量、熱伝導率がともに小さいものは室温安定性が低く、厚くしたり（ALC）、石膏ボードを重ねたり（PG）しても、室温安定性はあまり改善されない。また、C50 のように熱容量、熱伝導率がともに大きいものは室温安定性が最も高いが、薄くしたり（C25、M）、表面に石膏ボードを貼ったり（CG）、その間に中空層を設けたり（CaG）すると C50 よりも室温安定性が低下する。

b)単室モデルの省エネルギー性評価

表-9 から、P のように熱容量、熱伝導率がともに小さいものは省エネルギー性が低く、石膏ボードを重ねても（PG）改善されないが、厚くなって（ALC）熱容量が増えれば、省エネルギー性が若干良くなる。C50 のように熱容量、熱伝導率がともに大きいものは省エネルギー性が高く、P の 7～8 割であるが、薄くなる（C25、M）につれて省エネルギー性が低下する。また、C50 の表面に石膏ボードを貼ったり（CG）、中空層を設けたり（CaG）しても省エネルギー性は C50 とほとんど変わらず、良好である。

6．まとめ

(1) 断熱層の室内側に熱容量、熱伝導率がともに小さい材料を用いた場合、日射受熱などにより、室温変動が大きく、熱損失も大きいが、材料を厚くして熱容量を増やせば、室温安定性はあまり改善されないが、省エネルギー性はコンクリートと同様に良くなる。

(2) 断熱層の室内側に熱容量、熱伝導率がともに大きいコンクリートを用いた外断熱 RC 造では、室温の安定性・省エネルギー性とも良好で、厚いものほどその傾向が強い。また、表面に熱伝導率の小さな材料を貼ったり、中空層を設けると、室温変動は大きくなるが、省エネルギー性の点ではほとんど変わらない。

木造住宅の室温上昇要因である室内熱発生と日射受熱による部材の吸放熱性状を実験的に検討し、部材の吸放熱性状は表面仕上げ材の違い、中空層の有無、下地材の材質、厚さ等によって異なることを明らかにした。また、木造住宅の初期室温上昇は、構成部材の吸放熱量から求められることを示し、吸放熱量の多い部材を積極的に使用すれば、室温安定性はかなり改善でき、かつ、省エネルギーにもつながることを示した。

1－13　生活者と音事象との関係形成による生活騒音の風景化に関する基礎的研究

東京大学大学院工学系研究科建築学専攻

助教授　平手小太郎

（1）本研究の背景と目的

家電製品や街路の案内等によるサイン音声は、注意を喚起するために音源、音質や音量の調整により環境音から峻別しやすくする工夫がされている。その一方でサイン音として性能の高い音は、非利用者には騒音として感じられる場合もある。利用者・非利用者ともに音の風景として自然な印象を与えるような特徴をサイン音声に付加させることができれば、生活騒音問題を解決する一つの手段となると考えられる。本研究では音環境下でのコミュニケーション時の対象音声に対する選択的注意に注目した。例えば対話の際にコミュニケーションをとる相手の声を聴く場合には、他の環境音に対し選択的に注意が向くとともに、特定の声を頻繁に聴取するにもかかわらず通常耳障りな印象は感じられない。またカフェテリア等で他者の会話を環境音として耳にする際も、大きな声でない限り耳障りな印象はなく、むしろ心地よさが感じられる場合もある。音事象にコミュニケーション関係を形成するような情報を付加させることで、サイン音声をコミュニケーション音として違和感の少ない認識に導き、生活騒音としての意識を低減させる効果が期待される。本研究では、このための基礎的な検討を行なった。

本研究では、コミュニケーション時の主体の発声と客体の応答の時間的な関係性に注目した。本研究室でのこれまでの研究では、単純な呼応による音声コミュニケーションを観察した結果、距離及び視認性による環境条件の外乱に関わらず 2 者間の呼応間隔がおよそ 0.7 秒以内に維持されていることが明らかになっている。このことから、音声の質に関わらず応答の時間間隔が相手の注意を喚起する情報であることが考えられる。また呼応の際、2 者間の発声は交互に繰り返される。本稿ではこれを交互出現と定義する。コミュニケーション時には 2 者の発声の時間間隔とともにその順序すなわち交互出現が維持されていることから、主体の発声を時間的な基点とした交互出現とその時間間隔という音出現の時間的な特徴が、環境音下でコミュニケーション対象音に対し選択的注意を喚起させていることが考えられる。本研究では、主体の発声に対しおよそ 0.7s 以内の時間間隔で交互出現する音声が、複数の音声による音環境下で選択的注意を喚起させるかについて脳応答により検討した。

（2）研究の方法

概要：複数の音声が時間的にランダムに出現する音環境下で、主体の発声を基点として交互出現する音声に対して選択的注意が生じるかについて検討した。さらに音声が交互出現する時間間隔の違い、音源の違い、コミュニケーション体験による学習の有無の違いによる選択的注意について検討した。音環境下で被験者に発声させ、予め教示することなく複数の環境音源のうち一つがターゲット音として被験者の発声に対し一定の時間間隔で出現するように設定した。残る 2 音源はノンターゲット音として被験者の発声作業中 1s から 5s 間のランダムな間隔で提示した。音の交互出現の時間間隔が異なる場合の音に対する脳の高次情報処理過程を比較した。聴取時の ERP（事象関連電位）のうち認知情報処理に関わる後潜時成分を比較し、選択的注意の効果を検討した。

実験設定: 簡易半無響室で座位にある被験者の前方正面に 2mの位置にスピーカーを 6 個設置し、そのうち 3 個からそれぞれ異なる 3 種の音源を呈示した。音源は男声 2 種、女声 1 種による「あ」の発声とした。発声の長さは 100ms とした。音圧レベルは受聴点で男声 1（43.0dBA)、男声 2（41.0dBA)、女声 1（40.3dBA）とした。なお、試行 2 と 3 では被験者毎に 1 種類の音源を用いた。各発声作業で 1 条件ずつを行なった。ターゲット音の音源と各条件の呈示順序はラテン方格法により被験者間でバランスアウトした。

被験者：日本語を母国語とする健康な大学生 17 名(男性 8 名、女性 9 名）を被験者とした。

課題：環境音下での発声のしやすさを調べる実験であると被験者に教示した。発声-音声の交互出現が生じることは被験者に伝えなかった。被験者には環境音を聴取しながら下記の試行毎に自由なペースまたは主観的な 3s 間隔間隔で「あ」と発声を続けるように教示した。発声は 1 試行あたり 5 セッション、各セッションで 70 回繰り返させた。

試行：音提示条件の異なる 5 つの試行を行なった。試行 1 では被験者が自由なペースで発声した場合について検討した。異なる音源の 3 つの音から、交互出現するターゲット音とランダムに出現するノンターゲット音 2 音との聴き分けが生じているかについて検討した。発声後ターゲット音が呈示される時間間隔は約 0.6s である 0.6s 条件とした。試行 1 については試行終了後、どの音源に主観的に注意が向いたかを順位づけさせ、被験者に評価させた。

試行 2 では音源の違いのない場合について検討した。複数の同一音源によりターゲット音とノンターゲット音を提示した。被験者は主観的な 3s 間隔で発声した。発声後ターゲット音が呈示される時間間隔の設定条件は 0.3s 条件、0.6s 条件、0.9s 条件、ターゲット音が交互出現しない no reaction 条件とした。

試行 3 では、同一音源による 2 音のノンターゲット音が連続して出現し、主体の介在しない呼応関係が生じている状況を提示した。被験者とターゲット音の呼応とノンターゲット音の呼応の 2 種が競合する条件での聴取状態について試行 2 と同様の検討を行った。ノンターゲット音の 2 音を 0.6s 間隔で連続して呈示した。

試行 4 では音源が異なる場合について検討した。被験者は主観的な 3s 間隔で発声し、その間に異なる音源による 3 つの音を繰り返し呈示した。発声後ターゲット音が呈示される時

間間隔の設定条件は 0.6s 条件とした。

試行 5 では先行するコミュニケーション経験による学習の影響について検討した。被験者とターゲット音の呼応が先行する状況で後からノンターゲット音が加わった場合での聴取状態について検討した。被験者は主観的な 3s 間隔で発声し、その間に同一音源による 3 つの音を繰り返し呈示した。提示音源は異なる 3 音源で被験者とターゲット音との呼応を最初に 10 回行ない、その後にノンターゲット音の出力される状況で呼応を続けさせた。発声後ターゲット音が呈示される時間間隔の設定条件は 0.6s 条件とした。

測定指標：本研究では測定指標として事象関連電位による脳応答を用いた。音事象の出現の時間的な特徴と注意状態の対応関係を検討する際、心理的手法に比較して事象関連電位等の誘発電位反応は時間的精度が非常に高いこと、行動による応答と比較しても注意状態の質的特徴が検出できることのメリットがある。脳応答の測定としては他に光トポグラフィ、fMRI や SQUID 等の空間的精度の高い手法もあるが、コスト、時間的分解能、計測機のノイズに問題があり、本研究ではこれらの手法は採用しなかった。

実験システム：当該研究室の管理する簡易半無響室において、パーソナルコンピュータ制御により小型スピーカーから音を同時提示する音環境シミュレーターを構築した。またデータ記録システムとして 16 チャンネル生体アンプ、DAT レコーダー、A/D 変換ボード及びパーソナルコンピュータを用い、これにより脳波（EEG）の記録及び事象関連電位（ERP）の解析を行なった（図 1）。前頭・側頭部位を中心とする 11 点の多点計測による時間的・空間的な分析により選択的注意に関わる高次の情報処理状態について分析を行なった。

（3）研究の計画・成果

1）交互出現する音に対する選択的注意

試行 1 について、最も注意の向いた音の主観評定を行なわせた。ターゲット音の時間間隔条件（0.3s 条件、0.6s 条件、0.9s 条件、no reaction 条件の 4 水準）について $\chi 2$ 検定を行なった。時間間隔の主効果で有意($p<0.01$)な結果が得られた。0.6s の時間間隔条件で交互出現する音に対する選択的注意が高い結果を示している。0.6s 条件では 7 割以上がターゲット音を最も注意の向いた音として評価している（図 2）。なお、音の評価を音源別に検討したが評価はばらついており、特定の音源に対し評価が集まることはなかった。

2）交互出現の時間間隔の違いによる注意状態の変化

時間間隔の違いによるターゲット音の聴取状態について検討するために、試行 2～5 を対象として分散分析を行なった。4 つの試行は試行 1 と異なり、ともに被験者の発声間隔を 3s 間隔に維持した状態で行なわれている。試行間は同一音源の試行 2、同一音源で外乱の入る試行 3、異なる音源の試行 3、ターゲット音との呼応が先行する試行 5 と、ノンターゲット音間の質的、時間的特徴と被験者の構えが異なる。全ての実験でノンターゲット音が呈示されているが、本節ではターゲット音に絞り分析を行なった。ターゲット音の時間間隔（0.3s 条件、0.6s 条件、0.9s 条件、1.2s 条件、no reaction 条件の 5 水準)の主効果でターゲット音の出現時を基点として-200-0ms 潜時の陰性電位成分に有意な結果（$p<0.0001$)が得られた。時間間隔 0.3s 条件、0.6s 条件のターゲット音で顕著に増加が認められた（図 3）。

これは CNV に準じる成分の出現を示すと考えられる。CNV は予期と期待を反映して出現することから、主体の行動に対しおよそ 0.3～0.7s 以内の間隔で交互出現する音は予期されていると推察される。交互出現する音の聴き分けに CNV 様陰性電位の出現が関与していると考えられる。

3）異なる試行条件間での情報処理状態の違い

試行 1～5 を対象に、主体の発声に対し音声が約 0.6s の時間間隔で交互出現する場合について環境音に対する選択的注意について検討した。ターゲット音と交互出現しない音であるノンターゲット音の電位成分の差を分散分析により検定した。その結果、音の聴性成分として音に対する初期的な知覚や音の大きさ感に対応した電位成分である N1 を含む複数の電位成分に交互出現の有無による聴取状態の差が認められた。交互出現するターゲット音では N1 振幅は抑制されている。N1 ピークの出現潜時はターゲット音の方が早く、早期に情報処理を進めながらも音の大きさとしてはノンターゲット音の方が大きく感じられていることを示している。一方、300ms 潜時以降からターゲット音の処理が優位に立ち、認知や予期に関わる高次の情報処理レベルでは交互出現する音に対し優位に情報処理が行われている（以上、図 4）。これらの結果から主体の発声に対し約 0.6s で交互出現する音声の聴取時には、ランダムに出現する音声と比較して選択的注意が生じていること、音入力に関わる感覚情報処理レベルでは注意状態が抑制されるが認知に関わる高次の情報処理においては処理状態が活性化することが分かった。

本研究の結果、以下の新たな知見が得られた。

第一に、主体の発声を基点とした時間情報により特定の環境音に対し選択的注意が生じることが明らかになった。主体の発声に対し 0.7s 以内の時間間隔で音声が交互出現する場合、その音に対する注意状態が最も高く評価された。また 0.7s 以内に交互出現する音声に対し、その出現に対する予期や期待に関わると考えられる CNV 様成分が顕著に認められた。

第二に、主体の発声を基点とした時間情報による、環境下の音事象と主体の行動の関連性の検出に関わる情報処理の特性を明らかにした。即ち聴覚野-前頭連合野間に生じると推定される N1 抑制 -CNV 様陰性電位出現の連携が見出された。

本研究により、利用者の発声等の行動と音事象出現の時間的な関係形成により、音質や音量の制御によらず利用者に対し選択的に注意を喚起するサイン音等の音事象の提示が可能であることが示唆された。

（4）今後の課題と成果活用に向けての視野

少数例ながら今回側頭部位及び前頭部位で脳応答に左右差が認められているので、交互出現する音に関わる情報処理の側頭連合野との関連性、大脳辺縁系の活動状態との関連性も考えられる。側頭部位での脳応答の左右差は情動状態を反映するという報告があり、これについて検討することにより、コミュニケーションに関わる音声に対する情動的応答について明らかになると考えられる。

0.7s 以内に交互出現する音声聴取時に対し、今回特異的に認められた N1 抑制-CNV 出現は感覚-運動情報処理過程に新たな情報処理機構が存在する可能性を示唆している。運動

感覚及び繰り返しを伴う情報処理であることから、小脳との連携により選択的注意を形成している可能性も考えられる。情報処理過程の解明には、fMRI 等を用いより空間的精度の高い測定により N1 抑制の発生源の推定と、より広範な脳応答の特徴の把握を行なう必要がある。以上については今後の課題としたい。

成果の応用については、主体の発声を基点とした時間情報によるサイン音提示システムの構築が考えられる。

（5）研究発表の実績及び予定

国際音響学会(ICA)（2001 年 9 月）発表予定

日本建築学会 2001 年度大会（2001 年 9 月）発表予定

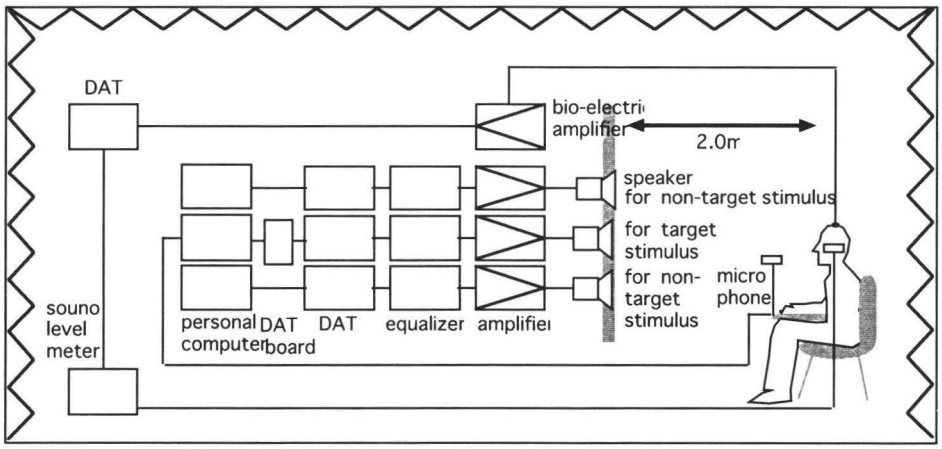


図1　実験のブロックダイヤグラム

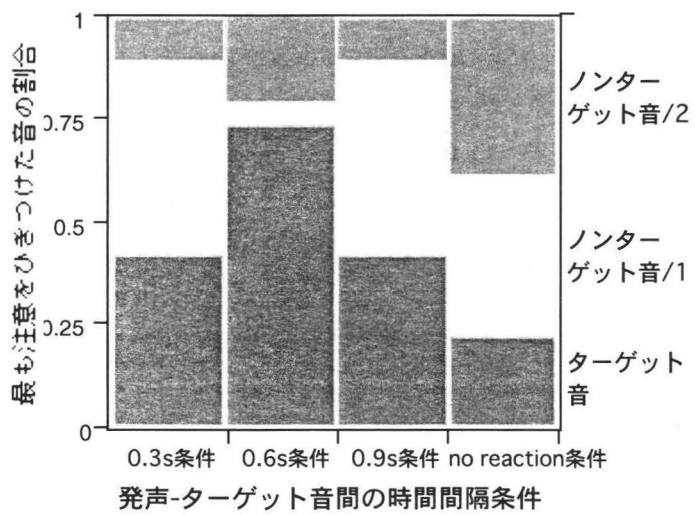


図2　最も注意を引きつけた音の主観的な評価

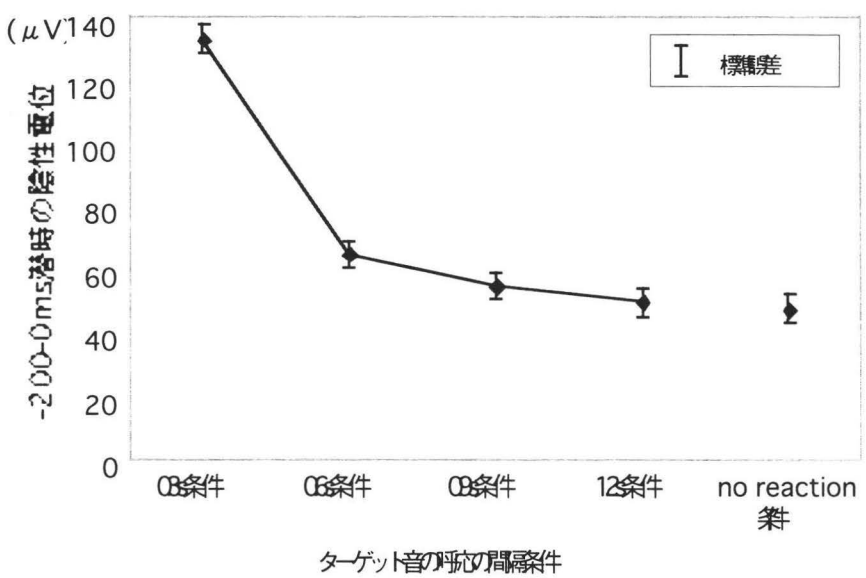


図3　異なる時間間隔で交互出現する音に対する CNV 様陰性電位の大きさの変化

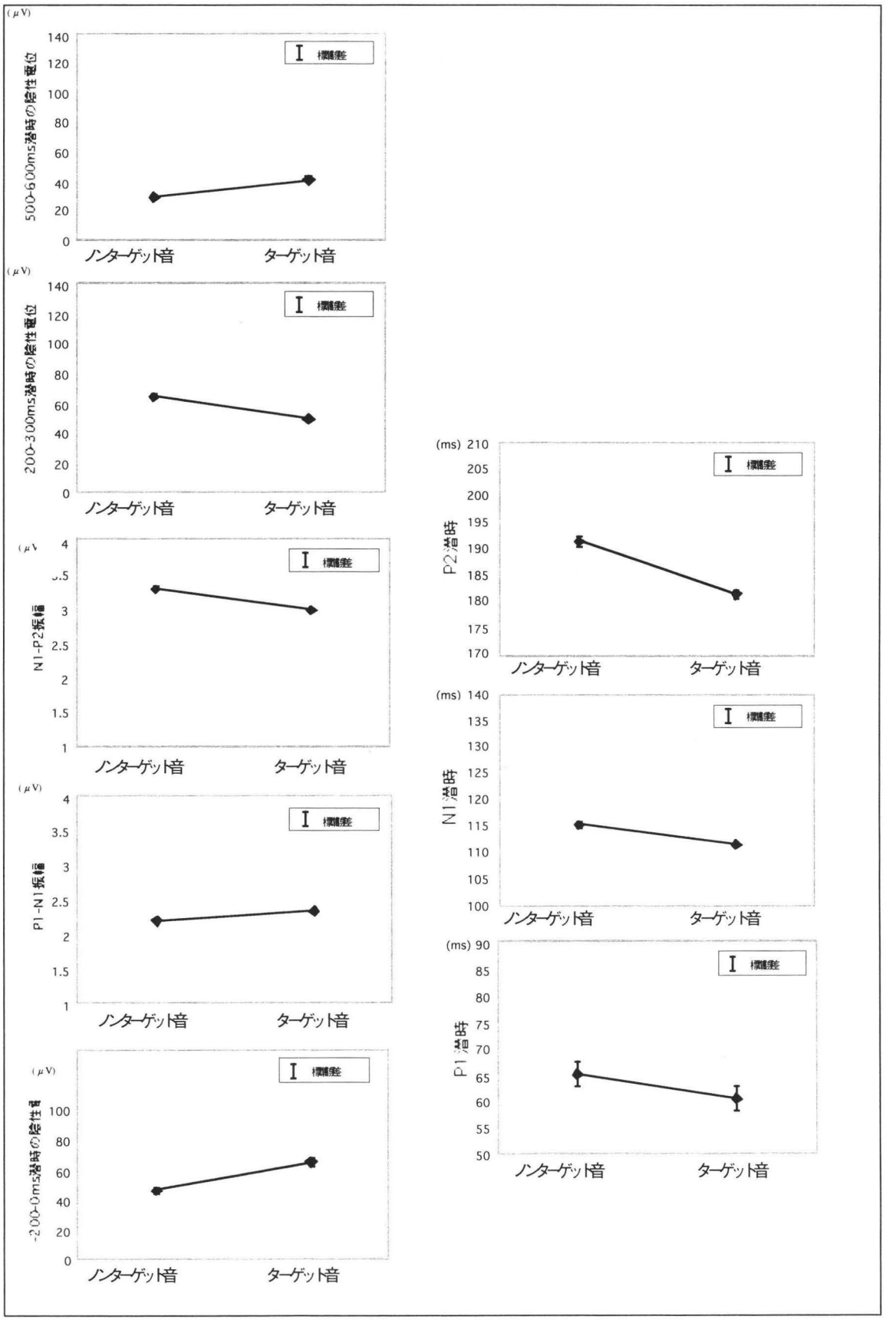


図 4　ターゲット音・ノンターゲット音の潜時・振幅及び潜時帯での 1ms 毎の陰性電位の総和

1－14　断熱された屋根のﾊﾟｯｼﾌﾞ冷却による負荷軽減と耐久性向上に関する研究

岐阜工業高等専門学校　建築学科
助教授　角舎　輝典

1．本研究の目的・背景

屋根面積の占める割合が相対的に大きい低層建築物では、屋根・天井を貫流する日射熱を阻止することが夏期冷却負荷軽減に有効となる。その対策として、屋根・天井への断熱材設置・小屋裏通気口確保はもとより、付加的な冷却手法としての屋根散水・小屋裏換気・屋根換気などの手法が過去に検討されてきた。その内でも換気冷却はメカニズムの単純さもあって、盛んに研究対象とされている。国内において、鹿児島大学の赤坂らは小屋裏換気による冷却手法として、自然換気・機械換気の両方の検討を行い、換気回数で十回以上の場合に小屋裏温度の上昇を数℃に抑制できたと報じた[1)、2)]。豊橋技科大の山本らは棟に小屋裏から外界へ通じる排気筒を設置し、小屋裏の自然換気冷却の検討を行った。その結果、排気筒の高さが 500mm 以上の場合に熱排除効果が顕著であると報告した[3)]。福岡大の須貝らは小屋裏換気と屋根換気の遮熱効果を模型実験によって検討し、屋根換気（野地下）の冷却効果を確認したと報じた[4)]。また国外でも同様の研究が行われている[5)]。換気冷却に関して実用性を考慮した場合、小屋裏換気における妻側換気方式では開口面積・換気経路の点で問題を残している。また棟換気では本体構造である屋根構造の貫通が必要となる。また野地下換気では屋根構造が重厚となる問題を抱えている。そこで本研究では、それらの問題解決の可能性を持つ屋根換気システムとして折板屋根に着目し、それに付加的な日射遮蔽板を設置することで通気冷却を行い、夏期遮熱性能の向上を図ることとした。また付加的な効果として、冬期の夜間放射による過冷却の防止も期待できる。その目的に対して折板屋根を利用しようとする試みについては、我々の知る限りでは見当たらない。同様の現象を利用した通気壁では遮熱効果が認められている[6)]。本研究対象の屋根も、形態こそ若干異なるが同様の通気メカニズムを有しており、遮熱効果が期待できる[7)]。但し、その効果の定量的な評価については、ﾊﾟﾗﾒｰﾀの多さから、単純に評価はできない。その為、本研究では今回提案を行う通気型折板屋根の遮熱効果の定量的な検討を最終的な目的としている。本報告はその研究の第二段階に当たり、同屋根の冷却効果に影響を与える主要な要素（日射量、外気風速、屋根角度など）の影響把握に向け、実験装置を実気象に曝露し各部の温度挙動を計測した。その結果から同屋根の上記要素の遮熱効果に与える影響の検討を行った。加えて、冬期放射冷却緩和効果、今後の予測計算に用いるｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑの基本部分（放射熱交換計算部、気流計算部）を作成したので報告する。

２．通気型折板屋根とは

通気型折板屋根は、従来の折板屋根の基本構造はそのままに、その山と山とを繋ぐ形で日射遮蔽板を設置し、通気層を構成する構造である。(以下、通気型、従来型と略記する場合有り)。その通気層（傾斜）を自然換気することで遮熱効果を持たせる狙いを持っている。冷却のメカニズムとしては、日射遮蔽板への日射入射によって折板への直接の日射入射が避けられること及び温度上昇を起こした日射遮熱板が通気によって裏面から換気冷却されることが挙げられる。この通気システムは、屋根の防水層よりも外側で換気を行う為、棟換気のように屋根構造構造本体の貫通部が無く雨仕舞いの懸念を生じない長所を持っている。図１に通気型折板屋根の換気冷却の概念を示す。

３．実験装置

図２は従来型及び通気型折板屋根実験ﾓﾃﾞﾙであり、図中に寸法と計測位置を示した。、また使用した各種計測器材を表１に示す。実験屋根ﾓﾃﾞﾙは岐阜高専建築学科棟（RC 造三階建て）の屋上に南面して設置した(図３参照)。両ﾓﾃﾞﾙ共に片流れで、平面寸法 2430（縦）×1215（横）である。以下、従来型の折板屋根ﾓﾃﾞﾙの基本構造について述べる。屋根の野地板に相当する板は耐水合板厚 12mm で構成した。それの小屋裏側に相当する面には裏面（小屋裏側）からの外乱変動の影響を抑制する目的を兼ねた断熱材(ﾌｫｰﾑﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ厚 50－B3)を設置した。合板より屋根側は 200mm ﾋﾟｯﾁの折板（鋼板製厚 0.6mm 、裏面断熱無し：外気側艶消し黒色、裏面中間色）を取り付けた。折板を取り付けるｽﾃｰ金具は、ﾎﾞﾙﾄで合板に固定した。通気型折板屋根は従来型折板の外側に日射遮蔽板（鋼板製厚 0.4mm、：外気側艶消し黒）を設置することで外側に構成される空洞部を通気層として利用する構造である。温度計測には銅－ｺﾝｽﾀﾝﾀﾝ熱電対(0.32Φ)を用いた。熱電対設置位置を図２中に示す。空気温度測定用の熱電対はｽﾃﾝﾚｽ製円筒で覆い、通気を確保すると同時に上下からの放射熱を防止した。また日射計を２組設置し、屋根面と水平面の日射計測を行った。外気風速測定は超音波風向風速計を用いた。日射計、風速計、熱電対の出力は階下の室に設置したﾃﾞｰﾀ集録装置に集め、３分間隔（24時間連続）で計測を行った。計測は、平成１２年７月６日から平成１３年２月９日にかけて行った（一部の欠測期間を除く)。

４．実験結果

図４は２０％勾配の場合の通気型と従来型の断熱材表面温度（計測位置は図１参照：計測日 2000/7/10）の比較を示す。同図より、日射入射時に通気型の温度は従来型のそれよりも最大 6.6℃低くなった。このように断熱層よりも外側の部分に対して、通気層が屋根の冷却に十分寄与していることがわかる。一方、夜間は従来型と通気型ではやや従来型が低温だったがこれは夜間放射の影響と思われる。

図５は 3 種の屋根勾配（勾配 10, 20, 40％）での通気型の実験データから、快晴日でかつ外

気風速がさほど大きくない条件の日（日平均風速１～２m/s）を選んで各部温度挙動をプロットした結果である。勾配40%は平成12年8月22日、20%は7月10日、10%は7月22日のデータを選択した。同図は通気型の屋根中央部（D点）の各部温度挙動に加え、屋根勾配２０%の場合の下部（B点)、上部（F点）の各測定点の温度挙動を示している。同図より、日射のピークである12時に日射が直接入射する屋根表面温度はピークを迎えるが、それ以外の位置はおよそ1時間後に最高温度となった。この時、屋根勾配４０%では特に屋根表面温度とそれ以外のピーク発生時刻のずれが大きくなったが、これは勾配４０%の場合の温度上昇が比較的小さいためである。屋根表面と断熱材表面の最高温度の差は屋根勾配40%、20%、10%の順に22.5℃、17.5℃、15.6℃と屋根勾配が大きいほど大となった。これは熱量で圧倒的な太陽日射が入射する屋根表面温度上昇ではさほど大きな差異は生じないが、換気冷却が関与する内部温度において温度差が生じたものと推測される。

4-2　貫流熱

断熱材の表裏温度から屋根貫流熱量を推定した結果を図6に示す。同図は上から順に屋根勾配40%、20%、10%の結果である。同順に通気型の貫流熱の総計は従来型の46～84%、56～85%、63～82%に減少した。ピーク値に限っても、順に43%～78%、56%～79%、63%～72%と屋根勾配が急な程、貫流熱の低減する効果が大きいことが確認できた。この時、３種の勾配に共通して、この減少率は上部で小さく下部で大きかった。これは低温の外気が流入する装置下部における換気空気の吸熱が大きいことが理由である。また特にピーク値の減少は著しく、通気型はピーク負荷のカットに有効であることが貫流熱からも裏付けられた。

4-3　温度断面

図７は各屋根勾配のD点を含む断面（屋根中央部）における11時～13時の平均温度を示す。同図より、屋根表面温度は夏期快晴時に70℃前後に対して、従来型の合板表面は60℃前後、通気型では55℃前後となった。また通気型において通気層は本来の折板部よりも低温で、冷却に寄与している様子が現れていた。表２は図７の結果における11時～13時における外気温と合板表面の平均温度差を数値で示したものである。同表からも勾配に関する同様の傾向が確認できた。

4-4　外気風速の影響

図８は屋根勾配10%、40%の場合の日射量(横軸)と通気層内空気の外気温度からの温度上昇(縦軸)の関係をプロットした図である。計測期間中の晴天日で日射量100W/㎡以上の条件に適合する計測データを、外気風速1.5m/ｓを境界に二分して、上記の相関関係を考察した。屋根勾配10%、40%いずれも日射量の増大により外気温と通気層内の温度差が増加し、線形的関係が明らかだった。この時、外気風速が大きい場合は温度低下し、その傾きが小さくなった。この温度低下は日射量が大きい場合に、５～６℃だった。これは風速増加による屋根対流熱放散の増大が主因に挙げられる。

4-5　屋根貫流熱と日射量の関係

図９に通気型屋根の貫流熱と日射量の関係を示す。ﾃﾞｰﾀは前年の結果（平成 11 年 5 月 17 日～6 月 10 日まで）の晴天、曇天日である。貫流熱は、下地合板表面温度と断熱材表面温度の温度差から算出した。日射量の増加に伴い、屋根貫流熱も増加する様子が判る。図中より、曇天日は比較的ﾃﾞｰﾀのばらつきが少ない。これは、曇天日は風･日射などの外界条件の変動が比較的小さい為と推測できる。また、直達日射の有無も含めた全天空日射と貫流熱の間にまずまずの相関関係があった。しかし、前述の外風速は屋根の貫流熱に大きく寄与しており、風速 2.0m/s 以上の軽風時は、それ以下の微風時に比べ明らかに屋根貫流熱が小さくなった。その水準は日射量が 800W/㎡時に軽風時は 2.5W/㎡、微風時は 6.3W/㎡と風の有無で倍近い差になる。

５．ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑ作成（気流・放射部分）

5-1　気流計算

5-1-1 気流計算ｱﾙｺﾞﾘｽﾞﾑ

通気層内の気流計算は１次元気流計算とし、周壁との熱伝達率を与え、熱授受計算を行う。気流計算時の力のバランスとして、温度上昇による傾斜通気層の浮力が気流摩擦損失及び流出入口の流れの収縮・拡大に伴う圧力損失とバランスする（図１０）（式１）。

密度差換気時の圧力ﾊﾞﾗﾝｽ

$$\Delta P_r = \Delta P_T + \Delta P_{Tf} \quad （式１）$$

ここで、ΔP_r：密度差圧[Pa]　　ΔP_T：流出入損失圧[Pa]　　ΔP_{Tf}：摩擦損失圧[Pa]

式１を詳細な形に書き換え、式２を得る。

$$(\rho_a - \rho)\ hg = \frac{\zeta_T^{上} v^2 \rho}{2} + \frac{\zeta_T^{下} v^2 \rho}{2} + \lambda\ (\frac{l}{d})\frac{v^2 \rho}{2} \qquad （式２）$$

ここで　ρa：外気空気密度[kg／m³]　　ρ：通気層内平均空気密度[kg／m³]

h：通気層平均高さ[m]　　g：重力加速度[m／s²]

ξ_T：流出入部圧力損失係数[N.D.]　　（今回、ξ_Tは上下開口共 1.0 とした。）

v：通気層内平均流速[m／s]　　λ：通気層表面摩擦係数[N.D.]

l：通気層長さ[m]　　d：通気層の水力等価直径[m]

式２中の摩擦係数λは、滑らかな表面を仮定し、式３を使用。

$$\lambda = \frac{64}{R_e}(1-\gamma) + (\frac{0.3164}{R_e^{1/4}})\ \gamma \qquad （式３）$$

ここで、γ：断続率[N.D.]　　Re：レイノルズ数[N.D.]

通気層等価直径　d

$$d=\frac{4A}{P}$$ （式４）　　ここで　A：断面積[㎡]　　P：濡れ縁長[m]

また、通気層の換気による層外への排除熱は以下の式により求められる。

換気排除熱 HV

$$HV=V\times A\times Cp\times \Delta Tout$$ （式５）

ここで　HV：屋根単位面積当たり換気排除熱[Wh／㎡]　A：通気層流路断面積[㎡]
Cp：空気容積比熱[J/(㎥･K)]　Tout：流入空気と流出空気温度の温度差[K]

5-1-2　実測値を用いた計算

以上のアルゴリズムにより作成したFORTRANプログラムを用いて、試みに実測値を入力して実測した通気層の流速・排除熱を計算した。その結果、日射量が800～900W/㎡の場合に屋根勾配40%では層内平均流速は約0.5m/sと算出できた。同じく20%、10%の順にそれぞれ0.4m/s、0.2m/sの風速と推定された。今回の実測では連続的な層内流速計測は行っていないが、チェックの為に行った層内風速の計測値は同水準の値だった(40%の場合に風速0.6m/sだった)ことから、今回の推定値はさほど遠くない数値と思われる。

5-2　放射伝熱計算

5-2-1　放射計算ｱﾙｺﾞﾘｽﾞﾑ

日射入射により温度上昇を起こした日射遮蔽板の熱は、折板・合板へ熱伝達される。日射遮蔽板から折板へは熱伝導と放射熱伝達により伝熱される。折板から合板へは直接放射熱伝達によって伝熱される。また折板の形状から、折板間の放射熱授受も考えられる。以上のことが想定されるため、折板部分では、図１１に示した組み合わせが考えられる。
2面間の放射熱伝達量は式2で求めることができる（図１２）。

任意表面 F_1F_2 間の放射熱伝達量 [2)]

$$Q=\beta\cdot C_{12}\left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4-\left(\frac{T_2}{100}\right)^4\right]\cdots\text{（式６）}$$

ここで

$$\phi=\frac{1}{\pi}\int_{F_1}\int_{F_2}\frac{\cos\phi_1\cos\phi_2}{\gamma^2}dF_1\cdot dF_2$$

$$C_{12}=\frac{C_1C_2}{C_S}$$

ここで
φ：面－面形態係数[N.D.]
C12：有効放射常数[N.D.]
T1, T2：F1, F2各面の温度[K]
Cs：完全黒体の放射常数[N.D.]
C1, C2: F1, F2各面の放射常数[N.D.]

またプログラムを組みやすい理由から、2面間の形態係数を算出するのに、以下の式を用いる。平行面間形態係数φ'は既知である式７を用いる(図１３)。傾斜面間の場合、その角度が鋭角であるか鈍角であるかによって用いる算出式が異なる。鋭角傾斜面間形態係数φ'は既知

である式８を用い（図１４）、鈍角傾斜面間形態係数φ'は、適当な算出式が見当たらなかったため、自ら導出した式（式8）を用いる（図１５）。

$$\phi'=\frac{1}{2\pi}\left(\beta_2\cos\delta_2+\beta_3\cos\delta_3\right)$$

$$=\frac{1}{2\pi}\left(\frac{x}{\sqrt{x^2+z^2}}\tan^{-1}\frac{y}{\sqrt{x^2+z^2}}+\frac{y}{\sqrt{y^2+z^2}}\tan^{-1}\frac{x}{\sqrt{y^2+z^2}}\right)\cdots\text{（式７）}\qquad\text{既存の式}$$

$$\phi'=\frac{1}{2\pi}\left(\beta_1\cos\delta_1+\beta_3\cos\delta_3+\beta_4\cos\delta_4\right)$$

$$=\frac{1}{2\pi}\left[\tan^{-1}\frac{x}{z}+\frac{y\cos\alpha-z}{\sqrt{y^2+z^2-2yz\cos\alpha}}\tan^{-1}\frac{x}{\sqrt{y^2+z^2-2yz\cos\alpha}}+\frac{y\cos\alpha\sin\left(\tan^{-1}x/z\right)}{\sqrt{y^2\sin^2\alpha+y^2\cos^2\alpha\sin^2\left(\tan^{-1}x/z\right)}}\left\{\tan^{-1}\frac{y-z\cos\alpha}{\sqrt{(z\sin\alpha)^2+x^2}}+\tan^{-1}\frac{z\cos\alpha}{\sqrt{(z\sin\alpha)^2+x^2}}\right\}\right]$$

…（式８）　　**鋭角傾斜面間形態係数**

$$\phi'=\frac{1}{2\pi}\left(\beta_1\cos\delta_1+\beta_3\cos\delta_3+\beta_4\cos\delta_4\right)$$

$$=\frac{1}{2\pi}\left[\tan^{-1}\frac{x}{z}-\frac{(z+y\cos\alpha')}{\sqrt{y^2+z^2-yz\cos\alpha}}\tan^{-1}\frac{x}{\sqrt{y^2+z^2-yz\cos\alpha}}-\cos\left(\tan^{-1}\frac{y\sin\alpha'}{y\cos\alpha'\sin\left(\tan^{-1}x/z\right)}\right)\cos^{-1}\left(\frac{x^2+z^2-yz\cos\alpha}{\sqrt{x^2+z^2}\cdot\sqrt{x^2+y^2+z^2-2yz\cos\alpha}}\right)\right]$$

…（式９）　　**鈍角傾斜面間形態係数　新たに導出**

式7～式９は面－点形態係数算出式であるため、算出し得られる面－点形態係数φ'を積分して面－面形態係数φにする必要がある。そこで１つの面に対して６つの点で算出し（図１６）、それらの値を次式で数値積分する。

$$\phi=\frac{1}{8}\sum_{i,j}\begin{vmatrix}1 & 2 & 1\\ 1 & 2 & 1\end{vmatrix}\left[\phi'_{i,j}\right]\qquad\text{（式１０）}\qquad\text{台形公式（h=0.5, k=1）}$$

X方向における放射熱の授受は、図１７に示す領域の外の面も考慮する必要がある。図１８にそれを示す。例１のように領域外のある面を扱うとき、領域を跨ぎ対称な位置にある面と同温度であると設定し、その領域外のある面の形態係数を対称な位置にある面の形態係数に加えて扱うこととする。領域を跨ぎ対称な位置にある面と同温度と設定したことにより、例２のようにある面と領域を跨ぎ対称な位置にある面の間は、同温度であることから放射熱の授受はない。

5-2-1　導出した計算式と既存の式による結果の検証

鈍角傾斜面間形態係数算出式は、今回、自ら導出した計算式であるため検証が必要である。そこで、同式に角度を直角と入力し、直交面の場合を解いてみた。この結果、既存の垂直面間形態係数算出式の結果（表３）や資料と比較すると良い精度で一致することから、十分条件ではないが、同式は問題無いと考えた。

5-2-2　実際の屋根に当てはめた場合の検証

形態係数算出プログラムの検証として、領域内のある面に対して、放射熱の授受が考えられる面（図１９）全ての形態係数を合計した（ただし、Z 方向に関しては上下隣面 1 面まで)。

領域内の面には図２０に示すように番号を振った。各面に対する形態係数の合計は表４に示すとおりである。面 12～14 では、従来型折板屋根の空洞部と通気層といった折板の表裏 2 面で放射熱の授受がある。面 12～14 の値が１００％より小さいのは、境界を跨いで対称にある位置の面とは放射熱の授受を考えないため、その面の形態係数を合計していないからである。また面 8、面 12～14（空洞部側）で精度が落ちるのは、大きな影響を受ける位置に空気層があるからである。検証のため、境界を跨いで対称な面や空気層部分とも放射があるとして合計してみた結果、他の面同様よい精度で結果が得られた。これに各面の温度が与えられれば、折板部分における放射計算を行なうことができる。

5-3　本章の成果について

本章では研究対象の傾斜通気層の伝熱計算で、最も煩雑な部分である気流計算及び折板部の放射伝熱計算プログラムについて報告した。これらプログラムを全体の非定常熱伝導計算プログラム中に組み合わせることで、屋根全体のシミュレートが可能になり、大幅な進展があった。

６．冬期夜間放射冷却緩和効果の検討

屋根表面温度と遮熱板温度挙動を図２１に示す。同図は上から屋根勾配 40％、10％の結果である。40％勾配の場合の通気型屋根表面温度は中間部（通気型 D 点)、上部（通気型 F 点）と－3.82℃、－3.84℃となり、従来型のそれは順に－4.88℃、－4.08℃であった。その差はそれぞれ 1.06℃、0.24℃である。これより、通気型は従来型と比較して確実に冬期において夜間放射に伴う冷却緩和効果を有していることが確認できた。

屋根の中間部と上部の温度差は従来型で 0.53℃、通気型で 0.22℃であった.これは、外気が通気層を上部より流入し下部にぬけでていくことが推測される。なお、下部においての通気型屋根表面温度は熱電対の故障の為、正確なデータが取れなかった。２種類の屋根勾配に関する実験データから、前日は快晴日であり、朝方非常に冷え込んだ日を選び検討をした。前日に良い日射を受けることにより屋根が暖められ、朝方冷えることで夜間放射に伴う冷却効果が大きくみられるからである。外気温が最低温度であったとき屋根表面温度の通気型と従来型の差は、中間部で屋根勾配 40％、20％とそれぞれ 0.24℃、0.0005℃となり、上部で屋根勾配 40％、20％とそれぞれ 1.06℃、0.31℃となった。この測定結果より屋根勾配が急なほど冷却緩和効果があることがわかった。

図２２，２３は各々平成 13 年 1 月 10 日～11 日と平成 13 年 2 月８日～９日の通気型下部（B 点)、通気型中間部（D 点)、通気型上部（F 点）の各点温度挙動を示す。いずれも最低温度を記録する時間は異なるが、外気温度の下降とともに各点温度も下降している。また最も天候および外気温の影響を受けやすい遮熱板で各点のすべての位置において、昼間の最高温

度、夜間の最低温度を記録した。屋根勾配20%の各測定位置別に見ると、遮熱板の最低温度は装置下端からの順に（B,D,F）－4.96℃、－3.91℃、－3.26℃となり、断熱表面の最低温度は同順に－1.99℃、－1.25℃、－0.89℃、通気層内最高温度は同順に－2.85℃、－1.56℃、－1.49℃となった。

図２４は各屋根勾配のＤ点（屋根中央部）における外気温が最低温度を観測したときの各測定位置の温度である。以下の屋根勾配40%、10%測定データでは部屋に一番近いと思われる断熱材裏側で、40%、10%の順で通気型屋根は、－1.60℃、－1.42℃となり従来型では－1.85℃、－1.06℃となっている。その差は40%で0.25℃、10%で0.18℃となった。外気温やその他湿気等の多くの条件が異なるため直接の比較はできないが、この測定結果からも屋根勾配が大きいほど夜間放射による冷却緩和効果が高くなることがわかる。

７．まとめ

提案を行った通気型折板屋根の冷却効果に影響を与える主要な要素（日射量、外気風速、屋根角度など）の影響把握に向け、実験装置を実気象に曝露し各部の温度挙動を計測した。その結果、外気風速が大きくなると全般な温度低下が起こることは当然であるが、その場合においても同屋根は20～50%もの貫流熱提言に明確な遮熱効果を有し、かつ傾斜角度が大であるほどその効果は大きいことが判った。また日射量が大であるほど屋根の温度低下効果は大きく、従来型の屋根下地の温度上昇が約２５℃の場合に、５～７℃程度の冷却効果を有している。冬期放射冷却緩和効果の検討においては、温度差は１℃強と若干ではあるが同屋根の冷却緩和効果が認められた。また今後の予測計算に用いるｼﾐｭﾚｰｼｮﾝﾌﾟﾛｸﾞﾗﾑの基本部分（放射熱交換計算部、気流計算部）を作成し、基本的な検証を行った。

８．発表論文・参考文献

8-1　発表論文

A) 高木他：通気型折板屋根の遮熱効果について―外気風及び日射の影響―、空気調和衛生工学会中部支部、学術研究発表会論文集、第一号、2000年、pp.21-24

8-2　文中の参考文献

1) 小原 他： 小屋裏強制換気による排熱効果に関する実験的研究 、学会大会 Ｄ編、1989、pp.621-
2) 赤坂 他： 同上 その２、学会大会Ｄ編,1990、pp.5
3) 山本 他:傾斜加熱面頂部に生じる気流及び熱流の実験的研究 その４、学会大会D-2編、1998,pp.35-
4) 須貝 他：小屋裏換気と断熱通気屋根の遮熱・排熱効果 その１、学会大会D-2編、1995、pp.59-
5) 例えば Liersh 他：Untersuchungen der Warmeubergangsvorgange an einem belufteten Steildach,Teil 1 , Gesundheits-Ingenieur,Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik,104(1983),Heft 1
6) 角舎 他：壁内中空層の自然換気による日射熱排除効果 第３報、空衛学会論文集、1987、NO.34、pp.91-
7) 角舎他：通気型折板屋根の遮熱性能に関する研究―夏期温度実測結果―、日本建築学会東海支部研究報告集、1999年２月、Vol.37、pp.485-488

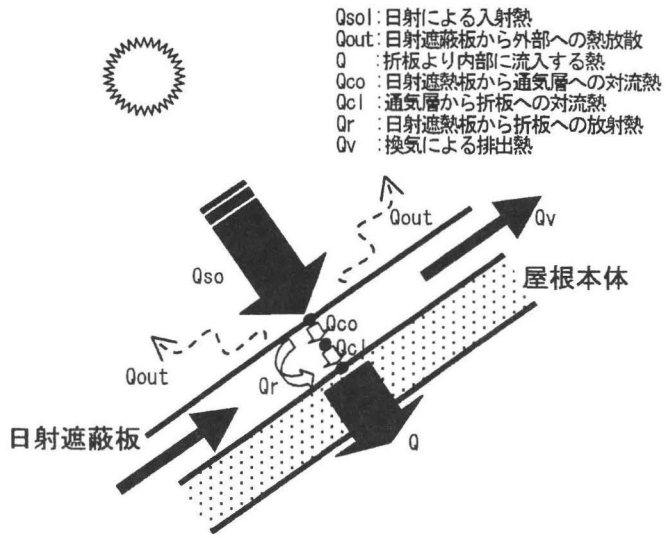
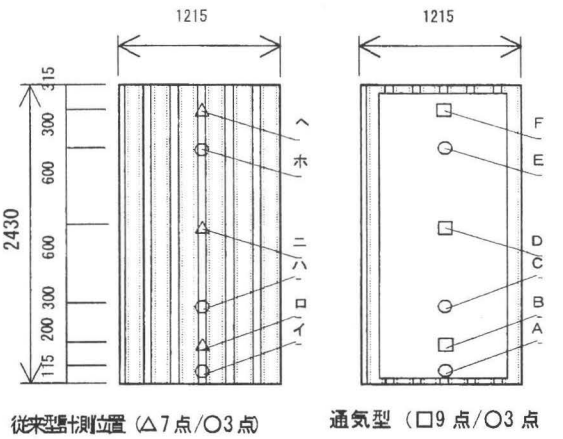


図１　通気型折板屋根の換気冷却概念



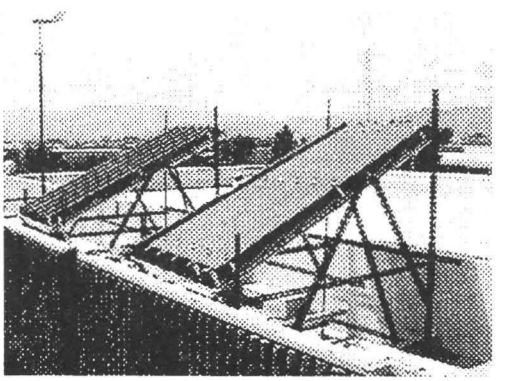


図３　実験装置外観
（左：従来型、右：通気型）

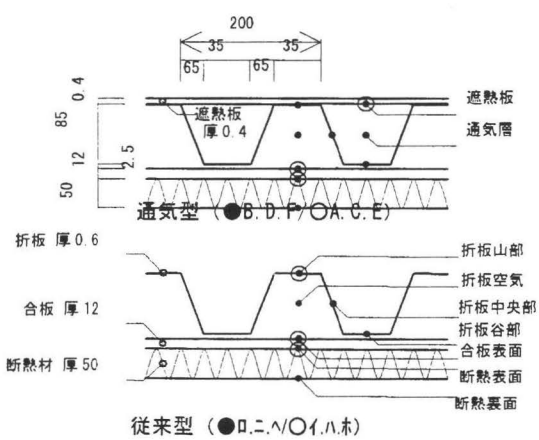


図２　実験装置

表１　実験装置使用器材一覧

名称	材料・製品名
折板屋根	波型金属屋根板WS-600(三晃金属)
野地板	耐水合板厚　12mm
断熱材	フォームポリスチレン(B類3種)厚　50mm
熱電対	0.32φ(特級)
日射計	MS-601(英光機器)
風速計	超音波式風向風速計　SA−200(海上電機)
制御パソコン	NEC9801　NS/T、MS-DOS　6.2　N88BASIC
データロガー	YHP　YODAC85T

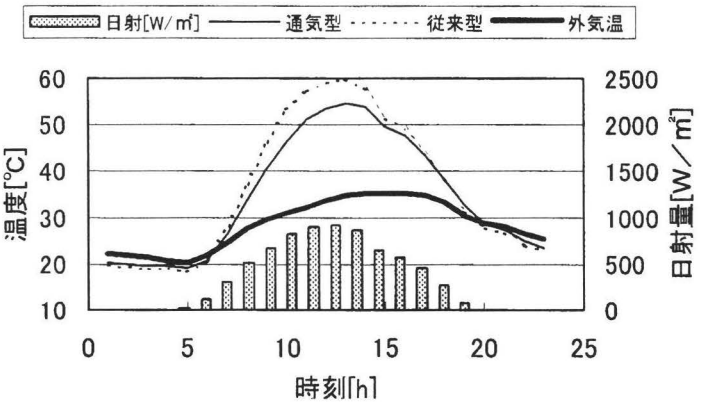


図４　断熱材表面温度の比較（2000/7/10：勾配 20%）

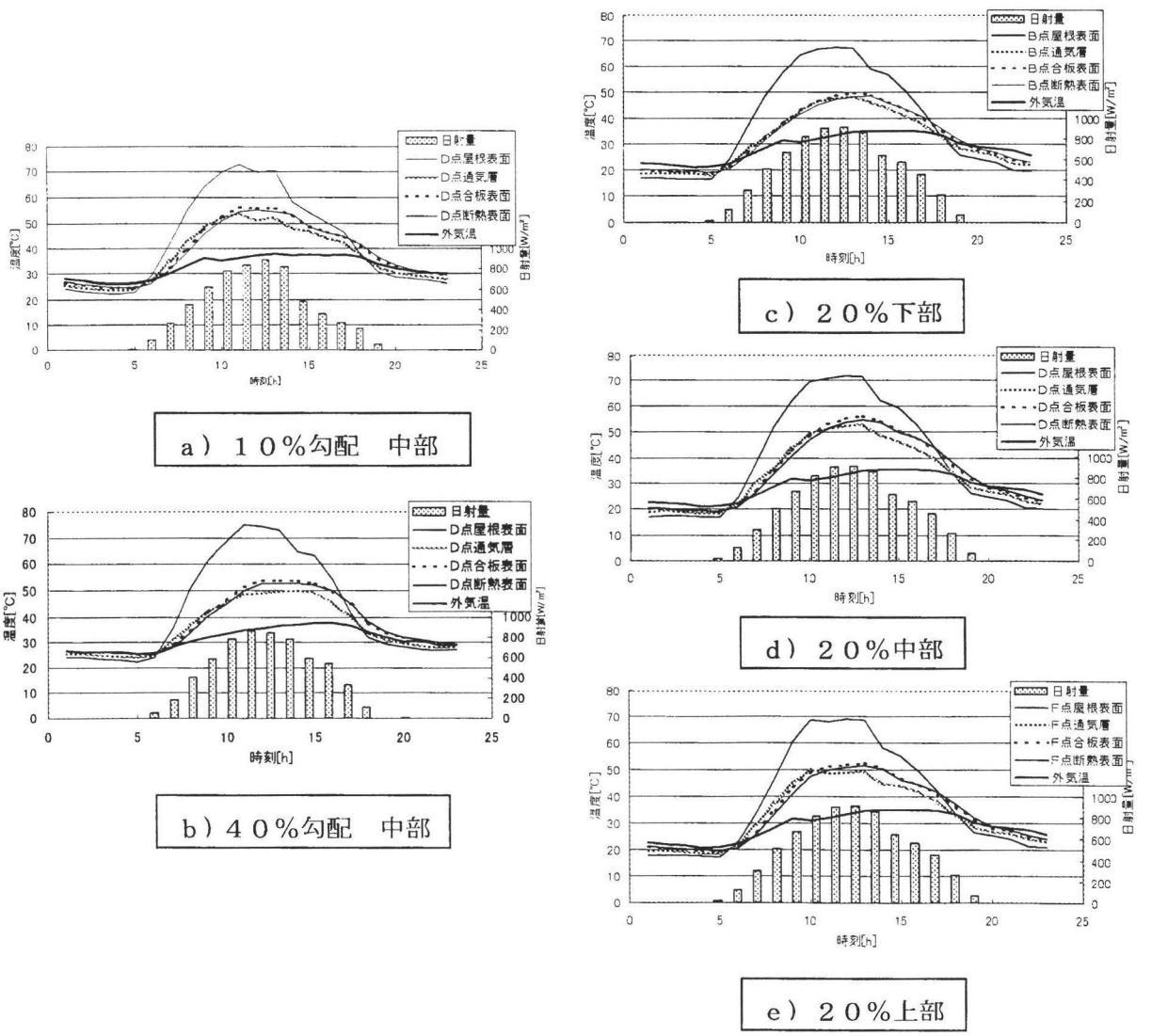


図５　各部温度挙動

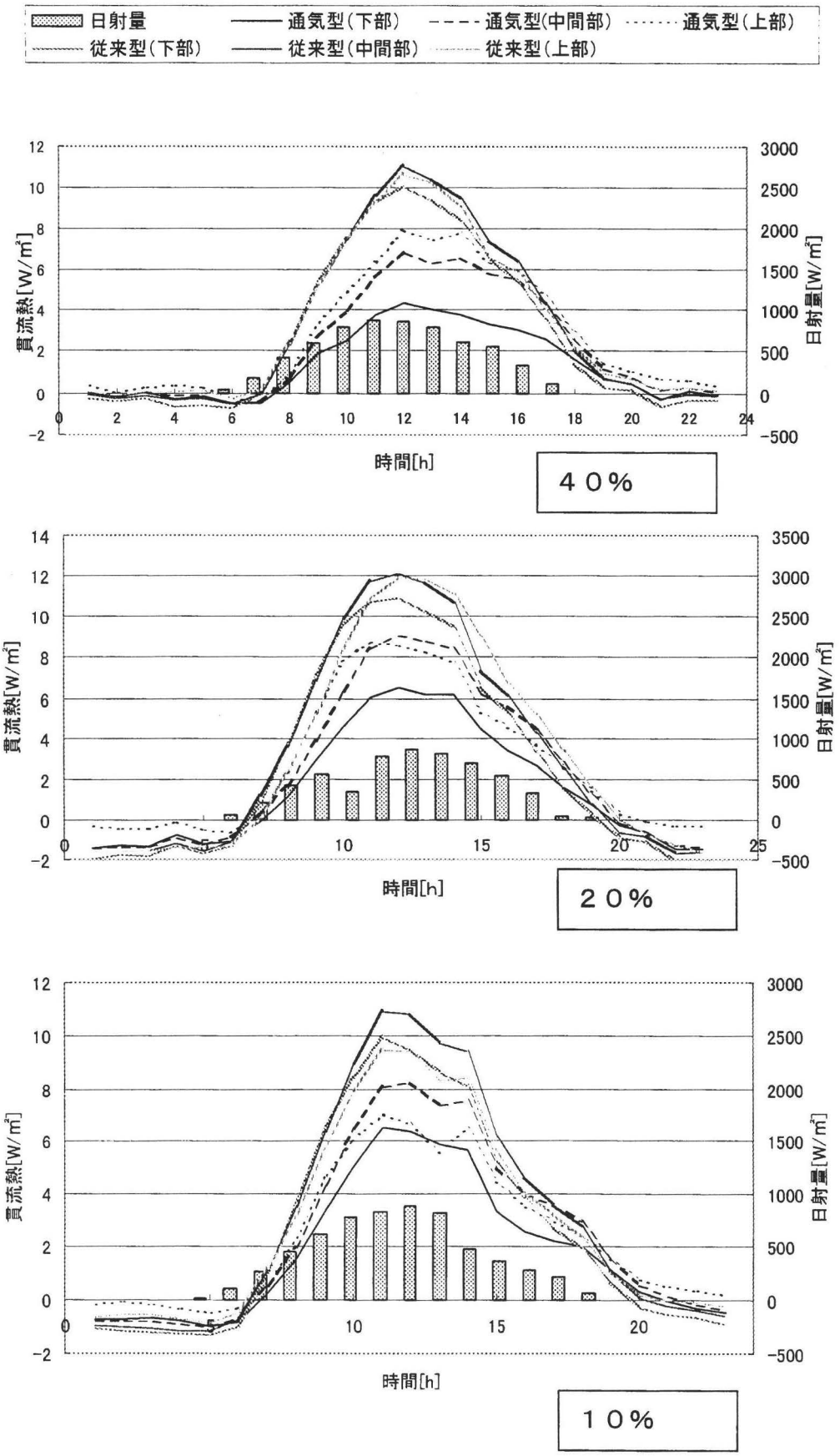
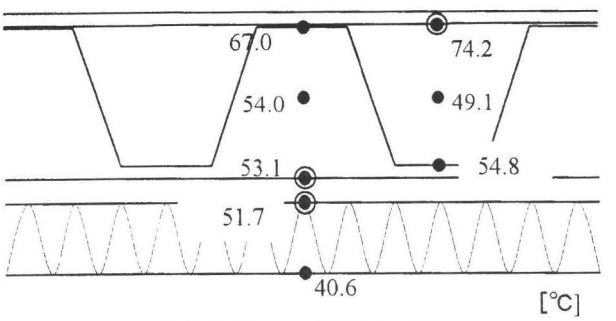
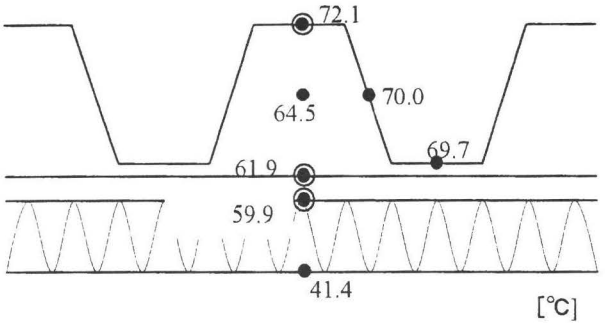

日射量
通気型(下部)
通気型(中間部)
通気型(上部)
従来型(下部)
従来型(中間部)
従来型(上部)
貫流熱[W/m²]
日射量[W/m²]
時間[h]
４０％
２０％
１０％

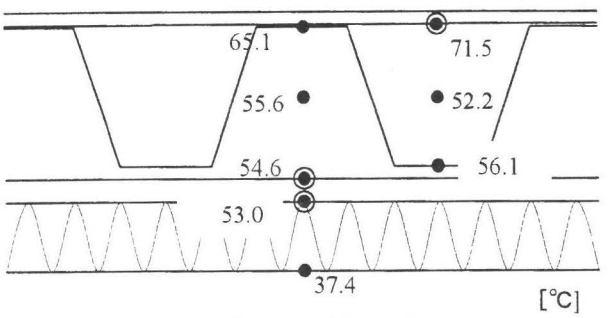
図６　各部貫流熱の比較



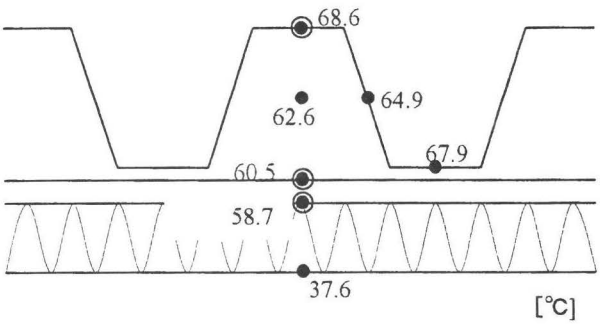
傾斜角度40%(通気型D点)



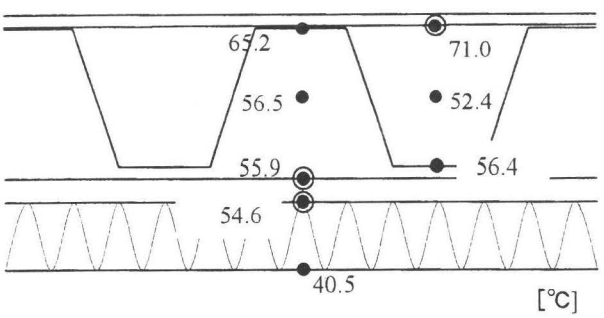
傾斜角度40%(従来型二点)



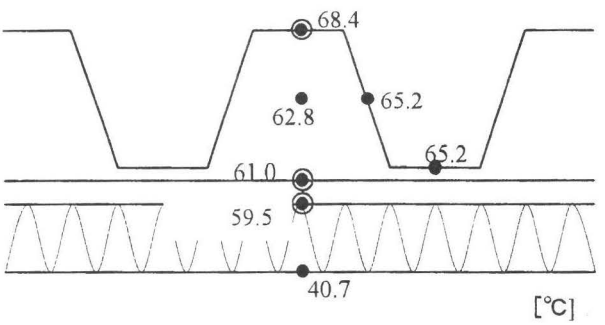
傾斜角度20%(通気型D点)



傾斜角度20%(従来型二点)



傾斜角度10%(通気型D点)



傾斜角度10%(従来型二点)

図７　温度分布の比較（11～13 時の平均温度）

表２　外気温度からの温度上昇（合板表面温度）
（晴天日：ＢＤＦ点、１１～１３時の平均）

屋根勾配	通気型[℃]	従来型[℃]	温度差[℃]	日射量[W/m
40%	16.4	24.6	8.2	830.0
20%	18.1	23.2	5.1	894.4
10%	16.0	20.4	4.4	847.3

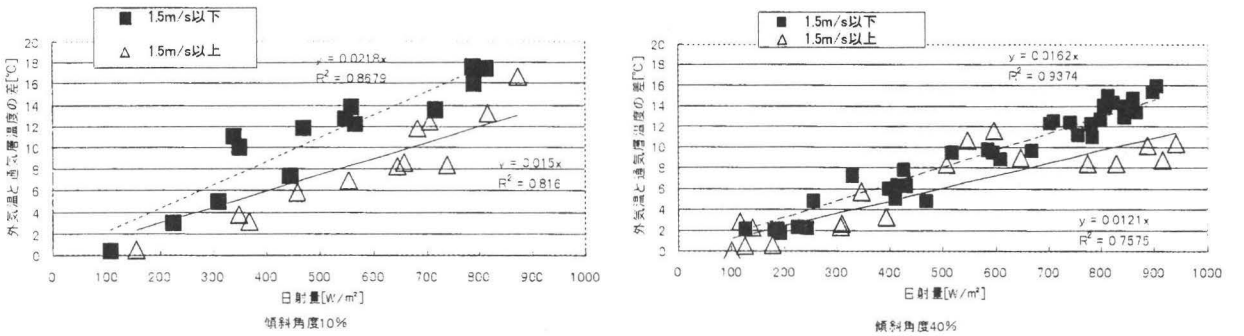


図８　外気風速と通気層温度の関係（層内平均温度）

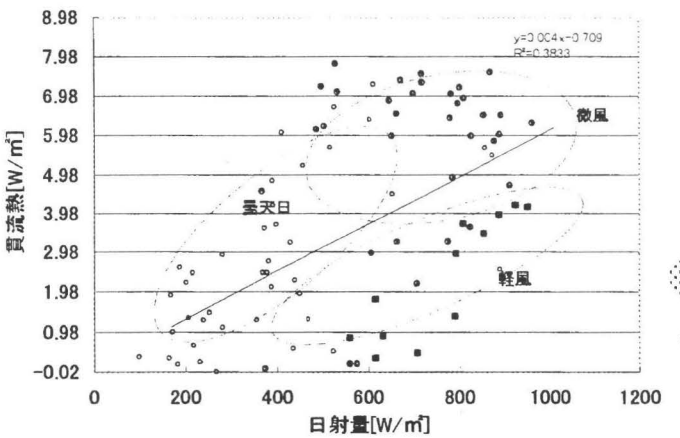


図９　屋根貫流熱と日射量の関係

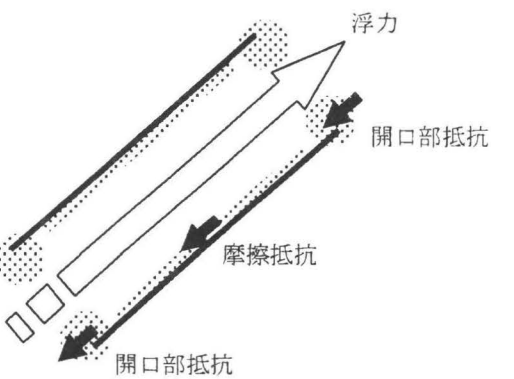


図 10　通気層内に働く力

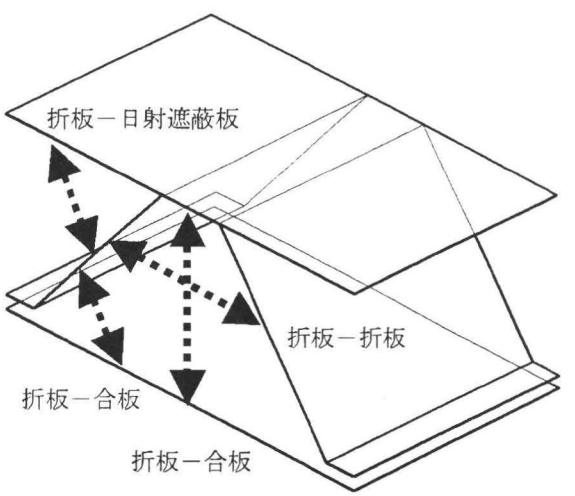


図 11　通気屋根の放射熱交換

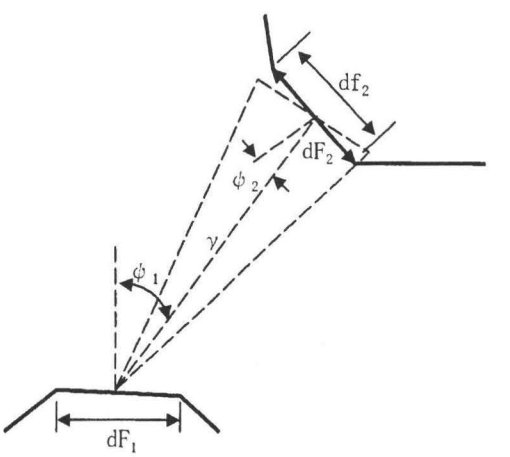


図 12　任意の二面間の放射熱交換

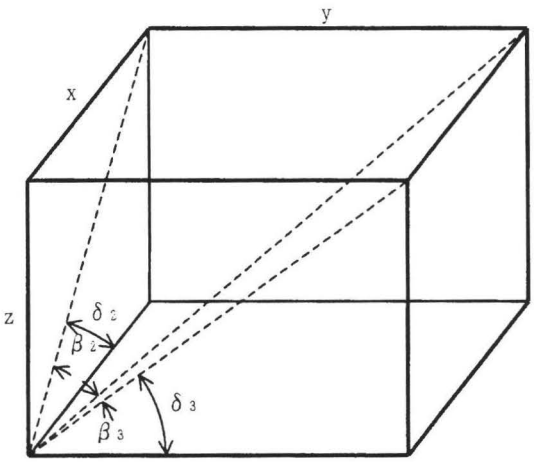


図 13 平行二面間形態係数説明図

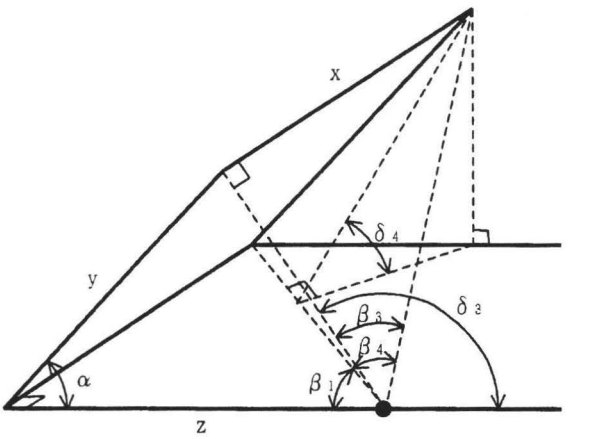


図 14 鋭角二面間の形態係数説明図

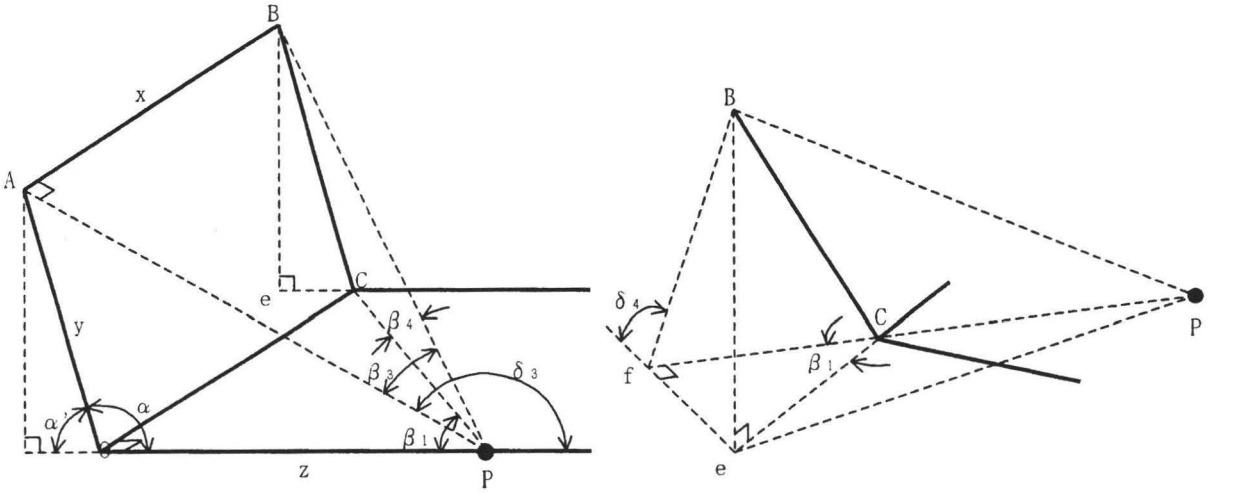


図 15　鈍角二面間の形態係数説明図（今回、導出対象）

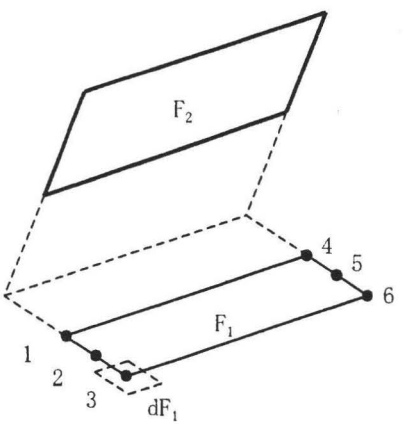


図 16　面－点形態係数φ’算出点

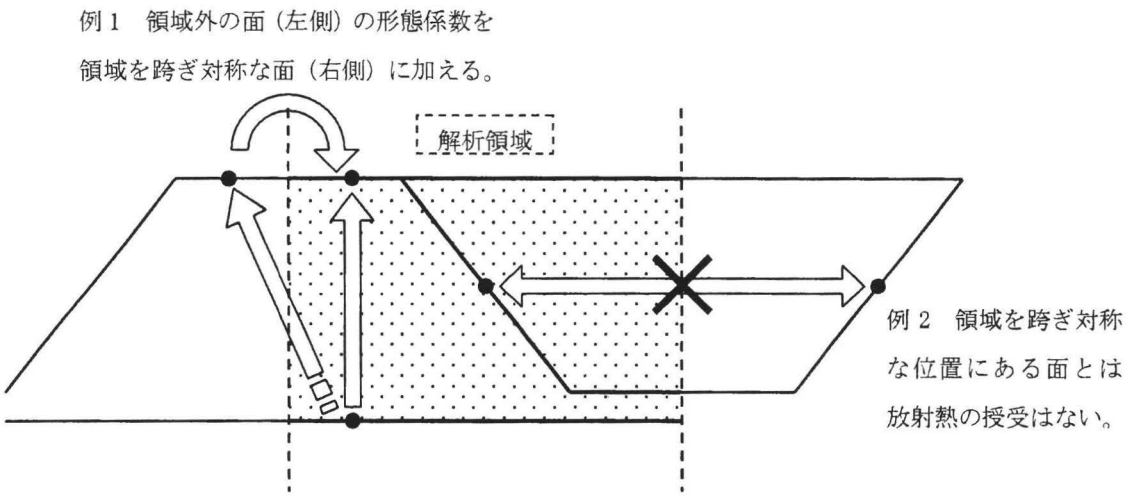


図 17　断面方向の放射熱授受

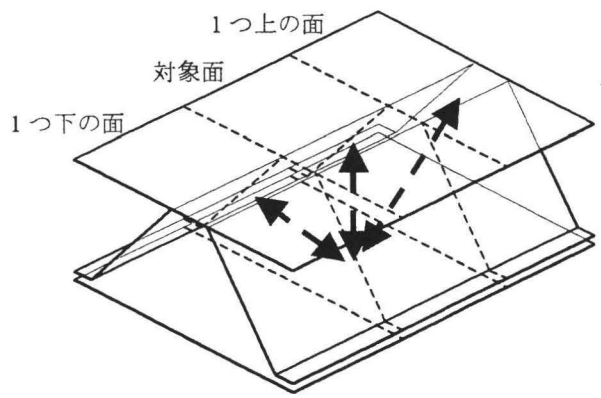


図 18　長手方向の放射熱授受の簡略化

表 3　垂直形態係数算出結果

	x/z=1, y/z=1	x/z=2, y/z=1	x/z=1, y/z=2
既存式	5.57341985	6.86973035	9.50679407
導出式	5.57341948	6.86973035	9.50679332

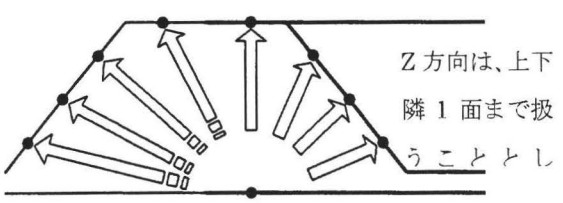


図 19　放射熱交換略図

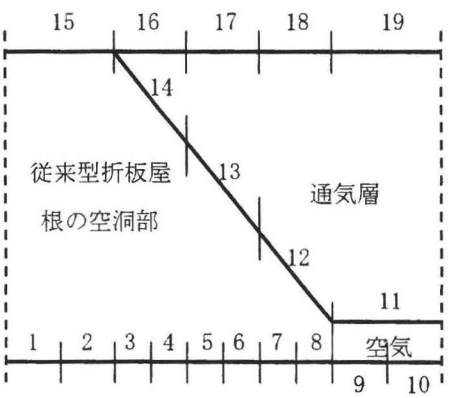


図 20　放射計算面番号

表４　各面に対する形態係数合計百分率（100%が真値）

面番号	1	2
合計(%)	99.25	99.25
3	4	5
99.25	99.24	99.21
6	7	8
99.12	98.67	84.27
11	12（空洞部）	12（通気層）
99.04	88.41	80.74
13（空洞部）	13（通気層）	14（空洞部）
87.51	84.48	79.93
14（通気層）	15	16
91.77	97.20	99.43
17	18	19
99.39	99.36	99.34

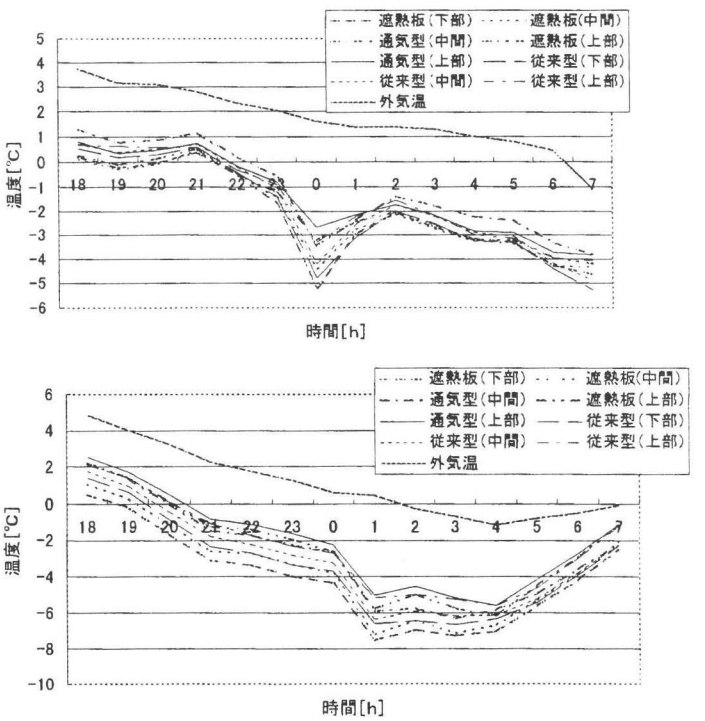
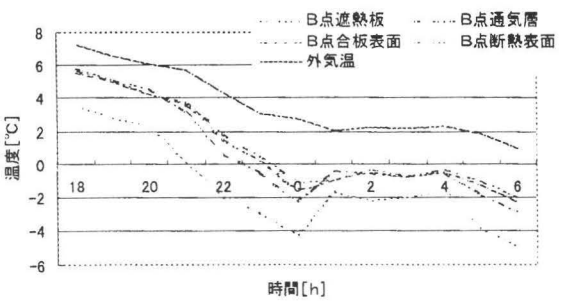
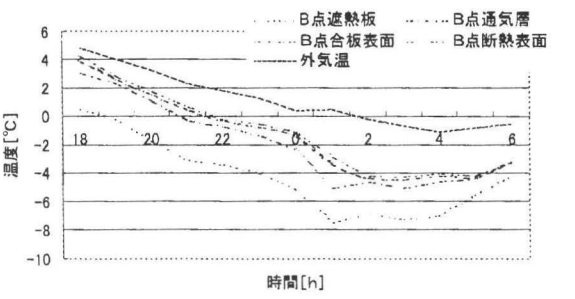


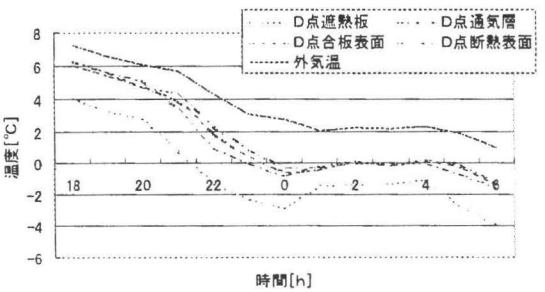
図 21　屋根表面・通気層温度挙動（冬期：上 40%、下 10%）

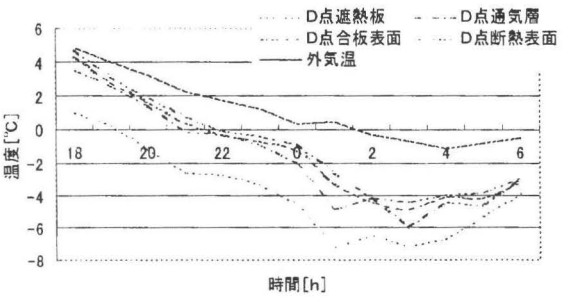
表５　冬期夜間放射冷却時の温度

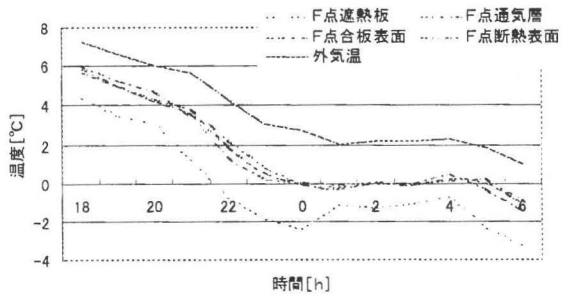
		通気型	従来型	差	外気温
屋根勾配10%	中間部	-5.81429	-6.12857	0.314286	
（午前4時）	上部	-5.59524	-5.6	0.004762	-1.1381
中間部と上部の差		0.219048	0.528571	-0.30952	—
屋根勾配40%	中間部	-3.81905	-4.88095	1.061905	
（午前7時）	上部	-3.8381	-4.07619	0.238095	-1.07619
中間部と上部の差		-0.01905	0.804762	-0.82381	—











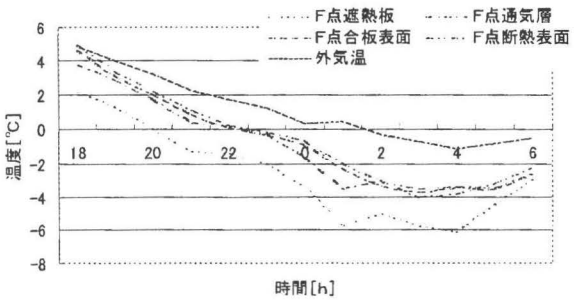
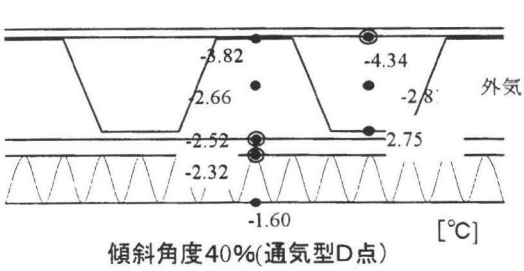
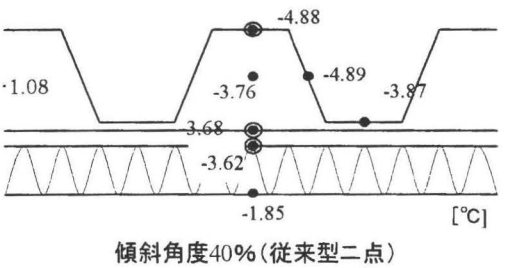


図 22　冬期温度挙動
（勾配 40%　、h13/1/10～11）

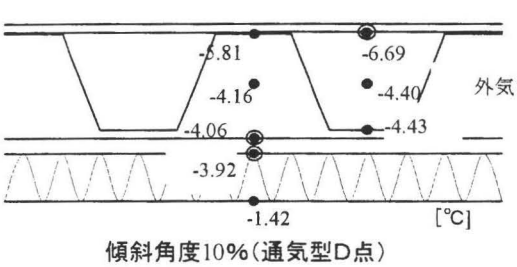
図 23　冬期温度挙動
（勾配 10%　、h13/2/8～9）



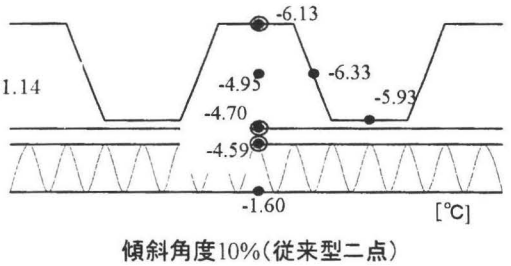
傾斜角度40%(通気型D点)



傾斜角度40%(従来型二点)



傾斜角度10%(通気型D点)



傾斜角度10%(従来型二点)

図 24　各部温度状況（冬期）

1－15　住宅の長寿命化に関する研究

早稲田大学理工学部建築学科
教授　小松幸夫

1.　本研究の背景と目的

1.1　研究の背景

日本の住宅の寿命は平成 8 年の建設白書で概算した結果によると、イギリス 75 年、アメリカ 44 年など欧米諸国に比べ 26 年と非常に短い [1]。実際に、日本では住宅の寿命は 30 年程度というのが一般的な認識であるとの報告 [2]や、実状は 40 年程度であることが既存の研究において推計されている [3]。このような日本の住宅の寿命の短さは、現実に構造面では健全と思われる住宅が取り壊されている状況がよく観察されることから、住宅の寿命は物理的な耐久性によって決定される場合が必ずしも多くないと考えられる。しかし、社会情勢の変化などを考慮すると、今後住宅に限らず建築物の新築数が減少するのは必至であり、環境問題も含め住宅の長寿命化に対する対策はより一層求められると考えられる。

そこで、本研究では住宅のメンテナンス（維持管理）や増改築・建て替えという行為に注目した。これらは居住者の要求を解決するために行う行為であると考えられる。しかし、住宅の寿命という視点から見ると、メンテナンスや増改築は住宅の寿命を延ばす行為であるのに対して、建て替えは取り壊しを伴うために住宅の寿命を意識的に断ち切り行為であると考えられる。すなわち、居住者が建て替えを選択するかどうかは住宅の寿命に大きな影響を与えることになる。そのため、これら改善行為の実態や理由を把握することが住宅の長寿命化に向けて必要であると考えた。

なお、本研究では次の用語を以下のように定義する。

・メンテナンス：設備機器の交換など、既存の内壁や外壁の撤去もしくは新設を伴わない改良工事のこと
・増改築：延床面積の増加や間取りの変更など、既存の内外壁の撤去もしくは新設を伴った住宅の改良工事のこと
・建て替え：既存の住宅を全て取り壊し、同じ敷地に新たな住宅を建設すること
・改善行為：メンテナンス、増改築、建て替えの総称

1.2　研究の目的

本研究の目的は、今後の長寿命化に向けて住宅に何が要求されるのかを分析するため、居住者による住宅の改善行為と住宅の寿命の関係を把握することである。これまで行った一連の研究 [4)5)6)7)]の結果を踏まえ、住宅に対する居住者の改善行為としてのメンテナンスと増改築・建て替えの実態と理由を分析する。

2. 研究の方法

2.1 調査方法の概要

住宅の状況や居住者の意識と改善行為関係を把握するために、住宅のメンテナンス、増改築、建て替えの実態及び意識に関するアンケート調査を行った。(表 1)

調査対象として東京都多摩市の A 団地と大阪府枚方市の B 団地を選定した。共に私鉄が開発し、分譲開始から 30 年程度経過した大規模な戸建住宅の団地である。本研究では調査対象地において以下の 2 つの調査を行ったが、それらの結果を 1 つにまとめ分析を行う。

・「住宅のメンテナンス(維持管理)と寿命に関するアンケート調査」(2000 年 7 月実施)
調査用紙を郵便受けに直接投函し郵送による回収を行った。3770 の調査用紙を配布し 742 の有効回答(回収率 20%)を得た。

・「住宅の増改築や建て替え行為と寿命に関するアンケート調査」(2000 年 9 月実施)
協力の了承を得た回答者に対して郵送による配布及び回収を行った。432 の調査用紙を配布し 374 の有効回答(回収率 87%)を得た。

2.2 調査対象の概要

調査結果から見た調査対象地全体の概要は以下のとおりである。

調査対象地域の敷地面積の平均は 253 ㎡、入居当初の住宅が建設された時期の平均は 1973 年、延床面積の平均は 120 ㎡であるが、現在の住宅の延床面積は平均 147 ㎡である。

入居当時の世帯主の平均年齢は 44 歳、家族人数は平均 4.0 人 (2 人以下が 11%)であった。しかし、入居してからすでに平均 21 年が経過しているため、現在では世帯主の平均年齢は 65 歳、家族人数の平均は 2.9 人 (2 人以下が 48%)と小人数化や高齢化が進んでいる。また、2 世帯で同居している家族は入居当初は 5.5%だったが現在では 8.1%に増加している。

入居当初の住宅の状態は新築住宅であったものが 81%を占め、中古住宅は 9%に過ぎない。また、入居当初の住宅の構造は木造軸組が 75%を占めているが、建て替えを行った後の住宅について見ると、木造軸組が 37%と比率が低くなっている一方で、鉄骨系プレファブ(22%)や木造枠組壁構法(18%)の比率が高い。

住宅を建設した年が新しいほど延床面積が増加する傾向が見られるとともに、増改築や建て替えを行った場合はほぼ全ての住宅で延床面積の増加が見られる。また、増改築を行った住宅は 52%、建て替えを行った住宅は 19%(どちらも行っている住宅は 7%)であった。

なお、入居時には「近隣環境や自然環境」(38%)や「住宅の部屋の数や間取り」(29%)を重視していた比率が高い。

3 住宅のメンテナンスの実態

以後、増改築や建て替えの有無によって調査対象を以下の 4 つのタイプに分類する。

・増改築や建て替えを行っていない住宅(以後「原型」)
・増改築のみを行った住宅(以後「増改築」)
・建て替えのみを行った住宅(以後「建替」)
・増改築と建て替えを行った住宅(以後「複合」)

3.1　メンテナンスの実施率

メンテナンスの必要性が高いと考えられる 12 項目（以後「メンテナンス項目」）の実施率をみると、「外壁の塗り替え」（71.4%）や「屋根の塗り替えや葺き替え」（59.9%）といった住宅の外観に関するもの、また浴室や便所などの設備補修交換といった水廻りのメンテナンスは比較的実施率が高い。一方、「基礎や柱梁の取り替え」（9.1%）の実施率は低い。（表 2）

また、「メンテナンス項目」の実施率を建設後の年数でみると、どの項目においても建設後の年数が経つにつれて実施率が高くなる傾向が見られる。そこで、メンテナンスの実施率が 50%超える年数を見ると、5 年から 10 年には「外壁の塗り替え」「便所設備補修交換」、10 年から 15 年には「屋根の塗り替えや葺き替え」「浴室設備補修交換」、15 年から 20 年には「内壁塗り替えや張り替え」「冷暖房設備補修交換」、20 年から 25 年には「台所設備補修交換」、25 年から 30 年には「床の張替え」、30 年から 35 年には「建具取替え」「電気配線のやりかえや増設」、35 年から 40 年には「上下水道管のやりかえや増設」が挙げられる。「基礎や柱梁の取替え」については建設後 40 年以降になっても 50%に達していない。

なお、建て替えを行った住宅では増改築を行った住宅を比べると、「メンテナンス項目」の実施率では項目間のバランスにはあまり相違は見られないが、全体的に実施率が低い傾向が見られる。

3.2　メンテナンスの実施数

「メンテナンス項目」の実施数と建築後の年数の関係をみると、建築後の年数が経過しているほど実施数が多い傾向が見られる（図 1）。しかし、建て替えを行った住宅の場合は「メンテナンス項目」の実施数と建て替えを行うまでの年数の間に比例的な傾向は見られない。

各タイプを比較すると、「メンテナンス項目」の実施数が少ないほど「建替」や「複合」、実施数が多いほど「増改築」の比率が高くなる傾向がある。しかし、「原型」はメンテナンス項目の数に関わらずほぼ 30％前後を占めている。(図 2)

建設後の平均年数でみると、「原型」の 23 年や「増改築」の 29 年に比べ「建替」は 20 年「複合」は 24 年と短い傾向がある。「建替」「複合」の場合は建て替えが行われるまでの年数のため単純には比較はできないものの、これまでの分析と同様に建て替えを行った居住者は他に比べてメンテナンスを行わない傾向が見られる。しかし、「増改築」では「メンテナンス項目」が 1 つ以下の住宅はほとんど見当たらず、「増改築」の居住者はメンテナンスに対する関心が高く、日頃からメンテナンスをよく行っていると考えられる。

なお、A 団地では建築後の年数とメンテナンス項目数に相関が見られ、建築後の年数が経過しているほどメンテナンスを行った種類が多い傾向が見られる。しかし、B 団地ではそうした傾向は見られない。

3.3　居住者の改善行為に対する意識

これまでにメンテナンスにかけた費用を見ると、費用が多い場合には「増改築」の占める比率が高く、他に比べてメンテナンスに十分費用をにかけている傾向が見られる。これに対して「建替」は他に比べてメンテナンスに費用をかけない傾向が見られ（図 3）、メンテナン

ス作業の習得方法においても「本などの資料を参考にした」比率が低い（図 4)。なお、「増改築」ではメンテナンス作業を「親や親戚から教えられた」比率が他に比べて高い。

現在の住宅に住む際に重視した点を見ると、「建て替え」「複合」タイプは「近隣環境や自然環境」を重視する比率が高いが、「原型」「増改築」では「住宅の部屋の数や間取り」を重視する比率が高い。また、「建て替え」「複合」に比べ「原型」「増改築」では「通勤や通学の便」を重視する比率が高い。

「建替」の場合は他に比べて居住者のメンテナンスに対する知識が少ない傾向が見られ、自主的にメンテナンスを行っている場合も少ないと考えられる。一方、増改築を行っている住宅の居住者は「親や親戚から教えられた」比率が高いことからもメンテナンスに慣れ親しんでいる場合が多いと考えられる。

3.4 増改築や建て替えと建設後の年数の関係

建設後 20 年程度経過した時期に建て替えを行う住宅の比率が最も高くなっている。建設時期が古いほど建て替えが行われる住宅の比率が高いが、一方で住宅の建設時期が新しい住宅ほど建て替えを行う時期が早まる傾向が見られる。なお、1985 年以降に建設された住宅では建て替えは行われていない。(表 2)

また、最初の増改築を行うまでの期間を見ると、建設後 15 年以内に増改築を行った住宅の比率が全体の 76％を占め、最初の増改築は建設後比較的早い時期に行われている傾向が見られる。増改築は建て替えと同様に、建設時期が古いほど実施率が高い傾向が見られるが、住宅が建設された時期によって増改築を行う時期が早まる傾向は見られない。なお、1990 年以降に建設された住宅では増改築は行われていない。(表 3)

増改築を建設後の年数との関係で見ると、A 団地、B 団地ともに建設後 15 年以内に行われる比率が高く、さらに年数が経過するほど増改築が行われる比率が低くなる傾向が見られる。しかしながら建設年で見ると、建設年が新しいほど増改築を行う比率が低いという傾向は見られない。また、メンテナンスと建築後の年数の関係を見ると、A 団地に比べ B 団地は建設後 20 年以上経過した古い住宅に対するメンテナンスを行う比率が高く、全体的に比較すると B 団地では増改築を行う比率が高い傾向が見られる。

なお、本調査では、増改築は 1990 年以降に建設された住宅、建て替えは 1985 年以降に建設された住宅で確認できなかった。また、A 団地は 1970 年以前に建てられた住宅が B 団地に比べて非常に多いので 1970 年以前に建てられた住宅を除いて比較すると、建て替えに関しても A 団地、B 団地ともに住宅の建設年や建て替えを行うまでの年数には相関が見られず、古い住宅ほど建て替えが増えるといった傾向は見られない。なお、A 団地に比べ B 団地は建て替えを行う比率が低い傾向が見られる。

4 まとめ

本研究ではメンテナンスを中心とした居住者の改善行為が住宅の寿命に与える影響に関する分析を行った。その結果、メンテナンスをよく行う居住者は増改築を行っていることが明らかになった。また、建て替えを行った居住者は増改築を行った居住者に比べメンテナンス

を行わない傾向が強く、増改築の比率が高い地域では建て替えられる住宅の比率が低い傾向が明らかになった。

建設後 20 年未満の住宅に対しては、A 団地は B 団地に比べてメンテナンスの実施数やメンテナンスの項目数が多く、日常的な手入れがよく行われていることが想像できる。しかし、メンテナンスの項目数が多いほど増改築を行った住宅の比率が高い傾向が見られることを考慮すると、B 団地では古い住宅に対しては手入れを行っている住宅が多く、そのため建て替えられる住宅の比率も低いことが考えられる。このようなメンテナンスに対する対応の相違は、A 団地と B 団地の住宅や居住者の属性にはそれほど相違が見られないため、敷地面積や住宅が建設された時期による影響よりも、地域による居住者の意識の違いが現れていると考えられる。

本調査の結果からはメンテナンスと建て替えには関係性が見られ、メンテナンスをあまり行っていない住宅では建て替えが行われる可能性が増改築に比べて高い。住宅の長寿命化のためには日頃のメンテナンスを行う習慣をつけることが大切であると考えられる。特に 1980 年頃に建設された住宅では増改築や建て替えを行っている住宅の割合も減っていることから、メンテナンスが適切に行われていれば住宅の寿命が延びる可能性は高いと考えられる。

なお、メンテナンスの実施率が高い個所は、これまでの研究の結果から増改築や建て替えの際に改善される個所である場合が多く、住宅の中でも痛みやすく住宅の長寿命化の阻害要因になる可能性が高い個所であると考えられる。住宅の長寿命化には、それらの個所への対策が特に必要であり、具体的な対策を考察する必要がある。

＊本研究は 2001 年 3 月、日本建築学会関東支部研究発表会において「居住者の改善行為から見た住宅の寿命に関する研究」として発表した研究を基に、その後の知見を加えて作成したものである。

参考文献

1)平成 8 年版建設白書－変化への対応－/建設省/大蔵省印刷局/P.47/平成 8 年 8 月

2)わが国における各種住宅の寿命分布に関する調査報告/小松幸夫他/日本建築学会計画系論文報告集第 439 号/P.101-110/1992 年 9 月

3)住宅管理の現状とロングライフ住宅/旭化成工業株式会社ロングライフ住宅研究所/2000 年 3 月

4)住宅の増改築及び建て替えに関する調査　その 1、その 2/堤洋樹他/日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）/P.1249 - 1252/1999 年 9 月

5)住宅の増改築及び建て替えに関する調査　その 3、その 4、その 5/堤洋樹他/日本建築学会大会学術講演梗概集（東北）/P.1281 - 1286/2000 年 9 月

6)住宅の増改築及び建て替えに関する調査研究/久保田沙和他/日本建築学会関東支部研究報告書/P.353-356/1999 年 3 月

7) 居住者の改善行為から見た住宅の寿命に関する研究/堤洋樹、小松幸夫/日本建築学会関東支部研究報告書Ⅱ/P.41-44/2001 年 3 月

表１　調査対象地の概要

調査対象地の属性	A団地	B団地
位置	東京都八王子市	大阪府枚方市
分譲開始時期	1962(完成1965)	1968
開発面積	約76ha	約159ha(他地域含)
計画戸数	約1400	約1800
実施時期(1回目)	平成12年7月	
・配布数	1898	1972
・回答数(回答率)	742(20%)＊	
実施時期(2回目)	平成12年9月	
・配布数	279	153
・回答数(回答率)	216(77%)	131(86%)

表２　メンテナンス項目と建設後の年数

建設後の年数(年)	1～5	5～10	10～15	15～20	20～25	25～30	30～35	35～40	40～	平均
屋根塗り替え・葺き替え	0.0	31.3	65.0	65.0	59.4	65.8	69.6	83.3	100.0	59.9
外壁塗り替え	0.0	50.0	70.0	77.5	82.6	84.8	89.9	87.5	100.0	71.4
内壁塗り替え、張り替え	11.1	25.0	45.0	50.0	62.3	60.8	71.0	66.7	100.0	54.7
床張り替え	0.0	31.3	15.0	40.0	40.6	50.6	47.8	58.3	66.7	38.9
建具取替え	0.0	18.8	30.0	20.0	24.6	46.8	63.8	66.7	66.7	37.5
基礎、柱梁取替え	0.0	6.3	5.0	2.5	7.2	10.1	17.4	33.3	0.0	9.1
冷暖房補修交換	22.2	37.5	45.0	55.0	69.6	69.6	76.8	75.0	66.7	57.5
上下水道管やりかえ・増設	0.0	18.8	25.0	15.0	24.6	30.4	49.3	54.2	33.3	27.8
便所設備補修交換	0.0	56.3	55.0	52.5	58.0	63.3	79.7	79.2	33.3	53.0
浴室設備補修交換	22.2	37.5	50.0	42.5	68.1	79.7	79.7	83.3	100.0	62.6
台所設備補修交換	0.0	43.8	40.0	35.0	55.1	64.6	68.1	79.2	66.7	50.3
電気配線やりかえ・増設	22.2	37.5	25.0	30.0	37.7	46.8	56.5	75.0	33.3	40.5
平均(総数)	6.5(9)	32.8(16)	39.2(20)	40.4(40)	49.2(69)	56.1(79)	64.1(69)	70.1(24)	63.9(3)	46.9(329)

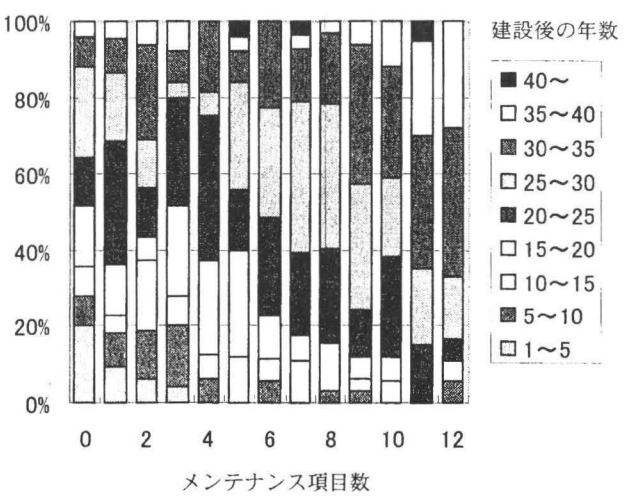


図１　メンテナンス数と建設後の年数

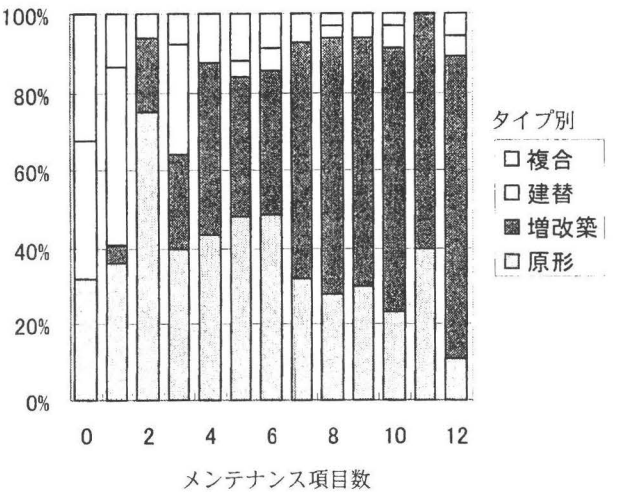


図２　メンテナンス数とタイプ別

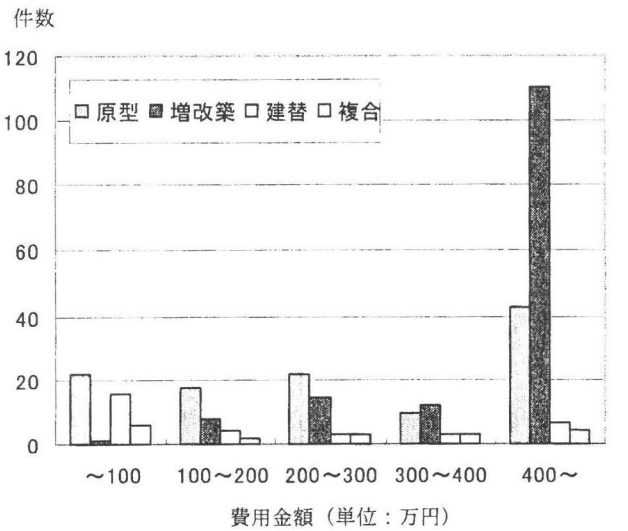


図３　メンテナンスにかけた費用とタイプ別

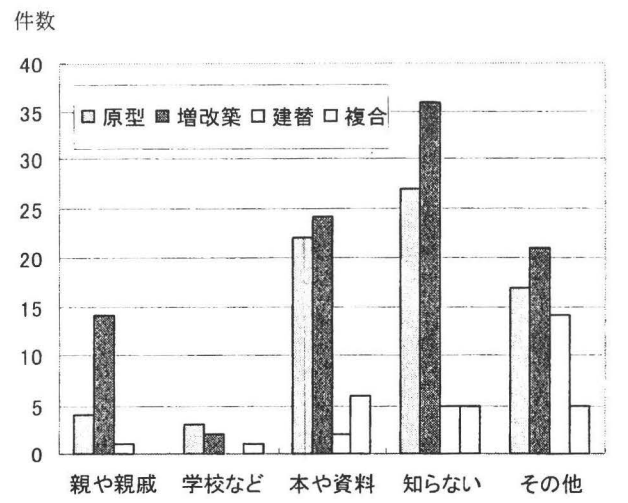


図４　メンテナンスの習得方法とタイプ別

表３　増改築と建設後の年数

増改築		建設時期 ～1970		1970～1975		1975～1980		1980～1985		1985～1990		1990～1995		1995～		合計	
		件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%
建設後年数	1～5	27	24.1	14	24.1	7	21.9	3	30.0	3	60.0					54	24.9
	5～10	29	25.9	18	31.0	12	37.5	1	10.0	1	20.0			－		61	28.1
	10～15	25	22.3	13	22.4	5	15.6	5	50.0	1	20.0	－		－		49	22.6
	15～20	14	12.5	8	13.8	7	21.9	1	10.0	－		－		－		30	13.8
	20～25	8	7.1	5	8.6	1	3.1	－		－		－		－		14	6.5
	25～30	5	4.5			－		－		－		－		－		5	2.3
	30～35	1	0.9	－		－		－		－		－		－		1	0.5
	35～40			－		－		－		－		－		－		0	0.0
	40～	3	2.7	－		－		－		－		－		－		3	1.4
合計		112	100.0	58	100.0	32	100.0	10	100.0	5	100.0	0	－	0	－	217	100.0
総件数		190	58.9	121	47.9	78	41.0	31	32.3	20	25.0	10	0.0	10	0.0	460	47.2

表４　建て替えと建設後の年数

建て替え		建設時期 ～1970		1970～1975		1975～1980		1980～1985		1985～1990		1990～1995		1995～		合計	
		件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%	件数	%
建設後年数	0～5			1	5.6											1	1.2
	5～10	7	11.9	1	5.6	2	28.6	2	100.0					－		12	14.0
	10～15	4	6.8	3	16.7	3	42.9					－		－		10	11.6
	15～20	12	20.3	8	44.4	2	28.6			－		－		－		22	25.6
	20～25	16	27.1	3	16.7			－		－		－		－		19	22.1
	25～30	12	20.3	2	11.1	－		－		－		－		－		14	16.3
	30～35	5	8.5	－		－		－		－		－		－		5	5.8
	35～40	3	5.1	－		－		－		－		－		－		3	3.5
	40～			－		－		－		－		－		－		0	0.0
合計		59	100.0	18	100.0	7	100.0	2	100.0	0	－	0	－	0	－	86	100.0
総件数		190	31.1	121	14.9	78	9.0	31	6.5	20	0.0	10	0.0	10	0.0	460	18.7

1－16　戸建住宅地における街並み景観の持続的形成手法に関する研究

九州大学大学院　人間環境研究科
教　授　菊池　成朋

はじめに

本研究は，計画的に開発された戸建住宅地の街並みが，居住者の働きかけによってどのように変容するのかを分析し，それをもとにこれまでの戸建住宅地計画手法の有効性と課題について考察したものである。さらに，居住者の個別的な建築行為を調整し，持続的に街並みを形成する新たな計画手法の開発に向けての検討を行なっている。

まず，高度成長期に開発された一般的な戸建住宅地の事例調査を行なってその変容プロセスを明らかにし，それをもとに日本における戸建住宅の経年変化の特質を考察した。続いて，1980 年代から試みられるようになった街並み計画型の開発事例について調査分析を行ない，それらで採用された計画手法の有効性を検討した。さらに，持続的な街並み景観手法のモデルを試論として提示した。

1．日本における戸建住宅地計画の流れ

最初に，日本における戸建住宅地の計画手法の変遷について概説する。

日本では，明治後期に阪神間で初めての郊外住宅地開発が行われ，大正期には東京郊外でも多くの郊外住宅地が開発された。その計画に際して，当時の開発者は街路デザインなどを欧米の先進事例から学びとり，一部の意欲的な事例では，放射状道路，プロムナード，クルドサックなどの街路デザインが導入された（図 1-1)。ただし，各敷地のデザインは欧米とは異なり，近世の武家屋敷などを模範とし，敷地中央に住宅を配し周りを塀などで囲い込む手法がとられた（図 1-2)。

戦後の高度成長期に入ると，郊外住宅地が大衆化し，全国の都市郊外部において大量の戸建住宅地が開発されるようになった。計画に際しては効率性が重視され，単純な画地割が採用された(図 1-3)。また，敷地面積が狭くなったにもかかわらず，戦前と同様に閉鎖的に囲い込む手法がとられ続けた。そして，住宅は敷地も含め全くの私有財として扱われ，個別の働きかけが購入した居住者によって行なわれていった。そこには，秩序ある「街並み」が形成される余地はなかったといえる(図 1-4)。

しかし，このような戸建住宅地の街並みの無秩序性に対する問題意識から，1980 年代に入って街並みを意識した戸建住宅地開発が試みられるようになった。その先駆者として建築家の宮脇檀があげられる。宮脇はまず，各区画の通り側の外構を緑で統一することにより「緑に囲まれた街並み」を形成するデザイン手法を採用した(図 1-5)。さらに後には，住宅自体も集合体として協調的にデザインする総合的な街並み形成手法へと発展させていった(図 1-6)。

一方，街並みへの関心の高まりとともに，近年ではそれが商品としての価値を持つようになり，街並みをテーマとする戸建住宅地開発も多くなってきている。また，輸入住宅の普及・ガーデニングの流行などから，従来のように区画を塀や生垣で囲い込むのではなく，住宅を露出させ，そのファサードの連続によって街並みを構成する手法も行なわれている(図 1-7,8)。しかし，過剰な街並みのデザインを書割のように行う一方で，販売時に不利にならないように建築協定等のルールを設定していない

戸建住宅地開発なども見られる。

2．戸建住宅地の変容プロセスの分析

ここで事例として取り上げるG団地は，1964～69年に大手プレハブメーカーS社により開発された郊外住宅地である。住宅は最も初期の工業化住宅であり（図 2-1），矩形に切妻屋根をのせたシンプルな住宅が，区画された背割の敷地に規則的に配され，単調な景観を形づくっていた（図 2-2)。しかし，増築・建替えなど様々な居住者による働きかけが蓄積した結果，現在のG団地の住環境は大きく変容している（図 2-3,4)。

2-1　住宅の増築・建替え

まず，住宅の変化について見てみる。開発から約30年が経過した1994年には，当初の住宅の形態を維持しているものは1割に満たなくなっており，残りの9割のうち，半数が増築によって姿を変え，他の半数が全く別の住宅に建替えられている（図 2-5)。

この間の変化を，1964～74 年，75～85 年，86～94 年の時期別に増築・建替えの手法と業者について見てみる(図 2-6)。

当初の住宅が56～84 ㎡と狭かったため，入居直後の64～74年に半数以上の住戸で増築が行われている。その業者は多くが工務店であり，庭などの横方向に自由度の高い在来工法で様々な形態の増築が行われた(図 2-7①)。その結果，この時点で家並みはすでにかなり不統一な姿となったと考えられる。

75～85年になると，横方向への増築が減少し，代わって 2階部分の増築が増加した。その際には，工務店によっていわゆる「おかぐら」増築がなされる一方で，当初の住宅を建設したS社による同一構法・材料での2階増築も行われるようになった(図 2-7②)。また，この時期までに早くも50戸が建替えられている。しかし，工務店にしろ，ハウスメーカーにしろ，その外観はまだ当初の住宅及びそれに対する増築と大差ないものであった(図 2-7③)。

86～94年になると，増築はほとんど行われておらず，住宅の変化は建替えのみとなる。その担い手はハウスメーカーが大半を占めるが，80 年代後半はハウスメーカーが外観デザインによって商品の差別化を図るようになった時期でもあり，これらの外観もそれまでとはかなり違っている(図 2-7④)。

2-2　住宅・外構への働きかけの波及性

このような住宅への働きかけを地域全体で見ると，必ずしも家々の個別事情によりランダムに発生しているわけではない。例えば，1994 年時点の当初住宅の残存状況では，大半が建替えられている街区（A・B街区）がある一方で，増築のみが進行し，ほとんど建替えが発生していない街区（C・D街区）も存在する(図 2-8)。2階建化が進行した75～85年に，A・B街区では多くの居住者が建替えを行なった。一方で，C・D街区では逆に大半が増築でそれに対応したのである。その際，C街区では，工務店による「おかぐら」増築が入居直後の早い時期に発生し，業者の紹介を通して近隣に広まった。一方，D街区では，入居当初は横増築しか行われず，75年以降になって新しく開発されたS社の2階増築が行われ，それが近隣へと波及している。

このように，「2階建化」という同じ目的に対し，対処法が街区を単位として異なっている。これは，各戸が働きかけを行なう際に，近隣の先行事例が重要な情報として機能した結果と考えられる。

また，各家の道路境界の外構に着目すると，これも一様には分布していない。たとえば，図 2-9 のX通りでは塀やフェンスが連続しているのに対し，Y通りでは大半が生垣となっている。X通りでは，

入居直後から発生した建替えの際に，同時に外構も塀・フェンスに変更された。その後，建替えを行わない住戸でも手入れが面倒などの理由で塀・フェンスを設置していき，現在の状況が生まれた。一方のY通りでは，ある居住者が入居時に石組みと生垣を組み合わせて立派に外構をしつらえた。近隣の居住者がその業者を紹介してもらい，同様な外構としていくことにより，緑の豊富な通り景観が生まれた。そのため，この通りの居住者はこの景観の価値を認識しており，建替えが発生した際にも意識的に生垣を残して工事を行なっている。

このように，居住が継続していくなかで，近隣での働きかけに関する情報の蓄積や価値の共有が行われた結果，街区や通りなど小さな範囲を単位として外観が調整され，街並みが個性化しているケースもある。

3．街並み計画型戸建住宅地の検討

ここでは，宮脇檀によって計画された街並み計画型戸建住宅地3事例を分析し，比較検討を行なった。

3-1　コモンライフおさゆき

戸建住宅地の地域的環境の問題にいち早く注目し，街並み志向の戸建住宅地開発を先導した建築家として，宮脇檀があげられる。宮脇は，生涯に62住宅地23815戸の戸建住宅の計画に関わったが，1977年に開発されたコモンライフおさゆき（以下，ＣＬおさゆき）は，その最初の事例であった。

このプロジェクトで宮脇が関与できた部分は，一般的なハーモニカ型街区造成後の外構設計に限られた。そこで，宮脇は通り側境界を低木と中木の2段植栽で統一し，緑の連続する街並みを提案した。さらにシンボルツリーを配し，門のデザインも統一することを行なった（図3-1,2)。ただし，住環境管理のための組織や規則は設定されておらず，通常の戸建住宅地と同様に各居住者の働きかけは自由であった。

現状を見てみると，大半の住戸で駐車場の増設や，建替え時に植栽を取り払うといった働きかけが発生し（図3-3)，開発から23年が経過した現在の街並みは，協調性のない不連続なものとなっている。また住民組織は，居住者の入居当初から町内会以外に存在しないため，共同でのマネジメントの活動も生まれていない。

3-2　青葉台ボンエルフ

宮脇による街並み計画型戸建住宅地開発プロジェクトの到達点を示す事例として，青葉台ボンエルフ（以下，青葉台WE）がある。1993年に開発された青葉台WEでは，共有地であるコモンが導入され，それを中心とした計画が総合的になされている（図3-4,5)。各コモンにはそれぞれ異なるコモンツリーが植えられ，住宅は各戸のエントランスがそれを囲うように配されている。

専有地についても，各戸の外構は，アイストップ・屈曲点に高木を配するなど，区画とコモンとの関係から設計されている。さらには住宅に関しても，各戸の配置・屋根の向き・コモンに面する窓やバルコニーなどについて，コモンごとのデザインガイドラインを宅地分譲前に作成し，設計調整を行なっている。こうして，専有地も含め全体がコモンを囲む1つの住環境としてデザインされた。

また，このコモンを中心とする街並みを維持するため，共有地の管理組合が設けられ，さらに住宅の形状から門の仕上げまでも規定する非常に詳細な建築協定が設定された。

このように，集合体としてハード・ソフト両面の計画がなされた青葉台WEでは，居住開始後，管理組合が住宅地全体の住環境マネジメントのために活発な活動を行なってきた（図3-6)。この管理組

合は，共有地だけでなく専有地に対しても積極的に働きかけている。例えば，1999 年 4 月には，管理組合の主催で建築協定等に関する勉強会が開かれた(図 3-7)。その際には，当初の建築協定の内容を確認した上で，さらに詳細なルールを定め，一方で違反事例をスライドで示すなど，より厳格な管理を志向している。このような活動の結果，居住者による街並みに悪影響を及ぼすような個別の働きかけは非常に少なく，当初宮脇が各コモンを中心に一体的に計画した住環境が今も維持されている。

3-3　高須ボンエルフ

1982 年に開発された高須ボンエルフ（以下，高須 WE）は，時期的にも手法的にも，CL おさゆきと青葉台 WE の中間にあたる事例である。また，コモンとしてボンエルフ（歩車共存）を導入した日本で最初の戸建住宅地でもある（図 3-8)。街区中央のコモンスペースに駐車場を設ける事により，各区画の道路側とコモン側の境界には門以外はシンボルツリー，生垣，玉モノが全面にわたって植栽された。このような区画が連続する事により，緑で統一された景観が生み出された。一方，住宅に関しては，大手住宅メーカー数社による建売住宅として販売したため，設計段階で，各社の規格内で可能な限り外壁及び屋根の色調（無彩色）や開口部の位置等が調整されたのみであった。

また，管理については，共有地を共同管理するために管理組合が結成された。しかし，街並みに関しては，青葉台 WE の場合のような住宅・外構全体を規制する規則はつくられず，緑を維持するための緑化協定が定められただけであった。

居住開始後約 20 年が経過した現在，各専有地内で居住者により様々な住空間への働きかけが行われている。それによって街並みは変容しているが，そこに計画時とは異なる形の街並みの秩序が生まれている。例えば，外構の緑の要素であるシンボルツリー・生垣・玉モノは，緑化協定によってみだりに伐採することが禁止されているが，実際にはシンボルツリーがかなり伐採された一方で，通り側の生垣はほぼすべてが維持されている（図 3-9)。そこには，状況の変化にあわせた新しいルールが暗黙的に形成されていることをうかがわせる。そのような，居住者自身によって生み出され，地域で共有されるようになったルールを，コミュニティ・ルールと呼ぶことにする（図 3-10)。時代の変化によって生じる改変要求に対しては，このコミュニティ・ルールを変化させることにより対応してきたのである。

さらに，コミュニティ・ルールは地区全体で一様ではない。住宅への働きかけや緑の手入れの状況を詳細に見ていくと，場所により特徴が微妙に異なっているのが読み取れる。それを，それぞれのコモンを囲むブロック単位で比較すると， B ブロックでは当初の緑が良好な状態で維持され，緑で囲まれ落ち着いた街並みとなっているのに対し（図 3-11)，D ブロックでは生垣を刈り込んで緑のボリュームを減らす一方で，花が随所に植えられ明るい街並みとなっている（図 3-12,13,14)。

ブロックは，コモンスペースを共有する空間的な単位であると同時に，日常的にコミュニケーションを交わし，専有地を含めた住環境の問題について話し合う近隣の最小単位でもある。そのような生活の中での交流により，コモンルールは形づくられたと考えられる。

特に，当初のデザインから大きく変容している D ブロックで，居住者の働きかけの性向をグループで共有することにより，新しい街並みの秩序が生まれていることが注目される。このような活発なコミュニケーションが日常的に発生しうる単位では，業者などの情報を共有し，好ましい働きかけを誘発することにより，新しい街並みの秩序が自己組織的に形成される可能性がある。

4．モデルスタディ

以上の分析より得られた知見をベースに，街並み誘導型のデザイン手法についてモデルスタディを

行なった。ここでは，試行錯誤を経てまとめた現段階の提案モデルを示す。

まず，住宅地のデザインに関して，以下の６つの条件を設定した(図 4-1)。

①住宅で街並みをつくる：近年の開放型外構の流行，戸建住宅地の都市回帰に伴う敷地の狭小化などを考慮して，緑などの外構ではなく，住宅のファサード自体を街並みの主な構成要素とするデザインを行う。

②セミパブリックな領域としてのフロントヤード：道路側敷地境界付近は，特に街並みを構成する重要な領域として，協調的なデザインと働きかけのコントロールを行う。

③オープンスペースの有効配置：住棟間のオープンスペースのデッドスペース化を避けるため，住宅を隣地境界にゼロロットで配置し，有効利用を図る。

④増築ボリュームのコントロール：増築を一様に制限するのではなく，許容するエリアと制限するエリアを設定し，ボリュームの変化をコントロールする。

⑤ファサードの開放性：魅力的な街並みをつくるには，住宅が通りに対して表情を見せる必要がある。そのため，ファサードデザインはなるべく開放的なものとする。

⑥デザインの継承性：当初の特徴的なデザイン要素を継承し，変化のなかでも統一性が維持されるようにする。

そして，これらの条件に基づいた住宅地計画を行なった。それは，区画ごとの個のデザイン(図 4-2)，集合体としてのデザイン(図 4-3)，および街並みの維持のルール(図 4-4)，街並み変容の誘導ルール(図 4-5)から構成される。また，誘導のためのツールとして，ファサードデザインのガイドラインを作成した(図 4-6)。ただし，これは実際には居住者が居住プロセスのなかで協議し作成すべきものとして位置付けている。

この住宅地の将来像をシミュレーションしたのが図 4-7,8 である。時間の経過に伴い，各戸ではさまざまな増築が行われている。通り側では，2 階部分は当初のデザインが維持され，街並みの統一感を生み出しているのに対し，1 階部分では玄関の個別的デザインなどにより，様々な個性が現れている。また，ゼロロットで配置し，開口の方向を制限したことにより，住棟間のオープンスペースは所有者が自由な働きかけを行なっており，しかもそれが隣戸に悪影響を及ぼすことはない。

このように，街並み景観の構成要素の中で，固定的な部分と可変的な部分を設定し，可変部分についてはその変化の方向を誘導することにより，街並み景観を持続的に形成し，住環境が次第に成熟するような住宅地計画が可能になると考える。

1－17　人工ゼオライトを用いたセメント系建材の有する機能の検討

愛媛大学工学部環境建設工学科

助教授　氏家　勲

1．本研究の背景と目的

石炭火力発電は石炭資源が豊富で，世界的な賦存分布により供給性・経済性に優れ，一方で石油の枯渇や原子力の安全性などの点から,今後の有力なエネルギー源として再確認され，積極的な開発が行われている。石炭火力発電において解決しなければならない問題として，石炭火力発電所から副産される石炭灰がある。石炭灰は産業廃棄物の一つであり，一部はセメントの原料やコンクリートの混和材として再利用されているが，多くは灰処理地に個体廃棄物として投棄処分されている。しかしながら，現状では灰処理地の確保に困難をきたしており，また，地球規模での良好な環境保全について国の内外で関心が高まっていることや未利用資源の有効利用，資源のリサイクルなどの観点から石炭灰の有効利用の対策の実施や技術の開発は重要な課題である。

石炭灰の有効利用は既にコンクリート分野においても鋭意検討されており，近年，フライアッシュを分級して品質を高めること，ＪＩＳ規格に適合しない石炭灰を多量に使用したコンクリートの研究，石炭灰を主原料としたコンクリート用の人工骨材の開発などが行われている。石炭灰のゼオライト化は石炭灰に付加価値を与え積極的にリサイクルしようとする技術の一つである。ゼオライトは「沸石」と呼ばれる天然に産出する鉱物の一種であり，主な成分はアルミノケイ酸塩であり，脱水，吸着，イオン交換，触媒などの諸機能を有していることから人工的に合成されている。本研究で取り上げている石炭灰から転換された人工ゼオライトは従来の方法で作られる合成ゼオライトより安価で，天然ゼオライトより各種機能が優れている[1)]。

また，これまでのコンクリートに要求されてきたのは，「高い圧縮強度」，「耐久性」，「耐火性」等であったが，近年ではユーザー側からのニーズが多様化してきており，コンクリートに種々の付加価値が要求され，例えばエココンクリートと呼ばれる地球環境への負荷低減に寄与するとともに，生態系と調和あるいは共生を図ることができ，快適な環境を創造するのに有用なコンクリートが研究，開発されている[2)]。本研究では人工ゼオライト自身が有している調湿機能，防臭機能，環境負荷物質吸着機能に着目して，人工ゼオライトをセメント系建材に混入することにより，セメント系建材に付加されたこの種の居住環境を改善する機能について検討することを目的としている。

2．研究の方法

本研究では人工ゼオライトを混入したモルタル供試体を作製し，強度試験，調湿性試験，吸着性試験，断熱性試験を実施し，人工ゼオライト無混入のものと比較することにより，付

加された性能について検討した。

2.1 使用材料

本実験ではセメントに普通ポルトランドセメント（比重 3.15）を使用した。人工ゼオライトは市販されているもので，担持している陽イオンにより区別され，本実験で使用した人工ゼオライトはカルシウム（Ca）を担持しているものである。人工ゼオライトの比重と化学分析結果を表－１に示す。細骨材には愛媛県大三島産海砂（表乾比重 2.55，吸水率 2.72%，粗粒率 2.68）を使用した。なお，断熱性試験では軽量化とともに断熱性を改善する目的でマイクロカプセル（かさ比重 0.35）および高性能軽量細骨材（かさ比重 0.61）を細骨材として使用した。マイクロカプセルは特殊なシリカサンドを原料とする中空の粒子であり，本実験では 0.15mm 以下に篩い分けされたものを用いた。高性能軽量細骨材は内部に微細な独立気孔が形成しており，従来の軽量骨材に比べて，高強度で低吸水性のものである。さらに，軽量化した際には強度が低下することが予想されるので，強度を高めるためにシリカフューム（比重 2.20）を使用した。混和剤には高性能 AE 減水剤を使用した。

2.2 供試体

本実験で用いた供試体の配合を表－２に示す。水結合材比はセメントと人工ゼオライトの質量に対する練り混ぜに用いた水の質量の割合である。練り混ぜ水の水量は施工できるコンシステンシーを得られる範囲でなるべく少なくした。人工ゼオライトはセメントの一部に置き換えて（内割り）混入し，質量比でセメント質量：人工ゼオライト質量＝１：２（66.7%），１：１（50%），２：１（33.3%）と変化させた。細骨材は結合材（セメントと人工ゼオライト）の質量の２倍とした。高性能 AE 減水剤は結合材質量の 4%添加した。ただし，人工ゼオライト無混入のものは高性能 AE 減水剤を使用しなかった。マイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材を使用した場合には，供試体の比重が 1.1～1.3 となるようにその使用量を決定し，高性能 AE 減水剤の添加率は 6%とした。シリカヒュームはセメント質量の 10%を内割りで混入した。

本実験で作製した供試体は，ミキサで３分間練った後，各実験用の型枠に詰め，バイブレーターで型枠内部の気泡がなくなるまで締め固めを行った。そして余盛りし，約１時間後ブリージングが終了した後，表面の整形を行い，約 24 時間後に脱型し，所定の材齢まで水中養生（温度 20℃）を行った。各試験用の供試体は以下のとおりである。

強度試験には，4×4×16cm の角柱供試体を作製した。水中養生日数は７日，14 日，28 日間である。

調湿性試験には，20×20×1cm の板状供試体を作製した。水中養生日数は 14 日間である。

吸着性試験には，4×4×16cm の角柱供試体を作製した。水中養生日数は 14 日間である。クロロナフタレン吸着試験では水中養生終了後，角柱供試体を破砕し，5.0mm のフルイを通り，2.0mm フルイに残るものを使用した。その後，試料を水で十分に洗い，50℃の乾燥炉で約 24 時間乾燥させた。乾燥終了後，乾燥炉から供試体を取り出し，エタノールに１日浸した。

断熱性試験には，調湿性試験と同じ 20×20×1cm の板状供試体を作製した。水中養生日数も 14 日間である。

2.3　強度試験

強度試験では曲げ強度と圧縮強度を測定した。曲げ強度試験では支間を 10cm とし，支間の中央に荷重を作用させ，その最大荷重の値を曲げ荷重として曲げ強度を算出した。圧縮強度試験では，曲げ強度試験で二つになった供試体を使って，4×4cm の加圧板を介して荷重を作用させ，その最大荷重の値を圧縮荷重として圧縮強度を測定した。曲げ強度試験では３個の供試体について，圧縮強度試験では６個の折片について行った。

2.4　調湿性試験

調湿性実験は，その試験方法が現在確立されていないため，試験方法が様々ある。今回行った実験方法は吸放湿に伴う試料の重量変化で調湿機能を評価する方法（周期定常調湿性試験）および水蒸気吸着法による方法の二通りの試験を行った。

1)周期定常調湿性試験[3)]

温度約 20℃に保った室内に図－１に示すように供試体を電子天秤に吊り，相対湿度を１日毎に変動させ，吸放湿に伴う質量変化を測定し，吸放湿による質量変化がほぼ一定となった段階で，吸湿１日および放湿１日での重量変化を測定し，図－２に示す吸放湿特性曲線を求めた。なお，吸湿には，容器中の相対湿度を 70～80%に保つため，飽和食塩水を入れ，放湿には，容器中の相対湿度を 20～30%に保つため，シリカゲルを入れた。

周期定常調湿性実験では図－２に示すように，吸放湿特性曲線から調湿性に関する指標を求めることができる。吸放湿特性曲線で囲まれる面積Ｓは調湿性を評価する上で最も重要な指標である。面積Ｓの値が大きいほど，調湿性に優れていると言える。最大吸放湿特性のＨは吸放湿性能に大きく関わるため，調湿性に関して面積Ｓに続く重要な要素である。勾配Ｄ1 は値が大きいほど初期段階での吸湿力が大きいことを表す。勾配Ｄ2 は吸湿定常を示しており，値が０に近いほど定常であることになる。

これらの指標の求め方については以下の通りである。計測時間は実験開始１時間おきに３時間までを初期段階として測定し，続いて測定開始から，６時間後，18 時間後，と測定を行い，経過時間 24 時間の３時間前から再び１時間おきに測定を行った。放湿に関しても吸湿と同様のインターバルで測定を行った。面積Ｓは吸放湿のグラフと時間軸で囲まれる部分を計測時間で分割して，台形公式により求めた。最大吸放湿量Ｈは吸着量を供試体の表面積で割り，さらに周囲絶対温度変動幅ΔＸで割った。周囲絶対温度変動幅とは，一定に保ったある温度における空気中の蒸気圧を変動させたときの気圧差のことを言う。湿度差 100%で 15.56(g/kg)の変動幅とした。初期応答性Ｄ1 は，測定開始から 1 時間おきに吸放湿量との関係から勾配を求め、測定開始後 3 時間までを初期応答性として平均した。定常判定Ｄ2 は吸湿測定終了 3 時間前から 1 時間おきに経過時間 24 時における吸放湿量の値との勾配を求め，平均した。

2) 水蒸気吸着法試験[4)]

吸着測定法には，重量法と容量法があるが，容量法は測定原理が簡単であり，低分子量の気体の吸着量測定は重量法より優れているので，本研究では分子量の小さい水を吸着質として扱うため，容量法を用いて測定を行う。容量法で水蒸気吸着量を求めるには，気体の吸着平衡圧力と容積を精密に測定し，圧力の変化量から気体の状態方程式を利用して求める。図－３に実験装置の模式図を示す。図中のバルブＢより上側の部分の容積を基準容積 V_s と呼ぶ。この容積は装置固有のものであり，既知量である。一方，バルブＢより下側の部分の容積を死容積 V_d と呼ぶ。この部分の容積は試料管やサンプルの量によって変化する。

本測定では，測定系内に水蒸気を導入し，バルブＢの開放前後の圧力差より吸着量を求める。バルブＢを閉じた状態で基準容積部分 V_s に初圧 P_i^1 の吸着ガスを注入し，平衡に達したらバルブＢを開放する。吸着質ガスを死容積部分に注入し，平衡に達したときの圧力を P_{ei}^1 とする。一点目の吸着量 v^1（標準状態での吸着剤 1g あたりの吸着量）は理想気体の法則を利用して以下のように求める。

$$v^1 = \frac{\left\{P_i^1 V_s - P_{ei}^1 (V_s + V_d)\right\} \times 273.15}{760 \cdot W_s T}$$

ここで，W_s は吸着剤の質量，T は V_s の絶対温度である。再び，バルブＢを閉じ，一点目と同じ測定を行う。二点目の吸着量は一点目から二点目への吸着量の増加 $\Delta v^{(2\text{-}1)}$ に，一点目の吸着量を加算したものになる。

$$v^2 = v^1 + \Delta v^{(2-1)}$$

以下，同様な測定を繰り返し行い，各平衡圧力における吸着量を求める。

一方，脱着過程においては，バルブＢを閉じ基準容積部分 V_s を減圧し，この圧力を P_j^1 とする。バルブＢを開放し，脱着が平衡に達したときの圧力を，また吸着過程の最終平衡圧力を P_{ei}^0 とする。脱着量 $\Delta v^{(1\text{-}0)}$ は

$$\Delta v^{(1-0)} = \frac{P_{ej}^1 (V_s + V_d) - \left(P_j^1 V_s + P_{ei}^0\right)}{760 \cdot W_s T}$$

となり，平衡圧 P_{ej}^1 における脱着過程での最初の吸着量 v^1 は吸着過程の最終吸着量を v^0 とすると，

$$v^1 = v^0 - \Delta v^{(1-0)}$$

で表される。以下，同様な測定を繰り返し行い，各平衡圧における吸着量を求める。

2.5　吸着性試験

本研究では吸着させる物質として，クロロナフタレンおよびアンモニアを取り上げ，それらに対する人工ゼオライトを混入したモルタルの吸着性能を試験した。クロロナフタレンはエタノールに溶かした溶液で，アンモニアは気体で試験を行った。

1)クロロナフタレン吸着試験

ダイオキシンの生成メカニズムについて様々な仮説が提案されているが，ベンゼン環を持つベンゼン，フェノール及びそれらの塩素化合物が重要な前駆物質と考えられており，これらの前駆物質と塩素（塩化水素），酸素が存在すればダイオキシン類が生成されるものと考えられている[5),6)]。そこで本実験では，ベンゼン環が二つと塩素分子が存在する１－クロロナフタレンを試薬として選んだ。

１－クロロナフタレン 24.4mg をエタノール 100ml で溶解させ，これを基本溶液とする。この基本溶液をエタノールで，1/10，1/20，1/40 に希釈した。各供試体 10cm^3 が入った試験管に対してこれらの溶液 20ml を注入し，そして１日毎に各試験管の溶液濃度を測定した。濃度測定には電子分光光度計を用い，波長スキャンを行い，ピーク値（吸光度）を示す波長を調べ，予め得ていた吸光度と溶液濃度の検量線より溶液濃度を求めた。

2)アンモニア吸着試験

1）では液体の吸着試験としてクロロナフタレンを用いたが，ここでは気体の吸着試験として，アンモニアを試薬として選んだ。アンモニアはセメント中に微量ではあるが存在しており，コンクリート中からそれが発生する現象が起こっている。それにより，資料館などにおいてはアンモニアが美術品などを傷つけるといった問題が生じている。また，人に及ぼす影響としては，5ppm(3.6mg/m^3)以下で臭気感知限度，20～25ppm で不快臭，となっており 100ppm を越えてくると眼や上気道粘膜への刺激作用が顕著となってくる。アンモニアの許容濃度は日本産業衛生学会によると 25ppm 以下と規定されている[7)]。今回の実験では，図－４に示すようにガラス瓶に供試体を入れ，続いてアンモニア溶液をガラス瓶内のろ紙に添加した。今回用いたアンモニア溶液は 1/100 に薄めた希釈溶液 0.5ml，および原液 0.05ml であり，ガラス瓶内のアンモニア濃度の経時変化を検知管で測定した。

2.6　断熱性試験

住宅や施設などにおける室内空間において，断熱性は調湿性同様，重要な性能である。ここでは，断熱性能に大きく影響する熱伝導率を平板比較法[6)]によって測定した。平板比較法の測定装置の概念図を図－５に示す。比較法は熱伝導率の既知である比較片と測定対象となる供試体に一次元の同一熱流を生じさせることにより熱伝導率を求める方法であり，本実験では図に示すように 20×20×1cm にの平板状に整形した供試体と比較片を張り合わせ，高温側から低温側へ一次元の同一熱流を生じさせた。ここで，図に示す供試体表面，比較片表面および供試体と比較片の間に取り付けた熱電対によって，準定常状態におけるこれら３つの点での温度を測定し，得られた値を下式に代入し，供試体の熱伝導率λを求めた。尚，比較片にはシリコンゴムを用いた。

$$\lambda = \frac{L_2}{L_1} \cdot \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_3} \cdot \lambda_s$$

ここで，L_1，L_2 は比較片厚さおよび供試体厚さ，T_1，T_2，T_3 は準定常状態における高温側の

表面温度，低温側の表面温度，比較片と供試体の間の温度，λ_sは比較片の熱伝導率である。

3．実験結果および考察

3.1　単位水量および強度

図－６は単位ゼオライト量と単位水量の関係を示す。単位水量はゼオライトの使用量が増加するにつれて直線的に増大している。本実験では高性能 AE 減水剤の使用量を標準使用量の範囲で最大としても，ゼオライトの使用量が多いので無混入の場合と同じ単位水量とすることはできなかった。コンクリートに人工ゼオライトを混入した既往の研究においても[7]，本研究と同様に単位水量が人工ゼオライトの使用量とともに比例して増加する結果が得られており，また，人工ゼオライトの使用量が少ないこともあり，高性能 AE 減水剤を標準使用量の範囲で使用することにより無混入のものと同じ単位水量とすることができている。従って人工ゼオライトを多く混入する場合には単位水量を増加させる必要がある。

図－７および図－８は圧縮強度および曲げ強度に及ぼす人工ゼオライト混入の影響を示す。圧縮強度および曲げ強度どちらもゼオライトの混入率が多くなるにつれて小さくなっている。これは既に述べたように，ゼオライト混入により単位水量が増加したため，その結果水結合材比が大きくなったためである。ただし，材齢の経過に伴う強度の増加割合は人工ゼオライトを用いたものの方が大きく，また，圧縮強度に対する曲げ強度の割合も人工ゼオライトを用いたものの方が大きくなっている。

図－９および図－１０は軽量化を図ったモルタルの圧縮強度と曲げ強度を示す。マイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材はほぼ球形の粒子であるため，表－２に示すように海砂を用いた場合より水結合材比が小さくなっている。しかしながら，圧縮強度に関して，マイクロカプセルを用いた場合では，水中養生日数７日を除いて海砂の場合とほぼ同じであり，高性能軽量細骨材の場合では材齢２８日で約 13%ほど低下している。さらに，曲げ強度に関してはどちらの場合も海砂を用いた場合より，低下している。この曲げ強度の低下に関しては，マイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材の表面が滑らかであり，セメントペーストとの付着が低下したことが考えられる。また，施工可能な範囲で最も少ない単位水量としたが，海砂を用いた場合に比べてややパサついた状態となり，海砂の場合に比べて締め固めの程度が低下したことも，曲げ強度低下の原因として考えられる。表－３はマイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材を用いて軽量化された供試体の比重と比強度を示す。比強度は強度を比重で除したものであり，比強度が大きいものは建設材料として有利である。比強度で評価すると，比圧縮強度では軽量化したもののほうが大きくなっているが，比曲げ強度に関してはやはり小さい値となっている。

3.2　調湿性

図－１１は人工ゼオライトの混入率を変化させた場合の吸放湿特性曲線を示す。人工ゼオライトの混入率が増加するにつれて，初期応答性D1 が大きくなり，経過時間 24 時間での最大吸放湿量Hも大きくなっており，その結果，面積Sも大きくなっている。図－１２は

マイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材を用いた場合の吸放湿特性曲線を示す。図－１２には比較のために，石膏ボードおよび木材（もみ）の吸放湿特性曲線も示している。マイクロカプセルを用いた場合にはセメントのみのモルタルより面積Ｓが約２倍となっており，木材（もみ）と比べてみても約 1.7 倍の吸放湿特性を有する結果となった。石膏ボードとの比較では石膏ボードの約７倍と大きな差が見られた。図－１３は単位人工ゼオライト量と吸放湿特性の指標である面積Ｓとの関係を示す。単位人工ゼオライト量が増加するにつれて，面積Ｓは直線的に増加している。また，図示はしていないが，経過時間 24 時間での最大吸放湿量Ｈと単位人工ゼオライト量との関係においても，同様に直線関係が得られた。このように人工ゼオライトを使用することによりモルタルの吸放湿特性が改善され，モルタルに優れた調湿機能を付与することができることがわかった。また，その調湿機能の程度は人工ゼオライトの混入量に依存する。

周期定常調湿性実験では 24 時間における吸放湿特性が評価されているが，石膏ボードを除いて，定常判定 D2 は０となっておらず，まだ吸湿できると思われる。そこで図－１４は水蒸気吸脱着法による吸放湿特性曲線を示す。この図においても人工ゼオライトを混入したもののほうが各湿度における吸着量が大きくなっている。どの材料も吸着初期段階の低湿度で急激な吸着が生じている。その後，人工ゼオライト無混入のものでは相対湿度の増加に伴ってほぼ一定の勾配で吸着量が増加しているが，人工ゼオライトを混入したものでは相対湿度が高くなるにつれて勾配が大きくなり吸着量の差が大きくなっている。図－１１において人工ゼオライトを 67%混入した供試体の最大吸放湿量Ｈは人工ゼオライト無混入のものの最大吸放湿量Ｈの約 1.6 倍であるが，最大吸着量で比較すると，人工ゼオライトを 67%混入した供試体の吸着量は無混入のものの約 3.5 倍となっている。

3.3　吸着性

図－１５～図－１７は初期のクロロナフタレンの濃度が異なるエタノール溶液に各種のモルタルを浸漬させた場合のクロロナフタレン濃度の経時変化を示す。図－１５～図－１７には調湿性試験で用いた配合のモルタルに加えて，海砂の量を半分にしたモルタル（Z-1:2:1）および細骨材を含まないペースト(Z-1:2:0)も比較のために実験を行っている。図－１５のクロロナフタレン 1/10 希釈溶液での実験結果において，人工ゼオライトを含まないモルタルを除いて，浸漬開始１目で急激な濃度低下が観察されている。その後，Z-2:1:2 および Z-1:1:2 のモルタルではほとんどクロロナフタレンの濃度は変化していない。一方，人工ゼオライトの混入量が多いものでは浸漬日数１日以降もクロロナフタレンの濃度は低下しているが，浸漬日数約５日以降ではクロロナフタレンの濃度はほぼ一定となっている。図－１６および図－１７は 1/20 および 1/40 希釈溶液での実験結果であるが,図－１５と同様に，浸漬開始１日目で急激な濃度低下が見られる。しかしながら，人工ゼオライト混入量の違いがクロロナフタレンの濃度変化に及ぼす影響は 1/10 希釈溶液の場合ほど顕著には現れてはいない。この濃度が低い場合に人工ゼオライトの混入量の違いが顕著に現れなかった理由として，クロロナフタレンの濃度計測に用いた分光光度計の精度が考えられる。即ち，濃度が低い場合にはどのモルタルもほとんどクロロナフタレン吸着してしまい，分光光度計で差と

して現れるほどの濃度となっていないためと思われる。また，図示はしていないが，マイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材を用いたモルタルにおいても海砂の場合と同様にクロロナフタレンを吸着することが観察された。

図－１８は 1/10 希釈溶液を用いた浸漬実験における浸漬開始時と浸漬日数１０日でのクロロナフタレンの濃度差から求めたモルタル $1cm^3$ に吸着したクロロナフタレンの吸着量を示す。横軸はモルタル $1cm^3$ に含まれる人工ゼオライトの量である。モルタル $1cm^3$ が吸着するクロロナフタレンの量はモルタルに含まれる人工ゼオライトの量にほぼ比例している。クロロナフタレンに対する人工ゼオライト自身の吸着性能を検討した実験では [8]，人工ゼオライト 1g は約 0.1mg のクロロナフタレンを吸着することが報告されている。図－１８に示す実験結果を原点を通るように回帰した直線の傾きから，モルタル中の人工ゼオライト 1g が吸着する量は約 0.05mg であった。これはモルタルに混入したために，人工ゼオライトと溶液の接触が低下するためと考えられる。このようにモルタルに人工ゼオライトを混入することによりクロロナフタレンの吸着性能は人工ゼオライト自身の性能より低下するが，モルタルには充分の吸着性のを付与することができている。

図－１９および図－２０は初期濃度が異なるアンモニア濃度の経時変化を示す。図－１９は初期アンモニア濃度が約 100ppm の場合であるが，人工ゼオライトを混入したモルタルでは実験開始１時間でアンモニア濃度はほぼ０となっている。一方，人工ゼオライトを含まないモルタルではゼオライトを混入したものと同様に，実験開始１時間でアンモニアの濃度は低下しているが，ゼオライトを混入したものほどの効果は見られない。図－２０のアンモニア濃度が高い試験においても，ゼオライトを混入した供試体はかなり多くアンモニアを吸着することができ，ほとんど０に近い値となっている。アンモニアの実験では初期の濃度をほぼ同じ値と制御することが困難であったが，アンモニアの吸着性能に関しても，ゼオライトの混入量が多い供試体ほど，アンモニアの吸着力が高い傾向が認められる。

3.4　断熱性

図－２１は平板比較法により求めた熱伝導試験の結果を示す。熱伝導率の値が小さいほど断熱性に優れていると言える。人工ゼオライト無混入のモルタルに比べて，人工ゼオライトを混入したモルタルでは熱伝導率が小さくなっており，人工ゼオライトの混入量多くなるにつれて熱伝導率はより小さくなっている。これは，調湿性や各種物質の吸着性をもたらすゼオライトの多孔質構造によるものである。即ち人工ゼオライト内部の空隙部分が断熱効果をもたらし，モルタルの熱伝導率を低下させたと考えられる。しかし，ゼオライト混入率が最も高い Z-1:2:2 でも，熱伝導率の値は 0.56(W/m･k)であり，市販の石膏ボードの熱伝導率に比べて高い値となっている。そこで，断熱性を改善するためにマイクロカプセルや高性能軽量細骨材を使用した。マイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材を使用することにより，人工ゼオライトの混入率が同じ海砂を用いたモルタルの熱伝導率と比べて，熱伝導率は約 1/2.6 と小さくなった。その結果，マイクロカプセルおよび高性能軽量細骨材を用いたモルタルでは石膏ボードよりも小さな熱伝導率となっており，石膏ボードより優れた断熱性を有していると言える。

4．まとめ

本研究は石炭灰から転換された人工ゼオライトの有する吸着機能に着目し，人工ゼオライトを混入したモルタルに付加された調湿性能，各種有害物質吸着性能および断熱性能について実験的に検討を行った。本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下の通りである。

（1） 人工ゼオライトを多く混入した場合には，無混入のものと同じコンシステンシーを得るためには単位水量を多くする必要がある。この単位水量の増加により，人工ゼオライトを混入したモルタルの水結合材が大きくなり，圧縮強度および曲げ強度は無混入のものより低下する。圧縮強度および曲げ強度の低下の程度は人工ゼオライトの混入率が多くなるほど大きい。

（2） 人工ゼオライトを混入することにより，セメントモルタルの吸放湿特性を改善することができ，吸放湿特性の指標である面積Ｓおよび最大吸放湿量Ｈは人工ゼオライトの混入率の増加とともにほぼ直線的に増加する。本研究で試作した人工ゼオライトを混入したモルタル板は人工ゼオライト無混入のセメントモルタルの約２倍，木材（もみ）の約1.7倍，石膏ボードの約７倍の調湿性能を有していた。

（3） クロロナフタレンに対する吸着量は，人工ゼオライトの混入量にほぼ比例して大きくなることがわかった。しかしながら，人工ゼオライト自身のもっているクロロナフタレン吸着性能はモルタルに混入することにより，約半分に低下する。

（4） アンモニアに対する吸着性能は人工ゼオライトを混入することにより，非常に改善することができた。人工ゼオライトを混入したモルタルではアンモニア濃度が数100ppmと高い場合でも，すぐに吸着し，ほとんど０に近い濃度となった

（5） 人工ゼオライトを混入することにより，熱伝導率は人工ゼオライト無混入のものより小さくなったが，マイクロカプセルや高性能軽量細骨材を使用してさらに改善する必要があった。人工ゼオライトとマイクロカプセルあるいは高性能軽量細骨材を組み合わせることにより，石膏ボードよりも優れた断熱性を有するモルタル板ができ，マイクロカプセルあるいは高性能軽量細骨材を用いても調湿性能や各種有害物質の吸着性能を低下させることはなかった。

（6） 本研究で検討した人工ゼオライト混入モルタルは無混入のモルタルあるいは石膏ボードより優れた調湿性能，吸着性能および断熱性能を有していたが，強度，特に曲げ強度が低いので曲げに対して弱いことから，輸送や取り扱いの際に問題となることが予想され，強度の改善が今後の課題として挙げられる。また，実際の工場で製造する際の施工性や養生についても今後検討する必要がある。

参考文献

1） 逸見彰男：石炭灰の人工ゼオライト転換とリサイクル，ニューセラッミクス，No.7，pp.54-62，1997.

2) 日本コンクリート工学協会：新機能・高機能に挑戦するコンクリート，コンクリート工学，Vol.36，No.1，pp.4-66，1998.
3) 荒井良延，寒河江昭夫，権藤尚，和美広喜，丸山則義，笠井浩：ゼオライト系調湿パネルに関する研究開発（その５）建材の吸放湿性とその表面仕上げの影響，日本建築学会大会講演概要集（関東），pp.129-123，1993.
4) 石榑豊康：モルタル細孔における化学吸着を考慮した水分拡散に関する研究，名古屋大学大学院修士論文，1999.
5) 『化学』編集部：別冊化学，環境ホルモン＆ダイオキシン，化学同人，pp.95-187，1998.
6) 日本化学学会：化学便覧基礎編Ⅱ，pp.175-184，1993.
7) 荒木峻，沼田眞，和田攻：環境科学事典，東京化学同人，p.34，1985.
8) 氏家勲，七村和明：人工ゼオライトが有する有機塩素系化合物の吸着特性のセメント硬化体への付与に関する研究，セメント・コンクリート論文集，No.53，pp.264-271，1999.

表－１　人工ゼオライトの比重と化学分析結果

比重	強熱減量 ig.loss	二酸化ケイ素 SiO_2	酸化アルミニウム Al_2O_3	酸化鉄 Fe_2O_3	酸化カルシウム CaO	酸化マグネシウム MgO	酸化ナトリウム Na_2O	酸化カリウム K_2O	二酸化チタン TiO_2
2.27	26.7	35.6	18.7	6.7	4.5	0.7	3.34	2.12	0.89

(%)

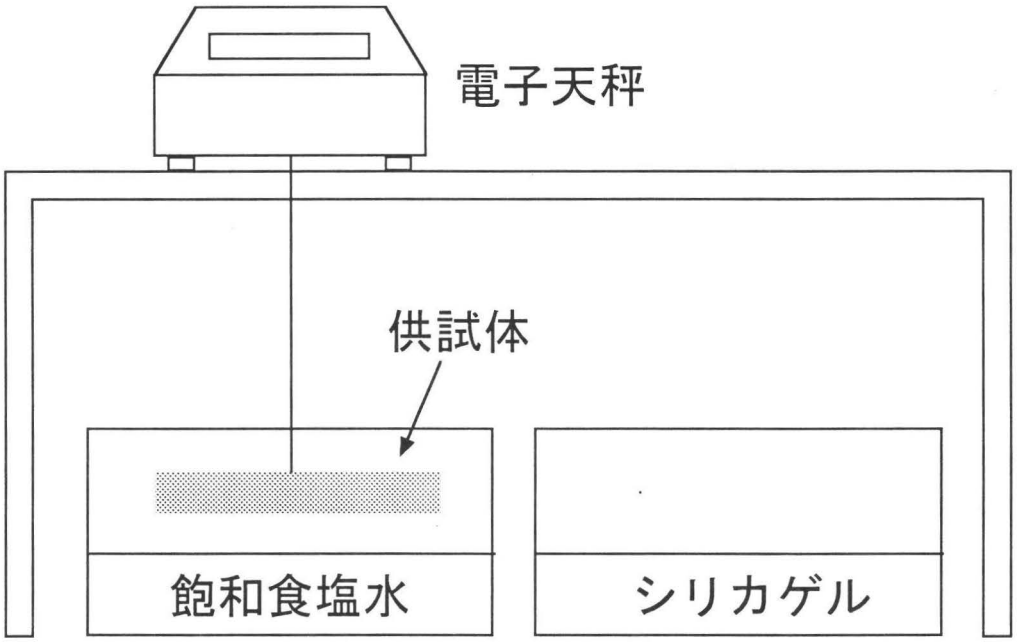
表－２　配　合

供試体名	水結合材比 W/(C+Z) (%)	単位量 (kg/m³)					
		水 W	セメント C	人工ゼオライト Z	細骨材 S	シリカフューム	高性能AE減水剤
C-1:0:2	40	269	674	0	1347	0	0
Z-2:1:2	40	249	415	207	1244	0	24.9
Z-1:1:2	55	313	284	284	1137	0	22.7
Z-1:2:2	70	365	174	348	1043	0	20.9
Z-1:2:1	70	468	223	446	669	0	26.7
Z-1:2:0	70	656	307	614	0	0	36.8
Z-1:2:Mc	65	391	201	401	281(Mc)	20	36.1
Z-1:1:Hs	50	214	214	214	642(Hs)	21	25.7

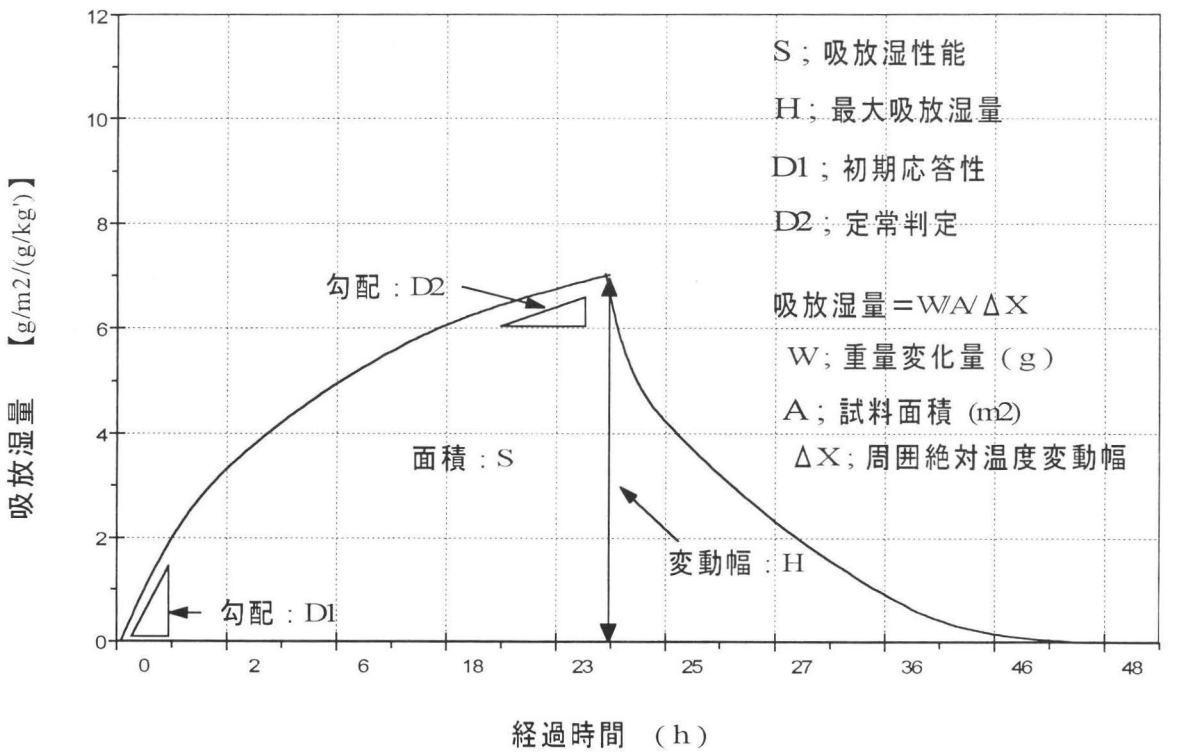
Mc：マイクロカプセル，Hs：高性能軽量細骨材

表－３　軽量化された供試体の比重および強度特性

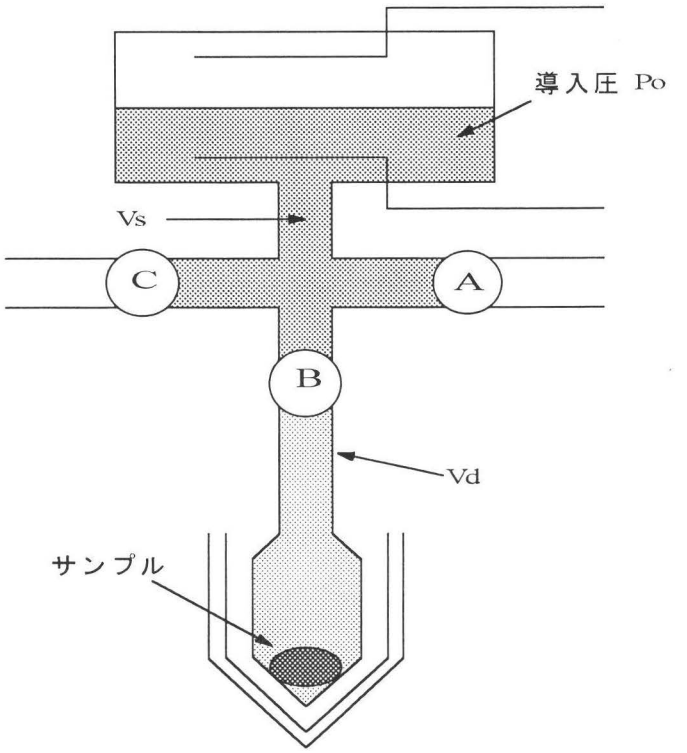
供試体名	比重	圧縮強度 (N/mm^2)	曲げ強度 (N/mm^2)	比圧縮強度 (N/mm^2)	比曲げ強度 (N/mm^2)
Z-1:2:Mc	1.17	14.81	2.52	12.66	2.15
Z-1:2:2	1.95	16.61	4.57	8.52	2.34
Z-1:1:Hs	1.33	29.25	5.17	21.99	3.89
Z-1:1:2	2.04	33.64	8.65	16.49	4.24



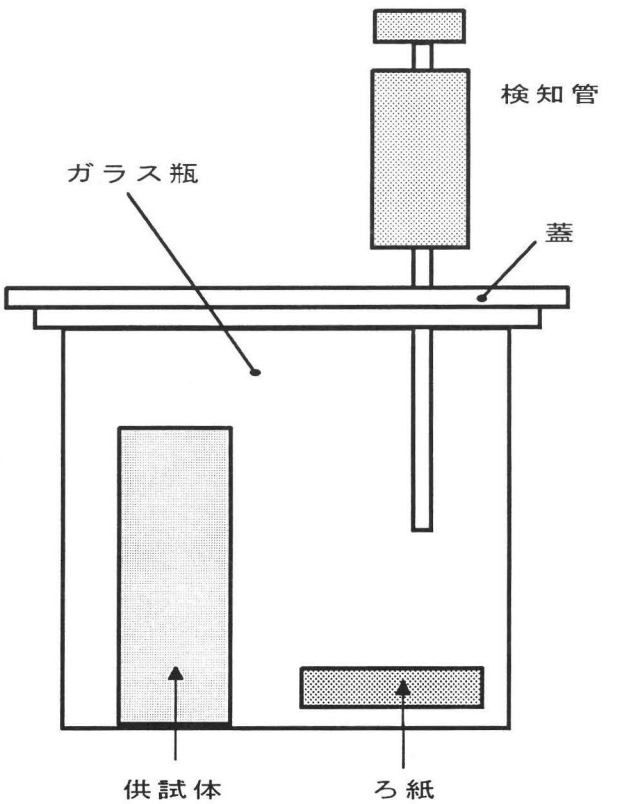
図－１　周期定常調湿性試験概要図



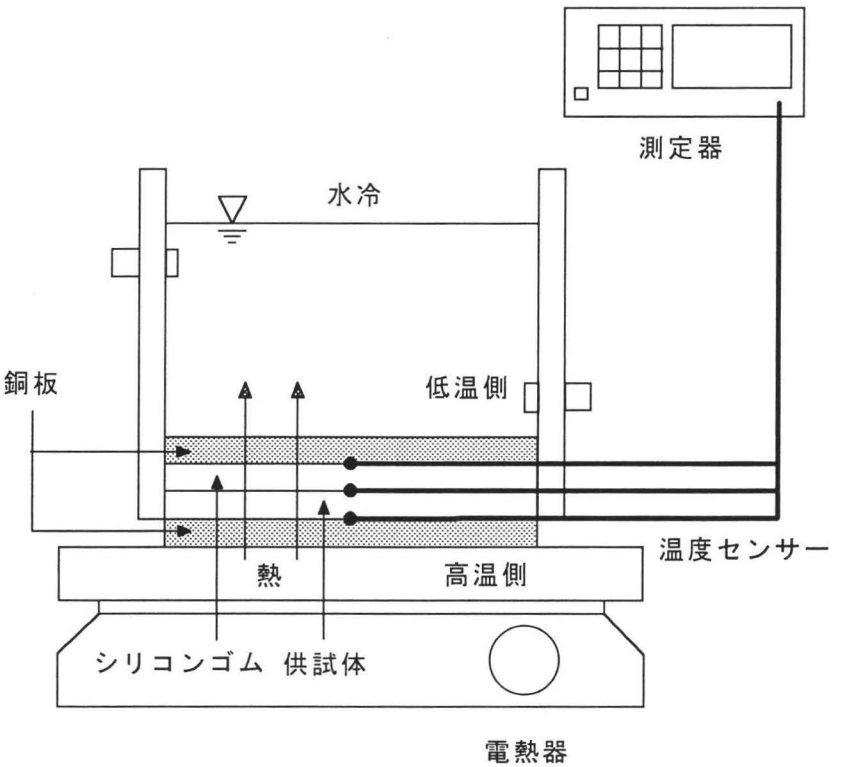
図－２　吸放湿特性曲線に関する指標



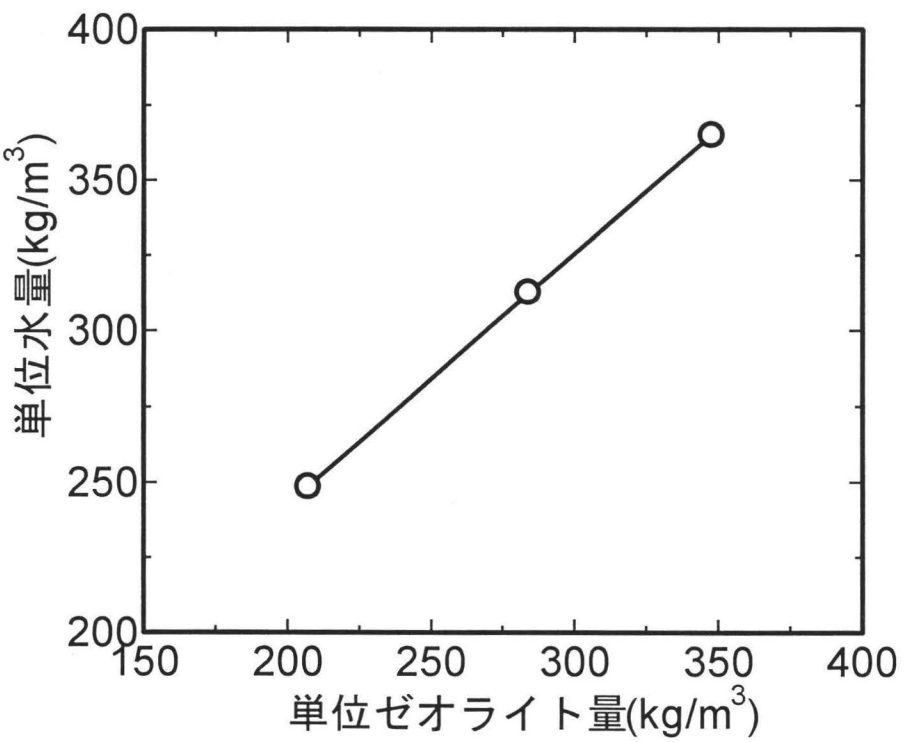
図－３　水蒸気吸着法試験の測定系の模式図



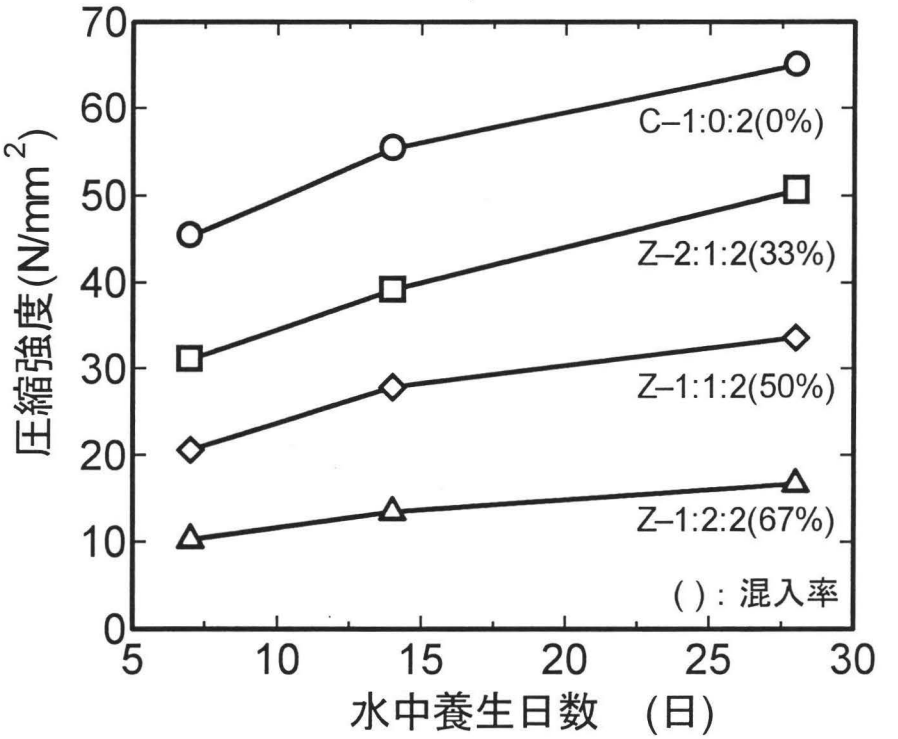
図－４　アンモニア吸着試験概要図



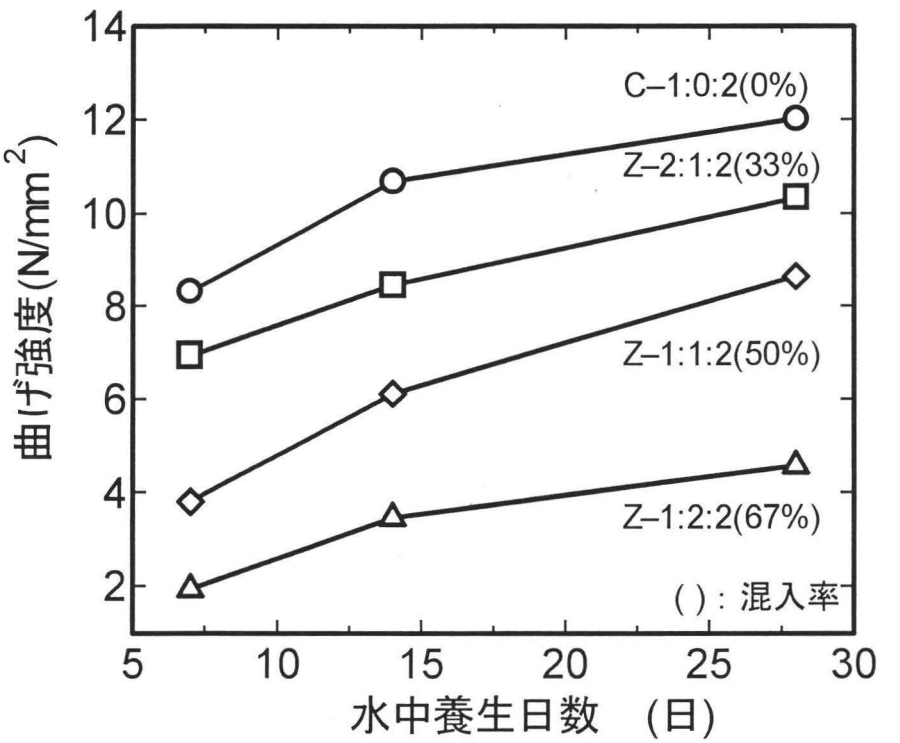
図－５　平板比較法による熱伝導率測定の概念図



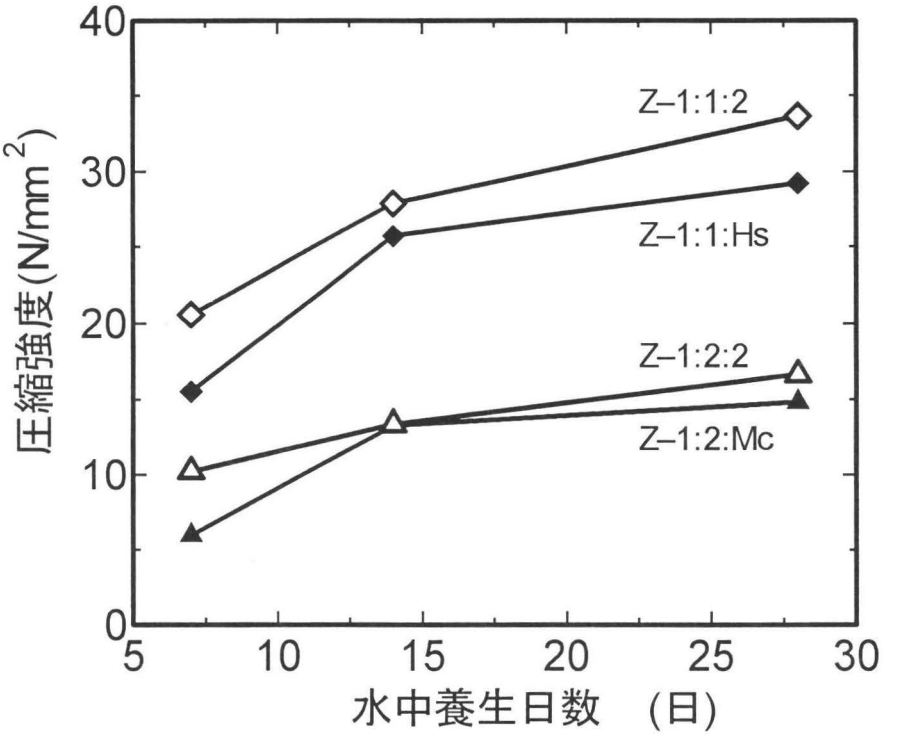
図－６　単位ゼオライト量と単位水量の関係



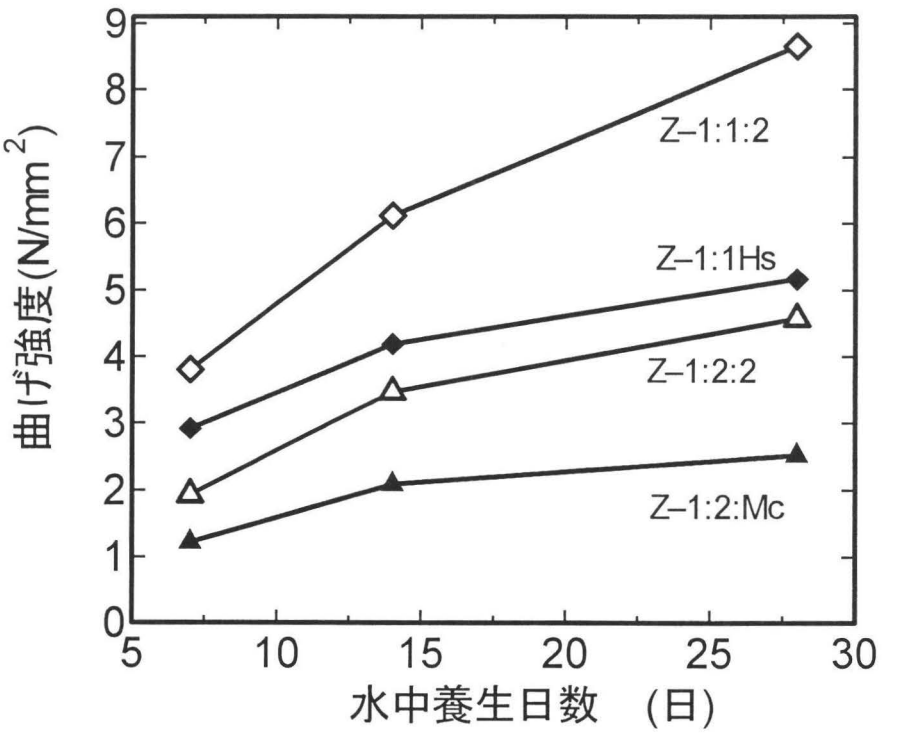
図－７　圧縮強度に及ぼす人工ゼオライト混入の影響



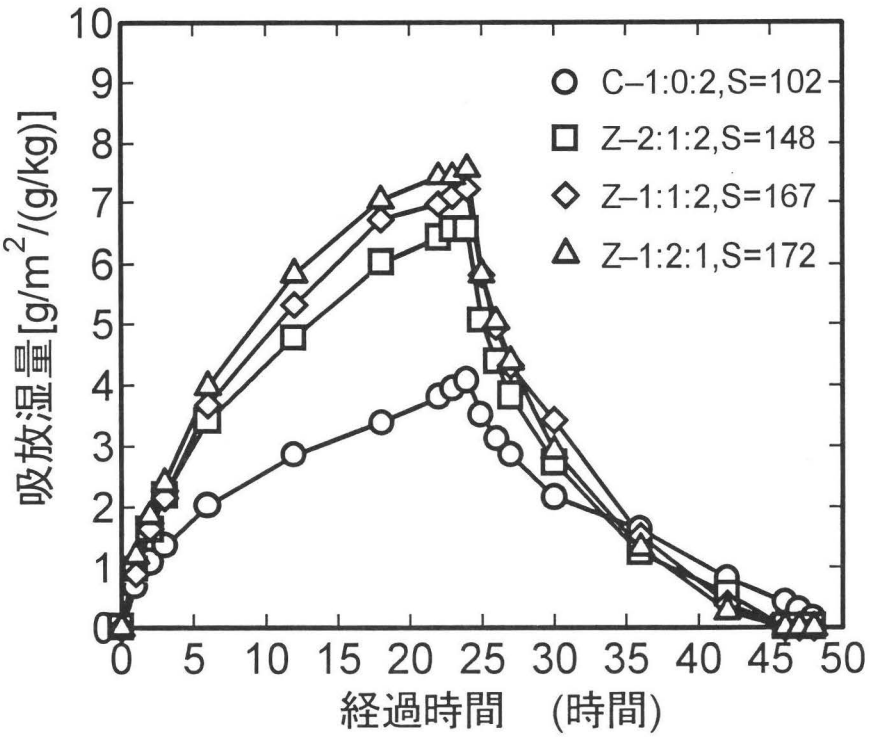
図－８　曲げ強度に及ぼす人工ゼオライト混入の影響



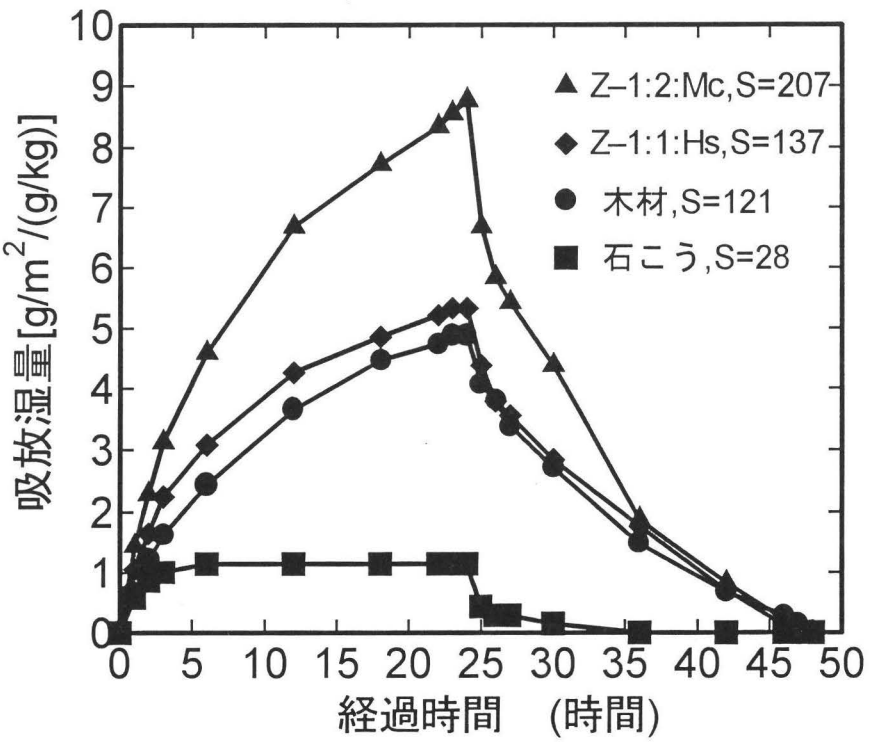
図－９　軽量化されたモルタルの圧縮強度



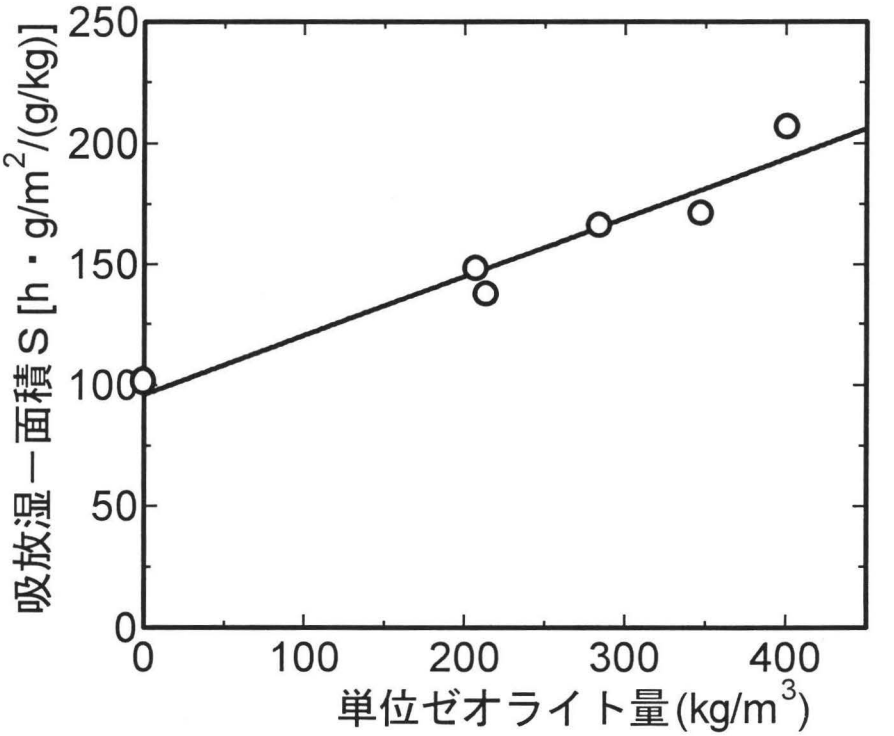
図－１０　軽量化されたモルタルの曲げ強度



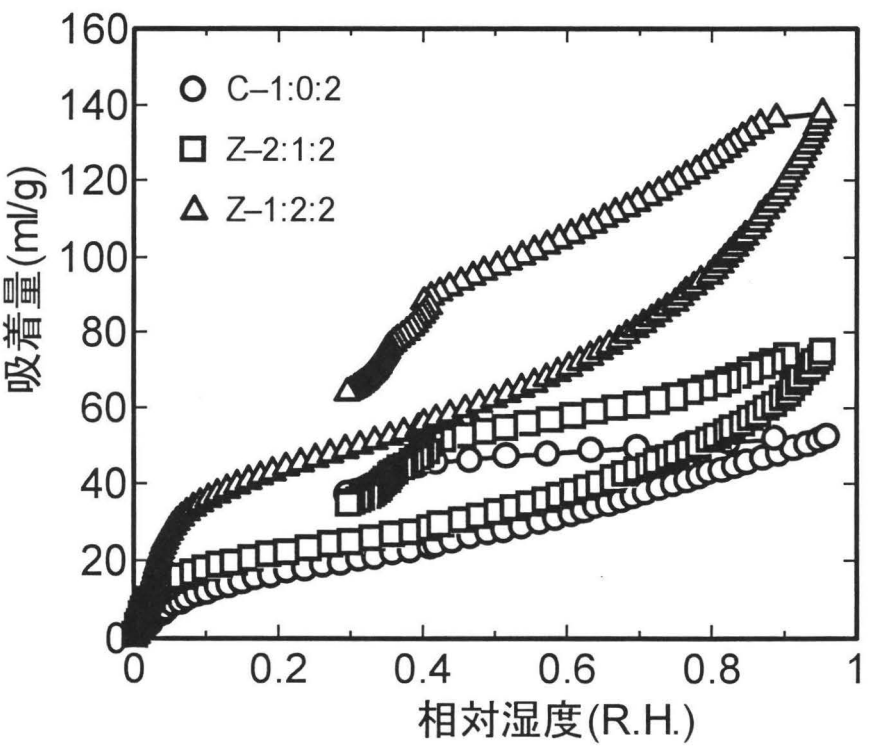
図－１１　吸放湿特性曲線に及ぼす人工ゼオライト混入の影響



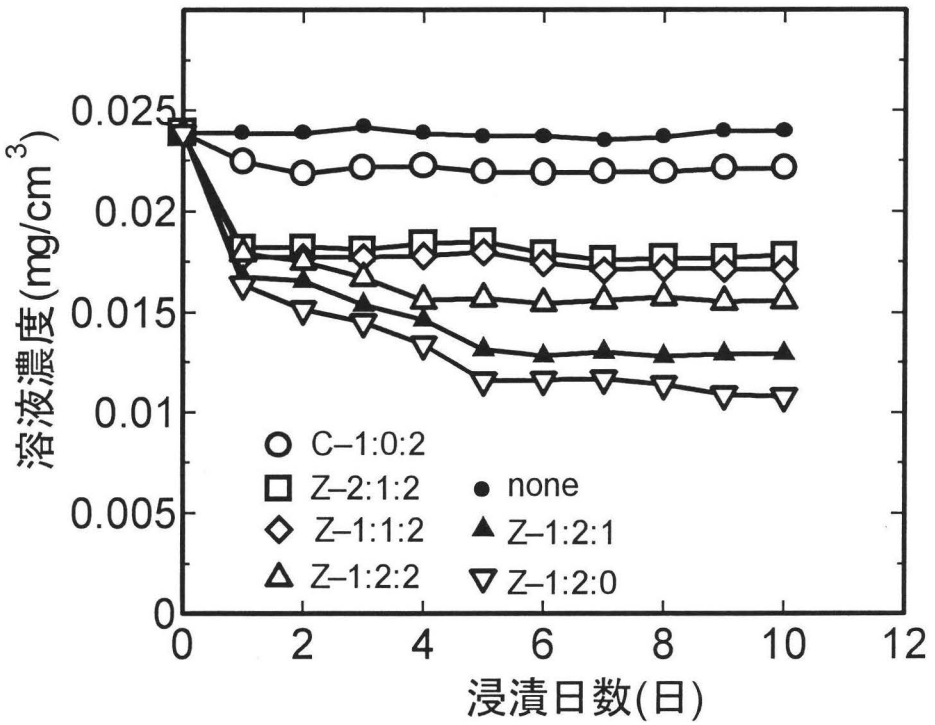
図－１２　軽量化された供試体の吸放湿特性曲線



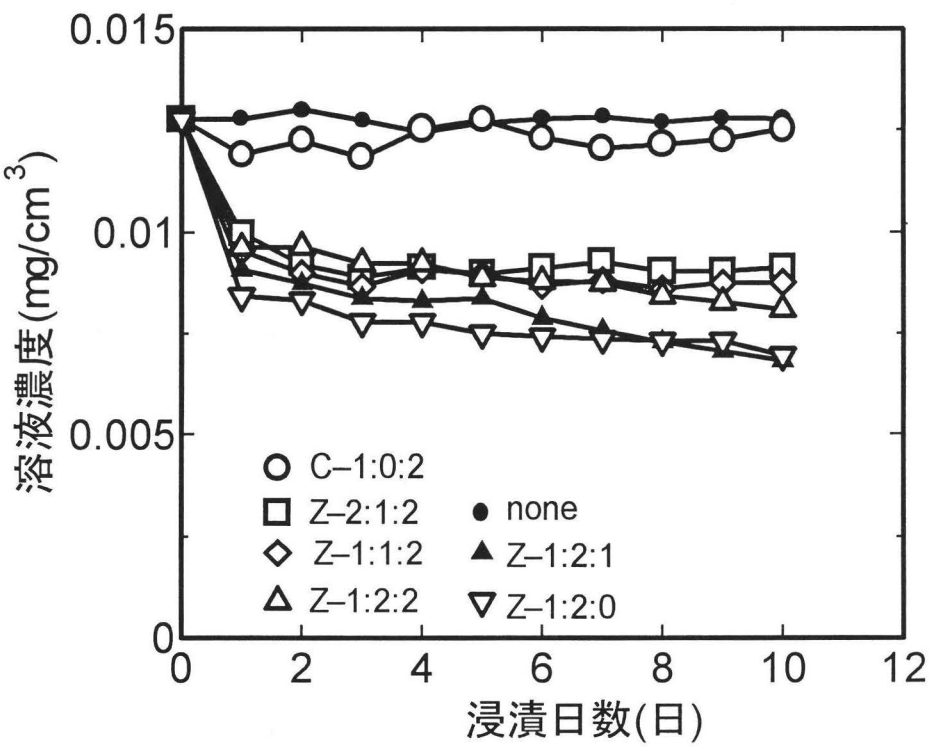
図－１３　単位ゼオライト量と吸放湿特性指標－面積Ｓとの関係



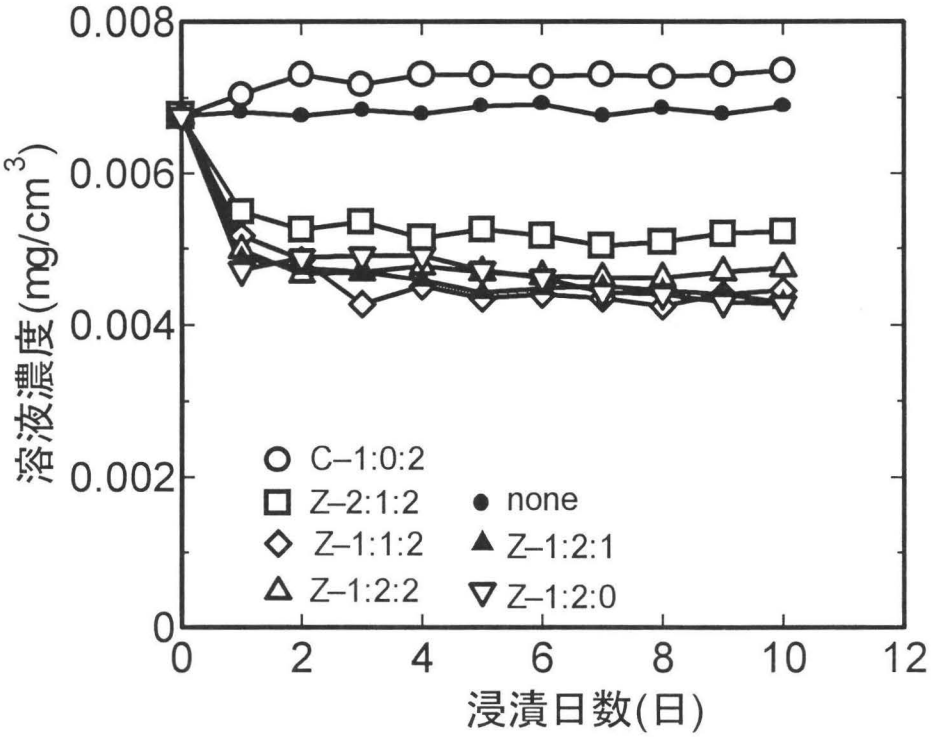
図－１４　水蒸気吸着法による吸放湿特性曲線



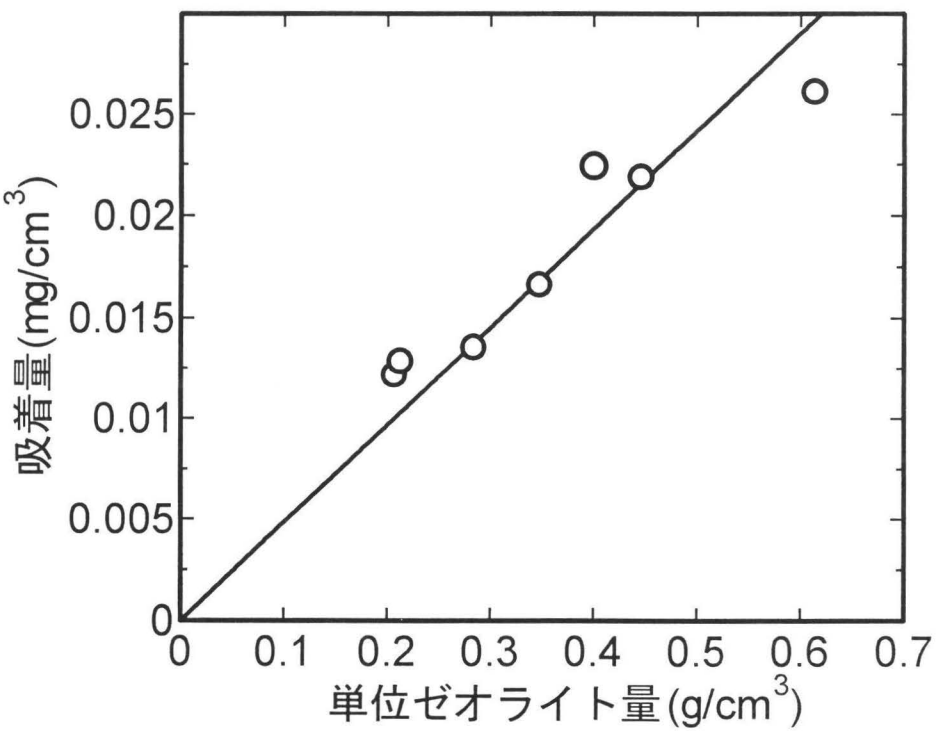
図－１５　1/10 希釈溶液中のクロロナフタレン濃度の経時変化



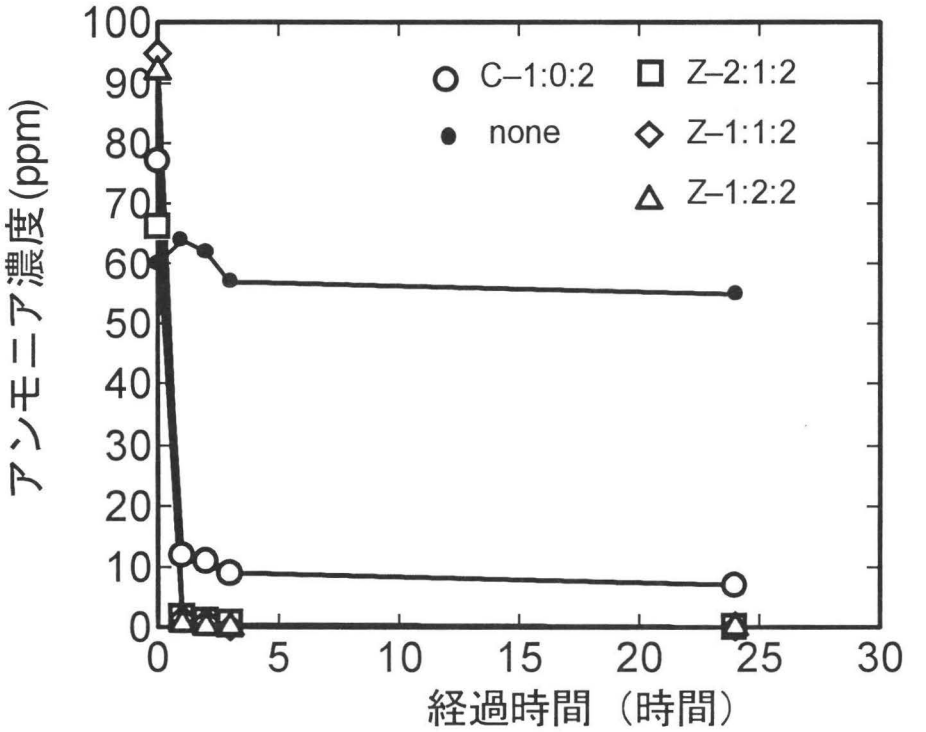
図－１６　1/20 希釈溶液中のクロロナフタレン濃度の経時変化



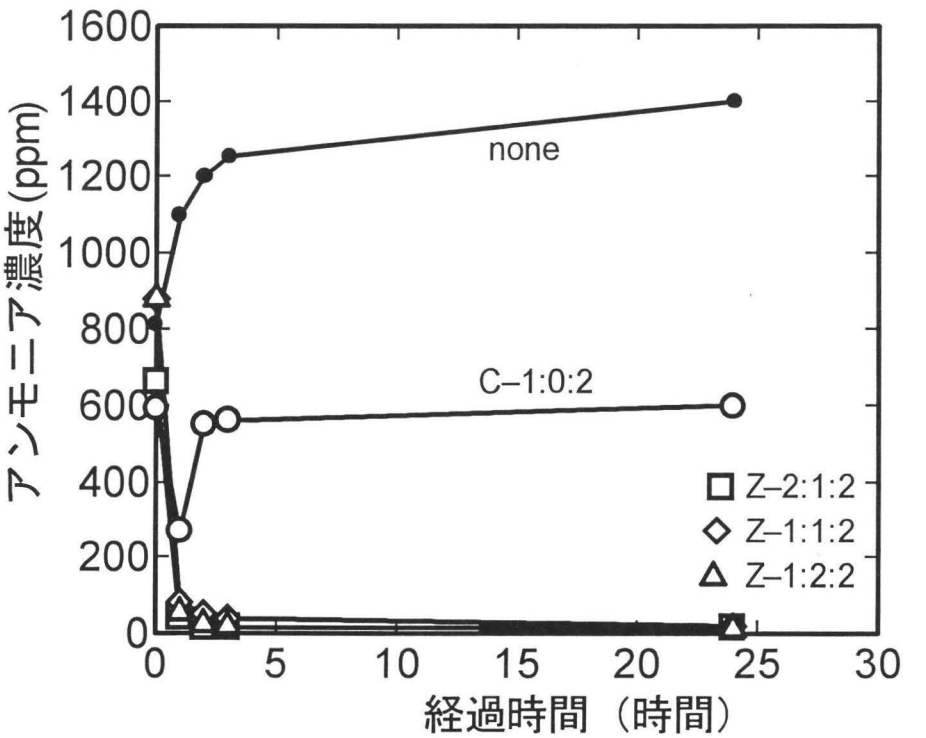
図－１７　1/40 希釈溶液中のクロロナフタレン濃度の経時変化



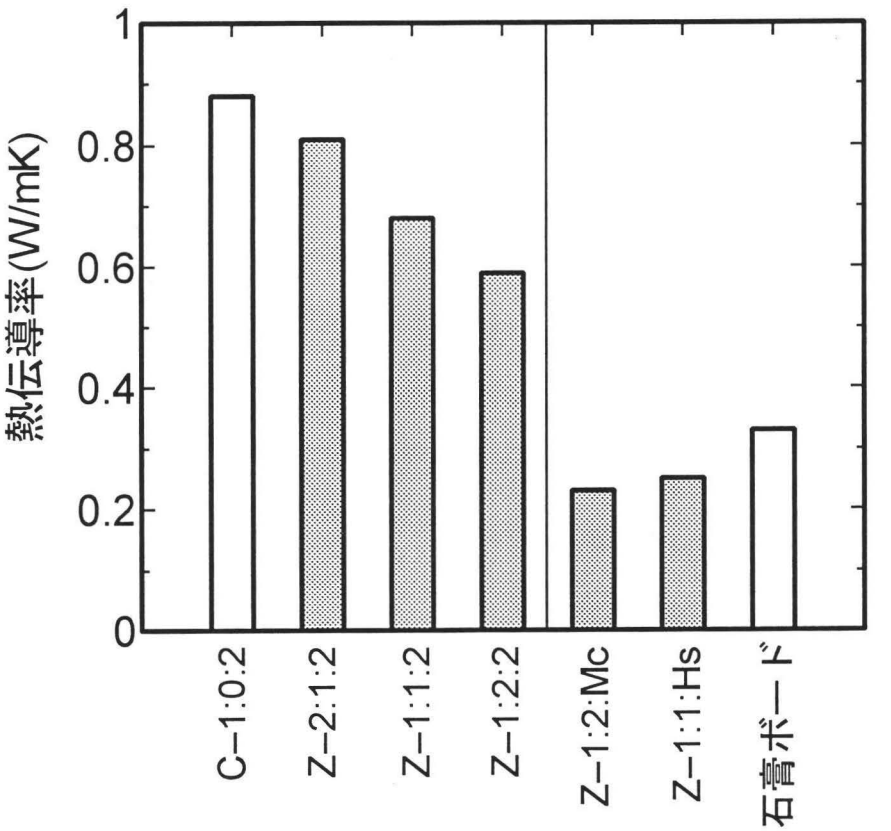
図－１８　1/10 希釈溶液における人工ゼオライト混入モルタルのクロロナフタレン吸着量



図－１９　アンモニア濃度の経時変化（１）



図－２０　アンモニア濃度の経時変化（２）



図－２１　各種モルタルおよび石膏ボードの熱伝導率

1－18　建具，家具，食器などの音鳴りからみた床振動の評価方法

東京工業大学

助教授 横山　裕

1. はじめに

人間の動作時に発生する床振動は、居住性の観点から重要な性能の一つである。近年、建築物床の軽量化，長スパンの採用に伴う剛性低下などの影響で、歩行など人間の日常的な動作による軽微な加振力でも床振動が発生し、苦情発生につながる事例が数多く報告されている。

既往の研究では、床振動を居住者が足部，臀部などでの触覚を介して直接感じる場合を対象とした、妥当な評価方法が確立されている[1)]。さらに、確立した評価方法を実在住宅床に適用し、床振動と苦情発生の有無との関係に関するデータを蓄積しているが[2)]、その中に、床振動は十分に小さいにもかかわらず苦情が発生している事例がいくつかみられた。これらの事例について詳細に検討した結果、人間の動作時に発生する建具，家具，食器などの音鳴りや、照明器具，観葉植物，視覚情報機器(テレビやパソコンのモニターなど)の揺れなどが、床振動を認知するきっかけとなり、振動に対する意識が高まり苦情につながったことがうかがえた。すなわち、聴覚的，視覚的要因が居住性からみた床振動の評価に大きく影響しており、かつ触覚のみの場合と比較してより小さなレベルの振動制御が要求されることが示唆された。しかし、聴覚的，視覚的要因の影響を含む床振動の評価方法は、未だ確立されていない。

2. 本研究の目的および範囲

本研究では、聴覚的，視覚的要因のうち、建築物内のいたる箇所に発生源が存在し、かつ特に注意していなくても認知されるため問題となる頻度が最も高いものの一つと考えられる、建具，家具，食器などの音鳴り(以降“がたつき音”と記す)を対象に、がたつき音の影響を含む床振動の評価方法を提示することを目的とする。

がたつき音の影響を含む床振動の評価方法を確立するためには、床振動，がたつき音の測定

方法と、測定結果を照合して評価するための評価指標が必要である。本研究では、床振動，がたつき音と、これらに対する人間の反応との関係に基づいて、評価指標を提示する。さらに、既往の研究[3),4)]で開発された装置を用いた床振動の測定方法や、人間の動作時のがたつき音の測定方法を提示し、評価指標とあわせて評価方法として提示することとする。

なお本研究では、振動発生者と受振，受音者が同じ場合および異なる場合の評価指標を同様の研究方法にしたがって提示したが、本報告書では、床振動に対してより敏感で、実際の使用状況などを考慮すると苦情発生などにつながる頻度がより高いと考えられる、振動発生者と受振，受音者が異なる場合を中心に述べることとし、同じ場合については結果のみ示すこととする。

3. 研究の方法および手順

1) 人間の動作時に性状の異なる種々の床振動，がたつき音を発生させることができる、試験装置を製作する。

2) 製作した試験装置を検査試料として官能検査を実施し、床振動に関する心理学的尺度、がたつき音に関する心理学的尺度、がたつき音の影響を含む床振動に関する心理学的尺度を構成する。

3) 既往の研究で開発された床振動測定装置[3),4)]を用いて、検査試料の床振動を測定し、床振動の感覚上の大きさを表示する物理量を算出する。さらに、2)で構成した床振動に関する心理学的尺度との関係から、物理量の妥当性を確認する。

4) 官能検査時と同一の条件で検査試料のがたつき音を測定したうえで、2)で構成したがたつき音に関する心理学的尺度との関係を種々検討し、がたつき音の感覚上の大きさを表示する物理量を設定する。

5) 3), 4)で算出，設定した物理量と、2)で構成したがたつき音の影響を含む床振動に関する心理学的尺度との関係を種々検討し、がたつき音の影響を含む床振動の評価指標を提示する。

6) 5)で提示した評価指標と、物理量の測定，算出方法をあわせて、がたつき音の影響を含む床振動の評価方法を提示する。

4. 試験装置の製作

官能検査に用いる装置として、図 1 に示す試験装置を製作した。試験装置は、試料床，がたつき音発生器，歩行路から構成されている。試料床は、重量可変パネル，コイルスプリング，減衰材などからなり、パネルの重量やコイルスプリング，減衰材の特性を変化させることにより、振動特性を種々変化させることができるものである。またがたつき音発生器は、金属管に板ばねで支持された鋼製打撃体を内蔵した発音体と、発音体カバーからなり、金属管と打撃体の間隔，金属管の材質，発音体カバーの遮音特性を変化させることにより、振動に対する発音のしやすさや、発生音の周波数特性、および発音中の打撃間隔などの発音特性を種々変化させることができるものである。発音体の概要を図 2 に示す。

5. 官能検査の実施および心理学的尺度の構成

5.1 官能検査概要

振動発生者と受振，受音者が異なる場合の官能検査を、表 1 に示す要領で実施した。以下に説明を加える。なお、振動発生者と受振，受音者が同じ場合の官能検査も、同様の要領で実施した。

5.1.1 検査項目

検査項目は、以下に示すⅠ? Ⅲの 3 種とした。

検査Ⅰ：検査員に床振動のみを刺激として与え、床振動に関する判断を求める検査

検査Ⅱ：検査員に床振動とがたつき音を刺激として与え、がたつき音に関する判断を求める検査

検査Ⅲ：検査員に床振動とがたつき音を刺激として与え、床振動に関する判断を求める検査

5.1.2 構成する尺度および尺度構成手法

構成する尺度は、床振動，がたつき音の認知の度合や感覚上の大きさを表す“認知大きさ尺度”と、どの程度気になるかを表す“気になり具合評価尺度”の 2 種とした。また、尺度構成手法は、表 1 に示す①? ⑦の判断範ちゅうを用いた、系列範ちゅう法とした。

5.1.3 検査試料

4. で製作した試験装置を用い、検査Ⅰでは試料床と加振方法の組み合わせ28種、検査Ⅱ，Ⅲでは試料床とがたつき音発生器，加振方法の組み合わせ47種を、検査試料として選定した。表2に検査試料の概要を示す。加振方法は、所定の加振者による歩行または小走りとし、図1に示す方法で歩幅，歩調を制御することにより、加振力を一定に保つこととした。検査試料の設定にあたっては、実在する種々の材料，構法の床の有効重量，固有振動数，減衰特性，仕上げ材のやわらかさの範囲を包含する試料床群とすること、発生するがたつき音の大きさ，細かさ，継続時間，周波数特性などの観点から多様な試料群とすること、検査員に疲労，倦怠を感じさせない試料数とすることなどに留意した。

5.1.4 姿勢，履物

検査Ⅰでは、既往の研究[1)]で姿勢，履物により床振動に対する判断は大きく異ならないことが明らかとなっていることから、立位，くつ下とした。また検査Ⅱでは、姿勢，履物によるがたつき音に対する判断の変化を検討する目的で、立位，座位，椅子腰掛位の3種の姿勢とくつ下，軟底紳士靴の2種の履物の組み合わせ4種とした。さらに検査Ⅲでは、検査Ⅱの結果姿勢，履物によりがたつき音に対する判断は大きく変化しないことが確認できたことから、立位，くつ下とした。

5.1.5 検査員

検査員は成人男子10名とした。検査員の年齢，身長，体重の範囲は、表1に示すとおりである。

5.2 官能検査経過，結果

5.1 に示した条件で、官能検査を実施した。図1に官能検査状況を示す。検査員には、建築物内での日常生活中を想定して、認知の度合や感覚上の大きさ，気になり具合を予測判断するよう教示した。特に検査Ⅲでは、発生したがたつき音が、日常生活中における床振動感覚，評価にどの程度影響するかを含めた予測判断をするよう教示した。なお、検査前後に加振者が動作時に床に与える荷重を測定し、大きな変化がなく、検査中安定していたとみなせることを確認した。

5.3 心理学的尺度の構成および考察

官能検査の結果得られた基礎データを分散分析し、構成される尺度の有効性を確認したうえで、検査Ⅰで2種、検査Ⅱで8種、検査Ⅲで2種、計12種の心理学的尺度を構成した。

がたつき音に関する検査Ⅱの結果から構成した、姿勢，履物の組み合わせが異なる認知大きさ

尺度(Ⅱ)相互の関係の例を図 3 に示す。各尺度相互の対応はいずれも非常によく、5.1.4 で述べたとおり、がたつき音に対する判断は姿勢，履物により大きく変化しないことがわかる。

図 4 は、検査Ⅰと Ⅲの結果を用いて、試料床，加振方法が同一の検査試料の尺度値を、認知大きさ尺度(Ⅰ)と(Ⅲ)で比較したものである。すなわち、同一の床振動に対する判断を、がたつき音が発生する場合としない場合とで比較したものである。図中の点は、検査Ⅱの結果より、がたつき音が①非常に大きく感じる程度と判断された試料を●、同様に②? ⑥程度と判断された試料を◆，▒，◈，○，◇として分類したもので(図 3 参照)、検査Ⅲで発生したがたつき音の感覚上の大きさを表している。また図中の実線に近い点ほど、検査Ⅰと Ⅲで床振動の感覚上の大きさが同程度であることを表す。

図より、がたつき音を大きく感じる試料ほど実線から下方に離れた位置に分布していること、すなわちがたつき音が発生する場合、しない場合より床振動は認知しやすい、あるいは大きく感じると判断されており、かつその変化の度合はがたつき音が大きいほど大きいことがわかる。また図から、がたつき音が同程度でも、床振動自体が小さいほど、がたつき音の影響は大きいこともわかる。これらの結果は、気になり具合評価尺度でも同様であった。

以上より、床振動に対する判断にはがたつき音の有無，大きさが少なからず影響すること、特に床振動が小さい範囲でがたつき音の影響は大きいことが、明らかになったといえる。なお、振動発生者と受振，受音者が同じ場合にも、同様の結果が得られた。

6. 床振動の測定および心理学的尺度と対応する物理量の算出

既往の研究 [3),4)]で開発された、人体と同等の振動特性を有する装置“受振器”を用い、受振器を官能検査時の検査員と同じ位置に設置したうえで、加振者が同一の動作をした時の受振器設置点の床振動を測定した。

ここで、人間の動作時に発生する床振動の感覚上の大きさは、振動発生者と受振者が異なる場合、下式で表される物理量 *VI(2)*(Vibration Index 2)で表示できることが明らかとなっている [1)]。

$$VI(2) = 0.2 \cdot \log(Dmax) + 0.5 \cdot \log(Vm) + \log(Th)$$

ここで、*Dmax*(cm)：着地時の床の最大変形量

Vm(cm/s):床の最大変形量を着地開始から最大変形に達するまでの時間で除した変形速度

Th(s):着地時の衝撃で発生する床の固有振動数での減衰振動が振幅 14.1Gal まで減衰するのに要する振動減衰時間

よって、各検査試料ごとに受振器による測定結果から *Dmax*, *Vm*, *Th* を求め、*VI(2)*を算出した。

図 5, 6 に *VI(2)*と認知大きさ尺度(Ⅰ), 気になり具合評価尺度(Ⅰ)の関係を示す。両図ともよく対応しており、*VI(2)*が床振動の感覚上の大きさや、床振動に対する評価を表示する物理量として妥当であることが確認できる。

7. がたつき音の測定および心理学的尺度と対応する物理量の設定

官能検査の検査員の中から身長, 体重が中庸程度の 1 名を選定し、試料床上の検査時と同じ位置に立たせ、加振者が同一の動作をした時の発生音を測定した。測定は、がたつき音発生器を設置した状態(足音＋がたつき音)と設置していない状態(足音のみ)で行った。なおマイクロホンは、検査員の耳の横に設置した。

図 7 に測定の結果得られた音圧レベル・時間曲線(周波数特性:A, 動特性:FAST)の例を示す。図の太線は、がたつき音発生器設置時と未設置時の音圧レベル・時間曲線の差を表すものである。この太線で示した曲線と検査Ⅱで構成した心理学的尺度の関係を種々検討した結果、音圧レベルの最大値 *Lmax* をがたつき音の感覚上の大きさを表示する物理量として設定した。

図 8, 9 に *Lmax* と認知大きさ尺度(Ⅱ), 気になり具合評価尺度(Ⅱ)の関係を示す。図中の点の分類は、図 4 と同一である。両図ともよく対応しており、*Lmax* ががたつき音の感覚上の大きさや、がたつき音に対する評価を表示する物理量として、十分妥当であることが確認できる。

8. がたつき音の影響を含む床振動の評価指標の提示

図 10, 11 に *VI(2)*と認知大きさ尺度(Ⅲ), 気になり具合評価尺度(Ⅲ)の関係を示す。図中の点の分類は図 4 と同一である。また図中の 5 本の実線は、上から順に◇, ○, ◈, ▒, ◆の点を対象とした対応曲線である。さらに図には、図 5, 6 に示したがたつき音が発生しない場合の対応曲線を

太点線で示した。

図から、◇, ○, ◈, ◍, ◆の順に対応曲線が太点線から下方へ離れており、*Lmax* が大きくなるにしたがってがたつき音が床振動に対する判断に大きく影響し、認知の度合や感覚上の大きさが増大するとともに、評価が低下する様子がうかがえる。またこの傾向は、*VI(2)*が小さい範囲でより顕著に表れており、床振動が小さい場合ほどがたつき音の影響が大きいこと、すなわち特に床振動の認知などにがたつき音が大きく影響し、苦情などのきっかけとなる可能性が高いことがわかる。

本研究では、図 10, 11 を、振動発生者と受振, 受音者が異なる場合の、がたつき音の影響を含む床振動の評価指標として提示する。なお、振動発生者と受振, 受音者が同じ場合についても、図 12, 13 に示すとおり、同様の評価指標が得られている。ここで図中の *VI(1)*は、振動発生者と受振, 受音者が同じ場合の床振動の感覚上の大きさを表す物理量[5]である。

9. がたつき音の影響を含む床振動の評価方法の提示

以上の研究の結果より、がたつき音の影響を含む床振動の評価方法を、以下のとおり提示する。

1) 床振動測定装置を用いて、*VI(2)*または *VI(1)*を測定, 算出する。

2) 人間の動作時のがたつき音を測定し、*Lmax*を算出する。

3) 1), 2)で測定, 算出した *VI(2)*または *VI(1)*, *Lmax*を図 10, 11(または図 12, 13)と照合して評価する。

10. おわりに

本研究の結論を以下に示す。

・床振動に対する判断には、がたつき音の有無, 大きさが少なからず影響する。がたつき音の影響は、床振動が小さい場合ほど大きい。すなわち、特に床振動の認知などに大きく影響し、苦情などのきっかけとなる可能性が高い。

・がたつき音の感覚上の大きさや、がたつき音に対する評価を表示する物理量 *Lmax*を設定

し、妥当性を検証した。

・既往の研究[1]で設定された、床振動の感覚上の大きさを表示する物理量 *VI(2)*(または *VI(1)*)と、*Lmax*を用いた、がたつき音の影響を含む床振動の評価指標を提示した。

・ *VI(2)*(または *VI(1)*)と *Lmax* の測定方法と、評価指標をあわせて、がたつき音の影響を含む床振動の評価方法を提示した。

参考文献

1)横山 裕, 小野英哲:振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法の提示 人間の動作により発生する床振動の居住性からみた評価方法に関する研究(第2報), 日本建築学会構造系論文報告集, 第418号, pp.1 ▪ 8, 1990年12月

2)横山 裕:歩行により発生する床振動の評価方法および住宅における評価例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D ▪ 1, pp.299 ▪ 302, 1999年9月

3)横山 裕:歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究 動的加振器, 受振器の設定および妥当性の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第466号, pp.21 ▪ 29, 1994年12月

4)横山 裕, 佐藤正幸:歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究 衝撃的加振器の開発および振動減衰時間算出方法の妥当性の確認, 日本建築学会構造系論文集, 第476号, pp.21 ▪ 30, 1995年10月

5)小野英哲, 横山 裕:人間の動作により発生する床振動の居住性からみた評価方法に関する研究 ? 振動発生者と受振者が同じ場合(動作した人間自身が床振動を感じる場合)? , 日本建築学会構造系論文報告集, 第394号, pp.8 ▪ 16, 1988年12月

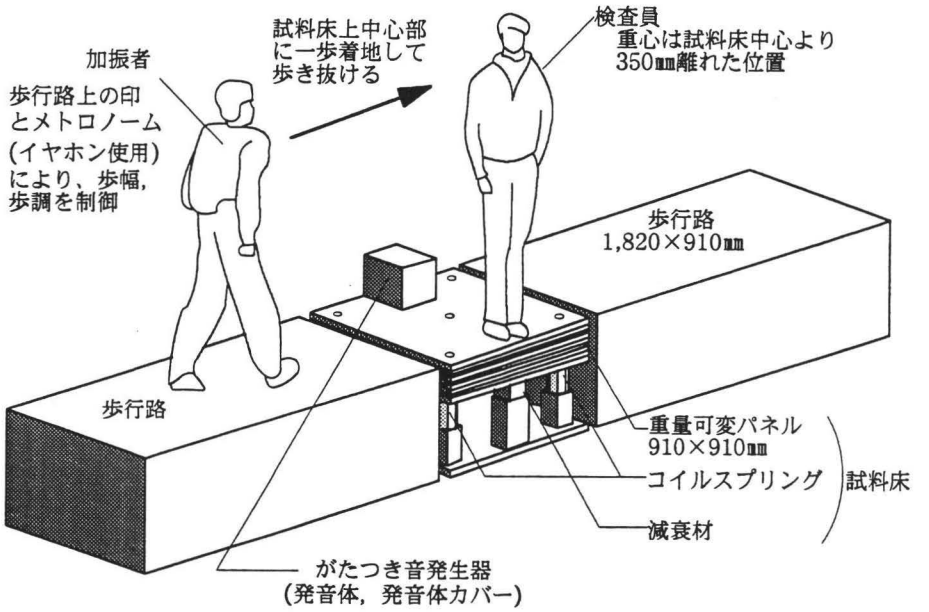


図1　試験装置の概要および官能検査状況

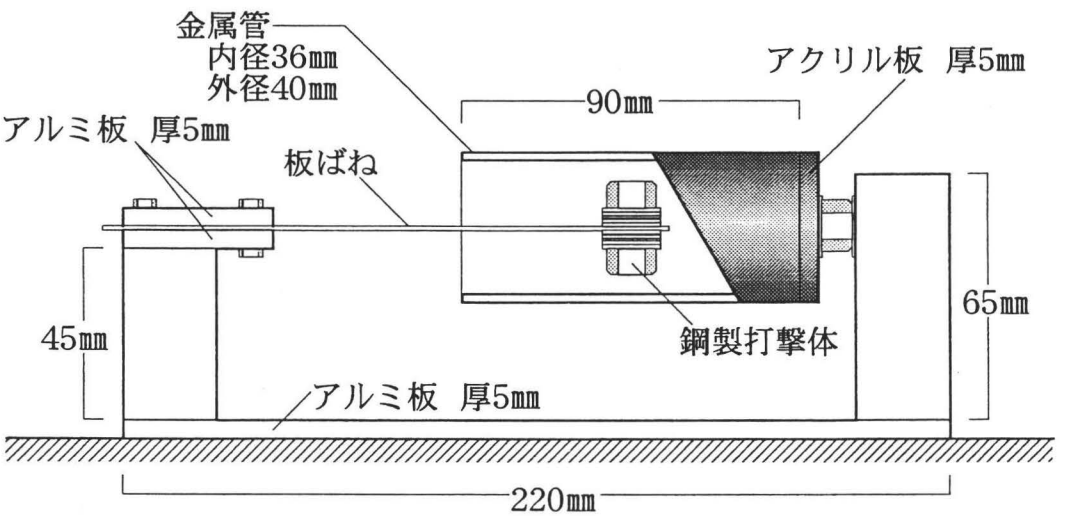


図2　発音体の概要

表1　官能検査の概要

検査Ⅰ		
構成する尺度	認知大きさ尺度(Ⅰ)	気になり具合評価尺度(Ⅰ)
質問事項	住居の居室における日常生活の中で、この振動はどの程度気付くと思いますか。あるいはどの程度大きく感じると思いますか。	住居の居室における日常生活の中で、この振動はどの程度気になると思いますか。
判断範ちゅう	①非常に大きく感じる ②やや大きく感じる ③はっきり気付く ④かすかに気付く ⑤気付くか気付かないかの境界 ⑥ほとんど気付かない ⑦全く気付かない	①非常に気になる ②・・・・・・・ ③かなり気になる ④・・・・・・・ ⑤やや気になる ⑥・・・・・・・ ⑦全く気にならない

検査Ⅱ		
構成する尺度	認知大きさ尺度(Ⅱ)	気になり具合評価尺度(Ⅱ)
質問事項	住居の居室における日常生活の中で、このがたつき音はどの程度気付くと思いますか。あるいはどの程度大きく感じると思いますか。	住居の居室における日常生活の中で、このがたつき音はどの程度気になると思いますか。
判断範ちゅう	①非常に大きく感じる ②かなり大きく感じる ③やや大きく感じる ④はっきる気付く ⑤かすかに気付く ⑥気付くか気付かないかの境界 ⑦気付かない	①非常に気になる ②・・・・・・・ ③かなり気になる ④・・・・・・・ ⑤やや気になる ⑥・・・・・・・ ⑦全く気にならない

検査Ⅲ		
構成する尺度	認知大きさ尺度(Ⅲ)	気になり具合評価尺度(Ⅲ)
質問事項	発生するがたつき音の影響を含めて回答して下さい。 住居の居室における日常生活の中で、この振動はどの程度気付くと思いますか。あるいはどの程度大きく感じると思いますか。	発生するがたつき音の影響を含めて回答して下さい。 住居の居室における日常生活の中で、この振動はどの程度気になると思いますか。
判断範ちゅう	①非常に大きく感じる ②やや大きく感じる ③はっきり気付く ④かすかに気付く ⑤気付くか気付かないかの境界 ⑥ほとんど気付かない ⑦全く気付かない	①非常に気になる ②・・・・・・・ ③かなり気になる ④・・・・・・・ ⑤やや気になる ⑥・・・・・・・ ⑦全く気にならない

尺度構成手法	絶対判断による系列範ちゅう法	
検査試料	検査Ⅰ	検査Ⅱ，Ⅲ
	試料床：表2に示す25種 加振方法：表2に示すa，bの2種 以上の組み合わせ28種	試料床：表2に示す25種 がたつき音発生器：表2に示す11種 加振方法：表2に示すa，bの2種 以上の組み合わせ47種
検査員	成人男子10名（年齢22～25歳，身長166～179cm，体重50～70kg）	
姿勢，履物	検査Ⅰ，Ⅲ	検査Ⅱ
	立位，くつ下 以上の1種	立位，くつ下　椅子腰掛位，くつ下 座位，くつ下　立位，軟底紳士靴 以上の4種

表2　検査試料の概要

試料床	コイルスプリング7種，重量可変パネルの重量6種，減衰材4種， 仕上げ材2種（下記のA，B） A：仕上げ材無し B：カーペット+フェルト1枚(カーペット9mm厚，フェルト7mm厚) 以上の組み合わせから21種	
	試料床の振動特性の範囲	・重量可変パネルの重量：30.7～1073.5kg ・固有振動数：5.25～26.25Hz ・減衰定数：0.56～11.13%

がたつき音発生器	発音体4種，発音体カバー4種 以上の組み合わせから11種

		年齢	身長	体重	動作	履物	歩幅	歩調
加振方法	a	24歳	178cm	78kg	歩行	くつ下	65cm	109歩/分
	b				小走り		93cm	171歩/分

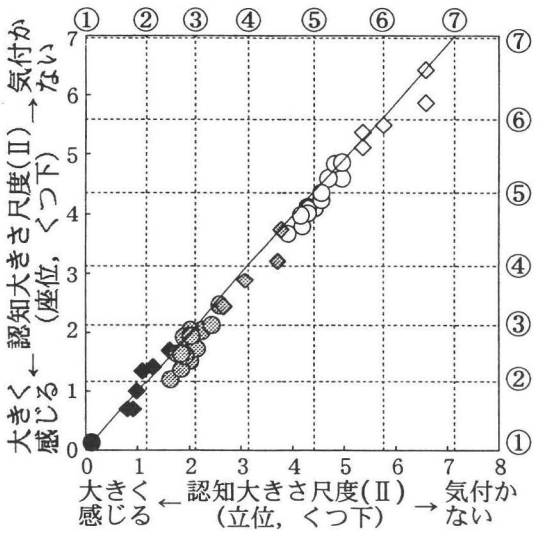


図3　認知大きさ尺度(Ⅱ)相互の関係例

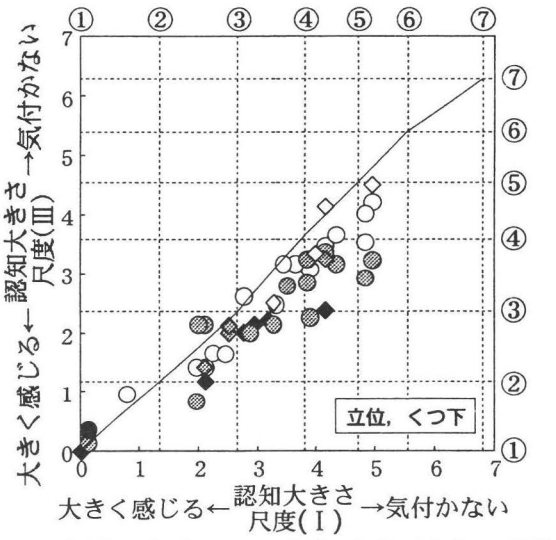


図4　認知大きさ尺度(Ⅲ)と(Ⅰ)の関係

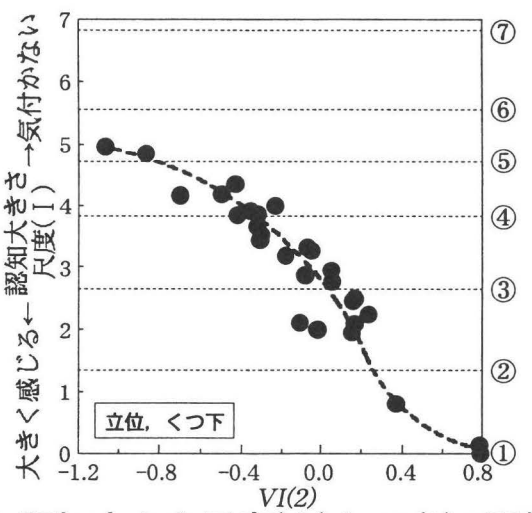


図5 認知大きさ尺度(Ⅰ)と *VI(2)*の関係

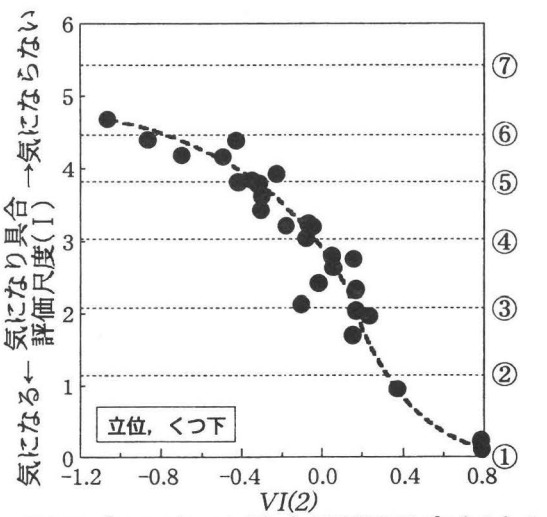


図6 気になり具合評価尺度(Ⅰ)と *VI(2)*の関係

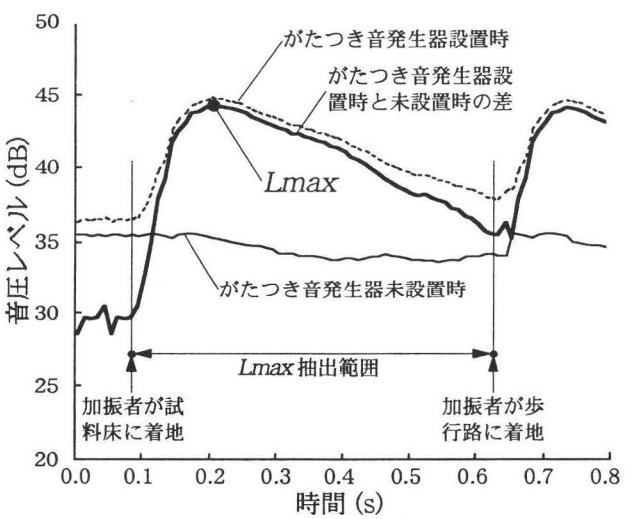


図7　音圧レベル・時間曲線の例

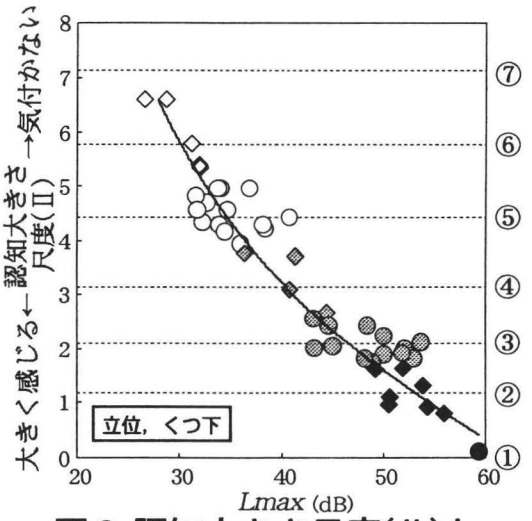


図8 認知大きさ尺度(II)と *Lmax* の関係

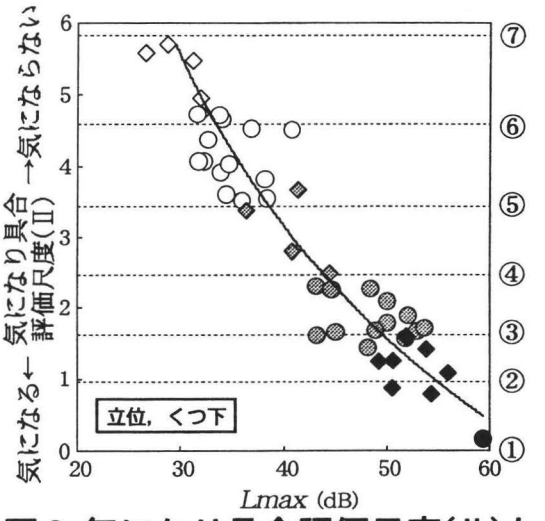


図9 気になり具合評価尺度(II)と *Lmax* の関係

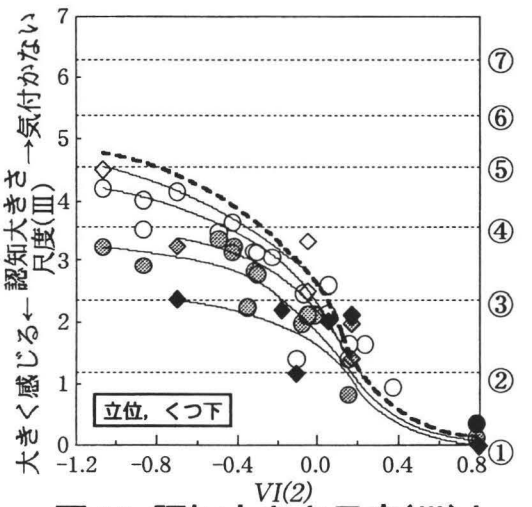


図10 認知大きさ尺度(III)と *VI(2)* の関係

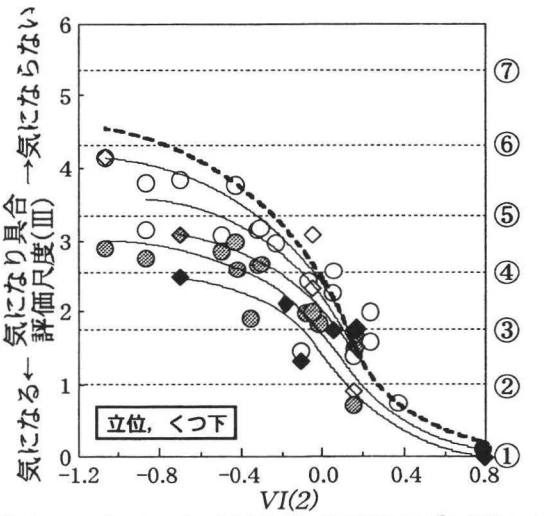


図11 気になり具合評価尺度(III)と *VI(2)* の関係

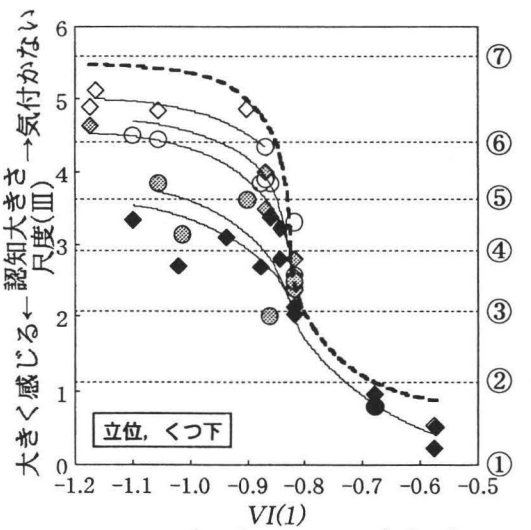


図12 認知大きさ尺度(III)と *VI(1)* の関係

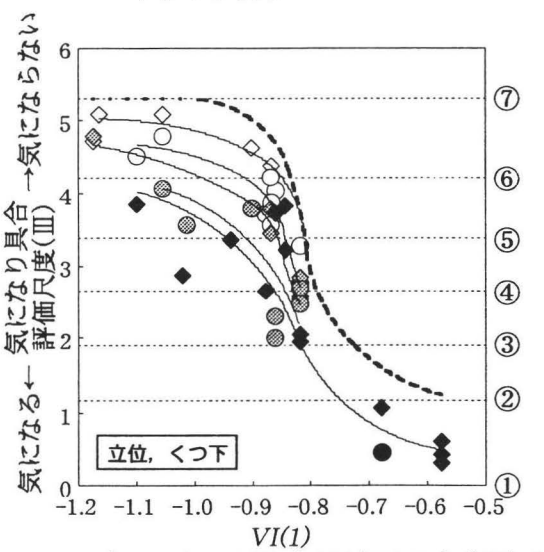


図13 気になり具合評価尺度(III)と *VI(1)* の関係

1－19　建築用接合部材の使用環境耐久性に関する研究

東京都城南地域中小企業振興センター

主任研究員　田村　和男

防腐防蟻処理木材による建築接合金物の腐食への影響

田村和男※1　奥嶋啓志※2　金井宏樹※3

1．　はじめに

我が国の戸建住宅の建築工法は、軸組工法（在来工法）と枠組工法（ツーバイフォー工法）が主流であり、その接合部分は接合金物によって連結されている。接合金物は、（財）日本住宅・木材センターが定める規格に適合するZマーク、Cマーク表示金物が多く使用されており、その防錆処理の規格　電気亜鉛めっき2種2級（膜厚5μm）及び溶融亜鉛めっき鋼板Z－27（付着量275g／m^2）が多くの接合金物に適用されている。

現在、海岸地域の住宅では、接合金物の早期腐食が問題になっており、また、住宅の壁内等の結露、浴室等水まわりの部位において同様な問題が生じている。木造住宅を中心に甚大な被害が生じた平成7年1月の「阪神淡路大震災」の調査結果によれば、各接合部の緊結不良が被害要因の一つとして指摘されている。長期耐用住宅が求められている今日、接合金物の使用される腐食環境条件として、防腐防蟻処理木材による、接触する接合金物の腐食への影響を調査した結果を述べる。

2．　実験

2－1　木材

木造住宅の土台に多く使用されている「ベイツガ」を使用した。木材試験体の寸法は、接触屋外暴露試験では、105×105×1000H、接触耐湿試験、接触塩水暴露試験では、105×105×200Hであった。

2－2　防腐防蟻処理薬剤

薬剤は、薬剤メーカー及び公的機関、日本木材防腐工業組合、大学にヒアリングを実施し、表－1に示した5種類の薬剤を使用した。

表－1　防腐防蟻処理薬剤

処理方法	薬剤系	JAS基準吸収量
表面処理（表面塗布）	ニコチノイド系（ハチクサン）	
	ピレスロイド系（アリデン）	
加圧注入処理	銅・硼酸・アゾール化合物系（CUAZ）	K3
	銅・アルキルアンモニウム化合物系（ACQ）	K3
	ナフテン酸亜鉛（NZN）	K3

2－3　建築用接合金物と表面処理(防錆処理)

防腐防蟻処理木材と接触する部位に使用される「筋かい金物」を用いた。また、筋かい金物に使用される材料で、板厚2．3t、8cm角のテストピースを作成し、試験体とした。接合金物の表面処理(防錆処理)は、Zマーク、Cマークに表示されている表面処理を含め、現在使用されているもの、及び実用可能なものを使用し、表－2、表－3に示した。

※1　東京都立産業技術研究所、技術評価室課長補佐

※2　兼松日産農林㈱、木材・住宅事業部開発部長

※3　木造住宅用優良接合金物推進協議会、理事

表－2　接合金物の表面処理

種類	表面処理
めっき系	電気亜鉛めっき　8μm
	溶融亜鉛めっき鋼板　Z－27
	鉄・亜鉛合金めっき　8μm(ストロンジンク)
化成皮膜系	亜鉛末・クロム酸化成皮膜　200mg/dm^2(ダクロタイズド処理)
	溶融亜鉛めっき鋼板　Z－27＋亜鉛末・クロム酸化成皮膜200mg/dm^2(ダクロタイズド処理)
複合皮膜系	溶融亜鉛めっき鋼板Z－27＋カチオン電着塗装

表－3　ウッドスクリューの表面処理

種類	表面処理
めっき系	電気亜鉛めっき　8μm
化成皮膜系	亜鉛末・クロム酸化成皮膜　200mg/dm^2(ダクロタイズド処理)
	電気亜鉛めっき　8μm＋亜鉛末・クロム酸化成皮膜200mg/dm^2(ダクロタイズド処理)
複合皮膜系	電気亜鉛めっき＋セラミック塗装(ラスパート)

2－4　接触腐食試験体の固定

防腐防蟻処理木材に筋かい金物及びテストピースをウッドスクリュー4本で固定し試験体とした。

2－5　接触腐食試験方法

接触腐食試験方法を表－4及び写真1～6に示した。

表—4　接触腐食試験方法

	接触屋外暴露試験	接触耐湿試験	接触塩水暴露試験
試験体	木材に筋かい金物をウッドスクリュー4本で固定した試験体	木材にテストピースをウッドスクリュー4本で固定した試験体	木材に筋かい金物をウッドスクリュー4本で固定した試験体
試験条件	試験体を約6ヶ月間屋外暴露した	試験体を、水を張った耐湿試験用容器に入れ、約3ヶ月間放置した	試験体を暴露台に約3ヶ月設置し、1回／週に5%食塩水を全体に散布した
試験場所	大阪市住之江区平林㈱コシイプレザービング暴露試験場	横浜市戸塚区下倉田日本油脂㈱	横浜市戸塚区下倉田日本油脂㈱
試験期間	平成12年9月22日～平成13年3月29日 6ヶ月間	平成12年10月16日～平成13年1月16日 3ヶ月間	平成12年10月16日～平成13年1月16日 3ヶ月間

2—6　評価方法

接合金物の木材との接触面、非接触面、ウッドスクリューとの接合面（傷つき部）、ウッドスクリューを白錆発生及び赤錆発生面積率で5段階評価し、表—5に示した。

表—5　評価基準

	優	変化無し
	良	変色・白錆発生
	可	微量の赤錆発生
	やや不可	30%以下赤錆発生
	不可	30%以上赤錆発生

3．　結果

結果を表一6、表一7に示した。

3－1　接触屋外暴露試験（6ヶ月間）

1）接合金物の表面処理の木材との非接触部（表面）の耐食性は、ほとんどの試験体が変化なく、優れていた。

2）木材との接触部の耐食性は、接合金物の表面処理の種類によって、防腐防蟻剤の影響を強く受けていた。防腐防蟻未処理木材では、「めっき系」の電気亜鉛めっきは赤錆を生じたが、溶融亜鉛めっき鋼板　Z－27及び「化成皮膜系」のダクロタイズド処理は全く異常なかった。防腐防蟻剤のうち、銅を含有する薬剤で処理された木材は「めっき系」の耐食性を著しく低下させた（写真一7）。「化成皮膜系」のダクロタイズド処理については、銅・硼酸・アゾール化合物系薬剤により耐食性を僅かに低下させられる傾向が見られるが、銅・アルキルアンモニウム化合物系薬剤にはその傾向は見られなかった（写真一8）。「複合皮膜系」への耐食性に対する影響は軽微であった。

3）ウッドスクリューと接合金物との接触部（傷つき部）では、「複合皮膜系」に微量の赤錆発生が認められた以外は、木材との接触部と同様の結果であり、「化成皮膜系」は全く変化が認められなかった。

4）ウッドスクリューの表面処理において、防腐防蟻未処理木材では、「化成皮膜系」、「複合皮膜系」が耐食性に優れていた。銅を含有する防腐防蟻薬剤で処理された木材では、表面処理に対する影響は著しく、その中で「化成皮膜系」が比較的耐食性に優れていた。

3－2　接触耐湿試験（3ヶ月間）

1）試験体の木材との非接触部（表面）の耐食性は、「めっき系」の溶融亜鉛めっき鋼板Z－27に僅かに腐食が認められた以外は、その他の「めっき系」、「化成皮膜系」、「複合皮膜系」では全く変化なく耐食性を有していた。

2）木材との接触部は、試験体の表面処理の種類によって耐食性に差が見られた。防腐防蟻未処理木材では、「めっき系」は赤錆を僅かに発生しているが、「化成皮膜系」、「複合皮膜系」に変化はない。防腐防蟻薬剤のうち、表面処理薬剤（木部表面塗布）で処理された木材では、防腐防蟻未処理木材の結果とほぼ同様であり、表面処理薬剤は試験体の表面処理に影響を与えないことがわかった。加圧注入処理薬剤のうち、銅を含有している薬剤で処理された木材では「めっき系」は著しく耐食性が低下させられたが、「化成皮膜系」、「複合皮膜系」は耐食性に対する影響は僅かであった。銅を含有しないナフテン酸亜鉛（NZN）で処理された木材は、防腐防蟻未処理木材よりも試験体の耐食性を高める傾向にあった。

3）　ウッドスクリューと試験体との接触部（傷つき部）では、銅を含有する加圧注入の防腐防蟻薬剤で処理された木材で表面処理に対する影響が発生し、「めっき系」、「複合皮膜系」の耐食性が劣り、「化成皮膜系」が最も優れていた。

4）　ウッドスクリューの表面処理は「めっき系」、「複合皮膜系」は赤錆が発生、「化成皮膜系」は優れていた。

3－3　塩水暴露試験（3ヶ月間）

1）木材との非接触部（表面）の接合金物の表面処理の耐食性は「化成皮膜系」が優れ、次に「複合皮膜系」が耐食性を有していた。「めっき系」は著しく腐食が進行していた。

2）木材との接触部の接合金物の表面処理の耐食性は、接触屋外暴露試験、接触耐湿試験の結果をさらに厳しくしたものとなった。「化成皮膜系」、「複合皮膜系」の腐食は軽微であるが「めっき系」は著しく腐食していた。
3）ウッドスクリューと接合金物との接触部（傷つき部）の耐食性は木材との接触部の結果に準ずるが、銅を含有する防腐防蟻薬剤で処理された木材と接触する「複合皮膜系」で表面処理された接合金物の傷つき部に僅かに赤錆発生を認めた。
4）　ウッドスクリューの表面処理は「化成皮膜系」が最も優れていた。

4．　考察

4－1　木材との接触部の耐食性について

1）防腐防蟻未処理木材は接触する接合金物の表面処理の耐食性に影響しないことがわかった。
2）防腐防蟻薬剤のうち、表面処理薬剤（木部表面塗布）で処理された木材は接触する接合金物の表面処理の耐食性を低下させなかった。
3）加圧注入処理防腐防蟻薬剤のうち、銅を含有する薬剤で処理された木材は接触する接合金物の表面処理で「めっき系」の耐食性を著しく低下させた。「化成皮膜系」については銅・硼酸・アゾール化合物系薬剤により、僅かに耐食性を低下させられるが、銅・アルキルアンモニウム化合物系薬剤にはその傾向が見られなかった。「複合皮膜系」の耐食性に対する影響は軽微であった。
4）ウッドスクリューの結果も接合金物とほぼ同様の傾向を示すが、電気亜鉛めっきの耐食性が際だって低かった。これはウッドスクリューを木材に打ち込む際に発生する摩擦熱によって、クロメート層が破壊するためであると推測できる。

4－2　ウッドスクリューと筋かい金物との接触部（傷つき部）の耐食性について

傷つき部について、「複合皮膜系」はその皮膜の形成上、亜鉛が付着していない部分に傷が発生することとなり、赤錆の発生につながっていた

5．　まとめ

1）　防腐防蟻処理木材と接触する接合金物の表面処理としての耐食性は、「化成皮膜系」、「複合皮膜系」が優れている。但し、「複合皮膜系」はウッドスクリューとの接触部分（傷つき部）での評価は低く、施工時の状況を合わせ見ると「化成皮膜系」が最も良好な結果を示すことが期待できる。
2）　防腐防蟻薬剤の種類により接合金物の腐食の程度が異なる。特に銅を含有する薬剤「銅・硼酸・アゾール化合物系（CUAZ）、銅・アルキルアンモニウム化合物系（ACQ）」は接合金物の表面処理に影響を与えることがわかった。しかし、「化成皮膜系」の表面処理により、実用上支障のない耐食性が得られることが期待される。
3）　「ナフテン酸亜鉛（NZN）」は防腐防蟻未処理木材よりも、接合金物の腐食反応を抑制する結果を得た。
4）　「表面処理薬剤（表面塗布）」は防腐防蟻未処理木材と同じ傾向の結果を得た

謝辞：本研究は（財）トステム建材産業振興財団　平成１１年度研究助成受託により、（社）表面技術協会・建築材接触腐食研究会「建築用接合部材の使用環境耐久性に関する研究」の一部として実施したものである。関係各位のご協力に感謝いたします。特に日本ダクロ工業会建築部会の福島一郎、深谷敏之両氏には多大なご協力を頂きました。厚くお礼申し上げます。

表－6　防腐防蟻薬剤による接合金物の表面処理への影響

防腐防蟻薬剤		無処理						銅・硼酸・アゾール化合物系　（CUAZ）						銅・アルキルアンモニウム化合物系（ACQ）						ナフテン酸亜鉛（油剤）（NZN）					
	表面処理	めっき系			化成皮膜系		複合皮膜系	めっき系			化成皮膜系		複合皮膜系	めっき系			化成皮膜系		複合皮膜系	めっき系			化成皮膜系		複合皮膜系
		EZ	Z−27	STZ	DTZ	Z−27＋DTZ	Z−27＋CD	EZ	Z−27	STZ	DTZ	Z−27＋DTZ	Z−27＋CD	EZ	Z−27	STZ	DTZ	Z−27＋DTZ	Z−27＋CD	EZ	Z−27	STZ	DTZ	Z−27＋DTZ	Z−27＋CD
木材非接触部（外面）	接触屋外暴露試験																								
	接触耐湿試験																								
	接触塩水暴露試験																								
木材接触部	接触屋外暴露試験																								
	接触耐湿試験																								
	接触塩水暴露試験																								
ウッドスクリューと接合金物との接触部（傷付き部）	接触屋外暴露試験																								
	接触耐湿試験																								
	接触塩水暴露試験																								

EZ：電気亜鉛めっき8μm　Z−27：溶融亜鉛めっき鋼板　STZ：鉄・亜鉛合金めっき（ストロンジンク）　DTZ：亜鉛末・クロム酸化成皮膜（ダクロタイズド処理）

Z−27＋DTZ：溶融亜鉛めっき鋼板＋亜鉛末・クロム酸化成皮膜（ダクロタイズド処理）　Z−27＋CD：溶融亜鉛めっき鋼板＋カチオン電着塗装

優	良	可	やや不可	不可

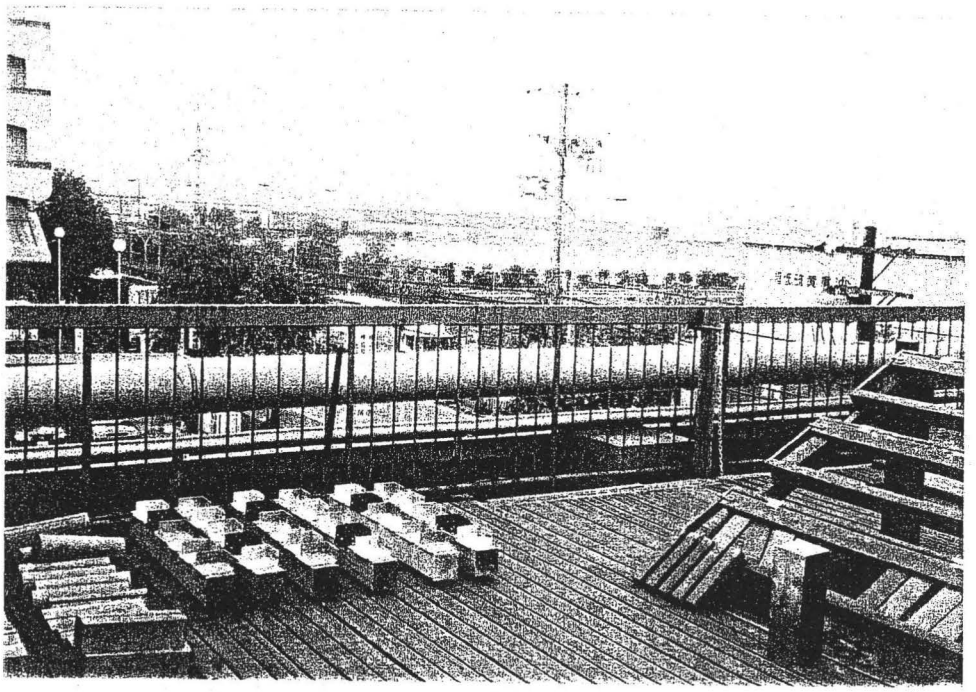
表—7　防腐防蟻薬剤によるウッドスクリューの表面処理への影響

防腐防蟻薬剤	無処理				銅・硼酸・アゾール化合物系（CUAZ）				銅・アルキルアンモニウム化合物系（ACQ）				ナフテン酸亜鉛（油剤）（NZN）			
ウッドスクリューの表面処理	めっき系	化成皮膜系		複合皮膜系	めっき系	化成皮膜系		複合皮膜系	めっき系	化成皮膜系		複合皮膜系	めっき系	化成皮膜系		複合皮膜系
	EZ	DTZ	EZ＋DTZ	RP	EZ	DTZ	EZ＋DTZ	RP	EZ	DTZ	EZ＋DTZ	RP	EZ	DTZ	EZ＋DTZ	RP
接触屋外暴露試験																
接触耐湿試験																
接触塩水暴露試験																

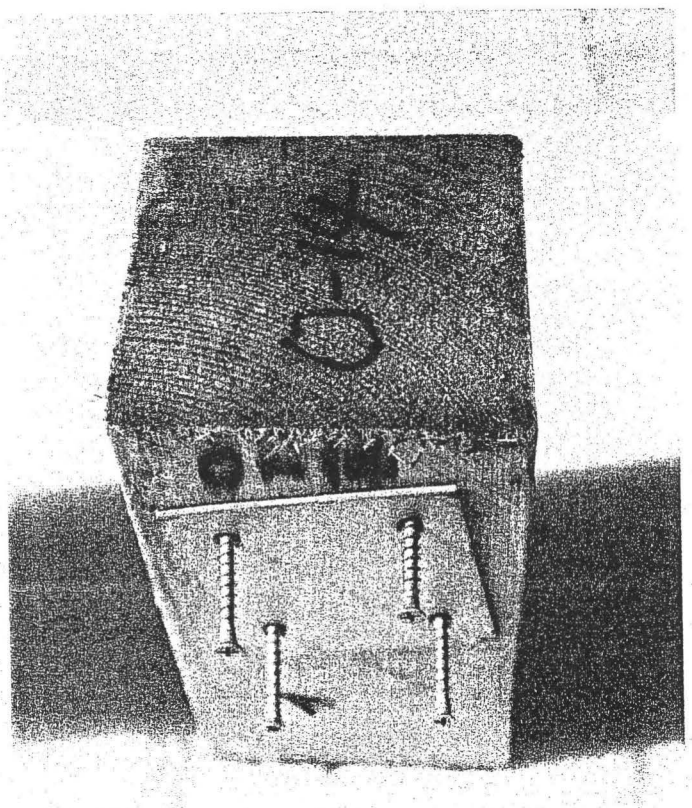
優　良　可　やや不可　不可

EZ：電気亜鉛めっき　DTZ：亜鉛末・クロム酸化成皮膜（ダクロタイズド処理）　EZ＋DTZ：電気亜鉛めっき＋亜鉛末・クロム酸化成皮膜（ダクロタイズド処理）　RP：電気亜鉛めっき＋セラミック塗装（ラスパート）

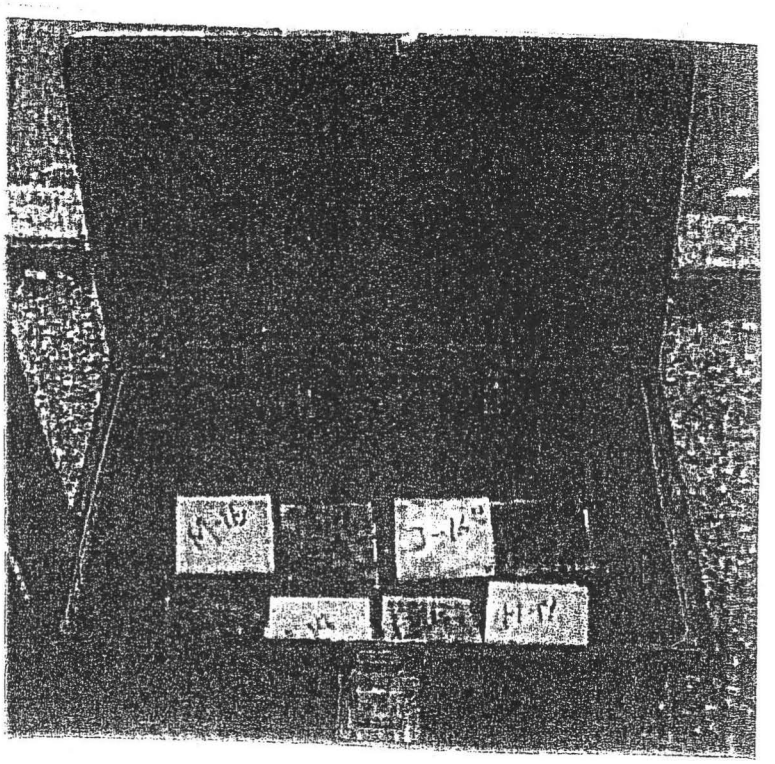
写真—1　接触屋外暴露風景



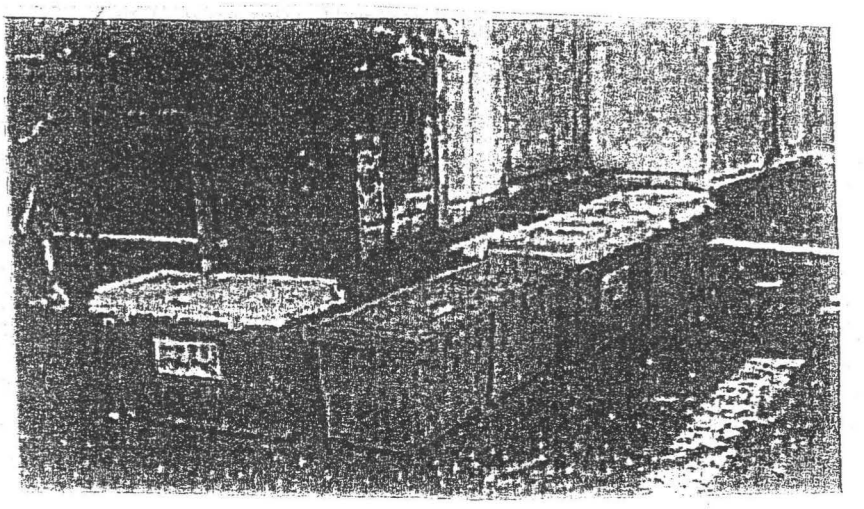
写真—2　接触耐湿試験
木材とテストピースの接合方法



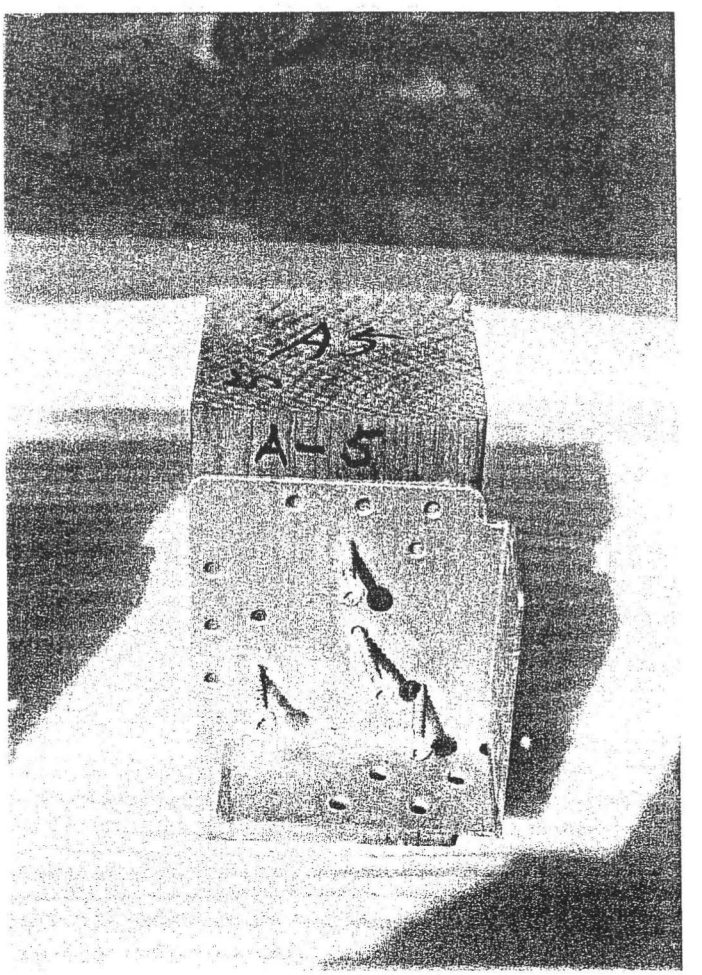
写真—3　接触耐湿試験(専用容器に試験体を投入)



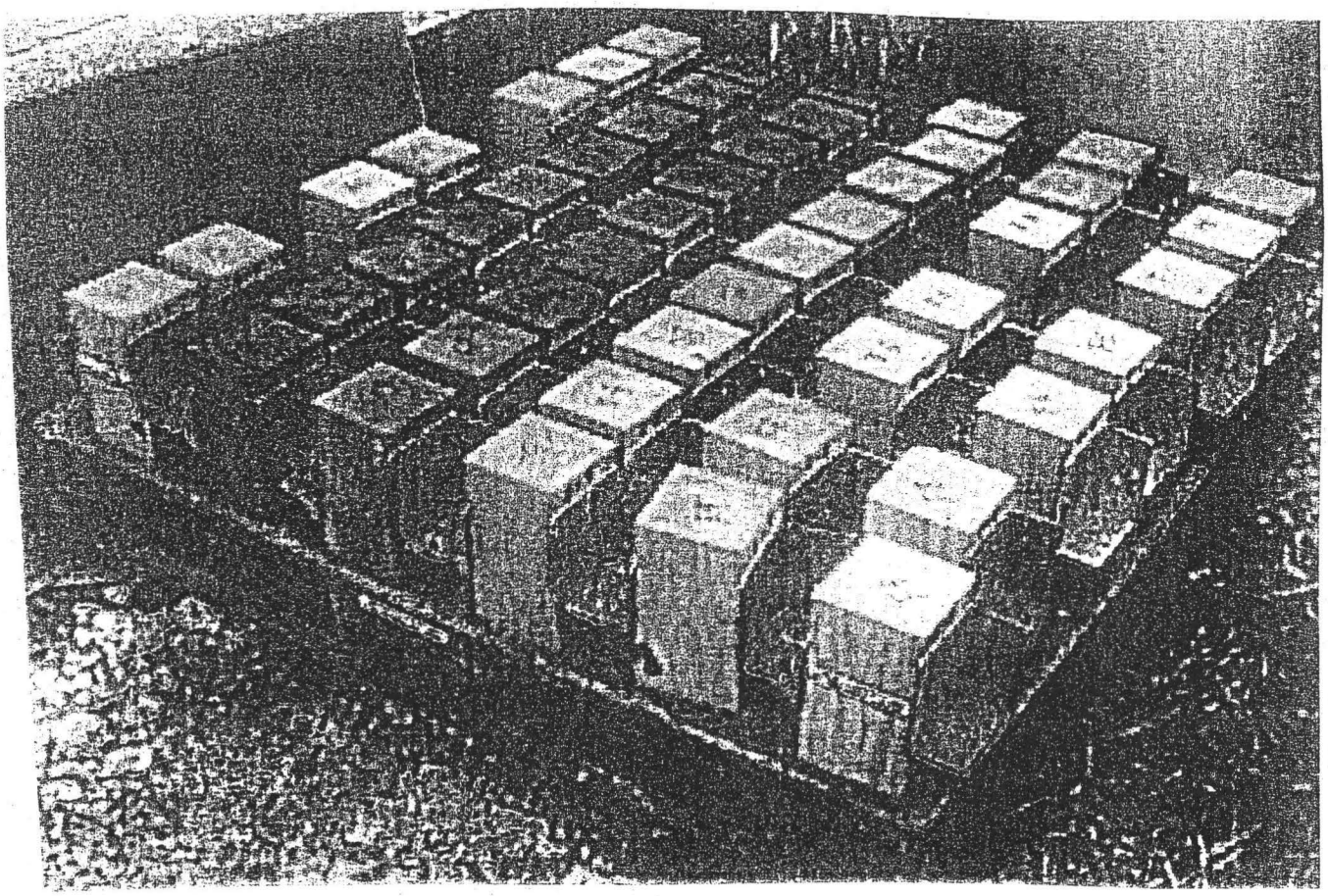
写真－4　接触耐湿試験（専用容器の設置状況）



写真－5　接触塩水暴露試験
木材と筋違金物の接合方法

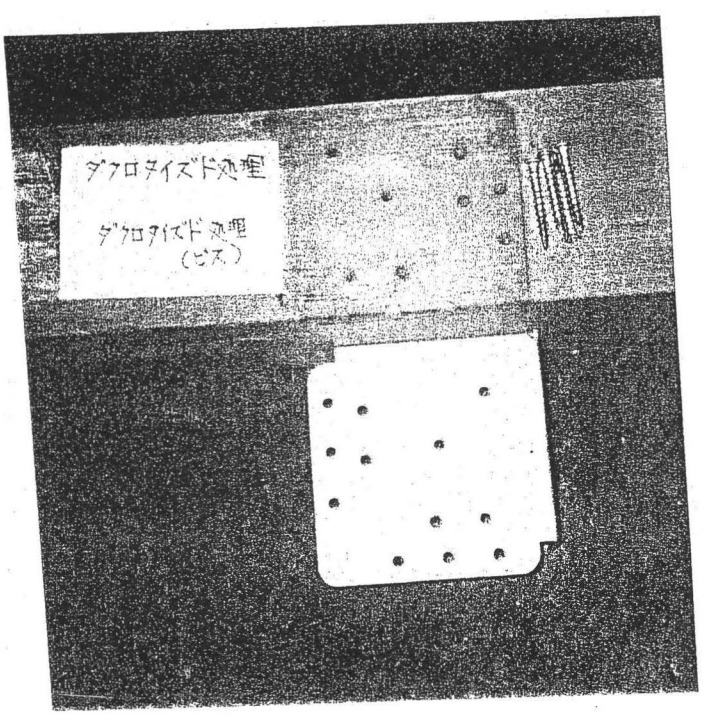


写真—6　接触塩水暴露風景



写真—7　接触屋外暴露試験(6ヶ月間)
溶融亜鉛めっき鋼板

写真—8　接触屋外暴露試験(6ヶ月間)
亜鉛末・クロム酸化成皮膜
(ダクロタイズド処理)



1－20　エイジングに関するアンケート調査概要

東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻
助教授　橘高　義典

1．研究の背景と目的

近年、質の高い景観を有する街づくりが様々なレベルで進められており、景観材料(都市景観を構成する材料及び製品)は、景観を左右する最も重要な要因であると考えられる。また、地球環境問題を考える上で建築物の耐用年数の向上は、COP3(京都地球環境サミット)開催時に学会声明として具体的な行動目標の一つとして掲げられており、その美観を長期的に維持することが必要である。本研究では、景観材料の素材感において、素材固有の色彩及びエイジング(時間の経過に伴い質が向上する効果)に着目し、その評価に及ぼす色彩情報の影響について検討する。特に、建築物の外壁素材レベルを対象として、アンケート及び画像解析手法により評価し、その傾向を把握することによって、設計者の材料選択の一要因として反映させることを目的とする。

2．研究の方法

建築物のエイジングに関するアンケート調査を、1999 年 7～9 月に全国の建築関係企業の協力により行った。調査内容は、竣工(改装・改築)後 10 年以上経過している日本国内の土木建築構造物のうち、その外観(外壁・外装材料)がエイジングの面で優れていると感じるもの 3 物件以上、優れていないと感じるもの 3 物件以上の総計 6 物件以上について調査及び写真撮影をお願いした。回答者は、20～50 歳代男女計 42 名である。

3．研究の結果

回答者にエイジングの面で判断してもらい、その建築物の写真と選定理由とを回収したところ、好ましいもの 105 件、好ましくないもの 90 件が集まった。回収した資料を基に、エイジングに関するアンケート調査の結果及び考察を以下に示す。

3.1 素材別による分類

回収された資料を外装材料の素材別に分類したものを図 1 に示す。素材としては塗料及びタイルの選定が多い。複合とは 1 建築物に対し数種類の外装材が使用されている場合での評価である。塗料については、好ましくないものが半数以上を占め比較的多い。好ましい評価は、全素材ともほぼ均等に選定されているが、レンガ及び木では好ましい評価が多い。

各素材の評価を好ましさの比率で表したものを図 2 に示す。塗料及び金属以外は好ましいとの評価が多い。レンガにおいては、好ましいものでしか選定されておらず、石及び木の天然素材と合わせて、エイジングに適した素材であると考えられる。コンクリート及びタイルは、現在の建築物のおいて重要な素材となっており今回は好ましいものの評価も多く見られるが、エイジングに適した材料となるにはデザイン及びディティール等様々な面で注意が必要であると思われる。塗料においては白色の建築物が多いため、汚れ、ひび割れ、改修跡等が目立ちやすく好ましくない評価が多いと考えられる。

3.2 経過年別による分類

回収された資料を経過年別に分類したものを図 3 に示す。竣工後 10〜19 年が好ましいもの及び好ましくないものの双方で半数近く選定されており最も多い。エイジングの面で判断されているもの以外にも、外観が良い、もしくは建物の好みで選定されているものもあると思われる。竣工後 50 年以上経過したものでは、好ましいものが圧倒的に多く、好ましくないものは全くない。竣工後 50 年以上経過している建築物は寺社教会、住宅、銀行等の用途であり、外装材料の素材としては石及び木が多い。また、重要文化財に指定され、保存管理されているものもある。これによりエイジングに適した材料が実際にあり、その質の良さで現在まで残存し人々に好まれているものと考えられる。また、好ましくないものにおいては 10〜20 年代が多いことより、建築物が 30 年前後で改修或いは取壊しされているのではないかと思われる。

外装材料の素材ごとの経過年別による好ましさの比率を表したものを図 4 に示す。タイル及び塗料は、初期の状態が最も良く、その後好ましさの割合が低下する下降型の素材であり、コンクリートについては、全体的には経過年が長くなるにつれ好ましさの割合が低下しているが、ほぼ平行状態であると思われる。石、木、レンガについては、初期の年代よりも経年後での好ましさの割合が高くなる上昇型の素材であることが分かる。

4．アンケート調査のまとめ

アンケート調査の結果をまとめると以下のとおりである。

1）都市景観において建築物外壁は重要な役割を担っており、その色彩及び素材が景観に及ぼす影響が大きく、外壁の状態が好ましいもの及び好ましくないものが存在する。

2）エイジングの観点から外壁の状態が好ましいと判断されるものがあり、今後の景観材料の経年変化のあり方を模索する上で貴重な資料が得られた。

3）エイジングの判断で特に好ましさに関しては個人差があり、エイジングとして好ましいという建物の状態を一般化することは，現状ではまだ問題がある。

4）50 年以上経過している建築物では、エイジングにおいて好ましいという評価が得られやすい。

5）レンガ，石及び木等の天然素材を用いた建物はエイジングに関する比較的評価が良く、エイジングに適した素材であると考えられる。

6）建物用途においてもエイジングの評価は異なり、寺社教会、美術・博物館等は比較的好ましい評価を得やすい。

7）素材ごとのエイジング評価の変化パターンは、大きく分けて上昇型と下降型に分類され、レンガ，石及び木等の天然素材は上昇型、塗料等の人工材料は下降型を示す傾向がある。

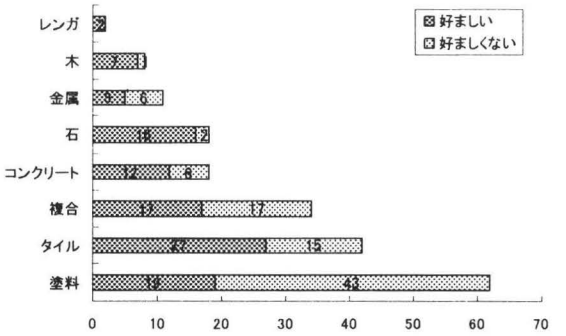


図１　素材別による分類

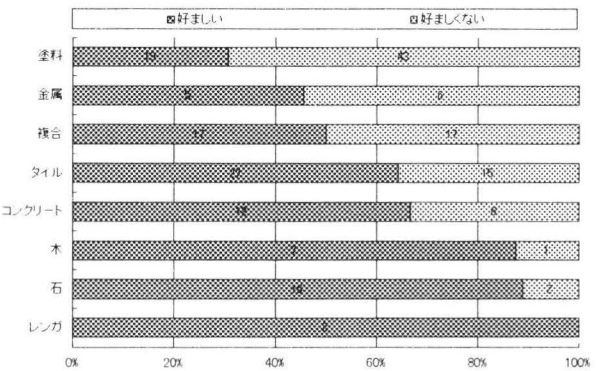


図２　素材別による好ましさの比率

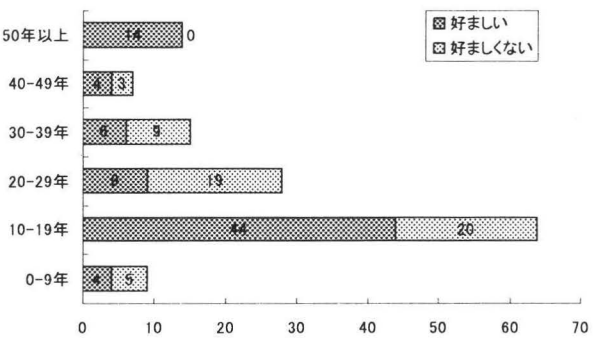


図３　経過年別による分類

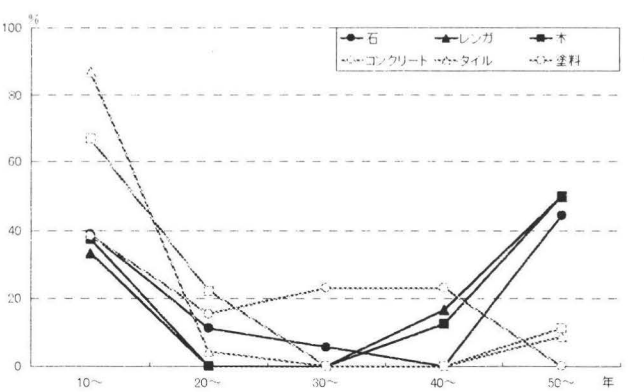


図４　素材ごとの経過年別による好ましさの分類

1－21 太陽エネルギーを利用したふく射型冷暖房複合パネルの最適設計手法の構築に関する研究 (3)

Comfortableness of Ceiling-Radiation-Cooler with PV driven Thermoelectric Modules

東京理科大学　工学部
教授　谷　辰夫

ABSTRACT

Recently, electric power consumption has been increasing year by year due to popularization of home air-conditioners, computers and others.

Therefore, to reduce the cooling load utilizing solar energy effectively, we have studied aiming at development of a photovoltaic-thermal composite panel which combines the photovoltaic module with the radiation-cooler panel composed of thermo electric modules.

In this experiment we set the portable PMV meter (AM-101) into the equipment, and estimated and evaluated the comfortableness characteristics of air conditioning by the indexes of thermal environment such as PMV (Predicted Mean Vote) and PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). We experimented under various conditions of the quantity of human activity and closed space capacity. As a result, 40W PV system and 120 pieces of thermoelectric module achieved 89.5% of the comfortableness target for a person. Consequently, it is sufficiently possible to construct a comfortable habitation space with Ceiling Radiation Cooler in the future.

KEYWORDS: PMV (Predict Mean Vote), PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied), Ceiling Radiation Cooler, Thermoelectric Modules

概要

近年，家庭用エアコンやコンピュータ等の普及により電力需要は年々増加している。それに伴い資源エネルギーの枯渇問題や環境問題等はますます深刻になっている。そこで太陽エネルギーを用いて，効率的に冷房する事で冷房負荷を軽減するため筆者らは，太陽電池モジュールと熱電素子モジュールによって構成した，輻射冷房パネルとを組み合わせた光・熱複合パネルの開発を目的とした研究を行なった。

本実験は，装置内に設置したポータブル PMV 計(AM－101)により，閉空間内の冷房時の快適性を PMV(予想温冷感申告)，PPD(予想不満率)といった温熱環境指標により予測及び，評価した。そのとき活動量や閉空間容量を変化させた。取得した特性をもとに太陽電池を用いてのシミュレーションをした結果，一人当たり太陽電池容量 40W，熱電素子 120 個で達成率 89.5%となった。このことから，冷房装置として将来十分快適な居住空間を作ることが可能であると思われる。

1．研究の背景と目的

本研究では,熱電素子(ペルチェ素子)により構成した輻射冷暖房パネルと太陽電池モジュールとを組み合わせた独立型の天井輻射冷暖房パネルの開発を目的にしている。図1はその概念図である。このパネルの特長として次の事項が挙げられる。

①二物体間の温度差により発生する輻射と対流により熱伝達を行なうため効率よく冷房することができる。
②電源に太陽電池を利用しているため、昼間における電力のピークカットに貢献できる。
③端子間の極性を反転させることで容易に冷暖房を切り替えることができる。

これまでに太陽電池モジュールによって駆動する屋外実験装置を製作し動作実験を行ってきた。その結果，冷房時快適に生活できると報告されている 22℃の冷面温度を達成している[(1) (2)]。しかし，実際は湿度や風速、人体活動量などの影響を受けるため冷面温度が達成されるだけでは快適であるとするのは評価として不十分である。そこで本研究ではこれらの影響を考慮できる評価関数として提案されている PMV(予想温冷感申告)，PPD(予想不満率)といった温熱環境指標[(3)]により閉空間の快適性を実験結果に基づいて評価した。

2.実験の方法及び結果

家や部屋といった広い空間(図1)を冷房する際の快適性を評価するために図2のような屋内模擬実験装置を製作し，基礎的な実験を行った。屋内模擬実験装置と屋外実験装置の諸元について表1に示す。

屋内模擬実験装置内にポータブルPMV計(AM－101)を設置し,閉空間内のPMV,PPD，グローブ温度などを測定し快適性を評価する。本実験装置は電力のピークカットを目的にし設計しているため夏期の日中に最も冷房を使用すると考えられる事務所での利用を想定し，着衣量を 0.75clo(ショーツ・シャツ・ズボン・ソックス・靴)，代謝量(met)を事務作業時の 1.2 または 1.4 とした[(3)]。ここで,PMV･PPDの関係を表2に，さまざまな活動の代謝量，衣服の着衣量をそれぞれ表3，4に示した。

屋内模擬実験装置内にポータブルPMV計(AM－101)を設置し,閉空間内のPMV,PPD，グローブ温度などを測定し快適性を評価する。本実験装置は電力のピークカットを目的にし設計しているため夏期の日中に最も冷房を使用すると考えられる事務所での利用を想定し，着衣量を 0.75clo(ショーツ・シャツ・ズボン・ソックス・靴)，代謝量(met)を事務作業時の 1.2 または 1.4 とした[(3)]。ここで,PMV･PPDの関係を表2に，さまざまな活動の代謝量，衣服の着衣量をそれぞれ表3，4に示した。

図3に投入電力を徐々に増大させながら快適条件PMV=0を満たすまで冷面温度特性を取得したときの一例を示す。これと同様に湿度及び内気温度を変化させて繰り返し実験を行なった。その結果，met=1.4のとき冷面温度21℃で，met=1.2

のとき冷面温度 23℃で PMV=0 にできることが分かった。同様に met=1.2, PPD=10% では快適な冷面温度は 24°C であった。これらの結果を表 5 に示す。
ここで屋内模擬実験装置内の閉空間の構造を考えたとき冷面面積に比べ非常に高さのある造りになっていることがわかる。この冷面面積と高さの比を改善することでさらに目標冷面温度を高く設定できるのではないかと考えた。そこで床面を約 0.12m 上げることにより閉空間容量を 0.0864m^3 から 0.0691m^3 とし，空間比を 6：25 から 3：10 にして冷面温度特性を再取得した。このとき，met=1.4 では冷面温度 25℃で PPD=10%にできることがわかった。その結果を図 4 および表 6 に示す。

図 4 は PPD=10%を満たす平均冷面温度をプロットしたものである。図 4 が示すように屋内実験を通じて快適条件を満たす平均冷面温度は開始時の湿度にあまり依存しないことが分かった。

3. 太陽電池モジュールによる駆動と快適性の再評価

前章での屋内実験の結果をもとに，屋外での太陽電池モジュールによる駆動と快適性の評価を試みた。そこで，本学1号館屋上(60m)に太陽電池モジュール(24W)によって動作する天井輻射冷房パネルを設置した。表7に使用した太陽電池モジュールの仕様を，図5に屋外実験装置の外観図を示す。以下，快適条件を満たす冷面温度の達成率は
次式を用いて評価する。

$$\text{達成率}=\frac{\text{目標温度}(T_t)\text{を満たした時間}}{\text{太陽電池による駆動時間}}\times 100\ [\%]$$

この屋外実験装置を夏期 3 ヶ月間(7，8，9 月)について駆動させた。このときの平均日射量，平均冷面温度，平均冷面温度差及び達成率(T_t＝25℃)を図 6 に示す。同図より夏期 3 ヶ月間における 9-15 時の平均日射量は 470.3Wh/m^2，平均冷面温度差は 11.4℃，平均外気温度は 36.6℃，達成率は 43.8%であった。

達成率がこのように低い原因は，屋上で測定した平均外気温度が 36.6℃と高い値であったためであると考えられる。そこで METPV の気象データ(9-15 時の平均外気温度 26.3℃)を用い，天井輻射冷房パネルを夏期 3 ヶ月間に駆動するシミュレーションを行った。また太陽電池の容量を変化させたときの達成率を求め，それに伴う余剰電力量を算出した。結果を図 7 に，シミュレーション方法を図 8 に示す。

同図より実測したときの 4 分の 1 の太陽電池容量 6W で 62.2%の達成率を得ることができた。さらに達成率を上げるため，DC/DC コンバータを仮定し太陽電池の最大出力の 90%を常に熱電素子に供給できるものとし，再度シミュレーションを行った。図 7 にその結果を示す。同図より太陽電池容量 4W で達成率 89.5%を得られることが分かった。また，このときの余剰電力量は 906.7Wh であった。

$$T = (T_a + 273) + 0.03 \times Irr \quad \cdots (1)$$

$$I_p = \frac{V_p}{R} \quad \cdots (2)$$

$$I = I_L - I_o\left\{\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1\right\} \quad \cdots (3)$$

$$I_L = 0.00076 \cdot Irr\{1 + 0.001(T - 298)\} \cdots (4)$$

$$I_o = C_o \cdot T^3 \exp\left(-\frac{qE_g}{nKT}\right) \quad \cdots (5)$$

I ：太陽電池の出力電流
V ：太陽電池の出力電圧
I_L ：光誘起電流
I_o ：ダイオードの飽和電流
q ：電子の電荷量(1.6×10^{-19})
n ：ダイオード因数(1.3)
k ：ボルツマン係数(1.38×10^{-23}J/K)
C_o ：飽和電流温度係数(15)
E_g ：エネルギーギャップ(1.13eV)
T ：セル温度

4.まとめ

本研究では屋内模擬実験装置により湿度，内気温度等を変化させたとき事務作業時に快適となる冷面温度特性を測定し考察した。その結果以下のことが明らかになった。

(1)屋内実験の結果，met=1.2のとき冷面温度が24℃でPPD=10%にできることが分かった。また，床面を約0.12m上げるとmet=1.4のとき冷面温度25℃でPPD=10%にできることが分かった。
(2)太陽電池モジュール(24W)によって屋外実験装置を夏期3ヶ月間(7-9月)駆動させた結果，目標冷面温度25℃において達成率は43.8%であった(9-15時の平均外気温度36.6℃)。
(3)METPV気象データ(9-15時の平均外気温度26.3℃)を用い，夏期3ヶ月間屋外実験装置の駆動シミュレーションを行った結果，太陽電池容量6Wで62.2%の達成率を得ることができた。
(4)DC/DCコンバータを仮定し，太陽電池最大出力の90%を常に熱電素子に供給できるものとしてシミュレーションを行った結果，太陽電池容量4Wで達成率89.5%を得ることができた。
(5)事務所に設置する冷房装置として高さ2.5mならば冷面面積0.75m^{2}に120個の熱電素子を用いて目標の冷面温度(25℃)に対し太陽電池容量40Wで十分実用的である。

5．研究成果

(1) 町田 諭・谷 辰夫：光・熱複合パネルの冷却特性２，太陽/風力エネルギー講演論文集，No.41 (1999.11)
(2) 町田 諭・松永 洋一・山岸 隆之・谷 辰夫：光・熱複合パネルの冷却特性 日本太陽エネルギー学会誌 vol.26, No.4 p.60～66 (2000.7)

6．参考文献

(1)町田諭・谷辰夫：「光・熱複合パネルの冷却特性2」，太陽/風力エネルギー講演論文集，No.41（1999.11）
(2)葉山成三：「天井冷暖房のすすめ」，筑摩書房，pp.118-119（1990.9）
(3)空調調和・衛生工学会：「空調調和衛生工学便覧 第12版」，空調調和・衛生工学会，pp.467-471(1997.12)

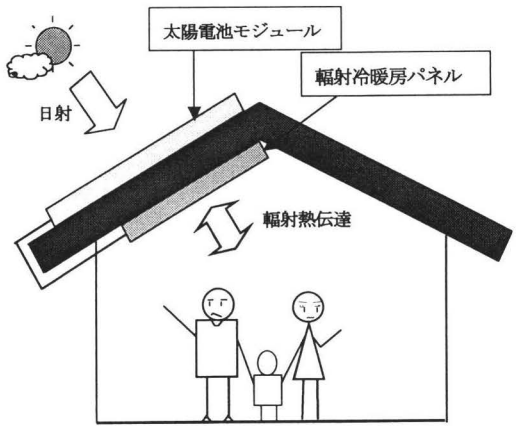


図１　概念図

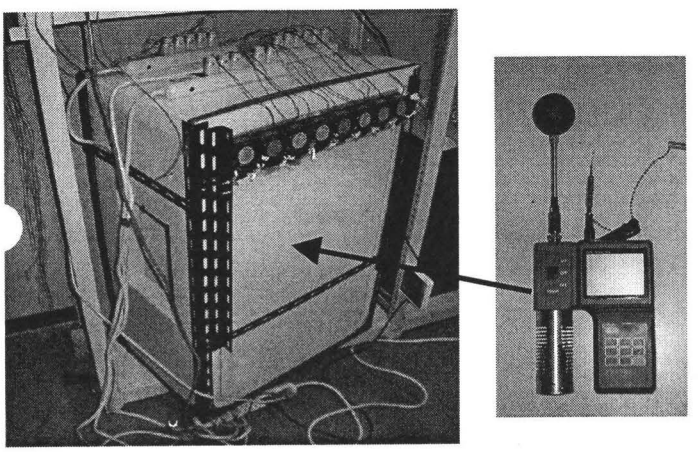


図２ 屋内模擬実験装置

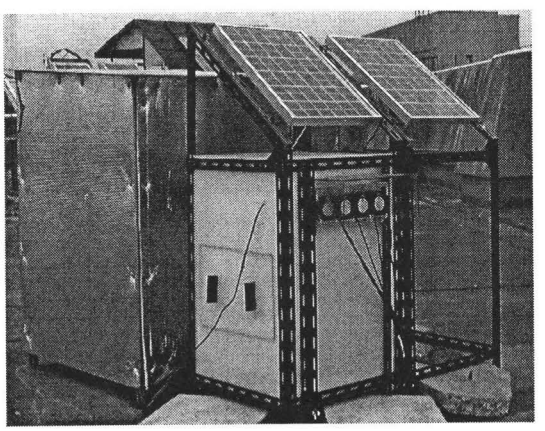


図５ 屋外実験装置

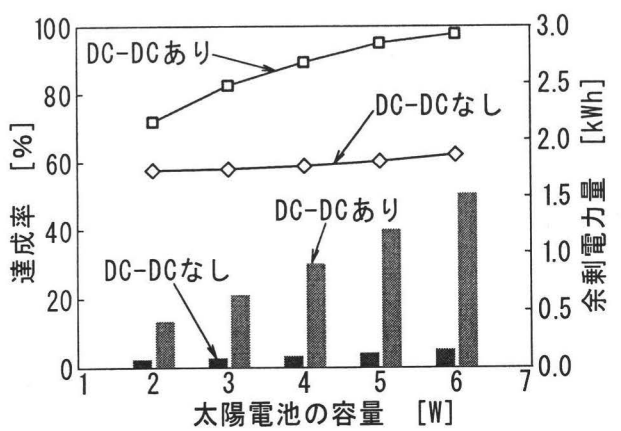


図７ シミュレーション結果(T_t=21℃)

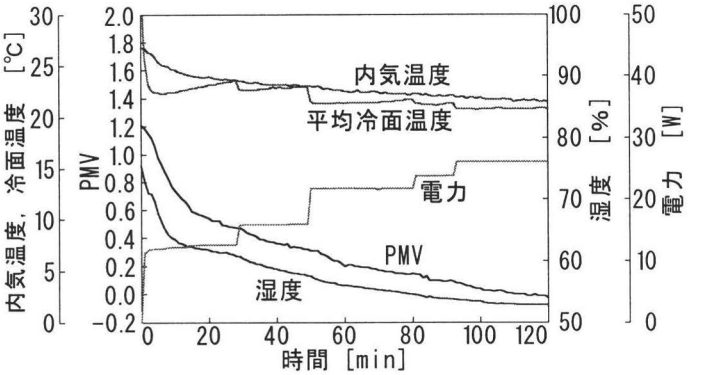


図３　測定例(met=1.4)

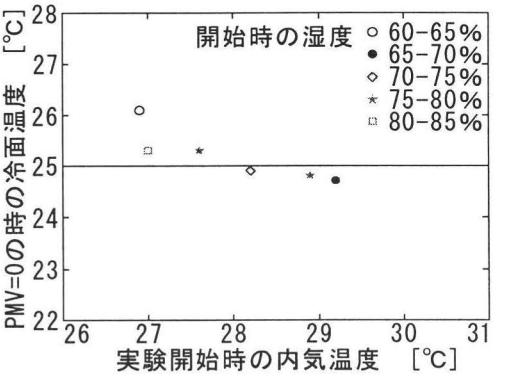


図４　PPD=10%時の平均冷面温度
(met=1.4，空間比３：10)

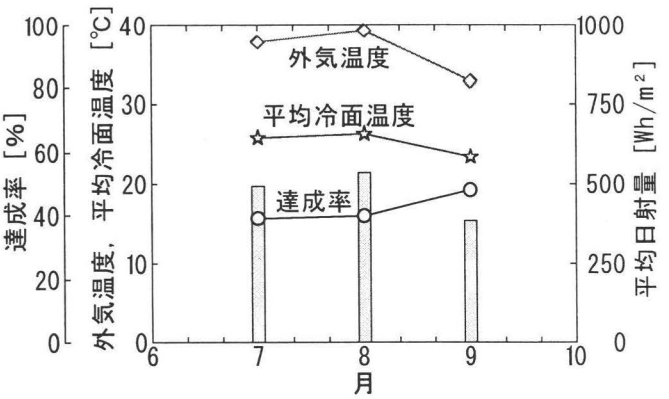


図６ 夏期３ヶ月間の実験結果
(T_t=21℃)

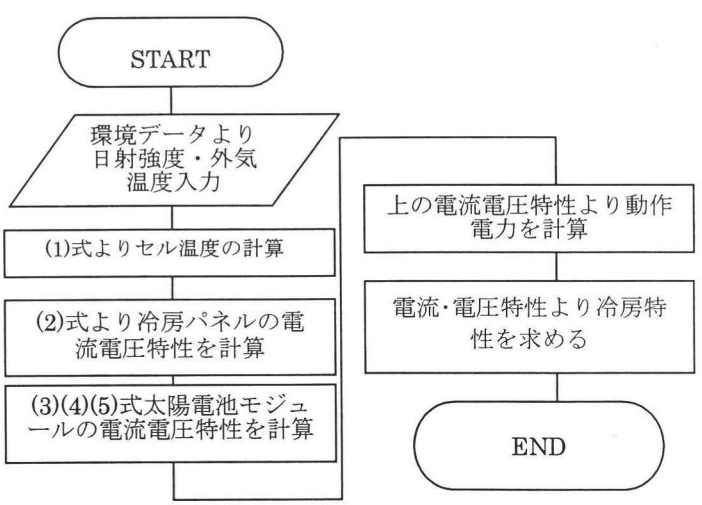


図８　フローチャート

表 1　屋内模擬実験装置と屋外実験装置との比較

	屋内模擬実験装置	屋外実験装置
高さ	0.6 m (0.48 m)	0.4 m
冷面面積	0.144 m^2	0.072 m^2
閉空間容量	0.0864 m^3	0.0288 m^3
空間比	6：25（3：10）	9：50
熱電素子数	24	12
ファンの個数	16	8

空間比＝
冷面面積[m^2]：高さ[m]

表 2　温熱環境指標

PMV	PPD	温冷感
+3	99%	暑い
+2	75%	暖かい
+1	25%	やや暖かい
0	5%	快適
-1	25%	やや涼しい
-2	75%	涼しい
-3	99%	寒い

表 3　活動の代謝量

活動	met
安静状態	0.8
安座	1.0
椅座事務	1.2
起立事務	1.4
立作業	2.0
テニス	4.0

表 4　衣服の着衣量

衣服	着衣量 [clo]
裸体	0
水着	0.1-0.2
半袖にズボン	0.5
長袖にズボン	0.7
スリーピース	1.0

表 5　実験結果(冷面と床の高さ 0.6 m)

met	快適条件	目標冷面温度
1.4	PMV=0	21℃
1.2	PMV=0	23℃
1.2	PPD=10%	24℃

表 6　実験結果（冷面と床の高さ 0.48 m）

met	快適条件	目標冷面温度
1.4	PMV=0	23℃
1.4	PPD=10%	25℃

表 7 太陽電池モジュールの仕様

分類	多結晶 Si 太陽電池
寸法	308×400mm
直並列数	1 並列 36 直列
最大電力	12.1W
最大動作電流	0.72A
最大動作電圧	16.8V
短絡電流	0.76A
開放電圧	20.5V
変換効率	12.9%

禁 無 断 転 載

第8回（平成11年度）研究助成成果報告書（Ⅰ）

2002年1月吉日

発　行　財団法人トステム建材産業振興財団
〒136-8535 東京都江東区大島2丁目1番1号
トステムショウルーム東京7階
電　話　03－5626－1008
FAX　03－5626－1033