第１回（平成４年度）

助成研究成果報告集

1995年１月

財団法人

トステム建材産業振興財団

第１回(平成４年度)

助成研究成果報告集

1995年１月

財 団 法 人

トステム建材産業振興財団

巻　頭　ご　挨　拶

この度、私共の財団が一昨年発足して初めて行ないました助成による各種研究の成果報告をいただき、ここにそれらをまとめて、第１回助成研究報告集を発行する運びとなりました。

発足した初年度は８ヵ月しかなく、募集期間も短かかったにも拘らず、50件にのぼる応募をいただきました。直ちに選考委員会を開催して選考を行ない、そこで選ばれた13件を理事会で採択いたしました。

今ここに、それぞれに有意義なご研究の成果報告をいただき、いささかなりともお役に立てましたことは、誠に嬉しい限りであります。今後とも各方面より多数のご応募をいただき、21世紀へ向けての住宅・建材産業の課題に応えるご研究に貢献できれば誠に幸いと存ずる次第です。

このような助成ならびにその研究報告集の発行その他、財団事業のより良い運営を図っていきたいと思っておりますので、よろしくご指導、ご鞭撻のほど、お願い申し上げます。

以上

理事長　潮　田　健次郎

は　し　が　き

第１回選考委員会は、昨1993年２月25日に虎ノ門パストラルにおいて開催し、応募50件の中より、13件を選考しました。

財団の募集基準と住宅建材業界の現代的課題という観点から、１件ごとに各委員相互に、意見を交換しつつ審議を進め、取りまとめたものであります。

ここに収録しましたのは、研究の完了した11件で、あとの２件は２～３年に亘る研究で、まだ完了しておりませんので未収録となっております。これらの研究は、いずれも住宅・建材の改善、向上に意義のある提案や実験の成果でありますが、これらを通じて、関連するいろいろな課題がより広く、深く論議、研究され、住宅・建材産業の発展の一助ともなれば、大変喜ばしいことであります。

今回は財団設立直後の初めての募集でしたが，期待以上の多くの応募をいただき、多くの興味あるテーマに接することができました。

研究内容としては、やや高性能新建材関係、省エネ・高機密・高断熱関係、景観コミュニティ関係が多かったようにも感じられますが、全体として、分類の仕方にも関係がありまして、かなり多岐に亘っておりました。一方、大学生、大学院生、その他若い研究員の方の論文応募は僅か１件しかなかったことは残念でありまして、今後積極的な応募を期待したいところであります。

以上

選考委員長　石　井　威　望

目　次

巻頭ご挨拶
はしがき

第1部　調査研究

1．住宅地景観の画像解析と景観認知の関係に関する研究
(92-03)
東京大学工学部助教授　浅見　泰司 …… 1

2．住宅廃材（建材）の再利用に関する調査研究
(92-14)
(株)三菱総合研究所産業技術部
第二産業技術研究室室長　内海　和夫 …… 5

3．床表面仕上げ材材質の影響なども考慮した快適な床暖房方式に関する研究
(92-11)
東京大学工学部教授　鎌田　元康 …… 41

4．Lic1を含浸させた無機質系吸放湿材による涼房と調湿用建築材料の研究開発
(92-02)
早稲田大学理工学部建築学科教授　木村　建一 …… 49

5．防火戸の中温および高温時における遮煙性能試験方法の開発
(92-13)
(財)日本建築総合試験所環境試験室主査　倉橋　岩夫 …… 57

6．耐火試験炉の標準化に関する研究
(92-06)
(財)建材試験センター中央試験所
防耐火試験課長　斎藤　勇造 …… 93

7．薄肉強靭鋳鉄を応用した建築用排水継手の軽量化
(92-01)
岩手大学工学部材料物性工学科教授　堀江　皓 …… 111

8．住宅における床仕上げと高齢者の歩行特性との関係に関する研究
(92-09)
東北大学工学部建築学科教授　三橋　博三 …… 117

9．高気密住宅対応型の各種換気システムに関する性能実測とその評価
(92-08)
東北大学工学部建築学科教授　吉野　博 …… 121

第2部　交流・協力

1．日露間の建築デザイン教育活性化のための研究ならびにシンポジウムの開催
(92-12)
芝浦工業大学工学部教授　国際交流センター長　足立格一郎 …… 149

2．建築材料、住宅機器等の国際標準化機構（ISO）との交流及び協力
(92-05)
(財)建材試験センターISO/TAG8等国内検討委員会委員長
宇都宮大学工学部建築学科教授　上村　克郎 …… 153

第 1 部

調 査 研 究

1. 住宅地景観の画像解析と景観認知の関係に関する研究

東京大学工学部助教授
浅　見　泰　司

1. はじめに

近年、景観に対する関心が高まり、市街地景観を対象とする研究が増えてきた。既存の景観研究の多くは、景観を我々がどのように評価しているかを調べている。特に景観の物的構成とその評価をアンケートで計量し、その関係を調べるものが多かった。ところがこれらの研究では、何に着目してそのような評価を下したかは分からないまま、景観の物的特性とアンケート結果との関係を分析していたことになる。また、近年の画像処理技術の発達に伴い、市街地景観を画像処理して分析する研究が出されている。ところが、非常に技術的な指標による解析に終始するものが多く、画像処理結果と景観認知との関連を充分に吟味した研究はほとんどない。そこで、本研究では、被験者に言葉でなく図で景観を表現してもらうため、景観をスケッチしてもらうという方法で、①景観のどのような要素に着目する傾向があるのかという、人間の景観認知特性を分析し、また、②画像処理結果と比較して、特にエッジ強度と認知強度の関係を調べた。

2. 方　法

住宅地景観として、集合住宅地として、多摩ニュータウン6枚と、戸建て住宅地として、佃島の長屋、府中、平塚、唐木田、各1枚を選定した。撮影した白黒写真は、白黒濃淡画像データに変換した。これをSobelの差分型オペレータを使用して、エッジ要素の抽出を行った。スケッチは輪郭線で描かれており、輪郭線についての分析に対応できる。写真の提示方法は検討の結果、1枚につき30秒間写真を提示し、2分間スケッチを行うことにした。被験者は100人とし、合計1000枚のスケッチを得た。被験者には、重要だと思われる順にスケッチするように指示した。

3. 認知強度と輪郭線の性質の分析

分析対象として、画像処理によるエッジ要素抽出で画素をエッジ強度の大きい順に20％プ

ロットした画像から明瞭に判別でき、かつスケッチから混同なく見分けられる輪郭線を選び、合計245本抽出した。スケッチに対象の輪郭線が描かれていればそれをカウントし、100人の合計をその輪郭線を認知した人数とした。(以後、知覚度(%)と呼ぶ。)

明瞭な輪郭線は認知されやすく、その結果スケッチにも現れやすい可能性がある。そこで、客観的な明瞭さを表す指標として2つのエッジ強度を用いた。すなわち、写真中の輪郭線のエッジの強度を表す指標として、エッジ強度をすべて足しあわせた値(総エッジ強度)とその長で除した値(平均エッジ強度)を用いた。

被説明変数を知覚度、説明変数をエッジ強度(総エッジ強度、または平均エッジ強度)、輪郭線を属性別に分類したダミー変数として重回帰分析を行った。重回帰分析を変数を変えていくつか行った結果、説明変数としてのエッジ強度が平均エッジのときではt値が有意となるものがなく、総エッジ強度のときはt値が有意となり正の相関が見られた。そこでこの後の分析は総エッジ強度を用いて行った。

1) 方向別分類と知覚度

輪郭線の線素の方向による認知の違いの有無を調べるために、垂直方向、水平方向、奥行き方向の3方向に加え、その中間である垂直・水平方向、垂直・奥行き方向も加えた5分類のダミー変数を説明変数として、重回帰分析を行った。その結果、t値が有意となるものはなかった。このことから輪郭線は単純にその方向のみで認知強度が変わらないことが分かった。

2) 属する面の方向別分類と知覚度

輪郭線の属する面の方向による認知の違いの有無を調べるために、面の方向を、手前の面、側面、手前・斜めの面、奥・斜めの面、天井面の5つに分類し、それぞれのダミー変数を説明変数として、重回帰分析を行った。その結果、t値が有意となるものはなかった。このことから輪郭線は、その属する面の方向のみでも認知傾向が変わらないことが分かった。

3) 属する面の属性と知覚度

輪郭線の属する面の属性による認知の違いの有無を調べるために、面の属性を、壁、バルコニー凸、バルコニー凹、窓(出窓)、屋根、付属屋根、付属階段、空(背景の緑も含む)、地面(地面上の植栽、自動車も含む)に分類し、それぞれのダミー変数を説明変数として、重回帰分析を行った。その結果、t値が負で有意となったものは、バルコニー凸、バルコニー凹、窓、屋根であり、正で有意となったものは空であった。このことから建物の主要な外郭線でないものは認知されにくく、また空との境界つまりスカイラインは認知されやすいことが分かった。さらに輪郭線、面の方向のみでは有意な結果が得られなかったにもかかわらず、属性ではこのように有意となる結果が得られたことから、景観認知過程において、まず景観要素のもつ属性が何であるかを認知していることが明らかとなった。スカイラインは認知されやすそうだということが定量的に把握できたことは、それが知覚されやすいという前提で多くのスカイラインに関する研究がなされてきたことの正当性の裏付けになる。

4) 境界の状態と知覚度

輪郭線は見かけの面の境界として扱っているので、離れている、離れていないという2つの

場合がある。離れている場合を1とするダミー変数を用いて分析した結果、t値が8.142とかなり高い値を示し有意となった。このことからも景観の認知過程において、景観要素を輪郭線単独で捉えるというよりも、同じ属性をもつ1つのまとまりとして捉える傾向が強いことを示している。

上記の分析はすべて総エッジ強度と組み合せて分析を行ったが、総エッジ強度を説明変数に入れない場合でも結果に差はみられなかった。このことは総エッジ強度が、認知強度に与える影響は小さいことを示唆している。むしろ輪郭線の属する面の属性と境界の状態の方が認知過程における影響が大きい。画像処理により得られたデータのみでは認知強度を計るには不十分であることがわかる。

4. グルーピングの検証

景観の認知過程において明瞭な輪郭線であるか否かは問題ではなく、むしろ景観要素そのものを何であるか無意識のうちに認知しグルーピングを行っていると考えられる。そこで、どのようなグルーピングの傾向があるかを分析した。景観を知覚する際の景観要素のグルーピングの傾向を、どのような輪郭線が一緒に描かれているかを調べることにより明らかにする。このためにクラスター分析を用いて輪郭線を分類した。樹系図で連結が最大となる箇所で分類を行った。その結果、2通りの傾向が見られた。一つは輪郭線の写真中の大まかな位置によるもの、もう一つは建物を構成する主要な外形線と建物の付属物の輪郭線（内部の線）とのグルーピングである。更に細かいレベルでのグルーピングを分析した。

1）位置によるグルーピング

輪郭線が近い位置にある、もしくは左右対称の位置にあるもののグルーピングが見られた。輪郭線が近い位置にある場合は、スケッチする際に、近くのものから描いていくのでやむを得ない結果だろう。道路を挟んで両側に建物が並ぶ写真では、左側と右側とにグルーピングする傾向が強く見られた。

2）属性によるグルーピング

輪郭線属性が、グルーピングでもかなり影響を与えている結果となった。その結果の傾向は2通りに分類できる。すなわち、①1つの建物を構成するすべての輪郭線のグルーピング及び、その中の1つのオブジェクトを構成する輪郭線のグルーピング：②連続した景観要素が存在する写真で、1つの建物を構成するすべての輪郭線のグルーピングではなく、異なる建物であっても属性別に連続したパターンとしてのグルーピング。

3）線・面の方向別によるグルーピング

輪郭線の方向別、輪郭線の属する面の方向別にグルーピングがされているか分析してみた。その結果、線素がある方向に卓越した場合には、同じ方向毎のグルーピングが見られた。また、道路に面した面を構成する輪郭線は、グルーピングされやすい場合がいくつかあった。この結果は同じ属性を持つ輪郭線の場合なので、同属性のグルーピングのうち同性質をもつものがより近いクラスターを形成することになる。

2. 住宅廃材(建材)の再利用に関する調査研究

三菱総合研究所産業技術部
第二産業技術研究室室長
内　海　和　夫
(共同研究者)
同研究室研究員
小　林　靖　尚

はじめに

わが国では、一戸建て、集合住宅とも住宅ストックは他国に類を見ないほど急速に増加している。これにともなって、住宅の建て替え、リフォームの件数が増加、すなわち建材等の廃材が増加している。現在、これらの廃材のほとんどが廃棄されている。今後、地球環境問題等でリサイクルや素材（材料）の有効活用の意識が高まる中で、住宅建材についても各種の再利用の可能性が研究されはじめている。

本調査研究では、住宅建材の再整理と、他産業等で積極的に行われているリサイクル技術・施策の把握を行うとともに、住宅分野でのリサイクルへの対応の方法を検討する。
また、本調査研究の内容が今後の住宅産業の発展に資することを目的とする。

1. 住宅廃材の分類

住宅廃材の分類を行うためには、財として投入される建築材料の内容を把握しなければならない。また、住宅廃材の時系列動行を定量的に把握するためには、集合住宅と戸建て住宅を分離して検討することが望ましいと考えられる。これは、特に躯体部分に利用される材料に偏りがあるためである。

1.1　建築材料の分類

現在我々が建築材料として入手できるものの種類は非常に多様である。その外観・形態が異なるばかりでなく、性質や加工・組立上の諸条件が相違しており、これを一律に取り扱うことはできない。また、その性質のあるべき姿を検討し、応用の方法を体系的に把握するためにも、

材料を用途や種類に応じて区分し、整理することは重要である。

建築材料の分類方法には、おおむね以下の視点があり、統一した理念に基づいて細分類することが可能となる。

・材料の成分別分類

材料の化学成分や特性に基づいて、無機質系・有機質系に大別し、これをさらに細分類する。

・製造分野別分類

材料を自然材料・人工材料に分類し、人工材料については、金属・窯業・石油化学等の製造分野別に分類する。

・工事別分類

鉄筋コンクリート工事・左官工事・塗装工事等の施工段階における工事分類に基づいて、関連する資材を含めて分類する。

・部位別分類

構造体、屋根・壁・床等のように、使用する建築部位の条件や要求性能に基づいて分類する。

・機能別分類

構造材料、仕上材料、防水材料等のように、それぞれの材料に求められる一次機能に基づいて分類する。

しかしながら、調査研究を一貫して進める上では、一つの分類法に従って行うべきであるが、これらの分類法には、一長一短があり、一つの分類法に偏ってその特徴を考える場合、実用上不便であるばかりでなく、誤った理解を持つようなことにもなりかねない。

本調査研究では、実用的な面と定量的把握の面から、一般的に取り挙げられている分類体系に従う。

図1-1-1に住宅材料全般の分類を示し、図1-1-2、表1-1-1より分類が細かくなるプラスチック材料について体系的に把握した。

建築材料

- 鉄鋼材料
- 軽金属構造用材料
- 木材・木質材料
- 石材
- 粘土焼成材料
- 塗壁材料
- ガラス
- 仕上用金属材料
- ｺﾞﾑ・ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ材料
- 防水材料
- 繊維材料
- 塗料
- 吹付材料

出所）各種資料よりMRI作成

図1-1-1　住宅材料の大分類

プラスチック

- 熱可塑性樹脂
  - ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ (PE)
  - ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝ (PP)
  - 塩化ﾋﾞﾆﾙ樹脂 (PVC)
  - 塩化ﾋﾞﾆﾘﾃﾞﾝ樹脂 (PVCD)
  - 酢酸ﾋﾞﾆﾙ樹脂 (PVAc)
  - ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ (PS)
  - ABS樹脂 (ABS)
  - ｱｸﾘﾙ樹脂 (PMMA)
  - ﾎﾟﾘｶｰﾎﾞﾈｲﾄ (PC)
  - ﾎﾟﾘｱﾐﾄﾞ (PA)
- 熱硬化性樹脂
  - ﾌｪﾉｰﾙ樹脂 (PF)
  - ﾕﾘｱ樹脂 (UF)
  - ﾒﾗﾆﾝ樹脂 (MF)
  - ﾌﾗﾝ樹脂
  - ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ (UP)
  - ｴﾎﾟｷｼ樹脂 (EP)
  - ｷｼﾚﾝ樹脂
  - ｱﾙｷﾄﾞ樹脂

出所）各種資料よりMRI作成

図1-1-2　住宅材料関連のプラスチックの分類

表1-1-1　建築用プラスチック製品の形状別分類

単板	フィルム・レーザー	カーテン、スクリーン、テーブルクロス、防水フィルム
	タイル・シート	床および壁用タイルならびにシート、採光板、ディスプレイ
	厚板	ドア、テーブル板
積層板	普通積層板	床および壁タイル、テーブルおよびカウンタートップ化粧板、棚板、配電板
	合板・積板金属板	床および壁シート、屋根ぶき材
	サンドイッチ板	軽量壁板、扉、家具
成形品	小型成形品	食器、家具および建具付属品、バスルーム備品、電灯備品
	大型成形品	スカイドーム、椅子、バスタブ、便器、冷蔵庫、壁ブロック
	管・棒状成形品	給排水管、配電管、ダクト、目地棒、カーテンロッド、レール、雨どい
鋳造品	普通鋳造品	採光板
	多孔質鋳造品	保温および断熱材、スポンジ・マット、吸音材バスルーム備品
噴霧硬化品	—	補強壁板、屋根防水層、吹付仕上材・断熱材
液・糊状品	接着剤	工業用、建築施工用、家庭用
	表面塗装剤	各種
繊維	繊維	単繊維、紐、綿
	織物	壁布、カーテン、家具、日除け、敷物、壁掛け、幕

出所）建築材料要覧よりMRI作成

表1-1-2　副資材と具備すべき条件ならびにその種類

区　　分	具備すべき条件	種　　類
可塑剤	・柔軟性・じん性を付与する。 ・可塑化効率が良い。 ・揮発性・浸出性・移行性が少ない。 ・熱、光、薬品に対して安定である。 ・無臭・無毒である。	ﾌﾀﾙ酸ｴｽﾃﾙ類、りん酸ｴｽﾃﾙ類、脂肪酸ｴｽﾃﾙ類、ﾎﾟﾘｴｽﾃﾙ類、ｴﾎﾟｷｼ類、ｴﾎﾟｷｼ化合物、など
着色剤	・色調と着色に優れている。 ・分散性が良い。 ・熱・光に対して安定である。 ・移行性を有しない。 ・製品の性質・性能を劣化させない。 ・毒性がない。	ｺﾊﾞﾙﾄﾌﾞﾙｰ、ｶﾄﾞﾐｳﾑ、ｶｰﾎﾞﾝﾌﾞﾗｯｸ ﾅﾌﾄｰﾙ、酸化ｸﾛﾑ、ｱｿﾞ類、など
安定剤	・成形の際の熱や使用中の熱による熱分解を抑制する。 ・酸化反応の開始を抑制し、あるいは活性な酸化生成物である高分子過酸化物を不活性にする。 ・製品に当たる紫外線をしゃへいするかあるいは吸収し、化学的に関与しない。 ・耐熱性に優れる。 ・毒性がない。	ｶﾄﾞﾐｳﾑ系・ﾊﾞﾘｳﾑ系・鉛系、ｶﾙｼｳﾑ系・芳香族ｱﾐﾝ、有機亜りん酸塩類、ﾋﾄﾞﾛｷｼﾍﾞﾝｿﾞﾌｪﾉﾝ類、ｻﾘﾁﾙ酸ｴｽﾃﾙ類、ｱｸﾘﾛﾆﾄﾘﾙ誘導体類、など
充てん材	・物理的性質・化学的性質の改善などの充てん効果を十分に発揮する。 ・均一分散が容易である。 ・樹脂および副資材の相溶性を阻害したり流動性に影響を与えない。 ・熱・光・薬品などに対し、十分な抵抗性を有する。	炭酸ｶﾙｼｳﾑ、微粉けい酸、微粉ﾀﾙｸ・粘土、雲母・けいそう土など
補強材	・強度・剛性・耐衝撃性などの補強効果を十分発揮する。 ・補強材と樹脂の接着は強固である。 ・補強材自体が耐久性に優れる。 ・均一分散が容易である。	ｶﾞﾗｽ繊維・合成繊維・金属繊維 石綿・ｻｲｻﾞﾙ麻・木綿、紙、など

出所）建築材料要覧よりMRI作成

1.2　建築材料の発展

従来の建築生産は、木材・石材・粘土等を主要な材料とするものであり、建築材料の利用の方法は限られていた。コンクリート・鉄鋼・ガラス等も広い範囲にまでその応用が及んでいたが、製造技術の水準が低く、比較的堅実で単純なものになっていた。

しかし、新材料の出現と製造技術の発展は、建築材料の姿を大きく改めた。木材に代わって、木材加工品である集成木材・合板・繊維板・砕木板等の登場が挙げられる。粘土製品として、れんがの使い方や陶磁器タイルの用途拡大にはめざましいものがある。

コンクリートの利用形式は、AE剤・分散剤の登場によって一変したが、各種の軽量骨剤の出現は、コンクリート使用における品質性状を大きく変化させた。特に人工軽量骨材がもたらした影響はめざましい。また、工場生産方式の普及は、プレキャストコンクリート部材による新しい応用の幅を広げた。早強セメント・超早強セメントを多用する機会も増大しているし、さらに、各種の混合セメントの普及もめざましい。

鋼鉄材料の利用の拡大は、圧延技術の進歩によるところが大きい。軽量形鋼などの薄鋼板、厚さ25mmを越す極厚鋼板等、それぞれの利用面は異なるが、建築材料として鋼鉄製品の新分野をいずれも開拓した。鋼管やH型鋼の普及もめざましい。構造用鋼材には高張力鋼・溶接構造鋼・耐候性鋼等の登場があり、また特に耐蝕性を問題とする分野においてはステンレス鋼・耐海水鋼等が出現している。亜鉛めっき鋼板・着色鋼板・ほうろう等の非構造材として利用されるものも多い。

建築用非鉄金属材料は、銅および同合金が主流であった。しかし、アルミニウムおよび同合金、亜鉛合金等の軽金属がもたらしたものは大きい優れた比強度・耐蝕性を特徴として、サッシ・カーテンウォール部材、各種の仕上げ材料として飛躍的に発展を示した。

ガラスの利用も多様化した。板ガラスを用いるにすぎなかったものが、吸熱ガラス・熱反射ガラスをはじめ、合わせガラス・強化ガラス・複層ガラス等各種の加工品が盛んに用いられている。これらは開口部ばかりでなく、壁の機能を大幅に改める契機となった。

しかし、建築材料のありかたを変貌させた最も大きな要因は、ゴム・プラスチックの出現であった。構造材として、非構造材として、あるいは成形品を用いた各種機能材として新しい分野を開拓した。また、塗料・接着剤・シーリング材・吹き付け材としてこれら高分子材料は多様な用途を生みだし、建築生産の工業化を促進する大きな推進力となった。

建築需要の量的な拡大とともに、新しく登場した各種の建築物の中には、居住者に関連して音・熱の絶縁の面において、多くの研究が重ねられた。環境工学の発達とともに、材料の使用法も変貌し、施工技術の上に多くの変革を招いた。また、防水・防湿の理念を全面的に改める動機ともなった。

1.3 建築生産の変貌

あらゆる生産活動は、行政的・経済的ならびに社会的な諸要因の影響を受け、またその産業が持つ市場（建築市場）の性格や、使用する諸資源（材料・労働力）、生産手段という技術因子によって左右される。建築生産についていえば、建築需要の急激な増大と、その質の変化、生産面において生じた幾多の問題の克服を目ざして、大きな変貌が余儀なくされた。

従来から建築生産は、生産物が地上に固定し、耐久性の点から見てライフサイクルは極めて長い。建築物の用途や規模が、消費主体によって異なる。建築需要は地域的に分散し、個別性が強く、注文生産とならざるを得ない。このため、一般に製品市場とは異なる建築生産の特質を持っており、建築生産を単一化したり、経営を専門化することが阻害され、施工技術の発達は極めて低いものに制約されていた。そして、建築生産を支えたのは、多数の建築労働者の手作業を前提とする労働集約型の生産方式であった。

しかし、第二次大戦後30年にわたる需要の動きには、目ざましい特徴がある。特に高度経済成長を達成した時期における需要の伸び率は、世界の頂点を示す驚異的なものであった。

民間の基幹産業の発展、あるいは都市再開発にからむ建設投資、公共施設・公共住宅の建設

等の公共投資という需要構造の性格には、その時、その折の経済ならびに社会発展が大きな関連を持つ。この莫大な需要の進展は、建築産業のあり方に少なからぬ影響を及ぼした。

この需要に対しては、供給サイドの生産要素をなす、建築材料・建築労働者・工具および工事用機械類の三つの検討が求められた。すなわち、これら3要素の中で特に問題となったのは、建築労働者、特に技能工の不足である。すでに昭和30年代の初期から、この問題が顕在化し始めている。

しかし、この傾向はわが国だけの問題ではなく、第二次大戦後の世界各国が、一様に悩まされている難題である。建築労働者について、職場の不安定や、汚れる職業であるなど、幾多のことがらについて強い指摘がある。若令工の入職をはばむ要因は決してこれだけではない。特に高度経済成長期においては、多くの職種の建築労働者が、数十%に達する不足率を示した。そして、その状況は極限に達したといえる。

結局、労務対策はおのずから質よりも量に、焦点を合わせざるを得ず、労働者の技能水準は著しく低下した。それに加えて、建築生産に欠くことのできない建築資材の上にも大きな変化を生じた。豊富な資源と思われた木材、砂利・砂等の天然資源が枯渇し、有用資源の合理的利用が重要な課題となった。

さまざまな対策が話題となったが、結果的に選んだ道は、建築生産の工業化以外にはなかった。現場工程を可能な限り工場工程に移行して、能率のよい生産を実現させようとする工場生産化と、手作業を主体とした建設活動を可能な限り機械化させ、効率的な機械化施工を展開することが、この工業化の両輪をなした。

天然材料の枯渇が深刻なわが国において、前者は、未利用資源の開発、有用資源の利用を効率よく進めるための大きな課題となった。

労働者、材料という主要な生産要素の上に起こった大きな乱れに対応して、手作業は機械化の方向に推移し、これに適合する各種の新材料の開発や工場生産化が推進された。

新しい材料および技術が次々に取り上げられた。これらによって、一時的に生産性の増大がもたらされたが、労働者や技能が不在のまま進められた技術の改革であったため、労働者や資源の効率的な運用から著しくかけ離れた結果を生じた。無計画な工事用機械の利用は、建築業に大きな圧力となって加わった。

建築技能の本質は、材料の特性を理解し、いかに使いこなすかにあった。しかし、機械化施工の導入で、これによる生産を前提とする技能の見直しが必要となった。

建築材料のあり方についても、その生産性能が加工技術との関連において、問われることとなった。また機械化にあわせてプレフィニッシュ化・部品化も進展した。

1.4　建築材料の生産と流通

旧式の機械を利用し、品質の優れたものを作るには、多くの努力が要求された。技能の優れた職工を多数雇うことができた時には、それが可能であったが、産業界全体を取り巻く人手不足は建築材料界にも当然波及している。そればかりでなく、品質が優れた製品を、少ないばらつきで、かつ大量に必要とする事態に直面し、在来の製造技術による生産体制を根本的に検討しなければならなくなった。

進んだ海外の技術の積極的導入が行われた。またこの要望に合わせて、物まね手まねで試行錯誤を繰り返しながら、製造設備の改善・開発が展開された。

製造・加工の方法を従来とは違う、全く新しい構想で組み立てることも求められた。また原料から見直しを必要とすることもあった。品質変動を少なくするためには、計測管理体制確立の問題が起こり、徹底した品質管理が求められた。

建築材料の工業化進展の目標にそって、押出・積層成形等の二次加工の拡大が、建材生産の課題となった。めっき・着色塗装・真空蒸着をはじめ各種の表面処理技術の適用が、材料ごとに広範に行われている。建築材料として軽金属・ゴム・プラスチックの導入はこのような加工度を高める上で、大きな原動力となった。

このような材料生産をめぐる努力を通じて、新しい機能を備えた多くの材料が出現し、現場施工の省力化に大きな役割を果たした。建地素材の位置にとどまっていた材料の価値は、加工度の増大に伴って著しく高められた。しかし、半面において、新素材の開発には、需要者に直結した販路の確立が、常に大きな課題となった。

材料や部材の積極的な標準化・規格化が進められた。部品化・ユニット化が厨房設備、浴室関係設備を中心に行われた。これらの動きは、床・壁・天井・内部造作等のシステムの発展に、波及効果をもたらした。

かくて、建築材料は、砂・砂利、木材のような天然材料を主体とするものから、金属製品・窯業製品等の多種多様な人工材料を中心とするものに変わり、しかも加工度の高いものに変化した。工場における生産方式は、製品ごとに多岐となった、たとえば、鉄鋼材料においては、鉄骨部材に組み立てて使用する形鋼・帯鋼等がある。それは折曲げ加工や組立てが現場で行われる鉄筋とは資材の取扱い方・流通機構が全く異なる。

屋根ぶき用のめっき鋼板、鋼製サッシ、メタルラス等々、材料ごとに生産構造が異なり、それに応じて流通機構が別個に形成されていった。したがって、最終需要者たる建築業者に手渡されるまでの経路は、材料の加工形態や供給条件によっておのずから異なっている。

すでに述べたように、建築生産は需要の性格が複雑で現場施工が主体である。このため需要地は全国各地に分散し、かつ建築物の内容が、対象となる工事ごとに異なっている。

標準化による計画的生産を前提としても、需要量の季節変動は大きい。大規模工事もあるが、住宅・店舗などの規模の小さい需要がおびただしい。さらに需要者の性格として、大手の建設業者もあれば、零細工務店によるものなど、需要のパターンも広範である。したがって、一つの材料をとり上げても、需要の内容や条件が千差万別であることが普通である。

このような複雑な需給関係が前提となるので、建築材料の流通機構はおのずから多様なものとならざるおえなかった。

このため流通機構上の問題として、従来から次のことが指摘されてきた。

1）流通経路が多段階になるため、流通コストが高く、流通効率が悪い。
2）取扱う材料の種類・規模・寸法が異なるため、在庫・物流機能が不足している。
3）受注による一品生産が主であり、標準化された既製品を求めることになれていない。
4）消費者の要求や注文情報の伝達機能を欠き、需給を調節する機能が低く、価格の変動が大幅になりがちである。
5）建材卸売業の経営基盤が脆弱である。

しかし、建築生産は、すでに述べたように大きな変化を示した。すなわち、建築投資の増大に伴って、建築材料の流通量に相当な量が見込まれる。この量的拡大に効率よく対応する施策

が望まれている。

次に建築生産の工業化に伴う各種の材料開発や量産化が進み、部品化・ユニット化を目指す高度加工型の建材生産に対して、流通活動の迅速化・正確性が厳しく求められ、また材料メーカーとしても製品に合致した販路の確立が必要となった。

また、建材の生産も、従来大都市またはその周辺の地域に集中していたものから、全国に拡大した産業立地を専有するようになり、建材の流通パターンが大きく変化した。これに加えて、海外からの輸入材料の増加もめざましくなっている。

これらの事柄を背景とする経営的視点から、建材の流通機能を高度化し、流通業の生産性向上を果たすために、流通機構のシステム化が進められている。すなわち、受注・倉庫活動、配送業務等の物流に、必要とするロジィスティックな機能を統合し、全体として円滑な流れを可能とすることが、このシステム化の目標である。機構的には、新製品の導入をはじめ、生産段階の変化を直ちに受け入れることができる開かれたものとなった。

材料メーカーと流通機構を一体化した情報システムの設定によって、需要動向を的確に把握し、製品の開発目標のフィードバックなど、システム運営の効率化が意図されるようになった。

1.5　まとめ

以上（1.2～1.4）のことは全て廃棄物（リサイクル）という問題に深く関わりがある。住宅材料の生産や供給形態や流通が急速な変化をしているのに対して、廃材処理やリサイクルは近年やっと動きはじめたばかりである。

第2章では住宅材料の変化に対応して、材料がどのような機能を有しているか、また、廃材となってもどのような機能が残っているかに注目して分析を進める。

2. 建築廃棄物の現状と再利用の可能性

建築（住宅）工事から発生する廃棄物は、表2-1-1に示すようなものである。主なものは「建築汚泥」やコンクリート、アスファルトくずなどの「建築廃材」、そして「建築木くず」、「建設残土」さらに解体工事に伴って発生する「建設系混合廃棄物」である。なお、建設系混合廃棄物は、表2-1-2に示すような組成のものをいう。

日本全域において、最終処分場の残余容量は少なく、特に表2-1-3に示すように首都圏域は残余容量がないに等しい状況である。このことからも、建設廃棄物で再利用できるものは再利用しなくてはならない時期がきているといえる。平成3年10月施行の再資源化促進法では「コンクリート塊」「アスファルト塊」「木くず」「建設汚泥」の4品目について再利用が義務づけられている。

ここでは、再利用がしやすいと言われている「建設残土」と「建設廃材のコンクリート塊」についての再利用の促進について述べる。

表2-1-1　建設（住宅）工事から発生する廃棄物

分類		具体的内容
産業廃棄物	建設廃材	工作物の除去に伴って生じたｺﾝｸﾘｰﾄ破片、その他にこれに類する不要物 ｾﾒﾝﾄｺﾝｸﾘｰﾄ破片、ｱｽﾌｧﾙﾄ、ﾚﾝｶﾞ破片等
	木くず	建設業にかかわるもの（工作物の除去に伴って生じるものに限る） 木造家屋解体材
	汚泥	含水立が高く粒子が微細で泥状のもの 廃ﾍﾞﾝﾄﾅｲﾄ泥水、泥状土
	廃酸 廃ｱﾙｲｶﾘ	ｾﾒﾝﾄﾐﾙｸ廃液、機材洗浄廃液（公共水域に放流できるものは除く）
	廃油	重機等の交換廃潤滑油、ｱｽﾌｧﾙﾄ乳剤などの使用残滓
	廃ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	廃合成樹脂建材、廃塩化ﾋﾞﾆﾙﾊﾟｲﾌﾟ類、廃発泡ｽﾁﾛｰﾙ、廃ﾀｲﾔ
	ｶﾞﾗｽ陶磁器	ｶﾞﾗｽくず（板ｶﾞﾗｽ、空瓶）、、タイル、衛生陶器くず
	金属くず	鉄筋･鉄骨くず、金属加工くず、空缶類
一般廃棄物	木くず	型枠、足場材、大工建具工事残材
	紙くず	包装材、ﾀﾞﾝﾎﾞｰﾙくず、壁紙くず
	繊維くず	廃ｳｴｽ、ﾛｰﾌﾟ類
	その他	現場事務所、宿舎の撤去に伴う不要物（建具、寝具、風呂、畳、日曜雑貨、雑誌等）
残土		土砂は一般的には有用物として土地造成の材料として用いられるため「廃棄物処理法」が適用されてないが、建設廃材が混合oしている時や、含水率が高く泥状の時は産業廃棄物と判断されることがある。

出所）「日本機械学会講習会テキスト」1990よりMRI作成

表2-1-2　建設系混合廃棄物の組成

種類		廃棄物名	組成	
			容量（m2）	重量（m2）
産業廃棄物	建設廃材	ｺﾝｸﾘｰﾄ類	23.4　(18.8%)	27860　(52.8%)
		廃ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ	10.1　(8.1%)	1530　(2.9%)
	廃ﾌﾟﾗｽﾁｯｸ類	塩化ﾋﾞﾆｰﾙﾊﾟｲﾌﾟ	1.4　(1.1%)	217　(0.4%)
		残渣	13.1　(10.5%)	4390　(8.3%)
		鉄くず	18.5　(14.9%)	5670　(10.7%)
	金属くず	ｱﾙﾐﾆｳﾑ	0.5　(0.4%)	46　(0.1%)
		電線	1.3　(1.1%)	338　(0.6%)
		ｶﾞﾗｽくず	0.3　(0.3%)	131　(0.3%)
	ｶﾞﾗｽくず及び陶磁器くず	ﾌﾟﾗｽﾀｰﾎﾞｰﾄ	14.6　(11.8%)	5380　(10.2%)
一般廃棄物		耐火被覆	0.3　(0.2%)	25　(0.1%)
	木くず	木くず	19.4　(15.6%)	4910　(9.3%)
	紙くず	ﾀﾞﾝﾎﾞｰﾙ	15.9　(12.8%)	1270　(2.4%)
		紙くず	5.5　(4.4%)	1010　(1.9%)
合計			124.3　(100%)	52777　(100%)

出所）「日本機械学会講習テキスト」1990よりMRI作成

表2-1-3　最終処理場の残余容量と年間処理量

	一般廃棄物			産業廃棄物		
	残余容量	年間処分量	残余年数	残余容量	年間処分量	残余年数
	万m3	万m3	年	万m3	万m3	年
埼玉県	65	40	1.6	100	176	0.6
千葉県	212	44	4.8	1193	217	5.5
東京都	1663	223	7.5	2	334	0.005
神奈川県	621	66	9.4	436	358	1.2
合計	2561	373	6.9	1730	1085	1.6

注）・一般廃棄物については1986年度実績
・産業廃棄物については各都県の調査による
・残余年数は加重平均であり都県ごとに（残余容量合計）÷（年間処理量の合計）

出所）「日本機械学会講習会テキスト」1990よりMRI作成

2.1 建設残土再利用センターの建設促進

建設残土は、廃棄物処理法では廃棄物ではないとされているが、そのままでは再利用が困難なものもある。例えば粘性のある残土は、生石灰を投入し、粉砕し砂質に変えると再利用が可能となる。このような「建設残土再利用センター」を東京都では東京湾に建設し平成4年5月に稼働しはじめた。この再利用センターの機能は表2-1-4に示すように情報機能、ストックヤード機能、土壌改質プラント機能をもたせたものである。

そして、都の公共事業において、年間600万立米発生する残土を10年後には約200万立米に減量できるように再利用センターを活用する計画をたてている。このような再利用センターは全国的にも普及していくものと予想される。

表2-1-4 東京都建設残土再利用センター施設設計の概要

位置		中央防波堤内側埋立地		施設機能の概要
中央センター全体面積		7.96ha		
施設	情報ｾﾝﾀｰ	施設規模	鉄骨造２階建	再利用ｾﾝﾀｰの総合調整機関として、残土情報ｼｽﾃﾑを整備し、残土･工事定法等の収集、加工、提供により残土の流用促進を図るとともに、ｽﾄｯｸﾔｰﾄﾞ・土質改良ﾌﾟﾗﾝﾄの運用調整を行う。
	ｽﾄｯｸﾔｰﾄﾞ	対象土	流用可能な良質土	流用可能な良質土の有効活用を図るため、埋戻し土の仮置き等に利用する。
		年間処理量	38万m3／年	
		施設面積	3.06ha	
		主要施設	ｽﾄｯｸﾔｰﾄﾞ上屋×２棟	
	土質改良ﾌﾟﾗﾝﾄ	改良材	生石炭	発生土のままでは再利用できない残土を、改良材として生石炭を混合することにより、含水比を低下、粒度を調整しCBR値（突固め貫入量･･･土の支持力）を高め山砂相当の土質に改良する。
		年間処理量	14万m3／年×２基	
		処理能力	150t／時×２基	
		施設面積	2.79ha	
		主要施設	破砕解砕混合棟 ×２棟 製品分離棟 残土(原料土ﾔｰﾄﾞ) 原料土ﾔｰﾄﾞ上屋 ×４棟 改良土ﾔｰﾄﾞ 改良土ﾔｰﾄﾞ上屋 ×１棟	
	共有施設（出入口付近、管理用道路等）	施設面積	1.44ha	
稼動開始		1991（平成３）年度末		

出所）環境アセスメント：東京よりMRI作成

2.2　コンクリート塊の再利用促進

ビル解体などに伴って発生するコンクリート塊を再利用することで減量化する方法がある。これは、コンクリート廃材を粉砕機で砕き、道路の路盤材に使うというものである。破砕のサイズは4cm角や15cm角のもので、用途に応じてサイズは決定できる。

旧東京都庁舎もすでに解体し終えたが、約1500立米のコンクリート塊が排出された。そして、全て4cm角と15cm角に砕いて再利用した。

2.3　建設廃棄物の再生産工場の建設促進

民間の建設会社15社が共同で建設廃棄物の再生産工場を建設したが、これは廃棄物の再利用を高め、減量化をする目的である。

このような再生工場を建設することで、産業廃棄物の最終処分場の不足を解決することが可能となる。

3. 他産業にみるリサイクルの実際

ここでは、自動車と家電製品に焦点を当て、リサイクルの実態を把握する。廃棄物になったものを再利用する視点に加え、廃棄物にならないように各業界でどのような工夫をしているかを整理する。

また、各業界の対策の中で住宅産業に応用できる項目を抽出することを行う。

3.1 自動車産業

日本の自動車産業は自動車王国のアメリカを意識して、それに追い付こうと努力してきた。そのために「モデルチェンジ」を繰り返し、品質や安全性の向上、低公害化、省エネルギー化等に努めるとともに、トヨタの看板方式のような日本的な生産管理システム、最先端のロボット技術、現場作業員の徹底した教育などが集結して、世界一の生産量と性能を誇るようになった。

表3-1-1　リサイクルを前提とした自動車解体時の注目ポイント

目標	• 自動車、部品、補修部品などの耐用年数をできるだけ延ばす。解体性を良くし、部品を再利用あるいは素材として再生利用できるように開発、設計、生産する • 素材の再生利用を容易にするため、統一的にマーキングする • 再利用できる部品は補修部品として使い、再利用できない部品は素材として再生し、技術的に可能な限り自動車の生産に再び使用する
適用範囲	• 自動車、補修部品、アクセサリーなどの生産者もしくは輸入業者 • 自動車部品、補修部品、アクセサリーなどの販売業者 • 自動車の最終所有者
引き取り義務	• 自動車メーカーは最終所有者から自社ブランドの廃車を引き取ること • 適切な取引システムを構築すること。引き取り設備はディーラーの密度に一致する形で設立すること。処理業務を負う法人は存在するが、当該ブランドのディーラーがない地域では、最終所有者から廃車を回収する引き取り施設、あるいはシステムを最低一つ設けなくてはならない • 引き取りは無料で行う • 自動車の使用に必要な部品が取り去られている廃車、解体が技術的に不可能な事故車などは無料引き取りの対象から除外する
再生利用義務	• メーカーおよびディーラーは引き取ったすべての廃車、補修部品、アクセサリーなどを技術的に可能な限り、再利用または優先的に再生利用すること • 素材の再生利用を妨げるすべての燃料や部品は、最終処分者から引き取り後、除去し、環境に害がない形で処理すること。再利用できる部品及び素材として再生できる部品は、可能な限り解体しなければならない
再生利用目標	部品の再利用、または素材の再生利用は少なくても(表2)のレベルを達成すること
第三者への委託	メーカーとディーラーは第三者に再生利用を委託できるが、メーカーは廃棄物処理会社が廃棄物法と本政令の用件を満たすことを、正式な専門家の鑑定によって証明しなければならない
最終オーナーの義務	廃車の最終オーナーは、廃車メーカー、メーカーが委託した第三者、またはディーラーに引き渡さなければならない

出所）各種資料よりMRI作成

しかし、フォルクスワーゲン等のヨーロッパ各社はそのような方向を横目で見ながらも、できるだけモデルチェンジを避け、伝統と「合理主義」に徹して、優秀な車の生産を続けている。最近では後者の視点が大切であることが再認識されるようになってきている。EC諸国では自動車の完全な「リサイクルの義務化」をしようとしており、従来の日本やアメリカのような「使い捨て的姿勢」ではヨーロッパ市場への輸出は困難になると予想している。そのためにも、自動車の製品アセスメントとリサイクル姿勢の整備が不可欠になっているが、その具体的な方法を列記すると以下のようになる。

(1) 廃車のメーカー回収

ドイツでは1993年から無料回収とリサイクルを義務づけている。すでにBMWでは廃車の自社回収、リサイクルを決意して、1991年にイギリスでそのための工場を建設した。フォルクスワーゲンでも1991年からゴルフの廃車を無料引取りしている。日産もアムステルダムでヨーロッパで販売した製品の廃車を引きとって解体する事業を行っている。日本でも一部の自治体がメーカーに路上放棄自動車の引取りを要求しているが、メーカー自身が国内でそのような事業を行う機運はまだない。

(2) ライフサイクルの延伸

自動車を20年程度の寿命（物理的）にするために、消耗しやすい部品を補修したり、修理が容易に行えるようにしている。しかしながら、丈夫な重い素材を利用すると、車重が増加し燃費の悪化をもたらしかねないので、新たな新素材が必要であるとしている。

(3) モデルチェンジの自粛

自動車本体の全てのモデルチェンジを自粛するに越したことはないが、アタッチメント等の変更にとどめて、シャーシやバンパー等の基本部分の形を変更しないようにすると、コスト低下、パーツを原型のままで再利用できるとしている。

(4) 部品数の削減と共有化

常用者1台は約25000個の部品からできている。それは、同じメーカーの車の同じ用途でも、違った形状や性能であることが理由となっている。その部品数を削減し、同一の用途の部品はできるだけ共有すると、生産コストの削減、修理交換も容易となる。日産ではまずその部品数を30％削減することを目標として、設計をするように検討が進められている。

(5) 素材の変更

内装材には塩化ビニールが大量に使用されているが、それがシュレッダーダストの処理を困難にしていると考えられる。これをポリプロピレンに変更することも一つの改善で、各社がその方向に向っているようである。自動車エンジンのベルトには塩素含有率の高い塩素化ゴムを使用しているために、同等の強度の保証できるベルトの開発が必要とされている。さらに、鋼材や鋼板でつくられている部分をアルミ化することでもリサイクル率の向上が可能であるとされている。

(6) 部品への識別コードの表示

現状ではプラスチック製品に識別コードをつけても、シュレッダー工場ではその種類ごとに選別分離するような手間はできるだけ避けたい。しかし、将来それらを経済的に再利用できるとの期待は高まっている。

(7) 防風ガラスの回収再生

自動車のガラスは機能性フィルムをサンドイッチした割れにくい構造の物で、一時は廃物が熱帯魚の水槽等に再利用されていたが、その需要は僅かである。現在は、そのプラスチックの

カロリーを利用して、再度溶融再生する技術の開発が望まれている。

(8) その他

自動車をつくる段階から解体をすることを念頭において部品の規格化や取り付け設計を行うべきである。自動車業界では他の業界をリードする形で、リサイクルコンセプト等の創出を積極的に検討している。

表3-1-2　自動車メーカーのリサイクル取り組み事例

企業名	具体的取り組み
トヨタ自動車	・バンパー向け炭化水素開発 ・ルーブ、インナーラックに武田製薬工業の開発した繊維強化プラスチック(FRP)を採用 ・ルーブ向けに積水化学と共同でポリエチレン樹脂とガラス繊維の複合材を開発 ・神戸製鋼所と住友軽金属のアルミ材を採用したコンセプトカーを東京モーターショーに出展 ・下取り車の廃車処分を有償化(千葉トヨペット)
日産自動車	・三菱油化、三井石化、住友化学工業と共同で易リサイクル性PP使用の新バンパー材料を開発 ・ディーラーからのバンパー試験回収スタート ・シートのウレタン素材をカーペットの下敷として再生試作品の開発 ・ヨーロッパで廃車リサイクル事業に着手、アムステルダム部品センター内で解体作業
本田技研工業	・首都圏、甲信越の2地区でプラスチックバンパーを回収、リサイクル活動スタート ・プラスチックに付着した塗料を樹脂から分離する技術を開発、不良バンパーを室内空気を外部に排出する「エアアウトレット」に再利用 ・部品とボルト点数を大幅に減らしたバンパーを採用 ・1992年自動二輪車モデル商品から100g以上のプラスチック部品に種別記号付け ・東京モーターショーに出展、アルミ採用のリサイクルを展開
マツダ	・新車のプラスチック材料全体の80%に熱可塑性樹脂を利用、リサイクル性の向上を図る ・日本とドイツで廃車のプラスチック部品の回収、自動車用品として再生・廃車リサイクルの事業化 ・新車に防錆鉄板や熱可塑性樹脂を多用し、リサイクル性の向上を図る
ヤマハ発動機	・1992年自動二輪モデル商品から100g以上のプラスチック部品に種別記号付け ・再利用しやすい材料開発、易解体構造設計の研究
スズキ	・1992年自動二輪モデル商品から100g以上のプラスチック部品に種別記号付け
三菱自動車	・東京モーターショーに出展、アルミ採用のリサイクルを展開
BMW	・トランクの内張りに再生プラスチックを使用 ・リサイクル実験設備設置(ミュンヘン北部の組立工場) ・すべてのBMW車を引き取り、再利用する方針、1995年までに国内全域におよぶ廃車引き取りネットワークを構築する計画 ・1991年内に英国初のリサイクル工場を建設
ﾌｫﾙｸｽﾜｰｹﾞﾝ	・リサイクルの実験工場でプラスチック、金属等の見分け方を教え、リサイクル専門家の養成 ・1991年秋から発売の「ゴルフ」から廃車の無料引き取り開始
ボルボ	・廃車のプラスチック・金属部品の回収・再生の徹底回収・再利用率UPをめざす
ﾒﾙｾﾃﾞｽ･ﾍﾞﾝﾂ	・75%の部品がリサイクル可能な「ニューSクラス」モデル車を販売(メルセデス・ベンツ日本)
アウディー	・軽合金、合成樹脂を使用することにより車体の軽量化を図り、リサイクル性を向上させた新型車の販売開始
ルノー公団	部品納入車を廃車の回収に有効利用する、ディーラー網を利用した独自の廃車回収システムを整備 ・バッテリー、バンパー他にリサイクル可能な素材を使用
プジョー	・リサイクル技術を開発するための試験センターを設立 ・廃車回収センターにおける廃車の解体、プラスチックやゴムなどの部品の選別、回収を完全自動化

出所）環境庁リサイクル研究会資料よりMRI作成

3.2　家電業界

家電業界では、通産省の適切な行政指導もあって、1973年から、ごみとして市町村の施設に持ち込まれたテレビ、蛍光灯器具等のトランスを販売店などが協力して業界が自主的に分離回収することにしている。メーカーも廃家電製品の処理にある程度協力しなければならなくなり、1974年には家電製品等再資源化促進協会（現：家電製品協会）が設立された。当時は市町村に粗大ゴミ収集システムが定着しておらず、下取り販売が一般的に行われ、製品の販売が伸び始めていたので、今後、家電製品の廃棄物対策でメーカーが責任追求されかねないという心配があった。

(1) 家電メーカーの対応

1982年には「クリーン・ジャパン・センター」の実証プラントとして、市川に廃家電の破砕、再資源化プラントを建設し、その技術的検討を行った。しかし、その調査を通して回収コストが高くなること、分離した資源の売却で利益が少ないことが表面化したため、その後はむしろリサイクルに消極的になっていた。その路線で技術開発やシステム検討を進めていくと、製品アセスメントの模範的業界に発展するものと考えられる。

多くの自治体は、住民が排出する大量の廃家電製品に対処するために、粗大ごみ収集と破砕処理を公費で行わざるをえなくなり、家電メーカーはそれに賛同する形で、販売拡張を主眼においた戦略をとるようになった。

各家電メーカーのリサイクル取り組み事例を表3-2-1に示す。

表3-2-1　家電メーカーのリサイクルの取り組みの事例

具体的取り組み	企業名
松下電器産業	・「松下製品アセスメント」を実施。ゑ分解しやすさ、ゐ製品の省資源化、ヰ材質表示、ヱ原料化、ヴ安全性あんど9分野について、リサイクル法の主旨にあっているかどうかを評価する基準を計40項目にわたって明文化。 ・アセスメント適応製品として、易分離化設計の小型テレビと全自動洗濯機を発売、樹脂部品の材料名表示、梱包材の減量も同時に進める。 ・「製品廃棄物委員会」を設置。解体しやすい製品設計やリサイクル可能な材料利用などを検討。商品設計、代替材料の検討、回収ルート、梱包材の省資源化の4つのテーマごとに専門部会で取り組む。 ・「環境技術研究所」設立。家電リサイクル技術などの研究、開発を行う。 ・「資源リサイクルセンター」で、、再生可能な中古家電の修理に関する技術提供。
東芝	・1990年4月に「地球環境会議」を設置。10月からはゑ分離可能、ゐ再資源化、ヰ包装合理化など26項目にわたって再資源できるかどうか、規制値を超えていないかどうかなど、設計、試作、量産モデルの3項目でアセスメントを実施。 ・アセスメント適用製品として、材質名表示部品による分別・回収容易な製品(ルームエアコン)発売。 ・梱包材としての発泡スチロールの使用量減量。市場に出回った梱包用段ボールの回収・再資源化の方策も検討。
日立製作所	・中間処理実施を関東に4カ所建設。自社工場および関連会社から排出された産業廃棄物を処理し再資源化を促進。ごみ処理時に出る排熱は工場の暖房や給湯に活用。 ・易再資源化製品として、洗濯槽にステンレス採用の全自動洗濯機発売。
三洋電機	ニッケル・カドミウム(ニッカド)電池の回収をアメリカで開発。ニッカド電池は1991年以降でリサイクル法の指定を受ける見通し。 ・機種によって順次梱包法発泡スチロールの廃止。
ソニー	・梱包用発泡スチロールを系列販売店を通じて回収、再利用(多摩地区) 将来的には首都圏と京阪神地区に拡大していく計画
シャープ	・エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機について、リサイクル法に沿った製品設計を開始。重量軽減、小型化、材質の明示も進める。
松下精工	梱包用段ボールの印刷面積縮小。梱包用の発泡スチロールを一部廃止。
日本ビクター	・梱包用発泡スチロールを削減し、パルプモードに変更。

出所）環境庁リサイクル研究会資料よりMRI作成

(2) 家電製品のためのアセスメント

家電業界が消費者からも歓迎され、持続した発展を続けようとすると、従来のように新用途や高機能の製品の開発を行うことと同時に、捨てなくてもいい製品を目指すべきである。

家電製品のアセスメントはライフの延長やリサイクルの容易さや処理時の迷惑の解消のために、企業（メーカー）自身が行うものである。その基本手順について代表的な考え方を以下に示す。

①製品とその部品ごとに使われている素材の種類と、素材ごとの重量のリストアップを行い、単純化や減量化ができないかどうか、その素材の中で選別して売却できるものがどれだけあるかを検討する。

②各種素材（プラスチック、金属等）を解体時に容易に選別できるように、識別表示の方法を検討する。

③使用素材の中に解体や破砕や燃焼等の処理で「有毒ガス」が排出したり、灰に残って環境汚染を起こす危険性のある金属成分をチェックする。

④部品の数が減らせないかどうかを検討する。

⑤廃製品から取り外した各種の部品を、原型のままか、多少の洗浄等で新製品の部品として再利用できるかどうかを検討する。
⑥長期間に消耗するとみられる部品、故障の原因になりやすい部品、汚れが付着しやすい構造になっているかを検討する。
⑦製品全体や各種部品が解体しやすい組み立て方、使用した各種素材に分離しやすい構造になっているかどうかを検討する。
⑧その製品を利用できる部品や素材に分けるための所要時間や、労務費を推定する。

これらの条件を満たす製品ができたとすると、消費者が不要になった場合にそれを回収して解体選別工場に送り込み、比較的容易に完全にリサイクルできることとなる。
以下により詳細な家電製品のリサイクル促進に関するデータを示す。

表3-2-2　家電製造業に対する再資源の利用の促進に関する判断の基準

項目	内容
	大型家電製品(ユニット型エアコンディショナー、テレビ受像機、電気冷蔵庫または電気洗濯機)の製造事業者の再生資源の利用の促進に関する判断の基準(通商産業省令)
1．材料の工夫	事業者は、大型家電製品に係る再生資源の利用を促進するため、大型家電製品の部品に再生資源としての利用が可能な材料を使用するものとする
2．構造の工夫	事業者は、大型家電製品に係る再生資源の利用を促進するため、取り外しが容易である部品の取り付け方法、回収および運搬を容易にする構造の採用その他により、大型家電製品の処理を容易にするものとする
3．分別のための工夫	事業者は、大型家電製品に係る再生資源の利用を促進するため、合成樹脂製の部品の材質名の表示その他の分別のための工夫を行うことにより、大型家電製品に係る再生資源の利用のための分別を容易にするものとする
4．処理に係る安全性の確保	事業者は、大型家電製品に係る再生資源の利用を促進するため、材料の毒性その他の属性に配慮することにより、処理に係る安全性を確保するものとする
5．安全性等の確保	事業者は、1～4までの規定に即して大型家電製品に係る再生資源の利用を促進する際には、大型家電製品の安全性および耐久性その他の必要な事情に配慮するものとする
6．技術の向上	事業者は、大型家電製品に係る再生資源の利用を促進するため、必要な技術の向上を図るものとする
7．事前評価	1）事業者は、大型家電製品の設計に際して、大型家電製品に係る再生資源の利用を促進するため、1～4までの規定に即して、あらかじめ大型家電製品の評価を行うものとする 2）事業者は、前項の評価を行うため、大型家電製品の種類ごとに評価項目、評価基準および評価方法を定めることとする 3）事業者は、第1項の評価を行うに際し、必要な記録を行うものとする
8．情報の提供	事業者は、大型家電製品の構造、部品の取り外し方法、部品の材質名その他の大型家電製品に係る再生資源の利用の促進に資する情報の提供を求められたときは、これに協力するものとする
9．包装材の工夫	1）事業者は、大型家電製品に係る包装材に関し、安全性、機能性、経済性、その他の必要な事情に配慮しつつ、再生資源としての利用が容易な材料または再生資源を利用した材料を使用するものとする 2）事業者は、大型家電製品に係る包装材に使用する発泡スチロールの再生資源としての利用を促進するため、安全性、機能性、経済性その他の必要な事情に配慮しつつ、当該発泡スチロールからの段ボールその他の異種材料の分離を容易にするものとする

出所）ごみにならない製品の開発（日刊工業新聞社）よりMRI作成

表3-2-3　家電製品の廃棄抑制のための製品開発の方向

分類	改変事項	具体例
排出規制	故障、消耗しやすい部品への対策	・テレビのブラウン管部分灯のカセット方式化 ・電熱発熱体部分のカセット方式化 ・組み込んだニカド電池の交換容易化 ・液晶デジタル表示部分の交換の容易化 ・各社部品(コンセントなど)の共通規格化
	廃棄部分の少量化	・トランジスターラジオのようなコンパクト化 ・各種素材混在部分(リサイクル困難部分)を集中少量化して、離脱分離を容易化 ・機能を単純化、別機能部品の組み込み容易化 ・装飾部分の削除、別売り架台の共通化
	商品の長耐用年数化	・蛍光灯ランプ等を長年月使用可能な物に改変 ・モデルチェンジ、機能変更の自粛 ・故障、消耗しやすい部品の強度の増強 ・修理サービス態勢の整備、部品の長期供給
材料改変	素材判別の容易化	・金属名、プラスチック名を各部品に刻印表示 ・部品裏面に素材別色分け表示
	燃焼困難物の使用制限	・塩化ビニル、塩素化ゴム、ウレタンなどの排除 ・ヒューム化しやすい有害金属の使用制限
	有害材料の使用制限	・水銀、カドミウム、鉛、砒素などの使用制限 ・PCB、フロンなどの使用停止 ・断熱材料の発砲ウレタン(フロン使用)停止 ・メッキ、無機顔料での表面処理の再検討
	ﾘｻｲｸﾙ素材への転換	・後半、プラスチック部分のアルミニウム化 ステンレス化(解体部品の売却が容易) ・透明プラスチック部品のガラス化
易解体設計	易分離構造変更	・数個のビスを外して素材別分離の可能な設計 ・同一素材部品一体化による部品数の最少化 ・異種素材間の高強度の接着の取りやめ ・銅パイプ(冷蔵庫等)、モーター巻線、銅配線などの抜き取り容易化 ・アルミ熱交換器などのアルミ部品の易分離化 ・プリント配線(希少金属使用)部品の易分離化 (カセット化して新品に洗浄、再利用も可能) ・ブラウン管ガラス部、特殊鋼部の易分離化
	解体方法の明示	・商品の裏面などに廃棄時の解体手順の説明書を貼付し、素材別の回収方法も記載
包装の変更	梱包箱の改変	・付属品の別箱化を止めて、本体と一緒にする ・段ボール梱包箱をコンテナー化(プラスチック、アルミ、鋼板等)して配送後反復使用
	ｸｯｼｮﾝ材の改変	・発泡スチロールを止めて、パルプモード化 ・軟質空気球や空気枕方式の採用 ・紙、プラスチックシートでの内包装の廃止
回収ｻｰﾋﾞｽ	下取り販売	・廃家電製品を販売時に引き取り(有償も可) ・新品販売時に廃棄保険をかけた廃品を回収 (保険料は返却、廃棄までの金利でリサイクル)
	ﾘｻｲｸﾙ部門の経営	・自社でリサイクル事業部を創設し、下取りした自社製品を採算が合うように回収、資源化 ・解体部品を主とした再生製品を組み立て、国内、海外に安く販売 ・プラスチック等素材のリサイクル製品の製造

出所）ごみにならない製品の開発（日刊工業新聞社）よりMRI作成

3.3　住宅建材リサイクルへの応用の可能性

自動車業界や家電業界と比較すると、住宅産業のリサイクル率は低いといえる。先行している産業のリサイクル促進施策を参考とするとともに、業種間の素材流通を総合的に検討するべきである。特に家電製品のアセスメント項目は住宅関連製品にも当てはめることが可能であり、進展過程を参考にすべきであると考えられる。また、自動車産業で先行していると考えられる部材の規格化もほとんど規格化が行われていない住宅産業ではおおいに参考となるテーマであろう。

4. 住宅廃材の素材別再利用の可能性

第1章で分類した住宅建材と対応する形で、自動車産業や家電製品産業のリサイクルへの具体的取り組み状況を整理してきた。産業間のリサイクル素材の融通の可能性を念頭におき、住宅廃材の再利用の可能性について検討を加える。ここでは、他産業とのリサイクル素材融通の可能性を視点として、金属素材、コンクリート素材、木材、プラスチック素材に大きく分け、それぞれの素材での再利用の可能性をまとめる。

4.1　金属素材

住宅の廃材の中には金属として、鉄、アルミ、銅、鉛、錫、金、銀、真鍮、ステンレス等様々なものが含まれている。すでに、鉄とアルミ以外は高価であるので、容易に廃棄しないような社会システムとなっているようである。通常、多くの金属くずを排出している旋盤工場でも、いろいろな素材の金属くずを混ぜて排出すると、廃棄物として処分しなければならなかったり、安く買い叩かれてしまうが、それぞれを安全に分別排出すると、それぞれが適正価格で売却できるようになる。そのときの市場相場によって値段が異なり、普通は銅、真鍮、アルミ、ステンレス、鉄の順番に安くなる。それらの材料は、素人でも判別できるものもあれば、合金やめっき製品は区別しにくくなっているものが増えている。特に最近ではABS樹脂にめっきしたような素材が多くなり、金属とプラスチックさえ区別しにくくなっている。このため、素人でもわかるような日本語、または化学記号で製品内容を表示することが望まれている。

鉄は「マグネチック・セパレータ」（磁力選別機）で容易に選別が可能であるが、最近では鉄を含む廃棄物が多くなり、くず鉄の相場を低迷させる結果となっている。日本は昔から海外のくず鉄を大量に輸入して電炉工業等が建設用鋼材を製造してきたが、くず鉄が集まりすぎて、その原料の需給がゆるんでいるようである。

各種金属を含む粗大な廃棄物をごみ処理のシステムで破砕したり焼却したり、埋立処理するためには、まず強力な「破砕機」が必要となる。金属は焼却炉に入ることを考慮する必要はないはずであるが、それらの金属素材でつくった部品が可燃性の製品と一緒になっていることが多いので、燃やされることも考慮しなければならない。コンピュータ等のプリント配線には各種の非鉄金属が含まれており、燃え殻やダストの形で埋立処分されることとなる。

表4-1-1　各国の溶出試験方法の比較

国名	廃棄物量(g)	水/廃棄物(ml/g)	溶　媒	撹拌時間(h)	抽出温度(度)	抽出法概論
米国	100	16	DI水0.5N酢酸でpHを定値保持	24	20～40	固液を分離、固形分を0.5mm以下に粉砕、水と混合し酢酸でph±0.3に調整しながら抽出し固液分離、液に最初に分離した液を混合し、水を追加して全体を2Lとして分析、濾過は0.45μmフィルタ使用
日本	50	10	DI水	6	室温	5mm以下に粉砕0.5mm以下をカットし水で抽出 初期pHを塩酸にて5.8～6.3に調整
フランス	100	10	DI水にCO2と空気を飽和	16	18～25	DI水に18～25度でCO2と空気を(Cl、S04、NO3、イオンを含む)飽和させpH4.5、抵抗率0.2～0.4MΩの水を溶媒とする。24h撹拌後固液分離し、液中濃度a1を測定、分離した固形分を更に24h撹拌し、液濃度a2を測定、更にもう一度抽出して液濃度a3を測定 抽出量LM(mg/kg) =10×(a1+a2+a3)
西独	100	10	DI水	24	18～25	溶液は水であるが抽出方法はフランスとほぼ同じ
イタリア	100	16	DI水CO2飽和	24	15～30	溶媒は異なるが溶出操作は日本に準ず
	100	16	DI水酢酸飽和	24	15～30	抽出温度は異なるが他は米国方式に同じ
英国	100	20	DI水	5	室温	米国方式を改良したものと説明されているが詳細は不明
オーストラリア	350	4	DI水	48	室温	西独の方式にかなり似ているとされているが詳細は不明
南ア	150	10	DI水	1	23	同上
オーストリア	100	10	DI水			H2SO4にてpH4を保持
スイス			DI水にCO2を連続吹き込み	24、48		CO2を100ml/minで連続吹き込み(開始時pH4.5) 用度の植木は2つの溶出値(24、48)の平均
			(注)DI水・・・・蒸留水			

出所）ごみにならない製品の開発（日刊工業新聞）よりMRI作成

(1) 金属処理の問題点

金属素材やその燃え殻の埋立で環境に影響がある可能性は以下のようにまとめられる。

①ステンレス、真鍮、銅等の素材そのものの溶け出し

②亜鉛、クロム、ニッケル、カドミウム等のめつき成分の溶け出し

③亜鉛、鉛、カドミウム、クロム等の無機顔料の塗装成分の溶け出し

これらの判定には試料に10倍の水を加えて、6時間混合漉過し、その漉液中に一定以上の金属成分が溶け出さないことが条件になっている。

以下に鉄鋼業界での鉄鋼再生産の実態、特に鉄鋼生産時に排出されるスラグの再利用について表4-1-2に示す。

表4-1-2　鋼生産量とスラグ発生量・利用量

（単位：1000トン）

年度			1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
高炉	銑鉄生産量		85043	84896	80390	74517	75220	80911	79253	72686	75950	79247
	スラグ発生量	徐冷	17423	15985	15211	13170	12896	14004	13706	11116	11207	11479
		急冷	8911	10152	10242	10062	10730	11529	11687	12008	12635	13351
		計	26334	26137	25453	23232	23626	25533	25393	23124	23842	24830
	スラグ利用量	徐冷	17678	18241	16200	13974	12079	12646	14084	12522	11041	11472
		急冷	8822	10355	10219	10138	10440	11126	11588	12107	12417	13061
		計	26500	28596	26149	24112	22519	23772	25672	24629	23458	24533
転炉	鋼生産量		85701	80914	77096	69477	71440	76893	73434	67554	71848	73468
	スラグ発生量		11618	11348	10954	9817	9735	9738	9247	8584	8825	9533
	スラグ利用量		7285	6775	7840	7063	6851	6987	7287	6445	7125	7492
電気炉	鋼生産量		16756	15800	16294	18323	20048	20598	20797	20107	20688	22145
	スラグ発生量	酸化	1365	1333	1272	1394	1508	1485	1431	1340	1383	1481
		還元	800	746	807	880	928	1036	1069	1037	1039	1107
		計	2165	2079	2079	2254	2436	2521	2500	2377	2422	2588
	スラグ利用量	酸化	828	844	813	784	878	895	950	869	935	1066
		還元	227	215	335	405	419	495	549	545	537	613
		計	1055	1059	1148	1189	1297	1390	1499	1414	1472	1680
	カバー率(%)		61	61	63	69	69	69	69	69	70	70

注）1979～1987年までは鉄鋼ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ、ｽﾗｸﾞをもとに、1988年については鉄鋼ｽﾗｸﾞ需給調査表から鉄鋼ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸと同じ方法で集計した

ｽﾗｸﾞ発生量はﾄﾞﾗｲﾍﾞｰｽ、使用量はｳｴｯﾄﾍﾞｰｽ

電気炉のｶﾊﾞｰ率は電気炉を使用する全事業所のうち鉄鋼ｽﾗｸﾞ協会に属する事業所の割合であり、高炉のｶﾊﾞｰ率は100%である

出所）鉄鋼ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ等よりMRI作成

(2) 金属廃材リサイクルは分別処理がカギ

金属に限ったことではないが、廃棄物を素材別にきれいに分別できればリサイクルの可能性は非常に高くなると考えられる。金属で最も問題となる部分は錆（腐食）された部分であり、この酸化物はほとんど再利用の可能性はないといえる。

特に住宅の建て替え等で排出される金属は、長年の湿度や紫外線の影響で腐食している場合が多く、駆体で利用されている金属の再利用は難しい。また、コンクリート内部に含まれている鉄筋は、コンクリートと完全に分別することがほぼ不可能であり、仮に粉砕できて新しいコンクリート等の増量材となったとしても、水分の影響による腐食膨張、ひいてはコンクリートの破裂をまねきかねないので、注意が必要である。屑鉄として電炉等に持ち込める可能性のある廃材は、電炉業界と協力する形で新しい使い道を決めさえすればリサイクルが可能である。いずれにしても、技術開発の視点からは他産業の協力が必要であろう。

腐食を起こさないとされているステンレスや真鍮は、分別処理さえできれば再び溶融して再利用することが可能である。この場合、素材強度や素材の性格はほとんど変化しないので、安心して再利用ができるとされている。

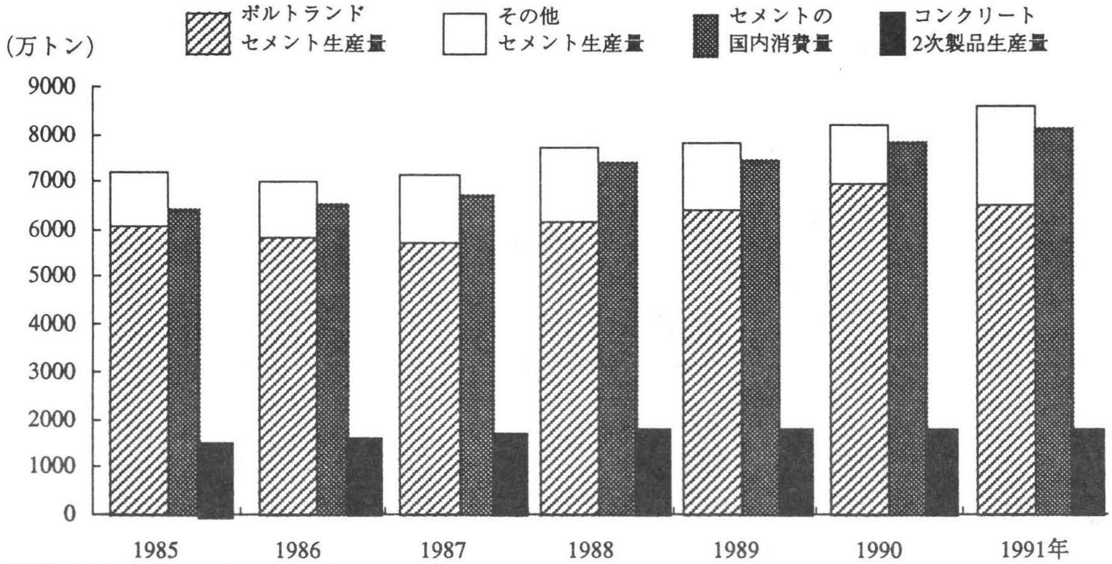
4.2　コンクリート（セメント）素材

わが国の都市開発や基盤整備（インフラ整備）に最も多く使われている素材はセメントである。この素材も他の素材と同じように、生産や利用後の廃棄時に多くの問題を抱えている。その第一は、石灰石は天然につくられた炭酸カルシウムであるが、それを焼成してセメントにすると、大量の炭酸ガスを大気中に排出することとなる。炭酸ガスは石油等の燃焼でも排出されて地球温暖化の要因として注目されており、SOxやNOxと違って技術的、経済的にそれを除

去することは極めて困難である。第二に、コンクリート製の土木構造物は、永久に利用するものとして設計され、建築構造物でも50～100年は劣化しないと考えられてきた。ところが、現実には鉄筋コンクリート製の都市施設や建築物のリプレースが盛んに行われ、現在でも使用コンクリート量の1/10以上がコンクリートくずとして排出されている。コンクリートには使用セメントの約6倍の骨材（砂等）が使われるので、現在でもコンクリートくずの廃棄量は約6000万トン/年に達し、最近深刻な問題となっている都市ごみより大量であるといえる。その問題の対策として様々な研究が各方面で積極的に行われており、完全に骨材、鉄筋、セメント水和物に分離するコンクリート分離再生技術が開発されている。

セメントを製品アセスメントの対象とすると、そのように困難な問題を抱えてしまうが、産業廃棄物のリサイクル促進の立場では、セメント工業は非常に貢献できる産業であるともいえる。

図4-2-1　セメントの生産量と消費量の推移



出所）通産省資料よりMRI作成

(1) セメント焼成用の燃料として

セメントの直接の再利用という立場ではないが、住宅廃棄物や廃タイヤを、すでに小野田セメント、住友セメント、大阪セメント等の工場がセメント焼成用の燃料として大量に受け入れている。廃タイヤは燃焼すると多量のSOxを排出するが、セメントキルンの中で燃焼させると、SOxが石灰石に吸収され、製品に悪影響がでないことが確かめられている。廃タイヤに限らず、石油化学製品の多くは排出後にこのような使い道もあることが確かめられた。

(2) 新たな骨材として

コンクリートの破砕が条件となるが、粒径が自由に操作できれば十分に再利用できる。ただし、力の多くかかる部分ではなく、公園の道路等で使用される、比較的利用条件の厳しくない部分に限られてのことである。現在でもこの部分で利用されている例は多く、ダイレクトなリサイクル方法として位置付けることができる。

セメント工場の中には、このような産業廃棄物や副生物を利用して製造していることが知れると、製品のイメージが悪くなって売行きにひびくということを指摘するメーカーもある。しかしながら、これからのセメント産業は廃棄物の受け皿としてさらに環境保全に貢献していけると考えられる。

4.3　木材

わが国は世界一の木材消費国で、この10年間、年間約1億平米もの木材を消費し、その65%までもを東南アジアを中心に海外から買い占め、これは世界の木材の1/2程度に相当する。

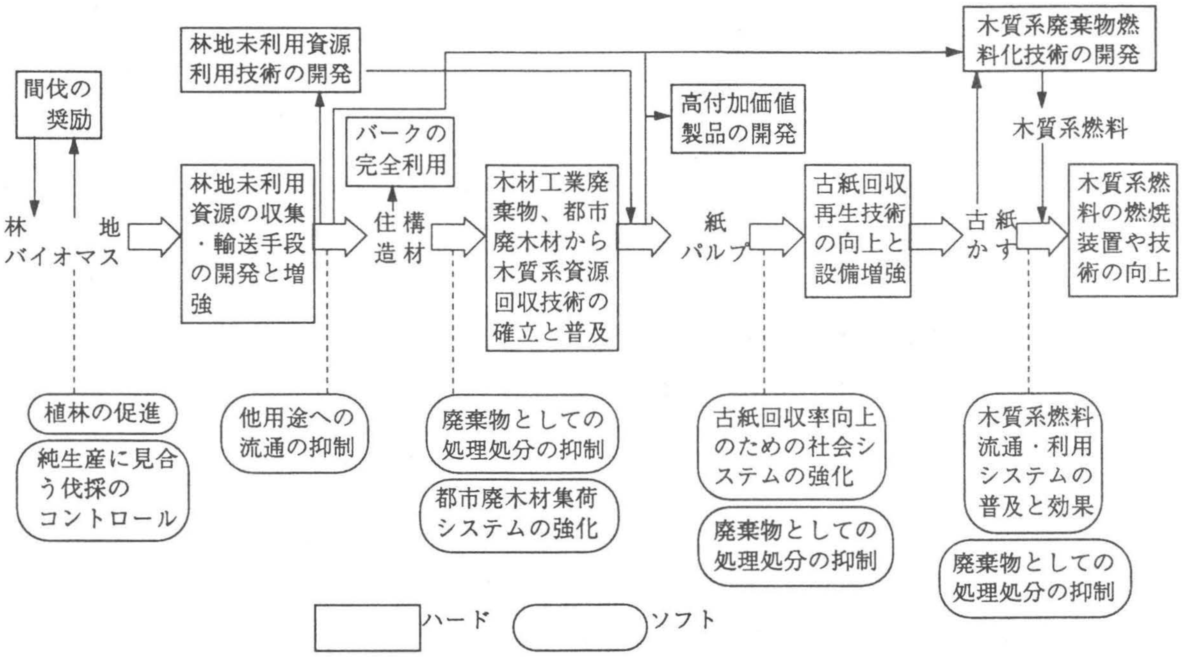
国内需要の約55%は主として建設用に利用される材木、合板で、約45%は紙パルプ用である。したがって、わが国の建設業を含む全企業は木材の節約をしなければならない義務があるといえる。木材資源再利用政策としては以下の項目が挙げられている。

①林地で伐採放置されている間伐採、下枝などを搬出して有効利用する。
②製材で生成するバーク（樹皮）、端材などを効率利用する。
③木材は主構造物などに使うことを優先し、直接パルプ等にしないようにする。
④耐用年数がきた主構造物の廃材で紙パルプ等の原料をまかなう。
⑤古紙は徹底して回収し、ごみとして廃棄しないようにする。
⑥再生工場に持ち込まれた古紙の1/6～1/5が古紙かすとして排出されるので、それをエネルギー源として活用する。

このように、木材資源を数段階も再利用すると、わが国の木材消費量が半減することも現実となる可能性がある。金属資源や古紙のリサイクルには国民もかなり日常的に努めるようになってきているが、木製の家具、建具、木箱、柱などは抵抗なく捨ててしまっているのが現状であろう。木造建築物や非木造の内装材等は、年数をへても木材繊維はほとんど劣化しないので、チップという木片にしてパルプ原料にすることが重要である。木材を素材としたものの製品アセスメントは、その耐用年数を伸ばすこと、他の素材との複合物は木材だけに分類しやすくすることが重要である。

上述のように、住宅分野からは木材の廃棄物が多く排出されていることがわかったが、やはり、チップ状にしてパルプの原料とすることが可能性として高い。このためには、まず木材と他の材料との分別が必要となり、さらに木材やチップのリサイクル流通システムの構築が不可欠となろう。住宅産業が主導権をとって社会動向まで発展させることが望まれている。

図4-3-1　木質系廃棄物再資源化促進のための方策



出所）本多、ﾊﾞｲｵﾏｽｴﾈﾙｷﾞｰ、省ｴﾈﾙｷﾞｰｾﾝﾀｰ刊

4.4　プラスチック素材

プラスチックのリサイクルについては、第3章の自動車業界と家電業界の実例で述べてきたが、ここではプラスチック廃材の量や再資源化率を把握し、住宅建設（建て替え）時の廃材として代表的に取り上げられるであろう樹脂（塩ビ等）について考察を加える。

表4-4-1 プラスチック製品の生産量、廃棄物量、および再資源化率

（単位：トン、％）

製品名	生産量	生産量(需要)	廃棄物発生量	再利用率
塩化ビニル製品	1,956,000	1～50年	512,000	
硬質製品	1,077,000	1～50年	209,000	
軟質製品	560,000	1～10年	271,000	
うち農ビ	112,000	2～3年	100,000	38、000(38.0)
電線・他製品	319,000	5～20年	32,000	
発泡スチロール	221,000			9、200(4.2)
家電梱包24%	52,800			700(1.3)
魚　箱34%	74,800			8,000(10.7)
その他	93,400			500(0.5)
PETボトル	100,800	3～6カ月	111,800	
		15～20年		
FRP製品	422,500		HI発生量を	
住宅機材	181,500		ベースに10～	
タンク、容器	49,300	117000	20%増	
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾌｨﾙﾑ	832,000	3年以内	805,000	40,000程度
LDPE	541,000			
うち農ビ	51,000		51,000	10,000以内
HDPE	247,000			(20%以内)
IPP	44,000			
ﾎﾟﾘﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝﾌｨﾙﾑ	234,000	1カ月～2年	220,000	
発泡ｽﾁﾛｰﾙ製ﾄﾚｰ	70,000	2～15日	70,000	
ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝﾎﾞﾄﾙ	195,000	7カ月～5年	195,000	
押出発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ	56,500		全　量	(1～2)
高発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ	11,200	建築物の寿		
硬質ｳﾚﾀﾝﾌｫｰﾑ	29,100	命と同じ		
日用品	351,000	3～5年	全　量	(1～2)
産業用射出成形品	734,973	5～20年	全　量	(4～5年)
工業用樹脂				
ABS樹脂				
MMA樹脂	465,000	2～10年		
ｴﾝﾌﾟﾗｰPOM・PA・PC・PPE・PBT	125,300 461,200	1～10年 6～10年	106,700 234,905	(3～10)
フッ素樹脂	11,296	3～15年	11,286	-0.5

出所）各種資料よりMRI作成

表4-4-2　ごみ処理における廃プラスチックの影響

処理段階	影響	具体的問題点
不法投棄	美観阻害	多種多様な日用品や戸外での使用商品などに使われ、投棄されやすく、腐敗分解もしない。フィルムは風で飛散しやすい。
	動物被害	鯨の内蔵などから検出され、命を脅かしている。
排出	ごみ増量	嵩高く、排出の手間がかさみ、スペースをとる。
収集輸送	ごみ増量	嵩にすると家庭ごみの１／２近くに達し、輸送効率を低下させ、公共負担を増大させている。
焼却	能力低下	焼却炉の大きさの設計はごみの量とそのカロリーの積で行われるので高カロリーのプラスチックが増えると既存の焼却炉はその分だけ能力低下をきたすことになる。
	故障多発	炉内で熱溶融してストーカーなどの機械に固着したり、滴下して燃焼して故障を発生させる。
	高温焼損	高カロリーであるために炉材やダクトが予定以上の高温にさらされ、耐用年数を縮める。
	装置腐食	塩ビから出る塩化水素のために腐食が進む。
排ガス処理	煤塵増加	二重構造のプラスチックは燃焼で炭素系の煤塵を発生しやすく、集塵設備の強化が必要になる。
	塩酸発生	塩ビなどのためにアルカリスクラバーを設置せねばならなくなり、薬剤費もかさむことになる。
	NOx発生	高温燃焼になるために発生しやすい。
	ダイオキシン発生	ダイオキシン発生は塩ビなどに起因しているといわれ、そのため燃焼温度制御、CO濃度制御、電気集塵機からバッグフィルターへの切り替えなどを行うようになってきている。
破砕	破砕困難	プラスチックには軟質のものがあって、衝撃式破砕機では対応できない(せん断式)。一方、FPRなどは通常の破砕機では破砕しにくい。
埋立処分	容量消費	嵩高く、圧縮しにくいために容量を消費する。
	腐敗困難	他の有機物と違って何時までも残ってしまう。
	不良地盤	沈下しやすい状態で何時までも残ってしまう。
	露出飛散	フィルムだ霜柱で覆土した上まで押し上げられ、風で飛散するようになりやすい。

出所）各種資料よりMRI作成

表4-4-3　廃プラスチックの排出制御策

排出制御方法	具体的方法の例	問題点
代替品使用	トレーを使って売る商品を限定する。	包装業界売上減
	発泡スチロールパックを止める。	技術未確定
	トロ箱を木箱にする。	価格上昇、断熱
	箱をアルミ製、スチール製にする。	同上
	プラ箱(袋)を止めて紙箱(袋)にする。	法規制で強制
	プラスチックハウスをガラス温室にする。	価格上昇
	自動車、家電製品をアルミ製にする。	価格（回収容易)
容器包装のリターナブル化	PETボトル、ポリ瓶など反復利用。	洗瓶、劣化
	ポリドラム缶を通い容器にする。	内容別使用
	フィルムキャップの反復使用。	回収システム
	卵パックを繰り返し使用する。	消費者の協力
	トロ箱の洗浄、再利用。	設備、排水処理
	プラスチックコンテナーの普及。	リース組織確立
	プラスチックパレットのリース化。	同上
部品の分離再利用	自動車、家電製品を同用途に再利用。	モデルチェンジ
	レンズ付きカメラのケース再利用。	回収分離の手数
補修再生	ＦＲＰ製ボート、タンクなどの補修。	外観不良
分解性プラスチック化	消耗的用途に光崩壊性プラスチック。	耐久度保証
	同上用途に生物分解性プラスチック。	同上

出所）日刊工業新聞よりMRI作成

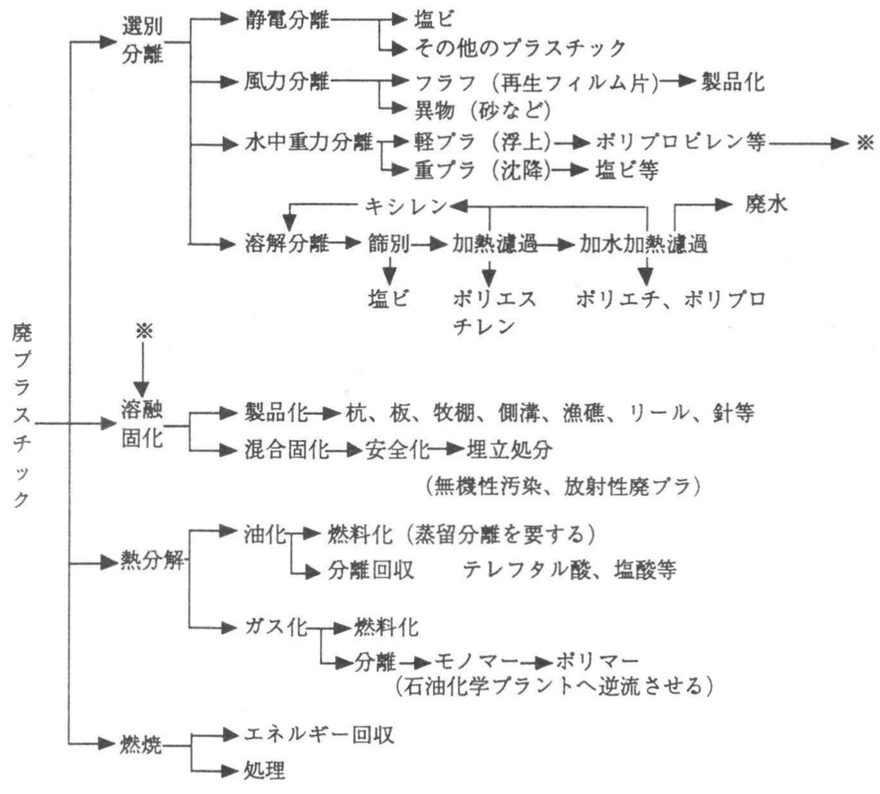
(1) 廃プラスチックのリサイクル

住宅からは様々な種類のプラスチックが排出される。プラスチックのリサイクルの場合、一度使ったプラスチック製品や部品を原型のままで何度も利用できるようにするか、形を変えて再利用するか、エネルギーとして利用するかの大きく3パターンが考えられる。

プラスチックを現実的にリサイクルしようとすると、つぎのような項目を克服することが求められる。

①廃プラスチックだけを完全に集めること（分別収集）
②プラスチックをその種類別に分類すること（選別分離）
③種類別に分類されたものを高品質の再生品にすること（単純再生）
④上記の手続が不可能な場合は混在状態で利用でき、再廃棄しにくい用途に使える再生品をつくること（複合再生）
⑤④にも限界があるので、その廃プラスチックを2次公害の危険性の少ない方法と設備で燃料として利用すること（エネルギー回収）

図4-4-1　廃プラスチックの再利用・処理方法



出所）ごみにならない製品の開発（本多淳裕）

表4-4-4　廃プラスチックの種類別選別分離方法

	選別分離方法	問題点
流通構造改変による選別	商店での不要プラスチック製品下取り。	下取り品の受け皿
	製品に種別表示を行って選別を容易化(リサイクル法で家電、自動車に義務)。	選別作業、選別物の受け皿、再生での劣化
目視による選別分離	発泡スチロールの分別排出または選別。	収穫効率、再生劣化
	PETボトルの分別排出または選別。	付着物分離、受け皿
	農業用フィルムなどの分別排出。	塩ビ、PEの区別
	家庭からのプラスチック種類別排出。	選別困難、受け皿
	混合廃プラスチックとその他のごみとの分別排出と分別収集。	住民協力、収集システム、分別物の受け皿
衝撃強度によって粗分解	プラスチックと金属。石は弱い衝撃で砕けず、紙、厨介は砕ける特性によって粗分離する(スターダスト'80実証)。	汚れた混合物しか採れない、利用方法、経済性
振動による選別分離	振動輸送で発泡体、空瓶、フィルム等を浮き上がらせ、分離板で上下を粗分離、後は目視での選別分離。	低比重物混合度合の判定が必要、分離作業、分離物の受け皿
風力による選別分離	廃プラスチックを破砕し、風力選別機にかけて発泡体、PP、塩ビなどを選別、農業用フィルム中の土とフラフの分離。	粗分離しかできない、分離物の受け皿
水中浮上分離	比重1以下（発泡体、PPなど）と以上とを水浸けによって分離、水切り、乾燥。	分離不充分、水質汚濁、分離物の受け皿
静電分離	塩ビは静電気を帯びやすく、廃プラスチックを破砕して静電気ローラに供給し、その他のプラスチックと分離。	ローラへの分散供給、分離能率、異物混入
溶剤への溶解挙動での分離	キシレン不溶の塩ビ、加熱キシレン不溶のPS、加水加熱キシレン不溶のPEとPPの順番に分離（工業院開発）	キシレン回収不良、排水処理必要、経済性不良、手数

出所）日刊工業新聞よりMRI作成

分別回収にはどうしても消費者の協力が不可欠になるが、それをプラスチック関係業界はもちろん、末端商店の協力、市町村の協力等も必要となる。それは観念論では進まず、「デポジット方式」、「下取り方式」「奨励金支給方式」などによる協力者へのペイを伴うものでなければならないと考えられる。

選別分離が確実に行えると、単純生産につなげることができ、比較的利用範囲の広い有利な再生が可能となる。それには人の目で確認する方法と物理的に行う方法がある。自動的に（物理的に）プラスチックを選別分離できれば能率上有利なので、振動と比重、風速と飛距離、水中比重、静電気挙動、溶剤への溶解度等によって選別実験が重ねられている。それぞれ単独では種類分けが十分でなかったり、コストが高くなりすぎるといった問題点もある。処理の立場で問題となる塩化ビニルだけは、ペレットに磁性鉄粉を混合することを義務づけ、鉄のように磁力選別しやすくすることも検討の余地がある。

単純再生は渋滞方成型加工工場で排出されるバリ（はみだし部分）、不良品等の再利用のために行われてきた方法である。

表4-4-5　廃プラスチックの再生利用方法

分類	前提条件	具体的再生利用方法の例	問題点
単純再生	加工工場残渣や完全分別物	発泡スチロール、発砲ウレタン、PVC、PEなどを種類別に熱溶融、再生型して２次製品にする。	熱履歴による劣化、不純物混入、再廃棄
		粉砕してペレットにするか、バージン原料に混ぜて使用。	同上
		発泡スチロールを粉砕して、セメントと混ぜて、軽量コンクリートの建材にする。	強度、耐熱性などの低下、輸送能率
準単純再生	２種程度の混合物、不純物少量	農業用フィルムなどから選別分離したフラフを熱溶融、再生加工する。	主としてPE、PVCにする
		FRPの廃船舶、大型タンクなどを海中に固定して漁礁にする。	固定方法、集荷、輸送
複合再生	多種混合物であるが、不純少量	廃プラスチックだけを熱溶融、再成型して２次製品にする(U字溝、L字溝、フラワーポット、杭、板など)。	熱硬化性樹脂が多いと不適、再廃棄
		熱硬化性樹脂の混合物に塩素化PEを混ぜて硬化させて再成型し、粗面の床材などにする(滑りどめ)。	用途開発、採算性不良、再廃棄
		ペイントかすなどと熱溶融、再成型して自動車用シートなどにする	再廃棄
		有害金属汚泥と熱溶融して安全化。	処分地必要
	多種混合物で不純物多少は許容	粗破壊して、農地、造成地、廃棄物処分地などの暗せつ排水のトレンチ充填材料として利用。	プラスチックの中の可塑剤の溶出
		粗破砕して、破石やアスファルトと混合し、160～180度程度で溶融して表面舗装材料として利用。	法的認可、再廃棄

出所）ごみにならない製品の開発（本多淳裕）

複合再生は廃プラスチック問題の発生当初から行われているが、プラスチック以外の異物の混入が避けられたとしても再生品の品質保証が困難で、需要確保がしにくく、再廃棄対策も必要となっている。特に市中でごみになる前に消費者に分別排出してもらったようなものは、ラベルの紙、キャップの金属、内容物との混入は避けにくく、さらに熱可塑性と熱硬化性の両者が混合しているのがほとんどである。住宅分野でも全く同じことで、特に何十年もたったプラスチックは素材自体の性状が変化している恐れも多い。

エネルギー回収は最終の用途と位置付けるべきであろう。2次公害対策を完全に消し去るためには、大きな出費を覚悟しなければならない。また、固形燃料化は公害分散になる恐れがある。熱分解油化技術も近年注目されているが、低沸点油や塩化水素も混入するので、即座に中和、蒸留分離して危険性のないものにしなければならない。

表4-4-6　廃プラスチックの再生品の用途

用　途		種　類
土木建設用資材		
	区画整理用	測量杭、境界杭、地下埋設管標識杭、土止杭、工事杭
	道路建設および維持用	集水ます、測量杭、すて杭、距離標、法面傾斜地保護杭、土止杭・板、種子土納袋止め杭、コンクリート格子杭、路肩注意標識、視線誘導標識、道路マット、街路樹支柱、ステップ
	住宅建設用	汚水ます、通風パネル、マンホールのふた、土台用基礎パッキング、壁材、屋根下地材、厚物シート、階段マット
	公園緑地用	集水ます、人止め棚、階段用資材、擬木、ベンチ、フェンス、遊戯施設、ウォーターポット、防砂板、標識杭、ゴルフ場OB杭、ロードマット、境界杭、花壇縁、プランター
	ダム、空港、土地改良用	境界杭、□水線標識、測量杭、排水ポンプ、潅水パイプ、土地改良地区標示杭、騒音対策地区標示杭
地籍調査用資材		国土調査図拠点、筆界基準杭、（官官、官民、民民・杭）測量杭、すて杭、仮杭
農林水産用資材		
	林野・牧場用	営林標識杭、境界杭、警戒標識、案内標識、牧場電柵、畜舎用資材
	ハウス・果樹園用	ハウス用止杭、支柱、一輪車用バケット、かけや、ハンマー、ポリ鉢、支柱、配線用止杭、支柱用止杭、盆栽棚、盆栽回転台
	農地用	あぜシート、U字溝、土止板・杭
	漁業用	漁礁、たこつぼ、かき養殖用杭、シラ材、いけす、養殖用えさ箱
電力・電電用資材		
	地下埋設および一般配管用	ケーブル保護板、埋設管用まくら木、埋設管標識、ケーブル用トラフ、ヒューム管埋設架台、延線ローラー、防草板
	電柱、鉄塔用	鉄塔防護棚、電柱保護板、巡視路階段用資材、電柱用埋設位置標示杭
	計器用	計器取付板、保安器板、防止パネル及びその部材、屋根用分電箱、断熱パネル
ガス・水道用資材		
	地下埋設および地上配管用	引き込み位置標識、埋設位置標識（白色）、マンホール蓋
	計器用	メーターボックス、計器据付位置標識、量水器、クリーンルームパネル
	プロパンボンベ用	ボンベ置き台、運搬車荷台保護板、充填所用床緩衝材
鉄道用資材		
	軌道標識用	距離標、こう配標、曲線標、てい減標、状び標、境界標、車両接触限界標、雪かき車警標
	道路踏切用	踏切用添え木、踏切板取付部材、充填所用床緩衝板
運搬車両用		
	トラック用	荷台取付スペーサー（ジャージ緩衝材）、車止め、耕転機尾輪、荷台保護板、L字側溝用ステップ
	船舶用	防舷材
包装資材用		
	運搬用	パレット、コンテナ、道具箱
	倉庫用	スノコ、ダンネージ、床板、鋼材用枕木
	緩衝用	タイヤ保護枠、鋼管用保護材、パイプストッパー（くさび）

出所）プラスチック処促進協会資料

表4-4-7　廃プラスチックのエネルギー利用の可能性

分類	回収方法	具体的手法	問題点
直接燃焼	既存ごみを焼却炉で混焼く、熱回収	現行ごみ焼却炉での都市ごみとしての燃焼方式のままで熱交換、熱回収。	炉能力増、高温腐食、HCl腐食、排ガス処理強化
	プラスチック専焼炉での熱回収	廃プラスチックを破砕し、専焼炉（ストーカー不適切）で燃焼、熱交換。	高温腐食、HCl腐食、排ガス処理、効率的破砕
	石油との混焼	廃プラスチックを粉砕して、石油焚きボイラに別ノズルで供給するか、石油と混合して供給する。	同上、廃プラスチック供給装置に要工夫（ノズル閉鎖防止等）
固形燃料化(熱可塑性主体)	可燃ごみとの混合FDR化	紙の多いごみと一緒に破砕し、熱溶融して固形化。	不燃物・塩ビ分別、カロリー保証、
	鉄くずとの混合RDF化	鉄くずと混合して熱溶融し、固形化。	同上、経済性
	廃カーボンとの混合RDF化	カーボン粉塵、廃活性炭と混合して熱溶融熱溶融固形化。	同上
熱分解	低温熱分解油化	廃プラスチックを450度前後で蒸し焼き状態にし、排出気体を回収、間接加熱法と部分燃焼法がある。	チャーが多量生成、油の生成が必要、HCl除去、経済性
	高温熱分解ガス化	廃プラスチックを600度以上で蒸し焼き状態にし、排出気体を回収、間接加熱法と部分燃焼法がある。	チャー・タールが生成、ガスとそれらを分離精製（熱源に使う）、HCl除去
	ガス化燃焼熱回収	いったん熱分解ガス化して、直ちに生成ガスの全量を燃焼させて熱回収。	直接全量燃焼に比べた優位性不明

出所）ごみにならない製品の開発（本多淳裕）

(2) 塩化ビニル対策

住宅廃材のプラスチックには塩化ビニルが多く含まれるが、塩素が組成中に含まれるとリサイクルが非常に困難になる。

製品アセスメントを塩化ビニルに適用すると、処理を前提としている限り生産をやめなければならなくなる。これは各種化学業界の存亡にまで影響しかねないので、対策として考えられるものを以下に示す。

①アルカリとしての水酸化ナトリウムや炭酸ソーダの需要を抑制し、消石灰のような代替アルカリ資源を利用するように努めること。
②環境に悪影響を与えない塩素の大量需要の用途を開発すること。
③塩化ビニルの用途を耐久消費材に限定し、その廃棄物は同じ用途に完全にリサイクルしごみとしての排出は徹底して抑制すること。
④全ての塩化ビニル製品に識別コードを表示したり、磁性鉄粉を混ぜたりして選別が容易に行

えるようにすること。

⑤アスファルト合材化のように、リサイクルによる付加価値は低くても、廃棄物を大量に受け入れる用途を開発すること。

⑥塩化ビニルだけを回収する実用的システムを確立し、塩化水素だけを分解回収する技術を開発すること。

集宅分野では特にパイプと内装材（エクステリア含む）において塩化ビニルの使用率が高く、上記のような問題の解決を積極的におし進めることが重要である。

5. 今後の住宅建築のありかた

以上のリサイクルに関する実態調査と住宅で利用されている建材の性格を対比させると、以下のようにまとめられる。

(1) 廃材の分別回収の徹底

住宅産業に限ったことではないが、リサイクル率を高めるには分別回収は必要不可欠である。このため、住宅の建設の分野でも、あらかじめ分別しやすいような施策をとるべきである。言いかえると、釘や接着剤を取り除きやすいような設計や、異なる素材間のジョイントを開発すべきである。

すでに、住宅関連メーカーは、住宅のリフォームのしやすさを目指して解体しやすさや部分組み立てのしやすさを実現するための具体的方法を検討している段階であるので、このプロセス技術の中にリサイクルコンセプトも織り込んで考えるべきである。

(2) 住宅廃材の処理システムの充実

これも住宅産業に限ったことではないが、特に排出量の多い木材のリサイクルチップ処理システム等は前向きに検討すべきである。プラスチックの破砕システム等に比較すると、木材の処理システムの研究開発はあまり積極的に行われていないようである。たとえば、解体現場でチップ化する等のシステムが考えられる。

(3) 住宅廃材のリサイクル概念の啓蒙（教育）

分別回収の効率化を考えると、生活者個人個人のちょっとした意識が重要なファクターをしめるといえる。住宅建材メーカーやハウスビルダー側がリサイクルしやすいような商品を考えても、実際に利用する側が意識が低ければリサイクルは効率的に行われない。

リサイクル概念の啓蒙（教育）を進める場合でも、あたまごなしの規制等で認知させるよりも、自然とリサイクル意識がわいてくるような商品づくりが関連各メーカーに求められている。

(4) 他産業とリサイクルネットワーク構築の可能性

リサイクルは社会全体、あるいは地球全体（閉じた系）で考えるべきであり、住宅関連産業だけでは解決が不可能である。まず、製品リサイクルの実績がある家電業界や自動車業界と協力する形で、できる部分から住宅でのリサイクルを進めるべきであろう。21世紀には、日本の基盤産業の一つとして、リサイクルもリーダー的指導を続けることが強く望まれる。

3. 床表面仕上げ材材質の影響などを考慮した、快適な床暖房方式に関する研究

東京大学工学部教授
鎌　田　元　康

1. はじめに

床暖房時の温熱環境では、一般的な温熱環境における人体と環境との熱移動の他に、人体と加熱された床面の接触によって伝導による熱移動を生じる。そこで、快適性を評価する場合には、床表面温度及び床仕上げ材の材質が加熱感覚に与える影響を考慮する必要がある。本研究では、床仕上げ材材質も考慮した床暖房時の床表面温度の評価、またそれを考慮した床暖房における至適な環境条件の検討を行った。実験は、主に床仕上げ材の影響を検討する実験1と、至適な床温・気温の組み合わせを検討する実験2を行った。

2. 実験概要

2.1 実験1

実験1では、床仕上げ材とその表面温度が異なる試験床を用いて、被験者は椅座で床に足を接触させて実験を行い、おもに接触温熱感を調べた。

(1) 実験条件は**表1a**、**表2**に示す。

表1a　実験1の気温、床温条件

設定気温℃	床材＼設定床温度℃	暖房機OFF (=気温)	27	30	33
18	フローリング カーペット 陶磁器タイル	18.7/19.0 18.8/19.0 18.6/19.0		19.6/30.3 19.4/20.0 19.1/30.1	18.7/32.5 18.6/32.7 18.4/32.4
21	フローリング カーペット 陶磁器タイル	21.0/22.5 21.5/22.4 21.3/22.4	20.0/28.4 20.7/27.5 20.8/27.9	20.8/30.4 21.2/30.7 21.0/30.8	20.5/33.9 20.5/32.9 20.7/34.2
24	フローリング カーペット 陶磁器タイル	24.0/23.3 24.2/23.7 24.2/24.2		24.4/31.2 24.2/30.4 24.1/30.9	24.9/33.6 24.6/32.7 24.9/34.4

表2　床仕上げ材及び他の実験条件概要

	床材料	厚さ	床暖房システム	実験状態	接触時間
実験1	フローリング カーペット 陶磁器タイル	12mm 7mm 4mm	温水・電気床暖房機 接触試験床寸法： 800mm×1000mm	椅座 (裸足) 着衣量 約1.0clo	50分間
実験2	フローリング	12mm	人工環境室 温水床暖房 敷設率：70%	椅・床座 靴下着用 着衣量 約1.0clo	60分間

(陶磁器タイルには下地として石こうスレート厚さ10mmを使用)

(2) 被験者データを**表3**に示す。被験者の服装は、男性はトレーナー・ワイシャツ・ズボン、女性はトレーナー・ブラウス・スカートを着用し、着衣量は約1.0cloとした。

表3　被験者データ

	実験1				実験2			
	人数(人)	年齢(歳)	身長cm	体重kg	人数(人)	年齢(歳)	身長cm	体重kg
全体	8	21.6 1.1	170.8 6.8	60.0 11.1	38	22.3 1.6	163.7 8.4	56.6 9.7
男性	4	21.3 1.3	170.5 3.1	66.9 13.0	20	22.7 2.1	170.1 8.3	64.1 4.7
女性	4	22.0 0.8	165.0 2.9	53.5 3.4	18	22.1 1.0	157.7 5.6	50.2 5.2

(上段は平均値、下段は標準偏差)

(3) 実験方法

被験者は実験室に入室後、所定の室内環境に慣れるため裸足にスリッパを履いて椅座の状態で30分間安静にした後、スリッパを脱ぎ足裏を10分間空気中に暴露する。実験開始とともに足を床にのせ、所定の時間間隔で接触温熱感を申告する。申告に用いる評価スケールは**表4**に示す。接触温熱感と全身温冷感申告は接触直後、1分から30分経過までは5分ごとに、30分から50分経過までは10分ごとに行った。床表面温度に対する要望(床温度を上げたい・下げたい)の申告は上述の時間間隔と関係なく自由に申告させた。

(4) 実施時期：1993年10月～12月

表4a　実験1で用いた申告スケール

申告項目1		申告項目2		申告項目3
評点	接触温熱感	評点	全身温冷感	床温について
+5	非常に熱い			上げたい
+4	熱い			下げたい
+3	やや熱い	+3	暑い	
+2	暖かい	+2	暖かい	
+1	やや暖かい	+1	やや暖かい	
0	どちらでもない	0	どちらでもない	
−1	やや冷たい	−1	やや涼しい	
−2	冷たい	−2	涼しい	
−3	非常に冷たい	−3	寒い	

表4b　実験2で用いた申告スケール

申告項目1		申告項目2			申告項目3	その他
評点	接触温熱感	評点	全身温冷感	評点	快適感	気流感、放射感 各部位温冷感等
+3	熱い	+3	暑い	+3	非常に快適	
+2	暖かい	+2	暖かい	+2	快適	
+1	やや暖かい	+1	やや暖かい	+1	やや快適	
0	ふつう	0	どちらでもない	0	どちらでもない	
−1	やや冷たい	−1	やや涼しい	−1	やや不快	
−2	冷たい	−2	涼しい	−2	不快	
		−3	寒い	−3	非常に不快	

2.2 実験2

実験2では被験者数を増やし、おもに温冷感、快適感の評価の面から検討した。これは実験1の結果を踏まえ、できるだけ実生活を想定し、被験者が椅座で靴下を着用する実験とした。

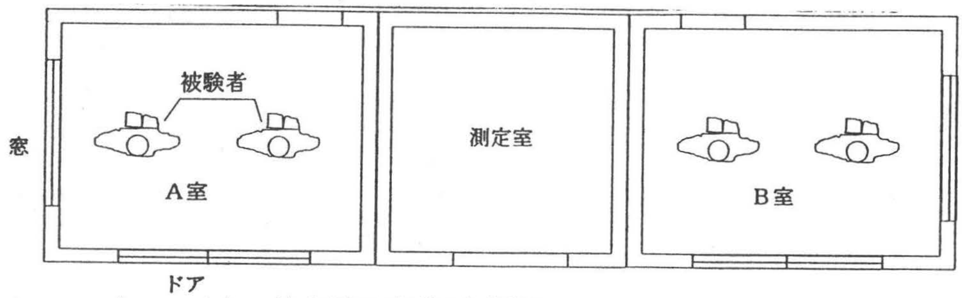
(1) 実験条件は**表1b**、**表2**に示す。実験室は**図1**に示す。

表1b　実験2の気温、床温条件

設定気温℃＼設定床温度℃	24	26	28	30	32
18	18.5/24.3	18.2/26.0	18.6/27.1	——	——
20	20.0/24.5	19.0/25.7	19.9/28.2	——	——
22	——	——	——	21.2/29.2	——
24	——	——	——	24.0/30.6	24.2/31.6

（気温／床温度、気温は床上60cm、床温は被験者の足元付近での測定地の平均）

図1　実験室平面



(2) 被験者データは**表3**に示す。着衣量は実験1と同じ。

(3) 実験方法

被験者は各実験室に2人ずつ入室し、所定の服に着替え椅座で30分程度安静とした後、実験開始した。生理量は平均皮膚温の算出に用いる7点（H.D）に足裏部位を加えた8点の皮膚温を測定した。申告は10分ごとに行った。

(4) 実施時期：1994年2月～3月。

3. 実験結果と考察

3.1 実験1

(1) 接触温熱感と接触部皮膚温の関係

図2、**3**に温水フローリング床仕上げ材の実験結果を示す（いずれも被験者8人の平均データ）。床温が同じ場合、気温の低いほうが暖かく感じ、また、足裏の接触温度変化は、大きくなっている。これば、気温が低い場合、接触前の皮膚温が低いからである。このように、接触温熱感は足裏の皮膚温そのものより、接触部皮膚温の変化と相関する傾向がみられる。

(2) 接触部皮膚温度の上昇と接触温熱感

図4に接触後50min経過した時の接触部（足裏）皮膚温の上昇と接触温熱感の関係を示す。今回の実験では、実験条件範囲及び被験者数が限られたため、床仕上げ材による接触温熱感申告の違いが明確には現れなかった。図中にはすべての仕上げ材を含む各水準の実験データが示されており、ここから接触皮膚温の上昇と接触温熱感との間で相関する傾向が見られた。

(3) 床温を上げたい・下げたいとの申告率から見た床温条件

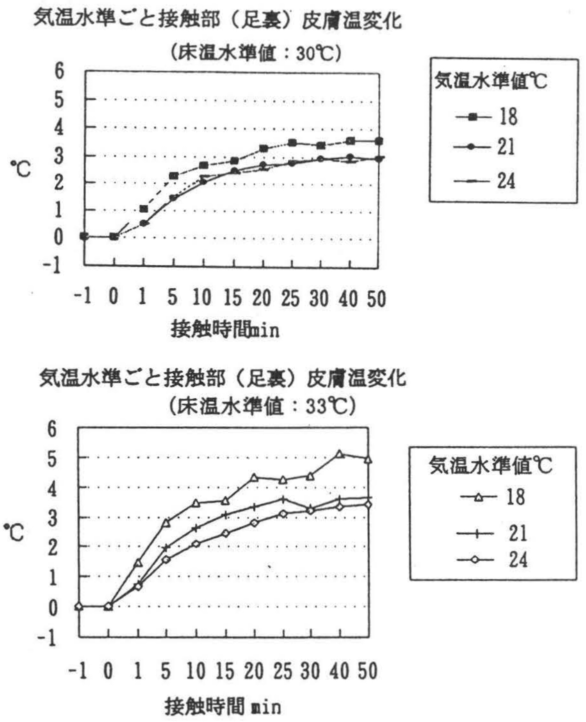


図2　接触部皮膚温の変化

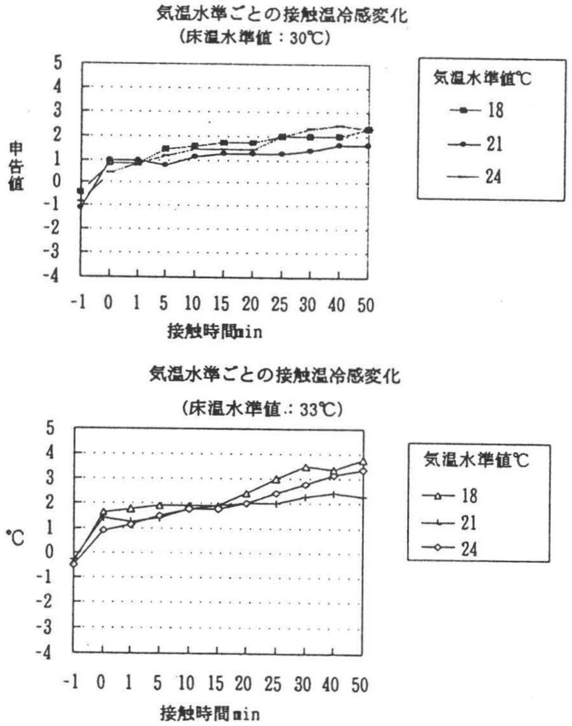


図3　接触温熱感申告の変化

図5のように、床温を上げたいと申告した人数の割合は床温が高くなるにつれて少なくなり、あるレベルを越えると（今回の実験では約30℃程度）床温を下げたいとの申告が出始めた。床温28～30℃あたりで一つの過渡域となり、下げたい・上げたいの申告の割合が一番低く、これは床温条件における中立域と考えられる。

図4　接触皮膚温上昇と接触温熱感

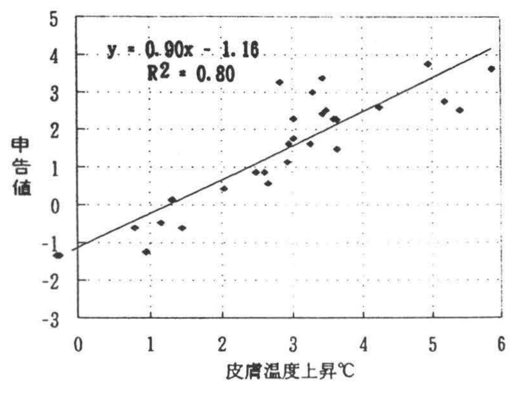
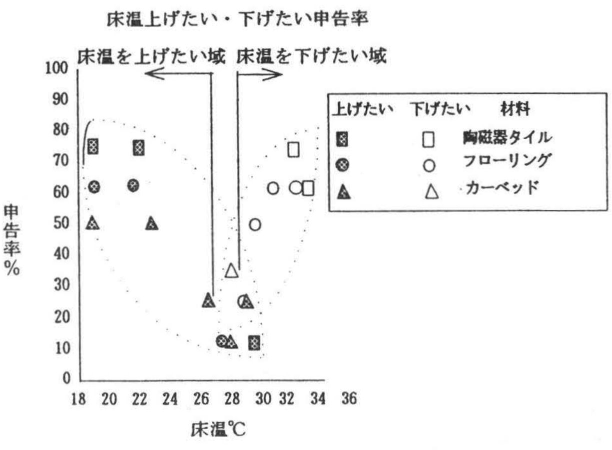


図5　床温度に対する要求



3.2　実験2

以下では実験2の結果を中心に、実験1の結果も含めて考察する。実験1の結果に関しては、温水フローリングの場合のみを用いた。また、経時変化の実験結果を見る場合以外はすべて、実験終了時のデータを考察の対象とする。以下図中に表示した水準（taは気温・tfは床温）の数値はそれぞれの水準の代表値である。

(1)　接触温熱感と全身温冷感

図6では、接触温熱感と全身温冷感との関係を示す。実験1、2の結果ともに図中対角線の下にある。接触温熱感は全身温冷感スケールよりほぼ一段高く（暖かい側）になっている。

さらに実験1と実験2の間で、回帰直線の傾きが異なる。これは実験2では床温が気温の形成を支配し、全身温冷感が気温にも影響されたためである。これに対して実験1では気温が独立制御されているので、全身温冷感の変化が小さかった。今回の実験条件範囲では、実験1、2とも中立温冷感申告となるためには接触部でやや暖かいと感じる接触温度条件が求められることを示す。

図6　接触温熱感と全身温冷感

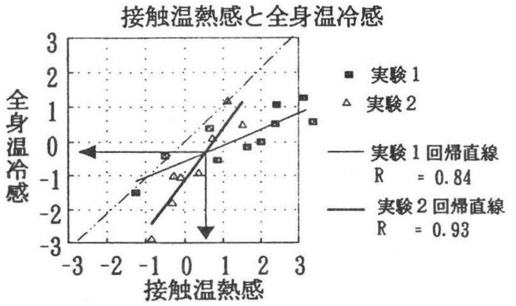


図7に足裏皮膚温の経時変化を、**図8**に全身温冷感の経時変化を示す。床温28℃の水準を境界に、今回の実験水準範囲で、床温が26℃以下の場合、足裏皮膚温、全身温冷感とも下降する傾向が見られた。

図7　水準ごと足裏皮膚温変化

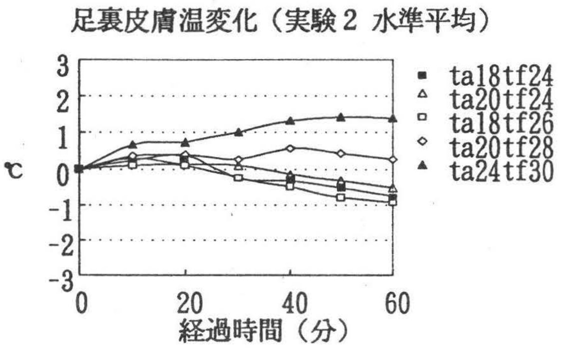
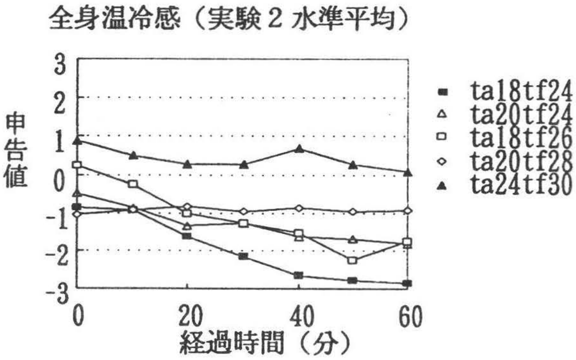


図8　水準ごと全身温冷感



これまで、被験者実験の結果については、主に申告値の平均値を扱ってきたが、個人差などによりばらつきが大きい場合が多いので（**表5**参照）、申告値の分布を検討してみる。**図9**

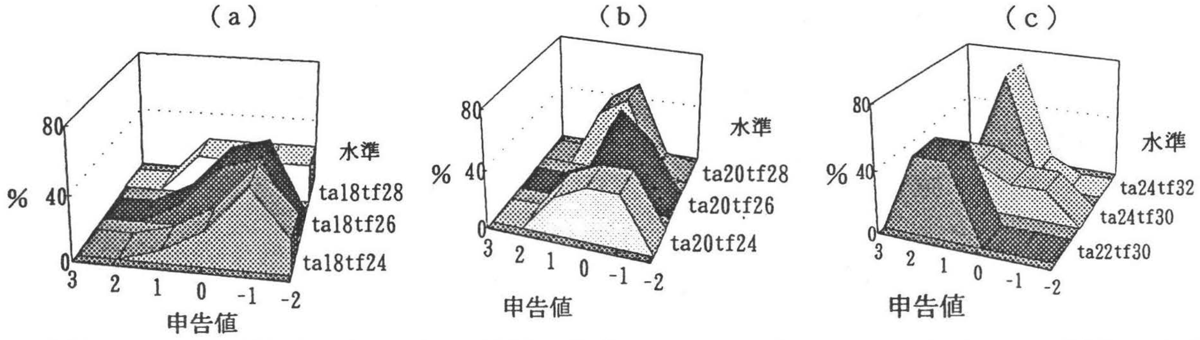
表5

表5　実験２　全身温冷感と接触温熱感申告結果

実験水準	全身温冷感申告		接触温熱感申告		被験者
ta気温tf床温	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	数（人）
ta18tf24	-2.9	1.2	-0.9	0.9	14
ta18tf26	-1.8	1.1	-0.3	0.7	15
ta18tf28	-1.8	1.7	-0.5	1.3	4
ta20tf24	-1.0	1.3	-0.1	0.8	33
ta20tf26	-1.0	1.2	-0.3	0.6	11
ta20tf28	-0.9	1.3	0.4	0.6	22
ta22tf30	0.5	1.0	1.5	0.6	4
ta24tf30	0.1	0.9	0.7	1.2	10
ta24tf32	1.2	0.9	1.1	0.5	11

に各水準における接触温熱感申告値の分布を示す。床温26℃以下の場合では、接触温熱感申

図9　水準による接触温熱感分布（実験2）

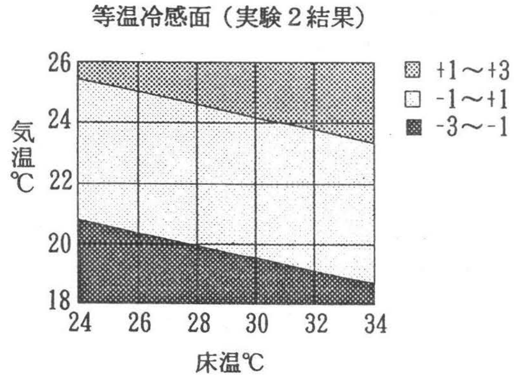


告値が0～－2（普通～冷たい）の範囲に集中しており、床温が30℃を越えると顕著に申告値が暖かい側へ移った。今回の実験で床温水準が24～26℃付近で接触温熱感が低く、**図6**に示されたような接触温熱感と全身温冷感の関係から、温冷感を満足させるとは考えにくい。また実験1の結果から示したように、この床温水準付近で床温を上げたい・下げたいに対する申告の頻度分布が一つの境となっていることも床温26℃以下は望ましくないと考えられる。

(2) 申告値の分布と快適な条件範囲の検討

今回の実験2の結果から、気温、床温を独立変数に、全身温冷感を従属変数として重回帰により温冷感申告値の分布を求めた（**図10**を参照）。申告値－1～＋1の範囲（やや涼しい～やや暖かい）を熱的中立域とすれば、その気温・床温条件範囲はかなりの幅を持っている。一方、ここで用いた重回帰分析は、統計上データが正規分布に従う仮定のもとに成り立つが、温冷感申告データの分布形状は正規分布にならないケースもある。つまり、**図10**の分析結果は近似的に一つの側面から示したものであり、以下では別の側面、即ち温冷感の分布形状からも検討を行う。

図10　床暖房の条件と全身温冷感分布



申告値の分布を見るために、**図11**、**図12**に各水準における全身温冷感、快適感申告値の割合を示す。全身温冷感の場合、気温水準によって申告値の分布が異なった。低い気温（18℃）の場合、申告値がほぼ寒い側にあり、床温水準を高めることによって中立の申告に移行している傾向にある（**図11（a）**）。中程度気温（20℃）の場合、申告値の大部分が床温によらず中立帯に集まり、かついずれも同様な分布形状となっている（**図11（b）**）。気温・

床温とも高水準（気温24℃、床温30℃以上）の場合では申告値が暖かい側に寄る（**図11 (c)**）。全身温冷感の分布から、低気温水準では床温の影響が大きいことを示した。気温20℃の場合、床温の影響が小さかった。また、申告値の分布形状も正規分布と大分違った。快適感の分布は全身温冷感とほぼ同様な傾向が見られ、低気温（18℃）の水準でほとんど不快側の申告となった。気温20℃の水準では床温による差が小さく、‘ふつう’という申告に集中した。気温22℃、床温30℃水準で快適な申告がピークとなり、不快側の申告がなかった。さらに気温・床温水準ともに上昇しても、快適の申告がほとんどであるが不快側の申告が出始めた。この結果は**図10**に示した中立な温冷感域の条件範囲とほぼ一致しており、上限線あたりで不快が出始め、下限線あたりで不快側の申告が多くなる。

図11　水準ごと全身温冷感申告値の分布（実験2）

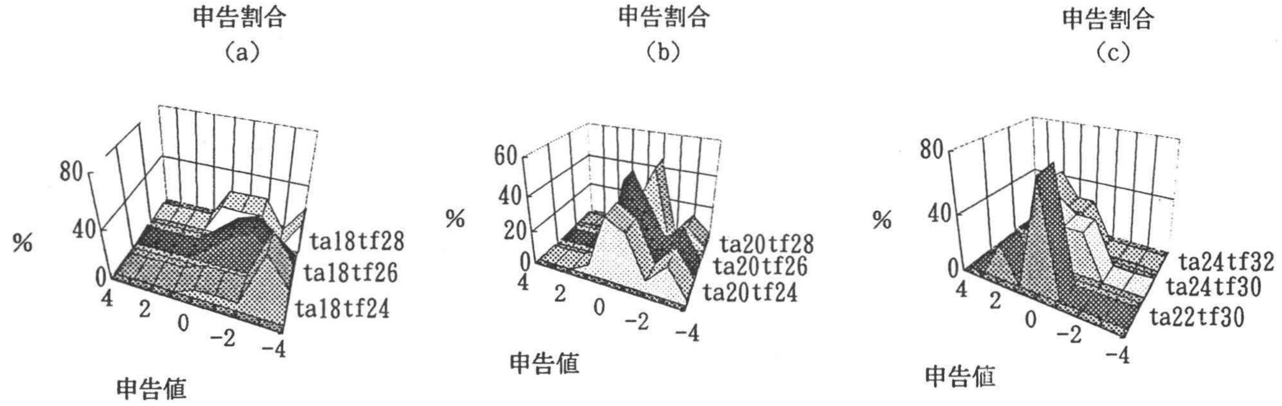
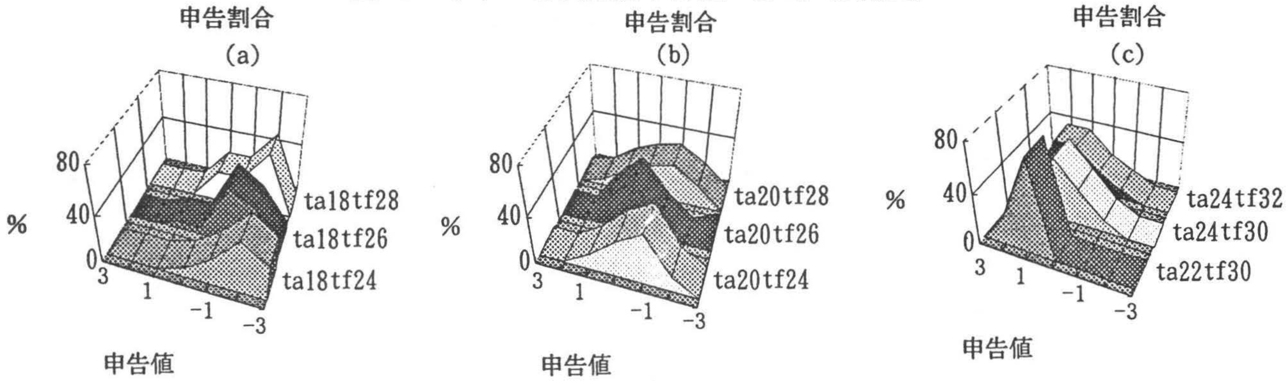


図12　水準ごと快適感申告値の分布（実験2）



(3) 全身温冷感と快適感

全身温冷感申告ごとの快適感申告の割合を**図13**に示す。温冷感申告が暖かい側に変わるのに伴って快適の申告が増え、温冷感が‘やや暖かい’の時快適側の申告がもっとも多く、温冷感が‘暖かい’になるところで不快側の申告が出始めた。

図13　全身温冷感と快適感

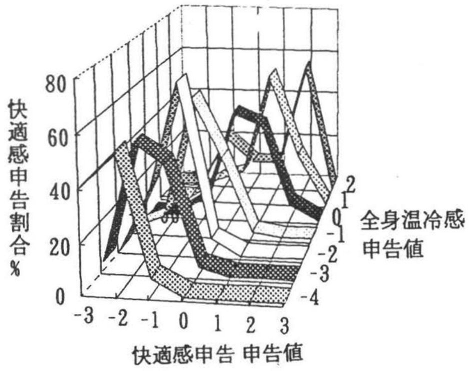
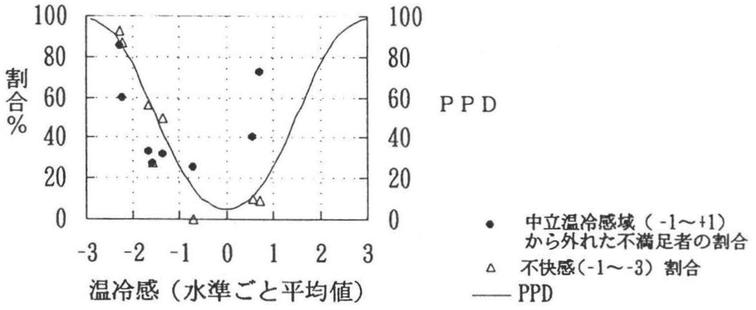


図14では、温冷感と不満割合の関係を示す。実験から不満割合を求めるために、まず、今回の実験結果から温冷感申告値－1～＋1（やや涼しい～やや暖かい）の範囲を熱的中立で満足できる申告として、それ以外の申告を不満として算出した。図にこの申告の割合を示す（図中の曲線は比較のため、PPD曲線を示したものである）と、温冷感の中立域より寒い側でPPD曲線より実験による不満割合が低く、暖かい側でPPD曲線より不満割合が高い値となった。

図14　全身温冷感と不満割合



これは床暖房の場合、気温以外に床温の効果が温冷感に寄与した結果である。また、快適感申告で快適側と不快側の申告値を分けて、その不快側の申告値の割合を不満足割合として図に示すとほぼPPD曲線と一致した。

4. まとめ

本研究では、主に被験者実験を基に心理評価（申告）の結果をまとめ、これを中心に検討した。この検討で次のことを示した。

(1) 接触による皮膚温の上昇が接触温熱感と相関関係にある。

(2) 床温水準24～26℃前後で足裏皮膚温度、全身温冷感申告はある程度長い時間を経過しても下降傾向が現われること、また床温を上げたい・下げたいとの申告率から、床温28～30℃あたりに過渡域を示し、床温設定範囲における一つの境（床温28～30℃は中立域、床温26℃程度が下限域）と考えられる。

(3) 接触温熱感、全身温冷感、快適感申告の分布状況に対する考察から、重回帰により求めた中立温冷感における気温・床温条件範囲の上下の境界を裏付けた。

(4) 床暖房された場合の快適感と温冷感の関係を示した。

4. LiClを含浸させた無機質系吸放湿材による涼房と調湿用建築材料の研究開発

早稲田大学理工学部教授
木　村　健　一

1. 研究背景と目的

夏期に高温高湿となる我が国の気候風土は伝統的民家における土壁のようにporousで調湿性に富む特色ある建築材料や工法を発達させてきた。調湿作用は単に湿度の変動を緩和するだけではなく、夏期にあっては表面からの水分蒸発に伴う表面温度の低下による体感上の効果をも期待し得る点で、自然エネルギー利用手法の一つと位置付けられよう。しかし、近年の建築材料の多くは断熱性、気密性に重きを置いたものが多く、乾式工法による迅速な施工性も起因して調湿性に乏しい建材が大部分を占めるに至った。本研究では化学吸湿材として知られる塩化リチウムを建材に含浸させることで、調湿性能を飛躍的に向上させ得ることを実験的に明らかにし、パッシブ建材として有用性の高い高性能調湿建材を開発することを目的としている。調湿性建材の開発に関しては、粕谷らがゼオライト建材の卓越した調湿性に着目し、その効果特性を実験により明らかにしており[1]、大澤、土川、水谷は合板を含む木板表面に木口面を露出させる形で溝を入れることで、調湿性を向上させ得る可能性を示唆している[2]。また、ゼオライト調湿建材の開発に関しては、寒河江らが一連の研究[2]、[4]、[5]、[6]、[7]で詳細に報告しており、ゼオライトを砂の替わりにモルタルに混入し調湿性を確認したところ、砂との置換率100％で桧の3倍の吸放湿性能が得られたとしている。本研究では著者が太陽熱利用除湿乾燥システムの研究[8]において吸湿材として用いてきた塩化リチウムを含浸材とし、含浸量により吸放湿性を調整し得る可能性を検討した点に特徴がある。

2. 研究方法

塩化リチウムはその潮解性のため強い吸湿性を有することが知られており、水溶液を建材に含浸させる場合、吸湿性能だけでなく放湿性能の特性を同時に評価することが重要である。そこで本研究では塩化リチウムを含浸させた建材の単位体積当たりの単位絶対湿度変化に対する吸湿量（κ'［g/m^3（g/kg）］とする）および単位体積当たりの単位温度変化に対する放湿量（ν'［g/m^3℃］とする）を測定し、無含浸の場合の吸放湿量（κ_o'［g/m^3（g/kg）］、ν'［g/m^3℃］とする）と比較検討することで向上した調湿性能を評価した。

2－1　測定原理

中尾が示した動的測定法[9]に準じてκ'、ν'を求めた。中尾の方法は本来、材料内の水分移動が線形熱水分同時移動方程式で表される領域における単位体積当たりの単位絶対湿度変化に対する吸放湿量（κ［g/m^3（g/kg）］）、単位体積当たりの単位温度変化に対する吸放湿量（ν［g/m^3℃］）および湿気伝導率を測定する方法であり、本研究のように通常の吸湿メカニズムと異なり、塩化リチウムとの水和反応が生じて材内が高含水率となる場合にはハイグロスコピック域の仮定は成立しないものと考えられる。従って、動的測定法における湿気伝導率のような水分移動の容易さを表す物性値の同定は行えないが、求めたκ'、ν'が周囲温湿度により変動する物性値であることを認識すれば、吸放湿特性の比較は十分に行い得るものと考えた。

2－2　測定手順

試験体として無機質系吸放湿材であるケイ酸カルシウム板（厚8mm）と木質系建材として合板（厚12mm）を取り上げ、所定の大きさ（150×300mm）に裁断して空調された室に一定期間放置し、重量測定（研精工業社製・EX－20KA・測定限界0.1g）の後5％、10％、20％の塩化リチウム水溶液（濃度は比重法により測定）中にそれぞれ3種類（ケイ酸カルシウム板は5、10、20分、合板は1、3、9時間、時間当たりの含浸量が極端に異なるため材種により異なる含浸時間とする水準設定とした）の時間にわたり液中に完全に沈めて浸け置いた。含浸後に再び重量測定を行い、含浸した水溶液量と溶液濃度から塩化リチウムの正味の含浸量を求めた。含浸させた試験体（濃度3種×含浸時間3種＝9［枚/1材種］）および無含浸の試験体（1［枚/1材種］）、合計20枚の試験体を1面を残しポリエチレンシートにより断湿し、25［℃］・50［％］の初期状態に設定された恒温恒湿槽（タバイエスペック社製・LHL－112M）内に重量一定となるまで静置した。重量測定は試験体を入れた直後と恒温恒湿槽の温湿度設定を変化（後述）させた直後は数時間間隔とし、これらの変化後24時間程度経過したあとはほぼ24時間間隔で手動測定した。各試験体の恒温恒湿槽内の棚における静置位置は、重量測定ごとに乱数を用いてランダムに変化させ、恒温恒湿槽内の静置位置による実験結果への影響を無作為化し得るよう工夫した。また、恒温恒湿槽内の温度と絶対湿度は5分間隔で自動計測した。実験システムを**図1**に示す。初期状態に対して十分定常に達した後、**図2**に示すように加湿実験（12［g/kg］→15［g/kg］；25［℃］設定）、除湿実験（15［g/kg］→11［g/kg］；25［℃］設定）、加湿加熱実験（25［℃］・11［g/kg］→30［℃］・13［g/kg］設定）、冷却実験（30［℃］→25［℃］；13［g/kg］設定）の順に恒温恒湿槽の設定温湿度を変化させてそのときの各試験体の重量変化の応答特性を測定した。実験は1993年7月30日より1994年3月4日まで連続して行った。

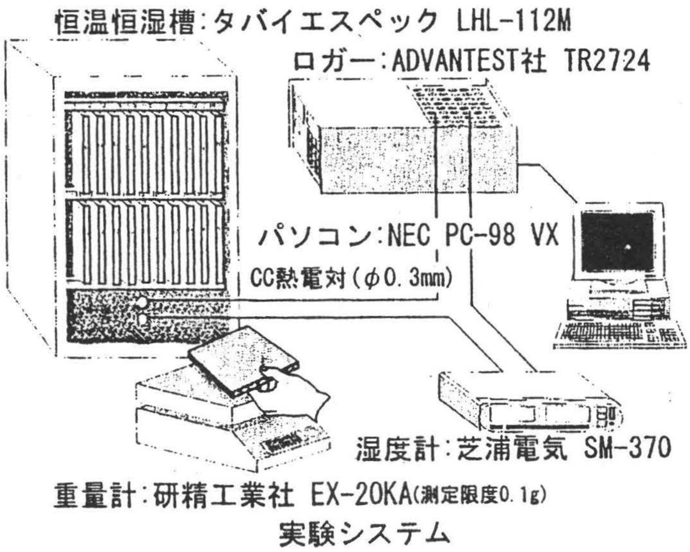


図1　実験システム

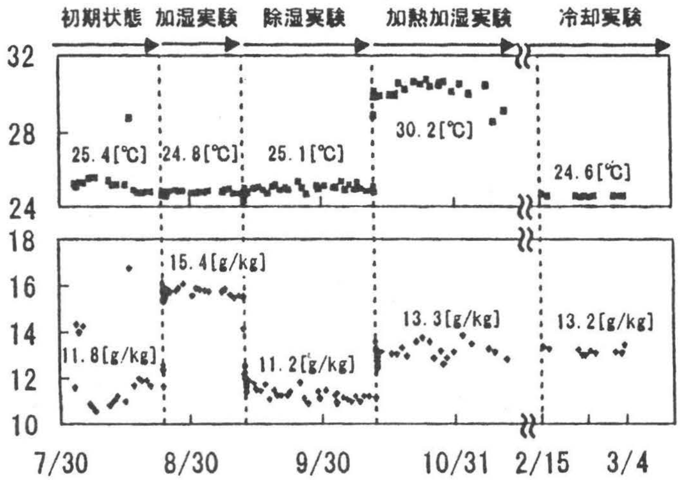


図2　実験スケジュール

3. 実験結果および考察

3－1　塩化リチウムの含浸

図3に各含浸条件に対する塩化リチウム含浸量を示す。ケイ酸カルシウム板と合板とでは材固有の吸水性が極端に異なるため、塩化リチウムの含浸量はケイ酸カルシウム板の方が1桁大きい結果となった。このことからporousで吸水性が大きい材料ほど本方法に適していると考えられる。

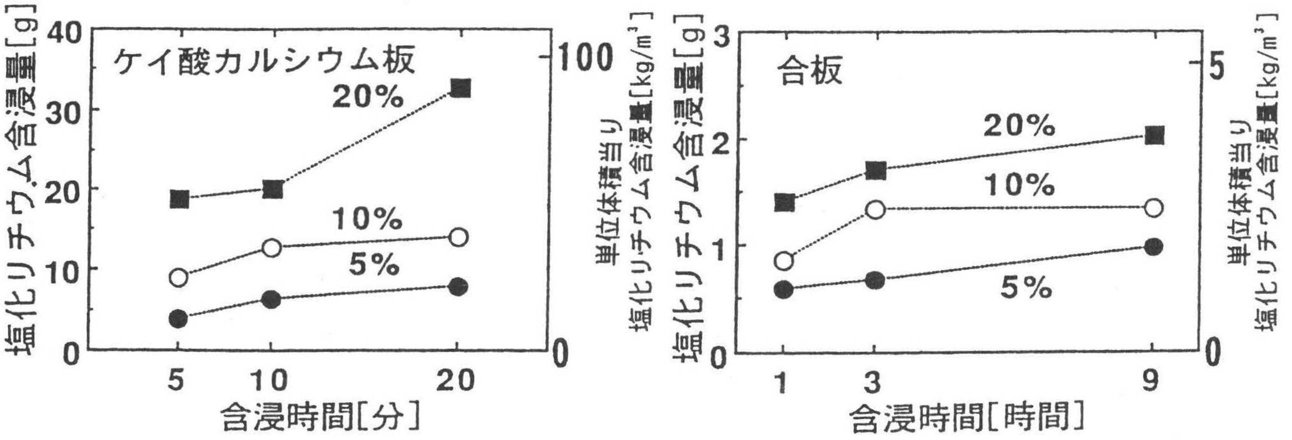


図3　塩化リチウム含浸量

3－2　絶対湿度変化による吸放湿特性

図4に加湿実験における無含浸および5、10、20％の塩化リチウム水溶液にケイ酸カリシウム板は20分、合板は9時間含浸させた試験体の重量変化単位応答特性を示す。他の試験体についても同様の傾向が認められた。図中に示した回帰曲線は重量変化単位応答を指数単項近似し、重量測定間隔に関する補正を施して非線形回帰（**付録（1）参照**）して求めたものである。合板は塩化リチウムの含浸量が少ないため明確ではないが、ケイ酸カルシウム板では含浸量が多いほど重量変化の定常値（回帰曲線のw_0、予測重量変化定常値）が大きくなることがわかる。これに対し、重量変化の時間遅れは含浸量によらずほぼ一定であり（回帰式中の減衰率がほぼ一定）、塩化リチウムを含浸させることにより生じる吸湿特性の変化は主として吸湿容量に関して認められ、吸湿速度については変化しないことが特徴的である。なお、除湿実験についても同様の傾向が認められた。

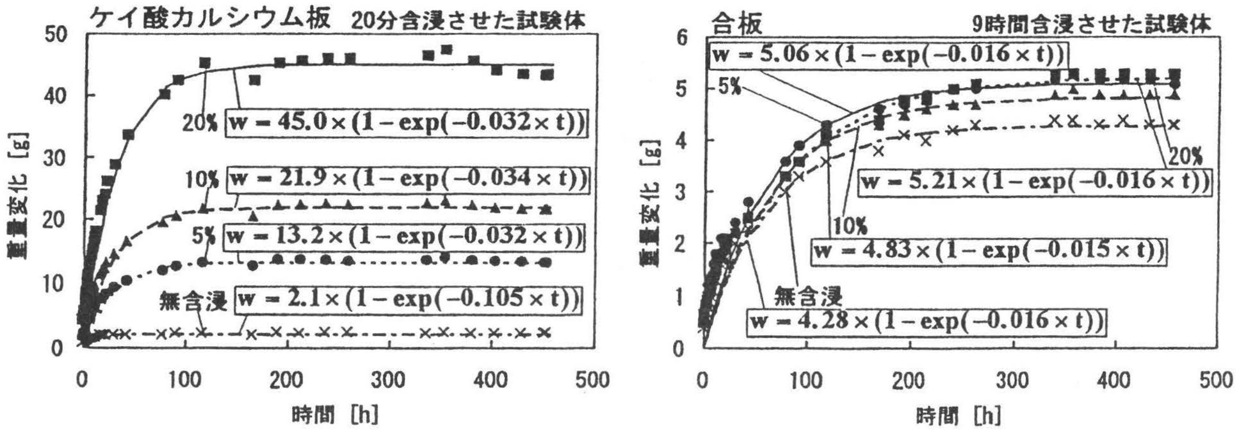


図4　加湿実験における重量変化単位応答特性

図5は加湿実験、除湿実験結果から重量変化を試験体体積および絶対湿度変化幅（各実験開始前の絶対湿度と平均絶対湿度の差（**付録（2）**参照））で除して求めたκ'と単位体積当たりの塩化リチウム含浸量L［kg/m^3］との関係を示したものである。図中の$\kappa L'$［g/m^3（g/kg）］（＝$\kappa' - \kappa_0'$、κ_0'については**付録（3）**参照）は塩化リチウムを含浸させたことで向上した吸放湿性能を示す。加湿実験と除湿実験の傾向はいずれも類似しており、吸湿と放湿の可逆性が認められる。ケイ酸カルシウム板、合板ともに塩化リチウム含浸量とκ'には強い正の相関が認められる。合板ではκ_0'に対し$\kappa L'$は相対的に小さいが、ケイ酸カルシウム板では非常に

大きく、90.8 [kg/m^3] の塩化リチウムの含浸により材固有の吸放湿性能のほぼ20倍の性能が期待できることがわかった。また、塩化リチウム含浸と κ' との強い相関は含浸塩化リチウム量を加減することで所要の吸放湿性能が再現できることを示している。

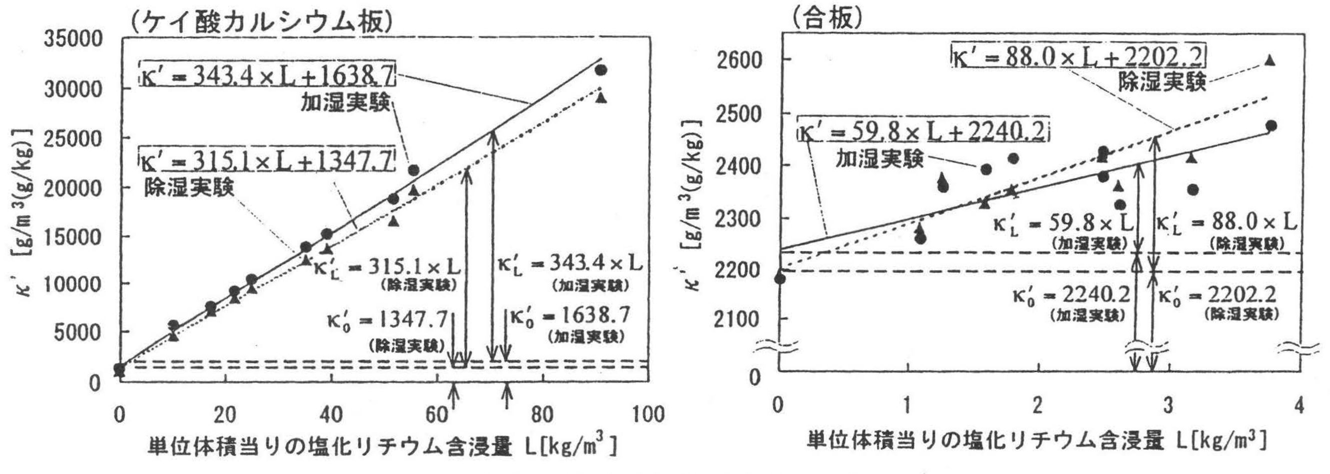


図5　正味の塩化リチウム含浸量と κ' との関係

3－3　温度変化による吸放湿特性

図6は冷却実験結果から ν' と単位体積当たりの塩化リチウム含浸量L [g] との関係を示したものである。ν_L' [g/m^3℃] (＝ν'、－ν_0'、ν_0'については注記 (1) 参照) は塩化リチウムを含浸させたことで向上した吸放湿性能を示しており、κ' と同様に塩化リチウム含浸量と ν' との間に正の相関が認められる。塩化リチウムを90.8 [kg/m^3] 含浸させたケイ酸カルシウム板では、材固有の吸放湿性能のほぼ24倍の性能となった。

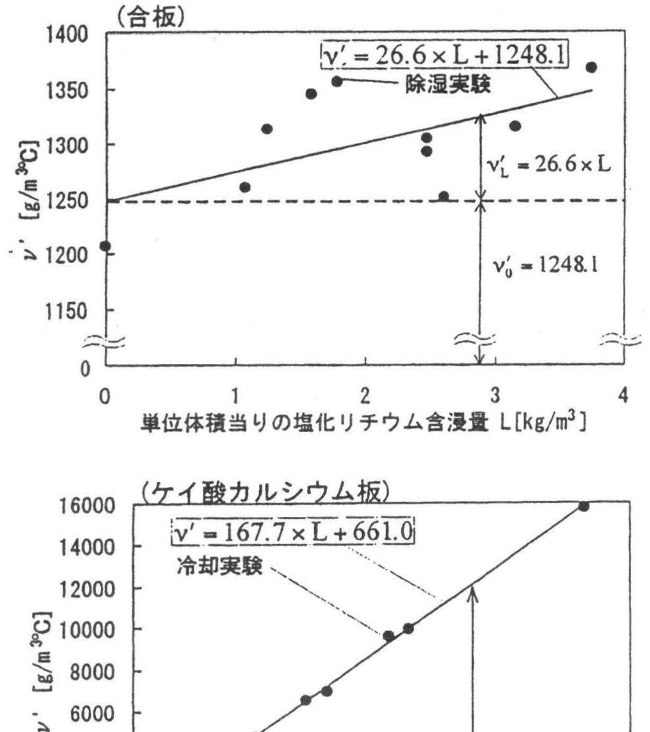


図6　正味の塩化リチウム含浸量と ν' との関係

3－4　塩化リチウム水溶液との吸放湿特性比較

加湿実験、除湿実験、加熱加湿実験、冷却実験の全ての試験体について（1）式によりβを求め、正味の塩化リチウム含浸量との散布を示したのが**図7**である。

$$\beta = \frac{W}{(C_1^{-1} - C_2^{-1})\ LV} \cdots\cdots (1)$$

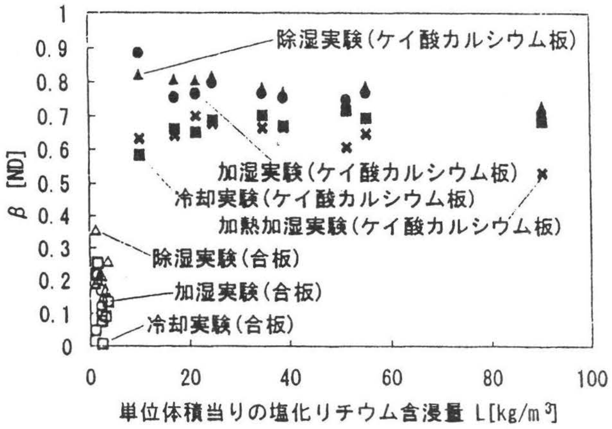


図7　正味の塩化リチウム含浸量とβとの関係

ここで、C_1・C_2［kg/kg］：吸放湿前・後の周囲空気と飽和する塩化リチウム水溶液濃度、L［kg/m^3］：建材単位体積当たりの塩化リチウム量含浸、V［m^3］：試験体験材の体積、W［kg］：塩化リチウムを含浸させた建材が吸放湿した水分量である。(1) 式の分母は建材に含浸した同量の塩化リチウムを水溶液の状態で吸放湿前後の空気に飽和させた場合の吸放湿水分量を示しており、βは水溶液の状態の塩化リチウムと建材に含浸させた塩化リチウムの吸放湿特性の比を表す無次元数である。合板については塩化リチウム含浸量が微少なため、βの値は小さくかなりばらつきがある。ケイ酸カルシウム板については、各プロットはやや右下がりの傾向が認められるものの、いずれの実験結果もほぼ0.7～0.8近傍に散布しており、このことは各実験結果の妥当性を裏付けるとともに含浸量、吸放湿過程によらずβは概ね一定の値であることを示していると考えられる。合板とケイ酸カルシウム板のβが大きく異なることから、材種によりβは異なると予想され、今後塩化リチウムを含浸させるに適した建材を明らかにしていく必要があろう。

4. 結　　論

本研究により得られた知見をまとめる。

(1) 高性能調湿建材として塩化リチウムを建材に含浸させる手法を提案し、含浸により調湿性能が飛躍的に向上することを明らかにした。

(2) 塩化リチウムを含浸させることにより向上する吸放湿性能は、正味の塩化リチウム含浸量により調整可能であることがわかった。

また、今後の課題として以下の点が上げられる。

(1) 本研究における実験は限られた温湿度条件におけるデータであり、幅広い温湿度範囲における実験データを蓄積する必要がある。

(2) 今回は建材として合板とケイ酸カルシウム板を含浸対象としたが、含浸による吸放湿特性

は建材により異なることが予想され、他の建材についても検討する必要がある。

(3) 塩化リチウムは高価であり、実用性を考慮すると、吸湿性、潮解性など類似の化学的性質を有し比較的安価な塩化カルシウムなどについても検討する必要がある。

【付録】

(1) 重量変化単位応答の非線形回帰について

時刻t_i ($0 \leqq i \leqq n$) における重量変化測定結果をW_i ($0 \leqq i \leqq n$) [g] とし、これを

$W(t) = W_0 (1 - \exp(-kt))$

で指数単項回帰する。式中の未定係数W_0(予測重量変化定常値 [g])、k (減衰率) は

$$\sum_{i=0}^{n} p_i \cdot (W_i - W(t_i))^2$$

が最小となるように決定する。ただし、p_iは重量測定間隔に関する補正を考慮した重み係数であり、以下のように定義した。

$$p_i = n \cdot (t_i - t_{i-1}) / \sum_{i=0}^{n} t_i$$

(2) 平均絶対湿度について

恒温恒湿槽の制御性能の限界により実験中の絶対湿度にばらつきを生じたため以下の補正により平均絶対湿度を求めた。

各試験体ごとに予測重量変化定常値 (W_0 [g]) の95%にはじめて達した時点以降 (定常状態とする) の測定データについて、測定重量と測定時の絶対湿度を1次回帰し、回帰式にW_0を代入して求めた絶対湿度を平均絶対湿度とした。定常状態における絶対湿度の微小変移による重量変化は瞬時定常とみなし得、1次回帰式による当てはめは妥当であると仮定し、各重量データには付録 (1) で述べた測定間隔による重みを考慮した。

ステップ変移を与える前の状態である実験開始前の絶対湿度についても同様の補正を施した。

(3) κ_0'、ν_0'について

単位体積当たりの塩化リチウム含浸量Lとκ'、ν'との相関の強さが試験体によって異なるため、ケイ酸カルシウム板については回帰直線の切片の値、合板については無含浸の試験体のκ'、ν'をκ_0'、ν_0'とした。

【参考文献】

1) 粕谷正広・木村啓一・小林康彦・土橋芳郎、ゼオライト建材の調湿効果に関する基礎的実験研究、日本建築学会大会 学術講演梗概集、1989年・p.p.1415～1416

2) 大澤徹男・土川忠浩・水谷草夫、溝をつけた木板の吸放 湿特性に関する研究 その1～その3、日本建築学会大会 学術講演梗概集、1990年・1991年、p.p.1093～1094

3) 寒河江昭夫・和美広喜、調湿性建材の開発その1、鹿島建設技術研究所年報、1987年、p.p.225～230

4) 寒河江昭夫・和美広喜・荒井良延・笠井浩、調湿性建材の開発 その2、鹿島建設技術研究所年報、1991年、p.p.259～266
5) 寒河江昭夫・和美広喜・荒井良延・笠井浩、ゼオライト系調湿パネルに関する開発研究 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990年、p.p.1095～1096
6) 寒河江昭夫・和美広喜・荒井良延・笠井浩・黒木勝一、ゼオライト系調湿パネルに関する開発研究 その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990年、p.p.1097～1098
7) 寒河江昭夫・和美広喜・荒井良延・笠井浩、ゼオライト系調湿パネルに関する開発研究 その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、1990年、p.p.825～826
8) 例えば、Kwang－hwan Choi and Ken－ichi、Experimental Study on the Model Regenerator of Open Cycle Solar Absorption Dehumidifying and Drying Sytem、空気調和・衛生工学会論文集 No.50, Oct.、1992年、p.p.43～51
9) 中尾正喜、建築材料の吸放湿特性の動的測定法 その3 測定実験、日本建築学会計画系論文報告集第348号、1985.2、p.p.1～9
10) 張本和芳・木村建一・谷本潤、塩化リチウムを含浸させた高性能調湿建材に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1994年、(投稿中)

5. 防火戸の中温および、高温時における遮煙性能試験方法の開発

(財)日本建築総合試験所
環境試験室主査
倉　橋　岩　夫
(共同研究者)
同試験所常任理事副所長
正法院　陽　三
同試験室長
十　倉　　毅
研究員
園　部　　敬
研究員
田　中　義　昭

1. はじめに

建物の防火区画における開口部には、火災時の延焼防止や発生した煙の拡散を防ぐために鋼製・木質系ドア、シャッター等の防火戸が設置される。これらの遮煙性能は、現在のところ建築基準法では常温における通気量で評価されている。しかし、火災室あるいはこれに近い場所に設けられた防火戸は、高温にさらされるため常温時の遮煙性能とは異なることが予想される。このため火災時における防火戸の遮煙性能を把握する適切な試験方法が、(財)日本建築センターに設置された「新防・耐火試験研究委員会（委員長 斉藤光千葉大学工学部教授)、S60～H2」でも検討されたが、未だ結論を得るには至っていない。また、新たに建設省総合技術開発プロジェクト「防・耐火性能評価技術開発委員会（委員長岸谷孝一日本大学理工学部教授)」が平成5年に発足した。この研究課題の1つとして「ドア・シャッター・ダンパー等の火災時の遮煙性、遮炎性を評価するための試験方法」が検討されることになっている。

一方、防火戸の遮煙性能に関する国際規格には、ISO 5925「第1部：常温及び中温の漏煙試験、第2部：高温の漏煙試験」があり、第2部の高温の漏煙試験では、試験体の非加熱側に空気補足気密箱を取付け、気密箱からの流出煙量を測定する方法が示されている。しかし、この方法では、時間の経過にともなって気密箱内の空気温度が上昇し、実際とは相当異なった非火災室の状態になる。また高温で煙を含む空気の流量測定も極めて困難である。

本調査研究では、ISO法とは逆に試験体を取付けた耐熱気密箱そのものを耐火試験用加熱炉で加熱する。そして同箱内への送気により、試験体前後（箱内外）の圧力差に応じた漏気量を求める。この方法によれば試験体の非加熱側を実験室大気に開放したまま耐熱気密箱を常温から中高温まで変化させることができるので、実際の火災時に近い状態で防火戸の遮煙性能を把握できる。

今回の試験は、基礎データの収集を目的とし、標準的な防火戸についておこなった。以下にその結果を報告する。

2. 試験体

試験体の種類と記号を表－1に示す。試験体は標準的な大きさ幅800mm×高さ2100mmの鋼板製片開きドアである。扉の仕様は、①建築基準法施行令110条に規定される甲種防火戸「骨組を鉄製とし両面に厚1.6mmの鉄板を溶接にて張ったもの」で、扉内部が中空のものとグラスウール充填の遮熱性のあるもの、②乙種防火戸相当品として、水酸化アルミニウム紙コアを芯材に両面に厚0.6mmの鉄板を接着剤にて張ったもの。ドア枠の仕様は、戸当り部分に、気密材を用いないものとクロロプレンゴムを用いたものがあり試験体は6種類である。試験体数は、各種類とも両面（室外側：扉の開く方向で丁番の取付側、室内側：扉の閉じる方向でドアクローザ取付側）から加熱することとし2体づつ合計12体である。

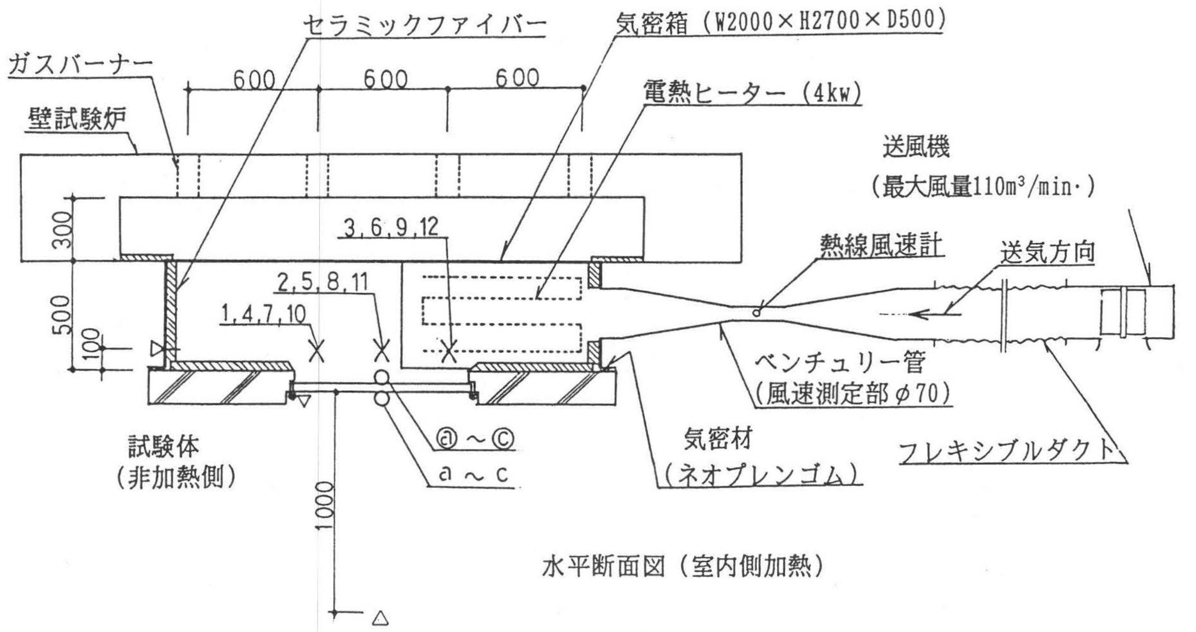
試験体の製作に際しては、ドア枠周囲に幅300mm×厚150mmのモルタルを打設し試験体を固定する構造体としている。また、加熱側面のドア枠周囲を鉄板全面張（セラミックファイバー被覆）とし、ドア枠と構造体間からの漏気をなくすとともに加熱時におけるモルタルからの水蒸気が気密箱内に発生しないようにした。

表－1　試験体

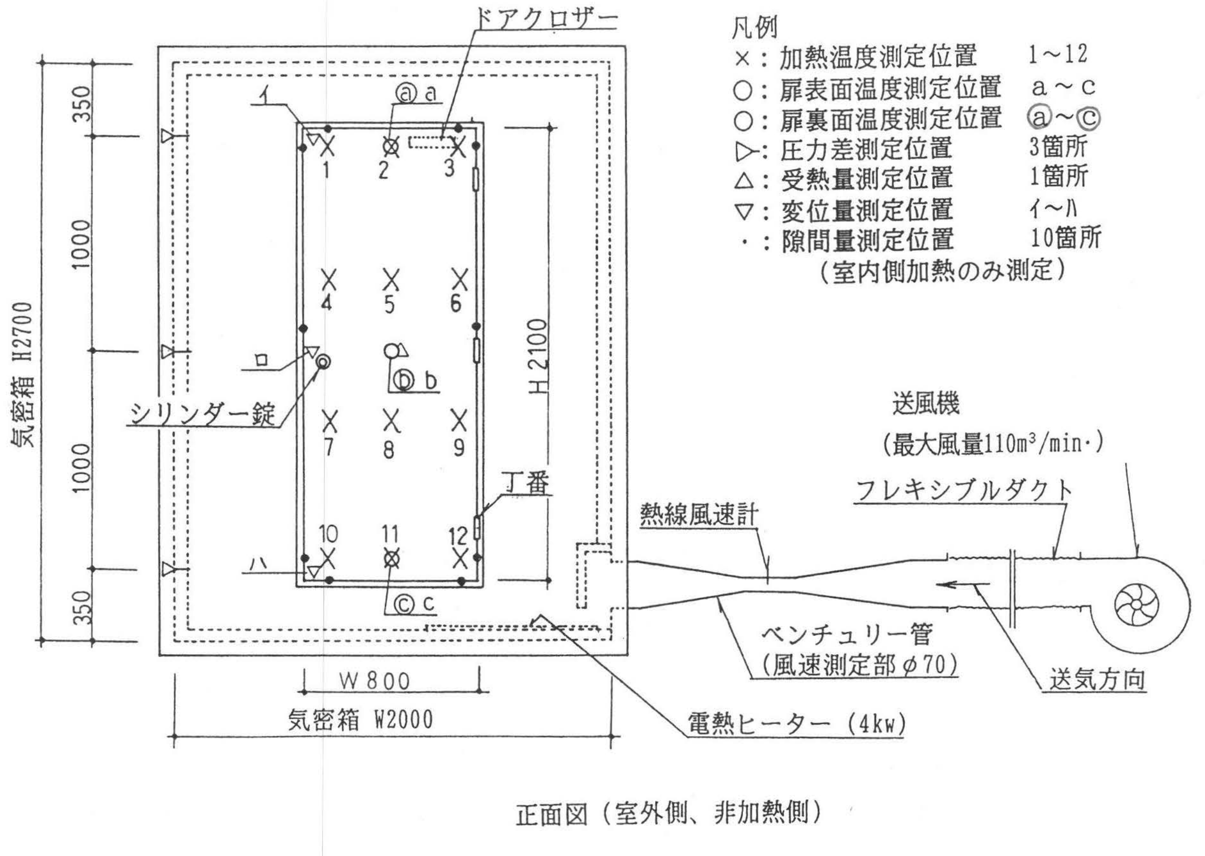
No.	記　号	気 密 材	扉 の 仕 様		加 熱 面
1	NⅠi	無し（N）	甲種防火戸（溶接構造）	ｸﾞﾗｽｳｰﾙ充填　（Ⅰ）	室内側（i） 室外側（o）
2	NⅠo				
3	NⅡi			中空　（Ⅱ）	
4	NⅡo				
5	NⅢi		乙種防火戸（接着構造）	水酸化ｱﾙﾐﾆｳﾑ紙ｺｱ（Ⅲ）	
6	NⅢo				
7	AⅠi	ｸﾛﾛﾌﾟﾚﾝ ｺﾞﾑ(A)	甲種防火戸（溶接構造）	ｸﾞﾗｽｳｰﾙ充填　（Ⅰ）	
8	AⅠo				
9	AⅡi			中空　（Ⅱ）	
10	AⅡo				
11	AⅢi		乙種防火戸（接着構造）	水酸化ｱﾙﾐﾆｳﾑ紙ｺｱ（Ⅲ）	
12	AⅢo				

3. 試験装置

試験装置の概略を**図－1**に示す。同装置は、加熱炉・鋼製気密箱・インバータ制御付き送風機およびベンチュリー管等で構成されている。

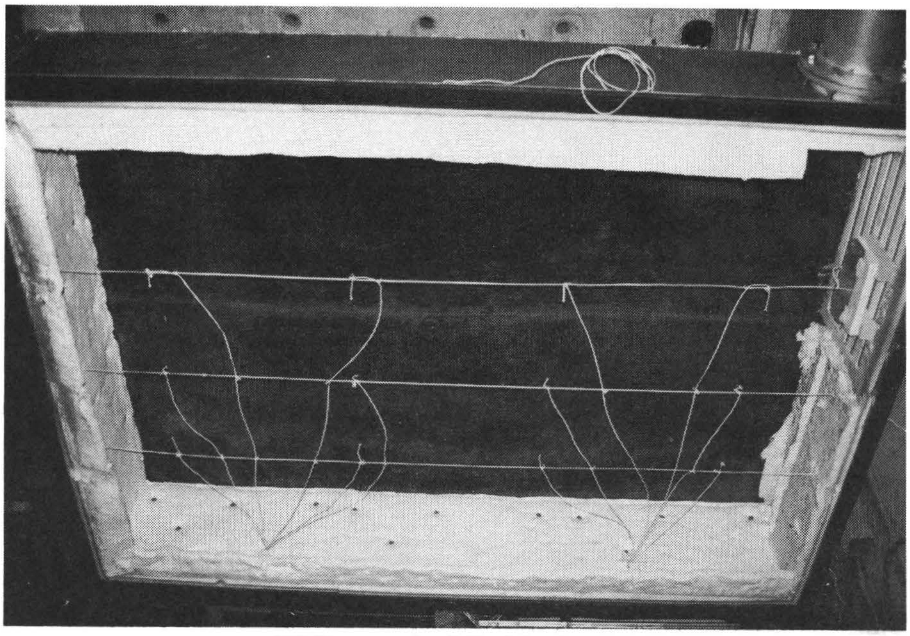


水平断面図（室内側加熱）



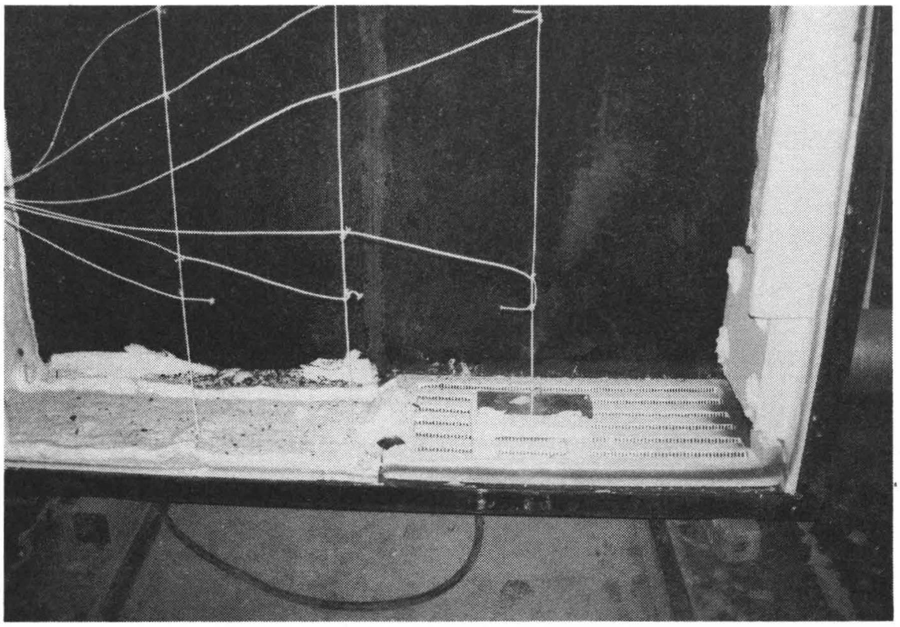
正面図（室外側、非加熱側）

図－1　試験装置概略図（寸法単位：mm）



写真－1　気密箱内部全景

加熱炉は、当所の大型壁耐火試験炉（加熱面寸法：W2.4m×H2.8m）で、熱源は都市ガスである。補助加熱用として、電熱ヒーター（4kw）を気密箱内の下部に設置した。気密箱の作成に際しては、加熱時の熱変形によって隙間が生じないように、鉄板（厚2.3mm）を全溶接にて成形した。また、加熱面を除いて気密箱内部をセラミックファイバー（厚50mm）で被覆し、保温性能を高めた（写真－1，2）。



写真－2　気密箱下部電熱ヒーター

4.　試験方法

4.1　加熱方法

加熱炉により試験体を取付けた気密箱背面を加熱し、その鋼板の輻射熱を利用した。また、試験体に応じて適宜、昇温のために電熱ヒーターを用いた。加熱設定温度は、200℃、400℃、600℃（試験体AI_0のみ800℃）とし、漏気測定時は火力を調整し各設定温度の保持に努めた。

4.2 温度の測定

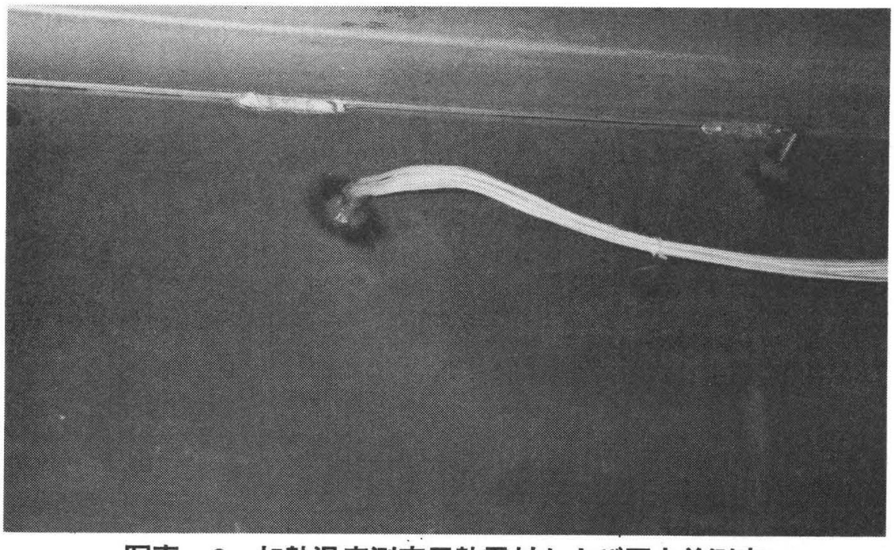
加熱温度および扉表裏面温度をK熱電対（φ0.65mm、セラミックファイバー被覆）、データロガー（東京測器研究所製TDS302）およびコンピュータにより30秒毎に測定した。加熱温度は試験体面から10cm離れた位置の12点とした。

4.3 漏気量の測定

試験体を加熱しながら、送風機に直結したベンチュリー管内の風速および空気温度を測定し、管断面積と風速の積から各圧力差に応ずる単位時間あたりの漏気量を求めた。表示に際しては、これを標準状態（20℃、1気圧）に換算した。風速の測定には無指向性の熱線風速計（カノマックス社製、測定範囲：0.05～50m/s）を用いた。また、気密箱自身からの漏気測定に際しては、試験体をビニルシートで覆った状態で浮遊式流量計（児島製作所製、最小測定値：0.0002m^3/min）を通じコンプレッサーにより加圧した。この測定は、加熱前と3体の試験終了毎におこなった（写真－15，16）。

4.4 圧力差の測定

マノメータ（岡野製作所製）を用いて、扉高さ中央部と参考値として扉上下端部から5cm内側の位置でそれぞれ気密箱内圧と大気圧との差圧を測定した。加熱中は送気量を調節し、扉高さ中央部の圧力差を10Paに保持した。常温および所定の加熱温度では、送風機の回転数により圧力差を10～100Paに変化させた（写真－3）。



写真－3　加熱温度測定用熱電対および圧力差測定口

4.5 扉の変位量の測定

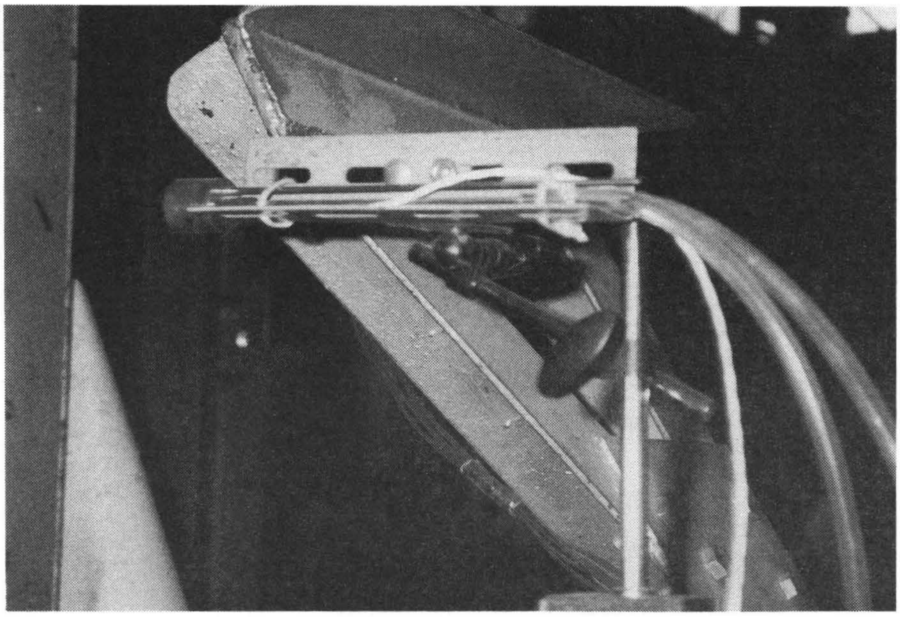
ワイヤ式変位計（東京測器研究所製、最小測定値：0.1mm）を用いて、扉の戸先側3カ所の位置で面外方向の変位量を測定した。

4.6 隙間量の測定

隙間ゲージを用いて扉と枠の見付け部分（室外側面）の隙間量を測定し、各辺の隙間量平均値より隙間面積を算出した。この測定は室内側加熱の場合についておこなった。

4.7 輻射量の測定

輻射計（米国、MEDTHERM Corporation製）を用いてドア裏面における輻射量を測定した。輻射計の設置位置は、扉面から1m離れた、扉の高さおよび幅の中央とした（写真4）。



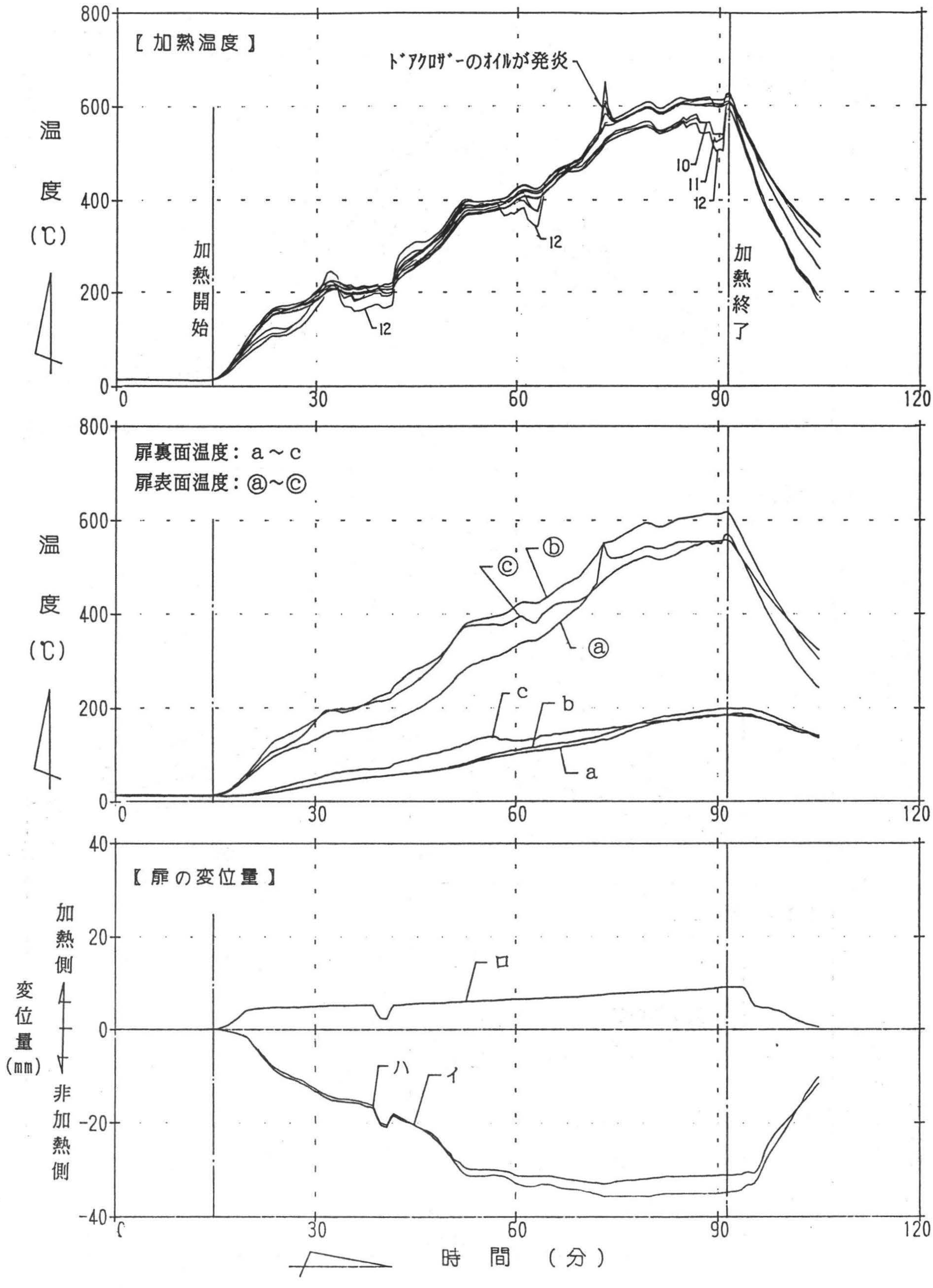
写真－4　輻射計

5. 測定結果

温度および扉の変位量測定結果を**図－2～13**に示す。

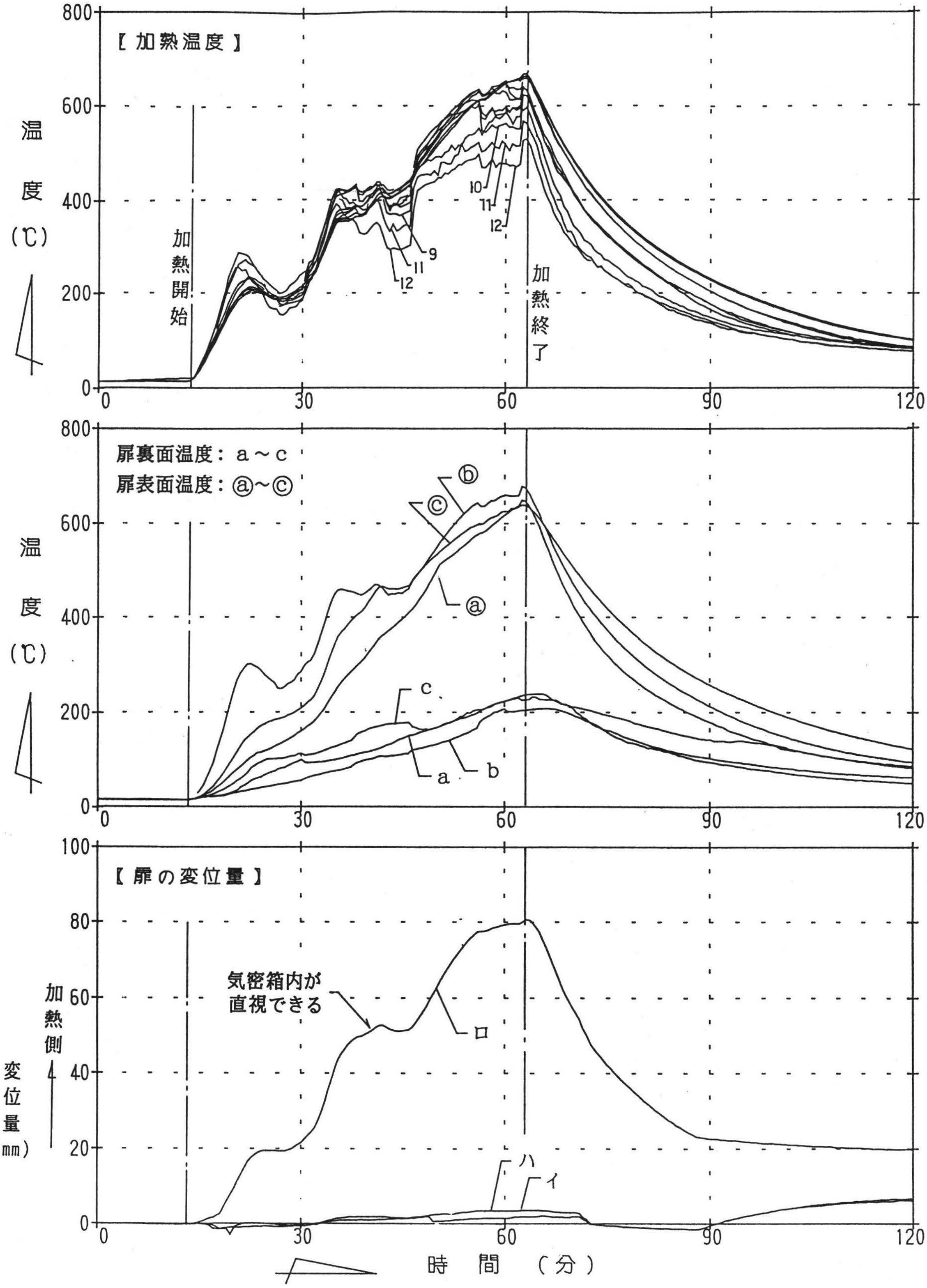
図－2　温度および変位量測定結果（試験体NI₀）

測定日：1994.1.21



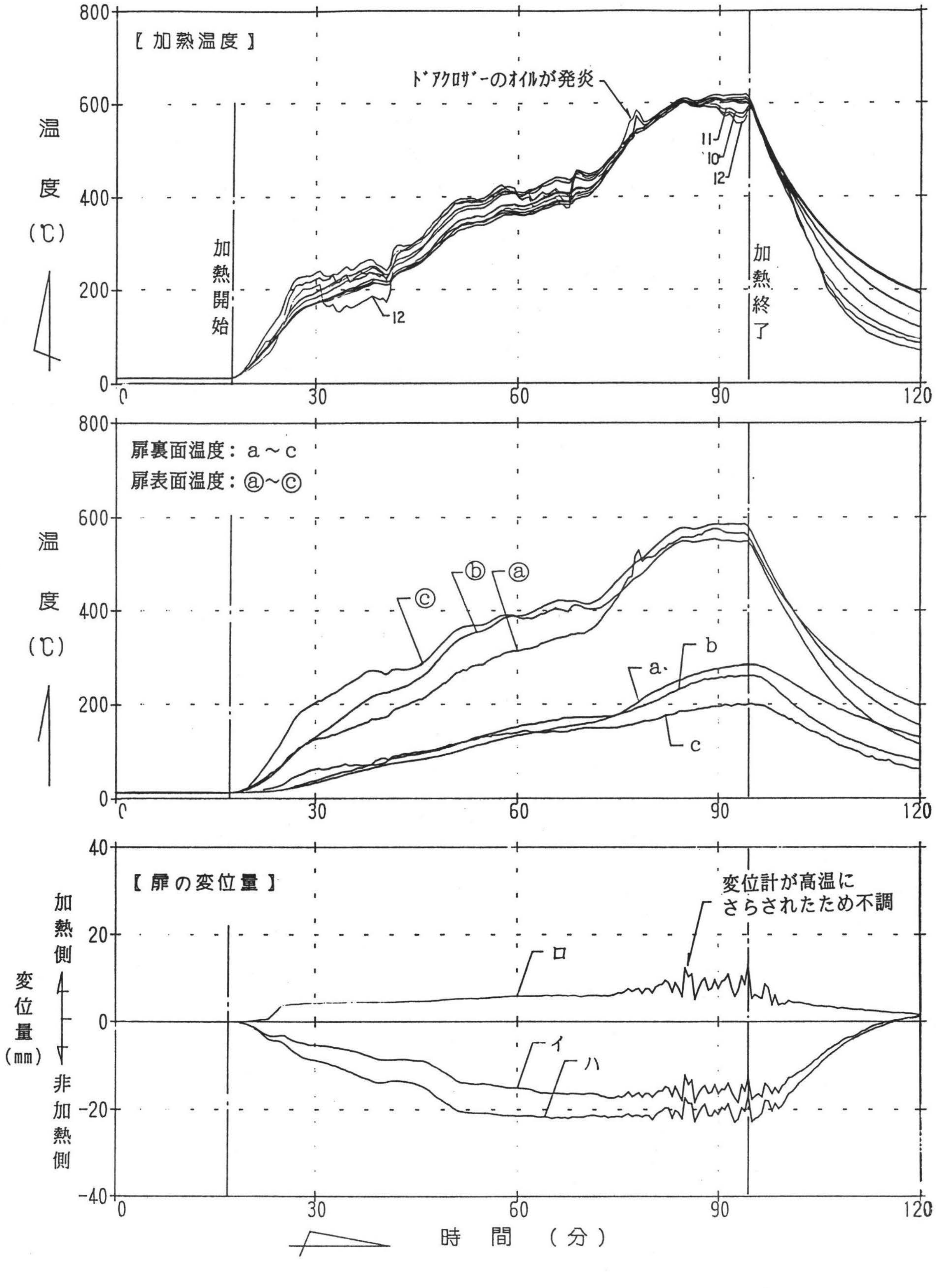
図－3　温度および変位量測定結果（試験体No）

測定日：1994.3.7



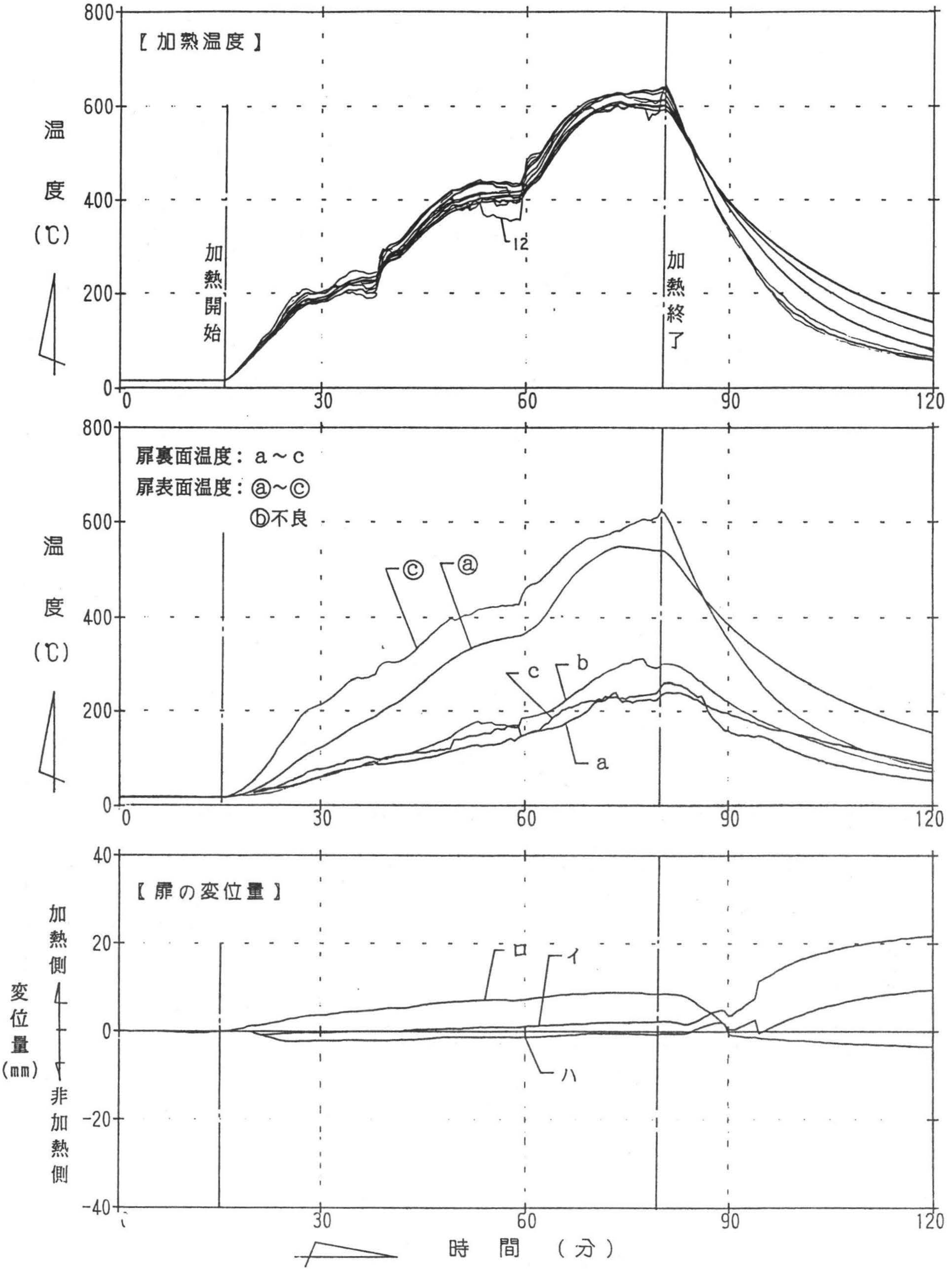
図－4　温度および変位量測定結果（試験体NIIi）

測定日：1994.1.31



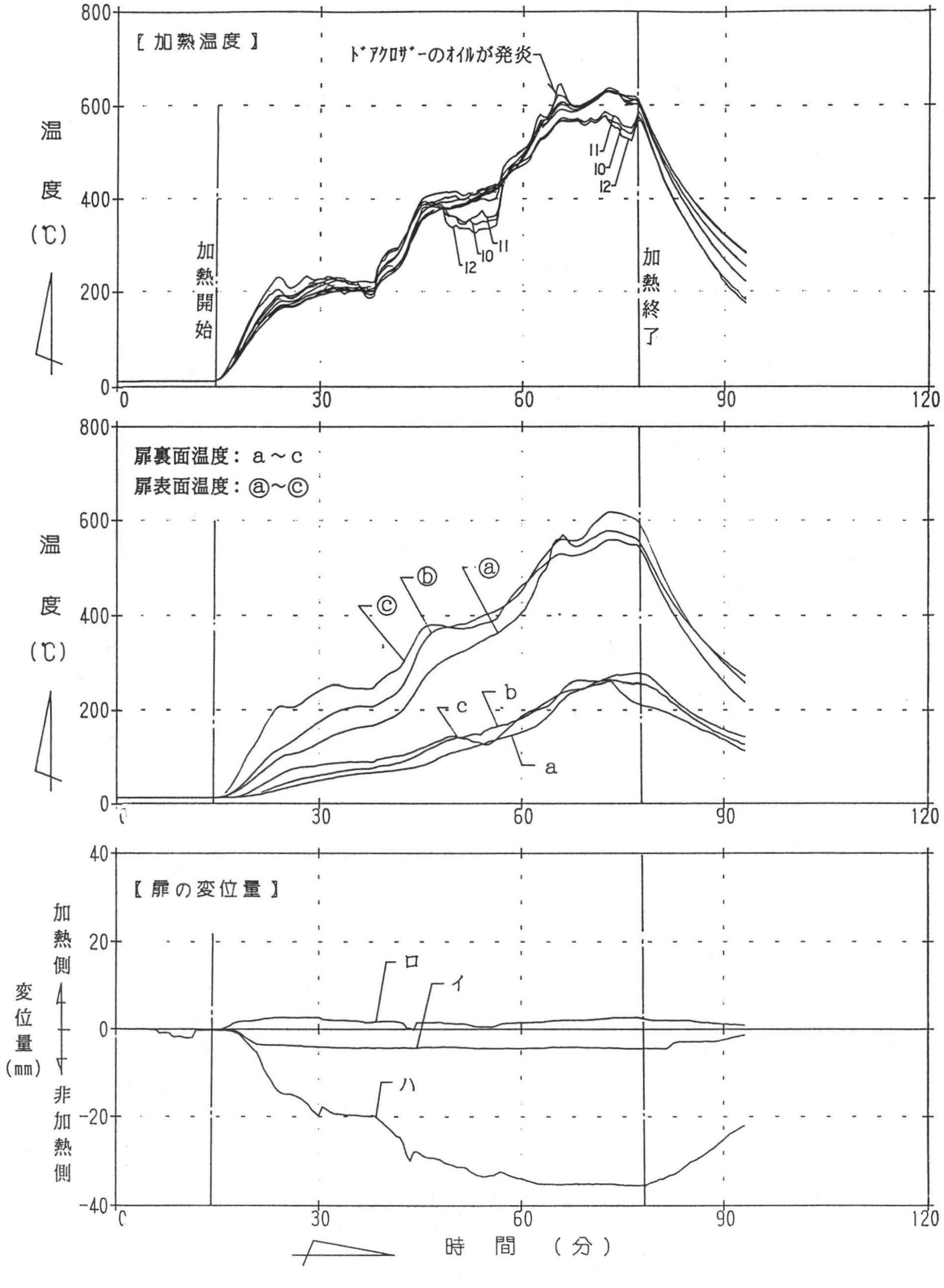
図－5　温度および変位量測定結果（試験体NII。）

測定日：1994.3.3



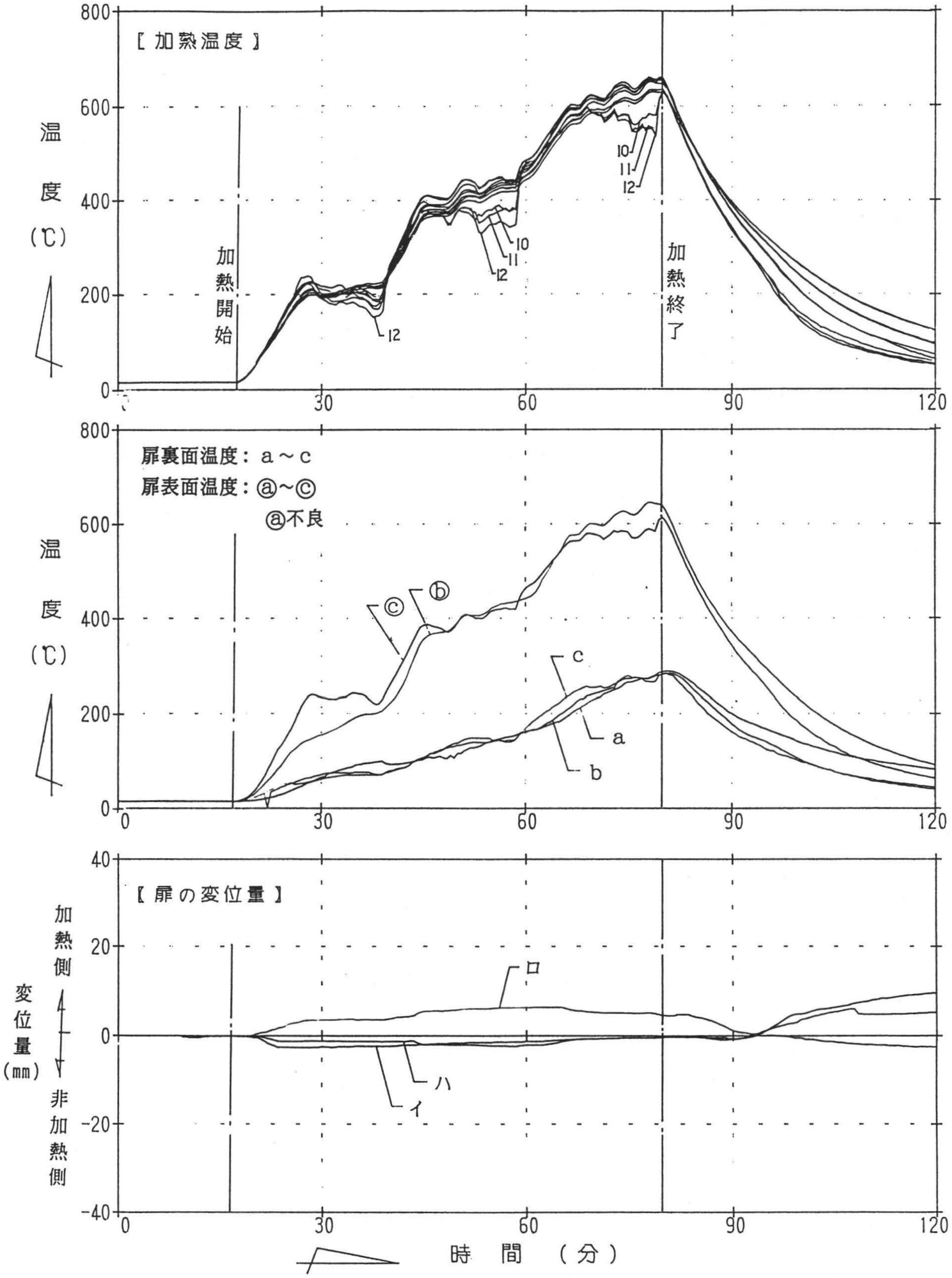
図－6　温度および変移量測定結果（試験体NIIIi）

測定日：1994.1.25



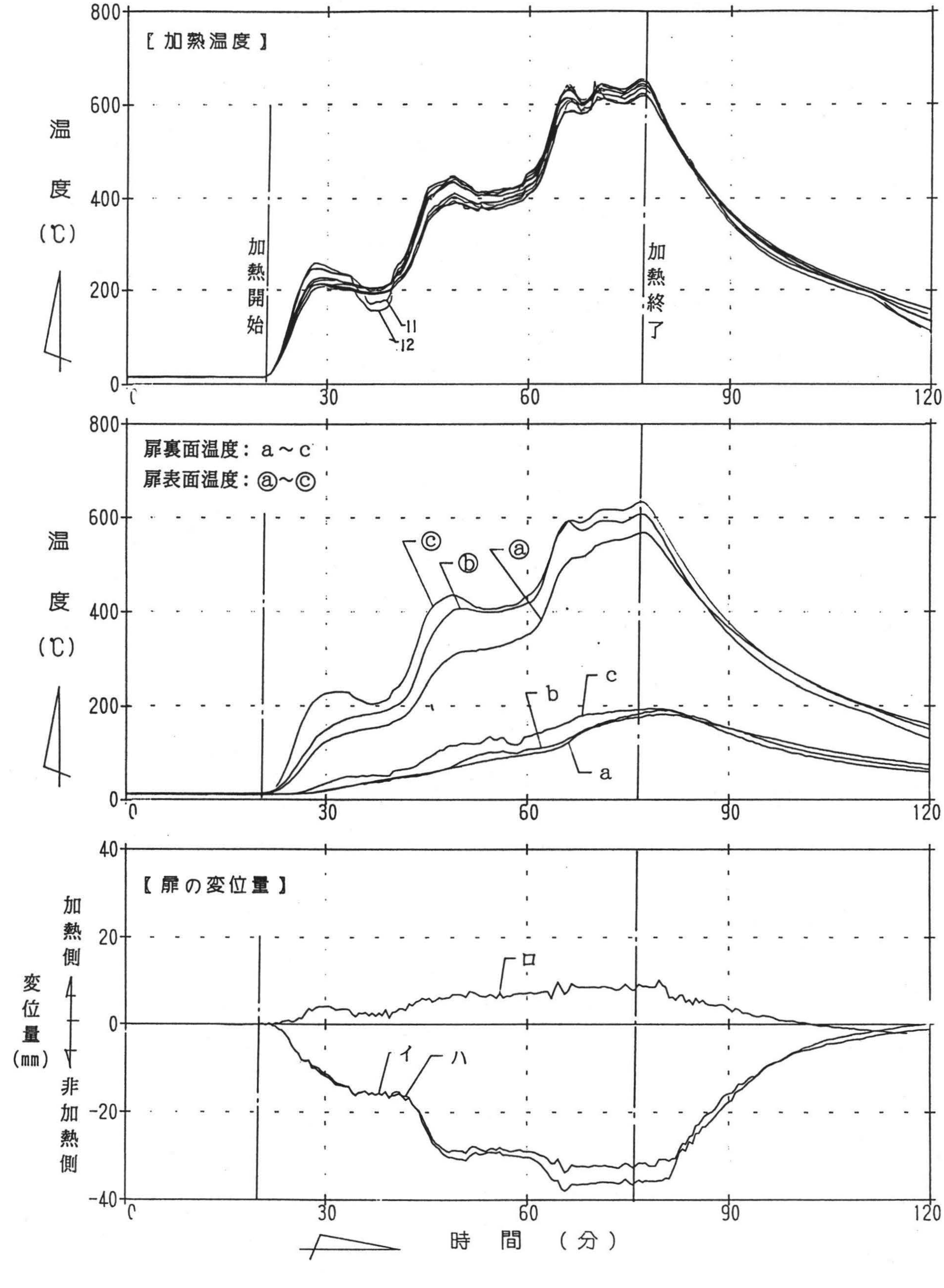
図－7　温度および変位量測定結果（試験体NIII。）

測定日：1994.3.2



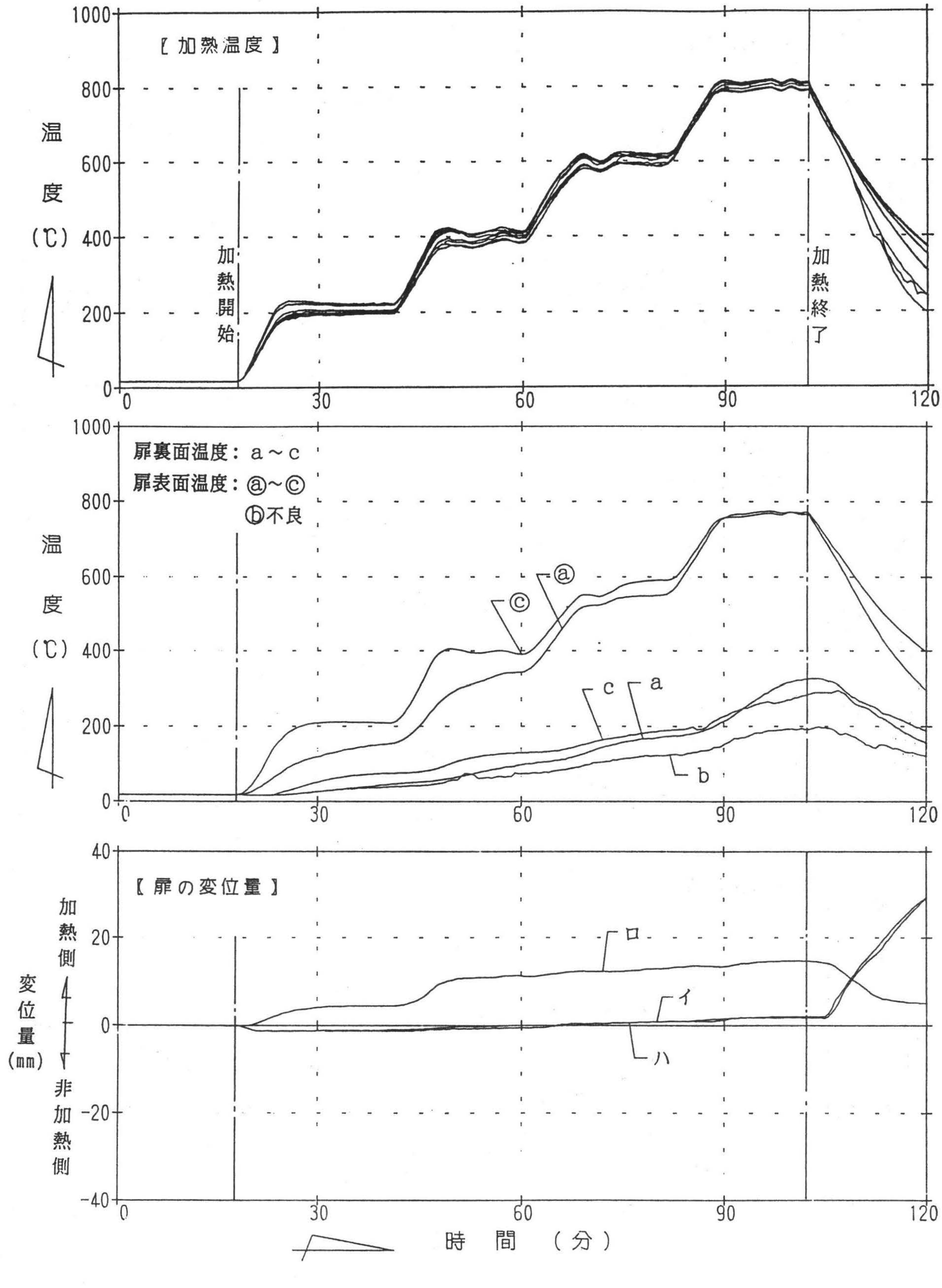
図－8　温度および変移量測定結果（試験体AIi）

測定日：1994.2.15



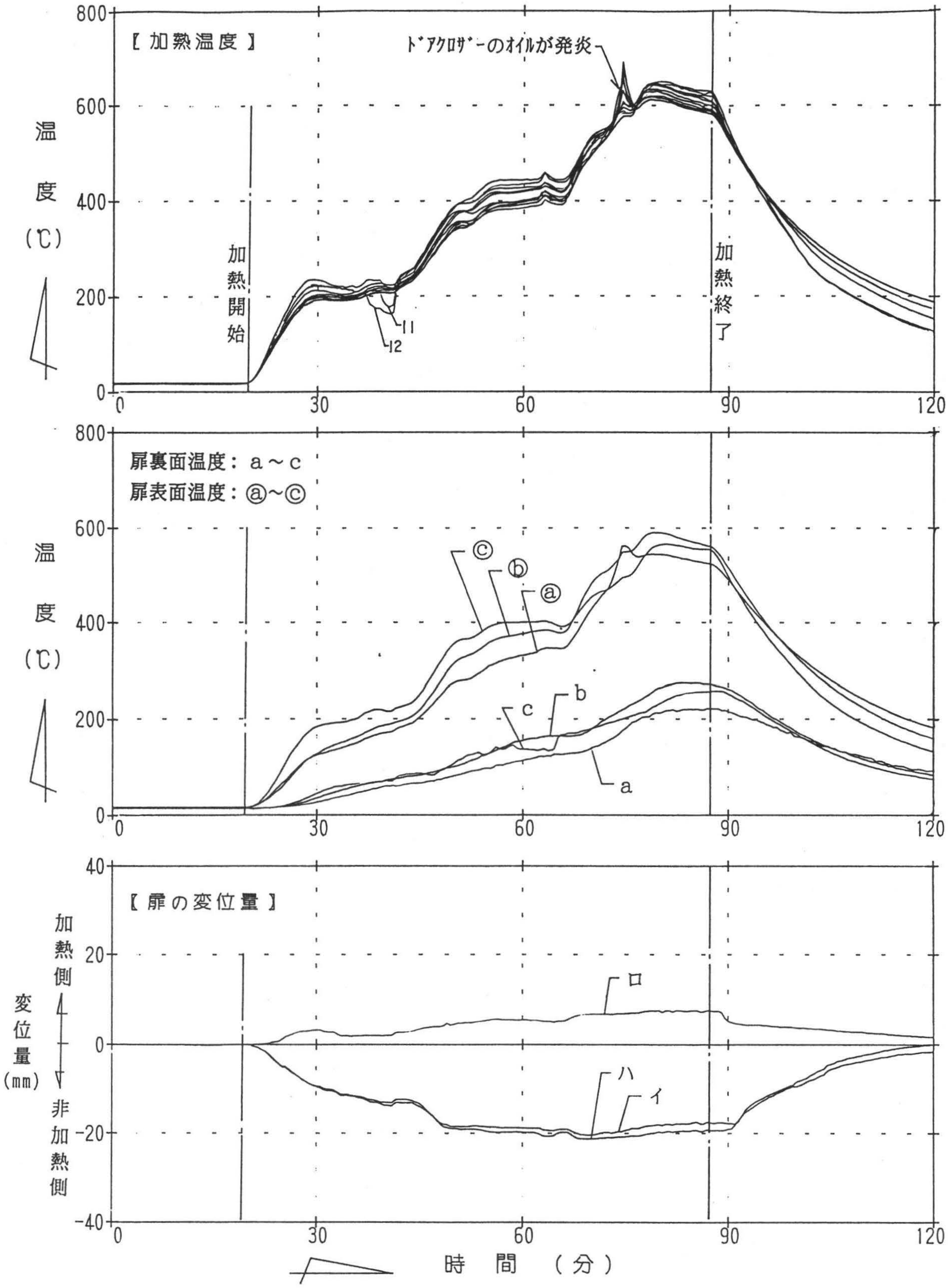
図－9　温度および変移量測定結果（試験体AI₀）

測定日：1994.3.23



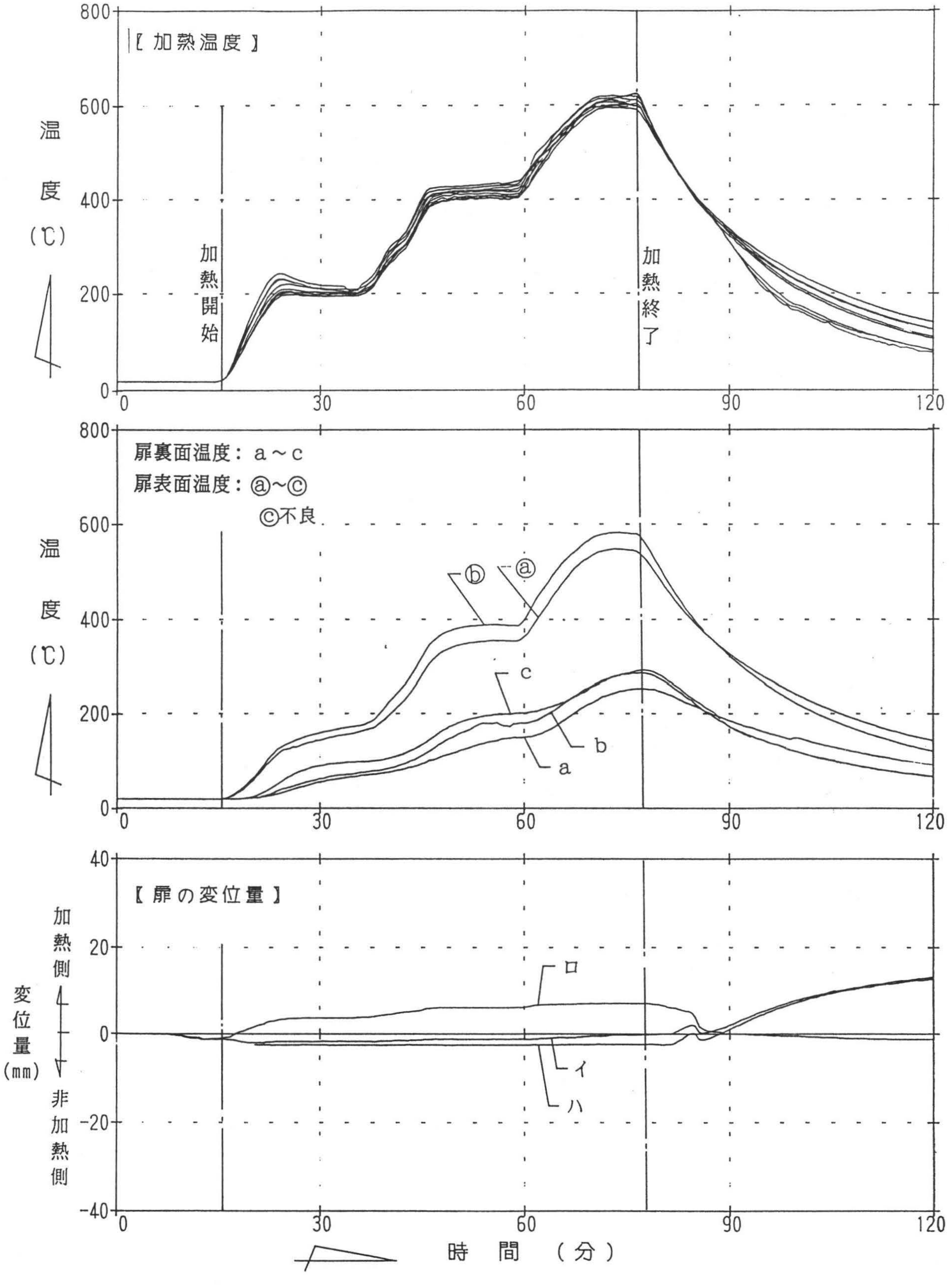
図－10　温度および変移量測定結果（試験体AIIi）

測定日：1994.2.17



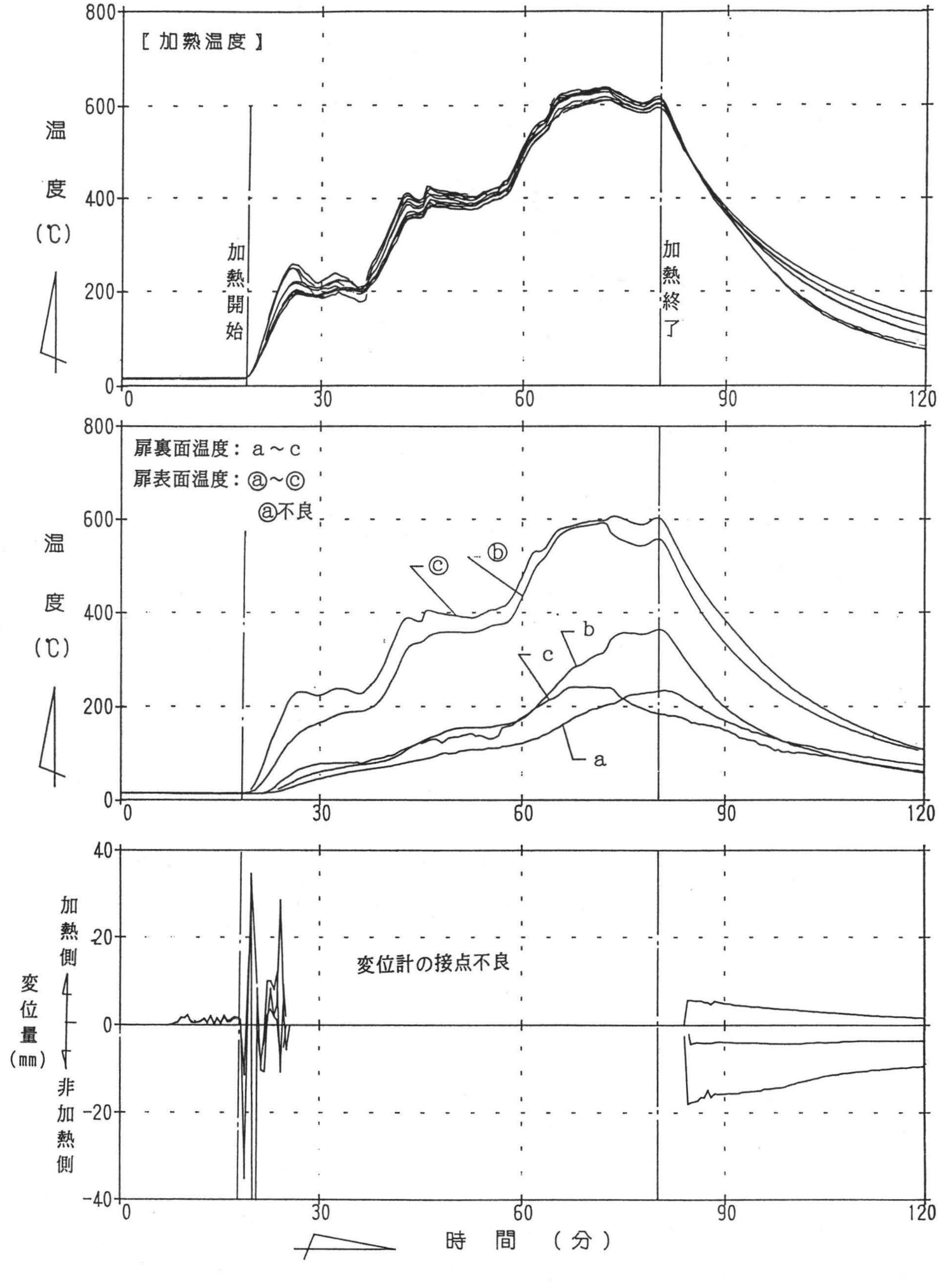
図－11　温度および変移量測定結果（試験体AII。）

測定日：1994.3.29



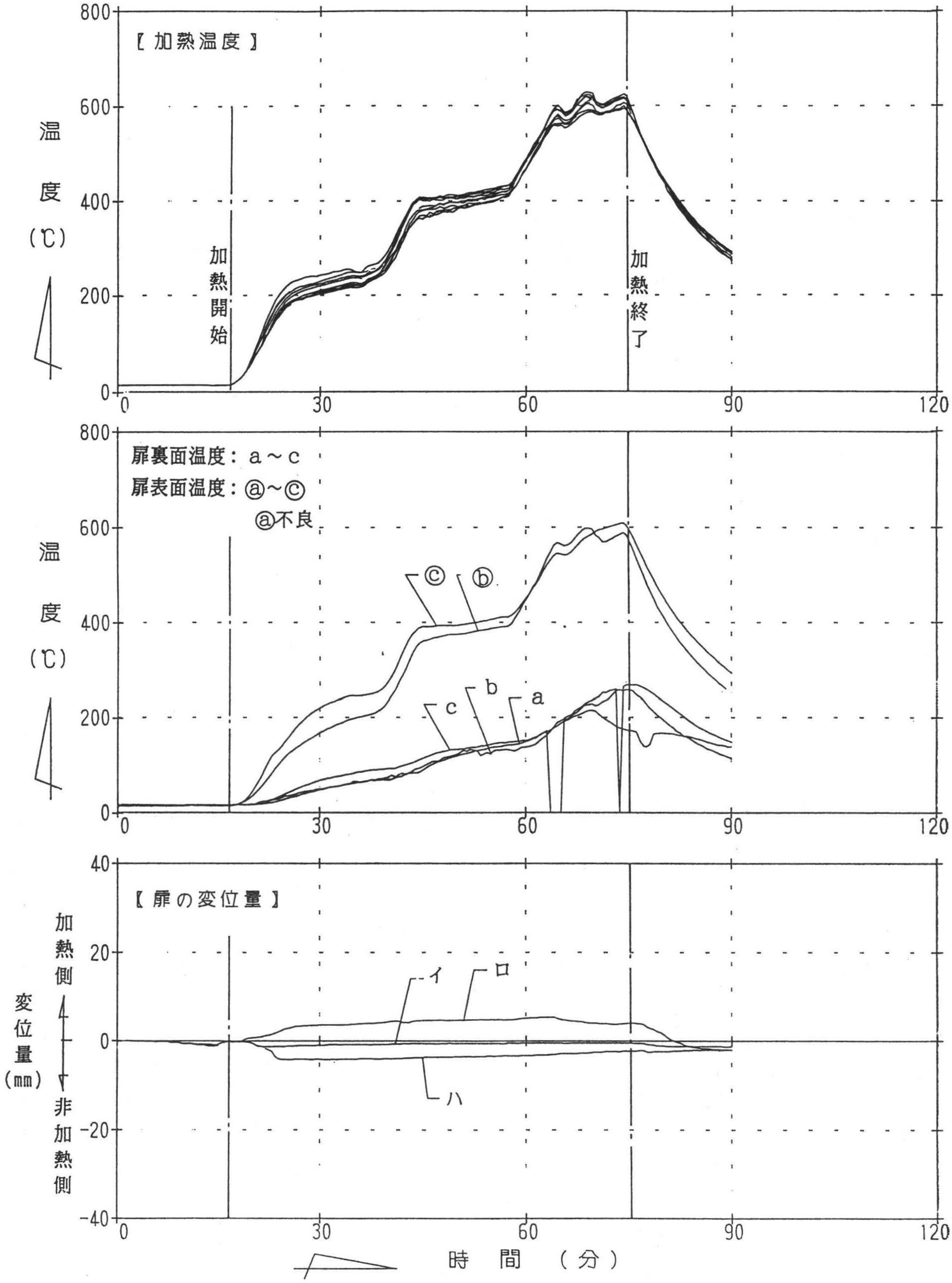
図ー12　温度および変移量測定結果（試験体AIII$_i$)

測定日：1994.2.8



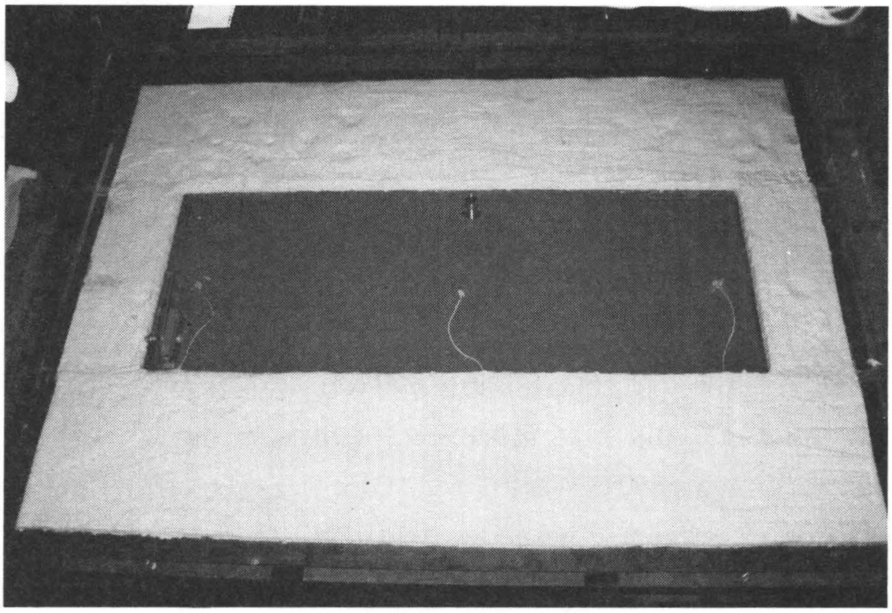
図－13　温度および変移量測定結果（試験体AIII。）

測定日：1994.3.18

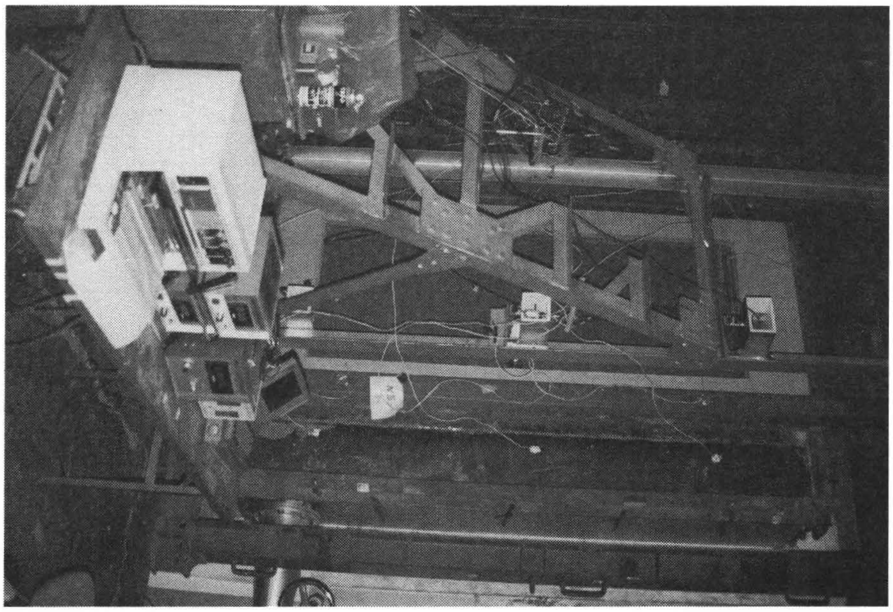


5.1　加熱温度

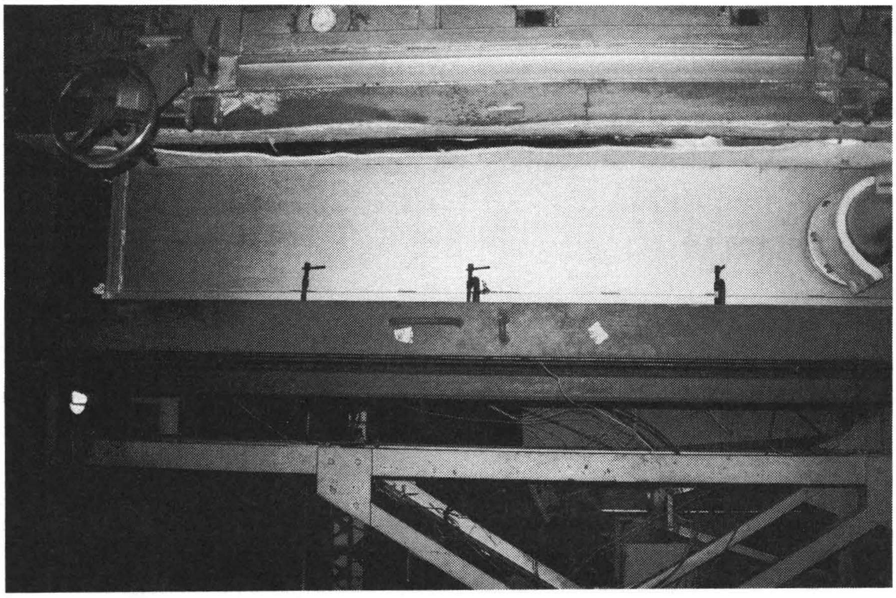
気密材無しの場合、加熱には各試験体とも気密箱内下部に設置した電熱ヒーターを併用した。しかし、漏気測定時には、供給された空気が箱内を冷却し給気口付近の加熱温度が50～120℃低下した。ちなみに、中高温の漏気測定時に著しく温度低下した試験体NI₀の各設定温度における最大漏気量は5.9～6.7m³/minである。これは、気密箱（容積：2.5m³）内の高温空気が試験室冷気と約25秒に1回入れ替わることになる。



写真－5　試験体の加熱側全景



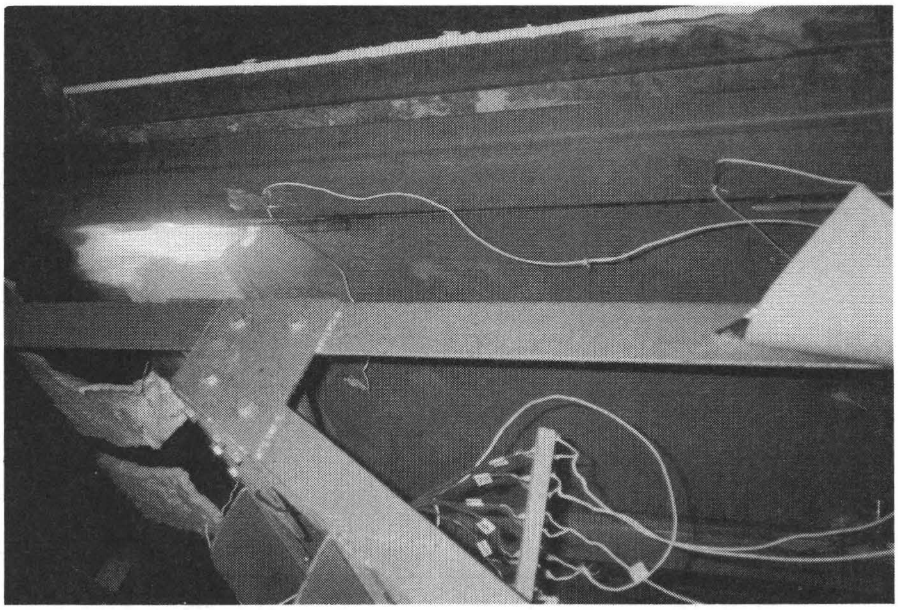
写真－6　非加熱側全景



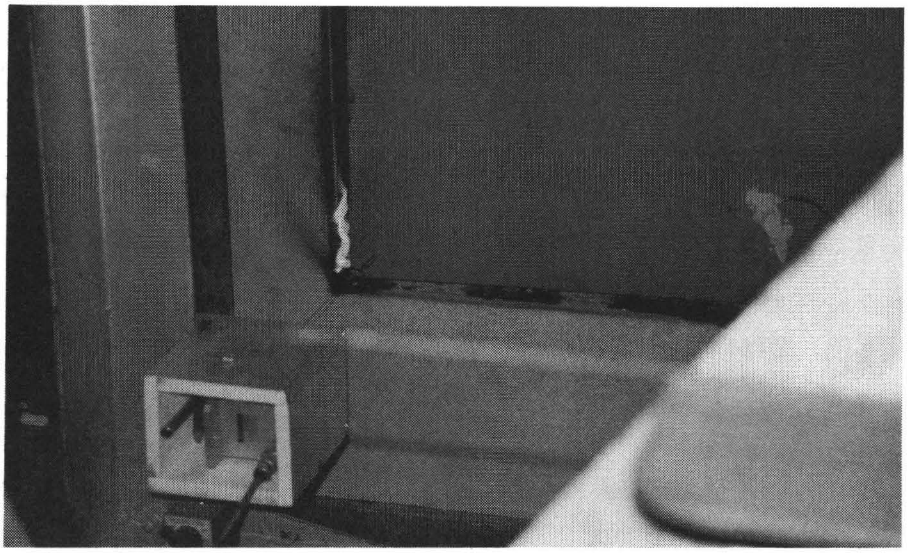
写真−7　加熱状況

気密材有りの場合、加熱温度は概ね初期の値が得られ、試験体AI。では800℃まで加熱した。なお試験体AI。、AII。およびAIII。では、電熱ヒーターを用いなかった。

室内側加熱の場合、400〜600℃昇温中にドアクローザーから洩れ出たオイルが発炎しており、600℃付近で急激な温度上昇が認められる（写真−8、9参照）。



写真−8　ドアクロザーのオイルが発炎（試験体NIi）



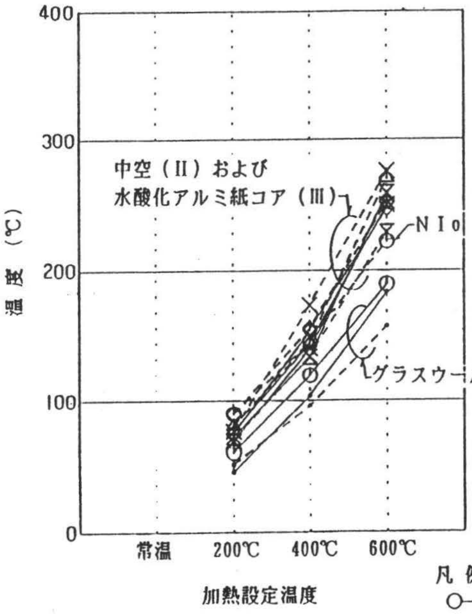
写真－9　ドアクロザーのオイルが発炎（試験体AIIi）

5.2　扉表裏面の温度

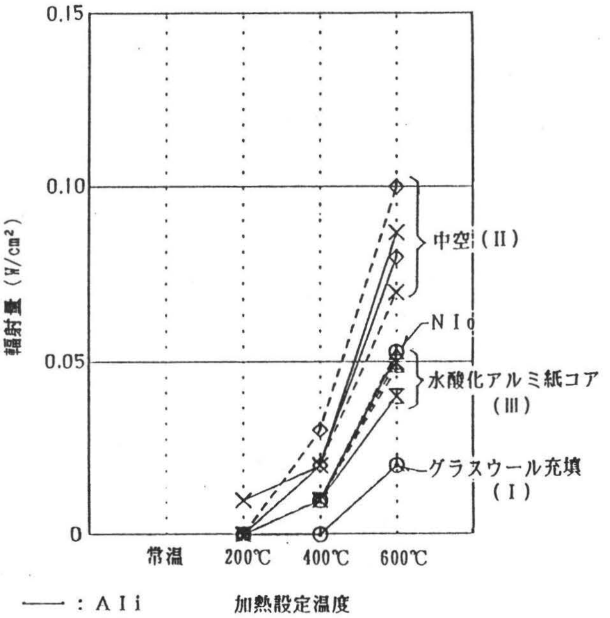
扉表面（加熱側）の温度は、加熱温度にほぼ等しいが、扉の下部温度が上部より高くなっている。これは、給気口付近の加熱温度の低下を少なくするため、この部分の気密箱背面の輻射強度を高めたためと考えられる。

扉裏面（非加熱側）の温度測定値を平均し、各試験体の結果を比較して図－14に示す。扉の仕様が中空および水酸化アルミ紙コアのものでは、裏面温度の差異は認められない。グラスウール充填のものでは、前記のものに比べて加熱温度600℃で、約100℃低い値となっている。ただし、グラスウール充填の試験体NI₀では、他の同仕様のものより中高温時の漏気量が多くなったため（後述）、扉裏面温度が高くなっている。

図－14　扉裏面温度測定結果



図－15　扉裏面の輻射量測定結果



凡例

○—○：NIi　——：AIi
○----○：NIo　-----：AIo
◇—◇：NIIi　×—×：AIIi
◇----◇：NIIo　×----×：AIIo
△—△：NIIIi　⧗—⧗：AIIIi
△----△：NIIIo　⧗----⧗：AIIIo

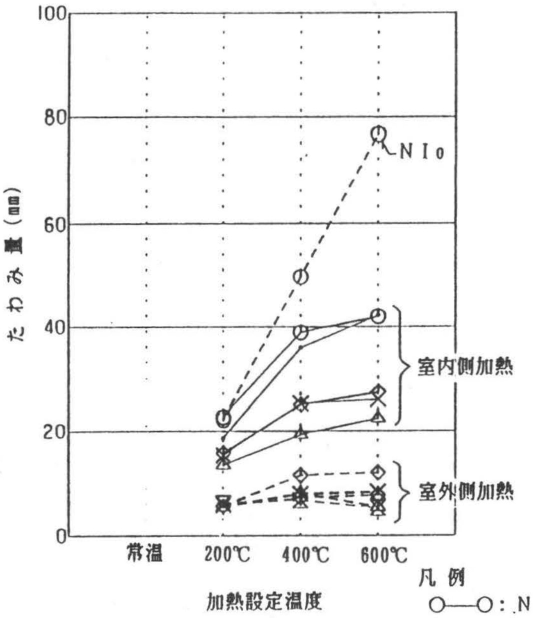
5.3 輻射量

輻射量の測定結果を**図－15**に示す。輻射量は、扉の仕様により差異が認められ、グラスウール充填、水酸化アルミ紙コアおよび中空の順に増加している。

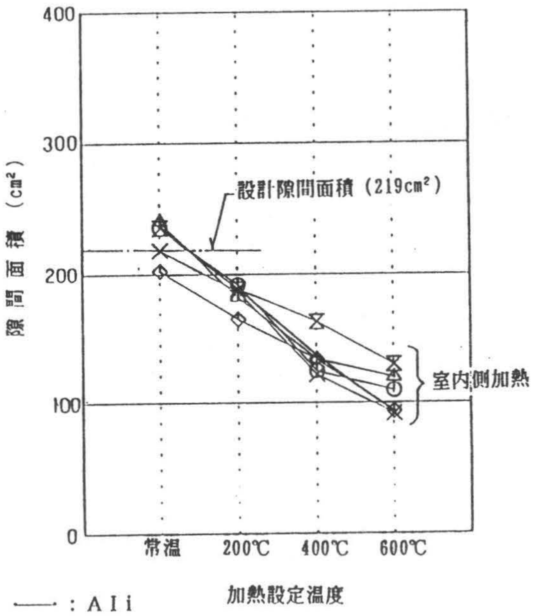
5.4 変位量

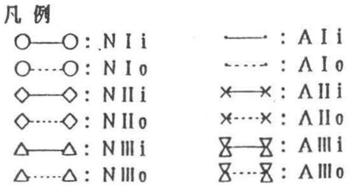
扉戸先の変位量からたわみ量を算出し、各試験体の結果を比較して**図－16**に、加熱時の扉の変形状況を**写真－10～12**に示す。加熱時の扉には、加熱側凸の変形が生じる。加熱中扉の固定端（丁番側）ではいずれの試験体も丁番が外れる等の大変形は起こらなかった。

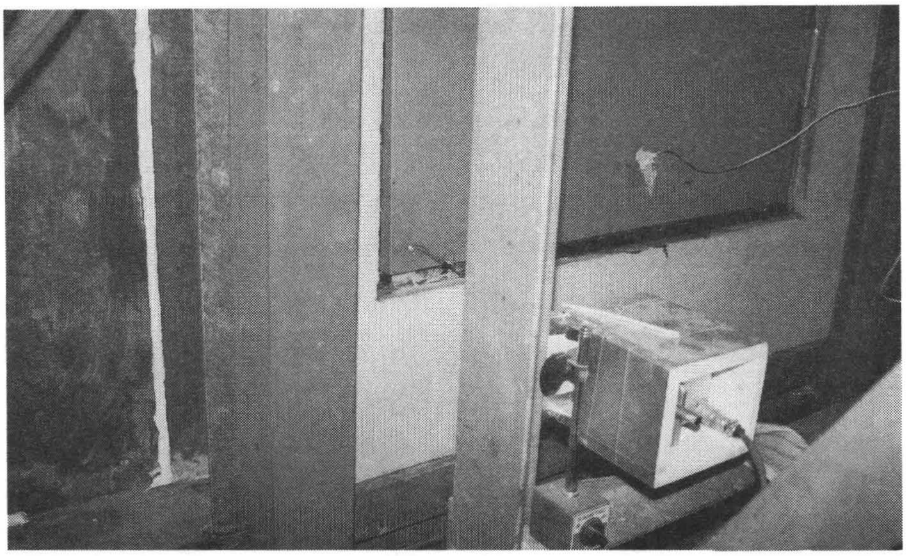
図－16　扉のたわみ量測定結果



図－17　扉と枠間の隙間面積測定結果

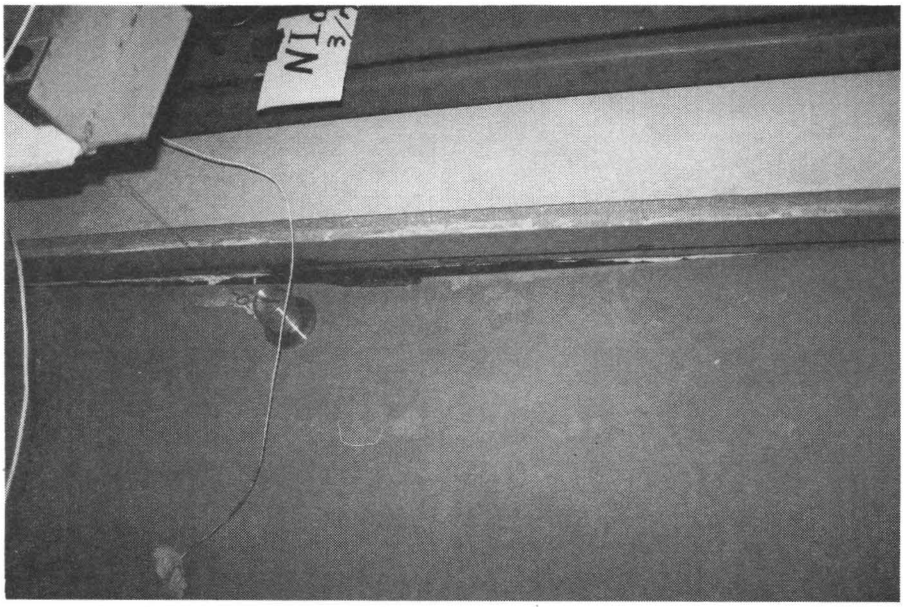






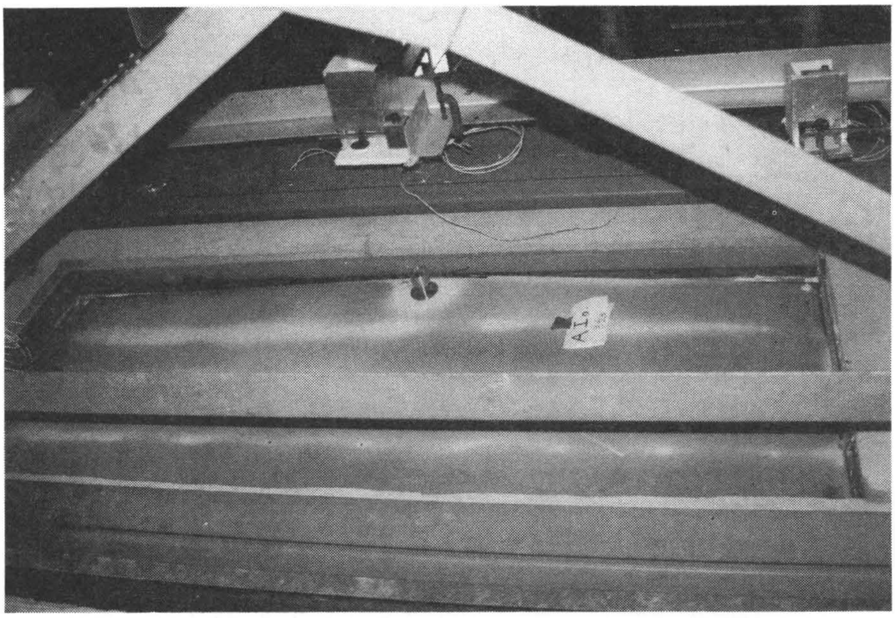
写真－10　600℃加熱時扉の変形（試験体AIi）

写真－11　600℃加熱時扉の変形（試験体NIi）

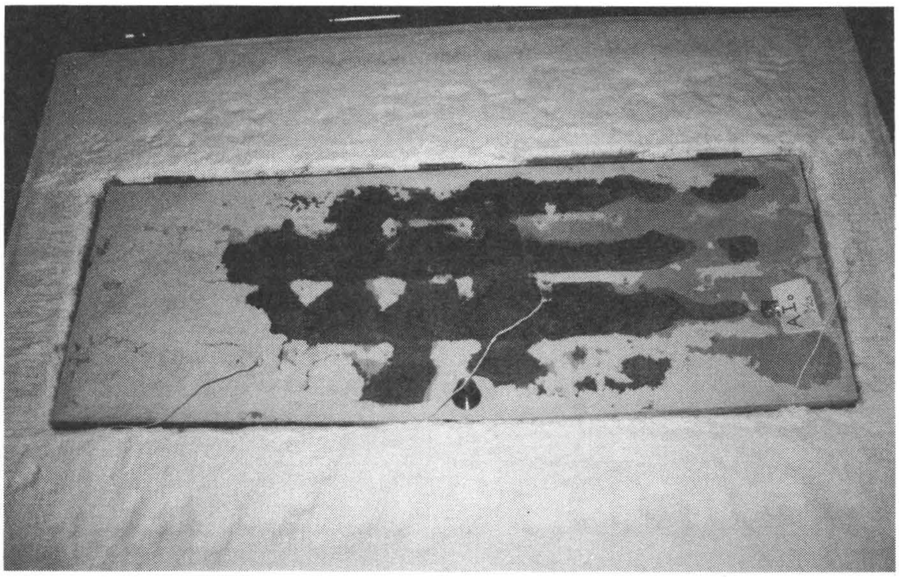


写真－12　600℃加熱時扉の変形（試験体NIo）

室内側加熱の場合、戸先側の上下端部（自由端）がドア枠から反り出る変形となり、室外側加熱の場合、前述の自由端が枠戸当り部に当り、シリンダー錠のラッチボルトが扉の変形を拘束する。このため室内側加熱のたわみ量は室外側加熱に比べて大きくなる。しかし、室内側加熱のいずれの試験体もドア枠（扉納まり深さ：46mm）以上の変形は認められなかったが、室外側加熱の試験体NI。では、ラッチボルトが外れたため、加熱温度に比例してたわみ量が増大し、気密箱内部が直視できる大変形を起こした（写真－12）。



写真－13　加熱後の状況（試験体AIo非加熱側）



写真－14　加熱後の状況（試験体AIo加熱側）

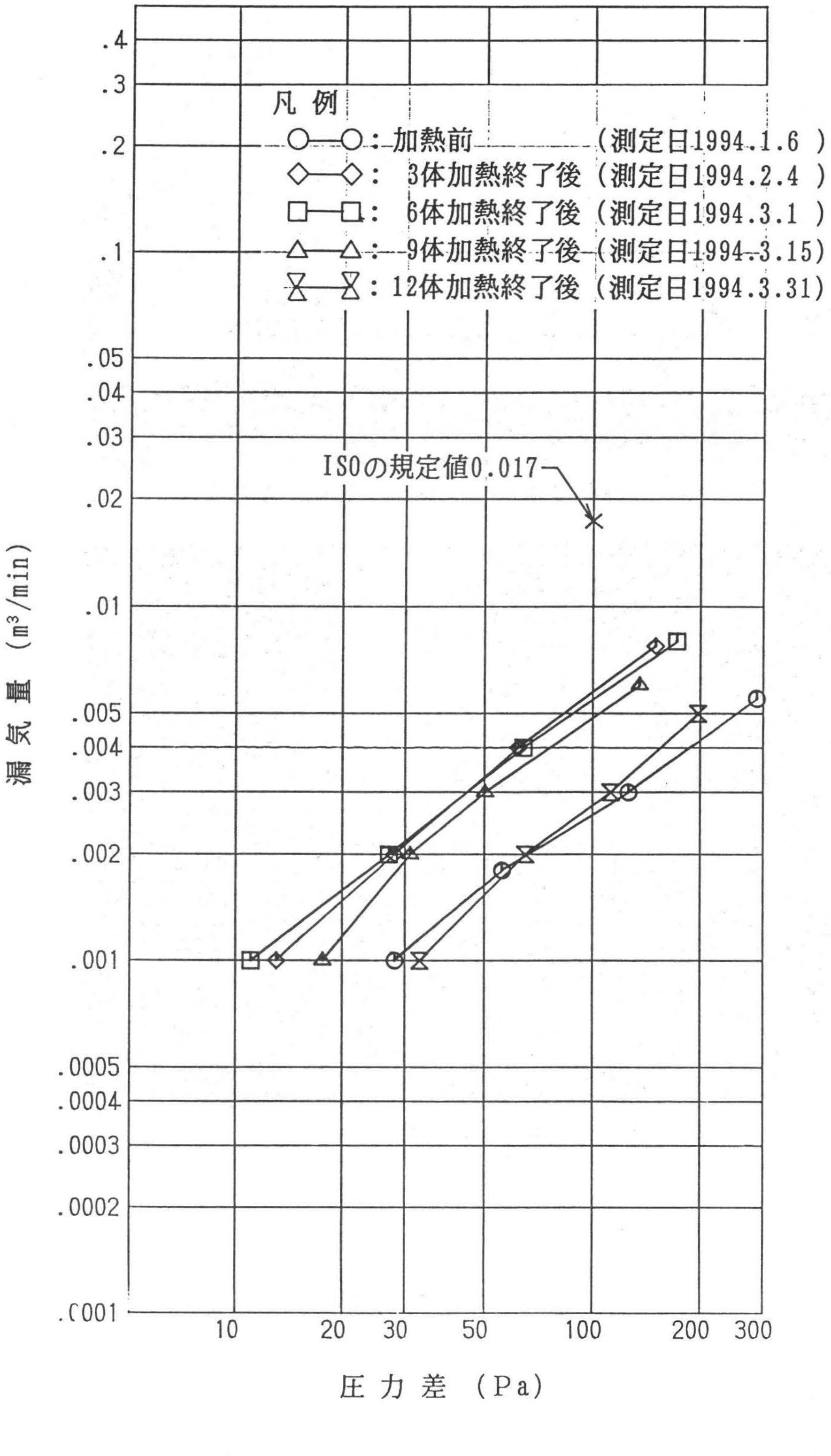
5.5　隙間量

室内側加熱における扉と枠間の隙間面積測定結果を図－17に示す。隙間面積は、扉仕様による差異は認められず、いずれの試験体も加熱温度に比例して減少している。加熱温度600℃における隙間面積は、常温時の約半分となっている。

5.6 気密箱からの漏気量

圧力差と漏気量の関係を**図－18**に示す。気密箱の背面（加熱面）が著しく熱変形したが、気密箱からの漏気量は、圧力差100Pa時0.003～0.006m³/minで極めて少ない値であった。なお、ISOでは同圧力差における漏気量は0.017m³/min以下と規定している。

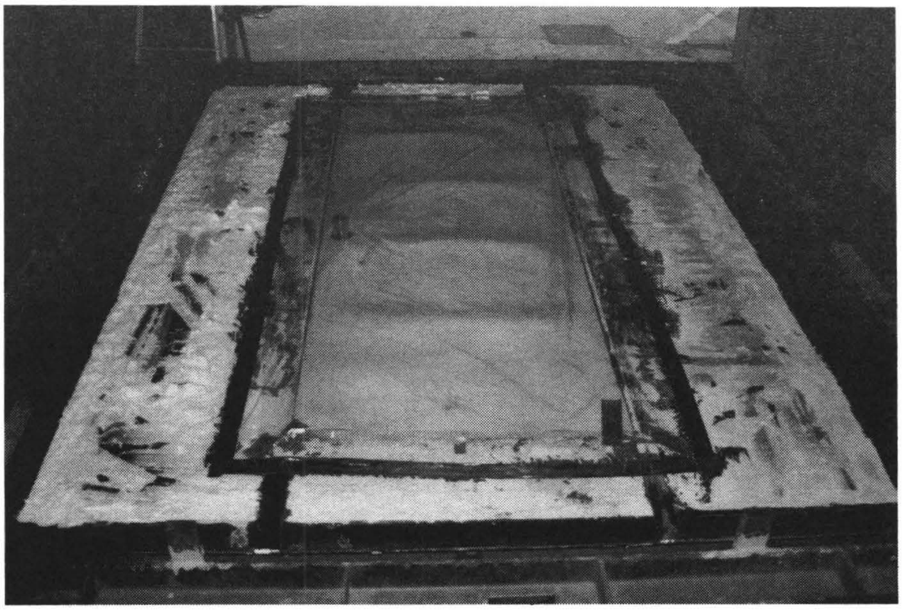
図－18 圧力差と漏気量の関係（気密箱からの漏気量）



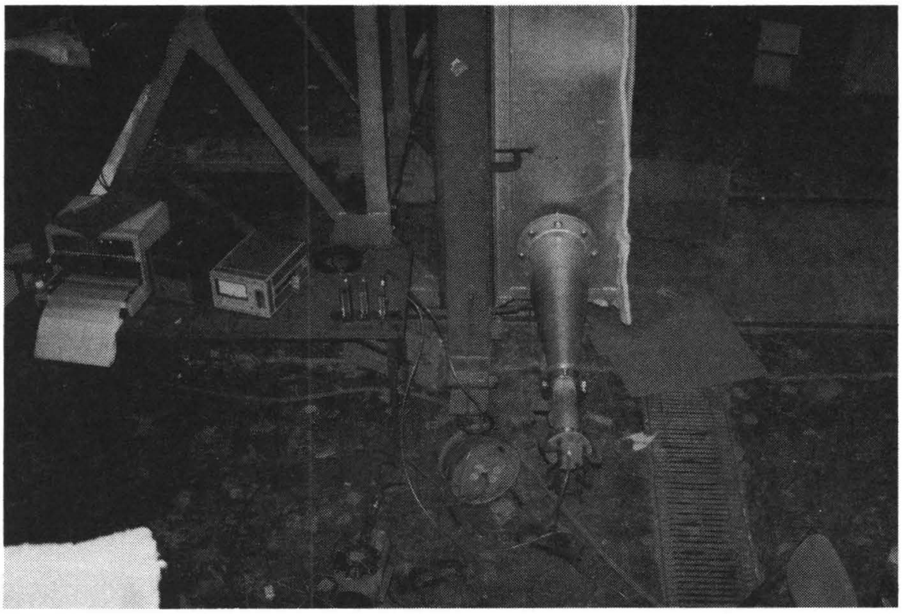
5.7 ドアの漏気量

各圧力差における漏気量測定結果を両対数軸で表し図－19～24に示す。

・最初の試験体NIiの600℃加熱時において、ドア枠周囲の塞ぎ用鉄板が変形したため隙間が生じた。以後の試験体では、加熱側にセラミックファイバーによる耐熱強化と非加熱側にシリコンシーラントを施した。

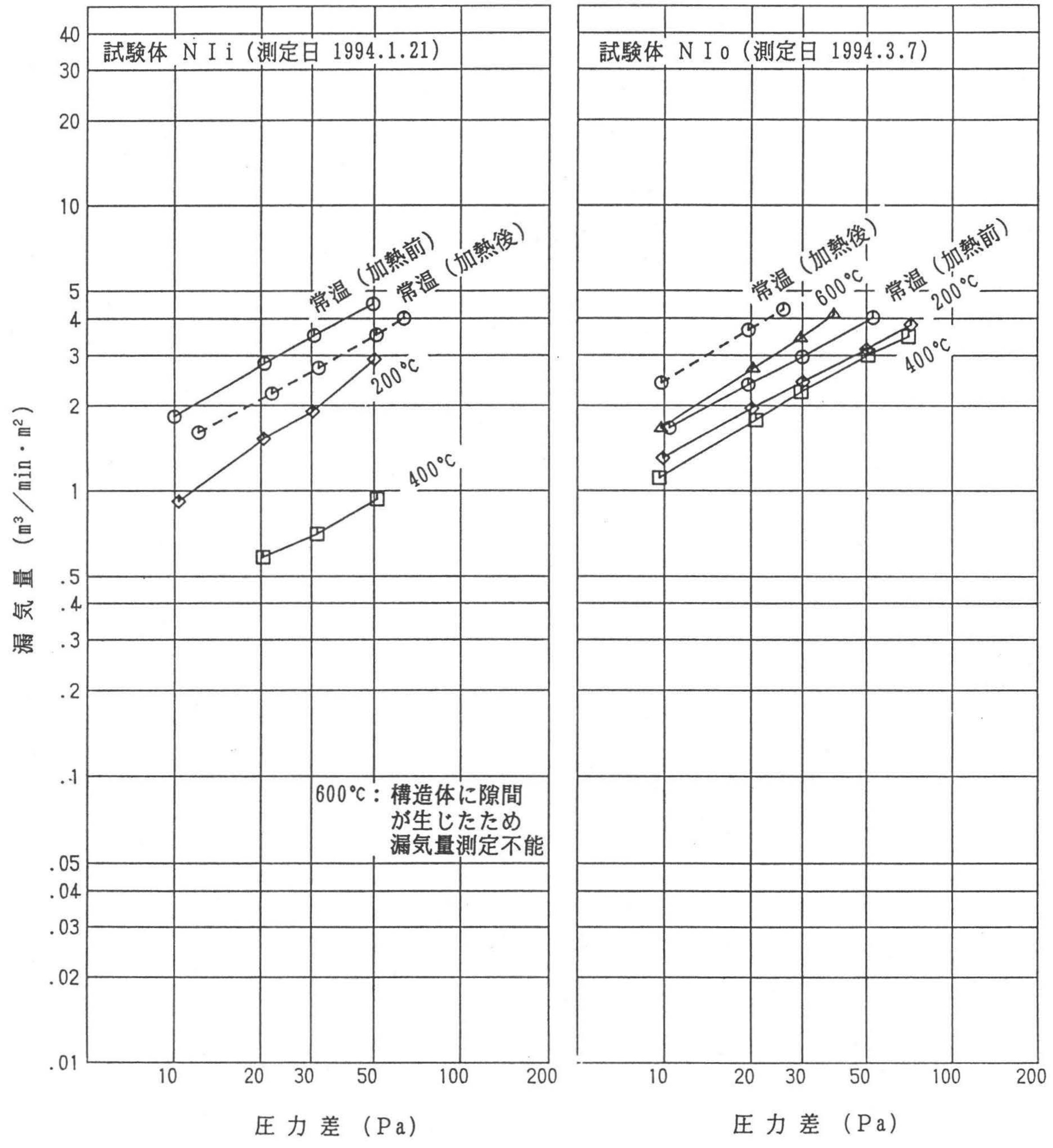


写真－15　加熱終了後ビニルシートを張った様子

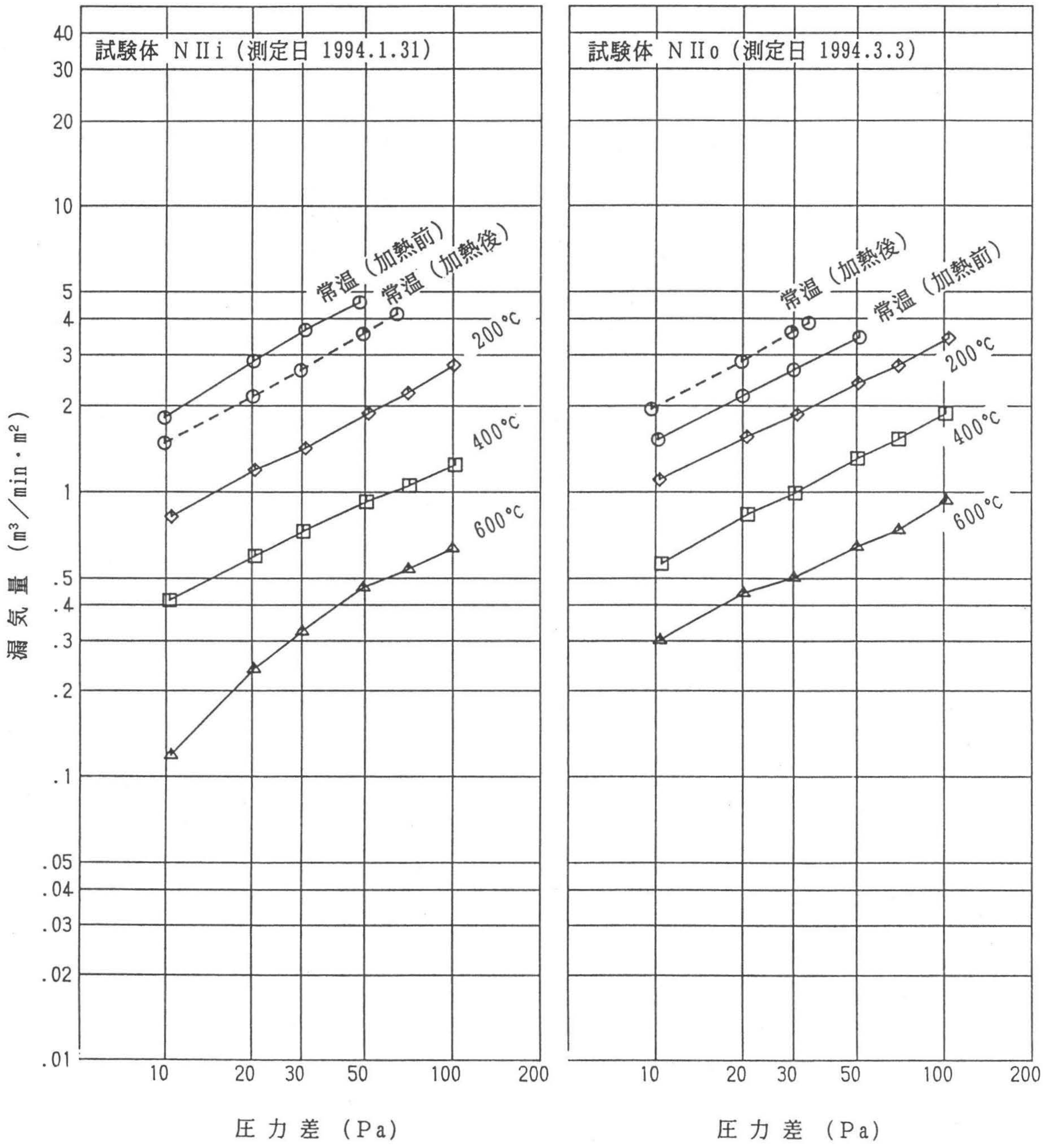


写真－16　気密箱からの漏気測定状況

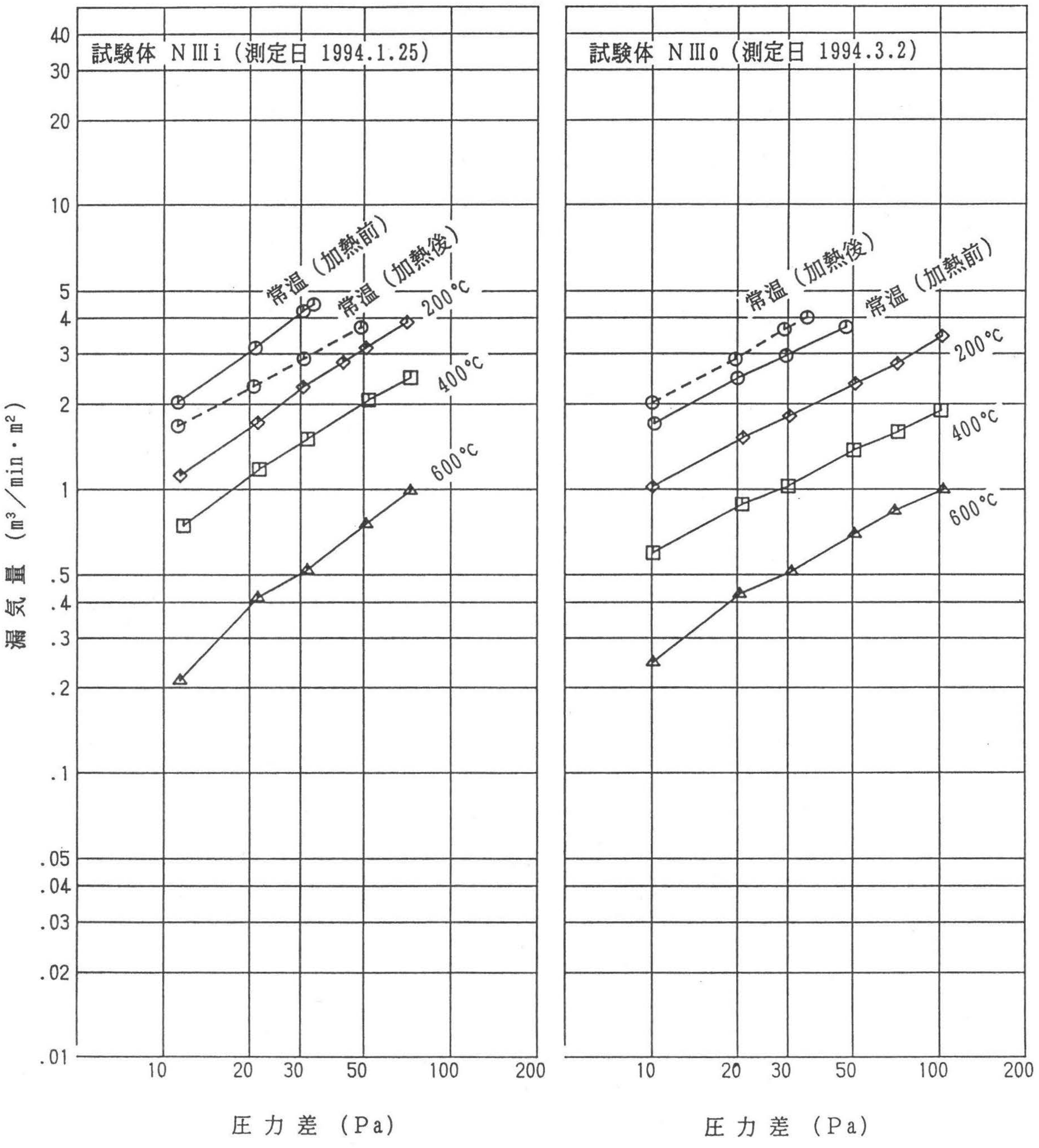
図－19　圧力差と漏気量の関係



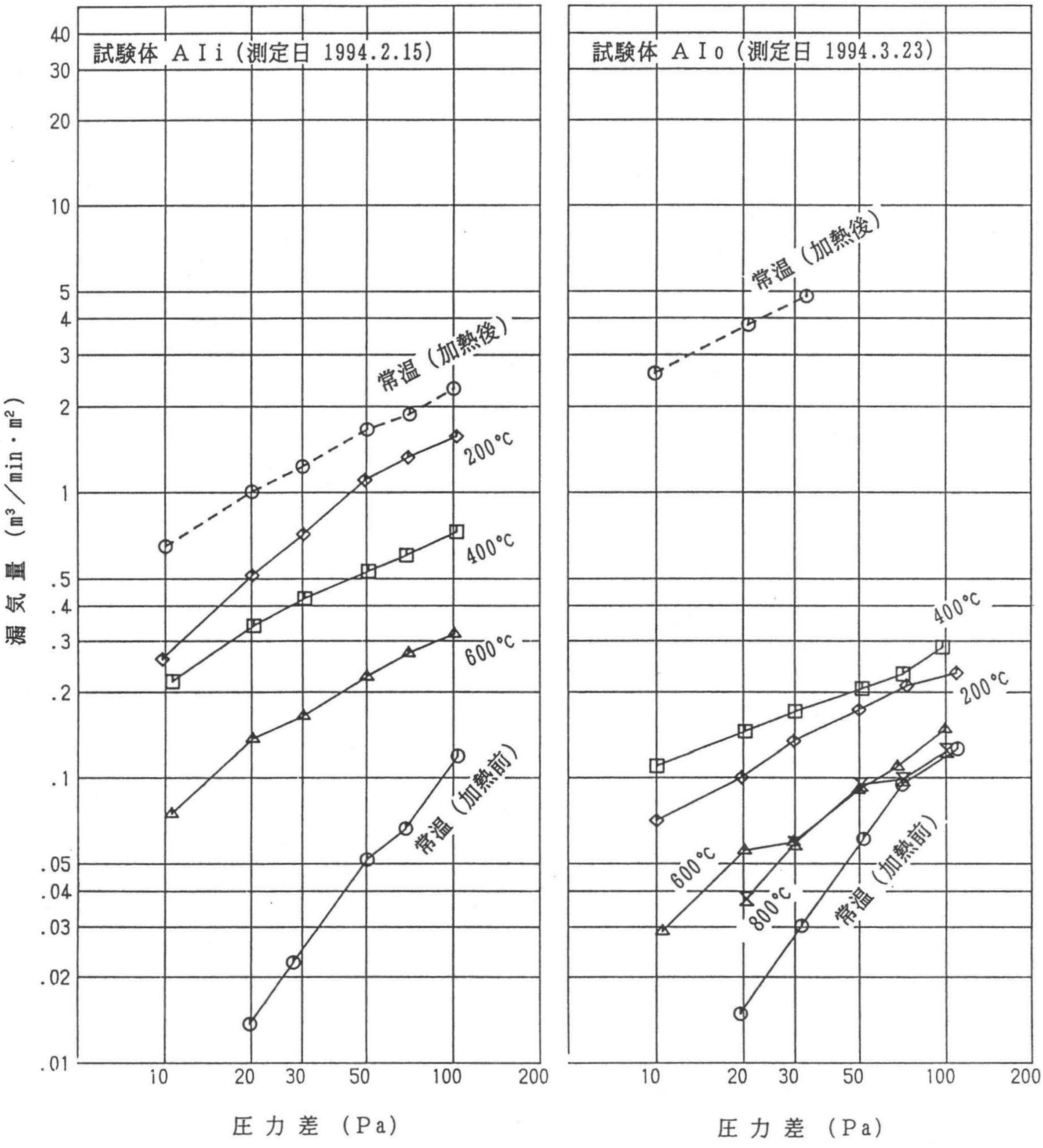
図－20　圧力差と漏気量の関係



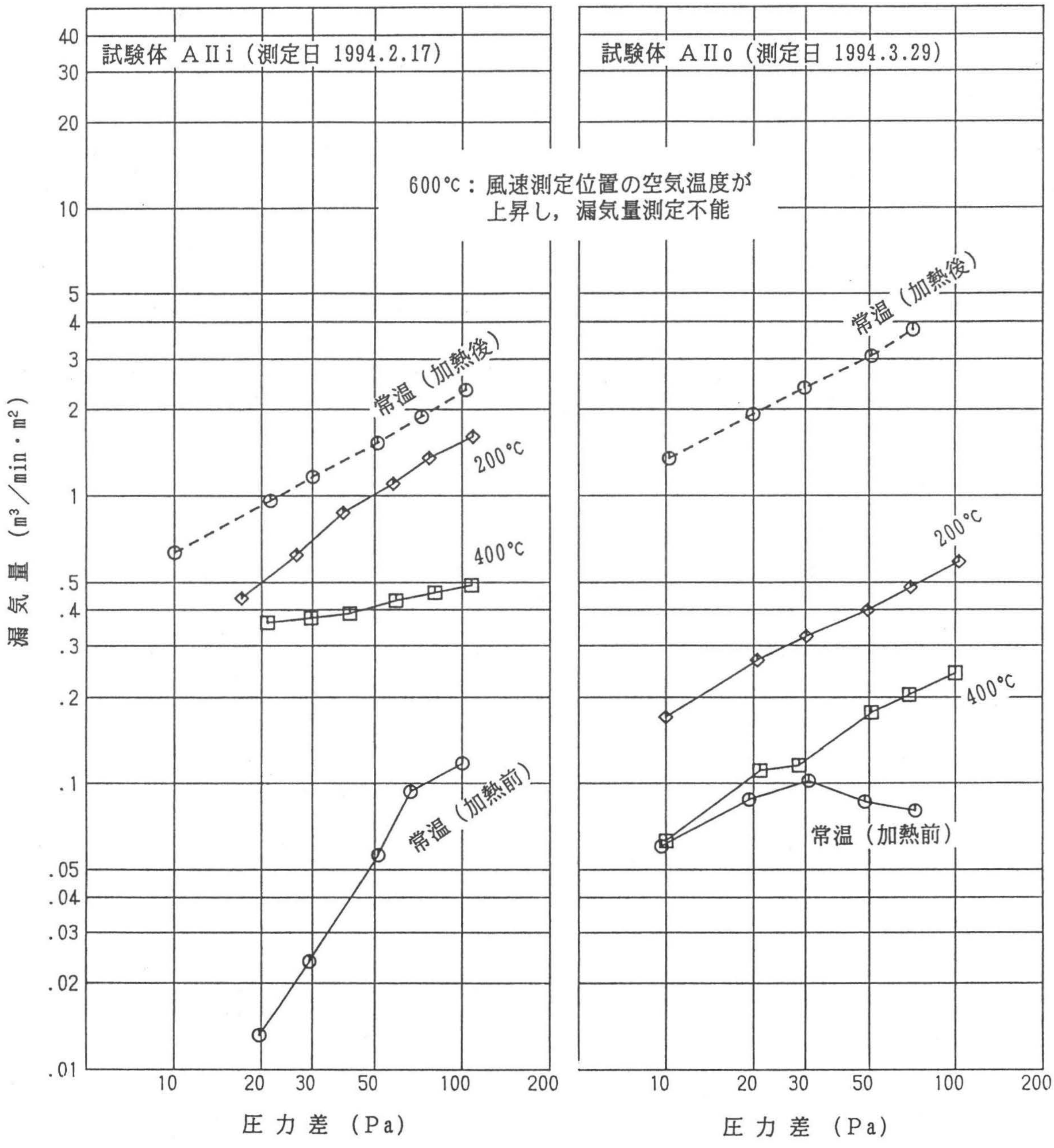
図－21　圧力差と漏気量の関係



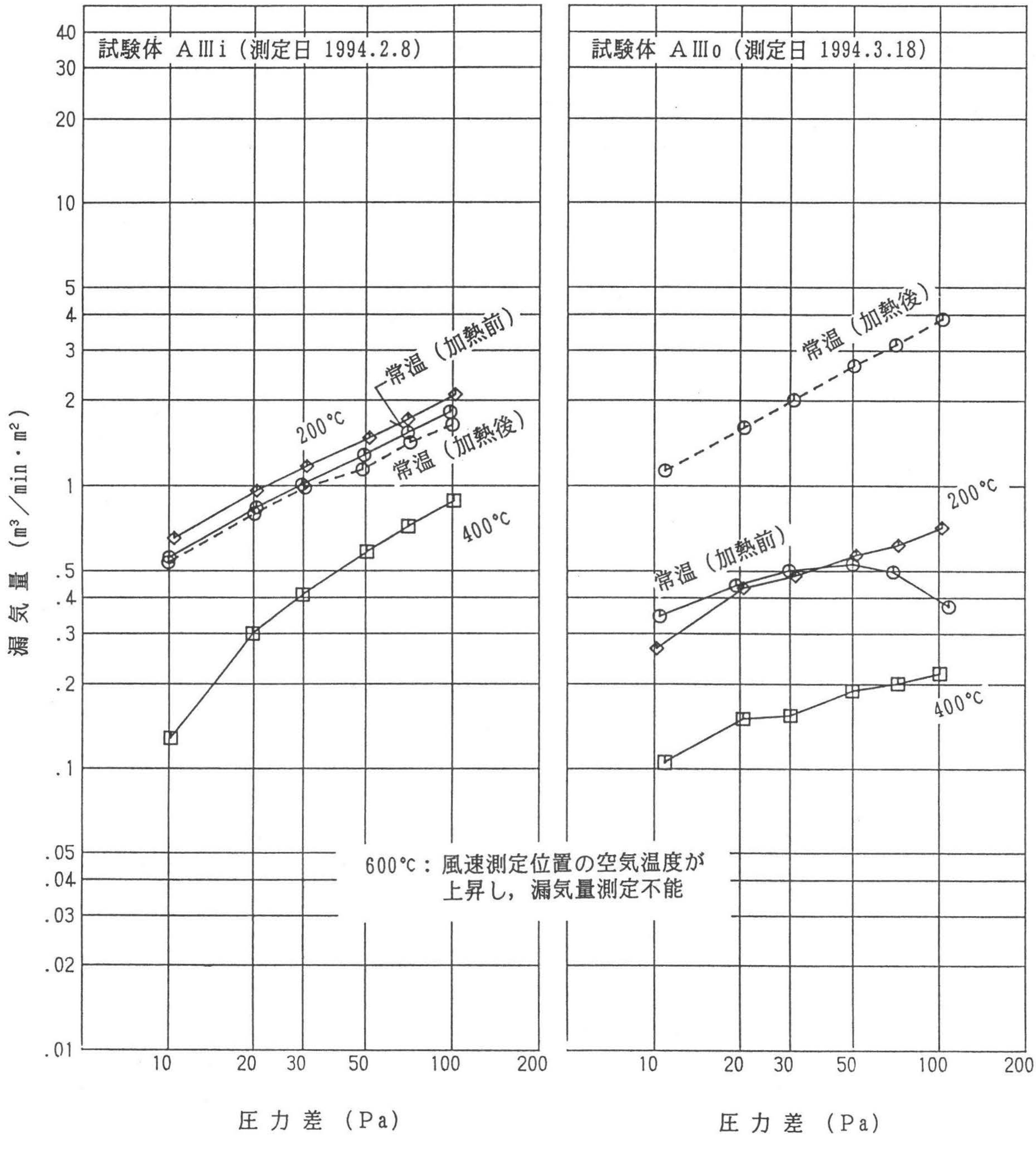
図－22　圧力差と漏気量の関係



図－23　圧力差と漏気量の関係



図－24　圧力差と漏気量の関係



・今回用いた送風機（最大風量：110m^3/min）の漏気量測定上限値は、約4.5m^3/min・m^2であり、気密材無し試験体では、圧力差を100Paまで昇圧できなかった。

・試験体AIIおよびAIIIの600℃加熱時において、漏気量が極めて少なくなり風速測定部の空気温度が上昇したため、漏気量を測定できなかった。

①圧力差と漏気量の関係について

常温での隙間に対する圧力差と漏気量の関係は、隙間面積が増減しなければ（1）式が成立し、漏気量は圧力差に比例する。

$$Q = a \times P^b \qquad \cdots(1)$$

ここに、Q ：漏気量（m^3/min・m^2

P ：圧力差（Pa）

a, b：係数

係数aは隙間面積に関係し、係数bは（1）式を両対数のグラフて表した場合の直線の傾きを示す。この値は隙間形状による空気の流れ抵抗などで決まり、オリフィス形の単純開口の隙間ではb＝0.5、複雑な経路で空気の流れ抵抗の大きな隙間ではb＝1.0に近くなる。

漏気測定結果を（1）式に回帰分析した結果を表－2に示した。同表には昇温に伴う漏気量の変化を示すため、得られた回帰式により圧力差20Pa時の漏気量を算出した。また、各試験体の圧力差20Pa時の漏気量については、これをまとめて**図－25**に示した。

②回帰分析結果について

気密材無しの場合、漏気測定時に加熱温度の低下が認められたが、回帰式は常温時を含め中高温時においても高い相関係数（0.987～0.999）を示しており、係数bは0.47～0.81である。

気密材有り試験体AII_0および$AIII_0$の常温時においては、著しく低い相関係数を示しているが、これは圧力差により扉が非加熱側（気密材を押付ける方向）に移動し、隙間量が減少したためである。この測定ケースを除くと相関係数：0.974～0.999、係数b：0.19～1.44である。

③圧力差20Pa時の漏気量について

気密材無しの場合、扉のたわみが枠内に納まる程度であれば、漏気量は高温になるほど減少する。しかし、試験体NI_0では気密箱内が直視できる大きな隙間を生じたため、600℃の漏気量が常温時を上まわった。

気密材有りの場合、常温時において気密性能が良い試験体AIおよびAIIでは、中高温時に漏気量の増加が認められた。

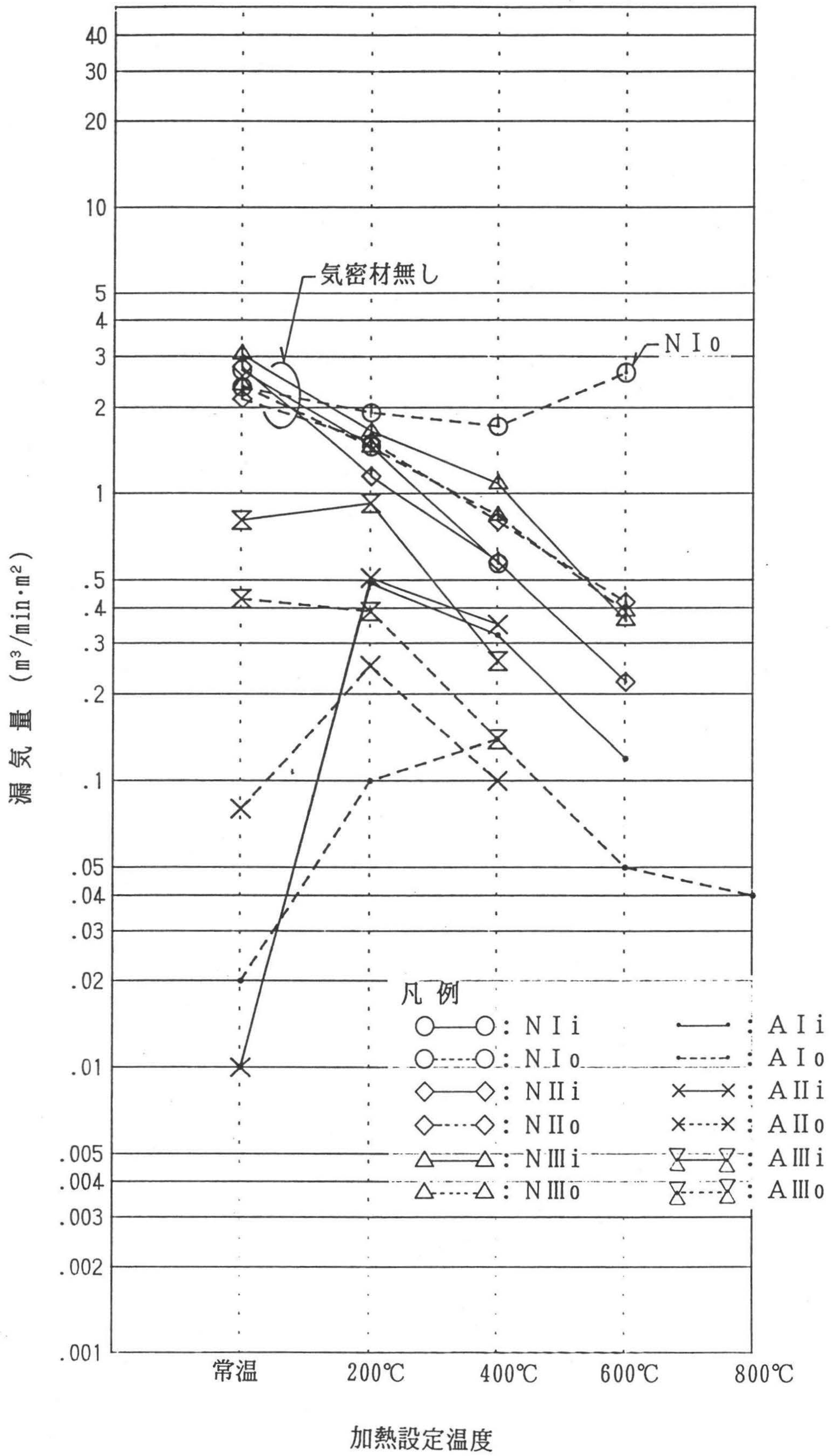
表－2　各設定加熱温度における圧力差と漏気量の回帰分析結果

No.	試験体記号	設定加熱温度	回帰分析結果 ($Q=a\times P^b$) *1 相関係数	回帰式の係数 a	回帰式の係数 b	差圧20Pa時漏気量 ($m^3/mi\cdot m^2$)	測定日 (1994)	気温 (℃)
1	N I i	常温	0.999	1.83	0.57	2.71	1/21	10
		200℃	0.998	0.891	0.72	1.46		
		400℃	0.996	0.401	0.51	0.57		
		600℃	－*2	－	－	－		
2	N I o	常温	0.999	1.63	0.54	2.37	3/7	11
		200℃	0.999	1.32	0.54	1.92		
		400℃	0.999	1.15	0.58	1.72		
		600℃	0.999	1.68	0.66	2.66		
3	N II i	常温	0.999	1.85	0.59	2.78	1/31	9
		200℃	0.999	0.801	0.52	1.15		
		400℃	0.999	0.419	0.47	0.58		
		600℃	0.987	0.130	0.74	0.22		
4	N II o	常温	0.999	1.51	0.51	2.15	3/3	14
		200℃	0.999	1.08	0.48	1.52		
		400℃	0.999	0.556	0.52	0.80		
		600℃	0.997	0.300	0.48	0.42		
5	N III i	常温	0.999	1.85	0.73	3.06	1/25	10
		200℃	0.999	1.03	0.68	1.65		
		400℃	0.998	0.687	0.66	1.08		
		600℃	0.995	0.202	0.81	0.36		
6	N III o	常温	0.999	1.69	0.51	2.40	3/2	12
		200℃	0.999	1.02	0.52	1.45		
		400℃	0.999	0.596	0.50	0.84		
		600℃	0.996	0.258	0.60	0.39		
7	A I i	常温	0.998	0.006	1.29	0.01	2/15	9
		200℃	0.992	0.288	0.78	0.49		
		400℃	0.995	0.225	0.52	0.32		
		600℃	0.991	0.080	0.63	0.12		
8	A I o	常温	0.991	0.007	1.30	0.02	3/23	15
		200℃	0.995	0.073	0.52	0.10		
		400℃	0.996	0.109	0.40	0.14		
		600℃	0.992	0.030	0.69	0.05		
		800℃	0.974	0.025	0.73	0.04		
9	A II i	常温	0.991	0.005	1.44	0.01	2/27	12
		200℃	0.996	0.315	0.71	0.51		
		400℃	0.988	0.305	0.19	0.35		
		600℃	－*3	－	－	－		
10	A II o	常温	0.539	0.071	0.13	0.08	3/29	16
		200℃	0.998	0.177	0.52	0.25		
		400℃	0.993	0.066	0.58	0.10		
		600℃	－*3	－	－	－		
11	A III i	常温	0.999	0.570	0.51	0.81	2/8	12
		200℃	0.999	0.658	0.50	0.93		
		400℃	0.985	0.150	0.82	0.26		
		600℃	－*3	－	－	－		
12	A III o	常温	0.304	0.401	0.06	0.43	3/18	12
		200℃	0.978	0.292	0.40	0.39		
		400℃	0.978	0.110	0.31	0.14		
		600℃	－*3	－	－	－		

＊1：回帰式　$Q=a\times P^b$
　ここに　Q：漏気量 ($m^3/mi\cdot m^2$)
　　　　　P：圧力差 (Pa)

＊2：構造体に隙間が生じたため漏気量の測定不能
＊3：風速測定位置の空気温度が，上昇したため漏気量の測定不能

図－25　圧力差20Paにおける漏気量



6. まとめ

以上の試験結果から次のことが判った。

・気密材無しの試験体では、漏気量が多いため漏気測定時に加熱温度の低下が認められたが、気密材を用いた試験体では、初期設定温度に加熱できた。また、800℃まで加熱できる。

・加熱時の各圧力差に対する漏気量は、常温時と同様に（1）式か成立する。

・気密材無しの場合、気密箱内を直視できるような隙間が生じなければ、加熱時の漏気量は常温時に比べて減少する。

・気密材有りの場合、加熱時の漏気量は常温時に比べて増加する傾向にある。

・気密箱を用いて13回（予備テストを含む）加熱試験を実施した。試験終了後の気密箱は、加熱面に大きな残留変形が認められるものの再使用できる状態である。

今回の試験では、標準的な防火戸について加熱温度を一定に保持した状態で漏気測定をおこない、中高温時における圧力差と漏気量の関係を調べた。今後は、この試験方法により両開き戸、防火ダンパーなどについて漏気測定をおこないデータの蓄積を計る。また防火戸の防火性能試験同様に、建設省告示第2999号に規定する耐火標準加熱温度による漏気測定をおこない、測定方法を検討する。これらの結果については、日本火災学会論文集に投稿する予定である。

6. 耐火試験炉の標準化に関する研究
(耐火試験炉のキャリブレーションについて)

(財)建材試験センター
中央試験所防耐火試験課長
斎　藤　勇　造

1.　まえがき

建築構造部材の耐火試験は、ISO国際規格ではISO 834「建築構造部材の耐火試験」に従って行っている。そこでは、部材を標準加熱温度ー時間曲線に沿って加熱を行い、所定の基準を満足するかどうかによって性能が判定される。ここで、この標準加熱温度ー時間曲線は、耐火試験炉内の所定の位置に設けられた熱電対の示す温度であり、耐火試験炉はこの温度に沿って制御されている。しかし、この試験で用いる耐火試験炉は、形状寸法、炉壁材の種類、燃料の種類、空気の供給条件、排気方法あるいはバーナーの構造や個数など種々様々な構成で組み立てられており、耐火試験炉の温度はこれらの要素によって影響される。しかし、耐火試験炉の構造や性能仕様については、詳細な規定は設けられていないのが現状である。従って、この加熱温度が同一であっても、異なった設計の耐火試験炉では、試験体に同じ加熱条件を与えているとは限らず、従ってこれらの耐火試験炉間では、得られた試験結果は必ずしも一致するとはいえない。同一試験機関で行われた試験に対する試験結果の再現性や、異なった試験機関で行われた試験結果の反復性などが問題にされるのはこのためである。

ISO/TC92（建築材料・部材・構造の防火試験）の専門委員会では、これらの問題を解決するために、次の事項について、耐火試験炉のキャリブレーション方法を検討している。

(1) 耐火試験炉内の条件が、標準に規定された事項に合致していること。
(2) 試験体の加熱面全体を一様に加熱することができること。
(3) 規定された加熱レベルに炉内が達することができること。
(4) 加熱面の静圧分布が、一様な直線で増加すること。
(5) 耐火試験炉には有効な開口があって、キャリブレーション試験で規定された条件下で炉内の酸素濃度が4％以上となるよう十分な過剰空気があること。

本稿は、標準的な耐火試験炉の設計のための資料を得るために、上記ISO/TC92の専門委員

会で検討されている「耐火試験炉キャリブレーション試験方法」に従って、当(財)建材試験センターが保有している2基の壁用耐火試験炉についてキャリブレーション試験を行い、比較検討した結果の報告である。

2. キャリブレーション試験

2.1 キャリブレーション試験体

耐火試験炉のキャリブレーションを行うには、キャリブレーション試験体を用いる。この試験体は、5個のキャリブレーション素子から構成されており、この素子は、**写真－2.1**及び**写真－2.2**に示すように、キャリブレーションを行う壁用耐火試験炉の開口に合うように製作したパネルの中央に1個、パネルをほぼ4分割した各面の中央に各1個ずつ、合計5個が取り付けられている。

キャリブレーション素子は、**写真－2.3**～**写真－2.4**及び**図－2.1**に示すように、たて290mm×よこ290mm、厚さ20mmのセラミックファイバーボードの両面に鋼板（加熱面側厚さ5mm、非加熱面側厚さ2mm）を重ね合わせて、スプリングで固定し、コンクリート製支持枠に取り付けたものである。

セラミックファイバーの特性値を**表－2.1**に示す。

2.2 耐火試験炉

2基の壁用耐火試験炉についてキャリブレーション試験を行った。1基の耐火試験炉は、幅3.5m×高さ3.8mの開口寸法で、奥行きが1.1mである（以下、大型壁用耐火試験炉という）。もう1基の耐火試験炉は、幅2.9m×高さ3.0mの開口寸法で、奥行きが0.9mである（以下、中型壁用耐火試験炉という）。燃料はいずれも軽油炎で、排気方法は上方自然排気方式である。

耐火試験炉の構造及び仕様を**図－2.2**～**図－2.3**及び**表－2.2**に示す。

3. 実験方法

キャリブレーション試験体を耐火試験炉にセットし、ISO 834に規定されている標準加熱温度－時間曲線（**図－3.1**参照）に沿って1時間加熱を行い、下記に示す項目について測定を行った。

3.1 炉ì縈ｷ度

直径1.0mmのアルメルークロメル熱電対を用い、大型壁用耐火試験炉については11箇所、中型壁用耐火試験炉については9箇所において測定を行った。

3.2 炉内圧力

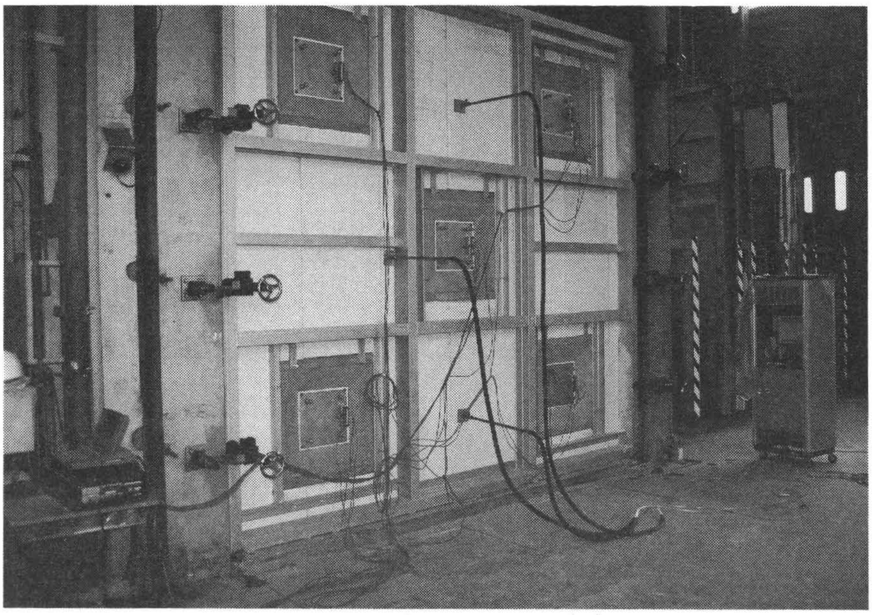
加熱中、キャリブレーション試験体の下端から約500mm、中央及び上端から約500mmの位置の3箇所測定を行った。

3.3 キャリブレーション試験体の温度

5個の測定素子の加熱面側鋼板の内側表面に2箇所、非加熱面側鋼板の内側表面に2箇所に、アルメルークロメル熱電対を溶接して測定した（**図－3.2**参照）。

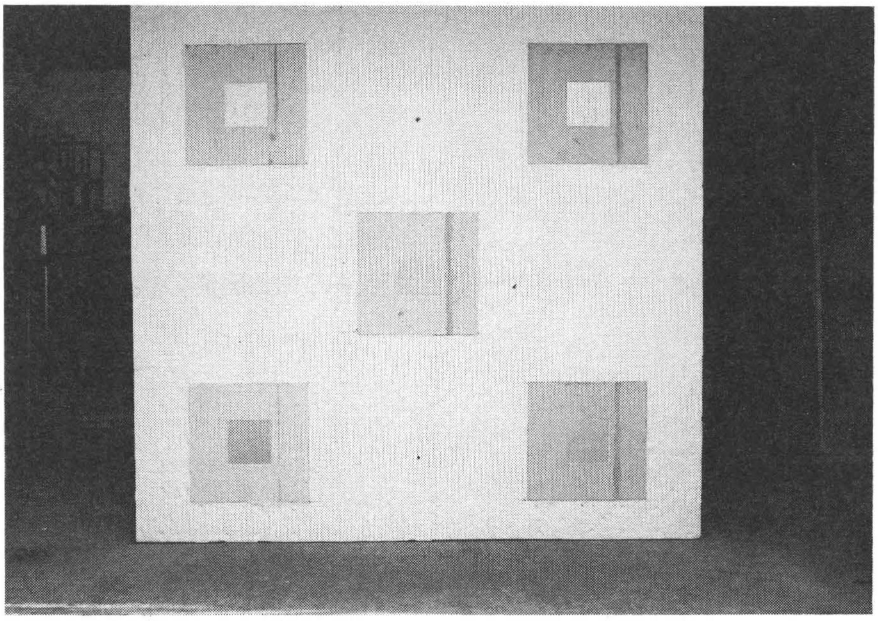
3.4 炉内ガス濃度

炉内のガス（酸素、CO、CO_2）の濃度を測定した。

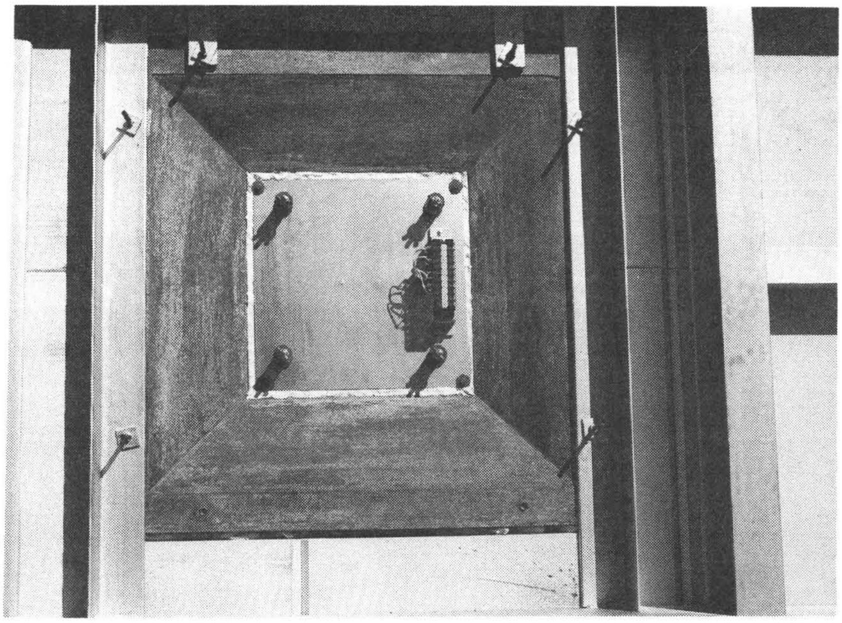


写真－2.1　キャリブレーション試験体を壁用試験炉にセットした時の非加熱面側の状況

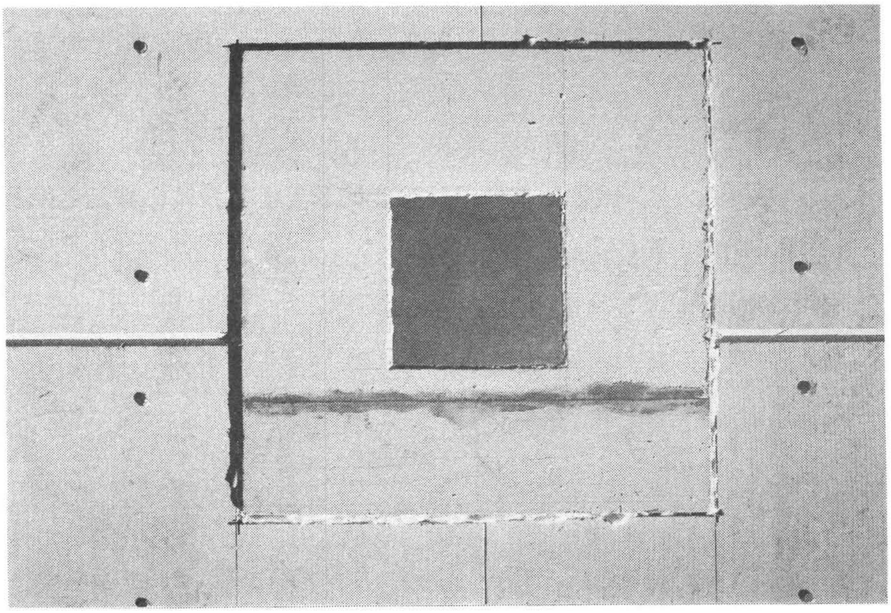
（中央に1個、ほぼ4分割した各面の中央に各1個、合計5個のキャリブレーション素子が取り付けられている。）



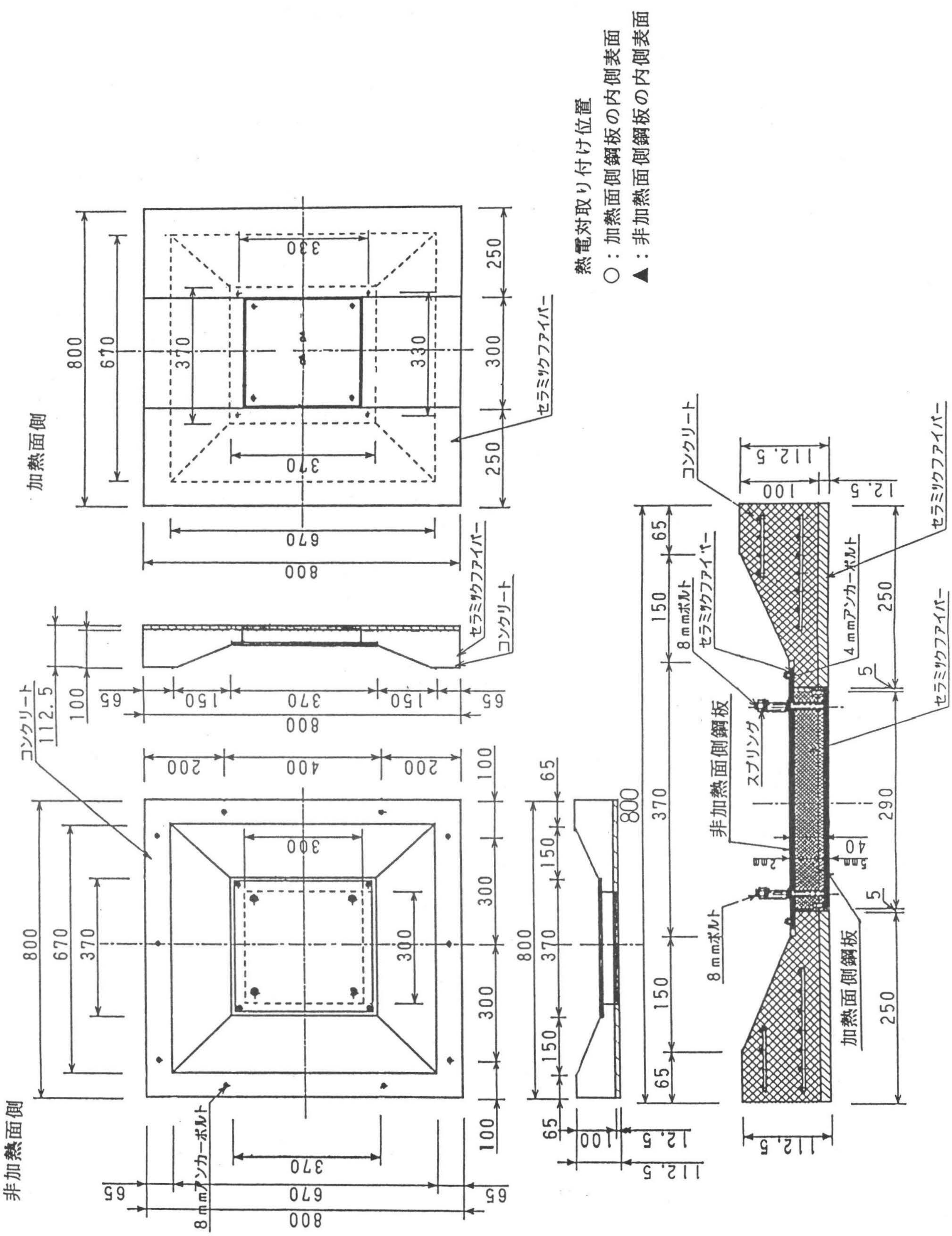
写真－2.2　キャリブレーション試験体の加熱面側の状況



写真－2.3　キャリブレーション素子の非加熱面側の状況



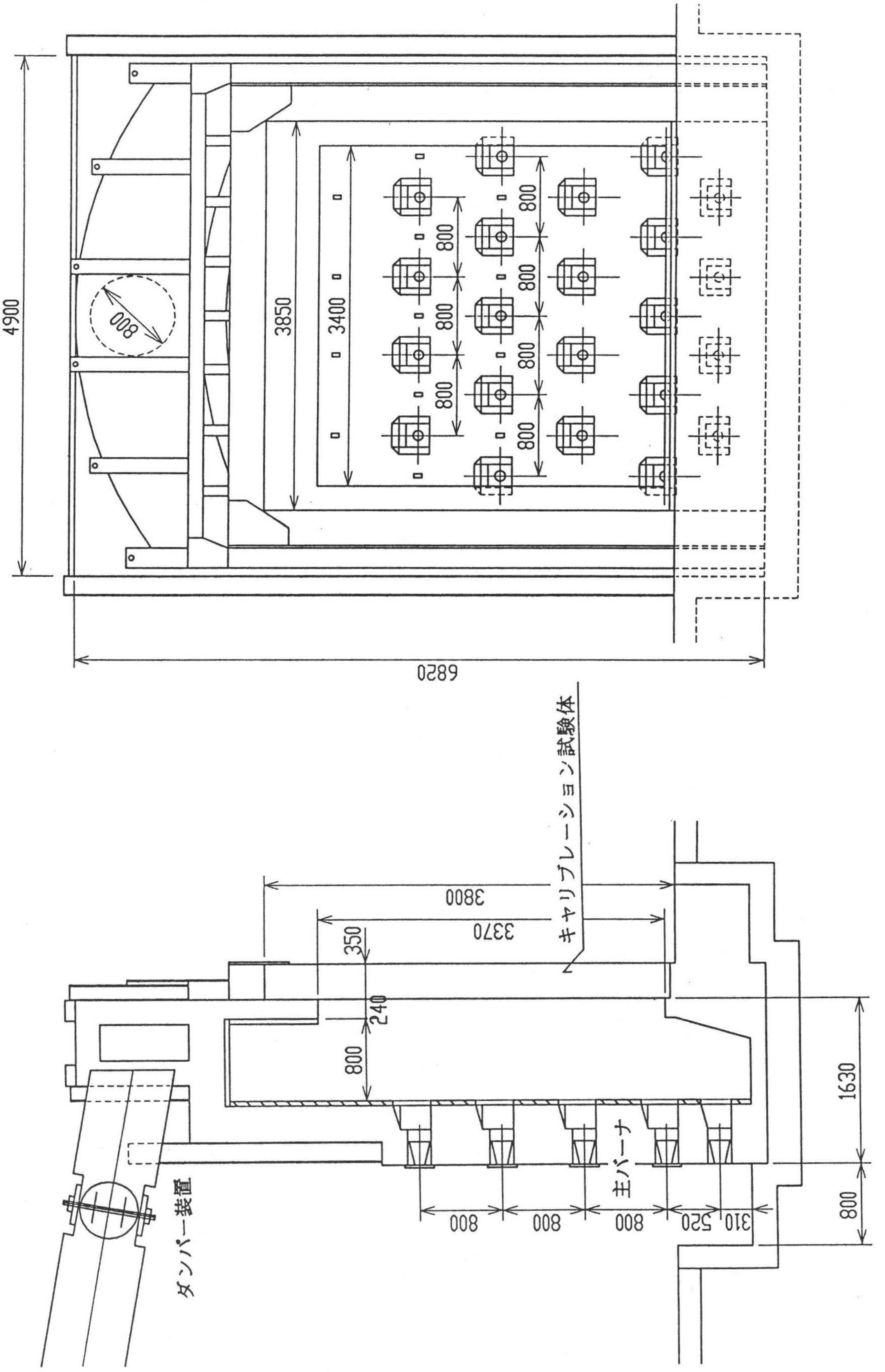
写真－2.4　キャリブレーション素子の加熱面側の状況



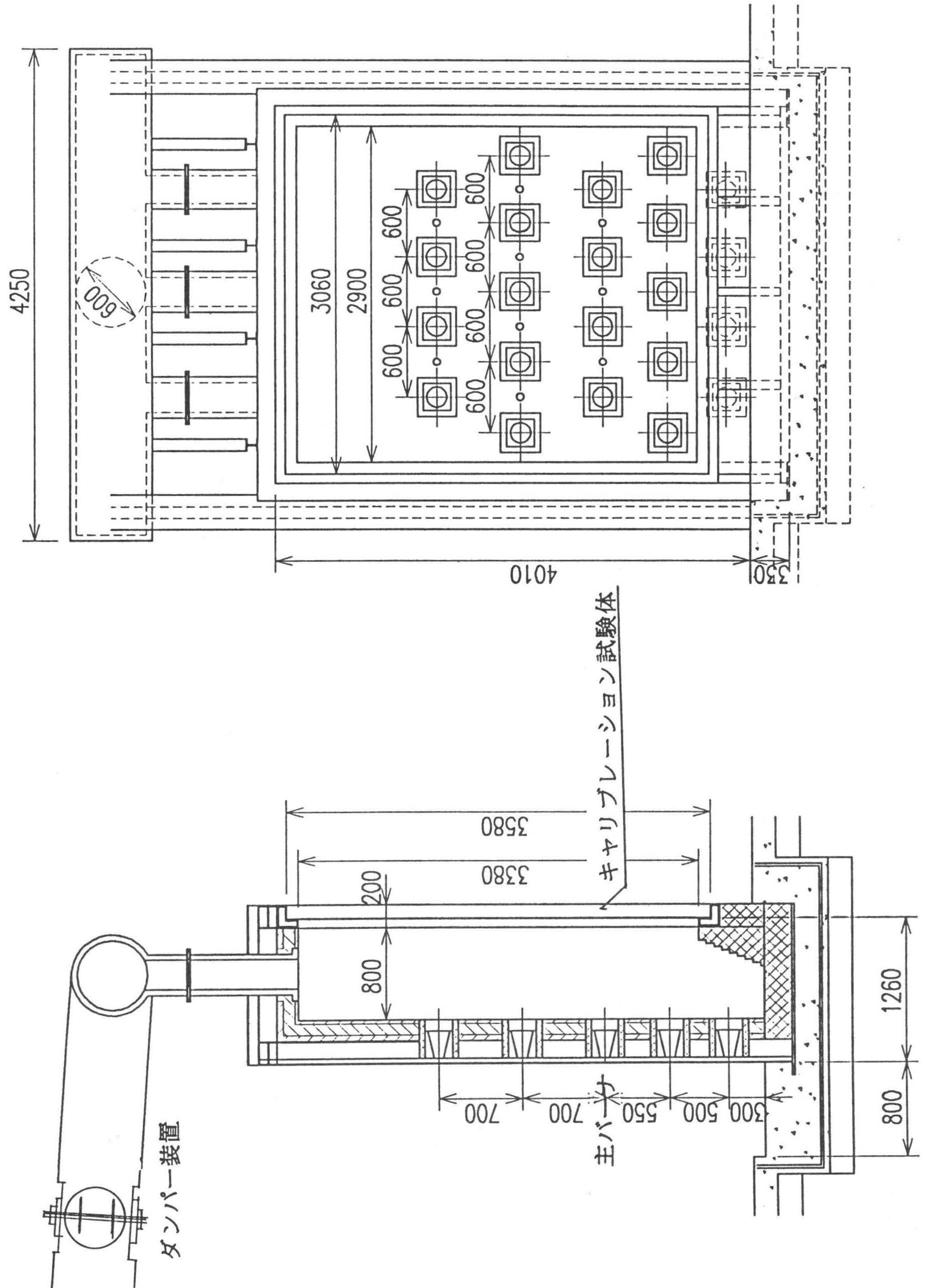
図－2.1　キャリブレーション素子

表－2.1　セラミックファイバーボードの特性値

項　　目		規　格	試 験 結 果
最高使用温度	℃	1,260	1,260
かさ密度	kg/㎥	200 ≦	250
曲げ強さ	kgf/㎠	3 ≦	5
灼熱減量	%	7 ≧	6
加熱線収縮率	% 1,100℃×8hs	3 ≧	1.7
熱伝導率	at 400℃	0.10 ≧	0.08
kcal/mh℃	at 600℃	0.14 ≧	0.10
(JIS A 1413)	at 800℃	0.20 ≧	0.14
化学成分	Al_2O_3	40 ≦	44.0
%	$Al_2O_3+SiO_2$	95 ≦	98.0



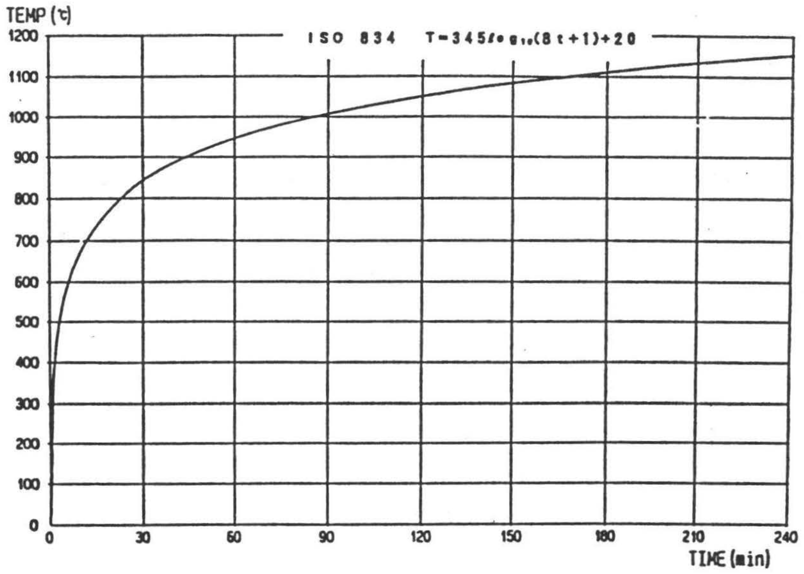
図－2.2　大型壁用耐火試験炉



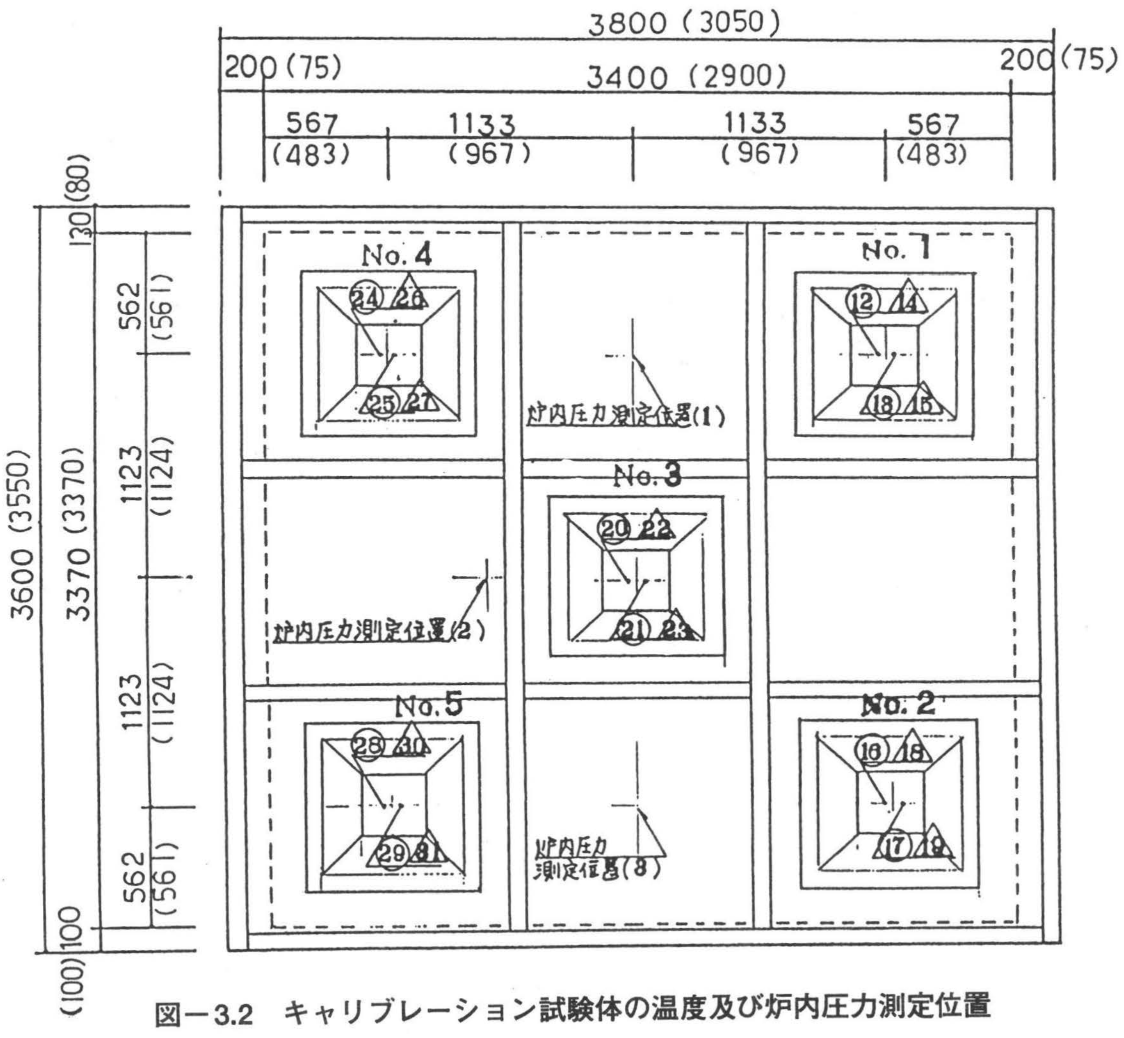
図－2.3　中型壁用耐火試験炉

表－2.2　壁用耐火試験炉の仕様

構成要素	仕　　様
1.炉本体	大型壁用耐火試験炉　中型壁用耐火試験炉 1)開口寸法　：　3.5(W)×3.8(h)m　2.9(W)×3.4(h)m 2)奥行寸法　：　1.1m　0.9m 3)観察窓　：　2箇所（両側面各1箇所） 4)加熱温度測定点数：10点（1.30㎡当り1点）10点（0.98㎡当り1点） 5)炉内圧力測定位置：3箇所（試験体高さh，1/2h，0） 6)排気方式　：　上方自然排気
2.加熱装置	1)熱源：軽油炎 2)主バーナ 形式　：低圧空気噴霧式比例ｵｲﾙﾊﾞｰﾅ 燃油量：16ℓ/h 設置数：22台（含補助ﾊﾞｰﾅ 4台） 3)ﾊﾟｲﾛｯﾄﾊﾞｰﾅ（点火用） 形式　：強制通風型 燃焼容量：2900 kcal/h　L.P.G 設置台数：22台
3.給・排気施設	大型壁用耐火試験炉　中型壁耐火試験炉 1)給気ブロアー 形式　：　ターボファン 容量　：　11 KW 風量　：　360 ㎥/min　45 ㎥/min 2)排気ブロアー：　なし　なし 3)ダンパー装置：　手動調節　（炉内圧1±0.5mmH20）
4.温度制御	1)制御方式：手動制御 2)点火装置：ﾊﾟｲﾛｯﾄﾌﾚｰﾑによりﾊﾞｰﾅｰ各々に手動で点火 3)モニター：打点式温度記録計
5.計測装置	1)温度　：炉内温度測定　φ1mmCA熱電対 ：試験体温度測定　φ0.65mmCA熱電対 2)炉内圧力：微少圧力計　ｵｰﾄﾏﾉﾒｰﾀｰ



図－3.1　標準加熱温度－時間曲線



図－3.2　キャリブレーション試験体の温度及び炉内圧力測定位置

注）● 寸法の（ ）外は大型用耐火試験炉、（ ）内は中型用耐火試験炉

● キャリブレーション素子上数値は温度測定位置を示す

○：加熱面側鋼板の内側表面

△：非加熱面側鋼板の内側表面

4. 実験結果及び考察

4.1 炉内温度

測定した炉内温度曲線とISO 834に規定された標準加熱温度－時間曲線とを比較して**図－4.1**及び**図－4.2**に示す。

キャリブレーション規準では、炉内平均温度曲線の標準温度曲線とのずれは、次のように規定されている。

(1) 10分まで　：15％
(2) 30分まで　：5％
(3) 60分まで　：5－0.083（t－30）％
(4) 60分超　：2.5％

また、試験の最初の10分以降は、標準加熱温度曲線に対応する温度から100℃以上違わないことが規定されている。

本実験では、ISO 834に規定された標準加熱曲線に沿って加熱が行われ、キャリブレーション規準を十分満足した。

4.2 キャリブレーション試験体の温度

5個の各測定素子の加熱面側鋼板の内側表面温度（2箇所）及び非加熱面側鋼板の内側表面温度（2箇所）の測定結果を**図－4.3**～**図－4.4**に示す。

これらの結果から、炉内の温度分布、両炉の温度分布に著しく大きな差は認められなかった。

4.3 炉内圧力

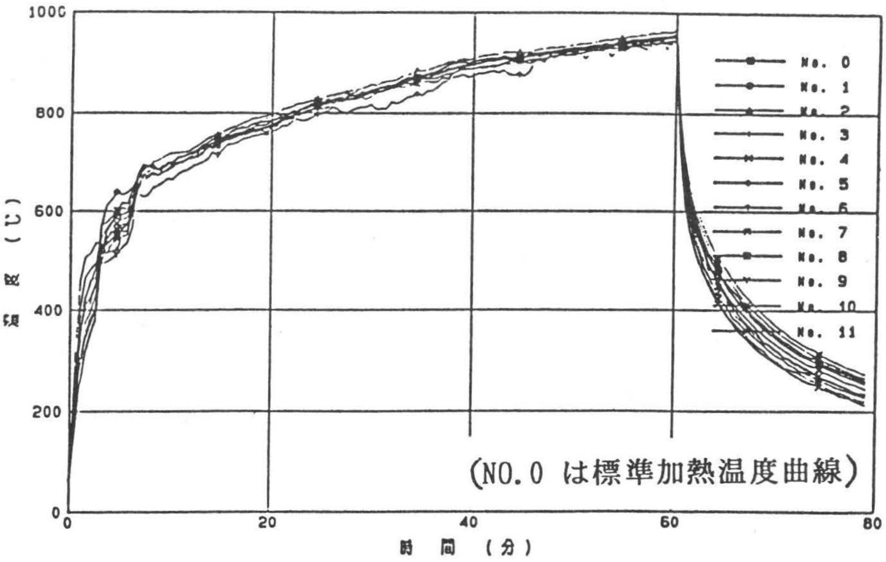
炉内圧力の測定結果を**図－4.5**～**図－4.6**に示す。炉内圧力は、排気方法が上方自然排気方式のため、外気の風の影響で脈動が観測されるが、今回の大型壁用耐火試験炉の実験では強風の日が続いたため、特に大きな脈動が観測された。高さ方向の圧力勾配は、概ね**図－4.7**のようで、高さ3mの位置で20～25Paであった。

キャリブレーション規準では、炉内圧力は、試験開始から5分までに5Pa以内に達し、10分までに3Pa以内に達し、維持されること、また床レベル上500mmの高さで0、試験体上端で20Paを超えないことが規定されている。

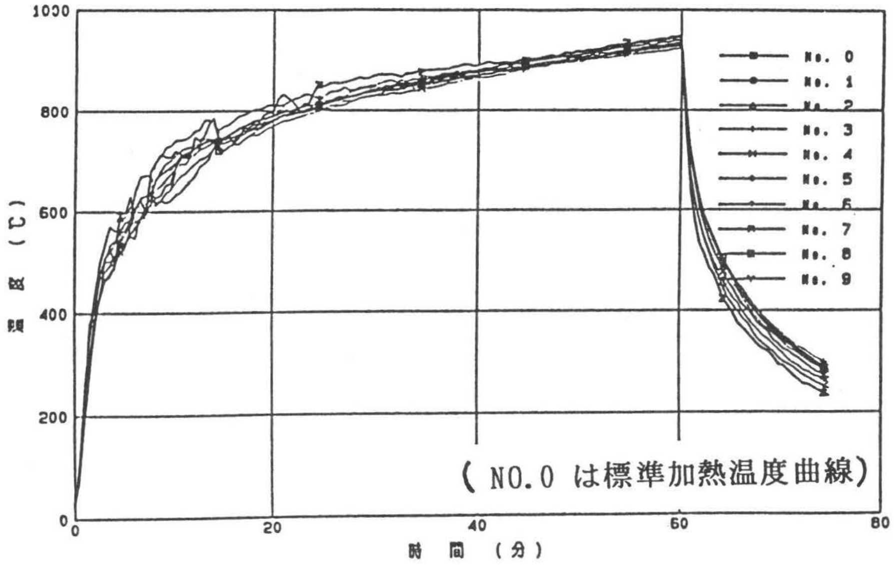
この実験結果から、1基の耐火試験炉はキャリブレーション基準をほぼ満足しているが、炉内圧力の変動が、上方排気方式では、外気に強い風があると、その影響を受けることが実証され、炉内の圧力の制御上問題があることが分かった。

4.4 炉内ガス濃度

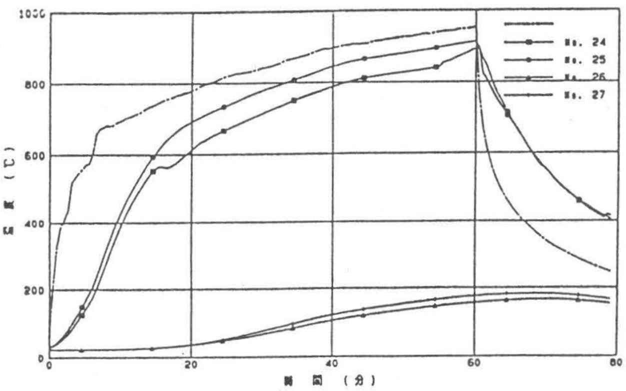
炉内のガス濃度測定結果を**図－4.8**～**図－4.9**示す。これらから分かるように、炉内の酸素濃度は加熱開始後5分頃までは急激に9％程度まで減少し、その後徐々に低下するが、9分以降は7％～8％となり、両炉ともキャリブレーション規準である4％以上は満足していた。



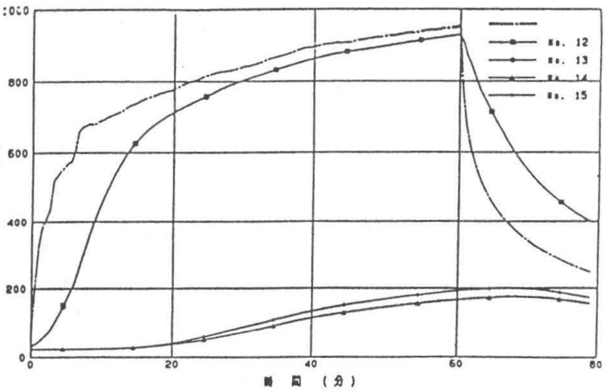
図－4.1　炉内温度測定結果　（大型壁用耐火試験炉）



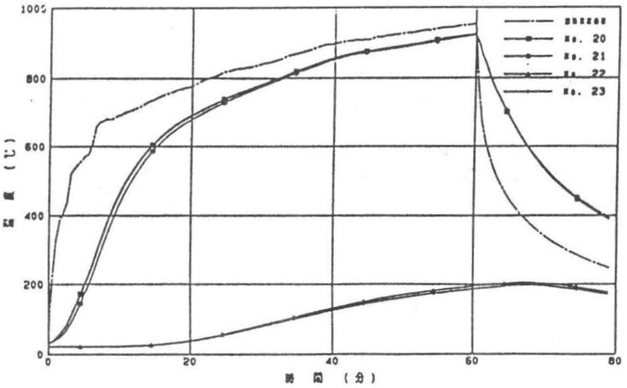
図－4.2　炉内温度測定結果　（中型壁用耐火試験炉）



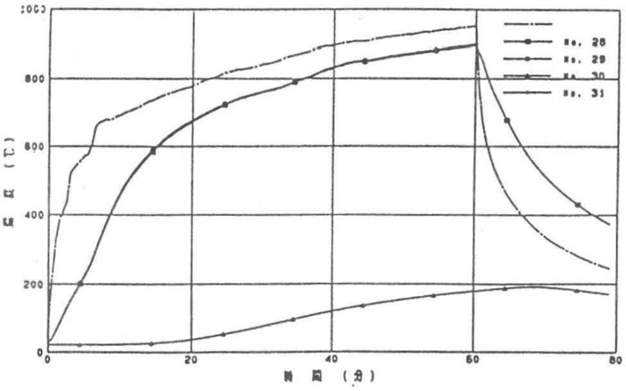
図－4.3(a)　測定位置　(NO.4)



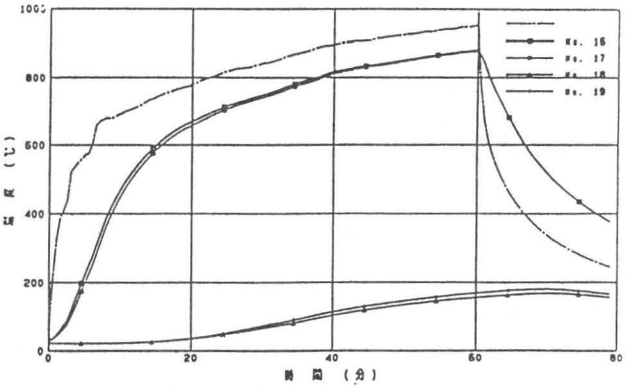
図－4.3(b)　測定位置　(NO.1)



図－4.3(c)　測定位置　(NO.3)

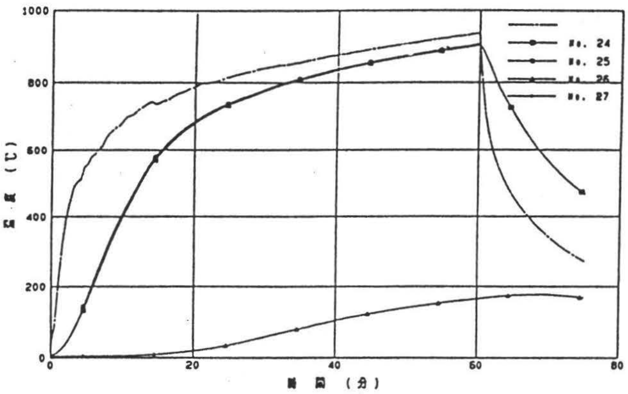


図－4.3(d)　測定位置　(NO.5)

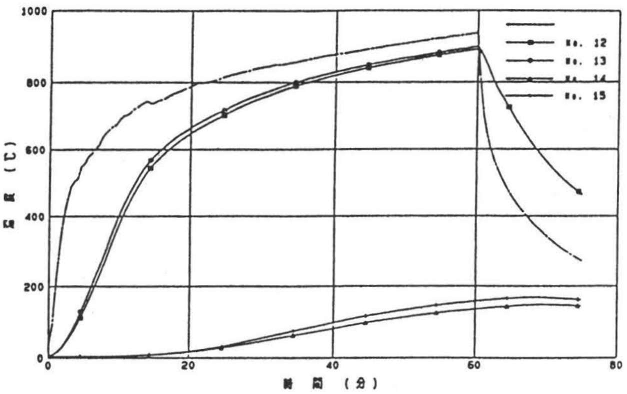


図－4.3(e)　測定位置　(NO.2)

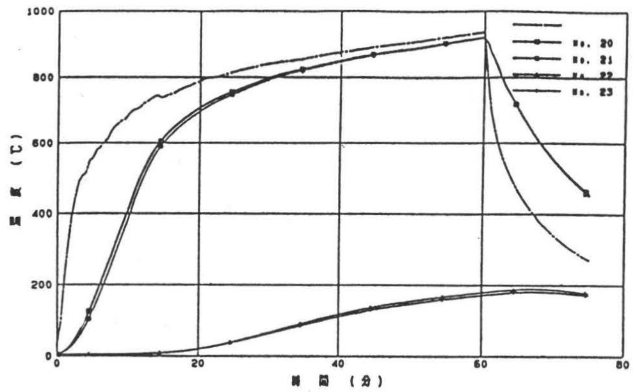
図－4.3　キャリブレーション試験体温度測定結果　(大型壁用耐火試験炉)
(－·－·－·－ 線は炉内平均温度曲線)



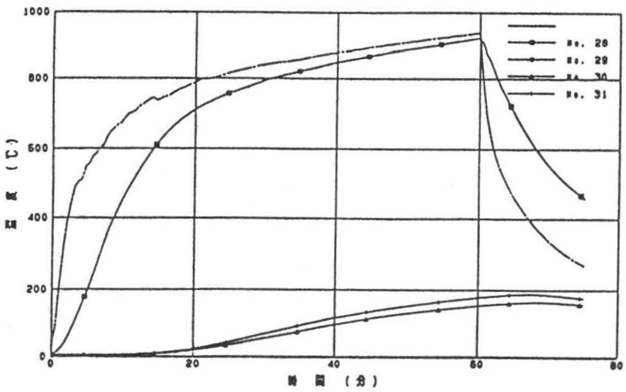
図－4.4(a)　測定位置　(NO.4)



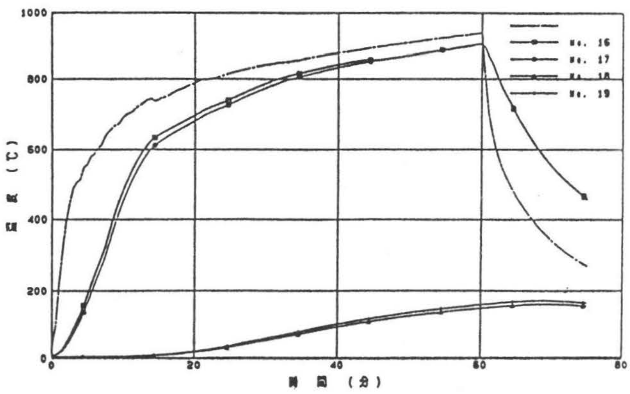
図－4.4(b)　測定位置　(NO.1)



図－4.4(c)　測定位置　(NO.3)

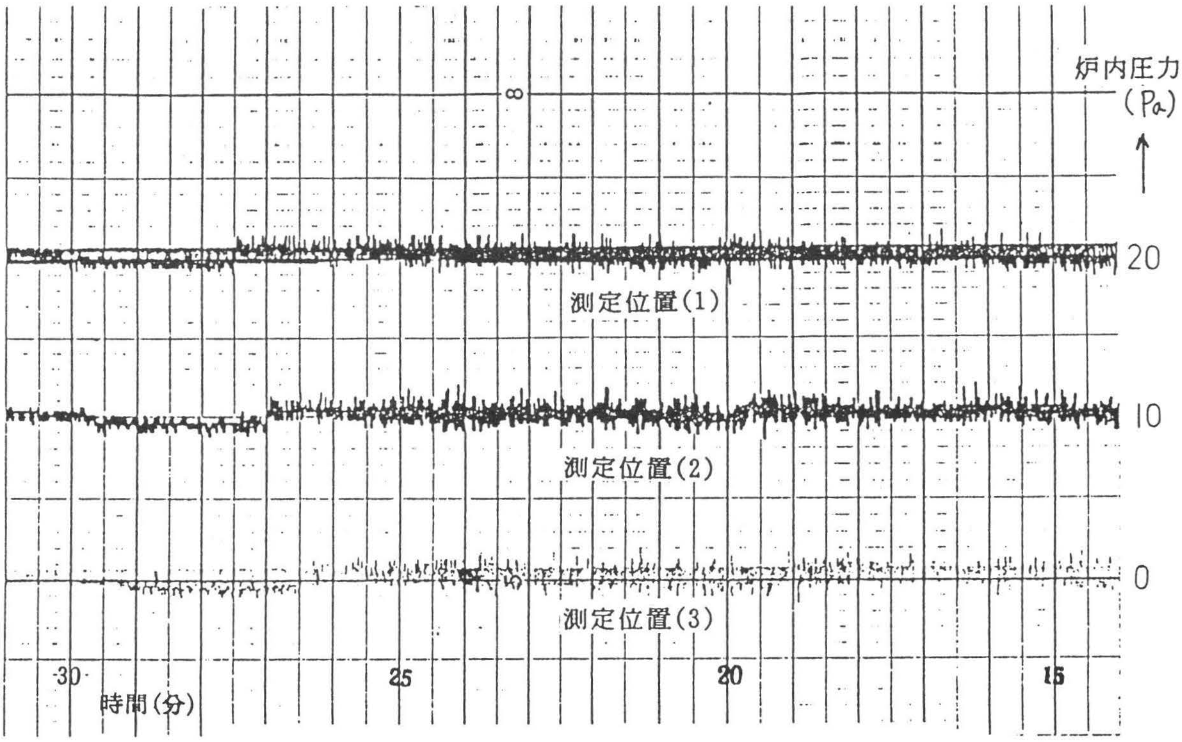


図－4.4(d)　測定位置　(NO.5)

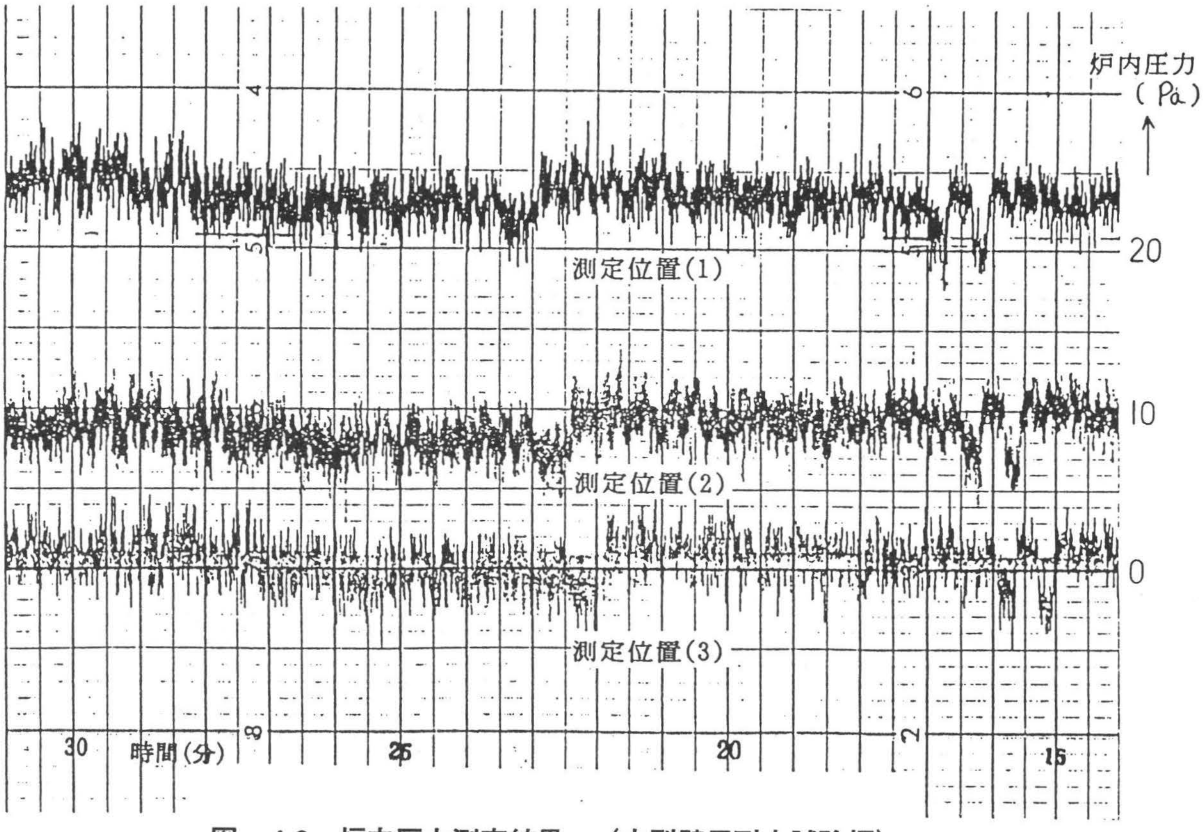


図－4.4(e)　測定位置　(NO.2)

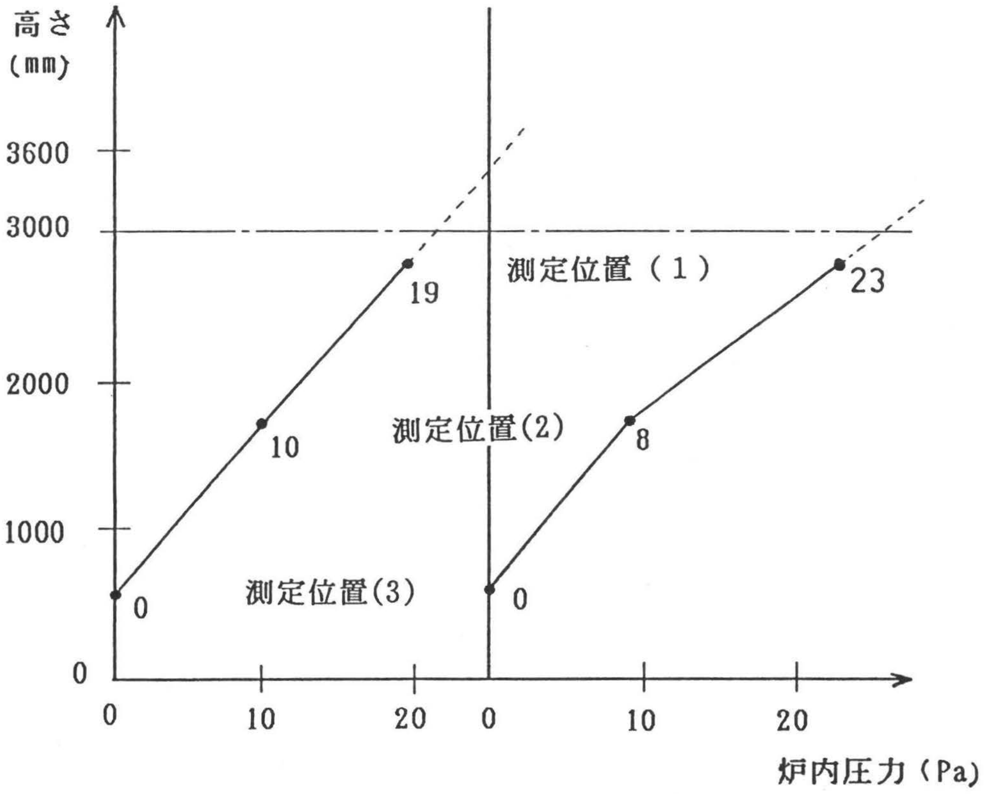
図－4.4　キャリブレーション試験体温度測定結果（中型壁用耐火試験炉）
（－・－・－・－ 線は炉内平均温度曲線）



図－4.5　炉内圧力測定結果　（大型壁用耐火試験炉）

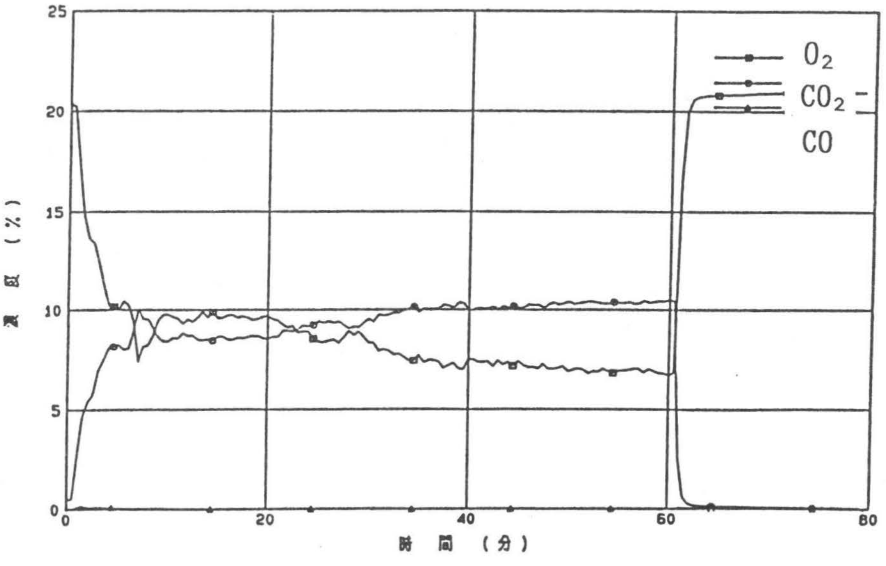


図－4.6　炉内圧力測定結果　（中型壁用耐火試験炉）

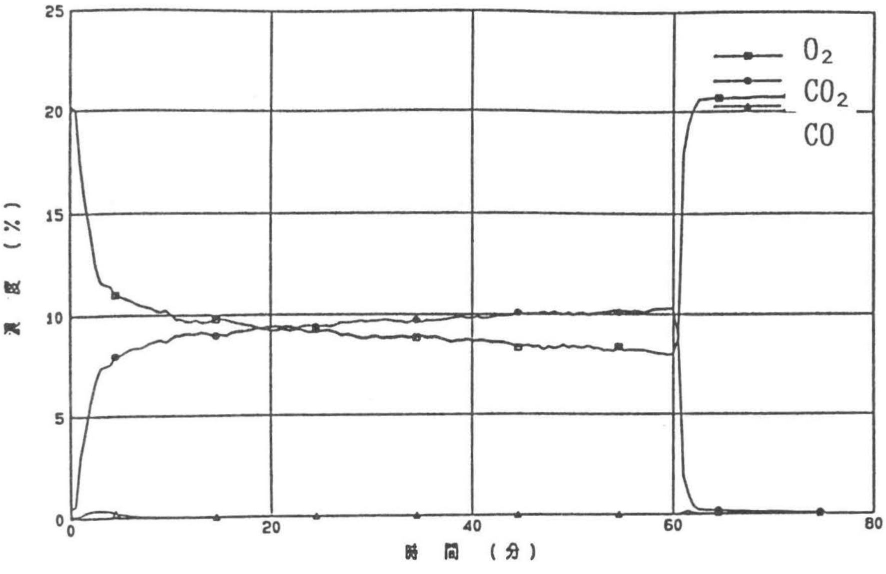


（大型壁用耐火試験炉）　（中型壁用耐火試験炉）

図－4.7　炉内圧力勾配（加熱開始後30分時）



図－4.8　炉内ガス濃度測定結果　（大型壁用耐火試験炉）



図－4.9　炉内ガス濃度測定結果　（中型壁用耐火試験炉）

5. あとがき

上述の結果、当建材試験センターが所有している2基の壁用耐火試験炉については、キャリブレーション規準に従った加熱条件で加熱ができ、また炉内の加熱力のばらつき及び2基の耐火試験炉の間には加熱力の差は小さいことが分かった。

このキャリブレーション試験は、耐火試験炉の標準化には欠かせない試験で、この試験によるデータで耐火試験炉の新築あるいは改築時、さらに経年後の耐火試験炉の性能チェックができるので、炉を維持管理する上で有益である。また、耐火試験炉の標準化は、これに従って造られた炉であれば、どこの試験機関の炉を用いても同様の試験結果が得られることになるので、製品の管理や開発のためにも有益である。

建設省ては、建築基準法に係わる基準、認証について「外国検査データ受け入れに関するガイドライン」に基づく外国試験機関の指定及び相互認証制度の導入を推進している。その中には、性能試験を行う試験機関の試験データの質を確保するための技術的な基準も規定されており、当然この耐火試験炉のキャリブレーション試験も不可欠なものとなる。

ISO/TC92の専門委員会では、このキャリブレーション試験方法について、国際規格化に向けた作業が進められている。特に、未決定であるキャリブレーション試験体の温度基準や耐火試験炉の性能を比較する場合の判定基準などが検討課題である。本実験結果は、この委員会に報告する予定である。我が国の耐火試験炉の構造が、欧州諸国の試験機関が所有している耐火試験炉と構造上大きな違いがあることから、本実験データとの比較は、今後国際規格化に大いに参考になると考える。

【参考文献】

1）ISO TC92/SC2/WG1/N336 “Draft of Proposed Calibration Test for Fire Resistance Test Furnaces” 1991.5.

2）ISO/DIS/834－1 “Fire－resistance tests－Elements of building construction Part l” 1993.4.

謝辞

本研究の実施にあたっては、中沢昌光、小松紘一、柴澤徳朗、棚池裕、西本俊郎、流田靖博、川端義雄の各氏の多大な協力を得た。ここに記し感謝の意を表する。

7. 薄肉強靱鋳鉄を応用した建築用排水継手の軽量化

岩手大学工学部
材料物性工学科教授
堀　江　　　皓

1. 緒　　言

屋内に使用されている建材用排水継手はビル等の建築物各階の排水を集合する機能をもっており、形状が複雑であることと防災上の理由から鋳鉄で製造されている。そして我国では形状で21種類、管径で10種類の鋳鉄製建築用排水継手が2万t/年生産されている。しかし、これらの継手は肉厚が10～15mmと肉厚であるため、きわめて重く、軽薄短小化の時代に、その軽量化が重要な課題となっている。

本研究はこの薄肉強靱鋳鉄を上記建築用排水継手に応用し、同継手の薄肉軽量化を図ることを目的とする。しかし、実際にこの薄肉強靱鋳鉄を建築用排水継手に応用する場合、最適な化学成分、材質等が不明であるので、本研究では肉厚は従来の継手の約1/2以下の3mmとした建築用排水継手をモデルに鋳造実験を行い、上記項目を検討し、省エネルギー型の建築用排水継手の開発を図ることを目的とした。

すなわち、肉厚3mm、管径100mm、長さ250mmの排水継手を、化学成分（硫黄、希土類元素）、材質を変えて、高周波電気炉を用いて砂型鋳造し、得られた試料の顕微鏡組織を観察して、建築用排水継手の最適な化学成分、材質について検討した。

2. 継手の最適化学成分

2−1 実験方法

球状黒鉛鋳鉄用銑（C 4.19％、Si 1.58％、Mn 0.20％、P 0.06％、S 0.024％）、Fe－Si（75.5％）及び電解鉄を用い、3kHz、12kWの高周波電気炉により、アルミナ・ライニングを施した6番黒鉛るつぼ中で1回の溶解量を3kgとし、目標C 3.8％、最終Si 2.2％、Sについては0.004％から0.15％になるように溶湯の成分調整を行った。黒鉛の球状化にはRE、Caを含まないFe－Si－Mg合金（Si 45.05％、Mg 7.76％）を用い、溶湯温度1,530℃でこれの1.6％一定量をサンドイッチ法で添加した。なお、RE、Caを添加する場合には、RE－Si（Si 34.4％、RE 32.5％）、

Ca－Si（Si 61.3％、Ca 30.6％）をそれぞれの添加量に応じて球状化剤に単味あるいは複合で混合添加した。反応終了後、Fe－Si 0.4％で接種し、1,400℃で、肉厚3mm、管径100mm、長さ250mmの排水継手鋳型に注湯した。

この試料の肉厚3mmの中心部（冷却速度20.7℃/s）の黒鉛組織を観察して、チル生成の有無を調べ、画像解析処理装置を用いて、2mm^{2}の視野について1μmφ以上の黒鉛粒数を測定した。

2－2　実験結果

(1) 継手の組織に及ぼすRE、Caの影響

図1に、RE、Caをそれぞれ単独及び複合で添加した試料のチル生成及び黒鉛粒数の変化を示す。RE、Caを添加しない試料では、黒鉛粒数約100個/mm^{2}程度でチルが発生しているが、REを0.004％、0.007％と極微量添加すると急激に黒鉛粒数は増加し、REを0.01％添加した試料では約650個/mm^{2}程度の黒鉛粒数となり、チル臨界粒数を越えてチルが消失している。さらにRE添加量を増加しても黒鉛粒数に大きな変化は認められないが、REを0.1％以上添加した試料から黒鉛粒数は次第に減少し、REを0.12％及び0.15％添加した試料では、ふたたびチルが生成している。

次に、Caを単独添加した試料をみると、いずれの試料もチルが発生しているが、Caを0.01～0.06％添加した試料でいくぶん黒鉛粒数が増加する傾向を示している。

一方、RE0.06％の一定量にCaを0.01～0.08％添加した試料をみると、いずれの試料もチルは発生していない。また、黒鉛粒数は、RE単独添加した試料に比べて、Caを複合添加した試料ではさらに増加しており、Caを0.04～0.06％添加した試料で最大となっている。

このように、REは極微量の添加で黒鉛粒数を著しく増加し、さらに、Caとの複合添加の効果が認められる。また、黒鉛粒数の増加に対してRE添加量の最適範囲が存在することがわかる。

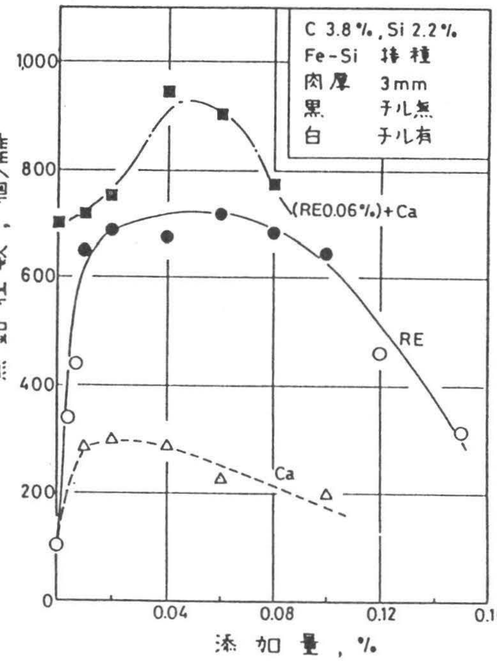


図1　RE、Ca添加量による黒鉛粒数の変化

(2) 継手の組織に及ぼす元湯S量の影響

元湯（S 0.021％及び0.08％）の溶湯にREを添加した肉厚3mmの試料の変化を調べた。元湯のSが0.021％と少ない場合には、RE無添加の試料では黒鉛粒数も少なく、試料全面にチルが発生するが、REを0.01～0.1％添加した試料では黒鉛粒数が増加して、チルは消失し、さらにRE添加量が0.15％と増加するにつれて黒鉛粒数が減少し、ふたたびチルが発生する。

一方、元湯のSが0.08％の場合には、REを0.2％添加した試料でも片状黒鉛組織となっており、またREを0.3～0.6％添加した試料では球状黒鉛組織となり、いずれも、基地にチルの生

成は認められなかった。しかし、RE0.7％添加試料では黒鉛粒数が減少し、基地にチルが生成した。この傾向は、元湯のSが0.12％及び0.15％の試料でもほぼ同じであるが、元湯のS量の多い試料ほどRE添加量が高RE側に移行した。

これらの試料について、RE添加量と黒鉛粒数との関係を調べた結果を、**図2**に示す。いずれのS量の試料でも、RE添加量を増加するにしたがって黒鉛粒数は増加し、ある最適なRE添加量の範囲内でチルが消失し、さらにRE添加量を増加すると黒鉛粒数が減少して、ふたたびチルが生成している。なお、元湯S量が0.08％以上の試料では、RE添加量が少ない場合には、黒鉛の球状化が崩れてCV黒鉛あるいは片状黒鉛組織となるため、チルは生成しない。また、元湯のS量によって黒鉛粒数に対するREの最適添加量は異なり、S量が多い試料ほど最適添加量は高RE側に移行し、その範囲も広くなることがわかる。さらに、最適なRE添加量で得られる黒鉛粒数の値も、元湯のSの多い試料ほどいくぶん多くなる傾向が認められる。

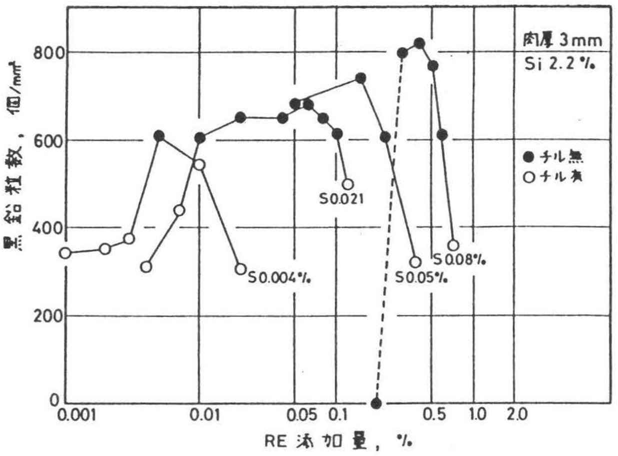


図2　RE添加による黒鉛粒数の変化

図3は、縦軸に元湯のS量を取り、横軸にRE添加量を取り、各試料の黒鉛組織及びチル生成の有無をプロットした結果を示している。図2の黒鉛粒数の結果を加味して、各S量の試料についてチルが発生しない最適範囲を求めると、おおよそRE/S＝3とRE/S＝6の二つの直線で区分され、この直線の内側が黒鉛球状化も良好で、チルの発生しない領域となっている。また、この最適範囲は元湯S量の多い試料ほど広くなり、さらに、最適範囲を区分する2本の直線のほぼ中心にRE/S＝4.4の線が存在することがわかる。

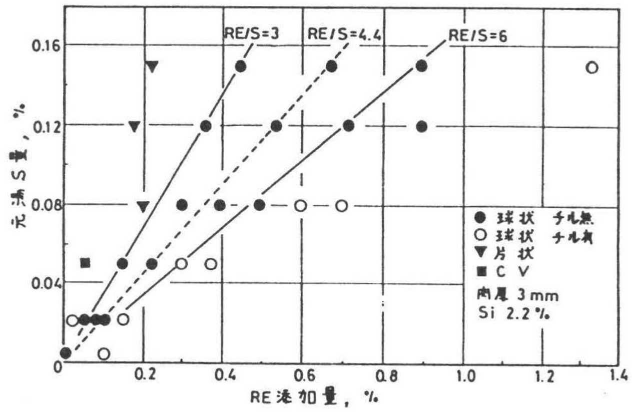


図3　S及びRE添加による黒鉛組織の変化

これらの結果は、各S量の元湯に対して、黒鉛粒数が増加してチルが生成しないための化学量論的なRE添加量が存在することを示しており、さらに、REを使用して薄肉球状黒鉛鋳鉄を製造する場合には、極低S溶湯では最適なRE添加量の範囲が狭く不利であり、ある程度のS量が必要であることを示すものと思われる。

2−3　結　言

以上の実験により、次の結果が得られた。

①継手の組織に対して、REの添加はきわめて有効であり、さらにCaとの複合効果が認められる。またチル抑制に対してRE添加量の最適範囲が存在する。

②各S量の元湯に対して、黒鉛粒数が増加し、チルが生成しないための化学量論的なRE添加量が存在し、これは、元湯S量が多いほど高RE側に移行し、その範囲も広くなる。

③黒鉛粒数に及ぼすREの効果は、試料のSi量及び冷却速度によって異なり、Si量が低く、冷却速度の大きい試料ほど著しい。

④高S溶湯に対して同一量のREをそれぞれ球状化処理前及び球状化処理時に添加した試料を比較すると前者に比べて後者のほうが黒鉛粒数は多く、また、残留Ce量、S量も多い。

3. 継手の材質試験

前項の実験で得られた結果を基に、最適化学成分の溶湯を用いて排水継手を鋳造し、圧縮破壊試験を従来品と比較しながら行った。

3－1 実験方法

(1) 溶解炉

高周波誘導炉　12kW、3kHz

8＃黒鉛ルツボ使用

(2) 溶解材料

○銑鉄

岩手ダクタイル用銑

C	Si	Mn	P	S
4.24	1.59	0.27	0.058	0.021

○球状化剤及び添加量

Fe－Si－Mg（RE 2.5％、Ca 2.0％）合金　1.2％

○接種材及び添加量

Fe－Si（75.5％）0.4％

○目標組成

C　3.8％　　Si　2.8％　　S　0.08％

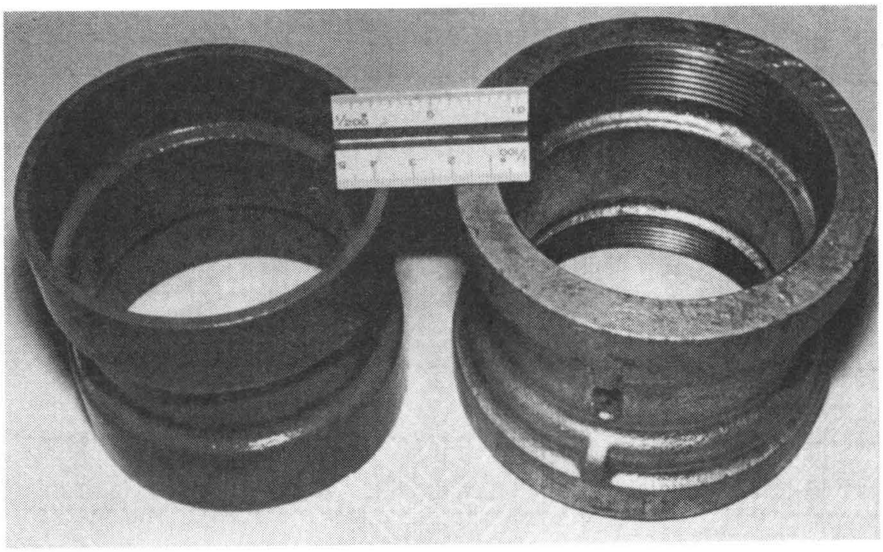
3－2 圧縮試験結果（実体試験）

表1に圧縮試験結果を示す。

表1　圧縮試験結果

			破壊荷重	圧縮変形量	寸　法
Ｎｏ	記号	重量（ｇ）	（ｋｇ）	（ｍｍ）	（ｍｍ）
1	ＢＣ	６７５	２００５	８．４	φ９０×９０×３
2	Ａ	〃	２２３０	６．８	〃
3	Ｂ	〃	２８０５	１６．０	〃
4	Ｃ	〃	２６９５	１２．８	〃
5	Ｄ	〃	３０９０	１８．６	〃
6	ＦＣ	〃	１０７０	２．２	〃
7	鋳鉄	１８５２	５４７０	１．８	φ１１０×９０×１１
8	塩ビ	４０５	３６０	４０．０	φ９０×８０×３

注）No1～No5は今回試作した薄肉強靭鋳鉄　　No6は普通鋳鉄（寸法はNo1～No5と同じ）
　　No7は従来品（普通鋳鉄）　　No8は従来品（塩化ビニール）



薄肉強鋳鉄製　　鋳鉄製(従来品)

図4　試作した継手（左）及び従来品（右）

3－3　重量及び実体強度、変形量の比較

表2　重量と実体強度、変形量の比較

Ｎｏ	記　号 品　名	重量 Ａ（ｇ）	圧縮荷重 Ｂ（kg）	Ｂ／Ａ	変形量 Ｃ（mm）	Ｂ／Ａ×Ｃ
７	従来品（鋳鉄）	１８５２	５４７０	２．９５	１．８	５．３
８	従来品（塩ビ）	４０５	３６０	０．８９	３０．０	２６．７
５	開発品（薄強）	６７５	３０９０	４．５８	１８．６	８５．２
３	〃	〃	２８０５	４．１６	１６．０	６６．６
１	〃	〃	２００５	２．９７	８．４	２４．９

重量と圧縮荷重を考慮したB/Aの良い順

開発品No5、No3、No1、従来品（鋳鉄）、従来品（塩ビ）

重量と圧縮荷重及び変形量を考慮したB/A×Cの良い順

開発品No5、No3、従来品（塩ビ）、No1、従来品（鋳鉄）

3－4　結言

1）薄肉強靭鋳鉄を排水用継手に適用することは十分可能であり、従来品より大幅な軽量化が達成できる。

2）強靭化するためのRE、Ca含有球状化剤を0.4％添加した製品では、約2tの破壊荷重に耐え、これは普通鋳鉄で造った製品の2倍の強度を示す。

3）今回試作した製品は従来品（鋳鉄製）に比べて破壊荷重1/1.8、変形量で10倍を示し、重量では1/2.7となり、64％の軽量化が可能となった。

4）今回の試験で、材質上はほとんど問題ないことが判明したが、今後は現場で量産する場合の鋳造方案等の諸問題を解明する必要がある。

4.　総括

鋳鉄溶湯のS量と化学量論的な希土類元素を添加した球状黒鉛鋳鉄は3mm肉厚でも脆弱化せず、著しく強靭性に富む材料であることが判明した。

この材料を用いて試作した建築用排水継手は従来の継手に比べて約1／3の重量で、大幅な軽量化が可能となった。

8. 住宅における床仕上げと高齢者の歩行特性との関係に関する研究

東北大学工学部建築学科教授
三　橋　博　三

1. 背景・目的

高齢化社会を迎えた現在、高齢者の生活に対応した住環境の整備は緊急かつ重要な課題である。とりわけ高齢者の家庭内事故原因に占める転倒の比率の高さを考えるとき、住宅の床における高齢者の歩行特性の実態を明らかにすることは、高齢者が住まう住宅の安全性に対して極めて有用であると考えられる。従来床仕上げ材料に関しては、すべりや緩衝効果等に関して若年者を被験者とした研究が盛んに行われてきたが、高齢者と若年者の歩行特性を比較して床のあり方を検討したものはほとんど見当たらない。居住者の安全性・快適性の重視、床材料・構法の多様化等を背景に、この種の問題はますます重要性を増すものと考えられる。そこで本研究では、加齢による歩行特性及び感覚特性の変化を考慮した床材料の生態学的な評価方法を確立することを目的とし、その緒として種々の調査を実施した。

2. 調査方法

調査は、65歳以上の高齢者13名と21歳から24歳までの若年者13名を被験者とし、床材料・履き物等の条件を変えた延べ312パターンの歩行条件に対して行った。調査内容としては、歩行軌跡（床上水平歩行時の踵・踝・爪先の移動軌跡）の測定と官能検査（すべり感）を柱とし、床のすべり抵抗係数（C.S.R）測定を行うことによって床の物性面の指標とした。

歩行軌跡の調査は、踵・踝・爪先の3点に目印を付けて4種の床材料（1. 目の細かいカーペット、2. 目の粗いカーペット、3. 塩化ビニルシート、4. 木質フローリング）の上を自由に歩いてもらい、ビデオカメラで歩行動作の撮影を行った上で、その画像記録を1/30秒毎にサンプリングして、各点をトレース、デジタイジングすることによって歩行軌跡を二次元の座標上に

再現した。この歩行軌跡に基づいて、歩幅・最大鉛直方向変位・進入角（着地する瞬間の踵と爪先とを結ぶ線分が床面となす角度）等のパラメータを導出した。

官能検査は、住宅に用いられる一般的な床仕上げ材料に対する歩行感覚（すべり感覚）を把握することを目的として、上記の床材料に対して5段階評価尺度を用いて行った。

また、床材料のすべり抵抗係数は、現在床のすべりに関しては最も信頼性が高いと思われるO－Y・PSMを用いて、木綿靴下・ナイロンストッキング・足袋を履いたときの各C.S.Rを求めた。

3. 調査結果

歩行軌跡に関しては、既往の研究によって多くのことが知られており、本調査においてもそれらを裏付ける結果が得られた。即ち、足が離れてから次に着地するまでの距離は、高齢者より若年者の方が遙かに大きくなり、最大鉛直方向変位も着地直前の爪先の鉛直方向変位も同様に若年者の方が大きくなる。これらの結果は、被験者の身長等に依存することはいうまでもないが、その点を考慮してもその差は小さくないといえる。また、これまで余り言及されてこなかった進入角に関しても、高齢者より若年者の方が大きく、女性より男性の方が大きくなるという結果が得られた。床の違いによる歩行軌跡の変化に関しては後述する。

官能検査に関しては、若年者が靴下を履いた状態では、フローリング、塩ビシート、目の粗いカーペット、目の細かいカーペットの順にすべりやすさを感じるという結果が得られた。一方高齢者は、目の細かいカーペットと目の粗いカーペットの間に明確な相違がみられず、更に塩ビシートとフローリングが逆転するという若年者とは異なる結果が得られた。C.S.Rをみると、フローリングが他の床材料よりすべりやすいという結果が出ており、他の三つには大きな差はなかった。またナイロン製ストッキングの時に、カーペットはすべりやすくなるのに対し塩ビシート・フローリングはすべりにくくなるという特徴があった。

各調査間の関係に関する既往の研究には、すべり感と歩幅や最大鉛直方向変位との関係について数多くの報告があり、すべりやすい床ほど歩幅が狭まり、最大鉛直方向変位は小さくなる傾向が見られる。また、すべり感とC.S.Rとの関係については、小野（東工大）によって詳細な検討がなされており、若年者に関しては非常によい対応を見せる。本調査においては、若年者は全般的に良く対応しているものの、高齢者では明確な対応がみられなかった。官能検査結果とC.S.R間のt－検定の結果でも、若年者は相関が認められたものの、高齢者に関しては相関が認められないという結果となった。この事実は、（高齢者の被験者としての信頼性の検討を要するが）従来の若年者を被験者とした床のすべり評価に関する研究の再考を促すものとして重要な成果といえる。

若年者は、すべりやすい面を知覚すると、歩幅を狭め踵の降下カーブが急になり足の裏全体で着地しようとする。これは自然に進入角を小さくし、床に対して鉛直方向力を大きく働くようにする動作である。逆に、すべりやすい床で進入角が大きくなると、水平方向力が大きくなりすべり感が増大する。つまり、C.S.Rが小さいか進入角が大きいときにすべりを感じやすくなると考えられる。一方、高齢者は心身機能特に脚力の低下により、すり足気味になる傾向がある。すり足になると、進入角は小さくなるものの水平方向力が加わってしまうので、そこですべりが起こってしまう。高齢者に多くみられたC.S.R・進入角とすべり感の対応が逆転する

現象は、感覚機能の衰えからすべりを感じにくくなっていることと歩行軌跡の調節を適切に行えなくなっていることに加えて、着地時の荷重の方向に問題があると考えられる。

以上の結果をまとめると、次のようになる。

A）若年者は、C.S.Rと官能検査の結果に対応がみられ、床の持つ情報を正確に捉えることができていると考えられる。また、すべり感に応じて適切な歩行軌跡をとることによって、すべりによる転倒等を未然に防いでいる。

B）高齢者は、床のすべりの変化に対して適切な身体的反応をとることが困難になっており、そのすべり感は必ずしもC.S.Rおよび進入角との対応が認められない。

4. 今後の展開

上記のとおり高齢者においては進入角がすべり感に関する有効な指標とならないという結果が本調査から得られた。その原因として考えられるのは、まず第一にC.S.Rの範囲の狭さである。本調査では、住宅において一般に使用される床仕上材料を試料としたため、本来広い値をとるC.S.Rのほんの一部を検討するにとどまってしまった。第二に、高齢者のすべりの判断方法が挙げられる。高齢者は若年者のような細かな判断ができず、すべるかすべらないかの二者択一で判断する傾向が見られた。第三に、高齢者の歩き方の問題が挙げられる。高齢者はすり足気味になる傾向が見られ、そのために、若年者のように進入角の大小が直接すべり感に対応しなくなったと思われる。このことは、すり足の多い高齢者の歩行を考えるときはとりわけ重要になってくると思われる。今後は着地時における荷重方向の変化をも考慮したすべり抵抗の測定方法の開発、さらにはそれを踏まえた評価方法をつくり出すことが課題となる。

尚、本研究の成果は日本建築学会、日本建築仕上学会等において発表する予定であり、現在その準備を行っている。

9. 高気密住宅対応型の各種換気システムに関する性能実測とその評価

東北大学工学部建築学科教授
吉　野　　　博

1.　研究の背景と目的

近年、エネルギー損失量の削減や居住性の向上の観点より、住宅の断熱・気密化が進んできている。しかし、気密な住宅では、室内空気は汚染されやすく、水蒸気は逃げにくい。そこで、室内空気を清浄に維持するために、各種の換気システムが設計され、実施に移されている。換気システムの設置された住宅では、換気計画に従って導入外気を各室へと適切に分配し、室内の汚染された空気を効率よく除去する必要がある。この点を検討するためには、従来より行われている吹出・吸込口の風量測定だけでは不十分であり、外気が室内空気といかに効果的に入れ替わるかという空気齢に基づく測定を行う必要がある。

ここでは、換気方式の異なる3戸の実在の住戸を対象として、気密性能及び給排気ダクトの風量測定を行った後、給気ダクトより室内に導入された外気が、室内にどの様に分配されるかを、空気齢に基づき測定する。対象住戸は、①住戸Ａ：集中機械給気・集中機械排気（ピストンフロー型）、②住戸Ｂ：集中機械給気・集中機械排気（室内空気攪拌型）、③住戸Ｃ：各室自然給気・強制機械排気、である。なお、空気齢に関した測定法とデータの整理法は、添付資料「換気効率の測定・データ整理に関する基礎事項ー導入外気に対する空気齢の測定を中心としてー」を参照する。

2.　住戸Ａにおける測定例

2.1　測定対象住戸の概要

(1) 建物の概要

対象住戸は、盛岡市郊外に位置し、枠組壁工法の総2階建である。住戸の平面及びセントラ

ル換気システムの概要を**図1**に示す。住戸はほぼ真南を向いており、延床面積は153m^{2}である。外壁には、断熱材として、100mmのグラスウールと50mmの発泡ポリスチレンが、床には100mm、天井には200mmのグラスウールがそれぞれ施されている。窓ガラスは、すべて複層ガラス（3mm＋12mm＋3mm）である。熱損失係数は、JIS案「現場における部屋の暖房用熱損失係数測定法」基づいて、平成3年1年8日～11日に測定された。建物の全壁面（換気システムは停止）の熱損失係数は、1.1kcal/m^{2}h℃である。

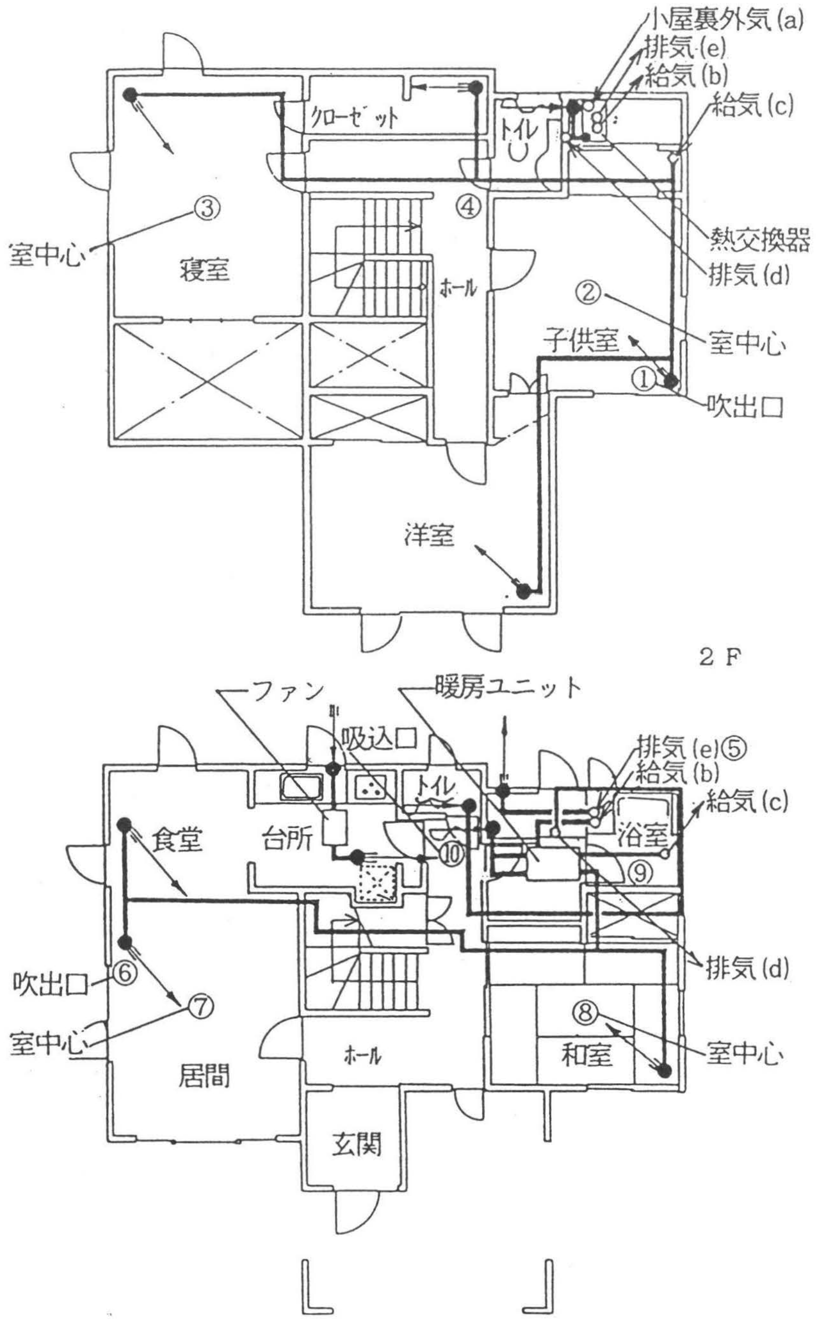


図1　測定住戸Aの平面及びダクト系統

(2) セントラル換気システムの概要

換気設備としては、セントラル換気システムとは別に、台所には厨房用換気扇と給気用ダクト及びファンが独立に設けられてある。セントラル換気システムの概略を**図2**に示す。屋根裏から取り入れられた外気は（ダクト（a））、2階トイレ裏にある熱交換器を通った後、暖房ユニットの上部へ入る（ダクト（b））。そして、レターン空気と混合され、温水コイルを通った後（ダクト（c））、2階の各室へ分配される。2階の空気は階段室を通り1階ホールへと流れる。1階ホールの空気は、1階トイレ入口の脇にある吸込口より吸われ、暖房ユニットの上部及び下部へと戻される。ユニット下部に戻された空気は、温水コイルを通った後、1階各室へ分配される。一方、1階と2階のトイレには排気口が設けられ、そこからの排気は熱交換器直前（ダクト（d））で混合された後、熱交換器を通って（ダクト（e））外部に排出される。但し、1階トイレからの排気は浴室ユニットと壁との間の隙間を経由した後、浴室ユニット上部から2階の熱交換器へと導かれる。熱交換器に組み込まれている送風機の能力は10mmAqのとき113m³/h（給気用並びに排気用）、暖房ユニットの送風機の能力は1階用、2階用それぞれ10mmAqで350m³/hである。熱交換器はプラスチック製の顕熱交換型である。

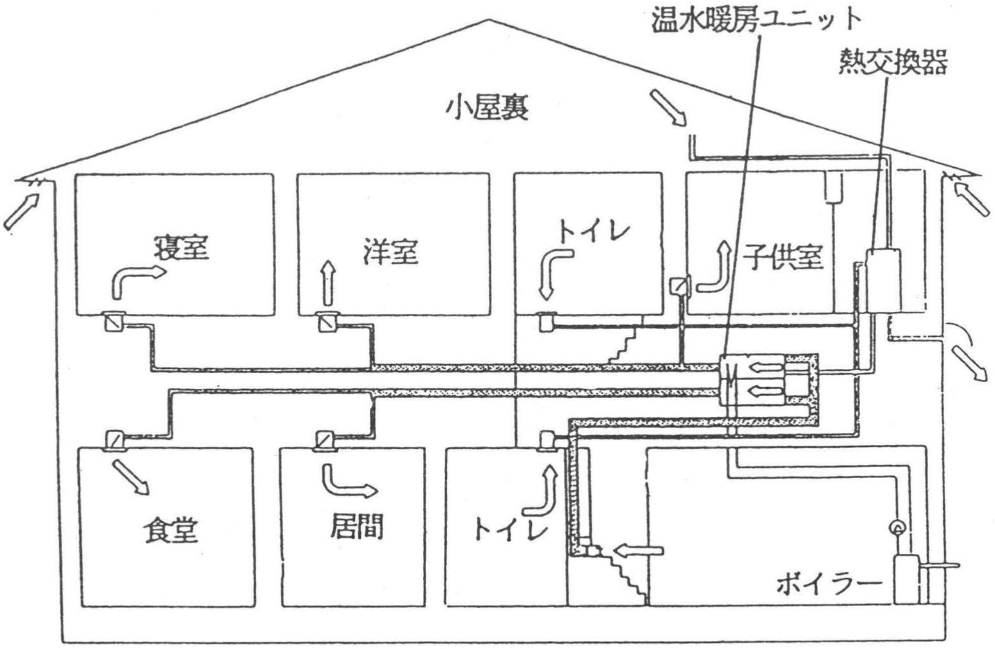


図2　セントラル換気システムの概要

2.2　気密性能の測定

(1) 測定方法と測定条件

気密性能は、加圧法により求めた。居間の窓にはめ込んだ断熱材にダクトを貫通させ、その先端にファンを取り付ける。開口部を全て閉とした状態でファンを運転し、室内に外気を導入し、その時の室内外差圧及びダクト内の風量を測定する。

測定条件は、①セントラル換気用の外壁に設けられた給排気口、厨房換気扇、台所用給気ダクト入口、浴室天井設置型乾燥器の隙間、温水ボイラーのFF型給排気口をシールした状態と、②セントラル換気用の給排気口のみをシールした状態の二通りである。測定日は、平成2年12月18日である。

(2) 測定結果

測定結果を**図3**に示す。床面積当りの隙間の相当開口面積は、条件①の場合では1.6cm²/m²、条件②の場合では1.7cm²/m²である。対象住宅はスウェーデンの建築基準値（約1.8cm²/m²）に相当するほど気密である。隙間抵抗の特性係数は、条件①の場合で1.63、条件②の場合で1.47である。但し、隙間抵抗の特性係数は、1から2の値を示す。

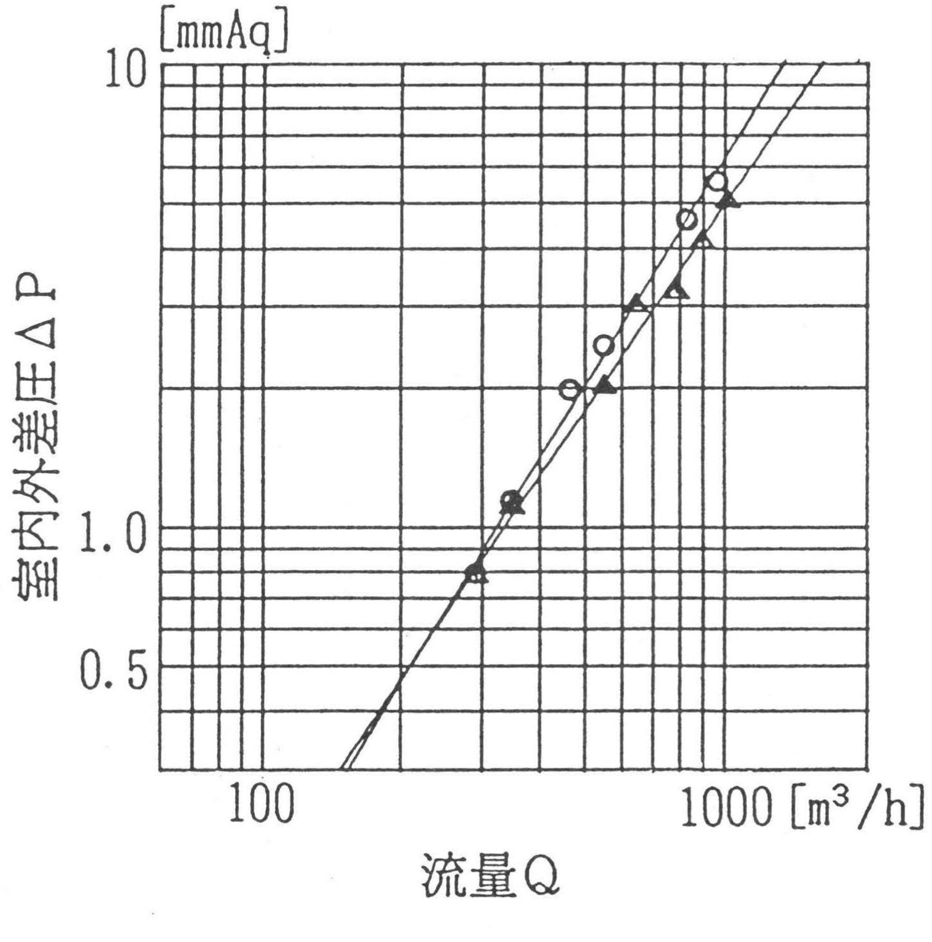


図3　気密性能の測定結果

2.3 セントラル換気システムの各部風量測定

(1) 測定方法と測定条件

風量測定は、JIS B 8330に規定されている方法により、吹出口（吸込口）に簡易ダクトを取り付け、ダクト断面を16個に分割し、各部分を代表する点（面中心）で風速を測定し、面積で重みづけし風量を算出する。

測定条件は、間仕切扉を全て閉とし、熱交換器内蔵の送風機を強モードで運転、暖房ユニットの送風機を強モードで運転とする。但し、暖房用の外部ボイラーは停止、暖房ユニット内のサーモセンサーは解除してある。

(2) 各室の吹出・吸込風量

測定結果を**表1**に示す。各吹出口の風量はかなりバラツキがある。1階及び2階の吹出風量の合計はそれぞれ199m^3/h、204m^3/hでそれらの合計は403m^3/hである。一方1階トイレ脇のレターン吸込口における吸込風量は457m^3/hである。レターン空気は、導入外気と混合されて各室へ分配されるから、レターン吸込口の風量は総吹出風量より少ないはずであるが、このような結果となっている。又、1階及び2階トイレからの排気量の合計は61m^3/hである。室内から排出される空気の合計は514m^3/hとなり、吹出風量よりも110m^3/h多い。

表1　各部風量の測定結果

	2階	風量(m3/h)	1階	風量(m^3/h)
吹出風量	子供室	99	和室	82
	洋室	52	食堂	64
	寝室	35	居間	53
	クローゼット	18		
	計	204	計	199
	合計		403	
吸込風量	排気	風量(m3/h)	レターン	風量(m3/h)
	1階トイレ	26	1階トイレ脇吸込口	457
	2階トイレ	35		
	計	61	計	457
	合計		518	

2.4 熱交換器周り及び浴室ユニット周りの給排気量測定

(1) 測定方法と条件

風量を測定するダクトの適当な位置から、一定量でCO_2を注入し、十分離れた風下において、ダクト内のCO_2濃度を測定することにより、ダクト内を流れる風量を求める。

測定条件は、間仕切扉を全て閉とし、熱交換器内蔵の送風機を強運転、暖房ユニットの送風機を強運転とする。但し、暖房用の外部ボイラーは停止、暖房ユニット内のサーモセンサーは解除してある。

(2) 測定結果

測定結果を**図4**に示す。熱交換器周りでは、外気導入量が71m³/hであるのに対して熱交換器後の給気ダクトでは155m³/hとなっている。但し、外気導入ダクトの風量の測定において、CO_2の注入位置と測定位置の距離が100cmと短かく濃度は安定していなかった。又、排気系統では、熱交換器へ入る量の合計が150m³/hであるのに対して、外部へ排出される量が127m³/hとなっている。熱交換器回りの風量はバランスしておらず、熱交換器内での排気と給気の混合及び、熱交換器での室内空気の漏入があると推定される。浴室ユニット上部の排気系ダクトにCO_2ガスを5ℓ/minの割合で注入し、熱交換器直後の給気系ダクトにおいてCO_2ガス濃度を測定したところ、852ppmであり、熱交換器内での排気と給気の混合があることが確認されている。

浴室ユニット周囲では、ユニット直前の風量が27m³/hであるのに対し、ユニット後の風量は118m³/hと大幅に増加している。浴室ユニット前後で風量はバランスしておらず、浴室ユニット周囲で、多量の空気の漏入が生じていると推定される。

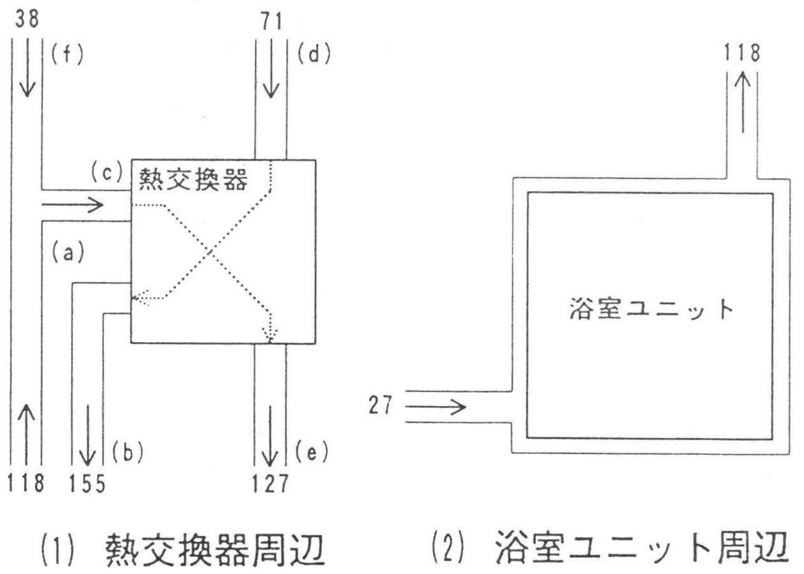


図4　給排気量の測定結果

2.5　換気効率の測定

(1) 測定方法

トレーサーガスとしてCO_2ガスを用い、ステップアップ法とステップダウン法の二通りの方法で測定を行う。測定前に、屋内を無人状態にして機械換気を行い、屋内のCO_2ガス濃度を外気の濃度とほぼ同じにする。その後で、熱交換器直後の給気系ダクト内に5ℓ/minの割合でCO_2ガスを注入し、各測定点での濃度が定常に達するまで測定を行う（ステップアップ法）。CO_2ガス濃度が定常に達した後、CO_2ガスの注入を止め、各測定点でのCO_2ガス濃度が完全に減衰するまで測定する（ステップダウン法）。測定点は図1に示す10点である。CO_2ガスの濃度測定は、測定点より屋外まで導いたサンプリングチューブを2台の赤外線ガス分析器（ポータブル赤外線分析器（富士電気製造株式会社製）及びCO・CO_2メーター（柴田科学機器工業株式会社））に順に付け換えて行なった。

(2) 測定条件

測定条件は、間仕切扉を全て閉とし、熱交換器の送風機を強運転、暖房ユニットの送風機を強運転とする。但し、暖房用の外部ボイラーは停止、暖房ユニット内のサーモセンサーは解除してある。測定期間は、平成3年4月15日～16日である。測定期間の平均外気温は11.2℃、平均室温は17.2℃、盛岡管区気象台（現場より約7km）の高さ15.7mにおける平均風速は3.7m/s（15日が3.0m/s、16日が4.4m/s）である。

(3) 濃度履歴の測定結果

各測定点での濃度履歴を**図5**に示す。熱交換器直後の給気系ダクト内にCO_2ガスを注入した後、まず初めに、2階子供室の吹出口（図1の①）でのCO_2ガス濃度が上昇し、それに続いて2階各室（子供室中心（②）、寝室中心（③）、トイレ前（④）の順）のCO_2ガス濃度が上昇しているのがわかる。次いで、熱交換器直後の排気ダクト（⑤）の濃度が上昇し、最後に1階各室（浴室（⑨）、レターン吸込口（⑩）、居間吹出口（⑥）、居間中心（⑦）、和室中心（⑧）の順）のCO_2ガス濃度が上昇する。その後、熱交換器直後の排気ダクト及び1階浴室の濃度上昇は、他の測定点と比べて、緩やかになる。2階各室の方が、1階各室より濃度上昇が早いのは、換気経路どおりに換気が行われていることを示している。トレーサーガス注入直後の排気ダクトの濃度上昇が1階各室より早いのは、2階トイレにも排気口が設けられており、2階ホールの空気を排気しているためと推定される。1階浴室の濃度上昇が、1階各室の中で早いのは、1階ホールの空気が、1階洗面所を通り、浴室に流れ込んでいることを示している。

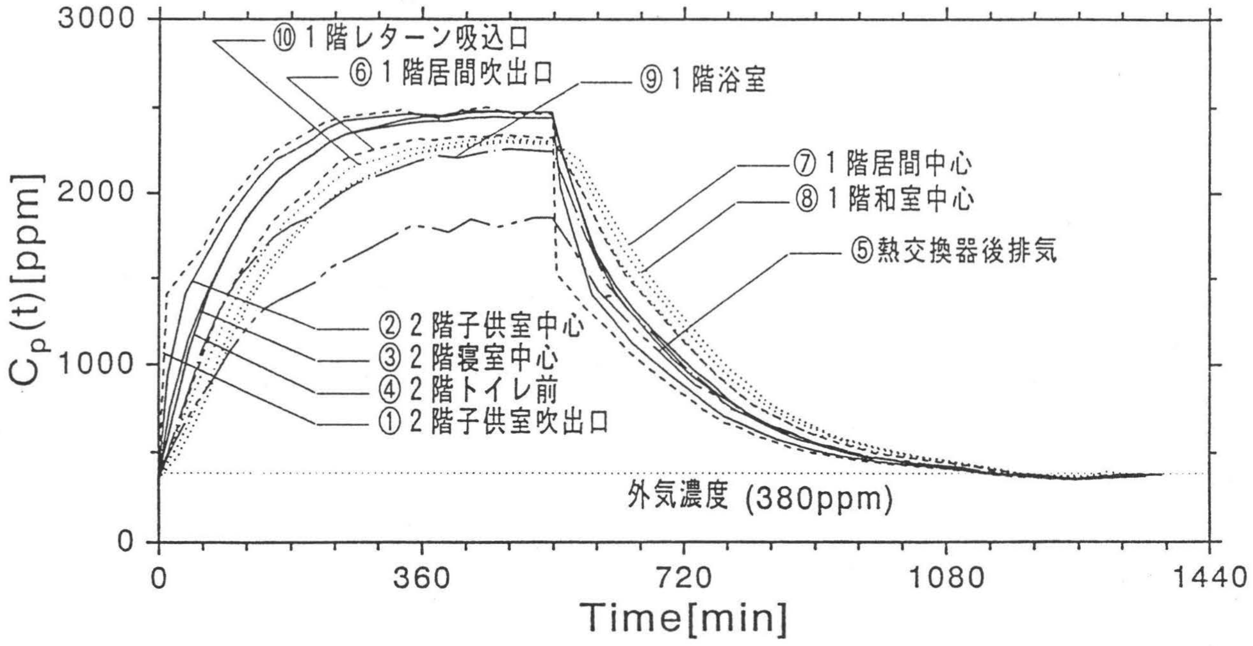


図5　濃度履歴の測定結果

各室の濃度はCO_2注入後9時間でほぼ定常に達する。定常時の濃度は2階では平均2461ppm、1階では平均2291ppm、熱交換器直後の排気で1860ppmである。1階の濃度が2階よりも低い理由は2階から1階へ空気が流れてくる間に外気の漏入があるためと推定される。又、排気口での濃度がさらに低いのは、排気口に達するまでの間にさらに外気の漏入があるためと推定されるが、このことは先の浴室周りの風量測定結果からも裏付けられる。

2階各室の濃度の平均値と1階各室の濃度の平均値から、2階の空気が1階に達するまでの外気漏入率を求めると9%、1階・2階各室濃度の平均値と排気濃度から、室内の空気が排気されるまでの間の外気漏入率を求めると34%となる。

(4) 空気齢の算定

濃度の履歴曲線を基に算出した、各測定点での局所平均空気齢を**表2**に示す。以下、ステップアップ法の結果について考察する。2階子供室吹出口での局所空気齢が最も小さく63.3分である。CO_2注入点から吹出口までの経過時間はダクトの長さと流量から算定すると3～4秒であるが、このように空気齢が大きいのは、外気がレターン空気と混合された後、室内に供給されるためである。又、2階各室における平均年齢は約80分であるのに対し、1階では約127分となり、2階と1階の間の差は約50分である。このことは、換気経路からもわかるところであり、2階の方が1階よりも、室内の空気を導入外気で置き換えるのにかかる時間は短く、クリーンな環境を維持しやすいといえる。吹出口との年齢差は、子供室で8.2分、1階居間では19.3分である。2階廊下と1階レターン吸込口との年齢差は25.9分である。排気系ダクトにおける熱交換器直後の年齢が1階各室の年齢よりやや小さいのは、2階トイレにも排気口が設けられており、2階ホールの空気を排気しているためと推定される。ステップダウン法による結果からも同様なことが考察できる。

表2　局所平均空気齢の算定結果

	空気齢 [min]	
	ｽﾃｯﾌﾟｱｯﾌﾟ法	ｽﾃｯﾌﾟﾀﾞｳﾝ法
① 2 階子供室吹出口	63.6	102.1
② 2 階子供室中心	71.5	120.4
③ 2 階寝室中心	92.4	144.3
④ 2 階トイレ前	92.5	151.2
⑤熱交換器直後の排気	135.9	183.9
⑥ 1 階居間吹出口	124.6	184.2
⑦ 1 階居間中心	143.9	209.1
⑧ 1 階和室中心	137.4	200.8
⑨ 1 階浴室	110.8	180.6
⑩ 1 階レターン吸込口	118.4	159.8

ステップアップ法とステップダウン法からそれぞれ算定した局所平均空気齢の関係を**図6**に示す。ステップダウン法から算定した局所平均空気齢は、ステップアップ法から算定した値の1.3～1.7倍の間に分布し、平均で約1.5倍になる。これは、ステップアップ法の場合の濃度上昇率は、ステップダウン法の場合の濃度減衰率より早いことからも予想されることである。原因は、①CO_2の吸着、放出作用が異なるため、②測定期間中の外乱（特に風向、風速）の変化による、給排気量の変化、等が考えられる。

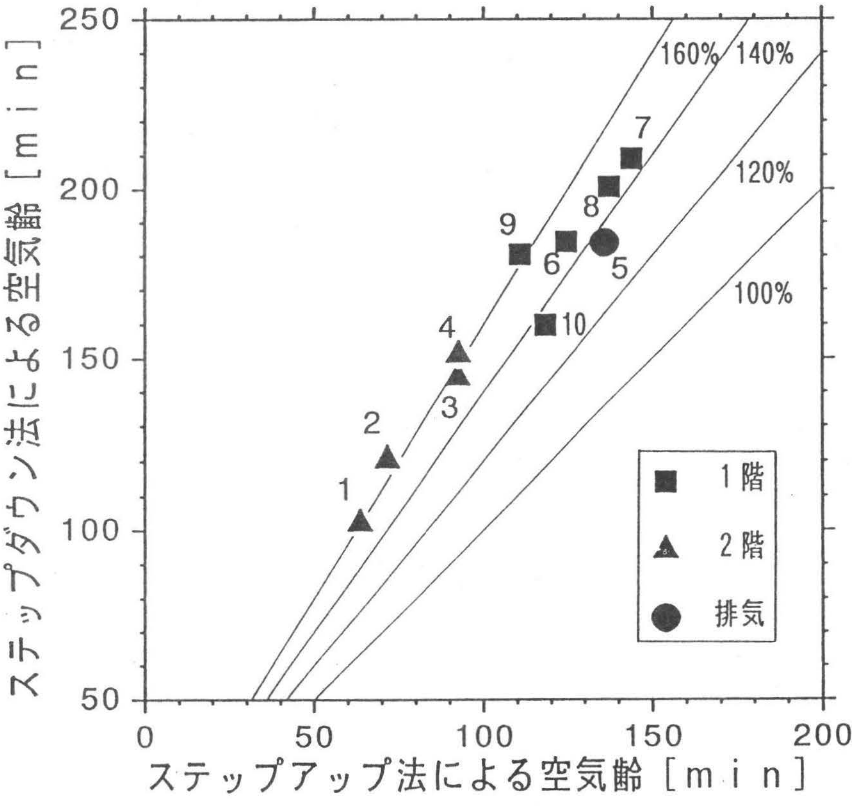


図6　空気齢の比較

2.6 まとめ

取り入れ外気にトレーサーガスを注入し、各測定点での濃度履歴に基づいて、取り入れ外気が室内の各点にどのくらい時間がかかって到達するかを示す 局所平均 空気齢を求めたところ、ステップアップ法によれば、2階の各室の平均は80分であるのに対し、1階各室の平均は127分であり2階の方が短かった。また、排気系ダクトにおける熱交換器直後の局所平均空気齢は1階各室よりやや短く、取入れ外気が1階各室に完全に行き渡る前に、一部の空気が屋外に排出されると推定された。これは、換気経路からも予想されるところであり、換気効率指標により、室内への外気の供給状況が的確に捉えられていると言える。

また、ステップアップ法とステップダウン法より、それぞれ算出した各測定点の局所平均空気齢は、63～144分（平均109分）、102～209分（平均164分）となり、ステップダウン法のほうが1.35～1.7倍と長くなった。このような測定方法による差異は、トレーサーガスの吸着、放出現象が異なること、外乱の変化により換気量が変化したこと等によるものと推定される。このことは、今後の研究課題である。

3. 住戸Bにおける測定例

3.1 測定対象住戸の概要

(1) 建物の概要

対象住戸は、仙台市郊外に位置し、枠組壁工法の総2階建である。敷地は東北の角地で南側と西側には住宅が建っている。平面を、**図7**に示す。延床面積（ガレージを除く）は166m^2（1階88m^2、2階78m^2）、容積は537m^{3}である。断熱材としてウレタンフォームが、外壁に厚さ100mm、床に80mm、天井に120mmそれぞれ施されている。窓はすべて複層ガラス（6mm＋12mm＋6mm）である。JIS案『室の暖房用熱損失係数測定法』に基づき測定された熱損失係数は、0.73kcal/m^{2}h℃である。

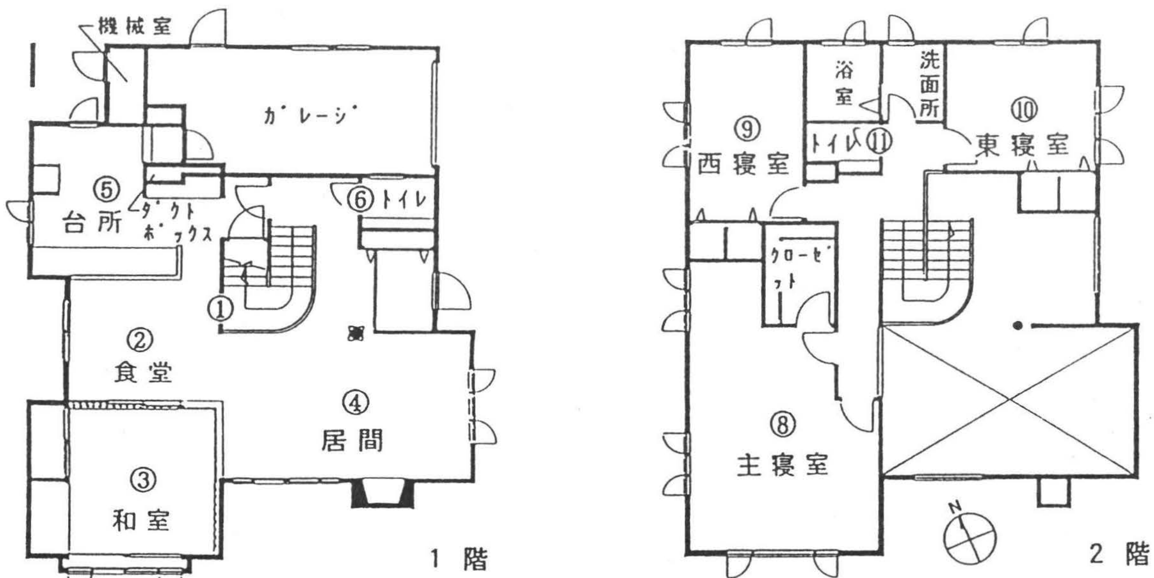


図7 測定住戸Bの平面

(2) 換気設備の概要

セントラル換気システムの概略を**図8**に示す。1階西壁面にある給気口より導入された外気は、熱交換器を経由した後、機械室へ吹出される。そこで、レターン空気と混合され、暖房ユニットに吸込まれた後、各部の吹出口より室内へと供給される。一方、1階天井面、及び2階床面の各吸込口から1階と2階の間の空間へ吸われた空気は、ダクトボックスを通り1階床下へと流れ、床下を循環した後、レターン空気として機械室へと戻される。また、1階のトイレ・台所、2階のトイレ・洗面所・主寝室・吹抜上部の排気口より吸われた空気は、熱交換された後、1階西壁面より排気される。

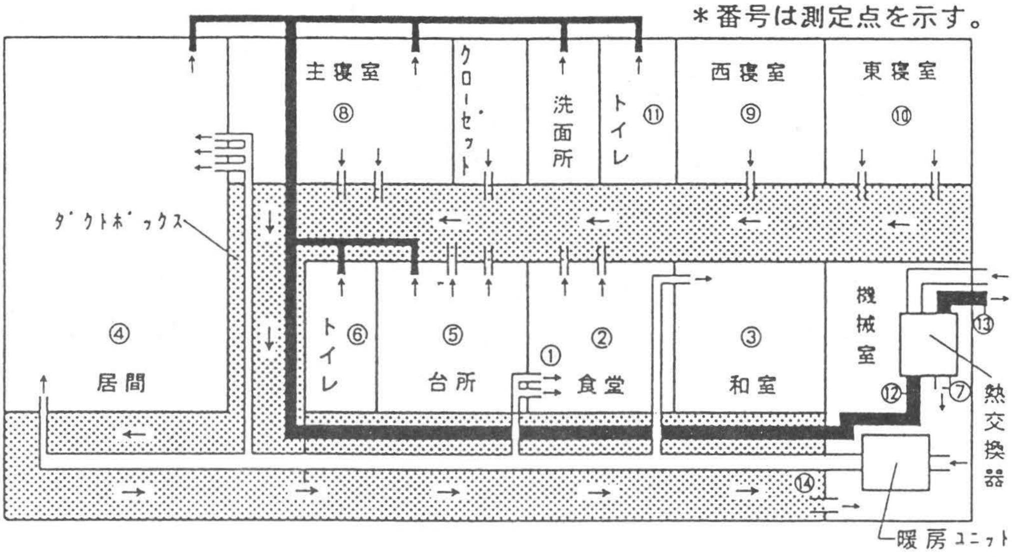


図8　換気システムの概要

換気設備としては図8に示した設備のほか、台所に厨房用の給排気用ダクトとファンが、浴室には排気用ダクトとファンが設けられている。

3.2　気密性能の測定

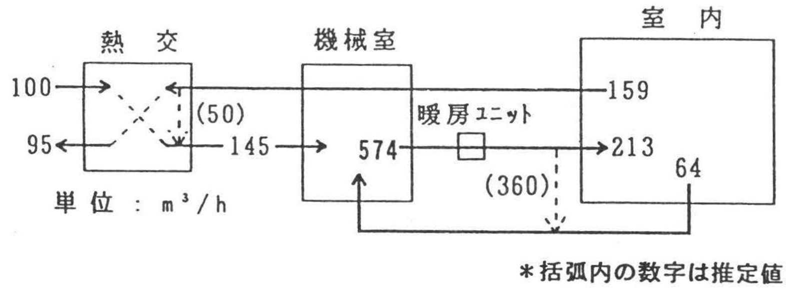
測定条件は、集中換気用の給排気口・浴室用の排気ダクトをシールした状態とする。測定日は、平成5年5月19日である。床面積あたりの隙間の相当開口面積は、加圧法で測定した場合1.6cm²/m²、減圧法では1.3cm²/m²である。対象住宅は、スウェーデン建築基準値（約1.8cm²/m²）に相当するほど気密である。

3.3　各部風量の測定

測定条件は開口部及び、間仕切扉を全て閉とし、換気システムを運転した状態とする。結果を**表3**、**図9**に示す。

表3　各部風量の測定結果

		測定位置	風量 (m³/h) 各測定位置	各階の合計	全体の合計
吹出口	1階	居間	30 0		
		和室	75.0		
		食堂 上	30.0	165.0	
		食堂 下	30.0		213.0
	2階	ホール 上	12.0		
		ホール 中	18.0	48.0	
		ホール 下	18.0		
レターン吸込口	1階	食堂 東	0.0		
		食堂 西	4.8		
		調理場 東	7.0	20.3	
		調理場 西	8.5		
	2階	主寝室 南東	6.5		63.8
		主寝室 南西	7.0		
		ｸﾛｰｾﾞｯﾄ	8.5		
		東寝室 南	7.0	43.5	
		東寝室 北	8.0		
		西寝室	6.5		
排気口	1階	トイレ	24.5		
		調理場	35.0	59.5	
	2階	吹抜	20.0		159.0
		トイレ	27.0		
		洗面所	20.0	99.5	
		主寝室	32.5		
機械室		熱交換器後給気		145.0	
		暖房ﾕﾆｯﾄ前給気		574.0	
外部		熱交換器前給気		100.0	
		熱交換器後排気		95.0	



＊括弧内の数字は推定値。

図9　各部風量の関係

(1) 室内の吸込・吹出口の風量

各部の吹出風量は12～75m³/h、レターン吸込風量は0～8.5m³/h、排気風量は20.0～35.0m³/hの間に分布し、かなりばらつきがある。1階と2階の吹出風量の合計はそれぞれ、165m³/h、48m³/hであり、それらの合計は213m³/hである。一方、レターンの吸込風量の合計は64m³/h、排気の吸込風量の合計は159m³/hであり、室内から排出される空気の合計は223m³/hとなる。室内における吹出風量と吸込風量は、ほぼバランスしている。

(2) 熱交換器周りの給排気量

熱交換器周りでは、取入外気量が100m^3/hであるのに対して、熱交換後の給気ダクトでは145m^3/hとなっている。また、排気系統では、熱交換器へ入る風量の合計が159m^3/hであるのに対し、外部へ排出される量が95m^3/hとなっている。給排気とも風量はバランスしておらず、熱交換器内で排気のうち約50m^3/hが給気に混合され、室内へ戻っていると推測される。

(3) 機械室での給排気量

熱交換器を経由し機械室に供給される取入外気量は145m^3/h、室内より機械室へ戻されるレターン空気量は64m^3/hで、その合計は209m^3/hである。また、機械室より暖房ユニットに吸込まれる空気量は574m^3/hであるのに対し、室内へ供給される給気量は213m^3/hであり、361m^3/hの差が生じている。これらのことから、機械室より室内へ供給される給気のうち約360m^3/hはダクトから漏れ室内へ供給されずにレターン空気として機械室へ戻っていることが推測される。

3.4 換気効率の測定

(1) 測定条件

トレーサーガスとしてCO_2を用い、ステップアップ法とステップダウン法で測定を行う。測定点は図7、8に示す14点である。測定は、間仕切扉をすべて閉、暖房を停止、熱交換器、及び暖房ユニットの送風機を運転した状態で行う。測定期間は、平成5年5月12日～13日である。測定期間の平均外気温は19.1℃、平均室温は22.4℃、高さ8.0mにおける風速は**図10**に示す通りである。

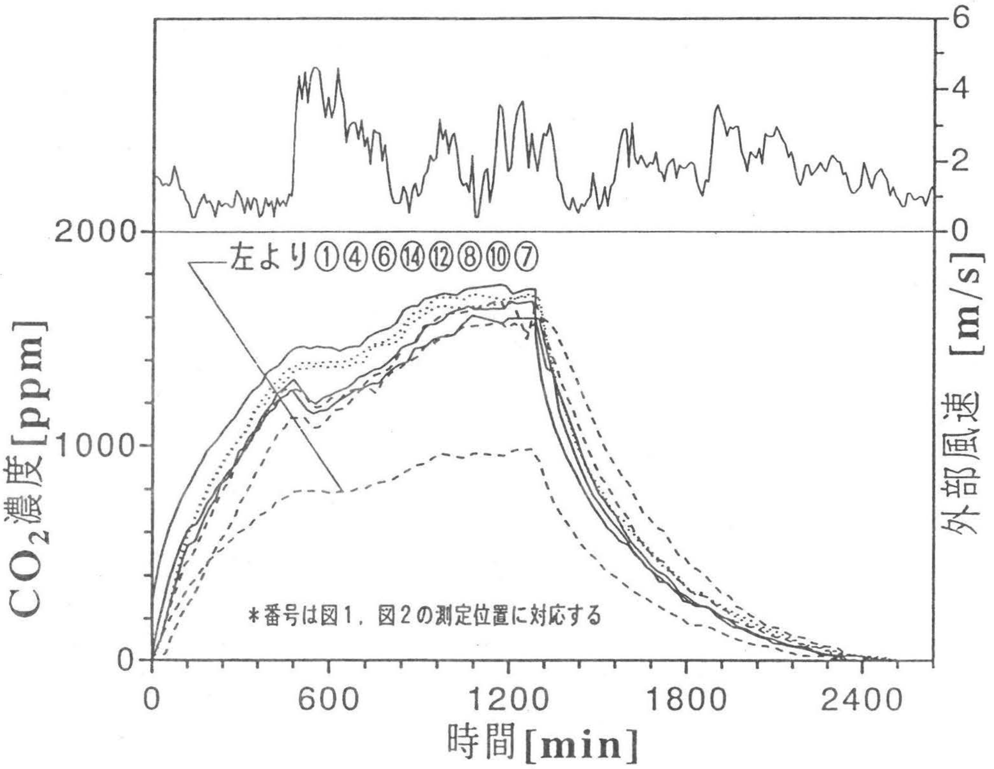


図10 濃度履歴及び外部風速の測定結果

(2) 濃度履歴の測定結果

測定結果を**図10**に示す。CO_2注入後まず初めに1階食堂の吹出口での濃度が上昇し、続いて1階各室、排気とレターンでの濃度が、最後に2階各室の濃度が上昇する。CO_2注入開始から約8時間後に、一時的に1階各室で濃度の上昇が鈍くなり、2階及びダクト系では濃度が下降しているが、このとき外部風速が1m/s弱から4m/sへと強くなっており、自然換気量が増えたことが原因であると推測される。

各室の濃度はCO_2注入後16時間でほぼ定常に達する。定常時の濃度は外気濃度（400ppm）を基準として1階食堂の吹出口で1755ppm、1階で平均1715ppm、2階で1642ppm、排気で1594ppmである。室内の濃度が吹出口よりも低く、排気口濃度がさらに低いのは、その間で外気の漏入があるためと推定される。吹出口より室内に供給された空気への外気の漏入率は、1階各室へ行渡るまでに2％、2階各室へ行渡るまでに7％、排気されるまでに10％と推定される。

(3) 空気齢の算定

濃度履歴曲線を基に、ステップアップ法、ステップダウン法の測定区間ごとに、それぞれ、各測定点での局所平均空気齢を算定する。

算定結果を**表4**に示す。以下ステップアップ法についての結果を考察する。ただし、本実測のように、測定時の濃度上昇が途中で阻止される場合、連続的に上昇する場合と比べると空気齢は大きくなることが予想される。1階食堂吹出口での空気齢が最も小さく260分であるのに対し、2階西寝室中心での空気齢は最も大きく418分となっている。1階各室での平均の空気齢は301分、2階では383分と、2階と1階との間で約80分の年齢差がある。これより、1階のほうが2階よりも清浄な環境を維持しやすいといえる。一方、熱交換器直前の排気ダクトでの空気齢は339分と2階各室の空気齢より若く、外気が2階各室に完全に行き渡る前に、一部の空気が屋外に排出されると推定される。ステップダウン法による結果からも同様なことが考察できる。

表4　局所平均空気齢の算定結果

位　　置	局所空気齢[min]	
	ｽﾃｯﾌﾟｱｯﾌﾟ	ｽﾃｯﾌﾟﾀﾞｳﾝ
①1階食堂吹出口	260	247
②1階食堂中心	295	298
③1階和室中心	281	274
④1階ﾘﾋﾞﾝｸﾞ中心	311	305
⑤1階調理場中心	301	304
⑥1階トイレ	318	303
⑦熱交換器後給気	317	284
⑧2階主寝室中心	361	315
⑨2階西寝室中心	418	343
⑩2階東寝室中心	407	397
⑪2階トイレ	347	295
⑫熱交換器前排気	339	300
⑬熱交換器後排気	329	286
⑭レターン空気	337	268

図11にステップアップ法とステップダウン法から算定した空気齢の関係を示す。ステップダウン法から算定した空気齢は、ステップアップ法から算定した年齢の1.0～0.8倍の間に分布し、平均で約0.9倍になる。1階での空気齢は両手法でほぼ同じ値であるのに対し、2階とダクト系での空気齢に差がある。これは、濃度上昇時に2階及びダクト系で濃度が一時的に下降したことによると推定される。

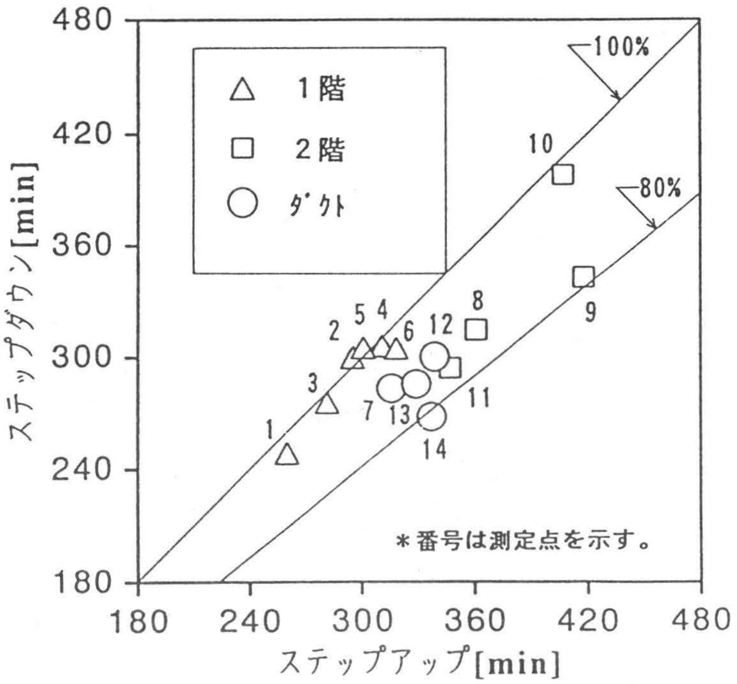


図11　空気齢の比較

3.5 まとめ

濃度履歴を基に、測定点ごとに局所平均空気齢を算定し考察した結果、次の知見を得た。

①各測定点の局所平均空気齢は、ステップアップ法の場合260～418分の間に分布し平均330分であるのに対して、ステップダウン法の場合では247～397分の間に分布し平均301分となり、ステップアップ法の約0.8～1.0倍となった。これは、濃度上昇時に2階及びダクト系で濃度が一時的に下降したことによると推定される。

②1階各室での局所平均空気齢の平均は301分、2階では383分と、2階と1階との間で約80分の年齢差がある。このことから、1階のほうが2階よりも清浄な環境を維持しやすいといえる。

③熱交換器直前の排気ダクトでの空気齢は2階各室の空気齢より若く、外気が2階各室に完全に行渡る前に、一部の空気が屋外に排出されると推定される。

4. 住戸Cにおける実測例

4.1 測定対象住戸の概要

(1) 建物の概要

測定対象住戸は、福島県須賀川市郊外に位置し、枠組壁工法の総2階建である。建物は真南を向いており、建物周囲に遮蔽物はない。建物の平面を**図12**に示す。延床面積は133m^2、容積は345m^{3}である。断熱材として硬質ウレタンフォームが外壁と床に92mm、屋根に107mm施されている。窓はすべて複層ガラス（3mm＋12mm＋3mm）である。熱損失係数は設計値によれば1.38kcal/m^{2}h℃である。

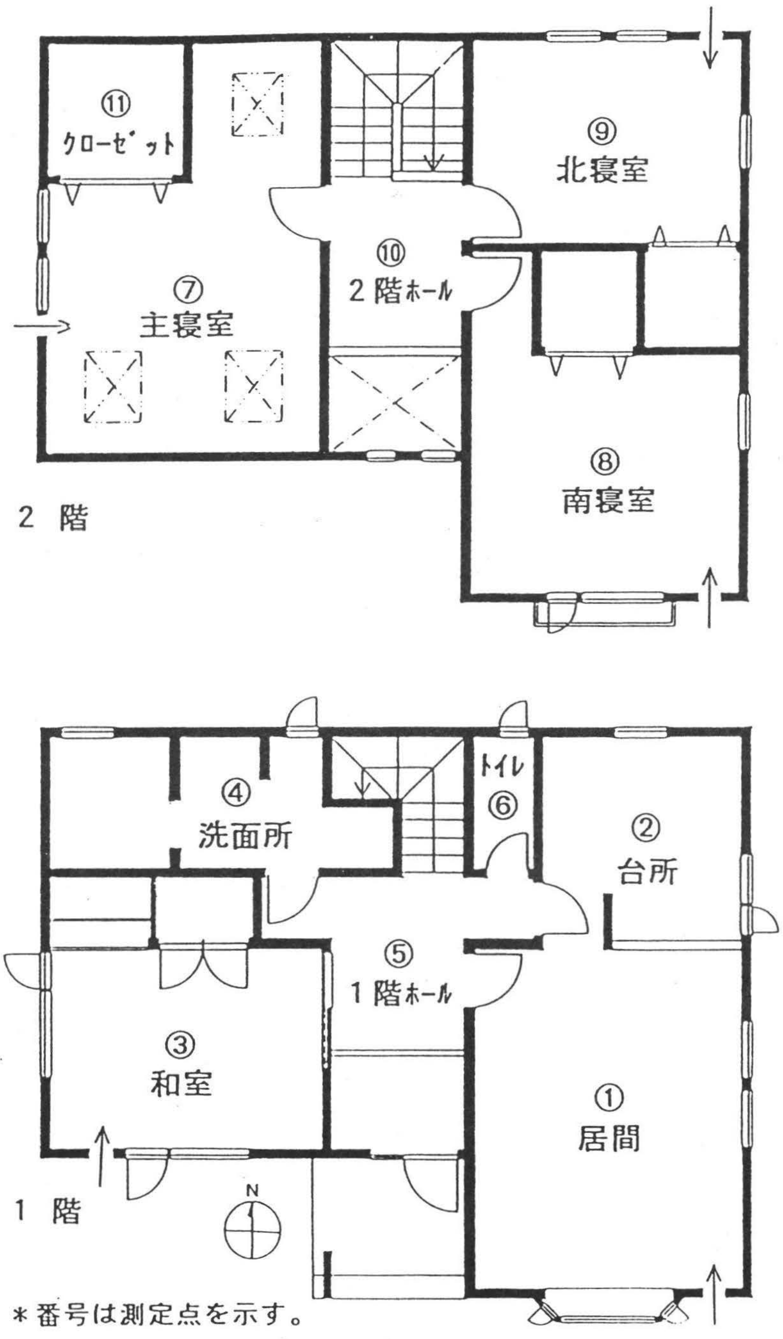


図12 測定住戸Cの平面

(2) 換気設備の概要

換気システムの概略を**図13**に示す。各壁面の上下にある通気口から吸われた外気は、通気層を通り1階居間、和室、2階主寝室、北洋室、南洋室の各部給気口より室内に供給される。一方、台所、トイレ、洗面所、階段室、クローゼットに設けられた排気口より吸い込まれた空気は、排気ユニットを経由した後、北壁面にある排気口から室外へと排出される。

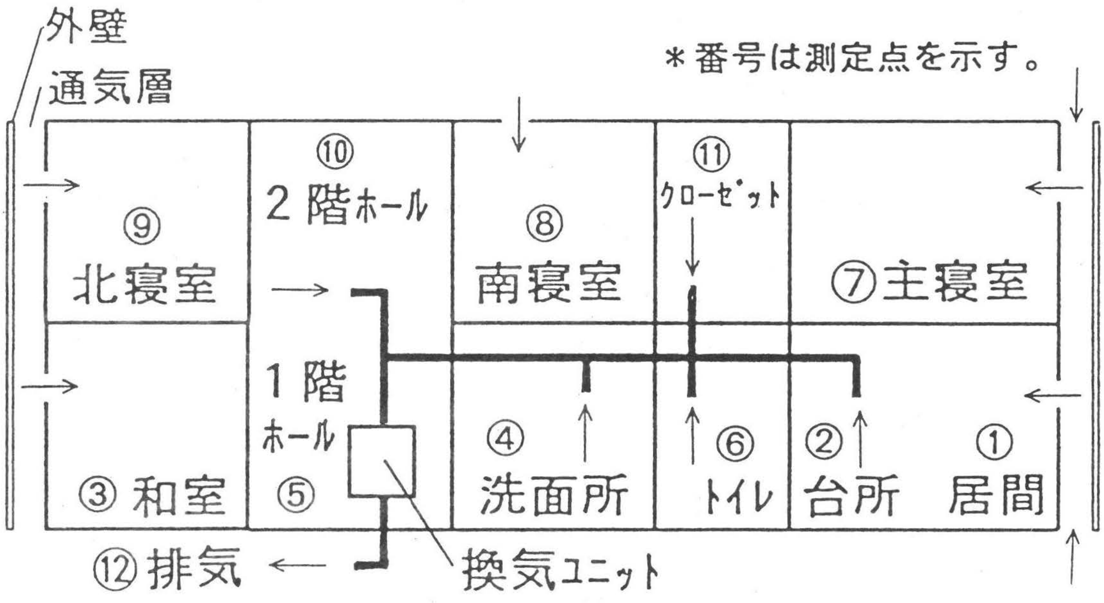


図13　換気システムの概要

4.2　気密性能の測定

測定条件は、各室の給気口を閉じ排気口をシールした状態とする。測定日は、平成5年7月17日である。床面積あたりの隙間の相当開口面積は、加圧法で0.62cm^2/m^{2}であり、対象住宅の気密性能は、R2000住宅の基準（室内外差圧50Paにおける換気回数1.5回/h）を満たすほど高い。

4.3　各部風量の測定

測定結果を**表5**に示す。間仕切扉を閉じた条件（CASE1）での1階及び2階の給気口での風量の合計は、それぞれ、42m^3/h、82.5m^3/hで、給気量の合計は124.5m^3/hである。一方、1階及び2階の排気口での風量の合計は、142m^3/h、111m^3/hで、排気量の合計は253m^3/hである。排気量の方が給気量より約130m^3/h多く、給排気量はバランスしていない。

表5　各部風量の測定結果

位　置		各部の風量[m³/h]	
		条件 1	条件 2
給気口	1階居間 1階和室 2階主寝室 2階南寝室 2階北寝室	22.0 20.0 22.5 32.0 28.0	22.5 22.5 20.0 30.0 27.5
	計	124.5	122.5
排気口	1階浴室 1階トイレ 1階台所 2階クローゼット 2階階段室	55.0 44.5 42.5 66.0 45.0	48.0 42.0 40.0 62.0 41.0
	計	253.0	233.0
屋外排気口		230.0	230.0

また、間仕切扉を開いた条件（CASE2）での1階及び2階の給気口での風量の合計は、それぞれ、45m³/h、77.5m³/hで、給気量の合計は122.5m³/hである。一方、1階及び2階の排気口での風量の合計は、130m³/h、103m³/hで、排気量の合計は233m³/hである。排気量は、給気量より約110m³/h多く、CASE1の場合と同様に風量はバランスしていない。

両条件とも、排気量と比較して給気量が少ないが、これは、換気システム運転時、屋内の圧力は屋外と比べて負となっており、隙間から外気の漏入があるためと推測される。

また、間仕切扉を閉じた条件（CASE1）では、排気口風量の合計は253m³/hであるのに対し、屋外排気口における風量は230m³/hと、約20m³/hの差が生じている。これは、外部風等の影響によるものと推定されるが、原因は不明である。

4.4　換気効率の測定

(1) 測定条件

トレーサーガスとしてCO_2を用いステップダウン法で測定を行う。測定点は図12、13に示した12点である。測定は、CO_2を室内に注入し室内空気と十分に混合した後、条件ごとに間仕切扉を閉（CASE1）または開（CASE2）とした状態で、換気ユニットを運転して行う。測定日は平成5年7月19日（CASE1）、20日（CASE2）である。

(2) 濃度履歴の測定結果

(a) 間仕切扉を閉（CASE1）とした場合

各測定点での濃度履歴を**図14**に示す。測定開始時の各測定点での外気基準濃度は、1階で平均1974ppm、2階で1913ppmである。測定開始後、初めに2階各室での濃度が減少し、続いて1階各室及び屋外排気口での濃度が減少する。特に、開口部が少なく排気口を持たない2階南洋室と、開口部が少なく給気口を持たない1階ホールでの濃度減衰が遅いのがわかる。減衰開始から5時間後、各測定点での濃度は外気とほぼ等しくなる。

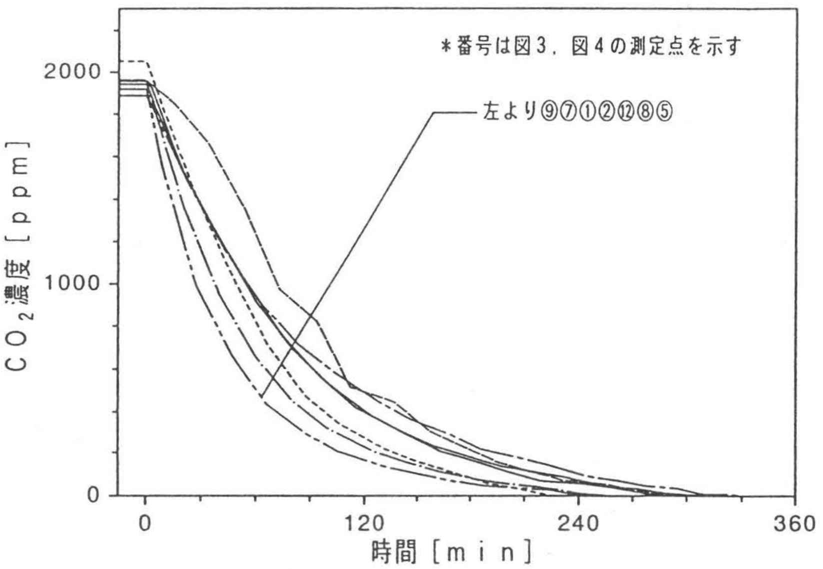


図14　濃度履歴の測定結果（CASE1）

(b) 間仕切扉を開（CASE2）とした場合

各測定点での濃度履歴を**図15**に示す。測定開始時の各測定点での外気基準濃度は、1階で平均1745ppm、2階で1738ppmである。CASE1の場合と同様に、測定開始後、初めに2階各室での濃度が減少し、続いて1階各室での濃度及び屋外排気口での濃度が減少する。CASE1の場合と比較して、各測定点間での濃度履歴に差は小さい。減衰開始から約5時間後、各測定点での濃度は外気とほぼ等しくなる。

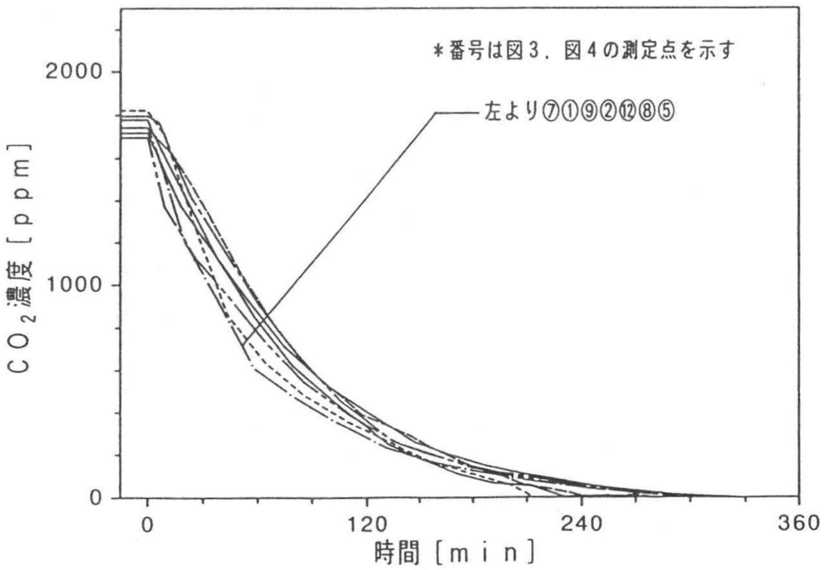


図15　濃度履歴の測定結果（CASE2）

(3) 空気齢の算定

濃度履歴曲線を基に算定した、各測定点での局所平均空気齢を**表6**に示す。

表6　局所平均空気齢の算定結果

位　　置	局所空気齢 [min]	
	条件 1	条件 2
①1階居間	73.7	69.1
②1階台所	76.7	75.0
③1階和室	59.4	63.0
④1階洗面所	70.9	71.7
⑤1階ホール	91.3	76.0
⑥1階トイレ	72.0	76.6
⑦2階主寝室	54.7	63.7
⑧2階南寝室	84.6	77.4
⑨2階北寝室	45.1	70.6
⑩2階ホール	61.2	62.6
⑪ｸﾛｰｾﾞｯﾄ	79.3	82.1
⑫排気	75.9	79.1

(a) CASE1

各点での空気齢は、ばらつきが大きく、最も小さい2階北洋室で、45.1分であるのに対し、最も大きい1階ホールで91.3分と、約46分の開きがある。また、1階での空気齢の平均は74分であるのに対して、2階では65分と2階のほうがやや小さい。これより、2階のほうが1階よりも清浄な空気環境を維持しやすいといえる。一方、1階ホール、2階南洋室での空気齢は屋外排気口での値より大きく、1階ホール、2階南洋室への外気の供給は遅く、屋内空気が滞留していると推定される。

(b) CASE2

各点での空気齢は、62.6～82.1分の間に分布し、測定点間でのばらつきは小さく、最も小さい2階ホールと、もっとも大きいクローゼットとの差は19.5分である。1階及び2階の空気齢の平均は、それぞれ、71.9分、71.3分とほぼ等しい。これより、屋内にほぼ均一に外気が供給されていると推定される。

(c) 両条件間での比較

図16に、空気齢の条件間での比較を示す。CASE1と比較してCASE2では、各測定点での空気齢のばらつきは小さくなっていることがわかる。特に、2階北寝室（⑨）の空気齢は、

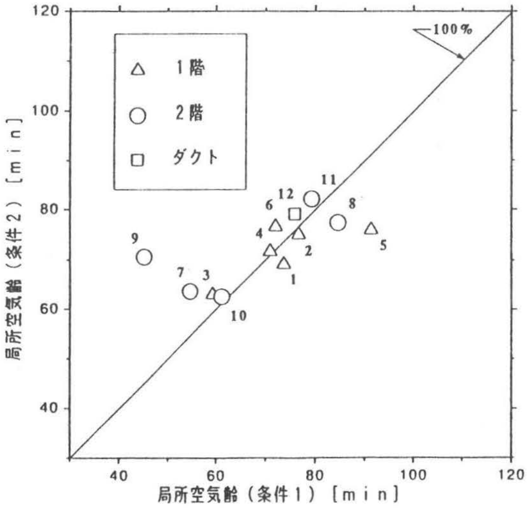


図16　空気齢の比較

CASE1では45.1分であるのに対し、CASE2では70.6分とかなり大きくなっている。一方、1階ホール（⑤）の空気齢は、CASE1で91.3分であるのに対し、CASE2では76.6分とかなり小さくなっている。以上のことより、間仕切扉を開とした場合は、閉とした場合に比べて、一様拡散に近い形で給気されているものといえる。

4.5 まとめ

濃度履歴を基に、測定点ごとに局所平均空気齢を算定し考察した結果、次の知見を得た。

(a) CASE1

①1階での局所平均空気齢の平均は74分であるのに対して、2階では65分と2階のほうがやや若く、これより、2階のほうが1階よりも清浄な空気環境を維持しやすいといえる。

②1階ホール、南洋室での局所平均空気齢は屋外排気口での値より大きく、1階ホール、南洋室への外気の供給は遅く屋内空気が滞留していると推定される。

(b) CASE2

①各測定点での局所平均空気齢は、62.6～82.1分の間に分布し、測定点間のばらつきは小さく、屋内にほぼ均一に外気が供給されていると推定される。

②室内各点での局所平均空気齢は、屋外排気口での値より小さく、外気が各室へ行きわたった後、屋外に排出されていると推定される。

5. まとめ

実在の住戸を対象として、室内に導入された外気が、室内にどの様に分配されるかを、空気齢に基づいた測定を行い明らかにした結果以下の知見を得た。

5.1 住戸A

①対象住宅の気密性能は、セントラル換気システムのみシールした場合で、床面積当たりの相当開口面積は1.7cm^2/m^{2}であり、スウェーデンの建築基準値に相当するほど気密である。

②トレーサーガスとしてCO_2を熱交換器直後の給気ダクトに定流量で注入し、室内各部で濃度を測定したところ、測定開始より9時間でほぼ定常に達した。

③ステップアップ法によれば2階の各室の局所空気齢の平均は80分であるのに対し、1階各室の平均は127分であり、2階の方が短かった。

④排気系ダクトにおける熱交換器後の年齢は1階各室の局所空気齢よりやや若く、取入れ外気が1階各室に行き渡る前に、一部の空気が屋外に排出されると推定された。

⑤各測定点での局所空気齢は、ステップアップ法の時63～144分で、平均109分、ステップダウン法の時102～209分で、平均164分となり、ステップダウン法の方が1.35～1.7倍と長くなった。両者が一致しない理由は、CO_2の吸着・放出、外乱の変化等によるものと推定されるが、不明である。この点は今後の大きな課題である。

5.2 住戸B

①各測定点の局所平均空気齢は、ステップアップ法の場合260～418分の間に分布し平均330分であるのに対して、ステップダウン法の場合では247～397分の間に分布し平均301分となり、

ステップアップ法の約0.8～1.0倍となった。これは、濃度上昇時に2階及びダクト系で濃度が一時的に下降したことによると推定される。

②1階各室での局所平均空気齢の平均は301分、2階では383分と、2階、1階との間で約80分の年齢差がある。このことから、1階のほうが2階よりも清浄な環境を維持しやすいといえる。

③熱交換器直前の排気ダクトでの空気齢は2階各室の空気齢より若く、外気が2階各室に完全に行渡る前に、一部の空気が屋外に排出されると推定される。

5.3 住戸C

(a) CASE1

①1階での局所平均空気齢の平均は74分であるのに対して、2階では65分と2階のほうがやや若く、これより、2階のほうが1階よりも清浄な空気環境を維持しやすいといえる。

②1階ホール、南洋室での局所平均空気齢は屋外排気口での値より大きく、1階ホール、南洋室への外気の供給は遅く屋内空気が滞留していると推定される。

(b) CASE2

①各測定点での局所平均空気齢は、62.6～82.1分の間に分布し、測定点間のばらつきは小さく、屋内にほぼ均一に外気が供給されていると推定される。

②室内各点での局所平均空気齢は、屋外排気口での値より小さく、外気が各室へ行きわたった後、屋外に排出されていると推定される。

6. 今後の展望

空気齢に基づく測定を行った結果、実在住宅における外気の室内への分配状況を空気齢を用いて捉えられることが分かった。今後は、実在住戸を対象とし空気齢に基づく測定を行い、その結果を住戸間で比較検討し、更に実測データを蓄積すると共に、空気齢に基づく換気性能の評価マニュアルとしてまとめられるように、一般的な測定方法について提案する。

7. 発表論文

既発表論文

1) 吉野：換気効率の測定・データ整理に関する基礎事項ー導入外気に対する局所空気齢の測定を中心としてー、「住宅・オフィスにおける換気効率の測定例と問題点」シンポジウム資料 (社)空気調和・衛生工学会、空気調和設備委員会、換気効率小委員会　1994年3月

発表予定論文

2) 小林　他：「強制排気システムを備えた試験住宅における空気齢による換気性能の評価」日本建築学会東北支部研究報告集、1994年6月

3) 早瀬　他：「強制排気システムを備えた試験住宅における空気齢による換気性能の評価」日本建築学会大会学術講演梗概集、1994年9月

添付資料

換気効率の測定・データ整理に関する基礎事項

――導入外気に対する空気齢の測定を中心として――

1. はじめに

換気効率という言葉には、2つの意味が含まれている。1つは、給気が室内空気といかに効果的に入れ替わるかということ（Air change efficiency）であり、他の一つは、汚染物質が、いかに早く室内から除去されるかということ（Ventilation efficiency）である。また、それぞれの性能を表わす指標は各種のものが提案されている[1)]。

ここでは、前者の意味での換気効率を扱うこととするが、各種の指標を求める際に最も基本となる局所空気齢に関して、現場での測定法とデータの整理・分析の方法についての基礎事項を解説する。

なお、筆者らは、住宅を対象として、給気ダクトから外気がどのように各室に導入されるかを明らかにすることを目的とした実測[2) 3)]を既に行ってきているので、住宅を測定対象と想定した場合の測定法・分析法を中心に述べることとする。

2. シェルター、設備、環境条件に関する測定

2.1 シェルター・設備

局所空気齢を測定する際に、シェルター性能と設備に関して、あらかじめ必要な情報は、建物の気密性能と換気システム各部の風量である。

①建物の気密性能

建物の気密性能は、換気系以外の隙間からの空気の出入りを推定する上で、極めて重要であり、換気の対象となる空間を包む建物全体の気密性能を測定する。

室内の間仕切壁や間仕切扉に関する気密性能は、必要に応じて測定する。例えば、扉が開と閉では、換気経路が異なる場合などである。

気密性能の測定は、JIS案「住宅の隙間の相当開口面積の測定方法」[4)]や、その他の文献[5)]に基づいて行う。

②換気システムの各部の風量

測定対象は、取り入れ外気量、各部の吹出風量、各部の吸込風量、排気口での風量、レターン風量等である。換気システムに熱交換器が組み込まれている場合には、熱交換器前後の給排気量も測定することが望ましい。筆者らの測定によれば、熱交換器において、給気系と排気系の間や熱交換器内と周囲との間にリークのあることが報告されている[2) 3)]。

風量の測定は、補助ダクト法[6)]や圧力補償法[7)]などに基づいて行う。

2.2 環境条件

局所空気齢を測定するときに、環境条件として必要な情報は次の通りである。

①室内外温度

浮力による隙間からの換気量を推定するために、室内外の温度差を知る必要がある。

②外部風向・風速

外部風による隙間からの換気量を推定する、あるいは濃度上昇・減衰曲線が不規則に変化したときの原因推定のために、外部風向・風速を測定する必要がある。

測定点は、対象建物の周辺で、建物の影響をできるだけ受けない位置が望ましいが、ベランダなどに簡易に風速計を設置し測定することでも、後の分析において参考になる。

③室内外の圧力差

隙間を通しての漏入・漏出量を推定するために、極めて重要な情報である。圧力測定点は、室内では床面、外部は風上、風下の外壁面が適当であろう。

3. 局所空気齢の測定

トレーサーガスを用いた局所空気齢の測定法には、ステップアップ法、ステップダウン法、パルス法がある。ここでは、前二者について解説する。

3.1 ステップアップ法とステップダウン法

(1) ステップアップ法

換気システムを運転した状態で、給気ダクトより室内へ導入される外気に、一定の割合でトレーサーガスを注入し、室内の各点においてトレーサーガスの応答を測定する。

トレーサーガスの発生位置は、給気系ダクト内とする。レターン空気があるときは、レターン空気と合流する点よりも上流側とする。また、熱交換器を持つ換気システムでは、熱交換器よりも下流側の給気ダクトにトレーサーガスを注入する。これは、熱交換器内で給気系から排気系へのリークのあるケースが多いと推定されるからである。

また、ステップアップ法によってトレーサーガスの濃度が定常に達した後に、各点で濃度分布がある場合には、給気系以外からの外気の漏入があることが予想される。それらの濃度差より、後述する外気漏入率が測定できる。

ステップアップ法によって求まる局所空気齢は、トレーサーガスで色づけされた外気のその点に対する値である。隙間から漏入する外気に対しては全く評価していない。

(2) ステップダウン法

室内にトレーサーガスを発生させて、室内空気と十分に混合し、室内各点での濃度を均一にした後、換気システムを稼働させ、各測定点での濃度減衰を測定する。

測定開始前の室内空気の攪拌は十分に行い、室内でのトレーサーガスの濃度分布をできるだけ小さくする。測定開始時のトレーサーガスの濃度分布の許容値について定説はないが、5%ぐらいが目安であろう。又、ステップダウン法より求まる局所空気齢は、給気ダクトからだけでなく、建物の隙間から漏入する外気もすべて含んだ、その点に到達する外気の局所空気齢である。

また、ステップアップ法によって定常に達した後に、各点で濃度分布がある場合、その状態からステップダウン法を開始した時に求まる局所空気齢は、隙間から漏入する外気を、評価していないことになる。

3.2 測定の概要

(1) 測定場所

測定点は、吹出口、吸込口や室内の各点とする。特に、室内では呼吸高さや、外気が導入されにくいと懸念される場所での測定を優先することが必要である。又、室内空気が最終的に屋外に排気される排気口では必ず測定する。

(2) 測定時間

ステップアップ法では、各測定点での濃度が定常に達するまで測定を行うことが望ましい。これは、各点での定常時の濃度から外気の漏入率を推定するために必要である。しかし、ASHRAE基準案[8]では濃度の上昇が1時間前の8％以下となった時点で測定を終了してもよいとしている。

ステップダウン法では、各測定点での濃度が完全に減衰するまで測定を行うことが望ましいが、減衰の最後の時間帯では完全拡散的に減衰するとし、片対数グラフで測定点を基に直線を引いて外挿する方法[9]も提案されている。また、ASHRAE基準案[8]では濃度が測定開始時の5％以下となった時点で測定を終了してもよいとしている。

各点での濃度の測定間隔については、あらかじめ換気回数を求めて、完全拡散を仮定したときの濃度上昇・減衰を予測し、その曲線の様子を基に測定間隔を設定すればよい。

筆者等がレターンのある集中換気システムに対して測定した例では、測定開始から終了までにかかった時間は、約12時間～24時間であった。そのとき、各点での濃度の測定間隔は約20分（名目換気時間の1/6以下）とした。

(3) 測定条件

測定は、開口部を全て閉とし、間仕切扉は閉または開とした状態で換気システムを運転する。

測定期間中は換気状態が定常であることを前提としているため、以下のことに留意する必要がある。①室内外の温度差の変化が少ないこと。②外部風の変動が少ないこと。この点については、隙間の少ない場合でも、給排気風量が変化する等の問題が生じる可能性があるので注意を要する。

(4) その他

①同じ条件で複数回の測定を行い実測の再現性について確認することが望ましい。

②トレーサーガスの種類としてはCO_2、SF_6、C_2H_4等が一般によく使われるが、CO_2の場合には、室内を無人にしておく必要がある。

③トレーサーガスをチューブによりサンプリングする場合には、当然のことながら、チューブの長さはより短く、それぞれの長さを等しくしておくことが望まれる。

④ガス濃度分析器のドリフトチェックについては、測定が長期に渡ることが多いので、十分注意する必要がある。

4. 分析方法

4.1 局所空気齢

局所空気齢（τ_p）とは、トレーサーガスを注入して色づけされた外気が注入点から各測定

点までに到達するのに要する時間の平均値として定義される。

ステップアップ法またはステップダウン法に基づいて測定された各測定点での濃度履歴曲線を基に、以下の式より算出される。

ステップアップ法：

$$\bar{\tau}_p = \int_0^{t_e}\left\{1-\frac{C_p(t)}{C_p(t_e)}\right\}dt = \Sigma\left\{1-\frac{C_p(t+\Delta t)+C_p(t)}{2\cdot C_p(t_e)}\right\}\Delta t$$

ステップダウン法：

$$\bar{\tau}_p = \int_{t_e}^{t_f}\left\{\frac{C_p(t)}{C_p(t_e)}\right\}dt = \Sigma\left\{\frac{C_p(t+\Delta t)+C_p(t)}{2\cdot C_p(t_e)}\right\}\Delta t$$

ここに、C_p（t）：時刻tの測定点pでのトレーサーガス濃度

t_e ：トレーサーガス濃度が定常に達した時刻

t_f ：トレーサーガス濃度が完全に減衰した時刻

Δt ：各測定点での濃度の測定間隔

4.2 室平均空気齢

室平均空気齢（＜τ＞）とは、室内各点での局所空気齢の平均値として定義され、排気口での濃度履歴を基に以下の式より算出される

ステップアップ法：

$$\langle\bar{\tau}\rangle = \int_0^{t_e}\frac{Q}{V}\,t\cdot\left\{1-\frac{C_e(t)}{C_e(t_e)}\right\}dt = \Sigma\frac{Q}{V}\,t\left\{1-\frac{C_e(t+\Delta t)+C_e(t)}{2\cdot C_e(t_e)}\right\}\Delta t$$

ステップダウン法：

$$\langle\bar{\tau}\rangle = \int_{t_e}^{t_f}\frac{Q}{V}\,t\cdot\left\{\frac{C_e(t)}{C_e(t_e)}\right\}dt = \Sigma\frac{Q}{V}\,t\left\{\frac{C_e(t+\Delta t)+C_e(t)}{2\cdot C_e(t_e)}\right\}\Delta t$$

ここに、C_e（t）：時刻tの排気ダクトでのトレーサーガス濃度

なお、排気ダクトが多数ある場合は、各ダクトで求まった局所空気齢を流量で重みづけ平均した値を用いる。

排気口からの排気量に対して、外壁などからの漏出量が無視できなくなったときには、正しく評価されない。その許容値については、今後検討しなければならないが、風量で10％程度であろう。

4.3 局所空気交換効率

局所空気交換効率（ε_p）は、局所空気齢を名目換気時間で基準化した値であり、以下の式

より算出される。

$$\varepsilon_p = \frac{\tau_n}{\tau_p}$$

ここに、τ_n：名目換気時間（建物の気積/換気量）

室内への外気の供給され方が完全拡散の場合には、各点での局所空気交換効率は全て1である。ピストンフローの場合、各点での局所空気交換効率は給気口から離れるに従い小さくなり、排気口で1となる。また、外気が室内で滞留した場合、その点では1より小さくなる。

4.4　室空気交換効率

室空気交換効率（ε_a）は室平均空気齢を名目換気時間で基準化した値であり、以下の式より算出される。

$$\varepsilon_a = \frac{\tau_n}{\langle \tau \rangle}$$

室内への外気の供給され方が完全拡散の場合、室空気交換効率は1であり、ピストンフローの場合、2となる。また、室空気交換効率が1よりも小さくなる場合には、室内に空気の滞留域があると推定される。

4.5　外気漏入率

外気漏入率（F_p）は、換気システムにより室内へ導入された外気に対する隙間から漏入される外気の割合で定義される。

給気ダクトよりトレーサーガスを発生させ、各点での濃度が定常に達した後の濃度分布の測定結果より、以下の式より算出する。

$$F_p = 1 - \frac{C_s(t_e)}{C_p(t_e)}$$

ここに、C_s（t_e）：時刻t_eにおける漏入があると予想される空間へ供給される空気のトレーサーガス濃度

5.　まとめ

本報では、外気が室内空気といかに効果的に入れ替わるかという意味での換気効率に関して、各種の指標を求める際に最も基本となる局所空気齢について、住宅を念頭においた現場での測定法と、データの整理・分析の方法に関して基本的な事項を解説した。その結果をまとめる。

(1) 局所空気齢を測定する際に、あらかじめ必要な情報は、建物の気密性能と換気システム各部の風量である。

(2) 局所空気齢を測定するときに、環境条件として必要な情報は次の通りである。

①室内外温度、②外部風向・風速、③室内外の圧力差

(3) トレーサーガスを用いた局所空気齢の測定法には、ステップアップ法、ステップダウン法、パルス法がある。

ステップアップ法では、給気ダクトより室内へ導入される外気に、一定の割合でトレーサーガスを注入し、室内の各点においてトレーサーガスの濃度上昇を測定する。なお、ステップアップ法による測定では、給気ダクトより導入された外気の屋内への供給状況が評価できる。

ステップダウン法では、屋内にトレーサーガスを発生させて、屋内空気と十分に混合し、室内各点での濃度を均一にした後、換気システムを稼働させ、各測定点での濃度減衰を測定する。なお、ステップダウン法による測定では、給気ダクト以外の建物の隙間から漏入する外気も含めた、すべての外気の屋内への供給状況が評価である。

(4) 測定を行う際には、以下のことに十分留意する必要がある。

①測定位置、②測定時間間隔、③測定条件、④再現性や測定機器

(5) ステップアップ法、ステップダウン法によって、求まる基本的な換気効率指標は、以下の通りである。

①局所空気齢、②室平均空気齢、③局所空気交換効率、④室空気交換効率、⑤外気漏入率

【参考文献】

1) Air Infiltration and Ventilation Center, Technical Note 28, “A Guide to Air Change Efficiency”, 1990.2.

2) 吉野　博、長友　宗重、小林　仁：集中換気システムを備えた気密住宅における換気効率測定の試み、日本建築学会大会学術講演梗概集、1992年8月

3) 小林　仁、吉野　博、長谷川　兼一：集中換気システムを備えたR2000住宅における換気性状の測定、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、1993年10月

4) 建材試験センター：住宅の隙間の相当開口面積の測定法、住宅性能標準化のための調査研究ー別添資料、昭和58年

5) 住宅・建築省エネルギー機構編：送風機を用いた住宅の気密性能測定方法、住宅の新省エネルギー基準と指針、第3版、平成4年6月

6) 日本建築学会：建築環境工学実験用教材（1）環境測定演習編、昭和57年3月

7) 貝塚　正光：風量の測定、空気調和・衛生工学、第53巻、第3号、昭和54年3月

8) ASHRAE Standard, “Standard Method of Measuring Air Change Effectiveness（Public review draft）”, 1992

9) M.Sandberg “A Proposed Method for: Determination of Mean－Age of Air in a Ventilated Space”, The National Swedish Institute for Building Research, Nordtest－Project:366－82 Part 2,1984.10

第 2 部

交 流 ・ 協 力

1. 日露間の建築デザイン教育活性化のための研究ならびにシンポジウムの開催

芝浦工業大学工学部教授
国際交流センター長
足　立　格一郎

研究の進行について――本研究は、以下のように進められた

1.　モスクワ建築大学との合同ワークショップ（1993年10月18日～11月14日）

ロシア側のパスポート発行の遅れから、ワークショップは当初の計画より遅れ、1993年10月18日より11月19日まで芝浦工業大学田町校舎にて行われた。日本・ロシアの参加者14名（日本側6名・ロシア側8名）、指導教員2名（新井清一、ヴァレリー・アウロフ）、助手2名が参加し、東京の都市空間の分析を下敷きに参加学生が各自プロジェクトを作成した。なお、その期間内に参加者は京都、大阪で5日間に亘り日本の古建築、関西の新プロジェクトについて視察を重ねた。

2.　日露の現状建築をめぐる講演

上記ワークショップの期間中に日本・ロシアの都市と建築をめぐって一連の講演会が組織された

①10月20日　中尾　寛「建築の新たな思考」

②10月21日　キャサリン・フィンドレー「有機体の建築」

③10月27日　坂　茂「技術デザインの社会をめぐって」

さらに、ワークショップの終わりには、以下の建築家を招いて討論会を開催した。

藤井博己、丸山　茂、アニュエル・タルディッツ、デビッド・スチュワート、ガルニック・イエザルザリアン　（テーマ：日露の建築ワークショップとその成果）

3.　モスクワ建築大学附属博物館との合同展覧会

モスクワ建築大学附属の博物館には、18世紀以来の建築ドローイングが約10万点ほど所蔵

されているが、その中でも20世紀前半から半ばにかけてのドローイングをもとに展覧会を計画している。その第一歩として、同博物館館長ラリサ・イワノワ女史と合同協議会がもたれ、また同女史による講演会が行われた。

1994年2月22日　ラリサ・イワノワ「スターリン時代の建築ドローイング」　於・芝浦工大

現在この展覧会はGAギャラリー、講談社の協力の下に、1994年度に実施の予定で準備が進められている。

研究成果をめぐって——はじめに

今回実施された日露間の建築教育をめぐる新たな方法の研究というプログラムにおいて、幾つかの問題が深められた。

ひとつは、共同の出版・展覧会を前提に進められている建築ドローイングの歴史研究であり、他のひとつは、建築プロジェクトを媒介としたワークショップの方法の深化という課題である。このために多くの人間が日露間を往復したが、その密度が直接研究の成果にはねかえりつつあると考えられる。

以下、建築ドローイングの問題とワークショップの問題に分けて報告を行う。

1. 建築ドローイングの有効性

17世紀以来、ヨーロッパにおいては建築教育のもっとも具体的な手段として、建築図（ドローイング）を発展させてきた。職人的な技の伝授ではなく、アカデミックな方法に基づく美学的な表現法でもある。今日残る世界の建築ドローイングの中でもっとも整備されて保存されているものはフランスの建築アカデミーにおける図面で、国立図書館、エコール・デ・ボザールといった機関に集中的に管理保存されている。

ロシアの建築ドローイングは、フランスの圧倒的な影響の下で発展してきた。ピョートル大帝による外国人建築家の登用以来、多くのフランス人、ドイツ人、イタリア人建築家がペテルブルグやモスクワで働き、その結果数多くの図面が残されることになった。

モスクワ建築大学は、その中で、ペテルブルグに対抗する勢力としての前身をもち（ストリガノフ芸術アカデミー）、それが19世紀の間に整備発展し、さらにロシア革命の過程で前衛的な建築学校（ヴフテマス）に改組された歴史をもつ。ソ連解体にともない、この学校に保存されてきた数多くの建築ドローイングを保管する建築博物館が設立され、史料収集から具体的な保存科学をともなうミュゼオロジーの場として機能するようになった。現在まだ整理中であるが、所蔵する図面数は50万点にのぼるといわれる。ちなみに、ロシア国立建築博物館には主としてソ連時代に収集された100万点のドローイングが保存されている。

モスクワ建築大学の建築ドローイングも主要なものはロシア革命以降のもので、とりわけ1930年代から50年代にかけてのスターリン時代のものが目立っている。今日、ヨーロッパ、アメリカ、アジアを含めて、この時代（'30～'50s）の見直しが進んでおり、とりわけ長い間機密のベールに隠されていた社会主義国の建築プロジェクトについて、実際の建築図面から解明の手続きがなされ始めている。スターリン時代の地下鉄建設、摩天楼の建設、共産党を讃えるモニュメントの建設、戦災復興計画といったものが、これらの史料を通して続々と光を当てられている。

他方、スターリン時代は建築家の間にも数多くの粛清者を出したが、モスクワ建築学校の図面の中にはそのような人物の痕跡も含まれている。例えば、強制収容所で人生のかなりの部分を送ったガモン＝ガマンなどはその典型で、今回の調査でこの「謎の建築家」について多くの史料が発見された。

一般論でいえば、スターリン時代のソ連はビッグ・プロジェクトの時代であり、党と国家の強い統制の下で建築家が大量に動員され、図面作成作業に追われていた。強権的ではあるが多産な時代であり、設計のコンセプトからいえば19世紀的な古典主義の時代でもあった。

このビック・プロジェクト・ブームが終わるのは、フルシチョフ時代に入ってからである。

2. トラベリング・スタジオの方法論

モスクワ建築大学と芝浦工業大学の間で実施された交換授業は、一般に「トラベリング・スタジオ」と総称される建築教育の手法である。この方法は1960年代のアメリカで開発され、一定のテーマの下で長期にわたって移動しながら問題解決を求めてゆくもので、当初はアメリカ人のヨーロッパやアジアにおけるフィールドワークとして試みられていた。ヨーロッパの古典主義建築の理解、都市計画や保存修景計画の追求、さらには文化人類学的なサーヴェイと、応用範囲は広く、アメリカの大学（建築学部）の人気と活力はここに起因したといっても過言ではない。

国際化が進んだ近年では、欧米の主要校でとりわけ建築学科の訓練の意味を含めて、広くワークショップとして実施されている。アメリカでは東海岸のプリンストン、イェール大学、西海岸では南カリフォルニア建築大学（SCi－ARC）やUCバークレー校など、日常的な設計教育の中でこれらのプログラムをこなしている。他方ヨーロッパでは、イギリスのAAスクール、ドイツのアーヘン工科大学などがその急先鋒で、とりわけエコロジー運動の強いドイツでは、「土」の香りを求めて、途上国に赴いて第三世界の理解をともなった設計教育が盛んである。

今回のモスクワ建築大学の場合、旧ソ連時代からアメリカ、フランスなど同種の試みを続けていたが、今日の経済危機の中でその実施はかなりの困難をともなっている。幸い日本でのトラベリング・スタジオは成功裡に終わったが、この成果を自校のトータルな設計教育の中にどう統合していくのかが大きな課題であろう。

旧ソ連が崩壊した後、ロシアを始めとするCIS諸国の関心はもっぱら欧米に向かうようになった。出国が簡単となり、「資本主義」本来の香りを発散させる欧米諸国こそが彼らの新たな文化的アイデンティティを確立するための拠り所となっており、かつては強い関心を引いた日本文化はカヤの外という状況である。

その点で今日のトラベリング・スタジオのような試みは重要である。ロシア（モスクワ）の建築家の卵と専門家をひとまとめにし、日本との共同教育研究というフレームの中で、相互理解を促していくことは、将来的にも極めて必要性の高い課題である。この交換授業を足掛かりとして、専門家のための長期留学（研修）体制、基礎部門（語学、文化理解等々）の拡充といった方向がとりあえず求められよう。交換授業そのものも今後続けて実施し、多くの人間が日本の都市文化に触れるチャンスを設けていかねばならない。

2. 建築材料、住宅機器等の国際標準化機構(ISO)との交流および協力

宇都宮大学工学部
建築学科教授
上　村　克　郎

1.　本研究の背景と目的

経済のグローバル化にともない、国際標準化活動の重要性が急速に増している。欧州ではISO9000シリーズに代表されるようにIS（国際規格）及びEN（欧州規格）を積極的に活用しており、これらの動きは、世界の自由貿易体制にも大きな影響を与えている。日本でも、個別の標準化テーマにおいてISOとJISとの整合、ISOへの国内意見の反映等について積極的な対応が求められている。

これらの動きに対応するため、通商産業省と建設省は、(財)建材試験センターに「ISO/TAG8（建築）等国内検討委員会」を設置し、ISOの建築関連技術委員会TC（現在28）全般の調整グループであるISO/TAG8（建築）委員会を積極的に活用しながら、建築関連の国際標準化活動への取組を総合的に検討することとなった。

この研究の目的は、ISO/TAG8（建築）国際会議を中心として、国際標準化の動向を研究し、国内の提案を反映することによって我が国の建築産業の振興を図ることにある。

2.　研究の方法

a.　ISO/TAG8（建築）国際会議への出席
- 配布資料収集等により国際標準化の動向を研究する。
- また、国際会議に国内の意見、提案を反映させながら国際標準化に積極的に対応する。

b.　ISO/TAG8（建築）等国内検討委員会での調査
- 建築関連の国内審議団体の標準化活動を調査する。
- 通商産業省及び建設省の規格・基準における国際化の動向を調査する。
- 欧州の国際化の動向〈特に、EN（欧州規格）〉を調査する。

・国際会議で提案された特定の検討事項について国内の現状を調査する。

3. 研究の計画と進捗状況

a. ISO/TAG8（建築）等国内検討委員会の開催

・第6回委員会開催（1993年5月19日）

第11回国際会議の報告（坂田委員）を受け、国際標準化の動向を検討した。

国内審議団体の標準化活動報告などを基に建築全般の問題点を検討した。

・第7回委員会開催（1994年2月22日）

第12回国際会議の議題、資料を基に対処方針を検討した。

国内審議団体の標準化活動報告などを基に建築全般の問題点を検討した。

通商産業省及び建設省の規格·基準における国際化について説明を受け､動向を把握した。

b. ISO/TAG8（建築）国際会議出席

1994年3月8日、9日にジュネーブのISO本部で開催された第12回国際会議に代表委員を派遣し、国際標準化の動きを把握すると共に国内の意見を反映させた。主要議題は次の通りである。

・議事録の確認とフォローアップ

各TCの活動チェック（TC21、TC99、TC71、TC162、TC163、TC167、TC178、TC179、TC196）

・リィエーゾン組織の標準化作業について（CIB、RILEMとの協力方法）

・ISO9000シリーズの建設会社への適用について

・ウィーン協定の実行について

・TCの活動状況監視

TC71の事務局交替、TC55、TC99の活動、新TC205（建築環境設計）

TC92のタイトル、スコープ他、TC59SC2について

・新しい作業提案について

地下空間、洞窟空間の建築基準（特に避難対策）

リサイクル、ライフサイクル、建設廃棄物の基準作成

住宅の性能標準

c. ISO/TAG8国際会議報告会の開催

1993年6月25日に関連団体を中心に建築関連の規格・基準における国際化の動向を周知するため報告会を開催した。主な報告内容は、委員会の概要説明〈上村委員長〉、国際会議報告〈坂田委員〉、ISO/TC207（環境管理）について〈工業技術院山田技官〉、建築住宅分野における国際化の動向〈建設省大屋国際基準調査官〉である。

d. 関連調査

・ISO、CENの動向調査

国際会議参加を利用してISO中央事務局を訪問し、ISOとCENの協力関係、CENの情報収集方法、ISOとEN/ECE（国連欧州経済委員会）との関係を調査し、概略を報告書にまとめた。

4. 今までに得られた成果

・建築関連の国際標準化動向（ISO/TAG8国際会議参加、国内審議団体調査他）

ISO/TAG8事務局及び国内審議団体の各TC活動報告を通じ国際標準化の進捗状況、内外の問題点の概要が把握できた。

建築関連の国際基準化で最も関心の高いISOとCENの協力関係の把握、CENの情報を収集できた。

・国内建築産業の振興

ISO9000シリーズの建設部門への適用及び新しい作業提案について国内の意見を反映することが可能となった。

5. これから期待される成果

ISO/TAG8国際会議の場を通じて日本の意見を今後、より一層積極的に反映することで、建設部門における国際標準化について日本の役割を主張し、国内産業の振興を図ることが可能となる。

また、ISO/TAG8（建築）等国内検討委員会を活用することで、国内の意見収集、国際標準化に関する討議の場を発展することが可能となる。

6. 残る問題点と対策

ISO/TAG8国際会議の場に日本の意見を反映するには、欧州を中心としたこれまでの協議内容に対抗できうるだけの説得力が必要である。このためには、ISO/TAG8（建築）等国内検討委員会において問題点の検討、関係機関の連携体制の強化、提案資料作成のための調査能力の向上など総合的な対策が求められており、今後、ISO/TAG8（建築）等国内検討委員会の活動内容を周知させながら活動を積極的に拡大する。

7. 研究発表の予定

ISO/TAG8国際会議報告会を通じて関係機関に規格・基準の国際化の動向を報告し理解を深める予定である。

8. 実用化研究

特に無し。

別添　ISO/TAG8（建築）等国内検討委員会　1993年度事業報告書

研究報告略歴

浅見泰司（あさみ やすし）

昭和57年3月	東京大学工学部都市工学科卒業
昭和59年3月	東京大学大学院工学系研究科 都市工学専門課程修士課程修了
昭和62年5月	ペンシルヴァニア大学地域科学学科Ph.D(博士課程)修了
昭和62年5月	東京大学工学部都市工学科助手
平成2年10月	東京大学工学部都市工学科講師
平成4年10月	東京大学工学部都市工学科教授

内海和夫（うつみ かずお）

昭和52年3月	東京工業大学理学部応用物理学科卒業
昭和54年3月	同大学理工学研究科原子核工学修了
昭和54年4月	(株)三菱総合研究所産業技術部入社
平成3年10月	同部第二産業技術研究室長
平成6年11月	同産業戦略研究センター産業技術部 第二産業技術研究室長、主任研究員

小林靖尚（こばやし やすひさ）

昭和59年3月	早稲田大学高等学院卒業
昭和63年3月	早稲田大学理工学部応用科学科卒業 (触媒化学研究室)
昭和63年4月	日興証券(株) 情報部入社
平成元年6月	同　　退社
平成元年7月	(株)三菱総合研究所産業技術部入社
平成4年4月	同部副研究員
平成6年11月	同産業戦略研究センター産業技術部 第二産業技術研究室、副研究員

鎌田元康（かまた もとやす）

昭和43年	東京大学卒業
昭和43～44年	建設省住宅局勤務
昭和49年	東京大学大学院博士課程修了　工博
昭和49年	東京大学助手
昭和51年	東京大学講師
昭和54年	東京大学助教授
平成5年	東京大学教授

木村建一（きむら けんいち）

昭和32年	早稲田大学理工学部建築学科卒業
昭和34年	早稲田大学理工学研究科修士課程修了
昭和34年	早稲田大学第一理工学部助手
昭和35～37年	米国MIT留学
昭和39年	早稲田大学第一理工学部専任講師
昭和40年	工学博士（早稲田大学）
昭和42年	早稲田大学理工学部助教授
昭和42～44年	カナダ国立研究所留学
昭和48年	早稲田大学理工学部教授

倉橋岩夫（くらはしいわお）

昭和48年3月　関西大学工学部建築学科卒業
昭和48年4月　財団法人日本建築総合試験所入所
構造物試験室配属
昭和55年4月　同　上　音熱動風圧試験室配属
平成3年4月　同　上　環境試験室配属

正法院陽三（しょうほういんようぞう）

昭和24年3月　神戸工業専門学校卒業
昭和42年9月2日　(財)日本建築総合試験所　研究員
昭和44年4月1日　同所　主任研究員　企画室長
昭和51年6月22日　同所　常任理事　副所長　現在に至る

十倉毅（とくらつよし）

昭和46年3月　京都大学大学院工学研究科博士課程　修了
昭和46年2月15日　(財)日本建築総合試験所　研究員
昭和48年4月2日　同所　主任研究員
昭和50年1月1日　同所　熱音響試験室　主管
平成4年4月1日　同所　環境試験室　室長　現在に至る

園部敬（そのべたかし）

昭和54年3月　大阪市立工芸高校建築科卒業
昭和54年4月1日　(財)日本建築総合試験所
音・熱・動風圧試験室　研究員補
昭和61年4月1日　同所　耐火・防火試験室　研究員
平成4年4月1日　同所　環境試験室　研究員

田中義昭（たなかよしあき）

昭和61年3月　兵庫県立東播工業高校建築科卒業
昭和61年4月1日　(財)日本建築総合試験所
音・熱・動風圧試験室　研究員補
平成5年4月1日　同所　環境試験室　研究員

斎藤勇造（さいとうゆうぞう）

昭和41年3月　中央大学理工学部工業化学科卒業
昭和41年4月　(財)建材試験センター入社

堀江皓（ほりえひろし）

昭和40年　岩手大学工学部金属工学科卒業
昭和40年　トピー工業入社
昭和41年　岩手県工業試験場
昭和54年　工学博士（東北大学）
昭和54年　岩手大学工学部助手
昭和62年　〃　助教授
平成3年　〃　教授

三橋博三（みはしひろぞう）

昭和51年1月　東北大学大学院博士課程修了
昭和55年4月　東北大学工学部建築学科助教授
(その他、デルフト工科大学(オランダ)、ローザンヌ工科大学(スイス)、スイス連邦工科大学の客員研究員・招聘教授)

有川 智（ありかわ さとし）

昭和62年3月　東北大学工学部建築学科卒業
平成元年3月　東北大学工学部修士課程修了
平成元年4月　東北大学工学部建築学科助手

吉野 博（よしの ひろし）

昭和46年3月　横浜国立大学工学部建築学科卒業
昭和48年3月　東京大学大学院工学系研究科修士課程修了
昭和49年12月　東京大学助手
昭和51年12月　工学博士号授与（東京大学）
昭和53年4月　東北大学助教授
平成4年5月　東北大学教授

足立格一郎（あだち かくいちろう）

昭和37年3月　東京大学工学部土木工学科卒業
昭和37年4月　基礎地盤コンサルタンツ(株)入社
昭和43年4月　〃　技術開発室長
昭和45年9月　アメリカ・イリノイ大学大学院(土木工学専攻)入学
昭和47年2月　〃　修士課程修了
昭和49年2月　〃　博士課程修了
昭和49年4月　基礎地盤コンサルタンツ(株)シンガポール支社長
昭和53年3月　〃　海外事業部長
昭和56年5月　〃　取締役(海外事業部長)
昭和61年4月　芝浦工業大学工学部土木工学科教授

上村克郎（かみむら かつろう）

昭和28年3月　東京大学工学部建築学科卒業
昭和31年6月　建設省建築研究所研究員
昭和48年4月　建設省建築研究所第4研究部長
昭和56年3月　建設省建築研究所所長(59年4月まで)
昭和59年10月　宇都宮大学教授(現在に至る)

第１回(平成４年度)助成研究成果報告集

1995年１月18日　発行

財団法人トステム建材産業振興財団

東京都江東区大島２丁目１番１号
トステムハウジングプラザビル７階
TEL. 03－5626－1008
FAX. 03－5626－1033