HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北海道の住宅結露と地域性への研究
Author(s)	福島, 明; Fukushima, Akira
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	乙第5232号
Issue Date	1997-09-30
DOI	https://doi.org/10.11501/3130626
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/51456
Type	doctoral thesis
File Information	000000315816.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北海道の住宅結露と地域性への研究

1997年

福島　明

①

北海道の住宅結露と地域性への研究

1997年

福島　明

目　次

1 章　序 ……1

1.1 研究の目的 …… 2

1.2 研究の背景 …… 3

1.2.1 国内の結露研究の系譜 …… 3

1.2.2 北方圏諸国の結露をめぐる対応 …… 4

1.2.3 北海道における結露対応とその方向 …… 5

1.3 既往の研究 …… 7

1.4 各章の概要 …… 9

2 章　被害例から見た北海道の住宅結露史 ……11

2.1 建築構造の変化と結露被害 …… 12

2.2 雨漏り状結露時代 …… 16

2.2.1 雨漏り状結露の被害とその背景 …… 16

2.2.2 換気による結露対応と断熱技術の変容 …… 20

2.3 窓氷結結露時代 …… 23

2.3.1 窓氷結結露の被害とその背景 …… 23

2.3.2 2重窓の対応技術との影響 …… 25

2.4 激甚腐朽時代 …… 27

2.4.1 激甚腐朽結露の被害とその背景 …… 27

2.4.2 断熱・気密化が木造壁内の温湿度に及ぼす影響 …… 32

2.5.3 寒地住宅の断熱技術の確立と今後の課題 …… 58

2.5 かび蔓延時代 …… 37

2.5.1 かび蔓延露被の害例とその背景 …… 37

2.5.2 技術対応と根本的な解決への課題 …… 49

2.6 住宅結露と寒地の住宅への課題 …… 63

2.6.1 結露防止に向けた社会的取り組み …… 63

2.6.2 結露防止からの展望と課題 …… 65

3 章　集合住宅の結露防止へのアプローチ ……69

3.1 北海道の集合住宅をめぐる課題 …… 70

3.1.1 北海道の集合住宅の変遷と課題 …… 70

3.1.2 寒地の集合住宅の課題と本章の概要 …… 71

3.2 部分環境（押入内隅角部およびじゅうたん下等）の実態と
断熱手法の違いが及ぼす影響 …… 73

3.2.1 実態調査 …… 73

3.2.2 実測結果から …… 77

3.2.3 外断熱が部分環境に及ぼす影響 …… 86

3.3 熱回収換気システムを用いたRC集合住宅の換気方法の提案と結露防止 …… 92
3.3.1 実住宅における実験 …… 92
3.3.2 シミュレーションによる検討 …… 97
3.4 寒地の集合住宅の展望と課題 …… 102

4 章 床下の環境保持と自然給気空間としての利用 …… 105
－地域性への模索－

4.1 換気技術と結露対応 …… 106
4.1.1 伝統的床下利用と夏季の結露 …… 106
4.1.2 換気技術とエネルギー …… 106
4.1.3 パッシブ換気の概念 …… 106
4.1.4 本章の概要 …… 107
4.2 基礎断熱した床下の環境特性 …… 108
4.2.1 基礎断熱と床断熱住宅の床下環境の実態 …… 108
4.2.2 床下給気方式を採用した住宅の環境特性 …… 118
4.3 パッシブ換気の検討 …… 122
4.3.1 寒冷地のパッシブ換気 …… 122
4.3.2 実験住宅における基本特性の検討 …… 123
4.3.3 シミュレーションによる年間変動特性の検討 …… 135
4.3.4 間仕切り壁を利用した空気搬送方法の検討 …… 153
4.4 寒地の住宅の地域性への展望とパッシブ換気 …… 159

5 章 結 …… 161
5.1 各章のまとめ …… 162
5.2 寒地の集合住宅の方向 …… 163
5.3 地域性への課題 …… 165
5.4 社会的な取り組む方向 …… 166

APPENDIX
APPENDIX-A 気密測定法 …… A-1
APPENDIX-B 多数室の換気計算法 …… A-2
APPENDIX-C 定濃度法による換気量の測定法 …… A-3
APPENDIX-D 建物の風圧分布の測定法 …… A-4
APPENDIX-E 地盤を含めた換気･温度の非定常計算方法 …… A-5

SUMMERY

1章　序

1.1 研究の目的

北海道の住宅で、結露被害は深刻なクレームの原因となってきた。北海道の住まいは寒地の住宅としての伝統を持たず、本州から持ち込まれた温暖湿潤な気候条件の下で培われた住まいである。寒冷な気候条件への対応から、隙間の防止や断熱化が進められるとともに厳しさを増した結露被害は、温暖湿潤地域の建築常識や生活常識の中で解決を図ることが求められてきた。こうした対応は一応の成果が見られたものの、根本的な解決とはなりえず、断熱性能の飛躍的な向上が実現しつつある今日でも、多くの人々が結露と共存する生活を送っている。そして、暖房常識の育っていない本州では、結露を生じながら被害を防ぐ、あるいは軽減する努力が続けられているが、断熱・気密化の流れの中で、解決の道は見えていない。

寒冷の住宅結露に限って言えば、冬季の低温による乾燥した外界条件の下では、理論上全く結露を生じない事が可能になることは、多くの研究者や技術者の知るところである。しかし、物理的な理論の上では答えの出ている問題が、技術開発のみによって解決されるとは限らない。北海道の住宅結露は、実社会の中で現実に解決の道を見つけるために、個々の技術対応と伴に住宅に対する既存の建築常識や社会常識、居住者の住意識の大きな転換を必要としたのである。

北海道の住宅結露の解決にわずかな光が見えたのが、全屋暖房の普及である。集中暖房を快適性の面からのみとらえ、贅沢感やエネルギー消費量への不信感が拭えない中で、集中暖房設備を備えながら、部分間欠暖房で生活している住まいも少なくなかった。しかし、社会全体の暖房に対する意識は大きく変化してきており、戸建て住宅の結露のクレームは激減している。この結果、暖房を人間のためから建物のため、社会のため、エネルギーの有効利用のためとする社会常識が生まれつつある。こうした解決は技術開発という物づくりでは決して得られない解決で、住まい方や住宅に対する価値観の転換を伴うものとみることができる。そこには、結露による障害防止を超えた地域に根差した住宅作りと言う目標が垣間見える。

地球環境時代へ社会が大きな転換を必要とするとき、住宅を取り巻くこれからの課題の多くは、住宅結露と同様に技術だけでは解決できないものとなることが予想される。技術開発という物づくりに偏った従来の対応では、既存の社会常識と建築常識にとらわれてしまうことは避けられない。地球環境時代に向けた根幹にある考え方や生き方を伝えてゆく道程を探り、寒地の風土の住文化を育てる課題を見出す事を目標に据え、第一に北海道の住宅結露を技術史的に振り返りることに、この論文を位置づけたい。また、結露障害といった目先の課題の克服を目標にするのではなく、住まいづくりのあるべき姿を求めることが大切で、その結果として障害の無いことが常識となる事が、望ましい方向である。地域の社会常識や建築常識、住宅政策などの転換や見

直しを含めて、培われるべき寒地の住まいづくりを目指し、第二に寒地の住宅の地域性への模索と、それに伴う技術の方向を探ることを目標としたい。

1.2 研究の背景

1.2.1 国内の結露研究の系譜

伝統的な木造の住まいの中で耐久性に関わる湿気の問題は、もっぱら梅雨を含む高湿期の対応であった。亜熱帯モンスーン地域に匹敵する夏を持つ本州以南の地域は、高温多湿で雨が多く農業にとって恵まれた気候条件である。しかし、同時にこの豊潤な気候のもとで、腐朽菌もまた活発に活動する。腐朽を防ぐ工夫として、乾燥を保つことではなく、吸放湿と通風によって絶えず内外に開放し、外気条件に速やかに近づけることによって耐久性を保つ様々な工夫がみられる。土間や土壁、和障子など吸放湿性に優れた建築素材で構成することによって、著しい結露や腐朽被害を避け、藁葺き屋根や高床構造など、通風を多用することによって、外気への高い開放性を保ち、住居の耐久性を高めてきた。

このような建築伝統のもとで、定常的な防露設計の確立[1-1)]の後、我が国の結露研究が吸放湿を最も重要な課題としてとらえ、動的な非定常の中での解決を求める方向に向かったことは、歴史の必然といえる。前田等[1-2)]に始まるこうした研究の取り組みは、熱と湿気の移動に関する分野で、多くの著名な研究者を輩出し、国内のみならず世界的にも高い研究レベルに達していることは言を待たない。研究対象としても困難な境界条件の下で、熱･湿気･水分･空気の同時移動現象の解明とその応用は、物理的な研究対象としてもきわめて魅力的なものであったであろう。

温湿度に内外の明確な境を持たない状況で冬季の結露を扱えば、結露現象を許容しながら被害を防ぐという妥協的な対応は避けられず、わずかな境界条件の変化によって解決の異なる問題となる。池田[1-3)]は、高度な数値計算と様々な境界条件を背景にしながら、内装材の吸放湿性の向上による結露防止法に取り組んでいるが、これは夏の開放重視型の研究である。これに対して、北海道の結露研究は、寒冷地特有の冬季の結露被害から始まるもので、そのアプローチを大きく異にする。生命の危険に直面する寒地では、室内を外に開放することによる結露防止の対応は不可能である。同時に、吸放湿性や境界条件の対応では、障害の軽減は有り得ても決して根本的な解決をみない問題である。湿潤の風土の中での夏対応と、加温によって容易に乾燥した環境を得ることが可能な、寒冷冷涼な気候の中での対応は、決定的に異なる考え方に基づくもとのとなる。

寒冷地の冬季の結露に対して、荒谷[1-4)]は室温保持の必要性を指摘している。室温の保持がまずあるべきという明確な主張である。開放系と閉鎖系住居についての論評の中で、内外の温度の明確な境界を作った上で、境界の内側は内へ、外側は外へ徹底

した開放をすべきだとう閉鎖系の寒地の住居の考え方を述べている。あいまいな温度の空間を残さないという強い主張は、その後も住居の基本的な考え方として、建築環境研究の場に議論のテーマを提供している。北海道で定着しつつある閉鎖系住居の方向は、断熱化と気密化の方向と一致し、温度の低い外気が低湿であることから、空気の流れが結露の対応に大きな役割を果たすこととなった。寒冷地の住居における結露に関する研究の方向がそこに示されている。そしてこれはまた結露問題を超えて、寒冷地の住居のあり方にまで及ぶ生活文化の方向でもある。

1.2.2 北方圏諸国の結露をめぐる対応

北欧や、北米など北方圏諸国でも、オイルショックを契機に盛んに実施された断熱強化や断熱改修によって、内部結露が大きな研究課題となっている。その結果建物の性能として求められたのが、気密性能である。防湿の概念の中に、漏気防止の重要性を明確に指摘し、エネルギーの問題としてよりもむしろ、壁体内結露防止の問題として気密化に取り組んでいる。建物に気密性能の基準を初めて設けたのは、北欧4ヶ国であった。1970 年代初頭には、それらの国々では、断熱基準と組み合わせて、気密性能の基準を設けている。**表 1.2.1** は、ノルウエーの気密性能基準[1-5]である。この時、気密性能基準として共通して使われた単位が 50Pa 時換気回数である。一歩遅れて北米では、カナダで実施された R2000 プロジェクトで、飛躍的な断熱強化と北欧の基準を越える高い性能を打ち出している。

気密化の根拠はあくまでも内部結露の防止であった。温風暖房が広く普及しているカナダでは、暖房用の空気循環に外気導入を図る加圧型の暖房と換気を同時に行う方式であった。断熱層がなければ、乾燥を保つことも可能であったが、断熱施工は壁内での著しい結露被害をもたらしたのである。同時期日本でも、省エネルギー法が 1981 年に施行され、寒地住宅等建設促進法に 10 年遅れて初めて全国での断熱性の基準が作られている。この時、気密性に関する検討はなされたものの、その目的が省エネルギーからのみ議論され、断熱化に伴う内部結露の危険性については、ほとんど議論されていない。

表 1.2.1 ノルウエーの 1978 年当時の気密性能基準

建物種別	換気回数（50Pa 時） ach	相当隙間面積換算値 cm^2/m^2（n=1.5）
戸建て住宅	3.5	1.8
2 階建て以下のタウンハウス	2.5	1.3
3 階建て以上の集合住宅	1.5	0.8

更に日本の状況と決定的に異なるのが、暖房に対する考え方である。荒谷が指摘するように[1-6]、日本の暖房が欧米のそれとは異なり、手をかざして暖をとる採暖であったことである。専門家のみならず一般住民にも北欧では、暖房を居住者のための環境維持装置としてだけではなく、建物自体の耐久性維持保全装置として認識されている。北欧諸国のうち、最後まで部分暖房の習慣が残ったノルウエーは、非暖房室の熱的な分離と外への開放が習慣として確立している。就寝時、寝室の窓を少し開放しておく習慣が現在でも見られ、湿潤な気候条件のもとで、日本と同様外気に対する開放を求める精神風土があるのかもしれない。しかし、温度の境界を明確にし、閉鎖した上で、十分な開放を求める基本的な考え方は、他の北方圏諸国と全く同じである。

断熱外壁の構成について、通気層が必要不可欠なものとして、世界的に認識されている。しかし、オイルショック後の内部結露の対応として強く求められた北海道に対して、ノルウエーでは、外部に対する開放防水の役割がより重視されている。Oyvind. Aschehoug[1-7] は、ノルウエーの建築研究の結果作り上げてきた外壁システムが、古くからの伝統技術に準じていることを述べている。数百年以上前に建てられた木造建築物が残されている、日本と類似した状況のもとで、寒冷湿潤な気候風土に応じた独自の考え方を伝統の中から作り上げ、技術として急速に確立していったことは尊敬に値する。そうした急速な断熱・気密化技術の普及の背景には、大学や研究所を中心とした、研究開発のネットワークと建築に対するコンサルタントの存在が、大きく寄与していたことは明らかである。建築法規で定められる規定は総て性能規定であり、研究機関から得られる技術情報を、コンサルタントが実際の建築の仕様に応用する役割を担っている。日本では、行政窓口が確認申請業務の中で仕様規定から判断する仕組みとなっていることから、断熱・気密化技術など新しい技術の普及に際して、多くの混乱を経験することとなった。北海道で、日本全体をリードする断熱気密化の建築技術が確立し広く普及するためには、欧米とは異なる産・学・官による草の根的な社会対応が必要であった。

1.2.3 北海道における結露対応とその方向

(1) 技術と意識

建物に生じる最大の障害の一つであった結露の防止には、多くの研究者や技術者が取り組んできた。理論的な技術は、1951 年に出版された建築計画原論（渡辺要偏）[1-8] の中で既に詳細な記述が展開されている。表面結露や内部結露に関して、定常的な防露設計法が示され、各種の主要建築材料の物性値が測定されたのもこのころである。当時から既に 40 年以上を経過し、その間にも多くの書籍出版や研究発表がなされている。しかし、結露防止技術が確立したかに見えるこの時代以降、断熱化が急速に進展しながら依然として結露被害が続発する。この時期に結露の研究に携わった者として、膨大な結露被害に関する相談を受けながら、無力感を禁じ得なかったことも事実である。本来、あるべき姿を伝えるはずであったが、繰り返し起こる結露障害に、

技術の波及は不可能に思えた。求められたのは、根本的な解決ではなく、既に障害のある建物で必要な技術対応であった。新築に対して求められるのも、固定した建築常識の基で必要な技術対応であり、居住者への生活規制を伴わずには解決の道が見いだせないものであった。

北海道の住宅には、本州で培われた伝統が色濃く残されている。これらの全く異なる社会常識の中で、欧米にまねた住宅造りを進めることには無理がある。技術を確立した特定の建築業者は、すべてをゼロクリアーしてスタートすることを求め、追随しない建築業者を排除する方向に片寄りがちである。しかし、技術の基本は一つでも、その対応は千差万別である。普及が必要なのは、技術そのものではなく、その根本にある考え方である。建設された住宅の約50%が20年以内に建て替えられるという異常な状況の中で、技術者の持っている伝統や技術を基本にしながら、建築費の配分や居住者への啓蒙活動を含めた住宅自体に対する意識変化を促す対応が求められる。

高い水準の断熱気密化、温湿度の管理によって、結露障害の根絶が可能であるという基本的な考え方にたいして、現状の建設費や技術ではそれが実現不可能である、との建築側の建築常識と意識のずれを解消することは容易ではない。また、費用を出す側の一般居住者の意識にも、暖房が、結露防止をはじめとする、寒冷条件に起因する住宅の障害に対する対応の、最も基本的な要件であるという考え方はほとんどない。こうした状況を変化させてゆくには、社会全体への意識変化への働きかけが重要である。しかし、建築側にとって、既存の技術で建設してきて、大きな障害や不満がなければ、費用の伴う技術変革や新しい設備を導入をする動機はなく、ましてや意識転換に働きかける社会活動も乏しい。住宅は他の耐久消費財とは異なり、一生に一度しか購入しない場合が多く、一般への普及活動にも難しさがある。もともと、建築常識や意識は一方的な情報伝達だけでは容易に変化しない。欧米のように住宅建設にまでもコンサルタントが介在し、社会全体の利益誘導に活躍する社会と異なり、当事者だけで建設に携わる社会では、社会常識の変化は容易に実現できない。おそらく、行政や大学、建築関連団体や民間の研究会などが熱心な取り組みを続けてゆくことが一つの道で、北海道で住宅の障害防止や性能の向上に、こうしたダイナミックな社会的な動きが見られたことは、特筆に値する。あらゆる場面で行われた一般市民への働きかけは、住宅建築業界を動かし、社会を動かすこととなっていった。結露障害に対して見られた社会的な対応は、意識の転換を必要とする地球環境時代の課題の対応に、貴重な知見を与えるものと考えられる。

(2) 常識の変革－回答の無い問題への挑戦－

traditionalと英訳される北海道の在来木造は、伝統的な建築工法なのであろうか。柱と梁によって支えられた木構造自体は、伝統を受け継ぐものであろうが、壁体を構成する工法や材料は、伝統を残すものなど微塵も無い工法といっていよい。現在の工法を伝統とする常識は誤りである。荒谷は、形の継承にこだわる日本の伝統に対する姿勢を、本来の意味での伝統の継承の一部でしかないことを指摘している[1-9)]。ノル

ウエーの研究者が、作り上げた外壁構成を、伝統に支えられた技術として誇らしげに示すのは、これが地域の気候風土に対応する、耐久性を損なわない木材の利用法や外への開放、重ねによる防水技術などを駆使した結果だからである。防火への取り組みが、木造住宅のモルタル外装の普及に見られる、外壁外側での密閉化へ大きな変化をもたらした日本に対して、伝統的な外装技術を守りながら、開口部の位置や消火に対する社会システムなど、材料に頼らない防火の方向を探ってきたノルウエーの対応を知れば、伝統の継承の何たるかを理解できるように思う。防火性に優れた材料を使うことは大切であるが、建物の耐久性を高める上で、その使い方には改善の余地は少ないくないのではないだろうか。建築という総合的な応用科学分野にあって、そこには多様な対応がある。既存の建築常識や社会常識では、不可能とおもえることであっても、地域性を創造する事に目標を定めて様々な道を模索することが必要である。

十数年の研究活動の中で断熱技術に対しての意見のほとんどは、断熱技術の研究に対する終了宣言である。断熱基準が作られ、その時代の技術が確立されれば断熱技術に対する取り組みは終わるのであろうか。十数年前、200 mmを越える北欧の断熱を見て、驚嘆の声を上げたが、北海道の断熱がそのレベルに達した現在、再び断熱の研究は終わったとの主張が聞かれる。その間、北欧の状況を見れば、断熱への取り組みが更に前進していることを目の当たりにする。屋根に500 mmの断熱をみて、これほど活発な活動をしてきたのかと、日本の状況を振返るとき、日本の常識のあやまりに気づく。今、建築環境に関る研究の方向は、間違いなく地球環境時代へ対応である。将来を見通し、絶えず必要と考えられる対応を常識や意識の転換も含めて、反省･吟味し社会に訴えることが、何より求められている。

自らの世代の中で、阪神大震災という歴史的な災害を目の当たりにした。多くの倒壊した木造家屋の土台や柱は、腐朽や白蟻の被害を受けていたことが指摘されている。結露防止は、社会の資産を守り次世代への準備をするための基本技術である。結露防止の技術を超え、培われてきた技術を生かし、地域性をもとめること、技術では解決し得ない、解答の無い問題へ挑戦することが本論文の取り組む方向である。

1.3 既往の研究

寒地の住宅結露が研究の主題であるが、研究の方向は、結露史から始まり、断熱や換気、暖房など寒地の住宅にとって基本的な分野からのアプローチである。寒地の結露が技術の問題ではなく、異なる伝統を受け継ぐ建築常識の元で起こったと考える以上、参考とすべきあるいは研究の背景を為すと思われる既往の研究も、広範にならざるをえない。前項では、国内外における結露防止対応について触れたが、ここでは、本論と関係が深いと思われる既往の研究を、以下の章項目にしたがって、触れてみたい。

［北海道の結露史研究に関して］

結露史の研究自体が、既往の結露に関する研究の考察を多数含んでいる。また、建築の技術対応を社会的な背景や技術者の意識的な側面から考察しているが、統計を駆使したり史実の綿密な分析をしているわけではない。実証的な個々の結露被害の研究や調査報告の考察から、北海道の住宅結露をめぐる課題を見出している。

［集合住宅へのアプローチに関して］

集合住宅の結露防止の研究は、事例報告を除いて決して多くない。土屋は、換気を含めた温湿度の管理によって、結露防止の対応を図る研究[1-10]を行なっている。非定常の熱･湿気･空気移動のシミュレーションを駆使し、防露設計法を示している。基本的な非定常温湿度計算法の考え方は、前田の研究[1-2]にさかのぼるが、断熱した集合住宅の結露防止に実務的に取り組んだ点で意義深い。しかし、これも、結露の発生を許容しながら、障害を防ぐ暖地の対応である。寒地の地域性を育てる方向での提案や、考え方を見出す事はできない。

本論文では、高度な理論解析に取り組む事はしていない。寒地の集合住宅の温湿度環境を丹念に調査し、理論的には教科書レベルの検討から、集合住宅の根本的な結露防止へ取組んでいる。

［地域性への模索に関して］

本論文で取り組むのは、結露防止を超えて床下空間の積極的な利用を図る、寒地の特性を生かした換気の対応である。床下空間の湿気性状については、宮田等の実測とシミュレーションによる研究[1-12]が、ほとんど唯一のまとまった研究である。地盤防湿による影響や地盤の特性による影響を理論的に解析しており興味深いが、断熱住宅の床下に関する取り組みは見られない。床下の積極的な利用と言う点からいえば、荒谷[1-12]が、基礎断熱した住宅の温度環境の実測とシミュレーションから、床下空間の対応が木造住宅の耐久性を左右する事を示し、床下の乾燥保持に基礎断熱が有効な事を、初めて示している。本論文はその考え方をもとに、自然換気の工夫を加え、床下空間の積極的な利用に取り組んだものである。

一方、住宅の自然換気には、古くから膨大な研究がなされ、設計資料としてまとめられているものも多い[1-13]。赤林等[1-14]は、風洞実験を駆使して、住宅の自然換気量の推定を行い、冬季の熱負荷に及ぼす影響や、夏期の通風環境の改善など地域性を反映した研究に、興味深い取り組みを見せている。本論文の取り組みも、寒地の地域性を見出す事を目標にしているが、床下空間の積極的な利用を考えの基本にしている点で、他の住宅換気の研究とは異なる。その中で、寒地での自然換気の可能性を示したShaw[1-15]の研究は、多様な自然換気の方式について換気の特性をまとめている。床下空間を利用した、寒地の住宅の計画的な自然換気の在り方を考える上で、多くの示唆を受けた。

以上、本論文の背景を為すと思われる既往の研究について概観した。本論文が住宅結露を研究の主題に据えながら、結露防止に対する湿気の理論解析などの建築物理的な対応を目的としていない。北海道の住宅結露を取り巻く課題を見出し、技術的な対

応を通じて寒地の住宅作りの方向を探ることに主眼を置いた研究である。個々の測定や考察、理論解析に際しては、多くの研究を参照したが、本論文の研究の方向に対する既往の研究は、思いの他少ないように思う。理論解析や実験的な取り組みは、既往の研究に優るとは思えないが、本論文が寒地の住宅に地域性を引き出す方向を見出す上で、新たな進歩を提示する研究と考える。

1.4 各章の概要

ここで、各章の概要をまとめておく。

2章では、1960年代に始まった急速な断熱化の流れの中で、我々が経験した様々な結露障害を振返り、その背景を述べている。雨漏り状に結露水が室内に流下した被害にはじまる激しい結露が、窓の氷結結露、激症的な腐朽被害に及ぶ結露被害や、人体への健康被害が話題になるほどのかび被害へと展開してゆく過程は、根本的な対応ではなく妥協的な技術対応の結果であったことを明らかにしている。この間、北海道の戸建て住宅が、全室暖房と高い断熱性気密性を持つ閉鎖型住居へ大きく転換してきた背景を、研究者や建築技術者の社会への働きかけなどを通して、社会的な側面から考察している。結露被害に取り組む過程で北海道で見られた社会的活動が、技術だけでは乗り越えられない地球環境時代の課題へ取り組む方向の一つである事を述べている。

3章では、寒地の集合住宅の結露防止に取り組んだ。住宅結露史の中から示された課題の一つが集合住宅の結露である。異なる建築常識のもとで、生じる結露は、妥協的な対応では根本的な解決につながらない。断熱補強や生活対応など結露への対症療法によって、著しい結露被害の見られない住居においても、じゅうたん下や押入れの隅など局所的な環境悪化が生じる事を、実測により明らかにしている。また、外断熱が室内の環境よりむしろ、これらの部分環境を健全に保持する上で、圧倒的な効果を持つ事を示した。

寒地の集合住宅の課題が、暖地の建築常識のもとで計画されている事にあると考え、断熱の不足と換気の不備を指摘した。また、寒地で求められる対応の一つとして、室内の環境を損なう事なく、結露の全く生じない換気を可能とする技術を提案し、実験とシミュレーションにより、部分環境を始めとする、室内環境の保持に及ぼす効果を示した。

4章では、日本の伝統的な緩衝空間である床下空間の積極的利用に取り組んだ。断熱住宅に残る課題が、床下空間であり、この空間の積極的な利用が、寒地の住宅の地域性への手掛かりである事を述べている。基礎断熱住宅と床断熱住宅の長期的な温湿度環境の実測から、基礎断熱によって床下を室内の一部とし、接地型の住宅を目指す事が結露の危険性を払拭し、寒地の住宅に高い耐久性をもたらす事を示した。

基礎断熱した床下空間の積極的な利用を目指して、床下空間を空気の取入口とした、自然換気の工夫を提案した。床下の自然給気が室内の温度環境へ及ぼす影響を実験的に検討し、寒地の住宅の理想的な給気予熱手法である事を示した。また、地域条件や建物の条件の違いがもたらす換気量の変動特性の解明に取り組み、気密性を高めた住宅では著しい換気量の過不足を避け、良好な換気を保ち得る事を示した。

住居の空気環境にとって、換気量は多いほど望ましい。暖房負荷を増大させない工夫のもとで、換気量をできるだけ多く保つ事が寒地の住宅換気の目標で、換気量が時間や季節によって変動する事は、欠点ではあるが致命的な欠点ではない。この点で、自然換気の工夫が、寒地の住宅に地域性を創造する手掛かりになることを示した。

5章は、本論文の総括と今後の課題についてまとめている。

引用文献

1-1) 前田敏夫：結露防止計画(1), (2), (3) ，日本建築学会論文報告集第 38,40 号，1957.8,12

1-2) 前田敏夫,松本衛：室内壁表面の吸放湿を考えた場合の室内湿度の計算，日本建築学会論文報告集第 63 号，1959.10

1-3) 池田哲郎 他：吸放湿材貼付時の実大 1 戸建住宅内における室内温湿度予測，日本建築学会論文報告集，第 464 号，pp21～29，1994.10

1-4) 荒谷登：断熱における結露対策，空気調和・衛生工学，第 52 巻 第 1 号，1978.1

1-5) Norwegian Building Standard ，1988

1-6) 採暖と暖房，寒地系住宅の熱環境計画 1：荒谷登著，(財)北海道建築指導センター，1976.2

1-7) Oyvind Ashechehoug：Norwegian House Building Technology，SINTEFF Report，1986

1-8) 建築計画原論 1 ：渡部 要編，pp284-293，森北出版，1951.6

1-9) 新建築学体系 8，自然環境，風土論：荒谷登著，障国社

1-10) 土屋喬雄：住宅の結露防止性能評価法（その 1～5），日本建築学会大会学術講演梗概集，1982～87

1-11) 宮田靖久，松本　衛：住宅の小屋裏と床下空間の熱・湿気性状，日本建築学会計画系論文集，第 457 号，pp.19～28，1994.3

1-12) 荒谷　登「住居の熱環境計画への研究」博士論文，1973.9

1-13) 建築換気設計：石原正雄著，朝倉書店，1969

1-14) 赤林伸一 他：気候特性に対応した住宅の断熱・気密性能に関する検討－住宅の換気通風に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文集，第 464 号，pp.47～56，1994.10

1-15) Shaw and A. Kim: Performance of　Passive Ventilation Systems in a Two-story house5th AIC Conference, October 1 -4 1984, Reno, Nevada, USA

2章　被害例から見た北海道の住宅結露史

北海道の住宅結露を歴史的に考察するのは、半世紀も前に寒地の結露に対する理論的な考え方が示されながら、寒地への技術対応と伴に著しい住宅結露を見た原因が、暖地で培われた住宅に対する考え方を残したまま、時代の要請に従って、寒冷な気候条件への対応が行なわれたため、と考えるからである。北海道の住宅結露の現象と技術対応は、住宅に対する社会全体の見方や考え方を強く反映していると考えられる。暖地の考え方に基づいて寒冷地に建てられた住宅で生じる障害は、寒地の住宅に対する建築常識や社会常識の確立を伴わなければ解決し得ない課題である。住宅結露史の考察から、そうした技術的あるいは社会的な背景を明らかにする事が、北海道の住宅が寒地の住宅へと転換するための課題を見出し、その方向を探る上で不可欠な研究対応だと考える。

考察の範囲は、徹底的な外への開放によって住宅の維持を図ってきた開放系の住宅に、寒地への対応が始まった1960年代以降の断熱化の普及からである。この間を、住宅結露の症状から、筆者の考えで、次の4つに分類した。これまで使われてきた表面結露や内部結露といった現象的な分類では、住宅結露を取り巻く建築常識や社会背景、居住者の生活が見えてこないと考えるからである。本論文の結露史へのアプローチは、史実を正確に捉える事よりも、住宅結露とその対応を通じて、住宅に対する考え方や社会背景を探ることに力点を置いている。

雨漏り状結露時代：断熱の施工と伴に生じた、室内への漏水を伴う大量結露の時代
窓氷結結露時代　：アルミサッシュに多量の結露を生じ、窓が氷結した時代
激甚腐朽時代　　：断熱層の内部結露により、著しい腐朽を見た時代
かび蔓延時代　　：室内の湿度が上昇し、室内全体がかびに覆われる結露の時代

本章では、まず、建築技術の変化と結露障害の変遷について概観し、北海道の住宅結露の全体像を捉える努力をした。続いて、上記の分類にしたがって、それぞれの結露時代の結露障害の詳細と技術対応や社会背景について考察し、寒地の住宅への課題についてまとめた。

2.1 建築構造の変化と結露被害

寒冷な気候条件の下では、寒さと並んで結露被害をどう防ぐかに大きな関心が払われてきた。**図 2.1.1** は、寒地住宅建設等促進法（通称寒住法：1953 年施行）がつくられ、北海道の住宅に寒冷な気候条件への配慮が公に求められるようになってから、現在までの住宅建設に係わる主な出来事を、結露被害の変遷と共にまとめたものである。この間、時代と共に住宅結露も様々な姿を見せながら変化してきた。結露現象自体は、空気中の水分が温度の低下によって水に変わる物理現象であるが、その姿は様々である。そうした結露がその時代の社会背景や建築常識、住まい手の常識とどう係わり、どのような対処がなされてきたかについて振り返る。

寒住法は、寒冷地に社会的資産となるべき住宅の建設を促進するため、住宅金融公庫の融資条件としてつくられた北海道にのみ適用される法律である。防火と防寒が主題であり、当初は、火山灰コンクリートブロック造住宅の建設が推奨され、地場資源・地場活用という地域での住宅建設の、基本的な考え方が守られていた。寒さが「もののあはれ」ではなく、人命を脅かす対象となる厳しい気候条件の中にあって、寒さの

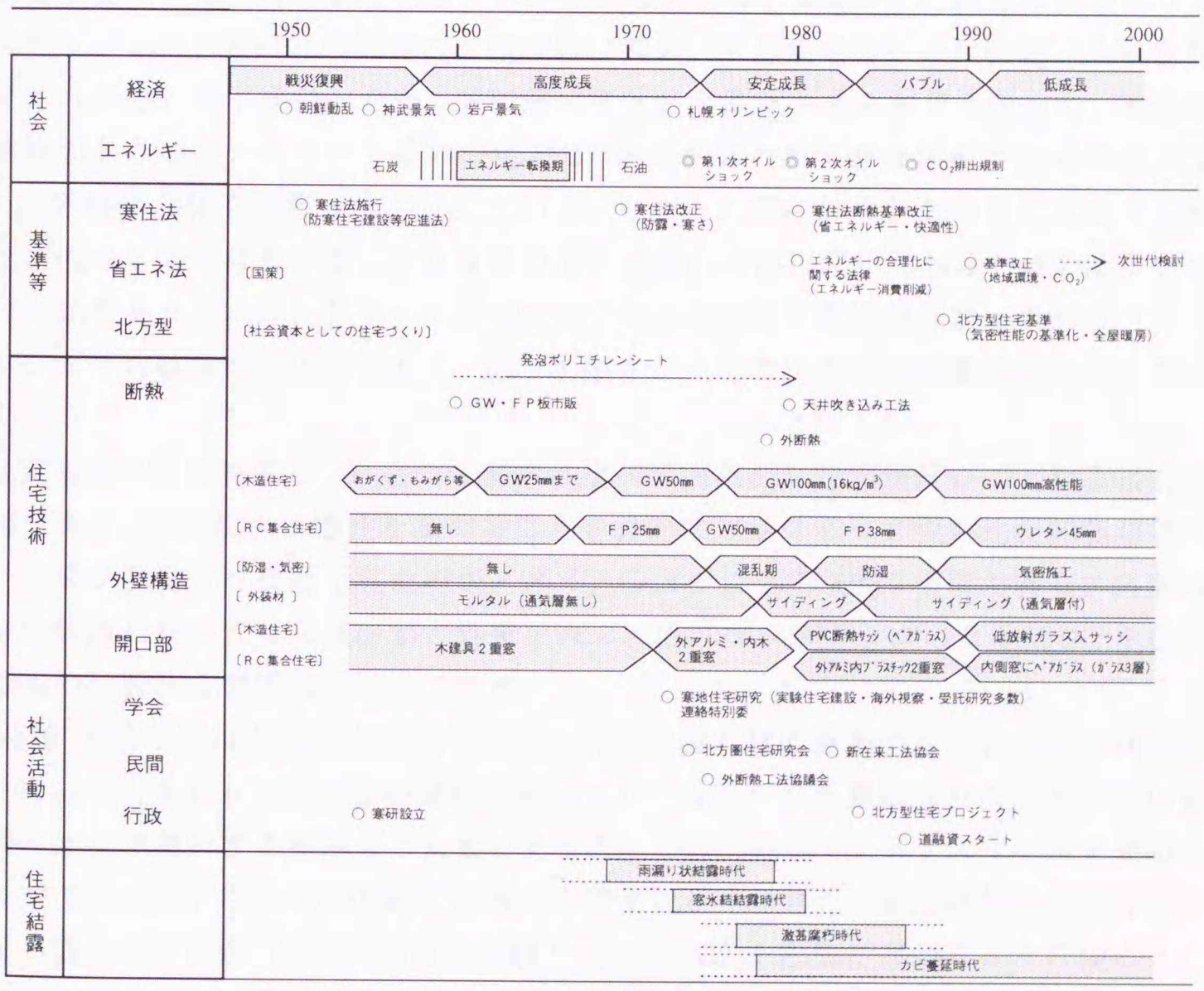


図 2.1.1 北海道の住宅技術と社会環境の変遷

克服を目指して日本で初めて断熱基準が加えられ、同時に木造住宅にも広く金融公庫の融資が適用されるようになったのが、1970 年の同法の改訂である。その間に建設された大量の公社型ブロック住宅で、断熱の不備によって生じた多くの結露被害が、ブロック造のもつ特性と理解されたことは不幸であった。

断熱の本格的な普及が始まって生じた結露は、多くの人が雨漏りと誤解するような激しいものであった。寒さへの対処から、外壁の断熱化や隙間の防止が行われたことにより、小屋裏や床下、外壁の外側など断熱層の外側の温度が低下し、それまで1日単位で片づいていた結露が、長期わたる蓄積を生じたのである。一日の結露量は僅かでも、厳冬期1カ月にわたって結霜として蓄積されれば、それが解ける時にはどんな被害になるかは想像に難くない。換気や断熱改修など様々な対応がとられたが、この様な結露が姿を消すまでには、10 年を要した。当初ブロック造やコンクリート造の公営住宅に多発したこうした結露被害は、断熱性の向上とともに木造住宅でも多く見られるようになり、天井面での漏水と誤まるような対応が相次いだ。こうした激しい内部結露は木造住宅の激甚的な結露被害を引き起こす原因になってゆく。

コンクリート系住宅では、雨漏り状結露の反省から、内断熱の断熱材が繊維系からプラスチック系に変わり、天井面での防湿気密性の強化が図られるようになると、内部結露に変わって大量結露を生じたのが開口部である。1960 年代後半に登場したアルミサッシュは、開口部の気密性を飛躍的に高め、木造住宅の秋の風物史であった窓のビニール張りを不要にしたが、開口部の換気量を激減させる結果となった。構造部の隙間の少ないコンクリート系の住宅では、住宅全体の換気量を激減させる結果となり、結露被害全体を深刻なものにしている。もちろん現在の水準から見れば決して高い気密性のものではないが、それまでの木引き違いの開口部に比べるれば、はるかに高い性能であった。コンクリート系の住宅では、この時2重窓の外窓に当たるアルミサッシュへの結露の集中は著しく、窓の氷割りが主婦の日課になる住宅も少なくなかった。

2重窓の外窓の結露は、外窓の気密性に比べて内窓の気密性が低いことが直接的な原因である。室内窓の気密性を高めることを目的にプラスチック製の比較的気密性の高い内窓が開発され普及を見たのが、オイルショック後の 1980 年頃である。外窓の結露は解消しないまでも減少し、外窓アルミ、内窓プラスチックの2重窓は、RC 集合住宅の一般的な窓構造となってゆく。

1970 年代後半になって木造住宅では、構造軸組み材の激甚的な腐朽が社会問題となった。それまでも土台や柱の腐朽はあったが、浴室や台所玄関周りなどを中心に長期間かかって腐朽する例がほとんどであった。これに対して、グラスウールを充填した外壁では、数年のうちに広範に腐朽する例が数多く現れた。断熱材使用の是非にまで及ぶ論争が行われ、多くの混乱を経験したことは広く建築に携わる人々の知るところである。本来木造構造が腐朽すること自体大きな問題であるが、こうした激甚的な被害例が出ることによって、技術開発や建築技術の改善が進んだことも確かである。

本来断熱材の使用は温度の確保を伴い、耐久性を高める技術になるものである。しかし、正しい技術の普及と建築常識の転換が行われ、本質的な解決を見るまでには、やはり10年以上を待たねばならなかったのである。

こうした結露対応に大きな変化が生じたのは、平成になってからである。北海道が取り組んだ住宅作り運動である北方型住宅プロジェクトは、多くの矛盾を抱え批判を受けながら画期的な提案をしている。住宅の全屋暖房化である。多くの結露被害を経験し、必要性を理解していながら決定的に欠けていたものであるが、正当に建物の耐久性を保持するという明確な目的を持って、条件に加えられたのである。北方型住宅自体は、7年間の通算でも千棟に満たない数であるが、その後のセントラルヒーティングの普及はめざましく、一戸建ても集合住宅も新築住宅の半数以上に採用され、時を経づして完全に普及すると予想される。これに応じて、結露被害に関するクレームは減少傾向にあり、その影響の大きさを示している。寒冷地の住宅に建築の一部として、全屋暖房が備わっているという建築常識が育ちつつあると見ることができる。

北海道の戸建て住宅は、本州の気候風土に根差した住宅とは、明らかに異なる建築常識を持ちつつある。夏の環境や床下の障害防止、既存の建築常識の中での解決法の提案など、温暖湿潤地域の伝統を継承しながら、寒地の住まいのあり方を考えてゆくことが課題である。

内部結露や窓結露の減少と伴に、結露被害の主流は非暖房空間の結露へと変化する。断熱化によって非暖房室でも氷点下になることは希になったが、結露が一部に集中することがなくなって、非暖房室や押入の中など温度の低い空間は、冬期間たえずじめじめした物置にもならない悲惨な空間になって行った。高級な住宅として登場したRC造のマンションでは、当初セントラルヒーティングが備えられたために、エネルギー消費は少なくないもののこうした悲惨な結露は見られなかった。しかし、オイルショックを境に暖房エネルギーの節約と、マンションの低価格化によって、ほとんどのマンションがストーブ暖房となり、この結果、多くの民間マンションが結露被害に苦しむこととなった。

この頃、RCの公営住宅では、結露防止を目的とした断熱改修例が多数報告されている。繊維系断熱材の取り替え工事として、ウレタンの現場吹き付け工事が多く行われてきたが、非暖房室型の結露には効果はなかった。期を同じくして、外壁の外側から断熱を施工する外断熱工法がコンクリート系建物の断熱工法の決定版として登場し、改修工事にも多く採用されている。特に釧路市や北見市では、公営住宅の外断熱改修に積極的に取り組み、押し入れの結露防止やヒートブリッジの表面結露防止に高い効果を上げている。この後、外断熱工法は、公営住宅の一工法として定着し、障害の少ない快適な住宅作りの有力な手法として認知されてゆくが、国レベルでの外断熱工法に対する規制や、価格上の問題から大幅な普及は見られていない。

窓の改修と外断熱改修を行った住宅では、非暖房室ばかりか暖房室でも、換気不足から相対湿度が80%を超え、住宅全体でかびを生じる住宅も現れている。厳寒期に

暖房室内の相対湿度が 80％を超えること自体が、低温部のほとんどない住宅であることを示しているが、現場の技術者にとって、結露とのいたちごっこによる、無力感を禁じ得ない時代となった。こうした状況は結露対策に取り組む中で、ある程度予想されていたことであったが、設備を含めた建物のあり方や、居住者による適切な温度管理と換気の管理など、建築側の技術だけでは到底解決できる問題ではないことが誰の目にも明らかになってきたのである。住宅に占める集合住宅の比率が高まる中で、集合住宅の根本的な結露防止は、極めて緊急の重要な課題である。

2.2 雨漏り状結露時代

1975年の2月中旬、早朝から、道東地方の公営住宅で一斉に雨漏りが起きたという連絡が入った。当時寒地建築研究所の第一研究部長であり、対応に追われた上野栄氏は、後にこう述べている。「1月中旬から、2月中旬まで、道東地域は真冬日の厳しい寒さが続き、結霜として蓄積する。2月中旬深夜から未明にかけて、風雨を伴う低気圧によって、温度が急激に上昇し、一斉に解けた結霜が、雨漏りとしか形容しようのない状態で室内に流れ落ちた。」と。平屋の公営住宅の小屋裏結露と、RCの中層住宅の壁内結露であった。急速に普及した断熱化と、典型的な冬季の気候激変がもたらした結露被害であるが、多くの一般住宅でも同様な結露被害に苦しむこととなった。これらの結露被害の背景とその後の技術対応は、断熱住宅の結露に対する混乱を示すものである。断熱化という基本的な寒地の住宅の技術を高めてゆく上で、避けては通れないものだったのかもしれない。

2.2.1 雨漏り状結露の被害とその背景

(1) 小屋裏結露

劇的な被害を生じたのは、平屋の連棟型の公営住宅である。グラスウールの使用が始まり、天井面には、初めて100mmのグラスウールが施工された。天井面での防湿層施工は1971年以降実施されているが、天井面での漏気を止めるという意識は全くないのが実状であった。天井周りの隙間や間仕切壁を通じて室内の高湿な空気が小屋裏に漏れ、断熱によって氷点下となった野地表面に多量の結霜を蓄積していったのである（**図 2.2.1**）。断熱が施工されるようになるまでは、小屋裏は、温気の上昇によって相当高く保たれていたものと考えられる。天井の断熱によっても室内からの温気上昇は続いていたが、天井面からの伝熱による熱移動が低下し、暖房時にも野地表面が氷点下のままになったものと考えられる。

こうした小屋裏の著しい結露は、他の地域でも生じたが、氷点下の外気条件が長期間続く道東地域に、蓄積型の大量雨漏り状結露となって被害が集中した。暖房燃料として石炭が使われ、大型のストーブ暖房による強力な暖房環境のもとでは、ストーブにのせたやかんや鍋などによる多量の加湿が、生活習慣として定着してきた。断熱化によって燃料消費を軽減し、室温は高く保たれるようになったが、室内からの空気の流れが小屋裏へ集中した。こうした漏気によって小屋裏に運ばれた水蒸気は、排出されることはなく、野地板表面に結霜として蓄積され、乾燥した空気が外へ流れる結果となった。

雨漏り状結露は、公営住宅ばかりでなく、一般の木造住宅でも防湿気密施工が一般化するまで続く。木造住宅では、間仕切り壁の上端から小屋裏への通気や断熱材の充填が不十分なために生じた外壁の空気層から小屋裏への通気が、室内から小屋裏への

高湿な空気の流入に拍車を掛けた。野地板表面の結露は、外気温の上昇とともに解消し、室内に流下しなければ気が付かないでいる例も少なくない。しかし、野地板は何年かのあいだに着実に腐朽が進み、屋根全体の交換が必要な状態になることも少なくなかった（**図 2.2.2、3**）。



図 2.2.1

小屋裏の結霜

既に溶け始めているが、中央に霜の生成が見える

（撮影:1979 年 1 月阿寒町）



図 2.2.2

木造住宅の野地結露

小屋裏面、野地全面に結露し、カビが一面に生じている

（撮影:1980 年 3 月札幌市）

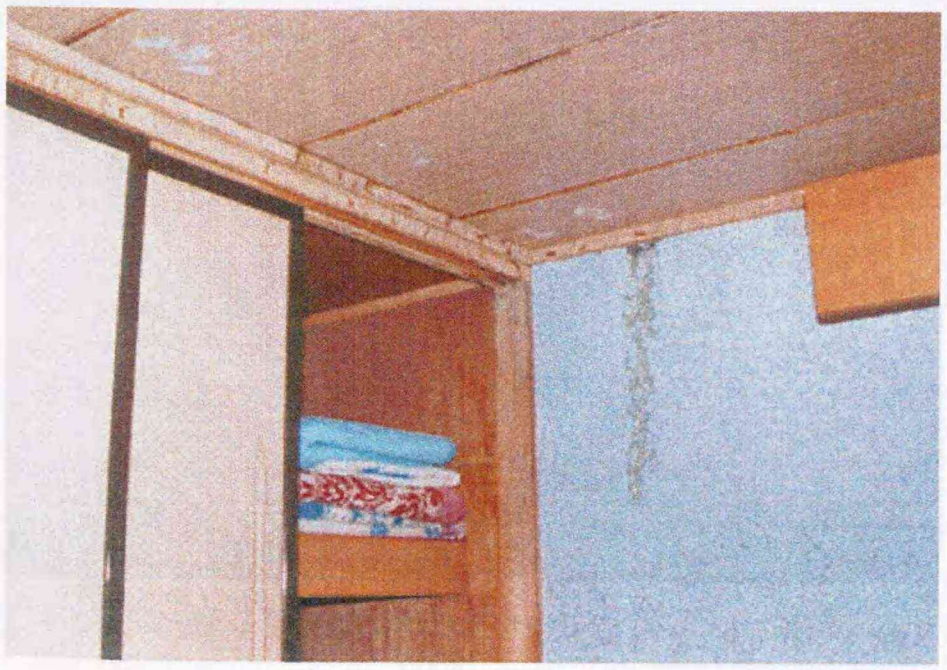


図 2.2.3

室内への雨漏り

小屋結霜が溶けて室内へ流下したあと

（撮影:1980 年 3 月北広島町）

(2) RC 中層公営住宅の壁内結露

同時代、RC の中層住宅でも多量の漏水を伴う結露被害が起こっている。上階の住人が水をこぼしたとして、住民同士のトラブルにまで発展した。壁内結露の最も大きな原因は断熱仕様であった。1960 年代に断熱が普及を始めた時には、プラスチック系の断熱材による断熱であったが、オイルショックによって建築資材の価格が上昇し、建築費の高騰を招いた。断熱材のコスト削減が不可欠となり、集合住宅ではプラスチック系の断熱材が、グラスウールに変更された。この結果、室内の水蒸気は、壁内への漏気によって壁内に運ばれ、氷点下になったコンクリート面に結霜を生じる。冬期間厳しい寒さが続く地域では、グラスウールの繊維を氷が満たすまでに成長する（**図 2.2.4**）。温度が短時間に上昇すると蓄積した結氷が融解し、壁内を伝って床スラブに流れ、スラブのクラックから下階に漏水となって落下する。一日に生成する壁内結露はそれ程多量なものではないが、長期にわたって蓄積した結氷は多量である。天井面にビニールシートを張り、チューブでバケツに集めて捨てる対応が、居住者のできる総てであった（**図 2.2.5，6**）。

防湿層の施工が求められ、アルミ箔を貼り付けたグラスウールが一時期、頻繁に使用された。結果は惨めなもので、内部結露が床スラブに沿って流れ落ち、畳が湿って腐る被害が続発した（**図 2.2.7**）。この結果、その後北海道では、アルミ箔を貼り付けたグラスウールを使用する例はほとんど見られない。研究者や業界、官公庁が一体となって、施工精度によって大きく性能を損なう恐れのある、このような材料を駆逐してきたといえる。しかし、良好な施工は困難でも、施工者にとっては扱い易い材料である事から、北海道を除く全国で普及し、主流の断熱製品の一つとなっている。結露の被害が軽微な気候条件の元で、専門家による的確な指摘を受けない社会背景にあれば、建設する側や材料製造側の企業論理で、建築常識が出来上がってしまうことを示す一例である。



図 2.2.4
壁面の結露
グラスウールが結露で充たされてしまった例
（撮影:1979 年 1 月釧路市）

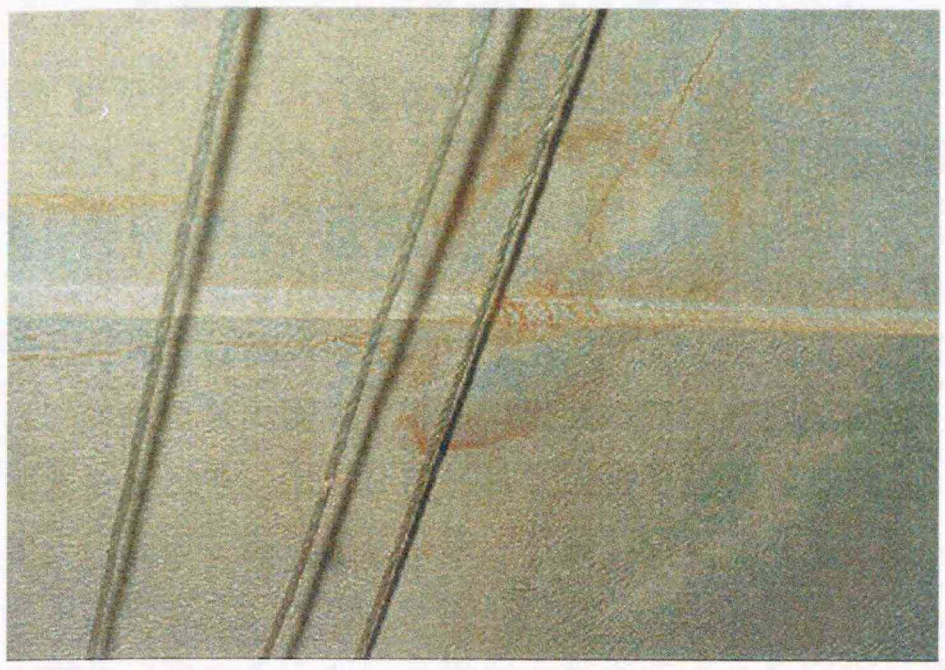


図 2.2.5

内部結露の流下被害

上隅の結露水が天井スラブのクラックから流れ落ちた

(撮影:1979 年 1 月釧路市)



図 2.2.6

漏水の対処

天井面にビニールシートを張り下げ、漏水を集めてビニルチューブで下に流す

(撮影:1979 年 1 月釧路市)

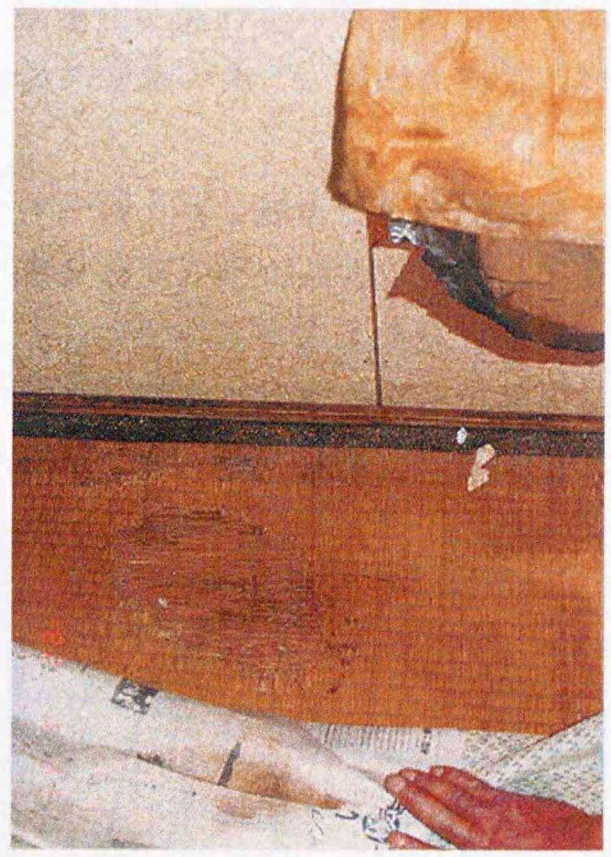


図 2.2.7

内部結露の被害

グラスウール裏面で生じた結露水の流下より畳が著しく腐朽している

(撮影:1980 年 3 月岩見沢市)

2.2.2 換気による結露対応と断熱技術の変容

(1) 換気対応への過信とその影響

換気量を増加させることが、小屋裏の雨漏り状結露の唯一の防止対策であった。屋根の形状を変えて換気口を大きくとる方法を始め、工場換気に利用されていた大型の自然排気塔などが設置された（**図 2.2.8、9**）。小屋裏結露の被害は確かに軽減し、こうした対応は相当長期間実施されていたと考えられる。しかし、結露の根本的な原因は、室内からの漏気である。漏気の防止には手を触れることなく、小屋裏の換気口を大きくしたり、強力な自然排気設備を設けることは、室内から小屋裏への換気を促進する。過剰な換気による寒さや厳しい乾燥など、室内の暖房環境は大きく損なわれる結果となった。また、多量の換気で小屋裏結露が完全に解消したわけではなく、室内へ流下はないものの、小屋組み自体の完全な結露防止は実現されなかった。本来結露防止には、室内からの漏気を減らすために室内側の気密性を高める対策が最も重要であるが、換気が結露防止に深く結び付いた建築技術者の常識の中で、極端な換気の対応に向かったと考えられる。

それまで、屋根にまつわる代表的な障害であったすが漏りは、融雪と軒先の氷堤が要因で、小屋裏温度を低く保つための天井断熱と小屋裏換気がその対策である。すが漏りと小屋裏結露の対策がともに換気であったことも、ひたすら小屋裏換気対策に走る原因となった。換気は、小屋裏結露を軽減するが、すが漏りの対策である天井断熱は、小屋裏結露防止にはまったく効果が無いにもかかわらず、小屋裏の結露対策とし



図 2.2.8

換気筒を取り付けた平屋住宅団地

工場用の屋根排気設備を取り付けている。下屋上の壁面には大型換気口が設置されている

（撮影：1979 年 1 月阿寒町）

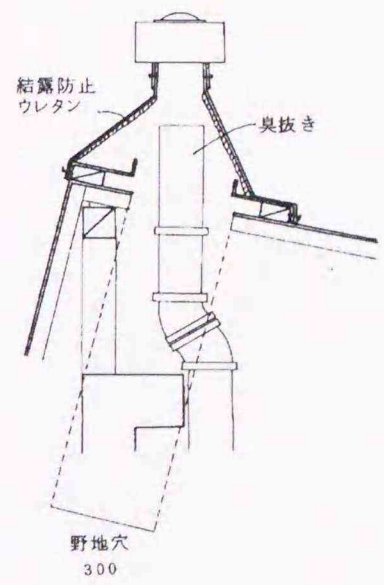


図 2.2.9

巨大換気設備の設置例

玄関上に巨大な換気ガラリを設置したもので、小屋裏を完全に外にしようという試みである

て実施された。天井面での厚い断熱は、結露水を吸水し室内への漏水を軽減するが、結露量自体は軽減することはなくむしろ増加し、悲劇的な結果になる場合も少なくなかったのである。

(2) 断熱技術の変化

1980 年に公営住宅の結露対策に関する調査を実施している。**表 2.2.1** はその結果をまとめたものである。効果は見られるものの、結露の解消を報告している例はない。結露対応は低温低湿の外気でという短絡した考え方は、その後も建築技術者や管理者に根強く残る。物理的な現象を理解し、それを的確に指摘できる専門家の存在が求められたのである。

平屋の公営住宅や戸建て住宅では、別張り防湿層が急速に普及し、極端な雨漏り状結露は減少するが、換気に頼りながら十分な気密化をしていない状況のもとで、長期的な耐久性を損なう軽微な内部結露が、居住者に気付かれることなく進行してゆく。防湿技術に占める漏気防止（気密化）の役割がまったく理解されないままに、断熱化と防湿層の施工が普及した時期でもあった。一般住宅でも防湿層の施工は金融公庫の仕様書等で位置づけられ、短期間に普及を見たが、気密化への対応は大きく遅れをとった。オイルショックを契機に北欧各国では、一斉に気密化基準を策定したが、日本の省エネルギー基準には、取り上げられることはなかった。断熱技術の変化に伴って必要になる、耐久性の保持に対する認識が育っていなかったのである。雨漏り状結露は、断熱化に伴う障害に対する警鐘であったろう。しかし、十分な議論を避け、場当たり的な対応に終始した結果、急速な腐朽を引き起こす激甚腐朽時代への扉を開くことになった。

表 2.2.1 結露対策の調査結果（1981 年）

○：結露が完全に解消した
△：結露がある程度解消した
×：結露が解消しなかった

(a)小屋裏結露の改修

改修内容	構造	市町村の数	棟数	戸数	費用（万円）	改修効果 ○	△	×	不明
屋根に換気扇を設置	平屋	23	135	398	1576	3	10	7	3
軒天の換気の改善	平屋	5	117	480	1342	3	1		1
天井の断熱改修	平屋	10	38	138	1029	1	5	1	3
換気の改善と天井断熱	平屋	18	84	342	2318	10	4		4
その他	平屋	5	12	39	1071	2	1		2
中層住宅の改修	中層	2	2	48	921	1	1		0
合　計	平屋	61	386	1397	7336	19	21	8	13
	中層	2	2	48	921	1	1		

(b)壁の結露の改修

改修内容	構造	市町村の数	棟数	戸数	費用（万円）	改修効果 ○	△	×	不明
発泡樹脂系の板状断熱材の張り付け	平屋	23	56	119	1204	6	5	4	8
	中層	2	3	72	1706		1	1	
ウレタンの現場発泡吹き付け	平屋	5	13	18	594	1	1	1	2
	中層	11	30	434	4573	4	1	1	5
繊維系断熱材の張り付け	平屋	9	24	84	985	2	1	4	2
	中層	2	2	6	50			1	1
外断熱改修	平屋	6	31	87	3176	1	1		4
	中層	5	16	367	14626	4			1
換気の改善	平屋	2	10	40	70	1			1
	中層	2	5	79	1128	1	1		
その他	平屋	1	9	32	14		1		
	中層	1	1	2	33		1		
合　計	平屋	46	143	380	6043	11	9	9	17
	中層	23	57	960	22116	9	4	3	7

(c)窓の結露の改修

改修内容	構造	市町村の数	棟数	戸数	費用（万円）	改修効果 ○	△	×	不明
外窓のアルミサッシュ化	平屋	9	101	206	1807		3	5	1
	中層	1	3	120	920			1	
ペアガラスの使用	平屋	2	13	25	110	1		1	
	中層	1	1	30	205				1
3 重化	平屋	2	4	6	105	2			
	中層	3	9	196	749	2	1		
合　計	平屋	13	118	237	2022	3	3	6	1
	中層	5	13	346	1874	2	1	1	1

2.3 窓氷結結露時代

2.3.1 窓氷結結露の被害とその背景

アルミサッシュの登場は結露の姿を一変させている。窓ガラスの表面に生じた結霜は、北海道の冬の風物詩でもあったが、熱を伝えやすいアルミを使用した窓は、それまでのように放置しておけるものではなくなっていった。1960 年代後半に急速に普及したアルミサッシュは、集合住宅の防火対応から、現在でも RC 集合住宅のほとんどに採用されている。この時期、RC 集合住宅は雨漏り状結露時代の最中にあって、窓結露は障害ではなく、寒地の住宅ではあたりまえの現象として捉えられていた。1970 年代後半に入って断熱が強化され、施工技術の向上によって雨漏り状結露時代が終わりを告げるころ、アルミサッシュの窓氷結時代を迎える。

当時の窓構造は、外側にアルミサッシュ、内側に木製の引き違い窓を使った 2 重窓である（**図 2.3.1**）。アルミサッシュに比べて室内側の木製窓の気密性は圧倒的に低く、寒冷期にはアルミサッシュ面が絶えず氷点下となり、結氷が日に日に成長してゆく。特徴的なのが、結氷したアルミサッシュのすぐ室内側の木枠が、完全に乾燥状態にある点である（**図 2.3.2**）。アルミサッシュ面が室内にとって除湿の働きをしているためで、窓での厳しい結露現象とは対照的に、室内側は、比較的乾燥していたのである。窓の開閉が氷結によって自由にできない状態は、居住者の避難を困難にする原因となり、またある程度以上に結氷が成長すれば、室内側への流下が生じる。アルミサッシュの氷結は窓枠の隙間を塞ぎ、結果的に生じる外窓の予期しない気密性の向上は、皮肉にも更に窓結露を助長する結果となった（**図 2.3.3**）。

この頃、公営住宅では、外窓のアルミサッシュへの改修が、盛んに進められている。それまでの木製窓は隙間が多く、冬季の隙間風による寒さの原因となってきたことから、気密性の高いアルミサッシュへの改修が実施された。特に、空港周辺など騒音被害のある地域では、防音対策として引き付け式の気密性の高いアルミサッシュが採用された。**図 2.3.4** は、千歳の公営住宅の改修された窓面である。調査の結果、結露時期は、10 月から 5 月に及ぶ長期間の被害となり、絶えず湿潤状態が継続する悲惨なものであった。

当該住宅には防音用の換気装置として、熱回収型の壁掛換気装置が設置されている。しかし、寒冷な気候条件を無視した大風量で全熱回収タイプの換気装置だったため、水蒸気の排出が行われず、本体自体が氷結して換気装置の役割を果たしていなかった。気候条件を無視した対応が悲惨な結果を招いた例である。気密化した住居への換気対応の重要性が、認識されてきた時期でもある。この後、防音化住宅では、顕熱交換タイプの熱回収換気扇を採用し、連続換気と室内側の窓改修を実施することになる。集合住宅への換気に対する関心を強めるきっかけとなった事例である。

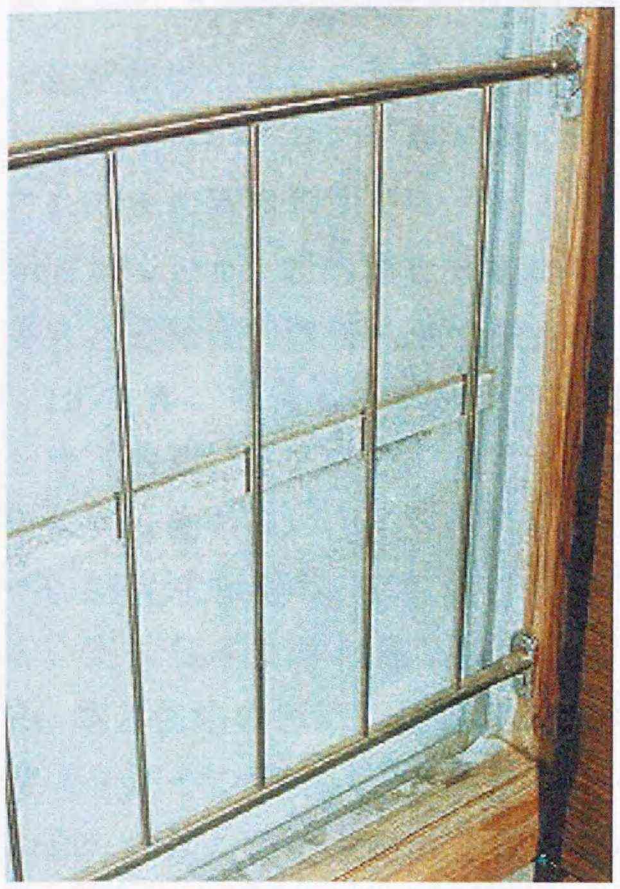


図 2.3.1

RC 集合住宅のアルミ窓の結露

非暖房室ではアルミ窓全体が結露で覆われてしまった

（撮影:1980 年 1 月中標津町）



図 2.3.2

木造住宅のアルミ窓の結氷

室温が低いため、窓に氷結しているが、内窓の木部分は乾燥状態を維持している

（撮影:1981 年 1 月札幌市）



図 2.3.3

窓氷結

結氷が成長し下枠部分を氷が埋めつくしている、毎日氷を解かしているが 2 日程放置すると元に戻ってしまう

（撮影:1980 年 1 月釧路市）



図 2.3.4

外窓防音改修住宅の窓結露

外窓だけを高い気密性の引き付け窓に改修したため、夏期の短期間を除いて年中結露を生じた

（撮影:1982 年 1 月千歳市）

2.3.2　2重窓の対応技術との影響

結露被害の対応に苦慮していた管理者は、朝夕の窓の開放を生活対応として居住者に奨励していたため、朝の窓の氷割りが主婦の日課として加えられることとなった。これもまた寒地の生活の一部となろうとしたとき、多層窓の結露防止の考え方が強く示されている。室内側を気密化し、外窓を外気へ開放するという基本的な考え方が示され、窓結露の改善に強く動き出したのである。

1977 年、塩化ビニール製の専用内窓が開発されている。**表 2.3.1** は、既存木製窓と専用内窓、およびアルミサッシの気密性能の測定結果である。木建具に比べてはるかに気密性の高い PVC 内窓も、外側のアルミサッシとほぼ同等の性能である。外気への開放性を高め、室内側で気密化することが寒地の対応であるが、現実には開口部も、既に日本全体の建築技術の方向となっていた外側での密閉化へと進んでゆく。RC 集合住宅の窓は、日本の高密度な都市環境を前提とした防火規定により、アルミサッシがその登場以来最近にいたるまで唯一の防火サッシであった。更に、台風被害の恐れが強く、一重建具で室内の環境保持には十分な気候条件の地域での対応から、一重のアルミサッシュの気密化が進められてきた。気候的に極めて広いレンジを持つ日本にあって、全国一律の基準に縛られた対応を示す典型的な事例といえる。

この後、戸建て住宅の窓が大きく変化してゆく中で、こうした PVC 気密内窓と外アルミサッシの組み合わせは、北海道の RC 集合住宅の標準的な窓構造となってゆく。内側の気密性を高め外側に対しては開放することが、寒冷地の内部結露防止の基本である。外への開放を伴わない内窓の気密化は、結露量自体を軽減はするが、完全な結露解消にはいたらない。結露との共存である。力任せの技術の積み重ねから出来上がった結果ともいえるが、居住者に被害として認識されることは少なくなった。建設する側にとっては、大きな成果となり、安定した技術として定着してきている。

一方、戸建て住宅では、1980 年以降 PVC の断熱サッシが急速に普及する。多層窓から単層窓への転換である。複層ガラスの使用による断熱性の向上とアルミに比較してはるかに断熱性に優れる塩化ビニールの採用によって、2 重窓を凌ぐ断熱性が実現した。耐候性や耐久性に疑問が投げられたが、普及が始まって 15 年間にそうした問題が生じた例はほとんどない。PVC サッシの是非については、意匠性や解体時の廃

表 2.3.1 内窓の気密性能 [2-1)]

	通気率($m^3/h \cdot mmAq \cdot m^2$)	n
木製建具	13.9	2.0
アルミサッシ	7.5	1.7
プラスチック内窓	4.6	1.7

(1.8×1.3m の肘掛け窓の性能値で換算)

棄物処理、維持管理など現在でも多くの問題が投げかかられている。しかし、はめ殺しと外開きの組み合わせを標準とする窓構成は、極めて高い気密性を実現し、その後の寒冷地の窓の考え方を一変させている。気密化が寒冷地の住居の最大関心事一つだった時代に、これを実現する役割を果たしたことは特筆に値する。これ以降、戸建て住宅の多層窓は激減し、それに伴って窓の結露被害自体が変化してゆくこととなった。

こうした窓構造の変化がもたらしたものは、建物全体の気密性の向上であった。隙間風の原因であった開口部の隙間がほとんど完全に塞がれ、住宅の換気量が大きく減少することとなった。多量な換気によって深刻な被害を免れてきた結露被害が、開口部の気密化と断熱化をきっかけに新たな問題となっていった。

2.4 激甚腐朽時代

室内で生じる結露とは異なり、断熱住宅で生じる内部結露は、木造住宅を急速に腐朽させ建物の耐久性を著しく損なう。100mm 断熱が普及するとともに、北側に位置し漏水や水かかりを受け易い、浴室や台所などの水回りに集中していた構造体の腐朽被害が、一般居室の外壁や床回りに広がり、住宅全体が急速に腐朽して手のつけられない状態になる被害が現れた。この時期、大学等の研究者を中心として、民間の技術者を交えた、建築学会北海同支部の研究委員会活動[2-2)]が活発に行われている。この結果、住宅構造の基本的な変更まで含めた、大きな変化が北海道の住宅に現れることとなった。筆者も研究者の一人として活動に参加し、後述する木造住宅の壁内通気による影響の解明に取り組んだ。

2.4.1 激甚腐朽結露の被害とその背景

(1) 木造住宅の壁内内部結露と腐朽

1970 年代に始まった断熱化は急速に普及するが、防湿技術は十分に理解されず、多くの不幸な事故を経験した。恐らく、当時の技術者も一般にも、その原因がなんであったか理解していたのは、ごくわずかであった考えられる。被害例を見ながらその背景を探った。

1) 外側発泡ポリエチレンシートの施工による腐朽被害

1970 年代、断熱材が普及するまで、隙間風の防止を目的として、発泡ポリエチレンシートを木軸組みの外側から張り込む工法が普及していた。住宅を暖かく保ち障害を防ぐ材料として、技術者から高く評価されていた。しかし、グラスウールが普及した後にも、多くの住宅で外側の発泡ポリエチレンシートがそのまま残され、著しい壁内結露が発生した（**図 2.4.1～3**）。本来室内側にあるべき防湿性の高いシートが、断熱材の外気側に施工された結果である。小屋裏から外壁内部、間仕切壁の下部にまで腐朽被害が広がった。壁内結露の発生に気づいた住宅では外壁の張り替えなどの対応が早急に取られたが、そのまま数年を過ごした住宅では、悲惨な被害を受ける結果となった。あまりの被害に、こうした工法は短期間に姿を消すが、断熱化などによる急激な壁体構成仕様の変化があるときには、広く技術的な対応を一般の建築技術者に伝える必要があったことを示している。



図 2.4.1

外側に発泡ポリスチレンを施工した例

グラスウール内部に多量の結露あとがある

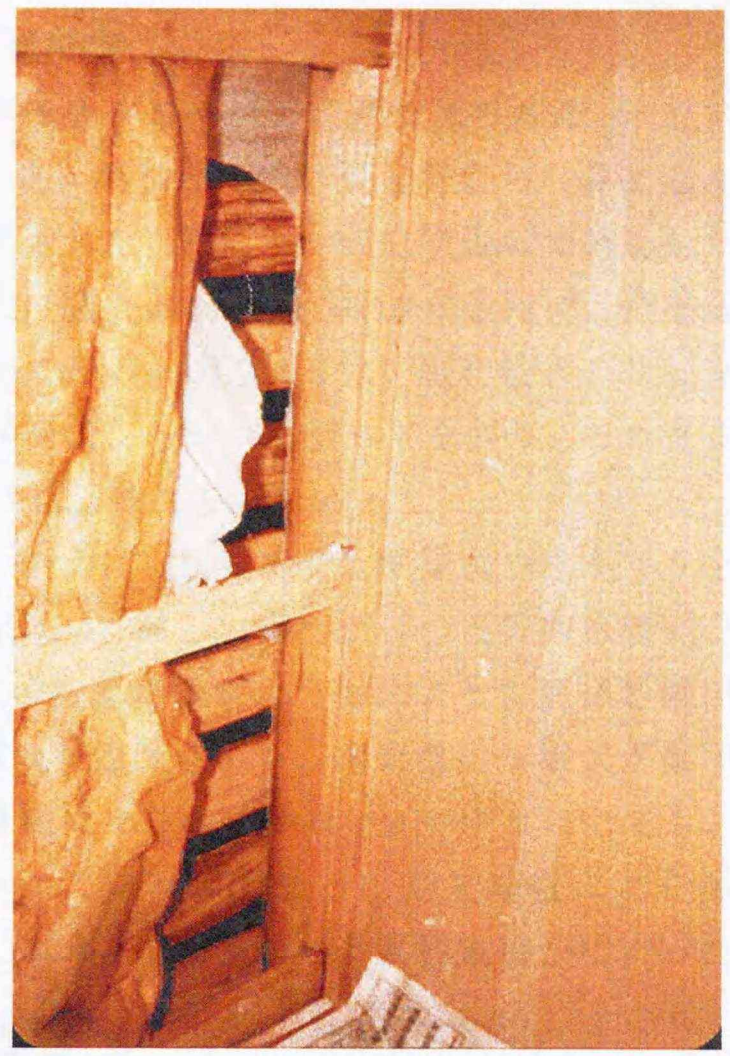


図 2.4.2

同左

発泡ポリスチレンの外側は湿っていないが、柱は湿潤状態である。

（撮影:1982 年 5 月札幌市）

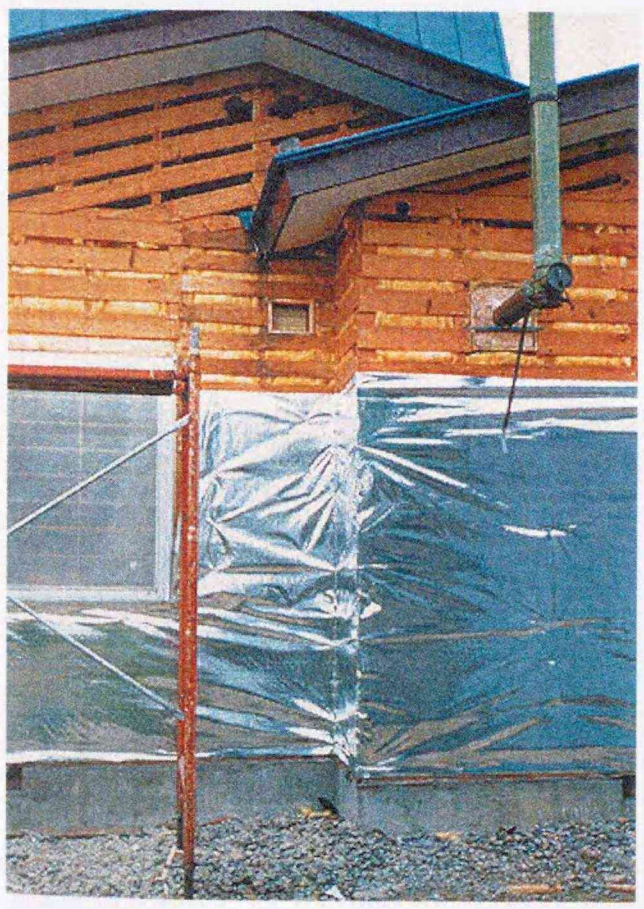


図 2.4.3

誤った施工例

外側からアルミ蒸着フィルムで囲っている。寒さ対策と考えていた。

（撮影:1983 年 8 月札幌市）

2) シージングボード下地モルタル壁の腐朽被害

シージングボードを下地に利用したラスモルタル外装の住戸で見られた、内部結露による著しい腐朽被害である。春先にモルタル外装と基礎の継ぎ目からしみ出した水分によって、基礎面が濡れる現象から発見された。外壁の一部を撤去して調査したところ、壁面全体に著しい腐朽が発見された（**図 2.4.4、5**）。1975 年建設で、建築後僅か 7 年の住居であった。調査結果をまとめてみる。**図 2.4.6** は、腐朽被害の状況を示したものである。壁面構造は木軸組みの外側にシージングボードを張り、モルタルを直塗りしたものである。室内側の防湿層は施工されていない。

特徴的なのは、従来床周りの腐朽被害といえば、日射を受けず漏水や水かかりを受け易い北側の水回りに多く見られたのに対して、激しい腐朽が日の当る南東壁面全体に発生した点である。「シージングボードの内部結露が、日射によって解け冬期間も腐朽状態になったため」あるいは、「北西の季節風により、南東壁内へ漏気が集中したため」などの諸説があるが、科学的な証明はなされていない。いずれにしても、吸水性のある材料をモルタルとグラスウールで挟んでしまった結果結露により湿潤し、構造体の湿潤状態が長期間続くことにより、壁面全体へと腐朽被害が広がったも

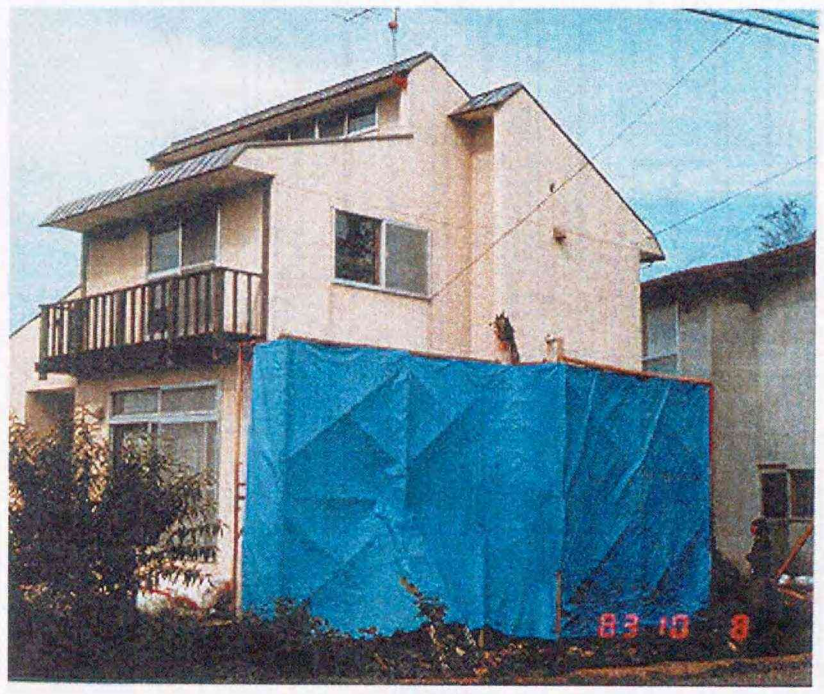
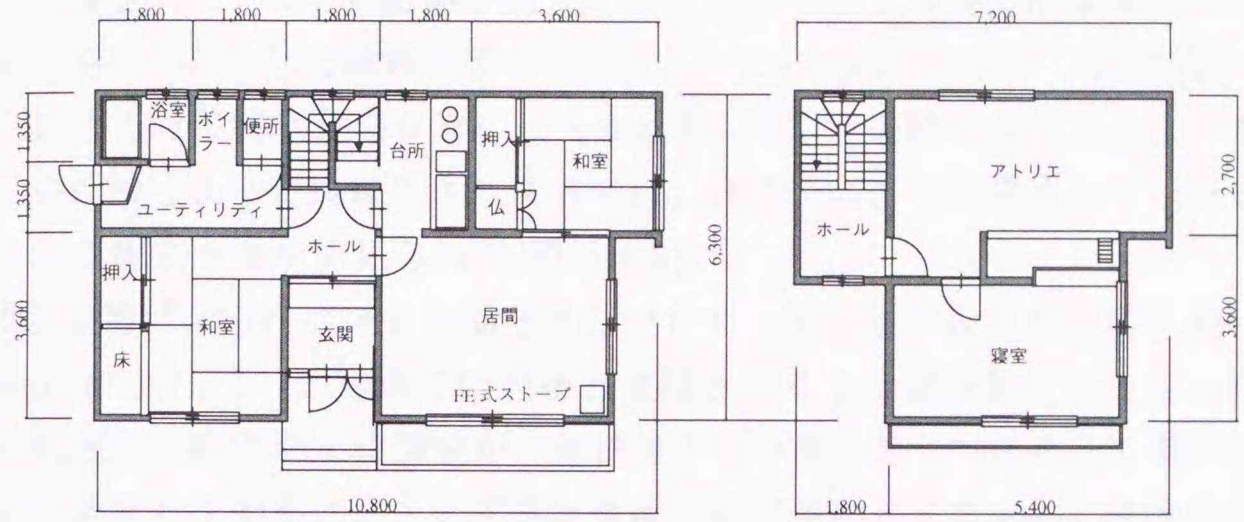


図 2.4.4
著しい腐朽被害（全体）
日の当たる南東壁面全体が腐朽した。
（撮影:1983 年 10 月恵庭市）

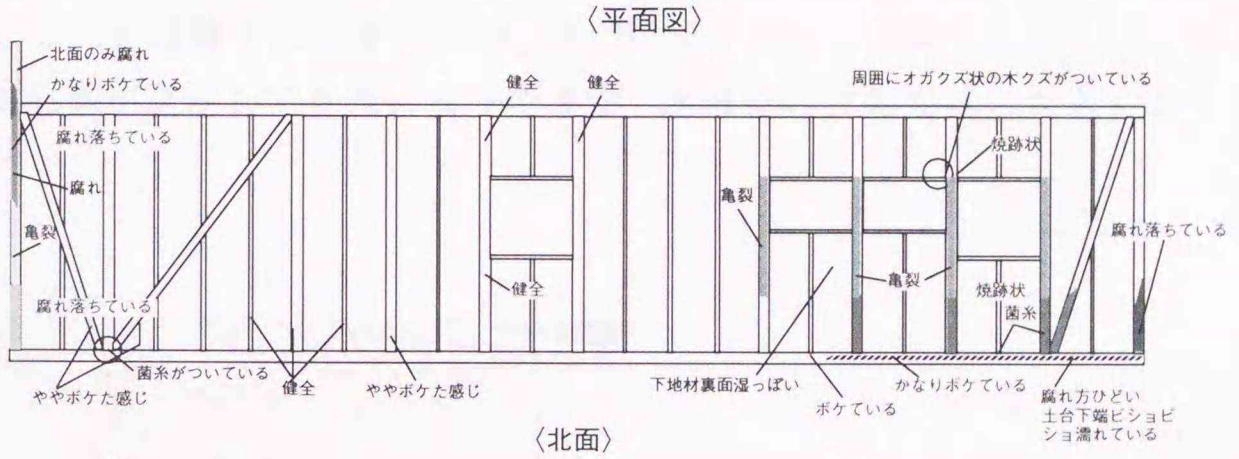


図 2.4.5
著しい腐朽被害
（南東面隅角部分）
柱、土台ともに崩れてしまった。
（撮影:同上）

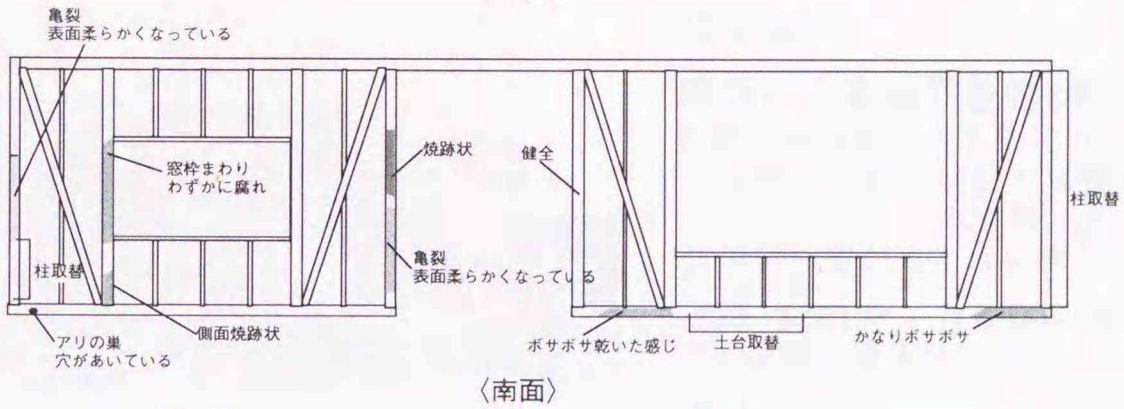
のと考えられる。こうした結露被害は、建築後数年以内という比較的短期間に発生するため、建築側の責任が問われ、短期間に改善に向かう。当初、障害の原因の全てが材料にあるかのように受け取られ、シージングボードのメーカーがいち早く工法改良に動いている。こうした激甚的な腐朽被害が、研究者や熱心な民間業者によって社会に伝えられ、外壁の外への開放を伴う大きな工法改良につながっていった。



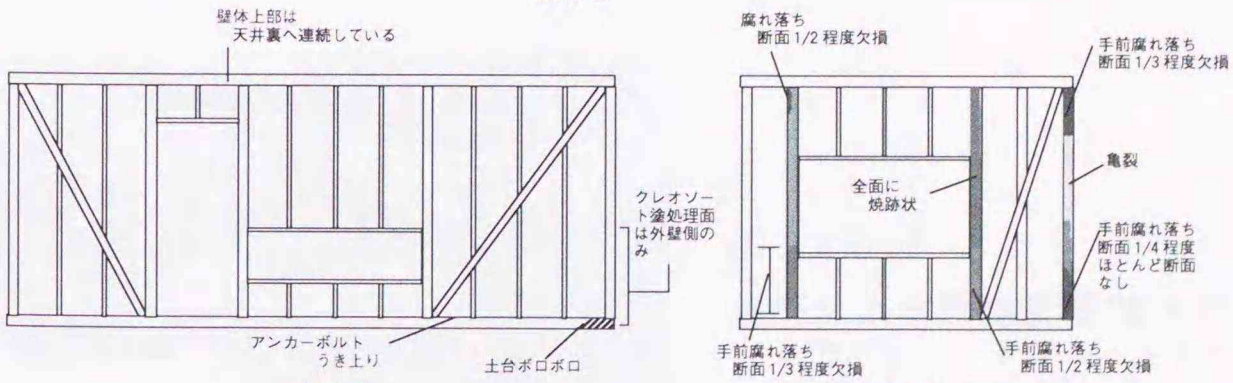
〈平面図〉



〈北面〉



〈南面〉



〈西面〉　〈東面〉

図 2.4.6 被害住宅の調査結果（1983 年 10 月）

3) 地震で発見された桁部位での腐朽被害

内部結露の被害による腐朽は、土台周りを中心に発生してきたが、断熱化した住宅では、壁面のいたるところで発生する。**図 2.4.7** は、北海道釧路沖地震で被害を受けた住宅である。1階壁面には目立った結露や腐朽被害が無いにもかかわらず、これまで考えられなかった1階と2階の間の桁部分に腐朽が生じ、その部分を中心に大きな地震被害を発生している。防湿層が施工された壁体で生じる典型的な漏気による壁内結露被害である。こうした結露被害は、予想されていたものはいえ、衝撃的であった。見かけ上目立った被害は見られないにもかかわらず、構造耐力を損なうような被害が発生していたのである。地震による被害では、他に先に述べた発泡ポリエチレンシートを施工した住宅も数多く見られた(**図 2.4.8**)。

室内側防湿層は、室内の空気を漏らさないための気密層の役割も同時に期待されるが、在来工法では、1、2 階間で防湿層を連続させることが困難であった。在来木造住宅での気密化に向けた工法開発が、鎌田等[2-3]や筆者等[2.4]を中心に進められ、寒地住宅都市研究所を中心に、さまざまな普及活動が展開されている。寒冷地における気密化の意味が理解されるまでには、まだ時間を要すると考えられるが、研究者や行政、民間業界が連携して普及に当った事が、北海道の技術変革に大きく寄与したといえる。



図 2.4.7

腐朽による地震被害(釧路沖)

内側に防湿層のある住宅で、1階と2階の間の桁部分に結露腐朽が集中した。このため、この部分で折れ曲がるように壊れている

(撮影:1993 年 1 月釧路町,寒地住宅都市研究所都市防災科)



図 2.4.8

腐朽による地震被害(東方沖)

発泡ポリエチレンシートの施工(外側)により構造材(特に土台)の強度低下があった。平成 6 年 10 月 4 日発生。

(撮影:1994 年 10 月風連町,寒地住宅都市研究所都市防災科)

4) 乾式サイジングの被害

1980 年以降、外装材は湿式のモルタル外装から乾式のサイジングへと劇的な変化を遂げる。しかし、施工が盛んになって間もなく、多くのサイジングが障害を発生した（**図 2.4.9**）。材料自体が凍結融解に対して耐久性に欠ける材料であったこともその原因の一つであるが、雨の吹付け等による外からの漏水が大きく関わっていたと考えられる。透湿性の少ない板状材料を張り、継ぎ目を全てシーリング材で塞いでしまう外側密閉による構造であったために、外装材裏面の乾燥が遅れたことが被害を大きくした。この時期すでに内部結露防止の観点から、外側開放の必要性が強く求められていたが、当初通気層を前提としたサイジング工法は皆無であった。通気層の必要性に関する議論が建築学会を中心に頻繁にもたれた時期でもあり、急速な被害に対する対応とあいまって通気層の急速な普及をみた。

(2) ナミダタケ被害

1978 年、住宅産業を震撼させる事件があった。ナミダタケである。通常土中でのみ生育するキノコの一種である。地面一杯に広がったナミダタケは、地中から水分を補給しながら基礎をはい登り、土台柱へと成長する。そのスピードは驚くべき早さで、発生してから数年のうちに床が落ち、手のつけられない状態になってしまう。一旦成長を開始すれば、水分の少ないところでも自ら水分を土中より補給しながら成長することが特徴で、間仕切り壁をはい登り小屋裏まで成長した例も報告されている。新聞等で報道され、一般市民にも大きな反響を呼んだ。

古くから被害が報告されていたが、断熱住宅で著しい被害が発生したことから、社会問題となった。断熱化との因果関係を指摘する声があがり、行政機関や大学の研究者を巻き込んで、大きな問題となった。ナミダタケの発生する条件はある程度明らかにされており、安定した温湿度環境がその条件の一つである。もともと地盤に接する



図 2.4.9
外装材の被害
壁内には結露の発生が認められず、直張りによる外側からの水分による被害と考えられる。木部は乾燥状態にある。
（撮影:1997 年 8 月札幌市）

床下は、温湿度が安定しやすい。床の断熱と防湿、外気との通風量の減少は、高い相対湿度と安定した温度環境を作り出す結果となった。必ずしも断熱化が直接の原因とは言い切れないものの、断熱化が進み密閉化した床下空間は、耐久性の保持の面で注意を要する空間という事実が明らかとなった。

1) 被害発生の実態調査

当時、寒地建築研究所では、1960 年代初頭よりナミダタケの被害について調査し資料を蓄積してきたが、年間数件の発生報告の中で対応してきたため、発生原因や生態についての検討は十分行われていなかった。このため報道されるようにナミダタケが当時異常発生しているのかどうか、また家屋の断熱強化との関係などについて調査を実施している[2-5]。

i) 市町村を通じた被害アンケート調査

道内のナミダタケ被害状況を知るために、212 市町村の役場に対し、1979 年 1 月にアンケート調査を行った。アンケートの回収率は、171 件で 81%であった。この内 1975 年以降に発生があったと回答したものが 40 件、全道に分布していた。ナミダタケ被害は、全道的に分散しており、道央地域など人口の密集地に多いことがわかる程度である。次いで、50 年以降に被害があったと回答のあった札幌市を除く 39 の市町村に対し建物棟数、予想される原因、再発処理などの回答を求めたが、回答してきたものは僅かに 16 市町村、41%であった。2 次の調査の結果を**表 2.4.1** に示す。予想される原因については、換気不足が原因としているものが大半を占めている

ii) 住宅業界への調査

比較的大手の住宅建設業者 22 社に対して実施したアンケート調査では、1975 年以降に建設された住宅戸数、約 2 万 4 千戸に対して、ナミダタケ被害戸数は 0 である。また、この中で、マスコミで報道後、自社建設の住宅全数の床下を調査し、確認した会社は 4 社であったが、ナミダタケの発生は報告されていない。しかし、調査中に札幌北部 T 団地の分譲住宅にナミダタケが集団発生したとして、住宅業者から報告があり、被害について各戸の立ち入り調査を実施した。対象戸数 70 戸で、この内 40 戸が同じ住宅建設会社 2 社のものである。結果は次のとおりで、異常の認められたものは計 19 戸であった。

表 2.4.1 ナミダタケ被害状況の 2 次調査(1979 年 1 月)

	被害者	予想される原因		再発予防処置済み	再発戸数
		換気不足	湿地地盤		
住宅等	18	15	2	18	0
納屋･倉庫	1	1		1	0
事務所	1	1		1	0
学校･保育所等	5	4	1	3	0

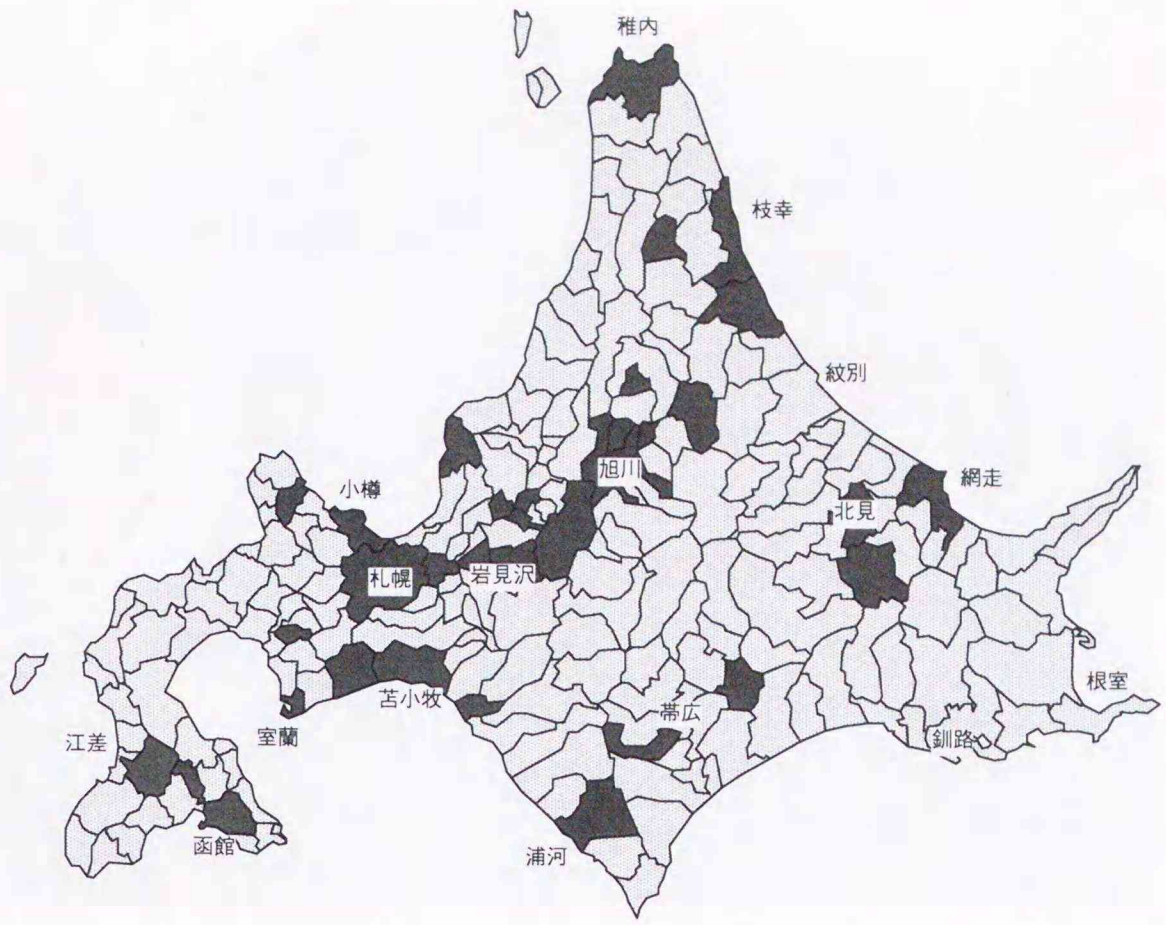
・ナミダタケの子実体の認められたもの　　1戸
・床下の木材に菌糸があったものが　　7戸
・地面に白色菌糸が発生しているもの　　10戸
・なんらかのかび発生のあるもの　　1戸

ナミダタケの子実体が認められた1住戸以外は、観察を続けないとナミダタケであるかどうか判明しないが、全体で3戸は確実性が高いと考えられた。この団地の住宅で特徴的なのは、床下換気孔が小さくかつ少ない事で、四面にせいぜい一個所ずつしかなく、間切切基礎にも通気開口が設けられていなかった。また、床下には木片かんなくず、ビニール破片、グラスウール切れはしなど工事中のゴミやコカコーラのびん、酒ビン、ビールびんまでが放置されており、建設後の清掃がなされていなかった。

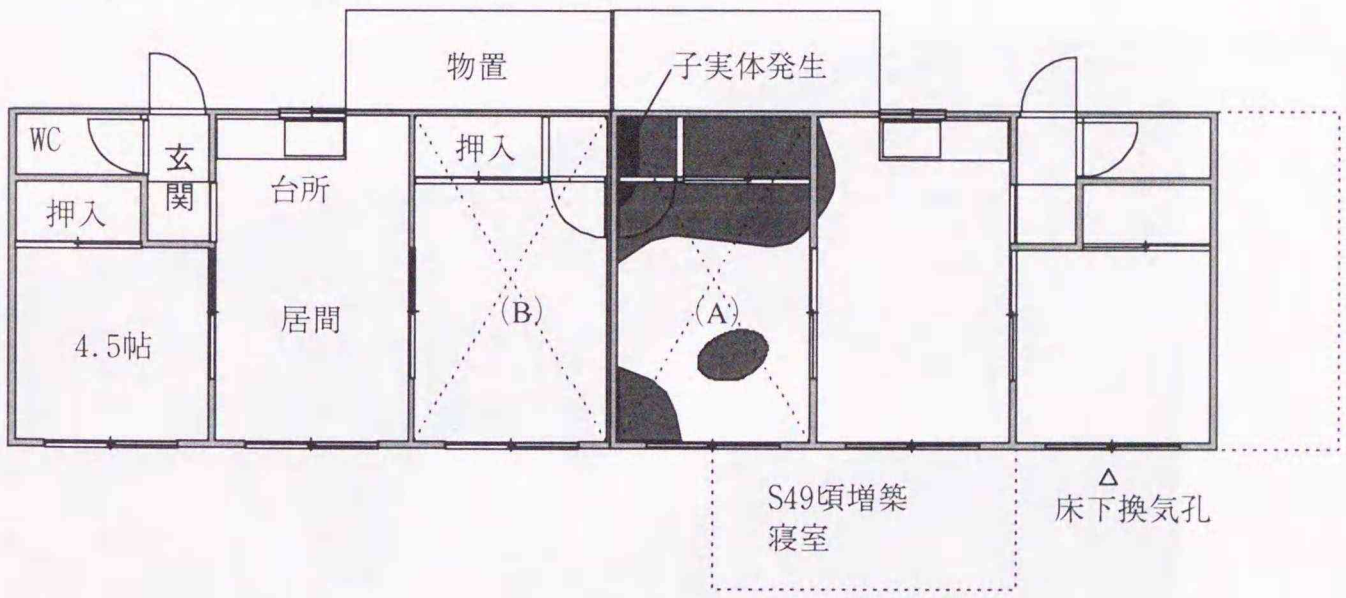
2) 被害例とその背景

その後、全道の市町村、建設業者や腐朽処理業者から情報や協力が得られるようになり、1970年には約100件の建物を調査した。このうちナミダタケと思われる菌叢や子実体および胞子が認められたものは15件あり、他はカビ状のものや他の腐朽菌であった。この調査の結果明らかになったことは、床下換気の対策が不十分なことのほか、増改築によって換気口がふさがれたり、床下の通風状態が低下するなどの環境変化があった後、3～5年の建物に被害が多く見られたことである。通風性の低下が床下の環境を悪化させ、ナミダタケの発生を即す結果になっていることが予想される。

調査した建物のうち、典型的な激甚被害を発生した喜茂別町の公営住宅について、1978年夏に被害調査を実施した。**図2.4.10**に市町村別ナミダタケの被害状況をまとめたものと、ナミダタケ被害を受けた住宅の平面図を示す。ドリゾール造の平家2戸家で1961年に建設されたもので、断熱施工はなされていない。建設後、数回にわたって補修再発を繰り返した例である。平面図で示す[A]部分にナミダタケが発生し、和室の床が落ちた。入居者はナミダタケの処理を行う事なく、自分で床を張替えている。この時タタミ上まで茶色の胞子が観測された。1979年6月になって隣家の[B]部分の床が落下し、床組みは完全に腐朽しほとんど強度の無い状態になった。床下地面は全面に茶色の胞子が敷かれ、木部は菌糸で覆われていた。無消毒のまま前年同様の修理を実施したが、このとき床下の換気口は閉鎖されたままであった。寒地建築研究所と林産試験場が6月27日共同で現地調査を実施している。ゴミ捨場で解体材を調査した結果、ナミダタケによる被害が明らかになり、補修した[A]部の床板を開けて調査をした。この時既に、床下はナミダタケで覆われ、押入下部では布基礎と束石をはい上がり、床裏の木部に達していた（**図2.4.11、12**）。また、平面図中黒色部に子実体が結実中であった。この建物のナミダタケの主な発生原因は、換気不良であろう。北側の物置増築に加えて、1974年頃居間の南面に寝室を増築しており、床下の有効な換気孔を塞いでしまったのである。



市町村別ナミダタケ被害状況(S50～53)



ナミダタケ被害を受けた住宅の平面図
(喜茂別町公営住宅)

図 2.4.10 被害住宅の調査結果（1978 年 7 月）



図 2.4.11

束をはいのぼるなみだたけ

地面は完全に覆われ、束をはいのぼっている

(撮影:1978 年 7 月喜茂別町，川治正則氏)



図 2.4.12

床組みに取りついたなみだたけ

基礎面や束からはい上り、床裏床組みも菌糸で覆われている

(撮影:同上)

ナミダタケ被害は学校校舎など大型の建築物にも発生する。被害を発生したのはM市の小学校で、本校舎は木造二階建、1959年建設でほぼ20年経過した建物である。発生場所は、入隅部の階段下で、図書室の物置として使用されており、出入りの少ない空間で、1970年頃に増改工事が実施されている。被害の状況は、床板及び根太が著しく折損しており、床板をはぐるとほぼ円形状に約8㎡の広さに、白色の菌糸に覆われていた。床材の極端な強度低下範囲は、ほぼ4㎡程度の広さである（**図 2.4.13**）。床下に換気孔が全くないことが、主要な原因の一つと考えれるが、校舎の敷地が市のゴミ捨場を造成した土地であったことから、地盤自体の特性にも影響されたのかもしれない。

以上の外、7件の被害を確認したが、何れも、床下の換気不足が顕著であること、数年以内に何等かの増改築を実施している建物である事が共通していた。

3) ナミダタケの生態

ナミダタケは、学名 Serpulalacrymans（はいまわる涙）と言い、家屋害菌として古くから知られている。床下の地面や基礎、床裏をはうようにして綿状の菌糸が成長し、ナミダタケに侵された木材は、繊維の直角方向にずたずたに切れて茶褐色になり、軽く乾いた状態に腐朽するもので乾腐菌といわれる（**図 2.4.14**）。被害現場から持ち帰った腐朽菌を寒地建築研究所の換気口の無い実験室床下に放置し発生状況を観察した結果、6月から翌年1月までに著しい繁殖が観測された（**図 2.4.15**）。ナミダタケの適温は16～22℃といわれるが、一定の環境が持続する床下では、観察期間中冬季には0℃にまで低下する環境の中で、成長が持続した。この間の床下の相対湿度は、常時95%を超えており、高湿環境の持続が繁殖の条件と考えられる。

4) ナミダタケ事件がもたらしたもの

木造住宅の腐朽被害の中で、ナミダタケは短期間に激甚的な腐朽をもたらす点で他の腐朽被害と区別されている。しかし、数年か十数年かというタイムスパンの違いはあるものの、他の腐朽菌(例えばイドタケ：wetrod)と社会的に与える影響には差はない。北海道の住宅の平均立て替え年数が20年を下回る現状では見失われがちであるが、社会資産となる良好な住宅の蓄積という点では、同様に大きな問題である。調査の結果からは、断熱の普及によるナミダタケ被害の増加は認められず、むしろ、断熱の無い建物への被害が圧倒的に多いという結果であった。しかし、ナミダタケの発生には温湿度の安定が条件であり、床下空間を構成する部位の安易な断熱・気密化は、住宅の耐久性を大きく損なう危険性をはらんでいるということを、社会全体に知らしめる結果になった事は確かである。産学官の様々な分野の専門家の間に議論が百出し、社会全体の議論へと発展していった。約2年に及ぶナミダタケをめぐる様々な出来事は、建築の熱・物理を超えた領域の事故で、寒冷地の住宅建設技術を根本から見直す上で、重要なきっかけとなった。



図 2.4.13

小学校の床で生じたなみだたけ

玉石敷きの床下地盤面が白い菌糸で覆われ床組みが腐朽した

(撮影:1980 年頃雨竜町,林勝男氏)

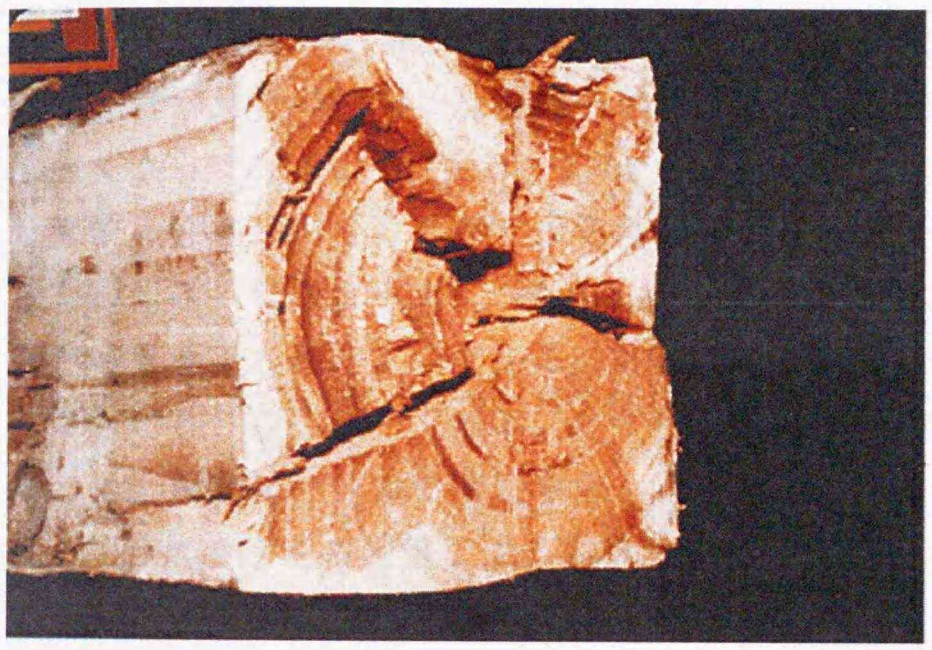


図 2.4.14

木材の腐朽被害

繊維方向に切れ、乾燥状態で割れている

(撮影:川治正則氏)



図 2.4.15

実験住宅床下でのなみだたけ繁殖状態

温度は氷点下にもかかわらず、白い菌糸状態で成長を続けている

(撮影:1981 年 1 月札幌市寒地住宅都市研究所内)

2.4.2 断熱・気密化が木造壁内の温湿度に及ぼす影響

木造住宅の内部結露被害は、空気の流れと深くかかわる問題である。壁内や多層窓の結露には、室内の高湿な空気の流れが大きく関っていることは、断熱に伴う問題が顕在化してくる以前から、荒谷等[2-6]によって指摘されていた。外壁の壁いっぱいにグラスウールを充填する工法が普及し始めた1978年当時、安易な断熱化に伴う結露を始めとする障害が顕在化し、多量に建設されつづける在来木造住宅について、障害の無い快適で耐久性の高い住宅への転換を図る事が急務であった。当時一般に建設されていた木造住宅は、壁の空洞を多量の空気が流れる構造である。そうした中で、外壁の一部を捉えて結露のことを論じても、住宅の非居住空間に生じるダイナミックな空気の流れの中では、現実とは全くかけ離れた現象を論じる結果となった。在来木造住宅の空気の流れを明らかにし、障害の無い断熱化への対応が求められたのである。

気密性が建物の主要な性能の一つであることが認識されたのは、1970年代後半に入ってからである。1977年、2×4工法の木造住宅の気密性能測定を行っているが、北海道の住宅における初めての気密測定となった[2-7]。当時からの測定された気密性能を振り返ってみよう[2-8]。**図2.4.16、17**は、1983年以前と1985～1989年の気密測定結果をまとめたものである。気密性能の範囲に桁違いの差があって、一つの図にはまとめられないほどである。こうした断熱化・気密化がもたらしたものを評価することは、寒冷地の住宅の課題を探る上で重要である。

(1) 在来木造住宅の通気による熱湿気移動[2-9]

1) 在来木造住宅の気密特性と計算モデル

各部の気密特性については、実測と既存資料からの推定により、データの整理を行った。建物全体の隙間量は測定法が確立し、全体量としての評価が可能であるが、住宅内部の空気移動を検討するために必要なデータを得ることは、たやすいことではない。現場実測と実験室での実験、既存資料から推定し整理した在来木造住宅の各部の通気特性を**表2.4.2**に示す。間仕切り壁の通気開口は、測定が困難で、角ダクトとして既存資料から推定した。住宅全体の間仕切り壁の長さを考えると、いかに大きな開口が存在するかが解る。

計算モデルの設定は、検討結果を左右する大きな問題である。モデルの設定には慎重に取り組むことが必要で、目的を明確にすることがなにより大切である。ここで取り上げたモデルは、1960年代に数多く建てられた住宅供給公社型の住宅である。通気による障害の危険性の高い下屋の空間があり、1階と2階の天井懐部分とつながった構造を想定した（**図2.4.18**）。現在でも最も対処が難しく、問題を生じやすい部分である。こうした部位を抱える住宅のうち、明確にその影響があらわれると予想される点では、適切な選択と考える。しかし、住宅形状が複雑化していく中で、問題の所在も大きく変化してゆく。想定される課題が変化してゆく中で解析対象の標準化にも異なる選択があってしかるべきである。

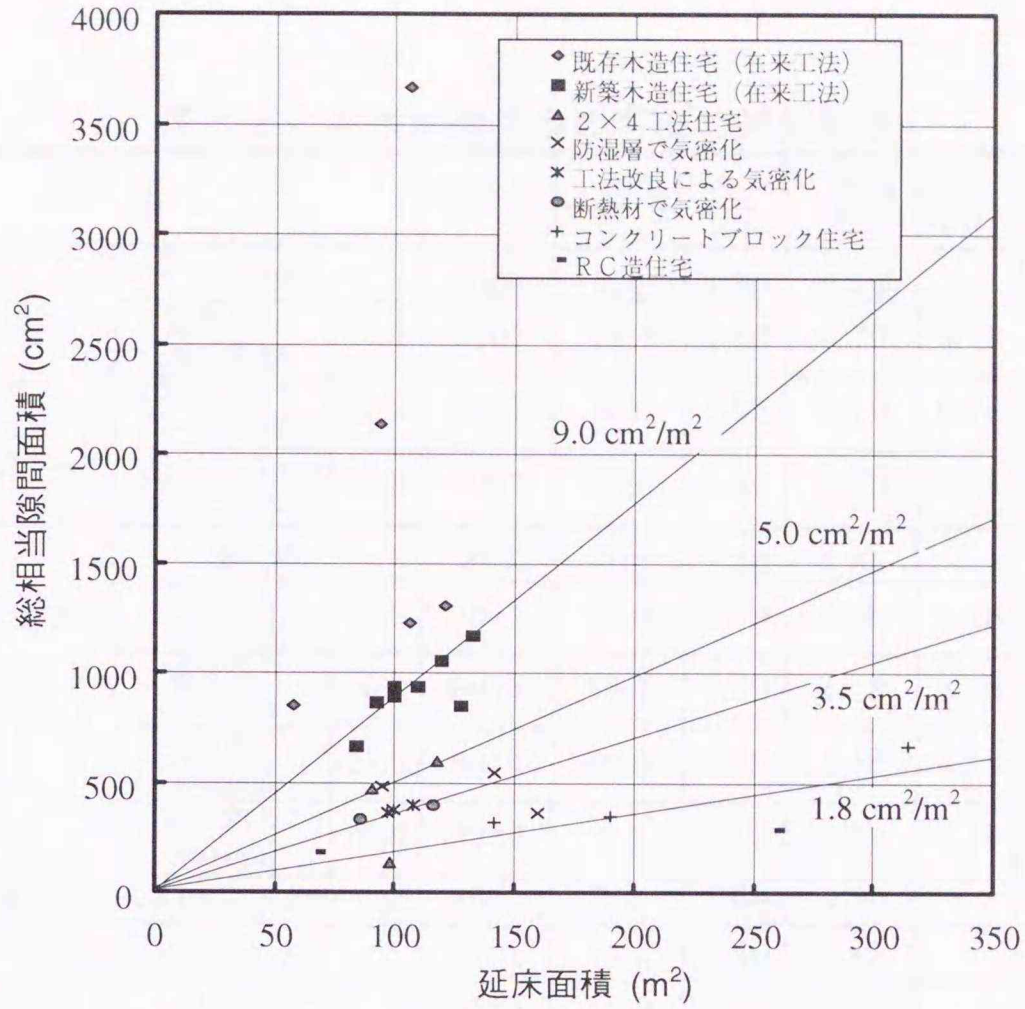


図 2.4.16　北海道の住宅の気密性能(1:～1983)

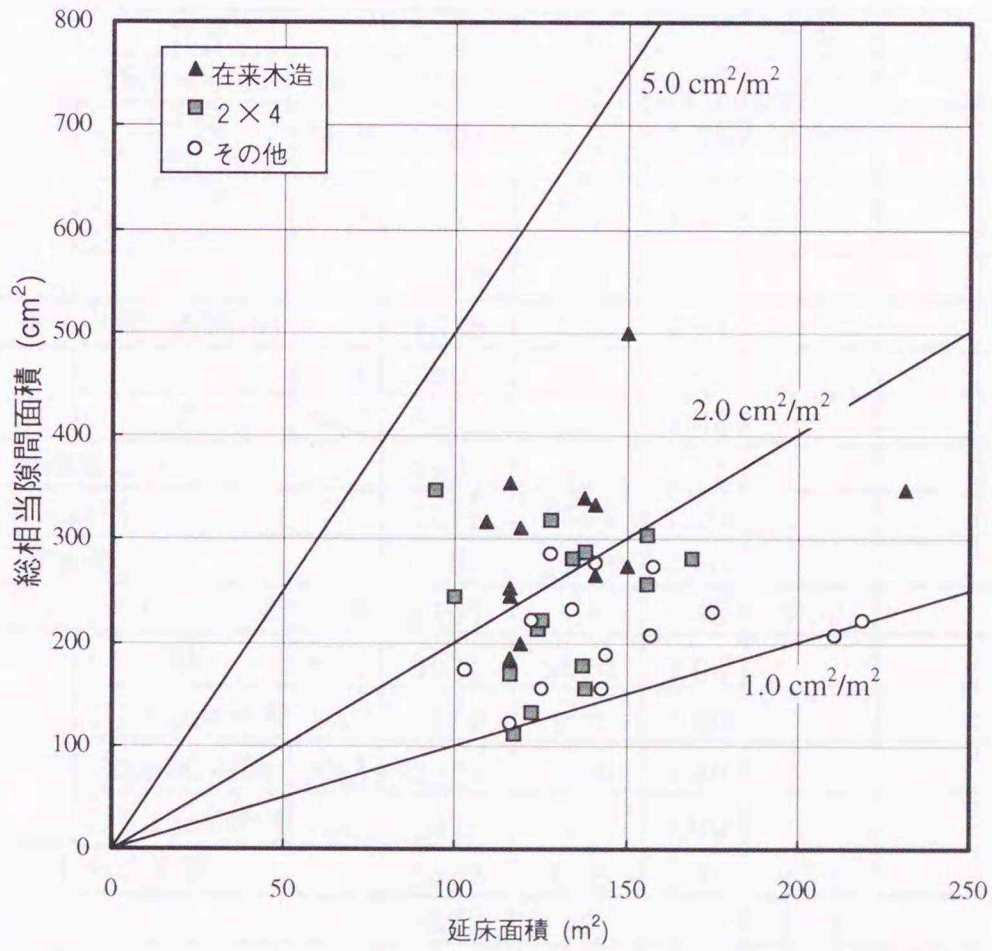
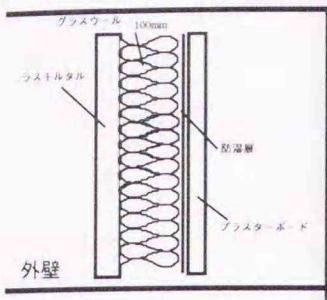
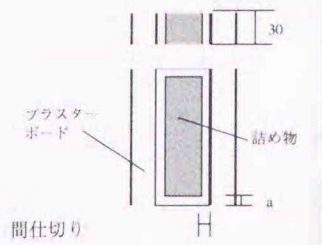
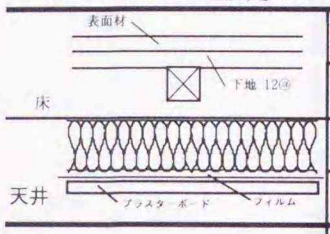
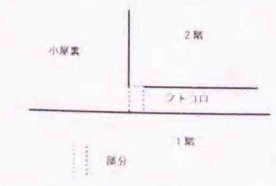
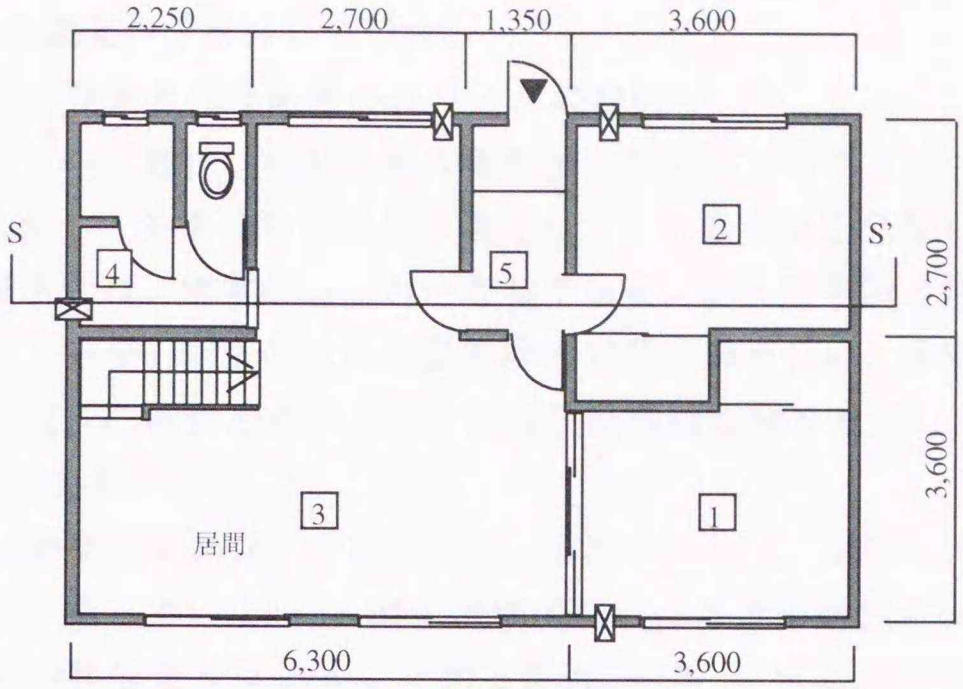


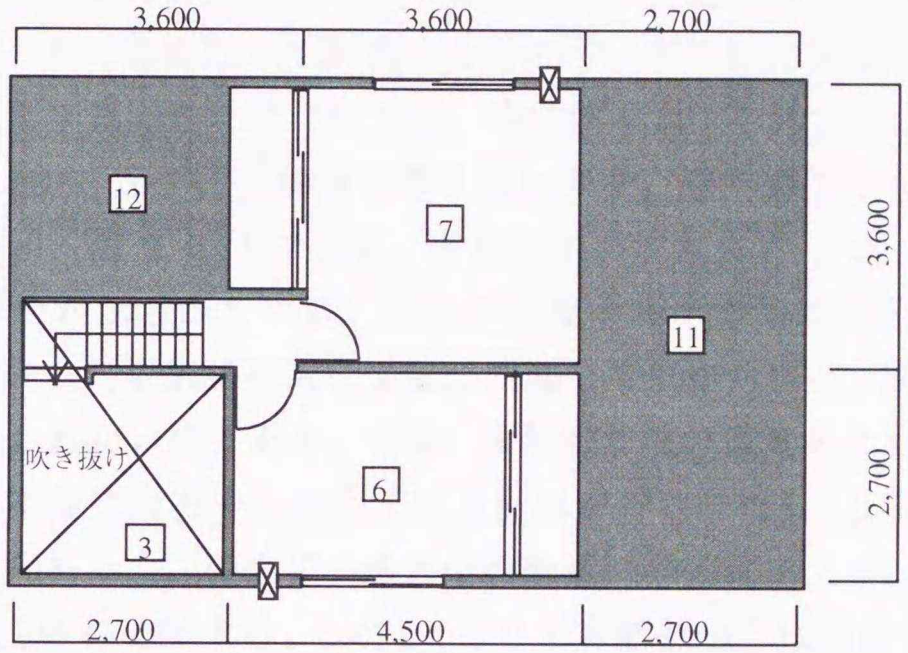
図 2.4.17　北海道の住宅の気密性能(2:1985～1989)

表 2.4.2 在来木造住宅の各部の通気特性

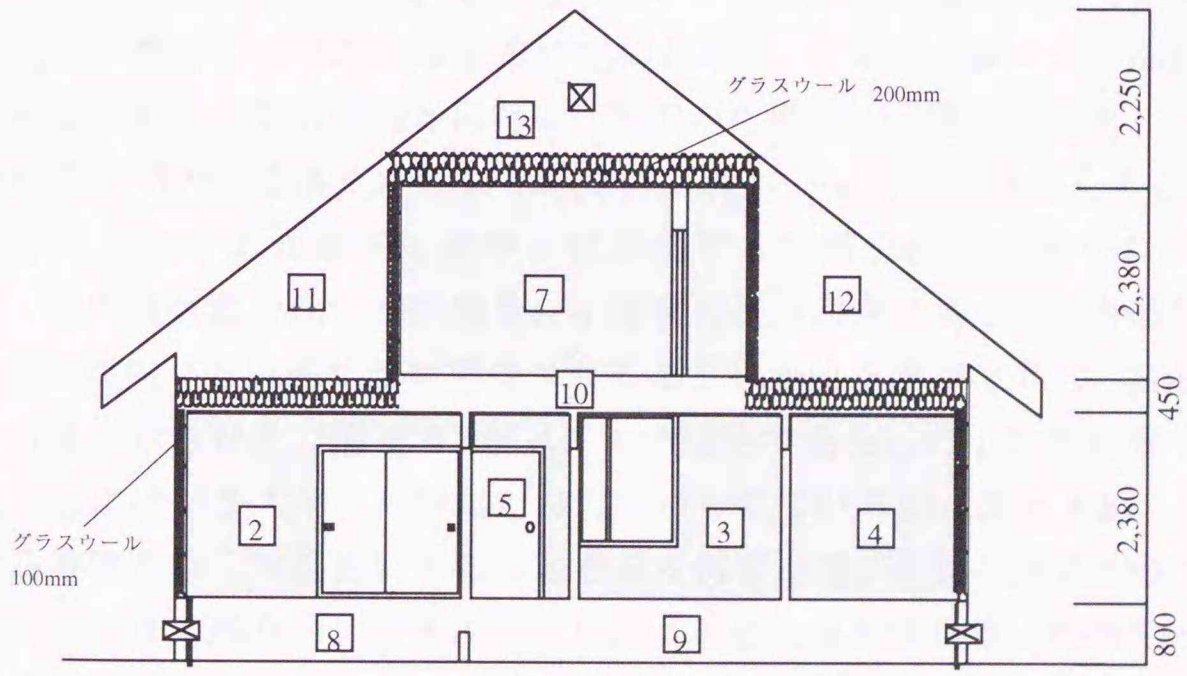
種類			壁番号	通気特性 WR	通気特性 WN	熱貫流率 WK	熱貫流率 WKD	透湿係数 HIW	透湿係数 HIWD
	通気無し		9003	0.0	1.00	0.34			
	通気有り 端部開放	No1	9007	14.1	1.60	0.70	0.75	0.00	0.11
	通気有りグラスウール折曲げ	No2	9007	6.1	1.25	0.70	0.75	0.00	0.11
	通気有り 1mm 隙間で詰め物	No3	9007	3.22	1.29	0.70	0.75	0.00	0.11
	通気無し		9015	0.0	1.00	1.92		0.41	
	通気有り 端部開放	No1	9014	42.3	2.00	4.18	4.18	0.47	0.47
	通気有り a=6mm	No2	9014	78.7	2.00	4.18	4.18	0.47	0.47
	通気有り a=3mm	No3	9014	29.0	1.69	4.18	4.18	0.47	0.47
	通気有り a=1mm	No4	9014	5.4	1.32	4.18	4.18	0.47	0.47
コンクリート基礎 コンクリート120+スタイロフォーム50			9012	0.0	1.00	0.50		0.01	
	床タタミ		9101	13.4	2.00	1.12		0.02	
	フローリング		9104	11.9	1.52	2.33		0.05	
	断熱なし		9117	0.42	1.29	3.39		0.00	
	断熱 300mm		9119	0.42	1.29	0.12		0.00	
押入ベニヤ張り	断熱なし		9105	1.8	1.45	2.33		1.15	
	断熱 300mm+フィルム		9106	1.8	1.45	0.12		0.00	
巾木回り縁	回り縁 フィルム無し	No1	9201	2.0	1.73	0.00			
	回り縁 フィルム有り	No2	9201	0.0	1.00				
	巾木		9202	2.0	1.73				
有効石綿スレート板 (軒裏用)			9218	423	1.94				
居室用換気口	開	No1	9205	82	2.00				
	閉	No2	9205	23	1.63				
基礎用換気口 閉			9204	18	1.71				
単純開口			9216	2520	2.00				
排気筒			9309	1308	2.00				
屋根 アスファルトルーフィング+長尺鉄板			9107	1.8	1.45	3.50		0.00	
	開放	No1	9219	2520	2.00				
	上下2cmの隙間	No2	9219	980	2.00				
	300mm 断熱	No3	9219	1800	1.20				
	上下1㎜の隙間	No4	9219	17	2.00				
アルミ＋木の2重窓			9303	1.46	1.35	2.71			
ドアフラッシュ			9307	16	1.80	2.26		0.02	
フスマ			9308	144	2.00	2.26		2.20	



1 階平面図



2 階平面図



断面図（S－S'）

図 2.4.18　計算モデル

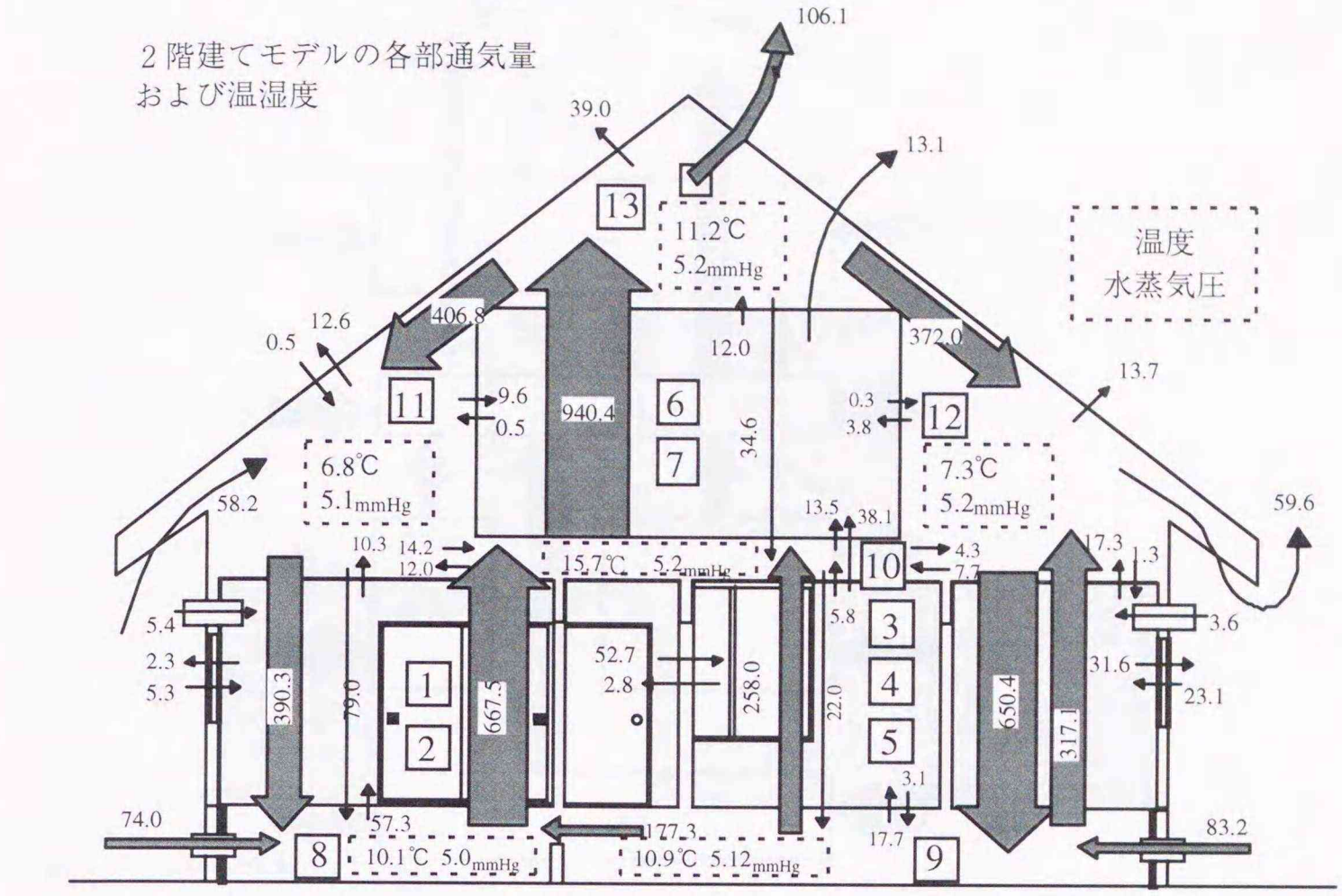
2) 空気移動と温湿度のシミュレーション

—通気止めの効果と内部結露へのリスクの検討—

建築物内の湿気の問題は、本来材料の吸放湿性を考慮すること無しには、扱えない問題である。しかし、冬季の結露問題に限定して、結露を全く発生しない設計の検討を前提にした場合には、定常的な検討が有益である。換気回路網と熱湿気の回路網を同時に解く事によって、空気の流れと温湿度の定常計算を行い、在来木造住宅の壁内を含めた空気の流れの特性とそれによる熱湿気移動の影響を検討した。換気の計算方法は、APPENDIX-**B** に示す。

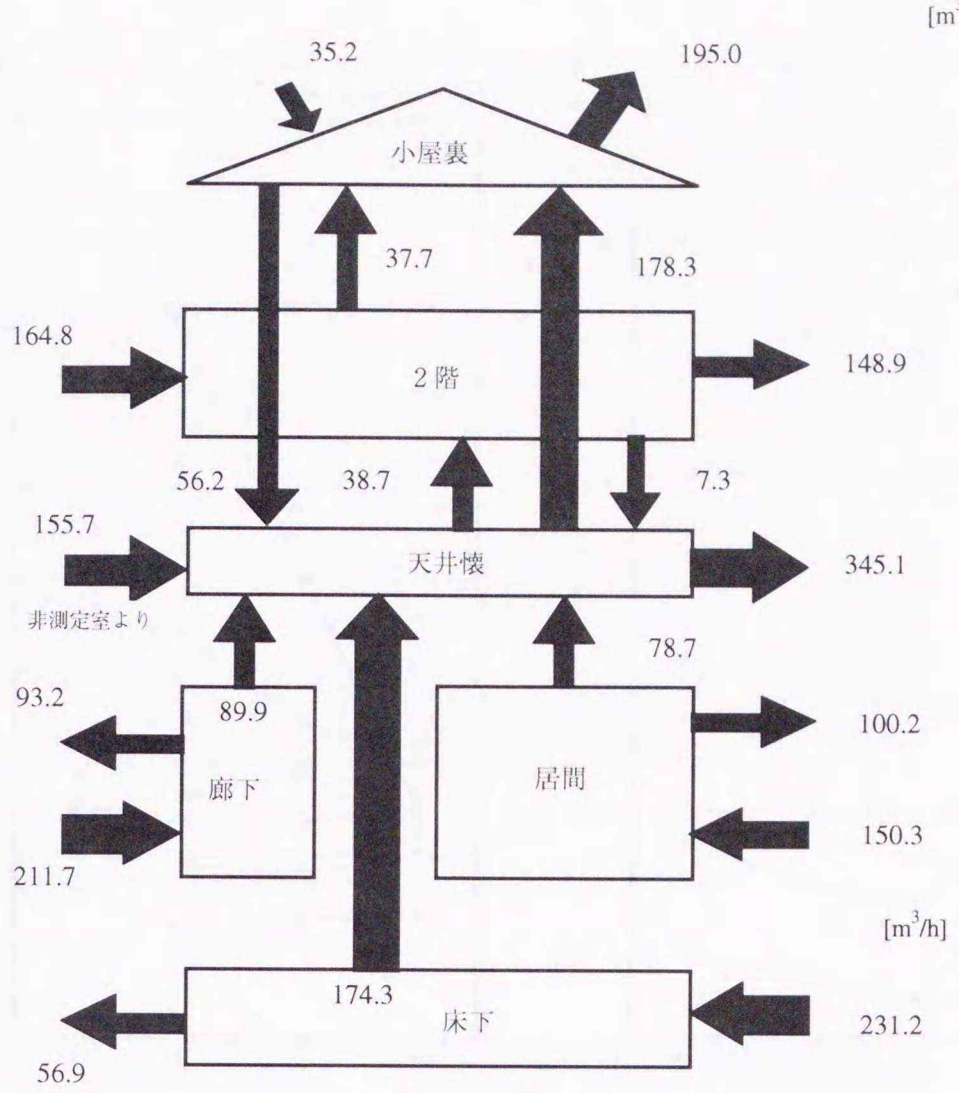
図 2.4.19 は、換気計算結果の一例である。居間のみ 20℃、40%として計算した（地盤への熱授受は考慮していない）。間仕切壁内部には多量の通気が生じ、非居住空間の中で居住空間の換気量をはるかに上回る数百 m^3/h におよぶ空気循環を生じている。冬期間の空気の流れは、温度差による煙突効果が支配する。大きな温度むらのある非居住空間では、その温度むらを解消する方向で、空気が大きく対流することは理解できる。こうした空気の流れについては、後に佐々木[2-10]が実測しその存在を確認している（**図 2.4.20**）。まず、熱的な影響を検討する。壁内通気の有無と住宅の熱負荷を比較したものが、**図 2.4.21** である。壁内通気の有無によって、熱負荷は 2 倍以上の差を生じることが示されている。断熱が普及する中で始めに問題となった課題で、断熱層内部に残った空気層や間仕切壁の内部を冷気が対流し、断熱化によって期待される効果が得られないのである。当時、間仕切り壁の通気をとめるために採られた対応は（寒地建築研究所を中心に広く普及活動が行われた）、上下部分にグラスウールを詰め込む事であった。確かに、熱負荷の低減には効果を上げ、間仕切り壁内通気による熱負荷は 1/5 に低下する。しかし、こうした断熱施工は徹底されることなく、曖昧な対応とならざるをえなかった。

更に大きな課題となったのが、通気量の低下による障害の発生である。多量の通気よって耐久性を維持してきた在来木造住宅において、通気量の減少が内部結露に及ぼす影響である。大きな空気循環と同時に、床下から壁内、小屋裏を経由して外気へと流れる非居住空間の大量換気が生じていた。これが、室内からの流入する水蒸気や、床下地盤から発生する水蒸気を速やかに排出する役割を担ってきたのである。**図 2.4.22** は、壁内通気量の低下と外壁及び小屋裏の絶対湿度である。壁内通気の減少に伴って、断熱壁内など内部結露の懸念される部位の絶対湿度が上昇し、結露の危険性が高くなる事が示された。**図 2.4.23** は、木造住宅で発生した小屋裏結露である。間仕切り壁上部にはグラスウールがたたんで詰められているが（**図 2.4.24**）、不十分な対応が結露被害をむしろ深刻にすることを示す例である。各部の通気の低下は、水蒸気の排出性を大きく損ない、グラスウールによる壁内通気防止は、熱損失の低減や壁面温度の保持などには一定の効果を上げるが、室内の湿った空気が僅かでももれれば、内部結露の危険性が残るため、より密閉性の高い工法改良が必要なことが明らかとなった。



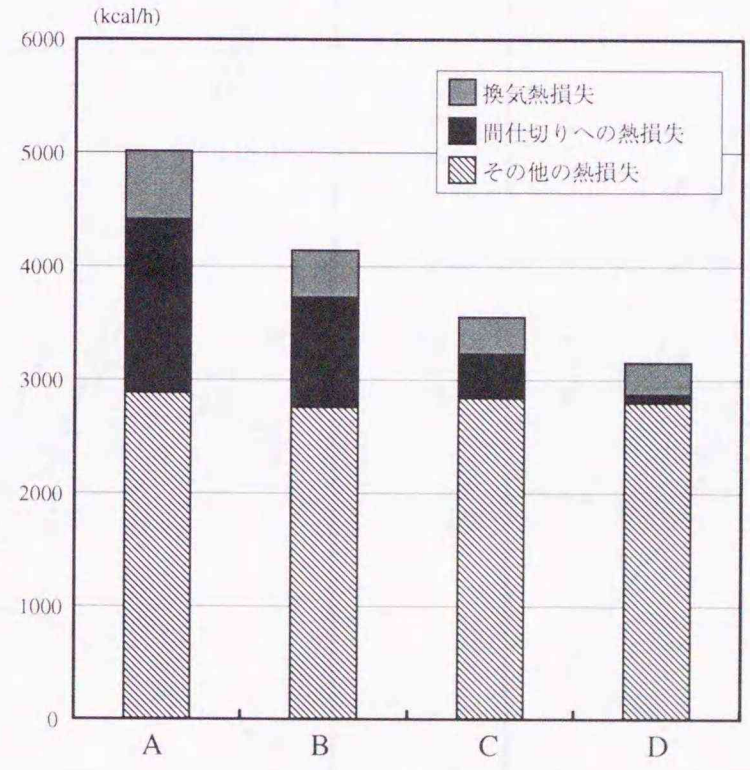
壁体内各部の温湿度

図 2.4.19 壁内通気の計算例



改修前の換気経路、換気量

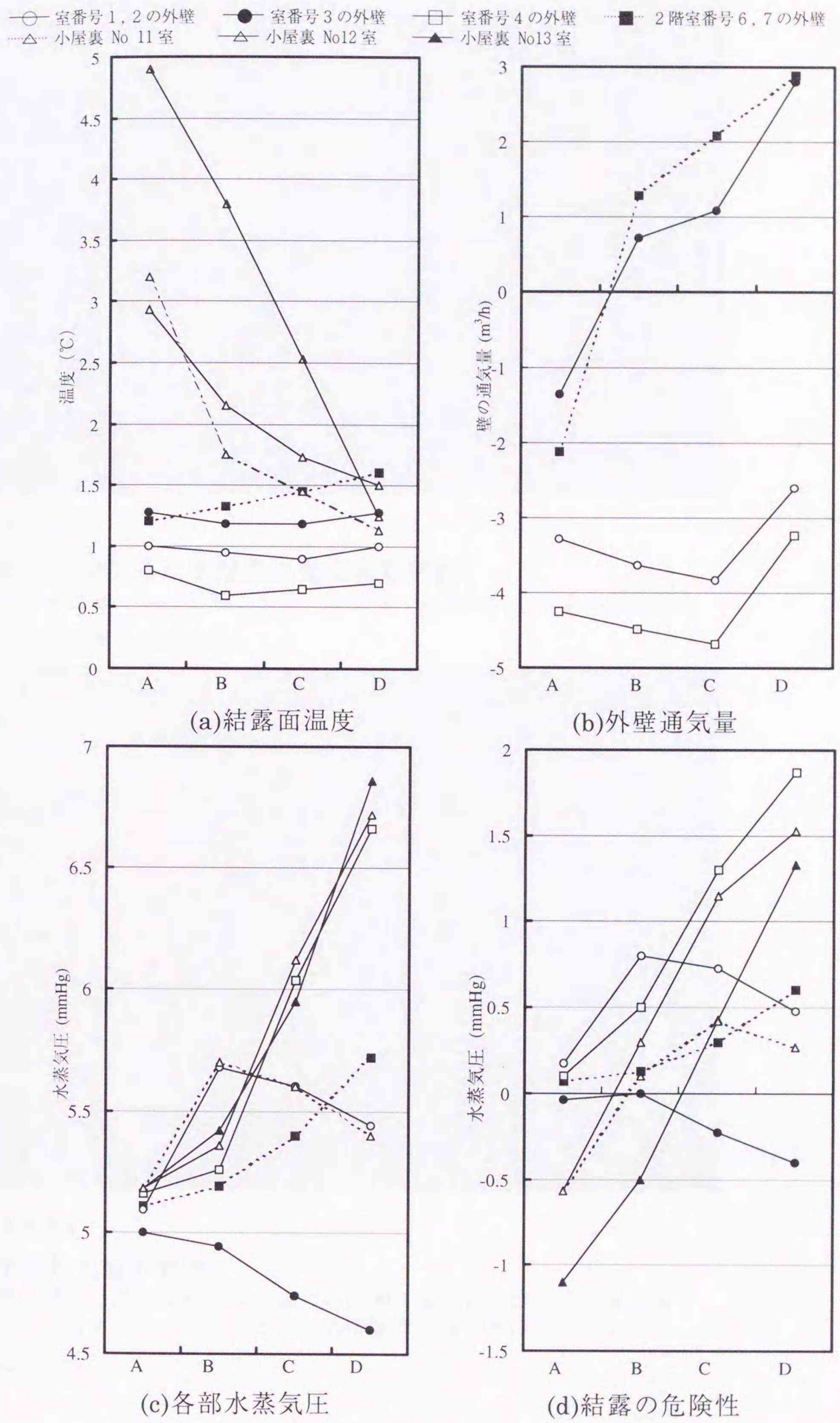
図 2.4.20　壁内通気の測定例（佐々木隆氏） 2-10)



モデルＡに対する減少量の割合

全体	17%	28%	36%
換気	29%	45%	50%
間仕切	37%	74%	96%

図 2.4.21　壁内通気と熱負荷



(a)結露面温度　(b)外壁通気量

(c)各部水蒸気圧　(d)結露の危険性

図 2.4.22　壁内通気量と壁内湿度



図 2.4.23

断熱住宅で生じた小屋裏の壁面結露被害

防湿層が施工され断熱されている住宅で生じた漏気による結露障害

(撮影:1985 年 2 月札幌市)



図 2.4.24

間仕切り上部の処理

間仕切り上部には GW を折曲げて詰めてある。しかし防湿層は壁面との取り合いで切れており、気密層の役割を果たしていない

(撮影:同上)

2.4.3 寒地住宅の断熱技術確立への課題

(1) 外壁構造の転換

木造住宅の激甚腐朽に対する対応は、大きな外壁構造の転換を伴うものであった。内の閉鎖と外への開放である。戦後、近代の建築構造の変化は、外からの風雨に対して徹底した密閉化への変化であった。防火対応からほとんどの住宅の外装がモルタル仕上げに変化し、アルミサッシの普及やシーリングの多用などが外側での密閉化に拍車を掛けた。日本の伝統的な建築技術は、元来徹底した内外への開放による防水技術である。一般的な木造住宅の外壁仕上げであった下見板は、重ねによって風を受け流し、雨だけを防ぐレインスクリーンであった。伝統を無視し外側からむやみに閉鎖してきたことが、断熱化に伴う障害の原因となった。**図 2.4.25** は、通気層を持つ断熱外壁構造の模式図である。北欧諸国では、オイルショック当時に既に常識となっていた壁体構造である。外側の外装材は雨を一時的に防ぐレインスクリーンであり、防水及び風圧は開放された通気層の内側にある防風層で防ぐ構造である。北海道に建設される住宅の大多数の外壁構造がこの様な仕様に変化するまでには多くの混乱を経験した。

壁内結露の防止に始めに取り組まれたのは、通気層による開放であった。モルタル外装では、通気層の確保が高価であったことから、壁内の外側に通気層を確保する試みがなされた。しかし、断熱材の施工不良と室内側での気密性の不足によって、断熱性の著しい低下と表面結露を引き起こした。通気層が普及したのは乾式サイジングの登場した後である。モルタルの代わりにセメント系のボードを直張りする工法は、モルタルのクラックや骨材によって生じるさびのクレームに頭を悩ませていた工務店に、急速に受け入れられてゆく。しかし、シーリングに頼った表面での防水は、継ぎ

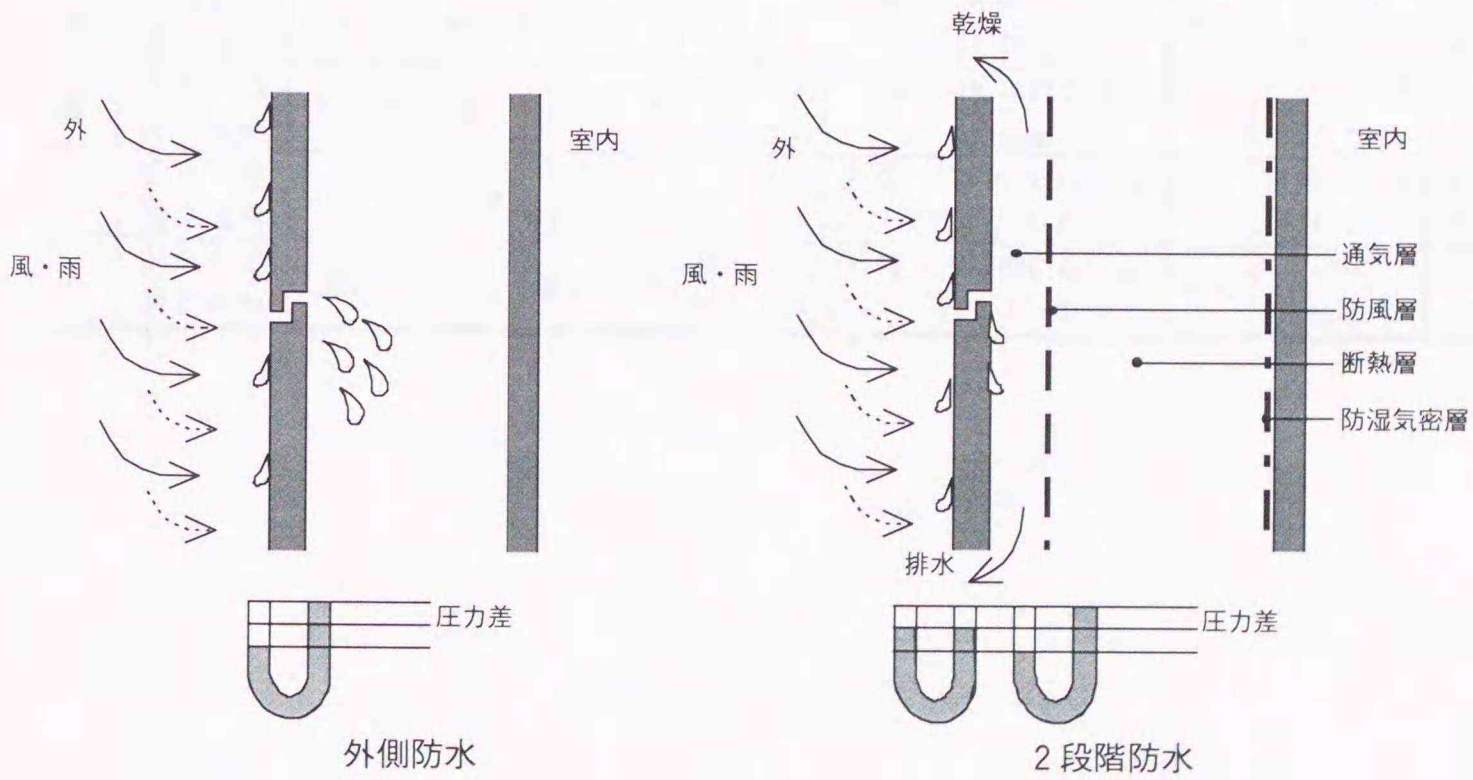


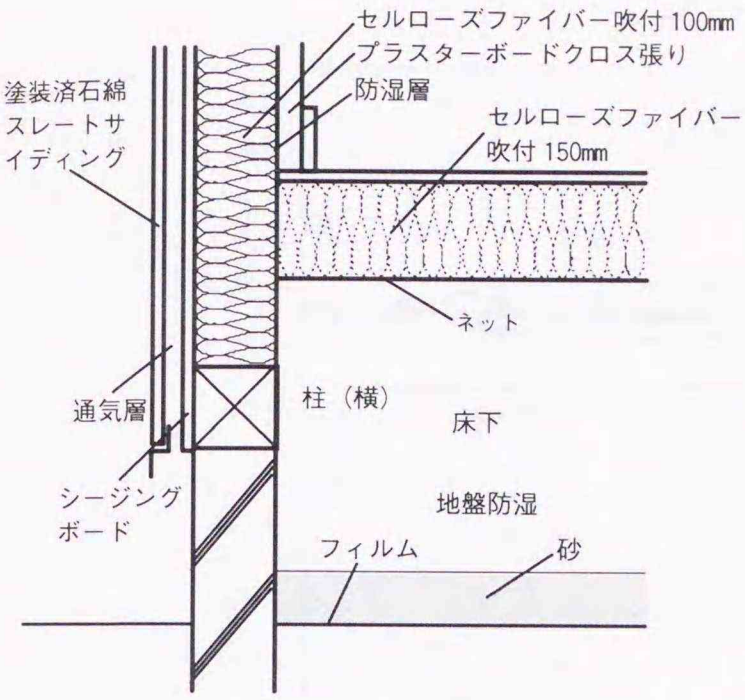
図 2.4.25　外壁構造の考え方

目からの雨水の進入を許し多くの被害を生じた。壁内結露による障害が社会全体の関心を集めていた時期と重なり、こうしたクレームが内部結露と混同されて伝えられた。多くの専門家が通気層の必要性を訴えていたため、乾式サイジングメーカーの標準仕様に通気層が登場することとなった。しかし、通気層の役割は、あくまでも防水と乾燥である。内部結露の原因となる室内からの水蒸気移動は、徹底した断熱層室内側での気密化と防湿によって防がれるべきで、建設当初の水蒸気や一時的な湿潤に対して速やかな乾燥を実現することこそ、通気層の役割といえる。**表 2.4.3** に示す壁体構造の異なる 4 戸の木造住宅において、木軸組み構造の木材含水率の長期測定を行った[2-11]。**図 2.4.26** に断面詳細を、**図 2.4.27** に測定結果を示す。通気層の有無による差が健著に現れ、外装材を直張りした住宅では、20%以上の高含水状態が解消しないが、通気層を持つ住宅では、15%以下を推移する。通気層が壁体乾燥に高い効果を上げる事が示されている。

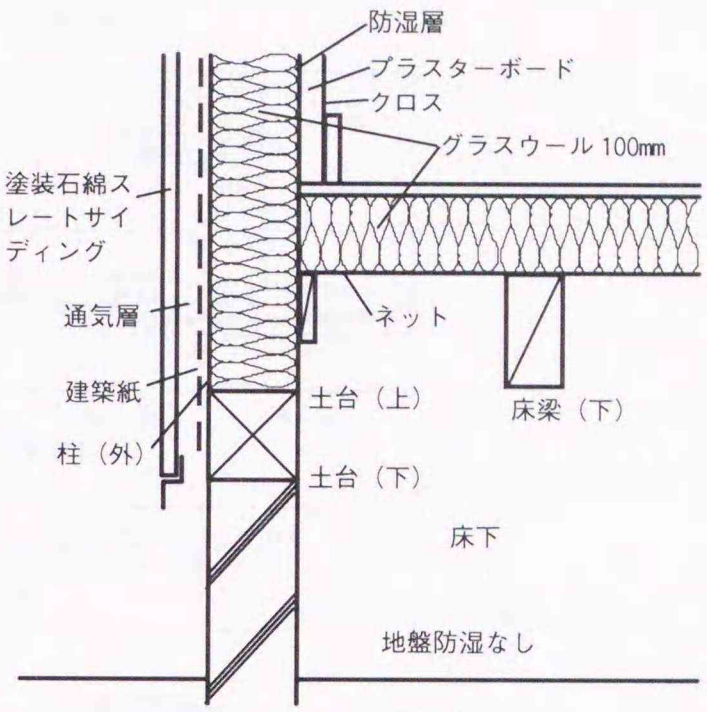
室内側の気密化が通気層に遅れて進行する。北海道が実施した北方型住宅プロジェクトが、気密化への動きを刺激した。北欧では 1970 年台後半に作られた気密化基準が、日本で始めて作られたのである。先進的な工務店が気密化への努力続けていたが、気密性能が住宅性能を代表するものとなっていった。様々な工法が登場したが、鎌田等の提案した在来工法の改善は、最も困難と考えられていた桁回りおよび間仕切り壁上下端部の気密化工法を完成し、北方型住宅を通じて木造住宅の標準的な工法となっている。

表 2.4.3　木材含水率を測定した住戸の概要

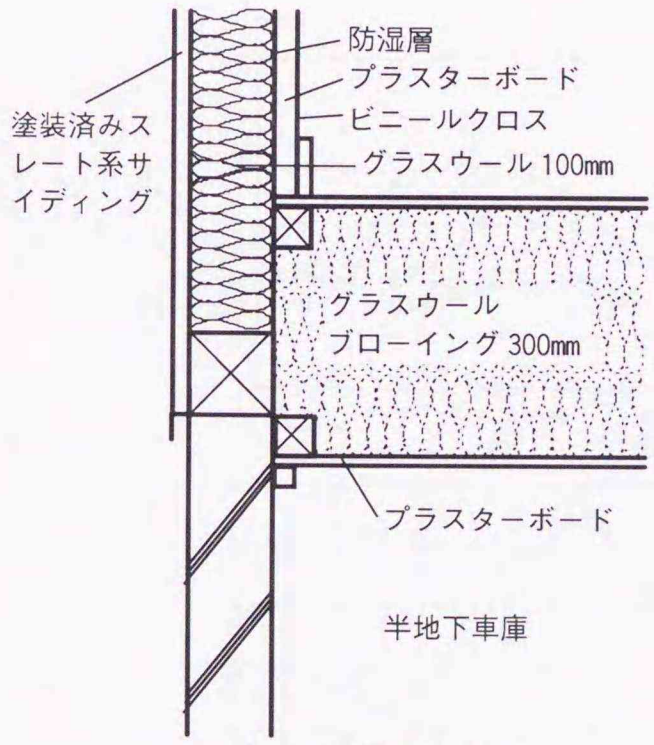
No	構造	建設年次	1F 床面積(m²)	暖房方式	家族構成	建物の主な仕様			
						断熱	防湿	外装	その他
A	在来木造 通気層有	1984 年	89.3	C.H.	大人 4 人	外壁・床 ｾﾙﾛｰｽﾞﾌｧｲﾊﾞｰ 吹付け 100mm	有り	木質系 ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ	地盤 防湿
B	在来木造 通気層有	1984 年	60.2	ストーブ	大人 3 人 子供 2 人	外壁・床 GW16K 100mm	有り	石綿ｽﾚｰﾄ系 ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ	地盤 防湿
C	在来木造 通気層無	1983 年	58.9	ストーブ 84 より CH	大人 2 人 老人 1 人	外壁 GW16K100mm 床 GWﾌﾞﾛｰｲﾝｸﾞ300mm	有り	石綿ｽﾚｰﾄ系 ｻｲﾃﾞｨﾝｸﾞ	高床 車庫
D	在来木造 通気層無	1983 年	97.2	温水 C.H.	大人 4 人 老人 1 人	外壁 GW16K100mm 床ｾﾙﾛｰｽﾞﾌｧｲﾊﾞｰ300mm	有り	ALC 吹付けﾀｲﾙ	一部地下 洗濯室



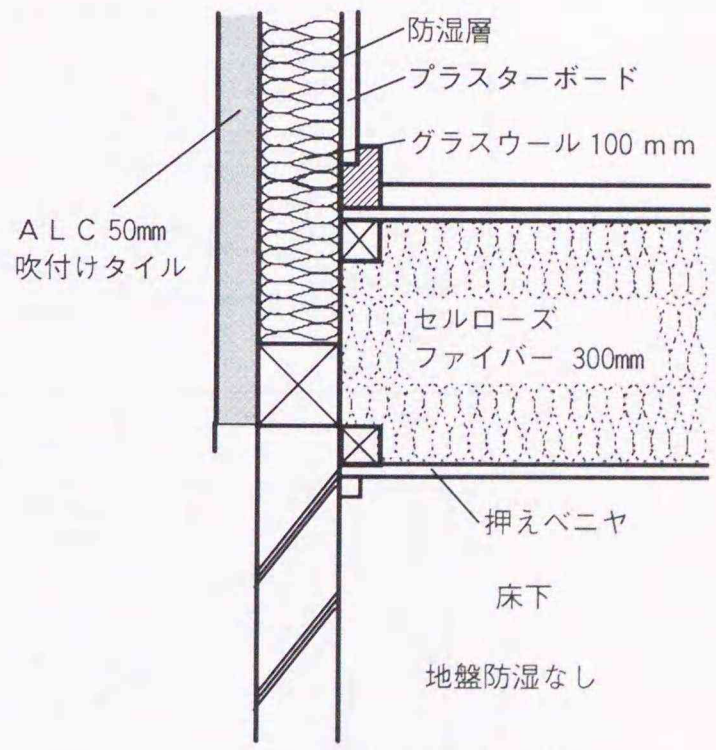
A住戸の断面詳細図



B住戸の断面詳細図

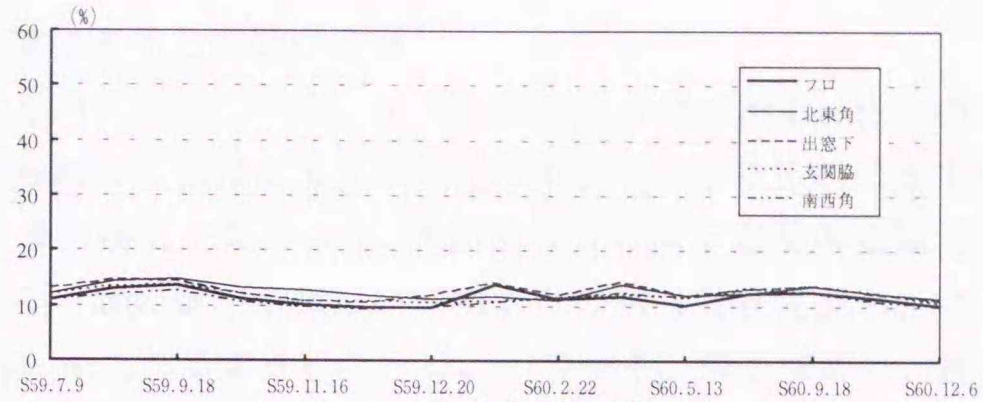


C住戸の断面詳細図

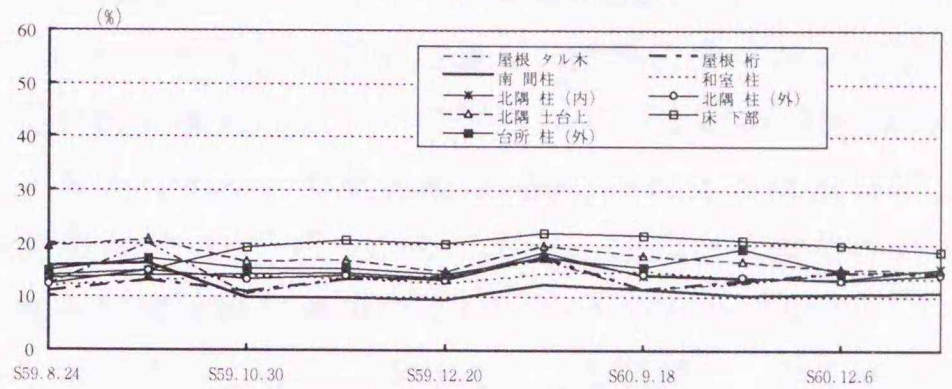


D住戸の断面詳細図

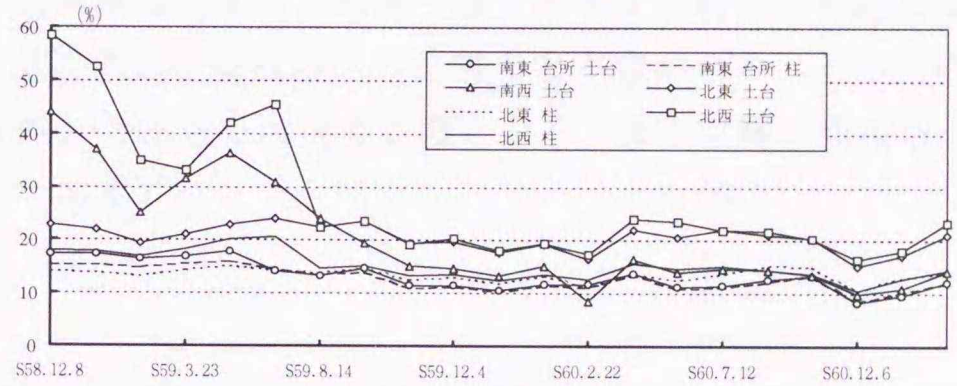
図 2.4.26　木材含水率測定住宅の断面詳細



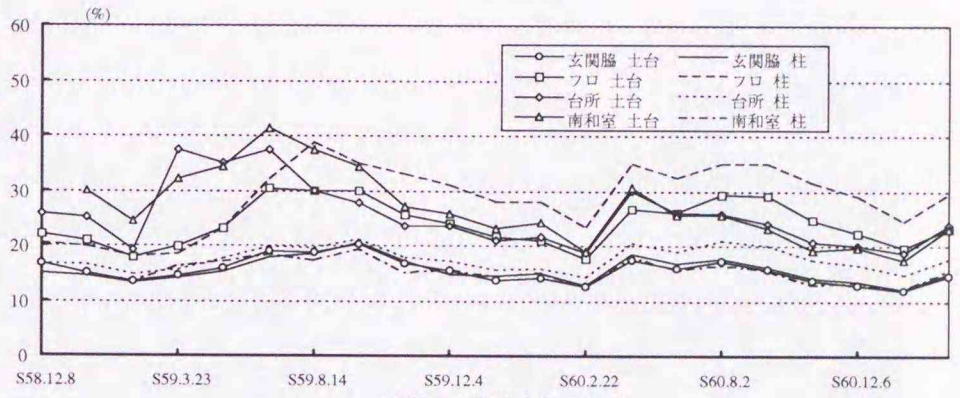
A住戸の含水率測定結果



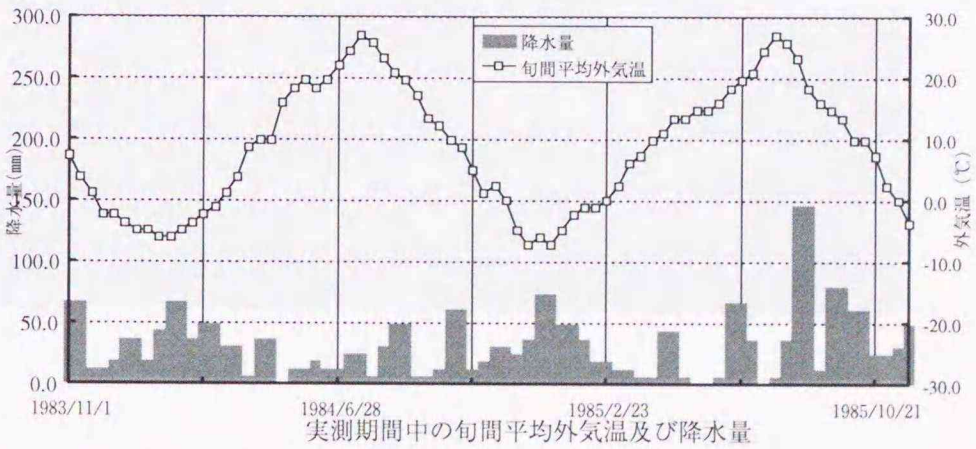
B住戸の含水率測定結果



C住戸の含水率測定結果



D住戸の含水率測定結果



実測期間中の旬間平均外気温及び降水量

図 2.4.27　壁体構造の異なる木造住宅の木材含水率長期測定結果
(1983 年～1985 年)

(2) 床下空間の環境変化と問題の変質

断熱住宅で生じる問題の一つが、床下空間の高湿化である。住宅の断熱気密化によって、床下環境も劇的に変化してきた。間仕切り壁を通じて起こっていた煙突効果による上方への大量の換気がなくなり、床断熱による床下空間の狭隘化が横方向の換気を損なった。また、床の厚い断熱は、室内からの熱移動を完全に止めるため、夏季の床下温度が低温に保たれるようになった。この結果、床下空間は、夏季に低温で、高湿な環境が安定して保たれることとなった。**図 2.4.28** は、床断熱住宅の夏季の床下である。断熱材裏面には多量の水滴が付着し、断熱の受け材や床梁にも腐朽が広がっている。床下空間が狭く換気口が十分に採られていない事が原因ではあるが、断熱化に伴う課題を示すものである。外気温度が 30℃を越える真夏日に、床下空気温度は20℃で、地盤表面温度は 18℃だったのである。寒冷な気候条件による冬季を中心とした結露による腐朽被害は既に過去のものになろうとしている。

床の厚い断熱と気密化によって、新たに生じる問題は、夏を中心とした、地盤の熱応答遅れによる結露障害である。地盤と接する床下空間への対応には、断熱計画の大きな転換や、空気の流れ、吸放湿への配慮などが求められ、その対応如何が、寒冷地の地域特性に根差した住宅を創造する鍵となる。床下空間の環境形成と有効利用は 4 章で取組む課題である。

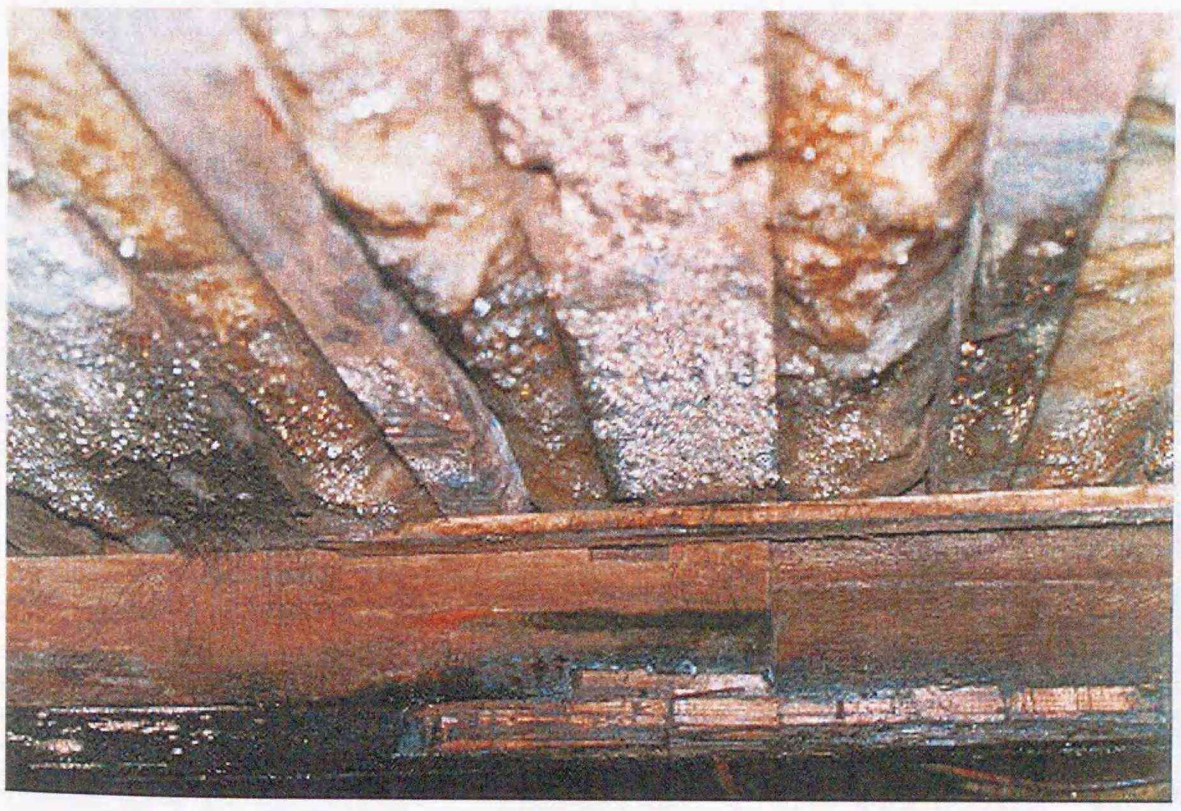


図 2.4.28

床下の夏期の結露

床断熱材下面に多量の水滴が付着し、木材が一部腐朽している

(撮影:1990 年 8 月 8 北広島町)

2.5 かび蔓延結露時代

雨漏り状結露が終息し、窓氷結時代が窓の構造変化によって軽減した頃、木造住宅の激甚腐朽結露の発生と相前後して、RC 造集合住宅を中心に著しいかび被害が見られるようになった。もちろん、それまでも押し入れの内部や部屋の隅にカビ被害を生じてきた。特に、外壁に面した押し入れ内部や家具の裏などに集中して生じてきたが、空気の流通を図ることで、結露被害が軽減した。多量の換気やアルミサッシュで生じる結露が、除湿器として働くことによって、室内の相対湿度は思いのほか低かったのである。しかし、内窓の改修による外側アルミサッシュの結露や結氷の減少と、気密性の高い窓構造の転換による換気量の低下によって、窓が受け持っていた除湿機能が急激に低下した。この結果、暖房室の結露被害が軽減することの代償のように、非暖房室に著しいカビ被害を生じることとなった。かび蔓延時代の被害は、部分的なかびの発生ではない。部屋全体の壁面がかびで覆われてしまう程の被害で、結露に伴う被害にもかかわらず特殊な現象でもあるかのように、原因究明に取り組もうとしてきた。変わらぬ現象的な問題解決の姿勢であったが、既に場当たり的な対応では解決し得ない、住宅全体の環境保持の課題となっていた。

2.5.1 非暖房室結露の背景

断熱化の進んだ住宅では、非暖房室でも一定の室温が保持されるようになり、同時に、窓表面などを含めて氷点下になるような極端な低温部位も生じることがなくなる。この結果、非暖房室は、相対湿度が上昇し、温度むらの少ない壁面全体にかび被害を生じる被害が続発する。RC 集合住宅では、接着モルタルによるプラスターボードの直張り工法による内装工事が主流となり、接着モルタル部分の室内側表面を中心に内装クロスの表面ばかりでなく、クロスの裏側や下地の石膏ボード内部までかび被害が広がった（**図 2.5.1、2**）。住居の面積が小さく、基本構造自体が隙間のない RC 集合住宅に著しい被害が集中したことは当然の結果であったが、断熱気密化の向上に伴って、戸建て住宅でも同様な被害をみる結果となった（**図 2.5.3**）。

図 2.5.4 は、窓の断熱気密改修に伴って生じた、典型的な暖房隣室のかび被害である。この事例は 1978 年に建設された民間分譲の RC 集合住宅である。アルミサッシへの結露軽減と断熱性の向上のため、1980 年に室内側の木製窓をプラスチック製の気密性の高いペアガラス入り窓に交換している。その年の冬、窓結露の解消や室温の向上と引き換えに、部屋中の壁面に黒かび被害を発生した。壁表面に目に見える水滴が生じることはないが、相対湿度の上昇によって壁表面の水分活性が上昇し、著しいかびの発生を見たものと考えられ、窓構造の変化がかび被害に直結した例である。

結露は、性能の向上した窓にも発生する。**図 2.5.5** は、ペアガラスの入ったプラスチック製の内窓表面に発生した結露である。2 重窓の室内側表面で生じる結露は、結氷として蓄積されることはない。しかし、水滴となって絶えず流れ落ち、窓枠や腰壁を濡らし、かび被害を助長する。2 重窓の室内側の窓の気密化は窓自体の気密化とそれに伴う住宅全体の換気量低下を伴い、室内の湿度を高める結果となった。

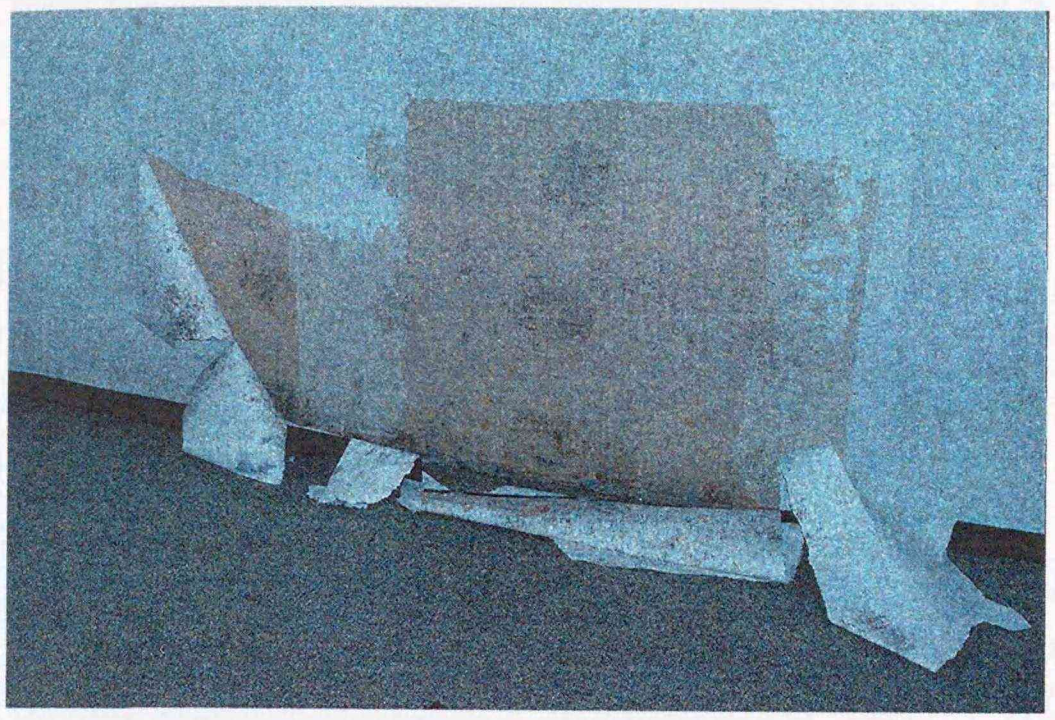


図 2.5.1
接着モルタル部分を中心としたカビ被害
接着モルタル部分にあたる部分を中心にカビが発生し、プラスターボード内部にも発生していたことから、モルタル自体が疑われた
（撮影:1986 年 1 月札幌市）

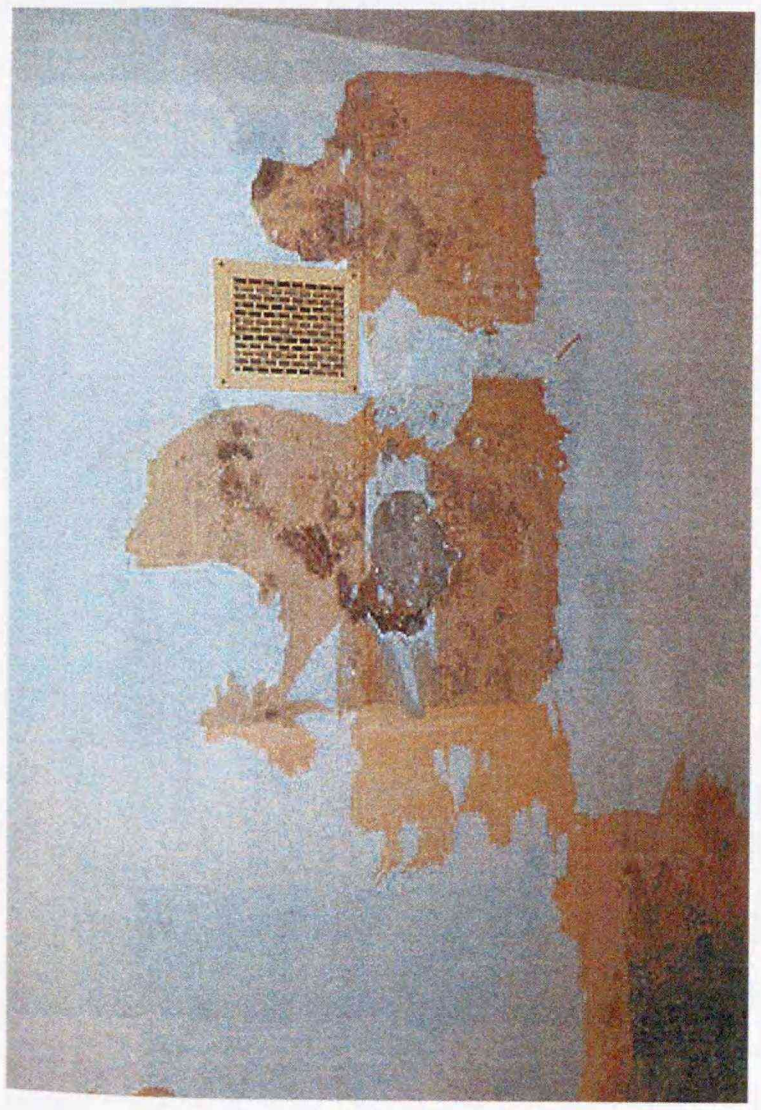


図 2.5.2
壁一面の結露被害
下地のプラスターボードに著しいカビ被害を生じ、その原因がクロスの接着剤や防湿層の施工に転嫁された
（撮影：1983 年 3 月札幌市）



図 2.5.3
木造住宅の非暖房室のカビ被害
（撮影:1983 年 8 月札幌市）



図 2.5.4
窓改修後のカビ被害
入居 5 年目に窓を気密改修した結果、著しいクロカビ被害を発生
（撮影:1982 年 3 月札幌市）

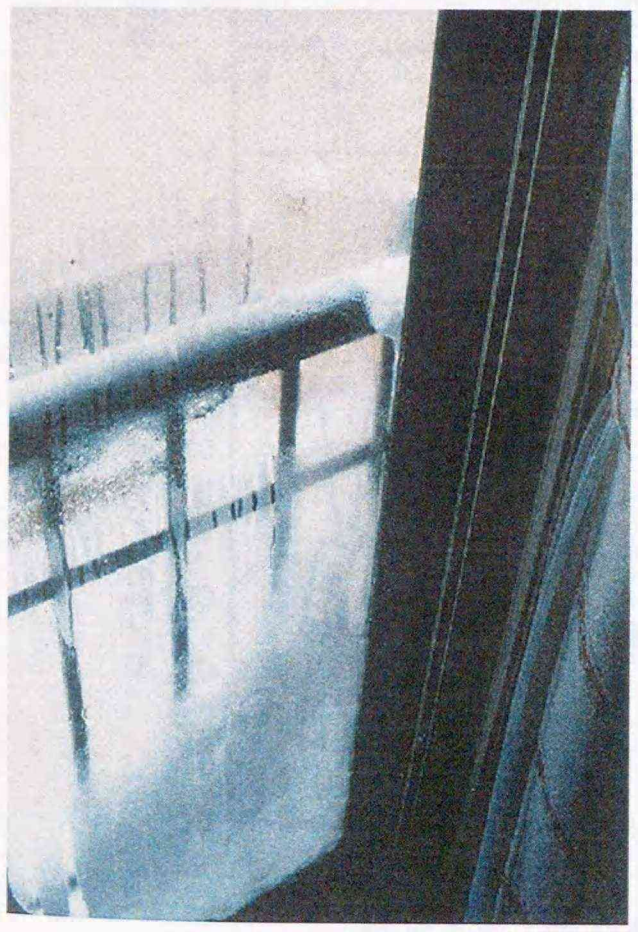


図 2.5.5
ペアガラス入りプラスチック製内窓の表面結露
非暖房室では、室内側にプラスチック製のペアガラス入りサッシを施しても、その室内側表面に結露を生じた
（撮影:1983 年 2 月札幌市）

図 2.5.6 は、オイルショック後の RC 集合住宅の温湿度変動である。集合住宅は外表面積が小さく、もともと熱負荷の少ない性質を持つため、非暖房室温度は、僅かな断熱により著しく改善する。厳寒期にも暖房隣室は、最低室温で 15℃を維持し、北側の閉鎖した室でも 7℃を保っている。氷点下を記録していたオイルショック前の住居に比べれば、はるかに温度環境に優れた住居である。しかし、非暖房室の相対湿度は、温度の向上にもかかわらず絶えず 80%を示し、暖房隣室でも 70%前後の高湿な環境が継続することとなった。

暖房隣室の室温が最低室温で 15℃を維持する住戸では、ほとんどの場合暖房をしないか、極端な間欠暖房になる。室温の保持が、住居の暖房環境の保持だけでなく、建物の維持管理にとって欠くことのできないものであるという、寒地の常識が育っていないのである。また、熱負荷の小さなことと断熱性の高低は一致しないにもかかわらず、熱負荷の小ささが、建物自体の断熱性の高さと誤解し、断熱性は十分あるのに結露被害が少なくならないとして、結露被害の原因のほとんどを居住者に押しつけた。

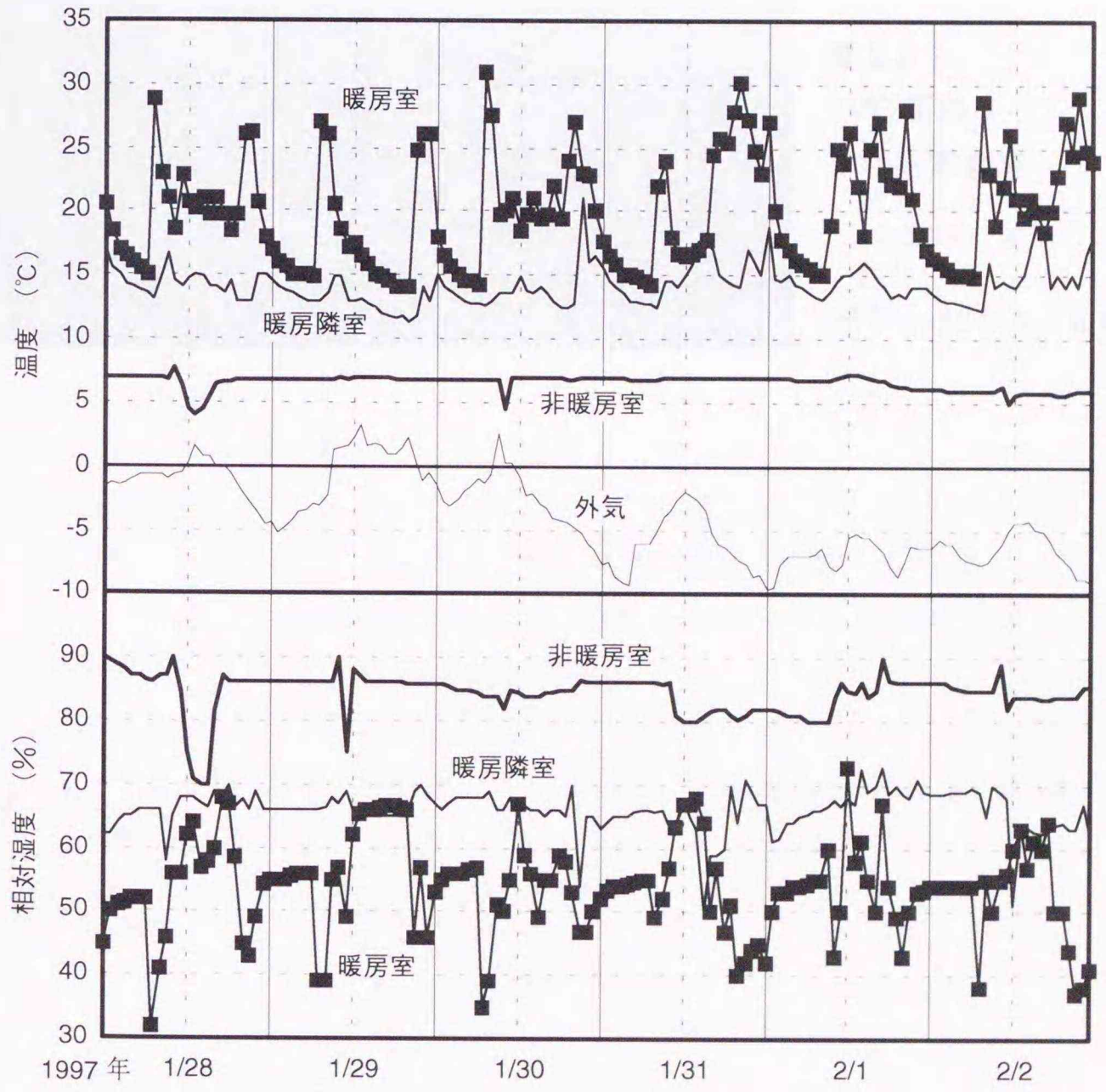


図 2.5.6　集合住宅の非暖房室の温湿度環境

(1981 年建設、内断熱 FP30mm、ストーブ暖房、1F 端部、1987.1.28～2.2 測定)

戸建て住宅でも同様な結露被害が増大する。オイルショック後、窓を含む建物全体の性能向上が進み、非暖房室の温度上昇は目を見張るものがある。暖房していない2階の居室で厳寒期の最低室温が 10℃を維持するようになると、寝室としての利用や一時的な利用の場合、温度の面からはこれ以上の温度上昇の必要を感じない居住者が多くなる。この結果、結露防止に多大な効果をあげるはずの PVC サッシに、軒並結露を発生することとなった（**図 2.5.7**）。クロスのかび被害が頻発したのもこの頃で、目にみえる結露被害がなくかび被害を発生したために、その原因がクロスの施工に使用される接着剤や果ては、下地のプラスターボードがビニールクロスと防湿層に挟まれるために生じるのだという奇説まで登場し、混迷の度を深めていった。

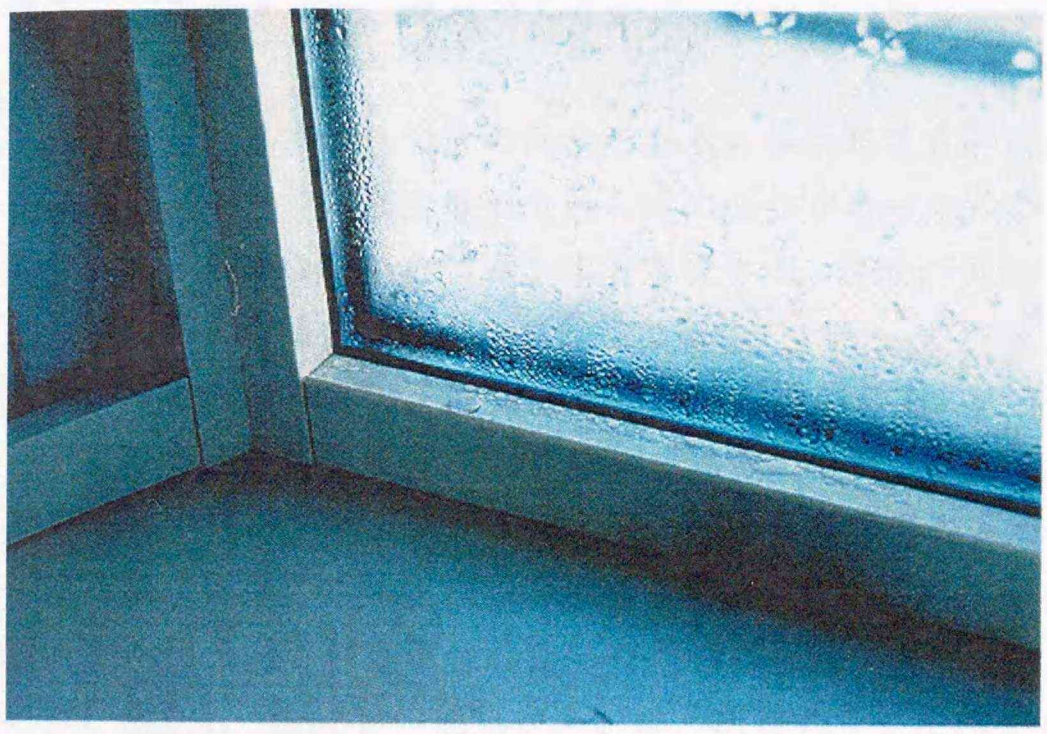


図 2.5.7
PVC断熱サッシに発生した結露被害
結露しないとして使われたため、クレームが多発した
（撮影:1988 年 2 月札幌市）

2.5.2 求められた対応とその影響

(1) 生活指導

結露被害が、居住者の生活状況に大きく左右されることは確かである。同じ集合住宅の中で、あるいは同じ建て売り住宅団地の中で、住戸条件や家族構成も類似していながら、全く結露を発生しない住戸と、著しい被害を発生する住戸が混在してきた。この事を以って、結露の発生責任のほとんど総てを、居住者へ押し付けてきたのである。集合住宅や新築住宅の入居者に配布された、生活対応のためのパンフレットの内容を見ると興味深い。窓の開放や観葉植物の制限、加湿器ややかんなど水蒸気を発生するものの制限、洗濯時の脱水の方法、換気扇の使い方、住戸内の室内ドアの開放、ストーブの炊きかた、風呂の入りかた、タンスの置きかた、など、驚くほどの生活規制である。

結露防止の基本は、温度の保持である。冬期間に良好な換気を行うにも、温度の保持が不可欠である。寒冷地の生活対応の条件が整っていないなかで、生活対応を求められれば、それは我慢を強いる事を意味する。温度が保持された中での一時的な窓の開放や、換気の確保、室内の開放化は居住者にとって快適性の向上ではあっても我慢する対象とはならない。**図 2.5.8** は、結露被害のあった千歳の公営住宅で実施した、生活に伴う水蒸気発生量の調査結果である。平均水蒸気発生量は 8 リットル/日で、観葉植物の利用や加湿器、やかんによる水蒸気蒸発があっても、10 リットル/日程度の水蒸気発生量である。**図 2.5.9** は 10 リットル/日の水蒸気発生量で計算した、2 重窓の室内側表面で結露を生じないための必要換気量である。住戸内に温度むらがなければ、僅かに $70m^3/h$ の換気があれば、結露のない生活が可能なはずで、室内の相対湿度は 40%程度である。

これに対して、窓の開放による一時的な換気によって排出される、水蒸気量を考えてみよう。窓を数分開放するだけで、結露防止に必要な換気量の何時間分もの換気量となる。しかし、換気による排湿には、水分は空気中に水蒸気として存在することが必要であるが、結露を生じる非暖房室では、温度が低く水分は水の状態で存在するのである。寒い思いをして暖房隣室の窓を開放しても、水分の除去効果は極めて少なく、部屋の温度を徹底して低下させ、窓閉鎖後の結露被害の拡大と暖房室の一層の乾燥化をもたらすこととなる。住居内の温度むらがかび蔓延結露の主原因となる中で、暖房隣室の単純な窓の開放は、誤った対応となっていたのである。ここにも、水蒸気の物理を理解し、適切な助言を与えられる専門家の存在が求められたのである。

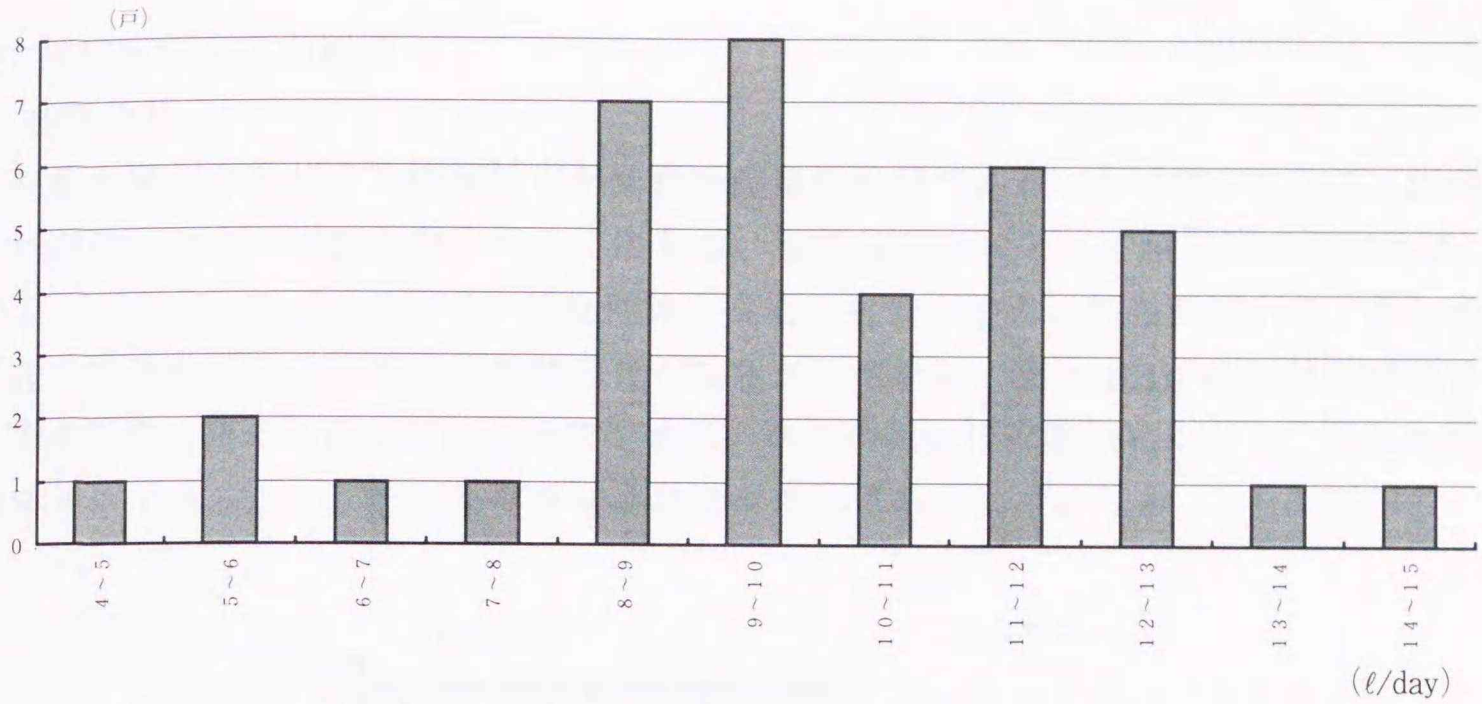


図 2.5.8　生活調査による水蒸気発生量の推定(全 37 戸:1982 年調査)

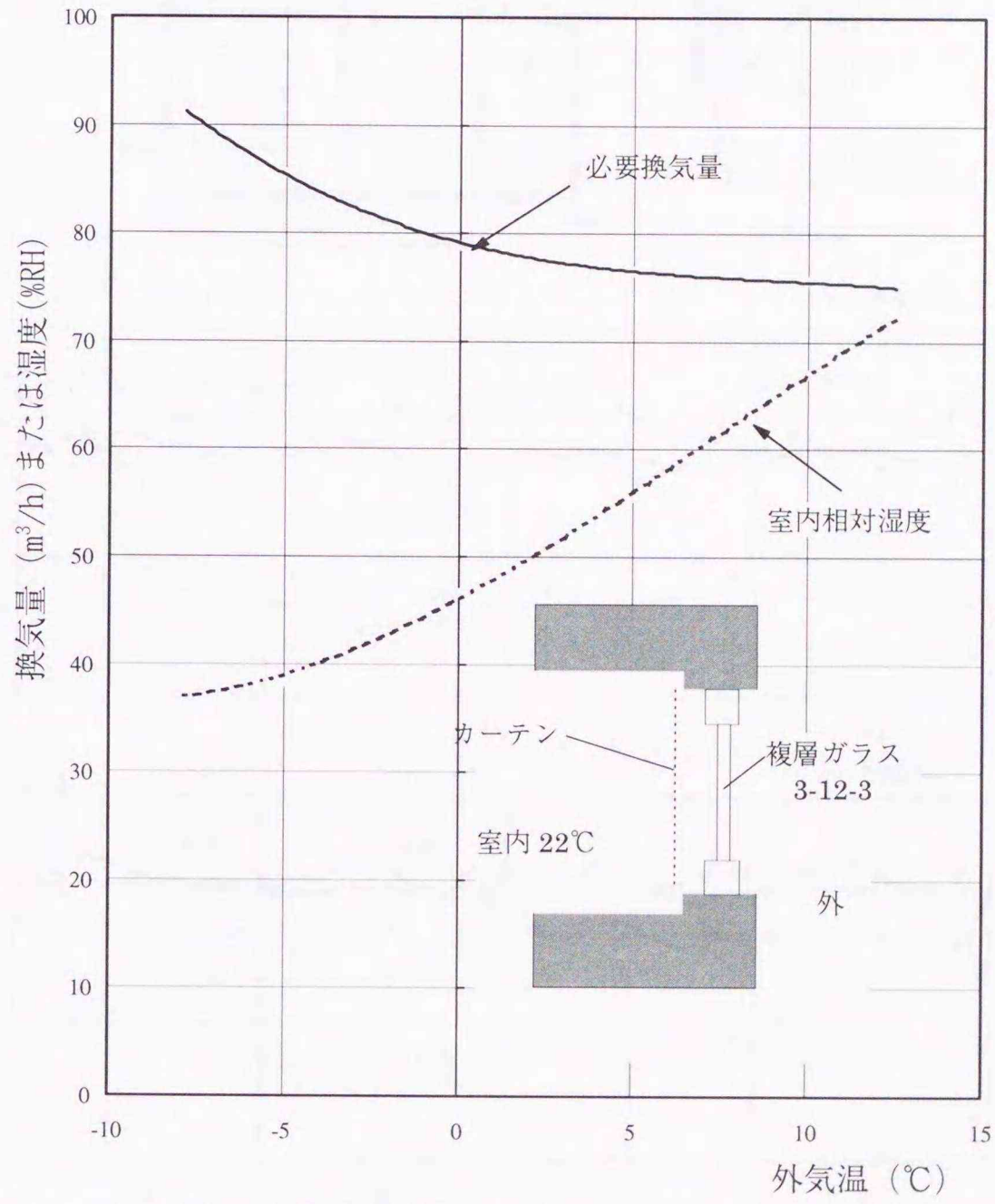


図 2.5.9　カーテンを引いた窓で結露を生じないための室内相対湿度と必要換気量

（室内の水分発生量 10 リットル/day として）

(2) 技術対応とその影響

1) 断熱改修

結露を発生する部分の温度低下が結露の直接の原因であることは確かである。断熱の目的の一つが、結露の防止であることは、建築技術者にとって根強い常識である。このため、かび蔓延結露にも、断熱性能を高める対策が盛んに採られている。窓の多重化や外断熱など、画期的な性能強化が実施されている。**図 2.5.10** は、外断熱改修したRC集合住宅の改修前後の温度である。各部の温度は飛躍的に向上し、大きな効果をあげている。しかし、かび蔓延被害は解消しているのだろうか。

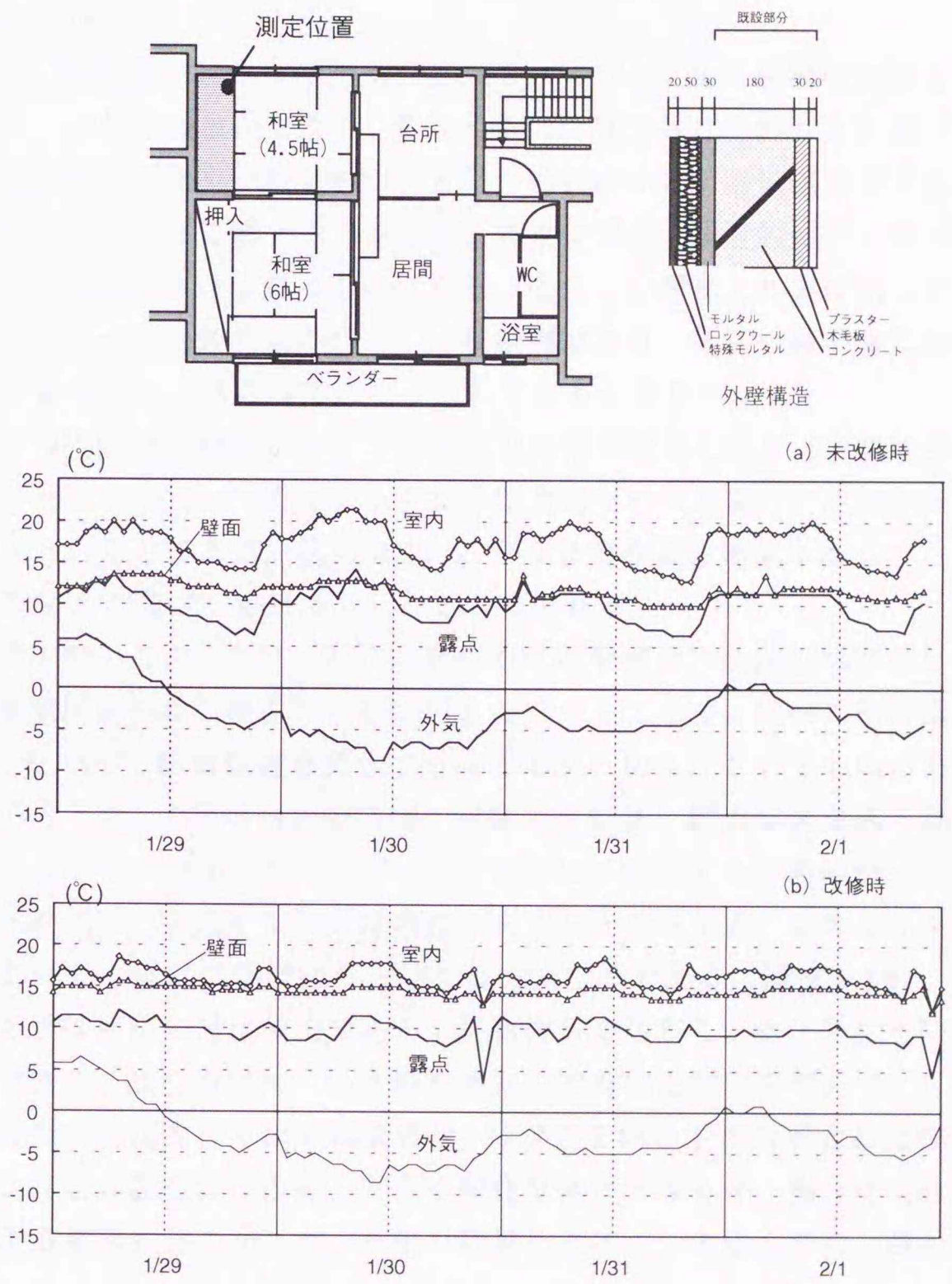


図 2.5.10　外断熱改修したRC集合住宅の改修前後の温度 [2-12)]

（東洋岩綿工業，森秀樹氏による：1984年）

これらの断熱改修対策には決定的にかけてるものがある。室温の保持である。開口部や冷熱橋など部分的な低温部の解消は、それぞれの部位の結露被害を軽減するが、非暖房室を中心として発生するかび蔓延結露は、むしろ厳しさを増す。断熱の強化によってもたらされるべきものは、部分的な温度保持ではなく、断熱性の圧倒的な向上による暖房隣室の温度上昇である。しかし、居住者と建築の発注者の異なるRC集合住宅では、快適性の保持や省エネルギーという、本来居住者が求める対応はなおざりにされがちである。その中にあって、結露防止が高度な断熱化のきっかけとなったことは、当初の目的とは異なるとは言え、集合住宅の性能向上に少なからぬ影響を及ぼした。

2) 対症療法の技術

この時期、結露防止に様々な工夫が試みられている。特に被害の大きくなる押し入れにはすのこが標準設置品となり、換気用開口の開けられた押し入れ襖が常識となった。ここにも空気の流通が結露を防ぐという盲信がある。空気流通による押し入れ内部の温度改善を期待する考え方もあるが、効果は薄い。技術的に打つ手が無い状況の中で、わらにもすがる対策だったのである。現在でも押し入れ襖に開口のある仕様が一般に見られるが、空気流通の低下した収納内部では、臭気や科学物質の希釈という全く違った意味で、有効な対策になっているかもしれない。

接着工法の内装壁面結露に対しても同様な対策が登場している。内装表面に生じたかび被害の対策として、内装材に小さな空気流通用の穴を設け、内装材裏面を室内に開放しようとしたのである（**図 2.5.11**）。言うまでもなく効果はなく、むしろかび被害を内装裏面まで広げる結果になったと考えられる。

この他興味深いものとして、吸放湿塗料の使用や壁面の防かび処理などの対応が行われた。吸放湿塗料は、壁面に吸放湿性を持たせることで、室内の相対湿度の変動を緩和し、1日の中で結露被害を発生する時間を乗り切ろうというものである。温暖な気候条件のもとで、1日の内に短時間の結露発生時間と乾燥時間がある場合には、効果が期待されるものであったろうが、一日を通じて乾燥する時間の無い条件のもとでは全く効果が無い。失敗することは当初から明らかであるが、このような方法に頼らなければならないほどに事態は行き詰まっていたのである（**図 2.5.12**）。

防かび処理は究極の対症療法である。防腐塗料を塗布し、かび発生を防止しようというものである。温度の保持という最も根本的で有効な対応を採らず、対症療法に頼らざるを得ない状況を作り出した責任は、産学官を問わず自らを含めた建築技術者の側にある。戸建て住宅はこの後、大きく変化を遂げてゆくが、集合住宅は、断熱技術の改善による結露被害の防止が、一定の効果をあげつつあるものの、根本的な変化には至っていない。

3章では、寒地の集合住宅を目指して、結露防止へのアプローチを試みる。

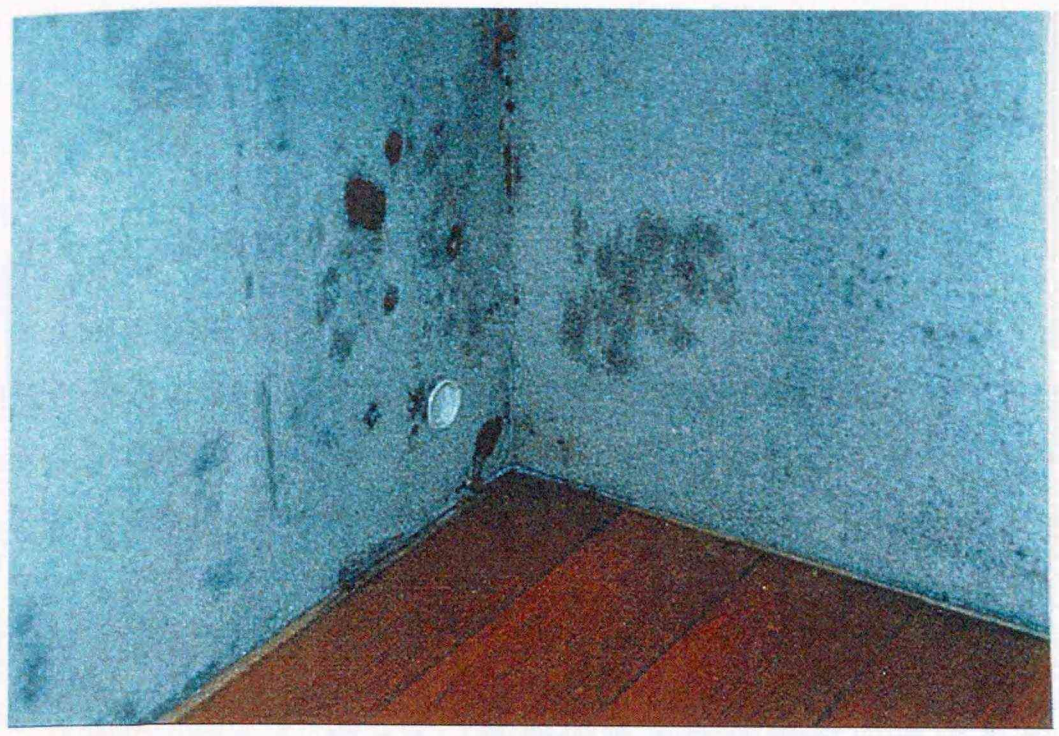


図 2.5.11

プラスターボードに孔けられたカビ防止用の小孔

プラスターボード内外の温度差が少なくなれば、カビは発生しないのではという考え方

（撮影:1986 年 4 月札幌市）



図 2.5.12

吸放湿塗材による対応

吸放湿量が最大吸湿量を越え、湿潤状態となった。防カビ性によりカビ被害を防ぐとも言われたが、その期間はわずか 2 年である

（撮影：1985 年 2 月釧路市）

2.6 住宅結露と寒地の住宅への課題

2.6.1 結露防止に向けた社会的取り組み

北海道建築士会主催で開催される寒地技術者講習会は、1957年に始まり、40回を数える他に例をみない技術普及活動である。建築活動が低下する冬季のイベントとして北海道特有のものである。講習内容の検討からテキスト作り、講師までほとんどの主要な活動を寒地住宅都市研究所が担ってきた。断熱材自体がほとんど手に入らに時代から、寒冷な気候条件のもとでいかに快適な住居を作るかについて、様々な講習がなされてきた。その中でも、結露対策は主要なテーマの一つとなっており、特にオイ

表2.6.1結露関連の寒地技術者講習会テキスト

テキストの題名	章題	表題	発行年
寒地住宅読本	防寒と保温の理論	結露	1959
寒地住宅の平面計画	寒地住宅の特殊性	寒さからくる障害を防ぐ	1960
寒地住宅の設計と施工	保温設計	結露	1962
寒地住宅の防寒工法	結露とその防止法	結露の被害とその原因 表面結露の防止 内部結露の防止 屋根裏結露の防止	1664
住宅の設計と施工	設計のための基礎知識	住宅保温設計（結露防止）	1968
寒地住宅の設計製図と構造（木造編）	住宅の設計計画	結露の防止（内部結露・小屋裏結露）	1976
寒地住宅の設計	寒さによる障害と対策	結露（表面結露・内部結露・屋根裏結露・地下室の結露）	1978
既存住宅の改修	既存住宅の防寒改修	結露（表面結露・内部結露・屋根裏結露）	1979
省エネルギー住宅の計画と設計	寒地住宅の障害と対策	結露（表面結露・内部結露・屋根裏結露・地下室の結露）	1980
寒地住宅の基礎知識	雪と寒さの障害防止	結露	1981
寒地住宅の工法	構造関係 防湿・防露関係	地下室の結露防水対策防湿層	1983
寒地住宅のQ＆A	防湿・防露関係	既存住宅の結露 集合煙突表面の結露 地下室の結露 M型無落雪屋根裏の結露防止対策 防湿層 ビニルフィルムの防湿効果	1984
寒地住宅のリフォーム	リフォームの具体的な手法	集合煙突の結露 非暖房室の結露 窓の結露 屋根裏の結露 結露現象	1985
寒地住宅の基礎知識	住宅の省エネルギー	気密化と防湿	1986・1987
これからの寒地住宅	断熱施工のポイント	気密層と防湿層	1988
高断熱・高気密住宅の暖房と換気	住宅の温熱環境 住宅の暖房と設備 住まい方、使い方	防湿層のはたらき 集合煙突の結露 結露しない住まい方	1990
北方型住宅の設計と施工	北方型住宅の施工のポイント	防湿・気密化工法	1991

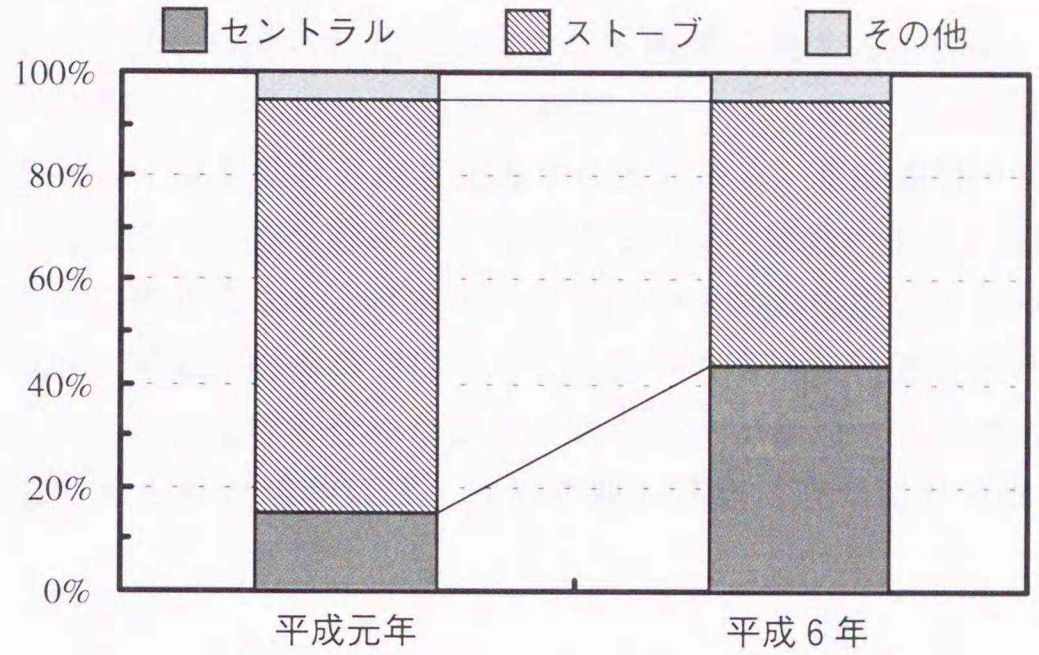
ルショックの3年後の1976年以降、高い頻度で取り上げられてきた。**表 2.6.1** は、この間の結露にかかわる内容を一覧にまとめたものである。その内容は、時代と共に大きく変化したために、多くの研究者や専門家から厳しい批判を受けるような技術的な矛盾を生じる場合もあった。しかし、技術は時代と共に変わるものである。材料の変化や工法の変化、住宅への要求の変化や価格の変化などによって、その時代に一般工務店が可能な家作りを示してきた以上、講習内容が時代によって変化した事を批判するのは当たらない。一般建築技術者への普及活動の中で、状況の変化に遅れを取り、基本的な考え方に迷いを生じた時期があったことが反省すべき点である。状況が変化し急速な断熱化が進んだとき、対応すべき基本的な技術の方向を速やかに明らかにすることが求められる。寒地の住宅の建築技術の確立に基本となる考え方を明らかにした上で、その時代にできることを提示してゆくことが今後の取るべき対応と考える。

技術の変化を嫌いがちな住宅建築という保守的な業界に対して、変化を迫ったのは、住宅構造の変化を一早く社会に訴えた建築学会北海道支部を中心とする、研究者や専門家の集団であった。支部の中で組織された北方系連絡特別委員会には、様々な分野の研究者や専門家が集まり活発な議論が行われた。1977年建設された手稲金山の実験住宅には、当時考えうる様々なアイデアが結集されている。同年、北欧への視察団を組織し、多くの技術情報がもたらされた。しかし、そこで得られたものは、目にみえる技術ではなく、参加した専門家自身が身に付けた、基本に忠実な住宅作りだったとおもう。研究者には当然の基本に忠実な技術の具現が、建築技術者にとっては寒冷な気候条件に対する取り組みが、それぞれの中に明かな目的意識を目覚めさせた。この後、北方系住宅研究会として組織された強力な専門家集団は、しばらくの間寒地住宅の普及に大きな役割を果たす。おりしも起こったナミダタケ事件では、大きな論争となり、寒地住宅技術の変革に大きく貢献したのもこうした専門家集団の力であっただろう。

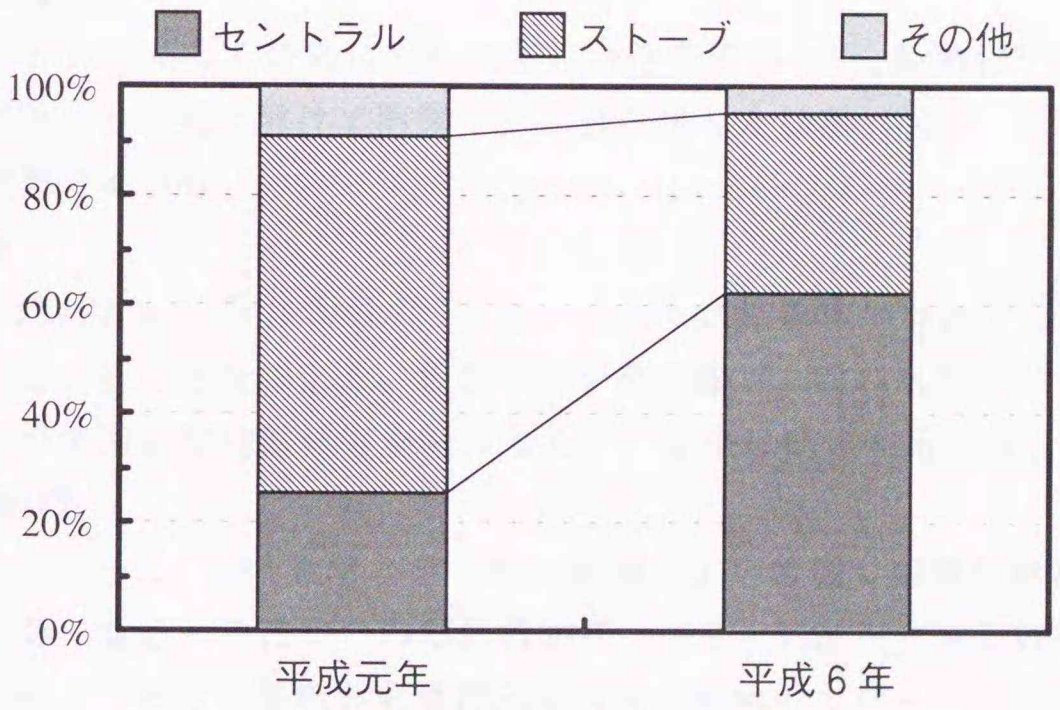
このころ既に、荒谷が提唱する全屋暖房が先進的な専門家集団の中では常識となっていた。しかし、北海道の住宅が全屋暖房へ大きく舵をきったのは、平成になってからである。北海道が進めた北方型住宅プロジェクトは、断熱気密性などハードの研究開発は終わったという所からスタートした。その内容は、デザインであり、景観であり、住宅規模であった。官が住宅の計画に口を挟むことへの反発は大きく、多くの専門家や技術者から厳しい批判を受ける事になった。平成元年の北方型住宅のスタート以来、認定件数は千棟に達するが、最も高い評価を受けているのが、全屋暖房への転換である。**図 2.6.1** は、金融公庫の委託により建築学会北海道支部で調査した、認定制度がスタートした平成1年から5年までの新築住宅の全屋暖房比率である。僅か3年間に普及率は 50%を超え、北海道の住宅は、全屋暖房を常識として受け入れたのである。まだ、暖房を住宅の維持保全のためと考えるほどの意識は育ってはいまい。しかし、この事を以って、北海道の住宅は、寒冷地の住宅として日本の伝統的な住居

の考え方から、明確に転換したのである。北方型住宅の本来の目標であった、北海道の家作り運動という点からは、計画的な分野にも多くの影響を及ぼしつつある。むしろ、多くの的確な批判が様々な分野の専門家から得られることこそ、北海道が培ってきた力なのだとおもう。

地球環境時代を迎え、あらゆる分野の専門家が協力して当たらなければ解決し得ない問題が山積している。北海道が経験し、自ら育て上げてきた住宅建築を取り巻くダイナミックな活動を続けていくことが望まれる。



全屋暖房の割合（北海道全体）



全屋暖房の割合（札幌）

図 2.6.1　北海道の住宅の暖房 [2-13)]

北海道の住宅の地域特性等に関する研究報告書から
（住宅金融公庫北海道支店）

2.6.2 結露防止からの展望と課題

寒冷な気候条件への対応から断熱化や気密化が進められた北海道の住宅で、断熱の普及と伴に多くの被害をみた結露被害について、技術的な側面と社会的な側面から、その背景を明らかにする事を試みた。雨漏り状結露をはじめ、断熱材が普及しはじめてから経験した結露被害は、それまで経験する事のなかった大きな被害をもたらしたが、同時にその時々での盲点や課題を明らかにしてくれた。取り上げた内容は、現在でも有用な技術対応についても触れており、これから断熱化が進むと思われる本州地域での対応にも参考となろう。

また、結露史の考察から得られた課題は、住宅結露の根本的な解決には、技術対応だけではなく、住宅に対する断熱や暖房、換気にかかわる寒地の建築常識の確立と、それを社会へ反映してゆく独自の道を見出すことである。北海道の戸建て住宅が、住宅結露を超え、地域性の創造へ踏み出そうとするのは、寒地の独自の建築常識や意識が育ってきたからに他ならない。日本という強力な中央集権国家にあって、住宅に地域性を育てる道は、基準で縛る事ではなく、社会への辛抱強い働き掛けと、そこに研究者や技術者、一般の居住者も含めたさまざまな人々が参加する事にある。住宅結露をめぐる北海道で見られた活動には、回答の無い課題に取り組む方向が示されている。

住宅結露の変遷の考察から得られた知見および課題を以下にまとめる。

1)雨漏り状結露

近代の断熱材が普及して最初に生じた著しい結露であった。断熱化によって結露が氷となって蓄積し、一気に解けて雨漏り状に流れ出した結露被害は、気密化を伴わない断熱化の結果であった。

2)窓氷結結露

気密化や防湿技術の普及によって、著しい雨漏り状結露被害は減少したが、アルミサッシュの結露が厳しさを増した。多量の氷が窓を塞ぎ、窓の氷割りが主婦の日課になった。内窓の気密化は結露被害を軽減したが、完全に防止するには至らなかった。

3) 激甚腐朽結露

床下や壁内を中心に、築後数年と言う短い期間に広い範囲で急速に腐朽して手のつけられない状態になる木造住宅の内部結露被害である。気密化や通気層を始めとする外壁構造の転換によって、寒地の木造住宅の技術が培われていった。この時見られた産学官を含んだダイナミックな社会活動は、住宅建築をめぐる地域の課題に取り組む上で大きな力となった。

戸建て住宅に残る課題の一つは床下環境である。断熱した寒地の住宅の床下は、夏期に結露を生じる危険性の高い、住宅の耐久性を左右する空間である。同時に、寒地の民家に共通してみられるように、地盤との関わりが、室内環境を大きく左右する。

結露の防止や設備の効率化のために失われてきた、地盤との関わりや自然の空気の流れを作り出すことは、結露防止を超越した地球環境時代の住居を創造する手がかりとなる。基礎断熱の床下空間を利用した換気の工夫について、4章で取り組む。

4）かび蔓延結露

窓の結露が軽減すると、非暖房室を中心として部屋中がかびで覆われるかび蔓延結露が現れた。断熱性の著しい向上と全屋暖房の普及によって、室内の結露被害を払拭しつつある戸建て住宅に対して、暖地の建築常識が残るRC集合住宅では、根本的な解決を見ていない。

集合住宅が寒地の理想的な住まいの姿の一つであるにもかかわらず、暖地の常識のもとで建設される集合住宅には、根本的な結露の解消はない。断熱をはじめとする建築常識を見直し、寒地の集合住宅のあり方を見出す事が必要である。3章では、RC集合住宅の断熱手法と換気の対応から、その方向を探る。

参考・引用文献

2-1) 谷脇明宏「住居の換気機構に関する研究」 北海道大学卒業論文，1977 年

2-2) 住宅の気密化と工法に関するシンポジウム資料：日本建築学会北海道支部研究報告集 59，pp.1～29，1986.3

2-3) 鎌田紀彦，鈴木大隆，他：寒冷地における木造断熱壁体の内部結露に関する研究，（その 3，4）日本建築学会大会学術講演梗概集，pp895-899，1985.9

2-4) 福島明，入江雄司：木造住宅における壁内の木材含水率測定，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp875-876，1985.9

2-5) 川治正則，福島明，他：家屋の腐朽防止対策に関する研究，1979 年度調査研究報告，北海道立寒地建築研究所，pp163-168，1979.8

2-6) 福島明，荒谷登：室内外差圧と 2 重窓の結露について，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp455-456，1977.10

2-7) 福島明「木造住宅の通気経路と熱 ・湿気移動特性に関する研究」北海道大学修士論文，1977.3

2-8) 福島明，小西一也，他：北海道における気密住宅の気密性能測定結果と考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp679，1995.8

2-9) 福島明，荒谷登：回路網法による木造住戸モデルの通気と熱湿気移動解析（その 1，その 2），日本建築学会北海道支部研究報告集 49，pp235～242，1978.3

2-10) 佐々木隆「多室空間の換気経路測定法とその住居への応用」 博士論文，5 章 住居の換気経路の実測，1981.7

2-11) 木造住宅の耐久性向上に関する研究：調査研究報告 No46，北海道立寒地建築研究所，1985

2-12) 森秀樹，山口和夫，中村和男：外断熱改修による結露防止例について，日本建築学会北海道支部研究報告集 57，1984.3

2-13) 北海道の住宅の地域特性等に関する研究報告書：日本建築学会北海道支部，寒地住宅研究連絡特別委員会，1989，1991，1993

3章　集合住宅の結露防止へのアプローチ

戸建て住宅の冬季の結露が全屋暖房と高い断熱性によって解消し、北海道の住宅に寒地の住宅としての常識や文化が育ちつつある。しかし、集合住宅では断熱厚さや窓の仕様が異なる外は暖地の建築常識と戸建て住宅と同じ住意識のもとで、クレームとなる結露は減少しても、潜在的な結露が完全に解消される、寒地の住宅への本質的な転換はみられない。北海道の集合住宅を取り巻く状況と、建築常識や社会常識の転換への課題について考察し、寒冷地の断熱と換気の対応について検討した。

3.1　北海道の集合住宅をめぐる課題

3.1.1 北海道の集合住宅の変遷と課題

コンクリートの集合住宅もまた木造住宅と同様、日本の暖地で考えられた構造と計画がそのまま北海道に持ち込まれた。当初は断熱も施されておらず寒さや結露と同居する生活であったが、家の中に雪が降るような一般住宅の事情に比べれば、はるかに快適であったと、当時の居住者が述懐している。北海道の集合住宅で公的住宅中心の供給が転換し、民間分譲マンションが急速に普及するのが、昭和 40 年代である。札幌の都心の一等地に建設されたマンションは、1 棟セントラル暖房、給湯を備えたものも多く、高価な住宅であった。昭和 47 年の札幌オリンピックに向けて、札幌近郊では、地域暖房の導入が盛んに行われ、暖房を備える事が集合住宅では常識となるかに思えた頃にオイルショックが到来した。

オイルショックにはじまる激動の時代に起こった多くの結露被害や技術的な混乱は、2 章で述べたとおりである。しかし、その後の展開は、戸建て住宅と集合住宅に大きな違いを生じる。第 2 次オイルショック以降、エネルギー問題をきっかけに、快適性や耐久性を含めた住宅の性能向上への意識が高まり、社会をあげて高性能化に進んだ戸建て住宅に対して、集合住宅は完全に遅れをとる。1 棟セントラル暖房、給湯や地域暖房など、集合する事による利点を最も享受できる寒地の集合住宅への対応は影を潜め、各住戸があたかも戸建て住宅の集合のように計画されたものへと急速に転換していった。

分譲マンションでは、オイルショック後数年間に経験したかび蔓延結露を、部分的な断熱補強や壁掛換気扇の設置、居住者の生活対応への責任転嫁によって対応していった。住戸単位のセントラルヒーティングが普及しつつあるのも、クレームを少なくするための技術対応である。もともと、冬季に窓に生じる多少の結露は当然とする常識が定着しており、深刻なクレーム自体は減少方向である。しかし、本来備えるべき性能を実現しているかといえば、決してそうではない。寒冷地の常識とは明らかに異なる限界的な断熱や、集合住宅としては決して少なくないエネルギーを消費する状況のもとで、クレームを避けているのが現状である。微妙なバランスの上に結露被害を防ぐ手法は、寒冷地のものではない。集合する事によって得られる高い省エネルギー性と豊かな暮らしを実現することが、社会資産となる寒地の集合住宅の条件である。そうした条件を実現したとき、結露が全く生じない事が当然のことになる方向で、解決を図るべきである。

3.1.2 寒地の集合住宅の課題と本章の概要

[断熱の課題]

エネルギー消費量から判断された集合住宅の断熱基準は、現在も、一般仕様でウレタン 25mm 程度である。1994 年に作られた新しい基準でもその厚さが 45mm で、グラスウールに換算した厚さは 70mm 程度に過ぎない。また、公営住宅を除いて、この基準にも対応して建てられる集合住宅はほとんどないのが実状である。RC 集合住宅は、住宅規模や外表面積が戸建て住宅に比べて少ないため、住戸一戸当たりの暖房負荷が少なく、戸建て住宅より断熱性が高いと誤解されがちである。しかし、一般住宅の断熱がグラスウール 150mm に及ぶ戸建て住宅に比べてみると、RC 集合住宅は断熱性という点からも、寒地で集合住宅の特性を享受できるような方向にはむいていない。

寒地の断熱手法として注目される外断熱工法や、開口部の性能向上など、断熱性の向上に関する試行的な取り組みは、長期にわたって行われている。しかし、その評価がエネルギー消費量の多少程度にしか表れないのは、熱負荷の少ない集合住宅では、断熱性の違いが室内の温度環境に及ぼす影響がそれ程大きくないためである。これに対して、断熱の違いが温湿度環境に及ぼす影響が顕著に現れるのが、隅角部や押入れの内部など部分環境である。構造体自体が熱を伝えやすいコンクリート構造の特性である熱橋の存在により、断熱の方法自体によって全く異なる特性を示す。寒地の集合住宅で、部分環境の実態を明らかにし、改善の方向を示すことは、RC 集合住宅の断熱常識にかかわる課題解決の糸口になろう。

[暖房と換気の課題]

断熱された集合住宅の主な結露は、部分暖房による非暖房室型の結露であった。この点から言えば、全屋暖房にすれば結露の原因は全く解消するはずである。しかし、部分暖房でも非暖房室の冬季の最低温度が 15℃に達しようという北海道の集合住宅で、室温に不満を持つ居住者は少ない。集中暖房設備を具備しながら、部分暖房の生活をする居住者が少なくないのはこのためである。冬季の最低室温が 15℃を保つ事は、既に全屋暖房を実現しているのであって、集中暖房設備がある事が全屋暖房を意味しないのである。暖房が、住戸内の温度を保つ事であるとすれば、断熱は暖房そのものであり、断熱性を高めれば、結露防止の課題は自ずと暖房ではなく、換気の課題へとシフトしてゆく。

換気は古くから、結露防止の最後の拠り所であった。換気口を増やしたり、窓の開放する生活を強要するのも、その典型的な対応である。しかし、寒冷地の換気は、外気が低温である事から、安易な対応は室内の暖房環境を損ない、居住者に我慢を強いる事はあっても、喜んで受け入れられるものとはなり得ない。換気の課題は、戸建て住宅でも同様な課題となるが、室内空間が小さく、窓の気密性の向上によって圧倒的に気密性を高めた RC 集合住宅では、その影響が顕著である。寒冷な気候条件のもと

で十分換気を行う方策を講じることは、断熱と並んで住宅を健康で快適に保ち、寒地の集合住宅を作る鍵である。

[本章の概要]

本章では、まず、断熱仕様や換気設備の仕様の異なる4戸のRC集合住宅の実測と、温度シミュレーションから、寒地の集合住宅の室内環境の課題へのアプローチを試みた。これまで注目されてこなかった、温度低下や高湿化の恐れの強い隅角部やじゅうたん下など、局所的な温湿度環境の実態を実測により明らかにした。また、断熱方法の違いが局所的な温湿度環境に及ぼす影響を実測と温度シミュレーションにより検討し、構造体自体が熱を伝えやすいコンクリート構造の特性により、外断熱工法が局所的な温湿度環境の改善に及ぼす圧倒的な効果を示した。

次に、熱回収換気システムを利用した換気方式を提案し、その効果を、実住宅での実験とシミュレーションにより検討している。当該システムによって室内の暖房環境を損なうことなく、十分な換気と完全な乾燥保持が可能なことを明らかにしている。また、本章の要点は、決して単独のシステム自体の性能評価を目的としているのではなく、寒地の集合住宅に求められる換気の対応について、給気予熱や空気の流れのデザインなど、基本的な方向を示すことにある。

3.2　部分環境（押入内隅角部およびじゅうたん下等）の実態と断熱手法の違いが及ぼす影響

住宅の結露やカビの被害は、押入の隅やじゅうたんの下、たんすの裏側など、ふだん目につきにくい部分に多く発生する。従来結露が集中して発生した開口部の断熱性が向上し、結露被害が軽減するとともに、室内の水蒸気圧が上昇し、これらの部分の高湿化の恐れが相対的に高くなると考えられる。とりわけ、RC造集合住宅は一般木造戸建て住宅に比べて、a)熱橋を生じ易い、b)気密性が高く自然換気量が少ない、c)断熱が薄い、ことから、局所的な温度低下とそれに伴う相対湿度の上昇を生じる可能性が高い。断熱化が進み目に見える結露被害は減少しても、高湿環境が続けばカビ発生の危険性は少なくなく、寒冷地のRC造集合住宅の室内環境を健全に維持してゆく上で、これらの部分の乾燥を維持することは重要な課題である。

RC造集合住宅の温湿度環境については、多くの報告がなされている。絵内[3-1), 3-2)]は、部分暖房の集合住宅の、暖房室と非暖房室の温度環境について詳細な実測と分析を行い、快適性や障害防止の観点から求められる基礎的な温度として、基礎室温の概念を提案している。また、RC造集合住宅の結露性状や押入内を含めた各空間の温湿度測定としては、堀江[3-3)]や澤田[3-4)]、坂野等[3-5)]の報告等がある。しかし、収納物に挟まれた隅角部やじゅうたんの裏側など局所的空間の温湿度の実態については、ほとんど明らかにされていない。木造住宅の押し入れ内部や家具裏の温度低下については、土屋[3-6)]が、実験から温度保持の手法等を検討しているが、局所的な温度低下を生じ易いＲＣ造集合住宅の温湿度実態は明らかにされていない。

本項では、RC造集合住宅の、押入内隅角部やじゅうたん下などの局所的環境の乾燥保持の手法を検討することを目的とし、これらの部分の温湿度環境の実態を実測調査から明らかにするとともに、断熱や換気の仕様が及ぼす影響を検討した。また、部分環境に大きな違いを示す外断熱と内断熱の場合について、実測した環境実態の比較を行なうとともに、2次元の定常計算により、断熱手法の違いが及ぼす影響を明らかにした。

3.2.1　実態調査

(1) 実測住宅の概要

実測住宅の概要を**表 3.2.1** に示す。測定対象はコンクリート系集合住宅4戸と木造1戸建て住宅1戸の計5住戸で、かび被害が発生した住戸がコンクリート系　2戸(同じ住棟)と木造の1戸である。各住戸の平面図を**図 3.1.1～5** に示す。 A、B住戸は、同じ2階建てのＲＣ造集合住宅の一階の端部と中間の2住戸で、ともにカビ被害が発生した。中間住戸のA住戸のカビ被害は、隅角部のみにとどまったが、端部のＢ住戸では、暖房隣室及び北側洋室の壁面全体にカビ被害が拡大し、住戸全体に防カビ処理と

内装交換をした上で熱回収換気システムによる換気対策を実施した。外壁の断熱仕様は、発泡ポリスチレン板 25mm で、当時としては標準的な仕様であるが、開口部は、室内側の PVC サッシに 6mm 空気層のペアガラスを備え、ガラス３層の高い断熱性を備えていた。居住者は、A、B 住戸とも乳幼児１人を含む３人家族で、専業主婦である。暖房は、居間のＦＦ式ストーブ１台による部分間欠暖房で、北側室は冬期間閉鎖して不使用、暖房隣室は開放して使用するなど、類似した生活状況であった。自然換気口は冬期間閉鎖されており、B 住戸の熱交換換気装置は、暖房期間のみユーティリティーに設置した湿度スイッチ(60%)で自動制御している。暖房期以外は、壁換気口を開放するため、換気装置は停止していた。

C 住戸は外断熱、D 住戸は内断熱で、外壁の断熱はそれぞれ 75、50mm が施工されており、共に木製サッシ（空気層 12mm）を採用するなど、断熱性能の高いＲＣ造集合住宅である。両住戸とも階段室型の４階建て住宅の１階住戸である。C,D 住戸は社宅で同一設計者により設計されており、断熱を除く仕様はほぼ同じである。両住戸とも壁掛けの熱回収換気扇を採用しており、C 住戸では南北に各１台、D 住戸では南側に１台のみ設置している。換気扇の使用実態は、喫煙時など一時的な使用に限られていた。建設してから測定時まで２年経過しており、窓面での結露発生があるが、いずれも目にみえるカビ被害はない。家族人数は両住戸とも４名であるが、D 住戸は、高齢者が一人含まれる。共に専業主婦で幼児はおらず、生活状況は類似している。暖

表 3.2.1　調査住宅の概要

No		A	B	C	D	E
構　造		RC 造集合住宅	RC 造集合住宅	RC 造集合住宅	RC 造集合住宅	在来木造住宅
住戸位置		１階中間	１階端部	１階端部	１階中間	２階建て
建設時期		1981 年	←	1986 年	←	1971 年
建 設 地		札幌市	←	←	旭川市	札幌市
床面積（m^2）		73.9	84.3	64.3	63.2	70.2
家族構成		夫婦、幼児１	夫婦、幼児１	夫婦、子供２	夫婦、老人、子供１	夫婦
断熱仕様	外壁	押出発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ25mm 内断熱	←	押出発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ75mm 外断熱	押出発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ50mm 内断熱	ｸﾞﾗｽｳｰﾙ50mm
	床	スラブ下押出発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ25mm 打込み	←	スラブ下押出発泡ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝ50mm 打込み		同上
	開口部	外ｱﾙﾐ単板ｶﾞﾗｽ内 PVCﾍﾟｱｶﾞﾗｽ	←	木製断熱サッシﾍﾟｱｶﾞﾗｽ3-A12-3	←	外ｱﾙﾐ単板ｶﾞﾗｽ内木単板ｶﾞﾗｽ
暖房		FF ストーブ１台	←	ﾎﾟｯﾄ式石油ストーブ１台	←	←
換気		自然換気口３ヶ冬期間閉鎖	熱交換換気システム 自然換気口５ヶ	熱交換換気扇 2 台間欠使用 自然換気口３ヶ	熱交換換気扇 1 台間欠使用 自然換気口４ヶ	自然換気口６ヶ冬期間開放
測定期間		1987/1/28～2/ 2	1987/1/16～1/27 1987/7/20～7/25 1987/10/29～11/5	1987/10/22～10/28 1988/1/20～1/26 1988/7/18～7/24	1987/7/27～8/3 1987/11/5～11/13 1988/1/28～2/4	1988/1/19～1/25
備　考		カビ被害発生無対策	カビ被害発生換気対策	木質内装住宅外断熱	木質内装住宅内断熱	

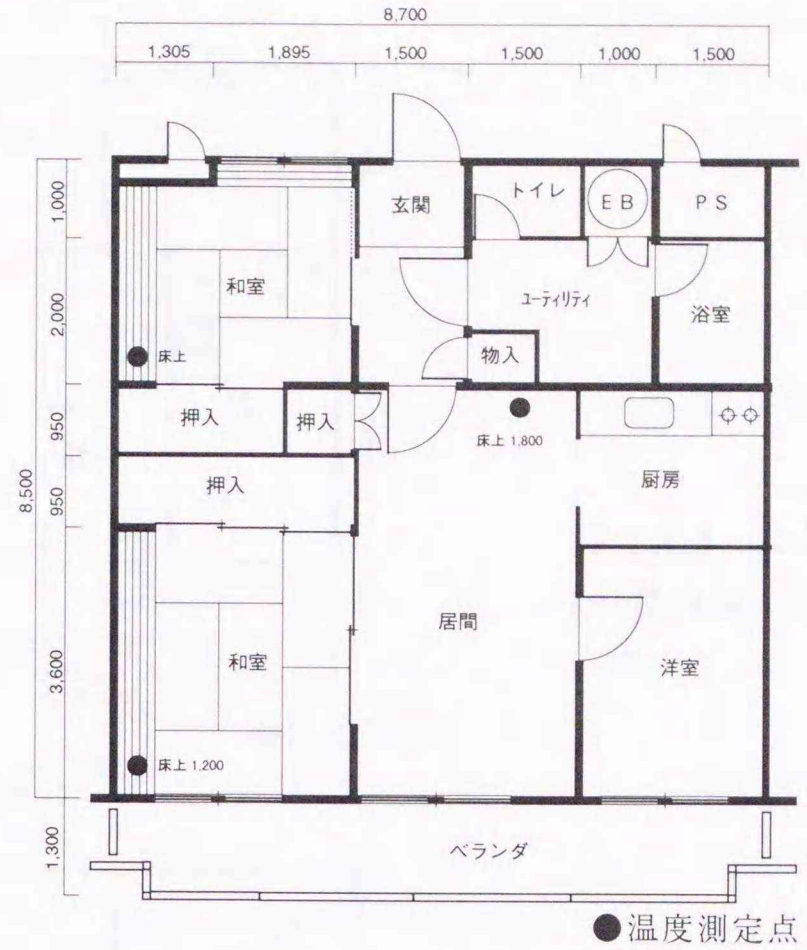


図 3.2.1　A住宅平面図 (ある程度カビ被害があるが無対策の住戸)

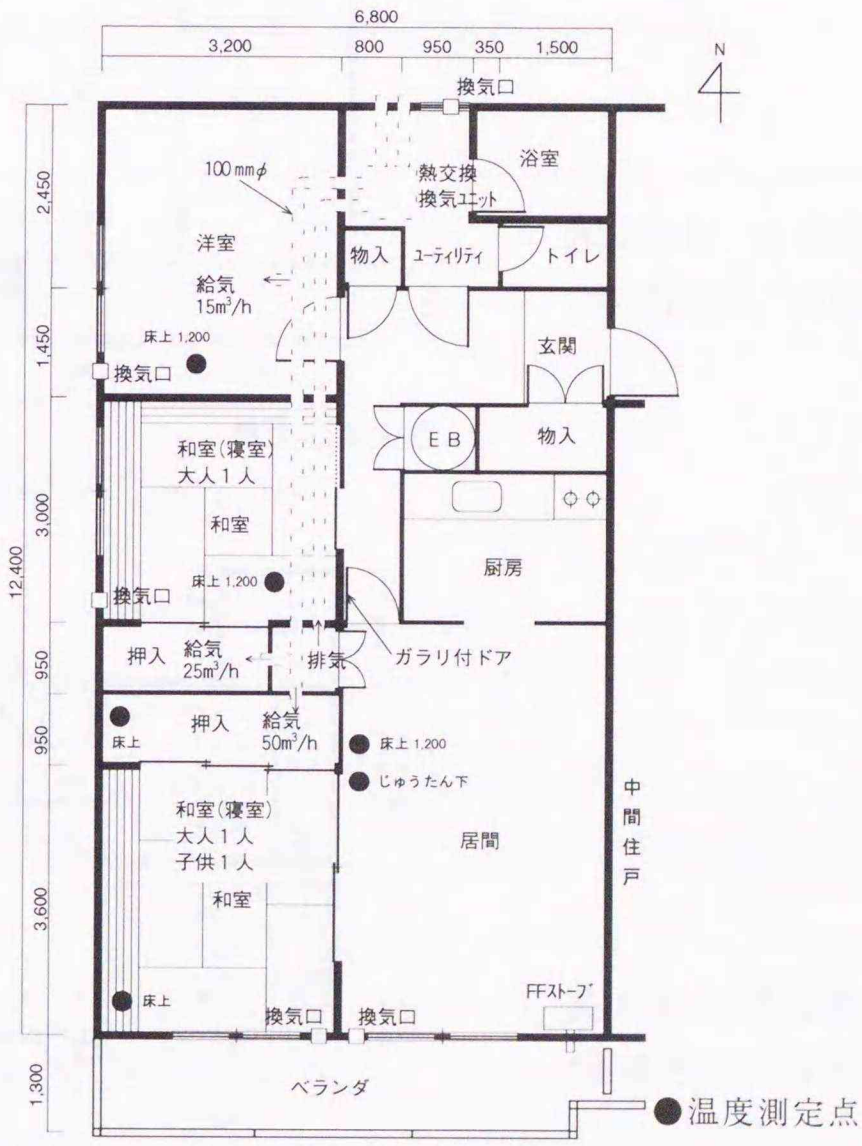
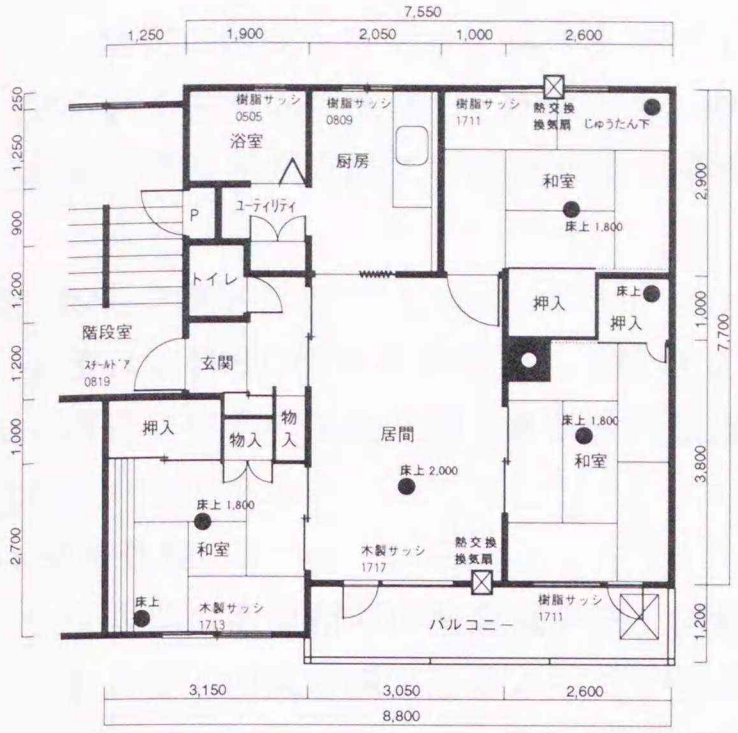
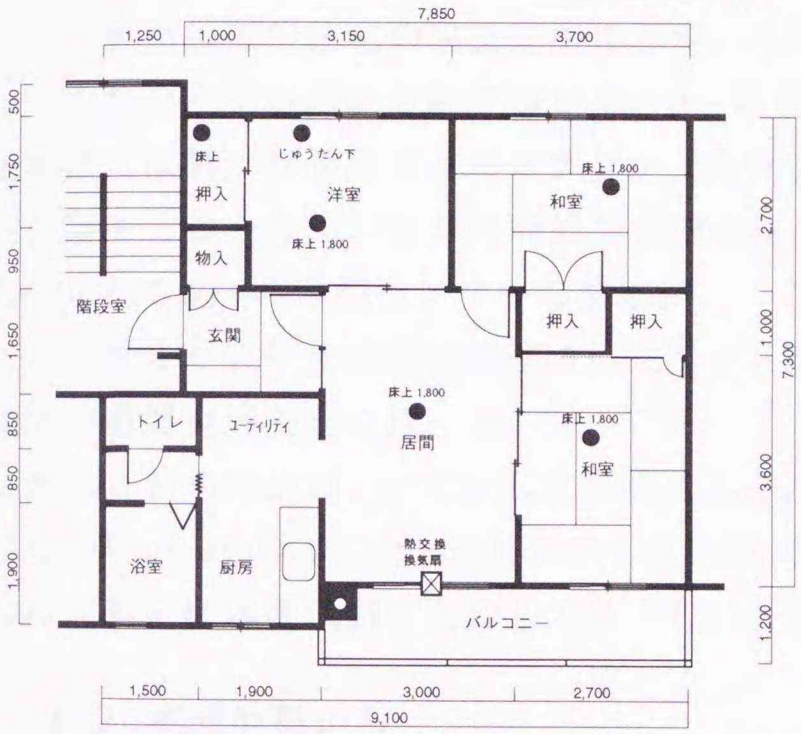


図 3.2.2　B住宅平面図 (カビ被害発生後、カビ処理及び換気改修)



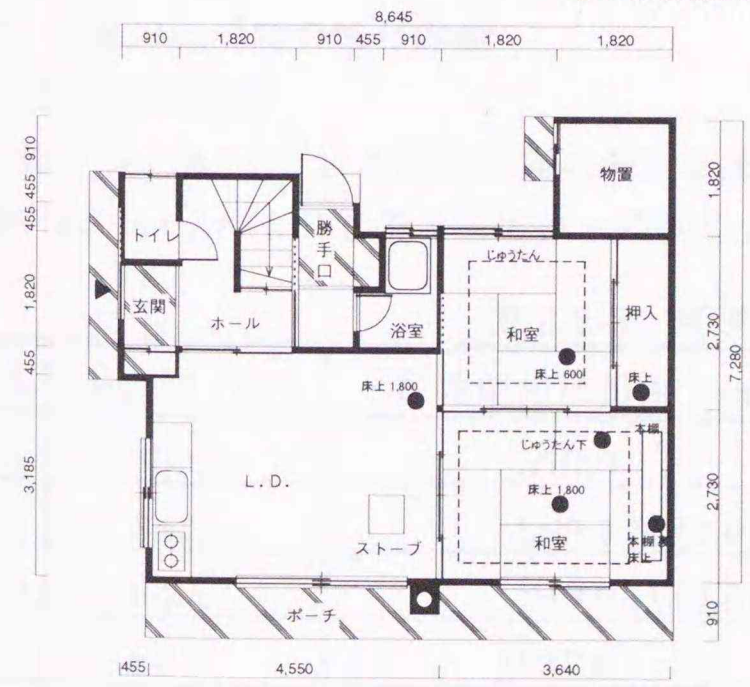
●温度測定点

図 3.2.3　C住宅平面図
(木質内装、外断熱の住戸)



●温度測定点

図 3.2.4　D住宅平面図
(木質内装、内断熱の住戸)



●温度測定点

図 3.2.5　E住宅1階平面図
(在来木造、カビ被害発生)

房は、居間の煙突付きポット式ストーブ1台による部分暖房で、C住戸は就寝時以外は室内扉を開放して生活し、D住戸も、押し入れ内隅の測定をした北側洋室が高齢者の居室で常時閉鎖されていたほかは、開放して使用されていた。

(2) 実測の内容

調査は、1987年8月に開始し、続いて10月下旬と1988年1月下旬に実施した。測定項目は住宅の気密性能と各部分の温湿度である。測定方法及び測定装置の概要は次のとおりである。

1) 気密性能

住戸全体の隙間相当面積を減圧法で測定した。測定方法は、建築学会北海道支部で作成した住宅の気密測定法によった[3-6]。測定方法の詳細はAPPENDIX Aに示す。

2) 温湿度測定

測定個所は測定住宅の平面図中に示す。A住戸の温湿度測定には、1週巻きのリシャール型自記温湿度記録計を用いた。B～E住戸では、温度測定にはT熱電対を、湿度測定には第一科学製ヒューミデクタ（高分子電気抵抗式センサー）を用いた。押入内の隅やじゅうたん下など局所的な空間の湿度測定は、従来困難なものであったが、7×40×25mmの薄型センサーの登場が、こうした局所的な湿度環境の測定を可能にした。湿度センサーは測定前後に、アスマン湿度計で校正した。各住戸とも、季節毎に約1週間連続測定を行った。

押し入れの内部は、いずれも衣類等の入ったダンボール箱が詰め込まれており、薄型センサー（20×32×9mm）を押し入れ隅で壁とダンボール箱に挟まるように設置した。測定は外壁に面した押し入れで行い、測定点は外壁との隙間である。

3.2.2 実測結果から

(1) 各部の温湿度特性と課題

1) 気密性能測定

住戸A、B、C、Eの気密性能の測定結果を**表 3.2.2**に示す。木造住宅のE住戸を除けば、いずれもＲＣ造としては一般的な気密性能を示しており、特に気密性が高い

表 3.2.2　気密性能測定結果

No	床面積 (m^2)	総隙間相当面積 (cm^2)	隙間相当面積 (cm^2/m^2)	換気口数
A	73.9	310.0	4.19	4
B	84.3	289.4 (192.6)	3.43 (2.28)	5
C	64.3	240.0 (180.8)	3.73 (2.81)	5
E	60.8	1257.0	20.7	4

注　換気口閉鎖時の測定値、( )内は換気口をテープで目張りした場合

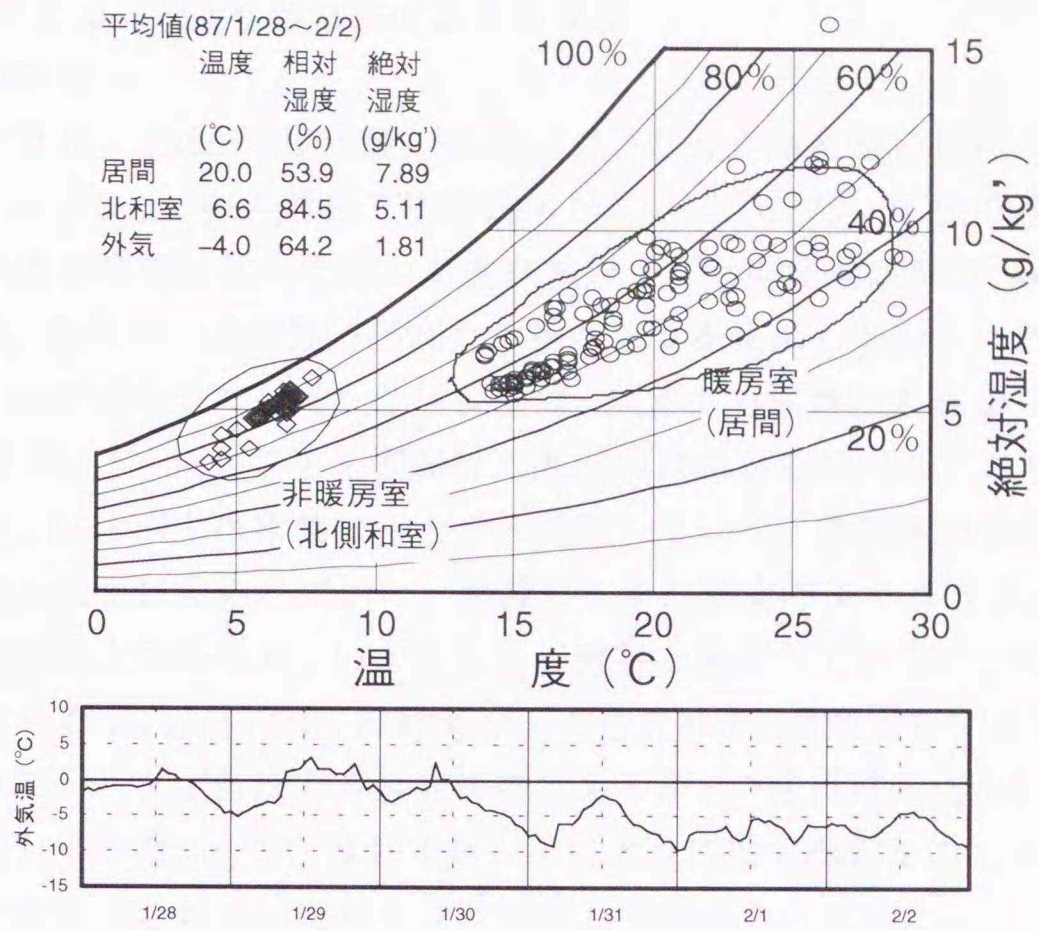
というほどではない。しかし、二階建てが一般的な戸建て住宅とは異なり、煙突効果の影響が小さい事や、床面積自体が小さく住戸全体の総相当隙間面積としては小さい事から、冬期間換気口を閉鎖する生活習慣が定着している中で、自然換気量は相当少ないと予想される。

また、E 住宅（木造）については、現在のレベルから見ると極めて気密性が低く、結露や、それに伴うカビ被害が、換気不足ではなく断熱性能や温度の不足に伴うものであることがわかる。同じかびや結露の被害であるが、その原因や背景が戸建て住宅と集合住宅では大きく異なることを示す結果といえる。

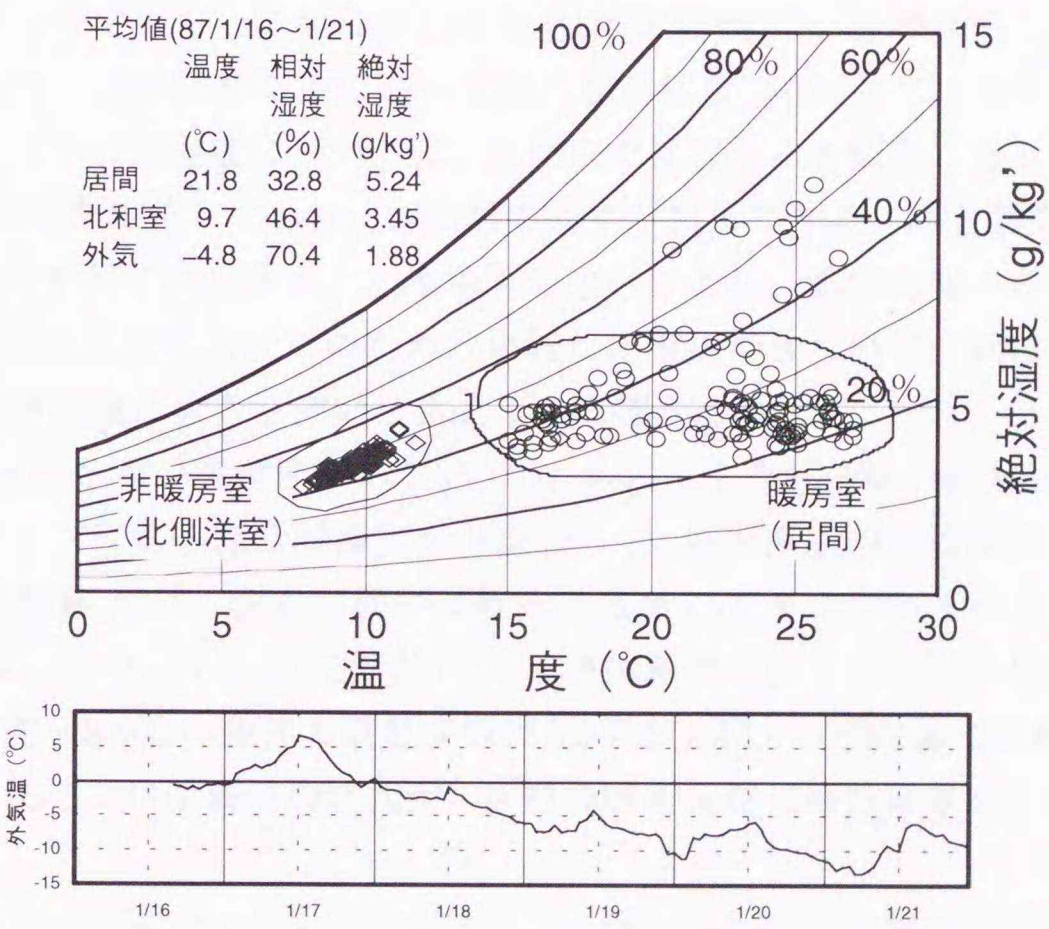
2) カビ被害のあったRC造集合住宅の温湿度環境

図 3.2.6 は、A、B住宅それぞれ暖房室と非暖房室の冬期の温湿度を、両住戸について空気線図上にプロットしたものである。暖房室の温湿度変動が大きく、ストーブ暖房の典型的な性状を示している。換気対策を実施したB 住戸では、一時的に高い絶対湿度を示すものの（換気装置の自動停止や一時的な生活発湿によると思われる）、おおむね温度によらず絶対湿度が一定であるのに対し、 A 住戸では温度の上昇により絶対湿度も上昇しており、結露水や吸着水の再放出があるものと考えられる。 A住戸とB住戸では平均して約 2.5 g/kg'の絶対湿度差があり、換気装置による除湿効果が顕著である。

次に非暖房室（北側）では室内扉を閉鎖し、ほとんど使用していない部屋のため、両住戸とも平均温度で 10℃以下に低下している。しかし相対湿度は、熱交換した外気の給気が行われている B 住宅では、60%程度を維持しているのに対して、A 住戸では 90%を越えている。非暖房室の湿度環境の改善には、全室暖房等により温度を保つ対策が根本的な対策の一つであるが、部分暖房を前提としたＲＣ集合住宅で、非暖房室の温度を保つ事に対する理解を得るにはいたっていない。また、暖房室でも結露とカビの被害を発生する中で、換気の対応は必要不可欠である。



(a) A 住戸 (換気対策なし、1987/1/28～2/2)



(b) B 住戸 (換気対策あり、1987/1/16～1/21)

図 3.2.6　カビ被害のあった RC 造集合住宅の冬期の温湿度
(計測器の都合上、測定期間がずれているが、
外気温度条件はほぼ同等と判断できる。)

3) 断熱仕様の異なるRC造集合住宅の温湿度環境

—外断熱の効果—

測定住宅C、Dは、1986年度建設の2住戸で、C住戸は札幌に建設されており、発泡ポリスチレン75mmの外断熱工法を採用している。また、D住戸は断熱厚さが50mmと一般の集合住宅に比べて厚い断熱が施行された内断熱住戸で、建設地は旭川である。窓には、断熱性・気密性に優れた木製サッシを採用しており、12mm空気層を持つ複層ガラスが使われている。住戸位置は、いずれも断熱性の面からは条件の厳しい1階の端部である。両住戸とも壁掛けの熱回収換気扇を採用しており、C住戸では南北に各1台、D住戸では南側に1台のみ設置している。換気扇の使用実態は、喫煙時など一時的な使用に限られていた。建設してから測定時まで2年経過しており、窓面などでの結露発生があるが、いずれもカビ被害を発生していない。家族人数は両住戸とも4名であるが、D住戸は、高齢者が一人含まれる。専業主婦で幼児はいない。暖房は、居間のストーブ1台による部分暖房であるが、C住戸は就寝時以外は室内扉を開放して生活していた。一方、D住宅は、押し入れ内部の測定をした北側洋室が高齢者の居室で常時閉鎖されていたほかは、開放して使用されていた。

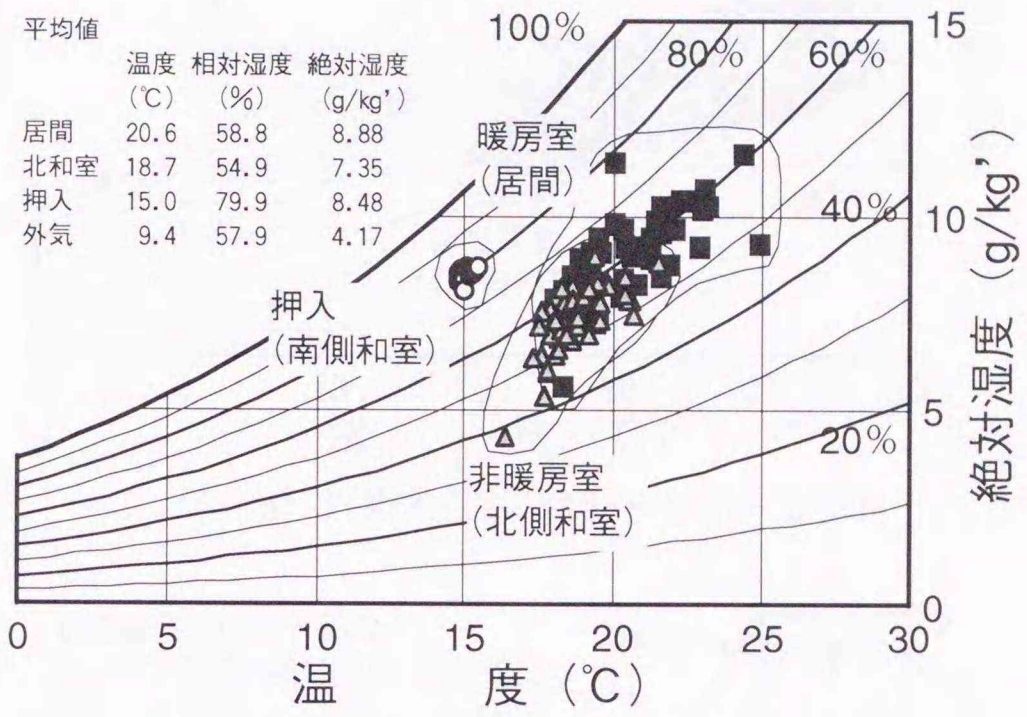
図3.2.7は、暖房室及び非暖房室の秋期の温湿度である。暖房室の温湿度には、両住戸に大きな差はみられないが、C住戸(外断熱)では、高い断熱性によって非暖房室の温度が高く保たれている。これに対してD住戸(内断熱)は、非暖房室の温度低下が大きく、それに伴い暖房開始時期において既に相対湿度80%以上に上昇している。また、じゅうたん下の温湿度については、D住戸ではほとんど飽和に達しているがC住戸では80%以下を維持しており、外断熱の効果が顕著である。測定期間が10月下旬と11月上旬にずれている事や、立地場所の違いにより、測定期間中の平均外気温度に約5℃の差を生じている。このため、単純な比較はできないが、秋口で既に内断熱と外断熱の部分環境に大きな違いを生じている事が分かる。

次に、**図3.2.8**は冬季の温湿度である。いずれの住宅も比較的高い断熱性を背景に、端部住戸でストーブによる部分暖房にもかかわらず、非暖房室の室温は高く保たれている。C住宅(外断熱)では、測定期間中の最低室温が15℃を上回っており、平均温度は18℃に達する。また、D住戸(内断熱)でも、室内扉が閉鎖されているにもかかわらず、平均外気温度−9.6℃の条件で最低室温は12℃を上回り、平均温度は約14℃になっている。集合住宅では断熱性の強化が、室内の温度保持に高い効果を上げている事がわかる。

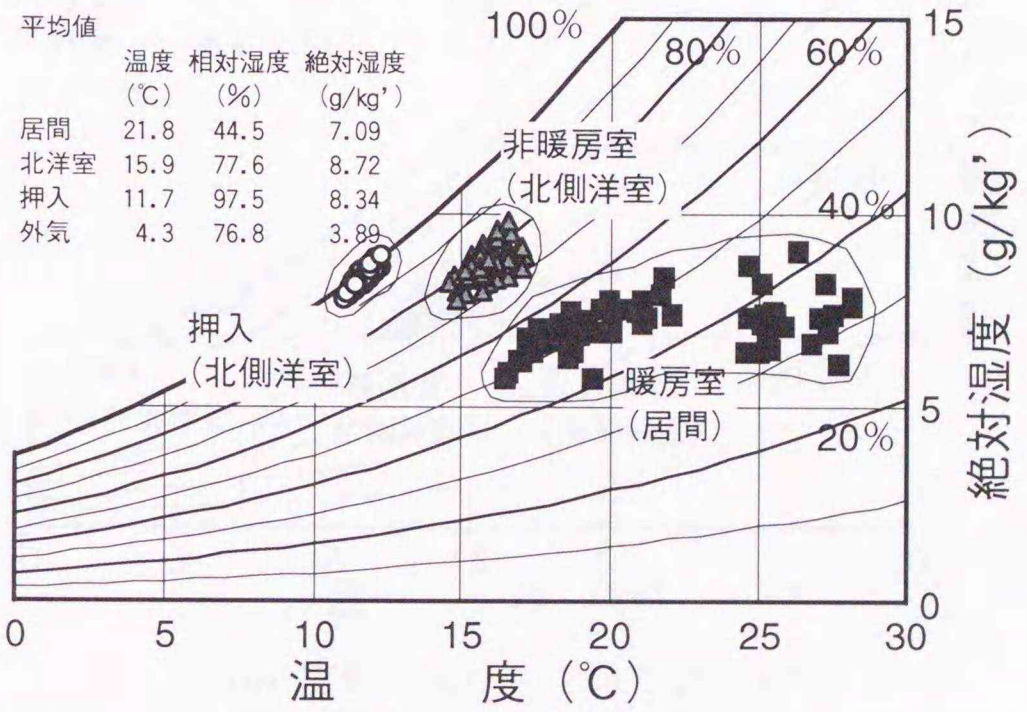
温湿度に大きな違いを見せない室内に対して、押し入れ内部の隅では両住戸の差が顕著に現れる。12℃以上の温度と70%程度の相対湿度を保持しているC住宅(外断熱)に対してD住戸(内断熱)では、温度6℃で相対湿度は飽和状態である(水滴は見られない)。内断熱と外断熱という断熱仕様の違いが、室内の環境よりも部分環境に大きく影響する事を明確に示している。

D住戸(内断熱)の暖房室の温湿度特性が興味深い。従来暖房の停止時には、著しい

室温低下を見たが、断熱性を高めた集合住宅では 15℃以上の室温を保持している。また、室温によらず暖房室の湿度が、相対湿度 70%と冬季間としては著しく高く推移する。暖房時間帯には室温が、25℃程度に上昇し相対湿度が変化していない事から、結露水の再蒸発や吸湿水の再蒸発が影響しているものと考えら、温度の改善だけでは解決し得ない、暖房や換気への取り組みなどの課題を示唆している。

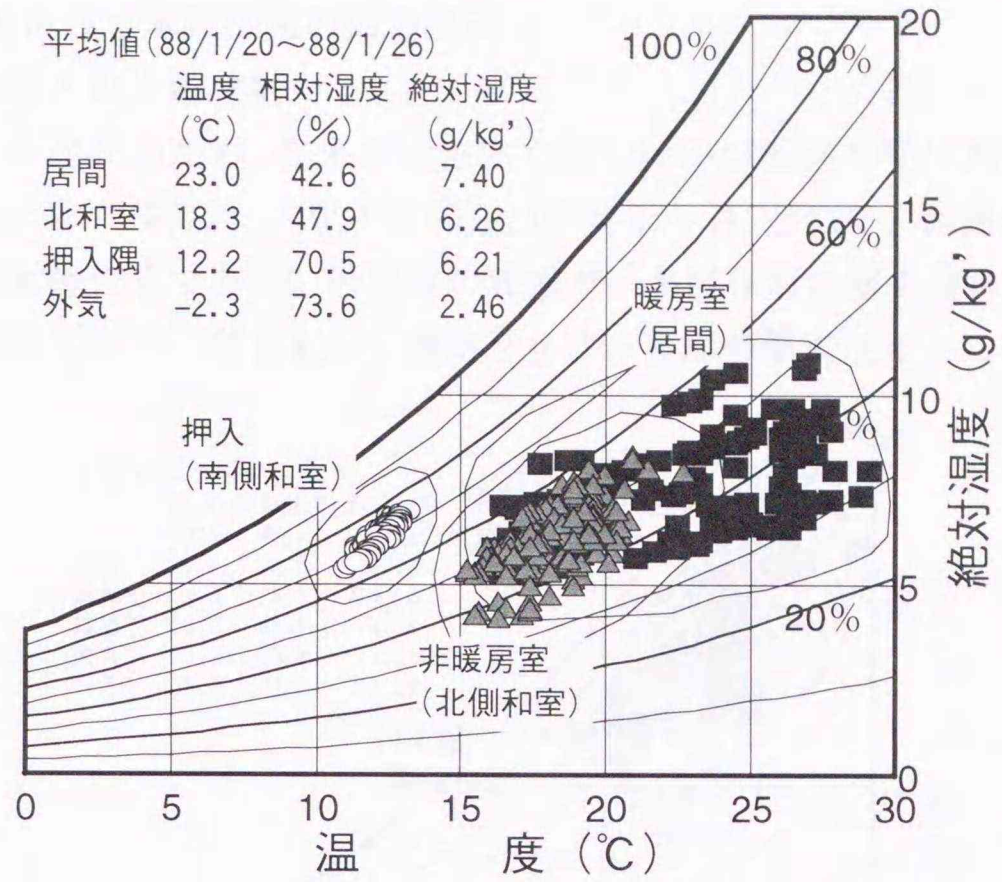


(a) C 住戸 (外断熱、1987/10/22～10/28)

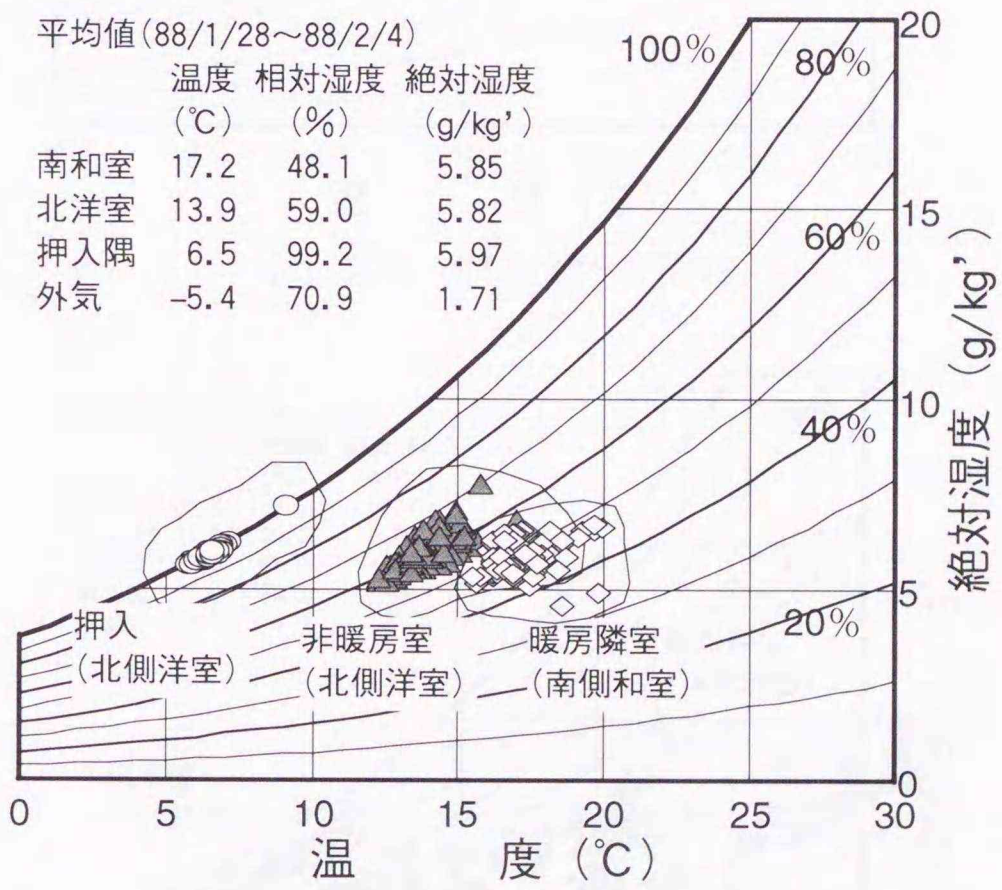


(b) D 住戸 (内断熱、1987/11/5～11/13)

図 3.2.7　木質系内装材を多用した RC 造集合住宅の秋期の温湿度



(a) 外断熱住戸 (1988/1/20～1/26)



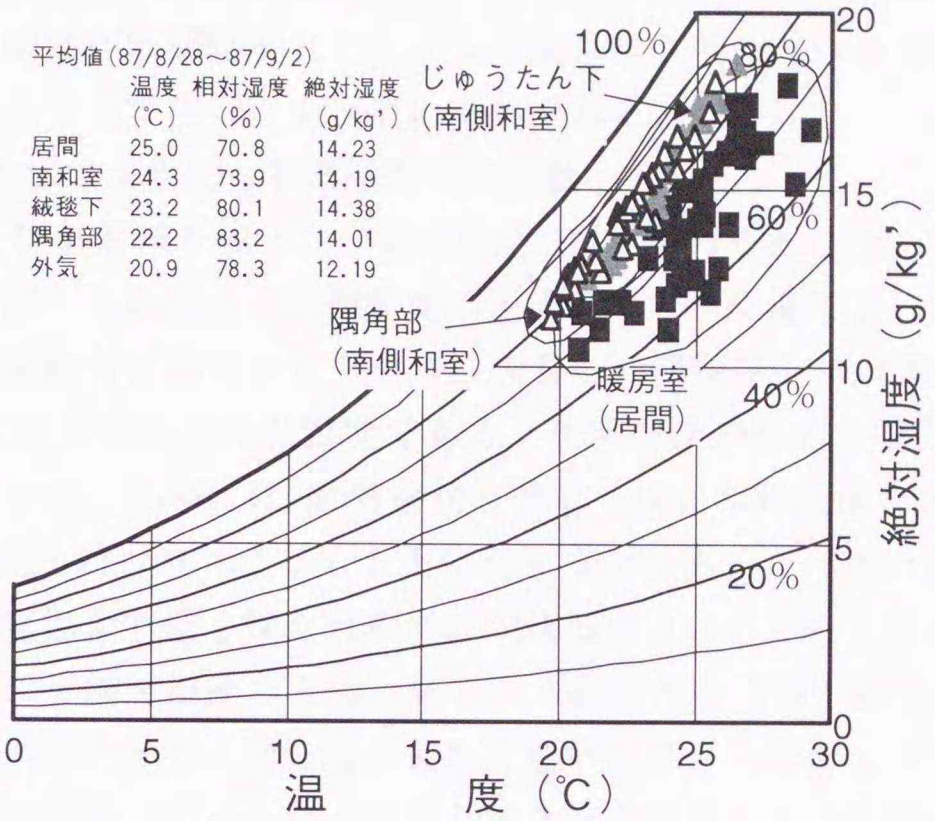
(b) 内断熱住戸 (1988/1/28～2/4)

図 3.2.8 木質系内装材を多用したRC造集合住宅の冬期の温湿度

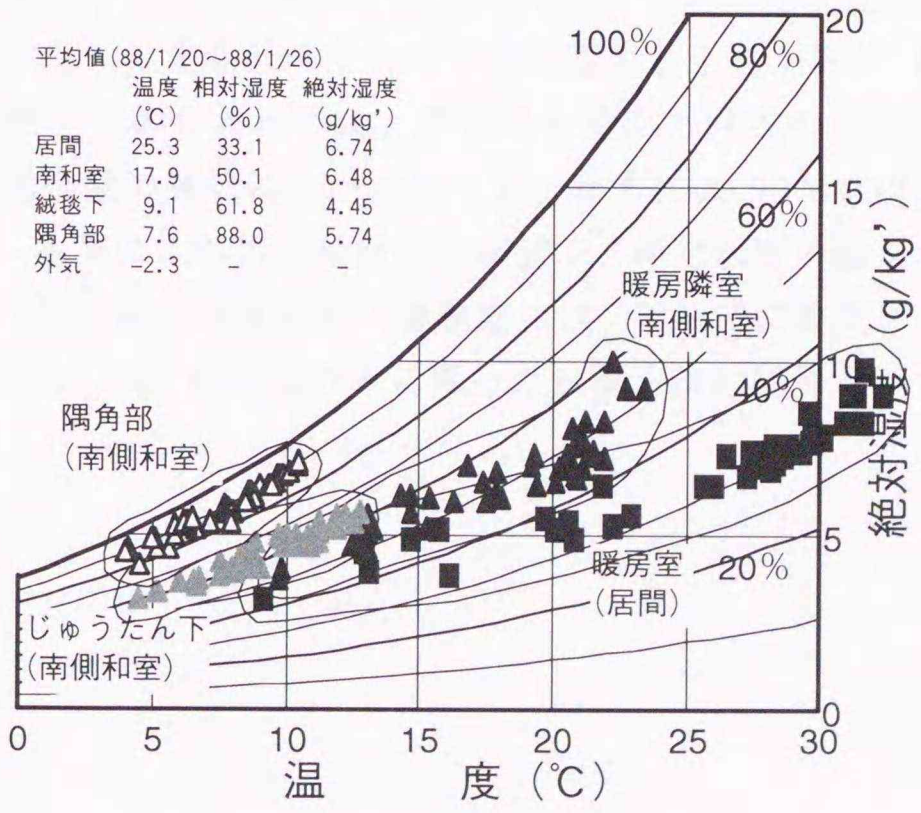
4) かび被害のあった木造住宅の温湿度環境

ー集合住宅との比較検討ー

集合住宅との比較のため、在来木造住宅で著しいかび被害を受けた住宅の温湿度測定を行なった。この住宅は、1971年建設(1973年2月入居)で、断熱がグラスウール50mmの在来木造住宅である。居間隣の和室や、北側和室の繊維壁には、一面に著しいカビが発生している（**図 2.4.3**）。**図 3.2.9** は、各部の温湿度である。もともと気密



(a) 夏期 (87/8/28～87/9/2)



(b) 冬期 (88/1/20～88/1/26)

図 3.2.9　カビ被害のあった木造住宅の温湿度

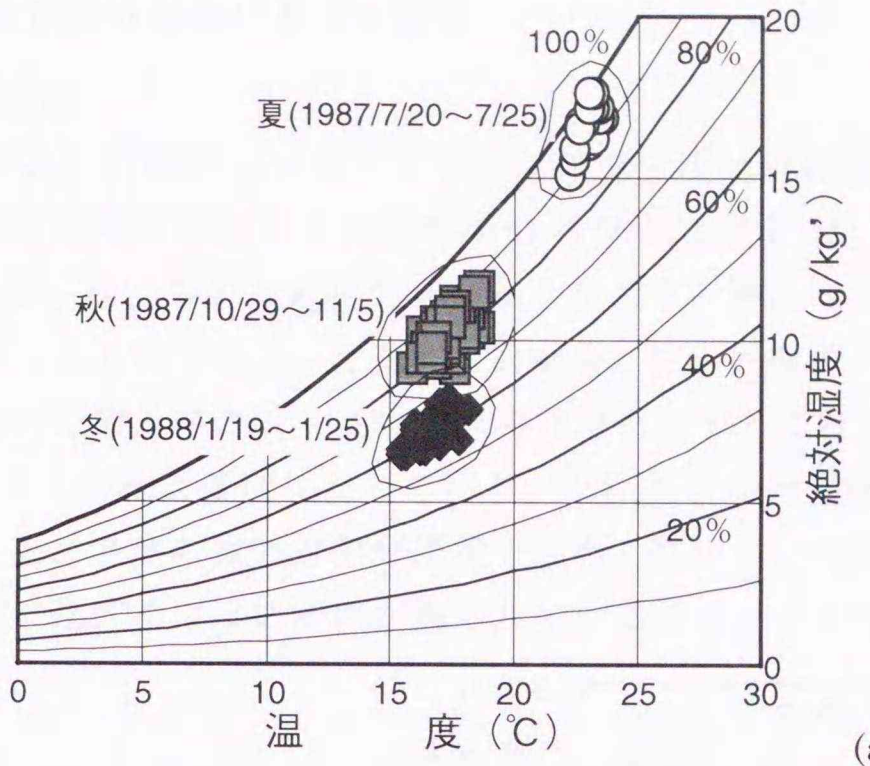
性能が低いために多量の換気が生じているものと考えられる。このため、夏期はいずれの部位も乾燥した環境を保っており、集合住宅とは異なる、気密性の低い木造住宅の特性が顕著である。

一方、冬期間の実測結果では、暖房隣室の南側和室の外壁に置かれた本棚の裏側部分は、ほとんど飽和状態に近く常に湿った状態になっている事がわかる。南側和室自体の相対湿度は 60%程度を維持しており、集合住宅の非暖房室とは大きく異なる性状を示すことから、この時期の木造住宅における環境悪化は換気の不足ではなく、断熱不良による冬期間の表面温度低下によって引き起こされていることが明らかで、集合住宅とは異なる背景で生じたかび蔓延結露である。

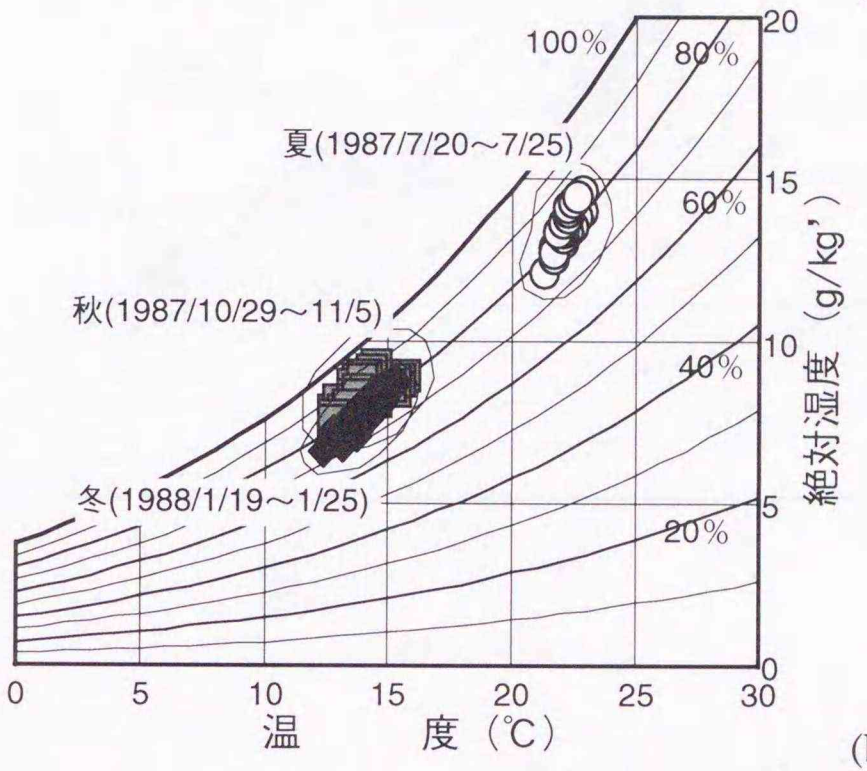
5) 押入内部およびじゅうたん下環境の季節変動

図 3.2.10 は、換気対策を取った内断熱住宅(B 住宅)のじゅうたん下、押し入れ内部の隅角部および押し入れのある南側和室の温湿度を、季節毎に示したものである。南側和室は居間と開放的に使用されており、実質的に暖房室とほぼ同様な環境である。(a)は、居間のじゅうたん下の温湿度である。暖房空間のため冬季間の湿度は比較的低く保たれているが、夏季には 90%を超え著しく高い相対湿度を示す。これは、1階住戸で、床の仕上げはコンクリート上にじゅうたん直仕上げのため、地盤への放熱によって床面が室温より低く保たれるためである。コンクリート住宅の場合、冬季ばかりでなく夏期にも相対湿度の上昇に気を配る必要がある事がわかる。測定位置は、元々のじゅうたん仕上の上に居住者が重ねて敷いたじゅうたんの下であるが、コンクリート直仕上げの場合、じゅうたんの重ね敷きを避けるなどの配慮が必要であろう。

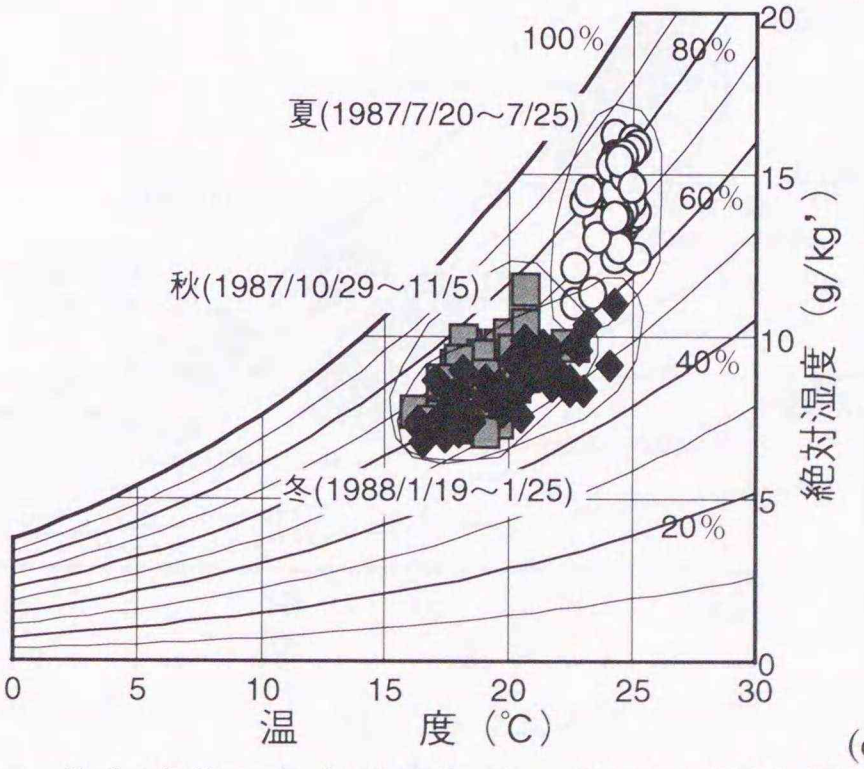
次に(b)は、同じく暖房空間の一部となっている、居間隣の和室に付設された押入れの隅角部の温湿度である。一般に、押入れ内部の相対湿度は夏期に最も低く、外気温の低下とともに生じる温度低下によって相対湿度が上昇するが、換気装置による給気を備えた当該住宅の押し入れでは、冬季にも夏期と同等の相対湿度を維持している。しかし、換気装置の運転にもかかわらず、秋季には 90%を超える高い相対湿度を示す。これは、冬季には外気の絶対湿度が低く、絶対湿度の低下に大きな効果を示すのに対して、外気の絶対湿度が高い春秋期には、相対的に換気による除湿効果が低下するためと考えられる。換気にのみに頼った減湿方策の限界を示しているといえよう。



(a) じゅうたん下



(b) 押入内



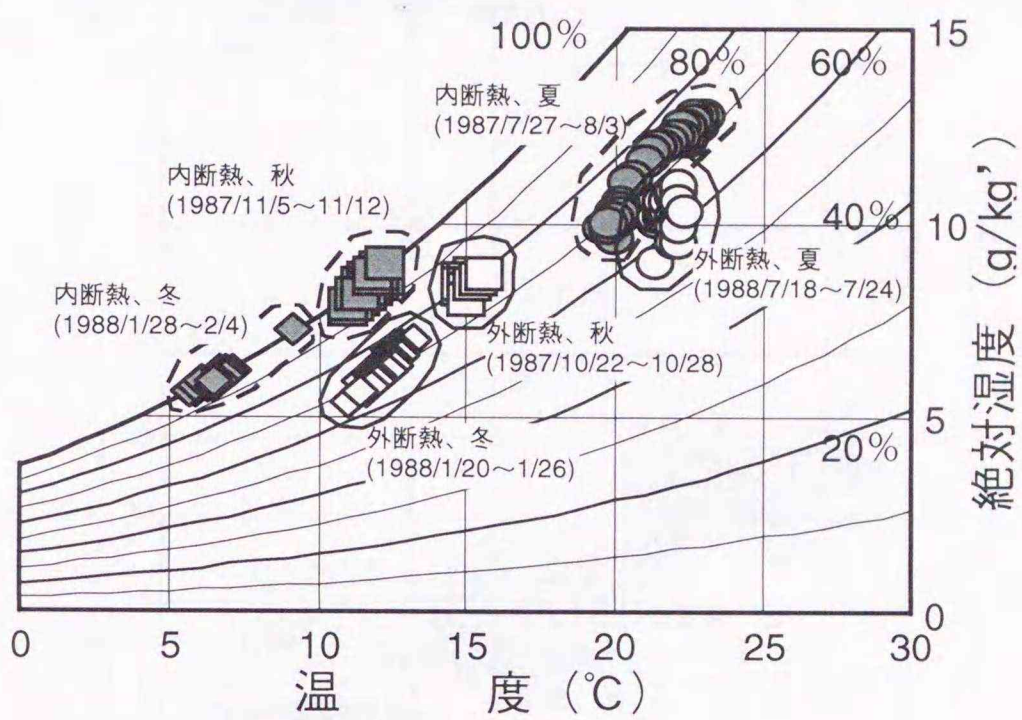
(c) 室内

図 3.2.10　換気改善した内断熱住戸(B 住戸)の温湿度環境の季節変動

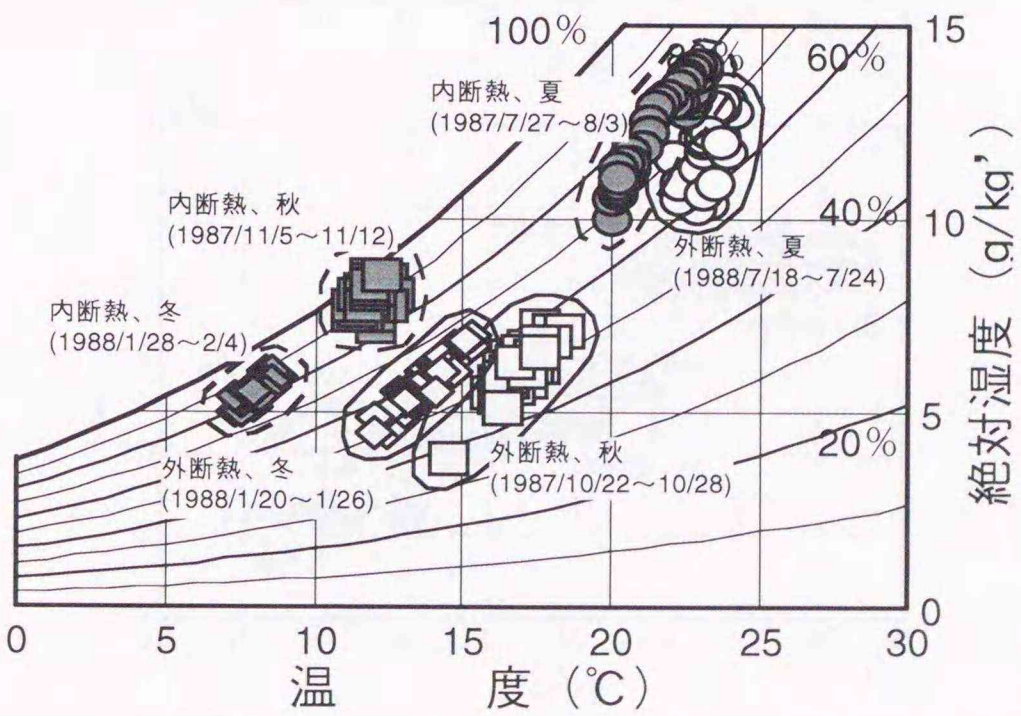
3.2.3 外断熱が部分環境に及ぼす影響

(1) 部分環境の比較

外断熱化が押入れ内部やじゅうたん下などの部分環境の改善に与える効果を明らかにするため、外断熱のC住戸と内断熱のD住戸の環境を、年間を通じて比較した。**図 3.2.11** は、夏、秋、冬の測定結果をじゅうたん下と押入内の隅について、空気線図上にプロットしたものである。3シーズンを通じて、内断熱の住戸の方が相対湿度が高く、夏を除いて押入内の隅では常時飽和状態を示すのに対し、外断熱の住戸ではいずれも 80%以下の相対湿度になっている。しかし、絶対湿度では両住戸に大きな差はみられず、主に温度の違いが部分環境を左右している。内断熱のB住戸は、一般のRC集合住宅に比べれば厚い断熱が施されているにもかかわらず、11月には既に局



(a) 押入内隅角部



(b) じゅうたん下

図 3.2.11　外断熱と内断熱住宅の部分環境の季節変動

所的な温度低下が見られ、長期間にわたって低温高湿な状況が続く。

次に、**図 3.2.12** はそれぞれ測定部分が属する暖房隣室とじゅうたん下、押入内の隅の温度を、外気温を横軸に取ってプロットしたものである。内断熱の住宅では発泡ポリスチレン板 B 類 2 種 50mm、外断熱の住宅では同 75mm を施工しており、このような断熱性を持った住宅では、季節を問わず外気温の変動に対して変化の少ない安

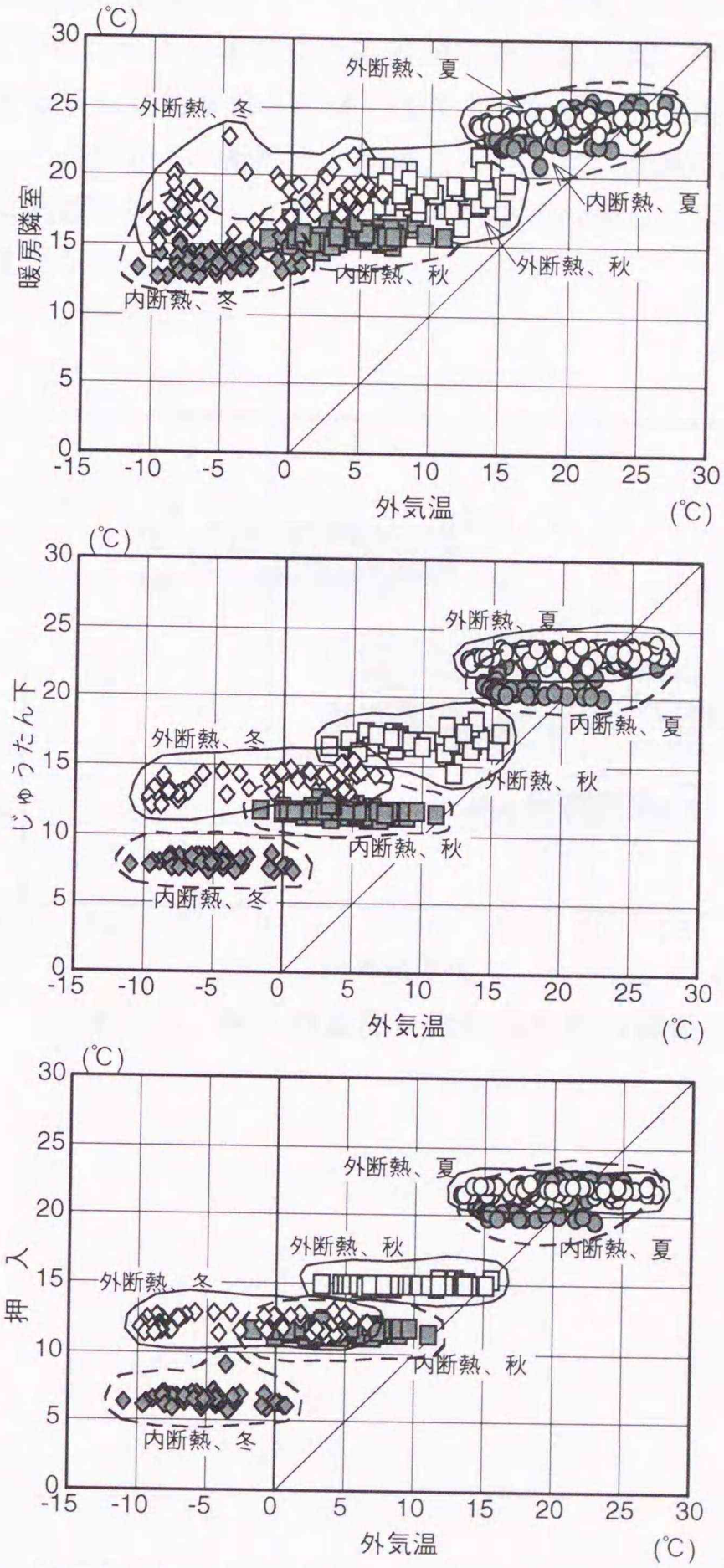


図 3.2.12　暖房隣室、じゅうたん下、押入内温度と外気温の関係

定した温度性状を示す。低温部分が生じれば長期間その状態が継続することから、吸放湿材料の利用など日変動の中での解決はありえない事がわかる。

また、断熱方法によって違いを見ると、暖房隣室の温度も押し入れ内部の温度も内断熱の住宅の方が低いが、その差は暖房隣室の 3～4℃に対して、押し入れ内部の隅では 6～7℃にも達する。押し入れ内部の隅角部の温度低下の性状を検討するため、横軸に暖房隣室と外気の温度差を取って、押入内隅と外気の温度差をプロットしたものが**図 3.2.13** である。秋期と冬期にその差が明確に表われ、内外温度差の拡大に伴う押入内部の温度低下には約 2 倍もの違いを生じ、断熱方法の違いが部分環境に著しい影響を及ぼすことがわかる。断熱性を高めただけでは、室温の保持は可能でも部分環境の温度保持は困難な事を示しており、断熱方法の転換は、寒冷地の RC 集合住宅において、最も重要な対応の一つといえる。

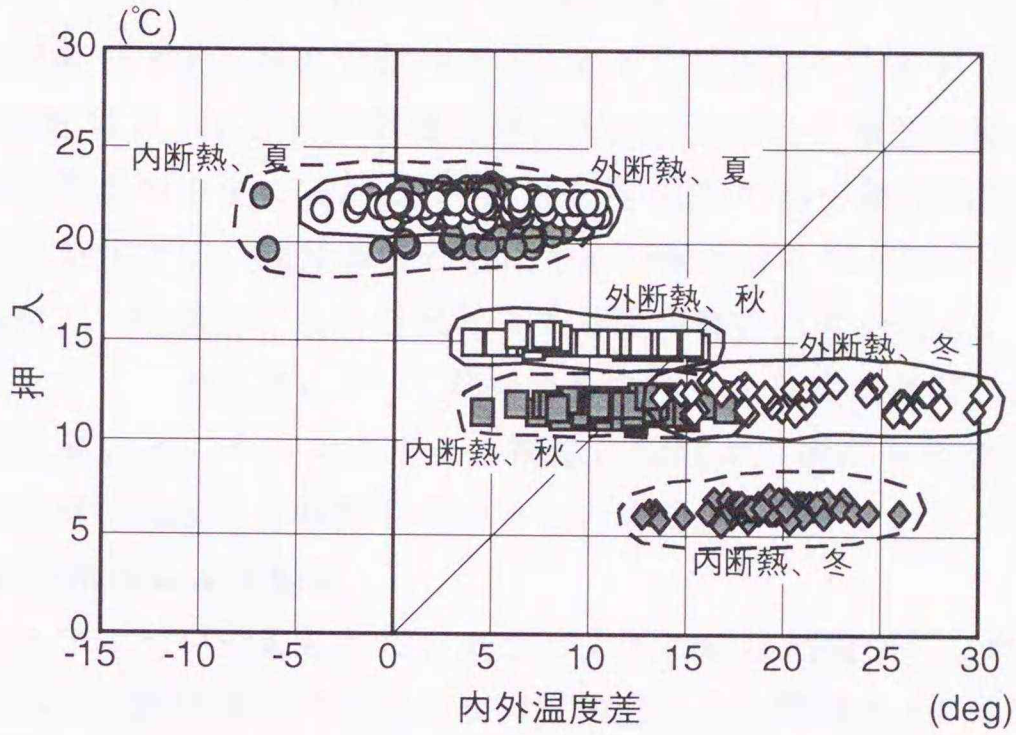


図 3.2.13　押入内温度と内外温度差の関係

(2) 温度の予測計算による検討

断熱方法の違いが部分環境に与える影響を詳細に検討するため、**図 3.2.14** に示す断面モデルを使って温度の定常計算を試みた。計算は 2 次元の有限要素法によった。家具は壁面に密着して置かれているとした。また、家具の熱伝導率は密閉空気層と同程度として、0.2kcal/m²h℃を使った。

1) 内断熱と外断熱の比較

図 3.2.15 は、外断熱と内断熱の断熱厚さを変えずに計算した結果である。上階の家具を置いていない室では、じゅうたん上で内断熱の住宅が約 15℃、外断熱の住宅では約 18℃で、それほど大きな差はみられない。しかし、厚さわずか 11mm のじゅうたん下では、外断熱の場合じゅうたん上と同じ温度なのに対して、内断熱では 5.8℃まで低下してしまう。また、家具の裏側では外断熱の場合じゅうたん上で約 15℃なのに対して、内断熱の場合約 3℃まで低下している。

相対湿度が約 40%、50%、60%の時の露点温度 6、9、12℃の等温線を図中に示しているが、内断熱では家具裏の大部分で 6℃以下に低下しているのに対して、外断熱では 6℃の等温線はコンクリート躯体内部にも現れない。外断熱の場合、室内側表面の最低温部が家具裏の中央に現れるが、相対湿度 50%の時の露点温度 9℃を越えており、通常の生活条件では、部分環境の悪化する心配はほとんど無いと考えられる。

外断熱の場合に、外壁面に家具を配置しても隅角部の温度が低下しないのは、熱を伝えやすいコンクリートを通じて、下階や家具の周りから熱が裏側に回り込むためである。熱を伝え易いというコンクリート構造の特性が、断熱を外側にする事によって、欠点から利点へと大きく転換しているといえる。

2) 内断熱の断熱補強による効果

内断のヒートブリッジ対策として、スラブ上下の断熱補強が行なわれる例が多い。そこで、内断熱での断熱補強の効果について検討する。**図 3.2.16** は床スラブ上に発泡ポリスチレン 30mm を施工した場合の計算結果である。この結果、家具を置かない条件ではじゅうたん上で外断熱の場合と同等の約 17℃、じゅうたん下でも約 14℃になっており、明確な断熱補強の効果がみられる。しかし、家具の裏側ではほとんど温度の上昇がみられず、6℃の等温線も断熱補強の無い場合とほとんど差はみられない。

次に**図 3.2.17** は、更に外壁の断熱補強効果を検討するため、外壁の断熱厚さをパラメターにじゅうたん上の隅の温度を計算した結果である。外壁の断熱を 100mm まで高めても、家具裏の隅の部分では 6℃に満たない。これは、内断熱の場合、家具などの配置によって壁面の断熱材の性能が、有効に生かされなくなるためで、押入れ内部の温度形成と同じ原理である。このようなことから、内断熱では十分な断熱施工のほか、押入の位置や家具の配置に対する配慮が無ければ、局所的な部分の温度低下は避け得ない事がわかる。

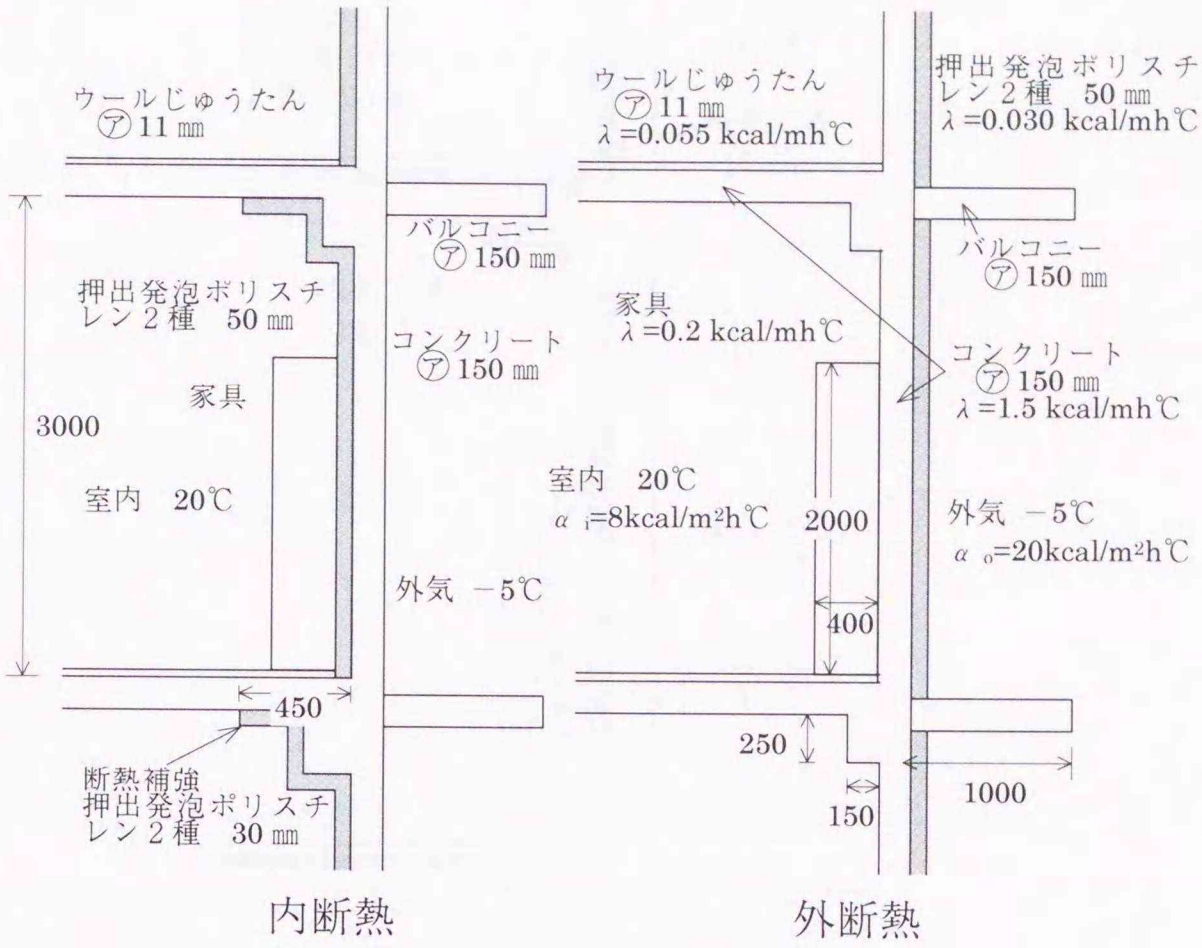


図 3.2.14　計算モデル

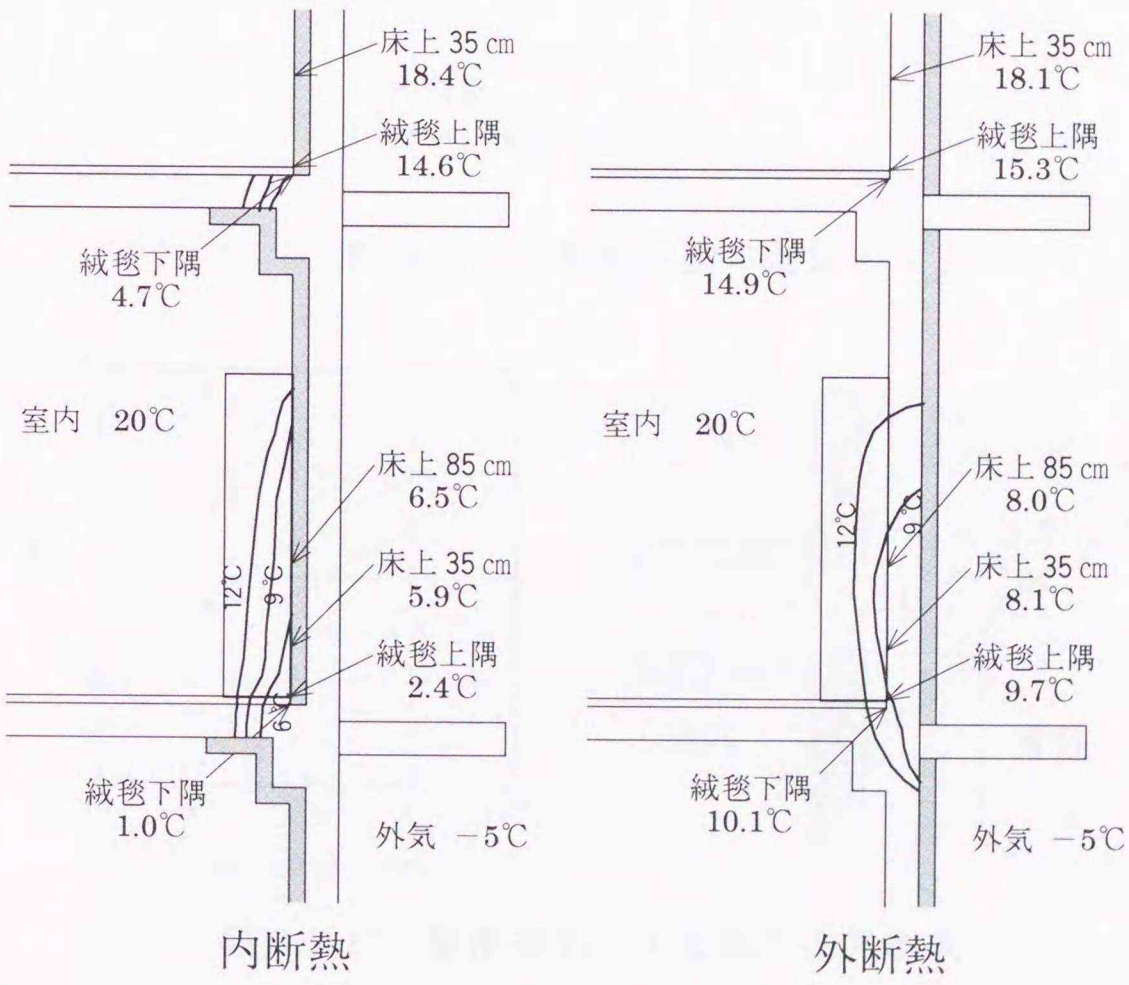


図 3.2.15　計算結果

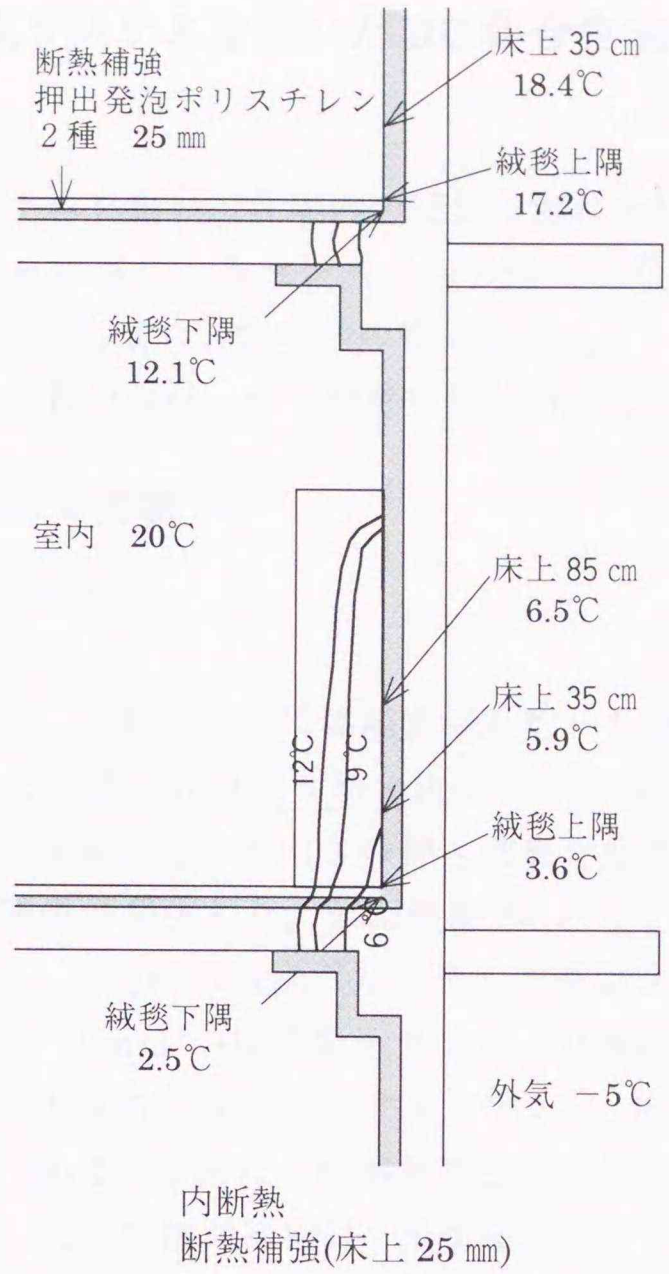


図 3.2.16　断熱補強の効果

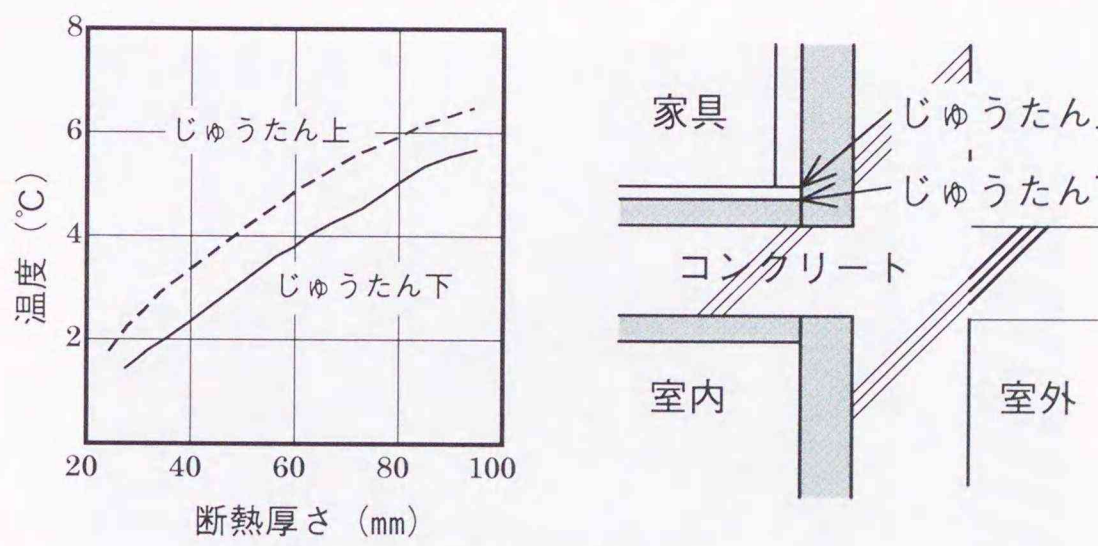


図 3.2.17　断熱補強による温度上昇効果

3.3　熱回収換気システムを用いたRC集合住宅の換気方法の提案と結露防止

熱交換型換気システムを用いて住宅内の空気の流れを制御することにより、完全に結露を防止する手法を提案し、当該システムを設置した既存住宅における実測により、その効果を検証した。また、住宅内の換気のシミュレーションにより、空気の流れの制御に必要な換気量の検討、および集中排気方式との性状比較を行った。

3.3.1 実住宅における実験

(1) 測定住宅と測定の概要

1) 測定住宅の詳細

実験を行った住宅は、前節において環境実測を行ったB住戸である。B住戸は、札幌市内に建つRC造2階建て6戸入り集合住宅の1階西側端部住戸である。1983年建設で、築後2年間に南側居室の西向きの押入内部を始め、北側洋室の壁面全面などに著しい結露とカビ被害が発生した。床面積約84m²で、居住者は幼児一人を含む3人家族である。断熱は、30mmの発泡ポリスチレンをコンクリート同時打ち込みで施工しており、隅角部は10mmの現場発泡ウレタンで断熱補強している。開口部は窓が、外側がペアガラス入りの防音型気密アルミサッシ、内側が単板ガラス入り木建具で、ガラス3層構造である。玄関にも断熱気密玄関ドアを採用しており、換気口、換気設備を塞いで測定した相当隙間面積は、床面積当たりで約2.3cm²/m²であった。暖房は居間のFF式石油ストーブ1台による間欠暖房で、強制換気装置は台所と浴室、便所に設けられていた。**図3.3.1**は居間に敷設された収納空間内部のカビ被害状況である。

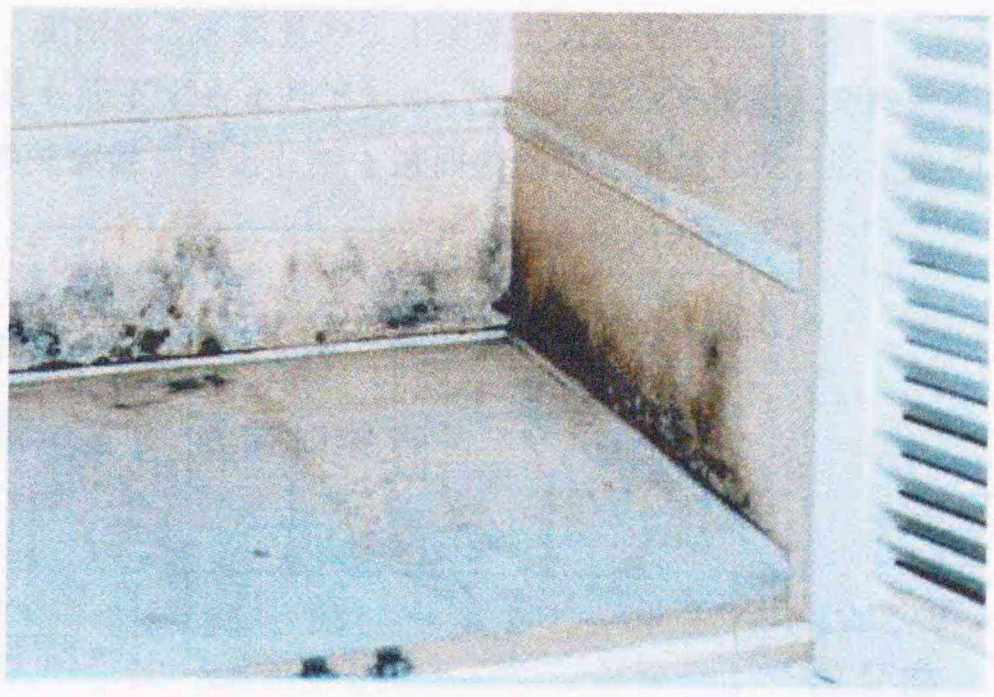


図3.3.1　収納内部のカビ被害状況

2) 換気システム

換気システムの空気の流れの概念を**図 3.3.2** に示す。結露被害の顕著な押入内部や非暖房室に給気し、廊下や居室を経由して、水蒸気の発生は最も多いが、暖房されていて結露の恐れの少ない台所･居間空間から排気する。温度の低い空間空間から暖房空間への空気の流れを作ることによって、温度の低い空間を減湿し暖房空間からの水蒸気の移動を妨げ、湿度の上昇を抑えるシステムである。

換気システムは、B 住宅の平面図(**図 3.2.2**)中に示すとおりである。熱交換換気装置の本体はユーティリティー天井面に吊り、各室への給排気には 100mm ϕ の塩化ビニール管を使用した。室内配管は露出である。水蒸気の排出が主な目的なので、熱交換換気装置にはM社製のクロスフロー型で顕熱回収タイプの装置を使用しており、装置内部の結露水を排出するためドレーンを設けているほか、ウレタンシートにより本体の防露対策もなされている。換気能力は、開放時で 120 m^3/h である。給気口は南側および西側の和室押入内部と北側洋室に設け、排気は居間の収納空間から行った。

押入内への給気は、熱回収によっても加温の不十分な取り入れ外気を更に室温に近づける効果が期待され、押入内の乾燥化と同時に、外気の導入による居住空間の環境悪化を防ぐ上で大きな効果が期待できる。

3) 測定の概要

換気装置は、1987 年の暖房開始前に設置し、換気装置の運転状況は、実験期間中を除いて弱ノッチの設定で連続運転とした。水蒸気発生に関わる居住者の生活に関して、特別な制約は全く行わなかった。給気口に約 30cm の円筒を取り付け、中心風速を熱線式微風速計で計測することにより各給気口の給気風量を推定した結果、弱ノッチで南側和室押入、西側和室押入、北側洋室それぞれ約 50、25、15 m^3/h であった。室内への給気口は風量調節のできないガラリタイプが設置されており、給気量に差を生じているが、実測はこの風量のまま実施した。

外気温度の最も低下する 1 月下旬に、換気装置の連続運転を継続しながら 1 週間測定し、その後換気装置を停止して 1 週間の測定を実施した。温湿度の測定個所は平面

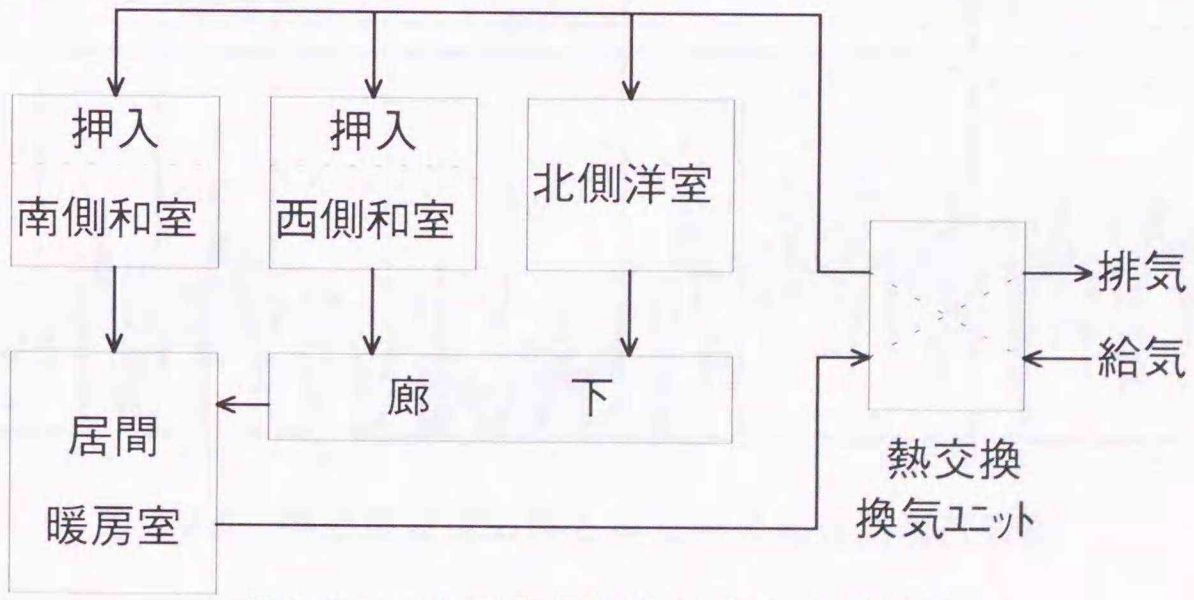


図 3.3.2　熱交換換気システムの概念図

図(**図 3.2.2**)中に示すとおりである。測定機器には、第一科学製の電気抵抗式温湿度センサーを使用した。押入内部の隅の測定は、衣類の入った段ボール箱と外壁側壁面の僅かな隙間を利用し、センサーを奥の隅角部床面に置いた。その他の空間の温湿度は全て、床上 1.8 mで測定した。

(2) 測定結果と考察

1) 温湿度の日変動

図 3.3.3 は、測定期間中の住宅内各部の温湿度変動を示したものである。換気装置運転時には、外窓のアルミサッシ面に僅かな水滴が見られる他は全く結露は発生していなかった。換気装置停止後、居間の相対湿度が僅かの時間で上昇し、続いて押入内部の隅をはじめ北側洋室など、非暖房空間の湿度が徐々に上昇している。換気装置停止後 3 日目にはある程度安定し、相対湿度が 90%に達する部分も出現する。結露現象としては、換気装置を停止した翌日には暖房空間の外側アルミサッシの面に、2 日後には、北側洋室の 3 重ガラスの室内側表面に流れ落ちるほどの結露が観測された。また、3 日目には、北側洋室の床プラスチック幅木面にも水滴が確認された。前年まで結露被害の大きかった押入内隅角部については、測定完了後に目視で調査したが、結露の被害が発生した様子は見られなかった。ガラス面やプラスチック面など吸湿性のない素材面では湿度の上昇に伴ってすぐに現象となって現れるが、押入内部など吸湿性のある部分では、結露被害の発生までには時間を要することが明らかとなった。

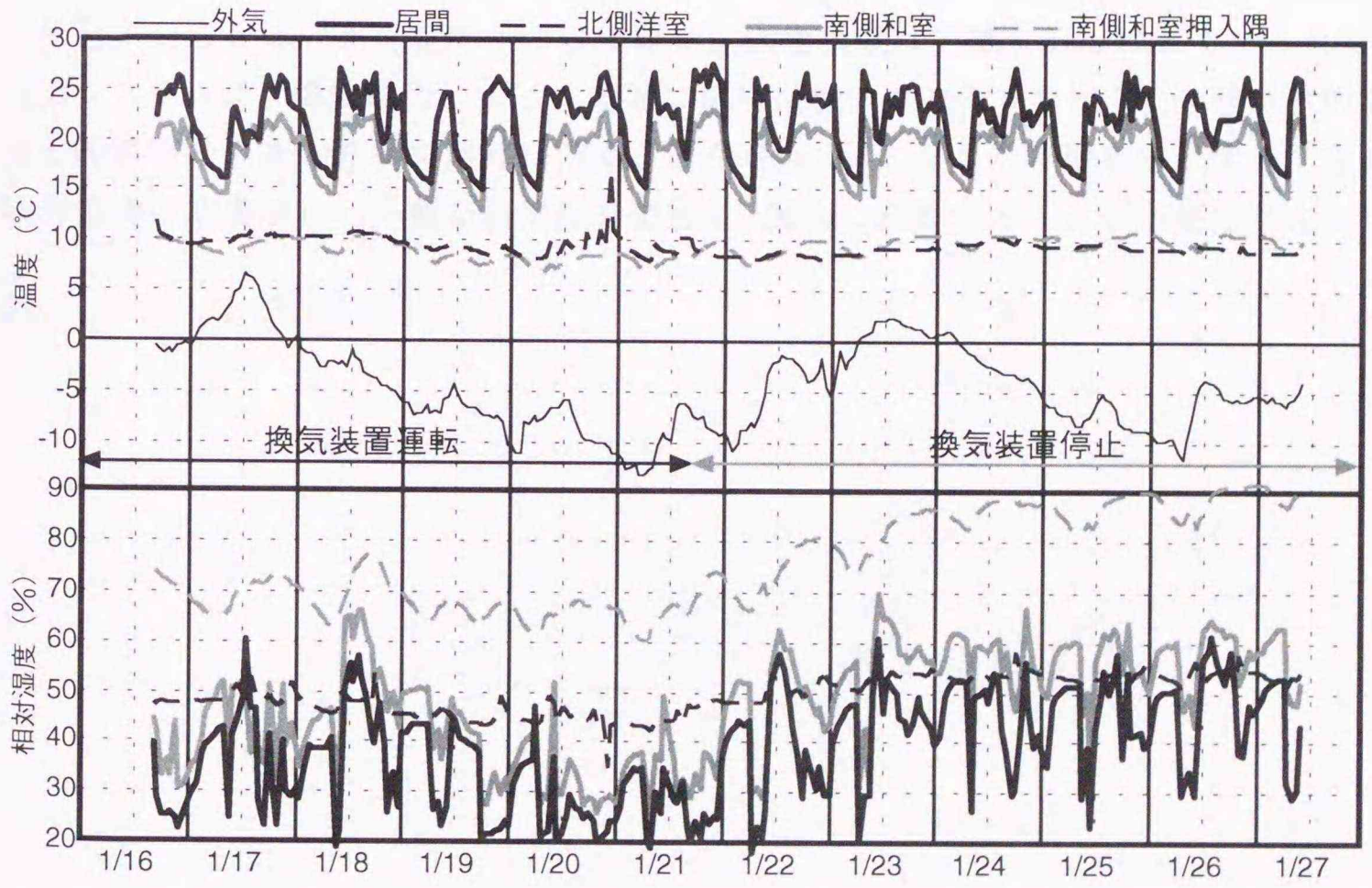


図 3.3.3　換気装置運転時と停止時の各部温湿度変動

2) 換気装置運転時と停止時の温湿度比較

換気装置の運転期間中と、停止後ある程度湿度が安定した期間それぞれ2日間の温湿度を湿り空気線図上にプロットし、換気装置の運転による影響を検討した。**図 3.3.4** は、居間及び北側洋室の温湿度を比較したものである。換気装置の運転時には、居間の絶対湿度は 5g/kg'前後で一定しており、室温が 25℃に達する暖房時間帯には相対湿度が 25%程度まで低下している。外気の給気側になる北側洋室では、それより 1.5g/kg'程度低く保たれ、相対湿度も約 45%で安定している。これに対して、換気装置停止時(停止後 4 日目)には、絶対湿度が暖房時間帯に高く、暖房停止時には低い傾向が見られ、むしろ相対湿度が 50%前後で安定している。これは、暖房停止時には、窓面での結露などで絶対湿度が低下するためと考えられる。北側洋室は、換気装置運転時に比べて僅かに相対湿度が上昇するが、暖房空間ほど大きな変化ではない。温度については、換気装置の運転による影響はほとんど見られなかった。

図 3.3.5 は、南側居室と付属する押入内部隅角部の温湿度を、換気装置の運転時と停止時について示したものである。換気装置の停止によって押入内隅角部の相対湿度は、平均 66%から 87%に上昇し、換気装置運転時には 70%を超えないのに対して、換気装置停止後は長時間 90%を超える。押入内部に直接熱回収によって予熱した外気を吹き出しているため、押入内の絶対湿度は居間より低く保たれており、換気装置の運転による低温部分の結露防止効果は顕著である。温度は、給気量が 50 m^3/h と多いこともあり、換気装置の運転時の方が 2℃程度低く推移する。熱交換により温度が上昇しているとはいえ、室内への直接給気は温度環境に影響するものと考えられる。当該システムは、風量調節によって室間に絶対湿度の差を作りながら、非暖房室の結露と暖房室の過度の乾燥を同時に防ぐことが可能で、こうした特性を生かす上でも非暖房空間の結露防止に必要な給気量を把握し、適切に調整することが必要と考えられる。

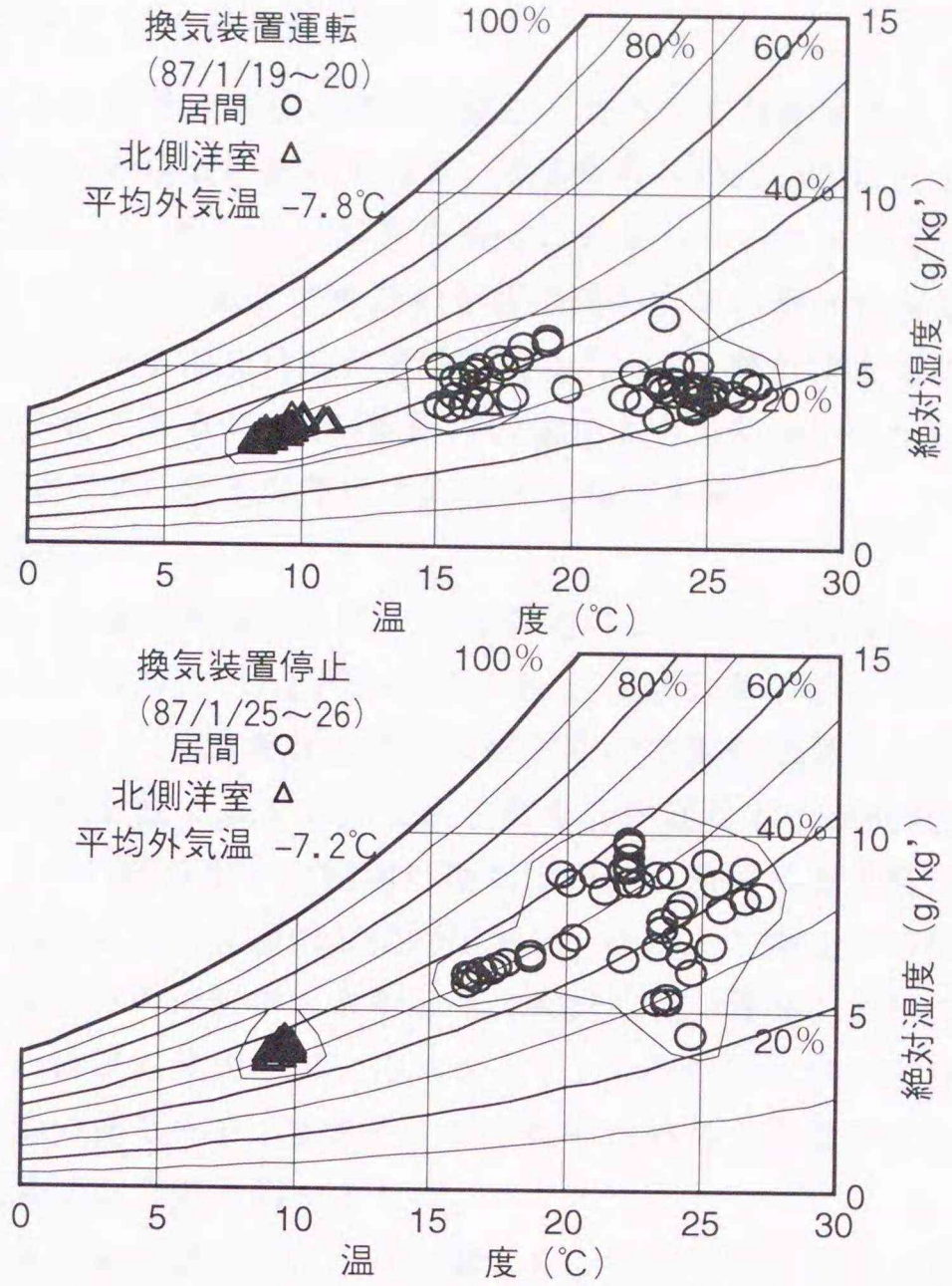


図 3.3.4　換気装置の運転・停止時の温湿度

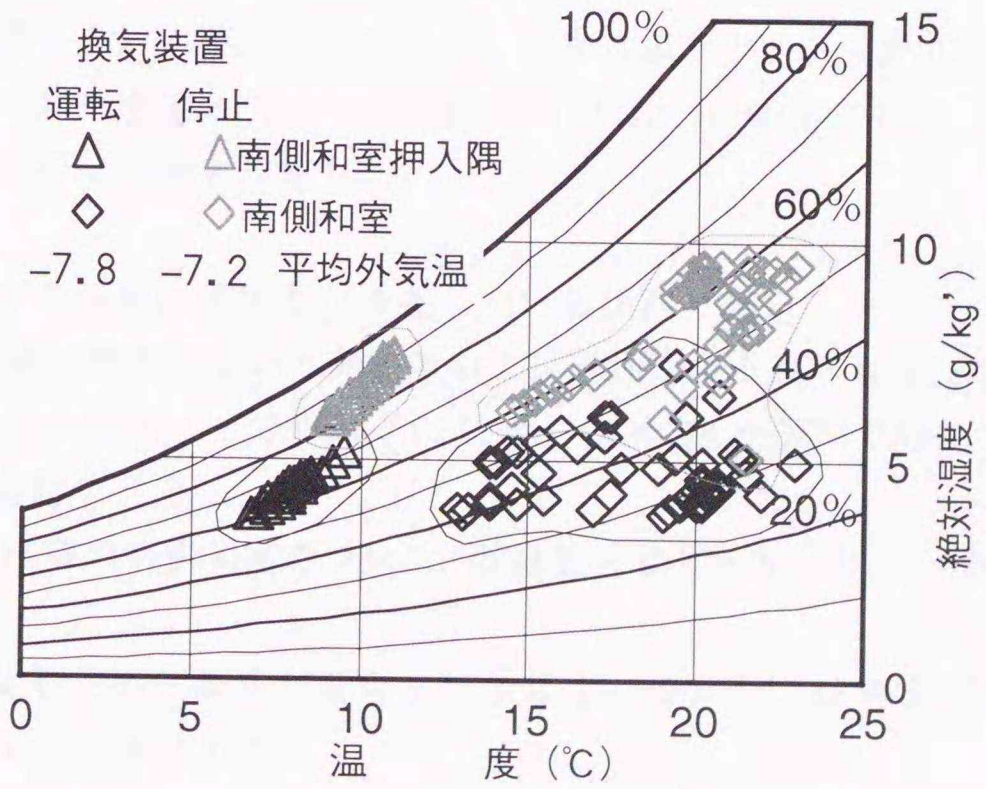


図 3.3.5　南側和室の温湿度

3.3.2 シミュレーションによる検討

本章で提案する結露防止法は、非暖房室に予熱外気を供給することによって、非暖房室から暖房空間への空気の流れを作り、非暖房室への湿気の流れを減少させる手法である。これによって、暖房室の湿度を過度に低下させることなく、非暖房空間の結露を防ぐことができる。換気装置の運転が住宅内の空気の流れと各室の絶対湿度に及ぼす影響を明らかにする事を目的に定常計算を行った。吸放湿を考慮した防露設計には非定常計算が必要であるが、換気経路の設定によって結露を完全に防止することを目的とする本研究では、定常計算による検討で特性を検討することが可能と考えた。

(1) 計算方法と条件

換気の計算は、各室の風量収支式を圧力仮定の Newton-Raphson 法による近似計算で解くことにより行った（APPENDIX－B）。収束計算の補正値に対する緩和係数として 0.6 を用いた [3-8]。風量収支は物質収支なので重量風量で計算した。計算に用いた各部の通気特性を**表 3.3.1** に示す。主要な室内建具および換気口の通気特性は、土屋 [3-9]、石原 [3-10]の値を用い、建物の換気口以外の隙間の通気特性は、減圧法によって求めた実測値である。各通気部位の隙間は、その上下端高さの位置に集中しているものとし、部位全体の通気率を 2 等分して配置した。換気口以外の隙間は、各室の窓の上下端高さの位置に集中しているものとし、全体の通気率から各室の床面積で按分して求めた各室の通気率を、2 等分してそれぞれの高さの位置に配置した。換気装置運転時の排気量は給気量と同一とした。

絶対湿度は、各室で水分収支により計算した。室内外や室間の水蒸気移動は、一般に換気による移動が透湿による移動より圧倒的に多く、換気のみを取り扱うことでかまわないが、押入れの場合のふすまについては透湿性を無視できないため、この部位のみ透湿を考慮した。水蒸気の発生量は、既存文献 [3-11][12]から**表 3.3.2** に示すように設定し、1 日の発生量 4.8 リットルを時間平均し、200g/h とした。水蒸気の発生モードとして、次の 2 種類を設定した。

モード 1：日中の居間に居住者が滞在している状態を想定
寝室に使われている南和室および西和室でそれぞれ 20g/h、北側洋室とユーティリティーでそれぞれ 15g/h、130g/h が居間で発生する。

モード 2：就寝時を想定
主寝室の南側和室で 75g/h、西側和室で 50g/h、75g/h が居間で発生する。

温度条件は比較的外気条件が安定した 1 月 19、20 日の 48 時間平均値を使用し、外気の相対湿度は 90％とした。

表 3.3.1　各部の通気特性

部位	通気率 $m^3/h \cdot mmAq^{1/n}$	n 値
ふすま（押入、和室）*	52 (m^2 当たり)	1.5
ドア（北側室、居間）*	14 (m^2 当たり)	1.5
換気口（丸形自然給気口）**	20 (1 ヶ所当たり)	1.5
換気口以外の隙間***	216 (全体)	1.5

＊土屋[3-3]、＊＊石原[3-4]による、＊＊＊実測値

表 3.3.2　水蒸気発生量[3-5)、3-6)]

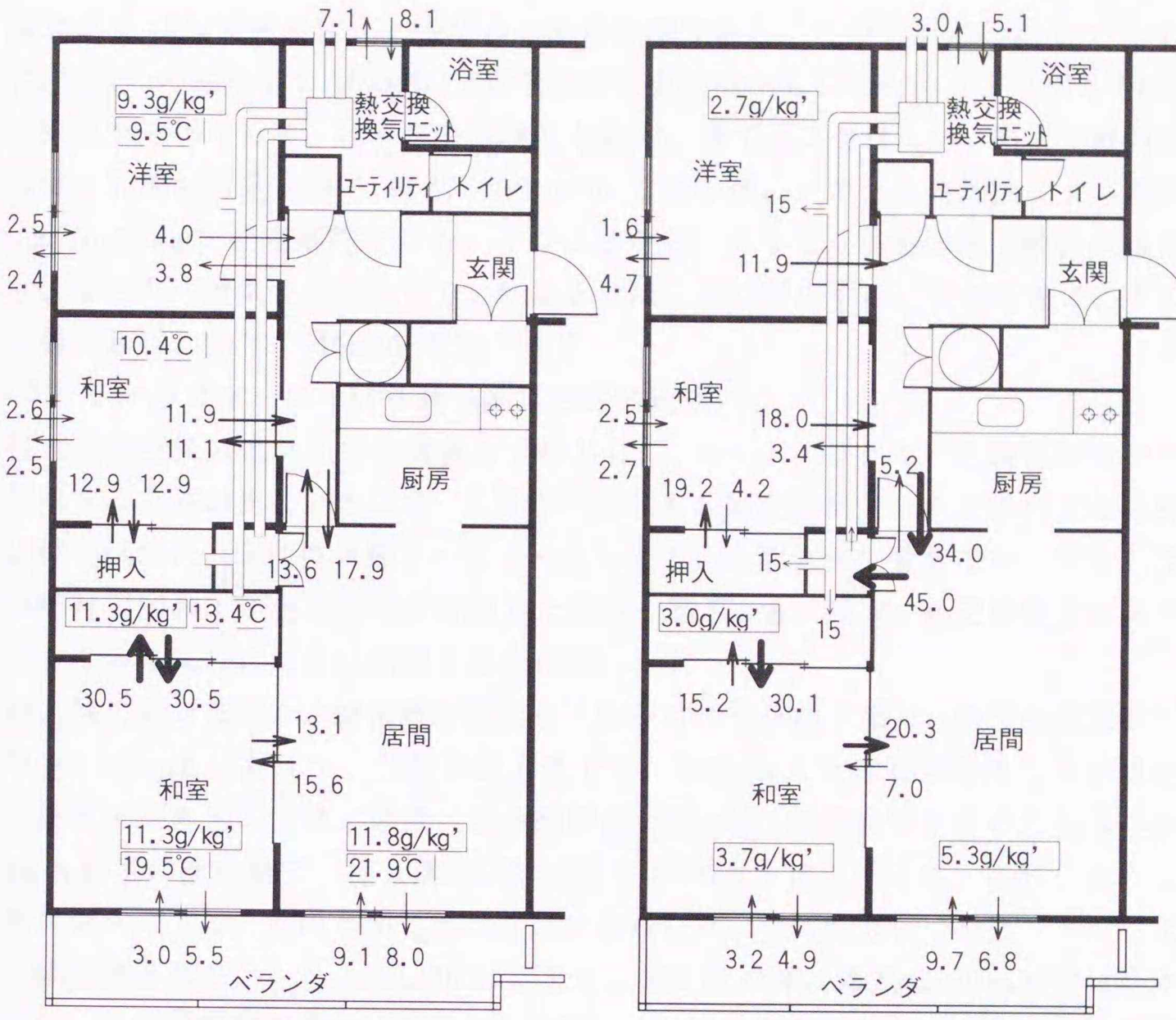
種　類	発　生　量	備　考
人体 一　般　時 100g/h 就寝時　50	夫　800 g/day 専業主婦　1500 幼児　750	在宅時間 12 時間　睡眠時間 8 時間 在宅時間 19 時間　睡眠時間 8 時間 同上×0.5
洗濯　毎日	800	
炊事　朝食 昼食 夕食	467.8×0.4=　187.1 159.3×0.4=　63.7 946.0×0.4=　378.4	換気装置の使用により 60%は直接排出
入浴　毎日	1000×0.4=　400	同上
計	4879.2	

(2) 計算結果と考察

1) 住宅内の空気の流れと絶対湿度

図 3.3.6 は、換気装置運転時と停止時の各部の空気の流れである。換気装置停止時には換気量は全体で約 22kg/h、換気回数約 0.1 回/h である。外部風を考慮に入れていない計算であるが、衛生上の必要換気量を満たしているとはいえない状況である。また、**表 3.3.3** は各室内の絶対湿度の計算結果であるが、換気装置停止時には、北側洋室や押入内隅など温度の低い空間ばかりでなく暖房空間でも飽和絶対湿度を上回り、住宅全体が結露条件となる。室間の相互の空気の流れを見ると、暖房空間から非暖房空間への空気の流れが見られ、北側洋室で室内の水蒸気発生のないモード 2 の条件でも絶対湿度が上昇し結露条件に至っている。

換気装置運転時の計算結果は、各給気口から 15kg/h 供給され、その合計量を居間から排気するとして計算した結果である。この結果、全体換気量は 67kg/h、0.3 回/h に増大し、3 人家族で、平均在宅人数を 1.5 人とすると、ほぼ必要換気量を満たしているといえる。1 室当たりの給気量としてはごく僅かであるが、いずれの条件でも低温部分の温度から計算した飽和絶対湿度を下回り、結露の可能性は全くない。寝室の発生量を増加させた設定では、寝室内の絶対湿度が上昇し、相対湿度で約 45%となっているが、結露の発生には至らない。空気の流れを見ると、非暖房室から暖房室への明確な流れが生じ、暖房室から非暖房室への流れが極端に低下し、意図した空気の流れが生じている。



換気装置停止時　（単位 kg/h）　　換気装置運転時（各給気口 15 kg/h）

□ モード１の時の絶対湿度　　[ ] 計算に使用した温度

図 3.3.6　換気量・絶対湿度のシミュレーション結果

表 3.3.3　各室の絶対湿度計算結果　(g/kg')

	水蒸気発生モード	換気装置	
		停止時	運転時
北側洋室	モード１	9.29	2.73
(7.31)	モード２	6.56	1.83
押入内隅	モード１	11.32	3.01
(6.69)	モード２	13.52	4.45
南側和室	モード１	11.32	3.71
(12.91)	モード２	13.52	6.00

(　)：各空間の空気温度による飽和絶対湿度(g/kg')

2) 非暖房室における就寝時の必要給気量

図 3.3.7 は給気量の変化と各空間の絶対湿度である。日中を想定したモード 1 では、各給気口の給気量を 10kg/h、水蒸気の発生を寝室中心にしたモード 2 でも 15kg/h の給気量を確保すると、いずれの空間でも飽和に達することはない。換気装置の換気能力は、弱運転時定格出力 41 W、88 m^3/h であるが、ダクト系の抵抗により実質約 60 m^3/h(76kg/h)程度期待できる。このことから、こうした小型の熱交換換気装置により、住宅内に空気の流れを作り、結露をほぼ完全に防止することが可能で、その必要な給気量は、全体で 45kg/h 程度である。

3) ユーティリティーにおける強制排気方式の比較

住宅内に空気の流れを作る簡便な手法として、ユーティリティーの既存排気ファンを利用する方法がある。そこで、本研究で提案する熱交換換気システムによる方法との比較を試みた。全体換気量をパラメーターとし、水蒸気発生量をモード 2 として各室の絶対湿度および相対湿度を計算した結果を**図 3.3.8** に示す。熱交換換気システムの場合は各給気口に均等に給気するものとした。

押入隅の絶対湿度が、飽和絶対湿度を下回る時の全体換気量は、熱交換換気システムの 約 45kg/h に対して、強制排気方式では、80kg/h と大きな差を生じる。また、熱交換換気システムでは、装置による給気量 45kg/h、隙間換気を含めた全体換気量 67kg/h 程度の換気量で、押入隅の相対湿度は 60%以下に低下する。これに対して、強制排気方式では、室内と同じ絶対湿度になるため、全体換気量（排気ファンによる強制排気量と等しい）を 120kg/h にしても、押入隅の相対湿度は 80%程度にしかならない。熱交換換気方式では、押入内給気によって、押入内部が居室より絶対湿度が低く保たれ、押入内隅の相対湿度が 60%でも、暖房された主居室の相対湿度は 40%を維持できる。強制排気方式で押入内隅の相対湿度を同様に低湿に維持するには、さ

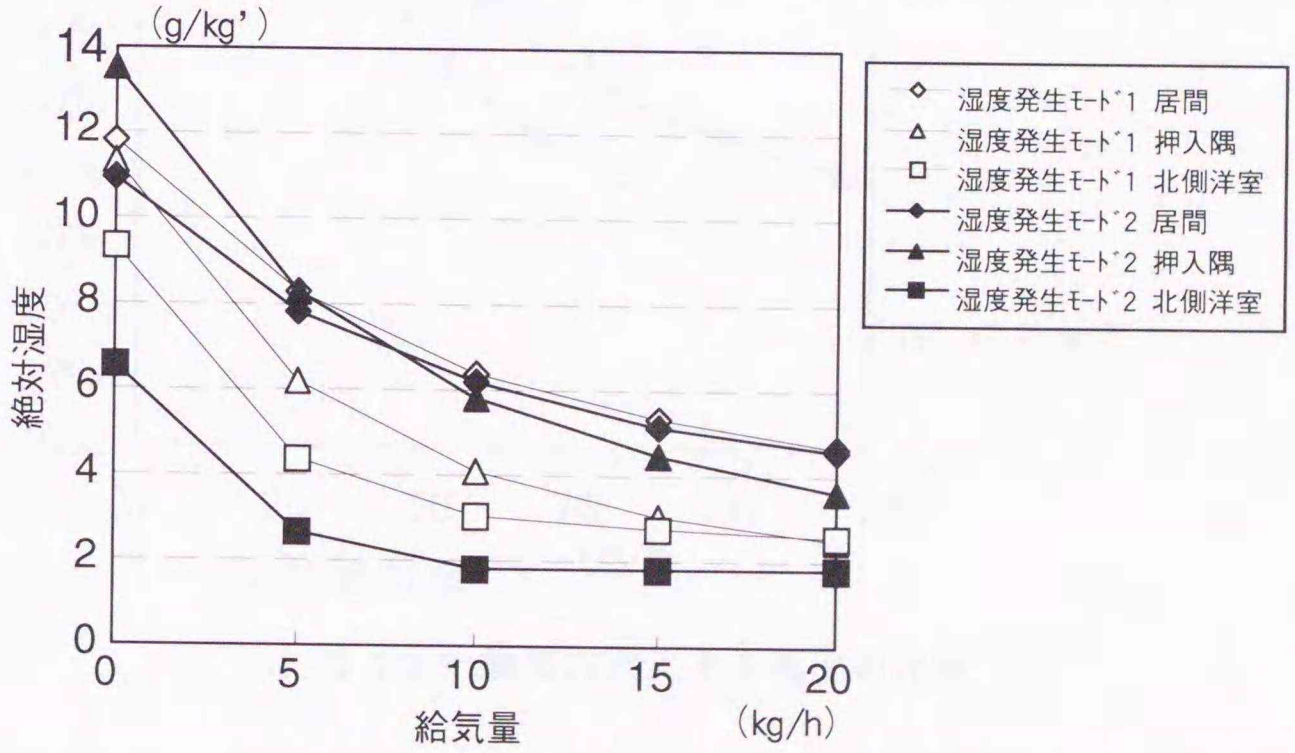
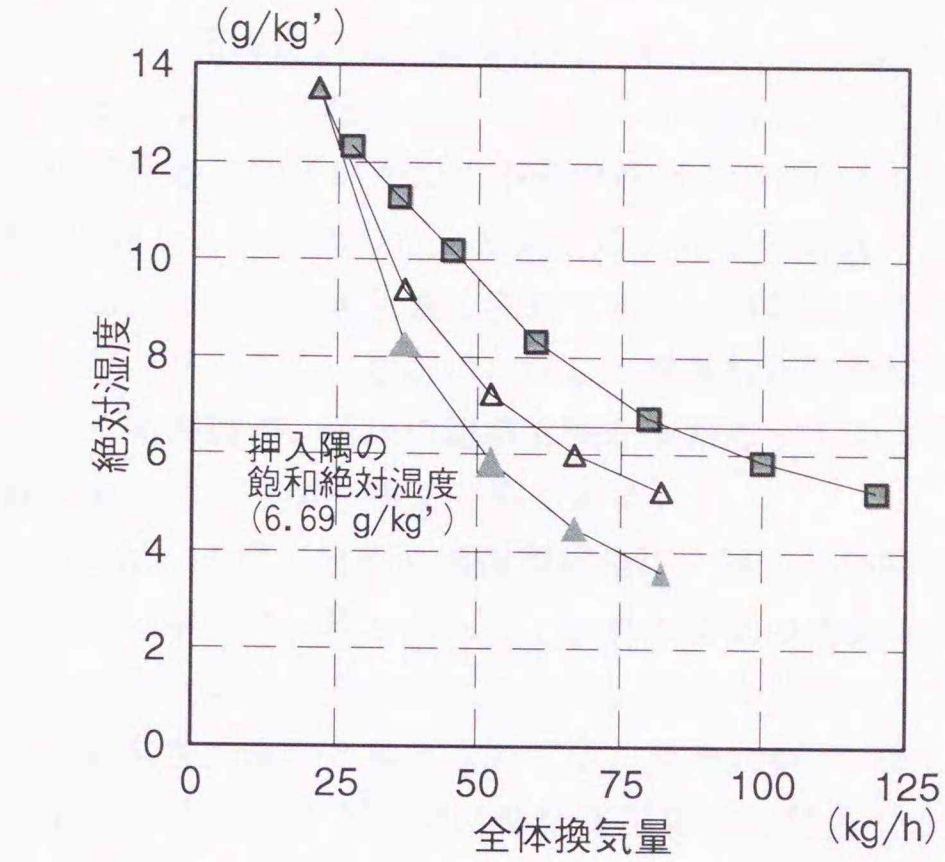
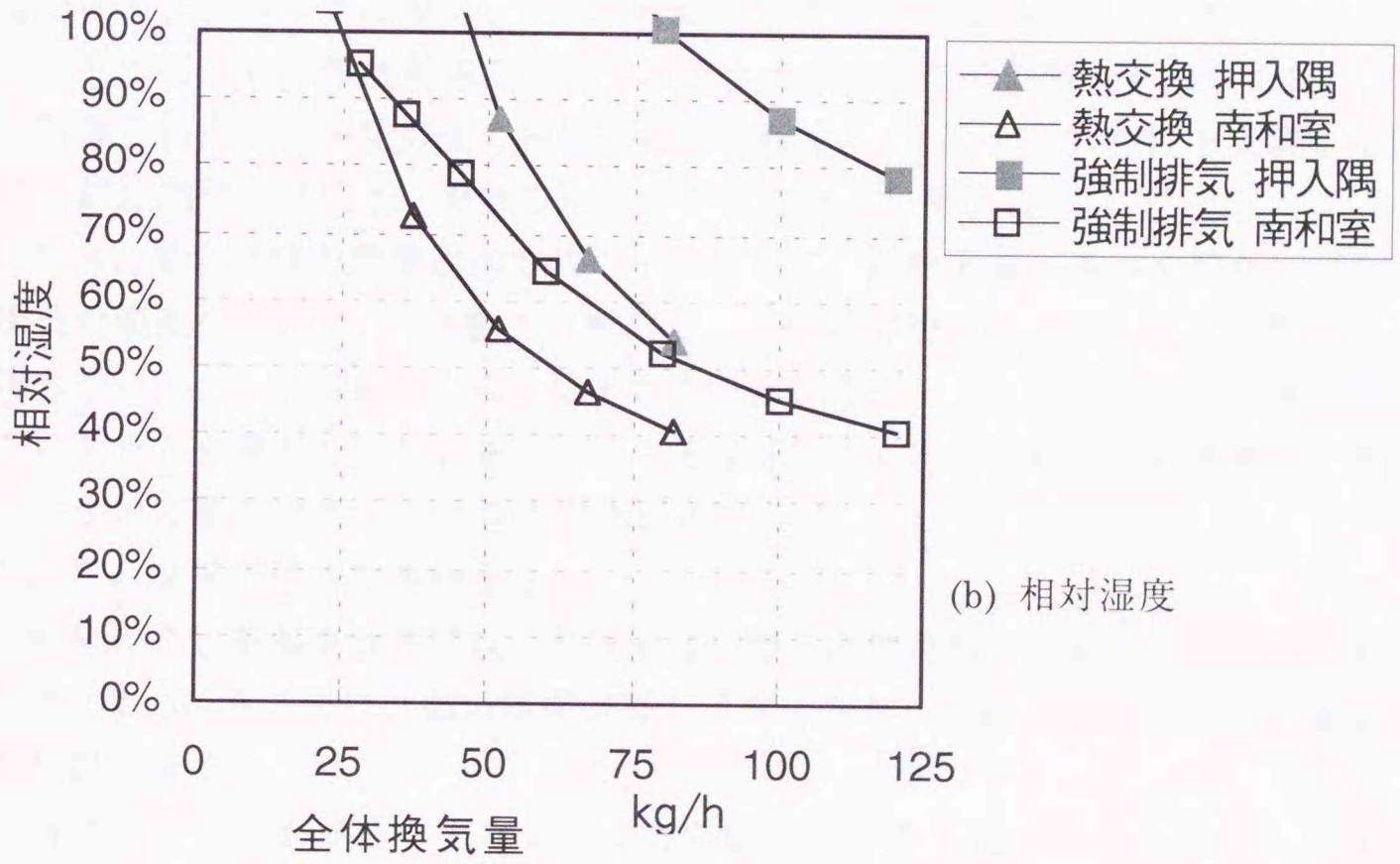


図 3.3.7　給気量の変化による絶対湿度

らに多くの換気を必要とし、室内の低湿化が避けられない。いくら換気量を増しても、乾燥感から加湿を行えば、結露の危険性は容易に高まることになる。こうした各空間の湿度管理の点からも、本章で提案した方式の利点は少なくない。



(a) 絶対湿度



(b) 相対湿度

図 3.3.8 換気方式による湿度の比較

3.4　寒地の集合住宅の展望と課題

寒地の集合住宅が抱える課題の多くは、戸建て住宅と同様に、暖地で作られた建築常識を受け継いでいる事にある。もちろん、現在の本州の集合住宅のように窓の結露を避け得ないものとし、室内でのクレームとなるような結露被害を防ぐ事は可能である。そして、北海道のRC集合住宅の多くが、そのようにして結露被害を避けている。供給する側は、同じ仕様の住宅の多くが被害を申告しない事を理由に、被害を訴えた住戸の居住者に住まいかたの不備が原因だと主張し、窓の開放や室内扉の過度の開放（時には押し入れの襖も）を強要する。外への開放によって建物を維持してゆくという、暖地の建築常識が色濃く表れている。結露防止の技術や生活対応のみでは、どのような努力をしても、状況は、決して根本的な解決には向かわない。寒地の集合住宅の抱える諸問題が、暖地の建築常識がもたらすものであれば、寒地の建築常識を作り上げる方向で取り組む事が必要である。

本章では、まず、室内の温湿度環境に、押入れの隅やじゅうたん下など局所的な環境の実態の解明にに取り組んだ。断熱や換気の仕様の異なる4住戸の実測と、温度シミュレーションにより検討した結果、明らかになった寒地のRC集合住宅の問題は、比較的断熱性が高いと考えられてきた断熱仕様が、決し十分ではないということである。木造戸建て住宅と同様に部分暖房習慣に起因する温度低下が大きな課題であるが、その背景は大きく異なる。構造部がコンクリートである事が問題なのではなく、集合住宅であることを理由に、十分な断熱が施されない建築常識と、寒冷地では結露はするものだという社会常識の問題である。十分な厚さの外断熱を施した住戸では、部分暖房の住宅でも非暖房室の基礎室温を保持する。そうした断熱性を実現した住宅では、部分環境の保持と、換気の対応が不可欠なことを示した。

この内、部分環境の環境改善方法の一つとして、断熱方法の違いを取り上げた。部分環境の温度の保持に、内断熱と外断熱という断熱方法の違いが大きく影響することを明らかにした。外断熱が、熱を伝えやすいというコンクリート構造の特性を、扱いにくい欠点から優れた特性に転換することを示した。高い断熱性と外断熱は、寒地の集合住宅の建築常識となるべき対応である。

これらの結果を以下に要約する。

1)内断熱のＲＣ造集合住宅では、非暖房室の押入内隅角部やじゅうたん下は、暖房を開始する10月下旬には相対湿度が著しく高くなり、室内よりはるかに高湿な状態が長期間続く。

2)1階住戸でコンクリート上にじゅうたん直仕上げをした床にじゅうたんを敷き重ねた場合、その裏面は、夏季を中心とする長期間高湿な環境となる。

3)外断熱の住戸の押し入れ内隅やじゅうたん下の温度は、内断熱の住戸に比べて、夏期を除く長期間比較的高く保たれ、相対湿度は低く推移する。冬期間に限らず外断熱化が、部分環境の温度保持と乾燥維持に有効である。

4)外断熱では、隅角部の温度低下が生じにくく、家具などの設置によっても低温部分の生じる心配はないが、内断熱では、断熱補強をしても部分的な温度低下が生じる恐れがある。

次に、換気の対応である。本章で示す対応は、熱回収換気装置という機械換気に頼った対応の提案である。その要点は、給気の予熱と住戸の中に、空気の流れを生じさせ、室内の環境を損なう事なく十分な換気と、全く結露を生じさせないことである。実験的な取り組みとシミュレーションにより、高い効果を確認したが、その目的は、結露防止に留まらない、寒地の換気の基本的な方向を示す事であって、特定のシステムによる解決を求めたものではない事を述べておきたい。

換気の対応に関する知見を以下に要約する。

1)結露とカビの被害を発生した既存の集合住宅で、当該システムを設置したことにより結露障害は完全に解消し、結露防止に大きな効果を得た。

2)換気装置の運転時と停止時の、室内各部の温湿度環境を測定した結果、換気装置の停止によって、短時間に相対湿度が上昇し、2，3日で各部に結露を生じた。また、結露被害の著しかった押入の隅では表面結露は確認できなかったが、相対湿度が70%から90%に上昇し、著しい高湿化が観測された。

3)換気経路と結露の防止に必要な給気量の検討を目的に換気と湿度に関する定常計算を行った結果、45kg/h程度の給気量で、住宅内に有効な空気の流れを生じさせ、結露を完全に防ぐことが可能なことが明らかとなった。

4)ユーティリティーのファンを利用した強制排気システムとの比較した結果、強制排気システムでは、同じ効果を得るために2倍程度の換気量が必要なこと、このことによって、居室の相対湿度が低下することが明らかになった。

寒地の集合住宅の建築常識の確立に向けたこれからの課題は、温度の共有化である。本研究で取り組んだのは、住戸単位の温度保持や換気の対応である。個々の住戸では、結露を根絶する方向が示し得たと考えられる。しかし、集合住宅を建物全体としてみれば、寒地の集合住宅の建築常識の確立には、至っていない。外断熱化による部分環境の改善は、隣家との温度の共有によってもたらされるものであって、個々の住戸単位の対応ではない。共有空間を含めた基礎的な温度の保持を目指すことが、寒地の集合住宅の課題であると考える。

参考・引用文献

3-1) 絵内正道「居住室における温度環境の改善と熱対流に関する研究」 博士論文, 1979.12

3-2) 公営住宅の室内環境計画に関する調査研究：日本建築学会北海道支部環境工学専門委員会，公営住宅の室内環境計画に関する調査研究小委員会，1985.3

3-3) 堀江悟朗：集合住宅の結露被害調査，日本建築学会環境工学委員会熱分科会第12回熱シンポジウム，防湿設計，1982.8

3-4) 澤田紘次：中層集合住宅における冬季の結露に関する温湿度実測調査，日本建築学会大会学術講演梗概集Ｄ環境工学(中国)，pp.1135～1136，1990.9

3-5) 坂野和美，土屋喬雄，他：集合住宅の湿気性状と結露防止に関する研究（その2）生活行為を考慮した温湿度変動実測及び計算結果，日本建築学会大会学術講演梗概集Ｄ環境工学(関東)，pp.1291～1292，1993.9

3-6) 土屋喬雄：住宅における結露防止のための設計・施工指針，日本建築学会環境工学委員会熱環境運営委員会，第21回熱シンポジウム，建物と湿気－現象の解析と設計，pp.179～190，1991.9

3-7) 日本建築学会北海道支部：送風機を用いた住宅の気密性能試験方法(案)，1990

3-8) 石田建一，宇田川光弘：換気及び室相互のふく射を考慮した多数室室温・熱負荷計算法，日本建築学会論文報告集，第381号，pp46～55，1987.11

3-9) 土屋喬雄：住宅の結露防止性能評価法（その３），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp615～616，1980.10

3-10) 建築換気設計：石原正雄著，朝倉書店，1969

3-11) 建築設計資料集成２環境：日本建築学会編，丸善株式会社，1960

3-12) 最新建築環境工学：土屋喬雄他著，井上書院，1985

3-13) 福島明，入江雄司：熱交換換気システムを用いた集合住宅の結露防止方法に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第480号，pp.1～6，1995.12

3-14) 福島　明，入江雄司：寒冷地におけるRC造集合住宅の押入内隅角部及びじゅうたん下の温湿度環境実態と断熱・換気の仕様が及ぼす影響，日本建築学会計画系論文集，第495号，pp.37～43，1997.5

4章　床下の環境保持と自然給気空間としての利用

－地域性への模索－

断熱性や気密性を備えた寒冷地住居にとって、耐久性を損なう要素の多くが、床下を始めとする接地空間に起因することは、2章で述べたとおりである。結露防止が、冬季の課題から通年の課題に変容する中で、接地空間の環境形成は、結露防止の要点になってきている。また、地域の気候風土に根差した住居には、必ずといっていいほど、地盤との関りかたが特徴的な要素として現れる。アイヌ民族のチセに見られる接地型住居や、北方民族に見られる土中住居、熱帯モンスーン地域に見られる高床式住居など、地盤との関りかたが、それらの住居を大きく特徴付けている。そしてその接地空間が、住居内外の空気の流れと室内環境の調整に深く関っている。

近代技術による断熱や気密技術に支えられた住居に、寒冷地の気候風土に根差した住まいを作り上げる上で、地盤とのかかわりと換気の工夫が要点となることは必然なのかもしれない。本章では、床下空間の環境調整と換気技術への応用を通じて、断熱気密化住居で可能となる、高い耐久性の保持を目差した、風土に根差した住居を模索する。

4.1 換気技術と結露対応

4.1.1 伝統的床下利用と夏季の結露

寒冷地において、結露障害のない建物作りの基本は、建物内部の各空間の温度と湿度の内外の明確化である。外に属する空間であれば、徹底して外へ、室内の一部であれば、内側への開放が基本的な対応である。その点で、床下空間は、建物の断熱化・気密化に伴って大きくその役割と性格を変えてきた空間である。木造住宅では、木軸組み構造のキャビティーに断熱材を充填することから始まり、断熱化が進むのにしたがって、床にも厚い断熱が備えられつつある。この時地盤防湿と徹底した外への開放によって、床下の外化が行われることにより、床下空間の年間を通じての乾燥維持を図ることが求めらてきた。しかし、床断熱の一層の強化によって床下空間が狭隘化し、床面での気密性の向上に伴う上方への空気の流れが遮断されるため、床下換気口等による横方向の通風性が僅かでも損なわれれば、短いがモンスーンの夏の環境のもとで、絶えず高湿化の危険が付きまとう。もちろん、地盤防湿の徹底と十分な基礎換気口の設置、防腐剤の使用などによって、ある程度の耐久性の保持は可能である。しかし、徹底した外部環境化は、なによりも日本の伝統的な住宅の中で、床下が担ってきた外部環境に対する緩衝空間としての役割を完全に失ってしまう。

4.1.2 換気技術とエネルギー

役割を失った空間は無いほうがよいという点でいえば、土間床工法はその最も進化した寒地の床工法と位置づけられる。北欧を始めとする寒冷地では、地下室かあるいは土間床が最も一般的な床工法であることからも、明確な一つの方向である。しかし、民家の土間空間と同様に、床下地盤面の吸放熱性や吸放湿性を巧みに利用し、床下空間を室内の環境調整に役立てる手法は、熱帯とかわらぬ夏と亜寒帯の冬を持つ日本の伝統とも見ることができる。伝統を生かし、床下空間に再び独自の役割を与えることは、地球環境時代に向けて、地域性を生かし、エネルギー消費を減らしながら、他の地域で得られない快適性を住宅にもたらすきっかけになるものと考えられる。

断熱は厚くするほど快適性と省エネルギー性を同時に高める同方向的な技術である。これに対して、換気に関しては、空気質からみれば可能な限り増大させる方向が望ましく、空気の清浄性を高めるほど暖房の快適性を損ない、負荷を増大させる方向である。寒冷地の住宅にとって、換気は環境の向上と省エネルギーが相反する技術で、いづれが突出しても問題の残る妥協の必要な技術といえる。

4.1.3 パッシブ換気の概念

これに対して、床下を利用した換気の工夫には、換気を環境の向上と省エネルギー

に対して、同方向的な技術へと転換する突破口となる可能性が見える。

・夏型結露の防止：冬季の床下空間の温度保持による夏季の低温防止
・省エネルギー：太陽熱利用、排熱を空気予熱として利用
・快適性：床下予熱、夏季の吸熱による快適性の向上
・換気量：自然動力の利用と負荷の少ない十分な換気

太陽熱や排水の熱回収など、ヒートポンプを始めとする機械設備を利用して圧縮して取り出さなければ使えなかった低密度なエネルギーを、外気からの給気を床下空間に集め、給気の予熱として利用する事により、直接熱エネルギーとして利用することが可能となる。その量は僅かであるが、負荷の減少した住宅では大きな効果をあげることは想像に難くない。温湿度の内に属する空間でありながら、居住者が存在しない床下であれば、空気の流れや温度分布が人体にとって不快な条件でも一向にかまわない。床下を給気予熱空間として利用すれば、居住者の暖房環境を損なうことなく、十分な給気を図ることが可能である。

寒冷地の木造住宅の中で唯一残された高湿な空間となり得る床下空間は、こうした換気の対応によって、冬季間に乾燥した外気の取入口となり、徹底した乾燥状態を保つことが期待できる。地域性を生かした換気の工夫が、室内環境の質を高め、エネルギー消費を減らしながら、結果的に床下空間を住宅の中で最も結露の危険性の少ない空間へと転換するのである。

4.1.4 本章の概要

本章では、はじめに換気の対応を考慮していない基礎断熱工法を採用した住宅と、断熱気密性に優れた床断熱住宅の床下環境を、温湿度の長期実測から考察している。更に、気密性や断熱性などの基礎的な性能が明らかな、床下給気を採用した基礎断熱住宅の実測から、床下給気が及ぼす影響について考察している。これらの結果、熱的、湿気的に室内へ開放された基礎断熱の床下が、年間を通じて低湿に保たれる事を示した。

次に、基礎断熱した床下の積極的な利用を図る事を目的に、煙突効果などの自然の力を利用した、パッシブ換気方式を提案している。パッシブ換気は、機械換気に頼らない住宅の換気の在り方を考えるキーワードとして、Shaw[4-1)]により提唱された考え方で、これしかないと言うような確定的なシステムがあるわけではない。本章で提案する方式は、基礎断熱をした床下空間を、給気の取入口とした自然換気の工夫である。寒冷地の換気手法が、機械換気による安定化に向かう中で、変動する事を許容しながら、機械に頼らない良好な換気を実現する事を目的としている。実験建物では、その基礎的な換気と温度の特性について検討した。また、換気量や住宅内の空気輸送のシミュレーションは、一般住宅へ実現するためのアプローチである。

4.2 基礎断熱した床下の環境特性

4.2.1 基礎断熱と床断熱住宅の床下環境の実態

日本の伝統的な住宅の床下は、徹底した外への開放によって構造体の耐久性を保ちながら、開放系住宅の熱や湿気に対する緩衝空間として、貴重な役割を担っていたものと考えられる。しかし、寒冷地の床下空間は、十分な通風性への配慮がなされないままにコンクリートの布基礎が普及し、寒さへの対応から床の断熱、気密化が進められたため、外とも内とも言えない温湿度環境へと変化してきた。寒冷地でのこうした床下環境の変化は、冬期の水道凍結等寒冷地特有の障害を残したまま、夏期の結露や腐朽など新たな問題を生じさせる原因ともなった。北海道では、地盤防湿の徹底によって極端な高湿化は避けられるようになってはいるものの、長期的な耐久性を考えた時、床組の高湿化やカビ腐朽菌の発生などの可能性が少なくないことは、2章で述べたとおりである。

断熱住宅の床下環境を改善し、障害の発生をほぼ完全に防止しうる方法の1つが基礎断熱である。断熱を床から基礎に移すことにより、床下を住宅の断熱の内側として温湿度環境の上で室内に取り込み、積極的に活用してゆくことで、防腐剤に頼ることなく高い耐久性を実現できることが可能となり、寒地の住宅の緩衝空間として、床下空間に新たな役割や機能が生まれることが期待される。

床下環境に関する研究は、既存の外へ開放した床下に関して、いくつもの報告がなされ、例えば、宮田等[4-2)]は実験住宅での詳細な調査から、初めて床下環境の熱湿気性状の一般化を試みている。また、基礎断熱で室内へ開放した床下に関しては、荒谷[4-3)]が実測とシミュレーションにより温度環境に関する検討を行っており、耐久性の向上と夏季の環境改善の可能性を示している。しかし、断熱性・気密性に優れた住宅の湿度環境を含めた床下空間の環境特性については、十分に明らかにされているとは言えない。本項では、基礎断熱した床下空間を寒冷地の断熱性・気密性に優れた住宅で積極的に利用してゆくことを目的に、気密性・断熱性に優れた床断熱と基礎断熱それぞれ1棟の既存住宅について、床下の温湿度環境を長期的に測定し、その基礎的な特性を明らかにする。

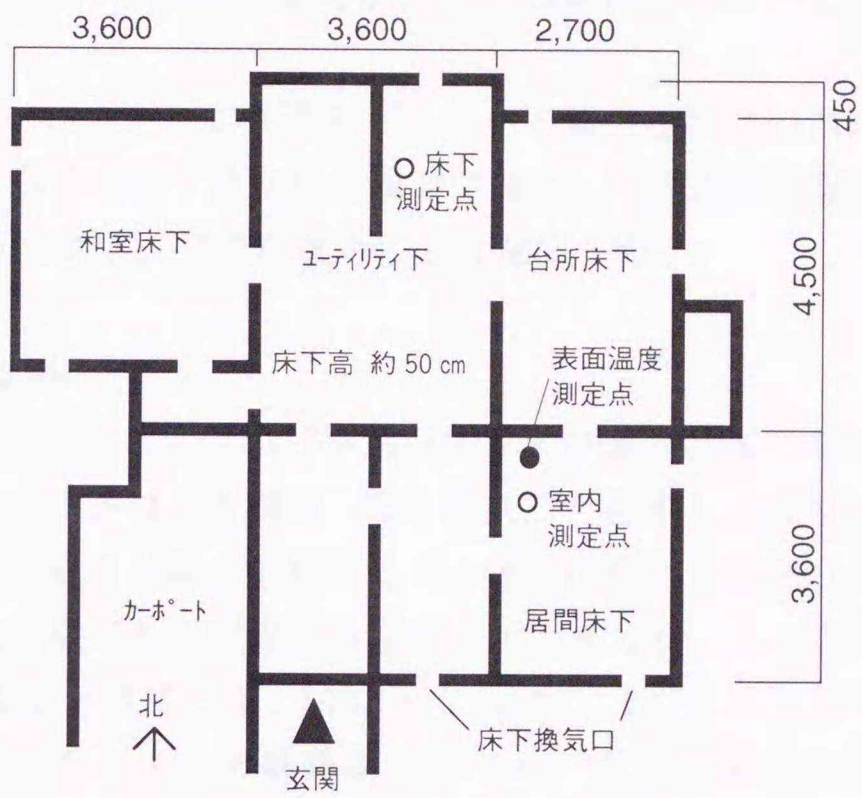
(1) 実測住宅

測定対象は、北海道札幌市に建設された床断熱と基礎断熱の断熱気密住宅2棟である。各住宅の基礎伏図と床周り詳細図を**図 4.2.1** に示す。基礎断熱のS住宅は、1988年建設の在来木造住宅である。基礎の断熱仕様は、押出発泡ポリスチレン 50mm の内断熱である。相当隙間面積は、約 $3cm^2/m^2$ である。床下換気口は断熱材を詰め込み、年間を通じて密閉している。また、床断熱のM住宅は、1991 年建設のツーバイフォー工法の住宅である。床は 125mm の高性能グラスウールで、床下換気口は 10cm×40cm の換気口が、9ヶ所設けられ、厳寒期の1月から3月まで閉鎖した他は開放し

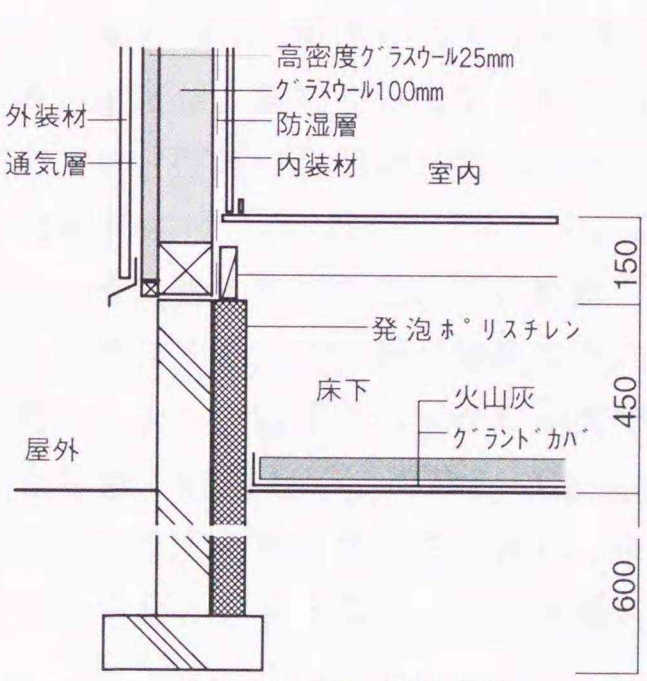
ている。相当隙間面積は約 1cm²/m²と高い気密性を有している。地盤面の防湿処理は、両住宅共に厚さ 0.1mm のポリエチレンシートを敷込み、S 住宅(基礎断熱)では火山



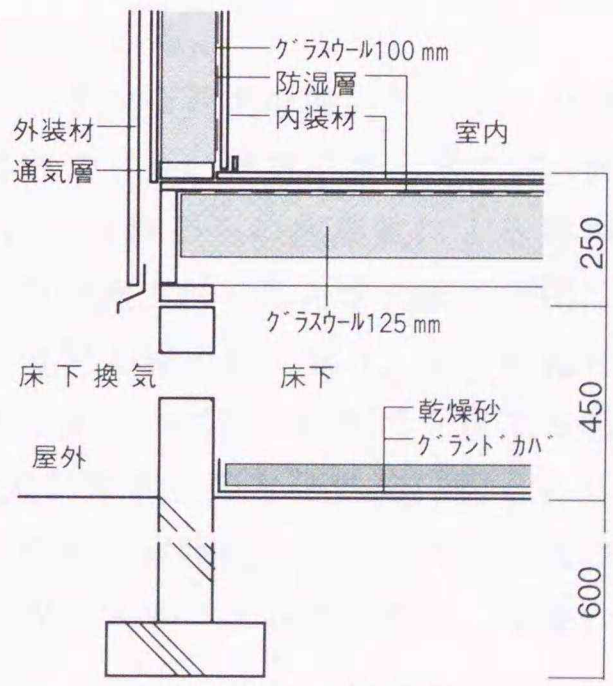
基礎断熱住宅（S住宅）　基礎伏せ図



床断熱住宅（M住宅）　基礎伏せ図



基礎断熱住宅　断面詳細



床断熱住宅　断面詳細

図 4.2.1　測定住宅の概要

灰、M住宅(床断熱)では、乾燥砂 100mm で押さえている。両住宅とも温水セントラルヒーティングで、断熱仕様は、ほぼ新省エネルギー基準を満足している。
床断熱の M 宅は、築 1 年後の測定のため、コンクリートの余剰水分の発生が考えられるが、床下換気口の開放によって、床下に多量の換気が生じていると予想されるため、1 年を経過すれば、初期的な施工水分の影響は無視できるものと考えられる。

(2) 測定の概要

測定期間は、1993 年 8 月から 1994 年 8 月までの 1 年間で、1994 年の夏は記録的な暑さであった。温湿度の連続測定の位置は、両住宅共に北側の床下点検口直下の床下と、居間の床上 1.2m である。また、夏季の床下周り温度の性状を把握するため 1994 年 8 月に、床裏および 1 階床表面温度など、基礎伏図中に示した位置で測定を行った。

温湿度の測定には、サーミスタ温度センサーと電気抵抗式の湿度センサーによるS社製の温湿度測定器を用い、測定の前後と中間に、分流式精密湿度発生装置により校正した。その他の温度は、T型熱電対により測定した。

(3) 測定結果

1) 年間の温湿度変動

図 4.2.2 は、床下空間と室内の日平均温度および絶対湿度の旬平均値の年間変動である。床断熱住宅の床下は、冬期間、床下換気口を閉鎖し連続全屋暖房をしているため、冬期間外気より温度が高く推移するが、暖房が終わり換気口が開放される 4 月下旬から外気と温度が逆転し、夏期にも温度上昇は少ない。記録的な暑さだった 1994 年の夏には 23℃まで上昇するが、1993 年には 20℃までしか上昇していない。厚い床断熱によって室内から床下への熱移動が少なく、床下の温度上昇が遅れるためである。これに対して、基礎断熱の床下は、年間を通じて安定した温度で推移し、外気温度より低くなるのは、盛夏のごく短い期間に限られる。

次に絶対湿度は，両住宅の床下とも夏期のわずかな期間を除いて外気より高い。床断熱住宅では，換気口を閉鎖した冬期間に外気より高い絶対湿度を示すが，換気口を開放した期間には，ほぼ外気に等しく，室内や地盤からの水蒸気による影響は少ない。また，基礎断熱住宅では，床に断熱・防湿が施されておらず，床下空間は室内へ開放された条件であるが，絶対湿度は室内より低く保たれており，著しい相対湿度の上昇は見られない。盛夏のわずかな期間であるが，いずれの住宅でも床下の絶対湿度が外気より低く経過し，この時期の床下換気が床下への水分供給に働くことがわかる。これらの湿度環境に関わる特性は、床下の吸放湿特性や、住宅内の空気の流れと関わっているものと考えられ、湿度環境の形成のメカニズムの解明は、今後の課題である。

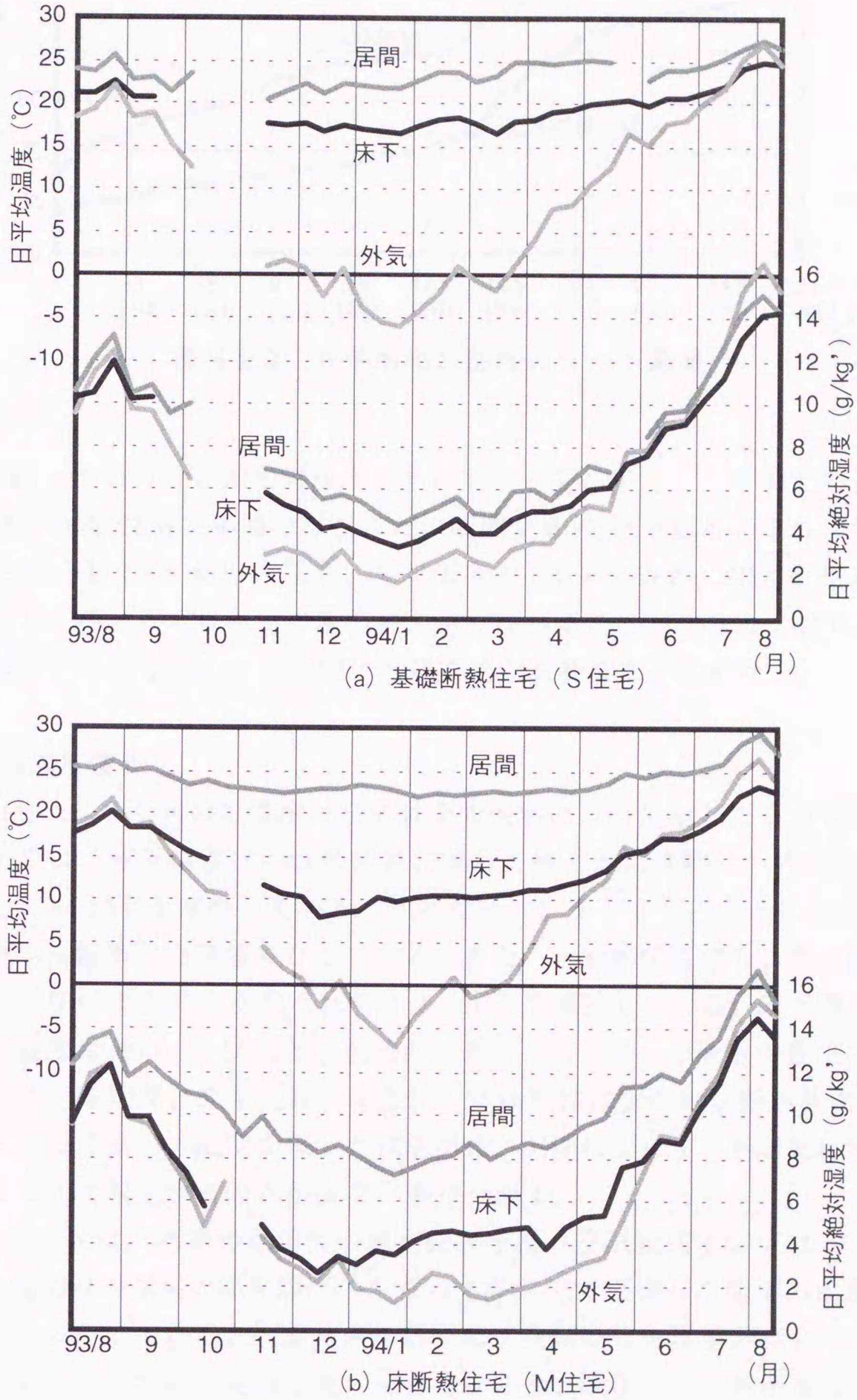


図 4.2.2　温湿度の年間変動

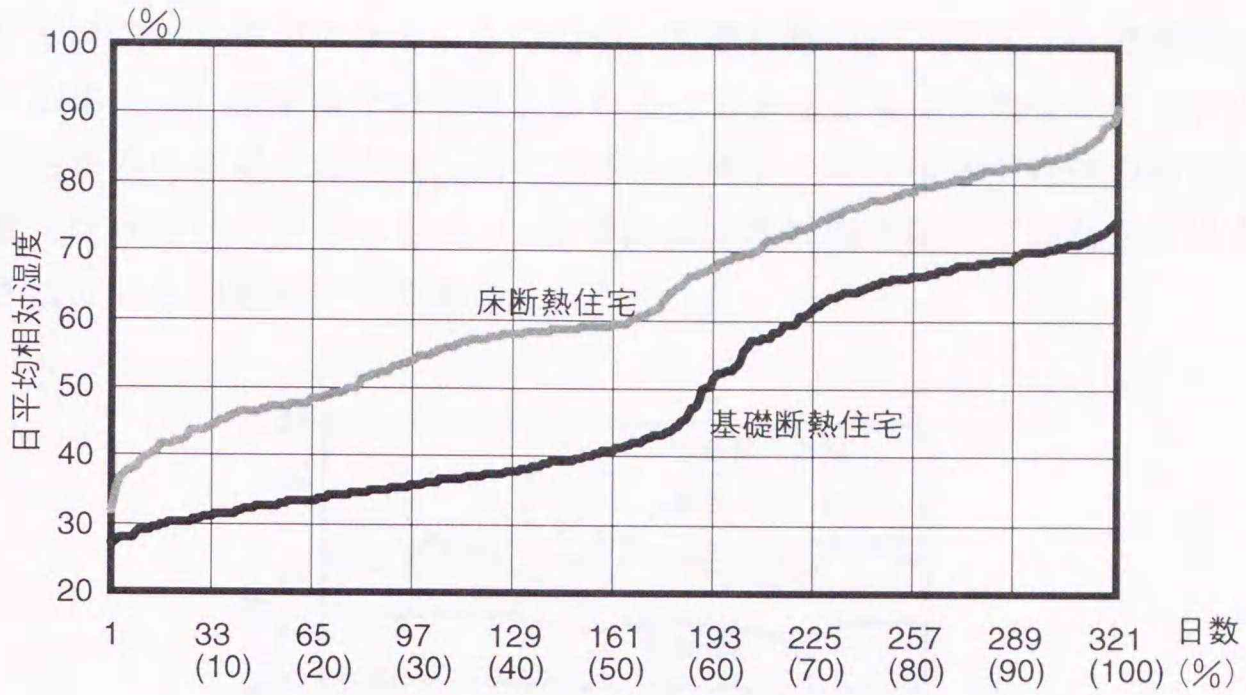


図 4.2.3　日平均相対湿度のソート結果

図 4.2.3 は、年間の日平均相対湿度を低い順から並べて示したものである。基礎断熱住宅では、最高 75%で年間のほとんどの期間が 60%を下回る。これに対して、床断熱住宅では、およそ 40%の期間に相対湿度が 70%を超え、80%を超える期間が 20%に達する。相対湿度は木材の腐朽に大きく関わることが知られており、木材の耐久性からみて、年間を通じて圧倒的に基礎断熱が有利なことがわかる。

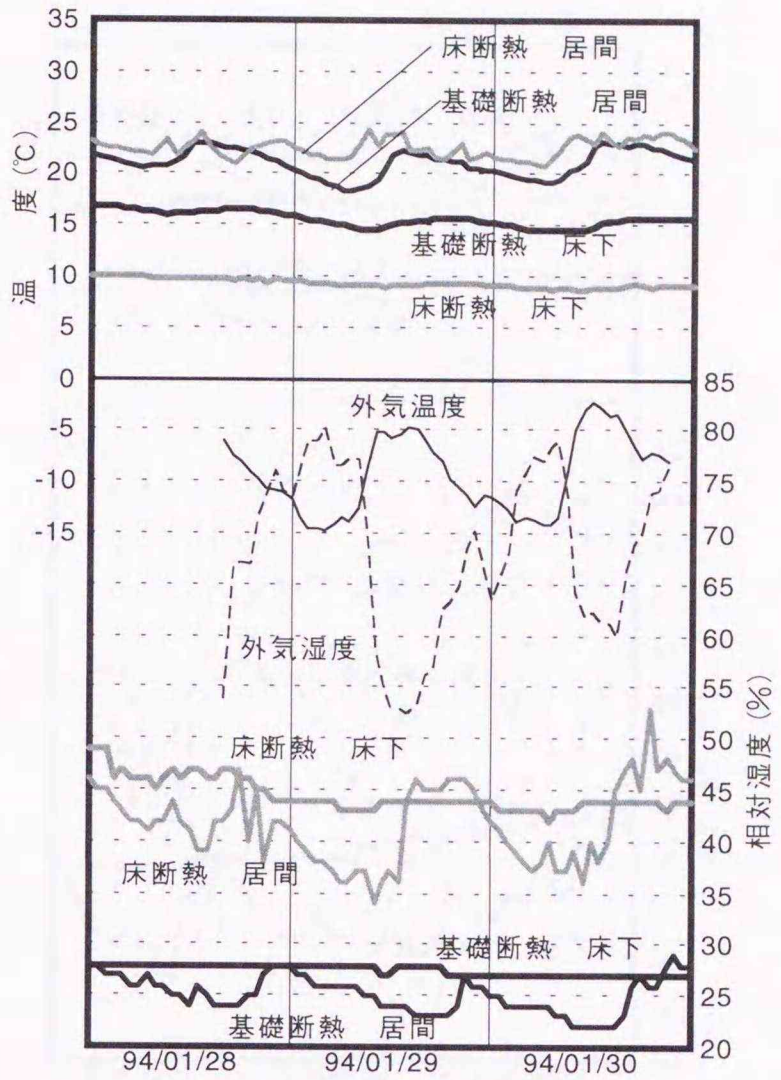
2) 冬期の温湿度変動

図 4.2.4(a)は、冬期間の温湿度の日変動を両住宅について示したものである。基礎断熱の住宅では、床下温度は室温の変動に伴って緩やかに変動し、外気温度が-15℃まで低下しても 15℃を維持している。相対湿度は、床下も室内も共に 30%以下で推移し、たいへん乾燥した環境になっている。また、床断熱住宅でも、換気口の閉鎖によって床下温度が比較的高く保たれており、10℃を維持している。床下温度の上昇によって相対湿度は 40 から 50%と比較的低く保たれており、床断熱の住宅でも全屋暖房の住宅では、冬期間に床下空間が高湿化する危険性は少ない。断熱気密性を高め、全屋暖房によって室内の温度を保った住宅では、工法によらず、冬期間に床下空間に結露を生じたり高湿化する恐れが少ない事が分かる。

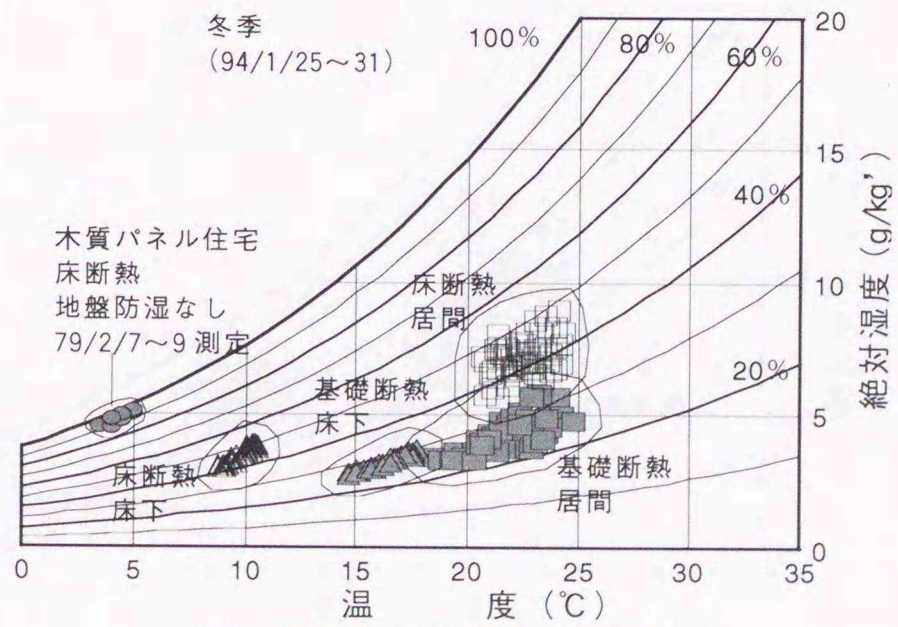
次に**図 4.2.4**(b)は、冬季の温湿度の測定結果を湿り空気線図上にプロットしたものである。地盤防湿の無い、部分暖房の木質パネル住宅で測定した床下の温湿度[44]を比較のため同時に示している。木質パネル造の床下空間の相対湿度が高いのは、地盤からの発湿によると思われる絶対湿度の上昇もあるが、温度の低い事が主因である。全屋暖房が冬季の住宅内の乾燥維持に及ぼす影響が、顕著に現れている。

床断熱住宅と基礎断熱住宅の室内の相対湿度に大きな差が見られ、床下空間の湿度の測定結果に及ぼす影響について考慮が必要である。床断熱住宅の場合は、床の気密防湿性が高く室内との湿気の移動がほとんど無いため、床下空間の湿度環境を室内と

切り離して評価する事ができる。このため、基礎断熱の床下空間と湿度環境について比較をする事には、支障はないと考えられる。しかし、基礎断熱住宅では、床下空間が温湿度環境の内に属する空間である事から、床下の湿度環境が室内の湿度環境に大きく影響を受けると予想されるため、冬季間に室内の湿度が高く保たれる場合の検討は、残されている課題の一つである。



(a) 温湿度変動

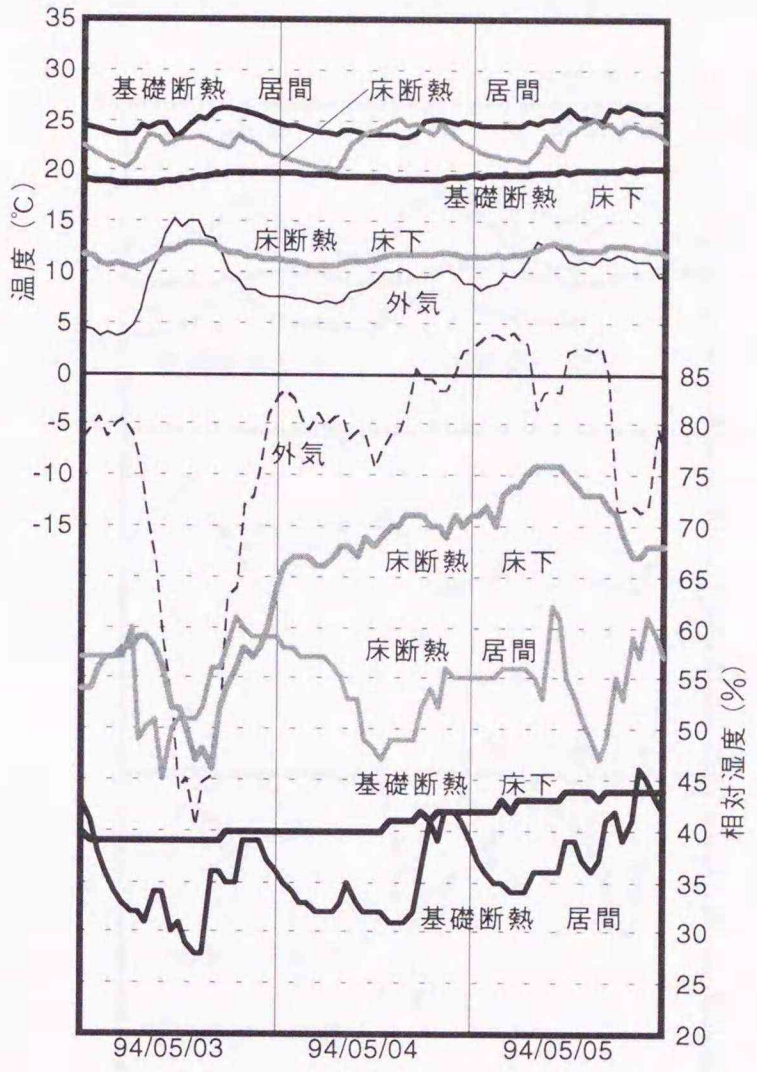


(b) 湿り空気線図上の温湿度

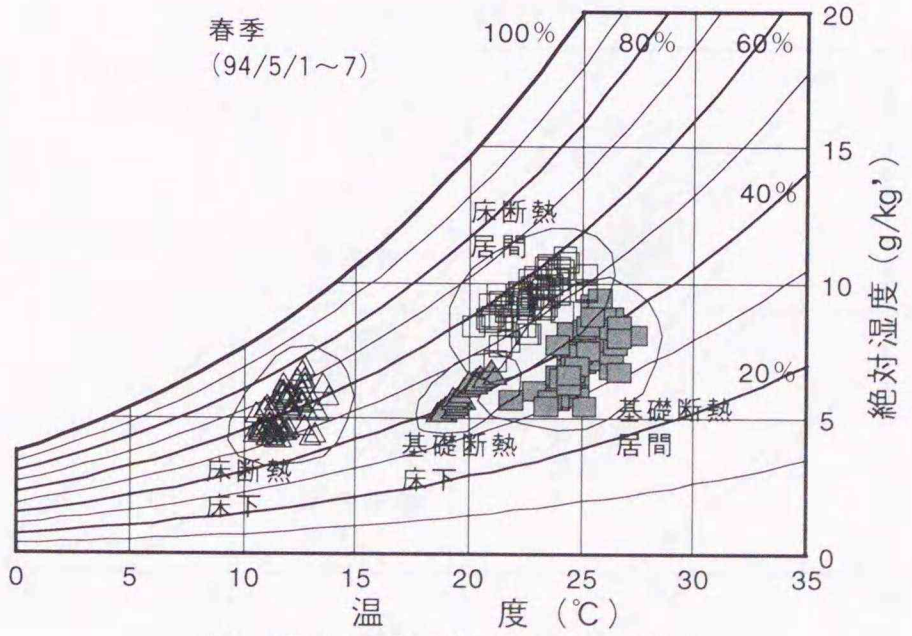
図 4.2.4　冬期の温湿度環境

3) 春期の温湿度変動

図 4.2.5(a)は、暖房が止まる 5 月初旬の温湿度の日変動である。床断熱の場合、床下の温度は冬期と変わらず 10℃程度と低く経過し、相対湿度も 70%以上に上昇する。しかし、基礎断熱住宅では、室温の日平均値程度に推移し、相対湿度は 50%を超えず、高い乾燥状態を維持している。春は、腐朽菌の活動が一般に活発になる時期であるが、床断熱と基礎断熱の湿度環境に最も大きな違いが生じる。**図 4.2.5**(b)は、



(a) 温湿度変動



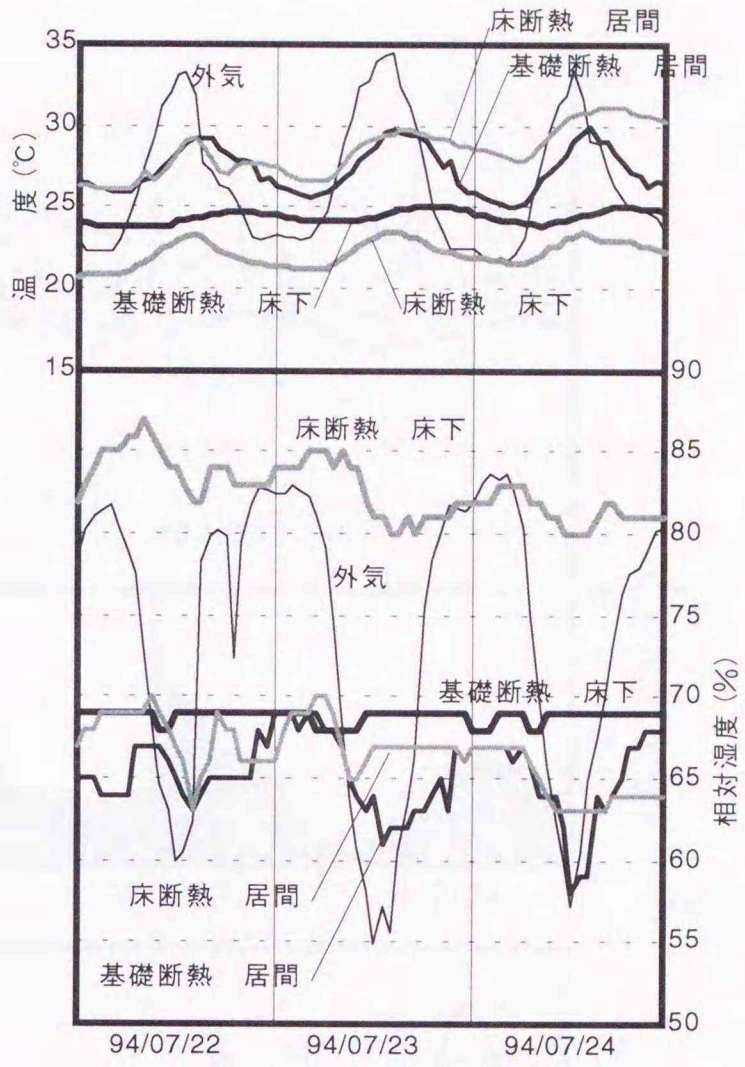
(b) 湿り空気線図上の温湿度

図 4.2.5　春期の温湿度環境

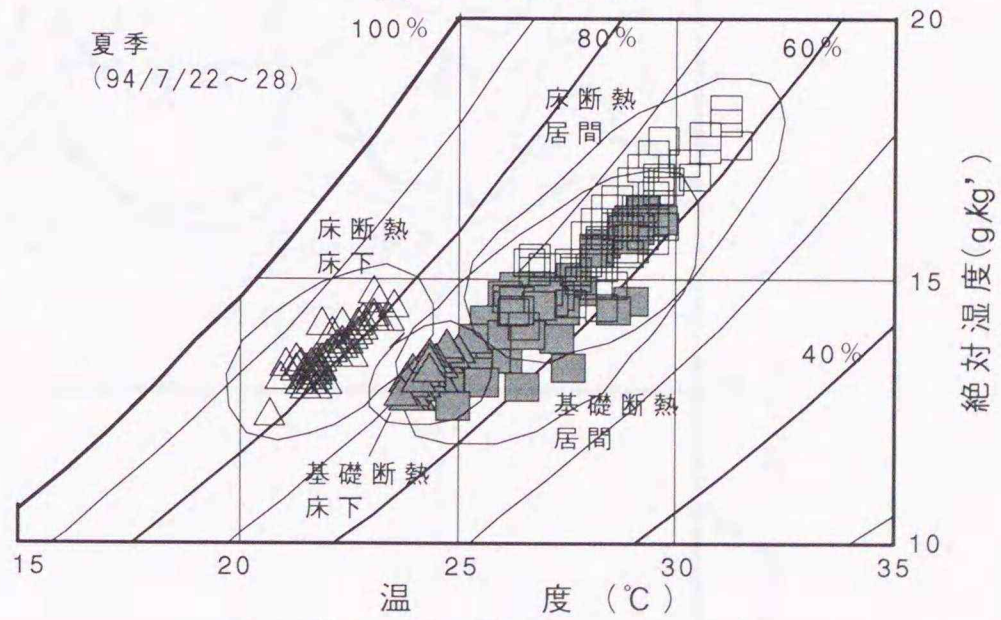
測定結果を湿り空気線図上にプロットしたものであるが、絶対湿度の差は小さく、温度の上昇遅れが床断熱の床下環境を高湿にしていることがわかる。

4) 夏期の温湿度変動

1994年の夏は記録的な暑さであった。**図 4.2.6**(a)は外気温度が急上昇した7月下旬で、連日外気温が 30℃を上回った時期の測定結果である。床断熱の住宅では、日中23℃程度までしか温度が上昇しない。基礎断熱住宅でも床下温度が 25℃を超えることがなく、室温より低い温度を保っているが、床断熱住宅に比べて平均3℃程度高く



(a) 温湿度変動



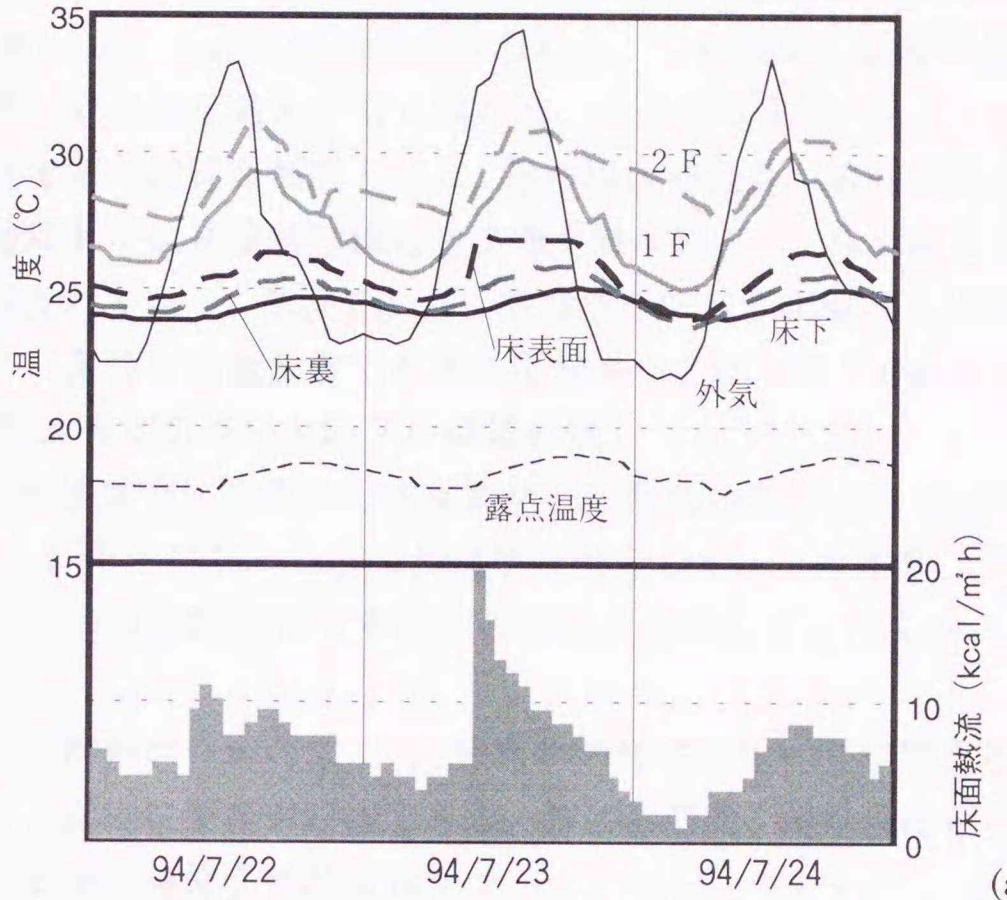
(b) 湿り空気線図上の温湿度

図 4.2.6 夏期の温湿度環境

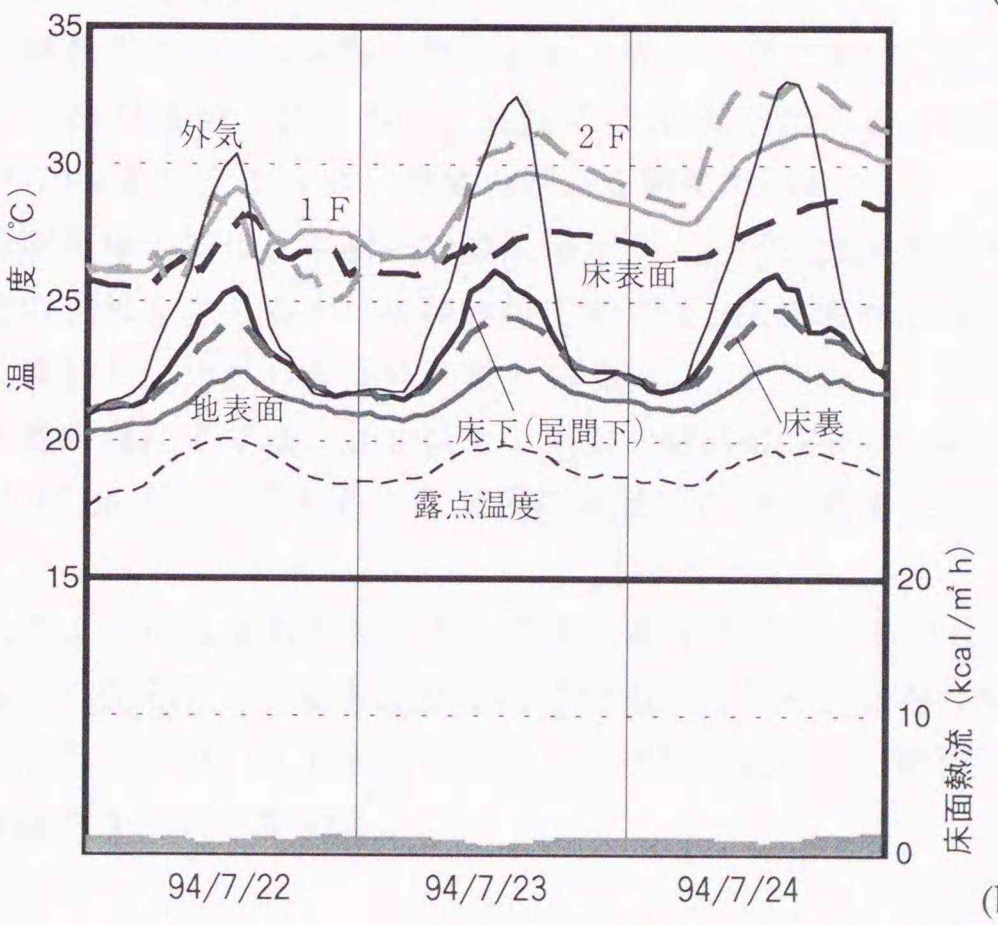
推移する。次に、相対湿度では、床断熱の住宅では、80%を絶えず超えているのに対して、基礎断熱住宅では、70%を超えない。**図 4.2.6**(b)は、両住宅の温湿度を湿り空気線図上で示したものであるが、絶対湿度には大きな違いはみられず、平均でわずか3℃の温度の違いが、相対湿度で10%以上の差になって現れている。

5) 夏期の床周りの温度特性

夏期の床周り各部の温度変動を**図 4.2.7** に示す。床断熱住宅では、床裏の表面温度が日中に床下空気温度より低く推移している。これは、床断熱住宅に特有の現象で、



(a) 基礎断熱住宅



(b) 床断熱住宅

図 4.2.7　夏期の床下温度環境

断熱された床の裏側表面が地盤面への輻射伝熱によって冷却されるためである。床下空間の相対湿度が 80～90％であっても、床裏の表面や地盤面で温度が更に低ければ、表面近傍の相対湿度が上昇して含水率の上昇を招く。断熱性の向上などを目的に断熱厚さを増し、床下空間が狭まると、この現象に拍車がかかって、結露やそれに伴う腐朽被害の危険性が高くなる。これに対して、基礎断熱住宅では床裏温度は床下温度より絶えず高く維持され、結露発生の恐れは全く無い。

また、室内から床下への熱流をみると、床断熱住宅では、ほとんど熱移動が生じないのに対して、基礎断熱住宅では、1 ㎡当り最大 20kcal/h、1 階全体では、約 1500kcal/h もの吸熱効果がみられる。この結果、基礎断熱住宅の床表面温度は、床断熱住宅よりも絶えず低く保たれ、その差は夜間に大きく、最大 4℃に達している。1 階室温も同様な傾向を示し、日中温度の上昇する時間帯の差は少ないが、夜間の就寝時間帯には基礎断熱住宅の 1 階室温は低下し、床断熱住宅に比べて 2～4 ℃程度低く保たれている。基礎断熱が、寒冷地の住宅の床組み木材の耐久性を高めるばかりでなく、夏期の環境改善にも大きな効果を上げることがわかった。

6) 断熱方式の違いと床下の環境特性

断熱性気密性に優れた基礎断熱と床断熱の既存住宅で、床下の温湿度環境を 2 夏を含む 1 年半にわったって長期的に測定した。この結果、寒冷地の基礎断熱した床下は、従来の床断熱による床下の環境と比較して、明らかとなた特性を以下にまとめる。

- ❍基礎断熱の住宅の床下は、床断熱の住宅に比べて年間を通じて低い相対湿度を維持し、高い乾燥性が期待できる。特に冬期間、絶対湿度が室内より低く保たれ、床下の乾燥に優位な性状を示す。
- ❍床断熱住宅では、暖房期間の終わる春から夏にかけて床下温度の上昇が遅れ、相対湿度が 70％以上に上昇し、夏期には 80％を超える。基礎断熱住宅では、相対湿度が 70％を超えるのは、盛夏の僅かな期間である。
- ❍床断熱住宅では、床断熱の裏面温度が、床下空気温度より低く経過し、床組の高湿化の恐れを生じるが、基礎断熱住宅では、床裏面温度は絶えず床下空気温度より高く推移し、床組の高湿化の恐れはない。
- ❍基礎断熱住宅では、夏期に床下地盤の吸熱により、床断熱住宅に比べて、床面温度が 2℃以上低く保たれ、1 階室内の環境改善に効果がある。

このような基礎断熱した床下空間の温湿度環境の特性は、断熱性・気密性に優れた寒冷地の住宅では、乾燥維持に向けた高い効果や、室内の夏期の環境改善に向けた効果を示しており、床下空間を利用した換気方式など、緩衝空間としての積極的な利用の可能性を示唆している。

4.2.2 床下給気方式を採用した住宅の環境特性

前項では、自然状態における床下環境について実測から明らかにした。本項では、床下空間をパッシブ換気の給気チャンバーとして利用してゆく上で、床下環境に及ぼす影響等の課題を検討するため、意図的に床下への一次給気を図った気密性の高い実住宅で、床下給気量および床下環境を長期的に実測し、その特性を明らかにした。

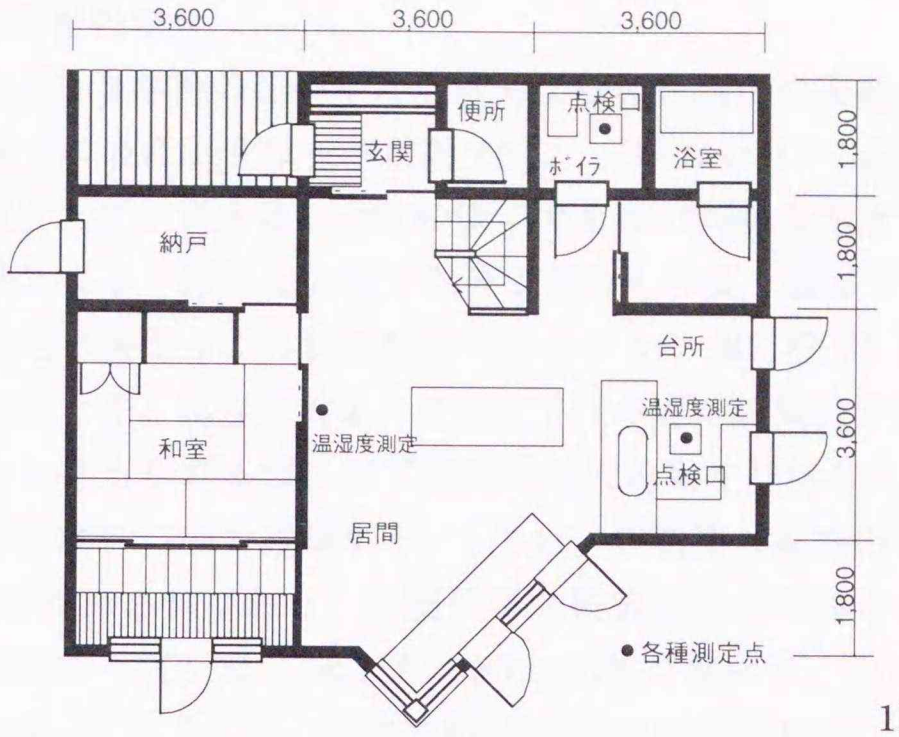
(1) 実測住宅および実測の概要

実測した住宅は、1994年11月竣工の在来木造住宅である。平面図および断面図を**図 4.2.8** に示す。床面積は、1F、2F それぞれ 91.6 ㎡、58.4 ㎡、全体で 150 ㎡の2階建て住宅である。居住者は、夫婦二人で温水セントラルヒーティングを採用しており、24時間暖房である。階段は居間にあり、1Fと2Fの間には扉はなく、2Fの個室を除いてほぼ1室と見なせる、開放的な計画である。

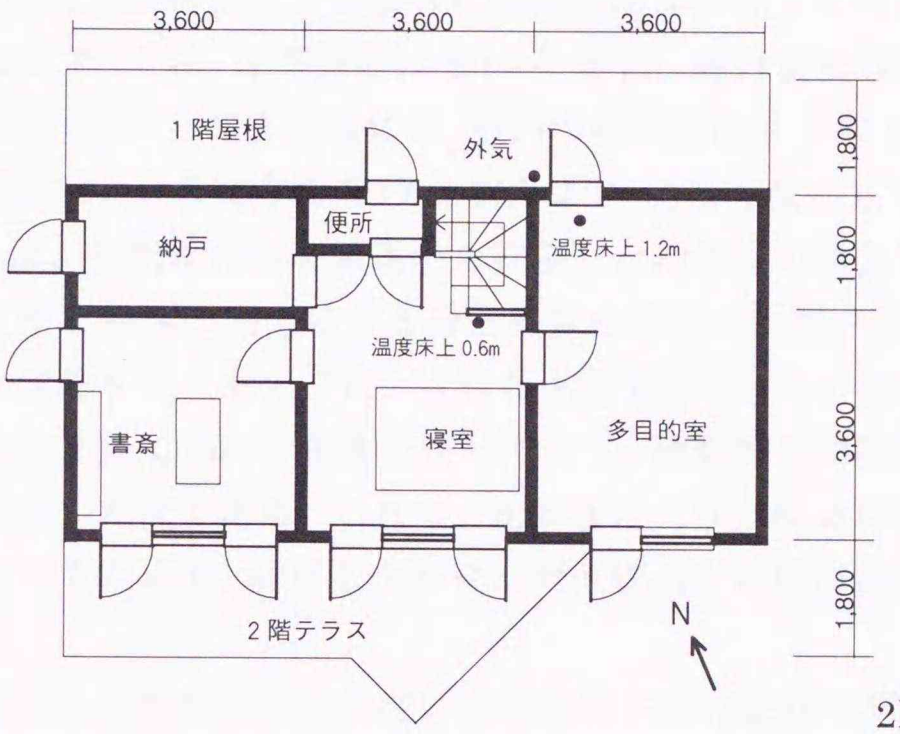
次に換気計画は、低風量台所レンジファンを用いた第 3 種換気を基本とし、給気は、地中に埋設した 155mm φの塩化ビニール管を通じて床下に導入している。台所レンジファンは、連続運転時約 80m³/h、強運転時 400m³/h の排気特性を持ち、低風量時にはほとんど騒音を発生しない。従前の冬期間の台所レンジファンは停止時に冷気の浸入口となるが、全体換気の排気ファンとして利用することで、問題を回避する手段ともなる。この他、便所の排気ファンについても 20m³/h 程度の排気能力のものを連続稼働しており、合計した設計排気量は 120m³/h である。冬季の給気は、建物隙間と床下自然給気管で、自然給気管は床下部分で約5m露出し、ボイラー室の床下に水平に吹き出す構造になっている。冬季を除いては、自然給気口を6カ所に設けて、これらを開放している。断熱仕様は、基本的に押し出し発泡ポリスチレン板による外張り工法である。気密性能は竣工1年後の測定で、相当開口面積約 1.0cm²/㎡であった。断熱仕様と性能値を**表 4.2.1** に示す。開口部は 12mm 空気層の低放射ガラスを用いた木サッシュになっており、熱損失係数は約 1.15kcal/㎡ h℃と推定される。

表 4.2.1　各部の断熱仕様と熱性能

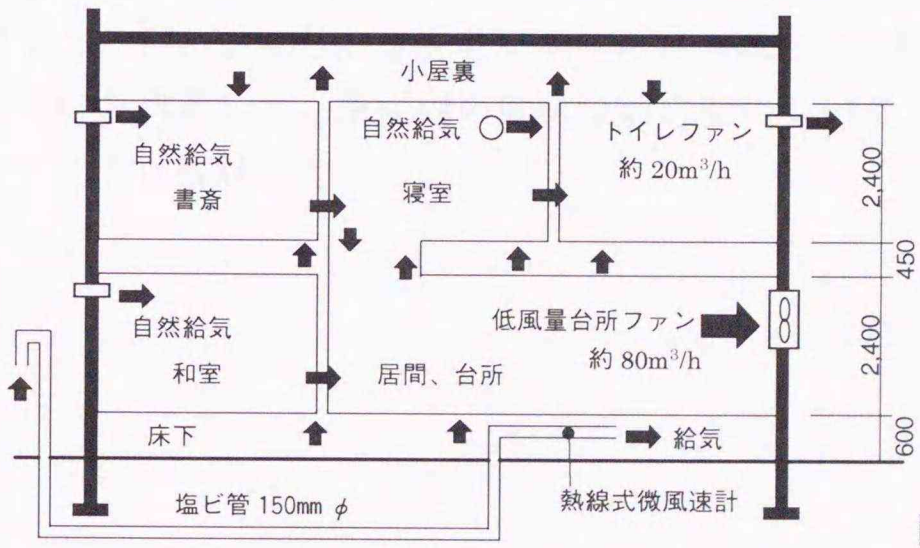
部位	仕　様	面積等	熱貫流率 kcal/㎡ h℃	熱損失率 kcal/㎡ h℃
外壁	ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝB3種 75mm＋ ｸﾞﾗｽｳｰﾙ16K100mm	183.1	0.2	36.6
屋根	ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝB3種 100mm	85.8	0.22	18.8
窓	木製窓低放射ｶﾞﾗｽ	32.8	2.0	65.6
基礎	ﾎﾟﾘｽﾁﾚﾝB3種 75mm	39.6	0.34	13.4
換気	換気回数 0.3 回/h	103.8	0.3	31.1
総熱損失係数				165.8



1F 平面図



2F 平面図



断面図

図 4.2.8 実測住宅（床下自然給気）

(2) 年間温湿度変動特性

図 4.2.9 は、約 2 年間の旬間平均温度および相対湿度の変動である。給気のあるボイラー室の床下の最低温度は一冬目約 16℃、二目には 17℃まで上昇し、僅かであるが、地盤の温度上昇が窺える。台所の床下でもほぼ同様な温度性状を示し、前項で示した基礎断熱による一般住宅の床下温度よりむしろ高く推移する。基礎断熱の方法が前項の実測住宅と異なり、外側で発泡ポリスチレン B3 種 75 mmとほぼ 2 倍の性能を持っていることや、後述するように、床下への直接給気量が思いのほか少ないことも原因の一つと考えられるが、床下温度は比較的高く維持されている。

次に、相対湿度について考察する。1 冬目、冬期間の室内の相対湿度は厳寒期でも約 40%以上が維持されており、全室暖房で換気設備が装備された住宅としては、比較的高い湿度になっている。床下も、50～55%で推移し、絶対湿度は居間とほぼ等しくなっている。2 冬目には、室内の相対湿度は 35%程度まで低下し、床下の相対湿度も約 40%と低く推移する。1 年目には暖房期間の終了と共に相対湿度が上昇し、室内湿度は最高で 70%、床下湿度は 80%に達し、絶対湿度は床下のほうが室内よりむしろ高い。これに対して 2 夏目には、室内の相対湿度はほぼ 1 年目と同様であるが、床下の相対湿度は、6 月時点で 60%と前年より 10%も低下している。

図 4.2.10 は、給気管の中心風速から推定した給気管の給気風量である。熱線式微風速計による中心風速の測定による給気風量の把握は、高い精度は望めないまでも、おおよその給気量を捉える上では、有効な手段である。この結果、予想した給気量を大きく下まわる 20～30m^3/h 程度となっており、給気管に期待される給気量としては十分とは言えない状況である。これは、給気管の入り口部分に目の細かい防虫ネットが施工されているためで、防虫と合わせた給気管の有効開口面積にも検討が必要である。

床下給気を取り入れた気密性の高い基礎断熱住宅の長期実測から、建築初年度には比較的高い湿度を示すが、2 年目以後、前項で検討した一般の基礎断熱住宅とほぼ同様の特性を示すことがわかった。当住宅ではさらに各部の気密性能を実測し、間仕切壁や天井フトコロを利用した、住宅内の空気分散方法について、4.3.3 項においてシミュレーションにより検討している。

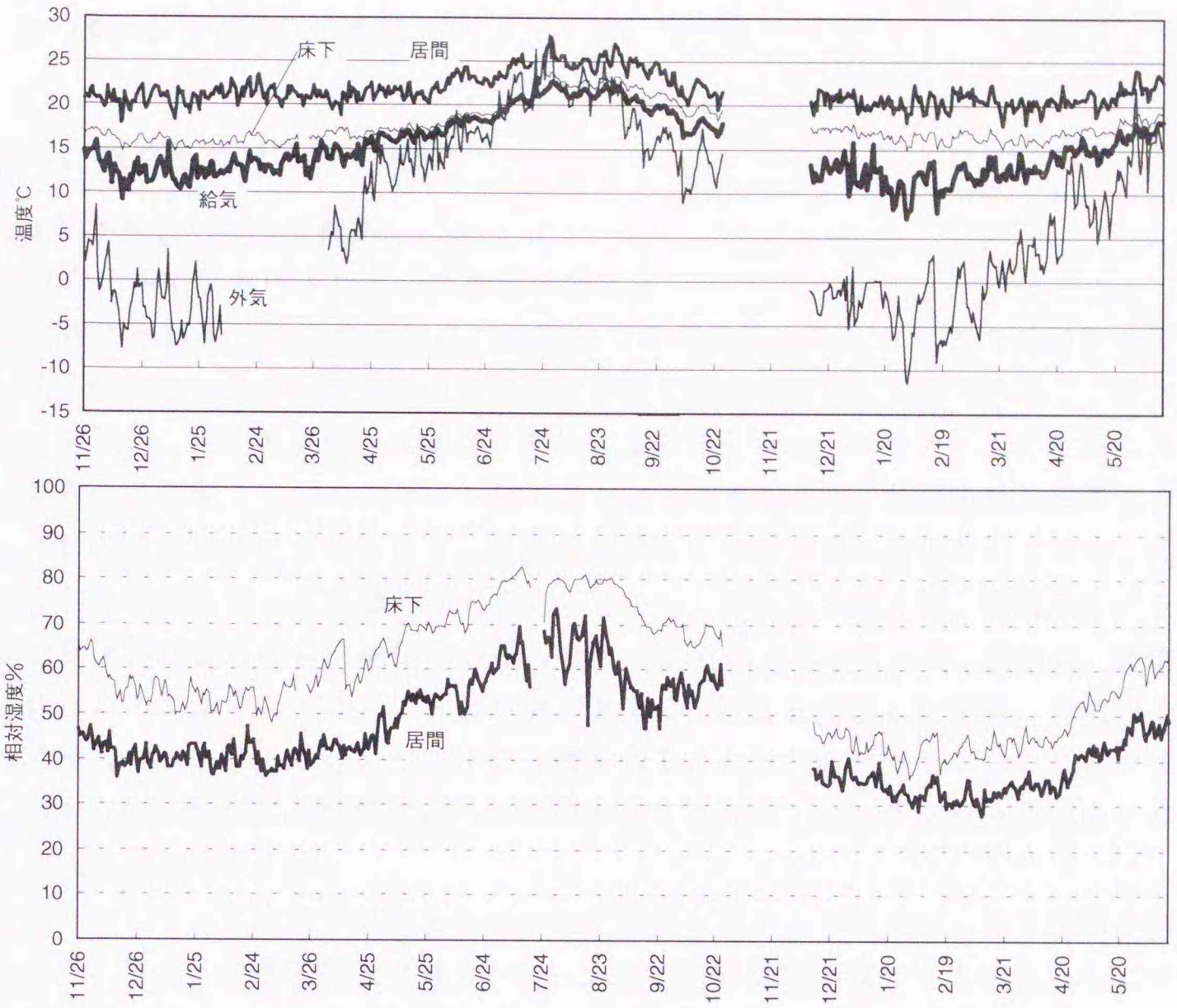


図 4.2.9 旬間平均温度および相対湿度の変動

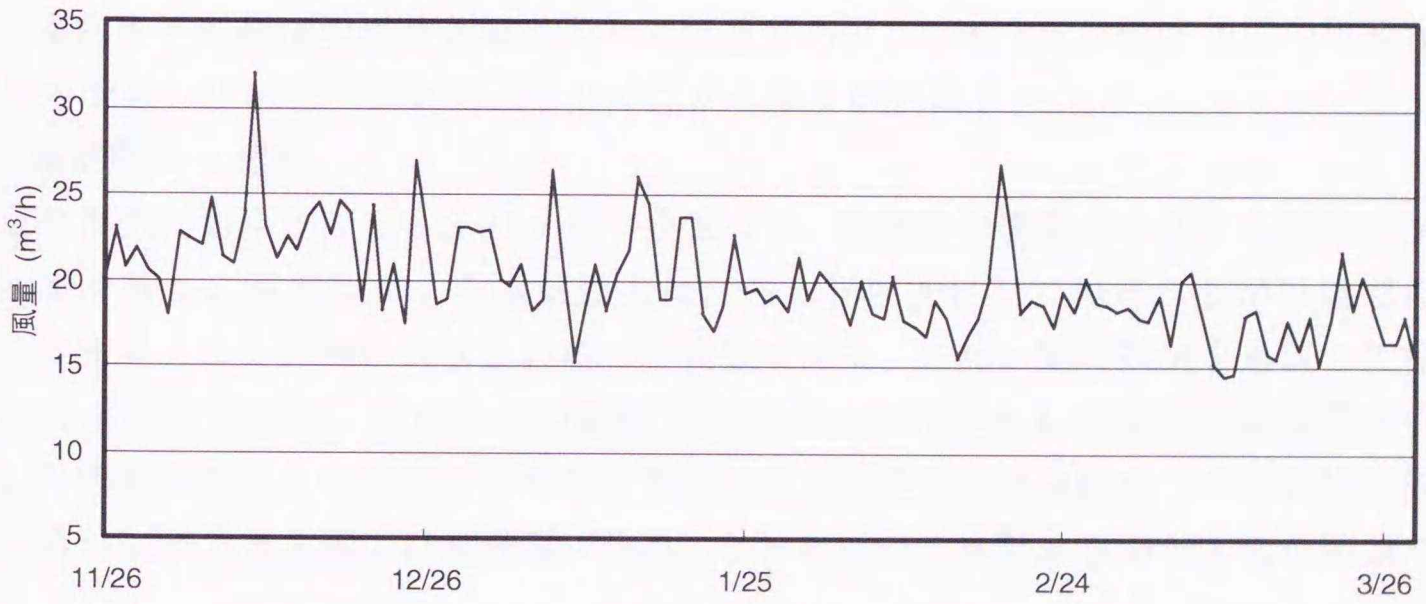


図 4.2.10 給気管の給気風量

4.3 パッシブ換気の検討

4.3.1 寒冷地のパッシブ換気

(1) 自然換気とパッシブ換気

－気密化住宅におけるパッシブ換気の提案―

煙突効果を利用した自然換気は、世界中でその実例をみる。日本の伝統的民家では、棟に排気のための開口を設け自然排気を行う手法が共通してみられるし、欧米の古い住居では、住宅の屋根上に林立する排気筒が見られる。ガウディーの設計した住居に見られる排気トップのデザインはあまりにも有名である。計画的な自然換気自体は、これらの例を待つまでもなく、生活の知恵として古くから利用されてきた、住居の基本的な技術と言っても差し支えない。しかし、それらの多くは、隙間からの自然給気や壁面開口からの自然給気との組み合わせから成り立っている。排気は、建物の気密化によって集中してゆくことは容易であるが、給気を意図した空間に自然の力によって導入し、住居内で空気の良好な分散を図ることは、それ程たやすいことではない。建物自体に意図した給気口以外の隙間が多くあれば、給気や空気分散は成り行き任せにならざるをえない。

これに対して、本論文で提案するパッシブ換気システムの要点は、床下空間の利用である。気密化への技術開発が進み、高い気密性が容易に実現できる状況のもとではじめて可能になる技術として、床下空間への集中的な自然給気の提案をしている。基礎断熱をしたうえで床下空間に外気を導入し、壁内や天井ふところなどを経由して隙間等から室内に給気する方法である。寒冷地の住宅では、換気のための外気導入方法は、室内の温度環境の保持と深く関わる課題であり、この方法は床下空間の乾燥化や給気の予熱、住宅内の空気搬送などの点から多くの利点を持つ。

(2) 換気動力と変動

自然換気動力を主力とするパッシブ換気では、換気量の変動がシステム設計に大きな影響を持つ。温度差による換気動力は、ある程度安定して得ることが可能であるが、外部風による換気動力はきわめて不安定である。当然一定の換気を連続して保つことは不可能であり、変動をどの範囲でどのように許容するかは、重要な課題である。汚染物質の発生や在室者数から必要換気量を設定し、熱負荷などから厳格な設計を求めれば自然換気動力は邪魔者であり、それをいかに排除するかが大切な問題である。

しかし、パッシブ換気の対象である住宅では、事務所など一般建築物とは異なり、固定した換気が連続して行われる必要性は必ずしも高くない。季節や１日の変動の中で住宅全体の空気が穏やかに換気されていることが求められ、換気の過不足が室内の環境や人間の健康に深刻な影響を及ぼす恐れも少ない。また、人間の活動によって生じる換気要求には、手動制御による換気が可能な点も住宅換気の特徴である。

このように住宅を対象とし、基礎的な換気を自然動力で満足することを目標にすれば、半日単位あるいは1日単位で、基礎的な換気を満たすことができればよいという考え方が成り立つ。こうした視点に立つと、自然換気動力の少ない時にどのように対処するかが大きな課題であったパッシブ換気に、自然換気動力だけで基礎的な換気をまかなう可能性が見えてくる。変動を許容した時、邪魔者だった自然換気動力が、魅力的な自然エネルギーに代わり、パッシブ換気システムの構築に高い可能性が生まれる。変動の許容とその価値を認める事がパッシブ換気のスタートであり、変動特性や許容される変動を明らかにすることが取り組むべき最初の課題である。

(3) 必要換気量と基礎換気量

ビル空調などで換気量の設定に使われる概念が必要換気量である。空気調和衛生工学会など公的な団体等で推奨する必要換気量は、二酸化炭素濃度の恕限度などを参考にして、一人当り一時間当たりの換気量（30 m^3/h 程度）となっている。衛生上良好な空気環境を保つことを目的に推奨されており、室内の在室人数を基に空調機の設計等に使われている。ビル空調の場合には、在室人数に多少の変動があっても設計換気量と実際の必要換気量に極端な違いはない。しかし、住宅では、居住者数を元に必要換気量を設定することには矛盾がある。必要換気量は、汚染物質の発生量に対して室内の汚染濃度を基準以下にすることを目標にしており、生活に伴って大きく汚染物質の発生が変化する住宅では、設定した換気量が必要換気量とほぼ等しくなる時間は極めて短い。居住者が不在時には著しく過剰で、全員が居間に集まれば著しく不足するというように、絶えず実換気量が必要換気量に対して過剰か不足の状態となる。もちろん機械換気装置では強弱設定はあるが、時間当りの過不足が生じる状況に大きな違いはないと考えられる。

必要換気量という概念を使う限り、それを満たせば室内の空気環境を良好に保てると考えることは否定できない。このため、常に不測の事態に配慮した大きめの換気量設定となりがちである。生活に伴う汚染物質の発生は、一時間単位で考えられるものではなく、24 時間のサイクルを持っている。この中で過不足はあっても、1日単位である程度の換気量を確保すべきと言う考え方に立ち、本論文では、基礎換気量と言う概念を提案する。どのような時間単位で規定するか、あるいはどのような範囲の換気量を基礎換気量として許容するかは、換気のシミュレーションの課題である。ここでは、実験やシミュレーションで目標とする基礎換気量の私案を以下に述べる。

居住者を 4～5 人家族とし、在宅時間を以下のように設定すると、一日の平均在宅人数は、2～3 人である。

・学生 1 人：在宅時間 18 時から 8 時の 14 時間
・専業主婦：外出一日 4～6 時間で在宅時間 18～20 時間
・夫(会社員)：在宅時間 19 時から 7 時の 12 時間
・その他 1～2 人：. 在宅時間 12～20 時間
・平均在宅人数：家族の合計在宅時間／24 時間=2～3 人／h

一人当りの必要換気量を 30m³/h とすれば、60～90 m³/h となり、この程度の幅のある量が、住宅の基礎換気量として適当であると考えた。

変動を許容しながらシステムを構築してゆくためには、現実のフィールドにおいて、パッシブ換気を支配する外部風や温度差が換気量に及ぼす影響や、換気量の変動の性状を明らかにしてゆくことが必要である。また、暖房時の過換気を避けながら、年間を通じて基礎換気量を満たすことを目標にすれば、年間を通じたシミュレーションによる検討は重要である。

本項では、寒地住宅都市研究所内に建設された実験住宅を使用して行った実験から、排気筒と床下給気の組み合わせによる典型的なパッシブ換気システムについて、換気量の変動特性と床下給気方式の特性を明らかにした。また、2 階建の住宅モデルおよび実住宅を対象として、シミュレーションにより、換気経路や換気量の変動等の換気特性について、実証的な検討を行った

4.3.2 実験住宅における基本特性の検討

(1) 実験の概要

1) 実験住宅

図 4.3.1 に実験用の小住宅の平面及び断面図を示す。基礎断熱した床下を持ち、土間は捨てコンクリートで仕上げ、木床構造としている。天井の高い平屋構造で、一部ロフトを設けている。床面積は、7.28m×4.55m で、約 33m² (ロフトを除く) である。住宅全体の相当隙間面積、及び排気筒や給気管等、換気用開口各部の有効開口面積の測定結果を**表 4.3.1** に示す。基本的な測定方法は APPENDIX-A によるが、相当隙間面積および有効開口面積は、自然換気時の空気の流れる方向に配慮し、それぞれ以下のように測定した。

- ●排気筒：排気筒を開放した時と室内側の排気口で目張りした時の、室内加圧法による建物全体の相当隙間面積の測定値の差
- ●床下給気管：窓を開放し室内外の圧力を同じにした条件で、床下給気管を開放した時と室外側から目張りした時の、床下減圧法による床下空間の相当隙間面積の測定値の差
- ●床開口：窓を開放し室内外の圧力を同じにした条件で、床開口を開放した時と床面で目張りした時の、床下加圧法による床下空間の相当隙間面積の測定値の差
- ●床下(基礎周り、床面)：室内と床下の圧力を等しく保つように床下と室内を同時減圧および加圧し、基礎周りの相当隙間面積を測定後、床開口目張り時の床下加圧法による床下空間の相当隙間面積の測定値との差から床面相当隙間面積を推定

換気システムを除いた床面積当りの相当隙間面積は約 3cm²/m² であった。この、建物本体の気密性能は、床面積当たりで評価すればそれほど高い性能ではない。しかし、a）建物全体の相当隙間面積（約 100cm²）から見ると、非常に気密性の高い一般的規模の住宅(40 坪程度)に見合っている、b）内外温度差を主動力とした換気を取

り扱う場合、床面積当りの相当隙間面積ではなく、住宅全体の相当隙間面積が換気量を左右するパラメータである、と判断し、本報告では、高気密な一般的規模の住宅の代替として検討を進めている。

建物の各部の断熱仕様は以下のとおりである。外壁は、4種の断熱仕様で構成されており、熱貫流率は 0.29～0.31 kcal/m²h℃である。また屋根および天井は、グラスウール 24K200mm が施工されている。開口部は、出入口ドア 2 ヶ所と PVC サッシ 2

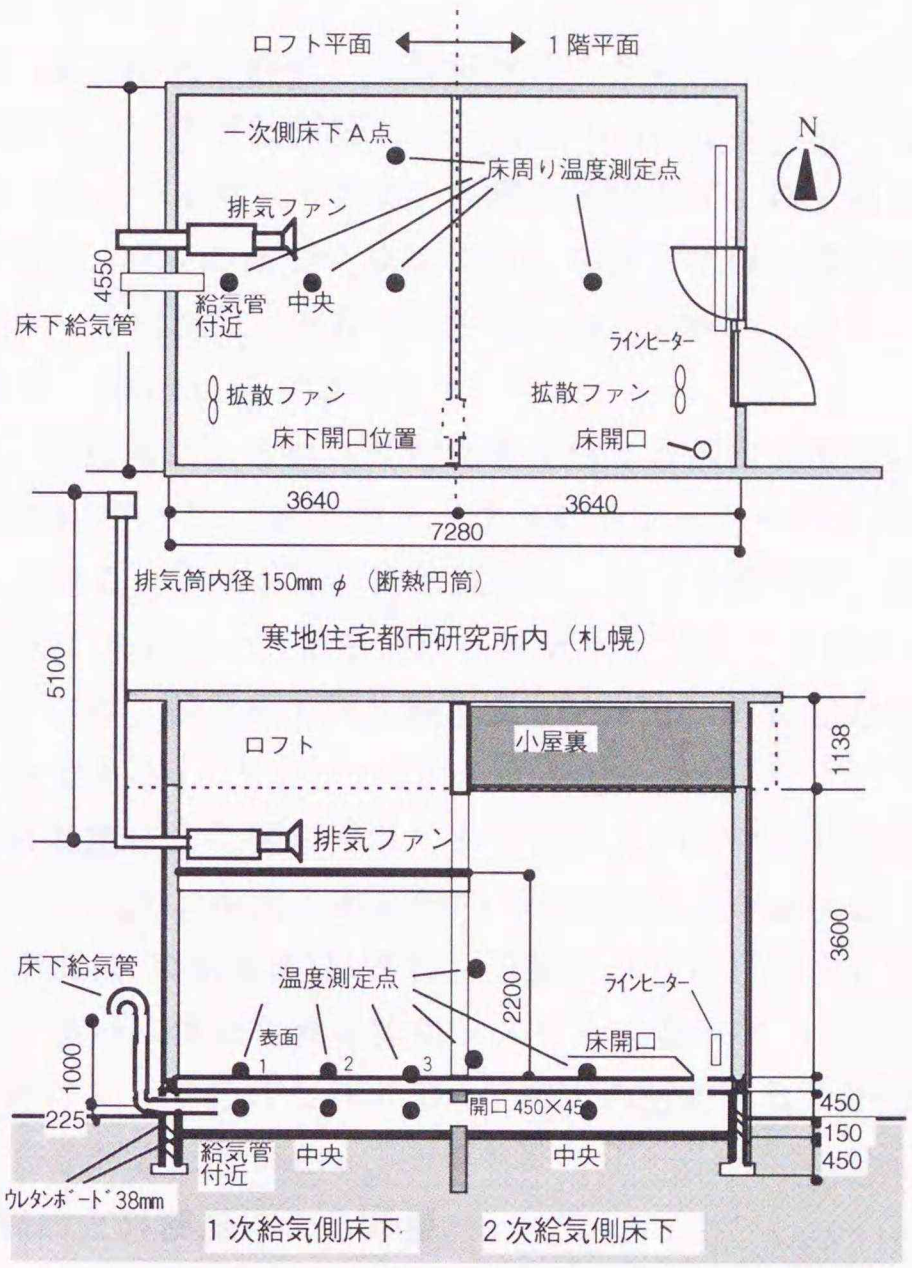


図 4.3.1　実験棟の平面および断面図

表 4.3.1　各部の気密性能

部位	α A(cm²)	n
建物外皮	93.6	1.7
排気筒	64.9	2.0
床下(基礎周り)	23.0	1.6
床下(上屋と床下の境界)	56.1	—
床下給気口	76.0	1.9
床面開口	108.6	2.0

ヶ所の計4ヶ所で、それぞれの熱貫流率は、メーカーカタログ値で1.2、2.3kcal/m²h℃である。基礎断熱は、38mmのウレタンボードを捨て型枠とした仕様で、内外のウレタン厚さの総計は76mmである。上述した断熱の程度は、現在北海道の一般的な木造住宅と同等になっている。なお、床面は、室内への熱的な影響が最大になる仕様として、12mmの合板単体とした。

暖房はラインヒーター(電熱器：高さ20㎝，長さ2.0m)を出入り口のある東妻側壁面付近に設置して行い、室温はヒーターのサーモスタットにより制御した。

2) パッシブ換気システム

本システムは、床下給気と断熱した排気筒による自然排気を基本とし、排気筒には排気ファンを設置した。床下給気管には、内径155mm ϕの塩ビ管を使用し、基礎壁面から直接床下へ給気する形式である。積雪を考慮して、外気側は壁面に添って立ち上げ、地盤面から約1.2mの高さに地盤に面して逆U字型の開口を設けている。排気筒には、グラスウール保温筒（64K、厚さ25mm）で断熱したステンレス2重管を用いており、内径は、150mm ϕである。

排気トップは、外部風による換気の特性を左右する部分である。本実験ではカナダで暖炉用に使用されている、 SC 型ルーフベンチレーター[4-5]に類似した形状の排気トップを使用している。室内からの排気位置は、ロフト部分で、地盤面から3mである。排気筒の長さは5.1 mで、地盤面から排気トップまでの高さは、8.1mである。使用した排気ファンは、弱運転で開放時風量150m³/h、消費電力が7 Wの低電力消費型のダクトファンである。

床下は中央で布基礎により区切られており、一方の床下空間(1 次給気側)の妻側から供給された新鮮外気が、中央の布基礎の一部に設けた450mm角の開口を通じて、もう一方の床下空間(2 次給気側)に流れ、予熱された後に床面に開けられた150mm ϕの単純開口から室内に供給される給気システムになっている。一般に北海道の住宅の床下は、布基礎によって分けられており、床下の区画された小空間に外気が集中して供給された場合を想定している。

(2) 定濃度法の検討と外部風による影響

外気浸入量を連続的に測定する方法として空間の炭酸ガスの濃度を一定に保つことによって、その間の炭酸ガス発生量から連続的に空間の外気成分を測定できる測定法を用いる(定濃度法)。測定法の詳細についてはAPPENDIX-Cに示す。**図 4.3.2** に測定した換気量と炭酸ガス濃度の時間変動を示す。外気導入量が大きく変化している期間の測定結果であるが、この装置により室内の炭酸ガス濃度が高い精度で一定に保たれていることがわかる。

次に、外部風の影響について考察するため、実験住宅の風圧分布を、風洞を利用した模型実験により求めた。風洞実験の詳細はAPPENDIX-Dに示す。**図 4.3.3** は、実験住宅の周辺状況と、測定した16方位のうち、冬季の卓越した風向である北西を中心とした4方向の風向による、各部の風圧係数の測定結果である。ほとんどの部位で

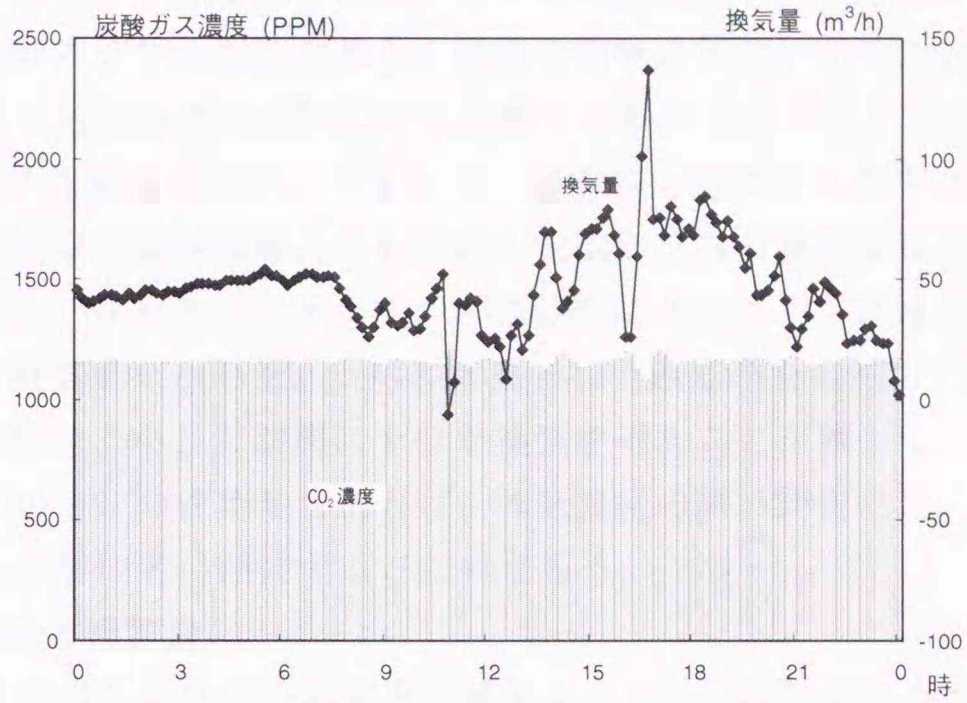
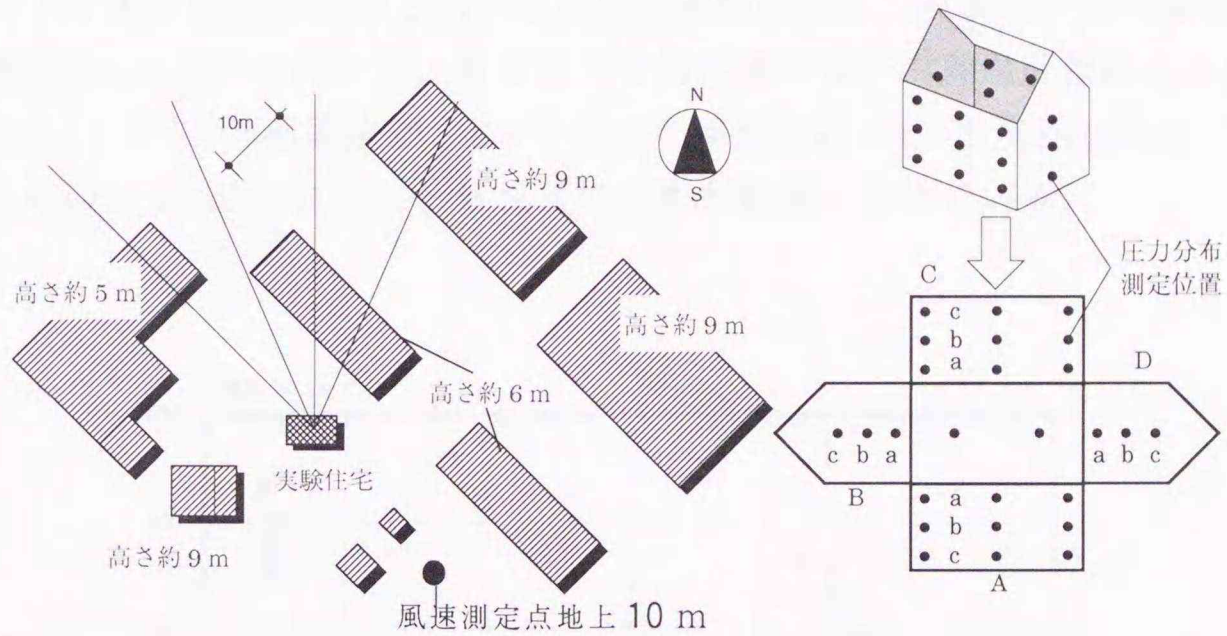


図 4.3.2 換気量と炭酸ガス濃度の時間変動



		A			B	C			D
		a	b	c	b	a	b	c	b
NW	a	-0.14	-0.13	-0.11	0.12	-0.05	0.04	0.09	-0.08
	b	-0.14	-0.15	-0.12	0.15	-0.05	0.09	0.14	-0.08
	c	-0.14	-0.12	-0.09	-0.01	-0.02	0.07	0.08	-0.07
	屋根		-0.28				-0.18		
NNW	a	-0.07	-0.05	-0.07	0.01	-0.14	-0.15	-0.15	-0.07
	b	-0.10	-0.09	-0.09	0.02	-0.07	-0.05	-0.06	-0.08
	c	-0.07	-0.05	-0.07	0.02	-0.12	-0.10	-0.14	-0.07
	屋根		-0.22				-0.16		
N	a	-0.07	-0.06	-0.06	-0.03	-0.10	-0.08	-0.09	-0.06
	b	-0.05	-0.04	-0.04	-0.01	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06
	c	-0.08	-0.06	-0.06	-0.00	-0.07	-0.02	-0.05	-0.06
	屋根		-0.15				-0.12		
NNE	a	-0.08	-0.08	-0.08	-0.04	-0.08	-0.07	-0.07	-0.08
	b	-0.08	-0.07	-0.08	-0.03	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08
	c	-0.08	-0.08	-0.08	-0.01	-0.08	-0.07	-0.08	-0.08
	屋根		-0.16				-0.17		

図 4.3.3 実験棟の風圧係数

風圧係数が 0.1 前後となっており、赤林等の研究結果[4-6]から見れば、住宅密集地の条件に近い。他の方位での測定結果も、同様な数値の範囲にあった。この結果、実験住宅の測定は、住宅密集地の条件として考察する事が妥当と考えられる。

図 4.3.4 は、外部風速をパラメーターに、暖房停止時の換気量をプロットしたものである。自然換気時には外部風とある程度の相関が見られ換気量は平均 32m³/h 、変動幅は ±25m³/h であった。また、ファン稼動時には、ほとんど外部風の影響は見られず、安定した換気量を示した。当然の結果として温度差を主動力とするパッシブ換気では、内外温度差の小さな期間に十分な換気を得ることが難しく、外部の騒音や空気汚染に配慮のいらない住宅地であれば、外気温度の高い期間には、窓の開放等による開放型の換気を居住者に期待することになろう。

(3) 室内外温度差と換気量

換気量に対する内外温度差の影響を把握するために、暖房をしながら、1994 年 12 ～1995 年 1 月にかけて、換気量の実測を行った。**図 4.3.5** は、強風時（最大 7.6m/s, 30 分間平均）を含む外部風速と内外温度差の変動に伴った換気量の経時変動である。外部風速が 4m/s 以下の時には、換気量の変動は僅かで、内外温度差による換気が支配的である。しかし、外部風速が 4m/s を超えた期間では、内外温度差 20deg で 60m³/h であったものが 90m³/h に達し、外部風の影響が明確に表れている。

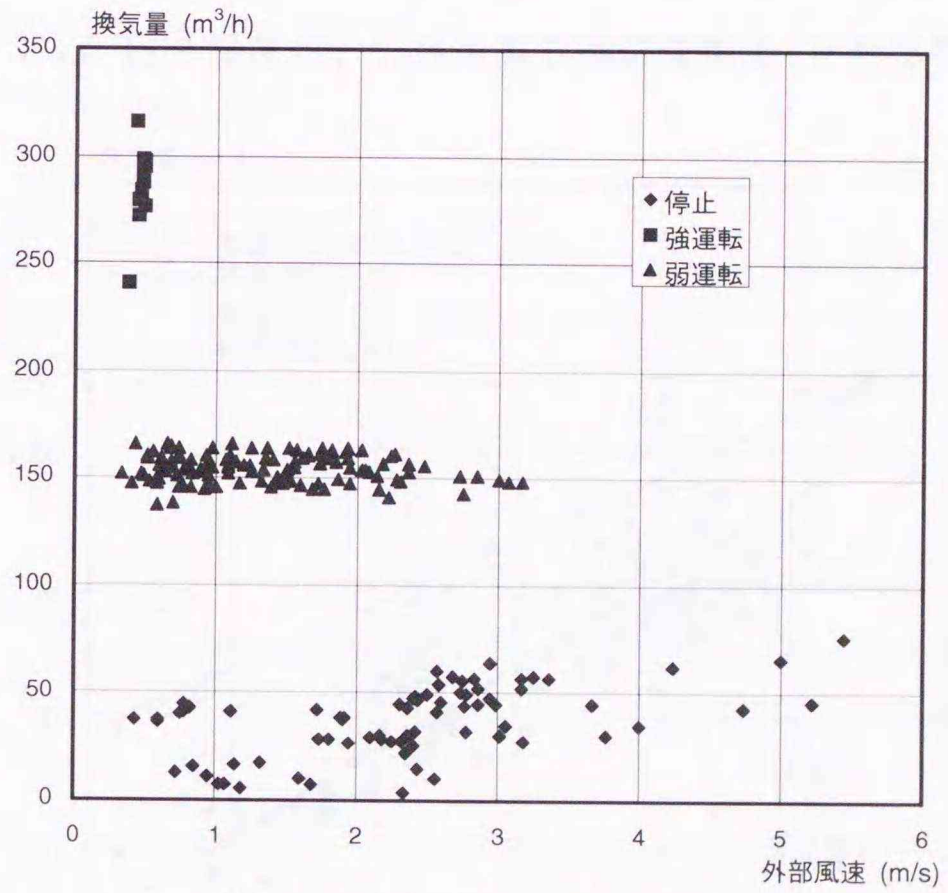


図 4.3.4 暖房停止時の換気量

図 4.3.6 は、自然換気時の内外温度差と換気量の関係を示している。外部風によって分けて示しているが、煙突効果による影響が明らかで、内外温度差と換気量には高い相関が見られる。また、外部風速が 4m/s 以上の時には、30m³/h 程度の範囲で換気量の増大が見られ、風力換気が温度差換気に対して加算要素になっていることが伺える。この結果、内外温度差の増加に伴って、換気量に占める外部風による換気量の増加分の比率が減少し、内外温度差が 15deg 以上の暖房期には、煙突効果を換気の主動力、外部風速を換気の増加要因とみなすことが可能と考えられる。

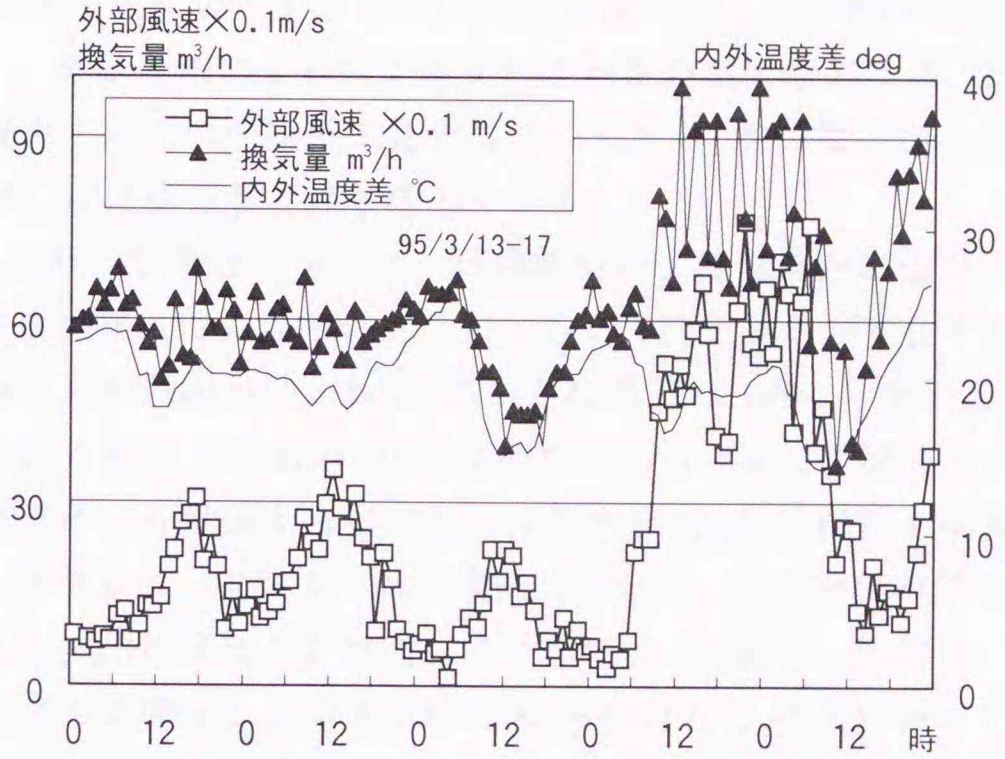


図 4.3.5 内外温度差、外部風速と換気量変動(自然換気時)

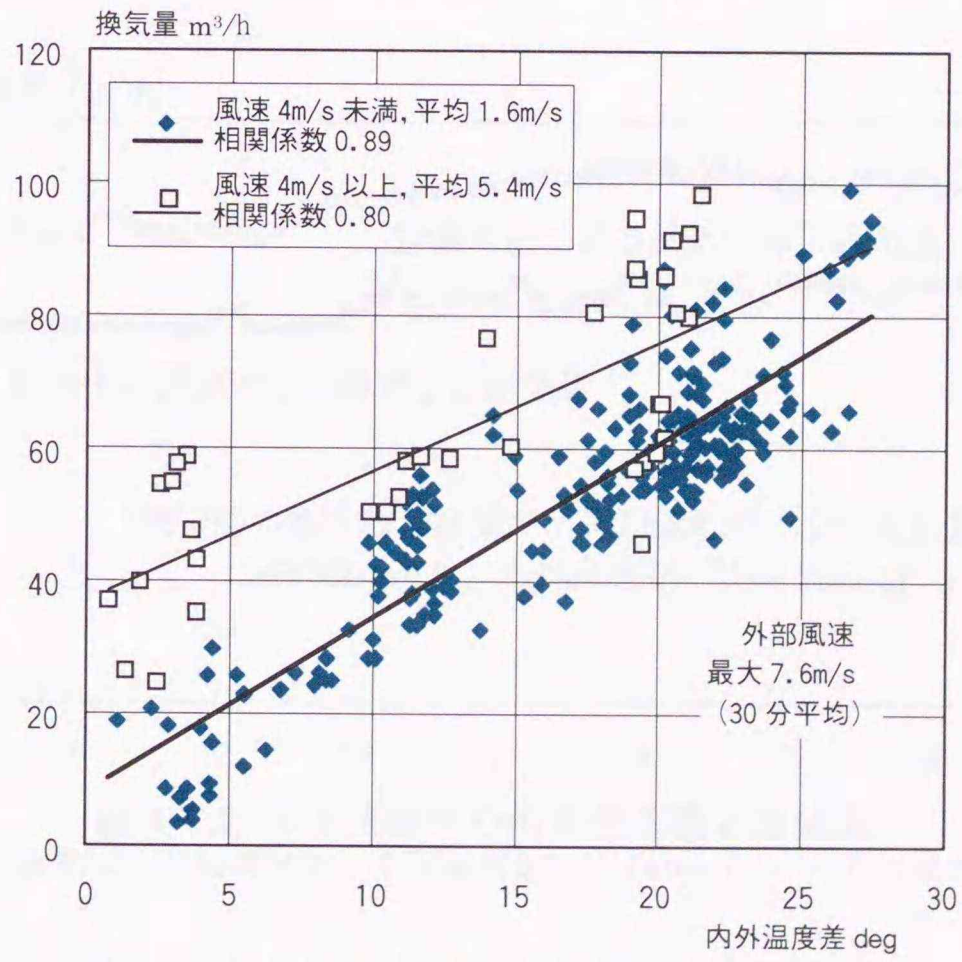


図 4.3.6 自然換気時の内外温度差と換気量

(4) 床下自然給気の特性

給気管からの給気量については、給気管の中心風速を熱線微風速計により連続測定し、給気管の断面積を乗じて推定した。熱線微風速計の精度は、測定範囲 0～10m/s で、フルスケールの±0.5%である。一般に管内風量を熱線微風速計による中心風速から推定する事は、測定結果の信頼性に欠けるといわれている。このため、床下空間で二酸化炭素の定濃度法により測定した床下空間の換気量と、同時に測定した給気管の中心風速から推定した給気量を比較した（**図 4.3.7**）。管内中心風速から推定した換気量の方が、定濃度法によって求めた外気侵入量より、10～15%程度少ない結果となった。しかし、定濃度法による床下空間の換気量の測定結果には、給気管以外の隙間による換気量や上階との交換換気量が含まれており、給気管の中心風速による給気量の測定結果は、ほぼ妥当なものと考えられる。

図 4.3.8 は、自然換気時と排気ファン弱運転時の、給気管内風速および換気量の時間変化である。自然換気時には内外温度差に応じて給気風速が変化するが、外部風の変動による影響は比較的小さい。また、給気管の風速は 1m/s 前後と低風速であるが、風速から推定される給気量は 40～60m^3/h 程度である。次に、**図 4.3.9** は、この間の総換気量と給気管の中心風速から推定した給気量を、内外温度差を横軸にとって示したものである。換気量は、排気ファン弱運転によって、自然換気時の 2 倍に増加するが、床下給気量は、20%程度しか増加していない。この結果、換気量に対する床下給気管からの給気量の比率は、自然換気時の 80%に対して 40%に低下する。これは、排気ファン弱運転によって中性帯位置が上がり、建物の隙間による給気量の増加が、給気管からの給気量の増加に比べて大きいためと考えられる。

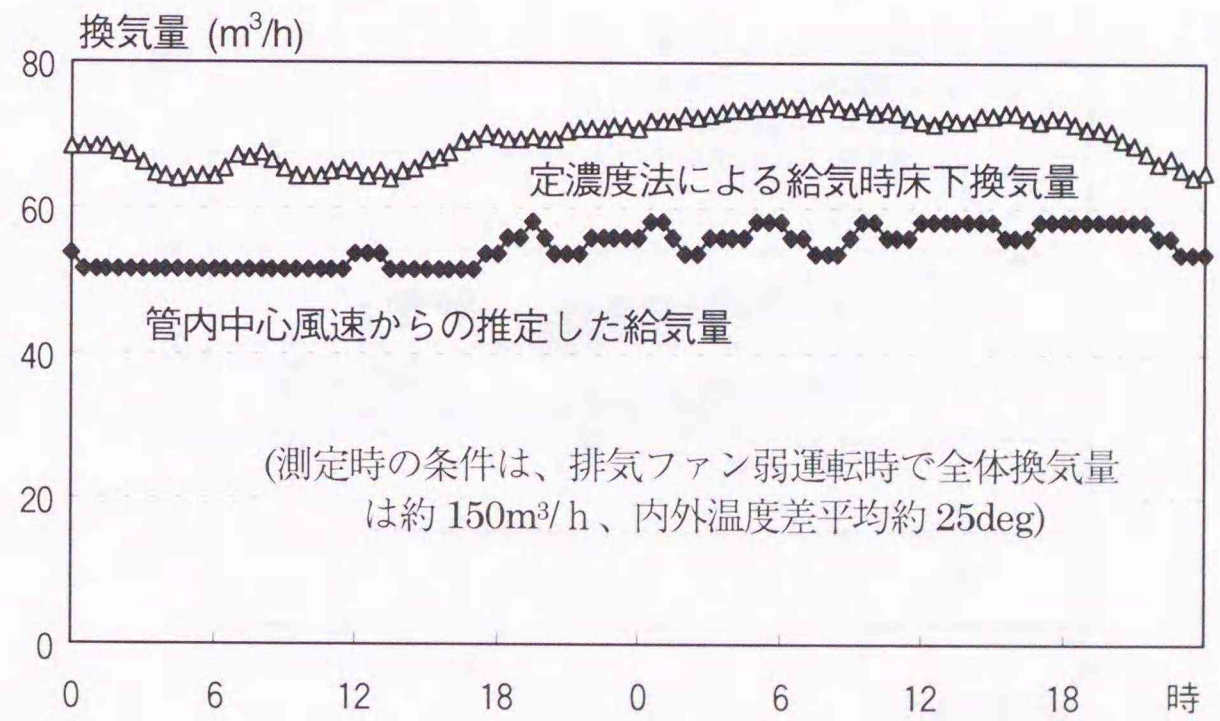


図 4.3.7 床下空間への外気侵入量と給気量

(測定時の条件は、強制排気で、全体換気量は約 140m^3/ h 、内外温度差平均約 25℃)

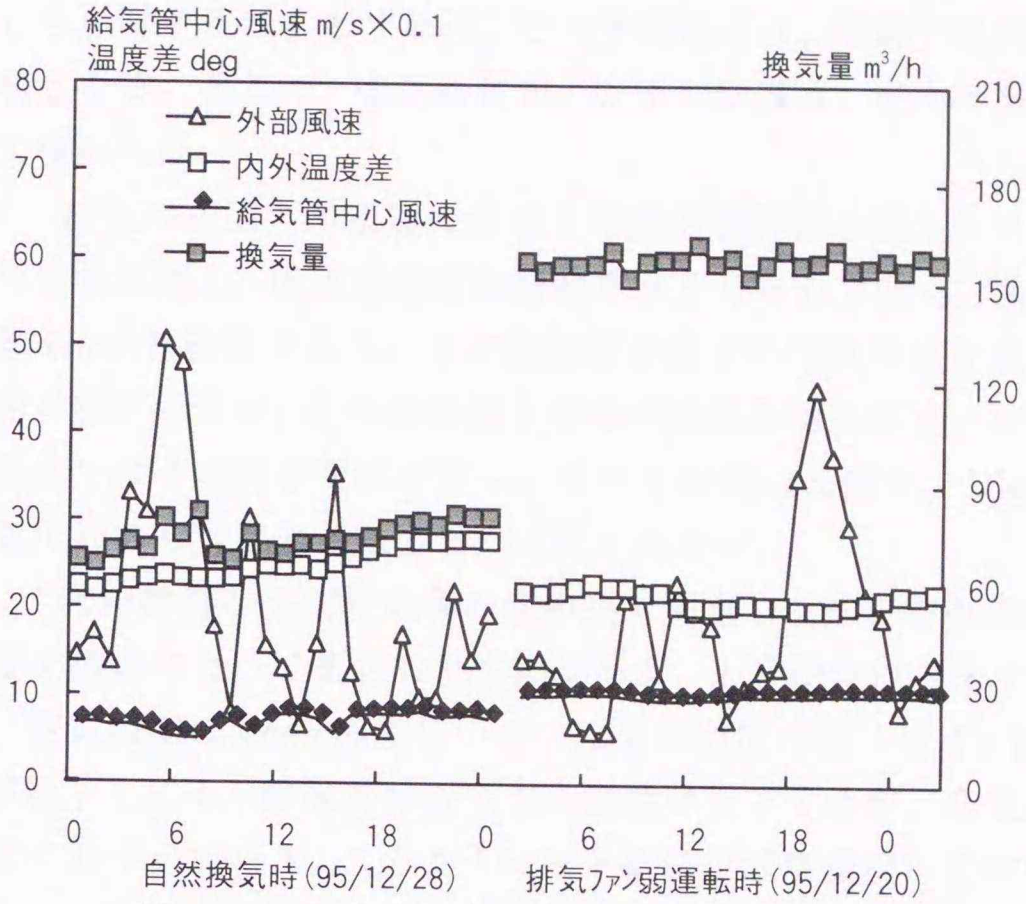


図 4.3.8 給気管内風速及び全体換気量変動

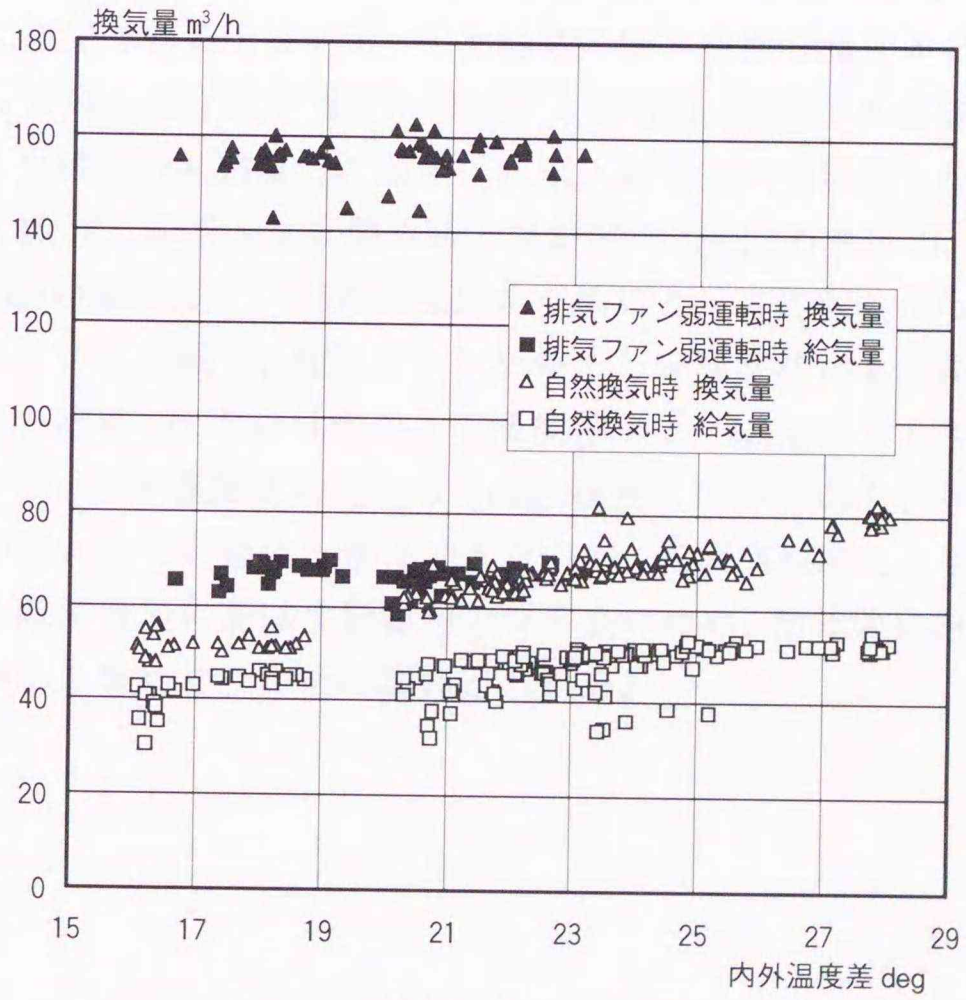


図 4.3.9 総換気量および給気量

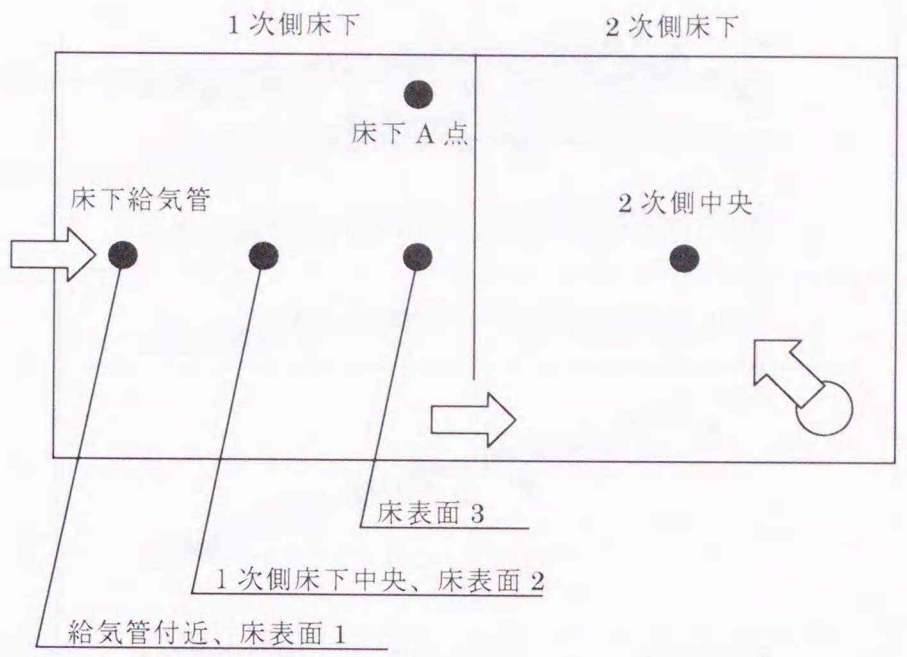
(5) 床下給気時の床回りの温度環境

給気の予熱処理は、寒地の換気の要点である。床下経由の給気方式によって、温度環境へのゆゆしき影響が現れるとすれば、その予熱処理は、暖房や換気の計画を左右する大きな課題となる。そこで、床下給気が、床下や床表面、室内の温度環境に及ぼす影響について検討した。

図 4.3.10 は、給気が床回りの温度に及ぼす局所的な影響を明らかにするため、図中に示す各部の空気温度と、床表面温度の変動を示したものである。温度の測定期間の給気量は、約 60m³/h 程度である。1 次給気側の床下の空気温度を見ると、給気管付近の温度は相当低下するが、その他の部分では平面的な温度の違いはほとんど現れない。床表面温度ではその差が更に小さく、すべての測定位置で、1deg 以内の範囲にあり、給気管付近でも温度低下はまったく見られない。

図 4.3.11 は、1 次給気側と 2 次給気側の床中央で測定した床下空気温度と床表面温度を、外気温度を横軸にとって比較したものである。1 次給気側の床下は、2 次給気側に比べると、空気温度は 5deg 程度低いが、床表面温度の違いは 1～2deg 程度である。外気温度が低下しても、給気管付近の空気温度は低下するが、空気温度や床表面温度の変化はごくわずかである。このように床下給気が温度環境に及ぼす影響は給気管の近傍に限られ、部分的な温度低下による結露や著しい温度環境の低下の恐れも少ないため、暖房した上階からの熱流入のみを給気予熱の熱源とする事は可能である。しかし、局所に限定されるとはいえ、1 次給気の床下空間の温度が低くなるので、サニタリー周りなどの小さな床下空間へ給気する場合は、室内への影響に配慮しなければならない。1 次給気の開口位置の設定は、床下給気方式の設計上の要点といえる。

次に、**図 4.3.12** は、床下給気管開放時と閉鎖時の、室内の中央(床上 1200mm)と床付近(床上 50mm)の温度差を、内外温度差を横軸にとって比較したものである。測定条件は、排気ファン弱運転で、拡散ファンを停止し定濃度法による換気量測定は行なっていない。この結果、床下給気時の上下温度差が 1～2deg に対して、給気管閉鎖時には 1deg 以下で、上下温度差の違いは 1deg 程度と僅かである。その差の大小を単純に暖房環境の差として評価する事はできないが、床表面温度と上下温度差は、その違いが僅かでも暖房環境に及ぼす影響が少なくないため、積極的に給気予熱を図る床下暖房などの対応を含めて、今後の課題としたい。



温度測定点

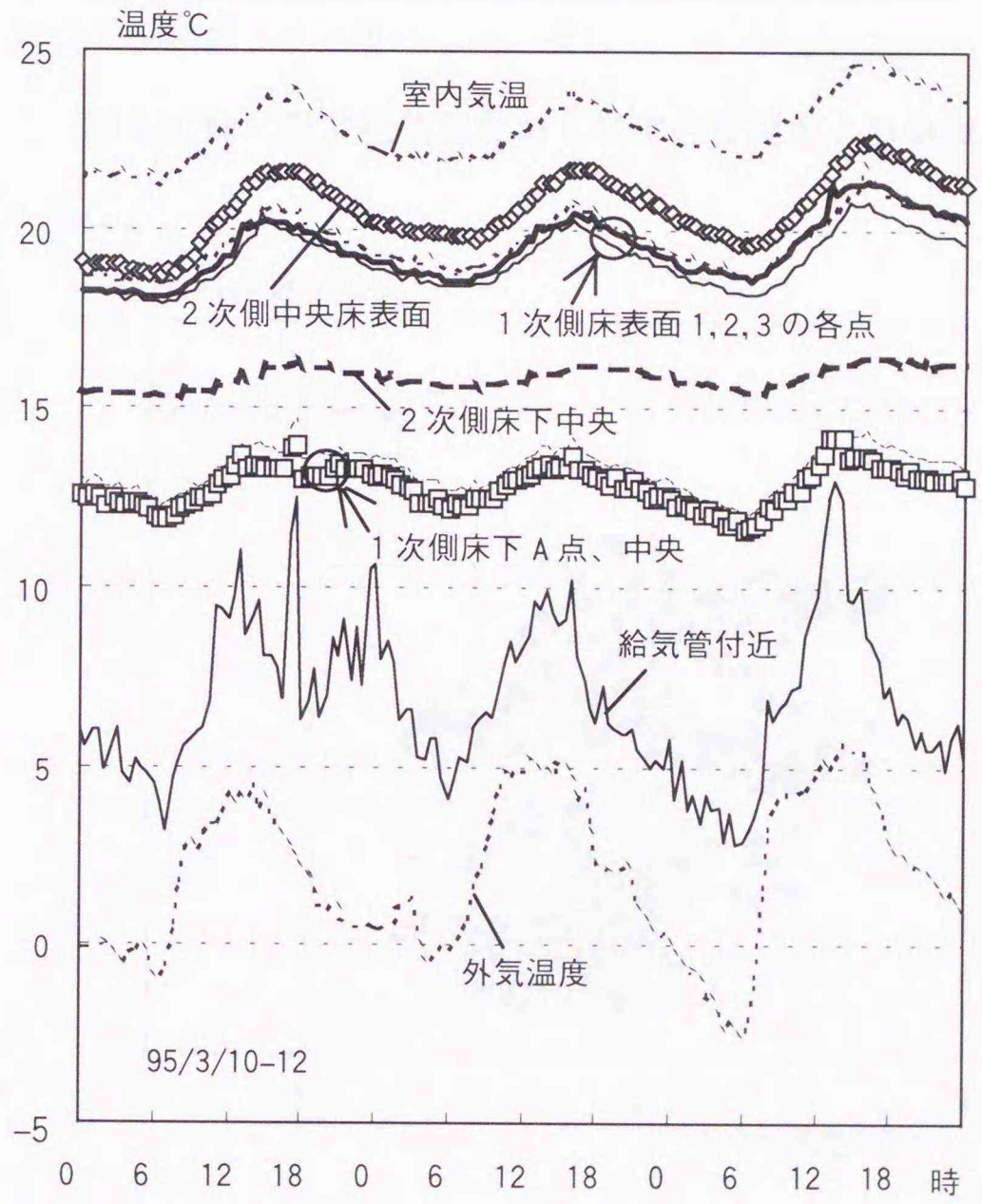


図 4.3.10　1次給気側の床下の各部の空気温度と、床表面温度の変動

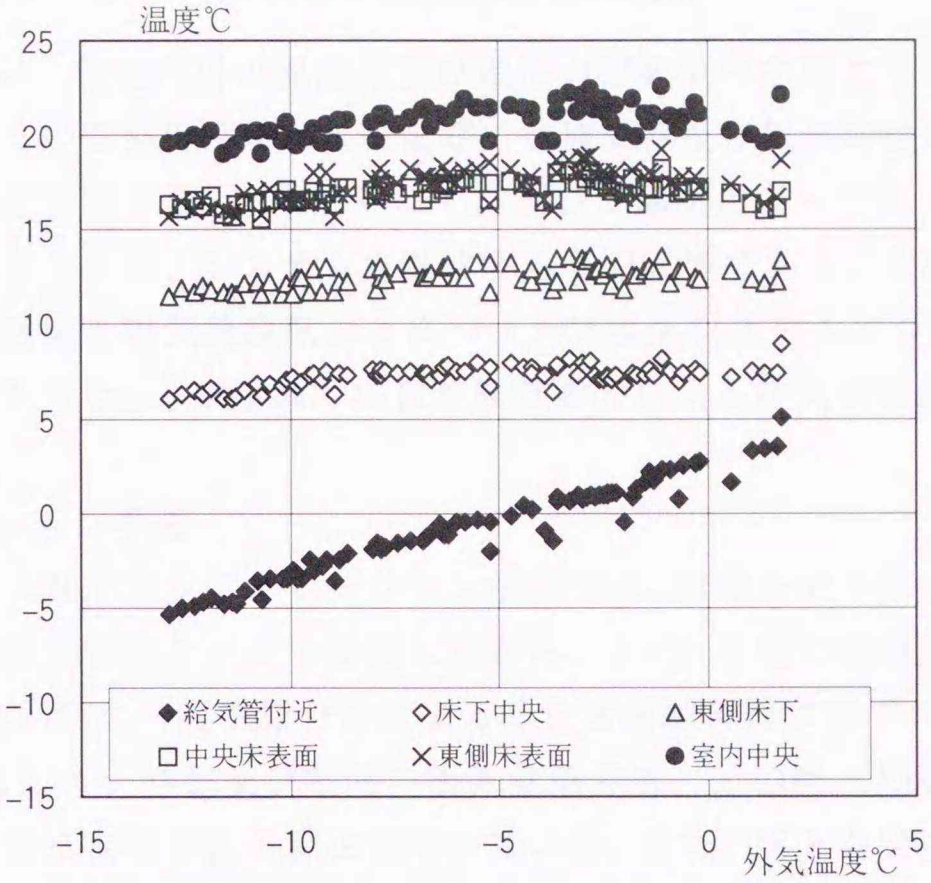


図 4.3.11　床下空気温度および床表面温度と外気温

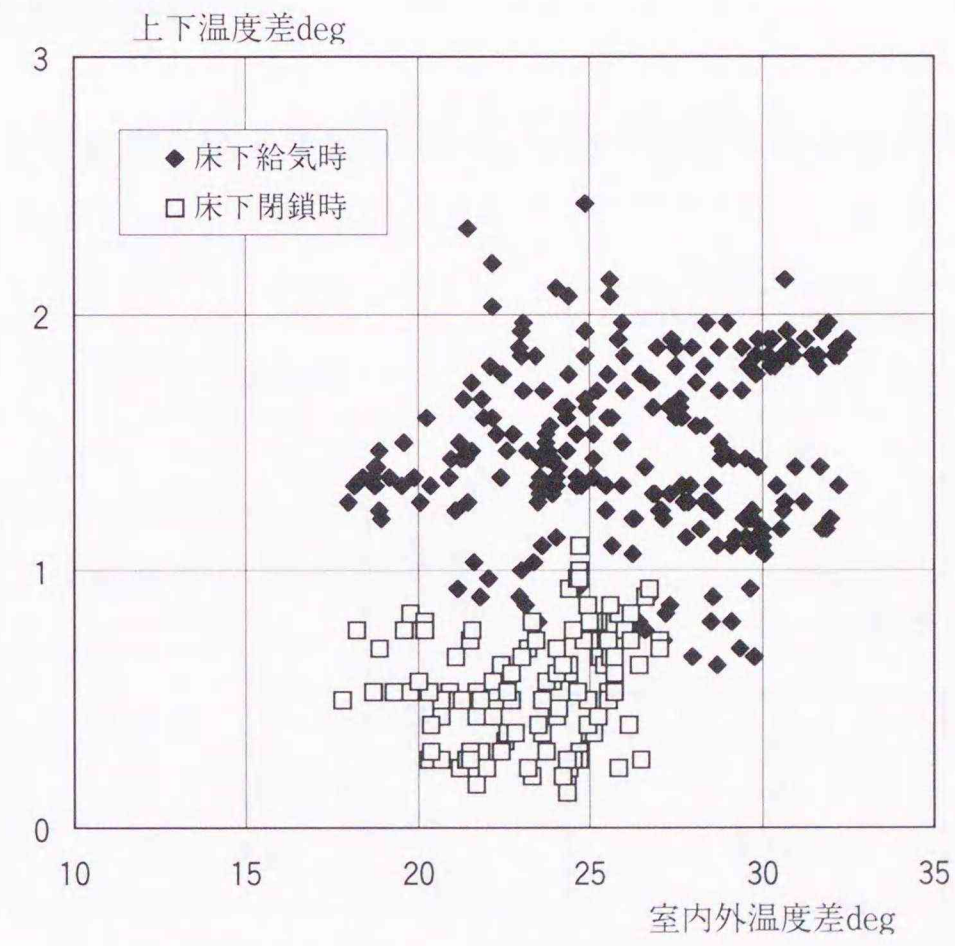


図 4.3.12　上下温度差と内外温度差

4.3.3 シミュレーションによる年間変動特性の検討

パッシブ換気は、住宅内外の温度差及び風圧力が換気の主動力となることから、その住宅の置かれている温度環境、風環境等の立地条件及び気候特性の違いが、換気量やその変動特性を左右する。1年を通じてパッシブ換気によって得られる換気量の範囲や変動幅を知ることは、システムを構築する上で重要である。本項では、前項で提案した床下自然給気と排気筒排気によるパッシブ換気システムについて、年間の換気量の変動の計算を行ない、寒冷地での自然換気動力による換気の可能性について検討する。

(1) シミュレーション手法

パッシブ換気に関するシミュレーション解析では、対象モデルを1つに固定したうえで、風圧条件及び気象データを変更しながら、1～3 年間の毎時刻の室温及び換気量を算出した。計算は、『逐次積分法による非定常暖房負荷計算プログラム(鈴木研究室)』をベースとして、外気及び室間の換気量条件を、その時々の風圧及び温度条件に基づく換気計算により与える手法を用いている。また、床下空間の温度計算に際しては、地盤に接する空間なので、地盤を含めた2次元モデルより求めた基礎外周 1 m 当たりの温度－熱流応答を用いることとした。換気計算と地盤熱伝導計算の具体的な計算法の取り扱いは、APPENDIX-E に示す。

(2) 計算モデルと計算条件

1) 計算モデル

計算モデルとした住宅を**図 4.3.13** に示す。4室で構成されるモデルで、2階天井部

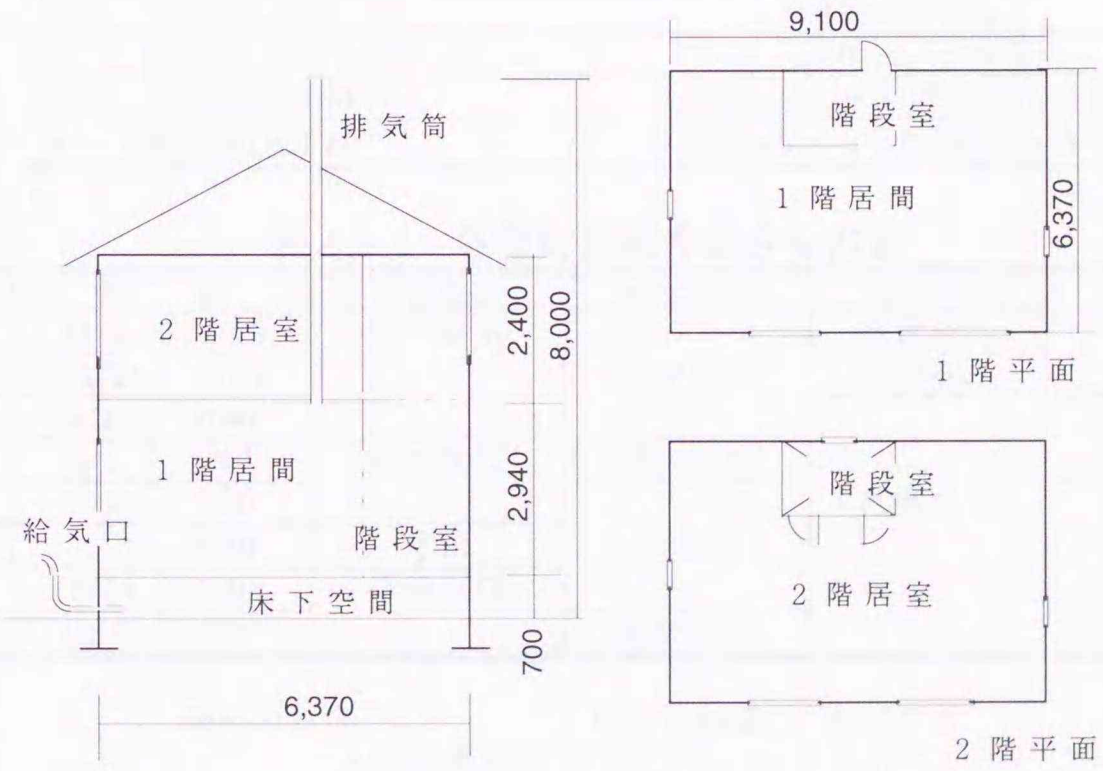


図 4.3.13 計算モデルの平面図と断面図

は、小屋裏の有無に関わらず、熱的には外気温に接するものとしている。換気計算用に**表 4.3.2** に示す 9 ゾーンを設定した。1～4 室は、熱計算モデルと共通となっているが、壁面や排気筒頂部での風圧の影響を考慮するために、外気を更に 5 ゾーンとしてモデル化したものである。なお、本モデルにおいては、給気口入り口部は南面外壁と同じ風圧条件として扱うこととしている。

想定した各部の断熱仕様を**表 4.3.3** に示す。

2) 日射条件

HASP データを利用して、方位別の日射熱取得を計算している。しかし、パッシブ換気の換気量は、室温の影響を大きく受けることから、春秋期の日射取得熱による過熱防止のため、日射遮蔽を考慮した。

3) 換気モデル

基本システムを**図 4.3.14** に示す。冬期間は、隙間からの外気の侵入を除く給気は床下への給気ダクト 2 ヶ所のみを想定した。また春秋期（中間期）は、温度差換気動

表 4.3.2　換気計算モデルの構成

1:1 階居間系統室	6:南面外気(南壁面風圧考慮)
2:2 階居室系統室	7:西面外気(西壁面風圧考慮)
3:床下空間窓	8:北面外気(北壁面風圧考慮)
4:階段室(1、2 階吹抜け)	9:排気筒頂部外気(頂部風圧考慮)
5:東面外気(東壁面風圧考慮)	

表 4.3.3　熱計算モデルの断熱仕様

各部の断熱仕様	熱貫流率
外壁　GW16K100+GW32K50	0.22kcal/m² h℃
屋根　GW24K200	0.19kcal/m² h℃
窓　PVC サッシ Lo-E ペア	1.80kcal/m² h℃
基礎　SF30+RC150	0.67kcal/m h℃(周長 1 m当たり)
〃　(積雪時)+SF30	0.52kcal/m h℃(周長 1 m当たり)

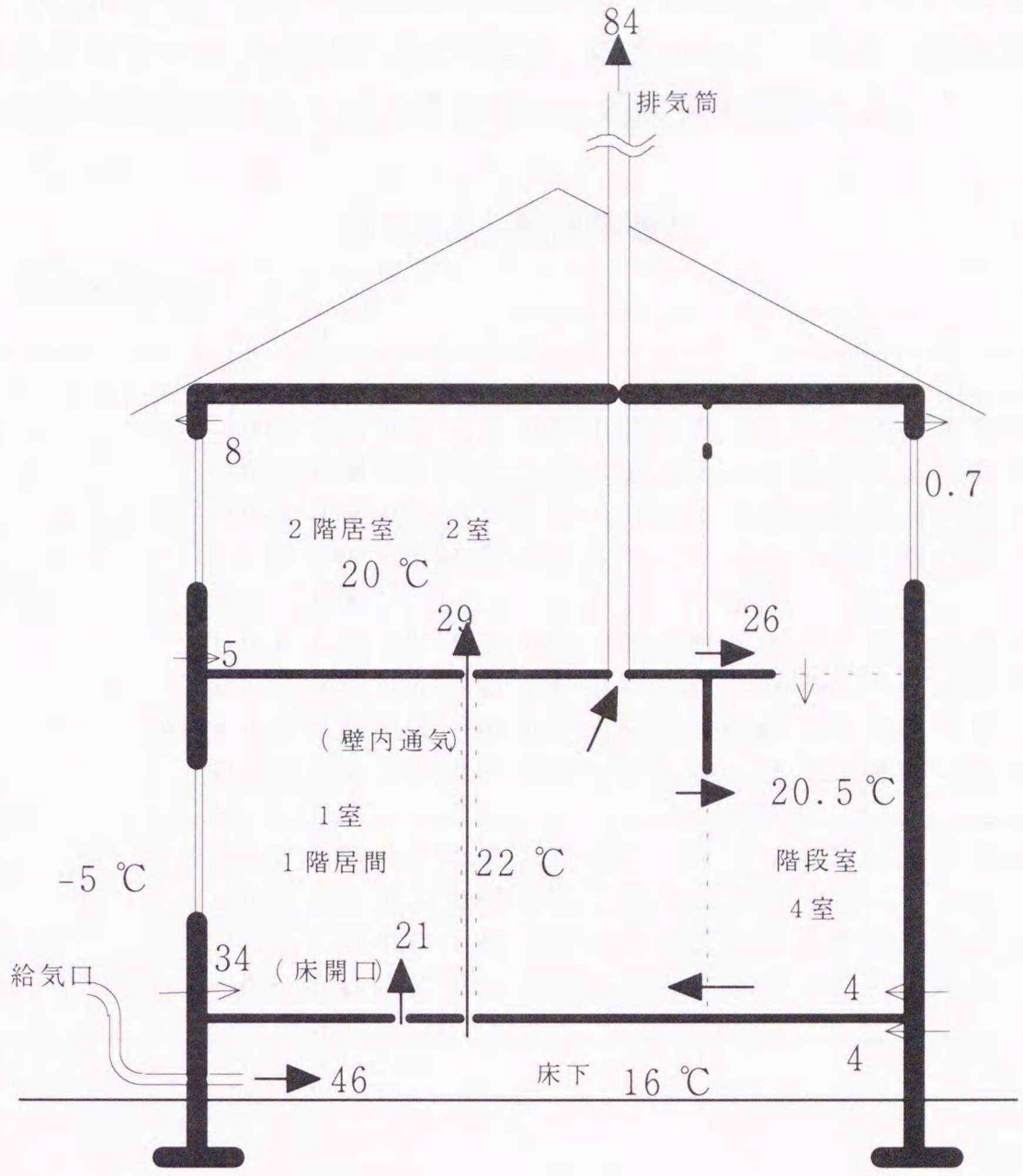
表 4.3.4　各種計算条件組合せ内容

No	期　間	換気形態	暖房形態	地盤ﾓﾃﾞﾙ	日射遮蔽
1	11/1 ～12/20	床下給気	連続暖房	積雪無し	
2	12/21～ 3/31			積雪有り	
3	4/1 ～ 4/30			積雪無し	西窓遮蔽
4	5/1 ～ 5/31	壁換気口	間欠暖房		
5	6/1 ～ 7/10		非暖房		西窓遮蔽
6	7/11～ 8/20	窓開			東窓遮蔽
7	8/21～ 9/30	壁換気口			南窓遮蔽
8	10/1 ～10/31		間欠暖房		西窓遮蔽

暖房の設定	6 時～23 時	それ以外
1 階居間系統	2 2 ℃	1 8 ℃
2 階居室系統	2 0 ℃	1 8 ℃

内部発熱(全期間)	7 時～23 時	それ以外
1 階居間系統	300kcal/h	200kcal/h
2 階居間系統	150kcal/h	100kcal/h

力が低下するため、換気量確保を目的として、各居室に設けた換気口を開放する条件とした。真夏には、さらに換気用の窓の連続的な開放を想定した。各時期の計算の諸条件の組み合わせ内容を**表 4.3.4** に示す。



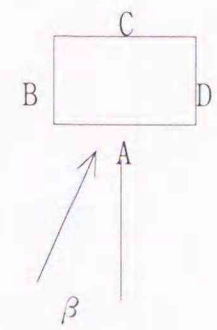
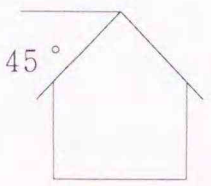

```
      開口 自室 隣室                    対応 :      開口 自室 隣室                    対応 :      開口 自室 隣室                    対応
      番号,番号,番号,開口面積,高さ ,番号 :      番号,番号,番号,開口面積,高さ ,番号 :      番号,番号,番号,開口面積,高さ ,番号
1F外壁    1  1 ,  5 ,.000300 , 0.70,  0 :2F外壁   28  2 ,  7 ,.000245 , 6.04,  0 :1F内壁   55  4 ,  1 ,.000300 , 3.64, 54
1F外壁    2  1 ,  5 ,.000300 , 1.68,  0 :2F外壁   29  2 ,  8 ,.000245 , 3.64,  0 :2F内壁   56  2 ,  4 ,.000245 , 3.64, 57
1F外壁    3  1 ,  5 ,.000300 , 2.66,  0 :2F外壁   30  2 ,  8 ,.000245 , 4.44,  0 :2F内壁   57  4 ,  2 ,.000245 , 3.64, 56
1F外壁    4  1 ,  5 ,.000300 , 3.64,  0 :2F外壁   31  2 ,  8 ,.000245 , 5.24,  0 :2F内壁   58  2 ,  4 ,.000245 , 4.44, 59
1F外壁    5  1 ,  6 ,.000429 , 0.70,  0 :2F外壁   32  2 ,  8 ,.000245 , 6.04,  0 :2F内壁   59  4 ,  2 ,.000245 , 4.44, 58
1F外壁    6  1 ,  6 ,.000429 , 1.68,  0 :土台部   33  3 ,  5 ,.000204 , 0.50,  0 :2F内壁   60  2 ,  4 ,.000245 , 5.24, 61
1F外壁    7  1 ,  6 ,.000429 , 2.66,  0 :土台部   34  3 ,  6 ,.000292 , 0.50,  0 :2F内壁   61  4 ,  2 ,.000245 , 5.24, 60
1F外壁    8  1 ,  6 ,.000429 , 3.64,  0 :土台部   35  3 ,  7 ,.000204 , 0.50,  0 :2F内壁   62  2 ,  4 ,.000245 , 6.04, 63
1F外壁    9  1 ,  7 ,.000300 , 0.70,  0 :土台部   36  3 ,  8 ,.000292 , 0.50,  0 :2F内壁   63  4 ,  2 ,.000245 , 6.04, 62
1F外壁   10  1 ,  7 ,.000300 , 1.68,  0 :階段壁   37  4 ,  8 ,.000129 , 0.70,  0 :2F扉部   64  2 ,  4 ,.024000 , 5.44, 65
1F外壁   11  1 ,  7 ,.000300 , 2.66,  0 :階段壁   38  4 ,  8 ,.000129 , 1.68,  0 :2F扉部   65  4 ,  2 ,.024000 , 5.44, 64
1F外壁   12  1 ,  7 ,.000300 , 3.64,  0 :階段壁   39  4 ,  8 ,.000129 , 2.66,  0 :1F開口   66  1 ,  4 ,.320000 , 0.90, 67
1F外壁   13  1 ,  8 ,.000300 , 0.70,  0 :階段壁   40  4 ,  8 ,.000129 , 3.64,  0 :1F開口   67  4 ,  1 ,.320000 , 0.90, 66
1F外壁   14  1 ,  8 ,.000300 , 1.68,  0 :階段壁   41  4 ,  8 ,.000105 , 3.64,  0 :1F開口   68  1 ,  4 ,.320000 , 1.30, 69
1F外壁   15  1 ,  8 ,.000300 , 2.66,  0 :階段壁   42  4 ,  8 ,.000105 , 4.44,  0 :1F開口   69  4 ,  1 ,.320000 , 1.30, 68
1F外壁   16  1 ,  8 ,.000300 , 3.64,  0 :階段壁   43  4 ,  8 ,.000105 , 5.24,  0 :1F開口   70  1 ,  4 ,.320000 , 1.70, 71
2F外壁   17  2 ,  5 ,.000245 , 3.64,  0 :階段壁   44  4 ,  8 ,.000105 , 6.04,  0 :1F開口   71  4 ,  1 ,.320000 , 1.70, 70
2F外壁   18  2 ,  5 ,.000245 , 4.44,  0 :排気筒   45  1 ,  9 ,.009000 , 8.00,  0 :1F開口   72  1 ,  4 ,.320000 , 2.10, 73
2F外壁   19  2 ,  5 ,.000245 , 5.24,  0 :給気口   46  3 ,  6 ,.004000 , 0.20,  0 :1F開口   73  4 ,  1 ,.320000 , 2.10, 72
2F外壁   20  2 ,  5 ,.000245 , 6.04,  0 :給気口   47  3 ,  6 ,.004000 , 0.20,  0 :1F開口   74  1 ,  4 ,.320000 , 2.50, 75
2F外壁   21  2 ,  6 ,.000350 , 3.64,  0 :1F内壁   48  1 ,  4 ,.000300 , 0.70, 49 :1F開口   75  4 ,  1 ,.320000 , 2.50, 74
2F外壁   22  2 ,  6 ,.000350 , 4.44,  0 :1F内壁   49  4 ,  1 ,.000300 , 0.70, 48 :1F床面   76  1 ,  3 ,.002400 , 0.70, 77
2F外壁   23  2 ,  6 ,.000350 , 5.24,  0 :1F内壁   50  1 ,  4 ,.000300 , 1.68, 51 :1F床面   77  3 ,  1 ,.002400 , 0.70, 76
2F外壁   24  2 ,  6 ,.000350 , 6.04,  0 :1F内壁   51  4 ,  1 ,.000300 , 1.68, 50 :壁通気   78  2 ,  3 ,.127400 , 3.64, 79
2F外壁   25  2 ,  7 ,.000245 , 3.64,  0 :1F内壁   52  1 ,  4 ,.000300 , 2.66, 53 :壁通気   79  3 ,  2 ,.127400 , 0.70, 78
2F外壁   26  2 ,  7 ,.000245 , 4.44,  0 :1F内壁   53  4 ,  1 ,.000300 , 2.66, 52 :
2F外壁   27  2 ,  7 ,.000245 , 5.24,  0 :1F内壁   54  1 ,  4 ,.000300 , 3.64, 55 :
```

図 4.3.14　基本システム

4) 風圧力の扱い

換気計算には風圧力を考慮する必要があることから、三角屋根の戸建住宅に対して風洞実験(APPENDIX-C)により求められた**表 4.3.5** の風圧係数を基に、**図 4.3.15** に示すような 16 方位の風に対する壁面の風圧係数を設定した。なお、測定値としての風圧係数の示されていない 22.5° 及び 67.5° の方位については、既往文献[4-7]に示されている各種の風圧係数分布状況を参考に、測定値を補間した。

表 4.3.5　風圧係数C

単独立地 屋根角45°												
			A			B			C			D		
	β		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	0°	1	0.68	0.76	0.73	-0.28	-0.74	-0.96	-0.37	-0.34	-0.37	-0.96	-0.74	-0.28
		2	0.64	0.73	0.65	-0.43	-0.81	-0.90	-0.38	-0.35	-0.39	-0.90	-0.81	-0.48
		3	0.44	0.62	0.50	-0.49	-0.76	-0.78	-0.36	-0.35	-0.39	-0.78	-0.76	-0.49
		4	0.49	0.66	0.51	-0.38	-0.66	-0.73	-0.37	-0.34	-0.39	-0.73	-0.66	-0.38
		5		0.05						-0.37				
	45°	1	0.50	0.31	0.14	0.02	0.44	0.62	-0.45	-0.45	-0.43	-0.23	-0.34	-0.23
		2	0.49	0.31	0.11	0.06	0.40	0.63	-0.42	-0.43	-0.44	-0.31	-0.34	-0.31
		3	0.45	0.28	0.07	0.03	0.34	0.54	-0.45	-0.42	-0.41	-0.31	-0.33	-0.31
		4	0.45	0.29	0.09	0.01	0.35	0.47	-0.47	-0.44	-0.43	-0.30	-0.33	-0.30
		5		-0.13						-0.51				
	90°	1	-0.63	-0.57	-0.37	0.57	0.74	0.57	-0.37	-0.57	-0.63	-0.15	-0.15	-0.15
		2	-0.65	-0.56	-0.23	0.53	0.70	0.53	-0.23	-0.56	-0.65	-0.14	-0.14	-0.14
		3	-0.66	-0.54	-0.22	0.42	0.62	0.42	-0.22	-0.54	-0.66	-0.12	-0.12	-0.12
		4	-0.69	-0.43	-0.17	0.36	0.63	0.36	-0.17	-0.43	-0.69	-0.10	-0.10	-0.10
		5		-0.51						-0.51				

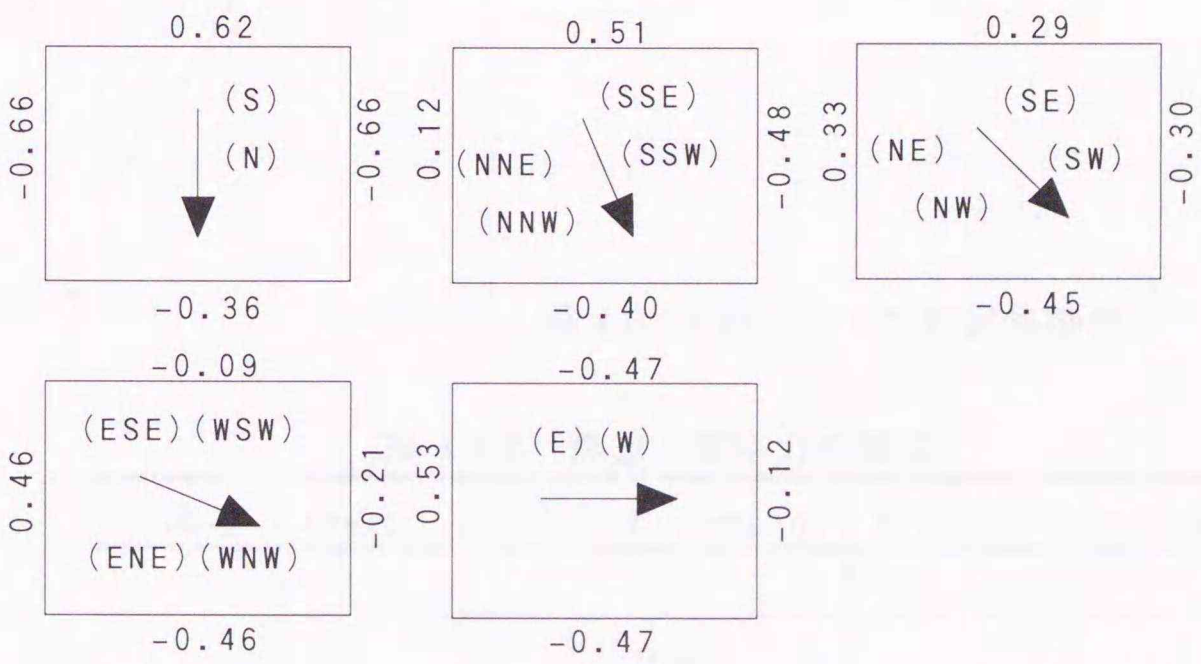
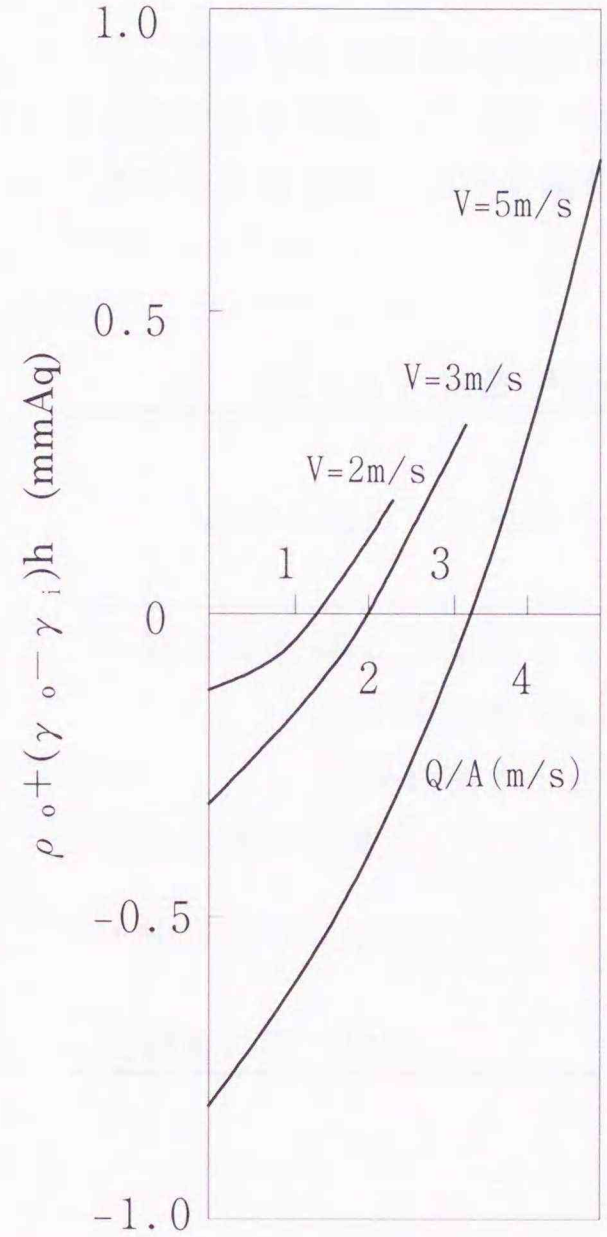


図 4.3.15 風圧分布の設定

風による排気筒の吸引効果を考慮するために、**図 4.3.16** に示す SC 型ルーフベンチレーター[4-5] の P=F(V,Q/A)特性曲線を基に、排気筒頂部の風圧係数を設定した。排気筒頂部の風圧力 P は、$P=C\cdot V^2\gamma/2g$ で表されることから、特性曲線により**表 4.3.6** のように与えられる風速 V と風圧力 P_0 の関係を基に、風圧係数 C を-0.52 と設定した。換気計算において、P=F(V,Q/A)特性曲線を 2 次式 $P_1=a(Q/A_0)^2-F_0$ で近似して扱う場合、(1)式の関係が成り立つことから、排気筒の断面積 $A(cm^2)$に対する換気計算上の開口面積 α A の α は約 0.9 と導き出される。



$P_1=a(Q/A)^2-F_0$ より　$Q=A\sqrt{(P_1+F_0)/a}$　(1)

換気式より　$Q\fallingdotseq\alpha\ A\cdot 4\cdot\sqrt{\Delta P}$

したがって、　$\alpha=1/(4\sqrt{a})$

ここに、

F_0　：Q/A=0 の時の基部全圧

ここでは $F_0=-P_0$

Q/A_0：P_1=0 の時の流速 (m/s)

a　：$F_0/(Q/A_0)^2$

図 4.3.16 排気トップの排気特性

表 4.3.6　風速と風圧力の関係

風速 V (m/s)	風圧力 P_0 (mmAq)	管内風速 Q/A_0 (m/s)
2	−0.13	3.2
3	−0.30	2.0
5	−0.81	1.3

5) 市街地における風圧力

一般に気象観測データの風速は、地上 10m/s 以上の高所で測られたものであり、周囲の建物の影響がないことが条件となっている。周辺に他の建物が存在する市街地においては、建物が受ける風速、風圧力は自ずと異なったものとなる。気象庁観測風速と一般市街地屋上風速の関係については、**表 4.3.7** のような知見が示されていることから、風圧力 $P=C\cdot V^2\gamma/2g$ に R なる係数(以降「風の影響係数」と称す)を乗じて、以下のような住宅の立地条件の違いを反映させるものとした。また、シミュレーション結果の考察に当って、簡単のため 3 種の周辺条件をそれぞれ、密集地、郊外、広濶地と表現する事とする。

特に密集した市街地（密集地）：R＝0.1　←$(0.3\ V)^2$
一般的な市街地　（郊　外）：R＝0.4　←$(0.6\ V)^2 \sim (0.65\ V)^2$
郊外の単独立地　（広濶地）：R＝1.0

表 4.3.7 気象庁観測風速と一般市街地屋上風速の関係

求める地点の立地条件	気象庁観測値に対して
一般市街地 特に密集地 1·2 階建て	0.3 ～0.6 倍
特に密集地 3.4 階建て 広場に面する建物 郊外に建つ建物	0.65～0.8 倍
一般市街の 5 階建て以上 広濶地に建つ建物	気象庁記録にほぼ同じ

(T.DICK、横井）建築気候より抜粋 [4-8)]

(3) 換気変動のシミュレーション結果と考察

1) 換気量の年間変動について

札幌における 1980 年 11 月 1 日～1981 年 10 月 31 日の年間換気量変動について検討する。対象とした床下空間を有する基礎断熱住宅では、基礎及び地盤部分の大きな熱容量が室温形成に大きく影響するため、室温変動の非定常解析を実施するに際して、事前に 1 年半の助走計算を行い、基礎及び地盤部の温度分布がほぼ周期的な定常状態に達してから、本計算に移行している。

図 4.3.17 に旬別平均の換気量と室温及び外気温の年間変動を示す。旬間平均の換気量では、11 月から 3 月の暖房期においては、多少の差異は見られるものの、周囲条件によらず、75～100m^3/h の換気量が確保されている。内外温度差が縮小する 4 月期には、周辺条件の影響が相対的に大きくなり、40m^3/h 程度の差が生じている。換気量としては、条件によって 50%以上の違いが生じる結果となり、4 月期は春･秋モードにするべき期間かも知れない。しかし、それでもほとんどの期間に 60m^3/h 以上の換気量が確保されており、少なくとも暖房期には、長期的に見て安定した換気量が確保されるといえよう。

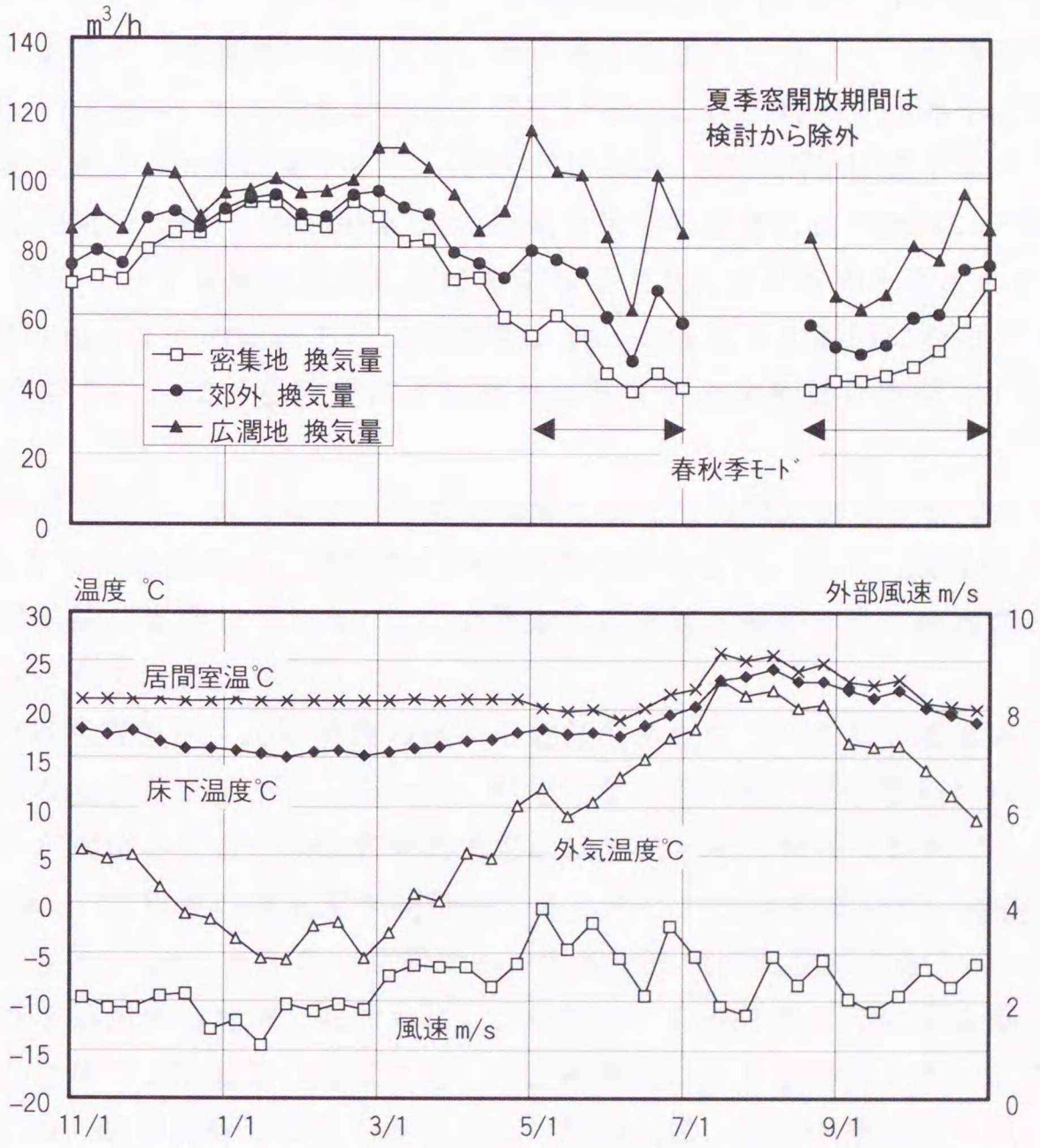


図 4.3.17 旬別平均の換気量と室温および外気温の年間変動

次に外壁の換気口を開放した春・秋モードの期間には、換気口を開放した条件にも関わらず、旬間平均で 40m³/h まで、換気量が低下する。基礎換気量としても不足するものと考えられ、窓開放を含めた生活対応や、換気装置の補助が必要とされる。現在一般に使用されている壁面の換気口は、ほとんどの場合、密閉性の高い閉鎖機構を持っており、開放時の有効開口面積も 10(cm²/個)程度と小さい。また、換気口の増設は、保守や外壁の耐久性保持、などの面から好ましくないことなどから、排気筒や床下給気管の増設および性能向上を図る必要があると考えられる。夏期の窓開放時には、図中には示すことのできない 200m³/h をこえる換気量となり、開放型住居としての対応が必要で、本章で取り上げるパッシブ換気とは異なる考え方が必要である。

それぞれ 150mm ϕ の給排気管の設置による単純なシステムであるが、旬別平均という長期的な検討からは、十分安定した換気量を得ることが可能なことが示された。また、換気時の床下温度については、床下を一室として扱うため、最低温度で 15℃を維持しており、給気予熱としては十分な温度である。

2) 換気量の日変動

図 4.3.18、19 はそれぞれ、冬季および春季の換気量の日変動を、強風日を含む 1 週間について示したものである。まず、室内外温度差が 25 から 30deg に達する厳寒期の結果であるが、密集地の条件では、外部風の変動にはほとんど影響を受けず、安定して 80～100m³/h の換気量が確保されている。これに対して郊外や広濶地の条件では、外部風速が 8m/s に達すると、それぞれ 180、250m³/h に達する。しかし、台所ファンを使用する時に 600m³/h もの換気を生じることと比べれば、一時的に換気量が 2、3 倍になっても室内環境に及ぼす影響は大きくないものと考えられる。また、外部風速が 4m/s までの範囲では、換気量は 150m³/h 以下の範囲になっており、相当な強風条件でなければ、温度差による重力差換気が全体換気を支配しているといえる。

また、中間の図は、広濶地での排気筒風量と住宅全体換気量の変動である。外部風速が 4m/s までの範囲では、排気筒への排気集中が著しい。また、強風時でも約 70%の排気が排気筒に集中しており、ここで提案する換気方法が十分に制御された換気としてみることができる。

次に、内外温度差が、10℃前後の春季の換気量変動については、温度差の縮小に伴って定常的な換気量が低下し、50m³/h 程度となっている。この季節には外部風によるサポートが期待されるが、住宅密集地ではほとんどその効果は期待できない。強風時には、100m³/h 程度の換気量が期待できるものの、出現頻度の高い 4m/s 以下の風速では、温度差が 10℃と小さい期間でも、温度差換気の影響が大きくなってしまう。恒常的に外部風がある地域でなければ、この期間でも内外温度差による重力差換気が換気動力の主体で、換気量の確保に対して、外部風に大きな期待を寄せることはできない。むしろ、暖房負荷のほとんど生じない時期には、余得の換気量を風によっても得る事ができると捉えるべきであろう。

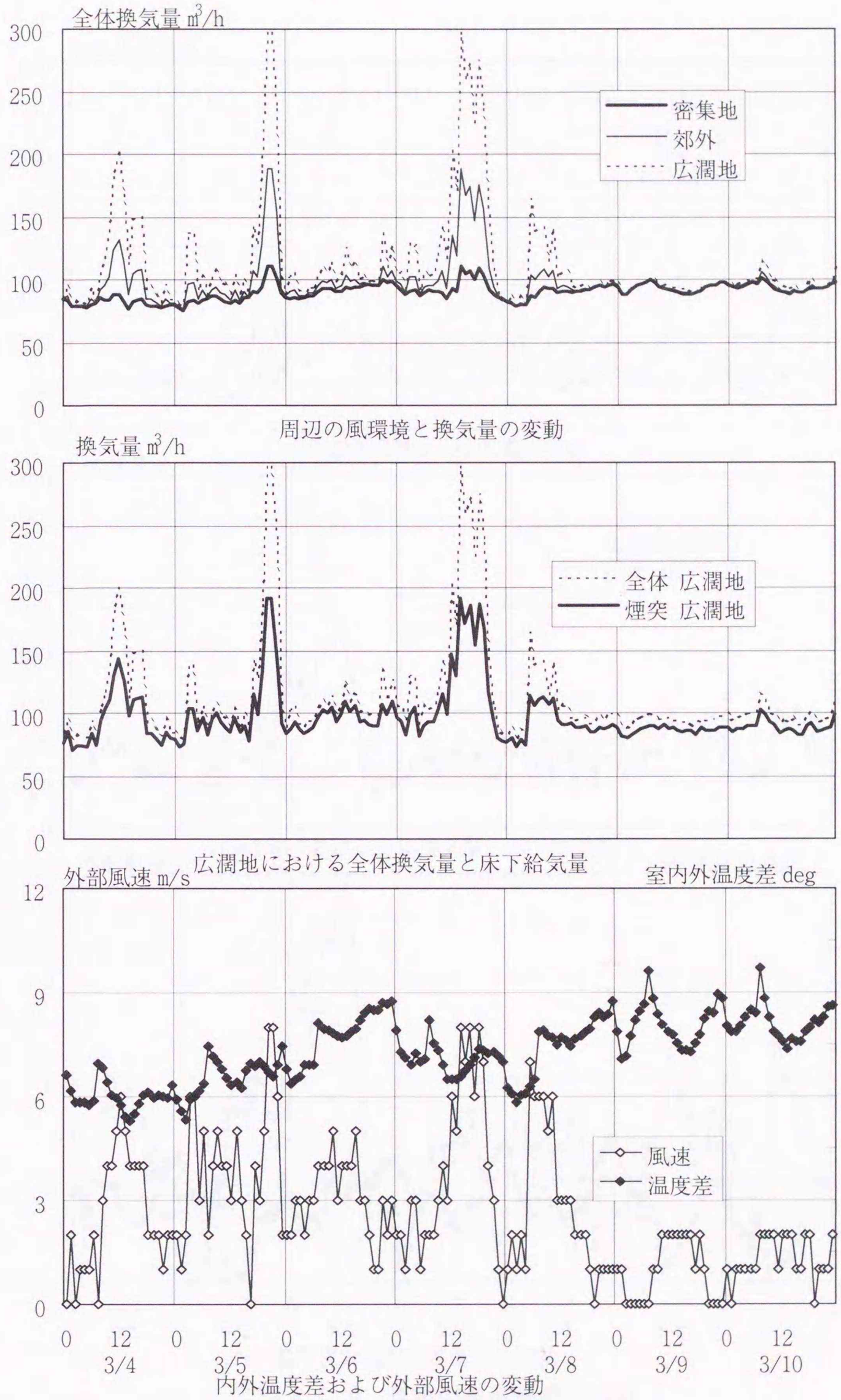


図 4.3.18　冬季の換気量の日変動

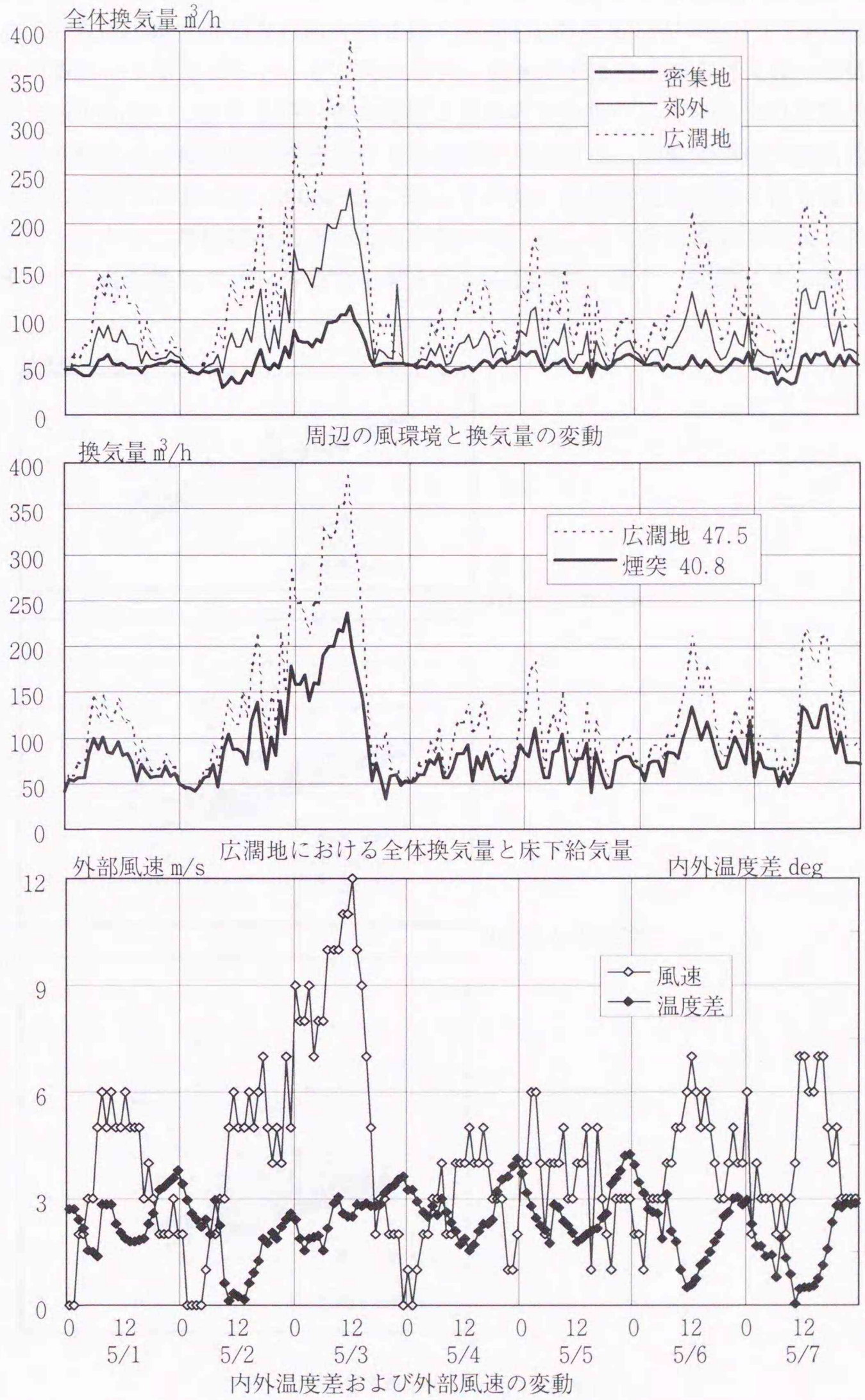
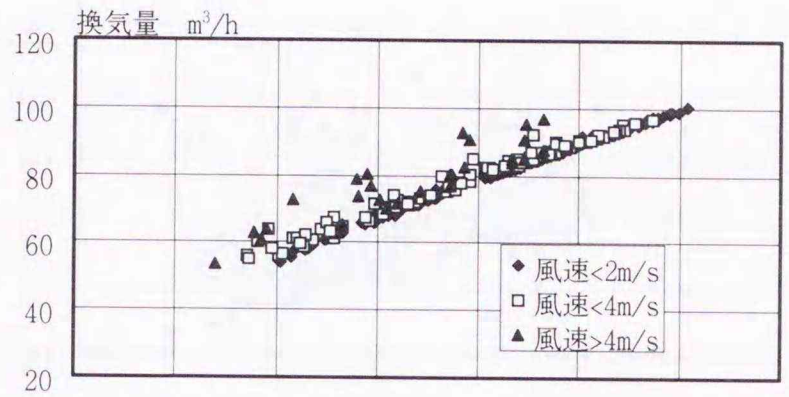
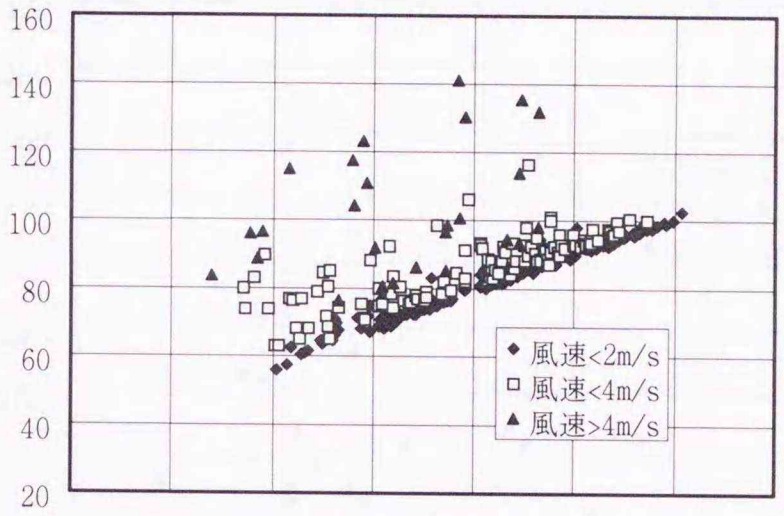


図 4.3.19　春季の換気量の日変動

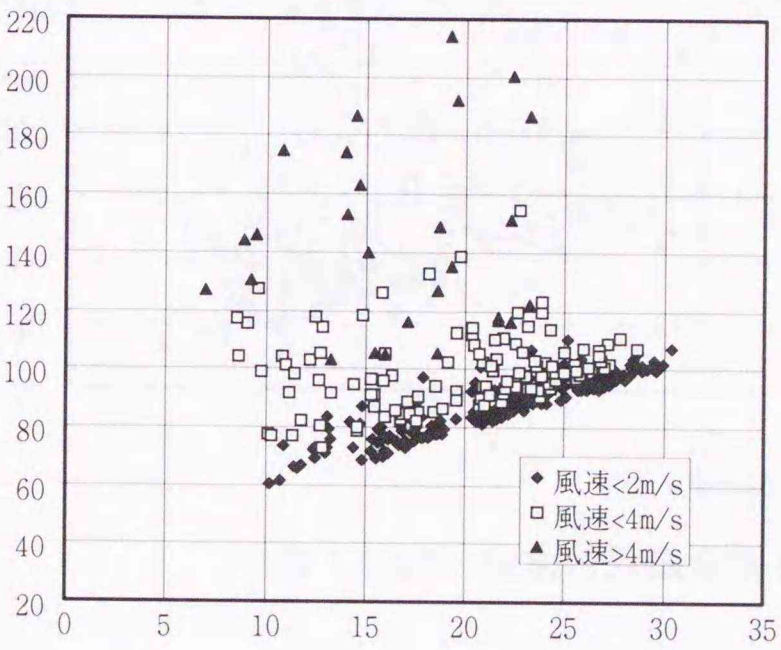
次に**図 4.3.20、21** はそれぞれ、冬季および春秋季の換気量と内外温度差の関係である。冬季には換気量が内外温度差に強く依存し、外部風速が 4m/s までの範囲では、周辺の条件による差はほとんど見られない。風速がそれ以上の条件では、郊外の条件で最大 200m³/h に達するが、その頻度はきわめて少ない。壁面換気口を開放した条件の春秋期には、相対的に外部風による影響が増大する。強風時の最大換気量については、広濶地では最大で 350m³/h に達しており、過剰換気を指摘されることも考えられる。しかし、暖房期を過ぎたこの期間には、むしろ十分な換気を実現することが望ましく、台所換気ファンの能力を超えない範囲では、決して問題にする性状ではない。



(a) 住宅密集地

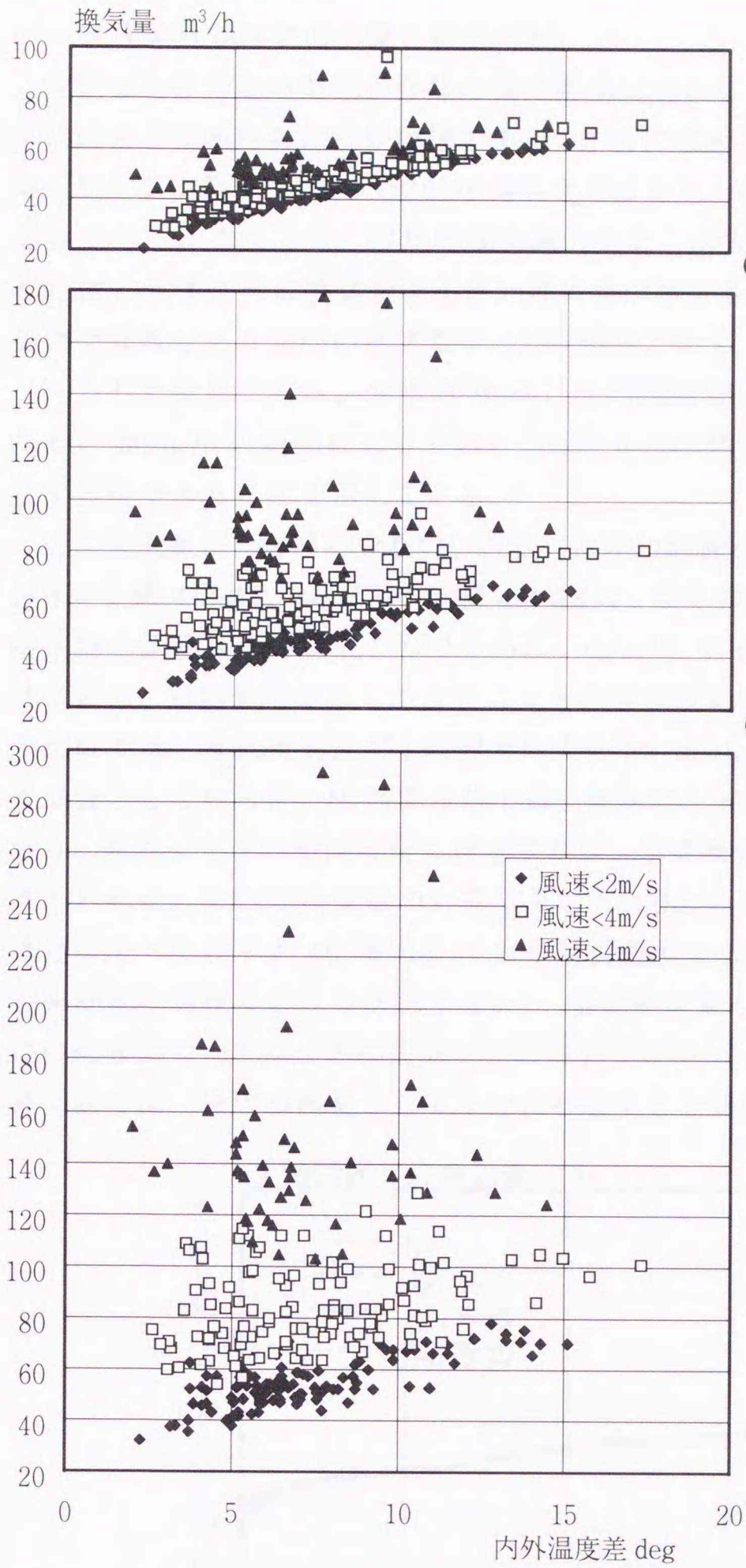


(b) 郊外住宅地



(c) 広濶地

図 4.3.20　住宅内外温度差と換気量 (暖房期間)



(a) 住宅密集地

(b) 郊外住宅地

(c) 広濶地

図 4.3.21　住宅内外温度差と換気量 (春秋季)

3) 年間換気量充足度の検討

i) 一般住宅地条件での冬季の換気性状

安定した換気量の確保が命題の機械換気にたいして、自然換気では変動の許容とそれに対する積極的な評価が課題である。住居に求められる換気量の充足度を検討する時、パッシブ換気では、一時的な過不足ではなく、ある時間の平均値で判断する事が必要である。ここでは、平均時間の取り方と、換気量の充足度を検討するため、**図 4.3.22** に示すような換気量を小さい順に並べ替える、ソートの作業を行った。郊外の条件で計算した冬季間の換気量を、1時間および3、6、12、24時間平均値について、ソートした結果である。全体の 90%以上の時間帯に換気量が基礎換気量の目標とした 60～90m^3/h の範囲に入っており、ほとんどの期間に、平均時間によらず基礎換気量を実現できることを示している。

次に換気量が、極端に少ない、あるいは多い時間帯 240 時間分についてソートした結果を、**図 4.3.23、24** に示す。**図 4.3.23** は、最も換気量の低下が著しいと思われる、密集地の低換気量時間帯のものである。60m^3/h を確保できない時間数は 160 時間程度に達し、旬間平均で示したように4月の換気量低下の影響と考えられる。平均時間の比較では、最低換気量が1時間平均で約 30 m^3/h、6 時間平均では約 40m^3/h 程度まで低下しているが、12 時間平均では、最低でも 55m^3/h を確保できる結果となっており、換気モードの期間設定に配慮すれば、基礎換気量を満足することは十分可能と考えられる。また、1時間毎の計算結果でも、60m^3/h 以下となる時間は 12 時間平均の場合に比べてわずか 40 時間多い 200 時間程度となっており、極端に換気量が少ない時間が長時間続くような状況ではない。基礎換気量として 12 時間平均で評価することの是非については、更に議論を深める必要があろうが、変動を積極的に評価する立場に立てば、住居の換気として十分に許容できる範囲と考えたい。

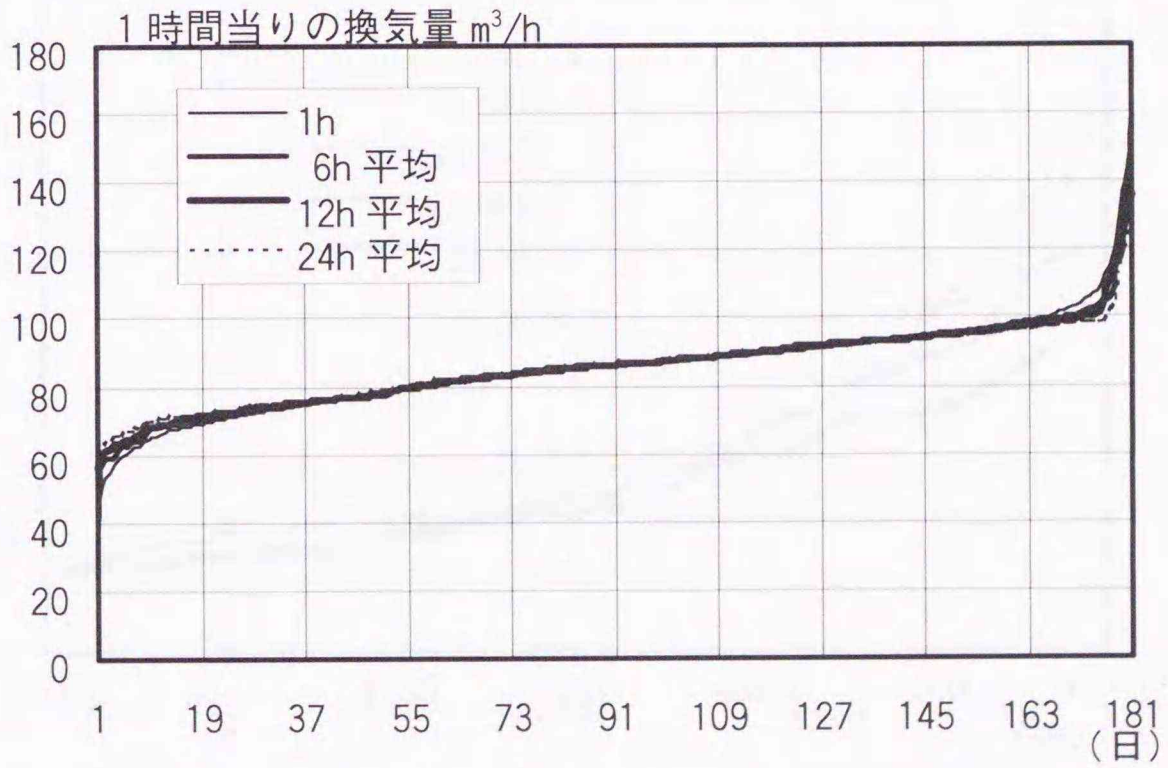


図 4.3.22　時間平均換気量のソート結果の例

図 4.3.24 は、最も換気量が増大すると考えられる広濶地の高換気量時間帯のものである。時間平均では、最大 350m³/h にも達するが、12 時間平均では、最大 200m³/h 程度になっている。前述のように短時間の換気量として 350m³/h は決して極端に多量な換気量ではなく、まして半日単位で見れば最大でも 200m³/h で、住居の換気量としては、十分に適正な換気量の範囲に入っているといえよう。

また、換気の充足度を検討するための平均時間の取り方についてであるが、1 時間毎の換気量で、極端に換気量が多いか少ない時間は限られており、12 時間平均と 24 時間平均では、大きな差は無い。これらの結果から住居の自然換気の評価には、12

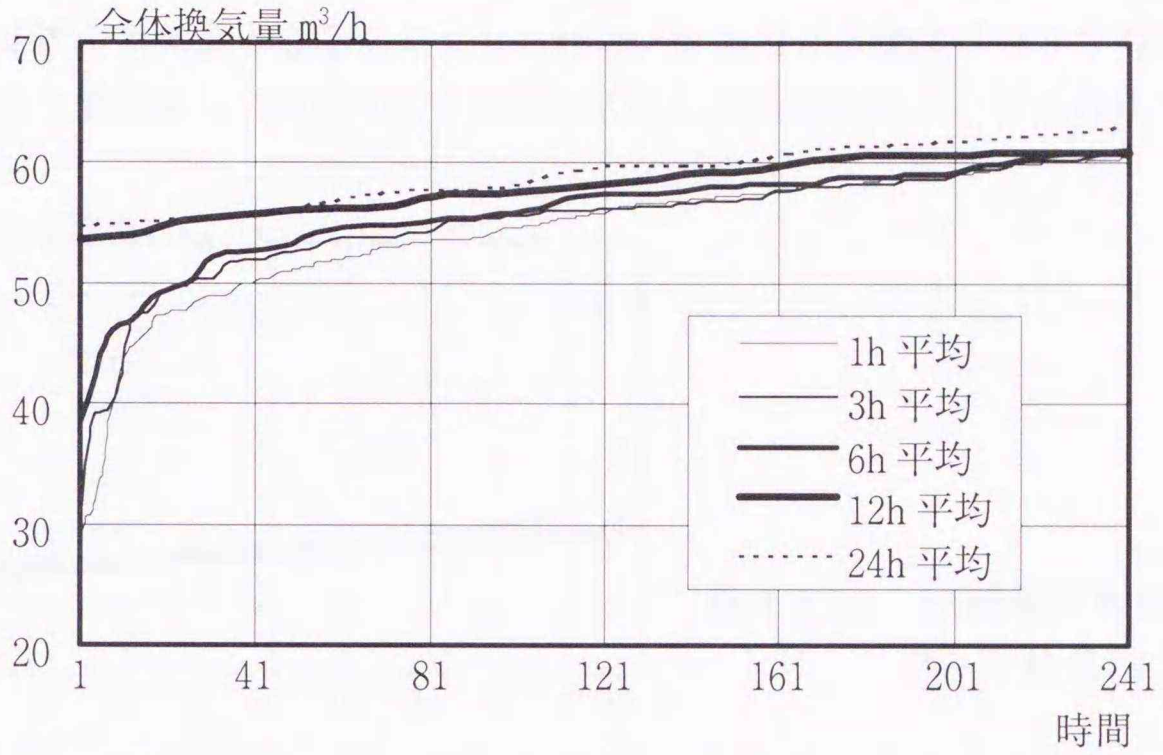


図 4.3.23　住宅密集地の低換気量時間帯ソート結果

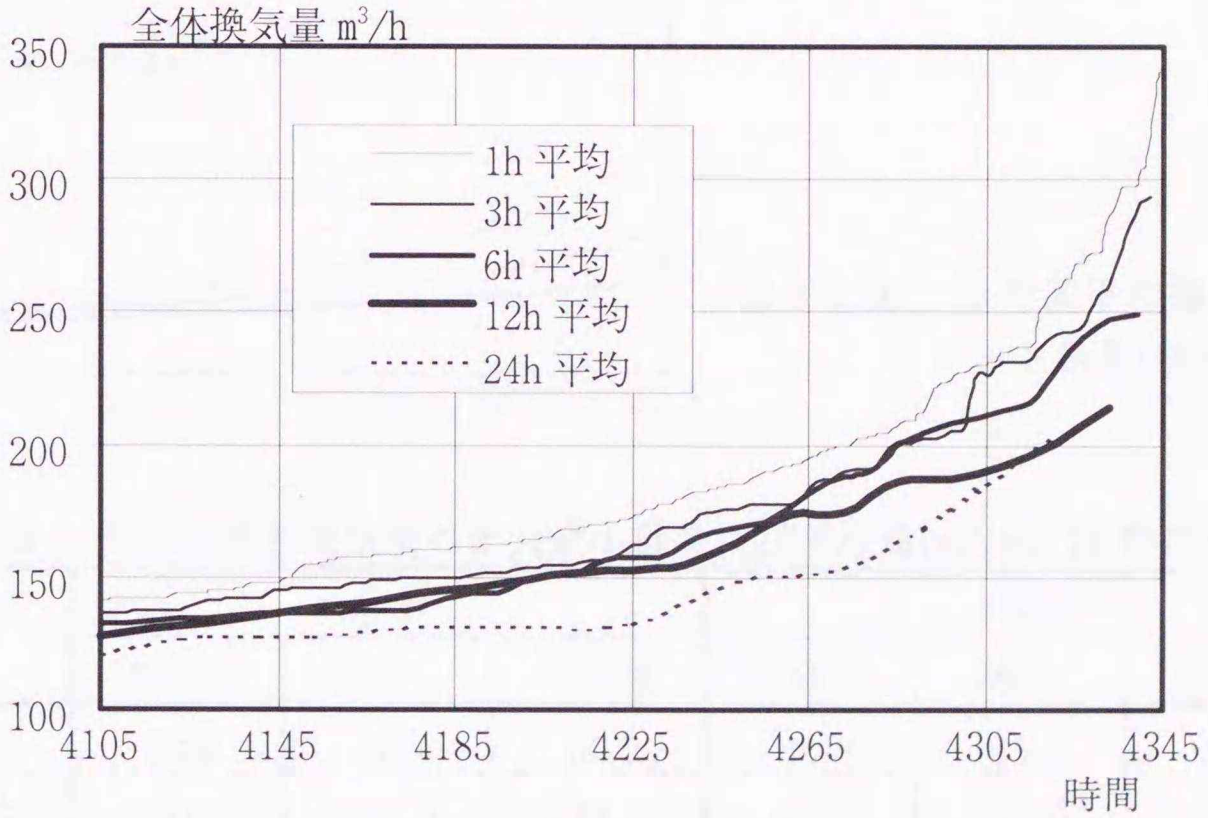


図 4.3.24　広濶地の高換気量時間帯ソート結果

時間平均程度程度で許容の範囲と見ることは妥当と考える。

ii) 周辺環境の影響

外部風速が換気量に及ぼす影響は、建物を取り巻く周辺環境に大きく左右される。周辺環境の違いが換気量に及ぼす影響について検討する。

図 4.3.25、26 は、冬季および春季について、12 時間平均の換気量をソートした結果である。冬季については、周辺環境の影響は比較的小さい。 **表 4.3.8** は、各期の最大最小および平均換気量である。冬季の平均換気量は、広濶地で住宅密集地の場合より、15m³/h 程度大きな値となっているが、過剰といえるような増加ではない。大きく異なるのがわずかな期間であるが極端に換気量が増大する時間帯で、広濶地で密集地に比べて 2 倍の換気量となる。しかし、150m³/h を超える換気量を示す時間は、延べ約数日で最大換気量も 200m³/h をわずかに超える程度である。郊外条件では更にそ

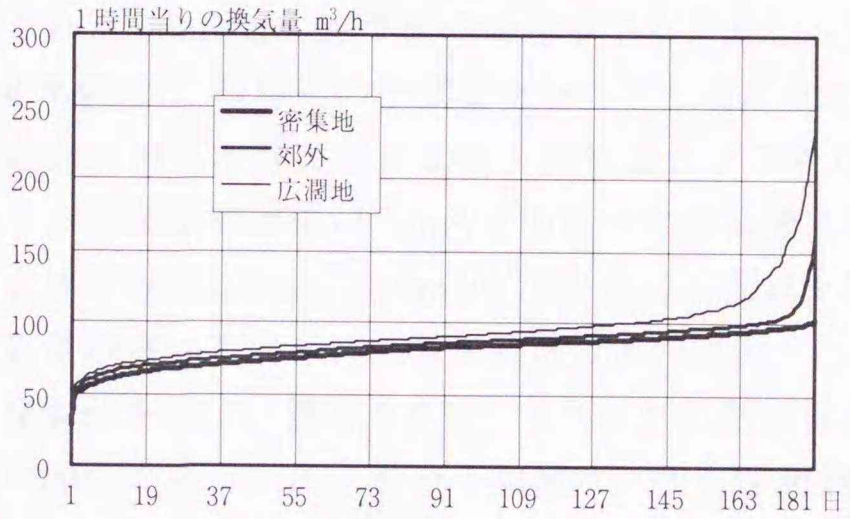


図 4.3.25　12 時間平均換気量のソート結果(冬季)

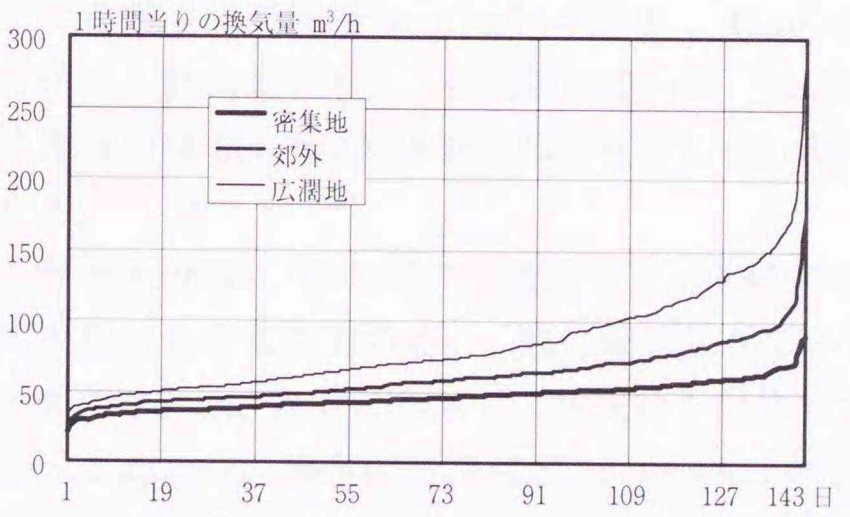


図 4.3.26　12 時間平均換気量のソート結果(春秋季)

表 4.3.8 周辺環境と換気量の最大最小値および平均値(m³/h、12 時間平均)

	冬季			春秋季		
	密集地	郊外	広濶地	密集地	郊外	広濶地
最小	53.6	56.0	60.2	20.8	25.5	32.5
最大	100.7	140.9	214.3	97.1	178.0	291.5
平均	80.6	85.8	95.6	46.8	61.6	83.8

の違いが小さく、密集地との違いはごくわずかである。

次に、壁面の換気口を開放した春秋期を検討したところ、その差が著しく現れる。平均値では、郊外、広濶地それぞれの条件で、住宅密集地の条件の換気量に比べて1.5、2倍になっている。絶対的な換気量として、住宅密集地の場合に換気量が不足することが示されており、必要に応じて十分な換気量が得られる換気対応が必要なことを示している。

iii) 建物の気密性能が換気量におよぼす影響

住宅の自然換気量は、当然の結果として建物自体の気密性能に大きく影響される。前項まで高い気密性を前提として、解析を進めてきたが、建物自体の気密性能が異なる場合の換気量について以下に考察する。

設定した気密性能は、相当隙間面積で 1 および 2、5cm²/m²である。今後予想される寒冷地での気密性能基準は、2cm²/m²程度と考えられる。新省エネルギー基準で示された 5cm²/m²の基準値の場合までを考慮し、気密性能の影響について検討した。**図 4.3.27** は、暖房期の換気量をソートした結果である。周辺環境は郊外の条件である。建物の相当隙間面積による、換気量および変化の範囲の違いは共に明確に現れている。相当隙間面積が 1cm²/m²の場合の換気量に対して、2 cm²/m²の場合には極端な増大は見られないが、5 cm²/m²の場合には大幅な増加を示す。また、変化の範囲も、換気量の違いと同様に、隙間相当面責の増大とともに拡大し、5 cm²/m²の場合には大きな変化を示す。**表 4.3.9** は、それぞれの気密性能での、換気量の最大、最小値および平均値である。換気量の平均値は、相当隙間面積 1cm²/m²の場合に対して、2cm²/m²では 20%程度の増加であるが、5cm²/m²の場合には、約 2 倍に増加する。また、最大値では相当隙間面積 5cm²/m²の場合に、1cm²/m²の場合の 2.5 倍に相当する 300m³/h を超えた換気量を示す。換気量の違いは、隙間からの漏気量の違いを現しており、相当隙間面積 5cm²/m²の場合には、意図しない漏気が、換気の主体となることを示している。

図 4.3.28 は、春秋期の換気量のソート結果である。この期間は壁面の換気口 5 箇所を開放した条件である。一般に販売されている換気口の有効開口面積は、有効開口面積で 15 cm² 程度と小さく、換気口を開放しても、換気量の増加はあまり大きくない。このため、相当隙間面積が 1、2cm²/m²の条件では、換気量が 60 m³/h を下回る期間がそれぞれ 60 および 30%に達する。暖房負荷のほとんどない期間には、エネルギー消費の増加など換気量の増大による問題は、ほとんど生じない。居住者にとって換気量はできるだけ多い事が望ましいことは自明であるから、できるだけ多量の換気を行える対応を工夫する事が、パッシブ換気の春秋期の課題である。

iv) 冬季間の給排気の集中度

自然換気とパッシブ換気を区別するものの一つが、換気経路の制御であるとすれば、パッシブ換気時の給排気の制御が重要な視点である。各室への空気分布を考慮すれば、給排気の集中度合いがその成否を左右する。**図 4.3.29** は、冬季の換気量と給

排気管の風量を換気量でソートした結果である。相当隙間面積が、2cm²/m²までの範囲では、給排気共に換気量の80%以上が給排気管に集中しているが、5cm²/m²の条件では、50%以下にとどまる。計画換気を意図しようとするならば、相当隙間面積で2cm²/m²程度までに機密性能を向上させなければならないことがわかる。

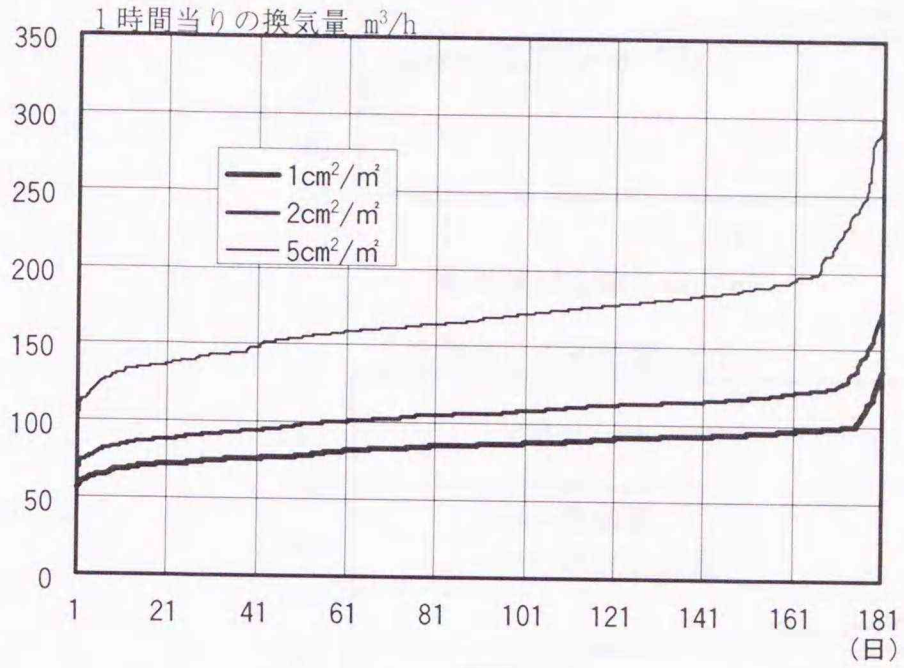


図 4.3.27
建物の気密性能と換気量
(暖房期の換気量のソート結果)

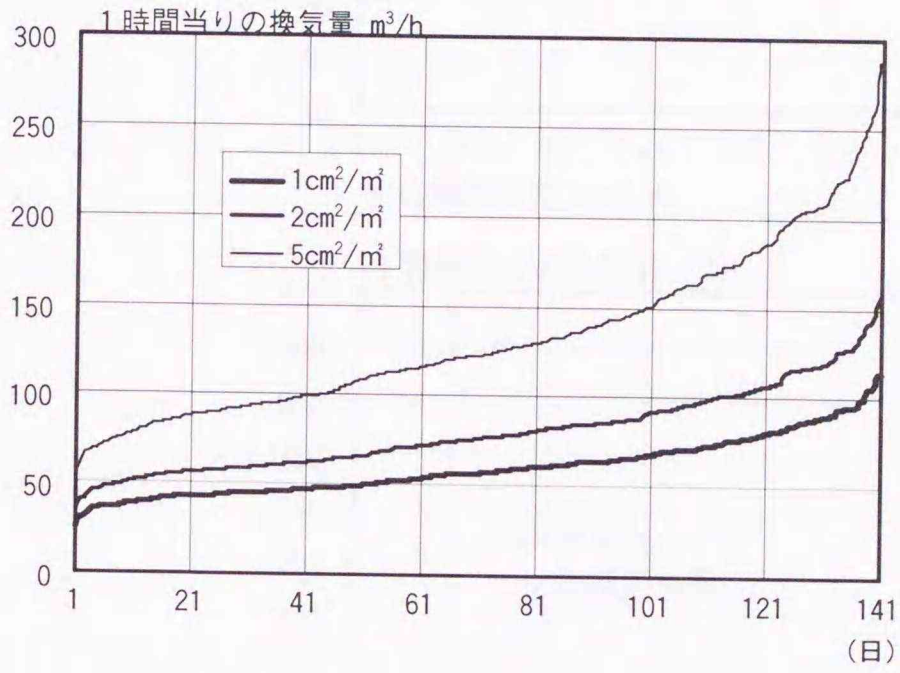
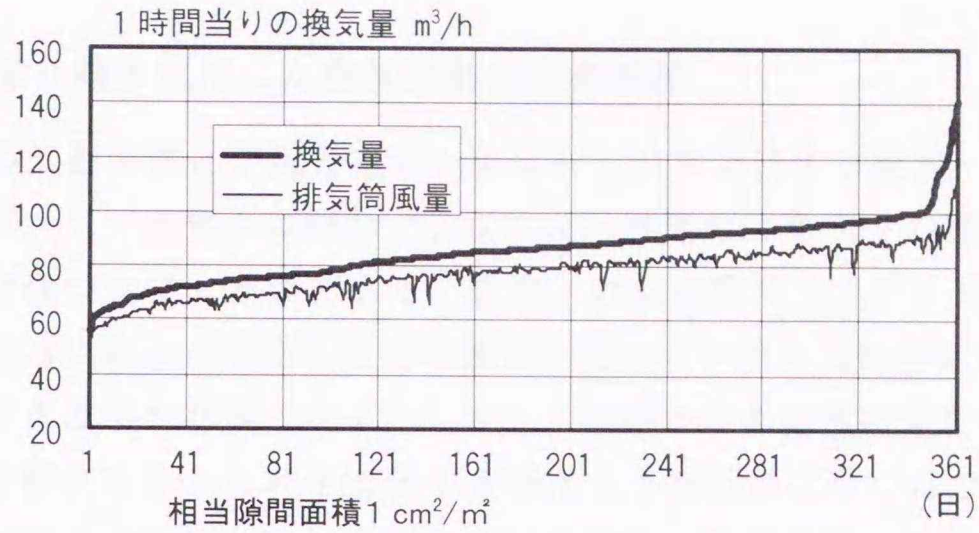
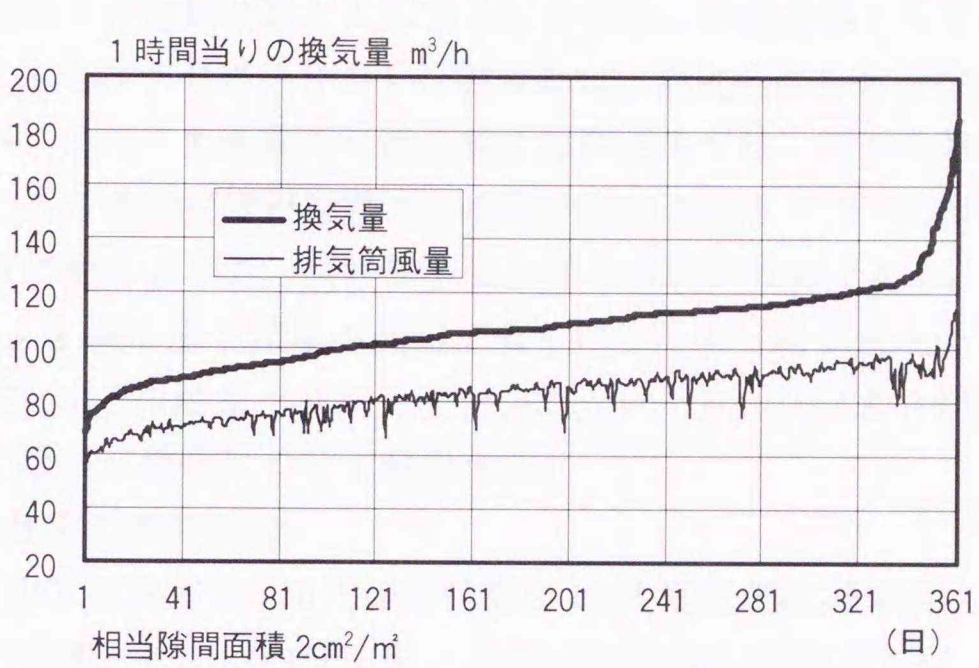


図 4.3.28
建物の気密性能と換気量
(春秋季の換気量のソート結果)

表 4.3.9 建物の気密性能と換気量の最大最小値および平均値(m³/h、12時間平均)

	冬季			春秋季		
	相当隙間面積 1 cm²/m²	相当隙間面積 2 cm²/m²	相当隙間面積 5 cm²/m²	相当隙間面積 1 cm²/m²	相当隙間面積 2 cm²/m²	相当隙間面積 5 cm²/m²
最小	56.0	67.6	103.8	25.5	34.3	55.3
最大	135.6	175.5	305.7	114.5	158.4	287.4
平均	85.8	106.8	170.0	61.6	82.1	136.7





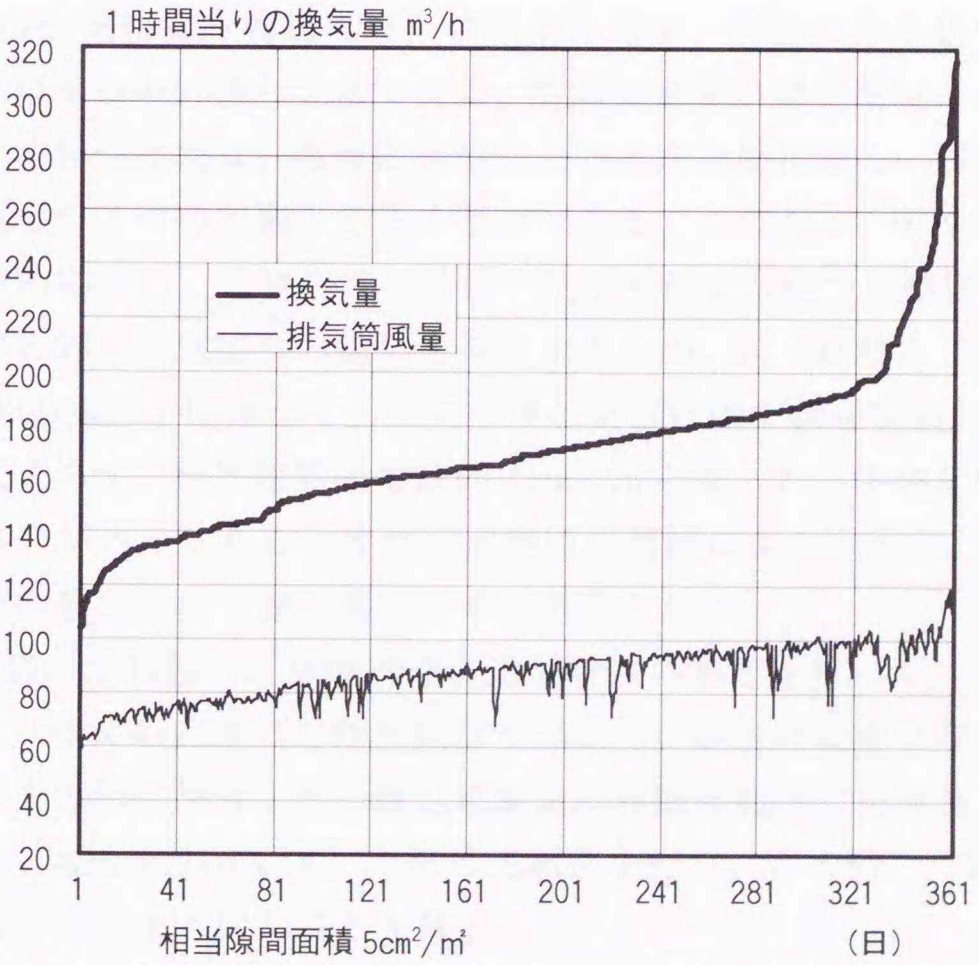


図 4.3.29 冬季の換気量および給排気管の風量(換気量でソートした結果)

4.3.4 間仕切り壁を利用した空気搬送方法の検討

—住宅各部の気密特性と空気分布のシミュレーションによる検討—

機械換気かパッシブ換気かは問わず、取り入れ外気の住宅内での搬送が、住宅全体の換気を良好に保つ上で、重要である。従来、外気の取り入れは、自然給気の場合、壁面の自然換気口に頼ってきた。住宅の換気にとって、取り入れ外気が必要な空間に安定して給気できる事が必要である。しかし、壁面からの自然給気では、煙突効果や外部風による影響により、これを実現する事はそう容易なことではない[4-9)]。

基礎断熱した床下を空気の取り入れ口とした場合、住宅全体としては、換気量の変動があっても、住宅内での空気分布を考慮すれば、換気経路自体が影響を受ける恐れはほとんど無い。また、北海道の木造在来工法の住宅では、床下空間は間仕切り壁を通じて天井ふところ空間や屋根断熱の小屋裏空間に連続しており、間仕切壁の中空部分を空気の搬送に使うことで、良好な空気分散の実現が可能である。

本項では、**4.3.2 項**で床下環境の長期実測を行った床下給気住宅を対象に、各部の気密特性の測定と、その結果を利用して、シミュレーションにより間仕切壁内通気を利用した空気分散の可能性について検討する。

(1) 実測による住宅の気密特性

住宅内部で、床下や天井懐、間仕切壁内部など(非居住空間)を利用しようとすれば、室内とそれらの空間を仕切る内壁や床、天井の内装部位(建物内被)と、非居住空間と外気を仕切る断熱･気密層（建物外被）の気密性能を、個別に知る必要がある。実測した住宅は、在来木造の外張り工法である。断熱気密層が構造軸組みの外側に設けられているため、非居住空間は、温湿度環境の上で室内空間に属し、間仕切壁や外壁を経由して、連続した１つの空間と考える事ができる。このため、床や天井の点検口を利用して、比較的明快に、建物内被と外被の気密性能を測定する事が可能である。

まず建物内被と外被の気密性の違いを検討するため、床下点検口２カ所、天井点検口１カ所(各 1,600cm^2)を開閉して、住宅全体の気密性能を数回実施した。この結果、点検口の開閉によらず、相当隙間面積は約 1cm^2/m^{2}となった。住宅全体の気密性としては、非常に高いレベルにある。また、点検口の開閉による差が生じなかったのは、外被の気密性が内被に比べて相当高いためと考えられる。

次に、２階の個室を対象に、建物内被の通気特性の測定を行った。測定の対象とした部屋を除いて、全ての点検口と外壁開口を開放し、測定対象室を取り巻く居室、非居住空間すべてを外気に開放した。測定対象室の界壁扉部分に送風機を取り付け、住宅の気密測定法（APPENDIX-A）に準じて測定を行い、この時、二階の天井裏および天井懐の圧力が外気圧と同じことを確認した。

測定は加圧法と減圧法により行い、シミュレーションには、その平均値を用いることとした。測定結果から分析した各部の通気特性は、**表 4.3.10** のとおりである。

(2) シミュレーションの概要

高い気密性を有する住居内の空気の流れは、外気条件との関係によって動的に変動する全体換気と異なり、大きな変化を生じない静的な流れとなると考えられる。このため、各部の条件設定による換気のデザインを検討する場合、定常による静的な換気解析が有効であると判断した。本項では、換気回路網法（APPENDIX-B）による換気経路の検討を行う。

図 4.3.30 に計算モデルを示す。計算は、居間と 2 階を含む 1 室と 2 階の個室の室内 2 室、それに床下、天井懐、小屋裏を加えた 5 室で行った。外部風は考慮していない。計算に使用した各部の気密特性を、**表 4.3.11** に示す。建物外被の隙間は、床下、1F、2F、小屋裏で、4 分割し、床下と小屋裏はその中央高さレベルに集中してあるものとした。換気経路の設定のため、2F 個室床には、有効開口面積 210cm^2 の開口を設けている。また排気は、台所ファンとトイレファン 1 台の連続使用で、100m^3/h を設定している。各部の温度は 1 月の実測結果の平均値で、計算モデルに示すとおりである。

表 4.3.10 各部の気密性能の測定結果

		相当隙間面積 cm^2/m^2	通気率 m^3/m^2 hmmAq	通気特性値 n
住宅全体		1.1	1.6	1.2
内被	減圧	4.8	6.9	1.6
	加圧	4.0	5.7	1.4
	平均	4.4	6.3	1.5

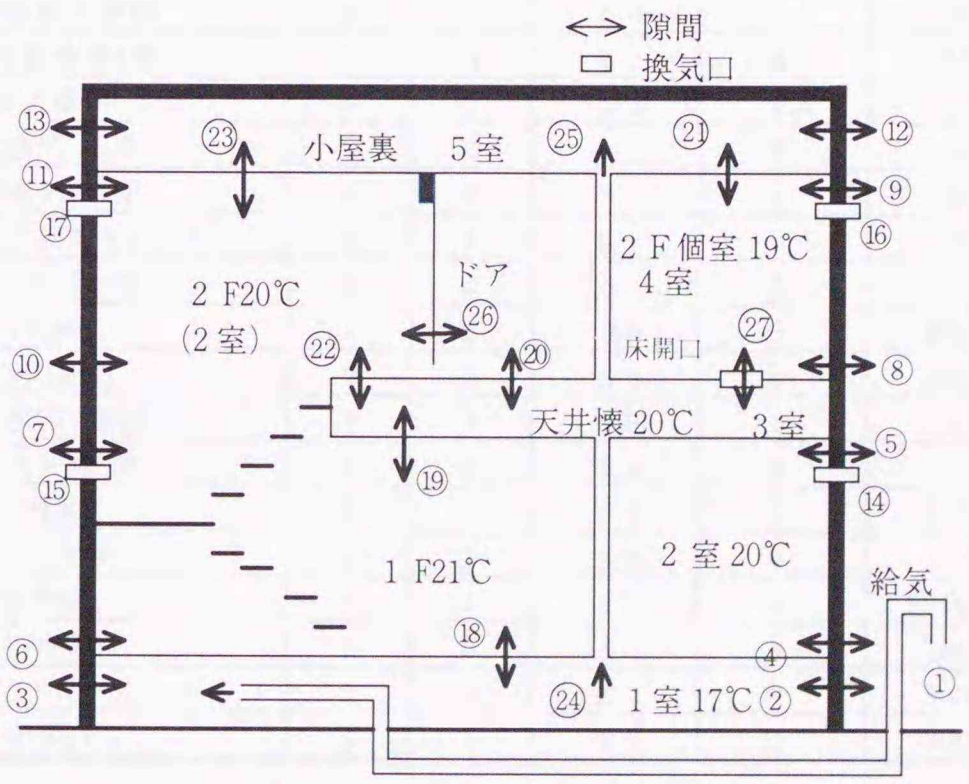


図 4.3.30 計算モデル

(3) 換気経路構築の可能性の検討

ここで意図する換気経路は、床下に給気された外気が、間仕切り壁の中空部分を通じて天井懐や小屋裏空間に流れ、隙間や設定した開口を通じて室内に給気される流れである。測定した住宅の場合、建物外被の隙間から内被との間に流入する外気は、すべて有効な新鮮給気となり、建物内被と外被の間の非居住空間が、すべて給気チャンバーの役割を担う。強制排気でも自然換気でも基本的な空気の流れは同じである。ここで、換気経路構築の要点は個室の換気特性である。居間や台所など主要な換気経路にあって占有面積の大きな空間については、建物内被の隙間も多いため、住宅全体として基礎換気量が保たれていれば、自動的に個々の空間の基礎的な換気は満足される。しかし、空気の流れの最も上流側に位置する事が望ましい各個室は、一般に住宅全体に対する面積比率が小さく、相対的に内被の隙間量も小さいため、非居住空間からの給気を意図的に作る対応が必要である。

そこで、本項では、2階個室の換気特性を中心に、建物の気密特性と換気経路につ

表 4.3.11 計算に使用した各部の気密特性

番号	部　　位	室番号		隙間位置		通気率	通気特性
		室名1	室名2	1室	2室	$m^3/hmmAq$	n
1	床下給気管 155mm	0	1	0.3	0.3	70	2
2	床下外被隙間(西)	0	1	0.3	0.3	29.6	1.2
3	床下外被隙間(東)	0	1	0.3	0.3	29.6	1.2
4	1F 外壁隙間床面(西)	0	2	0	0	16.6	1.2
5	1F 外壁隙間天井面(西)	0	2	2.4	2.4	16.6	1.2
6	1F 外壁隙間床面(東)	0	2	0	0	16.6	1.2
7	1F 外壁隙間天井面(東)	0	2	2.4	2.4	16.6	1.2
8	2F 個室外壁隙間床面	0	4	0	0	4.8	1.2
9	2F 個室外壁隙間天井面	0	4	2.4	2.4	4.8	1.2
10	2F 外壁隙間床面	0	2	3	3	16.7	1.2
11	2F 外壁隙間天井面	0	2	5.4	5.4	16.7	1.2
12	小屋裏外被隙間(西)	0	5	0.3	0.3	29.6	1.2
13	小屋裏外被隙間(東)	0	5	0.3	0.3	29.6	1.2
14	1F 自然換気口(西)	0	2	2	2	15	2
15	1F 自然換気口(東)	0	2	2	2	30	2
16	2F 個室自然換気口(西)	0	4	2	2	15	2
17	2F 自然換気口(東)	0	2	5	5	30	2
18	1F 床回り隙間	1	2	0.6	0	290	1.5
19	1F 天井回り隙間	2	3	2.4	0	290	1.5
20	2F 個室床回り隙間	3	4	0.6	0	41.4	1.5
21	2F 個室天井回り隙間	4	5	2.4	0	41.4	1.5
22	2F 床回り隙間	1	3	0.6	3	143	1.5
23	2F 天井回り隙間	2	5	5.4	0	143	1.5
24	1F 間仕切り壁	1	3	3	0	1019	2
25	2F 間仕切り壁	3	5	3	0	735.9	2
26	2F 個室ドアアンダーカット	2	4	3	0	300	2
27	2F 個室床開口	3	4	0.6	0	300	2

いて検討した。**図 4.3.31** は、2F 個室の天井懐からの給気量を、建物外被と内被の相当隙間面積をパラメーターにして示したものである。値がマイナスになるのは、空気の流れが逆転して、個室から天井懐への空気の流れが生じることを示している。建物外被の気密性能による影響は比較的少ないが、建物内被の気密性能による影響は顕著である。空気導入のために設けた床開口に対して、建物内被の相当開口面積の割合が直接影響するため、当然の結果である。

実測による建物内被と外被の相当隙間面積が、それぞれ約 6、1cm² /m²なので、実測住宅の個室への給気量は、約 15m³/h となる。この結果、この住宅程度の気密性を実現すれば、天井懐空間から 2 F 個室への給気を図る事が、十分可能なことがわかる。次に**図 4.3.32** は、同じく建物外被と内被の気密性をパラメーターにして、隣室への風量を示したものである。値がマイナスになると個室から隣室への空気の流れが生じていることを示している。建物外被と内被の両者の影響を受け、空気の流れが大きく変化することがわかる。特に、建物外被の相当隙間面積が 2cm²/m²を上回ると、個室から隣室への流れを作ることは不可能である。

個室の空気の流れを詳細に検討するため、2F 個室の給排気について、その風量と流れ方向の内訳を**図 4.3.33** に示す。個室を経由する空気量の合計を換気量とすれば、どの条件でも 20m³/h 以上の換気量が確保されている。しかし、給気される元の空間の内訳を見ると、内被の気密性の違いが大きく影響し、実現し得る換気経路が異なることがわかる。また、建物外被の気密性能が低くなると、天井懐からの 1 次空気流入が低下し、隣室との交換換気の流れが逆転する。外気から床下、個室、隣室という設計意図に準じた流れは、建物の内外被の気密性が低下すれば実現しないことが明らかとなった。

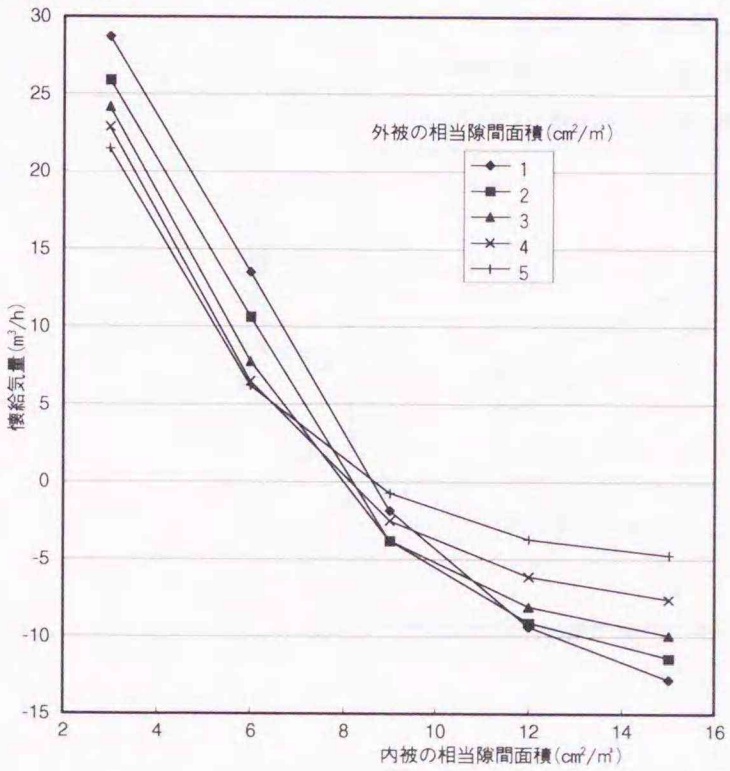


図 4.3.31 建物外被と内被の相当隙間面積と 2F 個室の天井懐からの給気量

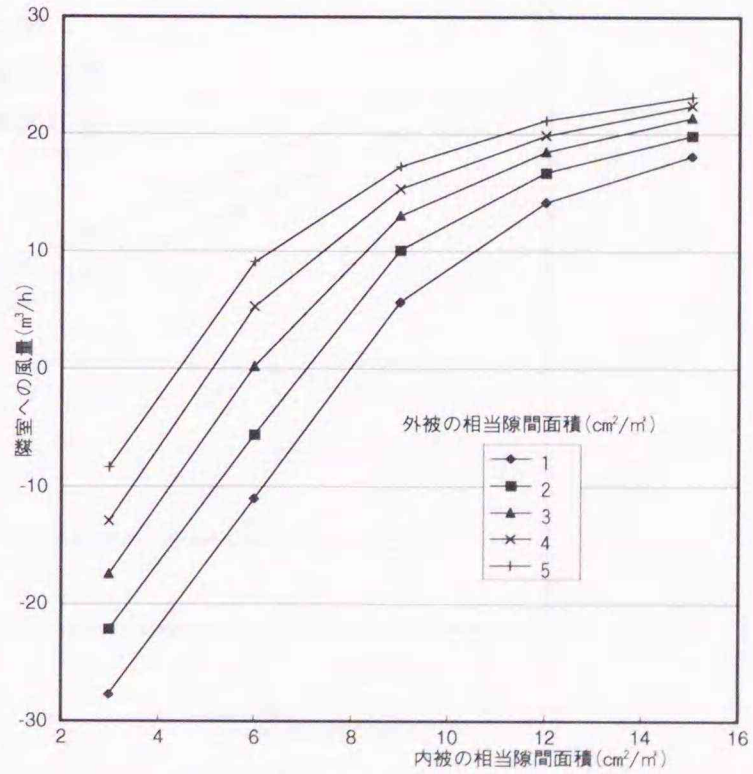


図 4.3.32 建物外被と内被の気密性と隣室への風量

次に、**図 4.3.34** は、建物外被の相当隙間面積をパラメーターに、住宅全体の換気量および床下給気量を示したものである。建物の気密性の低下に対して、給気量はほとんど変化しないが、全体換気量は大幅な増加を示す。100m³/h の強制排気を条件としているが、換気量がこれを上回らないのは、相当隙間面積が 1cm²/m²の条件の時だけである。

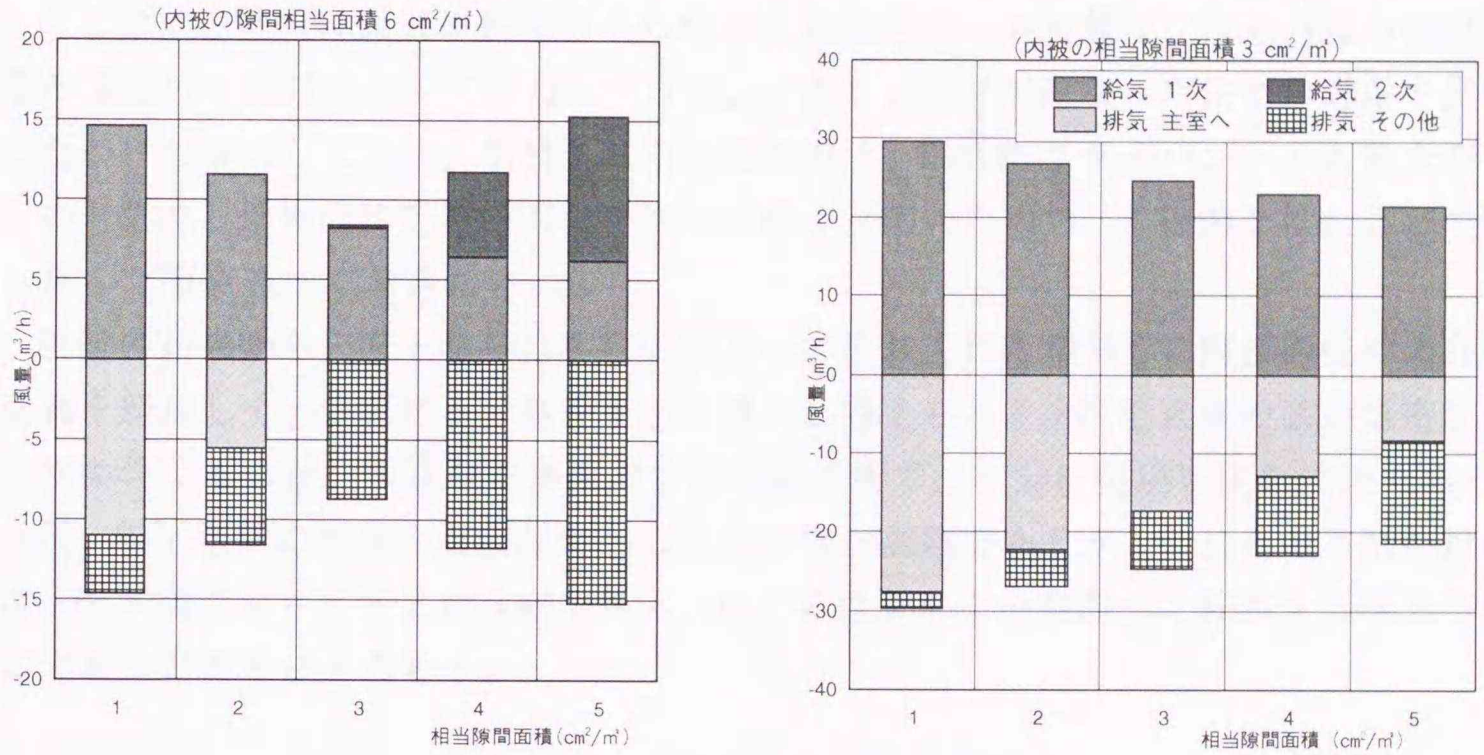


図 4.3.33　2F 個室の給排気の内訳

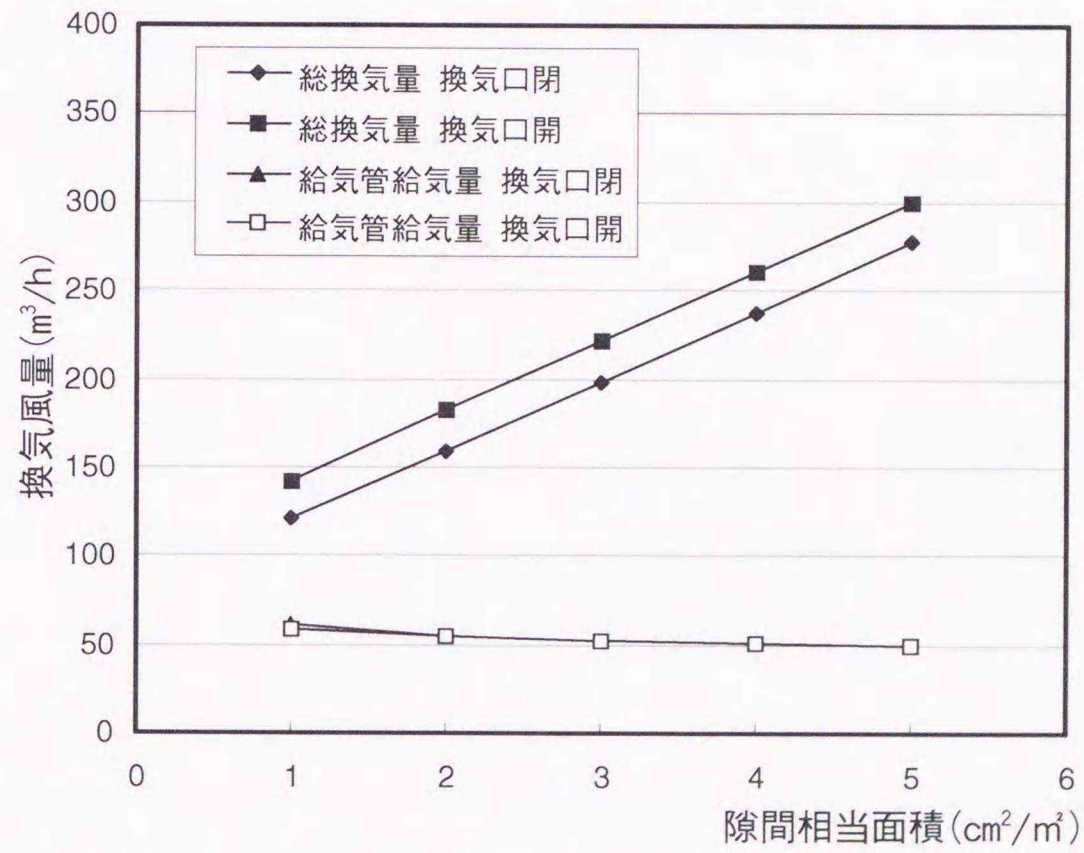


図 4.3.34　建物外被の気密性と住宅全体の換気量および床下給気量

(4) 換気経路の構築と課題

最も簡単で完璧な空気分布を作る方法は、住宅内部の一室化である。換気方式によらず、住宅が一室であれば、空気の流れの配慮は、空間の中の問題であって、室間の空気の流れの問題ではない。外壁の断熱·気密性を高めた住宅では、基本的に内部の開放性を高める方向で計画すべきで、その結果、開放的な寒地の住宅が作られ、室間の空気分布の課題は自ずから解決する。

ここまで、壁内に通気を残す日本の在来木造住宅でのみ可能な、住宅内部の換気経路の構築の可能性について検討してきた。しかし、個室が連なった住宅の対応を意図したわけでは決してない。開放された住宅の中で、最低限プライバシーの必要な空間への対応や、積極的に空気の流れを作ってゆく対応のための、基礎的な検討として取り組んだ事を述べておきたい。

検討の結果から、床下から自然給気によって取り入れた空気を、間仕切壁や天井懐空間を経由して、分配する可能性を示し得たと考えられる。住宅自体の高い気密性が基本条件であるが、現状の北海道の住宅建築技術で、十分に実現可能な性能である。今後、床下空間の暖房など実住宅への条件整備が課題であるが、これらの換気の対応は、床下空間にさまざまな役割を与え、なくてはならない空間へと転換する事を可能にする有力な手法となろう。

4.4 寒地の住宅の地域性への展望とパッシブ換気

本章は、寒地の住宅の床下空間を積極的に利用するという、明確な意図を持って取組んでいる。日本の伝統を引き継ぐ木造住宅にあって、床下は、通風、乾燥、温湿度調整、貯蔵などの役割を担ってきた意味深い空間である。寒地への対応の一つである床断熱による床下は、木材の防腐処理という最も力任せの方法によって、耐久性の保持という目的に対応している。また、土間床工法は寒地の住宅の床工法として理想的なものの一つで、厄介なものは、苦心して残すより取り除こうという考え方も理解はできる。しかし、いずれも床下空間の持っていた役割や特性は、まったく失われてしまう。床下が担ってきた役割を知りその活用を図ることは、寒地の住宅に地域性をもたらすことにつながると考えられる。

本章で提案したのは、基礎断熱した床下空間を空気の取り入れ口としたパッシブ換気である。設備による環境保持をしない室内の環境を、成り行きと言う言葉で表現する事がある。パッシブ換気は成り行きではない。良く考えられた自然の給排気設備を備え、機械力に極力頼らない換気量の確保と換気経路を実現する事がパッシブ換気である。この点でいえば、従来の隙間換気は、成り行きであり、パッシブ換気との違いを強調しておきたい。

また、住宅の換気をめぐっては、設備設計によって効率から定められたビル換気の常識が支配し、一定の換気量が必要とする考え方が強すぎるように思う。ある時間換気量が低下しても、空気環境が著しく悪化することはない。また、居住者の多様な生活のもとで、必ずしも一定の換気を必要としないことが、住宅の特徴である。住宅が、自然の営みの中で長期にわたって存在し続けるためには、可能な限り自然のままに維持される事が望ましい方向である。微弱なエネルギーの利用による給気の予熱などによって、最大限の換気を実現する工夫をすれば、変動する事はエネルギー消費の面からも、障害とはなり得ない。

建材等からの化学物質の発生や微生物汚染などの室内空気環境に関わる問題が顕在化し、居住者の不在時も含めて、絶えず換気され続けることが求められつつある。換気量の変動はあっても、機械換気に頼ることなく常時換気を実現することが可能になることは大きな利点である。これも、外気温度が低く全室暖房が普及した北海道の住宅だからこそ実現可能な技術であり、住宅に地域性を育てる手がかりの一つである。

本章で示し得た知見は、寒地の住宅にパッシブ換気の高い可能性を示した事にとどまっている。しかし、空間利用や、耐久性の保持、寒地の換気の要点である取り入れ外気の予熱、機械換気に頼らない事による維持管理を含めたランニングコストの低減、更には良好な住宅内部の空気輸送まで、示された可能性は極めて大きく魅力的である。暖房との関わり方の検討や自然エネルギーの利用などに取組み、断熱性･気密

性を高めてきた北海道の住宅に、地域性を創造する手法の一つとして、確立してゆく事がこれからの課題である。

本章で得られた知見を以下にまとめる。

1)床断熱と基礎断熱住宅の長期実測から、基礎断熱の床下が、年間を通じて低湿環境を維持し、耐久性の保持に有利な特性を示すこと、夏季には地盤面の吸熱によって室内の環境改善に効果のあることを明らかにした。

2)パッシブ換気システムの実験住宅での実験から、市街地の一般的な住宅地の条件では、暖房時の換気量は内外温度差と強い相関を示し、暖房期には、煙突効果を換気の主動力、外部風速を換気の増加要因とみなすことが可能となること、排気筒頂部と地盤レベルに開口が集中し、圧力の中性帯位置がそ中央高さ付近にあって、給気と排気が集中しやすい特性を持ち、床下給気量の安定性が高いこと、床下給気による部分的な温度低下は給気口の近傍に限られ、結露や著しい温度環境の低下の恐れはほとんど無いことを明らかにした。

3)パッシブ換気に関する年間シミュレーションから、暖房期に関しては、周辺環境による影響は換気量の過不足に及ぼす影響がそれほど大きくないこと、春秋期に換気量を増大させる対応が用意されることが必要なこと、年間を通じてほとんどの期間にある程度の換気量が、自然換気動力によって得られることを示した。

参考・引用文献

4-1) Shaw and A. Kim: Performance of Passive Ventilation Systems in a Two-story house,5th AIC Conference, October 1 -4 1984, Reno, Nevada, USA

4-2) 宮田靖久，松本　衛：住宅の小屋裏と床下空間の熱・湿気性状，日本建築学会計画系論文集，第 457 号，pp.19～28，1994.3

4-3) 荒谷　登「住居の熱環境計画への研究」博士論文，1973.9

4-4) 福島　明：木造住宅の床下環境調査（その１），日本建築学会北海道支部研究報告集 54，pp.65～68，1981.3

4-5) 建築換気設計：石原正雄著，朝倉書店，1969

4-6) 赤林伸一 他：周辺に建物群のある独立住宅の風圧分布に関する風洞実験および換気量予測－住宅の換気通風に関する実験的研究その 1，日本建築学会計画系論文集，第 456 号 p12 図 9，1994.10

4-7) 勝田高司，後藤滋：建物周囲条件の換気通風に及ぼす影響，日本建築学会計画系論文集，第 53 号，pp.80-87，1956.6

4-8) 建築気候：斎藤平蔵，共立出版，1974.5

4-9) 福島　明，入江雄司：寒冷地における基礎断熱した床下空間の温湿度環境特性，日本建築学会計画系論文集，第 478 号，pp.17～22，1995.12

4-10)福島　明，宮浦睦明，絵内正道，土井　聰：基礎断熱した床下空間を冷外気の予熱給気に利用した自然給気方式の実験的検討　寒冷地のパッシブ換気に関する研究 その１，日本建築学会計画系論文集第，498 号，1997.8

5章　結

－住宅結露と地域性への課題－

北海道の住宅は寒地としての伝統を持たず、暖地の気候風土の基で培われたものである。寒冷な気候条件への性急な対応に終始し、物理に反した隙間防止や断熱化が図られた結果、住宅の結露は深刻なクレームになってきた。部分的な断熱補強や居住者に対する生活指導等の妥協的な対応が取られてきたが、根本的な解決には至っていない。住宅結露の根本的な解決には、結露防止の技術的な対応だけではなく、換気や断熱などの基礎的な技術を見直し、寒地独自の住宅の方向を示す事によって、建築常識や住宅に対する社会意識の転換を含めて、地域特有の住宅のあり方を実現する事が必要である。

場当たり的な対応から基本に即した結露防止の考え方が、現実の住宅に実現してゆく過程を追いながら、現実的な結露対応の技術や伝統の技術に学んだ結露防止を越える換気の技術対応について取り組んできた。この中で、北海道独自の道を探るために取り組むべき姿勢がおぼろげなから見えてきたように思う。本章では、本論文の総括と地域性への課題について考えてみたい。

5.1 各章のまとめ

本論文は、住宅結露の技術的、社会的な背景を歴史的に考察する事によって、北海道の住宅結露を取り巻く課題を明らかにすると伴に、寒地の住居を目指す断熱や換気の技術について、その方法を提案し、具体的な方策とその効果について明らかにした。

1章では、本論文の目的と背景について述べるとともに、結露防止にとどまらない研究の方向について述べた。住宅結露の研究への取組みかたを国内外で比較し、結露を許容しながら被害を防ぐ日本の取り組みと、室内の温度を保持する事を基本として結露の根絶を図る欧米の対応には、住宅に対する意識や常識の違いがある事を論じた。その上で、日本の伝統を継承しながら、寒地の断熱住宅の建築常識を確立する事によって住宅結露を根絶する方向を見出す事に、本論文を位置づけた。

2章では、1960年代にはじまった急速な断熱化の流れの中で、我々が経験した様々な結露障害を筆者の分類により振返るとともに、住宅結露の研究が結露の防止に止まらず地域性に向けた研究へと発展する必然性を述べた。雨漏り状の激しい結露被害にはじまり、窓の氷結結露、激甚的な腐朽被害に及ぶ結露被害や人体への健康被害が話題になるほどのかび被害へと展開してゆく過程は、根本的な対応ではなく妥協的な技術対応の結果であった事を明らかにした。

この間、北海道の戸建て住宅が、全屋暖房と高い断熱性・気密性を持つ閉鎖型住居へ大きく転換してきた背景を、研究者や建築技術者の社会への働きかけなどを通して、技術的、社会的な側面から考察している。技術的な側面からは、大量の通風や通気にによって支えられてきた木造住宅の特性を検討し、断熱化に伴う結露障害が空気の流れに関わる課題である事や、気密化や通気層技術の対応についてその必要性を明らかにした。社会的な側面からは、結露被害に取り組む過程で技術変革に対して北海道で見られた研究者や技術者を含めた社会的活動について考察し、地球環境時代に向けて地域性を踏まえた寒地の建築常識の確立が必要になる中で、技術だけでは乗り越えられない課題へ取り組む活動の一つであった事を述べた。この結果、寒地の住宅結露をめぐる課題として、換気と断熱の対応が必要になる事を示し、本論文の取組む技術的な課題として、集合住宅の断熱と換気の対応、および戸建て住宅の床下空間の環境保持と積極的な利用を上げた。

3章では、寒地の集合住宅の断熱と換気の対応について検討した。断熱補強や生活対応など、結露への対症療法によって著しい結露被害の見られない住戸においても、じゅうたん下や押入れの隅など局所的な環境悪化が生じる事を、実測により明らかにし、暖地の建築常識のもとで生じる結露は、妥協的な対応では根本的な解決につながらない事を示した。

寒地の集合住宅の課題が、暖地の建築常識のもとで計画されている事に起因し、部分暖房による非暖房室の温度低下ばかりではなく、壁の断熱性や断熱方法および換気の対応に不備がある事を指摘した。熱を伝えやすいというコンクリートの内断熱では欠点となる性質が、外断熱では、家具の裏などの局所的な環境の改善に圧倒的な効果を持つ、優れた特性に転換する事を示した。また、寒地の住宅の換気に求められる対応の一つが、取り入れ外気の予熱処理である。集合住宅の換気手法の一つとして、熱回収型の換気装置を利用し、押し入れ内部などの高湿になりやすい空間に熱交換によって温度を高めた外気を直接給気する事によって、住戸内に空気の流れを作り、室内の環境を損なう事なく、結露の全く生じない換気を可能とする技術を提案した。既存集合住宅への応用を通じて、押し入れ内部やじゅうたん下などの部分環境をはじめ、室内環境の乾燥保持に及ぼす示す高い効果を示した。

4章は、日本の伝統的な緩衝空間である床下空間の積極的利用を通じて、高い耐久性を持つ寒地の断熱住宅の確立に取り組んだ。断熱住宅に残る課題が床下空間の対処であり、この空間の積極的な利用が寒地の住宅の地域性への手掛かりである事を述べた。基礎断熱住宅と床断熱住宅の長期的な温湿度環境の実測から、基礎断熱によって床下空間を室内の一部とし、接地型の住宅を目指す事が、結露や高湿化の恐れを払拭して、寒地の住宅に高い耐久性と快適性をもたらす可能性を示した。

基礎断熱した床下空間の積極的な利用を目指して、床下空間を空気の取入口とした自然換気の工夫を提案した。古くから生活の知恵として利用されてきた排気筒の技術と、断熱性・気密性の高い住宅故に可能になる、基礎断熱した床下空間への自然給気とを組み合わせたものである。床下の自然給気が室内の温度環境へ及ぼす影響を実験的に検討し、寒地の住宅の理想的な給気予熱手法である事を示した。また、地域条件や建物の条件の違いがもたらす換気量の変動特性の解明に取り組み、気密性を高めた住宅では、著しい換気量の過不足を生じない、良好な換気を保ち得る事を示した。

5.2 寒地の集合住宅の方向

北海道の集合住宅は、暖地で作られた建築常識を好むと好まざるとにかかわらず受け継いでいる。アルミの一重窓が標準的な仕様の東北以南の地域では、窓の結露は障害ではないという常識が建築技術者にも居住者にもしみこんでいる。北海道のＲＣ集合住宅の多くは、同様に窓の結露は避け得ないものとして考えられてきた。しかし、窓氷結結露のような暖地の常識を越える結露現象から、窓の断熱化や気密化に取り組んだ結果、結露は室内全体に広がり、かびが室内に蔓延する事となった事は2章で述べたとおりである。本論文では、寒地の集合住宅の建築常識を作り上げる方向で断熱や換気の対応に取り組んだ。断熱性の向上は、非暖房室の温度を上昇させ、絵内が提案した[5-1)]温度環境や障害防止のために基本的に求められる温度である基礎室温が得

られるようになる事から、断熱手法や換気の対応が技術的な側面から最も重要な課題と捉えたのである。この結果、個々の住戸では寒地の技術対応の方向が見えてきたと考えられる。しかし、こうした室内の環境改善は、個別の住戸で実現したものではなく、住棟全体の温度の共有なくしては実現しないものである。部分環境の温度保持に外断熱化が大きな効果をあげるのは、隣家や下階からの熱の移動があるためで、住戸単体では実現しない。寒地の集合住宅にとって、温度の共有は建築常識となるべき基本的な要件と考える事ができる。

現状の集合住宅の多くは、利便性とサービスが価値の基準であって、集まって住む事自体にはほとんど価値を見出していない。廊下を共有する事や外部空間を共有する事、温度でさえ共有する事は集合住宅の欠点であり、徹底して戸建て積み上げ住宅の状況へ近づける方向で計画されている。建築環境的な側面で言えば、内断熱と外断熱の最も大きな違いは、積極的に温度を共有するかどうかに帰着する。RC 集合住宅では、コンクリート構造が熱を伝えやすい事と外壁面積より隣家との界壁面積のほうが大きな事から、好むと好まざるとにかかわらず隣家と温度を共有する。内断熱と外断熱の違いは、積極的に温度の共有を図るかどうかの違いである。暖房を個別に対応する現在の考え方によれば、住戸間の格差を低減して住戸単位での対応を図る上では、内断熱の方が説明に都合が良い。外断熱は積極的に熱の流れを自由にする事から、住戸単位で暖房を考える現状では、戸当りの暖房費など暖房の対応に大きな格差を生じるため、決して好ましい手法ではないのである。

しかし、積極的に温度の共有を図る方向で見れば、外断熱の特性には全く正反対の評価が生まれる。外断熱の住戸の隅角部の温度が保たれるのは、下階からの熱の供給

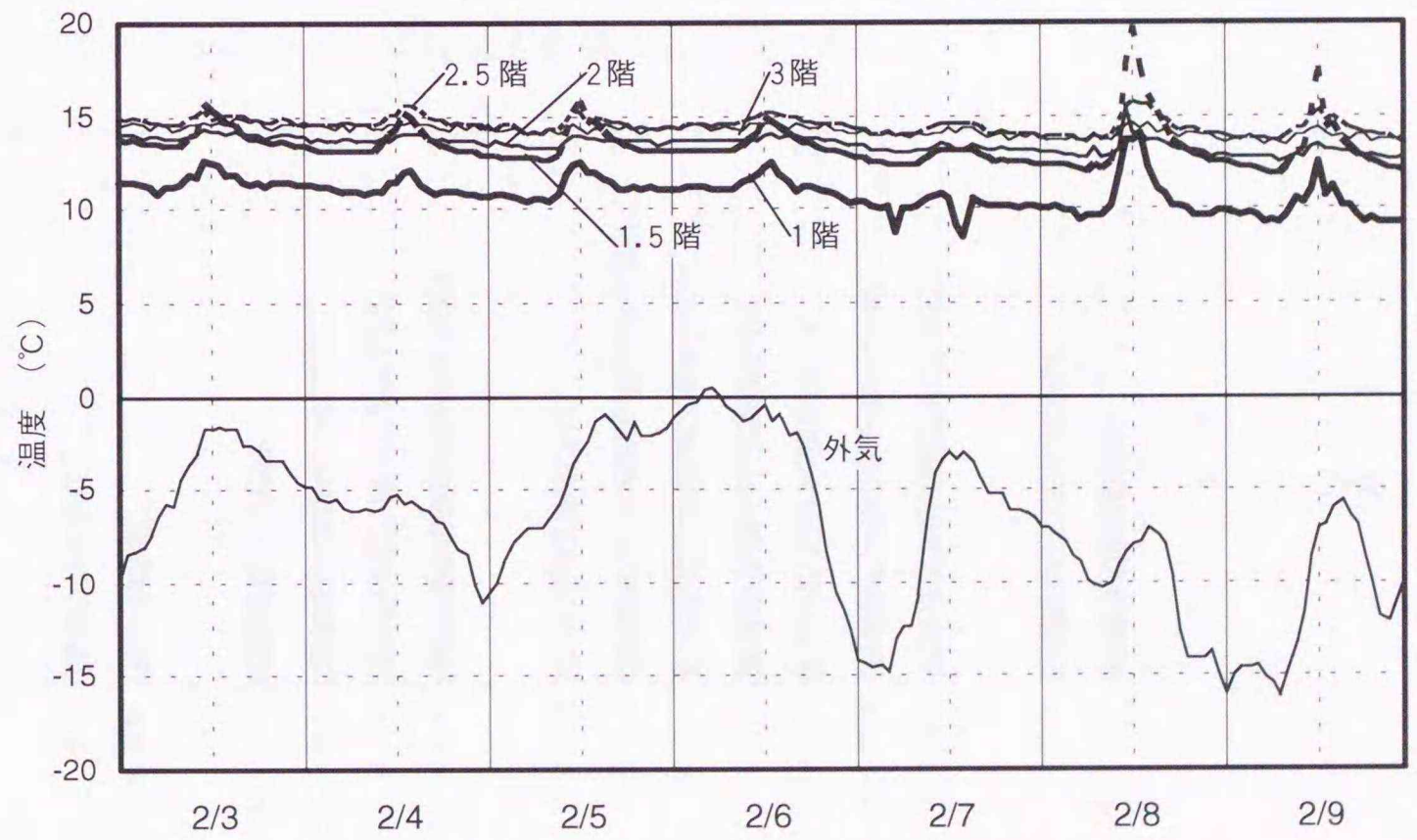


図 5.2.1 外断熱集合住宅の共用空間の温度環境 (1993.2)

があるためで、温度の共有が障害の芽を摘んでいる。温度の共有はまた、共有空間の価値を大きく高める。**図 5.2.1** は、名寄市に建設された外断熱の公営住宅の階段室の温度である。居室とそう違わない温度に保たれた階段室が持つ意味は単なる通路でなく、花を飾りコミュニケーションを楽しむ共有空間として、居住者が維持管理に参加する強い動機となるだろう。本章で示した換気の対応は、残念ながら住戸単位の対応である。これもまた、住棟全体の温度と共用空間の共有化を前提にすれば、共用空間や建物の高さを利用した換気の工夫など、寒地でしか為し得ない優れた換気の可能性が考えられる。暖地で作られた建築常識を転換し、温度と空間を共有する方向こそが、寒地の集合住宅の方向で、その特性をかけがえのない利点とする対応が今後の課題となる。

続々と建設されるRCの集合住宅が、年月を経て、手入れの行き届いた魅力的な住居になるか、あるいは取り壊す事を望まれるスラムとなるかは、外断熱改修に向けた努力と居住者が集まって住む事の優れた特性を生かす事ができるかどうかにかかっているといっても過言ではない。

5.3 地域性への課題

図 5.3.1 は、既存住宅の建てられてからの経過年数の割合を各国について示したものである。日本の住居の新しさは著しく、とりわけ北海道の住居の新しさは際立っており、建設後の経過年数が25年以内の比率が60%に達する。歴史の浅い地域である事を差し引いても、断熱材が普及しはじめた頃からの住居が大半を閉める状況の中で、これらの住居の維持保全は、少なからぬ資源を消費する日本にあって、日本の社会のみならず地球全体の環境にも影響する問題である。

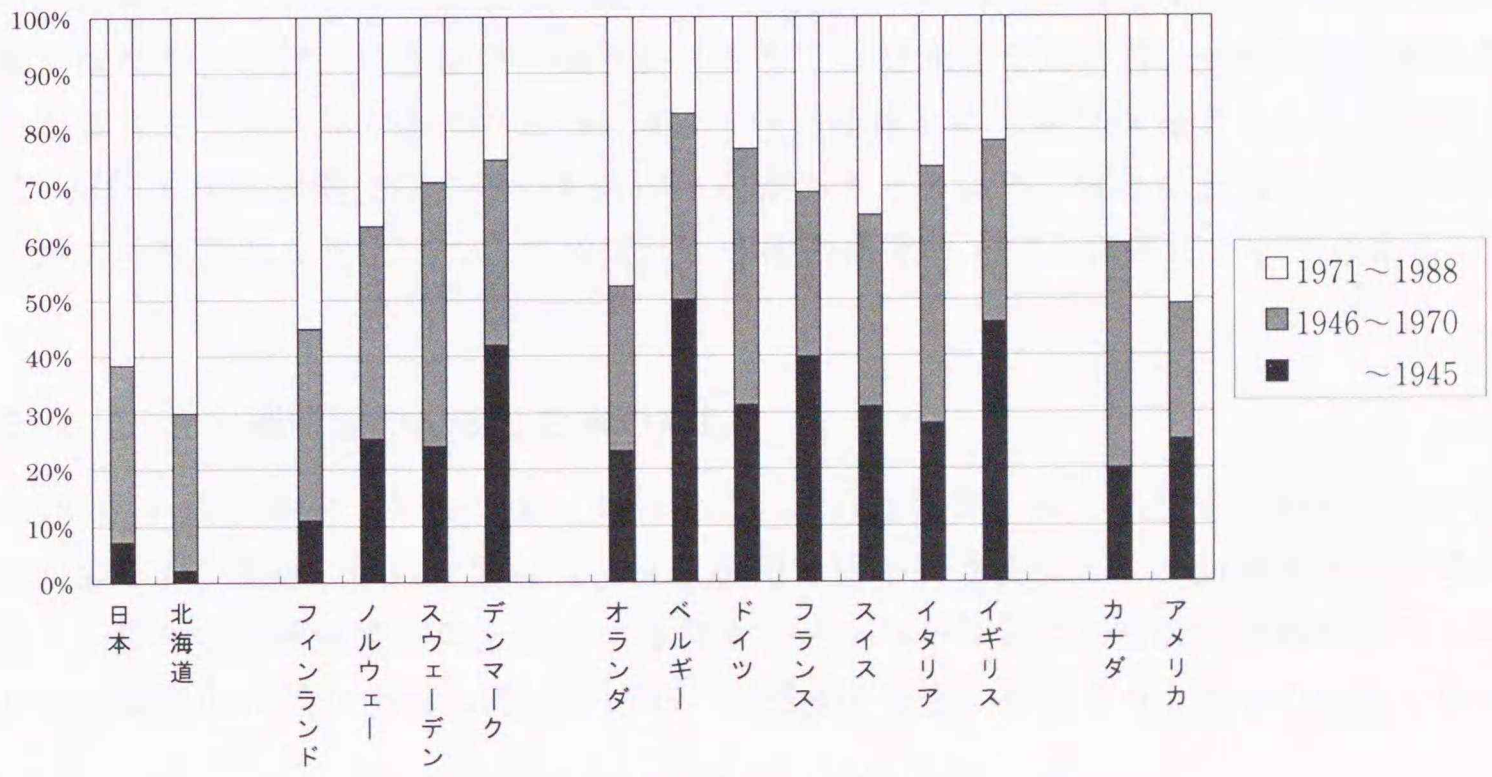


図 5.3.1 世界の住宅の年齢 [5-1), 5-2)]

近代技術による断熱や気密技術に支えられた住居に、寒冷地の気候風土に根差した住まいを作り上げる上で、地盤とのかかわりと換気の工夫が要点の一つである事は4章で述べたとおりである。基礎で断熱した床下空間では、伝統的な木床構造のままに、防腐剤に頼る事なく結露や腐朽の恐れを完全に払拭できる事が明らかとなった事により、床下空間の積極的な利用の可能性が高まった。本論文はで、床下空間を寒地の換気の要点である取り入れ外気の予熱に利用するパッシブ換気の手法を提案したが、示し得た知見は、その高い可能性を示した事にとどまっている。

間仕切壁の中空層を利用した良好な住宅内部の空気輸送の実現は、日本の在来工法ならではの工夫であるし、自然エネルギーの利用や低密度な排水の熱回収などに道を開く手法でもある。床下空間と暖房との関わり方の検討や自然エネルギーの利用などに取組み、化石エネルギーに頼る事なく十分な換気を実現してゆく事も、断熱性・気密性を高めてきた北海道の住宅に、地域性を創造する手がかりになろう。研究を進めながら、あらゆる部分に意図的に隙間を作り、空気の流通を図る日本の在来工法に、大きな魅力を感じてきた。地域性は気候条件ばかりではない。地域に受け継がれてきた建築技術もまた地域性を形作る重要な要素である。住宅を取巻く既存の技術を見直し、それを踏まえながら寒地独自の建築常識を確立してゆく事が、地域性の創造への道である。

5.4 社会的な取り組む方向

結露史の考察から、北海道の住宅結露の背景には、住宅に対する暖地の建築常識と社会常識がある事を述べた。北海道の戸建て住宅が、住宅結露を越え、地域性の創造へ踏み出そうとするのは、寒地の独自の建築常識や意識が育ってきたからに他ならない。日本という強力な中央集権国家にあって住宅に地域性を育てる道は、基準で縛る事ではなく、社会への辛抱強い働き掛けとそこに研究者や技術者、一般の居住者も含めたさまざまな人々が参加する事にある。住宅結露をめぐる北海道で見られた活動には、解答の無い課題に取り組む対応の糸口があると考える。断熱が住宅に普及を初めてからの社会的な対応について考察し、今後の研究の方向と課題について考える。

5.4.1 北方圏諸国の対応と日本の対応

1970 年代後半のオイルショック契機に、北方圏諸国を中心に住宅性能の著しい向上が計られ、1980 年代初頭には、世界各国で建築関連法規として断熱基準が定めらた。一般住宅の断熱性の向上に対する様々なアプローチには、社会が課題の解決に取り組む姿勢の特徴が明確に表れている。法制度の策定にはじまり、基準の整備や住宅

建設に対する技術的な規制を造りながら、方向を定めてゆくという手順には大きな違いはない。しかし、それを社会に反映してゆく過程には大きな違いを見せる。

北ヨーロッパの対応は、基本的に国土全体が寒帯の気候条件のもとで、研究者は基準を造る事に大きな役割を果たし、実社会への対応は、コンサルタントが受け持っている。**図 5.4.1** は、ノルウエーの建築研究所が発行している建築全般に関わる技術指導書である。リーフレット形式で、毎年必要に応じて差し替えてゆけるシステムで、Ａ４版厚さ数cmのファイルにして数冊に及ぶ。建設の基準自体は現在日本でも建築基準法の方向として考えられている性能規定で、その適用には、こうした技術指導書が活用される。もちろん一般技術者や居住者にも理解できるよう工夫されているが、現実には多くの場合コンサルタントが適用を図る役割を担っている。コンサルタントはこれらの情報と個人の知識によって設計を支援するばかりでなく、必要に応じて国立の研究機関や大学とコンタクトを取り、個々の建物への対応を図る役割を果たす。

コンサルタントは絶えず学会活動等に参加し、先進的な研究レベルに接しながら、研究結果の社会へのインタープリターとして活躍する。建築の基準等の方向が定まれば、ごく短い期間に一般社会へ反映してゆくのは、こうしたコンサルタントの役割に負うところが大きい。個人主義的な色合いの強い西洋社会にあって、国レベルの対応が速やかに社会に繁栄されるために出来上がったシステムかも知れない。一方、建築基準は性能規定であって、技術的な仕様は基本的に自由である。多様な技術を実現してゆくためにも、コンサルタント活動が必要で、研究者と協力しながら様々な技術開発を進める。防湿層を持たない建築工法をめぐる対応は、この好例である。一建築業

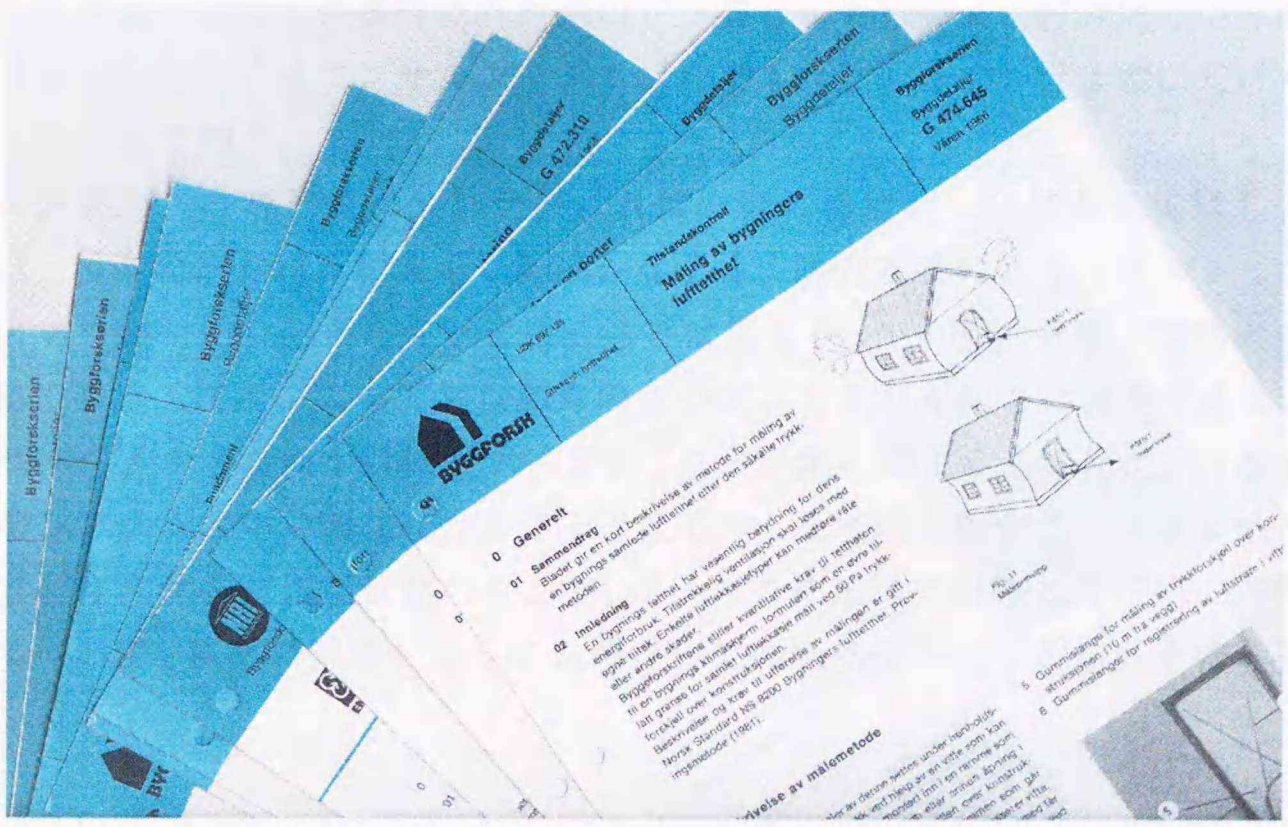


図 5.4.1 ノルウエーの建築技術指導書

者が提案した防湿層を持たない建築工法であっても、研究を通して社会的な認知を得ているが、これらの活動の調整を受け持つのがコンサルタントである。

北米やカナダの対応にも、同様な傾向が見られる。建築基準は性能を示すものであって、仕様を規定するものではない。異なるのは、はるかに多様な気候のバリエーションをもち、地域行政が強い力を持つ事である。国で造るのは地域条件に応じた基準や仕様ではあるが、強制力を持った法規的なものではない。州政府がコンサルタントの助けを借りて地域の考え方を造ってゆく。もちろん国レベルでの啓蒙活動も行われるが、あくまでも主体は地域である。Ｒ２０００プロジェクトなど住宅性能の向上に対する国家プロジェクトも強制力を持った法的基準ではなく、住宅性能の求められる水準を示しあくまでも啓蒙活動の一環として行われる。地域を尊重する姿勢が色濃く表れている。

一方、これらの地域に比べて暖地が中心の多様な気候風土を持つ日本にあって、対応の方向は諸外国をはるかに凌ぐ中央集権的な対応である。行政の及ぶ範囲は極めて広く、全ての地域に適応する基準の作成が盛んである。法規としての基準と同時に作成される仕様規定は、法規ではないにもかかわらず強い強制力を持ち、実質的な法律基準そのものといっても差し支えないほどである。研究者の活動もまた、国の基準作成に参加するもの以外は、基準はあるものとして、その範囲の中での技術開発的な研究とならざるをえない。防火を始めとする建築法規は極めて厳格で、ほとんど全国一律の基準の中で対応が求められる。断熱基準で言えば、建築基準法とは異なり省エネルギー法（エネルギーの合理化に関する法律）という公庫融資に対する基準として推奨的な扱いからはじまった点が他の基準とは異なる。しかし、現実の住宅への技術対応は、仕様規定によって建築確認行政窓口が一貫して受け持つ。官対民という明快な仕組みである。そこにはコンサルタントも研究者も存在しない、行政窓口だけが基準を実現する役割を担う。

住宅の断熱と言う専門家の知識が無ければ十分に機能しない基準を実現しようとするとき、日本の取り組みに大きな疑義が生じる。防火基準のようにテストして燃えない事と言う絶対的な結果をもとに縛る事とは異なり、住い手の意識や技術者の考え方、現場での施工技術によって利点にも障害の元にもなりかねない技術である。どこまで規制すべきかまた何を目標とすべきか、こと断熱に関する基準化は、日本のこうした社会システムの中で慎重にならざるをえない。地球環境保全という経済性や個人の尊重と言う次元を超えた目標のもとで、だからこそ地域に根差した住宅の方向が考えられるべきで、基準の策定とともに地域社会での断熱化に対する指針を作る努力が必要とされる。

5.4.2 北海道の対応

北海道の対応も日本の一地域として同様なシステムの中にある。しかし、こと住宅建築に関しては、趣が大きく異なる。国の省エネルギー法に先駆けて、北海道にのみ適用する法律である寒住法の制定にはじまり、寒地の快適で社会資産となる住宅を供給するという明確な意図のもとに基準が策定されている。気候のバリエーションから言っても基準の策定手法から言っても北欧諸国の対応に近い。しかし、コンサルタントの活動の場がない日本の社会システムの中で、社会への反映は容易ではない。北海道で選択した道は、強制による規制ではなくコンサルタントによるものでもなく、多様な意見を受け入れながら、独自の道を探る事であった。国内外を含めて既存の社会システムの中では、建築技術に関して専門家の間の議論はあっても、一般技術者や居住者を巻き込んだ議論にはなりにくい。北海道の住宅の方向付けのために、多くの様々な分野の専門家や技術者が参加し、自由に意見を交換する場面が日本建築学会北海道支部にもたれた。北方系住宅研究連絡特別委員会である。基準作りの研究はほとんど行われず、徹底して社会に訴えかけ、居住者の側から思考し、地域に根差した住宅作りへの道が模索された。昭和５５年に多くの研究者が参加して実施された「寒地住宅の性能水準に関する調査研究」（日本建築学会北海道支部 代表：北海道大学 洪悦郎）の中にその取り組む姿勢が明確に表れている。最低基準を定める事はせず、高い目標を示しそこへ至る方向を示している。基準が地域性の新たな創造の目をつむ事になるという強い意志があったとおもう。北海道の住宅のあり方を探る一歩が示されたものであった。

北海道の住宅の現状について「高い理想を忘れ進歩が止まってしまっている。むしろ本州の熱心な技術者の方がはるかに優れている」という意見が聞かれるが、これは当たらない。３０年以上も前に、現在の基準よりもはるかに高い性能を思考した研究が多数存在する事を知れば、性能の高低で取り組みの優劣を図る事の愚かさを知るだろう。一般の居住者や技術者があたりまえの事として断熱、気密、暖房、換気の対応を寒地の住宅に必要不可欠なものと感じ、自ら発言している事が北海道の住宅が大きな変化を遂げた証しである。研究者や技術者と共通の認識の元に、居住者が住宅づくりに参加できる事が北海道が育てた住宅の地域性である。

5.4.3 北海道の対応と今後の方向

筆者の所属する寒地住宅研究所の果たす役割はこの点でユニークである。行政機関の研究機関としての本来的な役割りの一つとして、国レベルの基準策定の一端を担ってはいるが、現実の中心的な活動は草の根的なものである。地方行政機関の一部門として、既存の建築業界の意向や行政の意向を背景に、技術革新の方向を抑える側に廻る事もあり、長期的な展望に立って方向を見定めていたわけではない。しかし、様々な社会活動に参加する中から、行政対応の道を探る努力をしてきたと自負している。

もちろんこうした活動による社会的な変化は、急速には生じ得ない。北海道の住宅が大きく転換しはじめるまでに、２０年を越える年月を要した事がその事実を何よりも雄弁にかたっている。断熱がスタートした1970年以降に建設された住宅が全住宅の６０％を占める中で、一体どれほどの住宅が社会資産となりうるかと考えると、歯がゆい思いはぬぐえない。しかし、本質的な社会の転換を図るには、技術の転換ではなく意識の転換が何よりも重要である。地域の中で住居に必要なものを見出し、育て、意識の転換を図る事が必要である。基準で縛るのではなく、居住者自らが考え方向見出す社会システムは、押し付けられたものではないだけに、一度意識の転換を見れば、容易には失われる事のない強固なものとなりうる。多様な考え方を受け入れ、結果的に地域性を育て独自の道を探る北海道が目差してきた方向は、優れたアプローチの一つと考える。

地方の時代が叫ばれ、地球環境時代への対応に地域性を生かす事が望まれれる中で、こと住宅の断熱性の基準の策定には、北海道の意見や考え方を聞く事無しには進められない。草の根的な活動を旨とし、社会への対応を主要な仕事とする地方自治体の研究所の存在が、住宅に地域性を育む事に貢献してゆく事が、筆者の今後の研究の方向である。

引用文献

5-1) Lars-Göran Månsson: Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems -State of the Art, IEA, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Program. Annex 27, Report A12:1995

5-2) 省エネルギー百年住宅に関する研究： 調査研究報告 No.68，北海道道立寒地住宅都市研究所，1997.3

APPENDIX

APPENDIX-A 気密測定法

測定装置を**図 A.1** に示す。有圧ファンにより室内を減圧し、この時の室内外圧力差と換気風量から隙間相当面積を(1)式により求めた。

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{\gamma}{2g}} \Delta p^{\frac{1}{n}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

Q ：換気風量 (m^3/sec)

α A ：隙間相当面積 (cm^2/m^2)

g ：動加速度 (m/sec^2)

γ ：空気密度 (kg/m^3)

Δ p ：室内外圧力差 (mmH_2O)

n ：特性値 (1～2)

詳細は参考文献 3-1 である。

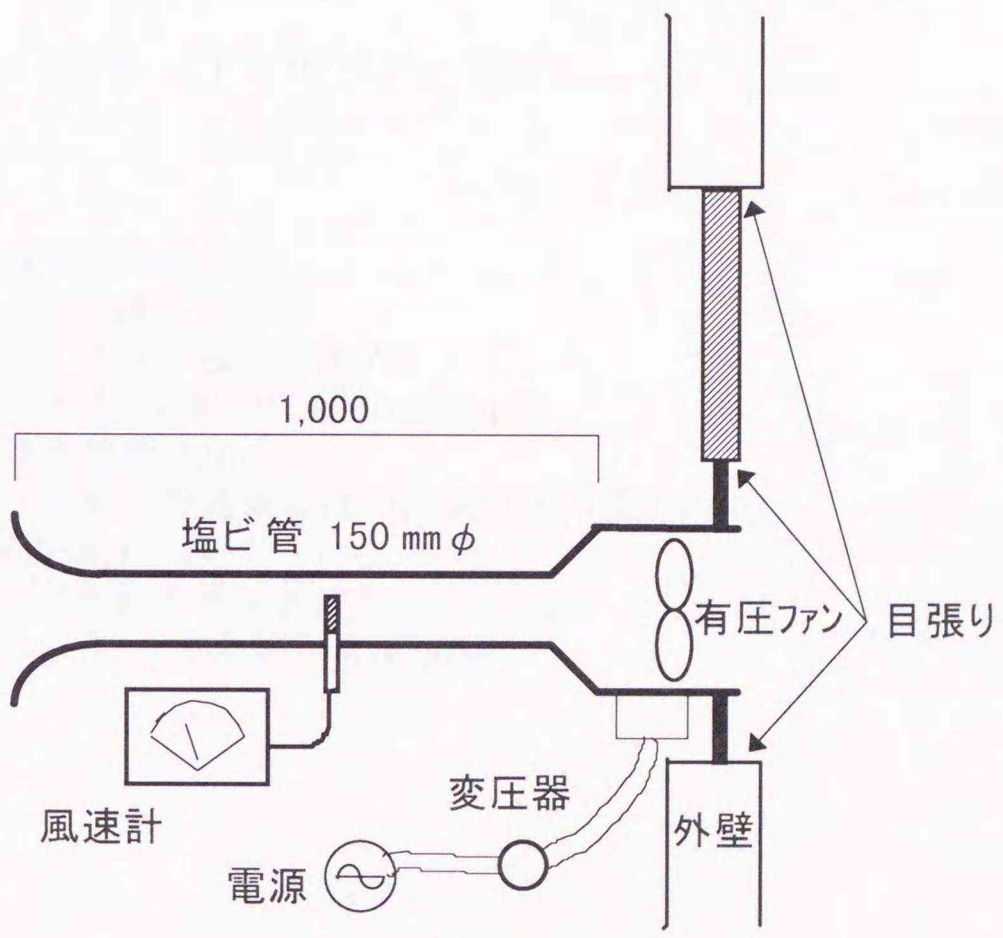


図 A.1 気密性能測定装置

参考文献

A-1) 「送風機を用いた住宅の気密性能試験方法」：報告書、日本建築学会北海道支部、北方系住宅連絡特別委員会、1990.3

APPENDIX-B 多数室の換気計算法

換気の計算は、次の各室の風量収支式、（B-1）、(B-2）式を、を圧力仮定のNewton-Raphson法による近似計算で解くことにより行った。収束計算の補正値に対する緩和係数として0.6を用いた[B-1)]。風量収支は物質収支なので重量風量で計算した。

換気収支式

$$\sum_{j=1}^{N_i} Q_{ij} = 0 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(B-1)}$$

$$Q_{ij} = \sum_{k=1}^{M_{ij}} (A_{ijk} \times \gamma_j \times \Delta P_{ij}^{1/n}) \cdots\cdots \text{(B-2)}$$

次に、定常条件での絶対湿度の計算は、水分収支式、(B-3）式によった。

$$\sum_{j=1}^{N_i} (Q_{ij} + K_{ij}) \times (X_j - X_i) = 0 \cdots\cdots\cdots \text{(B-3)}$$

記号

N_i：i室と通気する室数
M_{ij}：i室とj室の通気部位数
Q_{ij}：i室からj室への通気量(kg/h)
A_{ijk}：k番目の部位の通気率($m^3/h \cdot mm\ Aq^{1/n}$)
γ_j：j室の空気密度(kg/m^3)
ΔP_{ijk}：k番目の通気部位の両側の圧力差(mm Aq)
n：通気特性値(1～2)
K_{ij}：i室とj室の間の湿気貫流率(g/h･(g/kg'))
X_i, X_j：i室、j室の絶対湿度(g/kg')

参考文献

B-1) 石田建一，宇田川光弘：換気及び室相互のふく射を考慮した多数室室温・熱負荷計算法，日本建築学会論文報告集第381号，pp46～55，1987.11.

APPENDIX-C 定濃度法による換気量の測定法

測定装置のシステムを**図 C.1** に示す。室内の炭酸ガス濃度をモニターしながらその時々の炭酸ガスの発生量を制御する仕組みである[C-1)]。

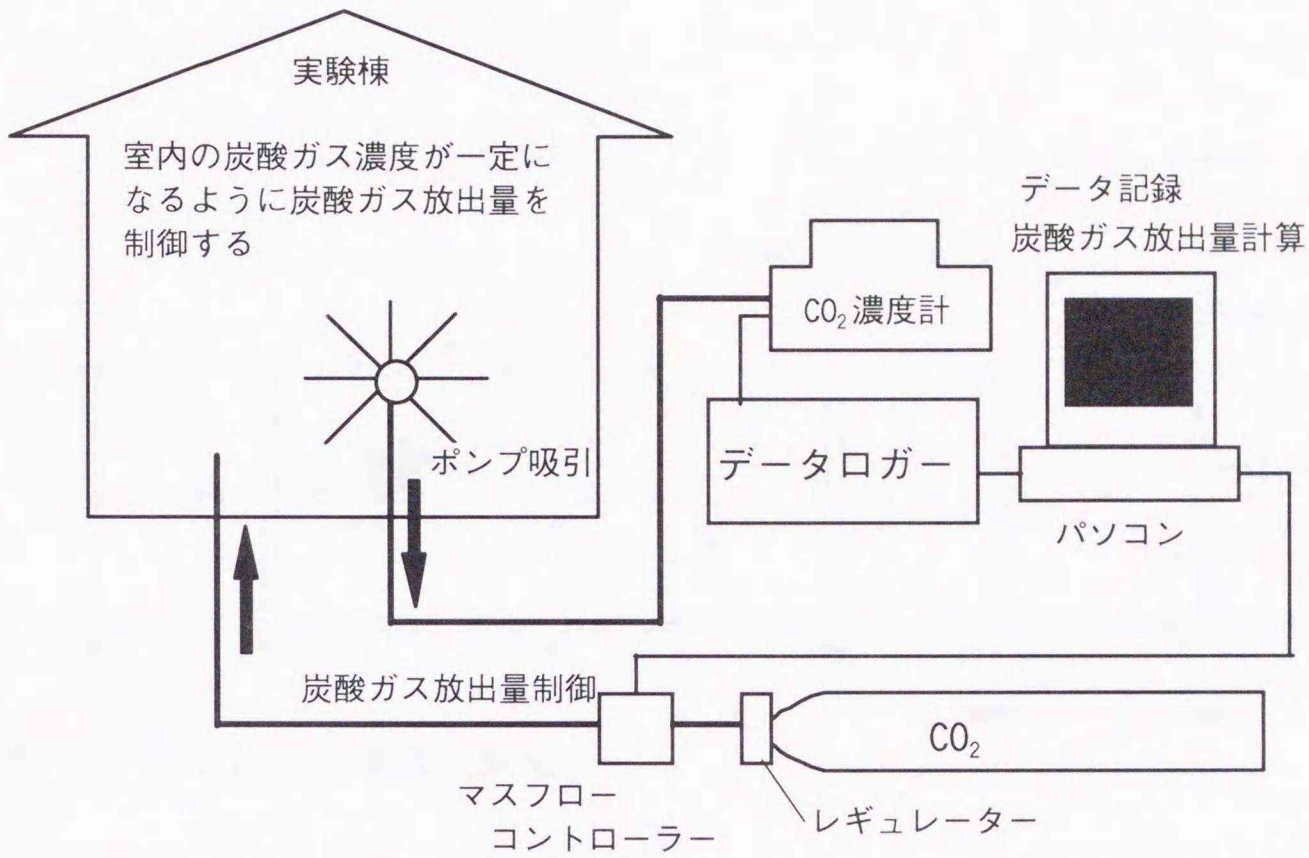


図 C.1 定濃度法の測定装置

参考文献

C-1) 林基哉：住宅の多数室外気流入量測定法に関する基礎的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp791～792，1992.8.

APPENDIX-D 建物の風圧分布の測定法

図 D.1 に示す吹き出し型風洞実験装置を用いて行なった。装置は、北見工業大学機械工学科、坂本研究室のもので、半径 250 mの 400 分の 1 縮尺モデルを利用している[D-1)]。

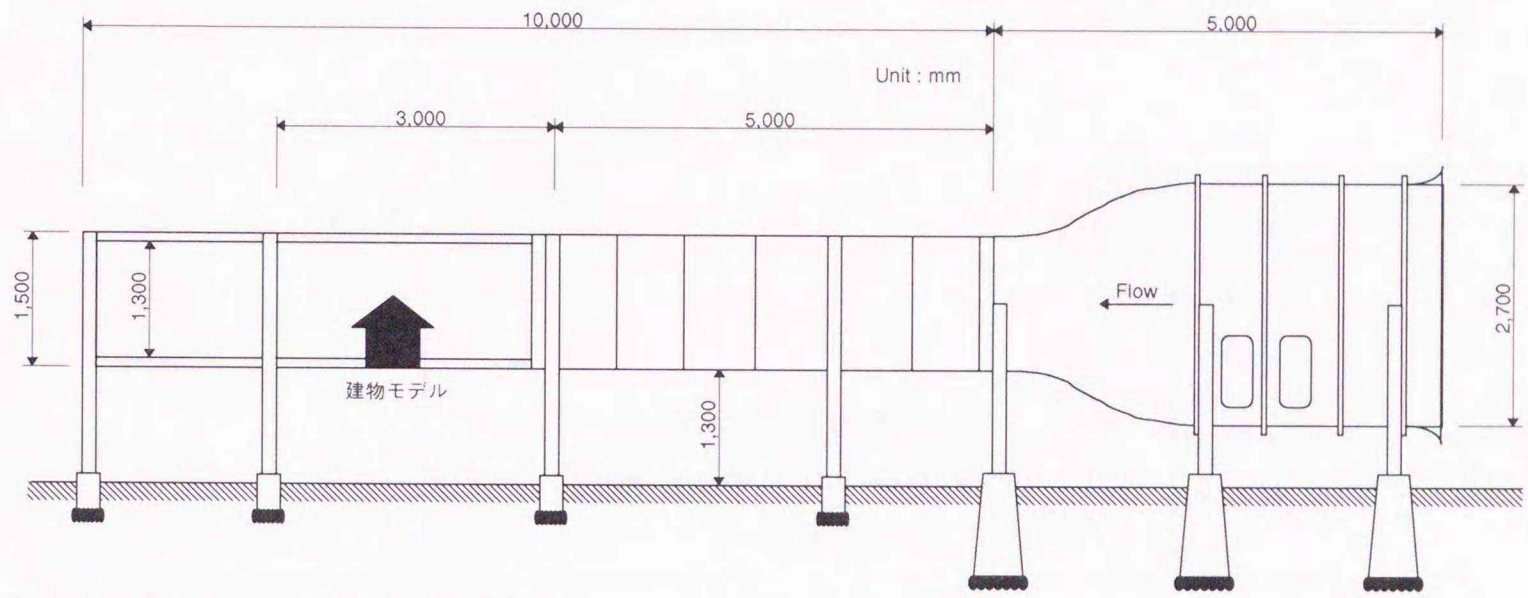


図 D.1 吹き出し型風洞の概略

参考文献

D-1) 鈴木、他：積雪寒冷にふさわしい屋根工法に関する研究、日本建築学会北海道支部研究報告集 68、1995.3

APPENDIX-E 地盤を含めた換気･温度の非定常計算方法 E-1)

温度の非定常計算の基礎理論は、荒谷による逐次積分法 E-2)である。換気の計算および床下の温度計算についての詳細を以下に示す。

[換気計算の取り扱い]

換気計算方法の基本は、APPENDIX-Aのとおりであるが、各時刻毎に室温分布と換気計算の整合を図るため、**図 E.1** に示すように温度と換気量計算の間で、繰り返し計算による収束計算を行った。

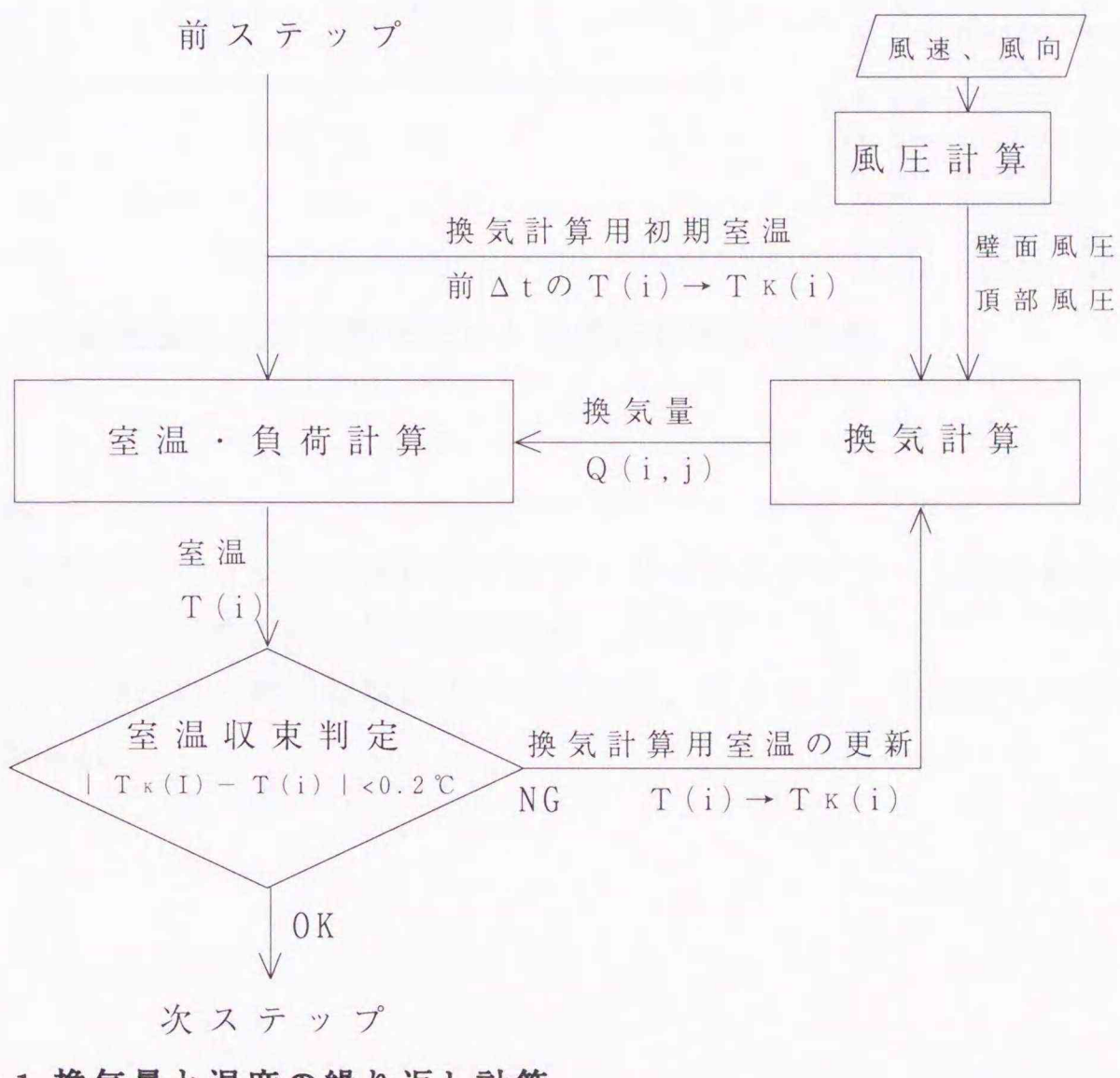
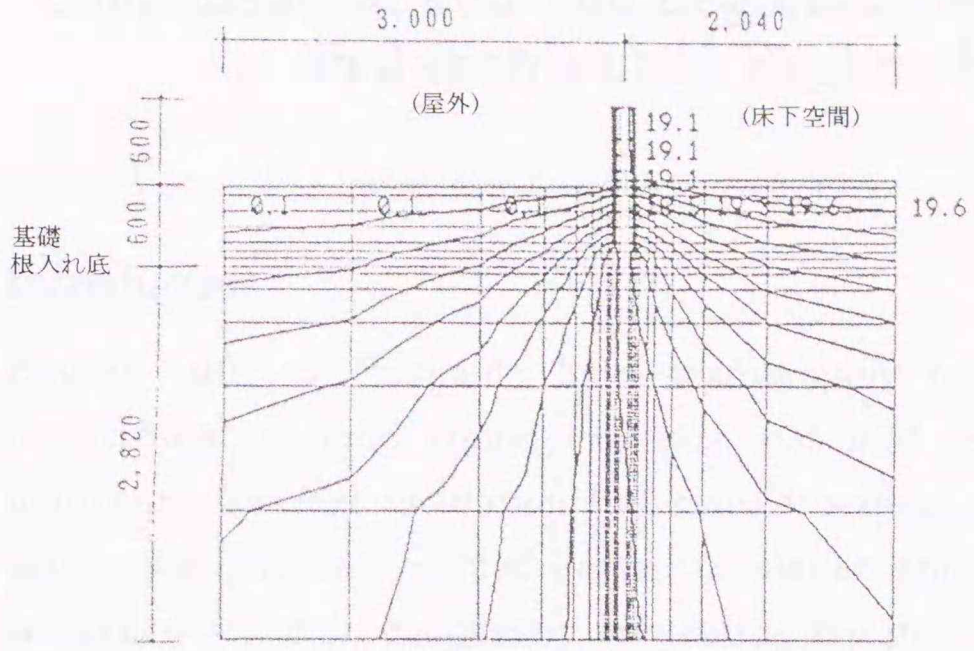


図 E.1 換気量と温度の繰り返し計算

[地盤の取り扱い]

また、床下空間を扱う場合、地盤との熱授受を考慮する必要がある。ここでは、**図 E.2** の基礎－地盤モデルに関して、2次元非定常熱伝導解析により積雪なしの場合の単位応答を求め、これを指数関数の和として近似させた係数(過渡応答係数)を、基礎部分の吸・放熱特性として建物の非定常解析モデルに組み入れる手法を用いている。

冬期積雪時においては、雪の断熱効果が期待されることから、定常の熱伝達率に相当する定常項のみを変更して対応させている。



貫流応答

A(0)=	0.6697		
A(1)=	-0.3339	B(1)=	0.0003
A(2)=	-0.1470	B(2)=	0.0039
A(3)=	-0.0019	B(3)=	0.0055
A(4)=	-0.0858	B(4)=	0.0118
A(5)=	-0.1061	B(5)=	0.0340
A(6)=	0.0031	B(6)=	1.2114
A(7)=	0.0070	B(7)=	4.0266
A(8)=	-0.0075	B(8)=	7.4260
A(9)=	0.0025	B(9)=	30.4156

吸熱応答

A(0)=	0.6697		
A(1)=	0.2319	B(1)=	0.0003
A(2)=	0.1165	B(2)=	0.0007
A(3)=	0.6230	B(3)=	0.0033
A(4)=	0.9229	B(4)=	0.0101
A(5)=	1.8239	B(5)=	0.0287
A(6)=	3.0444	B(6)=	0.0836
A(7)=	4.0788	B(7)=	0.2334
A(8)=	2.1742	B(8)=	0.6305
A(9)=	6.2348	B(9)=	4.9350

図 E.2　基礎部 2 次元伝熱モデルと過度応答係数近似値

参考文献

E-1) 寒地住宅のパッシブ換気に関するフィジビリスタディー：調査報告書、絵内正道、福島明、他、第一住宅建設協会、1996.1

E-2) 建築家のための熱環境解析入門：荒谷登、鈴木憲三、北海道大学図書刊行会、1993.10

SUMMERY

Condensation and The Regional Peculiarity of Houses in Japan's Cold Region, Hokkaido

by Akira FUKUSHIMA

Introduction

Houses built in Hokkaido have traditionally been constructed according to requirement of mild climate regions, not cold regions. Condensation due to improper thermal insulation has caused serious problems with a great many houses for long time. Added Partial insulation and advice to occupants have not succeeded so far in completely preventing the problem of condensation. To solve this problem in Hokkaido house construction, ideas about house building technology in cold region need to be expanded by reassessing building environmental technology such as thermal insulation and ventilation and so on.

For this paper, themes for establishment of house building technology specific to cold regions were obtained from an historical and social study on the condensation problems of houses in Hokkaido. This study found that these problems have been getting more and more serious due to the rapid spread of thermal insulation. The study also presented and discussed the efficiency of the technical ideas about ventilation and thermal insulation for houses in cold regions.

This paper is composed of five chapters. The outlines of each chapters are as follows:

Chapter 1 : The Beginning

The first chapter describes the back ground and the purpose of this paper. The reason we have to establish the regional concepts of house building technology to solve the problem of condensation in cold region is explained. Ways of coping with house condensation problems were compared in Japan, Nordic countries and Canada. As a result, the difference of ideas for the house building technology were found as follows:

Japan : Keep indoor humidity and temperature same to outdoor by opening the whole house to outdoor environment

Nordic countries and Canada : Keep proper indoor temperature by separating indoor and outdoor conditions

The purpose of this paper is to find a solution to house condensation by establishment of specific ideas for house building technology in cold regions. Traditional ideas have accepted the condensation phenomenon as usual in Japan.

Chapter 2 : The History of Condensation Problems in Hokkaido Houses

The second chapter looks at condensation problems in Hokkaido houses with the widening use of thermal insulation beginning in the 1960s. These problems are classified into 4 groups. Their causes and collective measures applied to them are then considered.

Four Gropes of Thermal Insulation-caused Condensation

1. Water leak condensation
2. Ice-packed window condensation
3. Mold filled condensation
4. Destructive rotting condensation

The changing process of condensation problems shown in Fig.1 is analyzed. Extreme water leak damage occurred first, then the windows were covered with ice, the wooden structure began to rot rapidly and finally the rooms were filled with mold. The analysis of this process showed that due to mild climate technology insufficient technical adaptation to Hokkaido's cold climate caused serious condensation problems.

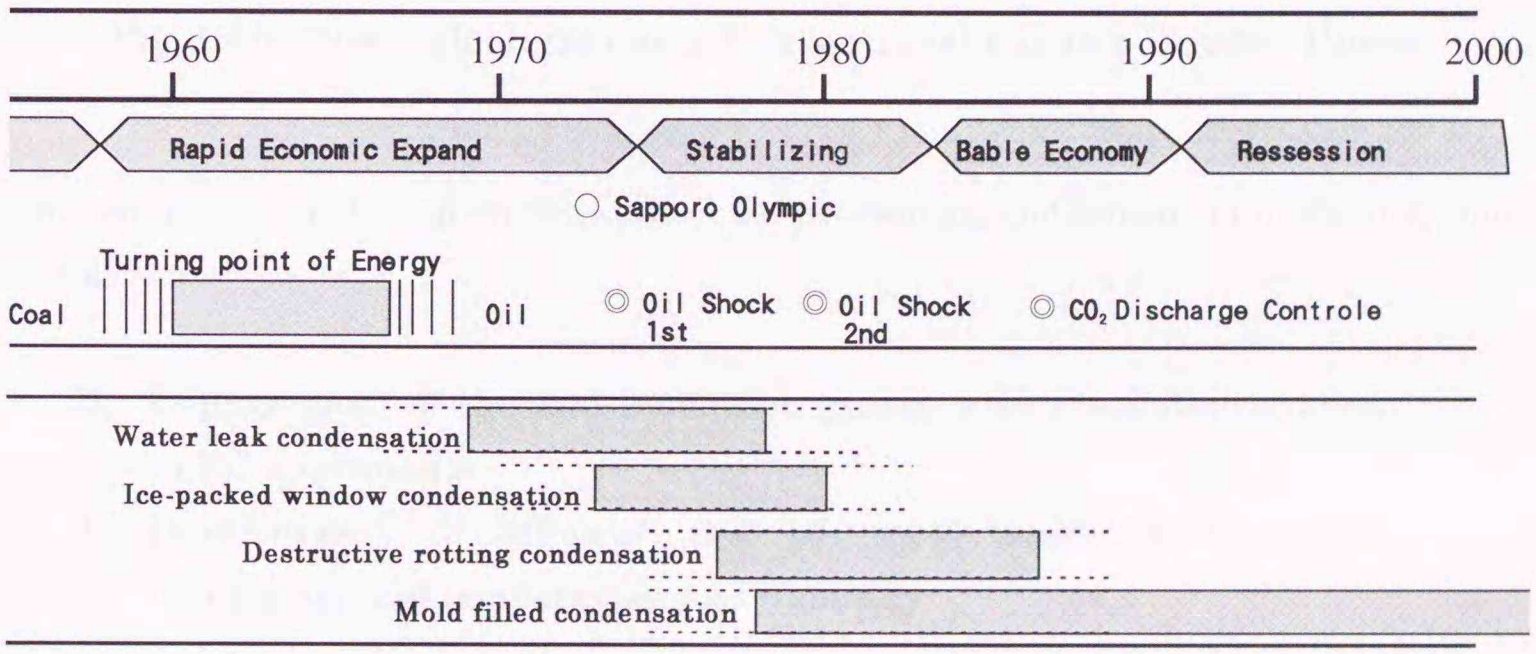


Fig.1 The changing process of condensation problems

It is also shown that the movement of wet indoor air is one of the main causes of the serious condensation problems in a house with thermal insulation(Fig.2). Therefor, it is imperative to make houses airtight and to install ventilated air space on outside of the external wall to prevent the condensation problems in cold regions. The damages caused by summer condensation and by Namidatake or Serpulalacrymans, which grows enormously and rots away the floor construction quickly. This study showed that the conditions in the crawl space had strong influences on the durability of houses in cold regions.

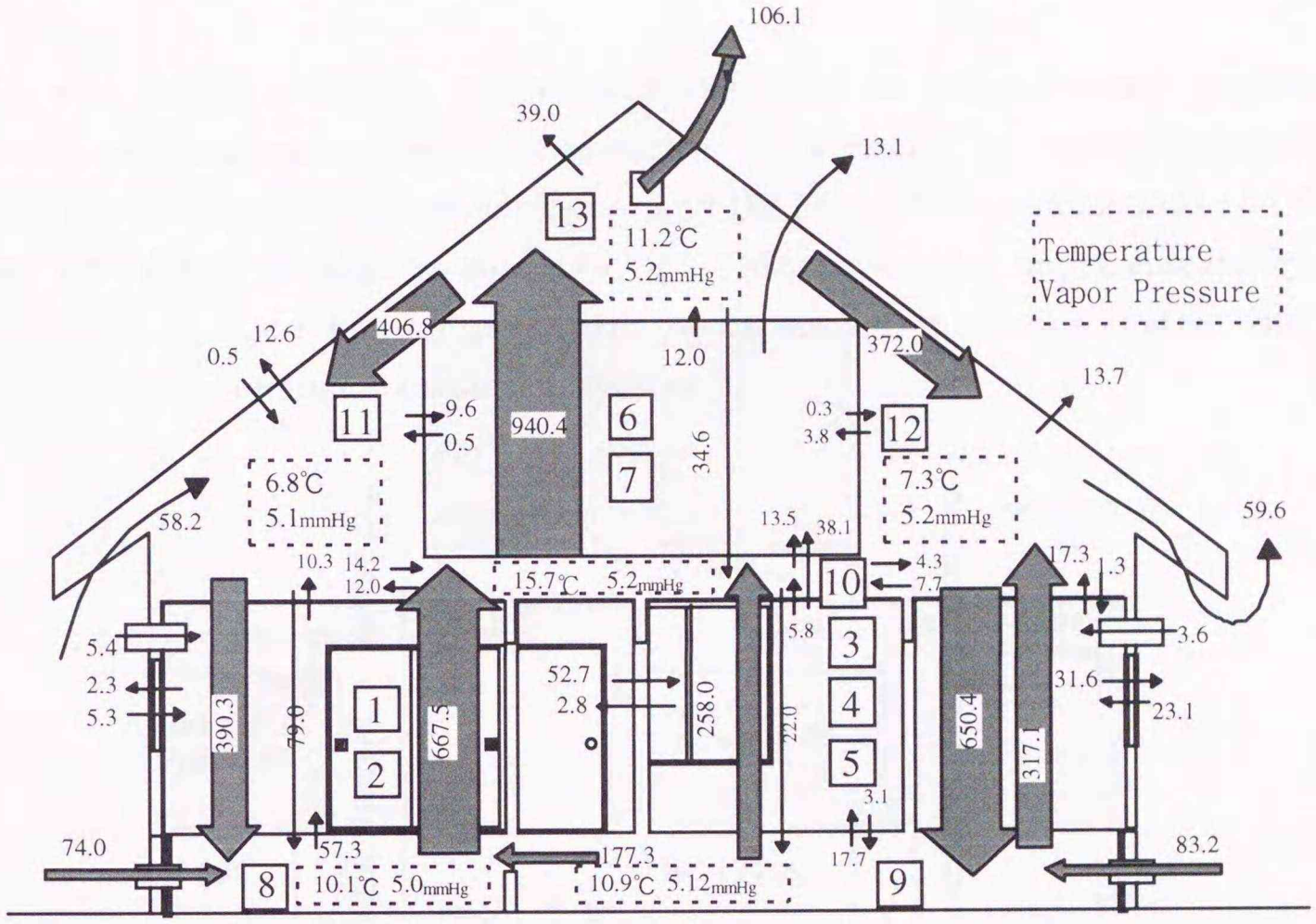


Fig.2 Air Flow Calculation on a Conventional Japan's Wooden House

This chapters conclusion on the subject for preventing condensation problems, then as follows:

1. Improvement of thermal insulation system and ventilation system in RC apartments
2. Development of efficient use of crawl space with proper management of temperature and humidity

Chapter 3 : The Approach to The Prevention of Condensation Problems in RC Apartments

The third chapter deals with condensation problems in RC apartments. In this study the temperature and humidity in closets and under carpets were measured. As a result, the condensation problems decreased by the symptomatic treatment of added partial insulation on thermal bridges and advice to occupants. However humidity was still high in the closets corners and under carpets. The improper insulation system and insufficient ventilation brought such circumstances.

Inside and outside insulation systems were compared on indoor thermal condition by measurements and numerical simulation. As a result, by outside insulation system the temperature was much higher and the humidity was much lower on the corner with thermal bridge, as shown in Fig3. This showed that high conductivity of concrete construction was an advantage for an outside insulation system, but a disadvantage for an inside insulation system.

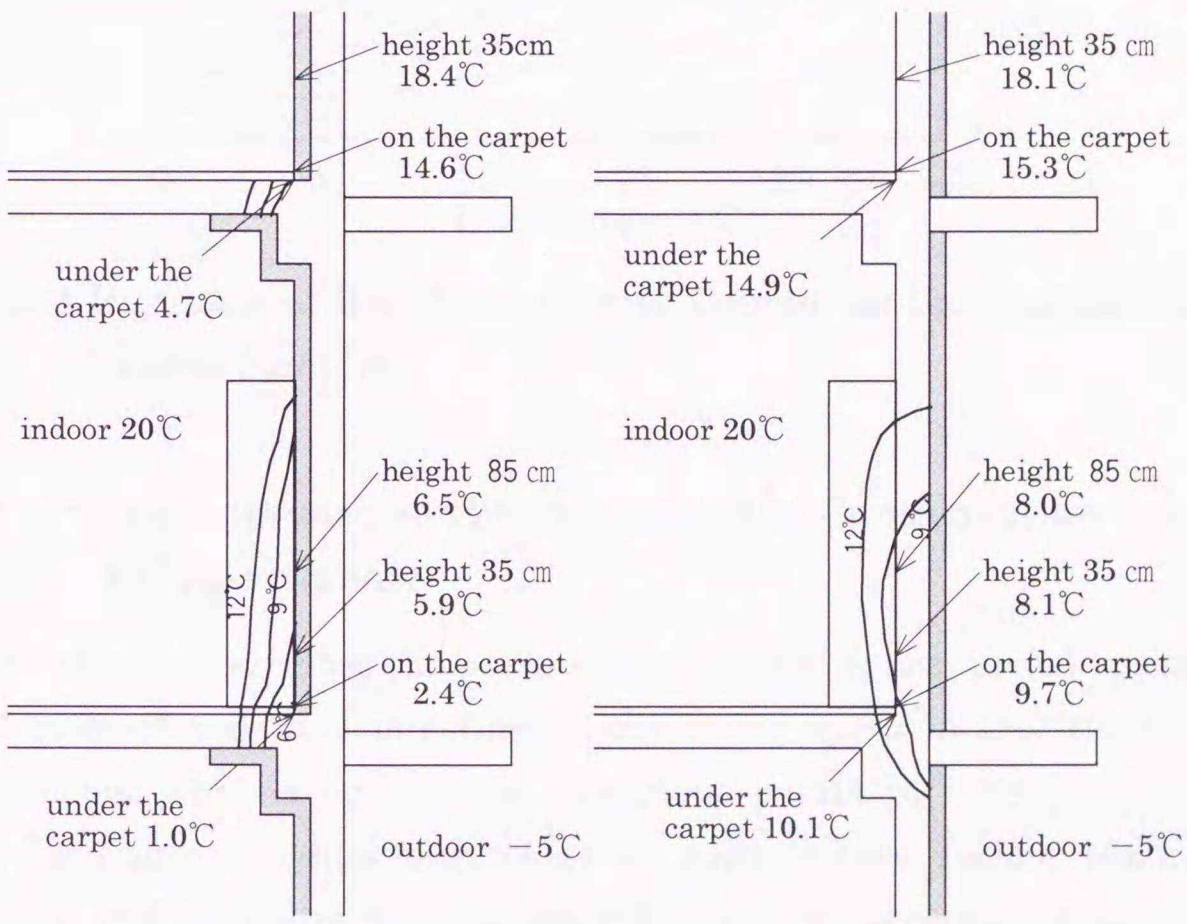


Fig.3 Calculated temperature profile of the wall with both inside and outside insulation

The mechanical ventilation system with heat exchanger was presented for partially heated RC apartments. Preheated fresh air is supplied into closets and unheated rooms which usually have a low temperature and high humidity. Then the room air is exhausted from the heated room. This system makes up the air flow pattern from the area with potential for condensation to the warm and humid heating area. As a result, this system is possible to prevent condensation problems completely. Measurements and numerical simulation showed that this system kept closets and unheated rooms dry efficiently as shown in Fig.4.

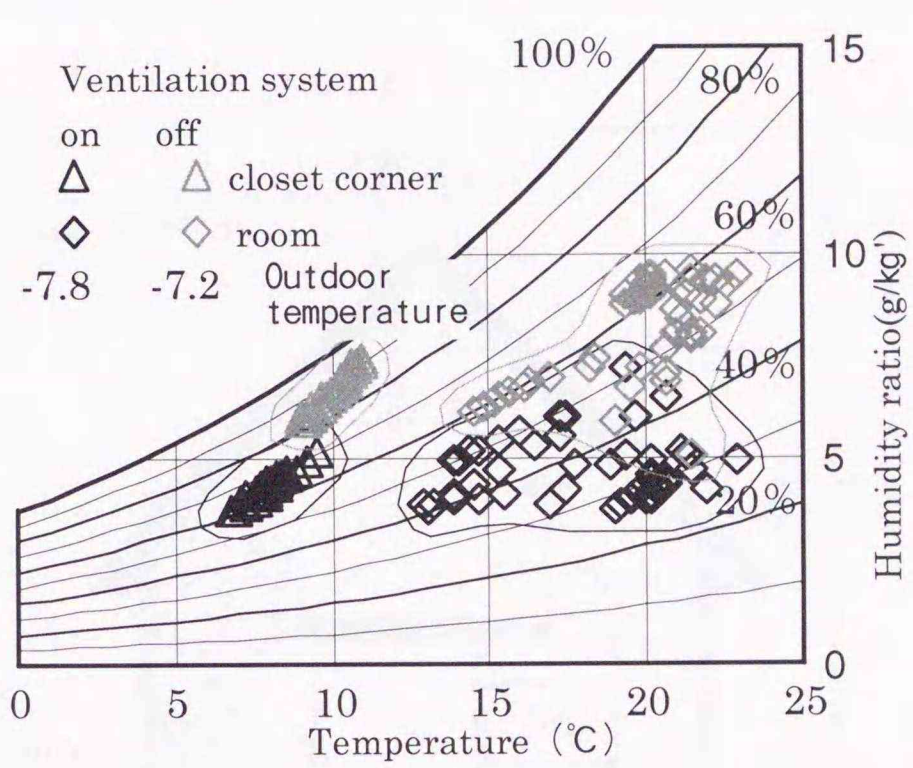


Fig.4 Humidity of the Closet Corner Depend on the Ventilation System Running

Chapter 4 : The Approach to the Prevention of Condensation Problems in RC Apartments

The fourth chapter describes the positive use of crawl space. Crawl space has been a buffer space of heat and moisture to the living space in traditional Japanese wooden houses. This is one of the important points to establish the regional concepts for house building technology in Japan's cold region, Hokkaido. The temperature and humidity were measured in the crawl space of two houses for about one year. One house has floor insulation and the other has vertical edge insulation on foundation wall. The measurement indicated that the temperature and humidity in the crawl space was almost equal to living space in the house with vertical edge insulation. As a result, vertical edge insulation solves the problem of condensation and brings high durability and comfort to cold region houses.

The cold fresh air supply with vertical edge insulation was presented for good use of crawl space. The stack exhaust which has been used for long time all over the world is combined. Fig.5 shows the concept of this system. It functions only in the highly insulated airtight house. Experimental study in the test house indicated that the fresh air supply through crawl space was an ideal system to preheat cold fresh air without any detriment to indoor thermal comfort. Results of experiment and numerical simulation of the variation of the ventilation rate due to the area conditions and house characteristics showed that this system provided excellent ventilation without the extreme variation in ventilation rate in an airtight house.

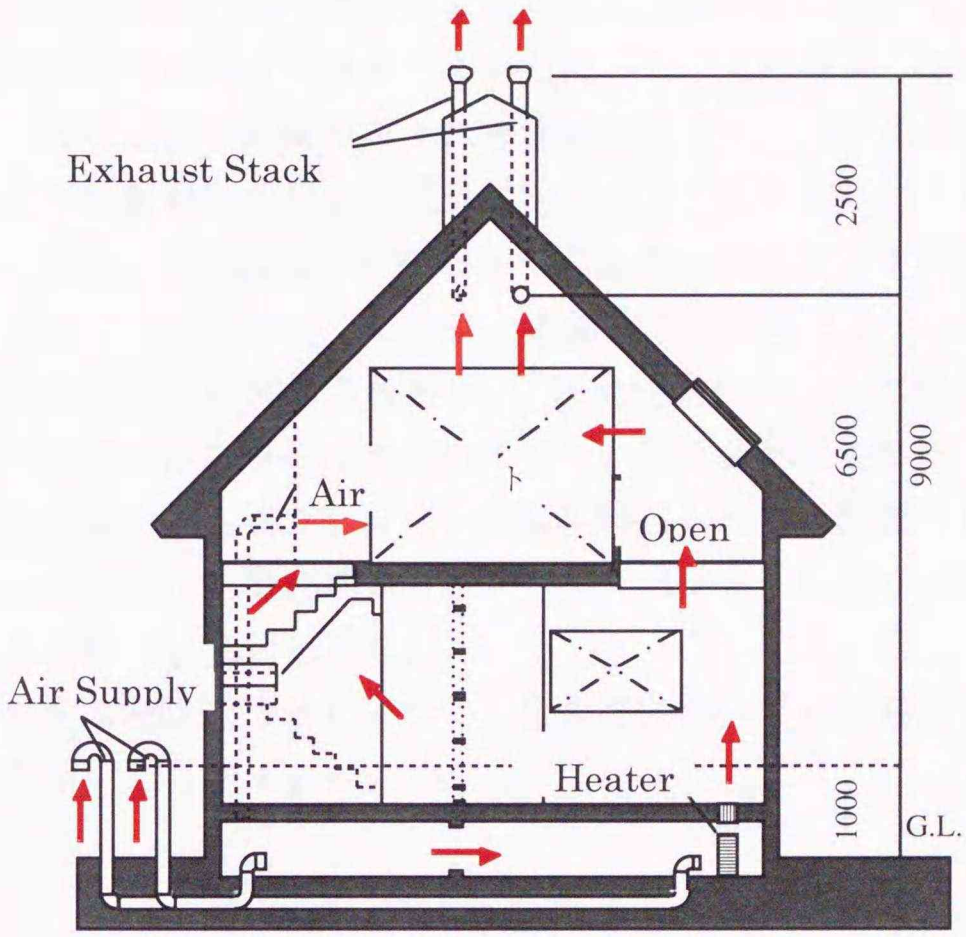


Fig.5 The Concept of the Natural Ventilation System.
Combination of The Stack Exhaust and The Cold Fresh air Supply Through Crawl Space With Vertical Edge Insulation

Chapter 5 : The Approach to The Prevention of Condensation Problems in RC Apartments

The fifth chapter is the summarization and describes the subjects following on this paper. Based on this paper, the subject for apartment house in cold regions is to provide common ownership of temperature. The subject for global environment is to provide a house which last through generations in cold regions.

謝　辞

論文の指導をいただいた絵内正道教授と、貴重な助言をいただいた北海道大学工学部の落藤澄教授、持田徹教授、越野武教授、鎌田英治教授に感謝いたします。絵内教授には、多忙の中多くの時間を割いていただき、論文のまとめ方を始め内容全体にわたる懇切丁寧なご指導をいただきました。また、旧第6講座の諸先輩後輩、スタッフ、学生の方々には、直接間接に励ましと協力を頂きました。記して感謝いたします。

本論文は全て、北海道立寒地建築研究所時代の設備研究課および、改組後の北海道立寒地住宅都市研究所の居住環境科に勤務した20年間に携わってきた研究の成果です。直接間接に研究の指導や励ましをいただいた、上野栄氏、釜田幹男氏、入江雄司氏をはじめ、所の先輩や同僚の方々に感謝いたします。上野氏は、本論文のきっかけとなった多くの結露被害の現状を見せていただき、長年にわたって貴重な助言をいただきました。また、入江氏は、同僚として本論文の骨格を成す部分の多くを共に研究してくれました。氏の助力無くしては、本論文をまとめることはできませんでした。

4章のパッシブ換気に関する検討は、「寒地住宅のパッシブ換気に関するフイジビリスタディー」の内容を中心にまとめており、委員会委員各位から有益な助言をいただいたことを感謝いたします。特に、卒論生時代から修士課程を終えるまで、多くの実験を担当してくれた宮浦睦明氏と、シミュレーションに多くの協力をいただいた北海道電力の土井聰氏に感謝します。

最後に、卒業以来研究ばかりでなく、生き方についても方向示していただいた荒谷登博士に、深謝いたします。

平成9年8月　　福島　明

inches 1 2 3 4 5 6 7 8

cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

Kodak Gray Scale

C Y M

© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 **M** 8 9 10 11 12 13 14 15 **B** 17 18 19