第7回（平成１０年度）
研究助成成果報告書

２００１年1月

財団法人トステム建材産業振興財団

はじめに

地球の環境破壊が問題とされている現状、この環境を保護するため、今住宅建材産業界は、高気密、高断熱、高耐久、高機能等々に対する新技術を開発し、そこに住む人達がより環境にやさしく、快適な住生活を営めるよう、種々の商品の開発が行われています。

また、高齢化社会に対応した、より健康的な居住環境の形成を提供できる、建材技術開発も積極的に取り組んでいくことが必要であると考えています。

このような社会の多様な要請に応えていくために、総合的な視点から今後より一層の充実、強化の必要を痛感しているところであります。

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

本年で10年目を迎え、設立9期間における助成先は延べ221件、助成金額は2億5,308万円に達しております。それにより第1回（平成4年）11件、第2回（平成5年）14件、第3回（平成6年）15件、第4回（平成7年）22件、第5回（平成8年）23件、第6回（平成9年）33件、そして今回第7回（平成10年）は22件の成果報告ができましたことは、誠に喜ばしい限りでございます。

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

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

トステム建材産業振興財団
潮田　健次郎

目　　次

はじめに

第1部　調査研究

1−1　壁面線毎の壁率調査と必要床面内終局強度の検討
(97-03)
豊田工業高等専門学校　講　師　山田 耕司　……　1

1−2　対流・放射・湿気連成シュミレーションによる結露発生の構造とカビ発生防止に関する研究
(97-06)
東京大学生産技術研究所　教　授　村上 周三　……　25

1−3　環境調和型住宅・建材用接着剤の開発に関する研究
(97-07)
岐阜大学工学部　教　授　紙村 知之　……　47

1−4　住宅の台風による強風被害の予測と耐風性向上対策に関する研究
(97-09)
東北学院大学院工学研究科　助教授　植 松　康　……　65

1−5　システムダイナミクス法による建材のライフサイクルアナリシスに関する研究
(97-11)
豊橋技術科学大学工学部　助教授　松 本　博　……　73

1−6　低コスト免震／制振木造戸建住宅に関する研究
(97-12)
早稲田大学理工学部建築学科　教　授　曽田五月也　……　79

1−7　集合住宅型建物の層崩壊時における避難空間確保のための研究
(97-17)
金沢工業大学　教　授　高畠 秀雄　……　83

1−8　調湿建材の調湿性能評価法に関する研究
(98-01)
財団法人建材試験センター中央試験所　副所長　勝野 奉幸　……　93

1−9　導電性コーティングによる住宅建材の最大歪み及び損傷診断
(98-03)
東京大学生産技術研究所　助教授　岸 本 昭　……　117

1−10　屋外酷暑放射環境を緩和するパッシブクーリングレンガの開発
(98-05)
九州大学大学院総合理工学研究院　助　手　萩 島　理　……　125

1−11　ハイブリッドコレクターによる住宅負荷への太陽エネルギーの有効利用
(98-09)
名古屋市立大学芸術工学部生活環境ﾃﾞｻﾞｲﾝ学科　助　手　吉永 美香　……　135

1－12　製造物責任法の下における住宅・建材の製品安全ガイドラインの構築
(98-10)
九州大学大学院法学研究院　教　授　北川 俊光　……　149

1－13　建築材料のカビ発生実態調査と防止に関する研究(その２)
(98-13)
お茶の水女子大学生活科学部　教　授　田中 辰明　……　155

1－14　膜材料を用いた軽量遮音構造の開発研究
(98-15)
東京大学大学院新領域創成科学研究科　助教授　佐久間哲哉　……　167

1－15　高齢者と地球にやさしい健康的な環境住宅の提案
(98-16)
東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻　教　授　石野 久弥　……　175

1－16　井戸水利用天井吹輻射冷房システムの省エネルギー、快適性に関する研究
(98-18)
東京理科大学理工学部建築学科　教　授　武 田　仁　……　189

1－17　高断熱高気密住宅へのビルトイン車庫設置による冷暖房負荷削減効果の地域的検討
(98-19)
金沢工業大学工学部　教　授　垂水 弘夫　……　199

1－18　老朽マンションの安全性(防災・耐震・耐久)の実態把握と解決策についての調査研究
(98-20)
日本大学経済学部　教　授　田中 啓一　……　205

1－19　アルミニウム合金の住宅への活用方策に関する研究
(98-22)
アルミニウム建築構造推進協議会
すまいとアルミ研究会　座　長　伊東 豊雄　……　231

1－20　アルミニウム外装建材のメンテナンスの実態調査と研究
(98-25)
科学技術庁無機材質研究所　主任研究官 和田 健二　……　239

第2部　人材育成・論文

2－1　米国における空間単位の戸建てプレハブ住宅に関する研究
(98-23)
東京大学大学院建築学科　修士課程　北村 禎夫　……　257

第3部　国際会議・国際協力

3－1　環境デザインの新手法開発の為のワークショップ
(98-17)
芝浦工業大学国際交流センター長　藤井 博己　……　269

1-1　壁面線毎の壁率調査と必要床面内終局強度の検討

豊田工業高等専門学校

講　師　　山田　耕司

１．序

著者は、東京理科大学の杉山らが考案した方法を用い、愛知県下の在来軸組木造住宅の耐力データを雑壁を含めた壁長で推察し、その地域性を検討した（木造建売住宅の壁量の管見，東海支部研究報告集第 35 号）。次にその結果を元に平成９年度文部省科学研究費補助金奨励研究「愛知県の在来軸組木造住宅の壁長による耐震性能調査」では、既存の木造建築物耐震壁の実状図面調査（壁量、偏心率）を行い、壁量で推察した愛知県の在来軸組木造住宅の耐力データベースを構築し、県内の在来軸組木造住宅の耐震性能の特徴、延べ床面積などの耐震性への影響、実際の耐力壁量で計算される壁率・偏心率と雑壁を加えて推察した壁率・偏心率の相関を検討している。

しかし、在来木造軸組住宅（以下、在来住宅）の耐震性は、一概に”保有壁量”と”偏心率”で決められるものではない。特に偏心率に関しては、剛床仮定の下での壁の分布性状を表しているに過ぎず、一般に在来木造軸組住宅では剛床仮定が成り立ちにくい（木造在来構法床組の面内剛性に関する研究，西川忠，日本建築学会大会学術講演梗概集，1991）。その為著者は、在来住宅では壁面線毎の耐力評価を行うべきと考えている(http://133.85.17.1/yamada/kaneko.html)。

本研究では、以下の事項を目標としている。

1)愛知県内既存木造軸組住宅の設計図書を再分析し、既製の木造建物耐震診断ソフトを利用して、耐力壁線毎の耐力評価を行い、剛床仮定で得られる各パラメータと比較し、それらの間の相関性を検討する。

2)兵庫県南部地震に関する多数の報告書に記載されている在来住宅の被害例に関して同様の計算を行い、被害との関連を考察する。

3)既存の耐力壁量による水平耐力を全て活かすための必要床面内剛性を計算し、壁剛性、重量配分との関係を検討する。

２．既存軸組木造住宅の耐力壁線毎の耐力評価

２．１　使用データ

平成３年度に建てられた在来木造軸組住宅３４１棟の設計図書を利用した。延べ床面積の分布を図 2-1 に示す。平均延べ床面積は 144.9 ㎡である。法定壁量に対する充足率の分布を図 2-2 に示す。なお、“重い屋根”に属する建物は１８８棟、“軽い屋根”に属する建物は１５３棟である。ほとんどの建物で充足率（＝存在壁量／法定必要壁量）は 1.0 を超えている。しかし、延べ床面積が大きいほど充足率が小さくなる傾向にある。また、東西方向と南北方向の充足率には正の相関が認められる。偏心率の分布傾向を図 2-3 に示す。延べ床面積と偏心率には相関が認められない。また、東西方向と南北方向の偏心率には相関が認められない。図 2-4 に壁直下率を示す。延べ床面積が増えると壁直下率が小さくなる傾向がある。また、東西方向と南北方向の壁直下率には多少の正の相関が見られる様である。

２．２　耐力壁線の定義

耐力壁線およびその負担面積と必要壁量は次のように定義した。

必要壁量は、各耐力壁の負担面積からその区域の地震荷重を計算したものである。各区域の必要壁量の計算式の根拠は文献（日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能 1981,1981）を参考にして、表 2-1 の値を設定した。ここで庇面積を $A_E = 0.75 l_E$ ㎡（ただし、l_E は庇長さ(m)）[注)] として、区分された領域での必要壁量は次式となる。

$$1\text{階の必要部分壁量(m)} = \frac{1}{130}\frac{2}{3}Co\left\{A_2(W_R + W_W + W_D + W_L) + A_1(\frac{1}{2}W_D) + (A_1 - A_2)W_R + A_E W_R\right\} \qquad (2\text{-}1)$$

従って、

$$\text{必要壁量(m)} = 0.123A_1 + 0.174A_2 + 0.092A_E \text{（重い屋根の場合）} \qquad (2\text{-}2)$$

$$= 0.092A_1 + 0.174A_2 + 0.062A_E \text{（軽い屋根の場合）}$$

となる。なお、耐力壁線の負担面積設定（区域分け）は表 2-2 に示す手順を取った。

また、各耐力壁線毎に充足率を求め、これを以後“部分充足率”と称することにする。また、本報では、部分充足率の内、最低の部分充足率の傾向に関して検討する（以後、最低部分充足率と称する）。

２．３　分析結果

耐力壁線に応じた負担面積の設定ができなかった建物は、東西方向の耐力壁線で１５９棟、南北方向で６８棟、両方向とも設定できなかった建物は３１棟である。また、最低部分充足率が存在する場所は、建物の中心部分が最も多く、東西方向では３４１棟中２５４棟、南北方向では２４３棟であった。耐力壁線間の間隔は、耐力壁線による部分充足率が計算できた事例より抽出したもの１０００件の内、２～２．９mが４１１件、３～３．９mが３９３件、を占めている。最低部分充足率の分布傾向を図 2-5 に示す。図 2-6 に法定壁率に基づく充足率と最低部分充足率の関係を示す。両方向とも特に充足率との明確な関係は見られないが、東西方向に関して、充足率が低い建物では最低充足率が低い建物が多い。図 2-7 に延べ床面積と最低部分充足率の関係を示す。延べ床面積が大きくなると最低部分充足率が低い建物が多い。しかし、延べ床面積が大きい建物は充足率の小さい建物が多いため、この結果は当然である。図 2-8 に偏心率と最低部分充足率の関係を示す。関係は見られない。

２．４　結論

今回の調査の結果、次の事項が判明した。

・耐力壁線に応じた負担面積の設定ができなかった建物は、東西方向の耐力壁線で１５９棟あった。これは耐力壁線に応じた負担面積の設定条件（境界線が偏って引かれている建物の識別条項）が厳しかった為であり、この条項の１／３を１／４にすべきと判断する。

・データより、建物長８m以下の建物に１：２：１の耐力壁負担面積割合を適用するのは問題が

有ることが判明した。今後は上記の建物の場合、１：１で割り振ることが必要である。
・最低部分充足率が存在する場所は建物中央部に多いことが判明した。
・最低部分充足率と延べ床面積、充足率、偏心率の間に明確な関係は見られなかった。このことから、最低部分充足率は“全くの無意味”であるか“偏心率と無関係な新たな耐震指標”かのいずれかである。

よって、今後は床面内剛性を仮定した上で各建物の保有耐力を算定し、充足率・偏心率・部分充足率などと比較する必要がある。なお、今回の調査の結果、耐力壁線の負担面積設定（区域分け）は表2-3に示す手順を推奨する。

３．兵庫県南部地震被害建物の充足率、偏心率、直下率の傾向

３．１　目的

本論では既往の報告書に示されている壁倍率と被害程度の判明している被害事例の耐震性能を壁量と壁配置から計算される種々の必要壁量で評価し、被害を被らないための１階の最低壁量について考察する。なお、一般の木造軸組住宅の２階の壁量は、必要壁量を満足している場合が多いので、今回は検討しない。

３．２　使用した被害事例と充足率の定義

３．２．１　使用した被害調査事例

本報で使用する被害調査事例は表 3-1 に示す文献 1)～3),6)～10)に記載されている壁倍率の判明している被災建物２７件および兵庫県南部地震で得られた地震動波形で加振実験された建物１０件（表 3-1 参照）である。また、被害度を表２のように定義し、文献 3)に関しては、文献中の“被災度”を“被害度”と読み替えた。なお、本報では、調査建物の東西軸をＸ軸、南北軸をＹ軸とし、加振実験棟では加振軸をＸ軸としている。３．２.２節に定義する施行令充足率（建築基準法施行令での必要壁量の満足率）と偏心率の分布を図 3-1,2 に示す。

３．２．２　充足率の定義

以下に示す各算定方法を組み合わせて、充足率（＝存在壁量／必要壁量）の定義を表 3-3 に示すように５種とする。存在壁量は、耐力壁のみを壁倍率に基づいて計算している。必要壁量の算定法として、建築基準法施行令に基づく場合，各階床面積を考慮した場合の２種類、および耐力壁の負担幅を考慮し、建物を区域分けした場合を検討した。“施行令”に基づく場合は、１階床面積を A_1 ㎡，２階床面積を A_2 ㎡として、

必要壁量(m)＝$0.33A_1$　（重い屋根の場合）　(3-1)
　　＝$0.29A_1$　（軽い屋根の場合）

となる。また、“各階床面積考慮”の場合、文献 11)に記載されている各階の床面積を考慮した

所要必要壁量を用いている（式(3-2)）。

必要壁量(m)　$= 0.15A_1 + 0.18A_2$（重い屋根の場合）　(3-2)

$= 0.11A_1 + 0.18A_2$（軽い屋根の場合）

図 3-3 に示すように今回の事例では、床面積の比は 0.9～1.0 の間に多く、必要壁量の差は大きくなく、必要壁量の差は最大の場合でも 0.8 倍程度である。部分充足率に用いている“区分床面積考慮”とは、各耐力壁の負担面積からその区域の地震荷重を計算したものである。各区域の必要壁量の計算式の根拠は文献 5)を参考にして、表 3-4 の値を設定した。ここで庇面積を $A_E = 0.75 l_E$ m²（ただし、l_E は庇長さ(m)）注) として、区分された領域での必要壁量は次式となる。

$$1\text{階の必要部分壁量(m)} = \frac{1}{130}\frac{2}{3}Co\left\{A_2(W_R + W_W + W_D + W_L) + A_1(\frac{1}{2}W_D) + (A_1 - A_2)W_R + A_E W_R\right\} \quad (3\text{-}3)$$

従って、

必要壁量(m)　$= 0.123A_1 + 0.174A_2 + 0.092A_E$（重い屋根の場合）　(3-4)

$= 0.092A_1 + 0.174A_2 + 0.062A_E$（軽い屋根の場合）

となる。なお、耐力壁線の負担面積設定（区域分け）は表 3-5 に示す手順を取った。

偏心率による壁量低減係数は、文献 11)に基づいた。Re を偏心率として偏心率に関する低減係数(Cre)は、

Cre = 1.0　(0<Re<0.15)　(3-5)

= 1/(3.33Re+0.50)　(0.15<Re<0.45)

= 0.5　(0.45<Re)

である。図 3-2 に示される今回の事例の偏心率は、約半数が 0.2 以下であり、低減係数による偏心の被害への影響はほとんどないと考えられる。なお、以降に示す各充足率は施行令充足率および面積考慮充足率に関しては、X,Y 方向の小なる方、部分充足率に関しては、各方向・各区分領域の中で最も小なるものである。

３．３　考察

図 3-4～8 に各充足率と被害度の関係、図 3-9 に評価法の違いによる充足率の変化、表 3-6 に被害度３以上建物の被害状況を示す。図 3-4～8 中の直線は、仮に設けた被害を被る予測最大充足率である。各階床面積の考慮の有無による充足率の変化は、３．２.２節にも述べたように今回用いた資料では１階床面積と２階床面積が同程度の建物が多く、被害との関係に明確な差が生じる程ではなかった（図 3-4,6,9 参照）。充足率低減係数の充足率への影響は、３．２.２節でも述べたように今回の事例の範囲では充足率が低減しない建物が多く、充足率低減係数は今回の被害事例の範囲では影響が少ない（図 3-4～7 参照）。

被害度２（小破）を免れる充足率は、施行令充足率の場合１.５、面積考慮充足率で１.７、部分充足率で１.２程度が必要である（図 3-4～8 参照）。なお、部分充足率の場合、必要充足率が１.０を超え１.２～１.４必要なのは、施行令充足率が建物の形状を無視して必要壁量を算定してい

るのに対し、面積考慮充足率および部分充足率が各階床面積もしくは負担面積から必要壁量を算定しており、施行令充足率で必要な壁量より必要壁量が少なく見積もられる為と考えられる。一方、面積考慮充足率など建物重量に基づく荷重算定を行った場合に被害度２を防ぐには、現行規定の１．５倍程度の壁量が必要と考えられる。また、被害度１の建物から推測すれば、充足率が２．０以上、特に部分充足率で１．５以上あれば被害の可能性は非常に少ないと考えられる（図3-4～8参照）。充足率が１．０を超える被害度３，４の建物の被害要因は被害状況（表3-6）より次のように推測される。被害建物０６２６，Ｗ０１，Ｗ０２では、筋違いの緊結不足が伺える。被害建物Ｎｏ．４，Ｎｏ．５，ＦＰ５は、施行令充足率，面積考慮充足率による被害説明は難しいが、部分充足率が１．５以下（図3-9参照）になっており、また、被害建物Ｗ０１も部分充足率が他の場合に比べ半分以下になっており、偏心率では表現できない建物の部分的強度不足が予測される。従って、被害を説明する要因として建物の部分的弱さも考慮する必要があると考えられる。ただし、被害建物Ｗ０２は、全ての評価法で充足率２．０以上であり、この建物の被害は、被害状況（表3-6）にもあるように部材の緊結不足と考えられる。
部分充足率と被害の関係では、被害建物０６２９は東西方向に３区域あり、部分充足率は西から１．２９，１．２５，２．０９であり西側に被害が生じやすいと考えられ、被害建物Ｎｏ．８は南北方向に２区域あり、部分充足率は南から０．４５，０．８７であり南側に被害が生じやすいと考えられる。これらは被害状況（表3-6）とも対応している。

３．４　結語

兵庫限南部地震の報告書に記載されている壁種類が判明している建物と地震後に行われた実大実験建物に関して、種々の充足率を計算し被害との関係を考察した結果次のことが判明した。

・今回使用した事例の偏心率は、約半数が0.2以下であり、低減係数による偏心の被害への影響はほとんどない。
・部材が緊結されており、施行令充足率が２．０以上、面積考慮充足率が２．０以上、部分充足率が１．５以上あれば、被害度が２（小破）以下になる可能性が高い。
・今回用いた資料の範囲では、部分充足率を用いた評価の方が被害を明確に説明できそうである。

結果として、被害を被らない為の耐震性能評価法毎の最小充足率が示された。

参考文献

1)坂本功：阪神大震災に見る木造住宅と地震 ,鹿島出版会,1997
2)木造住宅等震災調査委員会：平成７年阪神・淡路大震災木造住宅等震災調査報告書,1995
3)建設省建築研究所：平成７年兵庫県南部地震被害調査最終報告書,1996
4)日本建築センター：阪神・淡路大震災における建築物の被害状況調査を踏まえた建築物耐震基準・設計の解説,1995
5)日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能 1981,1981

6)財団法人日本住宅・木材技術センター：木造住宅実大振動実験報告書,1996
7)坂本功,他 4 名：神戸海洋気象台波３次元加振による現代軸組構法木造住宅の実大振動実験,,日本建築学会関東支部研究報告集構造系 1995 年度,pp.109-111,1995
8)神谷文夫,他４名：軸組構法住宅の実大振動実験－（Ｄ棟）－,日本建築学会大会学術講演梗概集 1996 年度 C-1, pp.143-152,1996
9)堀昭夫,伊藤嘉朗：木造住宅の実大３方向振動台実験,日本建築学会大会学術講演梗概集 1996 年度 C-1, pp.159-160,1996
10)宮澤健二,他 2 名：軸組構法住宅の実大振動実験（F 棟）,日本建築学会大会学術講演梗概集 1996 年度 C-1, pp.153-156,1996
11)建設省住宅局：木造住宅の耐震精密診断と補強方法,1985
12)森野捷輔,他 2 名：在来軸組構法木造住宅の耐震性能評価に関する考察（その２）,日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）C-1,pp.199-200., 1997

注
庇の面積を算定するにあたり、面積算定を簡単にするため、庇面積＝庇長さ×庇の奥行き（750 ㎜）とした。なお、庇の奥行きは 300～950㎜ の範囲で存在するが、各種資料検討の上頻出殿高い 750 ㎜ を用いることとした。

４．必要床面内剛性と壁剛性、重量配分との関係

本研究では、１スパンのモデルを想定し、地震荷重に対する壁量の不釣り合い配置と床面内剛性とを考慮に入れた強軸側の必要壁量を算定している。

４．１　軸組木造の床の荷重伝達能力について

４．１．１　既往の文献

剛床仮定の成立する最小床剛性に関する研究は、「構造物床の必要最小面内剛性と面内強度の研究」（田川健吾,日本建築学会北陸支部研究報告集第３５号,pp.49-52.,）によれば、床剛性に関して、弾性時において床剛性が全架構剛性の３倍以上あれば十分である。また、床強度に関しては、静的な力の釣り合い条件から慣用される設計強度よりも十分大きい強度が必要である。と報告されている。

４．１．２　軸組木造における床及び壁の剛性について

１）壁の剛性について

軸組木造の耐震壁の剛性については、個々の施工状況、アンカーボルト配置により大きく変動すると考えられる。そこで壁倍率の算定実験結果を参考に、層間変形角 1/120 rad 変形時までの割線剛性を採用し、1/120 rad 変形時まで線形であると仮定する。

壁倍率αの剛性は、$K=\dfrac{130(kgf)\times\alpha}{1/120(rad)}=15600\alpha(kgf/rad)$となる。

壁高さを2700㎜として壁頂部での剛性評価を行うと、壁剛性は、

$K=\dfrac{15600}{2700}\times\alpha(kgf/mm)=5.8\alpha(kgf/mm)$となる。

2）床の剛性について

床の水平加力実験報告は非常に少なく、著者の知るところでは、「木構造における水平構面のせん断耐力」（飯塚五郎蔵,日本建築学会大会学術講演梗概集昭和５５年９月,C,pp.1997-1998）のみである。この文献では、3640㎜×3640㎜ の床構面をツガ材(100×100)で構成し、火打ち梁、合板等で補強した各場合の水平耐力を実験により求めている。その結果の一部を表4-1に示す。この実験結果でも、非線形な力－変位関係が得られているが、ここでは1/100 rad時の耐力から計算した割線剛性を床の剛性とする。

４．１．３　剛床仮定の検討

前節で検討した床モデルの両端に壁がある場合を想定し、剛床仮定を検討する。床モデルの面積は13.2 ㎡であるので、必要壁量は0.33m/㎡として4.4mである。従って、架構剛性は、25.5 kgf/㎜となる。床剛性は最大でも31.6 kgf/㎜であるので、31.6/25.5=1.24であり剛床仮定が成り立たないことが判る。また、大きな仮定ではあるが、剛床仮定が成立する壁面線間距離は、床剛性が架構剛性の３倍必要であるとすれば、3640/(25.5×3/31.6)=1504㎜ となり、合板の貼る方向を無視すれば、1.5m以内であれば剛床を仮定できることになる。

４．２　床の荷重伝達と必要壁量

４．２．１　仮定

床の荷重伝達能力を考慮に入れた壁量の算定を行う。先ず、つぎの仮定を用いる。

・遠方の壁の剛性、耐力は、床剛性から考えるとあまり期待できないと考えられる。従って１スパンのモデルで考察すれば十分である。
・近隣の壁の間で十分な壁量を維持できなければ、建物は倒壊するだろう。
・近隣の壁の間で充足率１を満足すれば良いと言うわけではなく、床の荷重伝達能力が低ければ補完する側の必要剛性を大きくする必要がある。
・偏心は考慮しない。

４．２．２　線形範囲

片方の壁量が少ない場合の相手側の必要壁量に関して、線形範囲（層間変形角1/120 rad以下とする）で検討する。

1）解析モデル
解析モデルを図4-1に示す。

各変数の定義
F_1, F_2, Fo：1側、2側および全水平荷重（F1+F2=Fo）
K_1, K_2, K_B, Ko：1側壁、2側壁、床および基準面内せん断剛性
ただし、K_2側を低剛性の壁とし、FoとKoの関係はFo/Ko=δ o（1/120 rad）とする。
また、各パラメータを次のように設定する。
$F_2=\gamma$ Fo　γ=0～1、$F_1=(1-\gamma)$Fo
$K_2=\alpha$ Ko　α=0.0～0.5
$K_B=\beta$ Ko　β=0.0～3.0（なお、先の表に示した床剛性の場合、βの取りうる範囲は、0.12～1.24である）

2）変位計算
1側の変位（δ_1）、2側の変位（δ_2）は次のように表される。なお、1側・2側に作用するせん断力は、$Q_1=K_1 \cdot \delta_1$、$Q_2=K_2 \cdot \delta_2$である。

$$\delta_1 = \frac{F_1K_2 + F_1K_B + F_2K_B}{K_1K_2 + K_1K_B + K_2K_B} \qquad \delta_2 = \frac{F_2K_1 + F_1K_B + F_2K_B}{K_1K_2 + K_1K_B + K_2K_B}$$

ここで、K_1=xKoとし、制約条件（$\delta_1 \le \delta_0$且つ$\delta_2 \le \delta_0$）を満足するxを決める。
結果として、xは次の2式を満足する必要がある。

$$\frac{\beta(1-\alpha)}{\alpha+\beta-\gamma} \le x、\quad \frac{\alpha+\beta-\alpha\beta-\alpha\gamma}{\alpha+\beta} \le x$$

ただし、$\alpha+\beta-\gamma \le 0$の範囲では、$\delta_2 \le \delta_0$に決してならない。

3）結果
パラメータα、β、γをパラメトリックに変化させて計算した1側の最低壁量比 x/(1-α)を表4-2に示す。
床剛性比β=1.2且つ$\alpha/\gamma \geqq 0.5$であれば、壁量は剛床時の1.1～1.3倍程度在ればよい。しかし、β=0.3の場合には1.5～3.0倍必要である。また、α/γが極端に小さい場合には、条件を維持できない場合がある。なお、β=0.6（合板張りの床）場合でも、必要壁量は条件により剛床時の1.5倍以上必要であり、注意が必要である。

4．2．3　完全弾塑性の場合
本節では、壁量が少ない方が線形範囲（層間変形角1/120 rad以下とする）を超え、塑性範囲（層間変形角1/40以下）まで変形するとし、相手側の必要壁量に関しては線形範囲（層間変形角1/120

rad 以下とする）に収まる必要最低壁量を検討する。なお、塑性化するのは弱壁側のみとし、床及び強壁は塑性化しないものとする。

1）解析モデル

壁の耐力－変位関係を図 4-2 に示す。解析モデルを図 4-1 に示す。

各変数の定義

F_1, F_2, Fo：１側、２側および全水平荷重（F1+F2=Fo）

K_1, K_2, K_B, Ko：１側壁、２側壁、床および基準面内せん断剛性

ただし、K_2 側を低剛性の壁とし、Fo と Ko の関係は Fo/Ko=δ o（1/120 rad）とする。

また、各パラメータを次のように設定する。

$F_2=\gamma$ Fo　γ=0～1、$F_1=(1-\gamma)$Fo

$K_2=\alpha$ Ko　α=0.0～0.5

$K_B=\beta$ Ko　β=0.0～3.0（なお、先の表に示した床剛性の場合、βの取りうる範囲は、0.12～1.24 である）

Q_1, Q_2：１側・２側に作用するせん断力、$Q_1=K_1 \cdot \delta_1$、$Q_2=\alpha \cdot Ko \cdot \delta o=\alpha \cdot Fo$ である。

ただし、弱壁の変形は$\delta_2 \le \mu\delta_0$、μ=3 とする。

2）変位計算

釣り合い式は次のように表される。

$F_2 = Q_2 + K_B(\delta_2 - \delta_1)$、$F_1 = Q_1 - K_B(\delta_2 - \delta_1)$

１側の変位（δ_1）、２側の変位（δ_2）は次のように表される。

$$\delta_1 = \frac{(1-\alpha)\delta o}{x} \qquad \delta_2 = \left(\frac{\gamma-\alpha}{\beta} + \frac{1-\alpha}{x}\right)\delta o$$

ここで、制約条件（$\delta_1 \le \delta_0$ 且つ $\delta_2 \le \mu\delta_0$）を満足する x を決める。

結果として、x は次の２式を満足する必要がある。

$$1-\alpha \le x、\frac{(1-\alpha)\beta}{\alpha+\mu\beta-\gamma} \le x$$

ただし、$\alpha+\mu\beta-\gamma \le 0$ の範囲では、$\delta_2 \le \mu\delta_0$ に決してならない。

3）結果

パラメータα、β、γをパラメトリックに変化させて計算した１側の最低壁量比 x/(1-α)を表 4-3 に示す。表 4-3 よりγが 0.6 以下であれば、床剛性比β=0.3 でも、壁量は剛床時と同じ量が存在すればよい。しかし、今回加えている荷重は、Co=0.2 に相当する水平荷重であり、塑性範囲まで考慮して耐力を論じるのには問題がある。

4．2．4　Bi-linearの場合

前節では、Co=0.2 の荷重に対し塑性領域も考慮して壁量を算出していた。しかし、塑性化を考慮するならば保有水平耐力的な考えに基づいて算定した方が理にかなっている。そこで本節では、必要保有水平耐力を設定し、両方の壁が線形範囲（層間変形角 1/120 rad 以下とする）を超え、塑性範囲（層間変形角 1/30 以下）まで変形するとし、壁量が多い方の必要最低壁量を検討する。なお、塑性化するのは壁のみとし、床は塑性化しないものとする。

1）必要保有水平耐力

必要保有水平耐力は、通常の場合 Ds=0.25～0.55 までの範囲を取る。しかし、軸組木造住宅では実大加力試験により、Ds=0.4 程度の耐力を想定している（建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1981)）。

この時、想定されている耐震壁の耐力は、層間変形角 1/120 rad 時の 1.5 倍である。そこで本節では、必要保有水平耐力を層間変形角 1/120 rad 時の 1.5 倍とする。

2）解析モデル

壁の耐力－変位関係を図 4-3 に示す。文献（建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1981)）に記されている最大耐力時の変形角が 1/30 であるので本節では塑性率 μ=4 とする。

ここで Qo=Ko・δ o とする。解析モデルを図 4-1 に示す。

各変数の定義

F_1,F_2,Fo：１側、２側および全水平荷重（F1+F2=Fo=1.5Qo ，Qo=Ko δ o）

K_1,K_2,K_B,Ko：１側壁、２側壁、床および基準面内せん断剛性

ただし、K_2 側を低剛性の壁とし、Qo と Ko の関係は Qo/Ko=δ o（1/120 rad）とする。

また、各パラメータを次のように設定する。

F_2=γ Fo　γ=0～1、F_1=(1-γ)Fo

K_2=α Ko　α=0.0～0.5

K_B=β Ko　β=0.0～3.0（なお、先の表に示した床剛性の場合、βの取りうる範囲は、0.12～1.24 である）

Q_1,Q_2：１側・２側に作用するせん断力

Q_1= {Qo+ (1/6) Ko (δ_1－δ o) } x

Q_2=α・1.5・Ko・δ o=1.5・α・Qo である。

ただし、弱壁の変形は $\delta_2 = \mu\delta_0$、μ=4 とする。

2）変位計算

釣り合い式は次のように表される。

$F_2 = Q_2 + K_B(\delta_2 - \delta_1)$、$F_1 = Q_1 - K_B(\delta_2 - \delta_1)$

1側の変位（δ_1）、2側の変位（δ_2）は次のように表される。

$$\delta_1 = \mu\delta o + \frac{1.5(\alpha-\gamma)\delta o}{\beta}$$ ただし、$\alpha < \gamma$である。

ここで、制約条件（$\delta_1 \leq \mu\delta_0$）を満足するxを決める。

結果として、xは次の式を満足する必要がある。

$$\frac{9(1-\alpha)\beta}{(5+\mu)\beta+1.5(\alpha-\gamma)} \leq x$$

ただし、$\mu\beta+1.5(\alpha-\gamma)\leq 0$の範囲では、解は存在しない。

3）結果

パラメータα、β、γをパラメトリックに変化させて計算した1側の最低壁量比 x/(1-α)を表4-4に示す。表4-4よりγが0.5以下であれば、床剛性比β=0.1でも、壁量は剛床時の1.5倍程度在ればよいことが判る。また、床剛性比βが0.3以上の場合には、剛床時の1.1倍程度在ればよい。

4．4　まとめ

Co=0.2の地震荷重に対し線形範囲（層間変形角1/120 rad以下とする）に変形を収める場合には、床剛性比β=1.2且つα/γ≧0.5であれば、壁量は剛床時の1.1～1.3倍程度在ればよい。しかし、β=0.3の場合には1.5～3.0倍必要である。また、α/γが極端に小さい場合には、条件を維持できない場合がある。なお、β=0.6（合板張りの床）場合でも、必要壁量は条件により剛床時の1.5倍以上必要であり、注意が必要である。

Co=0.2の地震荷重に対し壁量が少ない方が線形範囲（層間変形角1/120 rad以下とする）を超え、塑性範囲（層間変形角1/40以下,復元力特性は完全弾塑性を仮定）まで変形するとし、相手側の必要壁量に関しては線形範囲に収まる場合は、γが0.6以下であれば、床剛性比β=0.3でも、壁量は剛床時と同じ量が存在すればよい。しかし、今回加えている荷重は、Co=0.2に相当する水平荷重であり、塑性範囲まで考慮して耐力を論じるのには問題がある。

Co=0.2×1.5=3.0の地震荷重に対し、両方の壁が線形範囲（層間変形角1/120 rad以下とする）を超え、塑性範囲（層間変形角1/30以下,復元力特性はBi-linear型と仮定する）まで変形するとした場合は、γが0.5以下であれば、床剛性比β=0.1でも、壁量は剛床時の1.5倍程度在ればよいことが判る。また、床剛性比βが0.3以上の場合には、剛床時の1.1倍程度在ればよい。

5．まとめ

本研究では、次の3項目を検討した。

1)既存木造軸組住宅の設計図書を再分析し、耐力壁線毎の耐力評価を行い、剛床仮定で得られる各パラメータとの相関性。

2)兵庫県南部地震の報告書に記載されている在来住宅の被害例に関する耐力壁線毎の耐力評価と被害との関連

3)必要床面内剛性と壁剛性、重量配分との関係

その結果、次に知見が得られた。

・耐力壁線に応じた負担面積の設定ができなかった建物は、東西方向の耐力壁線で１５９棟あった。これは耐力壁線に応じた負担面積の設定条件（境界線が偏って引かれている建物の識別条項）が厳しかった為であり、この条項の１／３を１／４にすべきと判断する。

・データより、建物長８m以下の建物に１：２：１の耐力壁負担面積割合を適用するのは問題が有ることが判明した。今後は上記の建物の場合、１：１で割り振ることが必要である。

・最低部分充足率が存在する場所は建物中央部に多いことが判明した。

・最低部分充足率と延べ床面積、充足率、偏心率の間に明確な関係は見られなかった。このことから、最低部分充足率は“全くの無意味”であるか“偏心率と無関係な新たな耐震指標”かのいずれかである。

・今回使用した事例の偏心率は、約半数が 0.2 以下であり、低減係数による偏心の被害への影響はほとんどない。

・部材が緊結されており、施行令充足率が２．０以上、面積考慮充足率が２．０以上、部分充足率が１．５以上あれば、被害度が２（小破）以下になる可能性が高い。

・今回用いた資料の範囲では、部分充足率を用いた評価の方が被害を明確に説明できそうである。結果として、被害を被らない為の耐震性能評価法毎の最小充足率が示された。

・１スパンの建物で Co=0.2 の地震荷重に対し層間変形角 1/120 rad 以下に変形を収める場合には、床剛性比が比較的大きい場合には、壁量が多い側の壁量は剛床時の 1.1～1.3 倍程度在ればよい。しかし、床剛性比が比較的小さい場合には 1.5～3.0 倍必要である。

・Co=0.2 の地震荷重に対し壁量が少ない方が層間変形角 1/120 rad を超え、層間変形角 1/40 まで変形するとし、復元力特性は完全弾塑性を仮定した場合、壁量が多い側の必要壁量は層間変形角 1/120 rad 以下に収まる場合は、ほとんどの場合において壁量は剛床時と同じ量が存在すればよい。

・Co=0.2×1.5=3.0 の地震荷重に対し、両方の壁が層間変形角 1/120 rad を超え、層間変形角 1/30 以下まで変形し、復元力特性が Bi-linear 型と仮定した場合は、γ が 0.5 以下であれば、床剛性比 β=0.1 でも、壁量は剛床時の 1.5 倍程度在ればよいことが判る。また、床剛性比 β が 0.3 以上の場合には、剛床時の 1.1 倍程度在ればよい。

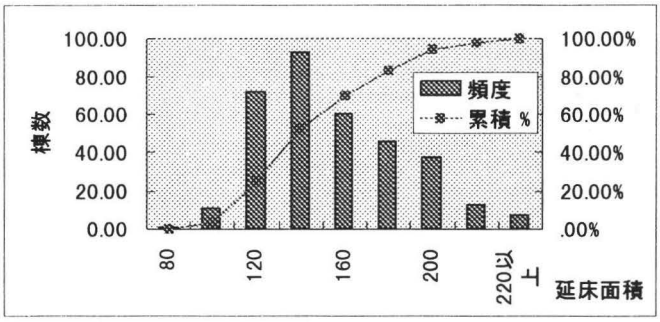


図 2-1　延べ床面積の分布

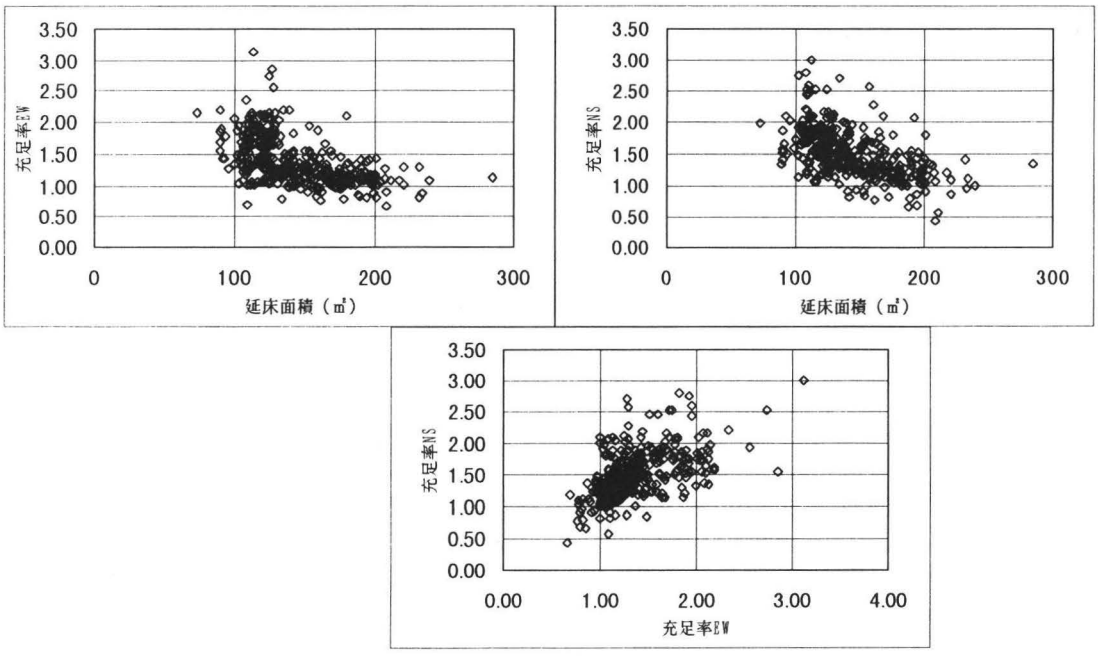


図 2-2　法定壁量に対する充足率の分布

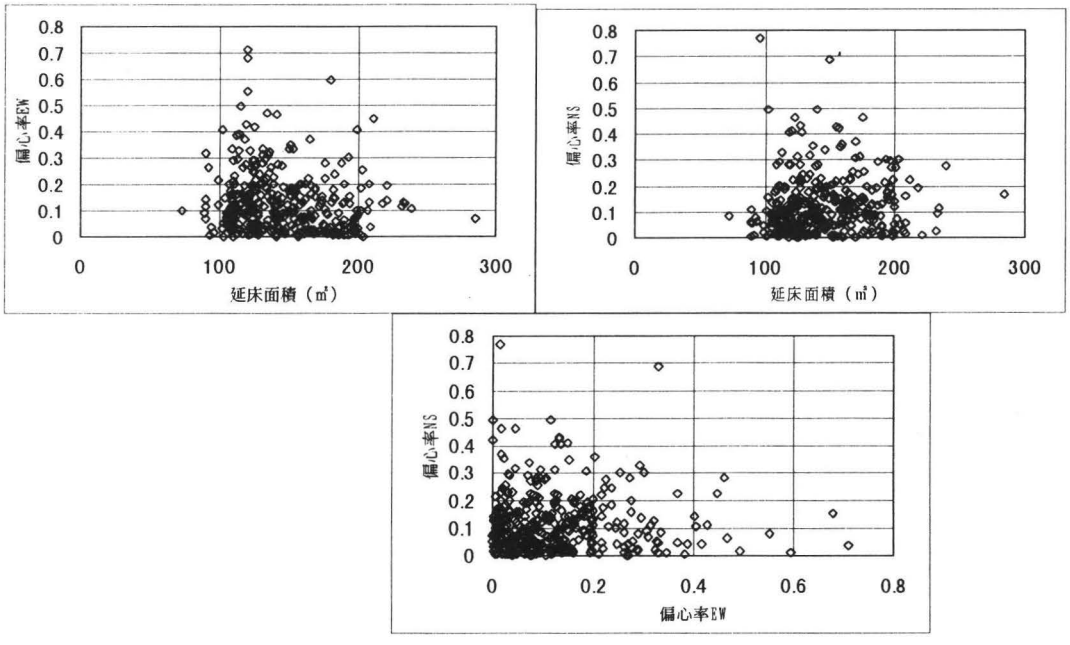


図 2-3　偏心率

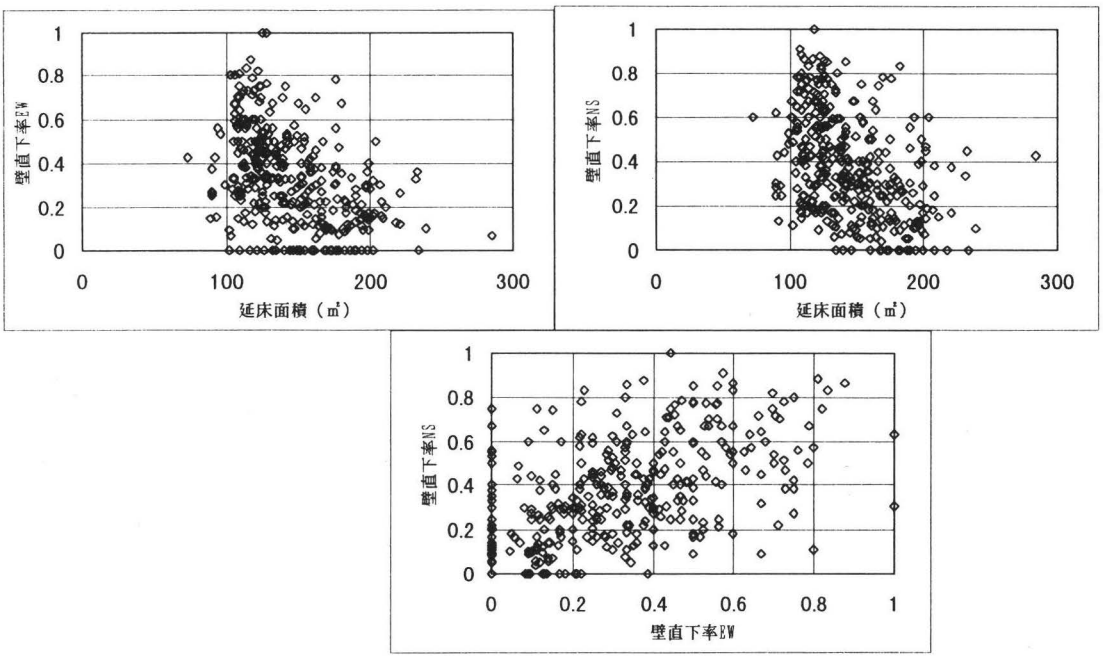


図 2-4　壁直下率

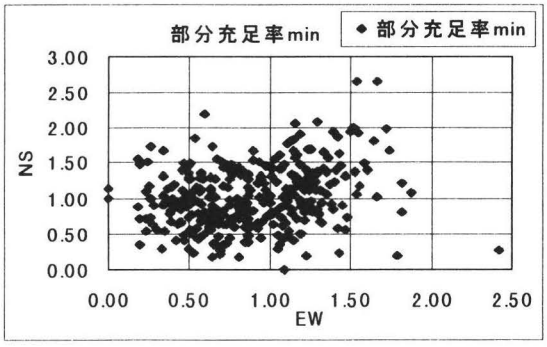


図 2-5　最低部分充足率の分布傾向

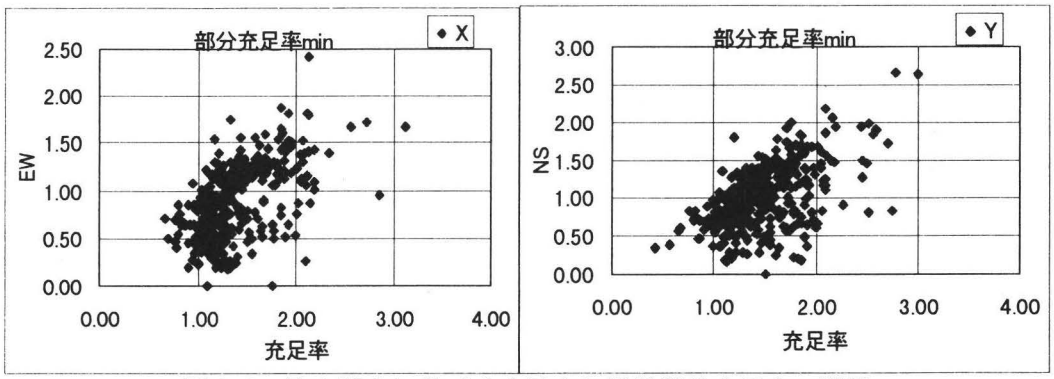


図 2-6　法定壁率に基づく充足率と最低部分充足率の関係

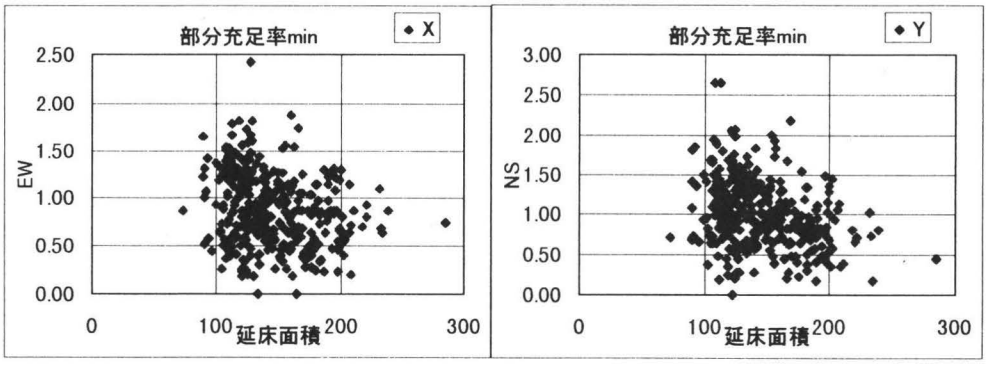


図 2-7　延べ床面積と最低部分充足率の関係

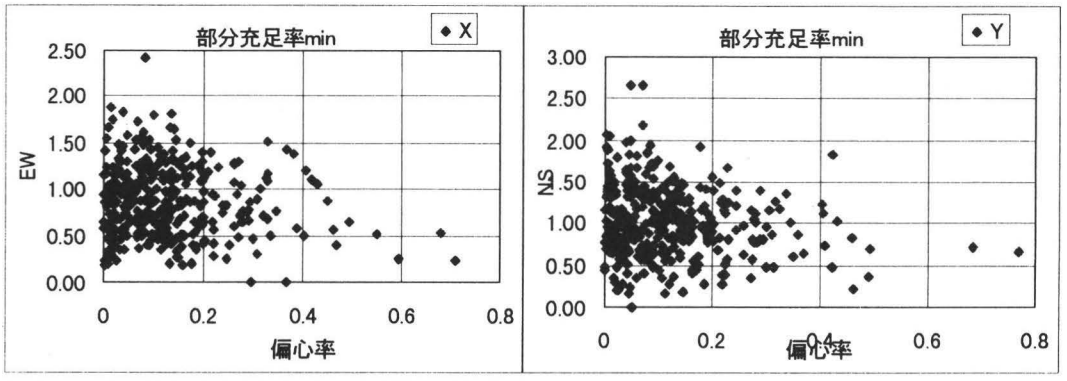


図 2-8　偏心率と最低部分充足率の関係

表 2-1　必要壁量算定の為の荷重仮定

標準せん断力係数 Co	0.2	0.2
耐力壁負担率	2/3	2/3
耐力壁負担率屋根荷重 w_R	重い屋根の場合 90Kg/㎡ 軽い屋根の場合 60kg/㎡	重い屋根の場合 90Kg/㎡ 軽い屋根の場合 60kg/㎡
壁荷重　w_w	60kg/㎡	60kg/㎡
積載荷重　w_L	60kg/㎡	60kg/㎡
固定荷重　w_D	50kg/㎡	50kg/㎡

表 2-2　耐力壁負担設定（区域分け）手順

手順	内容
1	耐力壁線の拾い出し （耐力壁線：耐力壁が設置されている通り芯）
2	コアの検討 （コア：２m以内の近接した耐力壁線をまとめたもの）
3	耐力壁線（コア）間の真ん中あたりに境界線を引き、床面積、壁量を算定する負担区域を設定する。 ただし、負担区域数が１の場合、および負担区域数が２で境界線が偏って引かれている（建物端から建物長さの１／３以内程度）ものに関しては、建物長さを１：２：１で分割し、３つの負担区域を設定する。

表 2-3　耐力壁負担設定（区域分け）手順

手順	内容
1	耐力壁線の拾い出し （耐力壁線：耐力壁が設置されている通り芯）
2	コアの検討 （コア：２ｍ以内の近接した耐力壁線をまとめたもの）
3	耐力壁線（コア）間の真ん中あたりに境界線を引き、床面積、壁量を算定する負担区域を設定する。 ただし、負担区域数が１の場合、および負担区域数が２で境界線が偏って引かれている（建物端から建物長さの１／４以内）ものに関しては、建物長さが８ｍ以上の場合は建物長さを１：２：１で分割し３つの負担区域を、建物長さが８ｍ未満の場合は建物長さを１：１で分割し２つの負担区域を設定する。

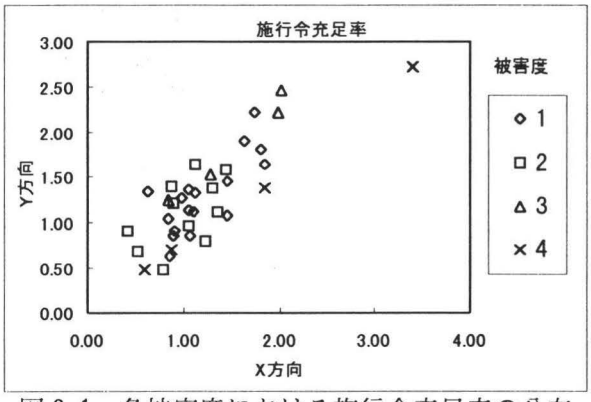


図 3-1　各被害度における施行令充足率の分布

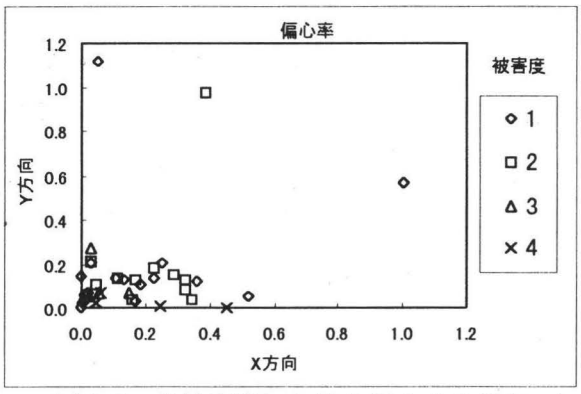


図 3-2　各被害度における偏心率の分布

表 3-1　分析対象

文献	分析対象資料番号
1)	0435,0626,0628,0629,0630
2)	W01,W02
3)	No1～13,15,17～19,24,25
6)	A,B
7)	C（と呼称する）
8)	Phase1,2,7（各々DP1,DP2,DP7 と呼称する）
9)	E と呼称する
10)	Phase1,2,5（各々FP1,FP2,FP5 と呼称する）

表 3-2　被害度の定義

被害度	名称	状況
4	倒壊、大破（全壊）	建物全体の倒壊、1/20rad 以上の傾斜
3	中破（半壊）	1/60～1/20rad の傾斜、外壁基礎が大きく剥落・破断、屋根瓦大きく崩落
2	小破（一部損壊）	1/60rad 以下の傾斜、外壁や基礎の一部に剥落・大亀裂、屋根瓦一部崩落
1	無被害、軽微（被害無し）	外壁や基礎の一部に小亀裂、屋根瓦の部分的なずれ、以下

表 3-3　充足率の計算法

種類	必要壁量	偏心補正
施行令充足率	建築基準法施行令	無し
施行令充足率 A	建築基準法施行令	Cre を乗じる
面積考慮充足率	各階床面積考慮	無し
面積考慮充足率 A	各階床面積考慮	Cre を乗じる
部分充足率	区分床面積考慮	無し

表 3-4　必要壁量算定の為の荷重仮定

標準せん断力係数 Co	0.2
耐力壁負担率	2/3
耐力壁負担率屋根荷重 W_R	重い屋根の場合 90Kg/m² 軽い屋根の場合 60kg/m²
壁荷重 W_W	60kg/m²
積載荷重 W_L	60kg/m²
固定荷重 W_D	50kg/m²

表 3-5　耐力壁負担設定（区域分け）手順

手順	内容
1	耐力壁線の拾い出し （耐力壁線：耐力壁が設置されている通り芯）
2	コアの検討 （コア：２ｍ以内の近接した耐力壁線をまとめたもの）
3	耐力壁線（コア）間の真ん中あたりに境界線を引き、床面積、壁量を算定する負担区域を設定する。ただし、負担区域数が１の場合、および負担区域数が２で境界線が偏って引かれている（建物端から建物長さの１／３以内程度）ものに関しては、建物長さを１：２：１で分割し、３つの負担区域を設定する。

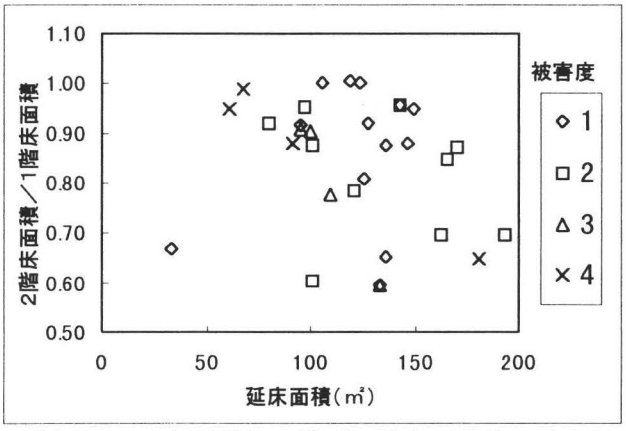


図 3-3　延床面積と２階／１階床面積比の分布

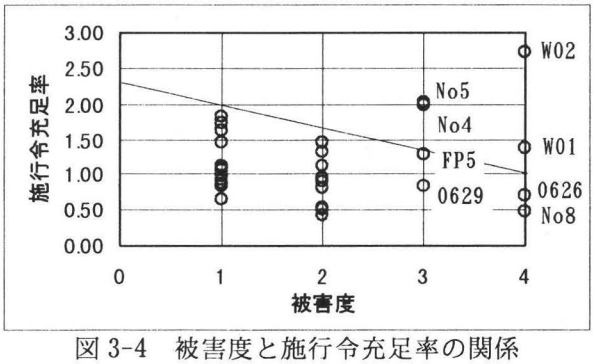


図 3-4　被害度と施行令充足率の関係

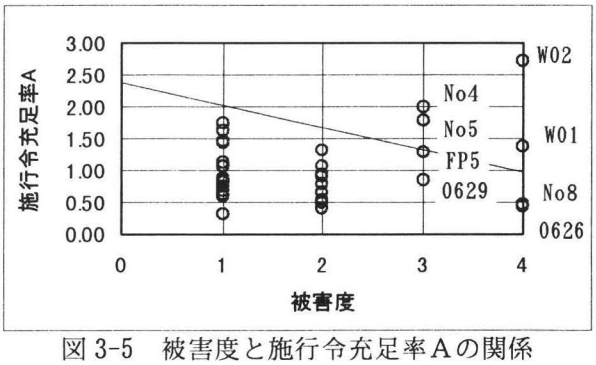


図 3-5　被害度と施行令充足率Ａの関係

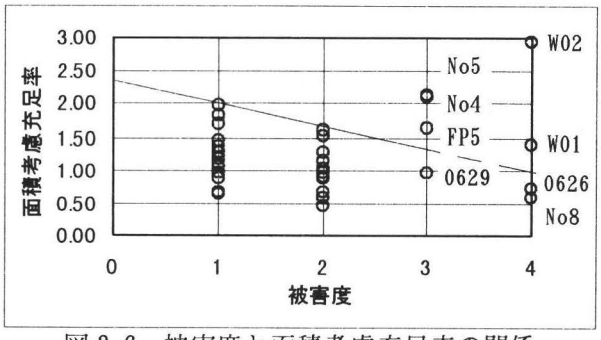


図 3-6　被害度と面積考慮充足率の関係

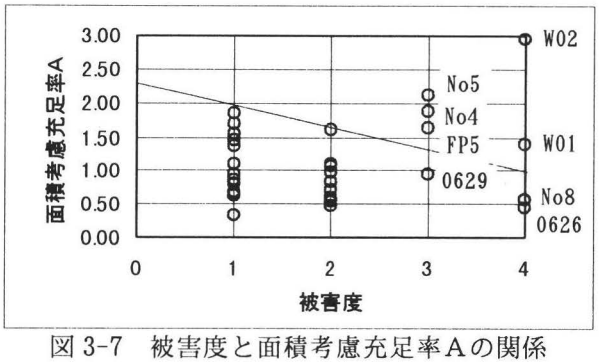


図 3-7　被害度と面積考慮充足率Ａの関係

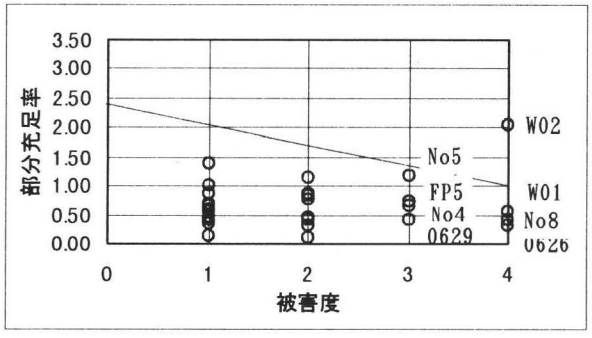


図 3-8　被害度と部分充足率の関係

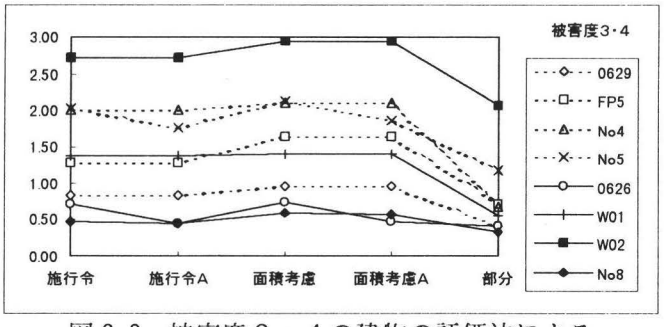
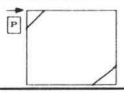
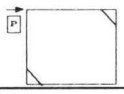
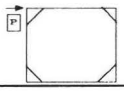
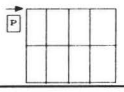
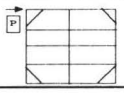


図 3-9　被害度３・４の建物の評価法による
充足率の変化

表 3-6　被害度 3 以上の建物の被害状況

番号	被害度	被害状況
0629	3	西側外壁損傷、瓦落下、クロス亀裂、内装合板座屈剥離、西側バルコニー大
FP5	3	加振方向合板釘抜け大、HD金物 4 本全て引っ張りで少し曲がる、1F残留変形東へ1/33
No4	3	中破
No5	3	中破
0626	4	大破(17/120傾斜)外壁モルタル1F亀裂・剥落、釘3本で締結された筋交いの引き抜き
W01	4	東西方向に1F残留変形1/10、筋交いは突付け釘打ち
W02	4	片筋交い（突付け釘打ち）、構造用合板壁、土台接合用金物なし（柱引き抜き、土台裂け、合板座屈せん断）
No8	4	大破、南面通し柱折れ、モルタル剥落、内装剥落

表 4-1　床構面耐力と剛性の仮定

	1/100 rad 時の耐力(kgf)	割線剛性(kgf/mm)
	100	2.7
	124	3.4
	401	11.0
	678	18.6
	1150	31.6

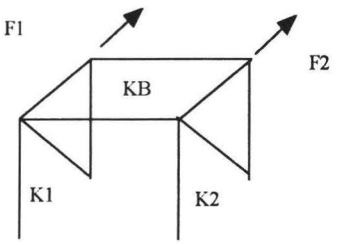


図 4-1　解析モデル

表 4-2　剛床仮定時の壁量で基準化した
強壁側の必要壁量比（x/(1-α)）

γ	α	α/γ	(x/(1-α))		
			β=0.3	β=0.6	β=1.2
0.2	0.1	0.50	1.5	1.2	1.1
0.3	0.1	0.33	3.0	1.5	1.2
	0.2	0.66	1.3	1.1	1.1
0.4	0.2	0.50	3.0	1.5	1.3
	0.3	0.75	1.3	1.2	1.2
0.5	0.2	0.4	×	2.0	1.4
	0.3	0.6	3.0	1.5	1.1
	0.4	0.8	1.5	1.2	1.2

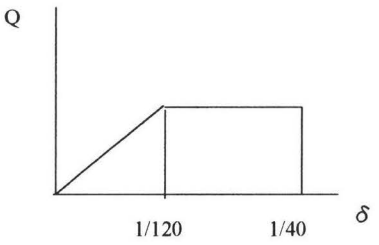


図 4-2　耐力－変位関係

表 4-3　剛床仮定時の壁量で基準化した
強壁側の必要壁量比（x/(1-α)）

γ	α	α/γ	(x/(1-α))		
			β=0.3	β=0.6	β=1.2
0.2	0.1	0.50	1.0	1.0	1.0
0.3	0.1	0.33	1.0	1.0	1.0
	0.2	0.66	1.0	1.0	1.0
0.4	0.2	0.50	1.0	1.0	1.0
	0.3	0.75	1.0	1.0	1.0
0.5	0.2	0.4	1.0	1.0	1.0
	0.3	0.6	1.0	1.0	1.0
	0.4	0.8	1.0	1.0	1.0

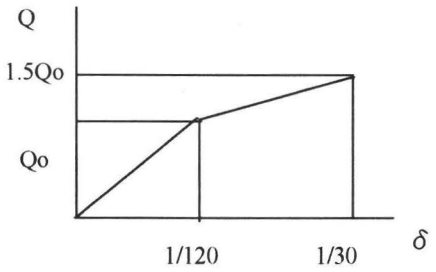


図 4-3　耐力－変位関係

表 4-4　剛床仮定時の壁量で基準化した
強壁側の必要壁量比（x/(1-α)）

γ	α	α/γ	(x/(1-α))			
			β =0.1	β =0.3	β =0.6	β =1.2
0.2	0.1	0.50	1.2	1.1	1.0	1.0
0.3	0.1	0.33	1.5	1.1	1.1	1.0
	0.2	0.66	1.2	1.1	1.0	1.0
0.4	0.2	0.50	1.5	1.1	1.1	1.0
	0.3	0.75	1.2	1.1	1.0	1.0
0.5	0.2	0.4	2.0	1.2	1.1	1.0
	0.3	0.6	1.5	1.1	1.1	1.0
	0.4	1.8	1.2	1.1	1.0	1.0

1-2　対流・放射・湿気連成シミュレーションによる結露発生の構造とカビ発生防止に関する研究

東京大学生産技術研究所

教　授　　村上　周三

1. 序文

1.1 本研究の背景と目的

住宅の高気密・高断熱化に伴い各種の室内空気汚染や、湿気の蓄積による結露、また結露の発生に伴うダニやカビの発生による健康障害などの問題が生じている。これら室内空気汚染に関わる様々な問題を回避することが、快適で健康的な生活空間を創造するための危急の課題となっている。
上記発生汚染物質の内、特にダニやカビの建材への繁殖による生物系の室内空気汚染物質の発生は、室内の温度や湿度等の温熱環境の状態と密接に関連している。即ち、カビ等にとってある程度快適な(高温多湿な)温熱環境でなければ繁殖することはない。従って、湿度を含めた室内の温熱環境を予測することは、建築建材における吸放湿過程並びに結露の発生構造を明らかにするのみならず、カビ等のその建材への繁殖を予測する上で非常に有用であると考えられる。本研究では、対流・放射・湿気連成シミュレーションを用いて、建物建材の湿気の蓄積構造並びに結露発生構造を解明し、それに伴う建材内のカビの発生を防止する手法を明らかにするシステムを開発する。

1.2 研究の方法と研究計画

以下の手順に従って研究を行う。
1)建物建材の熱特性・吸放湿特性に関する調査
2)建材中のカビ繁殖構造に関する文献調査
3)対流・放射・湿気連成シミュレーションによる室内湿度分布の予測
4)壁体のカビ発生予測とその防止法の開発

2．建物建材の熱特性・吸放湿特性に関する調査

―多孔質壁体内の熱・物質同時移動の物理過程の解明―

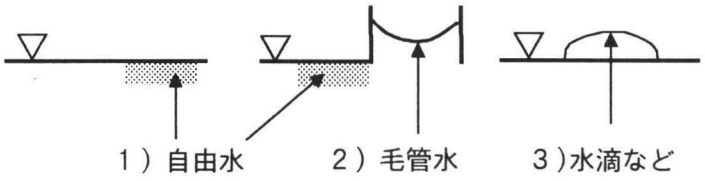


図１水の保有形態

多孔質壁体内の熱・物質同時移動の物理過程について、松本ら（文1、2）の既往の研究例を参照するとともに、非平衡熱力学における自由エネルギーの平準化過程により物質流束の駆動力のモデリングを行った。さらに壁体からの水分・物質の放散過程と吸着過程に関してもモデリングを行った。また、これらのモデル開発により、壁体までを含んだ対流・放射・物質・水分輸送連成シミュレーションコードのプロトタイプの開発を行った。

以下に本研究で検討した多孔質壁体内の熱・物質同時移動について概述する。

2．1　熱力学的平衡

(1) 水の質の評価尺度

自然界に存在する材料や人工的に作られた材料の多くは内部にある微細な孔や空隙に水分を保有している。水の表面の形状は図 1 のように自由水の状態では平坦であるが、多孔質内にあるような毛管水では凹型の曲面を形成し、水滴の表面は逆に凸型となる。自由水と比べて毛管水は負圧、水滴は正圧となっている。圧力の大小によって水分移動が行われることは容易に想像がつく。このように同量の水分であっても保有形態により質は異なるわけであるが、水の質を評価する尺度として水分ポテンシャルを用いることができる。以下にその理論を述べる。

(2) 化学ポテンシャル

化学ポテンシャルは平衡状態を扱う上での重要かつ有用な尺度であり、熱力学第1法則、第2法則から理論的に導くことができる。その導出方法を以下に紹介する。

熱力学の第1法則、第2法則を式(1), (2)に示す。なお化学ポテンシャルの導出にあたっては可逆過程を前提としている。

$$dU = d'W + d'Q \tag{1}$$

$$dS = d'Q/T \tag{2}$$

ここで、dU:内部エネルギーの変化量、d'W:外界に行う全仕事量、d'Q:外界からもらう熱量、dS:エントロピーの変化量、である。開放系における作動仕事 d'W'は次式で表される。

$$d'W' = PdV + d'W \tag{3}$$

式(1), (2), (3) から

$$d'W' = dU - TdS + PdV = (dG)_{T,P}$$

ただし $G = U - TS + PV \ (= H - TS)$ (4)

式(4)で与えられた状態量 G は Gibbs の自由エネルギーと称される。温度、圧力が等しい状態では G の変化は d'W'に等しい。さて d'W'は物質の出入りに伴う仕事量であるので次のように表せる。

$$d'W' = \sum_{i=1}^{r} \mu_i dn_i \tag{5}$$

ここで、dn はモルの微小変化、μ は物質の出入りに要する力を示す。

式(4)の一般形は式(5)を用いて次式で表される。

$$dG = -SdT + VdP + \sum_{i=1}^{r} \mu_i dn_i \tag{6}$$

上式から化学ポテンシャルが導かれる。

$$\mu_i = \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T,P,n_j} \tag{7}$$

化学ポテンシャルとは、温度、圧力が一定の下で他成分は変えずに成分 i を加えていったときの成分 i の 1 モルあたりの Gibbs の自由エネルギーの増加量を示す。化学ポテンシャルを陽の形式で表現するためモル当たりの諸量を定義する。すなわち、

$$\overline{S_i} = \left(\frac{\partial S}{\partial n_i}\right)_{T,P,n_j}$$

$$\overline{V_i} = \left(\frac{\partial V}{\partial n_i}\right)_{T,P,n_j} \tag{8}$$

$$\overline{\mu_{ij}} = \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial x_j}\right)_{T,P,x_i} = \left(\frac{\partial G}{\partial x_i \partial x_j}\right)_{T,P}$$

ここで x_i はモル分率である。式(6)を変形して化学ポテンシャルを表す次式が得られる。

$$d\mu_i = -\overline{S_i}dT + \overline{V_i}dP + \sum_{j=1}^{r}\mu_{ij}dx_j \tag{9}$$

(3) 気液平衡

式(9)にて組成一定、温度一定のとき

$$d\mu_i = \overline{V_i}dP \tag{10}$$

一方、理想気体の状態方程式から

$$P = \left(\sum n_i\right)\frac{RT}{V},\quad \overline{V_i} = \frac{RT}{P} \tag{11}$$

ダルトン則より分圧 $P_i = Px_i$ となるが、これをその微分で割ると x_i が一定であるとき次の関係が得られる。

$$\frac{dP_i}{P_i} = \frac{dP}{P} \tag{12}$$

式(10), (11), (12)から μ は次のように示される。

$$d\mu_i = RT\frac{dP}{P} = RT\frac{dP_i}{P_i} \tag{13}$$

ここで、自由水を基準とした水分ポテンシャル Ψ を考える。

$$d\Psi = R_v T\frac{dP_v}{P_v}$$
$$\Psi = R_v T\int_{Pvs}^{Pv}\frac{dP_v}{P_v} = R_v T\ln\frac{P_v}{P_{vs}} = R_v T\ln f \tag{14}$$

f は相対湿度である。従って、水の Ψ を知るためにはそれに平衡している空気の相対湿度を求めればよいことになる。なお、工学的視点から全圧Pを一定として扱う場合があり、式(12)の成立を暗黙に認める緩和的措置がとられている。

(4) 非平衡問題

現実の諸般の現象は非平衡・非線形状態にあることが多い。この種の問題を解析する常套的手段は局所的に平衡、線形性の成立を前提として系全体を解析するものである。熱水分同時移動現象の解析に係わる過去の実績からこの方法が意外に功を奏することが分かっている。

非平衡熱力学では平衡からあまり離れていない状態のとき局所の熱力学状態として次の Gibbs の式(式(4),(5)から導出)が成立すると仮定する。

$$dU - TdS + PdV = \sum_{i=1}^{r} \mu_i dn_i \tag{15}$$

ここで2つの系としてⅠ、Ⅱを考え、系間の熱移動量を d'Q、系内の熱移動量を $d\Phi$ とすると、式(15)は次のように表せる。

$$\begin{aligned} T^{\mathrm{I}} dS^{\mathrm{I}} &= d\Phi^{\mathrm{I}} - \sum_{i=1}^{r} \mu_i{}^{\mathrm{I}} dn_i{}^{\mathrm{I}} \\ T^{\mathrm{II}} dS^{\mathrm{II}} &= d\Phi^{\mathrm{II}} - \sum_{i=1}^{r} \mu_i{}^{\mathrm{II}} dn_i{}^{\mathrm{II}} \end{aligned} \tag{16}$$

質量保存則より

$$dn_i{}^{\mathrm{I}} = dn_i{}^{\mathrm{II}} \tag{17}$$

したがって、

$$dS = dS^{\mathrm{I}} + dS^{\mathrm{II}} = \frac{d\Phi^{\mathrm{I}}}{T^{\mathrm{I}}} + \frac{d\Phi^{\mathrm{II}}}{T^{\mathrm{II}}} \tag{18}$$

系内の熱移動 $d\Phi$ は図2に示す外界との熱交換 d_eQ と系内部の熱移動 $d_i\Phi$ の和なので

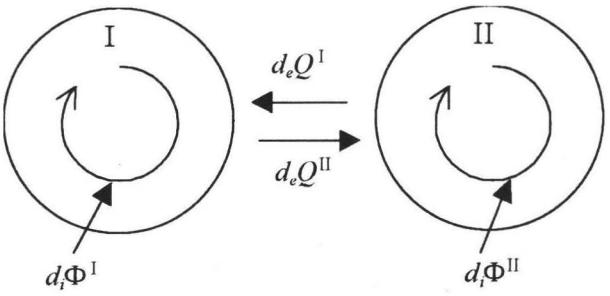


図2　系内の熱移動

$$\begin{aligned} d\Phi^{\mathrm{I}} &= d_eQ^{\mathrm{I}} + d_i\Phi^{\mathrm{I}} \\ d\Phi^{\mathrm{II}} &= d_eQ^{\mathrm{II}} + d_i\Phi^{\mathrm{II}} \end{aligned} \tag{19}$$

一方、系がもらう熱は次式で示すことができる。

$$
\begin{aligned}
d'Q &= d_eQ^{\mathrm{I}} + d_eQ^{\mathrm{II}} \\
&= d\Phi^{\mathrm{I}} + d\Phi^{\mathrm{II}}
\end{aligned}
\tag{20}
$$

式(18)～(20)を用いて

$$
\begin{aligned}
dS &= d_eS + d_iS \\
&= \frac{d_eQ^{\mathrm{I}}}{T^{\mathrm{I}}} + \frac{d_eQ^{\mathrm{II}}}{T^{\mathrm{II}}} + \left(\frac{1}{T^{\mathrm{I}}} + \frac{1}{T^{\mathrm{II}}}\right)d_i\Phi^{\mathrm{I}} + \sum\left(\frac{u_i^{\mathrm{I}}}{T^{\mathrm{I}}} + \frac{u_i^{\mathrm{II}}}{T^{\mathrm{II}}}\right)dn_i^{\mathrm{I}}
\end{aligned}
\tag{21}
$$

したがって

$$
d_iS = \left(\frac{1}{T^{\mathrm{I}}} - \frac{1}{T^{\mathrm{II}}}\right)d_i\Phi^{\mathrm{I}} - \sum\left(\frac{u_i^{\mathrm{I}}}{T^{\mathrm{I}}} - \frac{u_i^{\mathrm{II}}}{T^{\mathrm{II}}}\right)dn_i^{\mathrm{I}} \geq 0 \tag{22}
$$

式(22)をエントロピー生成速度で表すと次式になる。

$$
\frac{d_iS}{dt} = \left(\frac{1}{T^{\mathrm{I}}} - \frac{1}{T^{\mathrm{II}}}\right)\frac{d_i\Phi^{\mathrm{I}}}{dt} - \sum\left(\frac{u_i^{\mathrm{I}}}{T^{\mathrm{I}}} - \frac{u_i^{\mathrm{II}}}{T^{\mathrm{II}}}\right)\frac{dn_i^{\mathrm{I}}}{dt} \geq 0 \tag{23}
$$

ここで熱の流れJ_Q，物質の流れJ_i，駆動力をそれぞれ以下のように表す。

$$
J_Q = \frac{d_i\Phi^{\mathrm{I}}}{dt}, \quad J_i = \frac{-dn_i^{\mathrm{I}}}{dt}, \quad X_Q = \frac{1}{T^{\mathrm{I}}} - \frac{1}{T^{\mathrm{II}}}, \quad X_i = -\left(\frac{u_i^{\mathrm{I}}}{T^{\mathrm{I}}} - \frac{u_i^{\mathrm{II}}}{T^{\mathrm{II}}}\right) \tag{24}
$$

従って、式(23)は次式で表される。

$$
\frac{d_iS}{dt} = J_QX_Q + \sum J_iX_i \geq 0 \tag{25}
$$

体積当たりのエントロピー量S^+を用い、上式を微分形式で表すと以下のようになる。

$$
\begin{aligned}
\frac{d_iS^+}{dt} &= J_Q\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{T}\right) - \sum J_i\frac{d}{dx}\left(\frac{\mu_i}{T}\right) \\
&= J_Q\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{T}\right) - \sum J_i\frac{d}{dx}\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\mu_i}{T}\right)_T dx + \frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\mu_i}{T}\right)_x dT\right)
\end{aligned}
\tag{26}
$$

Gibbs-Helmholtsの式を用いる。

$$
\frac{\partial}{\partial T}\left(\frac{\mu_i}{T}\right) = -\frac{H_i}{T^2} \tag{27}
$$

ここで、H_iはi成分のエンタルピである。従って、式(26)は以下のようになる。

$$\frac{d_i S^+}{dt} = J_u \frac{d}{dx}\left(\frac{1}{T}\right) - \sum J_i \frac{d}{dx}\left(\frac{\mu_i}{dx}\right)_T \tag{28}$$

$$J_u = J_Q - \sum J_i H_i$$

これを駆動力で表示すると

$$\frac{d_i S^+}{dt} = J_u X_u + \sum J_i X_i$$

$$X_u = \frac{d}{dx}\left(\frac{1}{T}\right), \quad X_i = -\frac{1}{T}\left(\frac{\mu_i}{dx}\right)_T \tag{29}$$

ところで、エントロピー生成速度が

$$\frac{d_i S^+}{dt} = \sum J_\alpha X_\alpha$$

で表すことができるとき、流束Jと駆動力Xは共役であるといい、次のような線形結合が導かれる。

$$J_\alpha = \sum_\beta \ell_{\alpha\beta} X_\beta, \quad X_\alpha = \sum_\beta r_{\alpha\beta} J_\beta, \quad r_{\alpha\beta} = \frac{|\ell|_{\alpha\beta}}{|\ell|} \tag{30}$$

オーセンジャーの相反定理より

$$\ell_{\alpha\beta} = \ell_{\beta\alpha}, \quad r_{\alpha\beta} = r_{\beta\alpha} \tag{31}$$

2．2 熱物質同時移動モデルの定式化

(1) 熱物質同時移動モデルとは

熱物質同時移動モデル(Heat and Mass Transfer Model)とは多孔質中の熱物質移動現象に関する数理モデルである。地下水の流動、降水の浸透、汚水浄化、肥料成分の拡散など広範な問題に適用されているが、建築環境分野では松本による壁体内結露、吸放湿現象に係わる一連の研究が有名である。
式(30)は複数の種類の流束が駆動力と交差係数の線形結合で表示できることを示している。したがって、式(29)で示される駆動源の形式を用いた熱物質同時移動モデルの定式化を行うこともできるが、結局のところ、パラメータを実験的に求めざるを得ないことからフーリエ則、フィック則等の勾配拡散近似を基本とする表現を取ることが多い。

(2) 全熱型熱物質同時移動モデル

多孔質材料中における水分移動は、液水はダルシー則、水蒸気はステファン則を適用して次式で示される。

$$G_\ell = -D_{T\ell}\nabla T - D_{\Psi\ell}\nabla\Psi - gK$$
$$G_v = -D_{Tv}\nabla T - D_{\Psi v}\nabla\Psi \tag{32}$$

ここで、T：温度、Ψ：水分ポテンシャル、D：水分拡散係数である。ここでは、鉛直上向きを座標の正方向としている。この場合、温度と水分ポテンシャルの勾配を駆動力としているが、温度と体積含水率を駆動力とする定式化も見られる。

全水分流束G_Tは次式で表される。

$$G_T = G_\ell + G_v = -D_{T\ell}\nabla T - D_{\Psi\ell}\nabla\Psi - gK - D_{Tv}\nabla T - D_{\Psi v}\nabla\Psi \tag{33}$$

よって全水分量Θ_tの収支は次のようになる。

$$\frac{\partial\Theta_t}{\partial t} = -\nabla(G_T)$$
$$= \nabla(D_{T\ell} + D_{Tv})\nabla T + \nabla(D_{\Psi\ell} + D_{\Psi v})\nabla\Psi + g\nabla K \tag{34}$$

なお、全水分量Θ_tは次式で定義される量である。

$$\Theta_t = \rho_\ell\theta_\ell + \rho_v\theta_v \tag{35}$$

次に、純熱伝導流束Q_c、液水および水蒸気のエンタルピ流速としてQ_ℓ、Q_vを考える。各流束に関する式は次のように表される。

$$Q_c = -\lambda\nabla T$$
$$Q_\ell = h_\ell G_\ell \cong -c_\ell(T - T_0)(D_{T\ell}\nabla T + D_{\Psi\ell}\nabla\Psi + gK) \tag{36}$$
$$Q_v = h_v G_v \cong -\{r_0 + c_v(T - T_0)\}(D_{Tv}\nabla T + D_{\Psi v}\nabla\Psi)$$

λは純熱伝導率（水分移動影響がないとした場合のもの）、hは基準温度をT_0としたエンタルピを表す。全熱流束Q_tに関して次式を得る。

$$Q_t = Q_c + Q_\ell + Q_v = -\nabla\lambda\nabla T + h_\ell G_\ell + h_v G_v$$
$$= -\nabla\lambda\nabla T - c_\ell(T - T_0)(D_{T\ell}\nabla T + D_{\Psi\ell}\nabla\Psi + gK) \tag{37}$$
$$-\{r_0 + c_v(T - T_0)\}(D_{Tv}\nabla T + D_{\Psi v}\nabla\Psi)$$

したがって、全熱量h_tの収支式は式(38)のように書ける。

$$\frac{\partial h_t}{\partial t} = -\nabla Q_t$$
$$= \nabla\lambda\nabla T + c_\ell \nabla(T-T_0)D_{T\ell}\nabla T + c_\ell \nabla(T-T_0)D_{\Psi\ell}\nabla\Psi + c_\ell g\nabla(T-T_0)K \quad (38)$$
$$+\nabla\{r_0 + c_v(T-T_0)\}D_{Tv}\nabla T + \nabla\{r_0 + c_v(T-T_0)\}D_{\Psi v}\nabla\Psi$$

右辺の第1項は純熱伝導、第2項は温度勾配による液水エンタルピの伝導、第3項はマトリックポテンシャルの勾配による液水エンタルピの伝導、第4項は重力による液水エンタルピの伝導、第6項はマトリックスポテンシャルによる水蒸気エンタルピの伝導である。なお、全熱量h_tは、マトリックス、液水、水蒸気、の各構成要素が保有するエンタルピであり、次式で定義される。

$$h_t = h_m\theta_m + h_\ell\theta_\ell + h_v\theta_v$$
$$\cong c_m\rho_m\theta_m(T-T_0) + c_\ell\rho_\ell\theta_\ell(T-T_0) + r_0\rho_v\theta_v + c_v\rho_v\theta_v(T-T_0) \quad (39)$$
$$= (c\rho)(T-T_0) + r_0\rho_v\theta_v$$

$c\rho$は湿り材料の体積熱容量である。式(34),(39)に示された定式化は全水分量、全熱量を従属変数としており、全熱型(あるいは全熱水分型)のモデルであるといえる。

(3) 顕熱型熱物質同時移動モデル

全熱型熱物質同時移動モデルの解析には十分な有効桁数を必要とするので、これを直接数値解析した例は少なく、温度マトリックスポテンシャルを陽形式に表した後、スキーム化する方法が考えられている。水蒸気のエンタルピを相変化熱に変換して熱収支に組み込む方法を用いることから顕熱型熱物質同時移動モデルと呼ぶことができる。

まず、全水分量の収支式について以下の方法で陽形式に変換する。

$$\frac{\partial\Theta_t}{\partial t} = \frac{\partial(\rho_\ell\theta_\ell + \rho_v\theta_v)}{\partial t}$$
$$\cong \rho_\ell\left(\frac{\partial\theta_\ell}{\partial\Psi}\frac{\partial\Psi}{\partial t} + \frac{\partial\theta_\ell}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial t}\right) + \rho_v\left(\frac{\partial\theta_v}{\partial\Psi}\frac{\partial\Psi}{\partial t} + \frac{\partial\theta_v}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial t}\right) + \theta_v\left(\frac{\partial\rho_v}{\partial\Psi}\frac{\partial\Psi}{\partial t} + \frac{\partial\rho_v}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial t}\right) \quad (40)$$

$$\frac{\partial\theta_v}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial T}(\theta_{\max} - \theta_\ell) = -\frac{\partial\theta_\ell}{\partial T}$$
$$\frac{\partial\theta_v}{\partial\Psi} = \frac{\partial}{\partial T}(\theta_{\max} - \theta_\ell) = -\frac{\partial\theta_\ell}{\partial\Psi} \quad (41)$$

式(14)を適用し

$$\frac{\partial \rho_v}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial T}(\rho_{vS} h) = h\frac{\partial \rho_{vS}}{\partial T} + \rho_{vS}\frac{\partial[\exp(\Psi / R_v T)]}{\partial T} = h\frac{\partial \rho_{vS}}{\partial T} - \rho_{vS} h\frac{\ln h}{T}$$
$$\frac{\partial \rho_v}{\partial \Psi} = \frac{\partial}{\partial \Psi}(\rho_{vS} h) = h\frac{\partial \rho_{vS}}{\partial \Psi} + \rho_{vS}\frac{\partial[\exp(\Psi / R_v T)]}{\partial T} \cong \frac{\rho_{vS} h}{R_v T} \tag{42}$$

したがって

$$\frac{\partial \rho_v \theta_v}{\partial t} = \frac{\partial \Psi}{\partial t}\left[(\theta_{\max} - \theta_\ell)\frac{\rho_{vS} h}{R_v T} - \rho_{vS} h\frac{\partial \theta_\ell}{\partial \Psi}\right]$$
$$+\frac{\partial T}{\partial t}\left[(\theta_{\max} - \theta_\ell)\left(h\frac{\partial \rho_{vS}}{\partial T} - \rho_{vS} h\frac{\ln h}{T}\right) - \rho_{vS} h\frac{\partial \theta_\ell}{\partial T}\right] \tag{43}$$

式(34), 式(40)～(43)から

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t}\left[(\theta_{\max} - \theta_\ell)\frac{\rho_{vS} h}{R_v T} + (\rho_\ell - \rho_{vS} h)\frac{\partial \theta_\ell}{\partial \Psi}\right]$$
$$+\frac{\partial T}{\partial t}\left[(\theta_{\max} - \theta_\ell)\left(h\frac{\partial \rho_{vS}}{\partial T} - \rho_{vS} h\frac{\ln h}{T}\right) + (\rho_\ell - \rho_{vS} h)\frac{\partial \theta_\ell}{\partial T}\right] \tag{44}$$
$$= \nabla(D_{T\ell} + D_{Tv})\nabla T + \nabla(D_{\Psi\ell} + D_{\Psi v})\nabla \Psi + g\nabla K$$

相変化量Sを用いると、水分収支式は以下のように表せる。

$$\frac{\partial \rho_\ell \theta_\ell}{\partial t} = -\nabla G_\ell - S$$
$$\frac{\partial \rho_v \theta_v}{\partial t} = -\nabla G_v + S \tag{45}$$

次に全熱量の式を顕熱型に変換する。式(39)

$$\frac{\partial h_t}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}\left[(c_m \rho_m \theta_m + c_\ell \rho_\ell \theta_\ell + c_v \rho_v \theta_v)(T - T_0) + r_0 \rho_v \theta_v\right]$$
$$= c\rho\frac{\partial T}{\partial t} + T\frac{\partial}{\partial t}(c_\ell \rho_\ell \theta_\ell + c_v \rho_v \theta_v) + r_0\frac{\rho_v \theta \partial}{\partial t} \tag{46}$$
$$= c\rho\frac{\partial T}{\partial t} + h_\ell\frac{\partial \rho_\ell \theta_\ell}{\partial t} + h_v\frac{\partial \rho_v \theta_v}{\partial t}$$

ここで、r_tを相変化熱($= h_v - h_t$)とすると、式(38), (44), (46)より

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial t} - h_\ell \nabla G_\ell - h_v \nabla G_v - r_T S$$
$$= \nabla\lambda\nabla T - \nabla h_\ell G_\ell - \nabla h_v G_v = \nabla\lambda\nabla T - h_\ell \nabla G_\ell - G_\ell \nabla h_\ell - h_v \nabla G_v - G_v \nabla h_v$$

さらに式(43)から次式が導かれる(Matsumoto)。

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} r_T \left[(\theta_{\max} - \theta_\ell) \frac{\rho_{vS} h}{R_v T} - \rho_{vS} h \frac{\partial \theta_\ell}{\partial \Psi} \right]$$

$$+ \frac{\partial T}{\partial t} \left[c\rho + r_T (\theta_{\max} - \theta_\ell) \left(h \frac{\partial \rho_{vS}}{\partial T} - \rho_{vS} h \frac{\ln h}{T} \right) - r_T \rho_{vS} h \frac{\partial \theta_\ell}{\partial T} \right] \tag{47}$$

$$= \nabla \lambda \nabla T + r_T \nabla (D_{Tv} \nabla T + D_{\Psi v} \nabla \Psi) - G_\ell c_\ell \nabla T - G_v c_v \nabla T$$

Milly 型の変換を行うと、

$$\frac{\partial h_t}{\partial t} = c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + r_T \frac{\partial \rho_v \theta_v}{\partial t} - h_\ell \nabla (G_\ell + G_v)$$

$$= -\nabla (-\lambda \nabla T + h_\ell G_\ell + h_v G_v) = -\nabla (-\lambda \nabla T + r_T G_v + h_\ell (G_\ell + G_v)) \tag{48}$$

$$= \nabla (\lambda \nabla T + r_T D_{Tv}) \nabla T + \nabla r_T D_{\Psi v} \nabla \Psi - (G_\ell + G_v) \nabla h_\ell - h_\ell \nabla (G_\ell + G_v)$$

従って、

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} r_T \left[(\theta_{\max} - \theta_\ell) \frac{\rho_{vS} h}{R_v T} - \rho_{vS} h \frac{\partial \theta_\ell}{\partial \Psi} \right]$$

$$+ \frac{\partial T}{\partial t} \left[c\rho + r_T (\theta_{\max} - \theta_\ell) \left(h \frac{\partial \rho_{vS}}{\partial T} - \rho_{vS} h \frac{\ln h}{T} \right) - r_T \rho_{vS} h \frac{\partial \theta_\ell}{\partial T} \right] \tag{49}$$

$$= \nabla (\lambda + r_T D_{Tv}) \nabla T + \nabla r_T D_{\Psi v} \nabla \Psi - (G_\ell + G_v) c_\ell \nabla T$$

De VRIES 型の変換を行うと、

$$\frac{\partial h_t}{\partial t} = c\rho \frac{\partial T}{\partial t} + r_T \frac{\partial \rho_v \theta_v}{\partial t} - h_\ell \nabla (G_\ell + G_v)$$

$$= \nabla \lambda \nabla T - G_\ell c_\ell \nabla T - G_v c_v \nabla T - h_\ell \nabla G_\ell - h_v \nabla G_v$$

$$= \nabla \lambda \nabla T - G_\ell c_\ell \nabla T - G_v c_v \nabla T + r_T \nabla (D_{Tv} \nabla T + D_{\Psi v} \nabla \Psi) - h_\ell (G_\ell + G_v)$$

$$\cong \nabla (\lambda + r_T D_{Tv}) \nabla T + r_T \nabla D_{\Psi v} \nabla \Psi - G_\ell c_\ell \nabla T - G_v c_v \nabla T - h_\ell (G_\ell + G_v)$$

したがって

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} r_T \left[(\theta_{\max} - \theta_\ell) \frac{\rho_{vS} h}{R_v T} - \rho_{vS} h \frac{\partial \theta_\ell}{\partial \Psi} \right]$$

$$+ \frac{\partial T}{\partial t} \left[c\rho + r_T (\theta_{\max} - \theta_\ell) \left(h \frac{\partial \rho_{vS}}{\partial T} - \rho_{vS} h \frac{\ln h}{T} \right) - r_T \rho_{vS} h \frac{\partial \theta_\ell}{\partial T} \right] \tag{50}$$

$$= \nabla (\lambda + r_T D_{Tv}) \nabla T + r_T \nabla D_{\Psi v} \nabla \Psi - G_\ell c_\ell \nabla T - G_v c_v \nabla T$$

図2－3は、水蒸気移動が流入出の際、もしくは流入後内部にて生ずる相変化熱を見積もる各種のモデルを図示したものである。モデルAは、水蒸気の流入出時に相変化熱を仮定している(Milly 型)。モデルBでは、温度勾配による水蒸気移動のみ流入出時に相変化熱を仮定し、その他の移動水蒸気は内部の相変化熱として扱っている(De VRIES 型)。

モデルCは、水蒸気関連は全て内部での相変化熱と見なすケースである(Matsumoto 型)。全熱型熱物質同時移動モデルではエンタルピ流として熱流をとらえているので現象に最も近い記述になっているが、顕熱流として整理するには相変化熱の条件設定が必要になり、モデルにより顕熱流束の構成が変わってくるので注意が必要である。実測で得られる熱伝導率は相変化を含んだ等価の値でしかなく、純熱伝導率や全熱流の計測は実質的に不可能である。Milly 型、Matsumoto 型は原理に忠実なモデルとなっているが、De VRIES 型は熱伝導率の実測値をそのまま使える形式である点、実用性を重視しているといえる。

(4) 蒸気拡散支配の場合の熱水分移動方程式

以上では、相変化を含む熱物質(水分)同時移動モデルの既往の研究について検討を行った。しかしながら、多孔質内の含水率が十分に低く、液相水分の移動が小さい場合、すなわち蒸気拡散支配の場合には、$\theta_\ell \approx 0$とみなせる。従って、水蒸気と温度の拡散方程式は次式のように表すことができる。

$$\frac{\partial \rho_v \theta_v}{\partial t} = \nabla D_{Tv} \nabla T + \nabla D_{\Psi v} \nabla \Psi \tag{51}$$

$$\frac{\partial c_m \rho_m (T - T_0) + c_v \rho_v \theta_v}{\partial t} \tag{52}$$

$$= \nabla \lambda \nabla T + \nabla \{ r_0 + c_v (T - T_0) \} D_{Tv} \nabla T + \nabla \{ r_0 + c_v (T - T_0) \} D_{\Psi v} \nabla \Psi$$

更に、水蒸気と温度が独立な式で表され、伝導率λ, D_{Tv}, $D_{\Psi v}$が一定として取り扱うことができると仮定すれば

$$\rho_v \frac{\partial \theta_v}{\partial t} + \theta_v \frac{\partial \rho_v}{\partial t} = D_{Tv} \nabla^2 T + D_{\Psi v} \nabla^2 \Psi \tag{53}$$

$$c_m \rho_m \frac{\partial (T - T_0)}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + \{ r_0 + c_v (T - T_0) \} \frac{\partial \rho_v \theta_v}{\partial t} \tag{54}$$

ここで平衡含水率の関係式より

$$\frac{\partial \theta_v}{\partial t} = \frac{\partial \theta_v}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial t} + \frac{\partial \theta_v}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{55}$$

である。ここでXは絶対湿度。

$$\rho_v \frac{\partial \theta_v}{\partial X} = \kappa(X, T) \tag{56}$$

$$\rho_v \frac{\partial \theta_v}{\partial T} = -\nu(X, T) \tag{57}$$

とおき、また

$$\theta_v \frac{\partial \rho_v}{\partial X} = \Phi_0 \gamma' \frac{\partial X}{\partial t} \tag{58}$$

ただし Φ_0 は絶乾時の材料の空隙率、γ' は乾燥空気の密度である。これより

$$(\Phi_0 \gamma' + \kappa)\frac{\partial X}{\partial t} - \nu \frac{\partial T}{\partial t} = D_X \nabla^2 X \tag{59}$$

$$-\{r_0 + c_v(T - T_0)\}\kappa \frac{\partial X}{\partial t} + (c_m \rho_m + \{r_0 + c_v(T - T_0)\}\nu)\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T \tag{60}$$

となる。絶対湿度、温度の変化の範囲があまり大きくなければ、κ ＝一定、ν ＝一定とおけるから、式(59), (60)は線形方程式となり、解析的な解を求めることができる。これがいわゆる $\kappa - \nu$ モデルである。

本節の記号

γ :温度[K]
P :圧力[Pa]
V :体積[m^3]
f :相対湿度[%]
U :内部エネルギー[J]
h :エンタルピ[J]
G :Gibbs の自由エネルギー
H :Helmholtz の自由エネルギー
S :エントロピー
R :気体定数
n :全モル数
n_i :成分 i のモル数
x_i :成分 i のモル分率
Ψ:水分ポテンシャル

Θ_t :全水分量
ρ_ℓ :液水密度
ρ_v :水蒸気密度
θ_ℓ :液水含水率
θ_v :水蒸気含水率
$D_{T\ell}$:温度勾配による液水の拡散係数
$D_{\Psi\ell}$:水分ポテンシャル勾配による液水の拡散係数
D_{Tv} :温度勾配による水蒸気の拡散係数
$D_{\Psi v}$:水分ポテンシャル勾配による水蒸気の拡散係数
λ :熱伝導率

本研究成果は、「建材からの揮発性物質放散メカニズムのモデル化と数値解析(その1)(その2)」「建材からの揮発性物質放散の解明とその数値予測に関する研究(その1)(その2)」(1998 年度建築学会関東支部研究報告集, pp.205-220)にまとめられている。

3. 建材中のカビ繁殖構造に関する文献調査

3. 1　空気と水と室内のカビ

カビが生きるためには水分が必要であるが、一般に建物の壁体には極微量の水分しか含まれず、それだけでは、カビに対して十分生育可能な条件とはなっていない。しかしながら、カビは空気中の水蒸気を吸収して繁殖することが可能である。すなわち、相対湿度が高いほどカビは繁殖しやすくなるといえる。

表1は水分の利用能力から微生物を分けたものである。細菌は水分の多い場所でしか育たないので、水を使わない室内では繁殖不可能である。好湿性カビはカビの中では最も湿気の高い所で育つカビで、相対湿度 90%以上の環境で生育する。この様なカビは住宅の中では流し台や浴室でよく見かける。好湿性カビのアルタナリアもクラドスポリウムも黒い汚れとして現れる。中湿性カビは相対湿度 80%以上で成長する。雨が降れば住宅の中も相対湿度が 80%を超えるので中湿性カビが育つことができる。中湿性カビのアスペルギルスやペニシリウムが成長して胞子が出来ると、多くの場合くすんだ青色から緑色になる。最も乾燥した環境で生きることが出来るカビが好乾性のカビで、相対湿度 65%以上で成長する。収納箇所も夏は相対湿度が 70%を超える状態を保つことが多くなり、好乾性カビが育ちやすくなる。好乾性カビが生えてきても、黒色になることはないので水周りのカビほど目立たないが、絵画や美術品では問題である。好乾性カビでも最適の相対湿度は 90%付近である。一般に、相対湿度が高い環境ほどカビの生長速度は速く、また生長できるカビの種類も多くなる。

3. 2　カビ指数

室内のどこでどのくらいカビ汚染が起こるかを予測できれば、あらかじめ対策を立てることが可能である。「カビ汚染が起こる」ということは、「その場所はカビが生長できる環境である」ということである。阿部ら文2)3)は、このカビの生長可能性を示す指標としてカビ指数を提案している。これは、カビ発育環境調査用フィルムにカビの胞子(アスペルギルス・ペニシロイデス(好乾性)、ユーロチウム・ハーバリオルム(好乾性)、クラドスポリウム・ハーバルム(好湿性)、アルタナリア(好湿性)の4種)とともに栄養源を埋め込み、任意の温度並びに湿度条件のもとで1週間後の菌糸の発育度合いの調査データにより、壁体温度並びに壁体内の相対湿度をパラメータとして任意の温熱環境下での1週間後のカビの発生のしやすさを100分率で表したものである。ここでいうカビの発生のしやすさとは、定量的環境下で1週間に伸びた菌糸の長さを基準環境下で生長させた菌糸の長さと比較している。すなわち、1週間に伸びた菌糸が長いときほど調査環境のカビ指数は高い値になる。図3に、カビ指数の気候図を示す。これにより壁体内の温度と相対湿度がわかれば、その時のカビ発生予測が可能となる。壁体内の温度と相対湿度の予測法については次節で解説する。

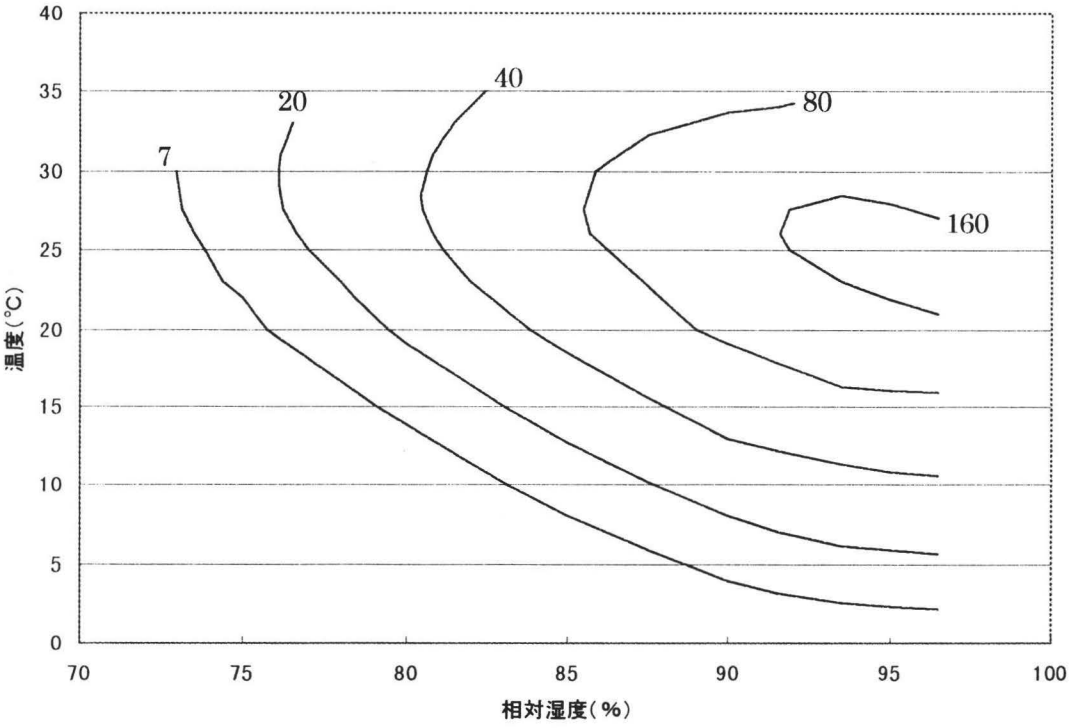


図3 カビ指数の気候図[文1)2)]
(センサー菌:ユーロリチウム・バーバリオルム J183)

4. 壁体内熱水分移動と室内気流解析の連成シミュレーション

本節では、3節で解説したκ－ν型熱水分同時移動モデルと、従来の標準k-εモデルを用いた対流計算を連成したシミュレーション手法の構築を行い、室内における熱発生、水蒸気発生が壁体内の温湿度にどのような影響を及ぼすかについて検討を行う。特に換気の効果が壁体内の温湿度に及ぼす影響について検討を行う。

4．1　計算対象(図4．1)

1辺5m の正方形型2次元室内を対象とする。室内中心部において 0.5kW ，0.4g/s の熱湿気のポイントソースがあるものとする。この発生量は、ほぼ沸騰したやかんに相当する。また周壁は、厚さ10cmのALC板とする。

外気温並びに室温 20℃、絶対湿度 0.009kg/kg(室温 20℃にて、相対湿度約 60%)の定常状態(静穏状態)から、密閉状態で、図1に示すポイントソースより熱湿気を10分間発生させたのち、発生を止めて10分間放置した場合の熱湿気移動達成の非定常計算を行った。

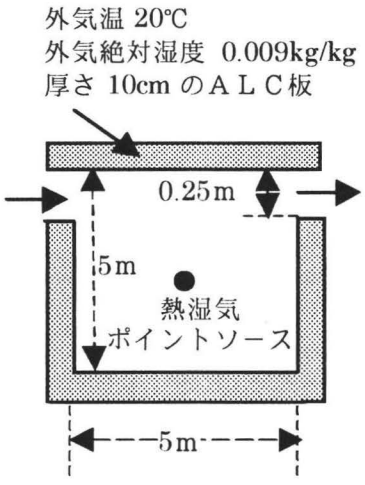


図１　計算対象

4．2　計算ケース

熱湿気発生停止後、換気なしで放置したケース、並びに換気を行ったケースの2ケースの計算を行い、換気の効果を検討した。

換気吹出口速度は 1m/s 換気口幅は 0.25m(換気回数36回に相当)とした。

4．3 計算に用いたモデル

室内気流場を解析するための乱流モデルは、標準型k-εモデルを使用。壁体内の熱水分移動解析には、κ-νモデルを用いた。これらの基礎方程式を表1に示す。

表1　基礎方程式

室内気流計算(k-εモデル)

連続の式 $$\frac{\partial\langle u_i\rangle}{\partial x_i}=0 \qquad ①$$

運動方程式 $$\frac{\mathbf{D}\langle u_i\rangle}{\mathbf{D}t}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial\langle P\rangle}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\nu_t\left(\frac{\partial\langle u_i\rangle}{\partial x_j}+\frac{\partial\langle u_j\rangle}{\partial x_i}\right)+g_i\beta\langle\Delta\theta\rangle \qquad ②$$

エネルギー方程式 $$\frac{\mathbf{D}\langle\theta\rangle}{\mathbf{D}t}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\theta}\frac{\partial\langle\theta\rangle}{\partial x_j}\right) \qquad ③$$

絶対湿度の方程式 $$\frac{\mathbf{D}\langle X\rangle}{\mathbf{D}t}=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\nu t}{\sigma_X}\frac{\partial\langle X\rangle}{\partial x_j}\right) \qquad ④$$

乱流エネルギーの方程式 $$\frac{\mathbf{D}k}{\mathbf{D}t}=P_k+G_k+\mathbf{D}_k-\varepsilon \qquad ⑤$$

εの方程式 $$\frac{\mathbf{D}\varepsilon}{\mathbf{D}t}=\mathbf{D}_\varepsilon+\frac{\varepsilon}{k}\left(C_{\varepsilon1}P_k+C_{\varepsilon3}G_k-C_{\varepsilon2}\varepsilon\right) \qquad ⑥$$

$$\nu_t=c_\mu\frac{k^2}{\varepsilon} \qquad P_k=-\langle u_i'u_j'\rangle\frac{\partial\langle u_i\rangle}{\partial X_j} \qquad Gk=g_i\beta\langle u_i'\theta'\rangle$$

$$\mathbf{D}_K=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k}\frac{\partial K}{\partial x_j}\right) \qquad \mathbf{D}_\varepsilon=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon}\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right)$$

$c_\mu=0.09$　$\sigma_\theta=0.9$　$\sigma_X=1.0$　$\sigma_K=1.0$　$\sigma_\varepsilon=1.0$

$c_{\varepsilon1}=1.44$　$c_{\varepsilon2}=1.92$　$c_\varepsilon=1.44$

また室内においては相対湿度ϕが100%を越えても凝結せず、過飽和の状態を保つものとする。

壁体内熱水分移動計算（$\kappa-\nu$モデル）

熱移動の式　$$(c\rho+r\nu)\frac{\partial\theta}{\partial t}-r\kappa\frac{\partial X}{\partial t}=\lambda\frac{\partial^2}{\partial x_j^2}\theta \qquad ⑦$$

水分移動の式　$$(\Phi_0\gamma'+\kappa)\frac{\partial X}{\partial t}-\nu\frac{\partial\theta}{\partial t}=\lambda'_X\frac{\partial^2}{\partial x_j}X \qquad ⑧$$

ただし　$\kappa=\dfrac{\partial\varphi}{\partial X}$ $(kg/m^3\,kg/kg)$　$\nu=-\dfrac{\partial\varphi}{\partial\theta}$ (kg/m^3K) ： X，θの

変化が小さければ　κ＝一定，　ν＝一定とおける。

φ：含水量$[kg/m^3]$ ，ϕ_0：空隙率$[m^3/m^3]$，γ'：絶乾時の空気密度$[kg/m^3]$

λ：熱伝導率$[J/m^2s℃]$，r：相変化熱$[J/kg]$，λ_x：湿気伝導率　$[kg/ms(kg/kg)]$

本研究では熱水分同時移動の計算としては第一段階を考えているため、液水の移動は考慮せず、気相水の移動のみを考える。即ち、⑦式、⑧式を用いる。

境界条件

熱の境界条件　$$-\lambda\frac{\partial\theta}{\partial n}=\rho c_p u_*\theta_* \qquad ⑨$$

水分の境界条件　$$-\lambda'_X\frac{\partial X}{\partial n}=\rho c_p u_* X_* \qquad ⑩$$

ただし、θ_*，X_*は一般化対数則より与える。

4．4　計算結果

図4．2に熱湿気発生10分後の気流・温度・絶対湿度分布を示す。図 2(3)、(4)は壁体内の温湿度を示している。但し、理解を容易にするため壁体厚を 10 倍厚くして表示している。

熱湿気発生から10分間は発熱源からの熱プリュームの発生により上昇流が発達し、室内上部において循環流が形成される。また、循環流により若干の乱れがあるものの、温度成層も形成される。壁体壁体内へは流体に較べ熱湿気は非常にゆっくりと伝わっていく。

図 3 に熱湿気停止 10 分後で換気なしの場合の気流・温度・湿度分布を示す。

熱湿気停止後は、1、2分でほぼ循環流が消滅し静穏な気流状態となる。室内気温分布は循環流の消滅により強い温度成層が形成される。この温度成層は長時間持続する。壁体内では、室内側壁体に蓄えられた熱湿気が壁体内部へとゆっくりと伝播する。

図4に熱湿気停止10分後で換気ありの場合の気流・温度・湿度分布を示す。
熱湿気停止かつ換気した場合は5、6分で室内の熱は換気により効果的に排出されほぼ一定温となる。気流は、換気により、大きな循環流が室内に形成される。壁体内においては、換気により、室内側天井面より温度と湿度が低下していく。従って、換気は室内の熱湿気を除去するのみならず、壁体内の熱湿気を効果的に除去することができる。

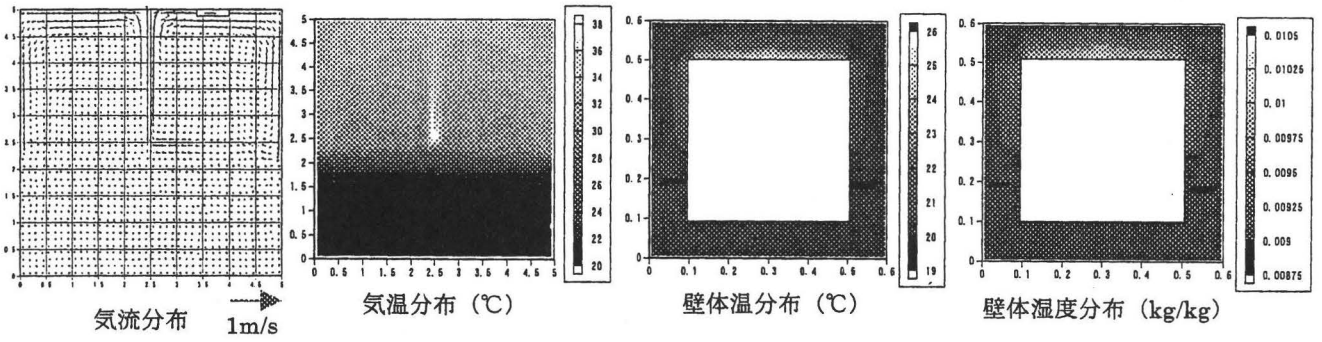


図4．2　熱湿気発生10分後の気流・温度・湿度分布

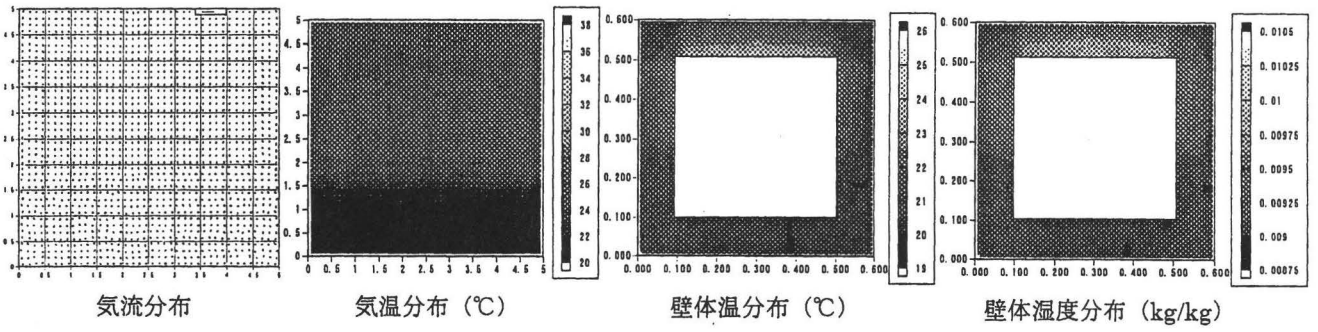


図4．3　熱湿気停止10分後の気流・温度・湿度分布（換気なし）

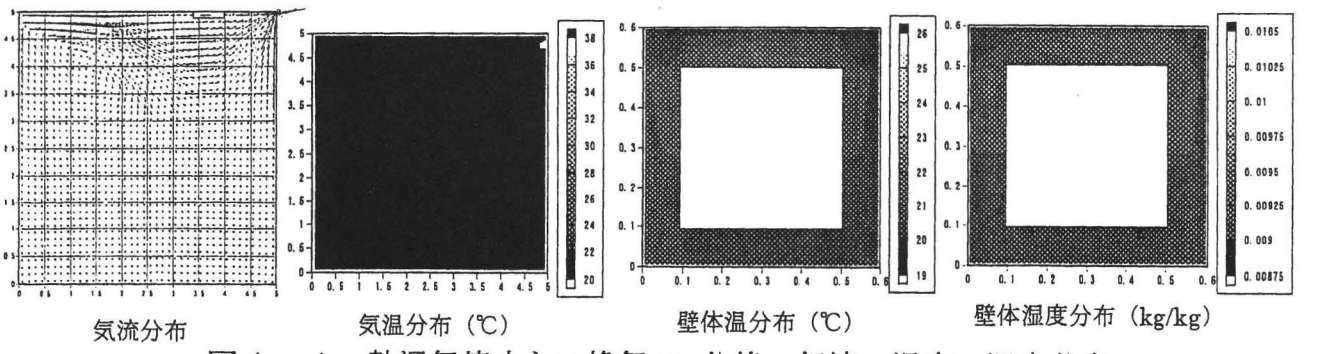


図4．4　熱湿気停止かつ換気10分後の気流・温度・湿度分布

5. まとめと今後の課題

本研究では、熱湿気同時移動モデルとカビ発生に関する既往の研究例の文献調査を行い、壁体内湿度予測とカビ発生予測に関するシミュレーションコードのプロトタイプの作成を行った。これにより室内環境条件の下で、建材におけるカビ発生可能性を事前に予測することが可能となる。今後引き続き行う研究テーマは以下の通りである。

(1)カビ発生防止のための各種建築設計のデータベースの作成
様々な室内条件、壁体条件のもとで開発したシミュレーションコードを利用して、壁体内の結露並びにカビの発生予測を行い、建築設計のためのデータベースとする。また建材の変化のみならず、加圧注入剤や室内における除湿機の利用が壁体内湿度にどのような影響を及ぼすか、等についてもシミュレーションを行う。これらのデータベースは、快適かつ健康的な住空間を創造するための新しい建材の開発のための一助となることが期待される。

(2)シミュレーションコードの改善と高精度化
本研究で作成したシミュレーションコードで用いられている熱湿気同時移動モデルは、$\kappa-\nu$ モデルという水蒸気拡散が支配的な場で用いられる簡易なものである。今後、液水移動もともなう熱水分同時移動場の解析を行うためには、皿に高精度な熱水分同時移動モデルを組み込む必要がある。そのためには、湿度勾配による壁体の湿気伝導率のみならず、温度勾配による水分伝導率が必要となる。しかしながら、現在これら壁体の水分伝導率が十分に整備されているとは言えない。今後更に文献調査並びに実験を実施することにより、各種建材におけるこれらの物性データを整備する必要がある。

文1)松本　衛:建築壁体における熱・水分同時移動および水分蓄積に関する研究、学位論文、1978
文2)松本　衛:新建築学大系10　環境物理　3湿気、彰国社、1984
文3)阿部恵子:好乾性カビをバイオセンサーとする室内環境評価法、防菌防黴誌　21, pp.557-563, 1993
文4)K. Abe:A Method for Numerical Characterization of Indoor Climates by a Biosensor using a Xerophilic Fungus, Indoor Air 3, pp.334-348, 1993

1-3　環境調和型住宅・建材用接着剤の開発に関する研究

岐阜大学工学部

教　授　　紙村　知之

テーマ実施報告書

①本研究の背景と目的

住宅・建材産業において多量の接着剤が使用されている。これは溶剤系接着剤が使われてきたが、溶剤の蒸発による、作業員への健康被害や環境汚染が極めて大きな問題になっており非溶剤系の新しい接着剤の開発が求められている。このためには水系接着剤を用いるのが良いが、水の蒸発に多くのエルギーを要するため、未だ現実に使用可能な接着剤の開発の例は多くはない。申請者らは高分子の界面科学的性質に関する研究をおこなっており、とくに最近では、親水性と疎水性の両親媒性をもつ多成分系高分子が水中で特異な挙動をする事を動的接触角の測定から明らかにしている。特に、親水性と疎水性の側鎖を持つアクリル酸エステル共重合体の後退接触角はその組成に大きく依存する。これらの結果から、特定の組成のものでは高分子／水界面において、親水性と疎水性の両方のセグメントがバランスよく吸着・配向する事を明らかにした。この特性を用いることにより、この共重合体は水系（エマルジョン）接着剤への応用が期待できる。

本研究では親水性側鎖を持つﾒﾄｷｼﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(MPEGMA)、疎水性側鎖を持つﾎﾟﾘｼﾞﾒﾁﾙｼﾛｷｻﾝﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(PDMSMA)とﾎﾟﾛﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(MPPGMA)及び、ﾒﾁﾙﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(MMA)からなる三元重合体（MPEGMA/PDMSMA/MMA, MPEGMA/MPPGMA/MMA）のラジカルによるエマルション重合法を開発し、これらの三元重合体のエマルジョン接着剤を合成する。ついで、作成したエマルション接着剤により住宅建築に用いられるプラスチックス（とくにポリ塩化ビニル）等の各種素材を接着し、その接着特性を検討する。

②研究の方法

a. 試料

表1,表 2に使用したモノマー及び試薬の分子構造を示す。メチルメタクリレート(MMA, キシダ化学)、スチレン（東京化成工業 KK）は市販のものを用いた。ﾎﾟﾘｼﾞﾒﾁﾙｼﾛｷｻﾝﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(PDMSMA, MW =2000 の信越化学工業 KK X-24-8201) はポリジメチルシロキサンを側鎖として有するメタクリレートで極めて低い表面エネルギーを有するため疎水成分として用いた。MPEGMA, MPPGMA はそれぞれポリオキシエチレンとポリオキシプロピレンがメトキシ基でエンドキャップされたグリコール鎖を側鎖として有するメタクリレートであり、MPEGMA は親水性成分,MPPGMA は疎水性成分として用いた。(PEG, PPG の繰り返し単位数はそれぞれ 23(M-230G) ,20(M-200G) /新中村化学工業 KK)。アクリル酸（AA）は系の凝集力を増加させるために他のモノマーの全量に対して 1～3wt%を添加した。

乳化剤は表2に示す2つの乳化剤を混合して所定の混合比で用いたNewcol-707SF（日本乳化剤KK）は陰イオン系、プルロニックF-68 （旭電化工業KK）は非イオン系界面活性剤である。

開始剤としては通常の水溶液開始剤、ペルオキソ二硫酸アンモニウムを用い、重合度調節及びコアギュレーション（凝固）防止のため連鎖移動剤として1-ドデカンチオールの所定量を同時に添加した。

b.乳化重合について

乳化重合は、水を媒体とした水系乳化重合と非水系乳化重合に分けられる。一般的は水系が主である。基本的には、水または媒体に不溶であるモノマーをイオン性または非イオン性界面活性剤（乳化剤）を用いて乳化させ、媒体に可溶な開始剤で重合させて1μm以下の粒子からなるエマルションを生成させる。例えば、スチレンまたはブタジエンのような水に不溶の疎水性モノマーを水中に乳化させるには乳化剤が用いられる。その乳化重合機構は数ナノメーター程度の乳化剤ミセル中にモノマーが可溶化され、モノマー油滴と乳化剤ミセルが共存し、水溶性開始剤によって水相に発生したラジカルが可溶化ミセル内に入って重合が開始され、油滴から拡散してきたモノマーが供給されて重合が進み、粒子は成長する4)。そして水が重合熱を分散するので温度調節が容易で重合が早く、得られた重合体の分子量も大きくなるが、界面活性剤を添加するためにそれらが不純物になりやすい。それゆえエマルションを粉末状に取り出すときには塩析、濾過、水洗、乾燥のような手間のかかる作業が必要になる。乳化重合の重合方法には、モノマーを乳化剤と共に乳化させたモノマーエマルションを滴下させる滴下重合法、最初にモノマーエマルションを容器内に仕込んで重合させるバッチ式があり、さらに乳化剤なしで行う無乳化剤重合方法が近年盛んに行われており、単分散性に優れた純度の高い無乳化剤高分子粒子が得られる方法もある。またあらかじめ調製された種粒子（シード）の存在下で、新たなミセルが形成されないように行うシード重合と呼ばれる技法では別な組成、機能をもった複合エマルション粒子が得られ、その応用性の高さから工業的に注目されている。

c.重合方法

重合容器（図1）は攪拌機、温度計、滴下口、窒素吹き込み口を備えたセパブル4つ口フラスコを用いた。水（イオン交換水）に2種類（Newcol-707SF，プロニックF-68 ） の乳化剤（計2wt%）を混合し、乳化水溶液を調製した。2種類の乳化剤を混合するのは共重合成分それぞれに適合する界面活性を発現させるためである。乳化剤水溶液に極性の低いモノマーを順次加え、各10 分程度携帯ミキサーを用いて攪拌し乳化させモノマープ

レ乳化物を作製した。その後、開始剤としてペルオキソ二硫酸アンモニウム水溶液(0.5wt%/Mo.)と連鎖移動剤(CTA,ドデカンチオール 1～3wt%/MO)を加えてさらに攪拌させた後、約 10 分間静置して分離が生じない安定したものを最終的なモノマーエマルションとした。その間に水(イオン交換水)を予め重合容器に入れ、窒素雰囲気下で温度を80～85℃に昇温させ待機した。用いた水量はモノマーエマルション中及び容器中に含まれる水、併せてモノマーに対して 130～150%程度であった。重合容器内へ得られたモノマーエマルションを送液ポンプ(図.1)を用い,一定速度で約 3～3.5h かけて滴下させ重合を行った。滴下終了後、温度(80～85℃)、攪拌を維持させたままで 2～2.5h の熟成を行った後、重合を終了した。得られたポリマーエマルションはアンモニア水によって中和(PH7～8)し、100 または 200 メッシュスクリーンを用いて濾過したものを最終生成物とした。

③研究の計画と進捗状況

本研究を始めるに当たり以下のような研究計画を作成した。

ﾒﾄｷｼﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(MPEGMA)、ﾎﾟﾘｼﾞﾒﾁﾙｼﾛｷｻﾝﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(PDMDMA)、ﾒﾁﾙﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(MMA)及びﾎﾟﾛﾌﾟﾛﾋﾟﾚﾝｸﾞﾘｺｰﾙﾒﾀｸﾘﾚｰﾄ(MPPGMA) からなる組成の異なる三元重合体(MPEGMA/PDMSMA/MMA, MPEGMA/MPPGMA/MMA)のラジカルによるエマルジョン重合法を開発する。ここではアクリルモノマーのエマルジョン重合の技術を有するマルバン株式会社に協力を要請する。ついで,作成したエマルジョン接着剤により住宅建築に用いられる木材、プラスチックス(とくにポリ塩化ビニル)等の各種素材を接着し、その接着特性を検討する。また、 実際の建築用接着剤としての可能性を検討するためにﾀｲﾙﾒﾝﾄ株式会社に協力を要請する。

上記二社の協力を得て計画した研究を行った。その結果上記のエマルションの合成に成功した。これらのエマルション接着剤により接着したポリ塩化ビニルの接着強度を測定した結果,一定の改良を必要とするが,この方法で実用可能な接着剤を製造することが可能であることが明らかとなった。

④今までに得られた成果

a. 共重合体エマルションの合成

○重合条件の影響

本研究では重合条件、特にコモノマーであるアクリル酸(AA)や連鎖移動剤(CTA)の量によるエマルションの性状変化を観察した。表 3,表 4 に合成したポリマーエマルションの種々の重合条件による重合結果を示す ポリマーエマルションは表 3 に示した重合条件で合成した。重合の基本条件は以下の通りであ

る。

2種類の乳化剤（Newcol-707SF +プルロニック F-68、計 2wt% / Mo.）

CTA：2wt% /Mo.

AA(アクリル酸)の添加量：3wt% /Mo.

脱イオン水量：Mo.×1.3(160g)

重合温度：80℃

重合時間：滴下+熟成=5 時間。

これらの内，重合温度、CTA 及び重合時間を変化させ，生成エマルションの様相を観察した。表 4 の結果を見るといずれもモノマー重合においてもコモノマーである（MPPGMA,MPEGMA, PDMSMA）の量が増加すると重合系が容易にコアギュレートした。コアギュレーションを生じない条件はコモノマーの合計量がほぼ 40wt%以下である。一方、コモノマーの合計量が 20wt%以下ではどのモノマー種でもエマルションの性状は低粘度なラテックスであり、同じく 20～30wt%ではクリーム状の性状を示した。これらのことからポリマーエマルションの存在形態はコモノマーの合計量に依存することがわかった。ただし疎水性成分である MPPGMA が 30wt%,親水性成分である MPEGMA が 0wt%の時のみ、例外的に低粘度なラテックスであった。従ってコモノマーの中でも最も系に影響を与えるのは親水性成分である MPEGMA であり、その強い水和力や側鎖間凝集力の大きさによって重合系の進行状態が理想的な乳化重合機構から逸脱していくものと考えられる。また疎水性成分である MPPGMA も MPEGMA ほど顕著な変化は示さないが、同じグリコール側鎖を有するので MPEGMA との相互作用により重合系に影響を与えるものと思われる。

次に同じ組成で CTA 及び重合時間（熟成時間）を変化させたときのポリマーエマルションの性状について述べる。ひとつは MMA/MPPGMA/ MPEGMA= 80/10/10 で、もう一方は MMA/PDMSMA/MPEGMA=70/15/15 の重合系でそれぞれ性状はラテックス、クリームで大きな変化は認められなかったが系の粘度に差異が生じた。すなわち前者は CTA 量の減少、熟成時間の増加によって粘度が上昇し、後者は CTA 量の減少によって粘度は大きく増大した。以上のことから CTA 量の減少により系の重合度が増加し、熟成時間の増加によって重合体粒子の凝集性が強くなることで粒径が増大した結果、共に粘度が上昇したものと思われる。しかしこれ以上の極端な条件変化ではやはり重合系は速やかにコアギュレートした。従って、乳化重合の方法、条件によるポリマーエマルションの特性制御はコモノマーの量、バランス及び添加物などの条件が適度な範囲にあるとき可能であ

ることが判明した。

○共重合体エマルションのキャラクタリゼーシ

GPC によって測定した代表的な試料の分子量を表 5 に示す。

一般に乳化重合では高重合度・高分子量(>10^5)の重合体が得られるが本研究における重合体は溶離溶媒(クロロホルム)への溶解が極めて困難であったため、濾過後の清澄な可溶部分のみの測定を行った。塩析後のエマルションは溶離溶媒以外の数種の溶媒にも不溶であったことから、架橋若しくは部分架橋を生じているものと考えられる。これは乳化重合ではその機構上、副反応が生じやすく、また架橋点をもつアクリル酸や水和しやすいモノマー MPEGMA を含有するためであろう。表から各ポリマーエマルションの分子量は数平均分子量(Mn)で 1～2×10^4、多分散度(Mn/Mw)で 1.3～2.2 とほぼ同様な値を示すことからもクロロホルム可溶部分のみ、すなわち未架橋のオリゴマーの分子量を示していることがわかる。ポリマーエマルションの分子量(重合度)は絶対値だけでなく、極限粘度(dl/g)をもって示すので架橋を生じやすい重合ではさらに粘度法による測定への転換が必要であろう。また工業面、実用面から考えると架橋現象は必ずしも不利でなく、特に架橋剤を添加しなくとも架橋するので、耐水性向上等の点からも有利である。

○AFM による観察

図 1に AFM によって観察したエマルション表面を示す

図 1-a～図 1-d はそれぞれ図示した組成のポリマーエマルション表面の AFM 3-D 像である。図 4-a,図 4-b は主モノマーの組成の大きいエマルション表面で、スケールは異なるがどちらもほぼ均一な粒径分布をもつ粒径約 200nm のエマルション粒子が観察された。表 4 で示したようにこれらのポリマーエマルションの粘度は低く、良好なラテックスが生じていることから粒径がより小さく、分布が均一であることがコアギュレーションを生じないラテックスを生成させる条件であることがわかった。次に図.4-c 及び図,4-d は共に主モノマーが 70wt%、すなわち親水性及び疎水性成分の MPEGMA,MPPGMA が併せて 30wt%添加されたポリマーエマルション表面で明らかに粒径が大きく、また d では形状も不均一であることがわかる。これは MPEGMA,MPPGMA の組成が増加するとエマルションの安定性が減少し、コアギュレーションが生じやすくなる傾向と一致し、粒径の大きさや形状がその主要因になることが予想される。更にそれらの成因は MPEGMA,MPPGMA のグリコール側鎖の水和等による強い凝集や架橋点を生成する AA(アクリル酸)によるところが大きいものと考えられる。しかしながら図.4-c では粒径は大きいものの形状は比較的均一であり、エマルションの様相もクリーム状でコアギュレーションが生じないので MPEGMA,MPPGMA 両成分がバランス良く存在す

ることも良好なエマルション形成にとって有効な条件となるであろう。

b. 接着特性の評価

○引張接着強度

これらの試験の方法及び材料はは JIS(Japan Industrial Standard,日本工業規格)に従って測定した。その結果を表6に示す。建築材料用接着剤に要求される性質は強度や安全性のみならず、作業性の高さが重要で被着体への塗布性が高いことが強度増加にとっても必要である。溶剤系の接着剤の場合、系の粘度は溶媒量によって調節が可能であるがエマルション型の接着剤ではその調節が困難で、乳化重合の良し悪しによるところが大きい。従って本来、粘度が低いものは組成を変化させないで増粘剤によって系の粘度を増粘させることが必要である。以上のことを考慮して本研究に用いたエマルション型接着剤には塗布性を良好にするため、低粘度のものには増粘剤を添加して作業性を向上させた後、試験を行った。 この系の接着剤に必要な引張強度は 0.98N/mm^2(160kgf)と言われており、表からはこれを上回る強度を示したのは現在のところ、存在しなかった。強度に対する主モノマー種依存性は小さく、いずれも主モノマー量が多いものは必要強度の 10 分の 1 から 5 分の 1 であった。しかし疎水性成分が MPPGMA , PDMSMA のものを同成分で比較すると MPPGMA 系の方が明らかに高い強度を示した。(測定試料中、最高強度を示した。)これは疎水成分の凝集力の相違によるものと考えられ、MPPGMA の方が同じグリコール種を含有した MPEGMA や MMA とより強固な粒子団を形成し、よりリジットになることで高い強度を示すもの考えられる。これらの結果からも親水性成分 MPEGMA,疎水成分に MPPGMA をバランス良く、含有した(共に＞10wt%)ポリマーエマルションは引張接着強度のような力学的特性も比較的良好であることがわかった。一方、増粘剤の有無による強度差は同組成を比較した場合、増粘剤を含有した方が高い値を示したが、顕著な増加は認められず、物理的にも影響は小さいものと思われる。また、殆んどの試料の破壊形態は凝集破壊であった。このことはエマルション接着剤の凝集力が被着体界面との接着力より低いことを示す。

○はく離試験

はく離試験については，日本工業規格に従って90度はく離試験をおこなった．結果を表 7 に示す。90 度剥離試験においても粘度の低いものには増粘剤を添加した後、測定した。表から引張試験の結果と同様に全てのモノマー種、組成で低い剥離強度を示した。この系の接着剤に必要な剥離強度は 19.6N/25mm(2kgf/25mm)であり、試料の中で最高値を示した MMA/MPPGMA/ MPEGMA=70/15/15(wt%)でも N/25mm(0.7kgf/25mm)と必

要強度の 3 分の 1 であった。通常、引張接着強度と剥離強度が求める物性はそれぞれ剛性(Rigidity)と靭性(Toughness)であり、実際的にはこの 2 特性の両立を高いレベルで達成することは困難であるとされている。本研究における測定試料は引張、剥離共に強度は低く、今後の改良が大いに必要であることがわかった。しかしながら、そのなかでも上述した MMA/MPPGMA /MPEGMA＝70/15/15(wt%)は引張強度でも実用強度に近く、剥離強度においても最も高い値を示したことから今後の改良によって実用に耐えうる特性を持ち得る可能性を見出した。

⑤残る問題点と対策

上記の結果ではく離強度が不十分であったので，これを改良するために，今後も本研究を継続し，以下の項目について検討する。

1.内部凝集性を増加し,架橋点を生成しうる AA(アクリル酸)を増量させるための,重合手法を改良する。(現方法では AA を増量すると(>3wt%)重合途中でコアギュレートする。)

2.他の粘着性に優れたコモノマーを添加して重合を行う。

例えば EA(エチルアクリレート),BA(ブチルアクリレート)等を添加する。

3.本剥離試験において、破壊形態がすべて界面破壊だったことから界面で乳化重合物特有の不純物、すなわち乳化剤や連鎖移動剤が W.B.L.(Weak boundary Layer)になっている可能性がある。従ってそれらを本質的になくすような重合、例えば無乳化剤重合等を試みる。

⑥研究発表の実績及び予定

本研究を本年 8 月 17～19 日に中国ハルピン市で開催される'2000 China Conference on Adhesion Academic Discussion and Adhesive Products Exhibition'で発表する予定である.

⑦実用化対策

当面，上記問題点の改良の研究を続行し，実用可能になった段階で，マルバン株式会社及び株式会社タイルメントに協力を依頼し，実用化に取り組みたい。

表１　重合用モノマーの化学構造

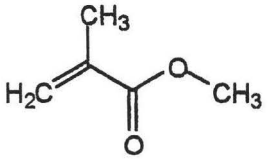
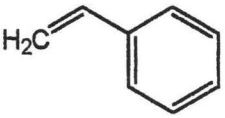
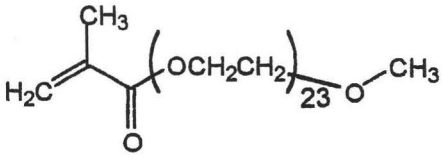
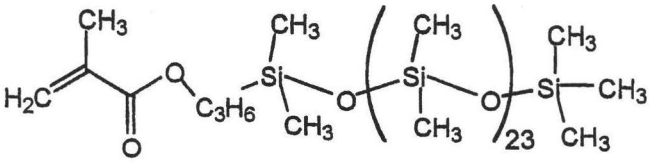
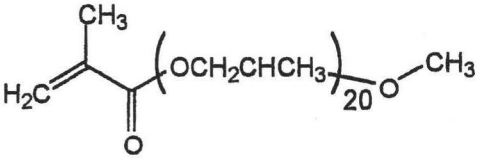
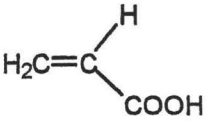
モノマー	構造
メチルメタクリレート (MMA)	
スチレン (St)	
メトキシポリエチレングリコールメタクリレート (MPEGMA)	
ポリジメチルシロキサンメタクリレート (PDMSMA)	
メトキシポリプロピレングリコールメタクリレート (MPPGMA)	
アクリル酸 (AA)	

表 2　乳化重合用試薬の化学構造

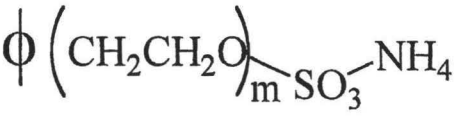
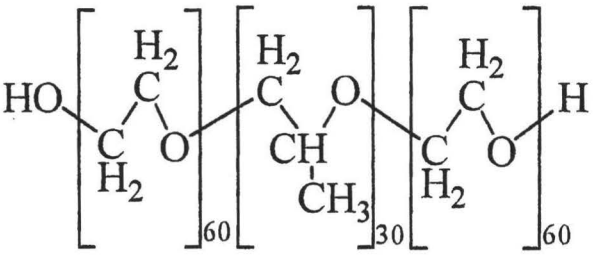
試 薬	構 造
ポリオキサイドエチレンポリサイクリックフェニルエーテル硫酸エステルアンモニウム塩；乳化剤（Newcol707SF）	 ϕ：多環フェニル基
エチレンオキサイド/プロピレンオキサイド/エチレンオキサイドブロックコポリマー；乳化剤（Pruronic F-68）	
1-ドデカンチオール；連鎖移動剤	$C_{12}H_{25}-SH$
過硫酸アンモニウム；開始剤	$(NH_4)_2-S_2O_8$

表 3 合成した高分子エマルションの重合諸条件

MMA/MPPGMA/MPEGMA (wt%)	乳化剤	AA(%)*1	CTA(%)*2	脱イオン水 (g)	温度 (℃)	時間 滴下＋熟成
60 /20 /20	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	85	3h+2h
70 / 5 /25	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3h+2h
70 /25 /5	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	85	3.5h+2h
70 /0 /30	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3.5h+2h
70 /30 /0	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	85	3h+2h
70 /12.5 /12.5	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3h+2h
70 /15 /15	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3.5h+2h
80 /10 /10	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3h+2h
80 /10 /10	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3h+5h
80 /10 /10	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	1	160	80	3h+5h
80 /10 /10	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	1	160	80	3h+2h
90 / 5 /5	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	85	3.5h+2h
MMA/PDMSMA/MPEGMA	乳化剤	AA(%)*1	CTA(%)*2	脱イオン水 (g)	温度 (℃)	時間 滴下＋熟成
70 /15 /15	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3h+2h
70 /15 /15	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	1	160	85	3h+2h
80 /10 /10	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	85	3h+2h
90 / 5 /5	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3h+2h
St/PDMSMA/MPEGMA	乳化剤	AA(%)*1	CTA(%)*2	脱イオン水 (g)	温度 (℃)	時間 滴下＋熟成
60 /20 /20	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3h+2h
70 /15 /15	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	85	3h+2h
80 /10 /10	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3.5h+2h
90 / 5 / 5	Newcol-707SF Pruronic F-68	3	2	160	80	3.5h+2h

*1 AA(アクリル酸) *2 CTA(連鎖移動剤,1-ドデカンチオール)

表 4 重合したポリマーエマルションの特性

MMA/MPPGMA/MPEGMA (wt%)	不揮発分（理論値）(%)	粘度(mPa·s)	性状
60 /20 /20	38.0(41.8)	_	凝固
70 / 5 /25	37.0(42.6)	_	凝固
70 / 0 / 30	38.0(42.6)	_	凝固
70 / 25 / 5	43.2(42.6)	13200	クリーム状
70 /30 / 0	30.0(42.6)	8.0	乳液
70 /15 /15	33.0(42.8)	14400	クリーム状
75 /12.5 /12.5	32.0(42.6)	15600	クリーム状
80 /10 /10 #1	36.9(41.6)	23.4	乳液
80 / 10 / 10 #2	35.0(41.6)	53.5	乳液
80 / 10/ 10 #3	33.0(38.8)	109	乳液
80 / 10 / 10 #4	31.0(38.8)	58.6	乳液
90 / 5 / 5	31.5(42.8)	3.8	乳液
MMA/PDMSMA/MPEGMA	**不揮発分（理論値）(%)**	**粘度(mPa·s)**	**性状**
70 /15 /15 #5	37.5(42.6)	360	クリーム状
70 / 15 / 15 #6	39.5(42.6)	1980	クリーム状
80 /10 /10	31.0(41.6)	15.3	乳液
90 / 5 / 5	36.8(42.8)	5.6	乳液
St/PDMSMA/MPEGMA	**不揮発分（理論値）(%)**	**粘度(mPa·s)**	**性状**
60 /20 /20	32.0(41.8)	_	凝固
70 /15 /15	36.7(42.6)	_	凝固
80 /10 /10	38.3(41.6)	52.5	乳液
90 / 5 / 5	31.0(42.8)	13.1	乳液

#1 CTA(連鎖移動剤) 2% Time(重合時間) 5h , #2 CTA 2% Time 8h , #3 CTA 1% Time 8h , #4 CTA 1% Time 5h , #5 CTA 2% Time 5h , #6 CTA 1% Time 5h

表 5 高分子エマルション塩析物のGPCによる分子量測定結果

MMA/MPPGMA/MPEGMA (wt%)	Mn($\times10^{-4}$)*1	Mw ($\times10^{-4}$)*2	Mw/Mn*3
70/25/5	0.81	1.7	2.2
70/5/25	1.25	2.1	1.7
70/0 /30	0.74	1.1	1.5
70/15/15	0.94	1.5	1.6
75/12.5/12.5	1.0	1.8	1.7
80/10/10	1.0	1.5	1.5
80/10/10	2.0	5.5	2.7
80/10/10	1.2	2.5	2.0
90/5/5	1.3	2.7	2.0
MMA/PDMSMA/MPEGMA	Mn($\times10^{-4}$)	Mw ($\times10^{-4}$)	Mw/Mn
70/15/15	0.73	1.2	1.7
70/15/15	1.2	1.9	1.6
90/5/5	0.66	1.3	2.0
St/ PDMSMA/ MPEGMA	Mn($\times10^{-4}$)	Mw ($\times10^{-4}$)	Mw/Mn
60/20/20	1.6	2.2	1.4
70/15/15	1.3	1.8	1.4
90/5/5	1.4	1.7	1.3

*1 数平均分子量，*2 重量平均分子量，*3 多分散度

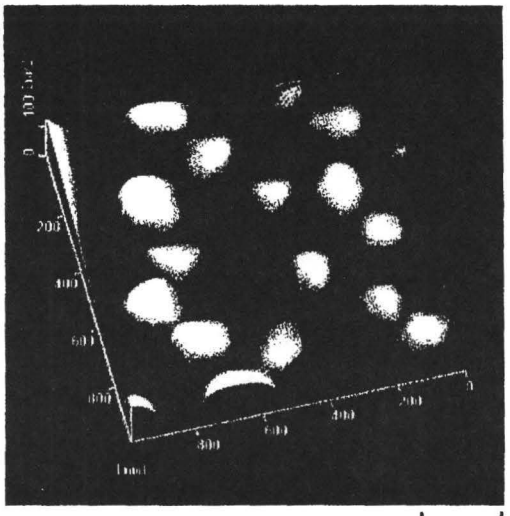
表 6　合成した高分子エマルションの引張接着強度

MMA/MPPGMA/MPEGMA (wt%)	引張強度 (N/mm^2)[kgf]	増粘剤 (含量 40wt%)
70 /25 /5	0.46[75]	×
70 /30 /0	0.29[47]	○
75 /12.5 /12.5	0.75[122]	×
70 /15 /15	0.85[140]	×
80 /10 /10	0.17[28]	×
80 /10 /10	0.19[31]	○
80 /10 /10	0.17[28]	○
90 /5 /5	0.12[20]	○
MMA/PDMSMA/MPEGMA	**引張強度 (N/mm^2)[kgf]**	**増粘剤 (含量 40wt%)**
70 /15 /15	0.15[24]	×
70 /15 /15	0.25[41]	○
90 /5 /5	0.16[26]	○
St/PDMSMA/MPEGMA	**引張強度 (N/mm^2)[kgf]**	**増粘剤 (含量 40wt%)**
80 /10 /10	0.1[16]	○
90 /5 /5	0.1[16]	○

試験条件：チャート速度; 30mm/min, クロスヘッド速度; 1mm/min

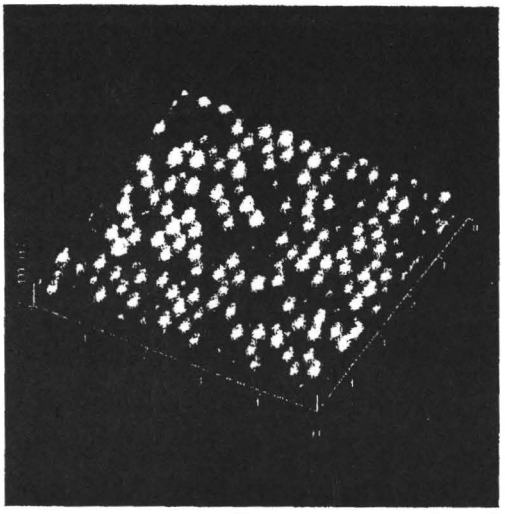
表 7　合成した高分子エマルションの剥離強度

MMA/MPPGMA/MPEGMA (wt%)	剥離強度 (N/25mm)[kgf/25mm]	増粘剤 (含量 40wt%)
70 /25 /5	2.5[0.3]	×
70 /30 /0	3.5[0.4]	○
75 /12.5 /12.5	5.5[0.5]	×
70 /15 /15	7.0[0.7]	×
80 /10 /10	1.0[0.1]	×
80 /10 /10	1.8[0.2]	○
80 /10 /10	1.0[0.1]	○
90 /5 /5	1.0[0.1]	○
MMA/PDMSMA/MPEGMA	**剥離強度 (N/25mm)[kgf/25mm]**	**増粘剤 (含量 40wt%)**
70 /15 /15	1.3[0.1]	×
70 /15 /15	0.8[0.1]	○
90 /5 /5	0.5[0.5]	○
St/PDMSMA/MPEGMA	**剥離強度 (N/25mm)[kgf/25mm]**	**増粘剤 (含量 40wt%)**
80 /10 /10	1.0[0.1]	○
90 /5 /5	1.0[0.1]	○



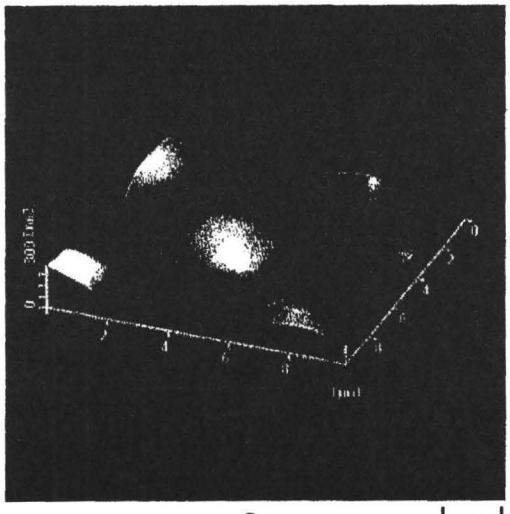
a　200nm

St /PDMSMA/MPEGMA (80/10/10 ,wt%)



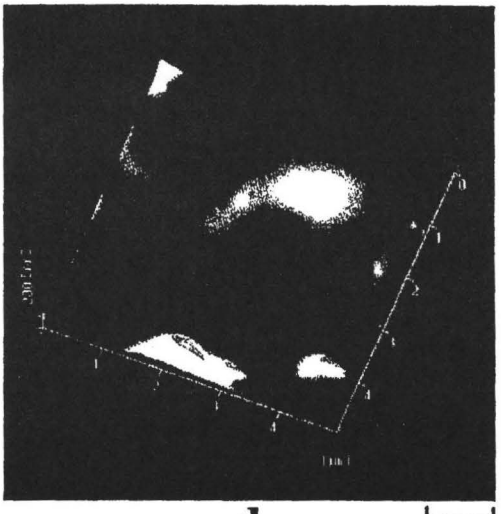
b　1000nm

MMA/MPPGMA/MPEGMA (90 /5/ 5,wt%)



c　2000nm

MMA/MPPGMA/MPEGMA(70 /15 /15,wt%)



d　1000nm

MMA/MPPGMA/MPEGMA(70 /5 /25,wt%)

図 1　組成の異なる4種のエマルションのAFM 3-D 表面像

1-4　住宅の台風による強風被害の予測と耐風性向上対策に関する研究

東北学院大学院 工学研究科

助教授　植松　康

1．本研究の目的と概要

本研究では，台風による住宅外装材の強風被害を予測する確率モデルを開発することを目的としている。ここでは東北地方を対象としているが，手法自体には普遍性があるため，他地域への応用は可能である。

東北地方では，関東以西の地域に比べて大型台風に見舞われる頻度が低いため，住宅の設計・施工・メンテナンスにおいて，耐風性に対する配慮に欠ける点が見受けられる。また，一般に外装材の安全設計に対する認識は構造骨組に比べて低い。そのため，一旦大型台風に見舞われると，大きな強風被害が外装材に発生する結果となる。例えば，1991年台風19号(9119号)や1998年台風5号(9805号)による被害を挙げることができる。台風9119号で大きな被害を受けた青森県や秋田県を代表とする積雪寒冷地では，雪対策という観点から鉄板葺き屋根が普及している。特に最近では，長尺鉄板のような大型の部材がよく用いられる。このような屋根葺き材の飛散は，構造骨組の破壊に繋がるだけでなく，他の構造物の被害や人的被害といった二次被害をもたらす危険性もある。従って，住宅の外装材を適切に設計・施工してその強風被害を抑えることは，地域全体としての被害低減に大きく寄与するものと期待される。

住宅の強風被害の予測に関しては，光田・藤井による研究がある。彼らの予測モデルでは，解析的に得られた上空の傾度風速から地表付近の風速への変換は，過去の顕著台風時の観測結果に基づく経験式によっており，地表面粗度の影響は考慮されていない。また，被害率の算定に材料や構工法の地域性は考慮されていない。これに対し，本研究では，台風の気圧場を特性づけるパラメータに対する確率モデルである「台風モデル」，地表面粗度や局所地形を考慮して傾度風速から地上風速を予測する「地上風モデル」，住宅外装材に作用するピーク風圧を与える「局部風圧モデル」，および，外装材の材料や構工法によって定まる「耐風圧強度モデル」より成る被害予測モデルを構築する。すなわち，先ず，東北地方に来襲する台風の確率モデルと地上風モデルより強風の推定を行い，局部風圧モデルと組み合わせて外装材に作用する風圧力の確率分布を推定する。次に，これと外装材の耐風圧強度の確率分布から被害率を推定する。本論文では，後述するように，住宅被害の大半が屋根に生じていることより，屋根葺き材に着目する。風速のモデルにおいては，東北地方を対象とした台風パラメータのモデル化と局所地形が風速に及ぼす影響を考慮する。また，被害率の推定においては，屋根葺き材に作用する風圧力と屋根葺き材の強度に対して，対数正規分布によるモデル化を行う。

精度よい被害予測モデルを作成するためには，住宅の強風被害の実態を把握することが重要である。近年東北地方に来襲して大きな被害を与えた台風は前述の台風9119号である。青森県と秋田県での被害が甚大で，両県内の自治体や消防署を中心として被害調査が行われた。これらの調査データは各調査機関で保管されており，詳細な分析や公表はこれまで為されていない。そこで，本研究ではこれら貴重なデータが処分される前にできるだけ多く収集して住宅被害のデータベースを作成した。そして，そのデータベースを用いて被害の様相や要因について分析した。また，本研究期間中の1998年9月16日，宮城県名取市に竜巻が発生し，局所的ではあるが住宅に大きな被害をもたらした。この竜巻は，同日静岡県に上陸した台風

9805号に関連して発生したものである。筆者等は，本研究の一環としてこの被害調査を行った。先ず，被害の概要を把握した後，被害の集中した区域(幅約100m×長さ約500m)内の全世帯に対するアンケート調査(一部ヒアリング調査)を行い，住宅の構工法・形状・配置・築年数と被害との関連を検討した。これら2つの強風被害調査の結果は，被害予測モデルにおけるパラメータ設定の基礎資料にもなっている。

建物に作用する風圧の性状は建物形状や風向に大きく影響されることはよく知られている。住宅の形状は多種多様であり，これらに働く局部風圧の大きさを精度よく予測するためには，建物の形状パラメータが局部風圧に及ぼす影響を定量的に把握する必要がある。そこで，本研究では1970年代以降現在までに発表された文献を収集・整理して風圧のデータベースを作成した。このデータベースは，「局部風圧モデル」作成上の基礎資料になっている。

本報告では，第２章においては台風9119号による住宅被害の調査・分析結果を，第３章においては名取市に発生した竜巻による住宅被害の調査・分析結果を述べる。第４章においては低層建物に作用する風圧性状に関する文献調査結果について述べる。最後に，第５章においては筆者らの提案した台風による住宅強風被害予測モデルの構成，並びに，モデルを構成する各項目に対して，これまでに行った検討結果を示す。

２．　1991年台風19号(台風9119号)による住宅被害の実態調査

青森・秋田両県において比較的大きな住宅被害が発生した33の市町村について，各自治体または消防署などが行った住宅被害調査結果を収集して住宅被害のデータベースを作成した。このデータベースを用いて被害状況を様々な角度から分析し，被害の実態・要因を明らかにした。ここでは，特に住宅の構工法と被害率との関係，並びに，被害率と局所地形との関係に着目している。その成果は以下の2編の論文としてまとめられ，公表された。

(10)植松　康，三吉拳志，佐々木和彦，山田大彦：台風による住宅外装材の強風災害について－東北地方を対象とした実被害調査結果－，東北地域災害科学研究，第34巻，1998年3月.

(11)佐々木和彦，植松　康：秋田県及び青森県における台風9119号による住家被害とその要因分析，日本建築学会技術報告集，第9号，1999年12月.

ここで得られた主な結果を以下に示す。

(2) 住宅被害の大半は屋根部で発生している。屋根被害の様相は，各地で普及している屋根構工法や屋根葺き材に大きく関連している。

(3) 屋根被害面積は屋根葺き材によって異なる。一般に，瓦葺きの方がトタン葺きより被害面積は小さい。これは個々の屋根葺き材の大きさに関連している。

(4) 同一の市町村であっても，地区ごとの被害率には差が見られる。一般に，世帯数の多い地区ほど被害率が小さい。これは，市街化による遮風効果によって風速が低下したためと考えられる。

(5) 比較的平坦な市町村のみに着目すると，被害率はAMeDASによる最大風速の観測値とよく対応している。しかし，複雑な地形をしている市町村では，局所地形の影響によって風速が増減されるため，1点での風観測データが必ずしも代表風速にはなり得ない。このよ

うな場合，地形の影響を適切に考慮した補正が必要になる。

(6) 市町村ごとの被害率は，地形パラメータを説明変数とする重回帰モデルによってある程度把握できる。

3．1998年9月宮城県名取市に発生した竜巻による住宅被害の実態調査

本研究期間中である1998年9月16日に宮城県名取市閖上地区で発生した竜巻による住宅被害調査を行った。被害の集中した地区(幅約100m×長さ約500m)内にある全世帯に対し，以下の項目に関するアンケート調査(一部ヒアリング調査)を行った。

住宅に関する項目：建築年，構造，階数，屋根形状と勾配，屋根葺き材および外壁材，棟の向き

被害に関する項目：被害の有無，被害状況，被害の発生状況

調査結果はデータベース化され，これに基づいて被害状況を様々な角度から分析し，被害の実態・要因を明らかにした。その成果は以下の2編の論文としてまとめられ，公表された。

(9) 佐々木和彦，植松　康，野澤壽一：1998年9月16日　宮城県名取市閖上地区に発生した竜巻による建物被害，日本風工学会誌，第78号，1999年1月.

(10)野澤壽一，野澤壽一，佐々木和彦，鈴谷二郎，田代　侃：1998年9月16日宮城県名取市に発生した竜巻と建物被害，日本建築学会技術報告集，第9号，1999年12月.

得られた主な結果はまとめると以下のようである。

(5) 一般に，1階建てより2階建ての方が，また，寄せ棟屋根より切妻屋根の方が高い屋根被害率を示す。

(6) 住宅としてよく用いられる2寸5分以上の屋根勾配においては，屋根被害率は屋根勾配にほとんど依存しない。また，このような勾配では棟部分に被害が多く発生する。

(7) 竜巻の経路に対してほぼ直角方向に棟を持つ住宅において被害率が高い。

(8) 竜巻によって破損した外装材が強風によって飛散し，被害を拡大させる。開口部の被害のほとんどは，このような飛来物によるものである。

4．低層建物の風荷重に関する文献調査

1970年代半ばより1999年までの約25年間に発表された論文約250編を収集・整理して風荷重に関するデータベースを作成した。主な調査対象は以下の通りである。

(1) Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics

(2) Proceedings of the International Conference on Wind Engineering

(3) 日本建築学会構造系論文報告集

(4) 日本風工学会誌

この25年間における風工学研究の進歩は目覚しく，低層建物に作用する風荷重に関して，自然風中での実測や境界層乱流を用いた風洞シミュレーションが数多く行われた。作成されたデータベースに基づき，局部風圧の大きさや領域に及ぼす建物形状(特に屋根の形状と勾配)や風向の影響，ピーク風圧の評価方法，等について検討した。その成果は以下の2編の論文としてまとめられ，公表された(但し，論文(2)は論文(1)の英語版)。

(6) 植松　康，ニコラス・イシモフ：低層建築物に作用する局部風圧力に関する研究　その4　文献調査，日本風工学会誌，第78号，1999年1月.

(7) Yasushi Uematsu, Nicholas Isyumov: Wind pressures acting on low-rise buildings, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 82, 1999.

得られた主な結果は以下の通りである。

(2) 切妻屋根に作用する最大負圧の発生位置を，(根勾配，風向角)－平面上の図として表わした。これによって，屋根勾配と風向角によって最大負圧が屋根のどの部分に発生するかを容易に把握できる。

(3) 屋根や壁面の隅角部および端部に発生する最大ピーク負圧の大きさは，準定常仮定とピークファクター法を応用することによって比較的簡単にかつ精度よく把握できる。

(4) ピークファクターの値はピーク風圧の評価時間の指数関数で概ね近似できる。

(5) 外装材に作用する風力(面平均風圧)は外装材の大きさによって変化するが，ピーク値に及ぼす効果に関して，外装材面積と等価なピーク風圧評価時間を与える方法を提案した。

(6) 屋根勾配が同じ場合，同一面積に対する面平均風圧力の大きさは，一般に寄せ棟屋根の方が切妻屋根より大きくなる。これは，切妻屋根の場合の方がピーク風圧発生時における風圧の空間相関が高いためである。

(7) 局部風圧の大きさを低減するための対策とその効果に関して整理した。

5．住宅の強風被害予測モデルの提案

第1章で述べたように，本研究で提案する住宅の強風被害予測モデルは，「台風モデル」，「地上風モデル」，「局部風圧モデル」，および，「耐風圧強度モデル」より構成される。ここでは，これらのモデルに関する検討結果を示す。なお，その成果は以下の2編の論文としてまとめられ，公表された。

(9) 植松　康，山田大彦，鈴谷二郎，伊藤　驍，月舘敏栄，吉田正邦：台風による住宅の強風被害モデルの開発と防災対策に関する研究，(財)住宅総合研究財団　研究年報第25号，1999年3月.

(10)植松　康，三吉拳志，佐々木和彦，山田大彦，吉田正邦：東北地方における台風と住宅の強風被害予測モデルに関する研究，日本建築学会構造系論文集，第525号，1999年11月.

5．1　台風モデル及び地上風モデルの作成

1954～1996年の43年間に東北地方に影響を及ぼした台風68個について，北緯37度線を通過した時およびその後北緯42度までの気圧場の変化を解析することによって，台風を特性づける4つのパラメータ，すなわち，中心気圧低下量ΔP_0，最大旋衡風速半径r_m，移動速度Cおよび移動方向Dirの確率モデルとそれらの時間変化のモデル(これら全てを総称して「台風モデル」と呼ぶ)を作成した。モデル化に当り，台風を(i)日本海を北上するもの，(ii)本州を縦断するもの，および，(iii)太平洋を北上するもの，の3種類に分類することによってモデルの適合度が良好になることが分かった。台風の確率モデルとしてはワイブル分布を採用し，最

小二乗法を用いてワイブルパラメータの最適値を求めた。時間tに対する変化式としては，ΔP_0およびr_mに対して指数関数を，Cに対して1次関数を用いた。但し，これらの式に含まれる係数は確定値ではなく正規分布に従う確率量としている。Dirは時間に対して不変とした。

次に，台風9119号時の観測記録に基づき，局所地形が地上付近の風速に及ぼす影響を重回帰分析によって検討し，台風モデルから計算される傾度風速から地上風速を予測する方法(地上風モデル)を提案した。重回帰式における目的変数は風速増減率であり，説明変数は地形パラメータである。これらの提案式を用い，台風9119号の中心気圧の時刻歴より各地における地上風速を計算した結果は実際に観測された結果と概ね一致することが確認された。

5.2 住宅の屋根に作用する局部風圧モデルの作成

第2，3章に示した強風被害の実態調査結果より，住宅被害の大半は屋根に発生していることより，ここでは屋根の端部や隅角部に作用する局部風圧に着目した。第4章に示した文献調査結果に基づき，屋根を「切妻型」および「寄せ棟型」に分類し，それぞれに対する局部風圧係数(時間平均値)を，屋根勾配によらず，1.4および1.0と設定した。なお，各市町村における「切妻型」住宅と「寄せ棟型」住宅の割合は，平井による調査結果に基づいて決めた。「台風モデル」と「地上風モデル」を用いてシミュレーションされた地上風速にガストファクター(1.78と仮定)を乗じて最大瞬間風速とし，これより準定常仮定を用いれば屋根葺き材に作用するピーク風圧が計算されるが，このピーク風圧自体確定量ではなく確率量であるから，ここでは計算値を期待値とする対数正規分布に従うものとした。また，Davenportによる検討結果に基づき，局部風圧の変動係数は0.3とした。

5.3 屋根葺き材の対風圧強度モデルの作成

台風9119号による住宅屋根被害率に基づき，屋根葺き材の対風圧強度の確率分布モデルを作成した。ここでは，確率分布は変動係数0.3をもつ対数正規分布であると仮定し，5.2節で計算された局部風圧に対する被害率(屋根葺き材の強度が局部風圧より小さくなる確率)が実際の屋根被害率に一致するように強度の期待値を計算した。このようにして計算された屋根葺き材の強度は，市町村によって異なるが，一般に，設計指針や設計マニュアル(例えば，亜鉛鉄板会：鋼板製屋根構法標準SSR92)での規定値に比べて小さいことが明らかになった。その原因としては，設計・施工における配慮不足のほか，被害の多くが比較的古い住宅に発生しているという事実より，経年劣化を挙げることができよう。

5.4 屋根被害のシミュレーション

青森・秋田両県におけるいくつかの市を対象とし，「台風モデル」と「地上風モデル」を用いて長期間に亘る台風のシミュレーションを行った。その結果，年最大風速はⅠ型極値分布で良好に近似でき，台風9119号時の最大風速値は概ね50年再現期待値に相当することが明らかになった。

次に，「局部風圧モデル」における局部風圧の期待値μ_Pと変動係数V_p，並びに，「対風圧強度モデル」における屋根葺き材強度の期待値μ_Rと変動係数V_Rをパラメータとして屋根被害シミュレーションを行った。その結果，以下のようなことが分かった。

(2) μ_P とV_p が一定のとき，μ_R の増大とV_Rの低下は被害率の低減に寄与する。

(3) μ_R がμ_P に比べてそれほど大きくないとき，V_Rが増大すると被害率は著しく増大するが，μ_R が十分大きくなると，V_Rは被害の低減にほとんど寄与しなくなる。

(4) μ_R を設計指針や設計マニュアルにおける規定値まで高めると，被害率は大きく(場合によっては1桁)低減する。

このような一連のシミュレーション結果は，地域としての被害低減対策を講じる上での貴重な資料を提供するものと考えられる。

1-5　システムダイナミクス法による建材のライフサイクルアナリシスに関する研究

豊橋技術科学大学 工学部

助教授　松本　博

1．本研究の背景と目的

近年、有限な資源・エネルギーの有効利用や地球環境への影響を考慮した工業製品のプロダクト・ライフサイクル・アセスメント（PLCA）が提案され、欧米を中心として、徐々に浸透・進展してきている。一方で、建築・土木に関連した世界では必ずしも十分な広がりを見せているとは言えない状況にある。今日の産業廃棄物の多くは建築の廃棄物であり、また日本における全消費エネルギーに占める民生用のエネルギーの割合は、ここ数年急激に増加している。加えて、新しい素材の開発、加工技術の進歩により、住宅を含む建物において安価で施工しやすく、かつ大量供給が可能な素材・建材の選択は、今まで人類が経験したことのない深刻な大気や室内空気の複合汚染を生じさせる原因になっている。２１世紀にむけて、地球環境や室内環境の悪化という負の遺産の処理を子孫に託すべきでないというのは異論のない大方の意見であろう。従って、建物を構成する部材の原料採取から廃棄、再生産に至るプロセス、すなわちライフサイクル（LC）の中で、エネルギー、コスト、環境負荷などを含めたトータルな分析手法と評価法を確立し、環境への負荷の少ない持続可能な建材のあり方を問い直す必要がある。

本研究は、PLCAの考え方を一歩進めて、原料採取から生産、流通、消費、廃棄という従来のLCに再生産のプロセスを加えたLCを対象とし、定量的分析・評価を行うためのシステムダイナミクス（SD）法を用いた建材のライフサイクルインベントリー（LCI）手法を開発することを目的とする。さらに、このシステムシミュレーションによりいくつかの代表的な建材や住宅を含む建物のLCI分析のケーススタディを実行し、LCAの視点から持続可能な建材の評価を試みるものである。

2．研究の方法

研究方法としては，主として以下の２つの方法による。

(1) 住宅を構成する様々な部材のうち主要ないくつかの部材および住宅そのものの製造段階（または建設段階），運用段階，改修・修繕段階，廃棄・再生段階のライフサイクルにおけるエネルギーおよびCO_2排出量などのエネルギーおよび排出量原単位を求めるインベントリー分析手法を確立するための資料・文献調査を基にLCI分析のためのデータベースを作成する。

(2) 次にそれらのLCIの長期予測と関連する種々のパラメーターの影響を分析することを目的とした動的シミュレーションを行うためのSDモデルに関わるシステム開発を行い，既存のSDツールとの比較やケーススタディによりシステムの特性や問題点を明らかにする。

3．研究の計画と進捗状況

研究計画としては、先ず初年度は素材あるいは建材ごとにLCI分析のためのエネルギー原単位やCO_2等の排出量原単位を調査・整理し，建材や建築物のライフサイクルにおける関する資料を収集・整理してそれらのLCI分析のためのシステムモデルのプロトタイプを作成する。また，種々のSDツールのレビューを行うと共に，BASIC言語による新しいSDモデルの提案と検証を行うこととした。膨大なデータ収集を行い，一部はデータベース化したが，すべてを整理するところまでは未だいっていない。今後１，２年のうちに整理の予定。既存の

SDツールではHPS社のStellaが極めて高い性能をもち，本研究で開発予定の新しいSDモデルの比較・検証用に使えることを確認した。

次年度は、それらを基にシステムダイナミクス手法を用いたシミュレーションモデルを作成し、建材のLCを考慮した建物の評価指標のひとつであるLCCや$LCCO_2$などの既存のLCIモデルとの比較・検討を詳細に行う。さらに、このシステムモデルを用いて素材の種類や加工・処理技術の違い、あるいは環境への関心など社会的な要因の変化によるコストやエネルギーの評価を試みる。

研究期間内で，木質系材料やコンクリートなどの素材や住宅のLCC，LCE，$LCCO_2$のケーススタディを行い，長期予測やパラメーターの特性等を明らかにした。当初の研究計画はほぼ達成されたと考えているが，SDモデルのシステムの改良やモデルに含まれる社会的・経済的要因などのパラメーター等に今後の課題を残している。

４．今までに得られた成果

(1) 建材のLCI分析：コンクリートや木材製品などの建材のコスト，消費エネルギー原単位やCO_2などの排出量原単位に関する資料の文献調査ならびにそれらのライフサイクルにおけるフローを整理し，ＳＤモデルに組み込むためのデータベースを作成した。

(2) LCI算出のためのSDモデルの開発とその検証：建材および住宅を対象にライフサイクルのリアルシステムのモデリングを行い，ＳＤモデルのプロトタイプを作成した。ツールとしてはＢＡＳＩＣ言語によるＳＤモデルを作成し，基本的な性能を既存のＳＤツールとの比較により検証した。その結果，十分な性能を確認した。

(3) SD法による住宅のLCC，LCE，$LCCO_2$算定：住宅を対象にＬＣＣ，ＬＣＥおよび$LCCO_2$の長期予測を試み，種々のパラメーターの特性を調べた。その結果，住宅の性能向上を目的とした初期投資は15年前後で改修できること，廃棄物の回収や再生率の向上はLCEや$LCCO_2$のLCAには大きな効果がないことが分かった。別の環境指標による評価が必要といえる。

５．これから期待される成果

今後期待される成果としては、建材のLCのシステムダイナミクスモデルとその解析手法の精度，信頼性，汎用性の向上により，作成されたSDモデルのシステムシミュレーションにより，システム構造の分析や環境負荷の小さい持続可能な建材・建築の提案などへの実用的な利用の展開が期待される。また，ここで提案したSDモデルは，Windowsベースの実行環境としてフリーのランタイムモジュールが利用できるため，新規に実行環境ソフトの投資をする必要がなく教育や研修現場での環境教育などでの利用も可能である。

６．残る問題点と対策

SD法自体は，様々な分野で応用され，理論の体系化や予測結果の検証が進み，シミュレーション手法としての位置付けが徐々に確立されつつある。本研究でも，BASIC言語でSD法の基本モジュールが記述でき，既存のSDツールによる結果とほぼ同等の予測結果が出ることを確認した。しかしながら，一番の問題点はリアルシステムのモデリングにあり，いかに実

現象に近いモデルが構築できるかがSDモデルの良否を決定するといえる。

LCIについては，近年多くの材料の原単位が整備されてきて，その利用が進んでいる一方で，依然としてデータが不足しており，またその精度が不明なものも多い。今回は，極めて限られた材料についての積み上げ方式での原単位をケーススタディしたが，その検証と共にさらに詳細な多くの材料の原単位の算定が残された課題として挙げられる。

7．研究発表の実績及び予定

これまでに発表した関連論文は下記の通り。

(1) 松本博，近藤亨志：システムダイナミクス法による住宅のライフサイクルアセスメント その１　LCAのSDモデルとその応用，日本建築学会大会学術講演梗概集，971-972，1999

(2) 近藤亨志，松本博：システムダイナミクス法による住宅のライフサイクルアセスメント その２住宅のライフサイクルインベントリーSDモデルのケーススタディ，日本建築学会大会学術講演梗概集，973-974，1999

(3) 松本博：システムダイナミクス法による住宅のＬＣＡ　ー木材の炭素ストックのＳＤモデルー，空気調和・衛生工学会学術講演論文集，233-237，1999

(4) Hiroshi Matsumoto: System Dynamics Model for Life Cycle Assessment (LCA) of Residential Buildings, Proceedings of Sixth International IBPSA Conference (BS'99), 1013-1018, 1999

その他，SD法による建材単体（コンクリート，アルミ等）のLCI分析シミュレーションについては，今年度の日本建築学会東海支部研究報告会に投稿，発表予定

8．実用化計画

本研究で開発したLCIのSDモデルは，システムの対象領域がやや狭いので実用化を考える場合，システム境界，特に社会・経済的要因を含む領域などをより広げたものにする必要がある。その点をクリアできれば，実務あるいは行政の場での利用が可能となるが，現段階ではアカデミックな世界での研究レベルの向上あるいは教育用のツールとしての普及を目指した方向性が先ず優先されると考える。現実は，このような課題に取り組む研究者が少ない，そのためにも，機会あるごとに学会等で研究成果の公表を行い，研究レベルの向上と関心をもつ研究者を増やす努力をしていきたい。

最後に，財団法人トステム建材産業振興財団のご援助に対し，心より感謝申し上げます。

既往の研究成果と準備状況：

これまで、広い意味での建築関連のLCAとしては、建物の評価のためのLCCや建築学会で最近新しく提案されたLCCO$_2$があり、興味ある知見が得られている。PLCAについては、欧米で理論的な体系化がなされ、いくつかの工業製品について試算がなされている。また、システムダイナミクスについては、多くの複雑な社会・経済システムや都市システムのモデルが提案され、未来予測やシステムの構造を分析する研究がなされている。システムダイナミクスは、複雑なシステムで非線型性、時間依存性があるものに対して有効な手法であり、建材のLCAに対しては最適な手法の一つになるであろうと考える。本研究に関連した研究の準備状況としては、本申請の共同研究者を中心とした愛知県三河地方の大学、行政、建設業関係で構成される「健康に配慮した住環境システム研究会」を新規に組織化し、その研究の一部として、住宅のLCAに関する調査を始めたところである。また、システムダイナミクス法の住宅のLCAへの応用については、現在、本学修士課程の大学院生の研究テーマとして指導中である。

1-6　低コスト免震／制振木造戸建住宅に関する研究

早稲田大学理工学部建築学科

教　授　　曽田　五月也

1．はじめに

兵庫県南部地震においては膨大な数の住宅の損傷･倒壊により多数の死傷者を出したことより、木造戸建住宅への免震　A制振構法の採用の必要性が唱えられるようになり、既に幾つかの提案、実施例もみられる。しかしながら、住宅の規模・形状に関係無く利用可能なように規格化された免震システムの普及は十分でない。

2.　研究概要

2.1　免震建物モデル

本研究では、振り子式ベアリング支障と粘弾性ダンパーの塀用による低コスト免震システムを考案し、下図１～３に示す小型模型を用いて、自由振動実験、振動台実験により有効性を検討した。また、解析用のモデルを作成し、実験結果と解析結果との対応も検討した。

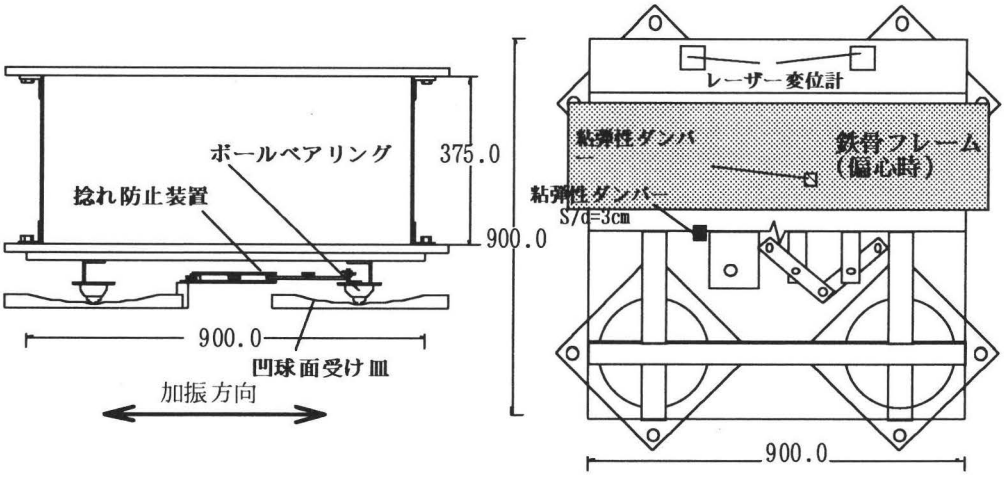


図1　小型試験体全体図

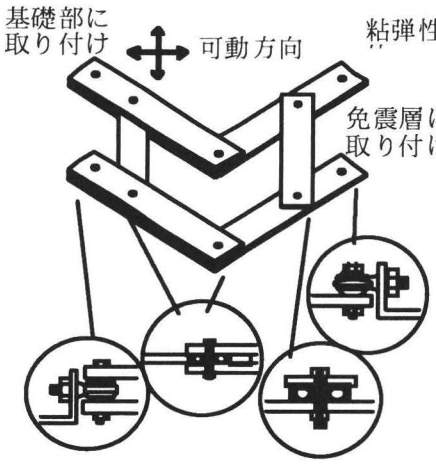


図2　捩れ防止機構

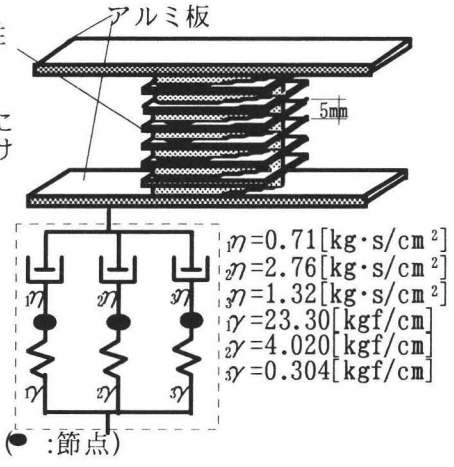


図3　粘弾性ダンパー

2.2　ベアリング転がり支承

建物重量によらず同一の固有周期を与えることが出来る免震装置として、振り子の原理を用いた凹球面を受け皿とするベアリング転がり支承を用いる。装置の周期は凹球面部分の曲率半径ρとベアリング半径rによって$T = 2\pi\sqrt{\frac{\rho - r}{g}}$で与えられ、重量には依存しない。

2.3　捩れ防止装置

建物の偏重による捩れ振動を防止する為に図2に示す平行機構を利用した捩れ防止装置を取り付け、重心位置及び、影響を無視することが可能な免震装置を実現させる。

2.3　粘弾性ダンパー

免震層の変形を抑える為に、図2のように塔状にアルミ板と粘弾性体とを積層構造として免震層の変形に追従できるようにしたS/d=1,2,3cmの3種類の粘弾性ダンパーを免震層に付加した。粘弾性ダンパーの性能試験より、それぞれのダンパーの解析モデルを作成する。

2.4　実験方法

本試験体は固有周期を1.52秒と設計しており、その免震システムの上部に自由振動実験では、重りとして鉄板のみを載せ、振動台実験では一層の鉄骨フレームを組み上げて実験を行った。鉄板および鉄骨フレームの設置場所を数通りに変化させて、偏心の影響を検討した。

2.5　解析の方法

地震動として1995年兵庫県南部地震神戸海洋気象台観測波南北成分(以下Kobe_NS)及び、1940年インペリアルバレー地震エルセントロ観測波南北成分(以下EL_NS)の原波を用い、風力は再現期間を1年として軒高最大風速15.4[m/sec]、地表粗度区分Ⅳ、受圧面積92.79[m^2]、高さ6.68[m]を想定し、継続時間163.84秒で位相特性の違うもの100波作成し使用した。実験結果と同様、VEDの容量を増やすことで免震層の変形を抑えるが、それと引き換えに応答加速度が増加することが確認できた。VEDの容量を増やすことで応答変位を抑え、さらに応答加速度も低減し効果的であることが確認できが。S/d=696cmのVEDを付加することで、VEDが無い時に比べ居住性ランクを上げていることが確認でき、免震層へのVEDの設置は強風時の居住性向上に効果的であるとの結論を得た。

2.6　研究結果の要約

1）捩れ防止装置を設置することにことで、偏心時の捩れ振動を効果的に低減することができ、無偏心時とほぼ同様の免震効果を発揮することができる。

2）免震層への適切な粘弾性ダンパーの設置は地震時には変位を低減し、強風時には変位、加速度を共に低減させ居住性向上に効果的である。

3　まとめ

申請者はその後も各種ダンパーの開発を進めており、摩擦ダンパー、磁気粘性流体ダンパーなど興味深い装置の有効性を確認した。今年度は、それら装置をも含めて、小型ながらも実大の免震住宅につき地震応答観測、風応答観測を行う条件が整った。

1-7　集合住宅型建物の層崩壊時における避難空間確保のための研究

金沢工業大学

教　授　　高畠　秀雄

1995 年 1 月に発生した阪神大震災では多くの建物が崩壊した。中でも、層崩壊をした建物では、ウオールガータ（壁梁）形式でない場合、居住空間が完全に圧迫されて、圧死したケースが多く見られた。昭和 54 年以前に建設された建物は、耐震性能が劣るいわゆる既存不適格建物であり、これに対する耐震補強は現在普及しつつあるが、集合住宅にあっては補強が仲々進んでいないのが現状である。

本研究の目的は、耐震性能が不足している集合住宅が、直下型地震の様な衝撃的過大地震力を受けて何らかの層崩壊を生じた場合、居住者の安全及び避難空間を一時的に確保する補強法を提示することにある。その方法は、集合住宅の各戸に設けられている木造の軽微な構造である間仕切壁を、居住空間を損なうこと無しに、平面的及び立面的にモノコック構造として、強靭な耐力を保持できるように補強する。これにより、当該建物が層崩壊をしても、最低限の安全な避難空間が確保できる。

第１に、間仕切壁に要求される構造耐力と力学的挙動を解明し、第２に、実際の集合住宅に適用可能なディテールを、居住性、リフォーム性の観点より幅広く検討した具体的提案を行い、集合住宅の層崩壊時において居住者の避難空間を確保し、第３に、設計の当初から、防災対策を考慮した居住空間の平面計画、立面計画が策定されるべき事を提言する。以下に、研究実施事項を述べる。

① 兵庫県南部地震の集合住宅の層崩壊調査

直下型地震を受けた集合住宅建物が層崩壊を生じたときの崩壊形の実例を、兵庫県南部地震の被害に関する各種資料から分析し、その実体を調査した。

② 層崩壊時に集合住宅の一戸当たりに作用する荷重の算定

直下型地震を受けた建物が層崩壊を生じたとき、集合住宅の一住戸当たりに作用する鉛直方向と水平方向の力（荷重）を算定する評価式を提示した。

水平方向の力は、新耐震設計法で標準剪断力係数 C_0 が 1.0 の時の層剪断力とした。一方、鉛直方向の力は建物の当該階以上の荷重つまり地震用荷重に衝撃係数を掛けた値とする。

この衝撃係数は、中低層の集合住宅に、水平動と上下動を持つ地震荷重を同時に作用させた動的応答解析結果から算定した。この動的解析は地震による構造物の崩壊現象を追求

できる汎用衝撃解析ソフトを用いて計算した。

その結果、直下型地震を受けた建物が層崩壊を生じたときに、集合住宅の一住戸当たりに作用する力（荷重）を、構造種別、崩壊形、地盤等を考慮して、パラメトリックな数値計算より求めた。概ね、上下方向については重力加速度を、水平動には１Ｇを考慮すれば良いことが得られた。

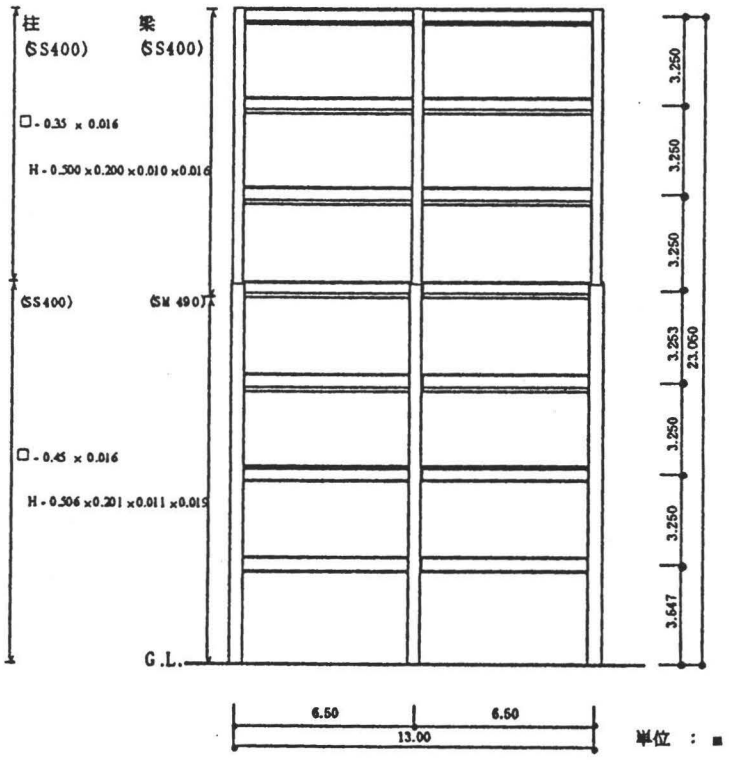


図１　建物モデル

兵庫県南部地震では、１階が駐車等のスペースに利用されたピロティ形式の集合住宅が顕著な被害を生じている。１階の層崩壊が足払いの様に生じたとき、上階部分が１階の上に鎮座するパンケーキ破壊を生じる。図１に示す鉄骨造７階建てラーメンに、図２の様な神戸海洋気象台 NS 波が作用した時、建物が生じる変形図の時刻歴応答を図３に示す。変形図は MSC.PATRAN を用い、変形状態を分かり易くするため拡張してある。

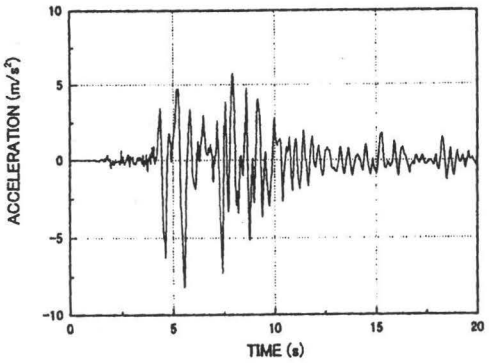


図２　神戸海洋気象台ＮＳ波の加速度時刻歴

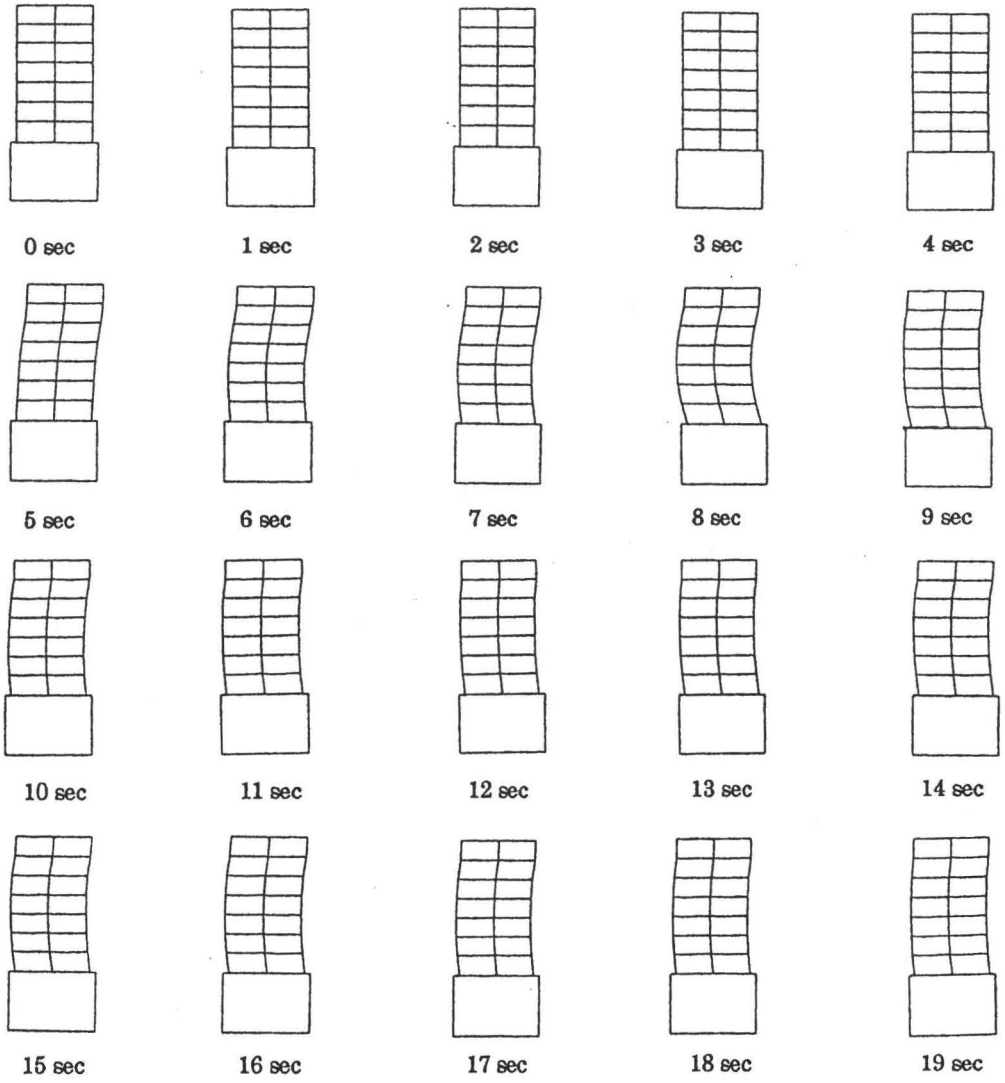


図３　建物の変形時刻歴（１階柱の断面欠損なし）

図４は１階の柱が何らかの損傷を生じやすくするため、いま、１階の外柱および内柱共に、１階柱の曲げ剛性が１階柱脚部分で50％弱くした場合、入力地震波の速度が６秒前後から２次変形モードを示して、１階外柱の破断と同時に１階部分が完全に層崩壊を生じて、上階が１階部分に鎮座している。兵庫県南部地震では多くの建物に、この崩壊ケースが見られた。

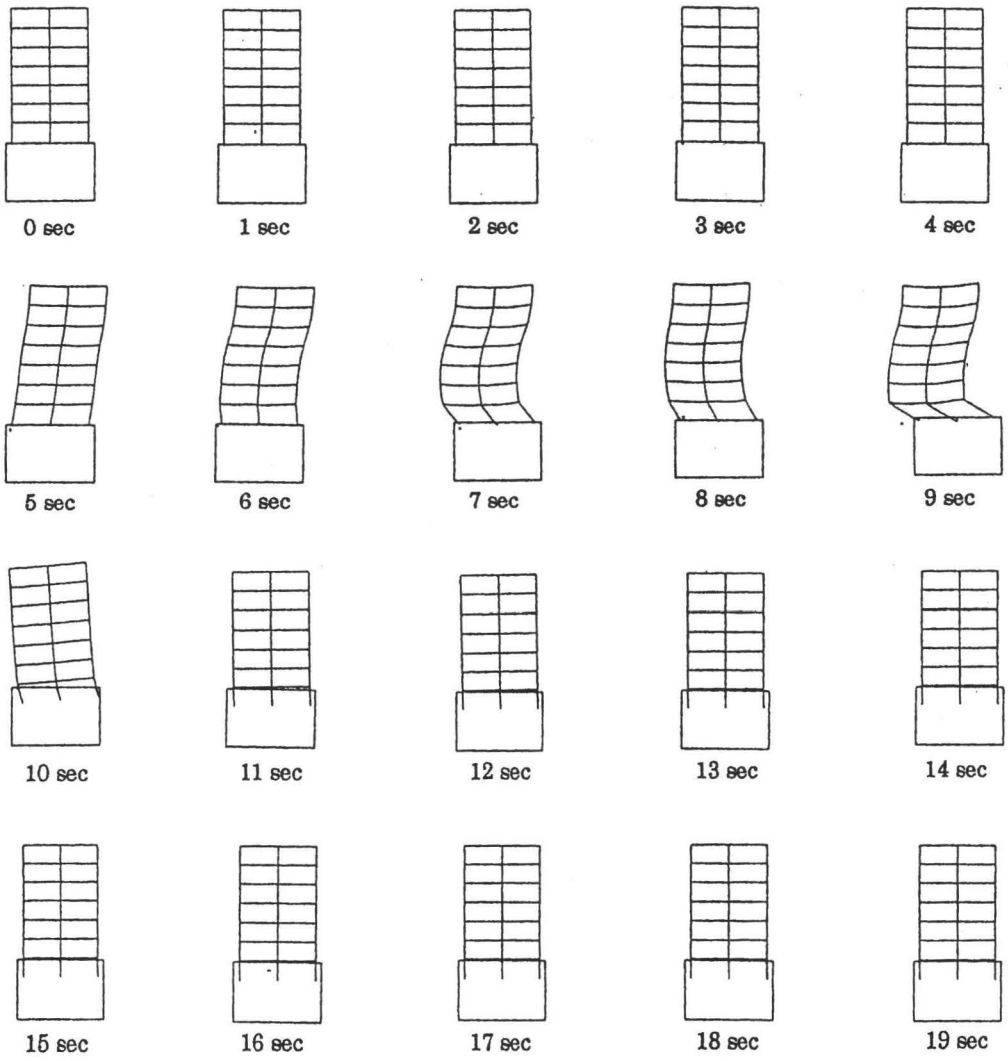


図４　建物の変形時刻歴（１階柱全柱脚部の断面２次モーメントが５０％欠損）

一方、１階部分における柱の欠陥が外側柱１本の場合、図５に示す様に、建物は転倒し、上述した１階部分の層崩壊よりも大きな被害を生じる。これに反し、１階部分における柱

の欠陥が中柱のみの場合、図６に示す様に、建物は１階中柱の崩壊により、各階の床面は大きく傾斜するが、図５に示す被害よりも軽微である。１階柱の崩壊により柱は階の支持能力を喪失して第２種構造要素になるが、同じ第２種構造要素でも、外柱と内柱では、建物被害においては大きな違いがある。

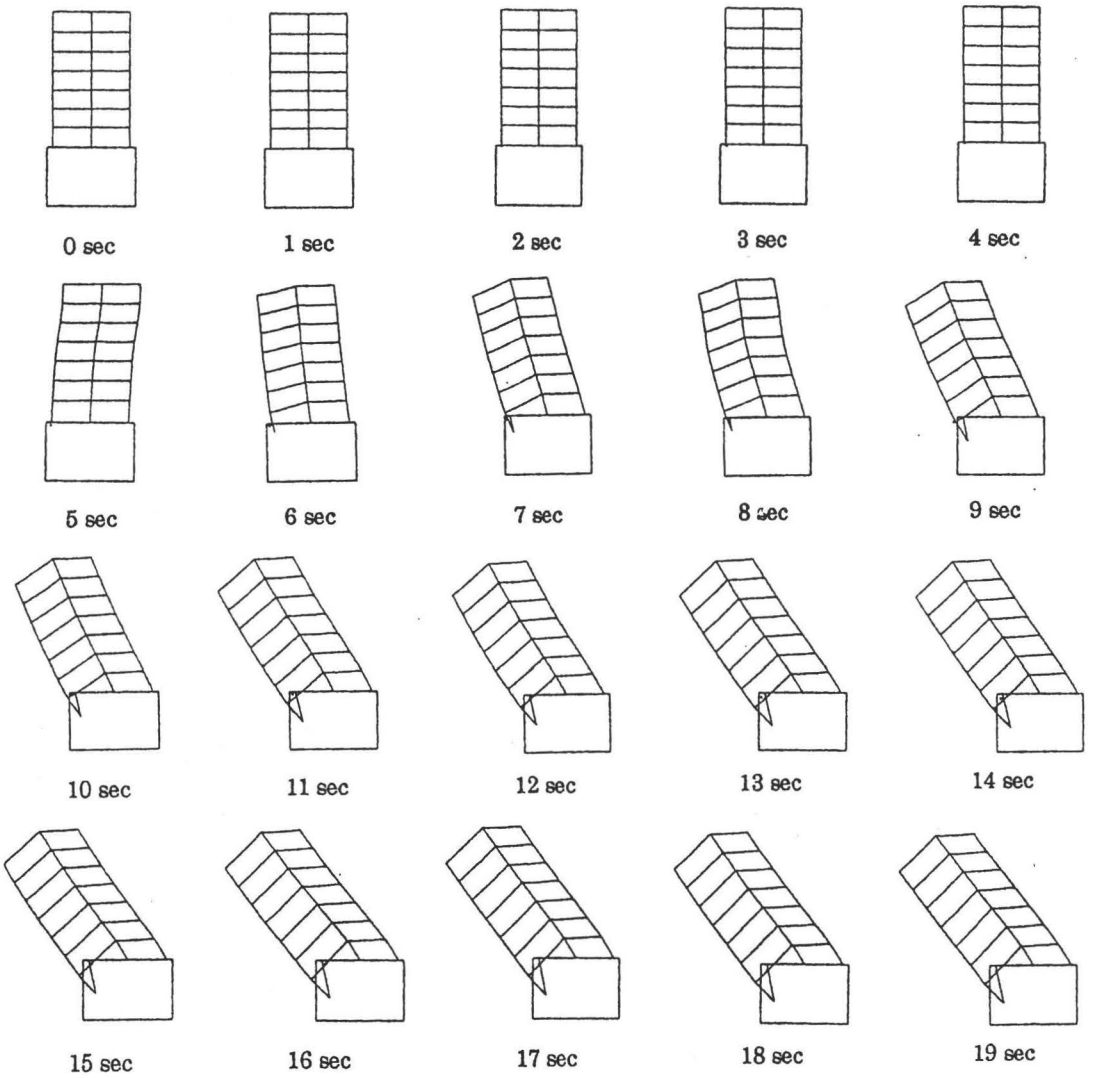


図５　建物の変形時刻歴（１階左外柱柱脚部の断面２次モーメントが７５％欠損）

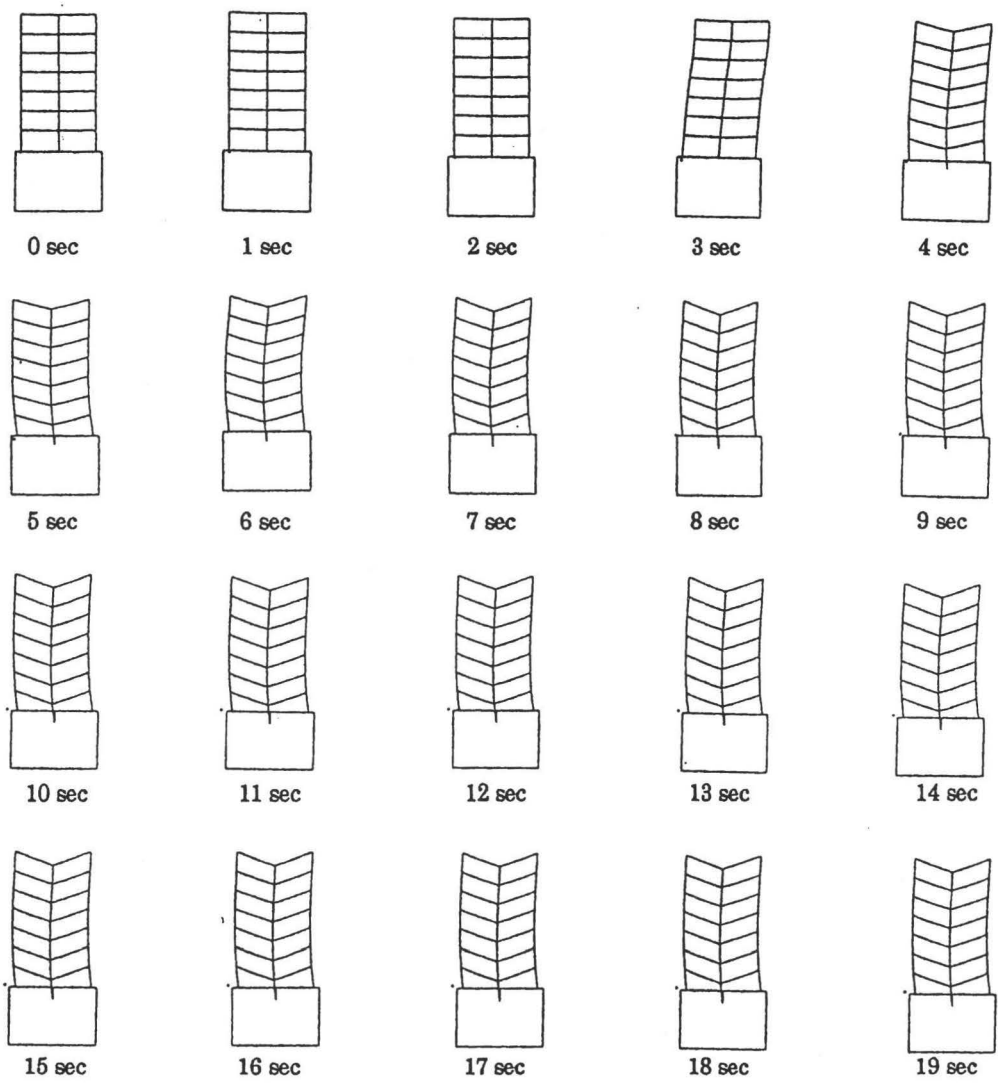


図６　建物の変形時刻歴（１階内柱柱脚部の断面２次モーメントが７５％欠損）

本計算例では、張間方向を検討するため、内柱が１本で構成される建物の崩壊について検討したが、桁行方向に多くの柱がある建物に付いて検討していないので、一般的な事項まで言及できないが、外柱の崩壊は避けるべきであることは少なくとも言える。高速コンピュータの導入により、多張間ラーメンについての崩壊を数値計算中であり、崩壊に伴う入力エネルギの急激な時刻歴変化と建物の崩壊との関係が明確となった。

以上の計算例で示した様に、実際に地震被害で生じた建物の崩壊損傷は数値シュミレーションでほぼ完全に把握できることが明らかとなった

③　避難空間の位置、個数の決定指針の提示

実際に建設されている集合住宅の間取りをパターン化し、建物の層崩壊時において、避難空間を確保する平面的な位置及び個数について検討した結果、廊下をシェルター化することが一番合理的であり、経済的にも可能であることが判明した。

④　避難空間確保のための垂直支持材の選定

避難空間を確保するためのシェルターを鋼構造のフレーム付き薄肉構造とし、ユニット化したシェルターの衝撃耐荷性能を、高速コンピュータを用いた衝撃解析から検証した。シェルターに避難した人が圧死しないために必要な空間が確保されるまでの構造強度を計算した。

又、最近の集合住宅は、各戸の面積も増加の傾向にあるが、特に居間を中心とした大きな空間が導入される傾向にある。また、廊下を最小にして部屋の連続形態として動線を確保する形態も見られる。このようなプランに対しては、間仕切り壁を有効に活用して、擬似的な廊下の空間を設定したシェルターを考えることにした。

⑤　垂直支援材の力学的性状の解明と耐力簡易評価式の提案

避難空間を確保する垂直支持材が、層崩壊時に生じた上階及び下階の変形に対して、安全にその機能を保持出来るかを、有限要素法及び衝突破壊理論による数値実験から検証する。垂直支持材の保有耐力、崩壊形状、靭性等の力学的性状を明らかにし、その耐力評価が簡易に行える評価式を検討する。

⑥　居室空間に対する個別耐震評価法の提案

集合住宅の各戸の居住環境から評価した、現状及び改修後の耐震評価が出来る評価法とシステムを検討した。

⑦　居住性及びリフォーム性を考慮した垂直支援材の提案

居住性、施工性、リフォーム性を考慮して、垂直支持材のパーツ化と補強法を具体的に検討した。

上記の研究成果は学術的な成果は学術論文として発表し、先駆的な技術の開発事項については特許その他として発表するため、目下整理段階である。

1-8　調湿建材の調湿性評価法に関する研究

建材試験センター中央試験所

副 所 長　　勝野　奉幸

1．研究の目的

最近の住宅建築においては、快適性や健康性が重要視されてきている。一方では、高気密化することによる室内空気の汚染やかび・ダニの繁殖等によるアレルギー疾患の問題がクローズアップされている。この対応にはいろいろあるが、建築工法的に湿気を制御し、良好な湿度状態に維持するという材料の吸放湿性能を利用した調湿建材の活用が注目されているところである。しかし、このような吸放湿性を持つ調湿建材については、評価方法に定まったものがなく、測定方法もまちまちである。また、調湿建材の建物への使用に当たっての調湿建材をどの程度使用すればどのような効果があるかといった設計指針的なものもないのが現状である。

そこで、本研究は調湿建材の評価法として、調湿性能（吸放湿性能）を的確に評価する項目とその測定方法の検討を行い、将来の設計指針への応用を視野に入れた評価方法の確立を目的とする。

1．研究の概要

建材の吸放湿は、通常、雰囲気の湿度変化と温度変化の両者によって起こる。現実には、湿度と温度が共に変化し、それに伴って材料の吸放湿が生じる。しかし、材料の物性値的な性能として、調湿建材の吸放湿をとらえようとすると、湿度変化に対するものと温度変化に対するものとを分けて考える方が便利であり、また、理にかなっているともいえる。このため、本研究では、湿気（湿度）に関する性能と温度に関する性能との２つの性能に大きく分けて検討を行った。特に湿気に関しては、これまでの既存の研究も含めた検討を行い、より的確な評価項目及び評価法の確立を目指した。

また、将来的な設計指針への適用を考慮し、最近とみに発展している熱湿気同時移動方程式による空間の温湿度シミュレーションにも適応しうる測定項目の検討を行った。

以上の検討をふまえ、本研究では、

（1） 湿度ステップ法

（2） 密閉箱法

の２つの方法について検討を加え、さらに測定方法を規格化することにより、調湿建材の吸放湿に関する標準的な測定方法を提案した。

３．湿度ステップ法

３．１　測定項目及び方法の検討

調湿建材の吸放湿性を定量的に評価するために、現在測定可能な様々な測定項目について検討を行った。検討を行った測定法あるいは項目を表－1 に示す。

これらのうち、(4) 透湿係数はすでに JIS 化されている。また、(3) 平衡含水率はすでに建材試験センター規格として制定されており ISO にもある。このため、この 2 つは今回の検討項目からは除外した。

規格案に盛り込む測定法及び項目は、表－1 のような経緯で取捨選択した。

以上の検討の結果、ステップ応答法及びステップ繰り返し法の 2 項目を調湿建材の吸放湿性評価のための測定法として採用した。

３．２　測定方法の検討

３．１で絞り込んだ測定方法について、種々検討を加えた。

３．２．１　ステップ応答法

材料の吸放湿性を定量的に評価するために、我々がこれまで行い、また、様々な機関で行われてきた方法である。この方法は湿度のステップ変化に対する材料の吸放湿応答を測定する方法で、材料の吸放湿性を評価するためには欠かせない方法といえる。測定装置は、図－1 に示すように、主として試料の重量を測定するための天秤と、試料を曝露する雰囲気を保つ恒温恒湿槽である。従って、様々な種類の装置の組み合わせが考えられるが、ここでは、３つの例を挙げている。ステップ応答法の概要を表－2 に示す。

（１）吸放湿時間の影響

まず問題となるのは、吸湿時間及び放湿時間である。通常の生活サイクルを考えると、12 時間吸湿、12 時間放湿の 24 時間周期が妥当という考えも根強いが、測定の容易さからは 24 時間吸湿、24 時間放湿の 48 時間周期がよいという考えもある。また、さらに短時間で、との考えもあるが、短時間で行う場合、吸放湿が遅い材料（応答の遅い材料）の測定では、材料の特性をうまく評価できないおそれがあり、従って、少なくとも 12 時間以上の吸放湿時間は必要である。同一材料を、24 時間周期及び 48 時間周期で測定した結果を図－2 に示す。図－2 に示すように、当然吸放湿量の差はあるが両者は同じプロフィールで吸放湿を行っており、両者で性能の差はないといえる。このため、規格では、飽和塩類を用いた測定の場合の測定の簡便さから 48 時間周期での測定を採用した。

（２）試料寸法及び装置の違いによる影響

試料の大きさによる影響を見るために、同一材料で寸法の異なる試料をそれぞれ異なる装置で測定した。測定に用いた装置は、図－1 の a 及び b である。測定結果を図－3 及び図－4 に示す。これらの図を見る限り、寸法による差、装置による差は見られない。ただし、試料寸法が小さくなると、相対的に重量測定のばらつきが大きくなる。従って、規格では 300×300mm の寸法を採用した。

（3）湿度条件

調湿建材の吸放湿性能はそれぞれの平衡含水率曲線によって決まるといってもよいが、そのため、表－2のように、湿度のステップ変化の条件を低湿域、中湿域、高湿域に分け、例えば低湿度の雰囲気で性能を発揮するとか、高湿度の状態に強いといった、材料の特徴あるいは使用条件に合わせた評価が可能となるようにした。

規格では、測定時の雰囲気は、図－1 に示すように機械式の恒温槽あるいは飽和塩水溶液、または相対湿度発生装置を用いて制御できるようにした。そのため、相対湿度の値がラウンドナンバーになっておらず、ステップ幅にもややばらつきがある。

（4）測定例

吸放湿性の評価項目としては、当然の事ながら、吸湿量と放湿量、また吸湿量と放湿量との差という量に関する評価と、吸湿あるいは放湿にどのくらい時間がかかるか、すなわち材料の湿気に対する応答性を表す吸放湿勾配という評価の２つの評価が考えられる。この他に湿気浸透率も考えられるが、材料によって適用できるものとそうでないものがあるため、評価項目としては割愛した。

吸放湿勾配は、次式から求めた。

$$Gn = (mn - mn\text{-}1) / \Delta t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ここに、Gn ：n時点における吸放湿勾配（g/(m^2·h)）

mn：n時点における試料の質量計算値（g）

Δt ：時間分割（1h）

ステップ応答法による測定例を図－5～図－9 に、吸放湿勾配の測定例を図－10 に示す。

3．2．2　ステップ繰り返し法

材料を調湿建材として用いる場合、吸放湿に対する耐久性が問題となる。すなわち、最初は非常に性能が良くても、吸放湿を繰り返すうちに材料が水分を蓄積していき、その結果吸放湿性が低下するおそれがある。

このため、ステップ応答を繰り返して行うことにより材料の吸放湿性に対する耐久性を評価することとした。測定法の概要を表－3 に示す。

規格では、3 サイクル 6 日間としたが、これは、測定上の一つの目安とも言うべきものである。3 サイクルでは短すぎるという議論も当然あるが、実際の測定を考えると 6 日間程度が妥当であろうということであり、必要があればサイクル数を増やすことも考えなくてはならない。

また、ステップ応答法とは測定前の試料養生条件を変え、3 サイクルでもある程度周期的定常状態が得られるように、高湿度条件と低湿度条件との平均湿度で養生を行うことと

した。

5サイクル行った測定例を図－11に示す。この例では、3サイクルでほぼ定常状態になっている。

評価項目としてはステップ応答法と同様、3サイクル目の吸湿量、放湿量及び吸湿量と放湿量との差とし、特に吸放湿量の差に注目し、ステップ応答法と比較して劣化の状況を評価することとした。

ステップ繰り返し法による測定例を図－12～図－15に示す。図－14、図－15では3サイクルでは定常状態になっていない。これは、試料の養生が十分でなかったことも一因である。ただし、吸湿量と放湿量の差は、1サイクル目も3サイクル目も余り変化が無く、材料自体に蓄えられる量はほとんどない。

3．2．3　表面湿気伝達抵抗の設定

材料の吸放湿性は、材料自体の性能もさることながら表面の湿気伝達率により大きく左右される。このため、同じ条件で各材料の性能を比較するためには、表面の湿気伝達抵抗を同一に設定することが非常に重要となる。このため、吸放湿性の測定に先立ち、試料表面の湿気伝達抵抗の設定を行った。

表面湿気伝達抵抗は表面での気流条件で決まる。従って、湿気伝達抵抗を決めることはすなわち表面での気流条件を決めることでもある。

通常、機械式恒温槽を使う場合でも、また飽和塩水溶液を用いたデシケータを使う場合も槽内の湿度分布を均一にするためには、槽内を撹拌する必要がある。ただ、機械式恒温槽を用いる場合、逆に槽内の気流が強すぎ、湿量測定に支障をきたすために風防が必要となる。いずれにしても、表面湿気伝達抵抗は、表面の気流状態で決まるため、表面の気流を制御することにより、表面湿気伝達抵抗を一定の値に合わせ込むことが必要である。

湿気伝達抵抗の設定には図－16に示すような校正試料を用いるが、これは大澤の方法1)を元にしている。この2つの校正試料から次式により表面湿気伝達抵抗を求める。

$$Ro=2R1-R2 \quad \cdots\cdots (2)$$

ここに、Ro：表面湿気伝達抵抗

R1：1枚標準の湿気貫流抵抗

R2：2枚標準の湿気貫流抵抗

（単位はいずれも $mmHg \cdot h \cdot m^2/g$）

図－16のような形にすることによりカップ内の湿気伝達抵抗は無視できる。校正試料としてはケント紙を用いている。ケント紙といっても様々なものがあると考えられるが、特に規格のようなものは存在しない。しかし（2）式から分かるように、ケント紙の透湿抵抗

はキャンセルされるため、同じケント紙を2枚用意すれば、その種類や材質は問わない。従って、ケント紙ではなくても、透湿抵抗が0.1mmHg・h・m^2/g程度のものであれば、それを校正試料としてもよい。

校正試料（ケント紙）による表面湿気伝達抵抗測定結果を図－17及び表－4に示す。

表－1　測定項目の検討

測定方法	測定項目	検討内容
(1) 湿度のステップ変化に対する応答（ステップ応答）	吸湿量	○材料の吸放湿性を測定するために必要不可欠な方法 ○量だけでなく時間に関する評価も可能
	放湿量	
	蓄湿量	
	湿気浸透率	
	吸放湿勾配	
(2) 材料表面薄層における吸放湿係数	湿気コンダクタンス	規格化するにはさらに検討が必要
	試料薄層内の湿気容量	
(3) 平衡含水率	平衡含水率曲線	JSTM、ISO(Draft)に規格化されている
(4) 透湿係数	湿気伝導率	JISで規格化されている
(5) ステップ応答の繰り返し	吸湿量	○材料の耐久性を評価するために必要 ○特に蓄湿量が問題 ○サイクル数は検討が必要
	放湿量	
	蓄湿量	

表－2　ステップ応答法の概要

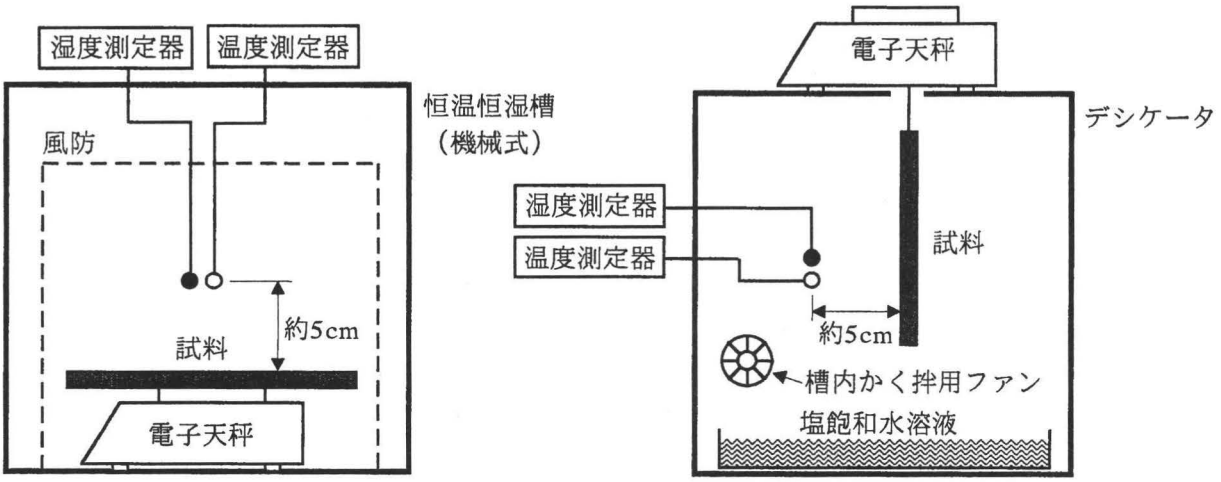
湿度条件	養生	吸湿過程（ステップ1）		放湿過程（ステップ2）	
		湿度	時間	湿度	時間
低湿域	33	53	24	33	24
中湿域	53	75	24	53	24
高湿域	75	93	24	75	24

表－3　ステップ繰り返し法の概要

湿度条件	養生	吸湿過程（ステップ1）			放湿過程（ステップ2）		
		湿度	時間	繰り返し回数	湿度	時間	繰り返し回数
低湿域	43	53	24	3	33	24	3
中湿域	69	75	24	3	53	24	3
高湿域	85	93	24	3	75	24	3

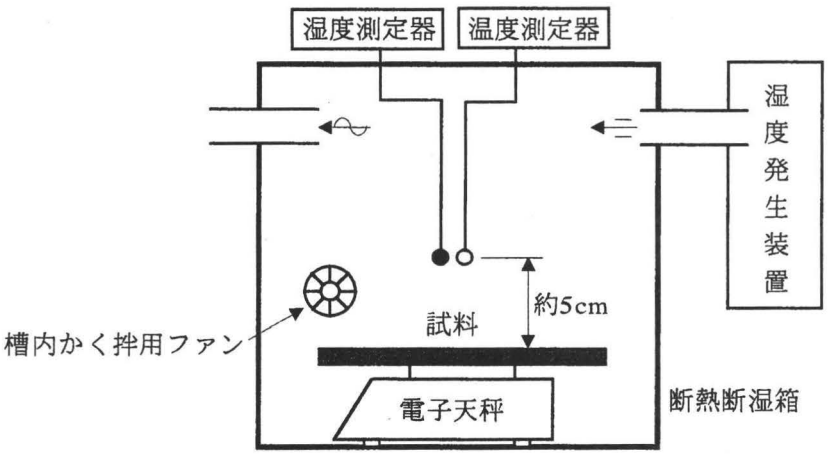
表－4　表面湿気伝達率

項目		装置	
	標準試料枚数 n	機械式恒温恒湿槽	デシケータ（飽和塩水溶液）
湿気貫流抵抗（$m^2 \cdot h \cdot mmHg/g$）	1	0.204	0.186
	2	0.309	0.268
	4	－	0.435
表面湿気伝達抵抗（$m^2 \cdot h \cdot mmHg/g$）		0.099	0.102



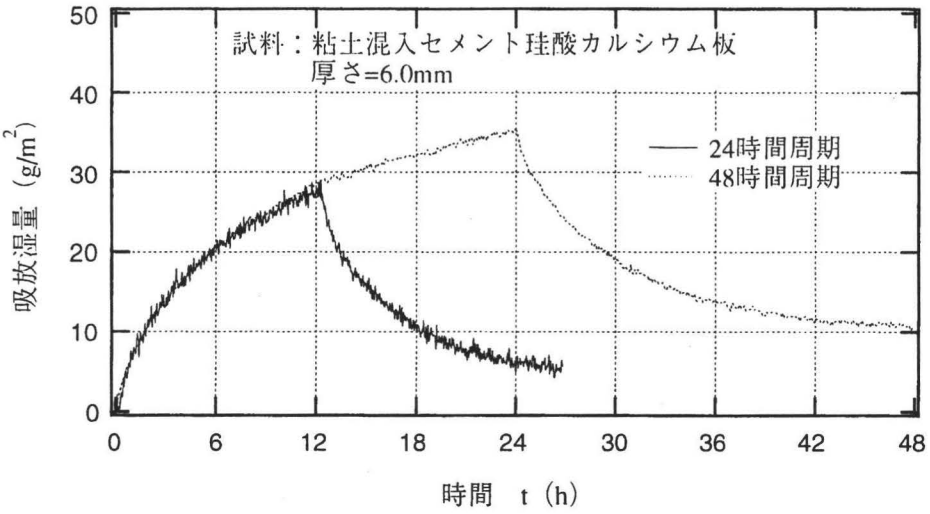
a) 機械式恒温槽を用いた場合

b) 飽和塩水溶液を用いた場合

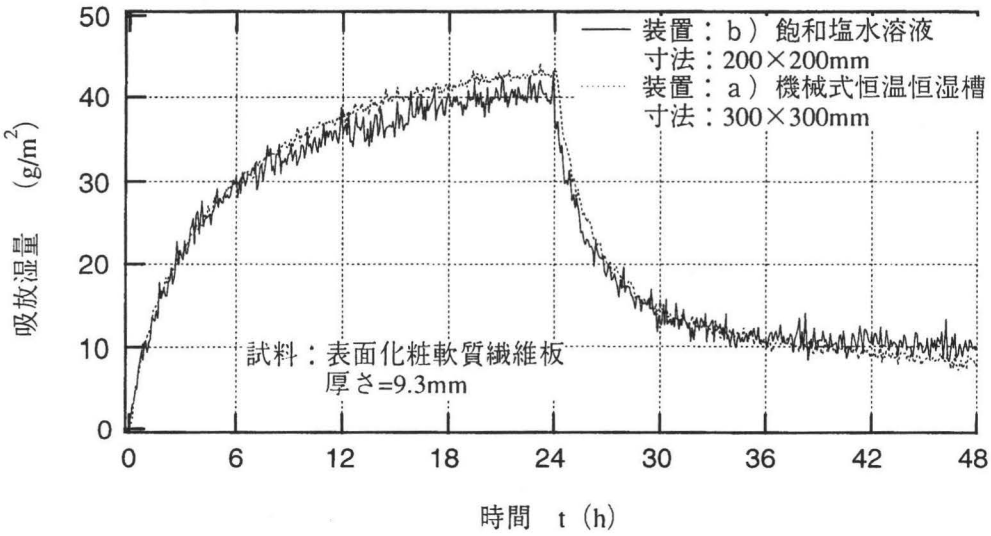


c) 湿度発生装置を用いた場合

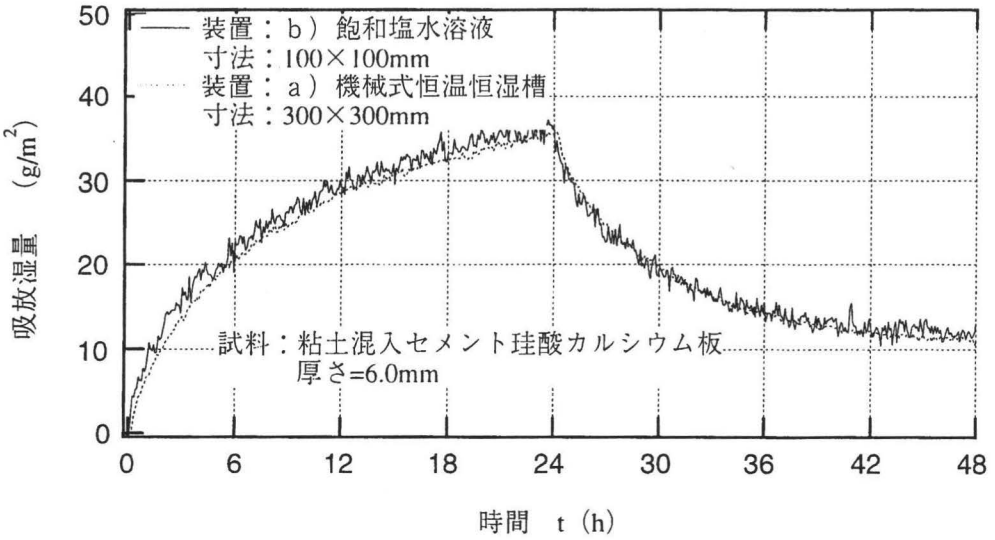
図1　装置概要（例）



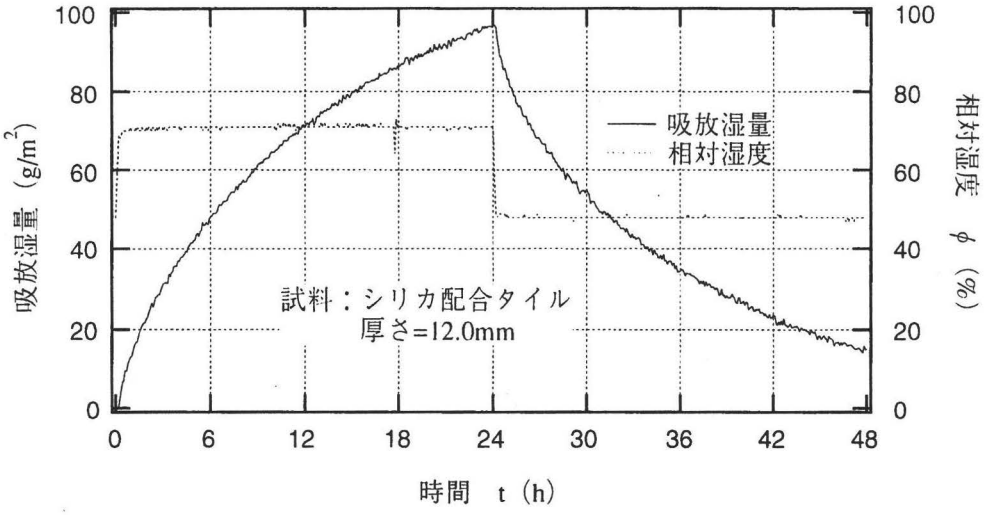
図－2　吸放湿時間による違い



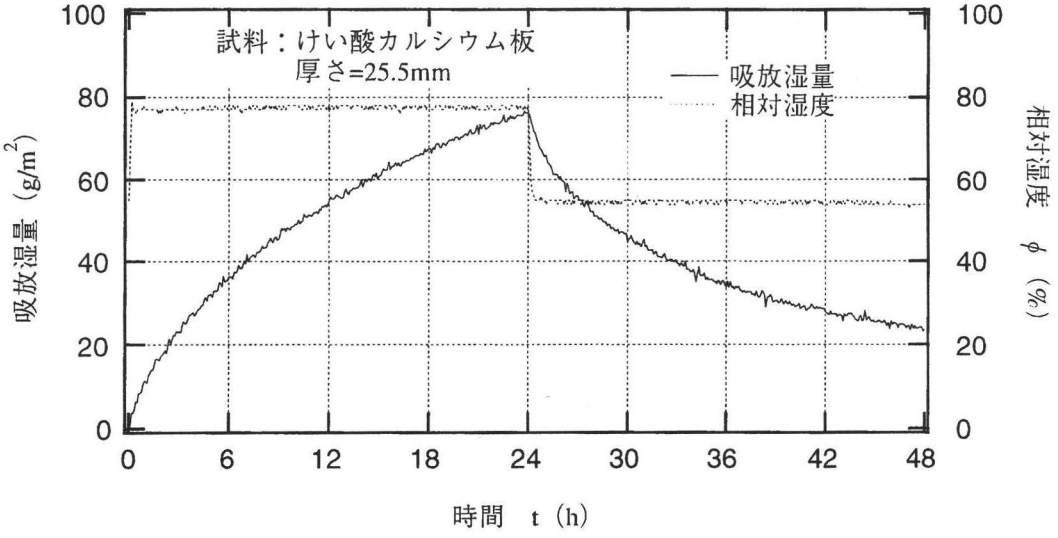
図－3　試料寸法及び装置による違い（1）



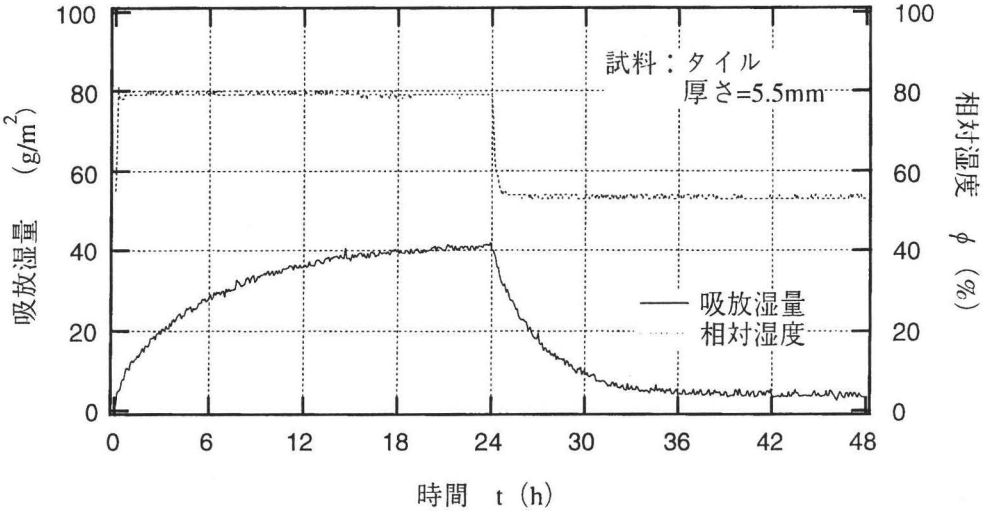
図－4　試料寸法及び装置による違い（2）



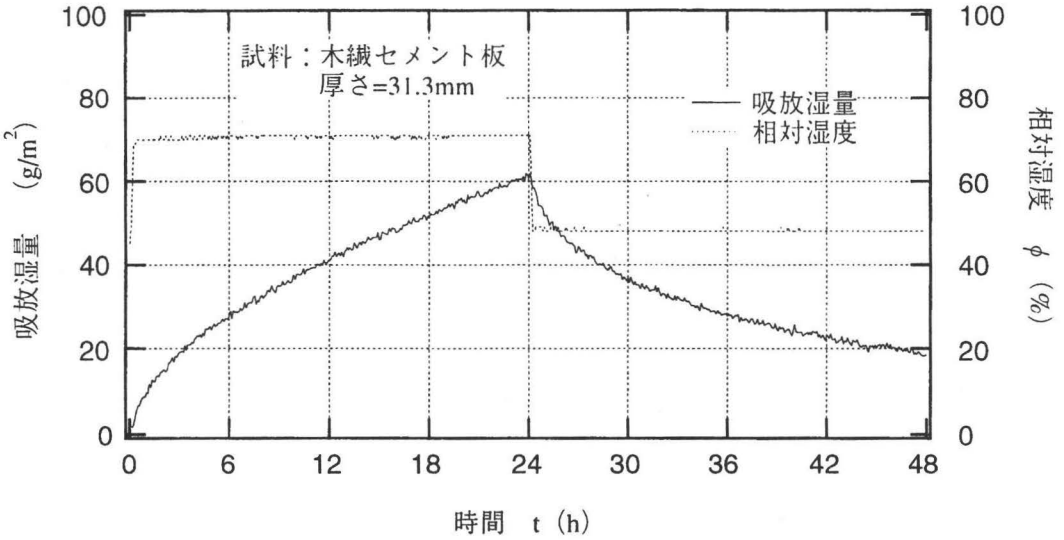
図－5　ステップ法による測定例（1）



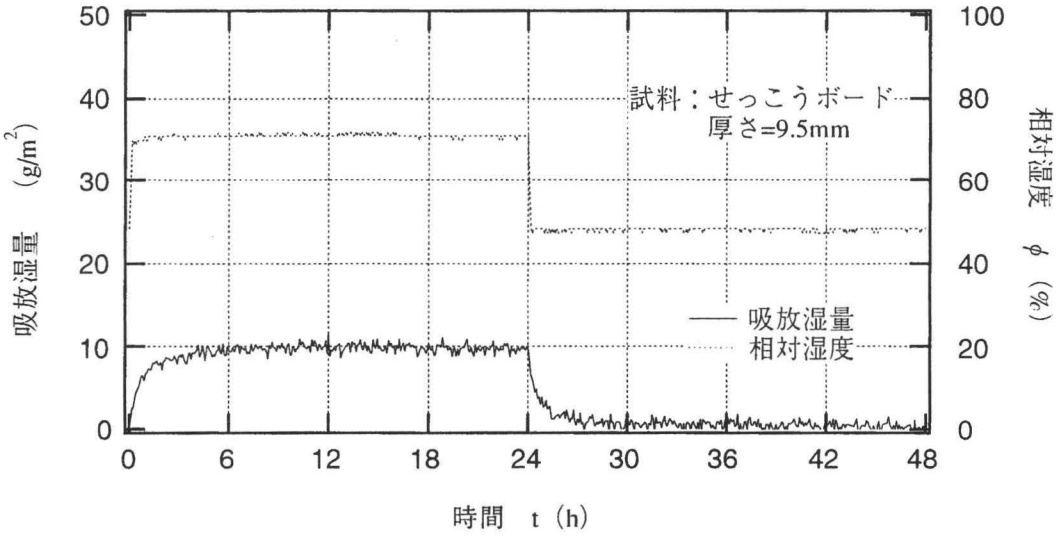
図－6　ステップ法による測定例（2）



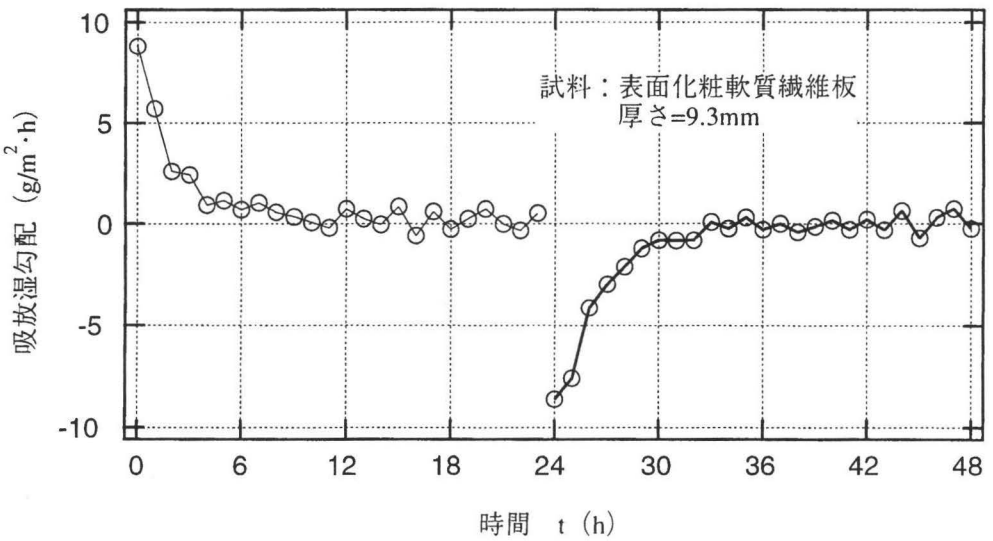
図－7　ステップ法による測定例（3）



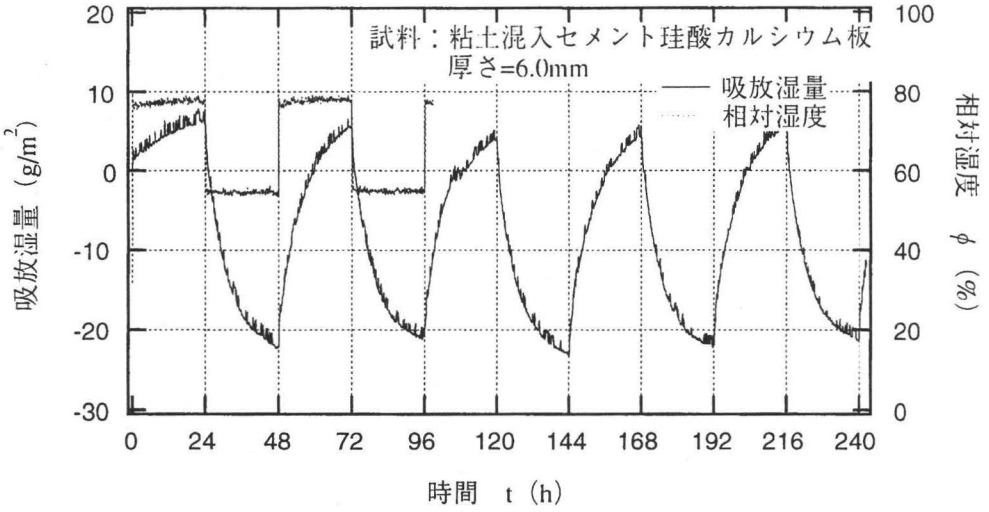
図－8　ステップ法による測定例（4）



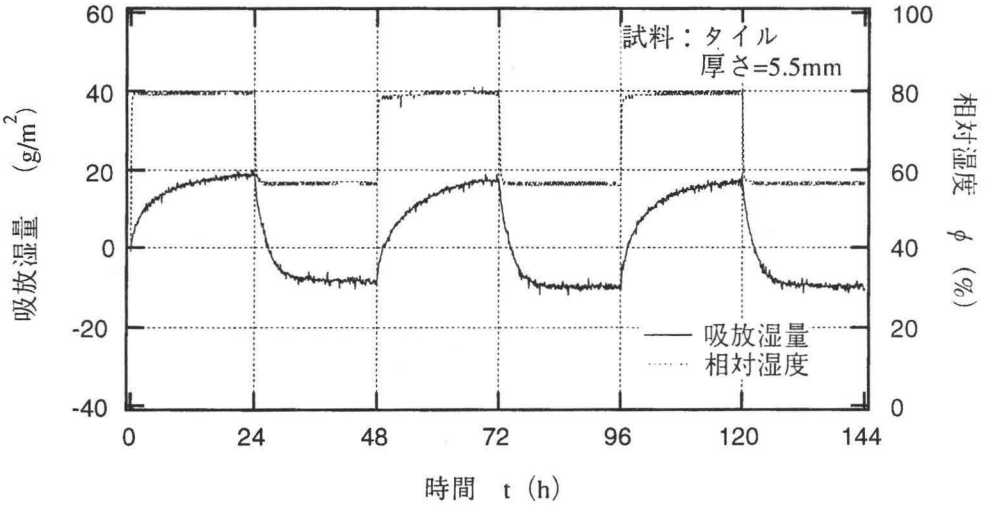
図－9　ステップ法による測定例（5）



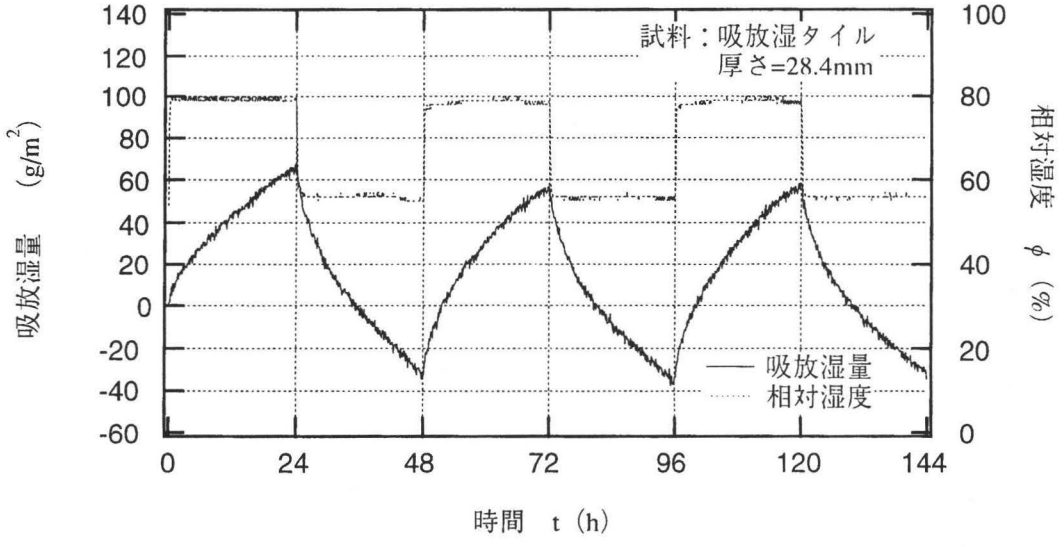
図－10　ステップ法による吸放湿勾配測定例



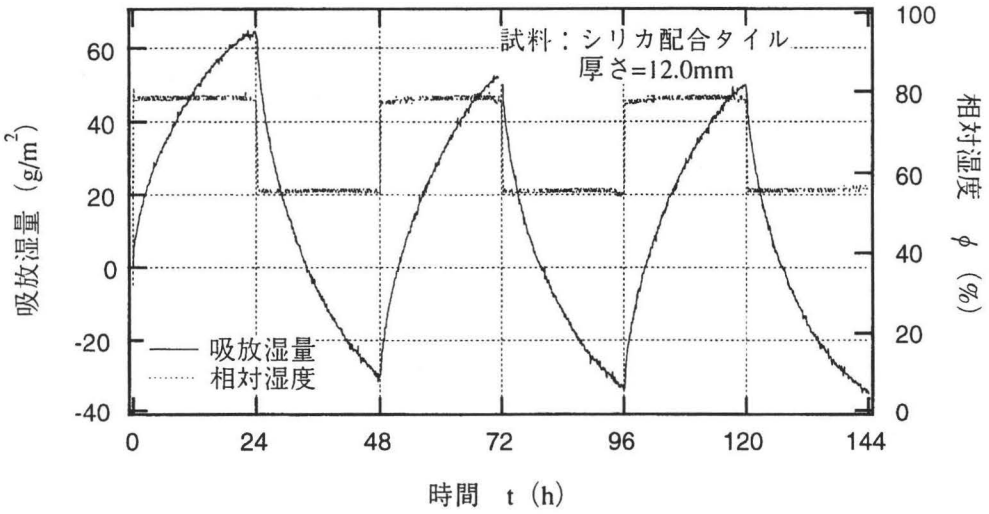
図－11　ステップ繰り返し法による測定例（5サイクル）



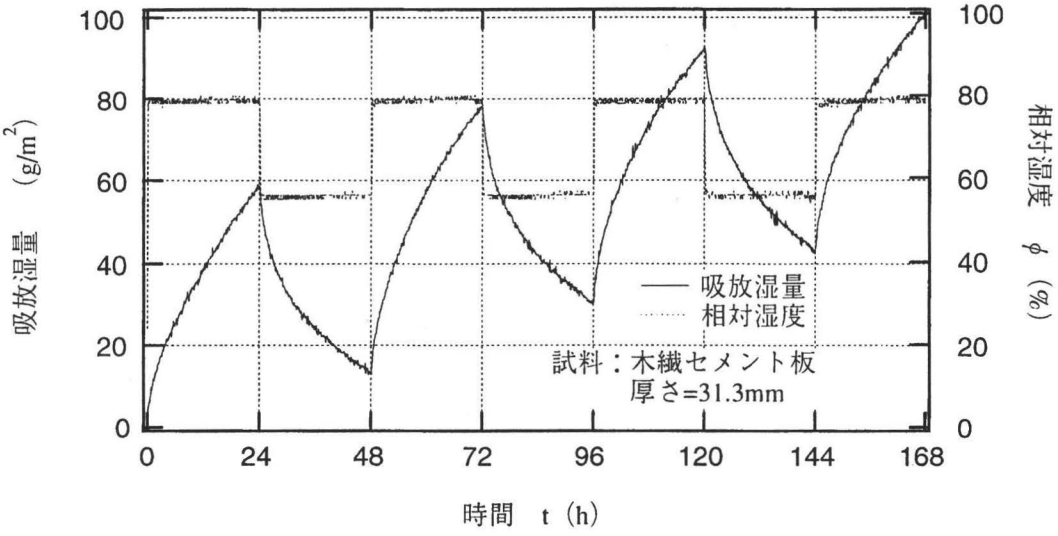
図－12　ステップ繰り返し法による測定例（1）



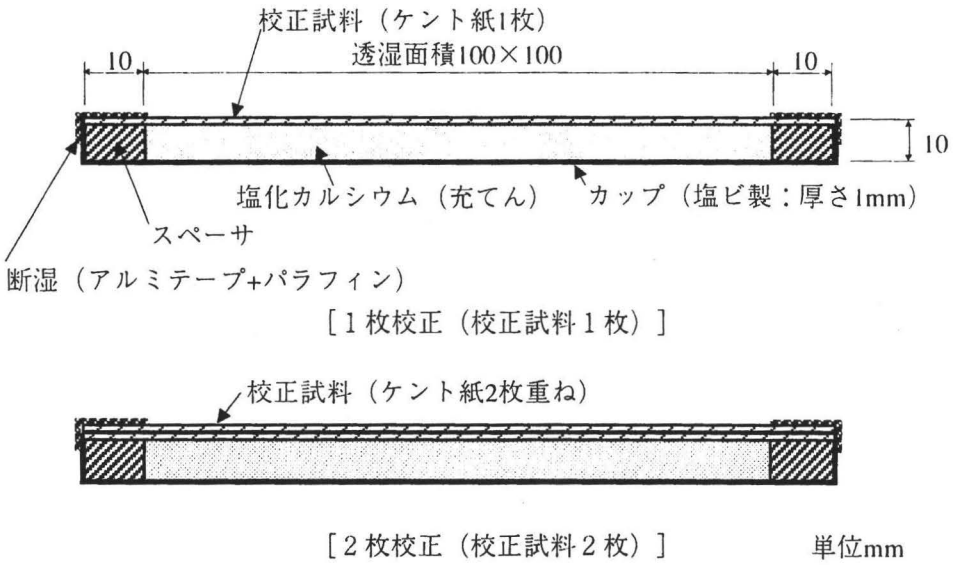
図－13　ステップ繰り返し法による測定例（2）



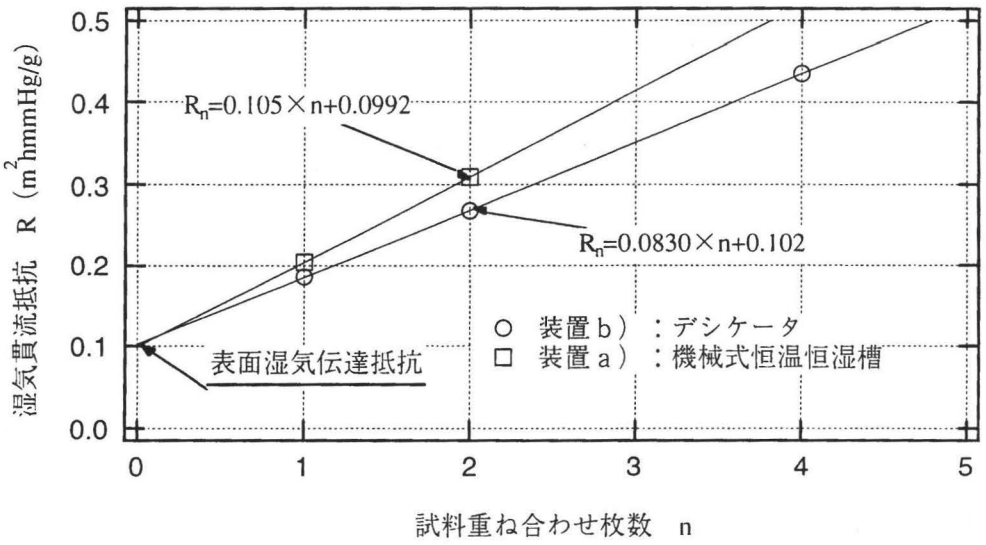
図－14　ステップ繰り返し法による測定例（3）



図－15　ステップ繰り返し法による測定例（4）



図－16　校正試料



図－17　表面湿気伝達抵抗測定結果

4．密閉箱法

一般的に用いられる建築材料は、ほとんどが多孔質であり、湿度の変化だけではなく温度変化によっても湿気を吸収したり放出したりする。特に調湿建材にとっては、温度変化に伴う吸放湿性能も重要な性能である。このため、温度変化に対する吸放湿性能を評価するための方法を検討した。

試験体とそれが置かれる空間に、湿度変化を与えずに温度変化のみを与えるために、これまで用いられてきた方法として密閉箱法がある。これは、吸放湿や湿気の透過がない密閉容器を制作し、その中に試験体を設置し、箱の周囲の雰囲気温度を変化させることにより密閉箱内に温度変化を間接的に与え、そのときの箱内の絶対湿度変化を測定して温度変化に対する湿度変化（吸放湿量）を求めるものである。

4．1　測定方法の概要

測定は、吸放湿及び湿気透過の無い密閉箱（金属製を原則とする）を用い、その中に吸放湿面以外は断湿及び断熱した試験体を設置し、密閉箱に蓋をし箱内を密閉状態にする。このとき、密閉箱内には温湿度センサーを設置しておく。この密閉箱を恒温槽内に設置し、恒温槽内の温度を変化させることにより、密閉箱内の温度を間接的に変化させる。密閉箱内の温湿度測定結果から、絶対湿度を求め、次式から温度変化１℃当たりの吸放質量を求める。

$$m_4 = (\Sigma \mid v - vm \mid) / (\Sigma \mid \theta - \theta m \mid) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

$$M = m_4 \cdot (V/A) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

ここに、　m_4：試料の調湿率（g/ m^3・℃）

M：試料の調湿性能（g/ m^2・℃）

v：密閉箱内時刻別容積絶対湿度（g/m^3）

vm：密閉箱内の１サイクルの平均容積絶対湿度（g/ m^3）

θ：密閉箱内時刻別温度（℃）

θm：密閉箱内の１サイクルの平均温度（℃）

V：試料体積を差し引いた密閉箱容積（＝0.027 m^3）

A：吸放湿面積（＝0.0625 m^2）

4．2　装置の検討

装置に関する検討項目として、以下の項目について検討を行った。

（1）　寸法

密閉箱法において、これまで、寸法による性能の違いが報告されている。当然試験体の寸法と箱内空間容積との関係で、吸放湿性能に差がでてくると考えられる。このため、常

に同一の条件での測定が可能となるように、試験体の寸法と、装置の寸法を決めておく必要がある。

装置の寸法は、測定の簡便さから、通常一般的に用いられている恒温槽に入る寸法として３００×３００×４００㎜とした。

（２） 密閉箱の仕様

密閉箱の材質は、原則的には、箱自体を断湿できれば何でも良いが、最も確実なものとして金属、しかもさびにくい金属ということでステンレス製とした。

密閉箱内の温度を直接制御するのではなく、周囲の温度を変えて、間接的に箱内の温度を変えるため、箱の熱容量及び断熱性能によって箱内温度の変化に差がでるおそれがある。このため、密閉箱の仕様を細かい部分まで決めることとした。また、蓋を気密に取り付けることができるようにするため、蓋を留めるボルトの数もかなり増やした。この結果、図18に示す仕様の箱とし、ステンレスの厚さも２㎜とした。

また、密閉箱内は気密であるため、温度変化に伴って内部の圧力も変化すると考えられるが、１０～２０℃程度の温度変化による圧力変化は無視できる。

４．３ 試験体の検討

（１） 寸法

試験体の寸法は、密閉箱容積（V㎥）と吸放湿面積（A㎡）との関係から２５０㎜×２５０㎜とした。

（２） 断湿及び断熱

試験体は、原則として製品を用いるためそれぞれ厚さが異なる。このため、図19に示すように断熱材も含めた厚さを規定し、常に密閉箱内の容積が等しくなるようにした。また、試験体の吸放湿面以外は、アルミテープ等により断湿し、断熱材の吸放湿の影響がないように断熱材は全面を断湿する事とした。

４．４ 装置の校正

密閉箱といっても、試験体以外からの湿気の影響を完全になくすことは、非常に困難である。このため、あらかじめ装置の特性として、試験体がないブランクの状態で温度変化を与えた場合の箱内の湿度変化を測定し、実際の測定値を校正する必要がある。

この校正値をm_0とすると、(３)式で求めたm_4から真の調湿率mは、次式のようになる。

$$m = m_4 - m_0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

従って、（４）式は次式のように書き換えられる。

$$M = m \cdot (V/A) \qquad \cdots\cdots\cdots (4)$$

ブランクの状態での校正結果を図 20～図 25 に示す。このうち、図 20～図 22 は断熱材をガムテープでシールしたもの、図 23～図 25 はさらにアルミ箔で２重にシールしたものである。２重にシールすると明らかにm_0は小さくなっているが、０にはならない。つまり、密閉箱が何らかの形で、湿気の影響を受けているといえる。これは、容器表面での吸脱着や、容器内部の圧力変化等が考えられる。いずれにしてもこれらの影響を０にする事はできないが、ブランクでの校正が正確であれば、測定も精度良くできる。

４．５　測定例

密閉箱法による測定例を図 26～図 31 に示す。図 26～図 28 はケイ酸カルシウム系調湿材（厚さ５㎜）、図 29～図 31 はゼオライト系タイル（厚さ３０㎜）である。

〔参考文献〕

1）大澤徹夫他：室内表面の湿気伝達に関する実験的研究（その 1）、（その 2）日本建築学会大会学術講演梗概集、昭和 63 年、平成元年

2）水谷章夫：多孔質材の湿気物性とその測定法、「湿気の応用的諸問題」第 26 回熱シンポジウムテキスト、1996 年

3）JIS A 1324「建築材料の透湿性測定方法」、1995 年

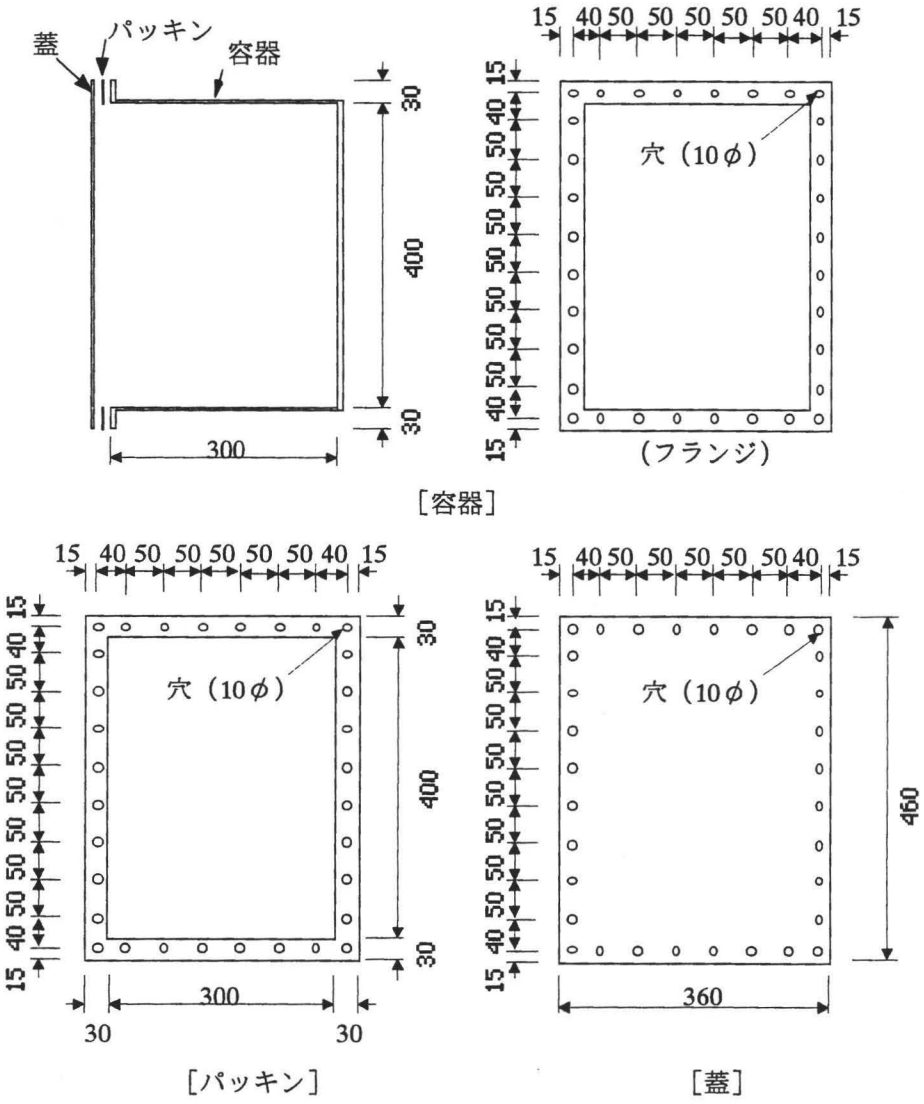


図18　密閉箱

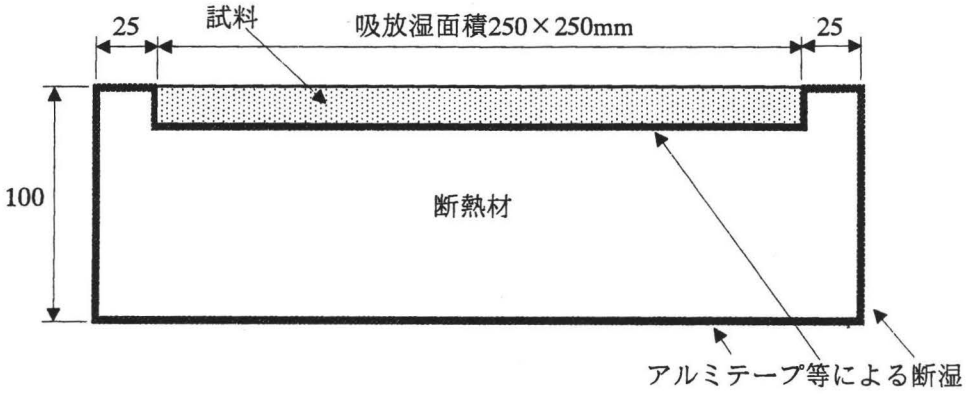


図19　試験体

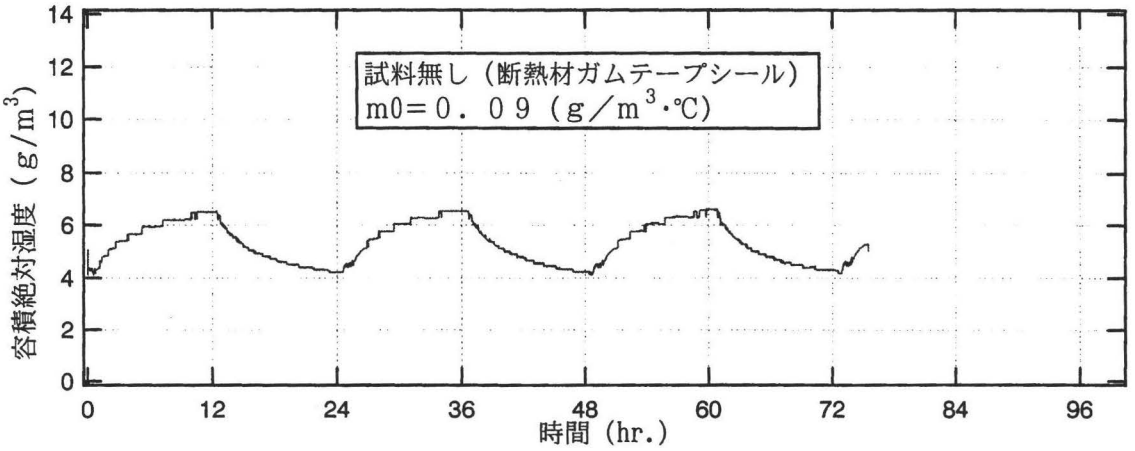


図20　密閉箱内絶対湿度

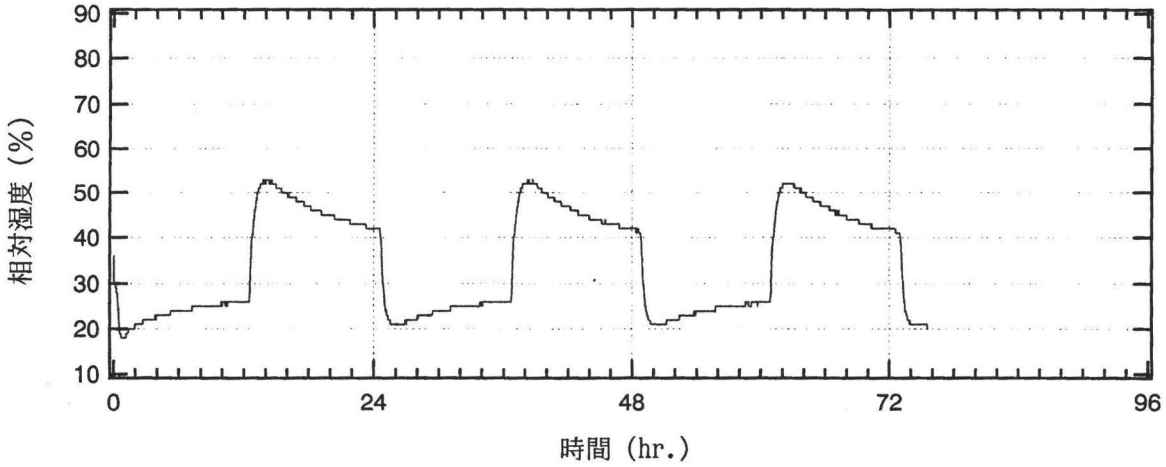


図21　密閉箱内相対湿度

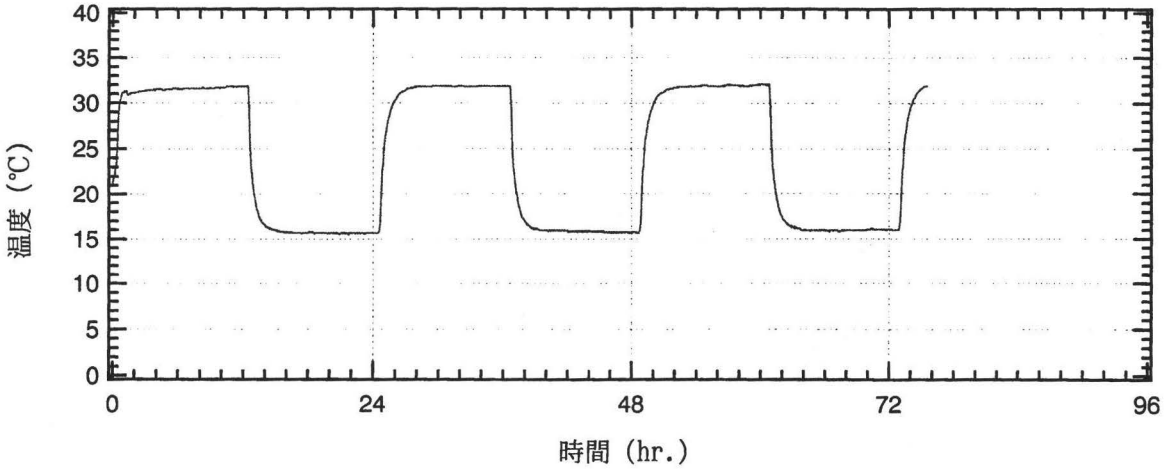


図22　密閉箱内空気温度

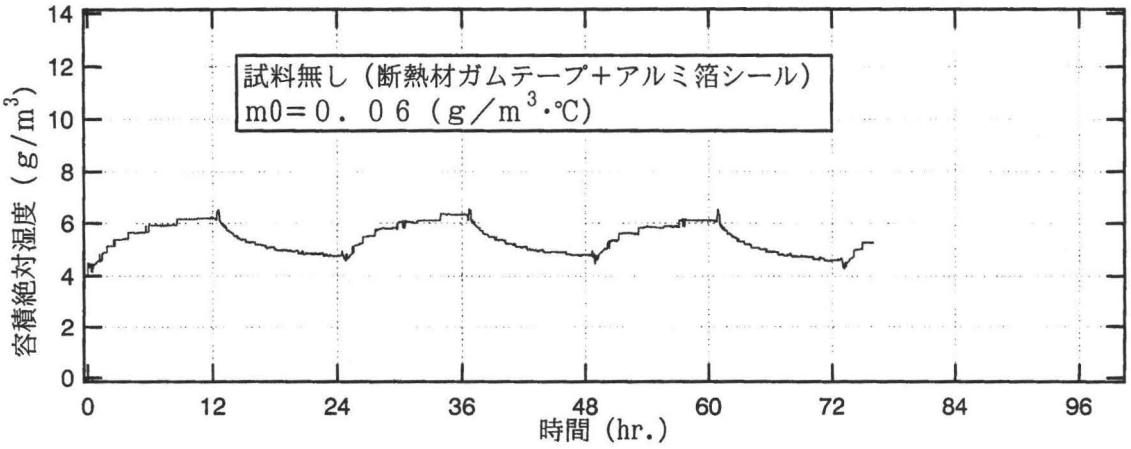


図23　密閉箱内絶対湿度

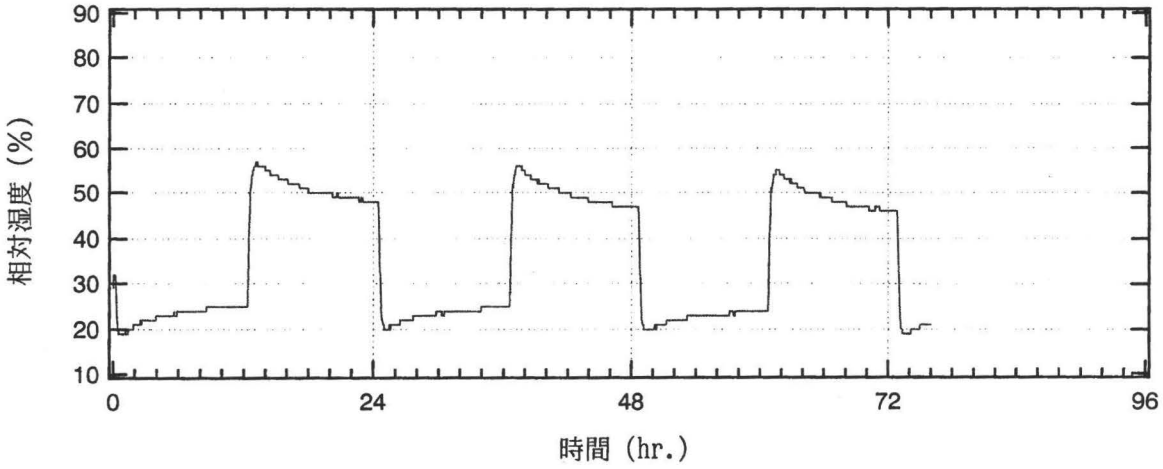


図24　密閉箱内相対湿度

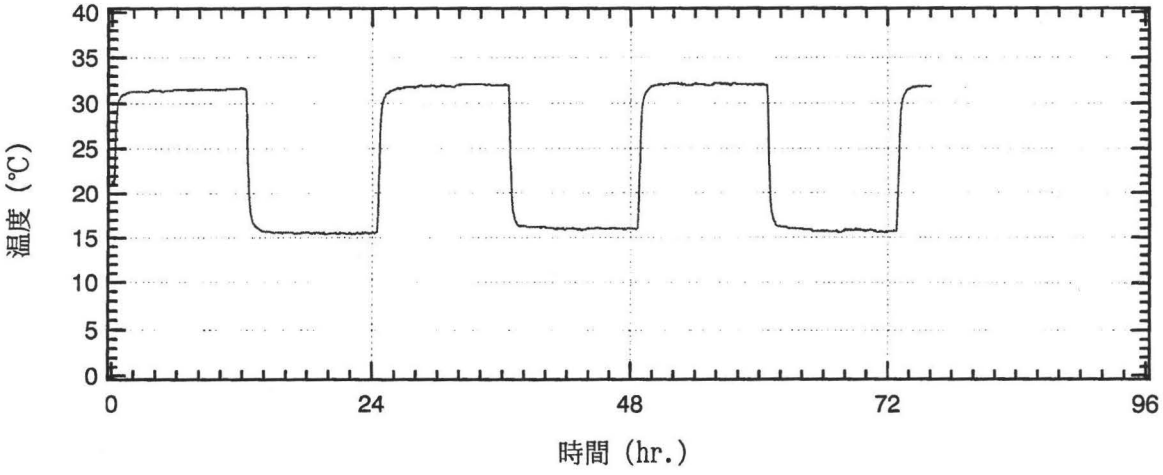


図25　密閉箱内空気温度

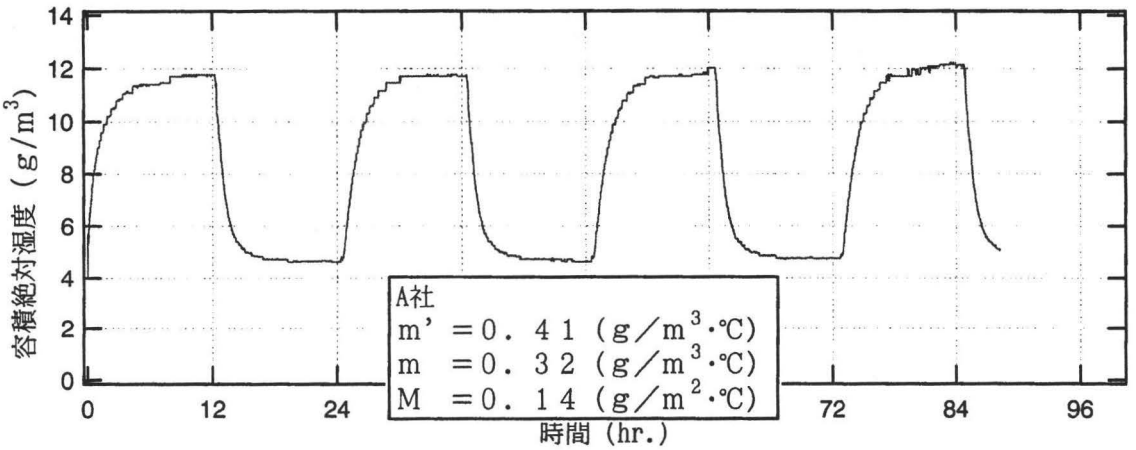


図26　密閉箱内絶対湿度

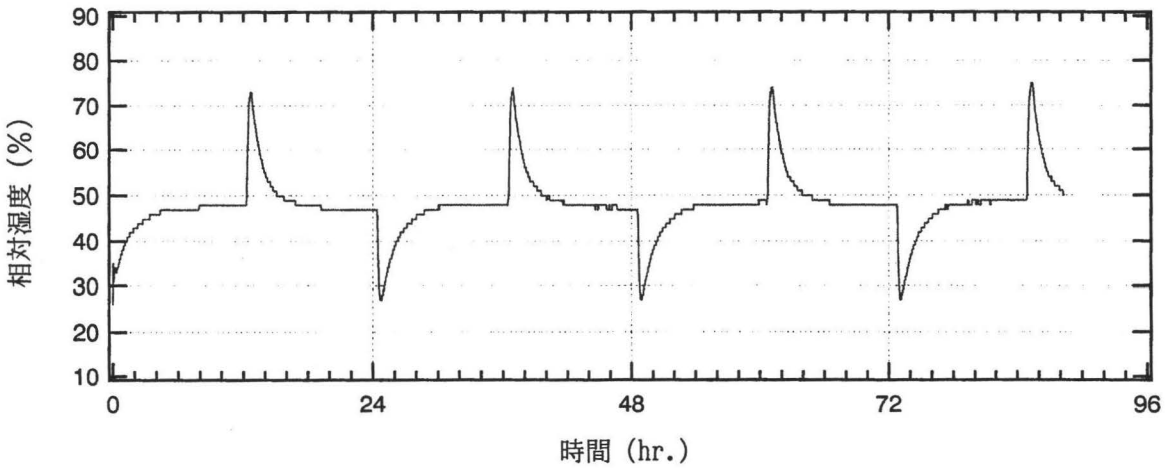


図27　密閉箱内相対湿度

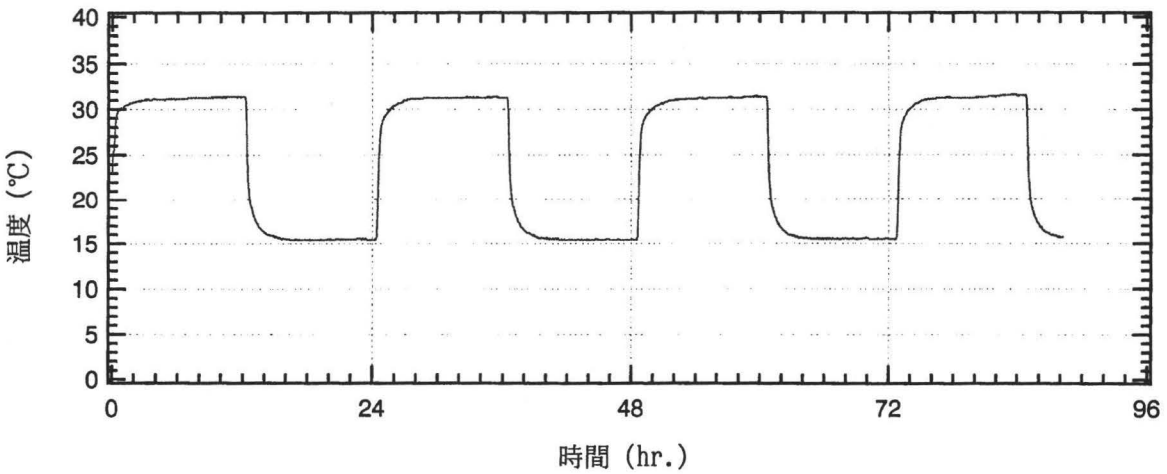


図28　密閉箱内空気温度

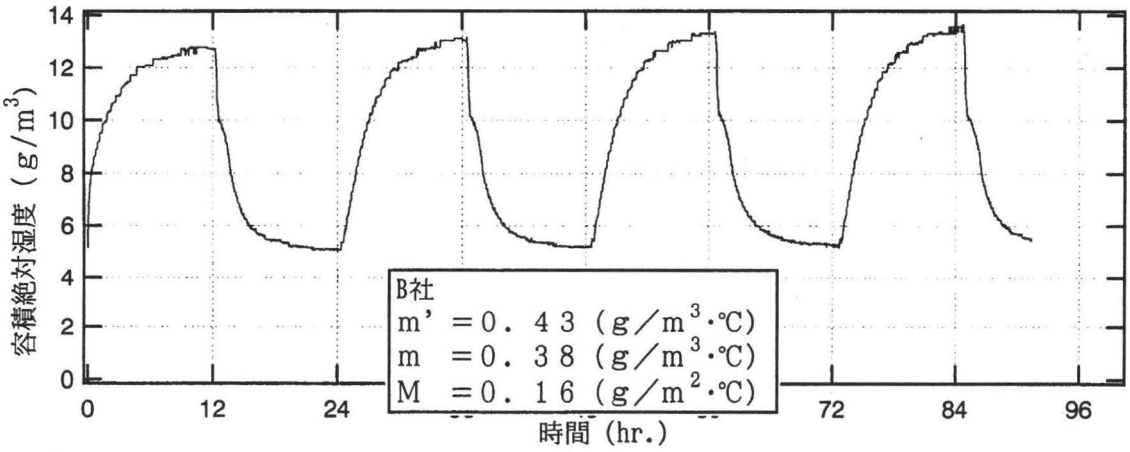


図29　密閉箱内絶対湿度

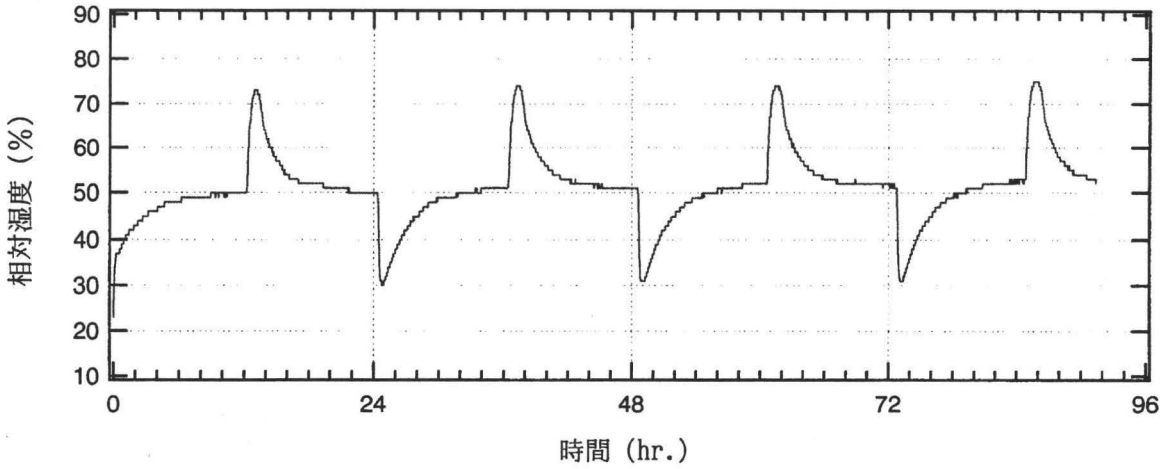


図30　密閉箱内相対湿度

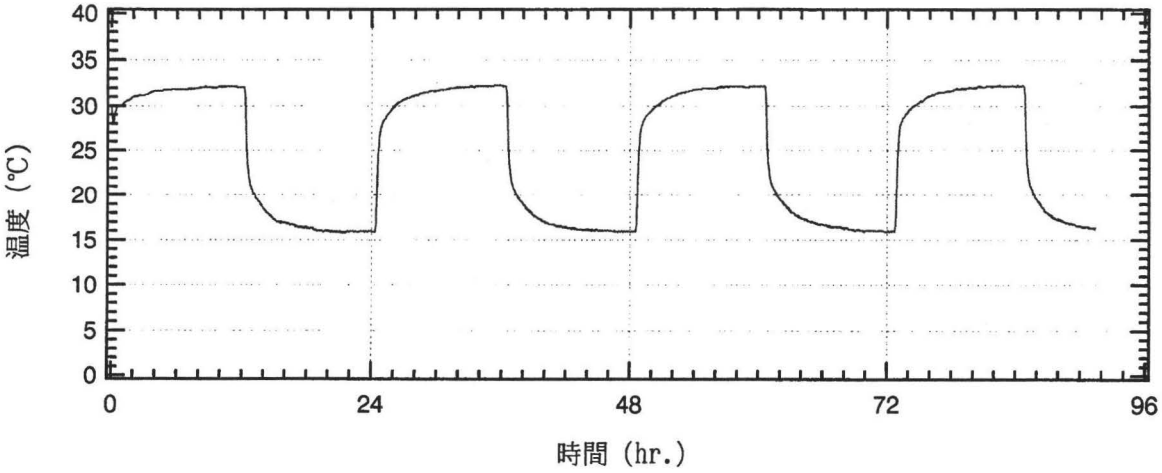


図31　密閉箱内空気温度

5．まとめ

(1) 評価法としての試験方法を確立

最近、健康性という面から期待されている調湿建材のもつ吸放湿性について、実用的な評価法を確立した。今まで統一された評価法がなかっただけに、材料の評価が一つの基準的な方法で評価できるので、性能の良否が判断できる。このため、市販されている材料をはじめ開発品についても調湿性能の判定が可能となるので、多方面において今後の活用が期待される。

(2)課題と対策

しかし、調湿建材は内装材として使われることが多いが、用途によっては全く効果がないことや逆効果になるなど様々な問題も抱えているのも事実である。これは材料製作側に説明不足の点もあるし、設計あるいは施工側にも全く知識を持ち合わせていなかったり、誤解があることに起因する場合もある。そのためには、先ず、調湿建材を世の中に認知させるために、メーカー側が業界団体として調湿性能をはじめとする調湿建材の情報を的確に知らしめる啓蒙的、宣伝的な活動が重要である。

一方、調湿建材には設計指針というものが明確になっていないという状況にある。ある調湿性能を持った材料をどのくらい使用すれば室の湿度をどのくらい緩和できるかというような問題である。吸放湿の評価にはシミュレーションにより数値計算で行うことも可能であるが、これを実際上設計に生かすことはなかなか困難である。そこで、より簡便で実用性のある設計指針なるものも要望されているところである。

このため、今後は評価法の延長として、評価で得られた物性値を用いて設計指針を検討することを次の課題として考えている。

(3)今後の予定

今回検討しまとめた評価法は、今年度(12 年度)の JIS 原案作成に応募しており、この度日本規格協会からに認められたところであるので、さらに検討して国家規格として耐得るものにする所存である。

1-9　導電性コーティングによる住宅建材の最大歪み及び損傷診断

東京大学生産技術研究所

助教授　岸本　昭

①本研究の背景と目的

震災から都市と建築を守るための取り組みが、免震、耐震などはじめとして多くの観点から精力的に行われている。先の阪神淡路大震災の教訓からも、特に21世紀の住宅建築のあり方を考える際、その安全性をいかにして確保するかが急務となっている。建材は、実使用環境下において種々の応力を受けながら、その構造をなす。通常、部材の破壊応力に対しある安全率を設定し、その安全率に従って構造へ配置される。従って、住宅建材の歪みを検知することは、部材の安全を確保するのに非常に重要な手法となり得る。特に、部材に加わった最大歪みを知ることは、その損傷状況を推測する上で大きな情報をもたらす。

通常の歪み測定は、ゲージ法により行われる。ゲージ法は、精密な部材の歪み測定には有効であるが、部材に加わった歪み及び最大歪みを検知するためには、その測定を連続的に行わなければならないため、ゲージを住宅建材全てに配置し、かつそれら全てを連続測定するのはコスト面で大きな限界がある。我々は、最近、汎用の導電性ポリマーコーティングが、優れたピエゾ抵抗特性（応力に対する電気抵抗変化特性）を示すことを見出した。この材料は、絶縁性のエポキシ樹脂と針状導電性フィラーという市販の原料から容易に作製できる上、意匠の観点からは顔料の選択により適当な着色ができる、接着性、耐候性に優れるなどの実用面からの多くの利点を有している。

一方、機能的には次のような歪みゲージを超える特性が得られることが分かった。基板上に導電性ポリマーコーティングを施した材料に負荷除荷の繰り返し荷重印可試験を行い、同時に部材表面の電気抵抗を精密テスターで測定した。歪みの増大と共に表面の導電性コーティングの電気抵抗は大きく増大した。一方、応力を完全に取り払った際、抵抗は元の初期抵抗値には戻らず、歪み－電気抵抗変化関係はヒステリシス特性を示した。この時、除荷時（歪み０）における残留電気抵抗値は、部材が過去に受けた最大歪みに依存した。この結果は、ゼロ歪みの状態において、部材表面のコーティングの電気抵抗測定により過去に受けた最大歪みが検知できることを示している。

部材表面の導電性コーティングは、部材が過去に受けた最大歪みを記憶する機能を有している。この電気抵抗は、汎用のテスターで十分測定可能であり、歪みゲージによる測定より簡便である。また、この手法は、既に完成された部材の表面に、コーティングするという方法を用いているため、セラミックス（コンクリートなど)、プラスチックスなど多くの住宅建材の種類を問わず適用が可能である。また、また、このコーティングは、静電気防止効果、電磁波遮蔽効果も有しているため、静電気による火災、電磁波による建築内部の各種機器の誤動作を防ぐ上でも実用性は高い。

本助成による報告書では、上記歪み－抵抗特性並びに、残留歪みおよび歪み抵抗変化に及ぼす、雰囲気湿度の影響について報告する。さらに、近年有機高分子中の自由体積の評価法として確立されてきた陽電子消滅寿命測定法によるエポキシ及び溶剤添加エポキシの自由体積の評価から、複合厚膜の吸湿特性に与えるマトリックス高分子の自由体積及び残留溶剤の影響についての考察を行った結果について報告する。

②③④研究方法、成果

1．一定雰囲気下での歪み－抵抗特性

複合導電性ポリマー(厚さ約10μm)は、ビスフェノールAタイプエポキシ樹脂(Epikote828)、ジアミン系硬化剤(B-002W、共に油化シェルエポキシ製)、針状導電性フイラー(SnO_2(Sb)-coatedTi0_2、FT一3000、石原産業製)、溶剤からなるコーティング液を調製し、スピンコーティング法によりセラミックス表面に塗布、熱硬化させ作製した。被破壊検知材として、ZrO_2、(2Y）スライドガラスを用いた。三点曲げ試験機にて、一定温湿度の条件下で荷重を負除荷した際の荷重、一変位、歪み量と同時に、表面抵抗変化を直流二端子法により測定した。また、測定後の試験片について、微細組織を走査型電子顕微鏡(SEM)及び透過型電子顕微鏡(TEM)によって観察を行い、抵抗変化挙動と微細組織変化の相関について検討した。

Fig. 1に塗膜表面抵抗のフィラー体積率依存性について示す。フィラー添加量約6.0vol%付近で急激な電気抵抗の低下が生じ、フィラーのパーコレーションによる導電性(10.5vo1%で一10^6 Ω/口)を示した。Fig.2にスライドガラス上に8.3, 10.5, 12.8vo1%一フィラー添加膜を形成した試験片の、三点曲げ試験における歪みに対する塗膜表面抵抗を測定した結果を示す。歪み量の増大とともに電気抵抗が増大し、また、フィラー濃度が低いものほど、大きな抵抗変化が生じることがわかった。Fig.3に、スライドガラス上に8.3vo1%フィラー添加膜を形成した試験片についての負除荷繰り返し試験時の歪みに対する電気抵抗変化と荷重の関係を示す。歪みに伴う電気抵抗増大に加えて、除荷後も、歪みの増大とともに大きくなる残留電気抵抗が観測された。このような特性は、Fig.2に見られたように、複合ポリマーが導電性を示す範囲において、フイラー濃度が低いものほど顕著であった。この残留抵抗を測定することにより、セラミックスが過去に受けた最大歪みの推定及び損傷検知が可能であると考えられる。実用材料への展開として、セラミックスZrO_2(2Y)板状焼結体($3\times3\times15mm^3$)を用いて同様な損傷検知特性の評価を行った。Fig.4にZrO_2(2Y)上に10.5vo1%一フィラー添加膜を形成した試験片の、歪みに対する塗膜電気抵抗変化の関係を示す。変形量の増大とともに大きな電気抵抗の増大が認められた。しかし、歪みの増大に対する抵抗変化率はスライドガラスの場合に比べるとやや小さい。SEM観察により、ZrO_2(2Y)上に形成した膜の膜厚が、約20μmであることが認められており、膜厚の増加が、歪みに対する抵抗変化率の減少の原因であると考えられる。破断面のSSEM観察では、ポリマー膜一セラミックス界面の良好な固着状態及び、フィラーのマトリックスからのプルアウト現象が確認された。また、試験片を繰り返し負荷除荷した後、非破壊のままSEMにより塗膜表面を観察した。その結果、電気抵抗増大の原因と予想された導電性フィラーの破壊や幾何学的な配置の変化は観察されなかった。破断面のTEM像からは、プルアウトしたフィラー表面部に約10nmの厚みを持つポリマー相が確認され、フイラー一ポリマー界面における剥離などを伴う微視的破壊が生じる可能性は低いことが明らかとなった。よって、現在見られている応力場での抵抗変化及び徐荷後に残留抵抗が生じる原因は、応力場におけるポリマーマトリックスの微視的変形により導電性フイラー間の接触状態が変化するためと考えられる。

2．雰囲気とくに環境依存性

複合導電性高分子厚膜(厚さ約10μm)は、エポキシ樹脂(Epikote828)、硬化剤(EpomateB-002W)(共に油化シェルエポキシ製)、針状導電性フイラー(SnO_2(Sb)/$Ti0_2$、FT-3000、石原産業製)、溶剤からなるコーティング液を作製し、スピンコーティング法により基板表面に塗布、熱硬化させて作製した。三点曲げ試験機にて、各湿度条件下において荷重を負除荷した際の塗膜表面抵抗変化を直流二端子法により測定した。エポキシ硬化体および作製時同量の1,4一ジオキサンを添加した硬化体に加え、熱処理により残存溶剤を減少させた硬化体の室温における^{22}Na陽電子源(9.3x105Bq)を用いたファスト・ファスト同時計数装置による陽電子消滅寿命測定から得られた減衰曲線を非線形最小自乗法により解析することにより、各試料の平均自由体積サイズを求めた。また、試料のTG-DTA, DSC, TMAによる熱分析も併せて行った。

室温における塗膜表面抵抗は、フィラー添加量約6.0vol%寸近で急激な減少を示し、それ以上の組成でパーコレーションによる導電性(～106Ω/□)を示した。Fig. 5に、各相対湿度における、ガラス上に10.5-vd%フイラー添加厚膜を形成した試験片の歪みと電気抵抗変化の関係を示す。測定された歪み領域において、約30%rh以上の湿度雰囲気下では歪みの増大とともに電気抵抗が増大した(PSCR特性)。加えて、高湿度になるにつれ歪みに対する電気抵抗増大は大きくなった。一方、30%rh以下の湿度雰囲気では、歪みの増加につれて電気抵抗が減少した(NSCR特性)。これらの挙動は、種々の湿度雰囲気において厚膜が応力に感応する際、機械応力及びマトリックス高分子への水の拡散による環境応力に誘発される抵抗増大及び減少成分が競争的に作用した緒果、出現したものと考えられる。陽電子消滅寿命測定よって、エポキシへの溶剤添加がその自由体積に与える影響を調べたところ、残留する溶剤はエポキシの可塑剤として作用し、また、その残留量の増大に伴い室温におけるエポキシの平均自由体積サイズが増大することがわかった。現在のところ、Fig.5に見られる著しい湿度の影響は、そのひとつの原因として、エポキシマトリックスの可塑化に伴う微小構造の変化が影響していることが推測される。

3．歪み検知メカニズム

以上の結果を基に、引っ張り歪み印加時の電気抵抗増加、零歪みに戻したときの最大歪みに対応した残留抵抗、湿度依存性を以下のように説明した。

まず、試料となるガラス、セラミックスには曲げ応力を与えたが、導電性フィラー充填エポキシマトリックス複合膜は曲げ応力印加時の引っ張り面に塗布しているため、複合膜には引っ張り歪みが導入されたものとして取り扱った。

成膜時においては、導電性フィラー同士が接触し、導電パスのネットワークを形成しているため、膜全体としての導電性を有している。引っ張り歪みを与えた場合、歪みに応じて、フィラーの接触が失われる部分が増加し、全体としての導電性が低下していくものと考えられる。

この複合膜を塗布した基板から荷重を取り除いても、残留歪みは認められず、ほぼ完全な弾性体として機能していることがわかった。このとき荷重を取り除いたときにフィラーが完全にもとの配列に復したならば、残留抵抗は残らないはずである。従って、今回の場合、フィーラー配置の再配列が生じているものと考えられる。

成膜時においては、フィラーは溶液状態の樹脂中にあり、熟成および冷却過程においては収縮するために、硬化以降フィラーはマトリックスから強い圧縮応力を受ける。これは供用時においても残留しており、引っ張り応力印加時にフィラーの接触が失われた際、接触部分周辺で圧縮残留応力を解放しようとする。このため接触が失なわれた部分にマトリックスが侵入し、基板の歪みが零となっても、フィーラーは完全には元の状態には戻らないと考えることができる。

歪みに対する抵抗変化率の湿度依存性も同様に考えることができる。まず、膜が受ける真応力は、外部からの力によるものと内部残留応力の和と仮定することができる。また、内部残留応力は、外界の水分により解放される傾向にある。

全く水分の影響を考えなくてよい場合、試料に引っ張り応力を増加させていった場合、最初、残留の圧縮応力を解放する方向に働き、フィラーが受ける応力が零となったあと、引っ張りに転じその値が大きくなっていく。フィラーの配列はそれが受ける応力が零のときもっとも安定で、フィーラー／マトリックス体積比に対して最も高い導電率をとる（電気抵抗値が最も小さくなる)。このため、フィーラーが受ける応力の絶対値に比例して抵抗値が大きくなり、圧縮－＞零－＞引っ張りと応力が加わった場合は、抵抗減少－＞最小－＞増加と変化する。

以上を低湿度、高湿度の場合に当てはめると、低湿度の場合は、フィラーには圧縮応力が残留しており、引っ張り応力を印加していくと、フィラーの圧縮応力が減少することになるため、電気抵抗値は減少していく。高湿度の場合は、フィラーには既に引っ張り応力が残留している状態にあり、外部引っ張り応力により、フィラーに加わる応力が大きくなるため、電気抵抗値も増加していく。

⑤⑥これから期待される成果、問題点と対策

これまでの研究から、導電性フィーラー／高分子マトリックス複合体薄膜は、一定湿度条件下では、歪みに対応した抵抗変化を示し、また、外力を取り去った後も、過去の最大応力に対応した残留抵抗を示す。このため、供用中の応力モニタリングや力を受けていない時点での損傷の推定への利用が期待される。問題点として、

1．湿度の影響を受けるため、防護フィルムを上面ひ塗布するなどの対策が必要である。
2．数回のサイクルでは、過去の最大歪みに対応した残留応力となるが、最大応力付加の繰り返しを増した時、残留応力が増加する可能性がある。この抵抗増加と、損傷の程度の関係を明らかにする必要がある。

⑦研究発表の実績および予定

平成１１年度建材研究会（柳田博明会長）研究交流会にて話題提供。

⑧実用化計画

現在、湿度の影響を受けない防護フィルムの探索を行っている。また、硬化したあとフラーにかかる応力が安定するような複合体作製法を検討している。これらをガラス、セラミックスなどの基板を用いて動作を確認し、コンクリート、石膏ボードなどの建築材料への適用を試行した後、実用化を目指している。

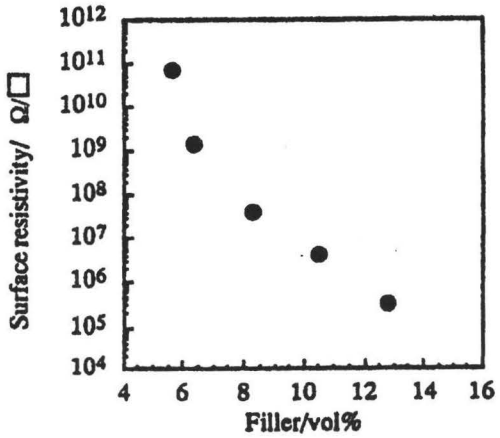


Fig. 1 Composition dependence of surface resistivity for coating film of epoxy resin-filler on slide-glass at 25°C, R.H.=30%.

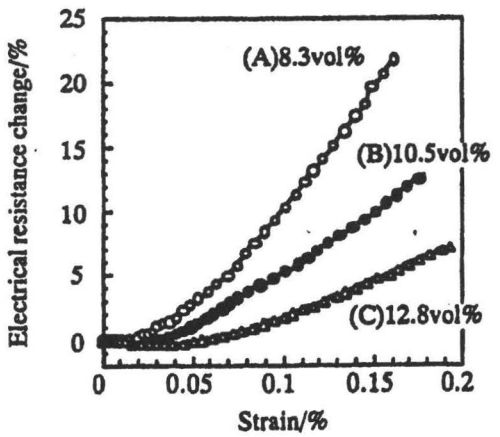


Fig. 2 Relationship between strain and electrical resistance change for slide-glass coated with polymer containing (A)8.3, (B)10.5 and (C)12.8-vol%-filler at 25°C, R.H.=38%.

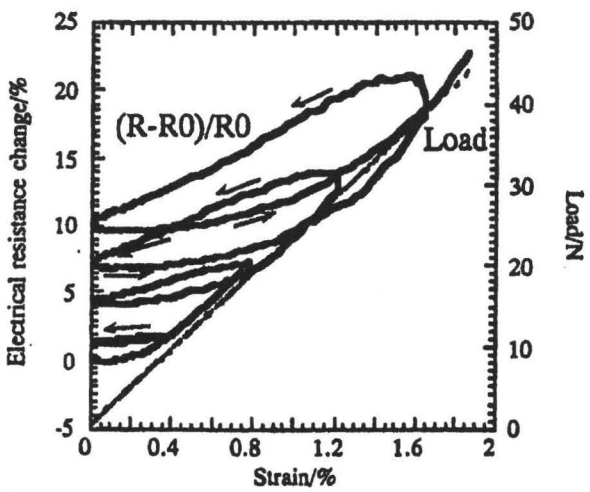


Fig. 3 Relationship between load, strain and electrical resistance change for slide-glass coated with polymer containing 8.3vol%-filler at 25 °C, R.H.=38%.

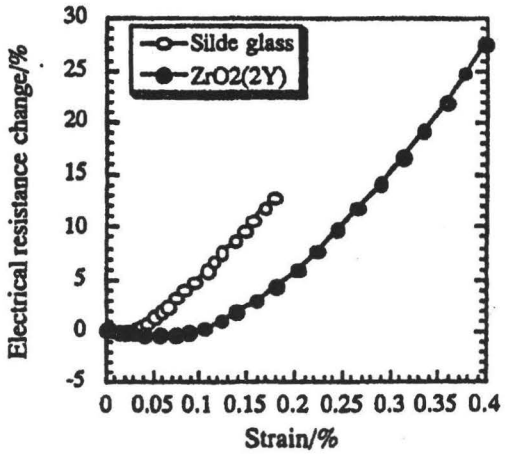


Fig. 4 Relationship between strain and electrical resistance change for slide-glass and ZrO2(2Y) coated with polymer film containing 10.5vol%-filler at 25°C, R.H.=38%.

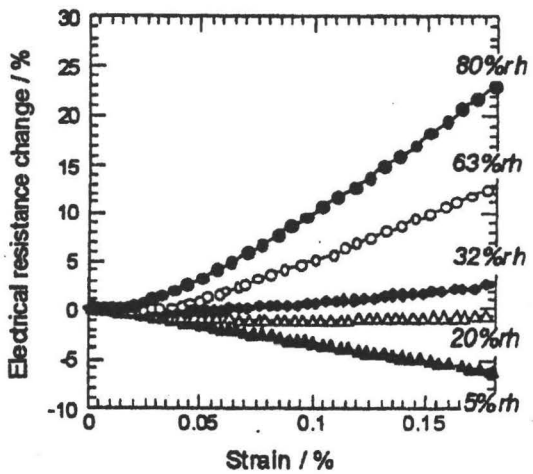


Fig. 5 Relationship between strain and electrical resistance change for glass coated with polymer containing 10.5-vol%-filler at various humidity values.

1-10　屋外酷暑放射環境を緩和するパッシブクーリングレンガの開発

九州大学大学院総合理工学研究院

助　手　　荻島　　理

屋外酷暑放射環境を緩和するパッシブクーリングレンガの開発

九州大学　萩島　理

1. 緒言

本研究では、塩化物の含浸により高性能の吸放湿性を有する室内調湿建材を製作する手法[2]を街路舗装材料としてのレンガに適用することで、放射環境を含め高温化しつつある街路空間のパッシブ的な熱環境調整手法を提案することが目的である。

足永らは、レンガそのものの組成に工夫を加えることで従来のレンガに比較して空隙率の大きな保水性建材を開発しており[3]、通常の赤レンガに比較して 4 倍近い含水比（28.4wt%）を得たとしている。また、赤川らは舗装材料と不織布などからなる構成により、毛細管現象を利用して舗装材表面のぬれを保持するシステムを提案している[4]。

以上の既往研究では、いずれもほぼ同様の開発目的のもと、如何に舗装材料のぬれ率、換言すれば、所謂、蒸発比を向上させ、保持するかに開発主眼が置かれ、逆にその委細手法に各々の特長があると云えるだろう。

本研究開発では、含浸させた塩化物の水和反応に伴う水分吸脱着により格段に保水性を向上させうることが、既往の方法と異なる点であり、最大の特徴である。

2. 基本特性

塩化物の含浸がレンガの保水性能,吸放湿性に及ぼす影響を明らかにするため恒温恒湿槽内で吸放湿実験を行った。

2-1 含浸レンガ製作手順

実験に用いた基盤材料は既製品の赤レンガ（外形寸法 210*100*60mm）と[3]で紹介されている高空隙率を有するセラミックレンガ（外形寸法 145*145*45mm）の 2 種、含浸薬剤は塩化マグネシウム（$MgCl_2 \cdot 6H_2O$），塩化カルシウム（$CaCl_2 \cdot 2H_2O$）,塩化ナトリウム（NaCl）の 3 種である。

基盤材料であるレンガは絶乾後、絶乾重量,絶乾比重量を測定し、JIS　A　5430 に準じて 24 時間吸水量を求めておく。その後、再び絶乾させ、この吸水量をもとに設定水準の薬剤含浸量となるよう調整された各薬剤水溶液に 24 時間含浸させることで試験体を製作する。塩化物を含浸させた各試験体の絶乾重量、絶乾比重量、飽水重量、吸水率、薬剤含浸量を表 1 に示す。

2-2 実験手順

含浸させたレンガを恒温恒湿槽内に静置し、順次、温度ステップ変位（STEP1・21.5→27.8℃／12.8g/kg），絶対湿度ステップ変位（STEP2・27.8℃／12.8→18.4g/kg），絶対湿度ステップ変位（STEP3・27.8℃／18.4→21.2g/kg），温度ステップ変位（STEP4・27.8→33.4℃／21.2g/kg）を付与し、各 20 枚の試験体の重量変化単位応答を測定する。重量変化の測定はステップ変化後、24 時間までは数時間間隔、その後は 24 時間間隔で手動計測を行う。

STEP1 から STEP4 までの温度，絶対湿度のステップ励振終了後、レンガへの塩化物含浸の耐候性を観るた

め、各基盤種ごと半数の試験体については、レンガの底面及び側面の5面をシリコンでシールし、約4ヶ月間屋外において暴露を行う。その後、再び恒温恒湿槽内で温度，絶対湿度のステップ励振による重量変化単位応答の測定を行う。なお、屋外暴露では各試験体は完全に露天の状態で風雨に曝し続けた。

2-3 重量変化単位応答

実験結果の一例として、セラミックレンガの試験体番号1,3,5（それぞれC-No.1, C-No.3, C-No.5）及び試験体番号7,9（それぞれC-No.7, C-No.9）について、屋外暴露前の吸放湿実験STEP1,STEP2における重量変化単位応答を図1,2に示す。吸放湿過程とも無含浸に比較して含浸レンガは格段の重量変化量を示していることがわかる。薬剤種類についてみると、塩化ナトリウムを含浸させた場合には大きな時間遅れが観察された。

2-4 含浸量とκ',ν'との関係

文献[2]に倣って保水性レンガの性能指標として、単位体積当りの単位絶対湿度変化に対する吸放湿量κ'［kg/m^3(g/kg)］及び単位体積当りの単位温度変化に対する吸放湿量ν'［kg/m^3℃］による評価を試みる。κ', ν'の算出に当っては、各実験時系列データに対する指数多項近似式（図1,2中に示してある）の極限値を重量変化定常値と仮定した。暴露前の結果を図3に示す。図中の2本の直線はほぼ同条件で温湿度励振付与したケイ酸カルシウム板に塩化マグネシウム（実線），塩化カルシウム（破線）を含浸させた場合[2]の結果を示している。文献[2]では、含浸量とκ',ν'との間に強い正の相関が認められ、調湿能力は含浸量により加減随意である、と報告しているが、本結果を見る限り、各プロットは実線,破線の下方にばらついて散布している。ケイ酸カルシウム板は、微細な空隙に富む、きわめてポーラスな材料であり、含浸の基盤材料としては最良の性質を具備していたのに対し、レンガは含浸とのマッチングが適当でないことによるものと考えられる。

2-5 暴露前後のκ',ν'

図4は暴露前後のκ',νの関係をを赤レンガ,セラミックレンガごとに示したものである。空隙率が大きいセラミックレンガでより性能劣化が激しく、就中、断湿なしの場合についてみると、暴露後のκ',ν'は暴露前のそれの数パーセントとなることがわかった。このことから、常に風雨に曝される過酷な条件下では、含浸により向上した高保水性を恒久的に保持することは困難であると考えられる。

3. 海水含浸の可能性

廉価な含浸方法として海水の利用が考えられる。レンガはその製造工程上必ず焼成を経るから、焼成直後に海水に浸け置くことで塩化物を含浸させることが出来る。実験には博多湾で採取した海水を用い、２章と同様の手順で含浸,恒温恒湿槽内での吸放湿実験を行った。なお、海水の塩化物濃度は2.3wt%であった。各試験体の絶乾重量、絶乾比重量、飽水重量、吸水率、薬剤含浸量を表2に示す。単位体積当たりの含浸量は赤レンガでほぼ3kg/m^3,セラミックレンガで7kg/m^{3}と小さい値であるが、これは塩化物水溶液の濃度により決まるから、含浸量を増やしたければ海水の塩化物濃度を予め上げておく工夫が必要になる。

図5はセラミックレンガ各試験体（それぞれC-No.11, C-No.12, C-No.13）のSTEP1からSETEP4における重量変化単位応答である。なお、STEP1からSETEP4の温湿度変位条件は2章と同様である。STEP1では含浸あり,なしの差が不明瞭であるが、より高温高湿側の条件であるSTEP3,SETEP4では両者の差異は明らかである。このことから、海水を用いた含浸方法でも、ある程度の高保水性が期待出来ることがわかる。

4. レンガの表面温度特性

塩化物を含浸させたレンガでは、蒸発が生じレンガ内の水分が大気側へ放出される際には、蒸発潜熱だけでなく水和熱や溶解熱など化学変化に伴う熱的影響が予想される。そこで、人工気候室および恒温恒湿槽内で種々の条件で蒸発を生じさせ、その際のレンガ表面温度の変動特性を把握した。試験体はすべてセラミックレンガを用い、無含浸および塩化マグネシウム含浸,塩化ナトリウム含浸（両水準に用いた試験体延べ20枚の平均含浸量 59.1kg/m^3）の3種について測定を行った。結果の一例として、図6および図7を示す。

図6は恒温恒湿槽内で槽内空気に2章で述べたSTEP1と同じ温度ステップ変位を付与した際の表面温度時変動である。含浸レンガはいずれも無含浸に比較して過渡的に表面温度が低くなっていることがわかる。

図7は25℃,55%rhの人工気候室内でレンガ底面に面状発熱体による熱入力を定常的に与え、ステップ状に表面に散水スラックス（6リットル/m^2）を付与した際のレンガ表面温度の推移である。塩化ナトリウム含浸レンガでは無含浸レンガより低い表面温度過渡応答を見せているが、塩化マグネシウム含浸レンガでは逆に無含浸レンガの方が低温となっている。多量の散水により部分的に空隙内では塩化物が水に溶解する現象が生じ、蒸発潜熱と溶解熱[*1]の大小関係により、斯様の結果になったものと考えられる。

以上の結果より、塩化物を含浸させたレンガでは、過分の散水など一部の条件では、無含浸レンガよりも表面温度が高く推移する場合があり、適用に際しては細心の注意を要する。

5. 結言

塩化物を含浸させることで高性能の吸放湿性を発揮する高保水性パッシブクーリングレンガを開発し、実験的検討により以下の諸点を明らかにした。（1）塩化物含浸により、吸放湿性能は著しく向上する。ただし、基盤材料としてのレンガは、よりポーラスなケイ酸カルシウム板に比較してやや劣るものであった。

（2）風雨に暴露される環境では含浸した塩化物の流出は不可避である。ただし、側面,底面のシールによりある程度劣化を遅らせることが出来る。

（3）海水を塩化物のソースとして利用することが可能である。

（4）一部の塩化物では暴露条件によっては、蒸発冷却効果よりも融解熱の影響が有意となる場合があり、適用上の注意が必要である。

以上の諸項から、実際的適用の可能性を述べるなら、例えば斯様になろうか。すなわち、塩化物の原料としては塩化ナトリウムを主組成とする海水を用いる。付加的コスト,付加的工程を限りなくゼロとするため、レンガ焼成後に海水に浸すことだけで、含浸レンガを製造する。使用に伴う性能劣化は、元々付加コストをかけていない故、避け得ぬものと考える。

〔注記〕

*1 この場合、塩化ナトリウムの溶解熱が殆ど無視し得るのに対して、塩化マグネシウムの溶解熱は 159kJ/mol である。また、水和熱の影響も蒸発冷却の効果を減殺する向きに作用する。すなわち、正味蒸発する水分量に依存する蒸発冷却熱は、一部の塩化物の溶解発熱と水和熱の影響により減じられて、その残余分か表面温度を下げる効果を発揮するものと考えられる。

【本研究に関連する既発表論文】

[1] 谷本潤・片山忠久・林徹夫，都市舗装面における蒸発冷却効果を利用した保水性パッシブクーリング・レンガの開発，日本建築学会九州支部研究報告（環境系），1997 年，pp.361-364

[2] 谷本潤・片山忠久・林徹夫・萩島理，都市舗装面における蒸発冷却効果を利用した保水性パッシブクーリング・レンガの開発 その 2 吸放湿実験，日本建築学会九州支部研究報告（環境系），1998 年，pp.133-136

[3] 谷本潤・片山忠久・林徹夫・萩島理，都市舗装面における蒸発冷却効果を利用した保水性パッシブクーリング・レンガの開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，1998 年，pp.125-126

[4] 冨尾眞紀・片山忠久・谷本潤・萩島理，都市舗装面における蒸発冷却効果を利用した保水性パッシブクーリング・レンガの開発 その 3 海水含浸レンガの吸放湿実験，日本建築学会九州支部研究報告（環境系），1999 年，pp.173-176

【参考文献】

[1] 冨尾眞紀・片山忠久・谷本潤・萩島理，都市舗装面における蒸発冷却効果を利用した保水性パッシブクーリング・レンガの開発 暴露後の吸放湿実験と表面温度の変化特性，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，1999 年，pp.1405-1408

[2] 谷本潤・張本和芳・木村建一，塩化物を含浸させた高性能調湿建材の開発，日本建築学会計画系論文集 第 495 号，1997 年，pp.45-51

[3] 足永晴信・大澤元毅・坊垣和明・田上稔・吉村孝信，保水性建材を用いた市街地熱環境計画手法の開発 その 1・その 2，空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集，1996 年，pp.773-780

[4] 赤川宏幸・小宮英孝，蒸発冷却を利用した舗装システムの開発，日本建築学会大会学術講演梗概集，1998 年，pp.645-646

表1　各試験体諸データ

試験体番号	設定水準	セラミックレンガ 体積[m^3] 0.00099						赤レンガ 体積[m^3] 0.00126					
		絶乾重量 [g]	絶乾比重量 [kg/m^3]	飽水重量 [g]	含水量 [g]	含水率 [%]	含浸量 [kg/m^3]	絶乾重量 [g]	絶乾比重量 [kg/m^3]	飽水重量 [g]	含水量 [g]	含水率 [%]	含浸量 [kg/m^3]
No. 1	無含浸	1613	1629.3	1934	321	16.6	-	2595	2059.5	2779	184	6.6	-
No. 2	無含浸/断	1625	1641.4	1932	307	15.9	-	2611	2072.2	2785	174	6.2	-
No. 3	CaCl2・50	1595	1611.1	1906	311	16.3	62.16	2583	2050.0	2763	180	6.5	71.17
No. 4	CaCl2・50/断	1581	1597.0	1903	322	16.9	62.33	2587	2053.2	2767	180	6.5	70.57
No. 5	CaCl2・100	1635	1651.5	1937	302	15.6	116.80	2599	2062.7	2779	180	6.5	100.71
No. 6	CaCl2・100/断	1562	1577.8	1873	311	16.6	125.57	2578	2046.0	2761	183	6.6	91.02
No. 7	MgCl2・50	1615	1631.3	1919	304	15.8	43.15	2609	2070.6	2777	168	6.0	42.21
No. 8	MgCl2・50/断	1621	1637.4	1930	309	16.0	46.18	2596	2060.3	2768	172	6.2	52.07
No. 9	NaCl・50	1599	1615.2	1907	308	16.2	52.42	2568	2038.1	2743	175	6.4	35.44
No. 10	NaCl・50/断	1645	1661.6	1953	308	15.8	51.67	2554	2027.0	2733	179	6.5	36.84
平均		1609.1	1625.4	1919.4	310.3	16.2		2588.0	2054.0	2765.5	177.5	6.4	
標準偏差		25.2	25.4	22.8	6.5	0.4		17.9	14.2	16.6	5.1	0.2	

/断 はシリコンシールによる断湿を示す。

・50, ・100 は含浸量がそれぞれ50kg/m3, 100kg/m3であることを示す。

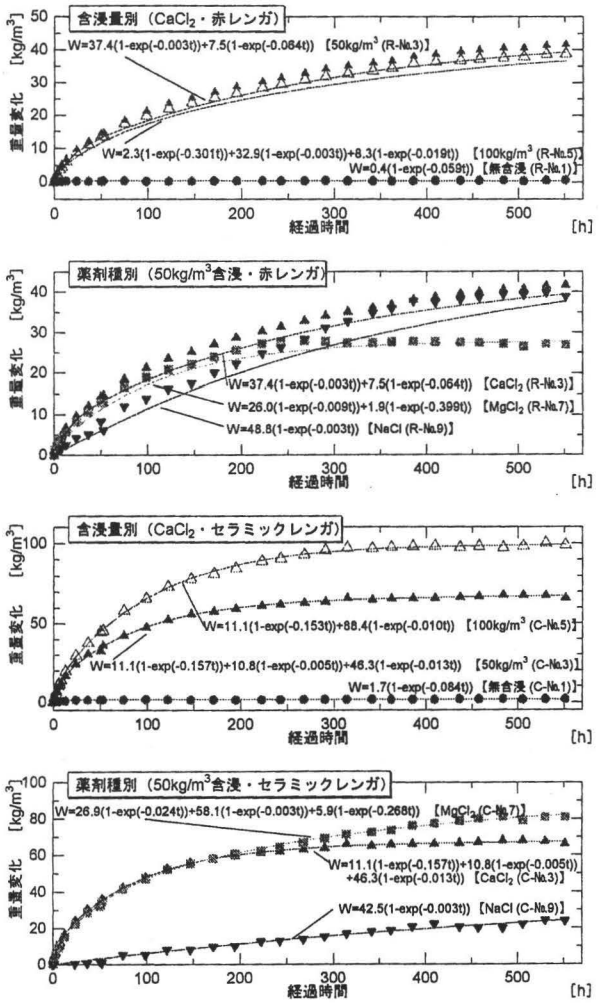


図1　重量変化単位応答（暴露前・STEP1）

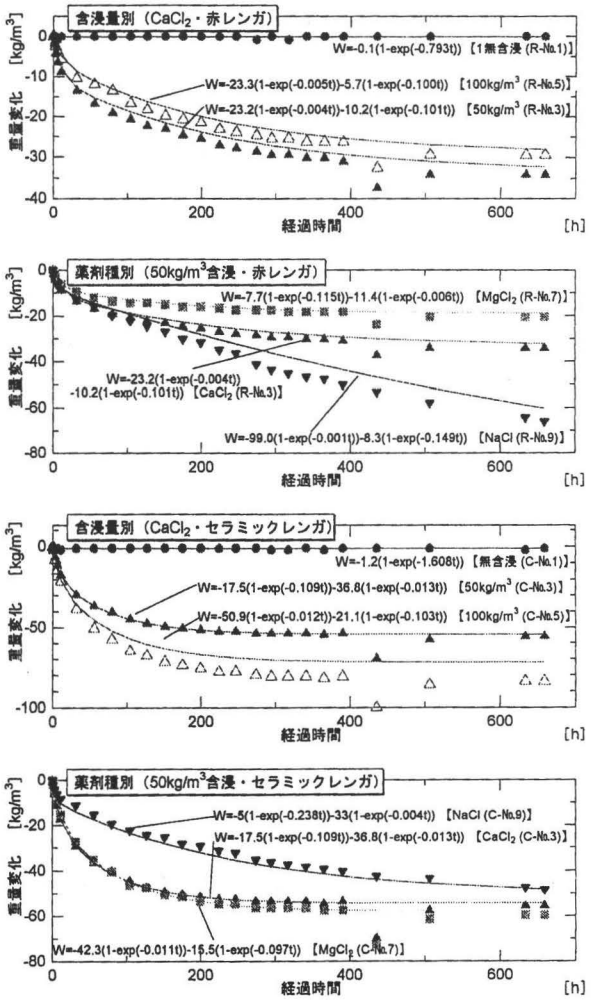


図2　重量変化単位応答（暴露前・STEP2）

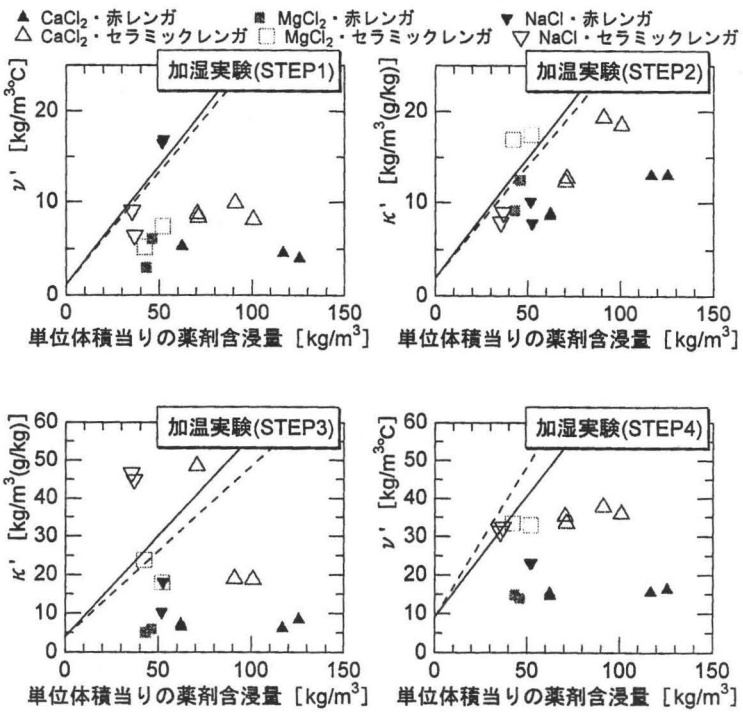


図3　含浸量と κ', ν' との関係

表 2　海水含浸レンガ各試験体諸デー

試験体番号	設定水準	セラミックレンガ 体積[m^3] 0.00099						赤レンガ 体積[m^3] 0.00126					
		絶乾重量 g	絶乾比重量 kg/m^3	飽水重量 g	含水量 g	含水率 %	含浸量 kg/m^3	絶乾重量 g	絶乾比重量 kg/m^3	飽水重量 g	含水量 g	含水率 %	含浸量 kg/m^3
No.11	無含浸	1626	1642.4	-	-	-	-	2598	2061.9	-	-	-	-
No.12	海水含浸#1	1597	1613.1	1905	308	16.2	7.01	2589	2054.8	2770	181	6.5	3.24
No.13	海水含浸#2	1593	1609.1	1911	318	16.6	7.24	2584	2050.8	2756	172	6.2	3.08
平均		1605.3	1621.5	1908.0	313.0	16.4		2590.3	2055.8	2763.0	176.5	6.4	
標準偏差		18.0	18.2	4.2	7.1	0.3		7.1	5.6	9.9	6.4	0.2	

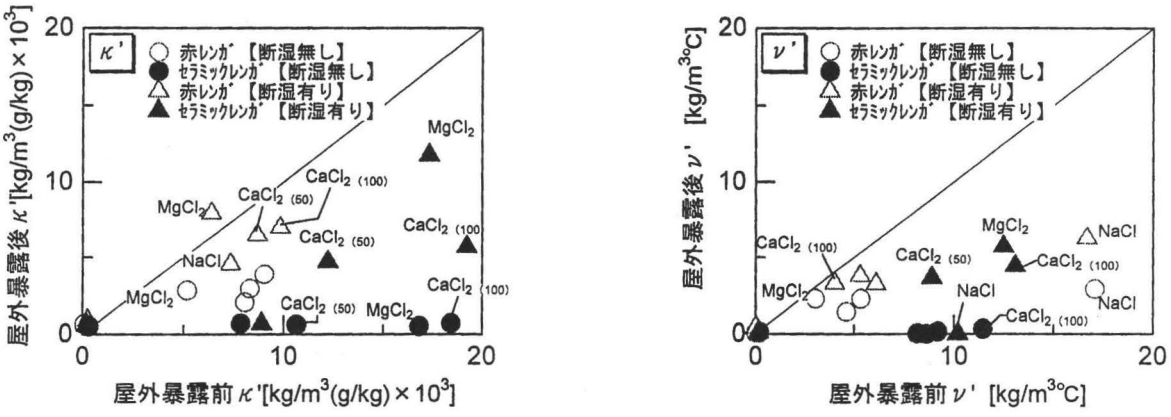


図4　暴露前後の κ', ν' の関係

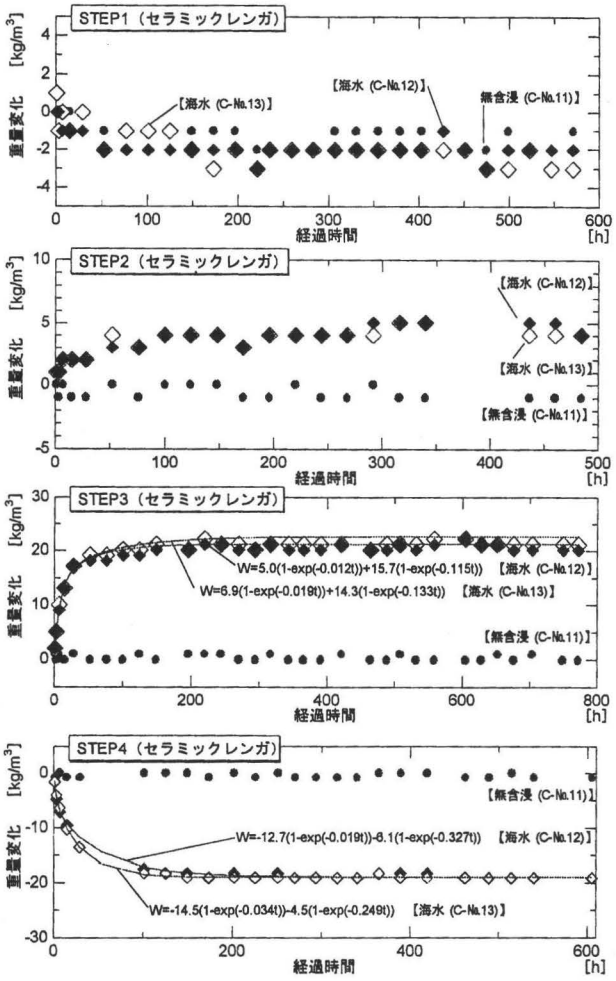


図5　海水含浸レンガ重量変化単位応答

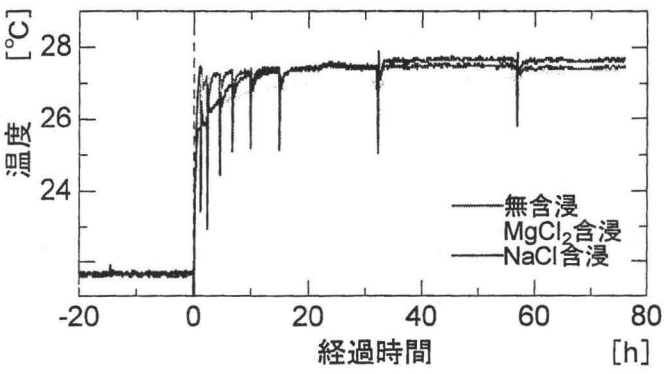


図6　雰囲気ステップ加温時のレンガ表面温度

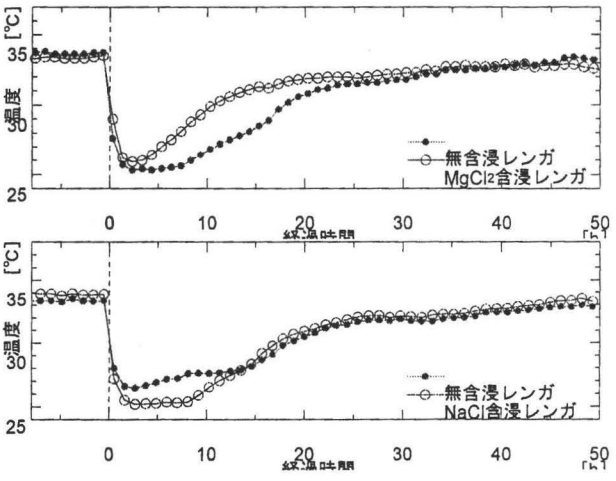


図7　散水フラックス付与時のレンガ表面温度

1-11　ハイブリッドコレクターによる住宅負荷への太陽エネルギーの有効利用

名古屋市立大学芸術工学部
生活環境デザイン学科

助　手　　吉永　美香

① 本研究の背景と目的

近年、エネルギー問題、地球温暖化や環境汚染問題は年々深刻になっており、従来の石油やガスなどの化石燃料に代わる再生可能エネルギーの開発が期待されている。再生可能エネルギーには風力エネルギーや地熱エネルギー等があるが、もっとも身近で利用が容易なものの一つが太陽エネルギーである。このエネルギー源は、クリーンで且つ広範囲で恒久的に享受できるという大きなメリットを持つが、エクセルギー的に低いエネルギーであるために、熱源は負荷の近傍に設置することが望ましく民生部門、特に戸建住宅での冷暖房・給湯負荷への導入が最適であると考えられる。

1973 年の第 2 次オイルショック以降、平板型水式集熱器は全国で普及し、今日では太陽光発電システムや空気式集熱器を利用した暖房システムも実用化しつつあるが、太陽光熱ハイブリッドコレクタの利用システムについてはまだ広く知られておらず、我が国における利用可能性についても十分には把握されていない。

一方、実用化されつつある太陽エネルギー利用システムにおいても、その設計手法は経験則によっているといっても過言ではない。ほんの十数年前にスーパーコンピュータでなくては計算不可能だったシステムの動的シミュレーションが、現在ではコンピュータの性能向上、価格の低下により、パーソナルコンピュータで容易に検討できるようになった。この道具をシステムの最適設計のために、ぜひ生かして行かなければならない。太陽エネルギー利用の進んだ米国では、コンピュータシミュレーションによる設計は主流であり、例えば TRNSYS という太陽エネルギー利用システム用動的シミュレーションプログラムが Wisconsin University の Solar Energy laboratory から市販されている。尤も、TRNSYS でも現実に存在する全システムをシミュレートするだけの機器モデルは用意されておらず、研究者や専門家による一般ユーザーのためのベース作りが期待されている段階である。

以上の背景を踏まえ、本研究では太陽光熱ハイブリッドコレクタの実用化を目的とし、その性能特性を把握するための屋外実測実験の実施、TRNSYS を用い住宅負荷と連係した動的シミュレーションを可能とするためのハイブリッドコレクタモデルの開発（実測結果を用いた精度の確立を含む）を行った。

② 研究の方法

②-1 実測実験の実施

名古屋市立大学芸術工学部管理棟屋上（愛知県名古屋市千種区）において、市販の結晶系太

陽電池モジュールの裏に空気層を設けた空気集熱式光熱ハイブリッドコレクタの実験設備を制作し、入口・出口空気温度、外気温度、外気風速、集熱風量、発電量（電圧・電流）、日射量 を1分間隔で測定した。1999年夏期の実験においては、太陽電池の負荷として電子負荷装置（横河電機製）を設置し、40Vの定負荷で発電量の測定を行った。しかし、現実のソーラーシステムではピークトラッカーを用い、最大発電量を得ることが多いことと、この設備では配線が長く電線の電圧降下が高いという2点から、1999年～2000年冬期の実験では英弘精機製の太陽電池出力測定装置 I-V checker に変更してシステムの改善を図った。夏期実験は、1999年8～9月に、冬期実験は1999年12月～2000年1月
にそれぞれ実施した。

②-2 ハイブリッドコレクタ計算モデルの開発

結晶系太陽電池は、セル温度の上昇により発電効率が低下することが知られている。そこで、まずこの発電性能を正確に再現するために、太陽電池温度と日射強度のみを与条件とする太陽電池のモデルを理論式を基に構築し、JIS に基づく屋内試験結果との整合を図った。次にハイブリッドコレクタのモデル化だが、トータルシステムの動的シミュレーションに利用するためには、必要以上に詳細なモデルで計算に膨大な時間を掛けることは不適切である。従って、簡略化できる部分と性能への影響が大きく無視できないファクターとを、実験結果を参考に見極めつつ、モデルに変更を加えていった。ここで、計算モデルは TRNSYS に導入することを前提にしているため、FORTRAN90で作成した。

③ 研究の計画と進捗状況

当初申請時の予定では、ハイブリッドコレクタ実験設備の整備を春期に完了し、春期・夏期の実測実験を行う予定であったが、発電量計測関係の設備が不調であったため、実際に実験が開始されたのは先に延べた通り、8月であった。従って春期と夏期の実験予定を夏期と冬期に変更したが、これは我が国の気象条件に特徴的なデータを得ることができ、結果として良好であったと考えられる。一方計算モデルの構築は当初の計画どおり、8月から開始して翌2月まで十分な検討を行うことができた。

④ 今までに得られた成果

④-1 夏期実測実験

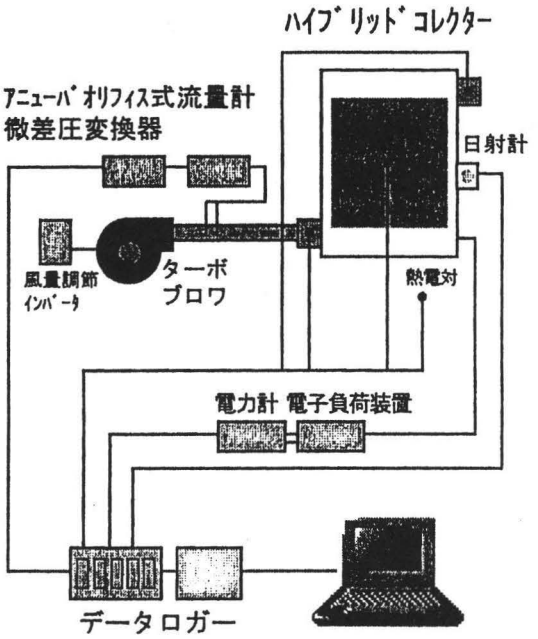


図１　ハイブリッドコレクタ実験システム概要

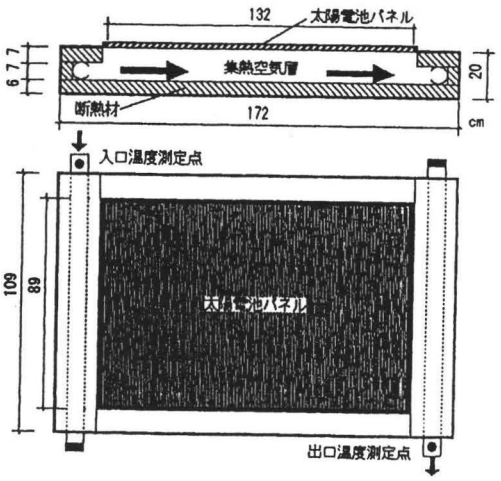


図２　ハイブリッドコレクタ詳細

上記のシステムを用いて、1999 年 8～9 月の期間に、実質約１ヶ月の夏期実測実験を行った。

表１に示すように 8/13~8/24 は集熱風量を 40m3/h に、8/25~9/7 は集熱風量を 20m3/h に、また 9/9~9/25 は集熱風量を 60m3/h に設定し風量の変化が発電効率に及ぼす影響を見た。その結果図３に示すように 風量の影響はほとんど確認できず、風量の増加が太陽電池を冷却し効率が向上するというハイブリッドコレクタの１つの目的は、本実験では否定された。図４は、8/25 の 6:00 から 18:00 までのコレクタ面の全天日射量及び発電量、またこれらから計算した発電効率 (= 発電量÷(単位面積日射量×太陽電池モジュール面積)) の変動を示している。これより、発電効率は午前と午後に２つの山を描くことが分かる。早朝と夕刻

表１　夏期実測実験の結果

		日射受光量 kJ/12h.枚	発電量 kJ/12h.枚	集熱量 kJ/12h.枚	発電効率 %	集熱効率 %
流量40m3/h	8/13	14569	1360	2064	9.3%	14.2%
	8/14	15480	1563	1420	10.1%	9.2%
	8/15	9030	1013	531	11.2%	5.9%
	8/16	10075	1045	734	10.4%	7.3%
	8/17	23003	2102	2298	9.1%	10.0%
	8/18	24748	2175	2570	8.8%	10.4%
	8/19	14253	1394	1088	9.8%	7.6%
	8/20	14522	1502	1270	10.3%	8.7%
	8/21	8503	895	492	10.5%	5.8%
	8/24	10439	1094	890	10.5%	8.5%
流量20m3/h	8/25	29953	2748	1851	9.2%	6.2%
	8/26	20596	1929	1534	9.4%	7.4%
	8/27	16294	1491	1314	9.1%	8.1%
	8/28	17781	1687	1216	9.5%	6.8%
	8/29	29930	2734	1742	9.1%	5.8%
	8/30	27168	2219	2191	8.2%	8.1%
	8/31	22372	1980	1289	8.9%	5.8%
	9/1	21316	1772	1547	8.3%	7.3%
	9/2	24959	2234	1813	9.0%	7.3%
	9/3	15588	1592	1000	10.2%	6.4%
	9/4	8072	901	300	11.2%	3.7%
	9/5	20829	1983	1651	9.5%	7.9%
	9/6	12292	1304	549	10.6%	4.5%
	9/7	5083	564	280	11.1%	5.5%
流量60m3/h	9/9	27716	2502	4108	9.0%	14.8%
	9/10	16625	1630	2272	9.8%	13.7%
	9/11	15295	1439	1469	9.4%	9.6%
	9/12	19602	1828	3070	9.3%	15.7%
	9/13	7105	759	326	10.7%	4.6%
	9/14	4547	494	12	10.9%	0.3%
	9/25	26078	2345	4066	9.0%	15.6%
	9/26	16161	1714	1569	10.6%	9.7%

の効率低下は、直達日射の入射角度が大きいためで（面に垂直な入射を 0°とする）、これは太陽電池パネル上のガラス面での反射が大きく、実質太陽電池にまで達する日射量が少なくなることを意味する。また日中 9:00 から 14:00 頃の効率低下は、外気温度の上昇と日射量の増大によって太陽電池温度が上昇したことに起因すると予想された。（図５）

図３　日射量と集熱効率（集熱流量の影響）

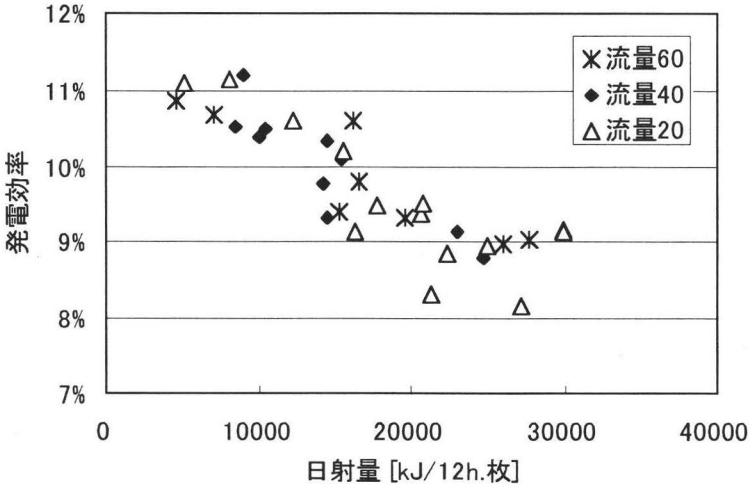


図４　一日の発電性能の変動（8/25）

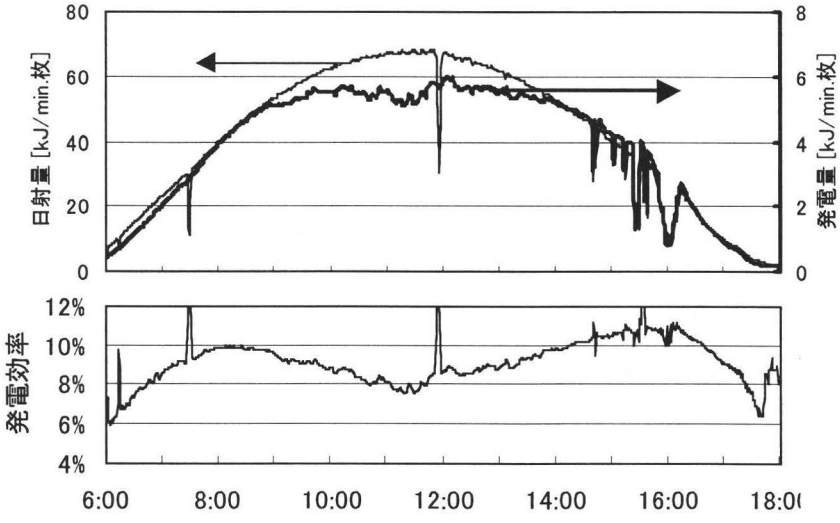
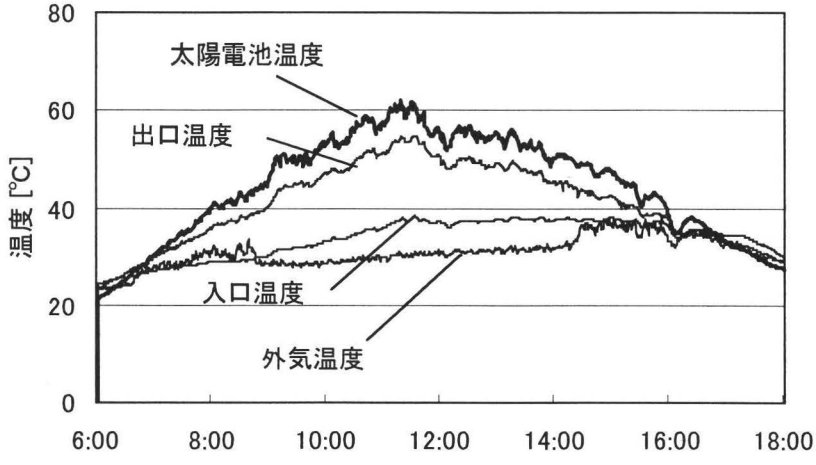


図５　太陽電池温度、集熱入口・出口、外気温の変動



④-2 冬期実測実験

冬期は先に延べた通り、発電量の測定設備が多少変更した。大きな変更点はピークトラッカー機能が追加され、最大発電量が測定されるようになった点であるが、計測システム全体としては図１と同様である。冬期実験では、集熱空気流量は 40m3/h で測定期間中一定とした。ここで、日射と風速の影響を確認するために、表２のうち日射量 2400kJ/m2h 以上の日と平均風速 2m/s 未満の日を個別に取り出した結果が図６と図７である。図６より日射が十分な日は風速が大きくなるにつれ、集熱効率は低下し、発電効率が向上することがわかった。

表２ 冬期実測結果 1999/12/22～2000/1/31

	日射量 kJ/m2h	集熱量 kJ/h	発電量 kJ/h	外気温 ℃	セル温 ℃	風速 m/s	集熱効率	発電効率
12/22	2587.1	336.0	330.2	5.9	34.4	3.3	11.3%	11.1%
12/23	2596.0	343.0	328.3	6.7	36.1	3.2	11.5%	11.0%
12/24	2430.9	382.6	296.9	8.0	43.2	1.3	13.7%	10.6%
12/25	1858.3	200.9	240.2	8.9	28.3	3.3	9.4%	11.2%
12/26	2493.3	286.0	318.4	7.5	31.8	4.5	10.0%	11.1%
12/27	2562.0	345.6	317.3	8.2	38.6	2.8	11.7%	10.8%
12/28	2427.4	381.6	297.0	8.0	41.8	1.5	13.7%	10.6%
12/29	1535.9	238.2	196.0	9.5	30.2	2.1	13.5%	11.1%
12/30	2136.2	308.0	264.5	10.6	37.8	2.3	12.5%	10.8%
12/31	2503.0	346.5	307.6	10.7	40.1	2.6	12.0%	10.7%
1/1	2434.4	285.7	308.3	9.8	33.3	4.4	10.2%	11.0%
1/2	838.1	122.3	111.8	7.4	22.1	1.2	12.7%	11.6%
1/3	1526.6	208.9	191.0	11.4	30.7	2.9	11.9%	10.9%
1/4	2406.9	287.2	302.5	10.5	34.8	3.9	10.4%	10.9%
1/5	1959.4	287.7	245.0	8.7	34.7	1.9	12.8%	10.9%
1/6	207.1	10.5	27.6	9.7	14.2	1.3	4.4%	11.6%
1/7	1483.3	139.1	196.2	12.8	27.2	4.3	8.2%	11.5%
1/12	399.5	39.2	55.9	7.5	15.1	1.2	8.5%	12.2%
1/15	2714.4	331.3	343.1	10.4	38.3	3.8	10.6%	11.0%
1/16	518.5	64.1	71.3	8.1	17.9	1.1	10.7%	12.0%
1/17	2218.2	324.2	278.4	10.6	38.4	2.2	12.7%	10.9%
1/18	2748.6	326.8	348.2	10.1	38.0	3.7	10.3%	11.0%
1/19	2722.8	453.9	329.1	8.3	47.2	1.3	14.5%	10.5%
1/20	2214.9	224.5	292.0	5.3	24.3	5.3	8.8%	11.5%
1/21	2424.0	245.5	325.7	1.9	22.9	5.3	8.8%	11.7%
1/22	2645.8	371.3	335.4	4.4	36.4	2.6	12.2%	11.0%
1/27	2867.8	336.4	365.4	4.0	32.2	4.7	10.2%	11.1%
1/28	2840.6	380.9	358.7	5.2	36.5	3.2	11.7%	11.0%
1/29	2738.7	450.1	333.3	6.6	44.6	1.5	14.3%	10.6%
1/30	640.5	75.1	88.6	5.5	15.9	1.5	10.2%	12.0%
1/31	1918.4	194.9	255.0	5.6	24.0	4.4	8.8%	11.6%

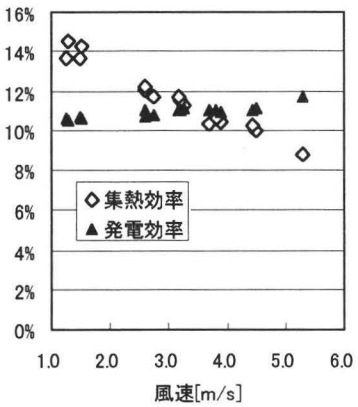


図６ 日射量 2400kJ/m2h 以上のときの風速に対する集熱/発動効率

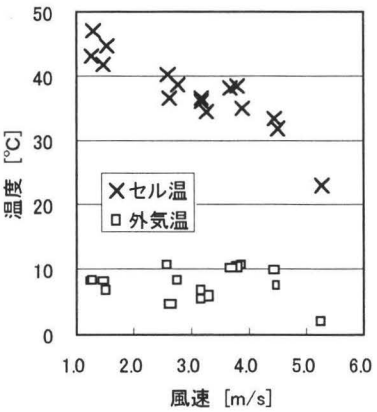


図７ 日射量 2400kJ/m2h 以上のときの風速に対する太陽電池セル温度

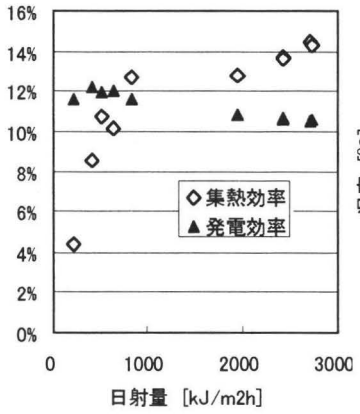


図６　日射量 2400kJ/m2h 以上のときの風速に対する集熱/発動効率

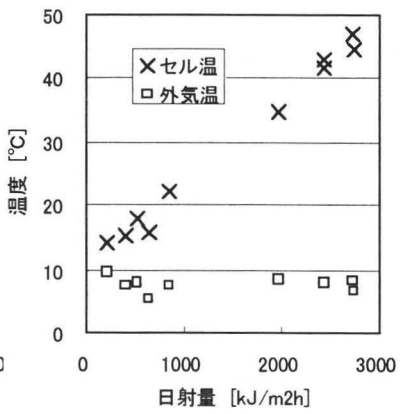


図７　日射量 2400kJ/m2h 以上のときの風速に対する太陽電池セル温度

また図７より発電効率の向上は風速が大きくなることで外気側の対流熱伝達が大きくなり、セル温度が低下することによると確認できた。図８より、風速が小さいときには日射量が大きいほど集熱効率は高く発電効率が低下することがわかった。また図９より、発電効率の低下はセル温度が日射量にほぼ比例して高くなることに起因していると考えられた。

ここで、外気温度は 5～10℃で、測定期間中大きな変化はなかった。以上より冬期のハイブリッドコレクタの性能には、外気風速の影響を加味することが不可欠であると結論づけることができる。

④-3 シミュレーションモデル

まず太陽電池セル部分のみのモデルを構築し、日射強度及び太陽電池セル温度による発電性能の再現を行った。太陽電池の出力特性は等価回路とみなすことで次式の通り表現できる。

$$P = IV \tag{1}$$

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_o\left(\exp\frac{V + IR_s}{a} - 1\right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{2}$$

ただし(2)式の右辺第三項 Ish は Rsh が非常に大きいことから無視できるとする。

$$I_L = \frac{G_T}{G_{T,ref}}\left[I_{L,ref} + \mu_{I,sc}\left(T_c - T_{c,ref}\right)\right] \tag{3}$$

$$\frac{I_o}{I_{o,ref}} = \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}}\right)^3 \exp\left[\frac{\varepsilon.N_s}{a_{ref}}\left(1-\frac{T_{c,ref}}{T_c}\right)\right] \tag{4}$$

$$I_{o,ref} = I_{L,ref} \exp\left(-\frac{V_{oc,ref}}{a,ref}\right) \tag{5}$$

$$a_{ref} = \frac{\mu_{V,oc}T_{c,ref} - V_{oc,ref} + \varepsilon.N_s}{\frac{\mu_{I,sc}T_{c,ref}}{I_{L,ref}} - 3} \tag{6}$$

$$R_s = \frac{a\ln\left(1-\frac{I_{mp}}{I_L}\right) - V_{mp} + V_{oc}}{I_{mp}} \tag{7}$$

$$I_L = I_{sc} \tag{8}$$

μI,sc 及びμV,oc はそれぞれ太陽電池セル温度が 1℃上昇した場合の Isc と Voc の変化率であり、モジュールのカタログ値から決定した。(1)～(8)式より、日射及び温度を変化させて計算した結果を図８～９に示す。これらの結果は太陽電池セル屋内性能試験の結果と極めてよく一致しており、本モデルで太陽電池の出力を十分な精度で再現できることを確認した。

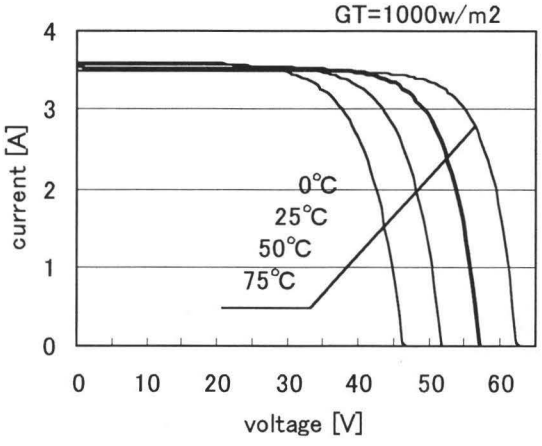


図８　太陽電池の温度依存特性

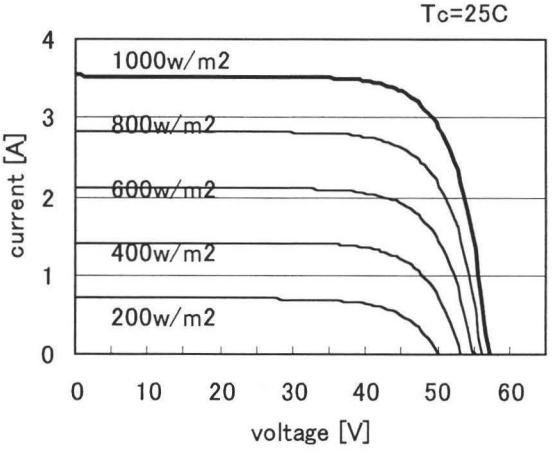


図９　太陽電池の照度依存特性

図 10 にハイブリッドコレクタモデルのエネルギー収支を示す。ここで、太陽電池セルと太陽電池裏面の集熱空気層におけるエネルギー収支は(9)～(11)式のように表すことができる。

$$G_T(\tau\alpha)A_c = U_T(T_c - T_a) + U_M(T_c - T_{ca}) + P_{mp} \tag{9}$$

$$U_M(T_c - T_{ca}) = U_B(T_{ca} - T_a) + Q_a C_a \rho_a (T_{ca,o} - T_{ca,i}) \tag{10}$$

$$U_T = \left[\frac{1}{h_{out}} + \Sigma\left(\frac{\delta_t}{\lambda_t}\right)\right]^{-1} \tag{11a}$$

$$U_M = \left[\frac{1}{h_{in}} + \Sigma\left(\frac{\delta_m}{\lambda_m}\right)\right]^{-1} \tag{11b}$$

$$U_B = \left[\frac{1}{h_{in}} + \frac{1}{h_{out}} + \Sigma\left(\frac{\delta_b}{\lambda_b}\right)\right]^{-1} \tag{11c}$$

$$\begin{cases} h_{out} = 7.0 + 2.5W & (12a) \\ h_{in} = 5.7 + 3.8v & (12b) \end{cases}$$

実測試験の結果よりハイブリッドコレクタの性能に対する風速の影響が大きいことが分かったため、外気側の熱伝達率 hout は一定値とせず、(12a)式のように表すこととした。実測試験で得られた風速はコレクタより 6m 程度高い位置で得られたデータであることを考慮し、(12a)式の係数は実験結果より試行錯誤的に決定した。集熱空気層側の熱伝達率 hin は平板型集熱器で使用される(12b)式を用いた。

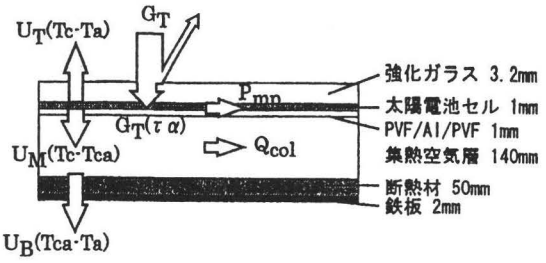


図 10　ハイブリッドコレクタのエネルギー収支

対象としたハイブリッドコレクタは集熱媒体が空気であることから熱容量の影響は無視できると仮定し、定常計算とした。また内部での相互輻射の影響も無視できるとした。さらに、直達日射の入射角度による($\tau\alpha$)への影響も考慮した。ここで、流れ直角方向に集熱空気及びセル温度は一様で集熱器側面は十分に断熱されているとし、流れ方向に 10 分割して計算時間間隔 1 分として計算した。　日射強度が十分で安定しており、外気風速が小さい 12/24 の毎分実測値（コレクタ単位面積日射量、外気温度、風速(以上図 11)、入口空気温度、集熱風量）を与条件とした計算結果を図 12～13 に示す。熱容量を考慮していないため、計算値は風速に伴い変動しているが、セル温度･出口空気温度ともに実測値とよく一致している。9:00～15:00 の集熱量の平均は実測が 110.7W、計算が 115.5W で、誤差は+4%であった。また平均発電量は実

測が 82.6W、計算が 79.0W で、誤差は-4%であった。

その他の風速が異なる日のデータを基にした幾つかのケーススタディより、集熱・発電量ともに実測値に対し 5%以内の誤差に収まっており、本モデルはハイブリッドコレクタの性能を十分再現できることを確認した。

図 11

実測結果（99/12/24）

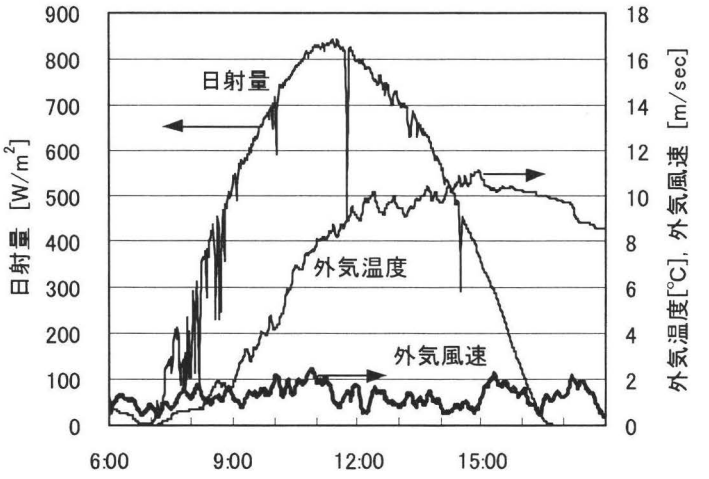


図 12

計算結果と実測値との

比較 1（99/12/24）

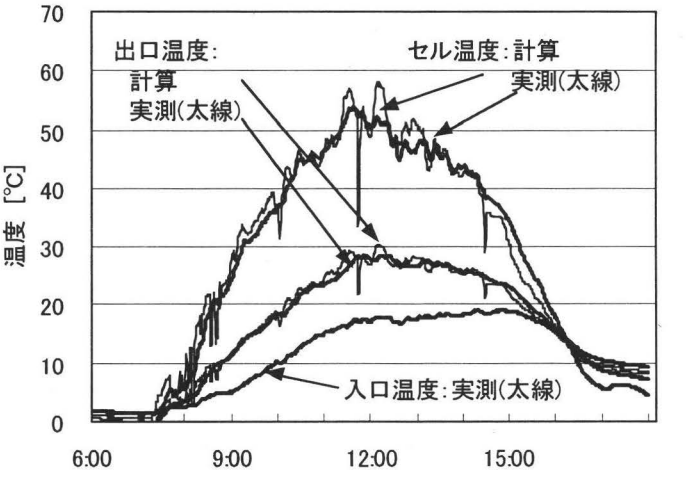
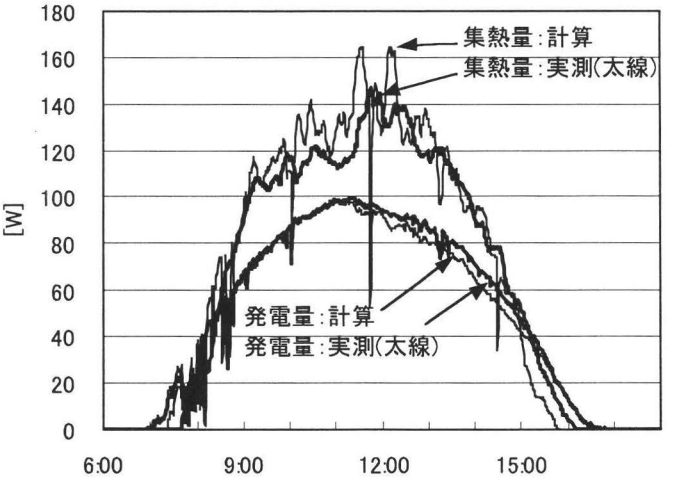


図 13

計算結果と実測値との

比較 2（99/12/24）



④-4 ハイブリッドコレクタの有効性に関する検討

1999 年 12 月 24 日のハイブリッドコレクタの計算結果と、同じ気象条件下での太陽電池パネルの計算結果との比較によって、本ハイブリッドコレクタの有用性を検討する。太陽電池パネルの性能は(1)式に示したモデルで計算したが、その際、表面ガラスの透過率等は、ハイブリッドコレクタの場合と同様の補正を行った。またここでは、パネルの裏面は外気に接しているとし、表面熱伝達率は(12a)式で計算した。この結果、9:00～15:00 のセルの平均温度を比較すると、太陽電池パネルは 42.7℃、ハイブリッドコレクタは 43.9℃とわずかに太陽電池パネルの方が低くなった。発電量に関してもセルの温度差によって太陽電池パネルが 79.6W、ハイブリッドコレクタが 79.0W と太陽電池パネルがやはりわずかではあるが多くなっている。しかし差はごく微小であり、発電性能の差はほとんどないと言える。つまりハイブリッドコレクタは発電効率を低下させることなく、さらに付加価値としての集熱を行うことができると言える。

そこで仮にこの集熱空気を熱源としてヒートポンプエアコンを利用し暖房運転する場合の性能を静的にではあるが検討した。ハイブリッドコレクタの熱出口空気温度は 9:00～15:00 の平均で 23.6℃であり、この空気を熱源として運転した場合のヒートポンプエアコンの COP は定格の 1.17 倍となる。(日本冷凍空調工業会の定める運転特性より) 一方、太陽電池パネルでは外気熱源(9:00～15:00 の平均外気温度 8.1℃)となり、COP は定格の 1.02 倍となり、ハイブリッドコレクタの集熱量は有効に活用できることがわかる。

【記号】
AC ：コレクター面積[m2] = 1.15
a ：補正係数[-]
Ca ：空気の比熱[Wh/(kgK)] = 0.281
GT ：コレクター面日射量[W/m2]
hin ：集熱空気側対流熱伝達率[W/(m2K)] (12b)式で定義
hout ：外気側対流熱伝達率[W/(m2K)] (12a)式で定義
I ：太陽電池発電電流[A]
ID ：太陽電池を等価回路とみなした時の整流器を流れる電流[A]
IL ：太陽電池を等価回路とみなした時の光起電流[A]
Imp ：最適動作電流[A](Imp,ref = 3.29)
IO ：太陽電池を等価回路とみなした時の整流器逆方向飽和電流[A]
Isc ：短絡電流[A] (Isc,ref = 3.52)
Ish ：太陽電池を等価回路とみなした時の並列抵抗を流れる電流[A]
Ns :太陽電池セル直列枚数 [枚] = 96
P :太陽電池発電量[W]
Pmp :最大発電量[W] =ImpVmp η eff, (Pmp,ref = 150.0)
Qa ：集熱空気の流量[m3/h] ≒ 40
Qcol ：集熱量 [W] = QaCa ρ a(To-Ti)
RLoad ：負荷抵抗[Ω]
Rs ：太陽電池を等価回路とみなした時の直列抵抗[Ω]
Rsh ：太陽電池を等価回路とみなした時の並列抵抗[Ω]
Ta ：外気温度[K], Tca ：集熱空気温度[K]
Tc ：太陽電池セル温度[K] (Tc,ref = 298.0)
Ti ：コレクタ入口空気温度[K]
To ：コレクタ出口空気温度[K]
UT : 太陽電池セルより上面の層の熱貫流率 [W/(m2K)]
UM ：集熱空気層と太陽電池セルの間の層の熱貫流率 [W/(m2K)]
UB ：集熱空気層より下面の断熱層の熱貫流率 [W/(m2K)]
V ：太陽電池発電電圧[V]
Vmp ：最適動作電圧[V](Vmp,ref = 45.6)
Voc ：開放電圧[V](Voc,ref = 56.8)
v ：集熱空気の流速[m/sec]
W ：外気風速[m/sec]
α ：太陽電池セルの日射吸収率[-]
ε ：シリコン太陽電池のバンドギャップエネルギー [eV]=1.12
δ ：素材の厚さ[m]
λ ：素材の熱伝導率[W/(mK)]
ρ a：空気の比重[kg/m3]=1.204
μ I,sc：温度が 1K 上昇したときの短絡電流の変化量[A/K] = 0.001429
μ V,oc：温度が 1K 上昇したときの開放電圧の変化量[V/K] = -0.2118
τ ：ガラスカバーの日射透過率[-] = 0.9 (入射角 0°)
η eff：測定機器及び配線抵抗による電圧降下を考慮した有効率 = 0.9
【添字】
t :太陽電池セルより上面の層
m：集熱空気層と太陽電池セルの間の層
b ：集熱空気層より下面の断熱層
ref ：レファレンス状態 (AM-1.5,GT =1000W/m2,Tc =298.0K)

⑤ これから期待される成果

本年度の研究によって、精度の高いハイブリッドコレクタの計算モデルが確立した。今後、TRNSYS を用いて負荷や他の機器（ヒートポンプやファンなど）も含めた動的シミュレーションを行い、システム全体でみた効率や実用化可能性の検討に踏込むことが必要である。また、今回は対象としたハイブリッドコレクタは簡易な１タイプであったが、集熱媒体に水や不凍液を用いたもの、太陽電池を光透過型にしたものなど多くの形状が考えられるため、計算上でどのハイブリッドコレクタがより効果的かも検討すべきである。

⑥ 残る問題点と対策

ハイブリッドコレクタの性能を単体で評価する場合、電気と熱のエネルギーを合せ持つため、どのような評価指標を用いるべきかは大きな問題である。研究者はエクセルギーの観念を利用しがちであるが、現実に冷暖房や給湯等の負荷に適合させる場合には、むしろ必要とするエネルギー（負荷）に無駄なく適合しているかどうかも包含した評価が望ましく、利用する側も直感的に理解できるものが良いだろう。

⑦ 研究発表の実績及び予定

本研究は以下の学会において発表された。

- 『 光発電/空気集熱ハイブリッドコレクターの研究 ― 基礎実験とモデル化の検討 ―』
  吉永,奥宮／日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会講演論文集／1999.11
- 『 光発電/空気集熱ハイブリッドコレクターの研究　ー冬期における基礎実験およびモデル化ー』
  吉永,奥宮／空気調和･衛生工学会中部支部学術研究発表会／2000.3

また、以下の審査付論文集へ投稿中である。

- 光/熱ハイブリッドコレクタの有効利用に関する研究
  吉永,奥宮／日本建築学会計画系論文集／2000.3 投稿

【参考文献】

□ 太陽エネルギー利用ハンドブック,日本太陽エネルギー学会,1985

□ TRNSYS users manual, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin,1996

□ Duffie & Beckman, SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES Second Edition, 1991

□ 浜川･桑野，太陽エネルギー工学-太陽電池-，培風館，1994

□ JRA 4046,日本冷凍空調工業会,pp.16,1999

1-12　製造物責任法の下における住宅・建材の製品安全ガイドラインの構築

九州大学大学院法学研究院

教　授　　北川　俊光

北川俊光（九州大学大学院法学研究院教授）および Luke Nottage （元九州大学大学院法学研究院助教授）（以下、併せて、本件共同研究者）は、ここに貴財団の助成研究の成果を報告するに先立ち、貴財団の助成により本件共同研究が実施できたことに、深い感謝の意を表するものである。

本研究においては、住宅・建材における製造物責任、製品安全の問題に絞り込む前の段階として、住宅・建材に焦点を当てながら製造物責任の全体的な法律理論の解明に取り組んだ。

ここでは、日本、米国、欧州連合（EU）、オーストラリア、ニュージーランドなどの諸国との比較研究、製造物責任法理論の法理理論を取り上げ、それらをベースとする「製品安全への産業界の取り組みの改善への製品安全ガイドラインの構築」および「製造物責任に関連する紛争解決への取り組み」について共同研究を行った。

共同研究をこの度終えて、本報告を書きながら本件研究者は、住宅・建材に関連する製品安全ガイドラインの構築にもっと具体的な成果を求めて焦点を当てるべきであったかと感じてもいるが、既に発生している問題に対して現行の製造物責任法の下においていかに解決すべきかというような対処療法に焦点を当てるのではなく、住宅産業界の全体的な製造物責任問題に焦点を当てながら、そもそもの日本の製造物責任法関連の問題の研究、比較研究、その成果を英文による発表を行うことができた。

これらの研究成果は、英文により完成されたことにより、世界中の研究者、産業界にとっても有益な研究成果になったものと確信しており、住宅産業に関連する特定の製造物責任問題・製品安全問題（室内汚染他）についても、今後、さらに研究を続けていきたい。

第１部の研究としては、住宅・建材を含んでの製品安全ガイドラインのベースとなる製造物責任法の法理論を「EC製造物責任指令（EC PL Directive)」を中心に、その影響を強く受けている日本、オーストラリア、さらには進展が著しい米国における製造物責任法の法理論の展開についての詳細な比較研究を行った。EC製造物責任指令は、世界諸国に重要な影響を与えているものであるが、これら比較研究はガイドラインのベースとなる法理論を明らかにするものである。

米国における製造物責任法との関連においては、米国製造物責任法のベースとなる「不法行為Restatement（３版）」の研究、これに加えての米国各州の製造物責任法判例の研究が重要になり、これら研究を日本の製造物責任法における法理論、判例との比較の下に研究を重ねた。

また、日本における製造物責任ADRセンターの活動、企業における製品安全活動などについての研究も実施した。これらは、企業にとっての製品安全ガイドラインの構築に必要なものである。特に、企業にとっての安全基準は、日本における製品安全だけではなく世界市場における製造拠点における製品安全をもカバーするものでなければならないと考えている。

これらの研究成果は、下記の通り、英文により発表した。

１．オーストラリアCCHのレポートNo.45の「製造物責任法」において日本の製造物責任法の内容・進展・実態についての詳細を発表した。

２．日本の製造物責任法に基づく日本で最初の名古屋地方裁判所の判決(McDonaldレストランにおけるオレンジジュースに混入した異物に起因する傷害事件、1999年6月30日判決)について、当該判例を英文に翻訳し、解説を加えて発表した。

３．日本の製造物責任法の問題を同法の下におけるに製造物責任判例を含めて解説した。

４．米国の製造物責任リステートメント(3版)について書かれた法律専門の学術論文のリストを作成した。

５．Nottage助教授による今後の研究発表(「William Mitcgell Law Review」)予定(平成12年9月)原稿として日本における製造物責任クレーム・紛争解決について解説し、問題点について論じた。
この他にも、日本における製造物責任ADRセンターの活動、企業における製品安全活動等についての研究も実施した。これらは、企業にとっての製品安全ガイドラインの構築に必要なものである。特に、企業にとっての安全基準は、日本における製品安全だけではなく、世界市場における製造拠点における製品安全をもカバーするものでなければならないと考えている。
　これらの研究においては法律理論としての
「製品の範囲の比較研究」
「欠陥判定の基準の比較研究、特に消費者期待基準の採用」
「製品の表示」
「合理的に予見可能な使用方法」
「製品が市場に出された時期」
「製造業者他の範囲、表示製造業者の比較研究」
「損害の範囲の比較研究」
「不動産に対する結果的・派生的な損害は、住宅産業に関連してのビジネス上の損害を　回復できる日本の製造物責任法は製造業者にとって不利である」
「コンポーネントメーカーの免責の比較研究(コンポーネントの定義が曖昧であるが、　日本の製造物物責任法における部品業者に対する免責条項は、「建物」が「動産」で　はなく不動産であるために、適用されないという問題を含んでいる)」
「開発リスクの抗弁(これは各国において科学知識、技術水準についての解釈が必ずし　も明らかでない。EC裁判所の最近の判決によるとその基準はその知識が最も進んだ　レベルを含むとし、入手の可能性を必要とするとしている点は、住宅産業界の問題に　も関連する)」
「責任の時間的制限の比較研究」等についての比較研究を含んでいる。

第２部における研究は、添付資料Ｂで示している通り、多くの国における室内汚染疾に関して発生している法律上の、科学上の問題についての予備的な研究である。日本においては、特に、ここ２年程の間に多くの分野において取り上げられ、さらに多様な研究報告が、議論、検討が見られるようになってきている。本件研究においては、関連する多様な出版物、研究報告等を入手し、検討を行った。

さらに、関連各国において比較研究を実施してみたが、驚くべきことには、この問題は、１９９９年時点において、ニュージーランド、オーストラリアおよび米国における法規制の対象にはなっているが、これらの国々における法律専門家、法学者によっては総合的な研究はほとんどなされていないということが判明した。しかし、最近、米国においてはかなりの訴訟が提起されるようになってきている。この現象によりもっと法律学者、研究者がこの問題を取り組むことになるものと考える。これら学究的な研究の成果は室内汚染に関連する建材の安全生ガイドラインを構築していく上で役に立つものになる。

日本における住宅産業に関連する製造物責任問題の内室内汚染の問題は、１９９０年の半ばには政府機関においても取り上げられてきたが、その後いくつかのガイドラインも発行されている。しかし、被害者は一層の改善を要求している。社会的にも問題となり多くの出版物が発行され、本件共同研究においても前述の様に研究を行った。住宅に関連する製品安全および環境問題は今日においては政治問題化し、住宅品質確保法の制定にいたり、さらに検討が進められているので、本共同研究においては、そこには焦点を当ててはいない。

室内汚染問題についての他の国の経験は今後の日本における問題解決に重要で、住宅産業をめぐる製品安全ガイドラインの構築にも有益な材料となるものであり、外国における状況の研究も行った。

米国環境庁は室内汚染問題に長年取り組んでいるが、法律問題としての学問的な研究は非常に限られており、米国法律専門雑誌に発表された報告もまだ非常に限られている。一方では、弁護士もしくは法律専門家によって書かれた室内汚染関連の論文藻若干ではあるが存在している。これは最近の判例の集積によるものであるが、これらを製品安全ガイドラインに取り組むにはまだ早すぎるといえる。他の国々における室内汚染問題についての関心も限られている。

オーストラリアにおいては、例えば、連邦機関であるCSIROは、住宅汚染問題および室内汚染の問題に取り組んでいる。しかし公表報告は限られており、まだ判例は存在しない。

１９９９年６月にオーストラリア、シドニーにおいて弁護士とのインタビューを行ったが、弁護士の間で室内汚染の問題に対する関心は高くはない。この理由の１つは、オーストラリアにおける住宅建設の方法の日本との違いにもよるが、室内汚染問題があまり知られていない理由としてはこの問題が、環境法、製造物責任法、労働安全関連法などのいくつかの異なった法域にまたがるからであるともいえる。

同様に、ニュー時ランドにおいても政府機関、弁護士、大学教授などの法律専門家へのインタビュー調査を実施したが、政府は室内汚染問題について取り組んではいない。裁判所は、この室内汚染の問題を、この国特有の無過失責任補償スキームによってカバーしており、これは人身傷害の訴訟に代わるものになっている。

本件研究に関連する情報として、次のものについての検討をおこなった。

１．　米国関連としては、（１）「室内汚染；Sick Building Syndrome」に関連する米国の法律論文；ロースクールの法律専門論文　４件、（２）「室内汚染；Sick Building Syndrome」に関連する米国の法律論文；訴訟弁護士関連の法律専門論文および（３）米国環境保護期間の報告書

２．オーストラリア関連としては、（１）オーストラリアにおける「室内汚染；Sick Building Syndrome」に関連する一般的な記事、２６件および（２）「室内汚染；Sick Building Syndrome」に関するCommonwealth 科学産業研究機関の報告

３．ニュージーランド関連としては、（１）判例；White v Accident Compensation Corporation (1998年) NZAR481 、および（２）「室内汚染；Sick Building Syndrome」に関する一般的な記事３３件

４．日本関連としては、「室内汚染；Sick Building Syndrome」に関する英文の記事４件等がある。

以上

1-13　建築材料のカビ発生実態調査と防止に関する研究

お茶の水女子大学 生活科学部

教　授　　田中　辰明

真菌発育度試験研究

実験期間

1999年６月～1999年12月

1999年６月に試料を地下室床面に設置、翌７月より毎月１回の回収、及び１ヶ月間の実験室における培養、観察を行った。

６月	1999年６月７日	７月	1999年７月11日
８月	1999年８月１日	９月	1999年９月４日
10月	1999年10月４日	11月	1999年11月１日
12月	1999年12月１日		

対象住宅

東京都杉並区　Ｔ邸地下室

本研究で使用したのは、第５章「動態調査」において使用した都内Ｔ邸の地下室である。

地下室で実験を行った理由

真菌発育度試験を地下室で行った理由としては、以下の３点が挙げられる。

①地下室は「第四章　室内浮遊真菌の年間動態調査研究」により、発生する真菌の種類がA. versicolor, Penicilliumの２種類で98%を占めることが明らかになっている。

②真菌の数が他の部屋に比較して、非常に多いということが明らかになったことから、地下室で真菌発育度試験を行えば、試料に生える真菌の菌種が室内で採取されるものと等しいのかが容易に判断できると考えた。

③温度・湿度ともに真菌の発育至適温度である20～30℃、90%以上という条件を満たしているので発育度試験の結果が他の部屋と比較して得られやすいと判断した。

真菌発育度　試験方法

この方法は真菌が発育しやすい環境における、発育度の試料による差異、動態調査によって明らかになっている真菌の種類との関連、また、試料を培養することによる差異を観察する試験で、「かび抵抗性試験方法 JIS Z 2911」を参考に独自で定めた。

使用する器具

1. アルコール（消毒用70%アルコール）　2. 試料（建材２種、壁紙１種、布３種）

3. 実体顕微鏡　4. 恒温器

実験方法

①各試料（ラワン合板、シナ合板、ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙、木綿、天竺木綿、ポリエステル）を10cm×10cmに切断し、試験片とした。

②測定の前に、試料をオートクレーブにて湿熱加熱殺菌後、乾熱滅菌機で乾燥させた。

③平成10年６月、「第５章　年間動態調査」で報告した実験住宅の地下室床面に、試料を各20枚ずつ設置した。

④平成10年７月より、１ヶ月ごとに各２枚ずつ大学の実験室に持ち帰り、真菌の発育度について調査する。また、地下室で一定期間設置後に真菌の発生が認められなかった試料でも、25℃の恒温器の中で１ヶ月間培養し、胞子の付着部分及び発育度を観察した。

⑤その経過については、１週間ごとに肉眼、及び実体顕微鏡で発育度観察を行った。

⑥また、床表面付近の温湿度をＴ型熱電対と湿度センサーを用いて測定し、及びデータロガーで継続的に記録した。

用いた試料

実験試料は10cm×10cmに切断。

使用する試料には、日常使用頻度の高いと考えられるものを選択した。また、真菌の観察は表面が平らなものが容易であるので、比較的手に入りやすく、表面が平らであるものを選択した。

(1) ラワン合板

・南洋地域森林の最も多くを占めるフタバガキ科の樹木のうち比較的材質が軽軟なものの総称

・材の比重が0.6程度までの散孔材

・赤ラワン類、白ラワン類、黄ラワン類に分類される

・用途は広く、ベニヤ材、家具材、建築材、器具材、包装材などで我が国の合板用原木の80%を占める

(2) シナ合板

・散孔材、生産量の大部分は北海道

・肌目が精で、板目面であまり顕著でない波状紋がみられる

・材は軽軟で、切削その他加工が容易

・用途は器具材、ベニヤ材、マッチ軸木鉛筆材、箱材など。

○合板――薄くかつら剥きにした木材を貼り合わせてつくったもの。割れることが少なく、節のなく、温湿度によって伸びたり縮んだりしない新建材として注目を集める。合板類には木材用接着剤の中から、性能と値段を考えて特にユリア樹脂系、ユリア・メラミン樹脂系、フェノール樹脂系がよく使われており、いずれもホルムアルデヒドがよく出る。

接着剤名	原材料	特　　徴
ユリア樹脂系	尿素 ホルムアルデヒド	安価で入手しやすい無色の接着剤として全合成系接着剤生産量の約40％を占める。年間生産量は約43万トン。主として合板用に使用される。ホルムアルデヒドがでてくる。
ユリア・メラミン樹脂系	尿素 メラミン ホルムアルデヒド	ユリア樹脂とメラミン樹脂とを合わせた無色の接着剤。ユリア樹脂だけよりも耐水性と耐熱性に優れるので、屋外用合板に使用される。年間生産量は約７万トン。ホルムアルデヒドがでてくる。

(3) ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙

壁紙の大部分を占めるビニルクロスに使用されるポリ塩化ビニル樹脂系壁紙は、従来の土壁に代わって施行が簡単で時間がかからないため、多用されるようになった。ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙は、基材に様々な性能をもたせるために、合成樹脂の添加材を何種類も加える。

(4) 木綿

・比重が天然繊維中一番重く、柔軟性、弾力性がある。

・吸湿性が大きい（公定水分率 8.5%）

(5) 天竺木綿

・シーチングといわれ、20番手綿糸を用い、比較的粗な平織物

・縦、横の密度が同じで方向性が少ない

・均斉な組織でやわらかい

・用途はテーブルクロス、敷布、袋地など

(6) ポリエステル

・テレフタル酸とエチレングリコールを縮重合して得られるチップを溶融し、細いノズルから紡糸して製造

・弾性に富み、繊維組織が緻密

・吸湿性が極めて低い（公定水分率 0.4%）

・用途は衣料、家庭用品、工業用など幅広い

試料の殺菌処理

初めに試料に付着していた真菌が発育して、試料上に広がり、結果に影響を及ぼすことが考えられるため、予め殺菌処理を施した。本実験では、オートクレーブによる湿熱加熱殺菌後、乾熱滅菌器で乾燥させた。オートクレーブは121℃、15分間に設定した。

恒温器で培養を行った理由

大学に持ち帰った試料を恒温器で培養した理由として、以下の２点が挙げられる。

①最初から試料に胞子が付着していなかったのか、胞子が付着していたにもかかわらず、真菌が発育しないでいたのかを解明するため。

②また、胞子の付着できる期間の差により真菌汚染はどのように変化するかを観察するため。

培養温度

恒温器での培養温度は、25℃とする。「かび抵抗性試験方法 JIS Z 2911」では、温度について28±2℃、湿度95～99%と規定している。本実験では、真菌の発育至適温度が20～30℃となっており、その中でも特に25℃±2,3℃であることから、25℃とした。湿度については95%以上とし、100%にならないように注意した。

温度・湿度の測定

(1)使用器具

○Ｔ型熱電対　○湿度センサー　○データロガー（ADVANTEST R7326B DATALOGGER）

(2)測定方法

○温度は、Ｔ型熱電対を用いて試料を設置した地下室床面の温度を測定し、データロガーで継続的に記録した。

○湿度は、湿度センサーを用いて温度と同様に地下室床面の湿度を測定し、データロガーで継続的に記録した。

実験結果の評価方法

本試験では、時間の経過および、恒温器による培養に伴う真菌の発育度の評価法を「かび抵抗性試験方法 JIS Z 2911」を参考に、独自で定めた。いかに肉眼で観察されなかったとしても、微細な部分で真菌が発生している可能性があるので、肉眼による観察と実体顕微鏡による観察の両方をあわせて行った。評価は以下のように行った。

判定基準	評価
肉眼観察及び顕微鏡観察により発育が認められない	1
肉眼観察では発育が認められないが実体顕微鏡観察では発育が認められた場合	
このうち菌糸のみ	２－１
〃　菌糸＋胞子（全面積の１／３以下）	２－２
〃　菌糸＋胞子（全面積の１／３以上）	２－３
肉眼観察にて発育が認められた場合	
このうち菌糸のみ	３－１
〃　菌糸＋胞子（全面積の１／３以下）	３－２
〃　菌糸＋胞子（全面積の１／３以上）	３－３

結果及び考察

各試料別の真菌発育度試験の結果を示す。

○ラワン合板

ラワン合板は、３ヶ月間までの設置では試料回収直後から恒温器で２週間培養まで真菌の発生が認められなかった。しかし、恒温器で培養することにより、３週間目以降真菌の発生を確認することができるようになった。

設置４ヶ月目以降から、特に真菌の発育が著しかった。回収直後から真菌の発生を実体顕微鏡により確認することができるくらいであった。また、恒温器培養により、最終的には菌糸と胞子を肉眼でも観察できるようになった。しかし、発育の面積は試料全体の１／３には達していなかった。

○シナ合板

シナ合板は、設置２ヶ月目に急激な真菌の発育の傾向を示した。設置１ヶ月目では、回収直後及び恒温器培養１週間目まで、真菌の発育を確認することができなかった。しかし、恒温器培養により、２週間目に真菌の発育を肉眼で観察できるようになった。設置２ヶ月目以降は、地下室から回収した時点で既に、全面積にわたる菌糸及び胞子の発育を確認することができた。

○ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙

ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙は地下室に設置２ヶ月までは、恒温器で培養しても真菌の発育が全く認められなかった。設置３ヶ月後、３週間培養することによって、初めて実体顕微鏡で試料全面積の１／３以下の真菌の発育を確認することが可能となった。設置４ヶ月目以降は恒温器で培養することによって、次第に肉眼でも、試料全面積の１／３以下の真菌の発育を観察できる程度となった。

地下室に設置したままでは真菌の発育が認められないが、恒温器で培養することによって、真菌が発育することがわかった。

○木綿

木綿は、設置３ヶ月までは、回収直後には真菌の発育が認められなかった。しかし、それでも、恒温器で培養することによって、次第に真菌が発育していった。

設置１ヶ月目は、恒温器培養１週間で試料全面積の１／３以下の真菌の発育を実体顕微鏡で確認した。

設置２ヶ月目は、恒温器培養１週間で真菌の胞子を肉眼でも観察できた。設置３ヶ月目からは恒温器培養によって、菌糸と胞子の両方を肉眼でも観察できるようになった。

設置４ヶ月目以降は設置しておくだけで、回収直後に実体顕微鏡で確認できる位の発育を示した。

○天竺木綿

天竺木綿は、１ヶ月後地下から回収した時点で、既に全面積の８割位まで真菌による汚染が進んでいたのを実体顕微鏡で観察した。

天竺木綿に関しては、地下室に設置して置いただけの試料に真菌発育の進行が認められなかったため、恒温器培養が地下室設置のどのくらいに相当するかを判定することが不可能であった。

天竺木綿の結果より、地下にそのまま設置した場合には真菌の発育が進まなくても、恒温器培養により、発育が進むということが判明した。設置１ヶ月目から６ヶ月目まで全て同じ速度で真菌の発育が進んでいった。

○ポリエステル

ポリエステルは、設置１ヶ月目では回収直後も恒温器培養後も真菌の発育が認められなかった。しかし、２ヶ月目以降、地下室に設置したままでは真菌の発育が認められなかったが、恒温器で培養することによって発育していく様子が肉眼でも確認できるようになった。設置２ヶ月目には恒温器培養２週間で試料全面積の１／３以下の真菌の発育を実体顕微鏡で確認した。設置３ヶ月目では、恒温器培養１週間で実体顕微鏡によって全試料面積の１／３以下の発育を観察し、２週間で肉眼でも確認できるようになった。設置４ヶ月目以降もほぼ同様の変化を示した。最終的に試料全面積の１／３以上に達することはなかった。

ポリエステルに関しては、地下室に設置しておくだけでは真菌の発生がみられなかったため、恒温器培養が地下室設置のどのくらいに相当するかということが判定できなかった。

◎今後の課題

本研究で興味深い知見を得た。各試料を地下室に設置したので、ある一定の真菌汚染はあったと考えられる。例えば地下室に１ヶ月間設置した時点で、真菌汚染はある程度進んでいたと考えられる。しかし、観察によって、地下室設置１ヶ月では恒温器による培養を行っても、真菌の発育は認められなかったが、地下室設置３ヶ月では、恒温器培養後、真菌の発育が認められた。このことから、摂取菌量と基質に関係があるのではないかと考えられる。人間の体の場合、免疫と言う言葉が用いられるが、工業製品についても同様のことが言える可能性がある。ある濃度までは、真菌による汚染があっても真菌は発育しにくいが、その濃度を超えると真菌の発育が著しくなるというポイントが存在するのではないかと考えられる。今後、この点についての研究が必要である。

真菌発育度試験結果

試験試料	設置期間	培養日数				
		回収直後	1週間	2週間	3週間	1ヶ月
①ラワン合板	1ヶ月	1	1	1	2-2	2-2
	2ヶ月	1	1	1	2-2	3-2
	3ヶ月	1	1	1	3-2	3-2
	4ヶ月	2-2	2-2	3-2	3-2	3-2
	5ヶ月	2-2	3-1	3-2	3-2	3-2
	6ヶ月	2-2	3-1	3-2	3-2	3-2
②シナ合板	1ヶ月	1	1	3-2	3-3	／
	2ヶ月	3-3	／	／	／	／
	3ヶ月	3-3	／	／	／	／
	4ヶ月	3-3	／	／	／	／
	5ヶ月	3-3	／	／	／	／
	6ヶ月	3-3	／	／	／	／
③ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙	1ヶ月	1	1	1	1	1
	2ヶ月	1	1	1	1	1
	3ヶ月	1	1	1	2-2	2-2
	4ヶ月	1	1	2-2	2-2	3-2
	5ヶ月	1	1	2-2	2-2	3-2
	6ヶ月	1	1	2-2	2-2	3-2
④木綿	1ヶ月	1	2-2	2-2	2-2	2-2
	2ヶ月	1	3-1	3-1	3-1	3-1
	3ヶ月	1	2-2	3-3	／	／
	4ヶ月	2-2	3-2	3-3	／	／
	5ヶ月	2-2	3-2	／	／	／
	6ヶ月	2-2	3-2	／	／	／
⑤天竺木綿	1ヶ月	2-3	3-3	／	／	／
	2ヶ月	2-3	3-3	／	／	／
	3ヶ月	2-3	3-3	／	／	／
	4ヶ月	2-3	3-3	／	／	／
	5ヶ月	2-3	3-3	／	／	／
	6ヶ月	2-3	3-3	／	／	／
⑥ポリエステル	1ヶ月	1	1	1	1	1
	2ヶ月	1	1	2-2	2-2	2-2
	3ヶ月	1	2-2	3-2	3-2	3-2
	4ヶ月	1	2-2	3-2	3-2	3-2
	5ヶ月	1	2-2	2-2	3-2	3-2
	6ヶ月	1	2-2	3-2	3-2	3-2

※（／）はカビによる汚染が肉眼観察にて試料面積の1/3に達していたため、その時点で破棄した。

真菌発育度試験（培養なし）の月変化

次に、地下室に設置しただけで恒温器培養は行っていない試料における、真菌の発育度変化を考察する。ラワン合板、シナ合板、木綿の３種類については地下室に設置する期間が長くなるほど、真菌の発育も進むことがわかる。その理由として、地下室に設置する期間が長くなるほど、胞子が試料に付着する確率も高まるので、真菌がより発育しやすいといえる。しかし、同じ期間地下室に設置しても、真菌の発育度は、試料により、大きく異なる。これが、実環境下における、試料別の真菌発育度の差異である。結果として、シナ合板→天竺木綿→ラワン合板＝木綿→ポリエステル＝ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙の順で真菌が発育しやすくなっている。このことは、抗かび試験結果、及び真菌発育度試験（培養あり）で得られた結果とは多少異なる。抗かび試験、真菌発育度試験（培養あり）では、天竺木綿→シナ合板→木綿→ラワン合板→ポリエステル→ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙の順で真菌が発生しやすいという傾向を示した。このことから、抗かび試験や恒温器培養を行った場合のように、十分な栄養の存在する培地上で保たれたり、恒温器中で保たれたりして、真菌の発育に、より適した条件を与えることによって真菌の発育しやすさの順位が異なってくることが判明した。従って、真菌にとって十分に適した条件が与えられる時と、我々が日常、生活する中で、温度や湿度が様々に変化する時には、真菌の発育に差が生じることがわかる。

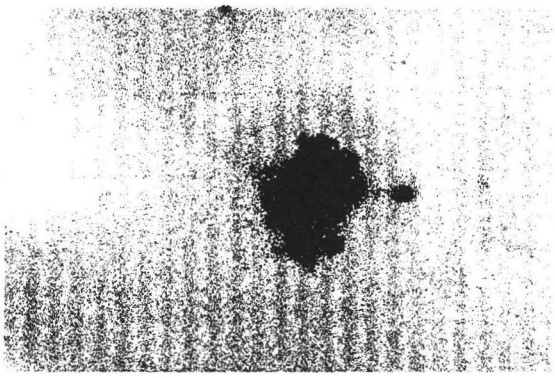
真菌の発育しやすさの順位

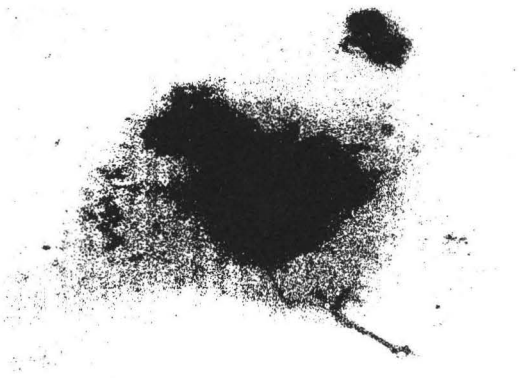
	真菌発育度試験（培養なし）	真菌発育度試験（培養あり）、及び抗かび試験結果
1	シナ合板	天竺木綿
2	天竺木綿	シナ合板
3	ラワン合板	木綿
4	＝木綿	ラワン合板
5	ポリエステル	ポリエステル
6	＝ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙	ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙

また、ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙、天竺木綿、ポリエステルに関しては、地下室に設置しただけでは真菌の発育の進行が認められず、地下室の環境が真菌にとってあまり適してはいなかったことになる。

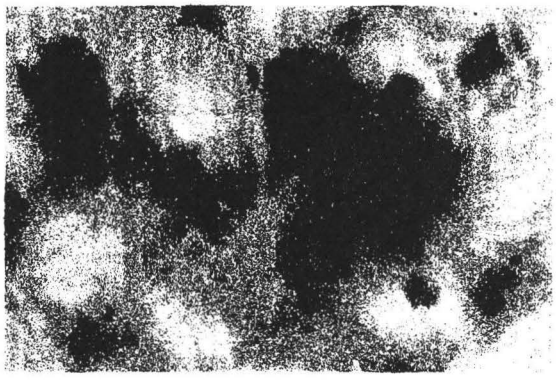
ラワン合板から発生した真菌

シナ合板から発生した真菌

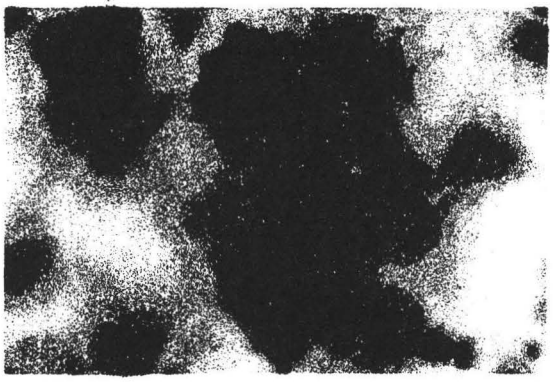




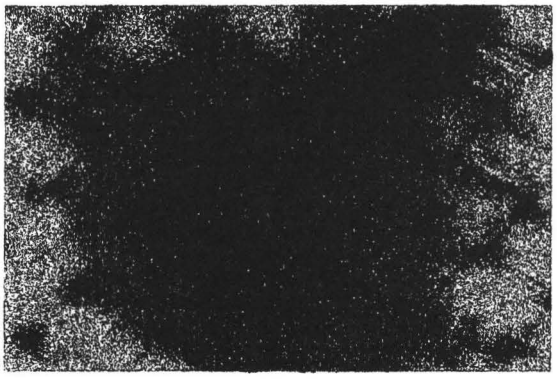
ポリ塩化ビニル樹脂系壁紙から発生した真菌



木綿から発生した真菌



天竺木綿から発生した真菌

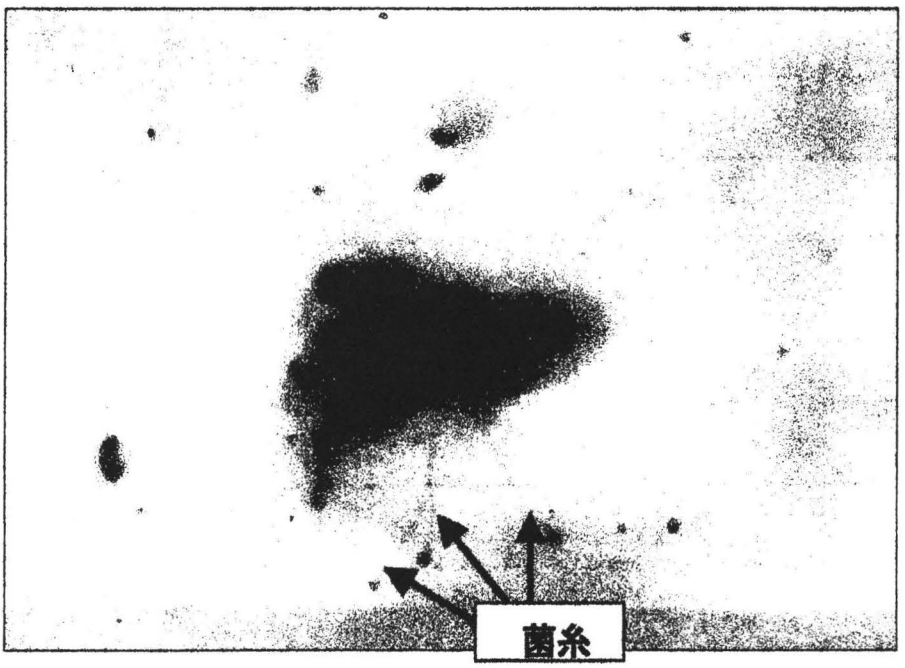


ポリエステルから発生した真菌

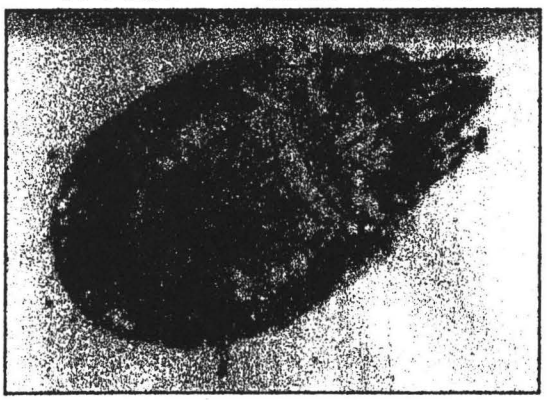
ダニの存在

実体顕微鏡観察によって、肉眼では真菌の発育が認められなかったポリ塩化ビニル樹脂系の壁紙上でもダニの存在が明らかになった。

地下室に３ヶ月間設置した後、回収し、大学の実験室にて実体顕微鏡で試料を観察した際に、ダニの存在を確認した。ダニは既に壁紙上で死んでおり、そこから真菌の菌糸が伸びていた。また、観察の際生きて動き回っているダニも各試料上で発見された。真菌とダニは共生することは知られていたが、それが確認されると共に、ダニの死骸や糞を栄養分として真菌が発生、生育することもあることが明らかになった。



菌糸の伸びたダニの死骸
（ポリ塩化ビニル樹脂系の壁紙上）



試料上で発見された生きたダニ

1-14　膜材料を用いた軽量遮音構造の開発研究

東京大学大学院
新領域創成科学研究科

助 教 授　　佐久間　哲哉

１．本研究の背景と目的

壁体の遮音性能に関しては，一般に壁体の単位面積当たり質量（面密度）が大きく周波数が高いほど音響透過損失は大きいため，低音域において高い遮音性能を得るには壁体重量を十分大きくする必要がある。通常の膜材料は軽量ゆえに低音域遮音性能は著しく低いが，近年，低音域遮音性能の向上を目的とした付加質量膜（錘を離散的に装着した膜材料）が開発され，実測によりその有効性が確認されている。従来の遮音構造では重量が必然的に大きくなるのに対して付加質量膜は軽量である点において画期的な遮音構造であり，さらに膜材料特有の透光性，軽量性，柔軟性による様々な利点を備えていることから，建材としての利用可能性は大きい。一方，付加質量膜の遮音メカニズムに関してはこれまで十分な原理的解明がなされおらず，今後は付加質量膜のより効果的な利用を目的とした設計方法およびチューニング方法を探る必要がある。また，音響性能のみならず製造方法や利用状況の観点から軽量遮音構造を考える必要もある。

以上の背景を鑑み，膜材料を用いた軽量遮音構造の開発を目的として，次の４項目

1）付加質量膜の遮音メカニズムに関する原理的解明

2）付加質量膜の遮音特性予測システムの開発

3）数値シミュレーションによる付加質量膜の遮音特性の把握

4）付加質量膜の設計方法・チューニング方法の確立

を行うものとする。

２．研究の方法

1）付加質量膜の遮音メカニズムに関する原理的解明

無限大付加質量膜モデルに平面波音波が入射する問題を想定して，理論的に音響振動連成場を考察し，最終的には音響透過損失を付加質量膜の各種物理パラメータにより定式化する。結果として，付加質量膜の遮音メカニズムの理論的解釈を与えるとともに，遮音構造の設計上重要な遮音効果のピーク周波数についてその概算式を導出する。

2）付加質量膜の遮音特性予測システムの開発

計算機上に遮音特性予測のための数値シミュレーション環境を整備した上で，付加質量膜への適用が可能である３次元音響透過問題解析プログラムを開発する。具体的には，音響／振動基礎理論に基づいて膜材・板材の音響透過現象のモデル化を行うほか，数値解法における音響／振動連成に伴う諸問題の解決，大規模化する数値計算の効率化について検討する。

3）数値シミュレーションによる付加質量膜の遮音特性の把握

項目2)で開発した遮音特性予測システムを用いて付加質量膜に関するパラメトリックスタディを実施し，膜材料の物性値および装着する錘の質量／形状／配置が遮音性能に及ぼす影響を明らかにする。

4）付加質量膜の設計方法・チューニング方法の確立

遮音構造の軽量化，遮断対象となる音の周波数特性に対応した付加質量膜の設計方法およびチューニング方法を項目1)および3)の研究成果に基づいて提案する。

３．研究の計画と進捗状況

以下の通り実施期間を３期に区分し，各期で前述の４つの研究項目を完了した。

第１期（平成１０年１０月～１１年３月）：項目1)

第２期（平成１１年４月～１１年９月）：項目2)

第３期（平成１１年１０月～１１年３月）：項目3)および4)

４．今までに得られた成果

1）付加質量膜の遮音メカニズムに関する原理的解明

平面波入射条件における無限大付加質量膜モデルを通して遮音メカニズムの解明を試みた結果，付加質量膜の振動成分は膜全面における進行波成分と錘間分割部分の基本固有モード振動成分の重ね合わせにより表され，遮音効果はそれら両者の干渉現象により生じるものと解釈することができた。さらに，音響透過インテンシティの定式化を通して，透過損失のピーク周波数が膜の張力ならびに錘の質量と間隔の３つの物理パラメータによって近似的に表され，音波の入射角や膜の面密度に依存しないことが明らかにされた。また，付加質量膜の遮音効果が生じる条件として，錘質量を錘間隔で除した値がある程度以上大きく，膜の面密度がある程度以上小さい必要があることが示された。従って，遮音特性の調整に関しては，膜の張力の制御が重要であり，全体の軽量化を図るには面密度の小さい膜材量を用いる必要があることが示唆された。

2）付加質量膜の遮音特性予測システムの開発

壁体部材の遮音性能予測に関しては，SEA法やモード展開法による研究が数多く行われてきたが，多様な部材への適用可能性を考えると，離散化数値解法の導入が不可欠である。ここでは，部材遮音性能予測の実用化に向けて，３次元問題における膜材・板材の音場入射透過損失予測システムの開発，ならびにその数値計算の効率化の検討を行った。

解析モデルとして，無限大剛バフル中の膜材・板材に単位振幅平面波が入射する問題を想定し，音場入射条件については全方位角の1/8立体角を120方位に離散化して，透過損失を算出する方法を提案した。解析手法としては，膜振動場・板振動場の各々に対して有限要素法を適用し，さらに材料の通気性を流れ抵抗により組み込んだ形の離散化方程式を導出し，音場の積分方程式に境界要素法を適用して得られる離散化方程式と最終的に連立させることで音響振動連成系を解析する厳密な方法を採用した。音場入射透過損失の算出にあたっては，はじめに各入射角における連成系解析で得られた材料面上の粒子変位から透過側表面音圧を計算し，材料面全体としての斜め入射透過率を求めた後，最終的に入射角による重み平均を行うことにより求めることとした。

膜材の透過特性に関する解析結果では，質量則との全体的な対応，エッジモードの共振による顕著なディップの発生，通気性による共振の抑制現象が見られ，従来の知見との整合性が確認された。また，詳細な検討として，特定の共振周波数における振動変位分布がその固有モードの支配下にあることが確認された。板材の透過特性に関す

る解析結果では，質量則との全体的な対応，エッジモードの共振による顕著なディップの発生，通気性による共振の抑制現象の他，コインシデンス限界周波数付近における透過損失の低下についても，従来の知見との整合性が確認された。また，周辺拘束条件として，単純支持および固定支持を設定し，各条件下における解析結果のディップ周波数が共振周波数の理論値と対応することが確認された。以上により，膜材・板材の３次元透過モデルに基づく遮音性能予測手法の妥当性が検証された。

一方，今回の解析では計算機負荷の制約から対象周波数域を上限1kHzに設定しており，実際の遮音性能評価を考えるとより高い周波数域での解析が要求される。ここで開発した音響振動連成系解析による遮音特性予測システムでは，特に音響系の境界要素法解析において計算時間ならびに必要記憶容量が膨大となることから，音場解析における計算負荷の低減に向けて境界要素法の計算効率を大幅に向上させる高速多重極境界要素法の検討を行った。

高速多重極境界要素法は，従来の境界要素法に対して新たに階層的セル構造を導入し，要素ごとの寄与をそれらを包含するセルの寄与に変換し，要素間の影響をセル間で評価することにより，計算時間と必要記憶容量の大幅な効率化を図るものである。音場解析用プロトタイププログラムをワークステーションに実装し，厳密解の得られる音響管問題に対するケーススタディにより，管内音圧分布および周波数応答関数において本手法の計算精度を検討した結果，各種数値パラメータを適切に設定することにより，高い計算精度が得られることが確認された。続いて，問題の自由度を要素分割によって変化させて解析を行い，計算時間および必要記憶容量について従来の境界要素法との比較を行った結果，大幅な効率化が達成されていることが確認された。ただし，本手法の適用に際しては，問題の自由度によって最適なセル階層化レベルが変化することから，計算効率を最適化するためのセル階層化レベルの設定方法を明らかにする必要があることが示唆された。この結果から，遮音特性予測システムにおける音場解析部分に高速多重極境界要素法を適用することにより，高周波数域あるいは大きな部材を対象とした遮音性能予測が可能となるものと考えられる。

3）数値シミュレーションによる付加質量膜の遮音特性の把握

前項で開発した遮音特性予測システムをベースとして，付加質量膜の解析が可能となるように錘に関する取り扱い方法を検討した。錘の形状としては点状および線状の２種類を想定し，有限要素法によって離散化された膜振動方程式における膜質量マトリックスに錘質量マトリックスを加える方法を示した。

数値解析では，面密度1．0kg/m2，張力4kN/m2の非通気性膜を基本設定として，点状および線状の錘を用いた付加質量膜の遮音特性を解明するため，各々の場合について錘質量と錘間隔を変化させたパラメトリックスタディを行った。第一に，付加質量膜と普通膜との比較を行ったところ，付加質量膜では透過損失が普通膜に比べて40dB程度大きくなる周波数が低音域に見られた。付加質量膜の透過損失のピーク周波数では錘部分に比較して膜全体の振動変位が非常に小さく，この振動抑制により遮音効果が生じることが分かった。第二に，点状錘の場合の遮音特性に関して，錘質量の増大に伴

いピーク周波数の低下およびピークレベルの増加が見られ，また，錘間隔の減少に伴いピーク周波数の上昇が見られた。これらの傾向は前項での理論的考察の結果と対応することが確認できた。第三に，線状錘の場合の遮音特性に関して，点状錘の場合と比較してピークレベルは低下するもののピーク周波数は約２倍となり，遮音効果が得られる周波数域が広くなることが分かった。また，錘質量および錘間隔については，点状錘の場合と同様の傾向で影響が生じることが確認された。

4）付加質量膜の設計方法・チューニング方法の確立

付加質量膜に関する理論的考察および数値的検討の結果から，設計ならびにチューニングの際の方針を取りまとめた。膜材の選定にあたっては，非通気性かつ面密度は出来るだけ小さい方が軽量の錘でも遮音効果を得ることができ，全体としての軽量化にもつながる。錘の選定にあたっては，狭帯域で高い遮音効果を得ようとする場合，例えばプラント等におけるモータ，タービン等の卓越周波数を有する騒音源については，点状錘を用いることが効果的であり，比較的広帯域の騒音源を遮音の対象とする場合は，線状錘を用いることが望ましい。また，錘質量を錘間隔で除した値がある程度以上大きいことが遮音効果の生じる必要条件となる。遮音特性のピーク周波数に関しては，錘質量の増大および錘間隔の増加によって低下し，一方，膜材にかかる張力の増大により上昇する性質がある。従って，遮音特性のピーク周波数のチューニングに関しては，膜材の張力による制御することが望ましく，設計段階では対象とする騒音源に対応可能な範囲で膜材の面密度ならびに錘の質量と配置を決定しておくことが現実的であろう。

５．これから期待される成果

本研究では数値シミュレーションによって付加質量膜の遮音構造としての可能性を検証したが，今後は実際に幾つかのタイプの付加質量膜を製作して音響実験により遮音効果を確認する必要がある。また，実用を想定すると，付加質量膜の構造をある程度の寸法でユニット化することが考えられ，さらに入射側にグラスウール等の吸音材を配置することで，音源側の低音域吸音にも役立つ可能性がある。従来，低音域の遮音材料としては非常に重いものとならざるを得えなかった実状に対して，ここでの付加質量膜は軽量で設置および撤去が比較的容易な遮音材料となりえることから，建設作業騒音等に対する仮設遮音壁としての利用が期待される。

６．残る問題点と対策

付加質量膜で最も問題となる点は，膜材への張力の導入であろう。確かに張力を変化させることで遮音特性を調整することが理論上可能であるが，実際には張力を所望の値に設定してかつ維持することが困難なものと思われる。一つの打開策として，膜材の代わりに薄い板材を用いることが考えられる。即ち，材料の弾性を，膜の張力に代えて板材の剛性で与えることで，付加質量膜の場合と同様の遮音効果が得られる可能性がある。この場合，板材の剛性はヤング率と厚みにより決定されるため，膜の張力

のような可変性はないものの，安定した性能を発揮するものと予想される。従って，騒音源の卓越周波数が既知の場合，設計段階で錘質量および錘配置により遮音特性のピーク周波数を調整するで対応可能である。

７．研究発表の実績及び予定

1)　T. Sakuma: Fast multipole boundary element method for predicting sound fields, Proceedings of Inter-Noise 99 (Fort Lauderdale), pp. 1639-1644, 1999。

2)　安田洋介，佐久間哲哉：大規模音場解析に向けたFMBEMの開発 ― 多段階化における打ち切り次数設定 ―，日本建築学会大会梗概集（環境工学Ｉ），pp. 81-82, 2000。

3)　佐久間哲哉，安田洋介：大規模音場解析に向けたFMBEMの開発 ― 音響管解析による計算量・記憶容量の評価 ―，日本建築学会大会梗概集（環境工学Ｉ），pp.83-84, 2000。

4)　佐久間哲哉，大嶋拓也：音響振動連成シミュレーションによる部材遮音性能予測に関する研究 ー膜材・板材の３次元透過モデルー，日本音響学会講演論文集（秋季），pp. 687-688, 2000。

5)　大嶋拓也，佐久間哲哉：音響振動連成シミュレーションによる部材遮音性能予測に関する研究 ー付加質量膜の質量配置パターンに関する検討ー，日本音響学会講演論文集（秋季），pp. 685-686, 2000。

6)　佐久間哲哉，大嶋拓也：離散系波動解析による壁体部材の遮音性能予測（１）ー膜・板振動モデルに基づく音響振動連成シミュレーションの適用ー，日本音響学会騒音振動研究会資料 N2001-1, pp. 1-7, 2001。

7)　大嶋拓也，佐久間哲哉：離散系波動解析による壁体部材の遮音性能予測（２）ー付加質量膜の質量配置パターンによる遮音特性の検討ー，日本音響学会騒音振動研究会資料N2001-2, pp. 1-6, 2001。

8)　T. Sakuma and T. Oshima: Application of a vibro-acoustic method to predicting sound insulation performance of building members, Inter-Noise 2001 (Hague), 2001。（発表予定）

1-15　高齢者と地球にやさしい健康的な環境住宅の提案

東京都立大学大学院工学研究科
建築学専攻

教　授　　石野　久弥

高齢者と地球にやさしい健康的な環境住宅の提案

1　研究の背景と目的

日本の住宅の熱環境の現状は、必ずしも良好なものではない。北海道では断熱性の高い住宅が普及しているものの、東北、北陸、北関東などの寒冷地では、断熱・気密性の低い住宅が主である。このような住宅、特に戸建住宅のなかには、冬に、居間でさえ室温が10～15℃、その他の室は5℃以下となるような住宅も珍しくはない。高齢者にとっては極めて厳しく、高齢ではなくても健康的とは言い難い環境である。しかし、このような状況でさえ、居住者は改善の必要性を感じているわけではなく、冬は寒いもの、寒いことはやむを得ないことと受け入れている。関東以南の温暖地の住宅でも、程度の差はあれ冬には同様のことが言える。一般に、夏を旨とする造りの住宅は暖房には適さないため、居間を中心とする一部の室のみを昼間だけ暖房するなど、暖房への依存を最低限にする傾向があり、結果的には温暖地といえども冬の熱環境が よいとはいえなくなる。この冬の問題は建物の断熱・気密性を強化すれば解決できる。しかし単に断熱・気密性を強化しただけは、古来からある日本の民家の涼しさが失われ、夏の冷房への依存度を高める結果となる。住宅は、夏も冬も昼も夜もいつでも、居間に限らずどの空間にいても、健康的で快適に過ごせるべきである。
これを実現するには、冷暖房へ過剰な依存によるよりも、建物自体の熱性能の向上による方が適している。このような住宅は健康的な環境をもつと同時に、冷暖房のためのエネルギー消費を極めて小さく抑えることが可能となる。高齢者にやさしい健康的な環境住宅とは、地球にもやさしい環境住宅であるともいえる。

本研究では、日本の伝統文化に根ざした民家の良さと近代技術の組み合わせのベストミックス、高齢化対応で環境負荷の少ない住宅を追求することを目的とする。そのために、①自然を積極的に取り入れる、②快適性に幅を持たせる、③高断熱高気密技術と自然換気のバランスを考慮する、などが重要である。冬の住宅の熱環境に対しては、それぞれの地域に合わせた高断熱高気密化によりほとんど暖房を行わなくても健康的で快適な環境が得られる。しかし、そのまま夏を迎えると高断熱高気密化の逆効果により暑く不適当な熱環境となる。夏には、自然通風の活用、簾などの日除けの設置など、人の手による調整が必要である。パッシブ仕様の建物は人間がアクティブに装置を操作しなければならないといえる。
しかし、それこそが自然とともに生きることであり、それを喜びと感じられるような住宅を提案することを目指している。

2　研究の方法および計画

研究の方法は以下による。当初の計画では、住宅の自然通風量、室間換気量の測定解析をも予定していたが、測定解析法の検討のための予備測定を行う程度で、本格的な測定を開始するまでに至らなかったため、本研究報告には含めないこととし、今後の課題とする。

1)住宅の熱環境評価モデルの作成

住宅の特徴を再現するため、壁体非定常熱伝導処理と多数室理論をもとに熱環境を

精度高くシミュレーションするプログラムを整える。またPMVあるいは作用温度による年間熱環境の快適性評価を可能とする。

2)日本各地の住宅熱性能と熱環境の関係解析

冷暖房は行わないことを前提にして、戸建住宅について、ごく普通の熱性能の住宅から高性能住宅までを、断熱・気密化、太陽熱のパッシブ利用、日除け、自然換気などの手法を段階的に取り入れ、熱環境の向上過程をシミュレーションし、その地域特性を把握する。

3)日本各地の地域性を考慮した環境住宅の提案

冷暖房を極力控えて夏冬ともに健康的な熱環境が得られる最適な環境住宅を、北海道から沖縄まで地域別に提案する。

3　研究成果

今までに得られた研究成果を下記の項目に沿って報告する。

1)住宅の熱環境シミュレーションモデルの作成
2)計算対象とする戸建住宅の基準条件
3)東京における基準住宅での室温変動特性
4)冷暖房に依存しない環境住宅実現のための手法
5)冷暖房に依存しない熱環境の評価法
6)日本各地における環境住宅の可能性の検討
7)日本各地の環境住宅の提案

1)住宅の熱環境シミュレーションモデルの作成

住宅の多数室室温変動計算法として、逐次積分熱流法を採用した。本手法は、壁体の非定常熱流計算で使用する根の数が非常に多くなるために、実用的な計算法とするために根を減らす工夫が必要である。数種の固定根、最適な2根を用いる方法が考えられるが、検討の結果、固定5根を用いる手法をとることとした。

2)計算対象とする戸建住宅の基準条件

本研究では、戸建住宅を対象とすることとし、計算に用いる住宅平面図を図1に示す。RC造と木造の2種を設定し、多数室計算にあたっては、RC造は居室7室とその他の空間をまとめた廊下、また一部にある床下空間の計9室、木造はそれに小屋裏を加えた計10室の室温を未知数とした。

3)東京における標準的な住宅での室温変動特性

まず、標準的な建物を想定し、東京における夏期および冬期の室温変動特性を検討する。主な計算条件を表1に示す。冷暖房は居間を中心とする間間欠運転で、居間は、朝、昼、夜の3つの時間帯に分けて数時間ずつ行う。個室は夜のみである。

RC造、木造住宅での、夏期および冬期の代表日における各室室温変動を図2に示す。

8/8は、年最高気温の発生した日、2/18は、年最低気温の発生した日である。木造住宅は

RC造住宅に比べて、1日の室温変動幅が非常に大きい。冬の明け方の室温低下は激しいが、日中日射が期待できれば非暖房室でも室温はかなり高くなる。RC造では、冬の夜間の室温低下が小さい、非冷房室でも昼間の室温は外気温より低いなどの有利な特徴を持っている。

4)冷暖房に依存しない環境住宅実現のための手法

建物の熱的性能には、①断熱気密性、通気性、②日射取得性、日射遮蔽性、③蓄熱性の3つがある。冬期には断熱気密性、日射取得性を高め、日射と内部発熱で暖房効果を得る。夏期には日射遮蔽性を高め、蓄熱性の低い木造住宅では1日中換気を、蓄熱性の高いRC造住宅はナイトパージを行い夜間蓄冷をする。本研究で取りあげた具体的な手法を表2、3示す。
建物性能を向上させる手法は、季節が変わると効果から逆効果に転じるものが多い。
冬の熱環境をよくする断熱気密性は、建物を設計建設するときにほぼ決まり、住まい方を変えずに夏を迎えると逆効果となる。これを打ち消すための日射遮蔽性、通気性は、主に住まい方による手法であり、居住者の意識が重要となる。

自然換気量は、複数開口の位置関係や外部風により多様に変化する。本研究では、自然換気の条件と効果の関係を明確化するため、換気量を与えて試算した。

5)冷暖房に依存しない熱環境の評価法

冷暖房に依存しない熱環境を評価する場合は、多少の熱環境の変動を許容することになる。また、住宅では、昼間の熱環境は無論、夜間の就寝時の熱環境も軽視できない。そこで、1日の熱環境の快適許容域を決めるためにPMVを利用した。表4に示すように、夏期、冬期の昼および夜の代謝量と着衣量を想定した。また室内の気流速度は0.1m/sec、湿度は夏期60%、冬期40%と仮定し、まず各期間3段階の快適許容域を考えた。表4には、夏期に、PMV≦0.5、1.0、1.5となる限界の作用温度、冬期にPMV≧ -0.5、-1.0、-1.5となる限界の作用温度を求め示した。冷暖房空間の快適許容域は、一般に-0.5≦PMV≦0.5とされるが、非冷暖房空間の場合、着衣による微調整を期待して、夏期にはPMV≦1.0、冬期にはPMV≧-1.0を快適許容域として採用することにする。

以降のシミュレーションでは、夏期として7～8月、冬期として1～2月の各2ヶ月について、住宅各室の室温の時刻変動を求めている。非冷暖房空間では、室温と作用温度はほぼ一致するため、計算で得られた室温は作用温度に等しいとして評価に利用することとする。また、各室の熱環境の差は、建物の熱性能を向上させるとともに小さくなることから、住宅の熱環境の代表として居間の作用温度を取り上げれば十分と判断した。居間の時別作用温度が快適許容域に入る時間数の比率を快適許容時間率として、評価指標の1つとする。

6)日本各地における環境住宅の可能性の検討

日本各地の代表都市として、表5に示す8都市を選び、熱環境を向上させる建築的手法、住まい方の手法を採用することにより、どこまで快適な環境が実現できるかを数値解析した。建物は、図1に示す平面をもち、南方位の窓には庇があり、庇の出は那覇以外は0.5m、那覇は1.5mと想定した。気象は平均年データを用いた。各種手法の採用決定の手順は、まず冬期に十分な作用温度が得られるまで断熱気密性能を上げ、高断熱気密状態の夏期作用温度を日射遮蔽、自然換気によりどの程度下げられるかを検討した。

図3に、東京のRC造住宅、木造住宅での検討過程を示す。縦軸には、熱環境指標として、各期間平均作用温度、日最高、日最低作用温度の期間平均値、および快適許容時間率を示した。基準として外気温度の状態も示した。横軸には採用した熱環境向上手法を示している。例えば「D4」とは、表2の建築的手法のD（断熱厚100m、2重ガラス）と表3の4（夜間断熱戸（断熱50mm））の組み合わせを表す。RC造住宅は、冬期に「D4」のケースで、平均作用温度は21.1℃、快適許容時間率は98％に達し、十分快適な環境が得られている。夏期には、断熱戸を使用しない気密状態（D）の平均作用温度36.5℃に対し、簾（D1）の効果で6.5K、ナイトパージ10回/h（D3）の効果で8K、両者の組み合わせ（D13）で9Kの作用温度低下が得られる。ケースD13での快適許容時間率は80％である。快適許容時間率80％以上を環境住宅の必要条件と仮定すると、東京のRC造住宅は、断熱100mm＋断熱戸（断熱50mm）付き2重ガラス、夏期に簾＋ナイトパージ10回/hとすればよいといえる。

木造住宅は、RC造住宅に比べ作用温度の日較差が大きいため、快適許容時間率を増加させることがやや難しい。また夏期においては、木造住宅はナイトパージより1日中換気の方が効果がある。

図4に、RC造住宅の冬期ケースD4、夏期ケースD13の各室の期間平均作用温度を示した。室間の作用温度の差は、冬期に5K程度、夏期に2.5K程度生じており、冬期は内部発熱の少ない2階で作用温度が低くなっている。

東京と同様の方法で、日本各地の環境住宅の具体的仕様を検討した。

7)日本各地の環境住宅の提案

東京における検討で、木造住宅よりRC造住宅の方が環境住宅として適していることがわかったので、RC造住宅に対象を絞って、日本各地の環境住宅の具体的な仕様を見つけるための数値解析を行い、そのときの熱環境状態をも確認した。環境住宅の条件として、快適許容時間率が80％以上であることとした。すなわち、残りの20％の時間帯は必要に応じて冷暖房に依存すると考える。図5に最終結果を示す。快適許容時間率が80％に満たないものは、本研究で取りあげた手法では環境住宅を実現できない
ことを意味している。

旭川は、冬期平均外気温が-7℃程度であり、冬期の日射取得性を高めるためにサンルーム（図中では温室）を付加するとよい。しかし、図示は省略したが、サンルームをもつと作用温度の時刻変動が大きくなるという欠点もある。旭川の冬期の快適許容時間率は必要条件には達しないものの78％となった。新潟は、冬期の外気温が低く日射量が非常に少ないため札幌より高い断熱ガラスが必要となった。那覇以外の都市では、冬期の熱環境を良好にするには複層ガラス窓がよいという結果である。また鹿児島、那覇の夏期は快適許容時間率80％を満たすことはできず、やはり冬期より夏期の方が、熱環境を向上させることが難しいことが確認された。

4　今度の課題・予定

これまでの研究で、代表8都市における環境住宅の提案を行うことができた。今後

の課題としては、

1)シミュレーションの精度向上のための検討

シミュレーションをより的確なものとするために、データを整備する必要がある。特に、室間換気量、住宅の家具類の熱容量と遅れ特性については不明であるため、これを明らかにするための実測解析を行う。

2)住宅の自然通風特性に関する検討

夏期の重要な対策である自然通風に関する実態把握が十分ではないため、実測により具体的な通風量とその特性を把握する

3)多地点にわたる環境住宅の特性解析

最近公表された拡張アメダス気象データを利用すると、さらに多地点について環境住宅の具体的仕様を求めることができる。これを行い、きめ細かい地域特性を把握する。

などが挙げられる。全てを解決するにはかなり時間を要するが、着実に研究を継続したいと考えている。

現時点での研究成果発表（論文発表）の予定はない。さらに研究を進めた後に発表を検討する。

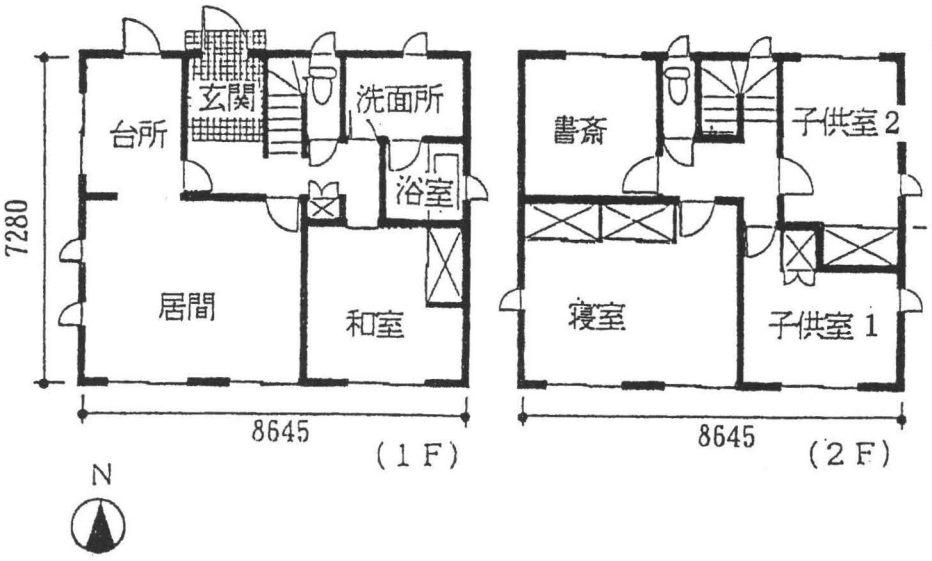
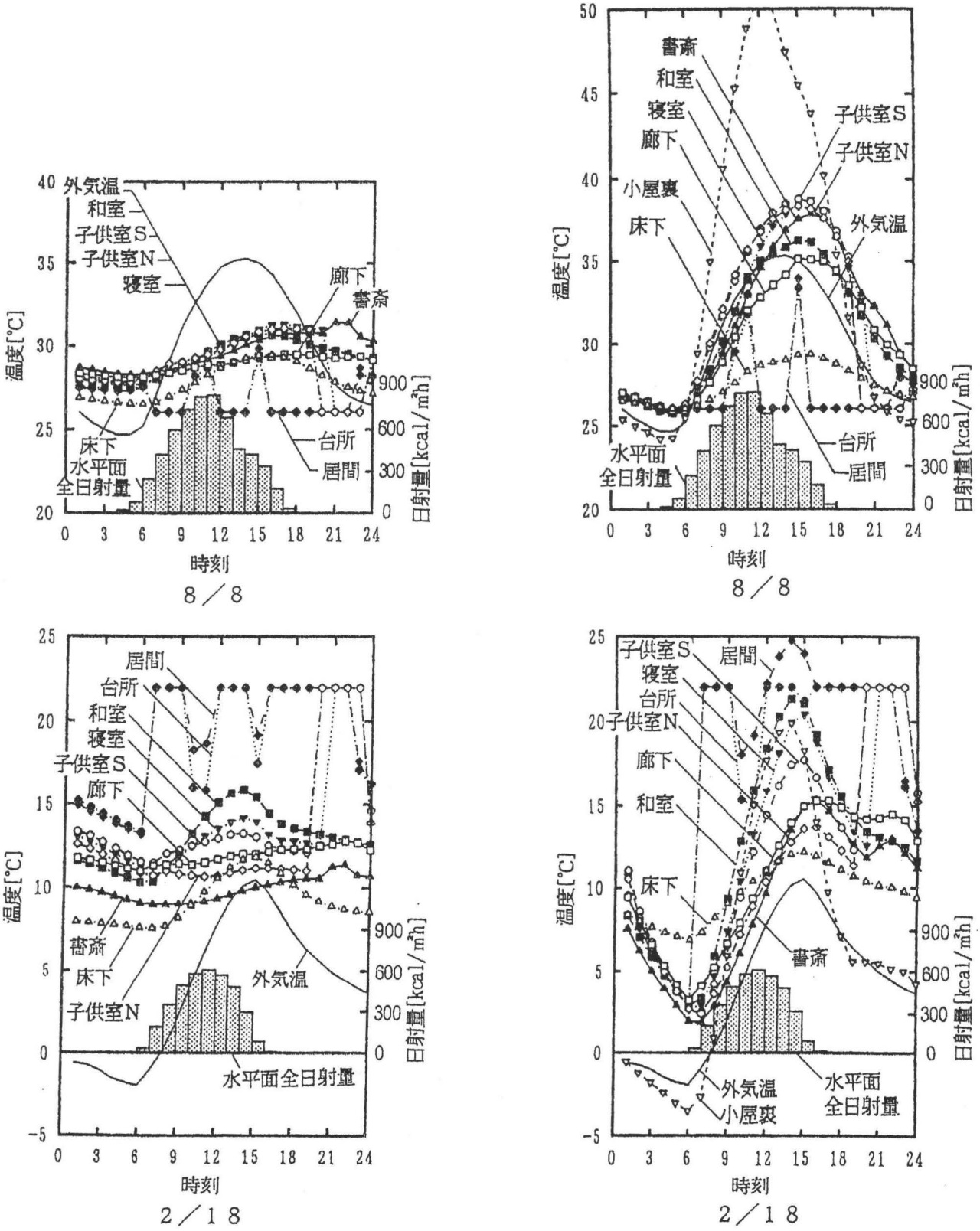


図1　対象とする戸建住宅の平面図

表1　標準的な住宅での主な計算条件

気象条件	東京（平均年気象データ1～2月、7～8月）
建物条件	外壁断熱：グラスウール 13mm（RC造住宅は外断熱） 窓　　：一重ガラス 庇　　：南のみ 50cm の出 隙間風　：暖房 0.5 回/h、冷房 1 回/h
冷暖房条件	冷房室温：26℃　　、暖房室温：22℃ 冷暖房時間：台所・居間　7～9時、12～14時、16～23時 寝室　21～23時 子供室　20～22時 その他の室　冷暖房なし



(a)RC 造住宅　　(b)木造住宅

図 2　標準的な住宅での夏期・冬期の室温変動（東京）

表 2　熱環境を向上させる建築的な手法

ケース	A	B	C	D	E	F	G	H	I
断熱厚[mm][1]	なし	13	50	100	200	250	250	250	250
換気回数[回/h][2]	1.0	0.5	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ガラス種類[3]	1 重	1 重	2 重	2 重	2 重	3 重	3 重	4 重	4 重
南側窓面積大[4]	—	—	—	—	—	—	○	○	○
サンルーム付き[5]	—	—	—	—	—	—	—	—	○
熱損失係数[6]	6.2	3.9	2.3	1.5	1.2	1.0	1.0	0.9	0.9
日射取得係数[7]	0.11	0.07	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.05	0.07

1)断熱材はグラスウール　2)気密時の換気回数　3)透明ガラス使用
4)居間はもともと窓面積が大きいので 1.5 倍、その他の室は 2 倍とした。
5)居間の南面に 2m 張り出させたもの。
6)RC 造住宅の値であるが、木造との差はごくわずかである。単位は[W/㎡ K]
7)水平面全日射量に対する日射による熱負荷の比率

表 3　熱環境を向上させる住まい方による手法

1：簾（南側窓）
2：ナイトパージ（ 4 回/h）
3：ナイトパージ（10 回/h）
4：夜間断熱戸（断熱 50mm）
5：夜間断熱戸（断熱 100mm）
6：1 日中換気（ 4 回/h）
7：1 日中換気（10 回/h）

*ナイトパージ、夜間断熱戸の時間帯は 18:00 ～ 6:00

表 4　熱環境の快適許容条件

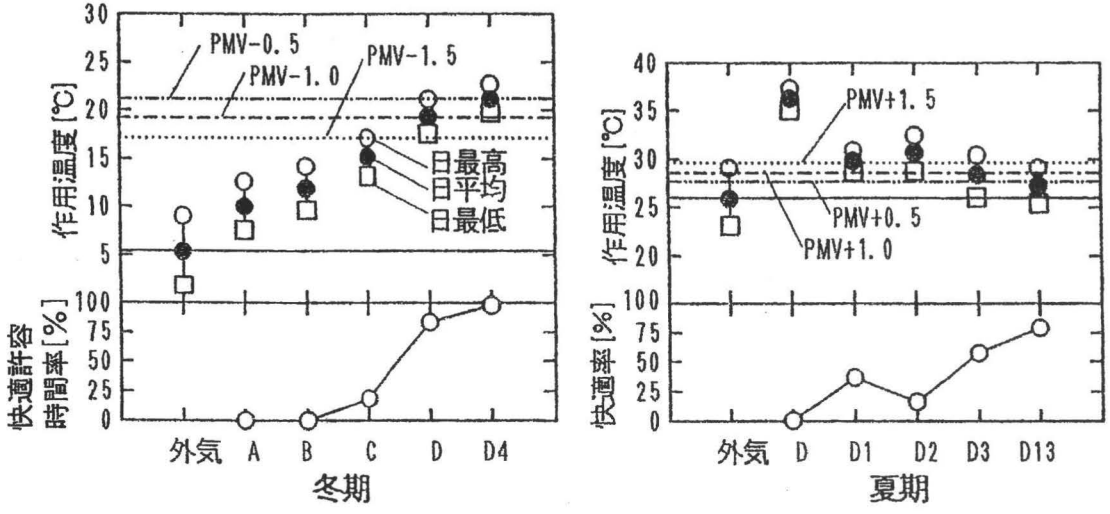
季節	時間帯	代謝量 [Met]	着衣量 [clo]	湿度 [%]	快適許容限界作用温度*		
					ﾚﾍﾞﾙA	ﾚﾍﾞﾙB	ﾚﾍﾞﾙC
夏期	7～23時	1.0	0.5	60	27.1	28.5	29.5
	23～7時	0.8	0.8	60	27.0	28.2	29.5
冬期	7～23時	1.0	1.1	40	21.0	19.0	17.0
	23～7時	0.8	2.5	40	16.0	13.5	11.0

*快適許容域として夏期、冬期それぞれ3種のレベルを想定した。すなわち、夏期にPMV≦0.5（ﾚﾍﾞﾙA）、PMV≦1.0（ﾚﾍﾞﾙB）、PMV≦1.5（ﾚﾍﾞﾙC）、冬期にPMV≧-0.5（ﾚﾍﾞﾙA）、PMV≧-1.0（ﾚﾍﾞﾙB）、PMV≧-1.5（ﾚﾍﾞﾙC）である。この限界値に対応する作用温度を求めて表に示した。

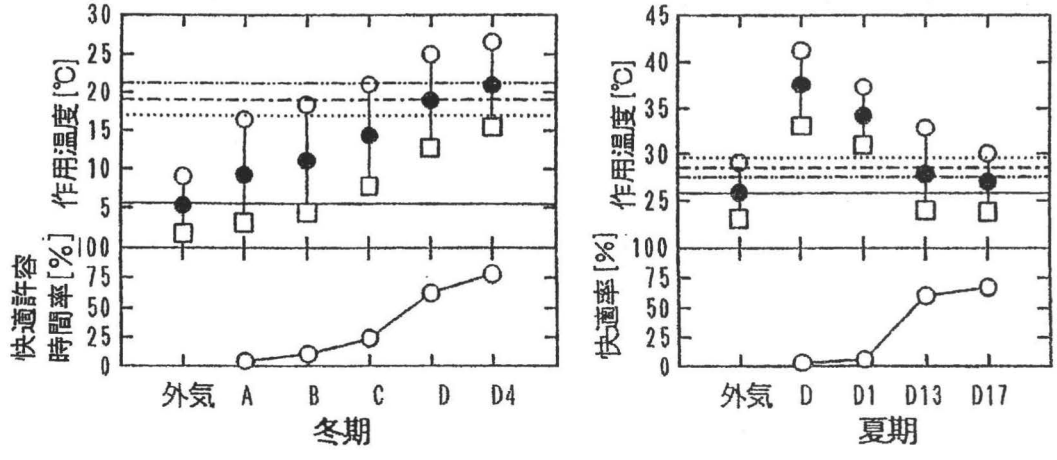
表 5　検討対象都市の気象の特徴

期間	気象要素	旭川	札幌	仙台	新潟	東京	名古屋	鹿児島	那覇
冬期平均	外気温[℃]	-7.3	-4.6	1.3	1.7	5.3	3.5	7.0	15.7
	南面日射量	5820	7790	9310	4920	8850	1150	10000	7590
夏期平均	外気温[℃]	19.7	20.7	22.9	25.2	25.9	26.4	27.3	27.8
	南面日射量	5890	5640	4510	5440	4980	4530	3860	3420

1)冬期とは1～2月、夏期とは7～8月のこと
2)南面日射量の単位は、[MJ/㎡日]

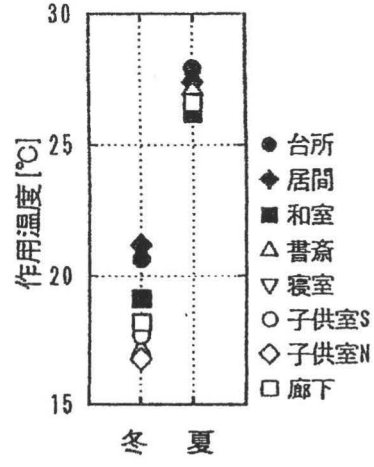


(a)RC 造住宅



(b)木造住宅

図 3　熱環境を向上させる手法と居間の熱環境特性（東京）



冬：ケース D4、夏：ケース D13

図 4　各室の期間平均作用温度（東京）

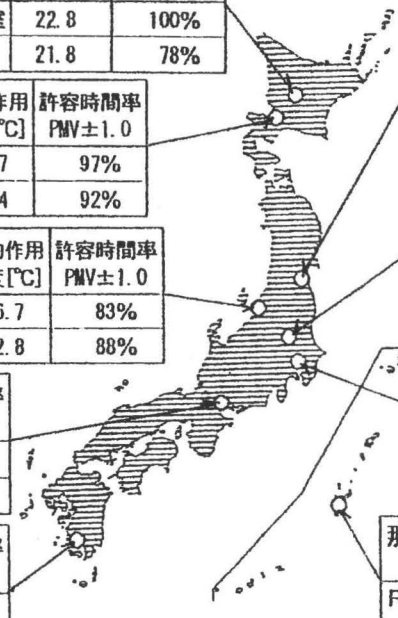
旭川		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	250	ペア+ペア	ナイトパージ(10回/h)+簾+南窓面積大+温室	22.8	100%
C	冬	250	ペア+ペア	夜間断熱戸100mm+南窓面積大+温室	21.8	78%

札幌		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	250	ペア+単	ナイトパージ(4回/h)+簾+南窓面積大	23.7	97%
C	冬	250	ペア+単	夜間断熱戸100mm+南窓面積大	22.4	92%

新潟		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	250	ペア+ペア	ナイトパージ(10回/h)+簾+南窓面積大	26.7	83%
C	冬	250	ペア+ペア	夜間断熱戸100mm+南窓面積大	22.8	88%

名古屋		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	100	ペア	ナイトパージ(10回/h)+簾	27.3	79%
C	冬	100	ペア	夜間断熱戸50mm	20.6	87%

鹿児島		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	100	ペア	ナイトパージ(10回/h)+簾	28.4	54%
C	冬	100	ペア	なし	20.5	96%



仙台		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	250	ペア+単	ナイトパージ(4回/h)+簾	25.7	97%
C	冬	250	ペア+単	夜間断熱戸50mm	22.1	83%

宇都宮		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	200	ペア	ナイトパージ(4回/h)+簾	26.9	80%
C	冬	200	ペア	夜間断熱戸50mm	23.5	100%

東京		断熱[mm]	窓	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	100	2重	ナイトパージ(10回/h)+簾	27.2	80%
C	冬	100	2重	夜間断熱戸50mm	21.1	98%

那覇		断熱[mm]	窓	庇[m]	対策	平均作用温度[℃]	許容時間率 PMV±1.0
R	夏	13	単	2	ナイトパージ(10回/h)+簾	29.6	30%
C	冬	13	単	2	夜間断熱戸50mm	20.8	96%

＊PMV±1.0とは、冬期:PMV≧-1.0、夏期:PMV≦1.0の略。

（注）熱環境の快適許容時間率 80 %以上とするための建物条件と住まい方条件を検討した。旭川の冬期、鹿児島と那覇の夏期は、快適許容時間率 80 %を達成することができなかった。

図 5　日本各地の環境住宅と快適許容時間率

1-16　井戸水利用天井吹輻射冷房システムの省エネルギー、快適性に関する研究

東京理科大学理工学部建築学科

教　授　　武田　　仁

井戸水利用天井輻射冷房システムの省エネルギー・快適性に関する研究

1．はじめに

現在、夏期の冷房は一般的に電気エネルギーを用いたクーラー（ヒートポンプ）によって行われているが、このクーラーによる冷房は冷風が局所的に当たることによって冷房病や冷え性の原因ともなっている。また夏期における冷房が電力需要のピークを大きく左右するため、今日ではいかに冷房用電力を減らすかが大きな課題となっている。これらの解決策となり得るのが未利用エネルギーである家庭用の井戸からの地下水を用いた輻射による冷房である。

天井輻射冷暖房の論文は文献1）～5）等に見られるが、本研究では井戸水を熱媒とする天井輻射パネルを木造在来工法の住宅の一室に設置し、1年を通じて連続計測することにより、快適性と省エネルギー性を検証する。また実験住宅における断熱性についての考察も行う。

2．実験住宅および天井輻射冷房システムの概要

実験住宅の所在地は千葉県柏市で敷地面積363.4m²、建物延べ床面積162.3m²である。冷房負荷をできるだけ少なくするため、高断熱高気密となるような設計がなされている。天井輻射冷房を行うスペースは、1階居間兼食堂の26.7m²であり、輻射パネル部分は長さ2700mm、幅227mmの輻射パネルを40枚用いた24.5m²である。天井パネル表面の結露防止のため3方弁制御による温度コントロールを行う。温度コントロールは簡易で安価な手動（温度設定）とする。庭に井戸（深さ66m、水深17m）を掘削し、地下水をくみ上げるポンプを設置する。

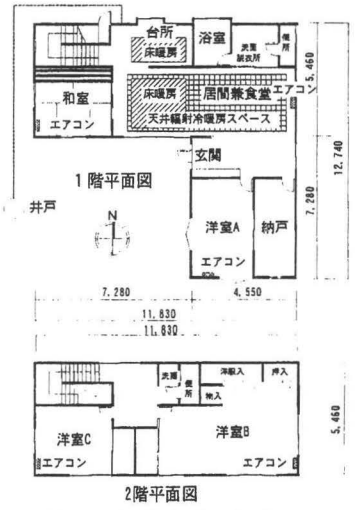


図1　実験住宅平面図

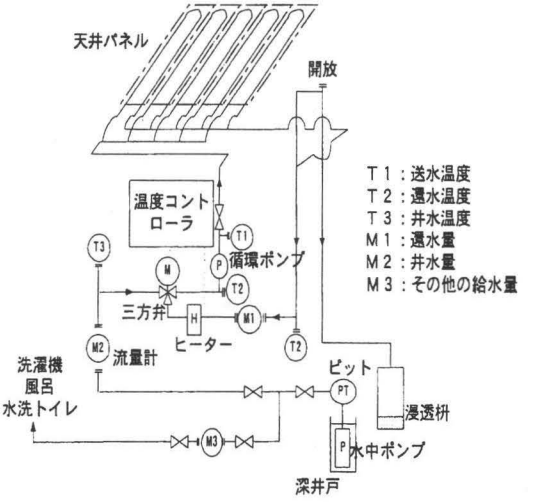


図2　システム系統図

3．計測システム

1)データロガー，パソコンを用いて、通常3秒間隔2分間平均値をMOに格納し長期連続計測を行なった。表1に測定項目，機器名，仕様，測定点数を示す。

表1　測定項目概要

測定項目	機器名	仕様	測定点数
	データロガー	アドバンテスト製：R7430（90点用）	
	パソコン	日本電気製：PC-9801DX	
温度	熱電対	T-CC熱電対	45点
放射温度	放射温度計	ミノルタ製：温度計505	1点
湿度	高分子抵抗式湿度計	神栄製：温湿度変換器：THT-B110	4台
風速	風速計	カノマックス製：アネモマスター風速計：6071	2台
日射	日射計	英弘精機製：ネオ日射計：MS-42	1台
流量	流量計	東研製：カロリック流量センサ：ND20	3台
電力	トランスデューサー	YOKOGAWA製：228590/T01	4台
	アメニティメーター	京都電子製：AM-101	1台

以上のような計測システムにより、実験スペースのエアコン・水中ポンプの使用電力量，井戸水による冷却熱量，エアコンの除去熱量・加熱量，エアコンCOP，パネルCOP，室内外温湿度，快適値（SET*・PMV），各方位壁体内温度，各室室温等の計測を行った。

2）計算式

①エアコン空気廻り除去熱量　$Q_T[W]$

顕熱除去熱量　$Q_s[W]$

$$Q_s = C_1 \times \gamma \times V \times \Delta t \times 0.86$$
$$= 0.24 \times 1.2 \times V \times (t_1 - t_2) \times 0.86$$

C_1：比熱$(0.24)[kcal/kg℃]$
γ：容積絶対湿度$(1.2)[kg/m^3]$
V：風速$[m^3/h]$
t_1：吸い込み口温度［℃］
t_2：吹き出し口温度［℃］

潜熱除去熱量　$Q_L[W]$

$$Q_L = C_2 \times \gamma \times V \times \Delta x \times 0.86$$
$$= 520 \times 1.2 \times V \times (x_1 - x_2) \times 0.86$$

C_2：比熱$(520)[kcal/kg℃]$
x_1：吹き出し口重量絶対湿度[kg/kg′]
x_2：吸い込み口重量絶対湿度[kg/kg′]

エアコン除去熱量　$Q_T[W]$

$$Q_T = Q_S + Q_L$$

②パネル水廻り除去熱量　$Q_p[W]$

$$Q_P = R \times (t_3 - t_4) \times 0.86$$

R：パネルの循環流量$[l/h]$
t_3：パネルの還水温度[℃]
t_4：パネルの送水温度[℃]

③COP（成績係数）

$$\text{エアコン}COP = \frac{\text{エアコン除去熱量}\ (W)}{\text{エアコン消費電力}\ (W)}$$

$$\text{パネル}COP = \frac{\text{パネル除去熱量}\ (W)}{\text{水中ポンプ、循環ポンプ消費電力}\ (W)}$$

なおシステムCOPはエアコン消費電力，パネル消費電力，エアコン除去熱量，パネル除去熱量より算出する。

4．年間測定結果による断熱性の検証

(1) 各室室温と外気温度との比較

図3～5は各室室温と外気温度に関する年間測定結果である。日常的に冷暖房が行われている居間においては、年間を通じて約20～30℃の間で推移している。冬期においては、各室とも外気温度よりも10℃以上高くなっていることがわかる。また普段はほとんど在室していない、和室，洋室Bにおいても同様で、外気温度が0～5℃でも室温が15～20℃に保たれており高断熱の効果が表れている。

(2) 外壁の断熱性

図6は西側外壁断面に関する年間温度変動結果、図7は西側壁断面構成と、夏期と冬期の代表的な日（8月1日，1月4日）の昼と夜の断面温度分布である。グラスウールの前後で、冬期において10℃以上、夏期においても日射の影響がある昼間は10～15℃の差があり高断熱設計の効果が表れている。

(3) 床の断熱性

図8は床断面に関する年間温度変動結果、図9は図7と同様に代表的な断面温度分布である。冬期においてスタイロフォーム（100mm）の前後で約5℃、スタイロフォーム（40mm）の前後で約3℃の差が生じている。床下空気温度が年間を通して変動が小さいため、壁に比べ断熱材の前後での温度差は小さいが、床暖房の熱損失を防ぐため断熱材を強化した効果が表れている。

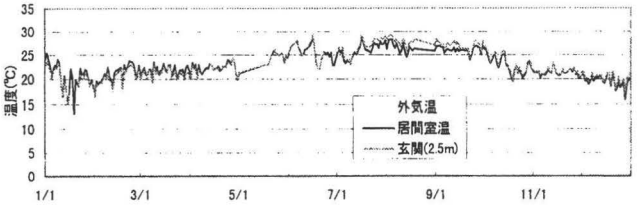


図3　居間，玄関の年間温度変動

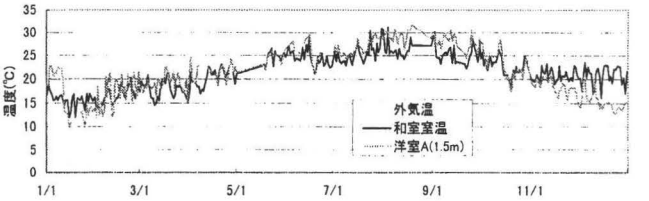


図4　和室，洋室Aの年間温度変動

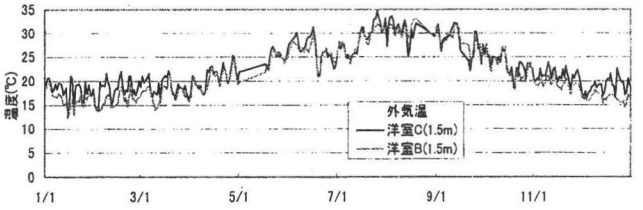


図5　洋室B，洋室Cの年間温度変動

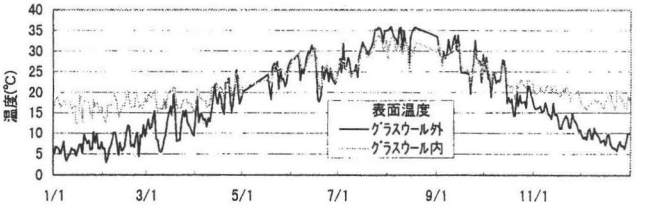


図6　西側外壁の年間温度変動

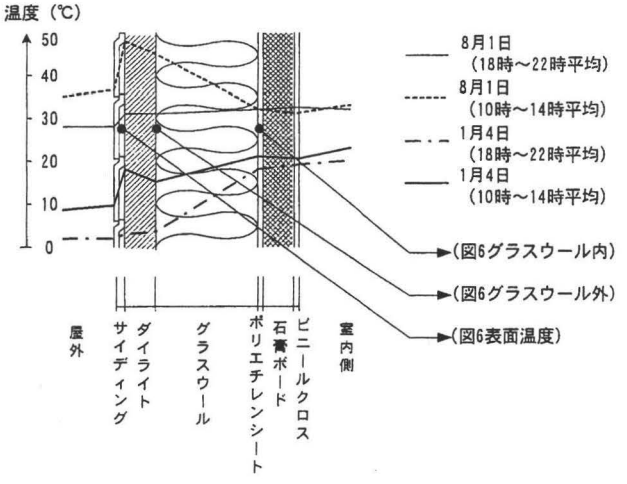


図7　西側外壁断面温度

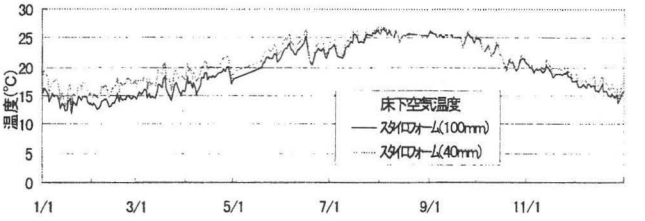


図8　床の年間温度変動

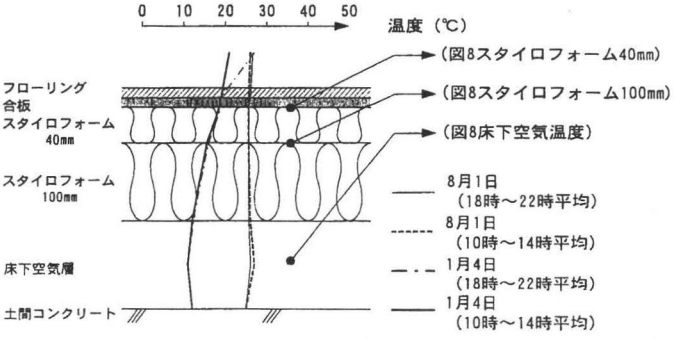


図9　床断面温度

5．天井輻射冷房実験

(1) 目的

実験住宅に設置した井戸水利用天井輻射冷房システムを用いてCOP, SET*で省エネルギー性，快適性の両面から検討し、より適切な運転パターンを示すことを目的とする。また輻射パネルは潜熱を除去できないため潜熱負荷の多い日はエアコンの除湿モードとの併用運転の検討を行う。

(2) 実験概要

1999年8月1日から10月14日までを冷房期間とした。その中で8月を夏期、9月以降を中間期とし、天井輻射冷房（以下パネルと呼ぶ）のみ，パネル+エアコン（冷房），パネル+エアコン（除湿）の3パターンに分けて実験を行った。

(3) 測定結果

①各機器の運転状況

・パネル

単位面積あたりの除去熱量は夏期のパネルのみパターンが最も多く46.7[W/m²]、最も低いのが中間期のパネル+エアコン（冷房）の28.7[W/m²]となった。顕熱負荷の大小によって中間期よりも夏季、またエアコン（冷房）を使用するかしないかによって、除去熱量が変化することがわかった。表1に各パターン，時期ごとのパネル除去熱量を示す。

表1　運転パターン・運転期間ごとのパネルの性能

	夏季 ﾊﾟﾈﾙ+ｴｱｺﾝ(冷房)	中間期 ﾊﾟﾈﾙ+ｴｱｺﾝ(冷房)	夏季 ﾊﾟﾈﾙ+ｴｱｺﾝ(除湿)	中間期 ﾊﾟﾈﾙ+ｴｱｺﾝ(除湿)	夏季 ﾊﾟﾈﾙのみ	中間期 ﾊﾟﾈﾙのみ
パネル全体(W)	727.5	704.0	880.9	759.7	1148.5	785.4
m^2当たり(W/m^2)	29.7	28.7	36.0	31.0	46.7	32.1
COP	1.60	1.55	1.93	1.67	2.50	1.67

パネルだけの除去熱量は夏期のパネルのみのパターンが1150[W]と最も多く、中間期のパネル+エアコン（冷房）パターンが最も少ない700[W]となった。図12は各運転パターン全体での除去熱量の時間平均であるが、夏期において、エアコン（冷房）と併用しないパネルのみ，パネル+エアコン（除湿）がパネル+エアコン（冷房）の50～60％の除去熱量にとどまっている。これは冷熱媒として井水を利用していることから、夏期において送水温度は17℃が下限であり、したがってこれがパネルの除去熱量の限界であると言える。

・エアコン（冷房）

エアコン電力使用量を図10に示す。インバーターによって自動制御されているため冷房負荷 外気温度によって消費電力は異なり、外気温度が高いと除去熱量が減ることがわかる。また運転開始直後は室内温度を急激に下げるため、消費電力が大きくなっている。

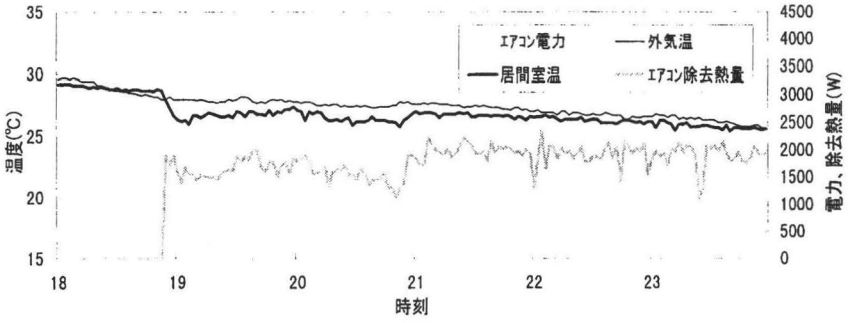


図10　エアコン電力使用量

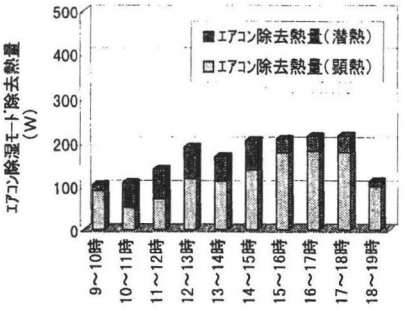


図11　除湿除去熱量

・エアコン（除湿）

図11はエアコン（除湿）運転時の除去熱量である。通常言われているエアコンの除湿モードとは潜熱のみを除去するのではなく、潜熱よりも顕熱を多く除去しており、運転の効果はエアコン（冷房）を微弱で運転しているのと同じであると言える。

②夏期，中間期の測定結果の比較

図13，14はエアコンとパネルの消費電力の時間平均、図15，16はそれぞれの除去熱量の時間平均である。図17に井水くみ上げ流量と水中ポンプ電力の相関を示す。消費電力に関して、エアコンはその日の外的要因や設定温度 運転パターンによる冷房負荷の大小によって差が生じるが、パネル消費電力は450～470[W]でほぼ一定である。これは井水くみ上げ流量が変化しても消費電力にほとんど変化が生じないという水中ポンプの特性によるものである。冷房期間における井水くみ上げ流量の範囲は3～7[l/min]であり、その範囲内では水中ポンプの消費電力はほとんど変わらないことがわかる。またパネル除去熱量の変化は少ないが、若干ばらつきが生じたのは、運転パターンや室内環境によって顕熱負荷が変化したためだと考えられる。

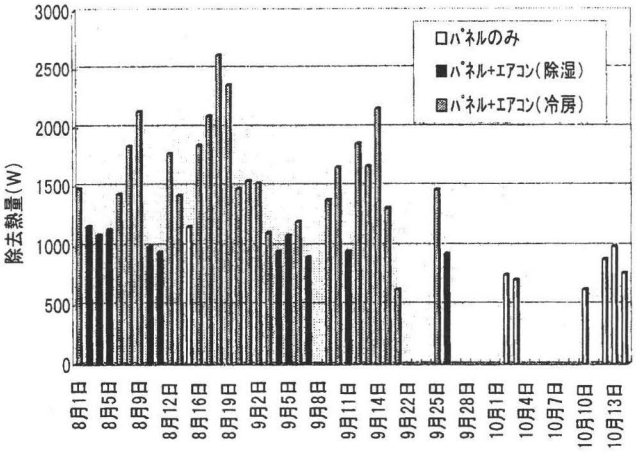


図12　除去熱量時間平均

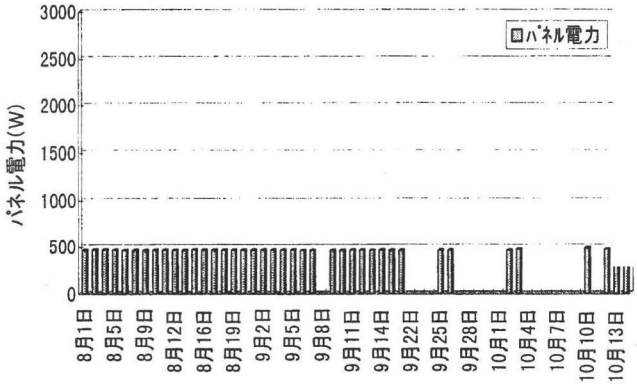


図14　パネル電力時間平均

③パネル+エアコン（冷房）とパネル+エアコン（除湿）の比較

気象条件のほぼ等しい8月1日と2日のデータを用いてパネル+エアコン（冷房）とパネル+エアコン（除湿）の比較を行う。それぞれのパターンの除去熱量，COPの時間平均を図18～21に示す。除去熱量の総計はパネル+エアコン（冷房）が大きな値を示している。しかしCOPはパネル+エアコン（除湿）の場合の方が良い。エアコン（冷房）を運転することで互いの熱量除去能力を相殺してしまい、パネル+エアコン（冷房）はパネルまたはエアコン（冷房）をそれぞれ単体で運転する場合に比べて除去熱量が小さくなりその結果COPが下がったと思われる。快適性についてはパネル+エアコン（冷房）パターンはSET*が快適範囲内に入っているのに対し、パネル+エアコン（除湿）パターンはSET*が30℃をこえており快適とは言えない。これはエアコン（冷房）の有無による居間室温の違いと、パネルを運転することで室内の相対湿度が上がってしまうことが原因として考えられる。

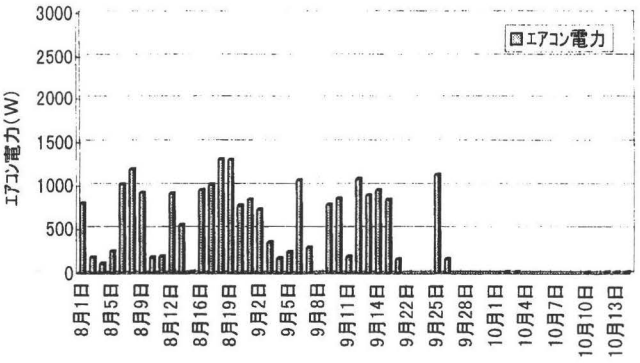


図13　エアコン電力時間平均

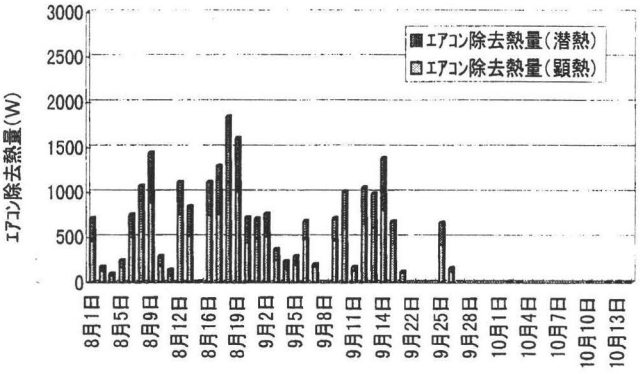


図15　エアコン顕熱，潜熱除去熱量時間平均

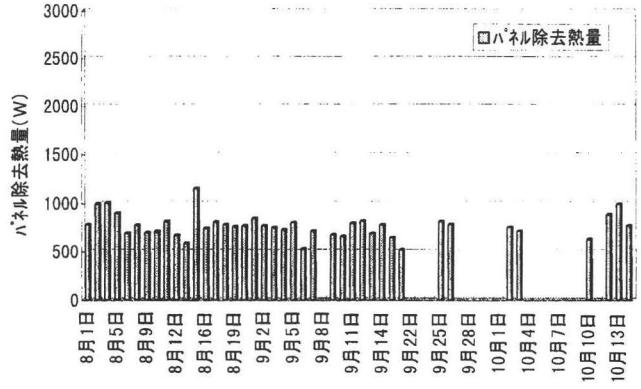


図16　パネル除去熱量時間平均

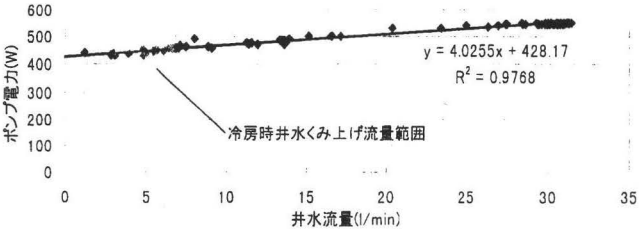


図17　井水くみ上げ流量，水中ポンプ電力相関

図19　8/1COP

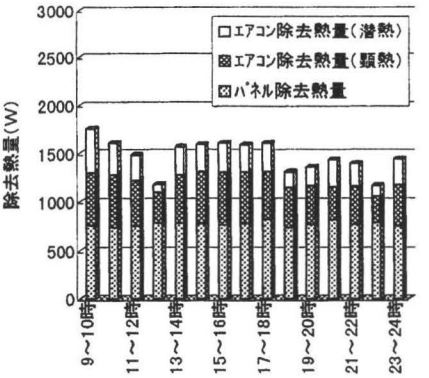


図18　8/1除去熱量

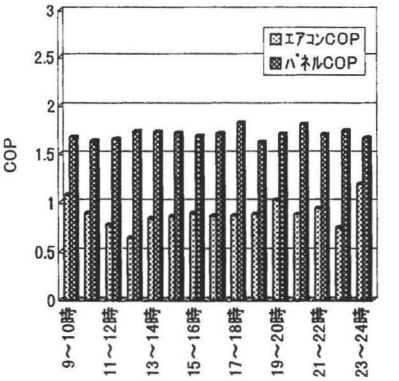


図19　8/1COP

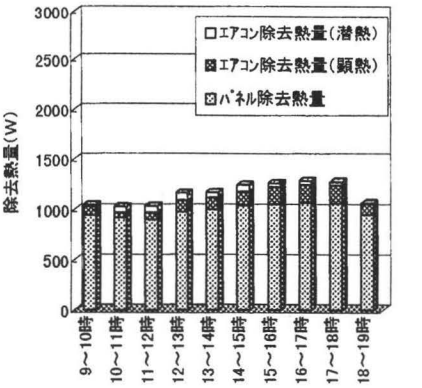


図20　8/2除去熱量

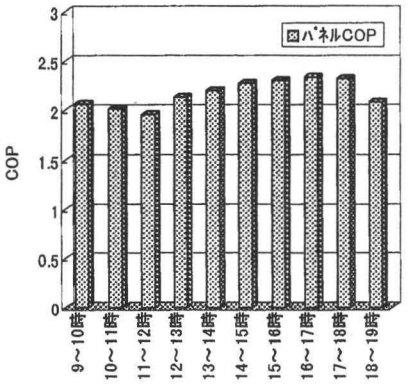


図21　8/2COP

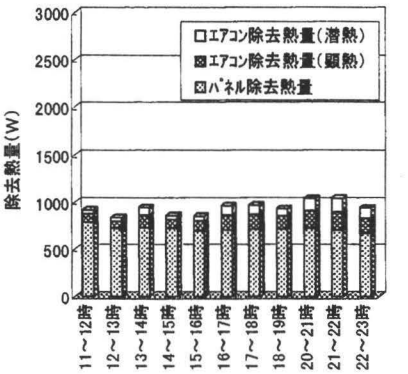


図22　9/4除去熱量

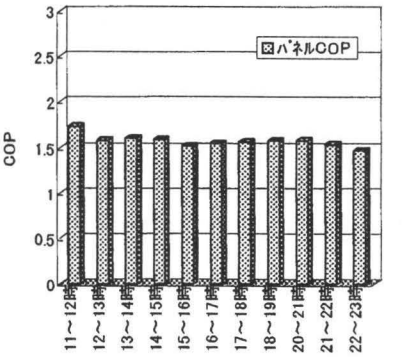


図23　9/4COP

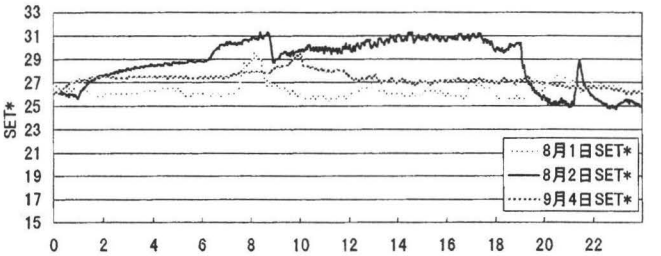


図124　SET＊　(8/1, 8/2, 9/4)

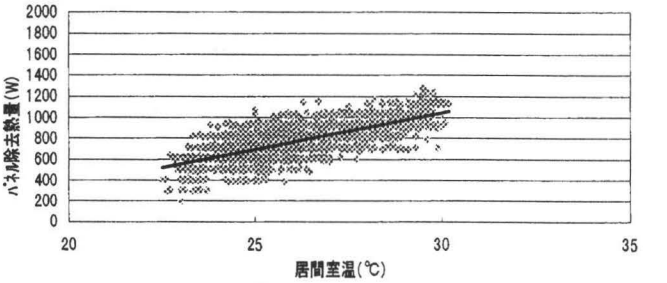


図25　除去熱量と室温の相関

④パネル＋エアコン（除湿）パターンにおける夏季と中間期の比較

夏季は真夏日の8月2日を中間期は最高気温29℃、最低気温23℃の9月4日のデータを比較する。除去熱量は室内温度の高い夏季のほうが大きく、それに伴いCOPも良い値となっている。SET＊はいずれも快適範囲には入っていないが、中間期は日中SET＊を一定に保っていることがわかる。また、夏季は外気温度が高く室温も上がってしまうことからパネル＋エアコン（除湿）パターンでは快適な環境を作り出すことは難しいと言える。

⑤パネル除去熱量

図25にパネル除去熱量と室温の相関を示す。パネルの傾向として、冷房負荷が大きくなると除去熱量も大きくなるが消費電力がほぼ一定なため、それによりCOPも良くなることがわかった。しかし今回の測定により冷房負荷の多い夏季は、エネルギー効率は良いが快適性に満足できなくなるという結果になった。中間期に関しては、図26, 27に示した夏季，中間期の消費電力とSET＊の相関から、パネルのみまたはパネル＋エアコン（除湿）パターンは中間期に少ない電力でパネル＋エアコン（冷房）に近い快適性を得られることがわかり期待の持てる結果となった。

また今回の測定においてはエアコン(除湿)が信頼できる性能でなかったため、潜熱負荷を除去できるように除湿機を設置し、パネル＋除湿パターンの測定を行う必要がある。

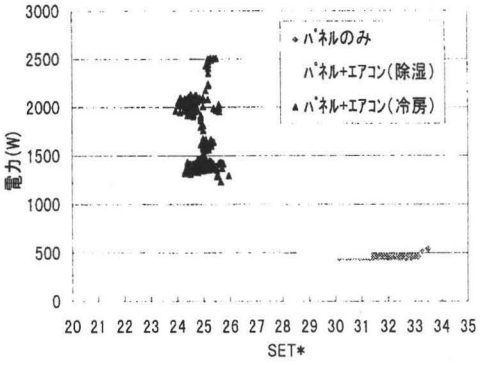


図26　夏季の電力, SET*相関

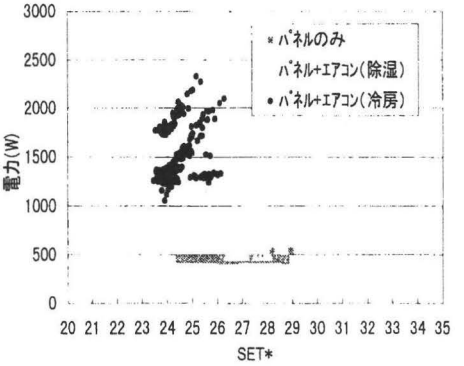


図27　中間期の電力, SET*相関

6．まとめ

本実験においてパネルの性能と快適性について把握することができた。冷房については夏季の場合、パネルだけでは冷房負荷の除去能力は低く、エアコン（冷房）のみと比較すると快適性にも不満が残る。しかし、中間期においてはエアコン（除湿）と併用することにより、少ない電力量でエアコン（冷房）とほぼ同等の快適性を得られることがわかった。今後は天井輻射暖房との併用による快適性の検討も行なっていきたい。

参考文献

1）世良伸彦，武田仁，瀬沼央：天井輻射空調システムの開発（その　1　実験によるパネル性能評価），日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp. 1447 ～ 1448, 1992. 8
2）瀬沼央，武田仁，世良伸彦：天井輻射空調システムの開発（その　2　パネル性能の理論解析），日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp. 1449 ～ 1450, 1992. 8
3）瀬沼央，武田仁，世良伸彦：天井輻射空調システムの開発（その　3　水熱媒冷房システムの構築と従来システムとの比較），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp. 1689 ～ 1690, 1993. 9
4）世良伸彦，武田仁，瀬沼央：天井輻射空調システムの開発（その　4　水熱媒冷房システムの構築と従来システムとの比較），日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），pp. 1691 ～ 1692, 1993. 9
5）武田仁，瀬沼央：天井輻射空調システムの開発，日本建築学会技術報告集　第1号，pp. 244 ～ 249, 1995. 12

1-17　高断熱高気密住宅へのビルトイン車庫設置による冷暖房負荷削減効果の地域的検討

金沢工業大学工学部

教　授　　垂水　弘夫

1．研究の背景と目的（報告書・第1章に対応）

冬季に雨、雪の多い日本海側の地域では、ビルトイン車庫は住宅の新築時に施主からの要望の強い設計項目の一つである。自動車の乗降時に濡れないためというのがビルトイン車庫設置の第一の理由であるが、倉庫を兼ねる点から敷地内にプレハブ型の簡易倉庫を置かずに済み、また、玄関先を車が占めることもなくなって街並みの景観向上にも資するものである。本研究ではこのようなビルトイン車庫を熱環境工学的な見地から見直し、住宅本体の冷暖房負荷の削減効果を明らかにすることを目的としている。特に、熱損失係数が１程度の高断熱高気密住宅では、冷暖房負荷が従来の新省エネルギー基準住宅や旧省エネルギー基準住宅に比較して大幅に小さくなっていることから、ビルトイン車庫の設置方位や住宅の平面計画によっては、住宅の冷暖房負荷に少なくないレベルの影響を及ぼすものと予想される。

地域的に考察すると、日本海側では冬季の日射が少ないため、ビルトイン車庫を設置して住宅本体の日射受熱が減少してもその影響は小さく、夏季の日射遮蔽による冷房負荷削減効果の方が上回るものと期待される。一方、太平洋側の地域では冬季も晴れる日が多いため、ビルトイン車庫の設置に伴なう冷房負荷削減量と暖房負荷増大量との収支を見極める必要がある。

そこで本研究では、北海道から九州に至る日本海側と太平洋側の25都市を対象に、ビルトイン車庫を設置した住宅とそうでない住宅における冷暖房負荷を断熱性能ランクに従って求め、省エネルギーの観点からビルトイン車庫の設置が奨められる地域を明らかにすることを目的とする。

断熱性能ランク別の算定結果によって、これからの高断熱高気密住宅におけるビルトイン車庫の設置自体や、設置方位の選定が有する問題の重要性が明確になるものと期待される。

2．解析対象とする住宅の概要（報告書・第2章に対応）

(1) 住宅平面

解析対象とする住宅平面としては、日本建築学会の標準住宅問題に示されているプランを基本的に使用し、次に示す4つの平面バリエーションを設定した。

①住宅の東側にビルトイン車庫を設置する平面プラン
②住宅の西側にビルトイン車庫を設置する平面プラン
③住宅の北側にビルトイン車庫を設置する平面プラン
④ビルトイン車庫を設置しない平面プラン（標準住宅問題）

(2) 断熱性能

断熱性能は次の3ランクを設定した。

①高断熱高気密住宅
②新省エネルギー基準適合住宅
③旧省エネルギー基準適合住宅

②及び③の住宅に関する熱損失係数は、法令に基づく地域ごとの設定とし、①の高断熱高気密住宅については全国一律に約1.0kcal/m²h℃とした。

(3) 算定方法と地域

算定には（財）住宅・建築省エネルギー機構発行の住宅熱負荷算定プログラムSMASHを用いた。算定対象とした25都市は、同機構より標準気象データが提供されている次の都市である。

1) Ⅰ地域　　：①旭川、②根室、③札幌、④室蘭
2) Ⅱ地域　　：①秋田、②盛岡
3) Ⅲ地域　　：①仙台、②福島、③松本
4) Ⅳ地域　　：①宇都宮、②前橋、③東京、④新潟、⑤富山、⑥静岡、⑦名古屋、⑧大阪、⑨広島、⑩米子、⑪高松、⑫熊本
5) Ⅴ地域　　：①高知、②福岡、③鹿児島
6) Ⅵ地域　　：①那覇

3．ビルトイン車庫の設置による冷暖房負荷の算定結果

（報告書・第3章に対応）

25都市、3つの断熱性能ランク、車庫の設置方位ごとに、暖房負荷、冷房負荷、合計としての冷暖房負荷を求め、図に示した。車庫のほか、庇の出による省エネルギー効果についても検討するため、次の8条件を一揃いとして図示している。①車庫・庇無し、②車庫有り、③庇30cm、④庇60cm、⑤庇90cm、⑥車庫＋庇30cm、⑦車庫＋庇60cm、⑧車庫＋庇90cm。

結果として、東側や北側よりも西側に車庫を設置した場合に僅かながら冷暖房負荷が小さくなり、南に位置する地域ほど庇の出による冷暖房負荷の減少が顕著である傾向が認められた。

4．ビルトイン車庫の設置による冷暖房負荷削減効果の検討

（報告書・第4章に対応）

冷暖房負荷削減効果は、「車庫・庇無し」住宅に対する数値として求めた。Ⅰ地域内には車庫の設置のみで庇を出さない方が削減率が高い都市もみられたが、全国的には庇の出と併用した場合により高い削減効果が得られた。また、「車庫＋庇の出」を60cmにした場合に最も削減率が大きくなる都市がⅡ地域からⅣ地域にかけて見られ、「車庫＋庇の出」を90cmにした場合に削減効果が高くなる都市がⅣ地域～Ⅵ地域に多く分布した。
この傾向は、「新省エネルギー基準適合住宅」から「次世代省エネルギー基準適合住宅」、「高断熱高気密住宅」へと断熱ランクが上がるほど、顕著となる。また、ビルトイン車庫の設置による省エネルギー効果は、全体として5%前後であることを確認した。

5．ビルトイン車庫の設置による冷暖房負荷削減効果の地域差の評価

（報告書・第5章に対応）

各都市の断熱性能ランクごとに、最も冷暖房負荷が小さくなる庇の出を選択し、その場合の年間冷暖房負荷と、ビルトイン車庫（西側）の設置による冷暖房負荷削減量を1枚のグラフ上に整理した。

ビルトイン車庫の設置による省エネルギー効果は、冷暖房の間欠個別運転を行なう「新省

エネルギー基準適合住宅」においてよりも、全室連続運転を行なう「次世代省エネルギー基準適合住宅」及び「高断熱高気密住宅」において高いことが示された。「高断熱高気密住宅」では、年間冷暖房負荷削減率が最も高いのは根室の7%程度、逆に最も削減率が低いのは那覇の2%程度となった。

日本海側の都市（秋田、新潟、富山、米子）を抽出してみたところ、太平洋岸の都市と比較して冷暖房負荷削減量は大きいが、年間冷暖房負荷自体が元々大きいために、年間冷暖房負荷削減率でみると大差は無いという点も明らかとなった。富山と東京の年間冷暖房負荷削減率はほぼ同様の4%前後となっている。

ビルトイン車庫の設置効果の高い都市として、前掲の根室のほか、盛岡、松本、室蘭、仙台、福島、札幌など、Ⅰ地域からⅡ、Ⅲ地域にかけての都市が抽出された。ただし、これに次ぐ都市が広島、鹿児島などとなっており、冷房負荷の大きいⅣおよびⅤ地域でも住宅の個別条件に従ってビルトイン車庫の有効性を評価する必要があろう。

1-18　老朽マンションの安全性（防災・耐震・耐久）の実態把握と解決策についての調査研究

日本大学経済学部

教　授　　田中　啓一

第１部　老朽マンションの実態と、建て替え促進による安全性の確保

１．老朽マンションの現状

わが国で分譲マンションが本格的に供給されるようになったのは、東京オリンピック（1969年）が開催された頃である。現在では都市住宅といえば、事実上マンションを指すようになり、ストックも約330 万戸を超えている。

初期に供給されたマンションは、現行の耐震基準に適合しないことに加え、専有面積が狭いものや、設備が陳腐化したものも多い。今後５年以内に住宅の１人当たりの平均面積を40㎡弱を達成することを目標とする、居住者や地域社会の安全性を確保すると共に、生活空間倍増計画を実現するためには、こうしたマンションの建替えを促進することが基本的な解決策である。

築後25年程度経過したマンションの現状を知るため、分譲マンションの供給が早くから進んだ江東区の12棟、約９７８戸を対象に、登記簿の記載内容と居住者の意向を調査した。

※登記簿調査の対象マンションは５棟５９１戸（内２５６を抽出調査）

登記簿調査で明らかになったことは、1)区分所有者の３分の１程度は当初から居住してる者で、高齢化が進んでいる。2)賃貸化も進み、３分の１程度の区分所有者がマンション外に居住している。3)中古市場で購入した区分所有者の多くは、住宅ローン等の債務を抱え、現在の評価額を大幅に上回る債務があるケースも少なくない等である。なかには、一部の区分所有者が抱える債務額が、そのマンション全戸の評価上回ると推定される場合もある。

居住者の意向調査では多くの所有者が既に建替え時期が到来しているか、近づいていると考えている。実際に建替えが可能かどうかについては、所有者の意見が一致しない、資金がかかりすぎる、高齢者には建て替えが辛いといった理由で、その実現を危惧し、将来への不安を感じていることが明らかになった。

こうした状態を放置しておけば、築年数の経過したマンションのスラム化が進行し、当該マンションの住者はもとより、地域社会の安全性にも大きな影響を与えることになる。

２．困難なマンションの建て替え

区分所有法ではマンションの建替えについて、老朽等により建物がその効用を維持し、又は回復するのに過分の費用を要するに至ったとき、建物の敷地に主たる使用目的を同一とする建物を建設するための建替え決議を、５分の４以上の賛成で行うことができるとしている。この老朽化や費用の過分性については議論のあることろだが、先頃、大阪地裁は築後30年のマンションについて、建替えが必要と判断した５分の４を超える区分所有者が行った建替え決議を有効とする判決をした。

一般に住宅の所有者が建替えを決意するのは、建物が著しく老朽化した場合とは限らない。建物はそれほど老朽化していなくても、狭い、使いにくい、地震の心配といった動機や、高齢になるほど肉体的・精神的に建替えに耐えられなくなることを考慮して、早期に建替えに踏み切ることも多いはずである。今回の判決は、多数の区分所有者がこうした理

由で建替えを望む場合の、建替えに途を開くもので妥当なものといえるだろう。 しかし、今回の判決の対象となったマンションを含め、これまで建替えについての合意形成が行われたのは、大部分が容積率に余剰があるため、保留床の売却で事業費をまかなう等価交換方式による事業が可能なケースである。この場合は、区分所有者が建替え費用を負担せずに建替えができるため、合意形成が比較的容易である。しかし、それでもでも建替えのニーズが生じてから、実際に建替えが行われるまで10年程度かかることが珍しくなく、なかには15年間を要したケースもある。

３．マンション建て替えと合意形成

民間デベロッパーが供給したマンションの場合は、旧住宅公団の分譲団地等は異なり、容積率に余裕がないことが多い。容積率の緩和が認められなければ、等価交換事業は成立しないことになり、区分所有者が建替えのための資金を負担することになる。また、建設後の建築規制の強化により、建物の容積率が指定容積率を下回る既存不適格のマンションもあるが、この場合には建替をしても従前よりも住戸面積が狭くなることになる。

先に見たように区分所有者間の諸条件の違い、特に経済的格差が大きいと考えられるため、建替え費用を自ら負担しなければならない場合、合意形成が困難になることは容易に予想される。加えて、築後年数が経過するに従い賃借人が増える傾向にある。建替え決議をした場合も、その効力は賃借人には及ばず、立ち退きを求めるための正当事由にはならいため、多額の立ち退き料等の負担も区分所有者にかかることになり、これも合意形成を妨げる要因となる。

老朽化したマンションで、建替えの合意形成ができなければ、建替えによる住生活の向上を望む区分所有者は住戸を売却し、経済力の乏しい者だけが取り残されスラム化が進むことになり、国や地方自治体の財政上の新たな重荷となる可能性が大きい。

分譲マンションは、持家としては一戸建ての住宅と同じ私的な財だが、区分所有の目的となる専有部分は、建物の構造体や主要設備等の共用部分の存在を前提にし、住戸内のリフォームを行う場合に他の管理組合の承認が必要になる等、使用についても共同の利益に服することが求められている。私的な財を超えた、共同体の財としての面も備えていることになる。また、マンションは公共財である土地を高度有効利用したもので、区分所有者は合理的な都市居住の実現という、社会的な要請に寄与してきた面もある。分譲マンションの建替えが事実上不可能になるとすれば、区分所有者は、一戸建て住宅の所有者に比べて不利な状態に置かれることになり、土地・住宅政策上も憂慮すべきことである。

４．望まれる建て替え支援制度の充実

分譲マンションの建替えについて、将来の重要課題になるという漠然とした認識はあっても、当事者である区分所有者や管理組合をはじめ、分譲会社、管理会社等の事業者や行政も、当面の課題として取り組むことを避けてきたきらいがある。これは現行制度のもとでは、建替えが極めて困難であるため、この問題に触れることが、購入者に過度の不安を与えたり、マンション市場への悪影響を恐れたからであろう。しかし、今後、多くのマンションで建替えの必要性が生ずることは避けられず、建替えが円滑に行われなければ、分譲マンションに対する信頼性が失われることになる。

日本経済の再生と、都市の安全性を高めるためには、土地の高度有効利用を進め、都心居住を推進することが必要である。市街地再開発事業等によって建設される建物も、分譲マンションと同様に区分所有法が適用されるため、建替えが困難であるということになれば、これらの事業にも影響を及ぼすことになる。

分譲マンションについての法制度は不備であり、「マンション法」と通称される区分所有法も、区分所有建物の維持管理についての原則を定めたもので、建替えについての規定は3カ条に過ぎず、建替えの準備や、建替えを実施する再建組合等についての規定を欠いている。また、賃貸借について定期借家権を導入することや、建設後の建築規制により既存不適格となったマンションについての救済策を明確にすることも必要である。

昨年5月、東京都の住宅政策審議会が分譲マンションの円滑な建替えの必要性にいつて答申し、「建替え事業法」の制定等を国に要望した。分譲マンションの公共的性格に着目し、区分所有者が必要に応じて円滑に建て替えを行うことができるように、公的資金の助成や税制による支援を含めた制度の整備を急ぐ必要がある。

第２部　築後年数が経過した分譲マンション登記簿調査結果

Ⅰ．調査の概要	
(1)調査目的	築後年数が30年程度経過した分譲マンションの所有者の構成、債務状況等を調査することにより、マンション建替えに係る問題点を把握し、建替促進方策検討の資料とする。
(2)対象ﾏﾝｼｮﾝ	江東区に所在する築後２５年程度経過の民間分譲マンション　５物件（総戸数５９１戸）の中から、無作為に２５６戸を抽出した。
(3)調査方法	①法務局、区役所等の既存資料から、上記(2)に該当するマンションの一覧表を作成した。 ②①の中から地域及び規模を考慮し、５物件を対象物件として抽出した。 ③登記簿を閲覧（必要に応じて登記簿謄本を取得）することにより、各戸について所有者の属性住所地、取得時期、取得原因、所有権の移転回数、債務等を調査した。

1．調査対象マンションの専有面積

(1)平均専有面積は約47㎡である。

(2)マンションの敷地は、大部分が移転した工場の跡地であり、25年前の居住環境は決して良好とはいいがたい。分譲会社が対象とした顧客層も、中堅以下の勤労者を想定したと考えられ、取得能力を考慮して専有面積も比較的狭くなっている。

		総戸数	専有面積（㎡）
合　計	5団地	591	46.98

2．所有者の構成

(1)大多数の住戸は個人所有であり、法人所有は約8％にすぎない。

(2)個人所有者について見ると、男性の単独所有が60％近くを占めている。

	個人男性	個人女性	個人共有	法人	外国人	その他
合　計	137 53.52	63 24.61	34 13.28	21 8.20	1 0.39	0 00.00

	個人所有計	個人男性	個人女性	個人共有
合　計	個人所有計	個人男性	個人女性	個人共有

3．取得時期

(1)取得時期については、昭和40年代までに取得している者が40％近くを占め、50年代に取得した者と60年代以降に取得した者が各々30％程度をである。

(2)登記簿からは所有者の年齢は分からないが、取得後30年程度経過した者が40％近くを占めていることは、マンション所有者・居住者の高齢化が進んでいることを示すものである。

	～40年	50年台	60年～
合　計	９５ 37.11	８０ 31.25	８１ 31.64

４．所有者の住所地

(1)所有者の住所地については、55％がマンション内が住所地である。マンション外に住所地がある所有者のうち、東京都外の者は江東区で10％である。

(2)分譲マンションの賃貸化が指摘されているが、江東区では所有者の自己居住が多いと思われるが、35％がマンション外に住所地がある。築後年数が経過したマンションの賃貸化が進行し、建替え等の障害となる可能性が大きい。

	ﾏﾝｼｮﾝ内	区　内	東京都内	都　外
合　計	１４０ 54.69	４０ 15.63	５１ 19.92	２５ 9.77

５．取得原因

大部分が売買で取得している。

	売　買	贈　与	相　続	その他
合　計	２２６ 88.28	１１ 4.30	１７ 6.64	２ 0.78

6．所有権の移転回数

(1)所有権の移転回数がゼロ、つまり当初の取得者のままの住戸は、40％である。

(2)所有権が移転したことのある住戸について見ると、80％近くが移転回数２回以内である。

	移転なし	所有権移転あり
合　計	１０２ 39.84	１５４ 60.16

（6-2　所有権移転のあったマンションの移転回数）

	1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	9回	10回以上
合　計	８９ 57.79	３４ 22.08	１８ 11.69	１０ 6.49	１ 0.65	２ 1.30	０ 0.00	０ 0.00	０ 0.00

7．乙区の記載の有無

抵当権等が付いていることを示す登記簿の乙区の記載の有無についてみると、乙区に現に有効な事項の記載がある住戸は約37％であり、63～64％の住戸は債務がないことを示している。

	有	無
合　計	９４ 36.72	１６２ 63.38

8．乙区に記載がある住戸の権利者数

抵当権者等が１人の住戸が80％で、複数の債権者が付いている住戸は少ない。

	1	2	3	4	5
合　計	７５ 79.79	１２ 12.77	4 4.26	3 3.19	0 00.00

9．債務額の試算

(1)登記簿の乙区に記載された債務額は、平均２３２１万円であるの。なお、「債権額＋極度額」には共同担保や既に一部返済されているものも含む。

(2)マンションの推定時価総額と債務額を比較すると、債務総額は時価総額の46％程度となる。

	債権額＋極度額（百万円）		マンション時価総額	a／b 時価総額÷総債務額
	a　計	平均額	b　（万円）	
合　計	218、186	2、321	473、786	０．４６

※推定時価総額の算出方法：平均専有面積×総戸数×㎡単価　(39.4 万円：坪130 万円)

第３部　築後年数の経過した分譲マンションの居住者に対する意向調査

Ⅰ．調査の概要	
(1)調査目的	築後年数が25年程度経過した分譲マンションの居住者を対象に、建物等の現状、維持管理、建替え等についての意向を把握し、建替促進方策検討の資料とする。
(2)対象ﾏﾝｼｮﾝ	江東区内に所在する築後２５年程度経過した民間分譲マンション １２棟（総戸数９７８戸）
(3)居住者構成	別途実施した、登記簿調査結果による区分所有者の自己居住率と賃貸率の推計結果 自己居住　約５５％　　賃借等　約４５％
(4)調査方法	管理組合の了承を得て、アンケート用紙を対象マンションの住戸のポストに投函、郵送による回答を求めた。（無記名）
(5)回収結果	配布数…　９７８　　解答数１１７　　回答率１１．９６％

1．調査対象マンションの総住戸数・居住者構成と回答数

1)所有者の登記簿上の住所地についてみると、マンションに住所地がある者が55％である。区では32％にすぎず、３分の２の所有者の住所地はマンション外にある。

対象マンション数（物件数）	１２	
対象マンションの総戸数	９７８	
平均戸数	８１．５	
所有者の住所地がマンション	５３８	55.01
所有者の住所地がマンションの外	４４０	44.99

2．回答率

(1)意向調査に回答した居住者は117 人で、対象マンションの総戸数の12.0％である。

(2)居住者の属性別では、所有者の回答率が高く16％である。

（属性別回答率は、所有者の住所地を母数として、回答数を除したものである）

所有者等の回答者	８８	16.36
賃借人等の回答者	２９	6.59
合計	１１７	11.96

3．所有関係

回答者本人又は親族が所有している者が大半を占め75％である。

自分・親族等が所有	８８	75.21
借りている	２９	24.79

4．回答者の性別

(1)登記簿調査によると男性の所有者が過半を占めているが、所有者の回答者の56％は女性である。

(2)賃借人等の回答者についても同様の傾向が見られる。

1 所有者	①男	38	43.18
	②女	50	56.82
	③不明	0	00.00

2 賃借人	①男	13	44.83
	②女	16	55.17
	③不明	0	00.00

5．回答者の年齢

(1)高齢の所有者からの回答が多い。60歳以上が40％強に達している。高齢者は調査票に記入する時間的余裕があることも考慮しなければならないが、築後年数の経過したマンションで所有者の高齢化が進んでいることをうかがわせる。

(2)賃借人等の回答者は、ほとんどが50歳台以下である。

1 所有者	①20歳台以下	6	6.82
	②30歳台	10	11.36
	③40歳台	17	19.32
	④50歳台	18	20.45
	⑤60歳台	27	30.68
	⑥70歳台	9	10.23
	⑦80歳台以上	0	00.00
	⑧不明	1	1.14

2 賃借人	①20歳台以下	4	13.79
	②30歳台	7	24.14
	③40歳台	5	17.24
	④50歳台	9	31.03
	⑤60歳台	2	6.90
	⑥70歳台	2	6.90
	⑦80歳台以上	0	00.00
	⑧不明	0	00.00

6．住戸の用途

(1)所有者の大半は住居として使用し、95％が居住用である。

(2)賃借人の場合は、事務所やその他の用途は７％である。

1 所有者	①住まい	８４	95.45
	②事務所など	2	2.27
	③その他	2	2.27

2 賃借人	①住まい	２７	93.10
	②事務所など	1	3.45
	③その他	1	3.45

7．所有（利用）期間

(1)所有者では所有期間が20年以上という回答者が過半を占めている。10年以上の所有者を加えると両区とも80％以上となる。長期所有者の管理問題に対する関心の高さをうかがわせる。

(2)賃借人の場合は、居住等が５年未満が60％近くを占めている。

1 所有者	①20年以上	４８	54.55
	②10年以上～20年未満	２４	27.27
	③5年以上～10年未満	3	3.41
	④5年未満	１１	12.50
	⑤不明	2	2.27

2 賃借人	①20年以上	1	3.45
	②10年以上～20年未満	4	13.79
	③5年以上～10年未満	6	20.69
	④5年未満	１７	58.62
	⑤不明	1	3.45

8．傷みが目立つ箇所（複数回答）

(1)所有者では水道管や排水管が傷んでいるとうい者が50％を超え、建物全体という回答も50％近い。日頃から目につく外壁だけでなく防水の傷みも30％に達している。

(2)賃借人の場合は、建物全体の傷みを指摘する者が多く、水道管や排水管がこれに続く。賃借人の目で見ても、全体として港区のマンションで老朽化が進んでいるようである。

1 所有者	①外壁	２７	30.68
	②水道管や排水管	４７	53.41
	③エレベーター	１３	14.77
	④電気設備	6	6.82
	⑤防火	２５	28.41
	⑥建物全体	４３	48.86
	⑦その他	5	5.68
	⑧不明	3	3.41

2 賃借人	①外壁	1	3.45
	②水道管や排水管	１４	48.28
	③エレベーター	5	17.24
	④電気設備	4	13.79
	⑤防火	8	27.59
	⑥建物全体	１４	48.28
	⑦その他	4	13.79
	⑧不明	2	6.90

9．地震発生時の被害予想

(1)「建て替えを要するような大被害を受ける」が45％近く、「それほど大きな被害を受けない」が24％である。江東区は地盤に不安があるうえに、いわば「大衆マンション」であるため、構造等に不安をもつ所有者が多いと考えられる。

(2)賃借人の場合は、所有者に比べて「大被害」を受けるが多く「それほど大きな被害を受けない」は３％にすぎない。

1 所有者	①建替えを要する大被害を受ける	39	44.32
	②それほど大きな被害を受けない	21	23.86
	③分からない	26	29.55
	④その他	2	2.27

2 賃借人	①建替えを要する大被害を受ける	14	48.28
	②それほど大きな被害を受けない	1	3.45
	③分からない	12	41・38
	④その他	2	6.90

10．気になる箇所（複数回答）

(1)所有者・賃借人とも「居住スペースの狭さ」が第１位であり、平均専有面積47㎡という現実を反映している。第２位は「建物の維持管理が不安」（所有者45％、賃借人31％）である。

(2)「居住者との交流が希薄」は所有者・賃借人とも15％以上あるが、「居住の高齢者の健康」は３％程度である。

1 所有者	①建物の維持管理が不安	40	45.45
	②居住のスペースが狭い	45	51.14
	③居住の高齢者の健康	3	3.41
	④近隣の騒音がある	21	23.86
	⑤居住者との交流が希薄	14	15.91
	⑥日常の買物が不便	4	4.55
	⑦防犯対策が不十分	13	14.77
	⑧公共交通機関の利用が不便	4	4.55
	⑨周辺の自然環境が不足	9	10.23
	⑩その他	9	10.23

2 賃借人	①建物の維持管理が不安	9	31.03
	②居住のスペースが狭い	10	34.48
	③居住の高齢者の健康	1	3.45
	④近隣の騒音がある	4	13.79
	⑤居住者との交流が希薄	5	17.24
	⑥日常の買物が不便	4	13.79
	⑦防犯対策が不十分	4	13.79
	⑧公共交通機関の利用が不便	0	00.00
	⑨周辺の自然環境が不足	2	6.90
	⑩その他	11	37.93

11．管理状態に対する評価

「良い」が30％程度、「普通」が50％前後である。「悪い」は概して少ないが、賃借人では17％ある。

1 所有者	①良い	30	34.90
	②悪い	5	5.68
	③普通	48	54.55
	④分からない	4	4.55
	⑤その他	1	1.14

2 賃借人	①良い	9	31.03
	②悪い	5	17.24
	③普通	14	48.28
	④分からない	1	3.45
	⑤その他	0	00.00

12．管理組合の会合への参加（所有者の回答のみ掲載）

「大体出席」が26％であるのに対して、「出席したことがない」は28％である。

1 所有者	①大体出席している	23	26.14
	②たまに出席する	37	42.05
	③出席したことがない	25	28.41
	④管理組合がない	1	1.14
	⑤その他	2	2.27

13．建て替えが必要になる時期

(1)所有者の場合、建て替え時期「20年程度」と「20年以上先」あわせると60％を超える。「すでに建て替え時期」は６％である。

(2)「補強工事をすれば大丈夫」は９％にすぎない。

(3)賃借人の場合は、「すでに建て替え時期」が20％、「10年程度」が31％であり、所有者に比べて早期に建て替えが必要との見方が多い。

1 所有者	①すでに建て替え時期	5	5.68
	②補強工事をすれば大丈夫	8	9.09
	③10年程度で建て替え時期	9	10.23
	④20年程度で建て替え時期	34	38.64
	⑤建て替えは20年以上先	9	10.23
	⑥分からない	21	23.86
	⑦その他	2	2.27

2 賃借人	①すでに建て替え時期	6	20.69
	②補強工事をすれば大丈夫	3	10.34
	③10年程度で建て替え時期	9	31.03
	④20年程度で建て替え時期	2	6.90
	⑤建て替えは20年以上先	3	10.34
	⑥分からない	5	17.24
	⑦その他	1	3.45

14．建て替え時の難問（複数回答）

(1)難問のベストスリーは①「所有者の意見が一致しない」、②「資金がかかりすぎる」、③「高齢者には辛い」である。「仮住まいの場所がない」も20％近い。「都市計画の制限」は15％である。

(2)賃借人の回答は所有者と異なる面がある。難問の上位２位までは所有者と同じだが、「高齢者には辛い」は少ない。賃借人は年齢層が若く、建て替えの当事者でないことなどが回答内容に、そのまま反映していると思われる。また、「仮住まいの場所がない」が35％ある。

1 所有者	①所有者の意見が一致しない	６４	72.73
	②好ましくない居住者が増える	4	4.55
	③資金がかかりすぎる	４１	46.59
	④都市計画の制限	１３	14.77
	⑤近所の人が反対する	1	1.14
	⑥高齢者には建て替えが辛い	３４	38.64
	⑦仮住まいの場所がない	１５	17.05
	⑧その他	2	2.27

2 賃借人	①所有者の意見が一致しない	１５	51.72
	②好ましくない居住者が増える	0	00.00
	③資金がかかりすぎる	１７	58.62
	④都市計画の制限	4	13.79
	⑤近所の人が反対する	3	10.34
	⑥高齢者には建て替えが辛い	3	10.34
	⑦仮住まいの場所がない	１０	34.48
	⑧その他	2	6.90

15．都市計画・建築等の規制について

(1)「現在程度の制限」が36％、「規制緩和」が26％である。

(2)賃借人の回答では、回答が分散しているが、「現在程度」と「もっと厳しく」を合わせると、50％を超える。所有者ではなく、建て替えに直接係わらないことが反映していると思われる。

1 所有者	①もっと自由に規制緩和	23	26.14
	②現在程度で良い	32	36.36
	③もっと厳しい制限が必要	8	9.09
	④分からない	22	25.00
	⑤その他	3	3.41

2 賃借人	①もっと自由に規制緩和	8	27.59
	②現在程度で良い	7	24.14
	③もっと厳しい制限が必要	5	17.24
	④分からない	6	20.69
	⑤その他	3	10.34

16．将来も所有（又は利用）を継続するか

(1)所有者の３分の２以上が、「将来も所有・居住を継続する」と回答し、「そのうち手放す・引っ越しする」は20％強にすぎない。

(2)賃借人では「そのうち引っ越す」が50％を超えている。

1 所有者	①将来も所有・居住	57	64.77
	②そのうち手放す・引越	20	22.73
	③分からない	11	12.50

2 賃借人	①将来も所有・居住	4	13.79
	②そのうち手放す・引越	16	55.17
	③分からない	9	31.03

17．建て替え・マンション生活などの公的相談について

(1)所有者では公的相談を「利用したい」が51％、「分からない」が42％である。

(2)賃借人の回答は「利用したい」と「分からない」が共に40％台である。

1 所有者	①利用したい	45	51.14
	②利用したくない	6	6.82
	③分からない	37	42.05

2 賃借人	①利用したい	14	48.28
	②利用したくない	3	10.34
	③分からない	12	41.38

18．自由意見への記載

60％近い回答者が、何らかに意見を記入している。賃借人も58％が記入している。

（記載内容は別紙参照）

1 所有	①あり	50	56.82
	②なし	38	43.18

2 賃借	①あり	17	58.62
	②ない	12	41.38

19．自由回答の内容　（年齢．性別）

1．マンションの安全性について

（設備・構造）

①地盤沈下、周辺の空洞地下が心配。都営12号線工事での疲労影響＆ゆがみ（42．女）

②建物が古いせいか、たまたま上の階の人きせいか、どちらか分からないが足音が響く。（44．女）

③上下（特に上階）の音が気になる（62．女）

④音がひびきやすい（17）

⑤水回りの設備が古い（洗面、風呂、トイレ、台所）狭い。内装が古くたてつけが悪くなってきている。床のきしみ音など。ベランダが狭い（41．男）

⑥地震の時、すごくゆれる不安（32．女）

⑦構造自体の古さ（避難路等）（14）

⑧建物の老朽化で災害時が心配（61．女）

⑨安全では決してない。自分で可能な限りのことしている…運のみ（65．女）

⑩火災、地震に対する不安。消防車がスムーズに入・出不可能。（65．女）

⑪１階部分が車庫になっているので、連結壁がないので被害は大きいと思う。（71．男）

⑫今までは、いろいろ早めに修理していますが、今後が段々恐ろしい感じです。（58．女）

⑬賃貸ですが、１度もリフォームして形跡がないため設備品が古い。コンセント等のネジがゆるむetc の不満があります。又風呂場はカビやすくバランス釜のため不便であ

る。給湯に不満がある。建物全体が汚れている。建て替えの時期は見当がつかず、今後他のマンション購入についても同様である。(51.女)

⑭特に水道管の老化が著しく進んでいると思われる。(71．男)

⑮管理費を毎月払っているのに給水管を替えてほしい。黄色い水が出てとても料理に使えない。(30．女

⑯高層のためエレベーターが３台あっても待つ時間が長い（31．女)

⑰衛星放送の受信が悪い。ケーブルテレビなし。アンペア容量が小さい。(48．男)

⑱ゴキブリなどの駆除ができない。しても隣に行ってしばらくたつとまた戻ってくる。管理事務所の開いている時間が短すぎる（9:00～18:00 土日休）水道管のサビ。(32．女)

２．建物・設備の状態等について

①防犯で訪問者の自由なで出入りの制限。防犯カメラの充実。郵便受けのチラシの制限。エレベーターの防犯。特にエレベーター内が見えるようにする。(54．男)

②管理費の内、修繕費の積立金は少し高くてもしっかり確保する。そうしないと、中古マンションになってからの出費が多くて、まとまりがつかなくなる（住民の意見が)。水まわりが一番心配。各部屋内の事故が増えるので、各人の保険もしっかりかける方が良いと思う。(67．女)

③現在のマンションは小規模なため、現在築後23年で大規模修繕（エレベーター、給・排水管）交換工事が近年中に実施が必要と思われ、高額費用が予想され一寸心配です。建物の現状はまだ大変しっかりしていると思います。(62．男)

④収納スペースが押入れが一つしかない。部屋の中に物があふれてしまって狭く感じてしまう。(71．男)

⑤給・排水管、電気系統等の修理が容易にできるような建築法がないものでしょうか。鉄筋コンクリート造の耐用年数は実際のところ、どの位なのか良く分からず不安。補修をすれば、ある程度延長できるのか（61．女)

３．建て替えについて

①築30年位たっているのに管理が不十分で、所有者の意見が一致せずに、管理組合も２分されているので、立地条件は良いマンションだが、建て替えるとなるとむつかしい。水道管や排水管も古くなっているので、水もれ等不安になる。(36．女)

②都心の割に環境に恵まれていて、このまま永住したいが、建て替え等の不安がある（64．男)

③老朽化してくると資産価値が問題になってくると思う。それと共に自分が年をとり、建て替え等の時期に、その資金を払えない又は売れない状態になることが心配です。(50.女)

④新築マンションは高すぎます。このマンションに関して言うと交通の便の良さは言うことありません。古くなればリフォームしてずっと住んでいたいのですが、先のことを考えると不安です。現在、会社からこのまま買って住むか、新しい所に引っ越すのか選択を迫られています。建て替えのこと考えると引越ししたいのですが、条件にあ

う所がなくてこまっています。(46．女)

⑤管理費と修繕費の積立てが少ないのに、次から次へと急ぎの修理が必要になり、美観をととのえるための修理までお金が回らない。所有者の考えもバラバラなので、修繕費の値上げもままならない。現在は、建て替え又は補強工事等考えられる年代だが、20年先は、それに反対する立場になっているだろう。とにかく不安、不満でいっぱい。(41．女)

⑥古いマンションは補修が大変で、建て替えがむつかしいと思う。(45．女)

⑦日常の買物と交通の利用にとて便利な場所にありますが、築年数が古いので居住スペースが狭く、リフォームするにも出来ない状況にあります。又建て替えの時、主人が定年後だったら、とても無理だと思い、この先がとても不安です。(35．女)

⑧独身で高齢者の親と同居しているので、建て替えについても今の経済や自分の年齢を考えると、早く結論を出してもらわないと選択の余地がなくなり不安です(50．女性)

⑨とてもよく出来ているので何も心配していません。ただ築25年なので建て替える時期には私も80歳を超えているでしょうから、経済面・健康面でどうなっているか心配です。子供が独立し主人と２人暮らしです。主人の意見はちょっと異なると思います。(59歳．女性)

⑩地震のことを考えると、そろそろ建て替え時かなと思う。(61．女)

⑪（建て替え時期は）10年は無理だと思う。７年が限度。(60．女)

⑫建て替えについて、間口がせまい。(67．男)

⑬無理ですが、もっと自由に建てられたらきっとうれしいでしょうね。一度住んだらできるだけ居たいと思います。より一層住みよい環境になることを願っています。皆様の努力に期待しています。頑張ってください。(44．女)

４．マンション生活について

（良い居住感）

①一般常識を守ればこんなに住みやすい所はないと思う。(隣の方でも挨拶でよい)(51．女)

②住むとうことではマンションは一軒家よりも便利。これからもマンションに住むつもり。(26．女)

③不必要な近隣の付き合いが無いのでプライバシーが保てる。掃除が簡単。出来ればベランダ部分にサンルーム等、バスルームに窓があればよりベター(51．女)

④一戸建てに比べ生活スペースがワンフロアーとなって便利という利点があります（高齢者には良い)(39．女)

⑤集合住宅における良さは、一戸建ての様な面倒な管理がいらないということと、プライバシーが守られるということ。その半面、隣の住人がいるのか分からないという不安な面もあり、特に問題になっているお年寄りのひとり暮らしなどは、隣同士で気に掛けるようにしなくては、いけないのでは…と思っています。(36．女)

⑥当マンションは全ての管理が良く、管理員さんが小包や書面などを預かってくれ留守の時にはとてもよい。(51．女)

⑦１ヵ月に２回は集会を開いて反省や皆が楽しく暮らせる様話し合いをしていますの

で、私どものマンションは自由で、明るい礼儀正しい住民ですので私も楽しく生活しています。(49．女)

⑧私はマンションに生まれ、ずっとマンション暮らしです。ここにうつってきて４棟目になります。防犯や台風の際のメンテナンスを考えるとマンション以外不安で住めません。ライフスタイルで住みかえてゆくマンション暮らしが今後も続くと思います。(33歳．女)

⑨当面は満足している（71．男）

⑩来年出来上がる新築マンションに引越し予定。新しく出来るときは設備も何もかもとてもよく出来ている。都心の生活者にはマンションは便利で安心できる。大きな災害も頭にあるが、具体的には何も対策を考えていない。(54．女)

⑪近隣の接触が少なく、気が楽。将来はペットの飼えるマンションに引っ越したい。(35．女)8

⑫現在住んでいる環境は騒音の不満はありますが、交通便、公園が近くにあること、公共施設の図書館、老人福祉等が近くで、淋しい思いはなく、ずっと住んでいたい（62．女）

⑬向かい側にアサヒ飲料の土地と現在進行中の物件が立たないうちは、見晴らし明るさ、太陽がいっぱい、おふとんを干したりで、とてもいい所だと気に入っている（屋形船は通るし、暖かいしで)。古いのを買ったので特に気にしないが、向かいにすぐ新しい建物が立つことになり、それは都会だから仕方がないとしても、すごい音で驚いている。(37．女)

（マナー・ルール）

①ペットを飼えないように規制すべきだと思います。(72．男)

②駐輪場がなくバイクを路上駐輪しているので心苦しい。投げ込みチラシをさばくターゲットにされているようで裏ビデオや売春の類の物を子供を抱える世帯がどうしているのか人ごとながら心配。(29.男)

③居住者の層がまちまちで、団体生活を行う上での意識や常識が不足している居住者が多い。居住者が逢っても挨拶をしない。ゴミの出し方も指示通りになっていない。やたらにタン、ツバを吐き散らす者がいる等々。(71．男)

④自転車置場がないためエレベター内に持ち込んで、廊下に置いている人が多数いる。どんな人が住んでいるか分からないので、エレベーター内に一緒するとゾーッとする場合もある。無責任な住まい方で迷惑をかけることに無意識な人が多い（70．女）

⑤ハトの糞害に悩まされている。ペットは禁止のはずなのに、隠れて飼って他人に迷惑をかけている人がいる。所有者の中には常識のない人もいて残念に思う。(42．女)

⑥ペット（犬猫その他）は飼うことをきんじられているが、守らない人がいる。近隣に迷惑をかける様な事はやめて欲しい（59．女）

⑦ペットを飼わないように規制すべきだと思います。(72.男)

⑧築25年の当マンションに於いて、管理人はいますが表玄関口や裏駐車場から自由に人の出入りがあるため、ひんぱんにセールスマンや新聞勧誘が来るなど、防犯面にも不安がある（53．男）

⑨モラルの低下を感じています。共用部分でのゴミちらかし、犬・ネコの排尿の始末、落書き等（47．女

⑩１Ｆ．２Ｆに商店があるから、あまりきれいではない。(26．女)

⑪10階建ての下４階の半分のスペースまで賃貸事務所等のゲタバキ住宅。２ヵ所ので出入口が、いずれも自動ドアになってしまった（住民の許可は得ていないところで)。子猫でも自由に出入り出来る状態であり、防犯対策に非常に気掛かりです。(64．女)

（マイナスの居住感）

①近所のつきあいが少ない。北側で日光の恩恵を受けられない。(67．男)

②居住者の交流が希薄になりがちです（13)

③連帯感がない。(64．男)

④毎日の生活が落ち着かない感じがします。狭いせいか木のぬくもりがなく息がつまる時がございます。(53.女)

⑤20年以上もマンションで生活していると、便利さにおいては申し分ないが、やはり土の香りがほしくなる。若い間は良いが、年齢が高い場合は風通しの良い日本風家屋に住みたいと思う。(60．女)

⑥ペットを飼っているので気兼ねする（50．女)

⑦価格が高すぎる。メンテナンスが面倒（29．女)

５．区分所有及び管理組合について

①マンションの家族構成（高齢者．就学子女、共働き、独身)、使用目的（住居、賃貸、社宅、事務所、倉庫）等多様化し管理が難しくなっている。これに関連し、共用部分のマナーが壊れかけている（65.男)

②管理会社が破産して後継に困っている。１棟の建物に１～４Ｆ（元地権者）５～10Ｆ（等価交換売却）の管理組合が２つある。
管理組合に代表となる人材がいない。所有者が転貸して入居者が組合の意義が分からない。管理会社の適正な会社が得られない。(70．男)

③総会があっても、なかなか話がまとまらない。(59．女)

④管理費の不払い対策が必要。(54.男)

６．マンション供給について

①今のマンションを売却するとしても価格が下がって、新しいマンションを購入するには不安も負担も大きい（47．男)

②これから先の新築マンションは配管スペースを確保してリフレッシュをやりやすくすることや、フローリング又は畳と床スラブの間のスペースを収納スペースとするような工法を実現してほしい。(62．男)

③外観重視で乾燥機使用は生活健康上論外。太陽光線の入るマンション重視。駐車場低層部に確保。宅急便預かり不可の管理室ＯＲスペースを考慮。相変わらず上下階騒音苦情あり、その改善策（子供がどもり始めたりする友人もいます)（42．女)

④将来リフォームするとき、しやすい設計にしてほしい。(13)

⑤マンションを売り出す時には、耐用年数を明確にし再建時の一時金、積立ても制度化、助成金融制度など設定できないものかと思う。(48．男)
⑥マンションが乱立している。都市計画等見直しが必要な時期ではないか（57．男)
⑦ヨーロッパのアパートのような長い歴史のある建物はまだないらしいが、その例になるような息の長いンションであるように願っている（37．女)
⑧日本における、いわゆるマンションの歴史も欧米諸国に比較し浅い。21世紀に向け学生の皆さんで研究され「わが国のマンションはこれだ」というものを創り出してほしい。(65．男)
⑨収納を重視、交通便、買物（スーパー、ディスカウントショップ）への便の良さを考え、今年購入しました。新しくいろいろな物件がありますが、昔ながらの最小限の（エアコン、収納大きな場所）をいつまでも大事に作って頂きたいです。(26．女)
⑩今の建物（マンション）は部屋が狭い！もっと広い家がこれからとんどん増えていけばいいと思う。それと地震に強い、じょうぶで一生こわれない家が建ってほしい。もっと研究してほしいと思います。頑張れ!!（17．女)
⑪投資額が回収できるなら買い換えたい（41．男)

6．規制緩和
（1）規制緩和に肯定的な意見
①現在程度の制限でよいが、建て替えの場合は、同等にしてほしい。(47．女)
②高さ、大きさ制限は耐震であればよいが、絶対はありえないので高さ、大きさに見合った周辺ｏｒ安全地帯の確保を厳しくすべきである（48．男)
③状況に応じて対処がいる（54．女)

（2）規制緩和に否定的意見
①制限は必要。ただしその「質」(厳しさではない）の検討は必要。(38.女)
②周囲の建物が高ければ高くてもよいと思うが、低い中にはあまり良くないと思う。どっちにしても建物間の距離が一番重要なのでは（29．男)

1-19　アルミニウム合金の住宅への活用方策に関する研究

アルミニウム建築構造研究会
すまいとアルミ研究会

座　長　　伊東　豊雄

1.研究題目　アルミニウム合金の住宅への活用方策に関する研究

研究実施報告書の内容

1.研究題目　アルミニウム合金の住宅への活用方策に関する研究
2.機能分担
3.研究の動機
4.研究の目的と成果
5.新しい住空間の研究方法
6.研究内容詳細

2.機能分担

(1)アルミニウム建築構造推進協議会　「住まいとアルミ研究会」:基本コンセプトの策定と基本設計

座　長	(株)伊東豊雄建築設計事務所	代表取締役	伊東　豊雄氏
委　員	(株)難波和彦＋界工作舎	代表取締役	難波　和彦氏
委　員	(株)佐々木睦朗構造計画研究所	代表取締役	佐々木睦朗氏
委　員	(株)飯島建築事務所	代表取締役	飯嶋俊比古氏

(2)同上　住まいとアルミ研究会WG:詳細検討

司　会	(株)難波和彦＋界工作舎	代表取締役	難波　和彦氏
委　員	(株)飯島建築事務所	代表取締役	飯嶋俊比古氏
	(有)内山協一デザインスタジオ	代　表	内山　協一氏
	(有)岩澤晴彦デザイン事務所	代　表	岩澤　晴彦氏
	(株)イゼナ	代　表	前田　誠一氏
	住友軽金属工業株式会社(株)	課　長	鈴木　稔氏
	スカイアルミニウム(株)	部　長	高木　邦年氏
	新日軽(株)	部　長	木村　律氏
	ミサワホーム(株)	次　長	平田　俊次氏
	不二サッシ(株)	主　任	西本　直史氏

(3)同上　事務局:プロジェクトの総括

藤池　瑞芳、国枝　明

3.研究の動機

「アルミニウム合金による新規市場の創出と拡大」

アルミニウム合金は、現行の仕様規定型の建築基準法では、未だ材料強度等が定められていないため、一般の構造設計者にとっては、極めて使いにくい材料として取り扱われてきた。しかし、

規制緩和と行政改革の推進の一環により、平成10年6月12日、「建築基準法の一部を改正する法律」が公布され、性能規定型建築基準法が平成12年6月までに施行される予定となった。アルミニウム建築構造材が一般化され、建築設計規準が公的に認知されて、新しい建築構造材として各方面に展開され、アルミニウム合金の特性を活かした建築物による建築界へのサービス(何を貢献するか、何を提案するか、何をコーディネートするか)を積極的に進める時代が迫ってきた。

当協議会は、性能規定化した設計規準の策定と建築構造材としてアルミニウム合金の一般化を実現させることを目標に事業を展開し、「アルミニウム建築構造設計規準(案)」、「アルミニウム建築構造物の耐火設計規準(案)」の整備充実を完了し、引き続き、「性能規定化委員会」により、建築基準法の性能規定化への対応を推進し、性能規定化に対応した「設計規準類・同解説」を策定し、アルミニウム建築構造材の新検証法として公的に認知を頂くよう努めている。

市場創出活動の推進としては、建築界へのアルミニウム建築構造物の実績紹介、著名な建築家(原　広司氏、内井昭蔵氏、伊東豊雄氏、斎藤公男氏、黒川雅之氏)を招聘し、建築界に向けてアルミニウム構造の特長と優位性についての講演、各種設計規準類の解説を行ってきた。

更に、産学官の学識経験者の参加による「市場開発プロジェクトチーム」により、アルミニウム建築構造について、設計インフラを整備し建築界へ発信すると共に、アルミニウム合金による木造住宅開口部の耐震補強については、建設省建築研究所、(社)日本カーテンウォール工業会との共同研究により、アルミニウムフレームによる住宅開口部の耐震補強方法が有効であることを検証した後に、実用化研究を推進している。

アルミニウム合金は、サッシ、カーテンウォールの普及において表皮景観の形成にはその特長と美観が高く評価されてきたが、必ずしもデザイン的に優れているとは言えないようであるとの指摘も受けている。表皮景観から構造景観までアルミニウム合金の特長を活かした住宅のデザインコンセプトの追求と具現化について、建築家　伊東豊雄氏を座長とする「住まいとアルミ研究会」が、平成10年2月6日発足し、住宅へのアルミニウム合金活用の具体案を検討してきた。

本研究会は、アルミニウム合金を住宅に活用するデザインコンセプトの追求から始め、具体案を構築する過程において、これまで蓄積した技術、押出形材のリブ補剛効果の研究、形材の有効デザイン、建設省建築研究所との共同研究による新規技術(開口部を保有する住宅の安全設計法)、各関係業界の新規技術等を有効に活かした方向に展開し、事前評価用の住宅模型を製作して、長期にわたる安全性、快適性、耐久性を満足して、よりニーズに対応する提案をする。

4.研究の目的と成果

(1)本研究の目的は、住宅性能の向上にアルミニウム合金は何を提案するか、住宅からエクステリアまで、具体的な青写真を作製し、工業化住宅システムを提案することである。

(2)期待成果は、アルミニウム合金の特性を活かした住宅への活用方法と住宅案を提案し、具体的に試作段階から生産段階へ展開し実用化を目指すことである。本研究は、アルミニウムの構造

材への適用に関連する研究の一環であり、アルミニウム合金の特性を踏まえた利用技術の一つとして住宅へ展開する一方、当該技術の蓄積によって、戸建て住宅、集合住宅のみならず、各種事務棟、別荘、ビル屋上開発、仮設建築物としての新たな展開が可能である。

具体的には、本研究の成果をリサイクル材料の最大限の有効活用により循環型社会の構築を目指し、且つ即効性の景気振興策として経済効果をもたらすよう配慮して、ＮＥＤＯ即効型提案公募事業「エコ素材住宅の技術開発」の受託研究開発に発展的にステップアップした。

5.新しい住空間の研究方法

日本では、都市建設、住宅建設において、新規性の追求から転換して、持続的な可能な豊かさ、持続的感動をもたらすコンセプトにより都市計画、住宅計画が見直されている。特に、阪神淡路大震災により、建築物の長期にわたる安全性の担保と長期耐久性の確保による優良資産のストックが重要な事業であることが認識され、素材の特長を活かした、素材の魅力を引き出す根元的な物の必要性が認知されてきた。

新規投資においては、長期にわたる安全性、耐久性、快適性が要求される一方、増大する維持更新投資の効率化と抑制が見直され、長期にわたるストラクチュアの機能維持と短期に改造可能なインフィルとの組み合わせが新しいニーズに対応するために提案されている。今後、日本では、フロー的な建築・構造とストック的な建築・構造との調和、相互補完が、新たな価値を生むために必要となると考えられる。

（1） アルミニウム合金のコンセプト

アルミニウム合金活用のコンセプトを、下記の視点より検討する。

1) 地球環境保全と資源保全観点より、リサイクル材として有効活用することができる。
2) 多様なニーズに対応して、デザインの多様な選択肢とレイアウトの容易な変更が評価される。
3) 軽量性とデザイン性により狭小密集住宅等において簡単施工性を発揮する。
4) 耐久性により長寿命建築の保証とメンテナンスフリーにより維持更新費用の縮減が推進できる。
5) 軽量による簡単施工性がイニシャルコストの縮減を、長寿命とメンテナンスフリーがトータルコスト（ＬＣＣ）の縮減を推進する。

(2) 工業化住宅のデザインコンセプト

近年の技術の進展と経済のめざましい発展のなかで価値観の多様化が進み、住宅に対する社会的な要求も変化をしている。住宅に対して単なるシェルターとしての役割に加えて、より快適で、より人間の感性に応えるデザインの住宅が要求されると共に、構造設計に対しても、安全性と使用性、居住性をより明確に設定できる設計が求められている。住宅におけるアルミニウムの新規需要を下記のコンセプトにより掘り起こすシナリオ作りを行った。

1) アルミニウム合金の特性を最大限に生かした住居
2) エネルギー・コンシャス・デザイン

3) 新しい家族像とライフスタイルにふさわしい住空間

4) 社会に開かれた住居

5) 近未来住居にふさわしい空間の質とイメージ

(3) 研究ステップ

1) ステップ１：技術の現在位置を確認し、更に類似住宅の現状と問題点を把握した後に、今後想定される問題・課題について意見交換を行い、居住性特に結露、発音等の実態と対策について情報収集した。

2) ステップ２：４人の建築家および構造設計家によるブレーンストーミングを実施して、各種性能を満足する住宅のデザインコンセプトを明確にした。

3) ステップ３：デザインコンセプトの評価により具現化と絞り込みを行い、実行可能案に仕上げた。会員および協議会の指導委員の協力により技術的課題と経済的課題の解決案を検討した。具体的には、(財)トステム建材産業振興財団の助成による「押出形材のリブ補剛効果の研究」、建設省建築研究所・(社)日本カーテンウォール工業会との共同研究「アルミニウム合金による木造住宅・店舗等の耐震補強に関する研究」等の有効活用を図る。

4) ステップ４：成果のまとめと中間報告

5) ステップ５：技術的、経済的評価とコンセプトによる事前評価を実施し、模型住宅、青写真等により具体的提案を報告書として発表した。

６.研究の結果

研究の成果を「アルミエコハウス」と題して別紙にまとめて報告する。なお、検討結果を図面に整理して添付する。

アルミ・エコハウス

「住まいとアルミ研究会」では、これまで約１年をかけて、アルミニウム合金を構造体に使った都市住居のプロトタイプ「アルミ・エコハウス」の開発を進めてきた。現在、そのシステム・デザインがほぼ終了した段階である。細部においては、まだ多くの技術的問題が残されているが、基本的なプログラムは確定したので、その概略を紹介してみたい。

アルミ・エコハウスは、近未来の都市住居のプロトタイプとして構想された。そのために、住まいに関する以下のような現代的問題に総合的に答えることをが試みられている。

１.アルミニウム合金の特性を最大限に生かした住居。

アルミ・エコハウスでは、構造体だけでなく、外壁、屋根、開口部、床版、間仕切といった建築要素をアルミニウム合金で作ることを試みる。すなわち住まいを構成する建築要素を可能な限り部品化、工場生産化し、現場作業は最小限の組立作業に限定することをめざしている。アルミニウムの加工性、軽量性、精確さを生かしながら、単純な作業で組立可能な構法を考案し、工期を大幅に短縮することも重要な目標である。これによって、在来木造と同程度の技術によって建設することが可能になるだろう。

構造システムは耐震要素(偏心ブレースや耐震壁)を組み込んだ軸組構造とし、構造部材はアルミニウムの加工性を生かした押出形材を新たに開発している。外壁、開口部、屋根は断熱性能の高いパネルシステムとし、外側から構造体を包み込むように取り付けることによってヒートブリッジを防いでいる。さらにアルミニウムの全面的な使用は、住居全体のリサイクル性を高め、環境負荷を抑えることが期待される。

2.エネルギー・コンシャス・デザイン。

これからの住居は、消費されるエネルギーを最小限に抑えるだけでなく、自然のエネルギーを最大限に利用できるようなシステムをもつことが必要である。

アルミ・エコハウスでは、断熱・気密性能を今まで以上に向上させるとともに、日本の伝統的な軒下空間を現代的に翻案した「屋外室」や、太陽電池システムを組み込んだ「ダブルスキン(二重皮膜)」屋根によって、日射や通風を制御し、ダイレクトゲインを最大限に利用する平面計画と構法システムを考案している。

さらに水の蓄熱性能と自然対流を利用した暖房システム「アクアレイヤー・システム」の組込を試みている。アクアレイヤー・システムは住居全体の熱容量を高め、室内気候を安定化させるだけでなく、アルミニウムの熱伝導率の高さと相まって、アルミニウム部材への結露を防ぎ、構造体の防火性を高めることも期待される。

エネルギーシステムは、太陽電池の効率的な運用、アクアレイヤーシステムとの組み合わせといった諸条件を考慮して、電力を中心としたシステムを構築し、給湯熱源としては深夜電力利用を考えている。

3. 新しい家族像とライフスタイルにふさわしい住空間。

これからの家族においては、今まで以上に家族相互の関係は緩やかになり、家族のメンバーの自立性が強まるようになるだろう。しかし同時に、それを補完するような家族相互の暗黙のコミュニケーションが求められるようになることだろう。

こうした緩やかな家族関係にふさわしい住空間として、アルミ・エコハウスでは最小限の間仕切りによって仕切られた「場」のような空間を提案している。それは、家族メンバーが緩やかに囲まれた各人のコーナーを持ち、プライバシーを守りながら、お互いの気配が感じられるような一室空間的な住居である。間仕切は家族構成の変化に応じて簡単に移動することができるようにしつらえられる。

さらに２世代、３世代が一緒に住めるようなバリエーションも考えられている。

4. 社会に開かれた住居。

これからの家族においては、家族相互の関係が緩やかになることに並行して、家族と社会の関係も緩やかに開かれたものになるだろう。これに呼応して、住空間もプライバシーを守りながらも、外に対して開かれた空間になることが予想される。

アルミエコハウスでは、屋外室を施工積極的に活用することが試みられている。屋外室は住空間の一部として屋外生活を楽しむ空間であるとともに、住まいを柔らかく外に開くための緩衝空間となっている。これによって密集地域においても「開かれた住まい」を実現することが可能である。こうした媒介的な空間を内蔵することによって、アルミエコハウスは一戸建て住居としてはもちろん、連続住居への展開やサポート・インフィル(SI)システムの住戸ユニットとして立体的な集合化への展開も可能なプロトタイプとなっている。

5. 近未来住居にふさわしい空間の質とイメージ。

アルミニウムは金属でありながら、木材のような軟らかさを備えている。

アルミエコハウスでは、そのようなアルミニウムの現代的なテクスチャーを最大限に生かしながら、これまでの伝統的な住居イメージを脱却した軽快で透明な空間をめざしている。アルミニウムの柔らかな外装、単純な形態、ダブルスキンと屋外室といったデザインボキャブラリーは、住居デザインに新しい近未来的なイメージをもたらすだろう。

1-20　アルミニウム外装建材のメンテナンスの実態調査と研究

科学技術庁無機材材質研究所

主任研究官　和田　健二

アルミニウム外装建材のメンテナンスの実態調査と研究

社会は常に高品質・高付加価値の建築物のストックを必要としている。近年は特に地球環境・資源問題などから、既存建築物を良質な社会資本として維持・保全するための関心が強まっており、今後は新築・新設物件に対し改装・リフォームの比率が益々高まることが予想される。

現在までに建設したビル建築物は大いなる資源と言うことが出来る。しかしこの資源も自然に放置されていてはいずれ劣化が起こり再生不可能になる。健全な状態をいつまでも美しく保つためには再生可能な時期に手を加えることが必要である。加えて環境汚染により外装材を劣化させるスピードが想像以上に早くなってきているため放置すると美観回復が困難になるばかりでなく、外装材そのものの損傷をまねき、腐食などに至れば修繕には莫大な費用を要することになる。

最も簡単な維持保全の方法は洗浄・清掃である。正しく有効なメンテナンスを行えば、建築物の寿命を飛躍的に延ばすことができ、大きな経済的利益を生むとともに CO_2 排出削減にもつながる。

現状の定期的なビルメンテナンスは床清掃・トイレなど建物の内部が中心であり、建物外装はガラス清掃が行われているに過ぎず、アルミニウム外装建材へのメンテナンスの重要性があまり理解されていない。アルミニウム外装建材は錆びにくく、汚れも建物の機能に直接影響がないというのが一般の認識であるからそのまま放置されるものが多く、気がつくと劣化という状況での対応ではアルミニウム外装建材メンテンスの実効はあがらない。

アルミニウム外装建材のメンテナンスについては、昭和 61 年に建設省総合プロジェクトの一環としてまとめられた「外装仕上げの耐久性向上技術」や外装建材団体による調査結果があるが、いずれの内容も建物所有者・使用者が外装建材の汚れ段階でのクリーニングメンテナンスを啓蒙する領域までには踏み込まれていない。

本調査研究はビルオーナー・ビル管理者を対象にアルミウム外壁クリーニング状況・意識のアンケート調査を行った。当調査研究によって、建築物維持管理におけるクリーニングの実態認識を深め、アルミニウム外装建材の維持保全に向けての関係者としての行動すべきことが明らかになった。

今後、ビルオーナー・ビル管理者にアルミニウム外装建材のクリーニング効果を認知されるように適格なる技術情報・診断システム・クリーニングマニュアル策定へ基礎資料として反映させたい。

なお、この調査研究は平成 10 年度（財）トステム建材産業振興財団の研究助成によるもので、この場をお借りして、謝辞を表わします。

平成 12 年 3 月 16 日

アルミニウム外装維持保全研究委員会

「アルミニウム外装建材の維持保全に関するアンケート」結果のまとめ

1. クリーニング状況について

「窓ガラス」のクリーニングは生活習慣化し、クリーニング方法も定着している。しかし「外装」クリーニングについてはその必要性の認識度が少なく、クリーニング方法や技術などが明確になっていない。

「窓ガラス・室内床・水回り」は定期的にクリーニングが実施されているが、外装クリーニングでは不定期が（50%）と多くなっている。しかもクリーニング無しが（36%）と外装クリーニングの度合いが低い。5～10年に一度の低レベルである。

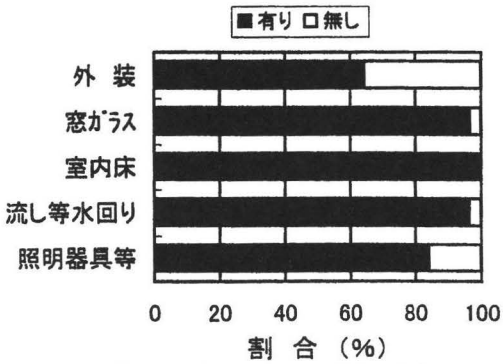


表1　クリーニングの有無

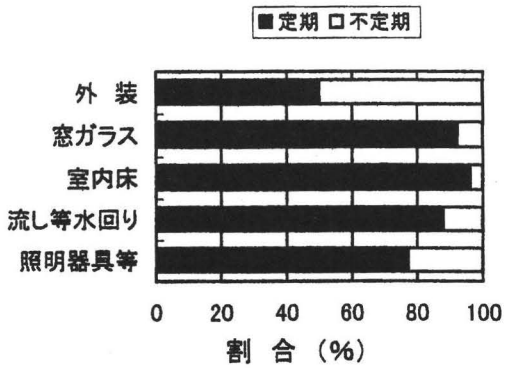


表2　クリーニングの状況

2. 維持管理費について

維持管理費用に占める清掃費の割合は、外壁費用（4%以下）と非常に低い。

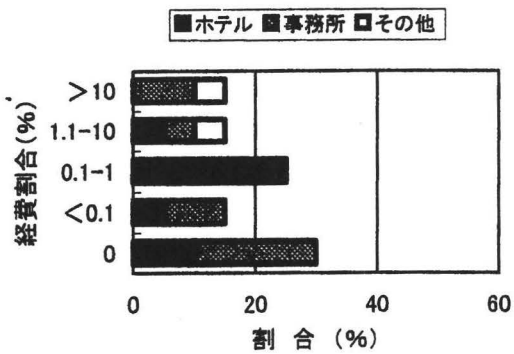


表4　当該建物の外壁費用

（年平均実施回数）

	ホテル	事務所	その他
外　装	1.0	0.4	0.6
窓ガラス	8.8	6.5	4.7
室 内 床	87	39	98
流し等水回り	187	116	126
照明器具等	1.3	0.6	4.3

表3　各部のクリーニング実施状況

3. 外装クリーニングの必要性

建物外観が気になるは（85%以上）を占め、気にならない回答でも建物が新しいことや現在メンテナンスが良く実施されているからであり、ほぼ全数が建物外観は維持していく必要性を強く感じている。気になる汚れの内容は、「窓ガラスの汚れ」よりも「塵埃・煤煙などの付着物汚れ」が気になることは特徴的である。

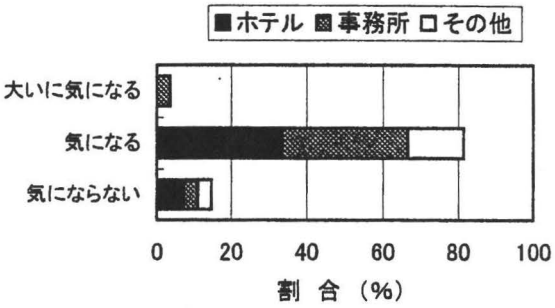


表5　外装汚れが気になります

外装クリーニングの必要性について「必要である」は（82%）で、その理由は「劣化防止ができる」が一番多く、ついで「美観の回復の見込みがある」「建物のイメージアップ」「資産価値維持の向上」の順であった。

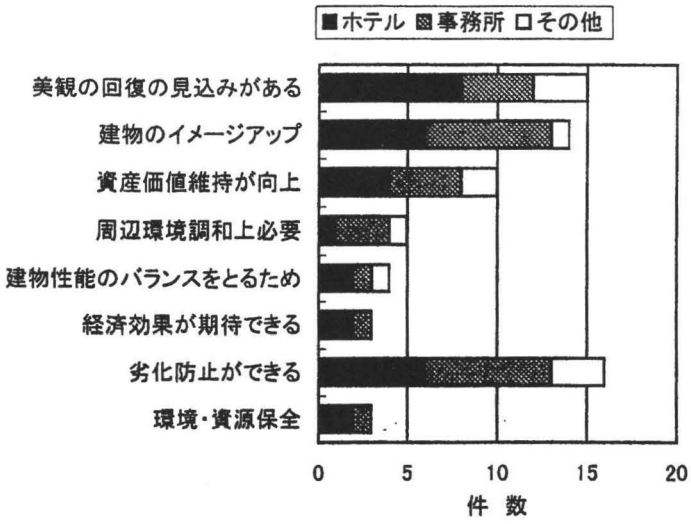


表6　外装クリーニングを必要とする理由

4. 外装クリーニング情報の入手先

情報の入手先については、外装クリーニング会社が最も多く、ついで建設会社・建物管理会社・建材メーカーの順であった。建材メーカー・専門誌が少なく下位にある。特に関係団体からは0の状況であった。

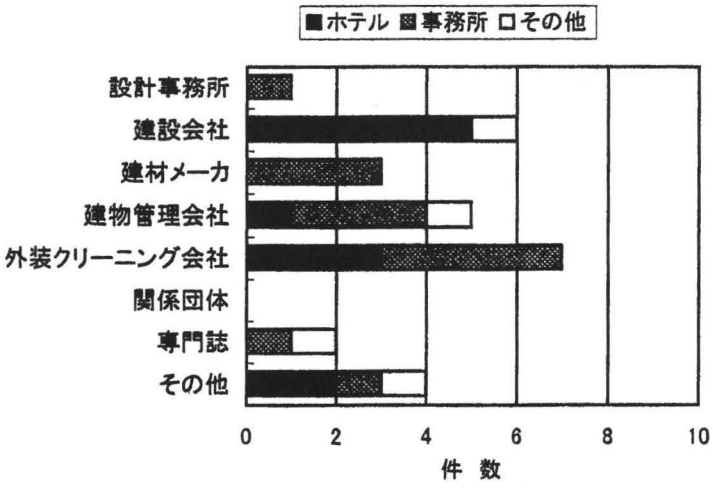
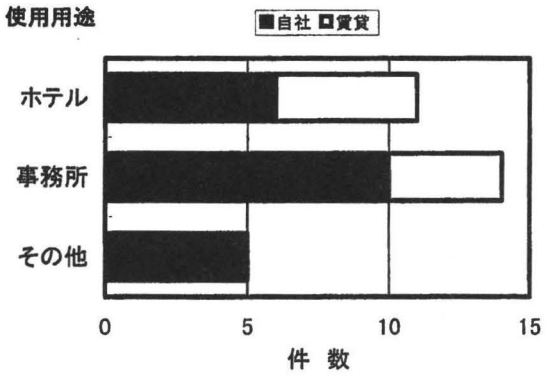


表7　外装クリーニングの情報入手先

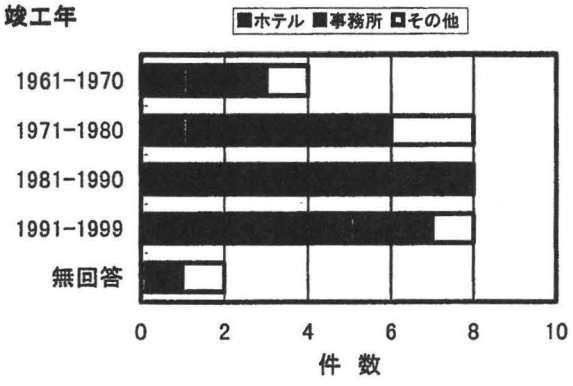
アンケート送付有効数２３１件、アンケート回収数３０件回収率 13%と低い。このことは、建築物管理者の外装クリーニングに関する意識の低さと言うより、外装工事関係者の外装クリーニングの必要性のアピールの無さによることと思われる。

１．当該建物の概要・履歴について

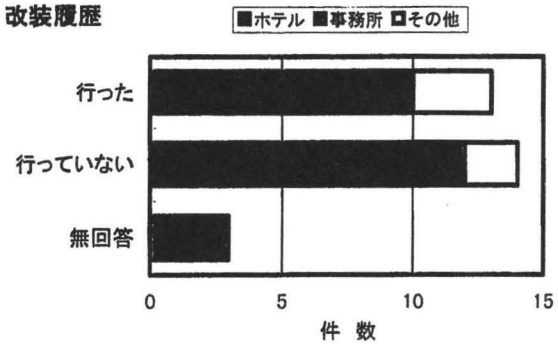


使用用途の分類は、ホテル、事務所およびその他とした。ホテル、事務所等併設している場合には、主たる用途で分類した。その他には、研修センター、病院、集合住宅、美術館等がある。

自社、賃貸の区別は、自社で少しでも使用している場合には自社とした。



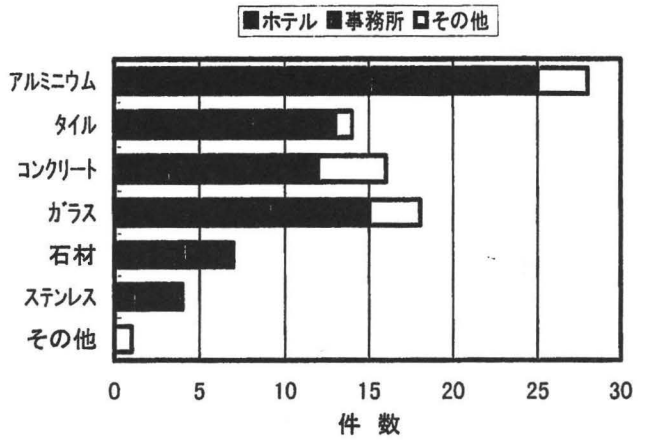
今回アンケートの当該建物の竣工年は、６０年代が少ないものの、７０年代、８０年代および９０年代と、各年代の建物についてほぼ同数の解答が得られた。



約半数程度が改装を行っている。改装までの期間は、長い所で３０年、短い所で３年の回答があった。

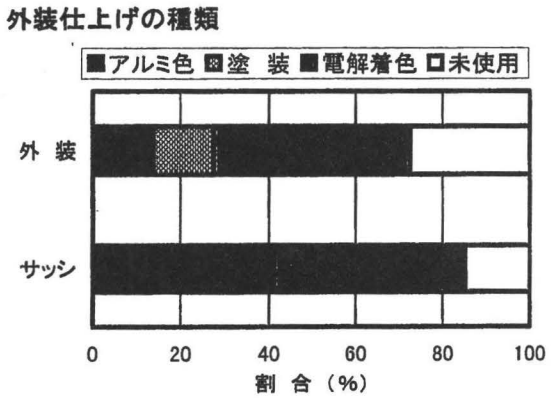
改装では、外装および内装共に同程度行われており、同時に行うケースが多かった。

2．当該建物の外装仕上げの種類（複数回答）

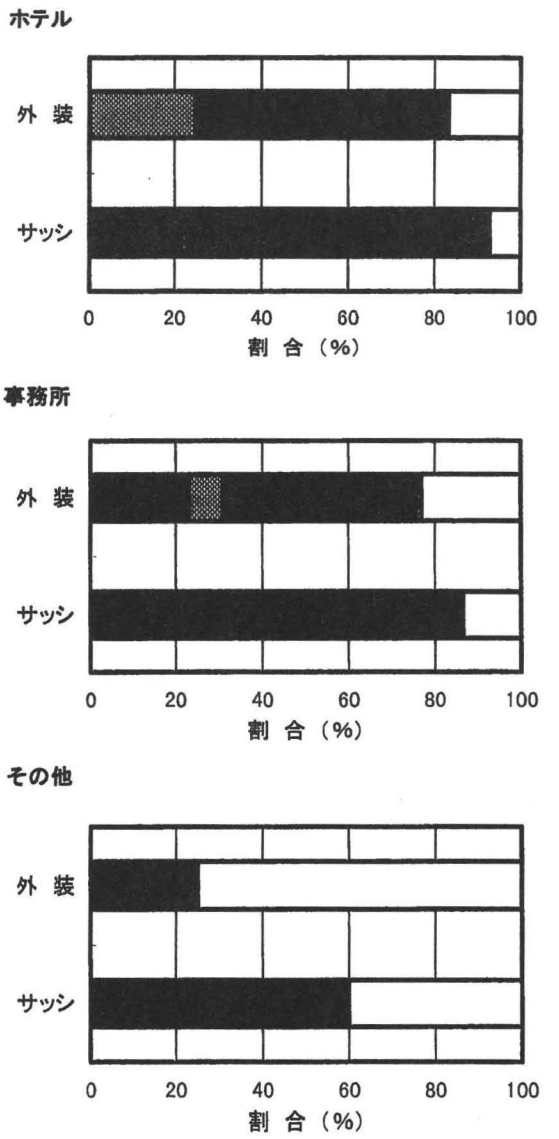


当該建物の外装に使用されている種類は、サッシ等を含めると、アルミニウムが多く次いでガラス、コンクリート（モルタル等含む）タイル等となっている。この結果からも、建物の外装仕上げ材は、多岐にわたっていることが判る。

当該建物のアルミニウム外装材の表面処理（複数回答）

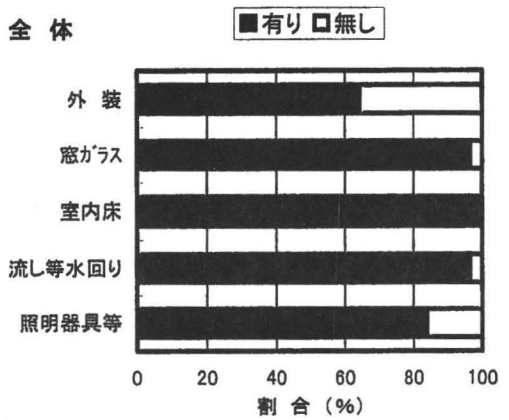


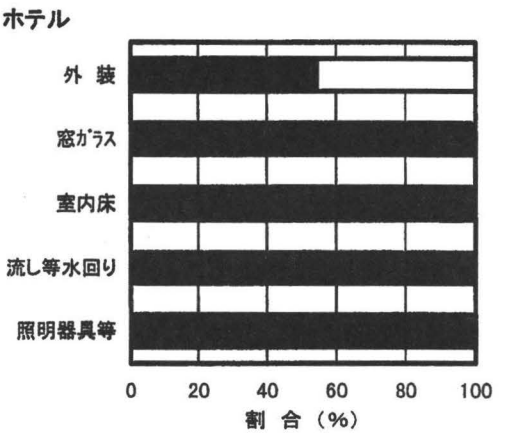
アルミニウム外装材の表面処理仕上げの種類の回答では、アルミ色および電解着色仕上げが（約６０％）と多かった。アルミニウム外装材の一部で塗装仕上げ（約１５％）があるが、これはフッ素系塗装で比較的新しい建物で使用されていた。



3．当該建物のクリーニング状況について

3－1　クリーニングの有無





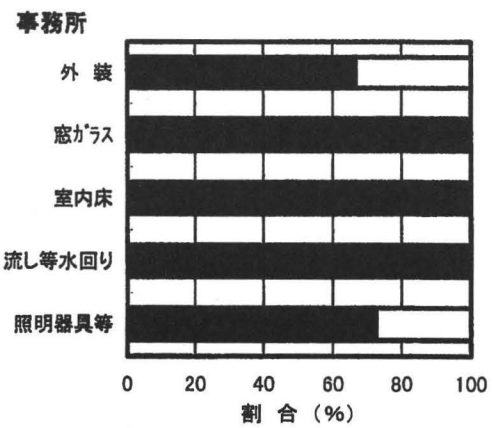
クリーニングの実施状況は「室内床・水回り・窓ガラス」の実施率は（97%以上）の高い値にある。

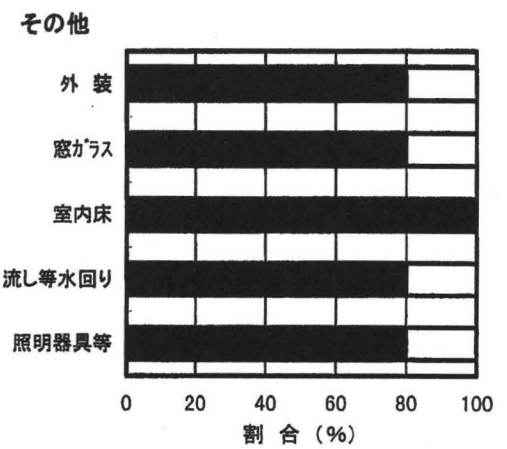
「ホテル・事務所」建物においては（100%）である。

次いで「照明器具」も（85%）と高いほうであるが「外装」に至っては（65%）と低い。

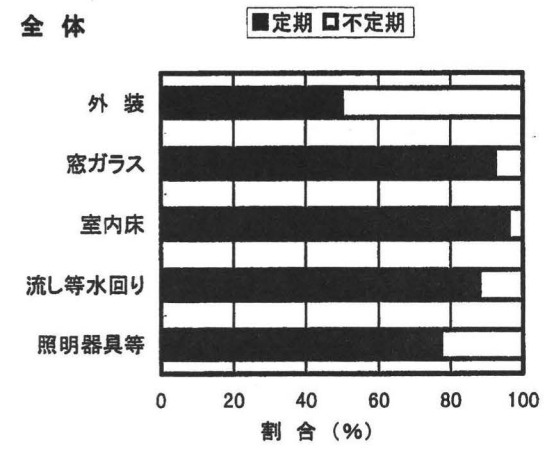
このことは「室内床・水回り」のクリーニングは室内清掃の習慣・清潔感・健康影響によるものと推察される。さらに「窓ガラス」のクリーニングは室内照明・明るさの維持と社会・日常生活習慣として定着していることによる。クリーニング方法も定着しているといえる。

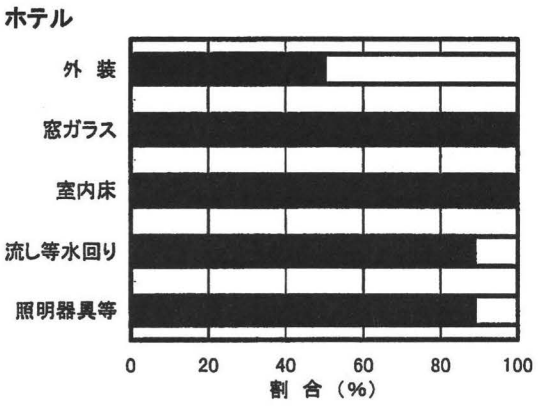
しかし外装クリーニングについてはその必要性の認識度が少なく、クリーニング方法・技術などが明確になっていないことに起因していると考えられる。





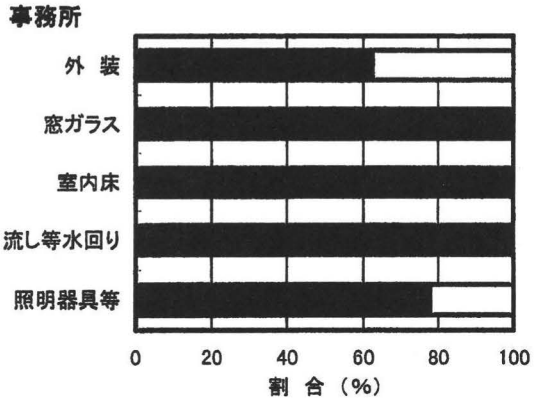
3－2　クリーニングの状況

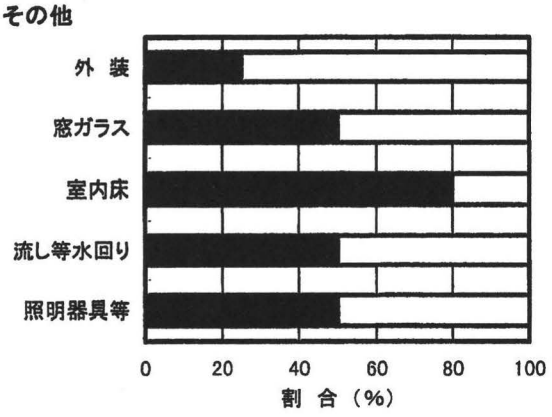




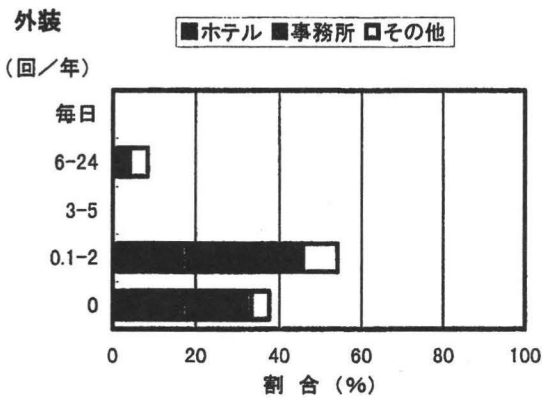
「定期・不定期」の要素においては、「窓ガラス・室内床・水回り」は定期的にクリーニングが実施されているが、「照明器具」は定期的クリーニングの実施が（77%）と減っている。外装クリーニングでは不定期が（50%）と多くなっている。「ホテル、事務所」以外の建物においては不定期のケースが（75%）と多くなっている。

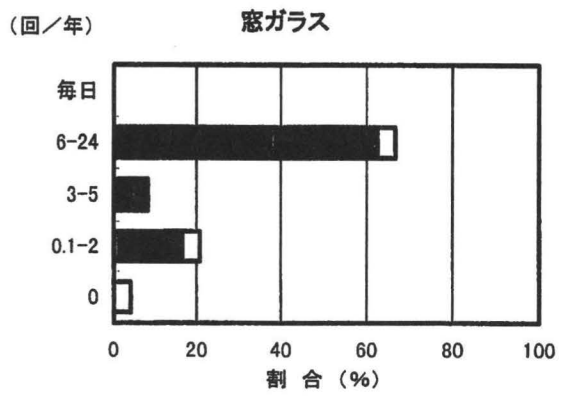
建物の維持管理費においても外装のクリーニングが定期化されにくい現状がクローズアップされたと同時に、今後建物のライフサイクルコストにどう組入れるかが課題になってくる。

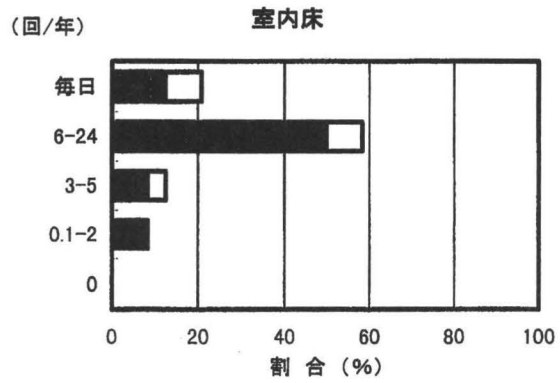


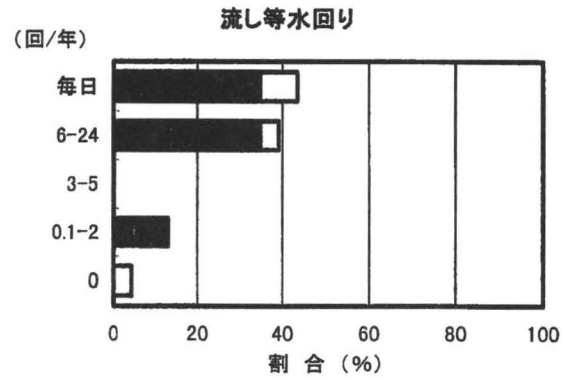


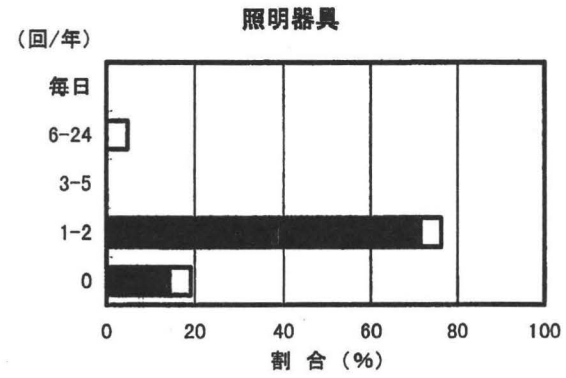
3－3　クリーニング場所と回数











クリーニング回数は「水回り・室内床」は（毎日～6回以上/年）が多く、次いで「窓ガラス」は（6回以上/年）が（67%）の割合でクリーニングされている。「照明器具」は（1回以上/年）が（81%）と高い値にある。

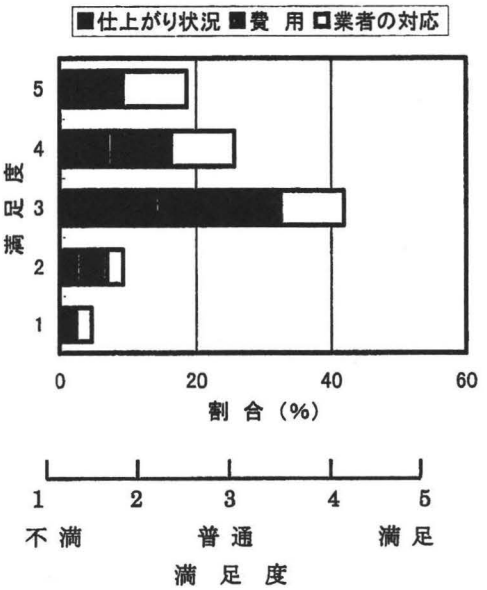
しかし、「外装」は（0.1～2回以上/年）が（54%）で、クリーニング無しが（38%）と外装クリーニングの度合いの低さがわかる。5～10年に一度の低レベルと言える。

表　各部のクリーニング実施状況

	ホテル	事務所	その他
外　装	1.0	0.4	0.6
窓ガラス	8.8	6.5	4.7
室 内 床	87	39	98
流し等水回り	187	116	126
照明器具等	1.3	0.6	4.3

（年平均実施回数）

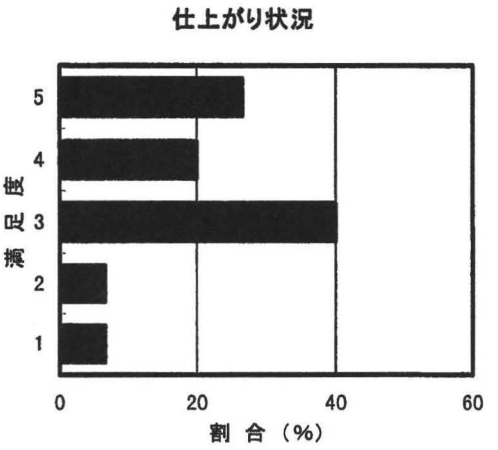
3－4　仕上がり状況の満足度

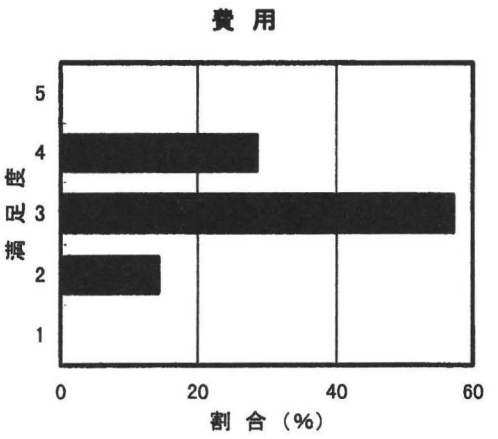


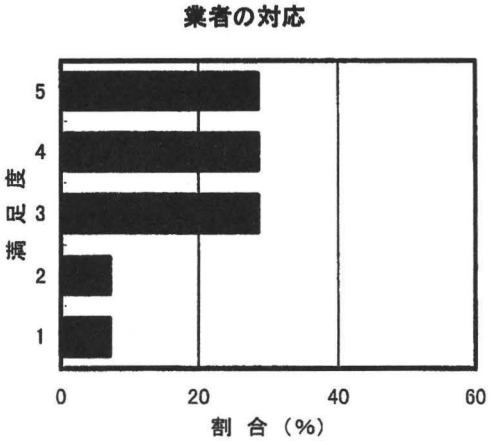
満足度の自由記述

- 水あかが残っている
- 保護剤塗布により美観がよく汚れが付着するが処理し易い
- きれいに汚れが除去されている
- 目地の汚れが落ちない
- もっと安くできないか
- 仕上がり状況に不満がある
- 安全対策と節度をもった作業
- クリーニング方法および効果の説明がわかりにくい
- 道路等通行人に気を付けて実施していた
- 材料に対する知識がない

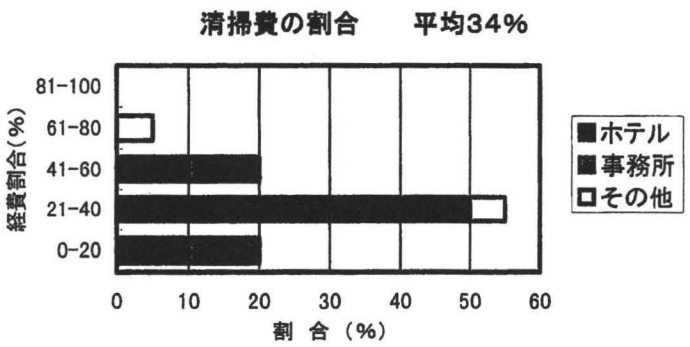
仕上がり状況の満足度の 3（普通）以上については（77%以上）で実施すれば納得のいく仕上がりという回答であった。また、費用については極端な回答はなく妥当との意見であった。なお業者の対応については仕上がり状況と連動性が見受けられた。クリーニングを実施すれば、仕上がり・費用など納得のいく結果が得られる反面、なかなか実施することができないのが現状である。現行の維持保全仕様に外装クリーニングが組入れられていないことが、建物ライフサイクルとして取り上げにくいと推測される。

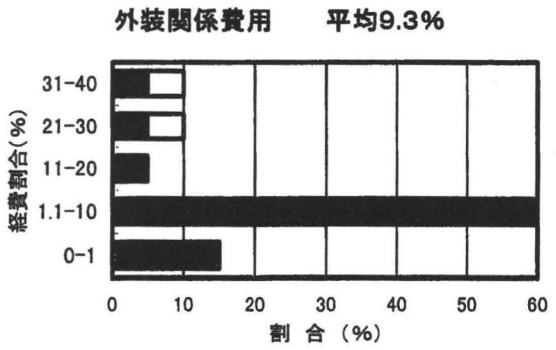


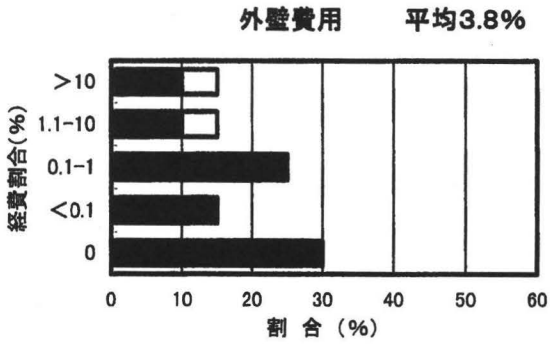




4．当該建物の維持管理経費について



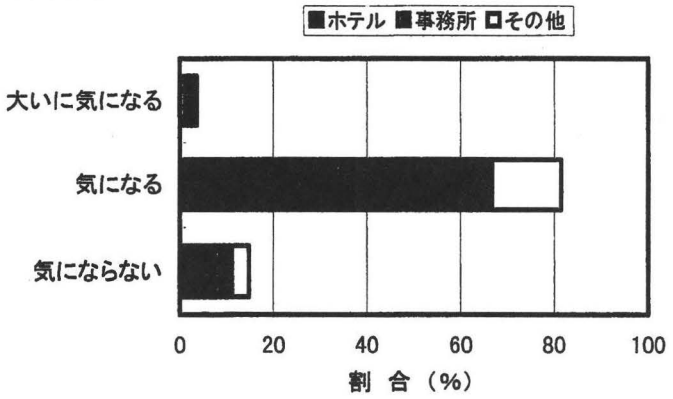




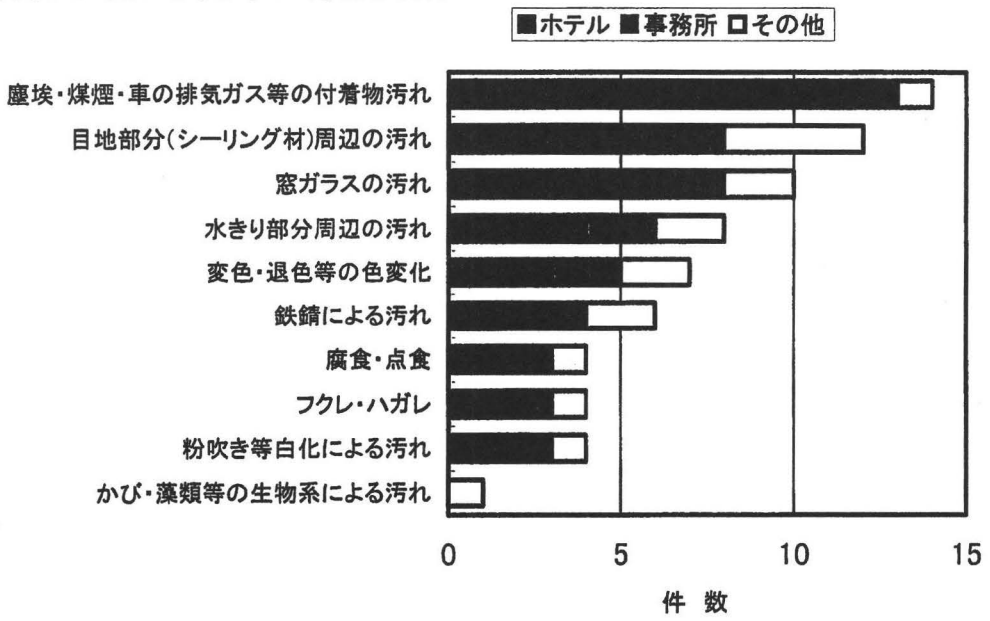
維持管理費用に占める清掃費の割合は、建物の用途に関係なく（35%程度）が多い、清掃費のうち外装に当てられる費用は（10%以下）となり、さらに外壁費用となると（4%以下）と非常に低い状況になっている。外装費用のほとんどは窓ガラス費用に当てられているようである。この(4%)外壁クリーニング費用の低さを外装工事関係者は地球環境保全（資源、CO2 問題)、地域環境保全（景観・美観）より認識する必要がある。

5．外装美観維持について　　（複数回答）

外装汚れが気になりますか



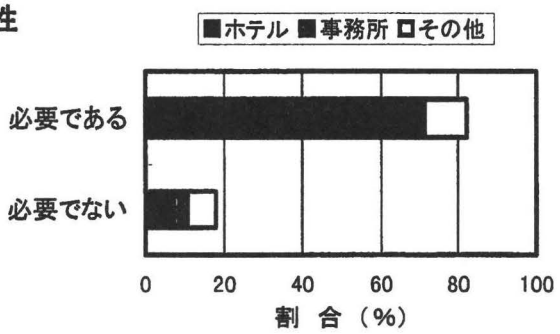
どの様な汚れが気になりますか（複数回答）



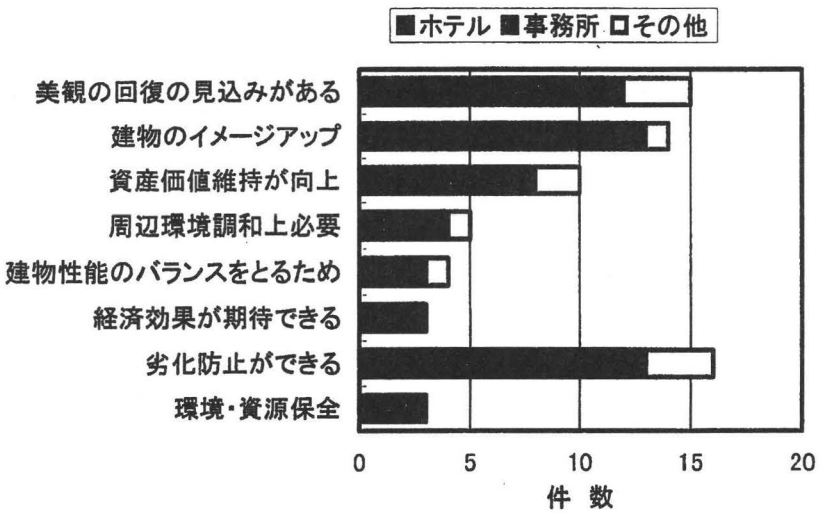
建物外観が「気になる」は（85%以上）を占め、「気にならない」回答でも建物が新しいことや現在メンテナンスが良く実施されているからであり、ほぼ全数が建物外観は維持していく必要性を強く感じている。また、気になる汚れの内容は、環境・立地条件からくる「塵埃・煤煙・車の排気ガス等の付着物汚れ」が最も多く、ついで室外を見るときに気になる「窓ガラスの汚れ」と「目地部分（シーリング）周辺の汚れ」が上位にある。また、「窓ガラスの汚れ」よりも「塵埃・煤煙などの付着物汚れ」が気になることは特徴的である。「白化」「フクレ・ハガレ」「変色・退色」など材料の表面劣化を伴った項目のランクは低い。これらの劣化現象は美観回復が不可能もしくは著しく費用のかかることが理解されており、美観維持に関しては初期汚れから手入れするという必要性は認識されてきている。このことは、現実の建築物に採用されている外装材料の仕様において、「腐食・ハガレ」など材料面からの欠陥発生が生じているケースが少ないことによると思われるが、「変色・退色・鉄錆・点食・フクレ・ハガレ」を問題にしていることには代わりなく、材料面・表面技術の向上そしてクリーニングの必要性を一層改善、研究することが望まれている。

6．外装クリーニングの必要性について

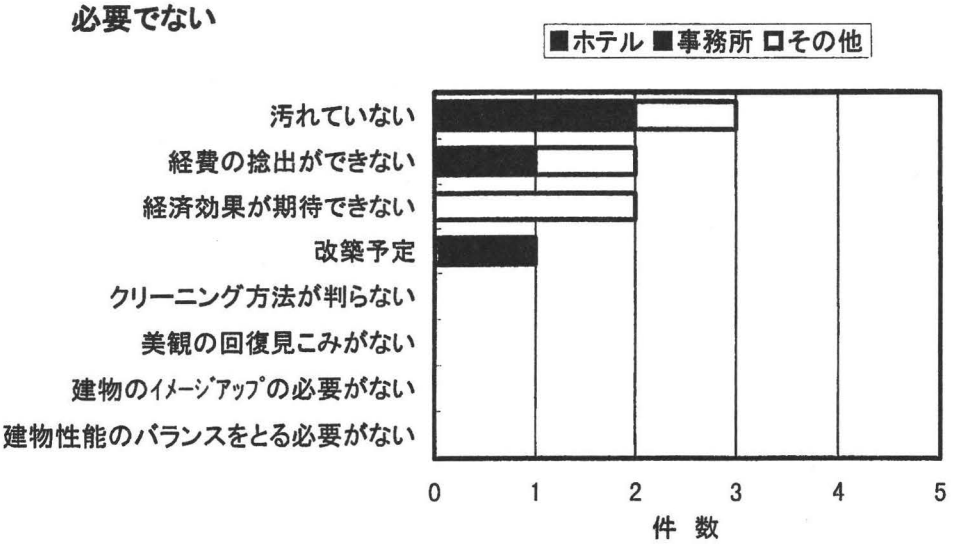
必 要 性



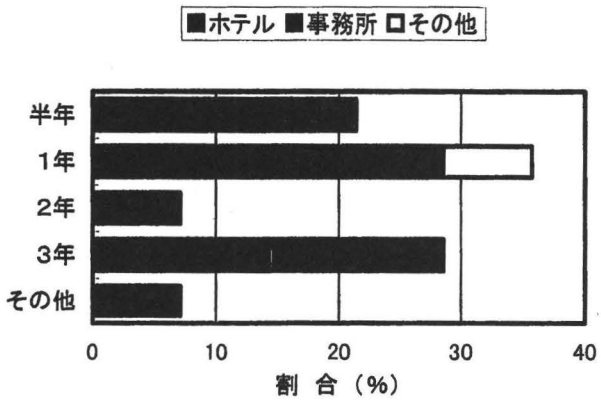
必要である



必要でない



クリーニングの頻度



「必要である」は（82%）で、その理由は「劣化防止ができる」が一番多く、ついで「美観の回復の見込みがある」「建物のイメージアップ」「資産価値維持の向上」の順であった。

建物の用途別では大きな差は見られないが、ホテルでは「劣化防止」より「美観回復」の方が多いのに対し、事務所では「劣化防止」が多かった。

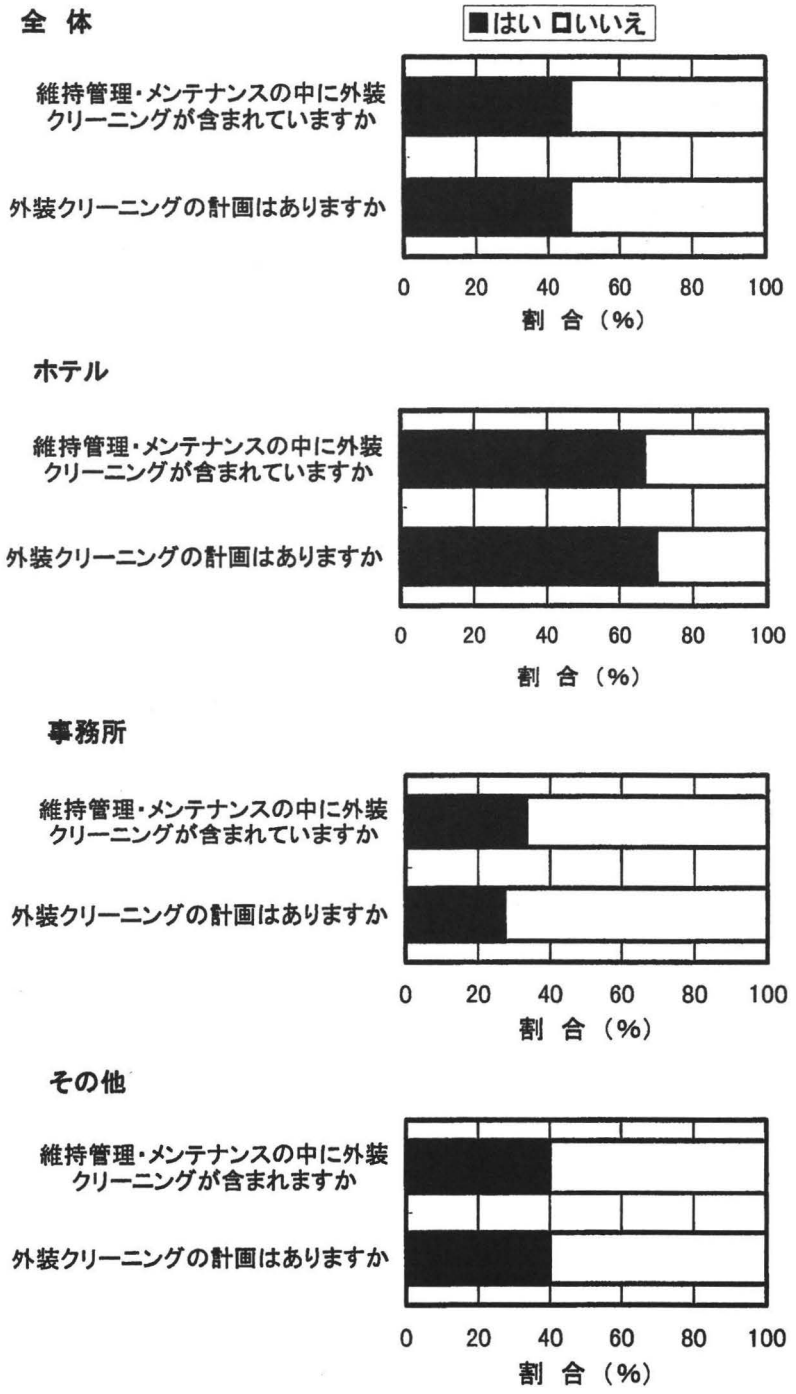
「必要でない」理由としては、「汚れていない」「改築予定」というはっきりしたものの他に、「費用が捻出できない」「経済効果が期待できない」という費用対効果があげられている。このことは、アンケートに回答した方は外装クリーニングの必要性を認識されているので、積極的な回答になったと思われる。

外装クリーニングの必要性の狙いは ①美観回復により、「資産価値・周辺環境調和が高まり建物イメージアップに役立ち、経済効果が期待できる」としている ②劣化防止ができ、長持ちすることを必要理由としている。

なお、経済効果など、経済性データが少ないことを「必要でない」との回答になっていることは関係者として受け止めておく必要がある。

また、定期的にクリーニングを行うとした場合の頻度は、（2 回/年）と（1 回/年）という回答が同じ割合で多く、ついで 3 年に 1 回、2 年に 1 回の順であった。

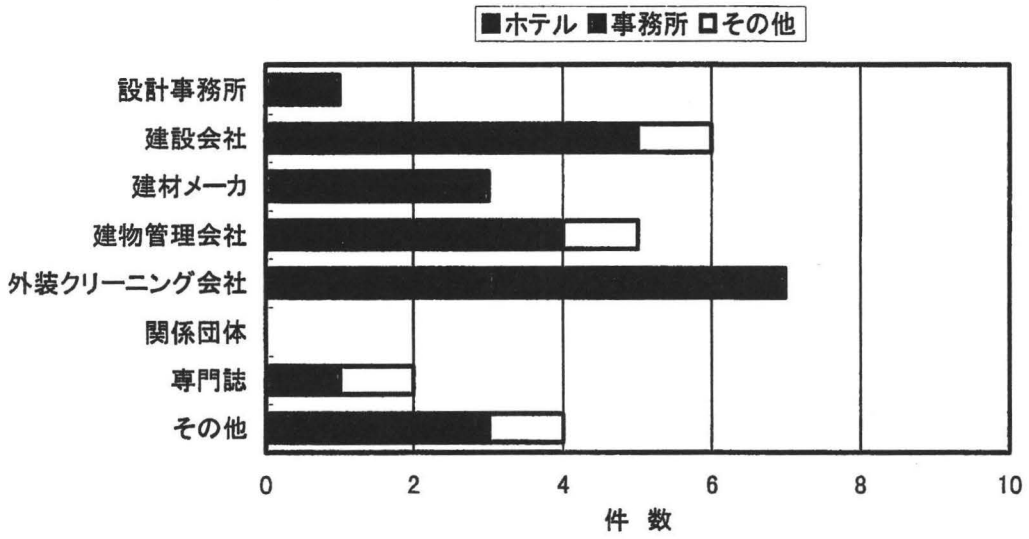
7．外装クリーニング計画について



維持管理・メンテナンスの中に外装クリーニングが含まれているかはこれまでの設問の回答結果とはかなり矛盾する内容であった。

今後の外装クリーニング計画の有無については、全回答の（46%）があるという回答であったが、用途別に見るとホテルでは（67%）と高く、事務所では（33%）と低い傾向であった。その他も（40%程度）と極めて低い回答であった。

8．外装クリーニングの情報をどこから入手していますか（複数回答）



外装クリーニングに関する情報の入手先については、外装クリーニング会社が最も多く、ついで建設会社・建物管理会社・建材メーカーの順であった。用途別では「ホテル」は建設会社からの情報が多いのに対し、「事務所」では建設会社からの情報を得ておらず、その他の情報源から同程度の情報を得ているなど、建設会社の関与度の違いが見られた。

各種情報を求める要望が多いことから、まだ外装クリーニングに関する情報の提供は不十分であることを留意しなければならない。

情報入手は外装クリーニング会社・建設会社・建物管理会社が上位にある。建材メーカー・専門誌が少なく下位にある。特に関係団体からは 0 の状況であった。これは建材メーカー・クリーニング関係団体の外装クリーニングに関する必要性・認識 PR など情報提供の行動アクションが全くないことによるものと考えられる。

地球環境保全の面より、外装クリーニングに関する標準的クリーニング技術の確立と技術的保証が求められ、技術的に信頼される関係団体の設置が望まれる。

9. 外装維持保全に関するご要望についてお書き下さい。

ホテル関係

・定期法定点検の制度化及び基準法１２条３条の報告提出義務付け。
・上記の保全実施による資産評価の見直し等、担保価値評価および無利子の貸付制度
・大通りに面している為、自動車の排気ガスによる汚れがひどい。
・ディーゼル車の排気ガス規制を実施してほしい。
・アルミニウムスパンドレルに錆、汚れがひどい。
・どのような清掃もしくはメンテナンスが必要か。
・アルミニウムの腐食したもののメンテナンス方法はどうすれば良いか。
・アルミニウムの耐用年数はどの位。
・地域差による空気環境が外壁材別におよぼす影響等の調査結果などがあれば教えて欲しい。

事務所関係

・メンテナンスフリーに近い素材、汚れても汚れの目立たない素材を利用したい。
・外装建材の耐用年数が異なり、状況が異なる為に全体的なマニュアル的な資料(目安となる)
・建物所有者に対する外装維持保全の重要性の PR
　各部毎の一般的な経年劣化と放置した場合の費用の増大を PR するわかりやすいツール（資料）が必要
　維持保全を考慮した建物の設計
・外装クリーニングの方法とその効果を建主に解りやすく説明できるようにして欲しい。
・クリーニング費用とクリーニングによる経済的効果について研究してほしい。
・クリーニングについての建主の「常識」を確立しないと無理ではないか

その他

・外装クリーニング会社の作業員の技術並びに知識の向上が必要である。
・このアンケート内容が分譲マンション対象でないためか、答えにくい個所が多い。マンションの場合は管理組合の決定により全て決まるため、修繕積立金とのかね合いでクリーニング等時期が決定される

外装クリーニングに関する情報の提供を求めるものと、外装クリーニングのマニュアル作りを求めるものに分けられる。情報提供に関しては、外装クリーニングとその効果をわかりやすく説明した資料や、各部位毎の経年劣化と放置した場合の費用内容を説明した資料、さらにはアルミニウムの耐久年数・アルミニウムスパンドレルの錆・汚れの除去方法・アルミニウムの腐食した場合のメンテナンス方法など具体的な技術情報が求められている。

また、マニュアル作りについては、部材毎・仕様環境別・地域別にクリーニングに関するマニュアルを作成すること、あるいはクリーニング会社の作業員向けマニュアルの作成などの他に、定期点検の法制化やクリーニング費用の無利子貸付け・ディーゼル車の排気ガス規制などが求められている。この他に、メンテンナンスフリーの素材や維持保全を考慮した建物の設計などの技術開発が求められている。

2-1　米国における空間単位の戸建てプレハブ住宅に関する研究

東京大学大学院建築学科

修士課程　　北村　禎夫

■研究の背景と目的

現在米国においては総住宅生産の25%以上がManufactured Home（又はMobile Home）（写真1）やModular Home（写真2）といった空間単位のプレファブ住宅で供給されている。一方戸建て住宅に限ればその割合は30%を超えている。日本においてプレファブ住宅メーカーは大きな市場を捉えているが、ユニット住宅（写真3）と呼ばれる空間単位のプレファブ住宅が総住宅生産に占める割合は3％に満たず、その普及率に日米で大きな隔たりがある。また、技術的にも米国のManufactured HomeやModular Homeと日本のユニット住宅とでは互いに異なる点が多い。そこで、本研究では以下の三点を研究の目的とした。

（1）日米間の空間単位のプレファブ住宅に関する相違点を明らかにする。

（2）米国において空間単位のプレファブ住宅が発展した成立過程を明らかにする。

（3）以上から（1）の現状に至った要因を整理する。

■研究方法

日米両国の関係団体（※注1）、米国製造業者、日本輸入住宅業者に対し現地にて聞き取り調査を行い、関連文献・資料を入手した。更に、両国製造業者に対しアンケート調査を行い、建築・住宅各業界誌（※注2）を内容検索した。

※注1　Manufactured Homeに対してManufactured Housing Institute

Modular Homeに対してNational Association of Home Builders

ユニット住宅に対して日本プレファブ協会を訪問

※注2　Architectural Forum・1930-1952

House and Home・1951-1971

■日米間の現状における相違点

(i)生産技術

日本のユニット住宅で鉄骨ラーメン構造による生産が80%以上であるのに対し、Manufactured HomeやModular Homeは木質枠組壁工法による生産が支配的である。また、それぞれの構法におけるユニットの標準的平面寸法を図1において比較したが、その大きさに日米間で6倍以上の隔たりがある。全建設工程の中で工場内作業の占める割合を表したのが図2である。これによると米国の両構法の方が日本のユニット住宅に比べて高い。

(ⅱ)供給形態

日米における空間単位のプレファブ住宅の供給形態を図式化したものが図3である。日本において系統だつた供給形態を有するプレファブメーカーを消費者が選択するのに対し、米国においては日本の様な系統的な供給形態ではなく、住宅供給は材料供給業者、製造業者、ディラー、消費者の四つの段階に分かれ、それぞれが上位段階の業者を選択する。それゆえ、互いの独立性が強い。

(ⅲ)住産業における位置づけ

米国において Modular Home は日本のユニット住宅と同じように一般の住宅市場に向けて供給されるが、Manufactured Home は所得の少なく、世帯構成人数の少ない新婚夫婦や退職者、高齢者という特殊な市場に供給され、通常 Manufactured Home Park 呼ばれるコミュニティに建設される。

■構法の変遷

日米における空間単位のプレファブ住宅構法の変遷を体系化したのが図4である。

米国の Modular Home において、図中の①から⑥の様に住宅を幾つかの工場生産ユニットに分割することを前提とし、有効な分割手法の模索を試み、1950年代、1960年代において多様な展開を見せてきた。対して、Manufactured Home において新構法の開発は、図中のタイプ⑦から⑩の様に単体の工場生産ユニットに対して輸送後に居住空間を拡張する事を目的とし、1940年代、1950年代を通じて多様な手法が模索してきた。両者はその普及の段階において互いに影響し合った。結果、現在では図中のタイプ①、⑤の様に切り妻屋根の棟沿いに住宅を二分したユニットを工場生産する明解な手法が両者の間で定着している。

日本において空間単位のプレファブ住宅の開発は1970年代に初めて本格的に試みられた。この時期、米国型の Manufactured Home や Modular Home の導入と、それに比較するとユニット寸法が格段に小さい日本型のユニット住宅の開発が試みられたが、現在ではこのユニット住宅のみが定着している。

■産業成立の歴史的経緯

(米国)

現在 Manufactured Home と正式名称をいい、一般に Mobile Home として親しまれている住宅工法の起源は文化的には19世紀の開拓時代の幌馬車にあり、産業的には1920年代に登場し、1930

年代、1940年代に巨大な産業に成長したTrailer産業にある。Trailerは当初、旅行用牽引車として普及するが、世界大恐慌により住宅難が社会的問題となると住居として利用されるようになる。このTrailer House(写真4)の普及は次の二つの段階に分かれる。

（1）第二次世界大戦中の軍用仮設住宅としての大量生産。

（2）戦後のダム建設を始めとする公共建設増大期に、移動建設労働者のための住宅として普及。

しかし、1950年代に朝鮮戦争が終結し、かつ公共建設需要が減少するとTrailer Houseの生産量は減少し始める。こういった市場の縮小受けTrailer 業界は住宅市場への進出を図る。これがMobile Homeの起源である。その後、Mobile Home産業は1960年代から1970年代の前半にかけて急激に生産量を伸ばす(図5)。その要因に以下の五つが挙げられる。

（1）1960年代の後半から1970年代の前半にかけて全住宅着工戸数が2倍近くに急増した。

（2）働く女性、離婚者、独身者、高齢者の増加により世帯構成人数の少ない世帯が増加した。

（3）都市部から田園地方への人口移動により、西部、南部において住宅需要が急増し建設職人が不足した(図6)。

（4）既に成長し、影響力を持っていた業界の圧力により交通法規の大幅な規制緩和を実現した。

（5）プレファブ住宅産業から登場したSectional Houseの影響によりDouble-wide Mobileが登場した。

このSectional Houseは現在のModular Homeの前身であり、1930年代のプレファブ住宅萌芽期の産物である。第二次世界大戦中に「分解可能住宅生産計画」で採用、大量生産され、1952年にもHousing and Home Finace Agency(HHFA)によって開発が試みられた。

しかし、1950年代までは軍関係の需要に対する生産が大半で民間市場へは殆ど供給されていなかった。Modular(Sectional) Home業界は1960年代から民間市場に進出し、1970年代前半までにかけてMobile Home産業と伴に躍進を遂げる。その要因は前述したMobile Home普及の(1)と(4)が共通にしており、更なる要因として以下の二つが挙げられる。

（1）法的に動産であったMobile Homeの製造業者の中に、中産階級の住宅市場に供給され、生産技術に類似するところの多いSectional Houseの市場に進出する業者が相次いだ。

（2）1960年代の後半に二階建てのModular Homeが開発され、共同建市場に進出した。

以上のようにMobile HomeとModular Homeは共に影響し合い発展した。とりわけModular Homeの普及において急成長するMobile Home産業が果たした役割は大きく、両者は技術的にも産業的にも接近するが、対象とする市場を異にしたため、Mobile Homeは南部、南東部、北西部と五大湖周辺で普及し、Modular Homeは北東部、大西洋沿い中部、中西部の北側で普及した。(図7、8)

1976年にMobile Homeのための連邦による建築規準HUD-codeが制定され、名称がManufactured Homeに変わると、更なる居住性の高さが要求され、結果、規準に満たないものはTrailer産業に分類され、Manufactured HomeとModular Homeの生産技術面の違いは一層無くなった。現在両者は対象とする市場、建築規準、標準的仕様の違いによってのみ区分される。

(日本)

日本においてユニット住宅に限らず、プレファブ産業全体において鉄骨を主体構造に用いたプレファブ住宅が大半を占めるている。その要因に1950年代後半のプレファブ住宅萌芽期における以下の背景が挙げられる。

(1) 朝鮮戦争による「特需景気」で日本の基幹産業の一つに成長した鉄鋼業が、「特需景気」が過ぎ去り新市場の開拓を模索し、1950年代の後半に数社が軽量形鋼を主体構造に用いたプレファブ住宅の生産を開始し、これが日本のプレファブ住宅の起源となった。

(2) 戦時中、軍需のために木材が乱伐されてしまっており、かつ空襲によって多くの住宅が焼失してしまったことへの反省から、不燃材料による木材に変わる構造材開発の必要性があった。

1970年代に空間単位のプレファブ住宅の開発・導入が試みられた社会的背景として、以下の二点が挙げられる。

(1) 1960年代後半にプレファブ住宅業界全体において推進された「多様化、高級化」の流れに対し、むしろ工業化された住宅の本来の利点を強調すべく工場生産化率の高い工法を開発する試みがなされた。

(2) パイロットハウス技術考案競技やハウス55といった国家プロジェクトによる影響。

空間単位のプレファブ住宅を扱う企業は最盛期には17社にも達するが、後発企業の多くは生産開始後オイルショックによる不況の影響を受け、量販体制を整える資金力を確保できず撤退を余儀なくされた。現在、ユニット住宅は僅か五社によって生産されており、中でも先行企業である一社が八割以上の生産量を占めている。

■結論

以上述べてきた各種要因に関して、その相関関係を図式化したものが図9、10である。一連の作業から米国において空間単位のプレファブ住宅が現状の様な日本と異なった発展を遂げた要因を市場の特性と歴史的経緯の違いという観点から以下にまとめる。

(1) 米国において空間単位のプレファブ住宅は、その成立過程において住宅産業のみでなくTraile産業をも背景に持ち、現在前者がModular Home 、後者がManufactured Homeとして市場

に定着している。両者は1950年代から1970年代前半における普及段階で互いに影響し合い多様な技術的展開を見せるが、技術面に関してModular Home 産業は現状に大きな影響を与えている。一方、Manufactured Home 産業は低所得で世帯構成人数の少ない世帯を対象としたManufactured Home Park コミュニティー(写真 5)という特殊な市場を確立し急激な普及を見せ、結果 Modular Home の普及にも大いに貢献した。

（2）米国において構造に木質枠組壁工法が支配的に用いられる要因は、成立過程におけるModular Homeの影響と、製造業者が市場に流通する広範囲の部品を各材料供給業者から購入する供給形態の特性による。

（3）この相互の独立性が高い供給形態では多大な設備投資や量販体制を確保するための更なる資金力を必要とせず、中小規模の製造業者でも採算をとることができた。

（4）大型ユニットを用いた工場生産化率の高い構法が可能となった背景にはManufactured Home産業が普及の過程で成し遂げた交通法規の規制緩和と設計の自由度が問題とならない Park 市場の特性がある。

（5）このPark市場の確立を可能にした背景には、Trailer産業から成長した産業の歴史的経緯と、中古住宅市場の流通が活発で個人の状況に応じた不動産の選択が可能である市場の特性があった。

以上のように、米国における空間単位のプレファブ住宅の現状は、日本とは異なる市場の特性と産業成立の歴史的経緯を背景とし、その相関関係から必然性を持って形成されてきたものである。それ故、米国型の空間単位のプレファブ住宅に関して、技術のみを日本に導入することは意義を持たず、その技術を形成してきた影響要因をも含め、導入を検討する必要があるが、その影響要因の多くは容易に変化し得るものでない社会的な要因によっている。しかし、米国において空間単位のプレファブ住宅が変化し続ける市場の要求に応じ、多様な発展を遂げてきたその歴史は、歴史の浅い日本の空間単位のプレファブ住宅においても、常に変化する市場の要求によって新たなる展開に導かれる可能性が潜在的に存在していることを示唆しており、今後は本研究とは逆説的に、想定され得る市場の変化に対し、有効となる技術的変化や供給形態の検討が課題となると思われる。

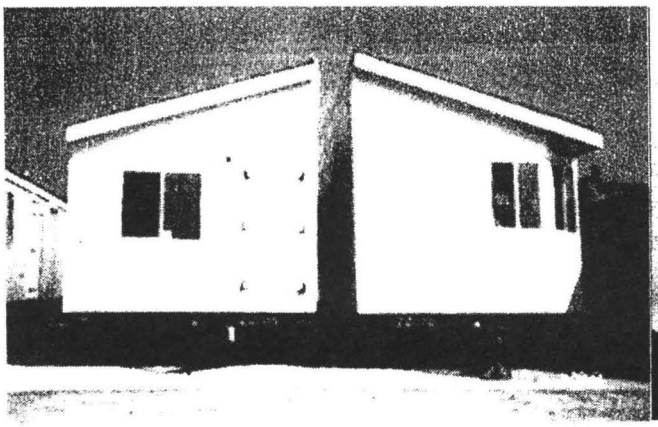


写真１　Manufactured Home

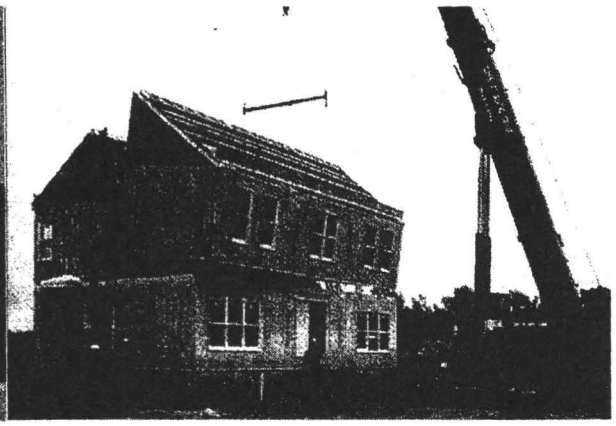


写真２　Modular Home

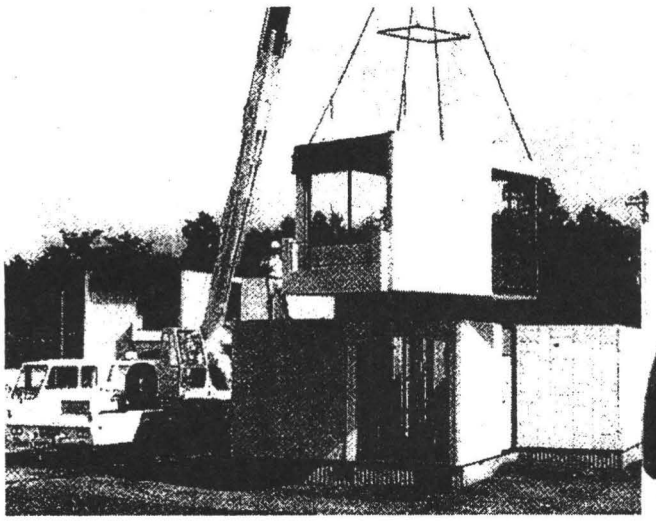


写真３　日本のユニット住宅

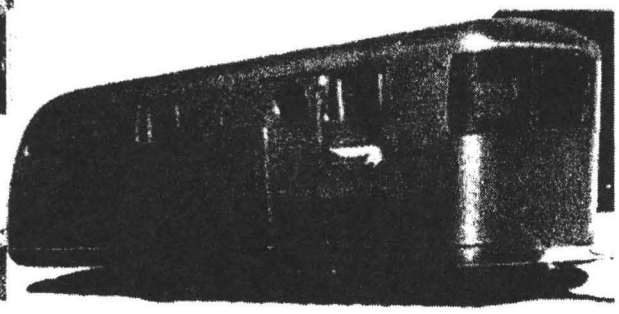


写真４　Trailer House

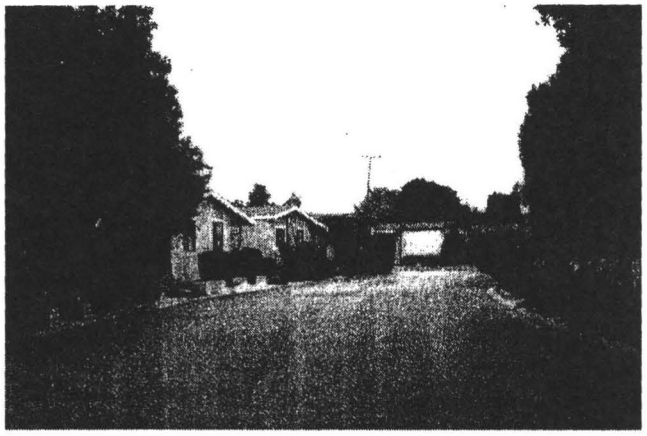


写真５　Manufactured Home Park

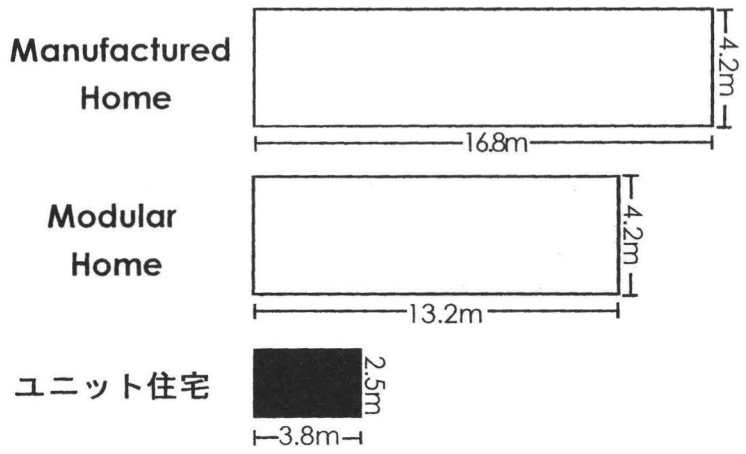


図１　ユニットの標準的平面寸法の比較

	ユニットの接続	屋根工事	外装仕上	配管	配電	内装仕上
日本	■	■		■		■
米国	■					

■ 現場作業　□ 連結部のみ現場施工

図２　現場作業内容の日米比較

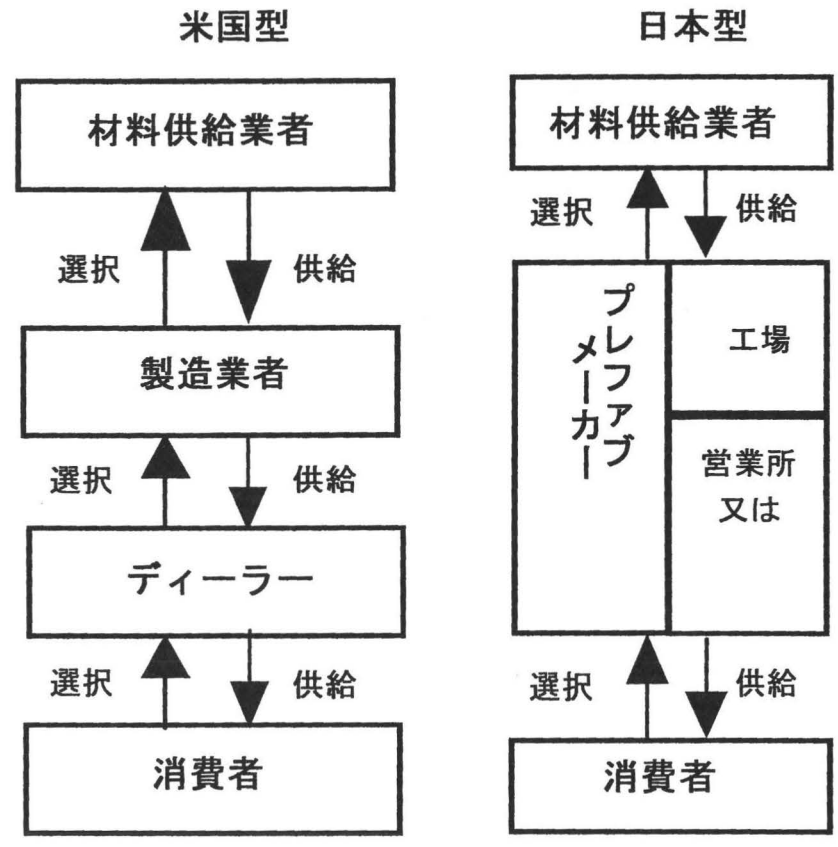


図３　供給形態の日米比較

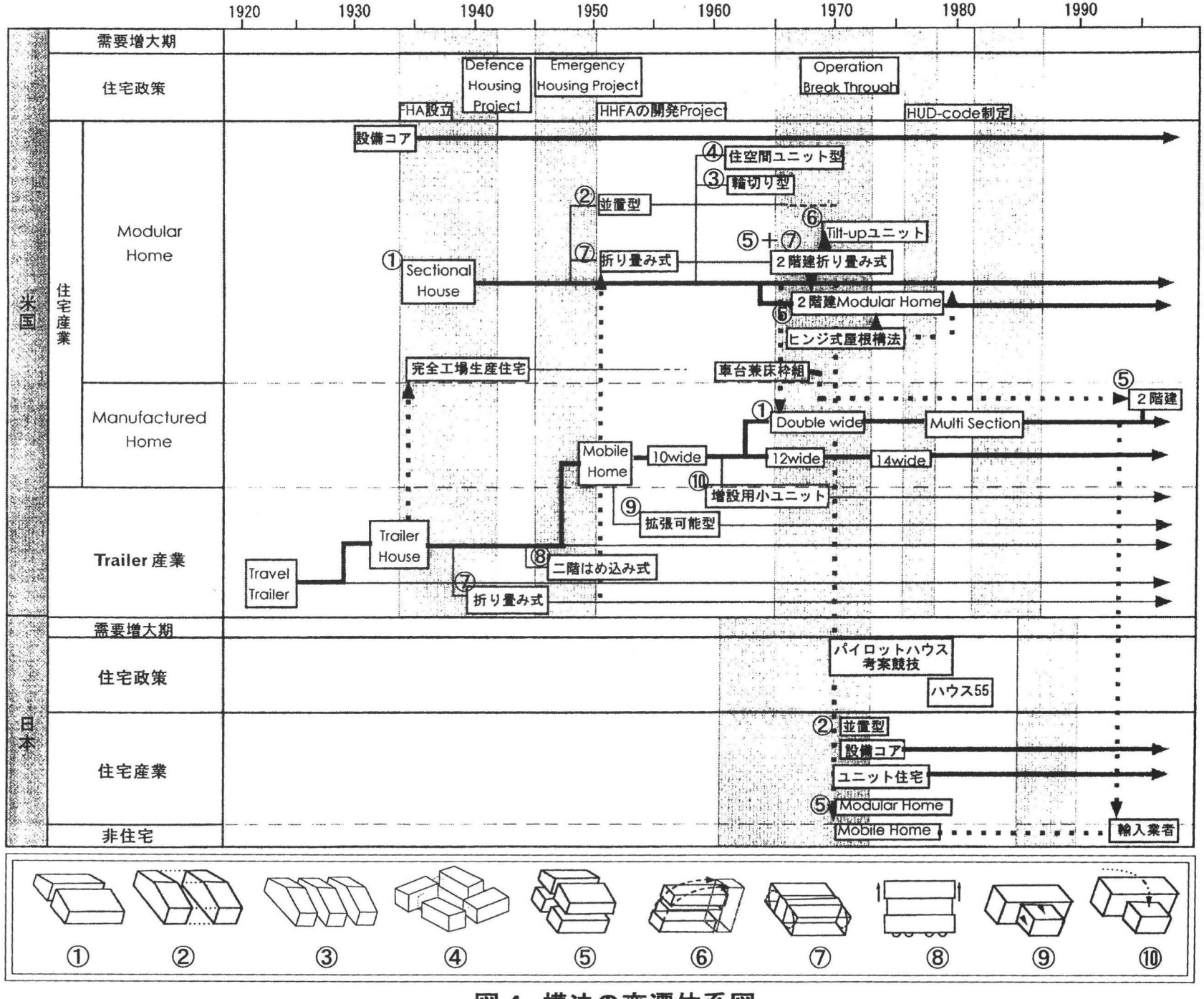

1920
1930
1940
1950
1960
1970
1980
1990
米国
需要増大期
住宅政策
Defence Housing Project
Emergency Housing Project
Operation Break Through
FHA設立
HHFAの開発Project
HUD-code制定
住宅産業
Modular Home
設備コア
④住空間ユニット型
③輪切り型
②並置型
⑥Tilt-upユニット
⑤＋⑦
⑦折り畳み式
2階建折り畳み式
①Sectional House
2階建Modular Home
⑤
ヒンジ式屋根構法
完全工場生産住宅
車台兼床枠組
⑤
2階建
Manufactured Home
①Double wide
Multi Section
Mobile Home
10wide
12wide
14wide
⑩増設用小ユニット
⑨拡張可能型
Trailer 産業
Trailer House
⑧二階はめ込み式
Travel Trailer
⑦折り畳み式
日本
需要増大期
住宅政策
パイロットハウス考案競技
ハウス55
住宅産業
②並置型
設備コア
ユニット住宅
⑤Modular Home
Mobile Home
非住宅
輸入業者
①
②
③
④
⑤
⑥
⑦
⑧
⑨
⑩

図４　構法の変遷体系図

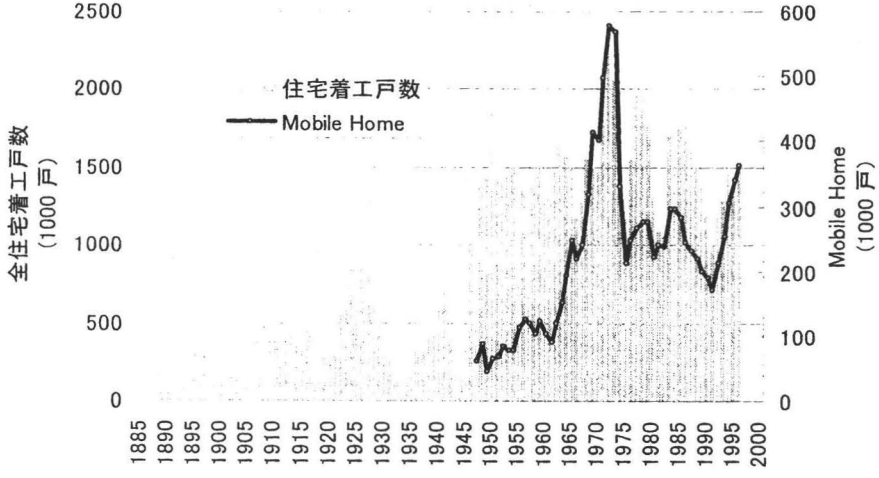


図５ 住宅着工戸数の推移

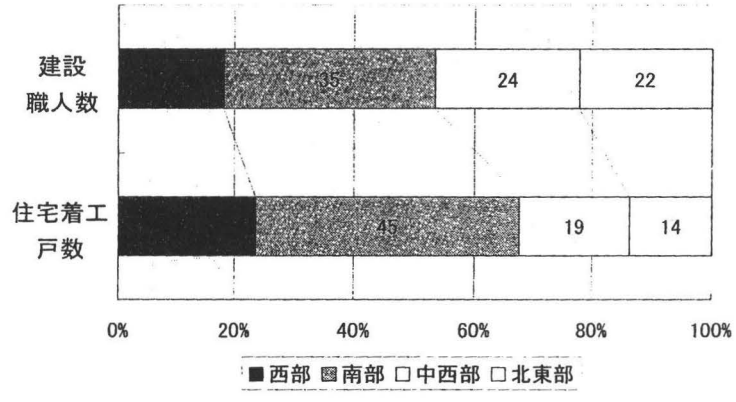


図６ 地域別住宅着工戸数と建設職人数の割合
(1972 年)

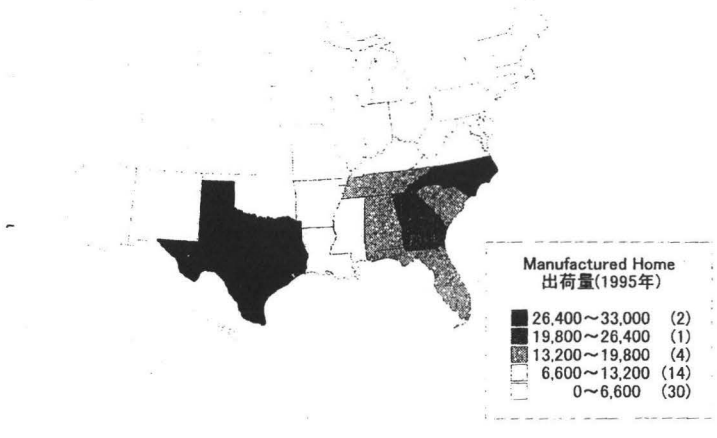


図７ Manufactured Home 普及地域

図８ Modular Home 普及地域

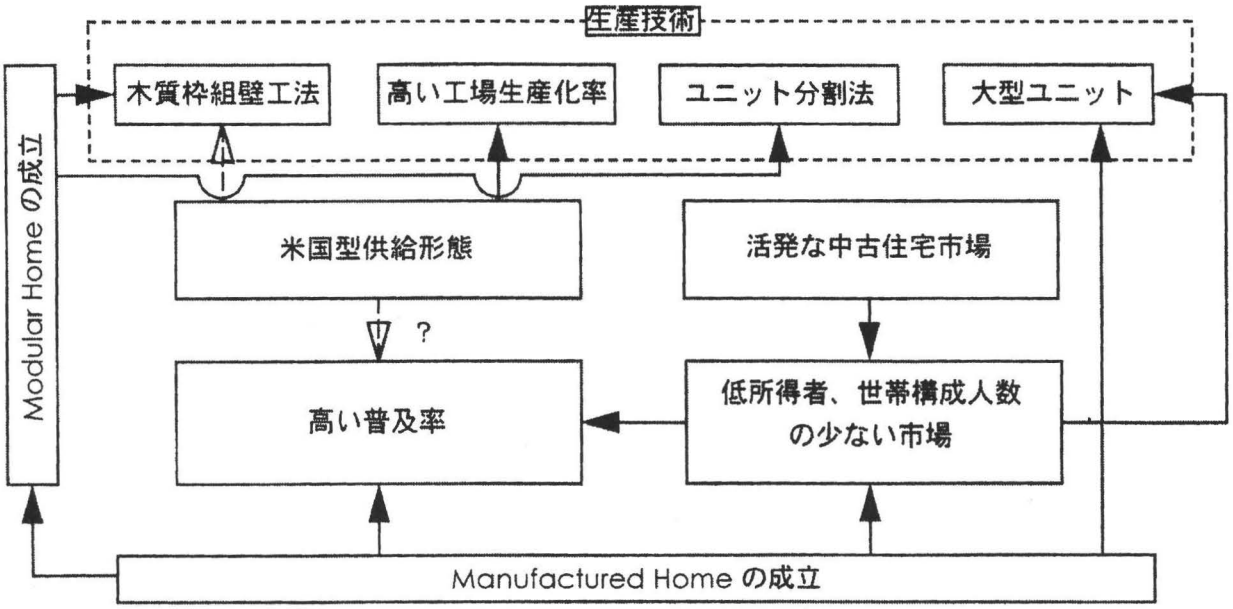


図９　各種要因の相関図（米国）

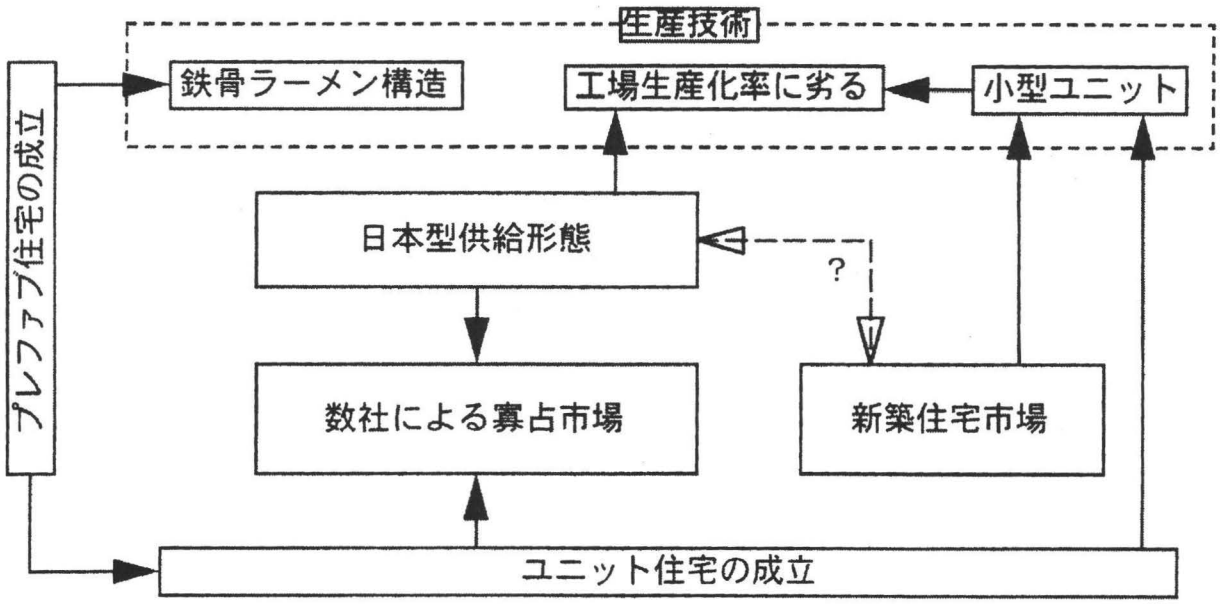


図１０　各種要因の相関図（日本）

3-1　環境デザインの新手法開発の為のワークショップ

芝浦工業大学

国際交流センター長　藤井　博巳

1. はじめに

芝浦工業大学大学院建設工学専攻において、ロシアのモスクワ建築大学とフランスのパリ・ベルヴィル建築大学との間で交換授業を実施し、新たな環境デザインを目指したワークショップをロシア（モスクワ）、日本（東京・中央区月島）で実施した。協定校の教員（専門家）と大学院生が参加し、それぞれの土地の歴史的環境との関わり合い、ライフスタイルと住宅との関係、都市（地域）開発の新たな動向といったテーマを互いに論じ合い、今日の環境デザインと建築のあり方について、学生のトレーニングを兼ねた実地の現場において、テーマの分析とプロジェクトの制作、発表会を行った。

2. ワークショップ実施日程および参加者

(1) 合同ワークショップの開催（ロシア・モスクワ）

参加大学	芝浦工業大学 モスクワ建築大学
実施日程	1999年9月1日～10月2日
参加教員	藤井 博巳 教授（芝浦工大） Aourov Valeri Vasilievich 教授（モスクワ建築大学）
参加学生	大学院生　11名（芝浦工大） 大学院生　7名（モスクワ建築大学）
テ ー マ	今回のワークショップの課題は、モスクワ市の歴史的地区に「情報文化センター」を計画・設計することであった。このセンターは世界各国の文化・芸術、さらには科学技術の情報を提供することによって、国際間の相互理解を深めていくことを目的としている。
ワークショップの内容	1) 設計課題である「情報文化センター」を参加する芝浦工業大学生とモスクワ建築大学生とのオープン・コンペ形式で行う。まず敷地の選定から始まり、次に周囲の景観分析、その地区に住む人達のライフ・スタイルの分析等を通じて、建てられる建物の機能・ボリューム、そしてコンセプト、プランニング等の提案を行った。 2) レクチャー ① Constructirism in Art (99.9.10) ② Constructirism in Architecturet (99.9.14) ③ Constructirism (99.9.24) 3) スタジオ見学 : major architectural Studio “ Mosprekt - 2 “ 4) 展覧会見学 : Urban Development Exhibition of Moscow 5) モスクワ市内見学：建築物・美術館、科学博物館 6) フィールド・トリップ：サンクトペテルブルグ視察

(2) 合同ワークショップの開催（日本・東京）

参加大学　芝浦工業大学
パリ・ベルヴィル建築大学

実施日程　2000年3月26日～4月22日

参加教員　藤井 博已 教授（芝浦工大）
赤堀　忍 助教授（　〃　）
Girard教授（パリ・ベルヴィル建築大学）

参加学生　大学院生　9名（芝浦工大）
大学院生　9名（パリ・ベルヴィル建築大学）

テ ー マ　日本の伝統的な路地空間が残っている東京の中央区・月島に集合住宅とそれに必要な都市施設を設計すること。この月島地区に古くから残る路地空間は単なる進入や通過のための通路ではない。
この路地をどのような空間として認識し把握するか。その結果得られたアイデアを、現存する路地の位置を変えることなく、このプロジェクトの中に取り入れ、新しい路地空間を提案すること。
さらにこの一画を魅力ある街にするために、商店、小展示場、広場、小集会場等、必要と考えられる施設を計画する。最後に研究成果を敷地選定地にて発表会実施。

ワークショップの内容
1) 教員、専門家による講義
2) 関西フィールド・トリップ
3) 鎌倉・逗子の視察
4) 都市計画、建築設計、プロジェクトの制作および月島での発表会実施。

(3) 合同ワークショップの開催（日本・東京）

参加大学　芝浦工業大学
バーサエ科大学（フィンランド・バーサ市）

実施日程　1999年9月22日～12月22日

参加教員　藤井 博已 教授（芝浦工大）

参加学生　大学院生　6名（芝浦工大）
大学院生　3名（バーサエ科大学）

テ ー マ　バーサエ科大学との交換授業等を通して、インターナショナルな視野に立った建築計画の方法を研究することを目的に、日本の歴史的都市・月島の中でいかに新しい建築を取り入れるかを学ぶ。

ワークショップの内容
1) 京都・関西地方、都内および近郊都市の建築見学
2) 設計とフィールド・ワーク
3) 日本語・文化についての講義
4) 制作発表と講評

3. 研究成果をめぐって

日欧間における都市環境や環境デザインに対する取り組みは大きく異なっている。しかも旧ソ連や東欧といった、これまであまり注目されてこなかった地域の問題がグローバルな角度から大きく浮かび上がり、従来の方法論では必ずしも十分ではなくなっている。そこで、今回のように日欧間の合同ワークショップをロシア・フランス・フィンランド・東京の学生が、それぞれの土地における固有の問題を掘り下げ、また個々の歴史的環境との関わり合い、都市開発といったテーマを論じ合い、新たな環境デザインの方法論の構築を目指し、実施された。

今回のワークショップでは、学生の経験や知見を増すのみでなく、異なった文化間を繋ぐ新たなパラダイムの発見に寄与するとともに、以下の事項に研究の成果が見られた。

(1) それぞれの地域に則した問題の発見とそのグローバルな切り口の発見。例えばモスクワとのワークショップを通して、歴史的環境および環境デザインに対する取り組みの差異を踏まえつつ、各々固有の環境問題に即した新たな都市建築モデルの在り方を探った。

(2) 個々の環境に即した独自の住空間モデルの策定とその建築的なディテールの開発。例えば、北欧における伝統的な木と石の構法の活用、パリにおける新たな都市設備の開発など。

(3) 日本、ロシア、フランス、フィンランドを繋ぐ国際的ネットワークの強化とデータベースの相互の変換。

(4) 大学院教育における新たな方法の確立と国際交流。

以上は、今回実施した合同ワークショップの内容とその研究成果の要約であるが、４ヶ国との共同教育研究所というフレームの中で相互理解を増していくことは、将来的に極めて必要度の高い課題である。この交換授業を今後もさらに継続していくことによって、多くの世界の専門家が他国の文化や都市に触れる機会がつくられ、それによって豊かな文化的相互理解が可能になると考えられる。

4. さいごに

芝浦工業大学では「人間主義の工学」を掲げ、教育・研究に力を注いでいるが国際交流の基本も「人間」に置いている。もちろん、語学は大事で語学研修も本学の学内外で多くのプログラムを提供しているが、研究留学の交流も上記の交換授業を含め、活発に行われている。

それらの中で、この交換授業はユニークなプログラムで街と一体となった実地授業は評判も高い。それぞれの現地での発表会には街の人々が大勢来て、英語を中心にフランス語、ロシア語の説明を熱心に聞き、質問もする。

本学ではこれからも「人間そして文化」に基礎を置いた国際交流を強力にすすめていきたい。

禁 無 断 転 載

第7回（平成10年度）研究助成成果報告書

2001年1月吉日

発　行　財団法人トステム建材産業振興財団
〒136-8535 東京都江東区大島2丁目1番1号
トステムショウルーム東京7階
電　話　03－5626－1008
FAX　03－5626－1033