

平成5年度 農林水産省補助事業
(財)日本住宅・木材技術センター事業

木造軸組工法住宅断熱化技術の開発

(壁内通気構法開発のための基礎資料の整備)

平成6年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

日本列島の中で梅雨季や夏季の無いのは北海道のみで、他は全て両者の季節を有する。従って、冬季を主とした断熱化のみでは、梅雨期における床下内で、また夏季の冷房時には壁内で結露し、その結露水が断熱材の断熱性を低下させたり、木構造を劣化させる危険がある。

そこで、本事業では、蒸暑地域における本造軸組工法住宅の断熱化技術に関する既研究成果を体系的に整備し、課題の明確化・体系化を行い、問題点を明らかにして、必要なものについては実験等を通じて技術開発を図ることを目的としている。

事業期間は、一応3年間を目標としており、当面、今年度は在来軸組工法住宅における壁内通気の実態等について調査し問題点の把握に努めた。

調査は、福岡大学に委託し、須貝研究室 須貝高教授を中心としたグループが実施したものである。

目 次

1. はじめに	1
1. 1 研究目的	2
1. 2 蒸暑地域における壁体構成指針に関する既往の研究	4
1. 3 壁体の結露	5
2. 通気構法における通気層幅の検討	10
3. 通気構法における通気開口部位（通気の取り入れ口および排出口） の検討	36
4. 壁体内を断熱化する場合の防湿層の位置の検討	44
4. 1 夏季屋外比較実験	44
4. 2 数値シミュレーション	50
5. まとめ	69
5. 1 通気構法における通気層幅の検討	69
5. 2 通気構法における通気開口部位の検討	70
5. 3 壁体内断熱化における防湿層の位置の検討	70
5. 4 その他（寒冷地域における通気構法）	71

1. はじめに

季節蒸暑地域に属する我が国の伝統的住まいは、夏を旨とした木質系の開放型住宅であり、自然通風に伴う涼房により夏季の暑熱に対処した。これは、建築躯体の水分伝達を促進させる結果にもなり、躯体含水（湿）量を実害の生じない程度に抑えた。近年になり空調機器が発達・普及し、機械的手法に多く依存した人工的な室内環境が作り出されてきたが、地下資源の枯渇、地下資源の燃焼に伴う環境汚染およびエネルギー不足が世界的規模で叫ばれるようになると、省エネルギーを目的として住宅の断熱気密化が標準化され、空調を前提とした室内環境の改善が図られるようになった。断熱気密化された住宅は、室内への外界の影響が緩和されるため、一般には冷暖房負荷を低減できる。しかし、断熱気密化された住宅は室内外に温度差が生じるため、壁体の適切な防露設計（通気あるいは断湿）を怠った場合には、内部結露、蟻害、腐朽などによる躯体材料の劣化を生じる恐れがある。したがって、住宅の断熱気密化に際しては壁体内部への湿気の侵入を防ぐ完全な断湿施工、あるいは躯体の吸放湿を促進させる通気施工により、壁体内部での湿害を防ぐ必要がある。その方法として、例えば通気構法やエアサイクル構法などが挙げられる。通気構法は、外壁外周部に設けた通気層内に外気を導入し躯体の吸放湿を促進させるもので、寒冷地域における断熱気密壁体の防露設計手法として広く普及している。蒸暑地域での通気構法の普及率は寒冷地域と比較すると未だ少ない。また、蒸暑地域で通気構法を使用した場合、梅雨季・夏季には高湿外気が通気層内に流入するため、通気層から壁体内部への湿気の逆流を生じることが指摘されている。エアサイクル構法は、建物を密閉化し壁体内部の通気層を介して小屋裏と床下の空気を循環させることにより、躯体内部温度の均一化（屋内温度分布の緩和）と、壁体温度上昇による冬季の湿害防止（特に、非日照面となる北壁の内部結露防止）を図るものである。この構法は、主に冬季の屋内温湿度環境の改善を目的としたものであり、夏季には小屋裏と床下を換気することで壁体内部の通気が可能で通気構法のように排湿効果が期待できる。しかし、その有用性は知られているものの特許がらみになっていることがコストと施工性の点から、あまり普及していないのが実状であり、施工が簡易な軸組み構法でしかも季節蒸暑地域に適した断熱気密壁体構成の早急な確立が望まれている。

1-1・研究目的

世界の蒸暑地域を民家の形態と気候との密接な関係から大きく分類すると、乾暑地域と蒸暑地域に分けられる。さらに年間を通して暑い地域と四季がある地域として年間乾暑地域、年間蒸暑地域、季間乾暑地域、季間蒸暑地域に分けられる。陸地の面積比にするとほぼ世界全体の8割がこの4種の暑熱地域で占められる。また、残りの寒冷地域を2種に分けると、年中寒冷的年間寒冷地域と短い夏季もある季間寒冷地域となる。日本の気候は、この6種の民家気候図において北海道のみが季間寒冷地域となり、それ以外の地域が季間蒸暑地域に位置する（図1-1、表1-1参照）。

国土の大半が季間蒸暑地域である日本の住宅は徒然草26段に「家の造りやうは夏を旨とすべし」と書かれているように、古来から、冬よりも夏の蒸し暑さに対処するように造られてきた。これは、冬の寒さは、いろりや火鉢の採暖（放射熱）によってなんとかしのぐことができるのに対し、夏の蒸し暑さは除湿や冷房の技術がなかったために、日射遮へいと通風を利用した建築計画原論的工夫で対処したためと考えられる。例えば、通風をよくするために大きく設けられた開口部や、床を高くして設けた広い床下空間がそれである。また深い庇や簾を設けることにより夏の日射を防ぎ、冬には日射を取り入れるように工夫された。

さらに日本の住宅の壁体には、古くから木材が多く使用されている。この木材の使用により吸放湿が行われ、室内や躯体内部は調湿され、常に一定の湿度を保つこととなった。同じ理由から、湿気に弱い書物や食料は、土壁を使用した土蔵に貯蔵した。この頃の日本の住宅は開放型住宅であり、上述のように十分な通風を乗じ確保できたため、壁体は常に「動く空気」にさらされていた。この「動く空気」は、建築躯体と空気の水分伝達を促進させ、躯体含水（湿）量を実害の生じない程度に抑える働きをした。

ところが、「地震列島」と言われるほど地震の多い日本の建築物には地震対策、防火対策が必要となった。そこで近年の住宅は、床を布基礎で囲み、防火対策として外壁をモルタルで覆うようになった。同時に室内の熱環境は機械的手法で改善されてきたが、オイルショック以来、省エネルギーが世界的に叫ばれるようになり、これを目的とした冷暖房負荷の低減のために住宅は断熱気密化される傾向にある。R-2000に代表される寒地型の密閉型住宅の建設は北海道など寒冷地域か

ら始まり、現在では西日本など蒸暑地域でも建設されつつある。しかしながら、壁体は従来の枠組み構法に従って断熱化される事が多く、単純に断熱材を入れただけのものがほとんどである。そのため梅雨季や夏季の蒸暑季間には外気が高湿になり、降水や透湿に伴う吸水（湿）により躯体や断熱材の含水量が増加するため、内部結露や腐朽による壁体材料の劣化が予想される。特に、夏季昼間の冷房時には日射受熱による躯体からの放湿、いわゆる蒸し返し現象により壁体内部で外気側から室内側へ湿流が生じ、冷房により低温になる壁体内部の室内側に結露が発生する（夏型結露）。季間蒸暑地域でも室内側（内装材裏面）には冬季内部結露の防止（室内から壁体内部への透湿防止）を目的として断湿材（防水防湿シート）を設けることが多く、これが夏季内部結露をより助長している。

このように季間蒸暑地域では壁体を断熱化することで、躯体内水分が増加する夏季に壁体内部の室内側で湿害を生じ、耐久性が低下するという問題が起きている。寒地型住宅では、冬季内部結露を防止するために断湿材の施工に加えて、外壁外周部に設けた通気層に外気を導入し、躯体の吸放湿を促進させる通気構法を開発・実用化している。通年にわたり外気湿度が低い寒地では通気構法は壁体内部の蒸れを防止する有効な手法で、季間蒸暑地域でも寒地型住宅（高断熱高気密住宅）の導入にともないこの構法が採用されている。しかし、蒸暑季間には降水による貫流水分と高湿外気の通気層への流入によりかえって躯体含水量が増加するため、蒸暑地域における湿害は通気構法のみでは防止できないのではないかとの意見もある。他にもエアサイクル構法やハイブリッド構法、各種ソーラーハウスなどが開発されているが、特許がらみのものもあり、一般的には施工できないなどの理由により、対応の難しい構法である。その為、蒸暑地域では施工が簡易でしかも在来の軸組み構法に適した断熱気密壁体構成の早急な確立が望まれている。

本研究は以上のような観点より、通気層の有無、防湿層の有無および位置、断熱材の種類など構成が異なる各種断熱壁体の温湿度特性を実験的・解析的に明らかにし、季間蒸暑地域において湿害防止に有効な壁体の最適構成（特に断熱・防湿指針）を提案することを目的としている。ここでは、試験家屋の屋外暴露実験により各種断熱壁体の夏季・冬季の温湿度特性を明らかにするとともに、水分ポテンシャルを用いた熱・水分移動方程式による壁体温湿度の数値シミュレーションにより、湿害の危険性とその防止に有効な壁体構成について月別・地域別・方

位別に検討する。

1-2 蒸暑地域における壁体構成指針に関する既往の研究

我が国における断熱気密壁体の構成の基準は、R-2000など北欧・北米のそれを基に造られている。また、内部結露防止を目的とした壁体の構成指針に関して提案・研究された例はほとんどない。特に、夏季の蒸暑地域で発生する夏型結露の問題（室内空調時に低温面となる壁体内部室内側で発生する結露）に関する研究は皆無である。

現状の壁体内部結露の防止を目的とした構法は通気構法のみである。通気構法は、冬季に壁体内部外装材側で発生する結露の防止を目的として造られた構法であり、冬季の寒冷地域において結露防止に有効な壁体である。ところが、省エネルギー基準^{1,2)}の改正とともに、九州地方など年間蒸暑地域においても断熱・気密化が図られ、通気構法を採用するようになった。そこで外壁外周部で発生する冬型結露を解消するために寒冷地域で開発・実用化された通気構法が蒸暑地域においても有効であるか疑問が残る。この問題について、須貝らの一連の研究^{2,2'-5,1)}がある。須貝らは降水量による貫流水分と高湿外気の通気層への流入により、却って躯体含水量が増加し、夏季の空調時には低温になる室内側で結露の危険があることを指摘している。また、通気層の厚みについてスペーサーなどで確実に確保すれば7mmでも効果があること（省エネルギー基準法では18mm^{1,1)}）、住宅用防水防湿材には、湿気のみが通湿する防水透湿シートが有効であることなども研究している。

渡辺ら^{5,2'-5,6)}は実在家屋の高断熱高気密住宅を建設し、梅雨季および夏季空調時において、断熱材の種類、防湿層の位置および有無、室内側の空気層などの壁体構成の違いが、壁体内の温湿度環境に及ぼす影響について検討している。しかし、結露が発生するような構造躯体および断熱材の含水量、および、それが壁体内の湿度に及ぼす影響などについては検討課題としており、壁体の最適構成指針は明らかにされていない。また、人工気候室内に設置した模型家屋において夏季空調時を想定した壁体内湿気移動実験および数値シミュレーションを行い、年間蒸暑地域に適した木造断熱壁体の提案を行っている。

1-3 壁体の結露

壁体の表面や内部で発生する結露のメカニズムには、大別すると冬型と夏型の2種類がある。冬季結露は、壁体の室内表面あるいは壁体内部の室外側に発生し、前者は冷橋部や隅角部など断熱が不十分でその部位の温度が室温に比べて低い場合に、後者は特に暖房時で外気温度が低い場合（図1-2参照）に生じ易い。室内表面の結露は暖気が壁体表面に触れ冷却されることで、壁体内部室外側の結露は主に室内から壁体内部に湿気が流入することで、いずれも低温部位で空気が飽和状態になり発生する。一方、夏季結露は壁体内部の室内側に発生し、冷房時で日射受熱が著しい場合（図1-3参照）に生じ易い。これは、日射受熱にともなう室外側躯体の昇温により、躯体材料から放湿（あるいは脱着）された湿気が室内側に流れ込み、低温面となる室内側で飽和状態になるためである。夏季には、床下（主に基礎）でも結露が発生する場合があるが、これは外気（高温多湿空気）が床下に流入して冷却されるためであり、現象としては冬季に壁体の室内側表面に発生する結露と同じである。床下は居住空間でないことと、床下の結露は現状では防ぎようがない一面もあり、①結露しても床下換気を促進することで速やかに乾燥させる、②床下部材には防腐剤を塗付する、などの方法で湿害を防止している。しかし、居住空間を構成する壁体では結露防止は不可欠であり、そのための壁体構成や部材を検討する必要がある。

a)夏季結露

夏季結露は冷房時で日射受熱が著しい場合に壁体内部の室内側に発生する。しかし、同じ部材を使用し同じ構成にした壁体でも、外界気象条件の違いなどにより結露の危険性は大きく異なる。以下に、夏季結露に影響する主な要因を列挙する。

- ① 壁体構成
- ② 壁体材料
- ③ 材料含水率
- ④ 壁面方位
- ⑤ 外気温湿度や日射量などの外界気象条件

⑥ 室内温湿度

これらの要因は、夏季結露の発生に単独で起因するのではなく、相互に影響してある条件を満たした場合に結露を生じる。例えば、日射受熱による壁体（および躯体）温度の上昇のみでは結露は生じない。温度上昇にともなう壁体材料からの放湿（あるいは脱着）による、壁体内湿気量の増加が結露の一条件となる。当然、湿気の増加量は温度上昇（日射受熱量）と材料の含水率に依存する。しかし、温度上昇により壁体内の湿気量が増加しても、同時に壁体内空気の湿気容量も増加するため、これらの条件でも結露は生じない。この時に、室内を冷房するなどの条件により外気側（日射受熱面）と室内側の温度に大きな差が生じ、外気側部材から放出された湿気が室内側に流れ込み壁体内部の室内側で空気が飽和状態になった場合にのみ結露が発生する。なお、壁体内部の湿流とその量は、壁体構成に左右される。また、壁面の日射受熱量はその方位や日射吸収率（表面色）、および外界気象条件で変わり、材料の含水率は履歴の影響を受ける。このように、夏季結露は多くの要因が相互に影響して発生するため、結露の有無を判断することは非常に困難である。しかし、上述したような夏季結露のメカニズムを理解すれば、これを防止することは可能である。つまり、夏季結露は基本的には壁体内部の湿気量を低減し、壁体内部の湿気を外気に排出することで防止できる。以下に、夏季結露の防止に有効ないくつかの方法を列記する。

- I 壁体内部と外気の間で水分伝達が促進される壁体構成にする
- II 壁体内部の外気側から室内側（低温部）への湿流を防止する
- III 吸放湿性（あるいは吸脱着性）の少ない材料を使用する
- IV 材料の初期含水率を低減する
- V 壁面方位を考慮して材料を選択する
- VI 壁外表面の日射吸収率を小さくする（白色系の外表面仕上げとする）
- VII 冷房時の室内温度を高め設定する

上記 I～VIIは、①材料から放湿された湿気の外気への排出（I）、および低温部への湿流の防止（II）、②壁体内部の湿気量（あるいは材料からの放湿量）の

低減（Ⅲ，Ⅳ，Ⅴ，Ⅵ），③露点温度の上昇（Ⅶ），により壁体内部の蒸れを防止する方法である。

b)冬季結露

冬季結露は壁体の室内表面あるいは壁体内部の外気側で発生し，前者は冷橋部や隅角部など断熱が不十分でその部位の温度が室温に比べて低い場合に，後者は特に暖房時で外気温度が低い場合に生じ易い。

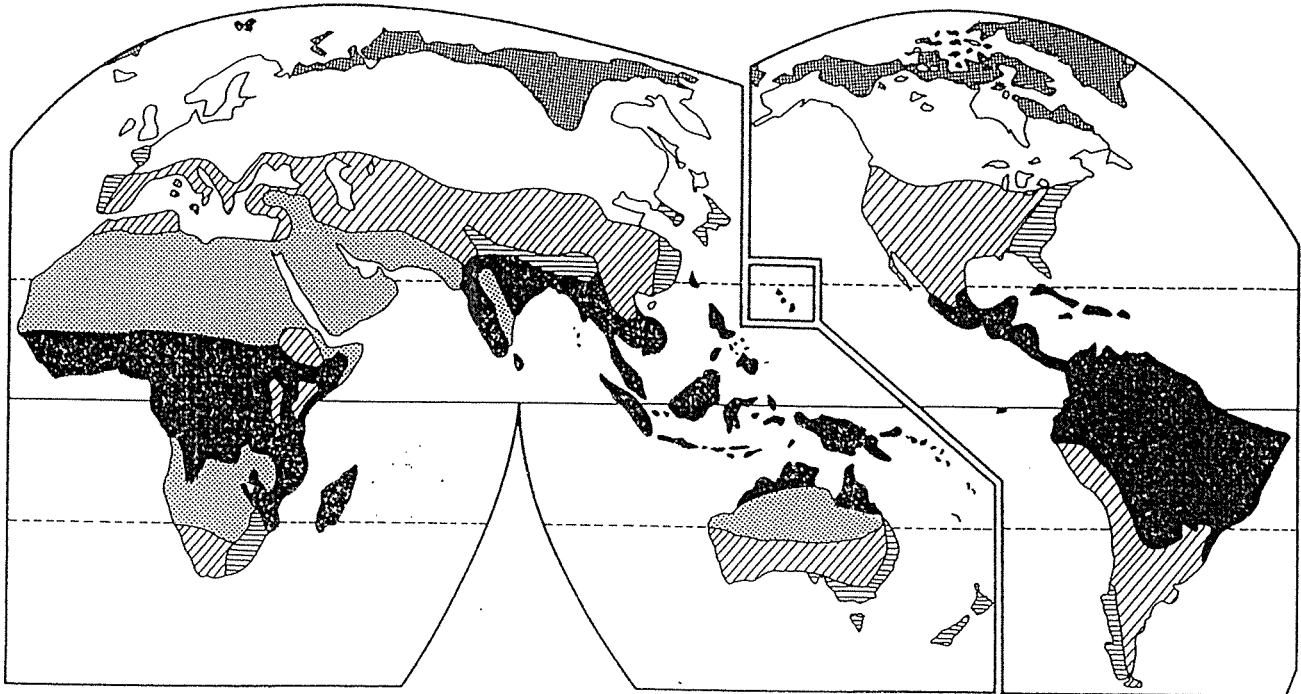


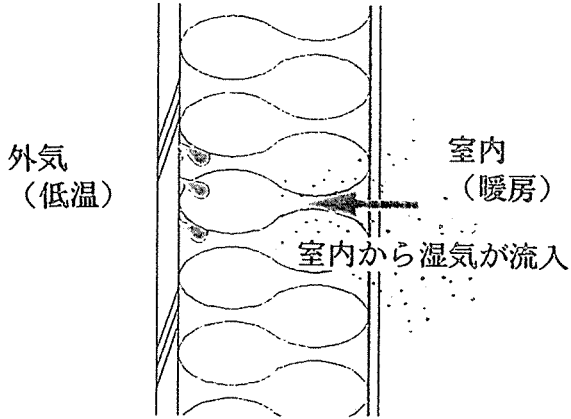
図 1 - 1 民家の気候図 (木村健一作成) 2)

表 1 - 1 防暑手法の分類 (木村幸一郎作成)

	年間乾暑	季間乾暑	年間蒸暑	季間蒸暑
代表地域	砂漠地方	地中海 中東地方北部	東南アジア カリブ海諸国	日本 米國東海岸 中国南東海岸
夏 気温	日中 27-45℃ 夜間 5℃	日中 36-46℃ 夜間 18-24℃	日中 26-33℃ 夜間 21-25℃	日中 26-32℃ 夜間 20-27℃
湿度	平均 24%	8-20%	70-90%	70-80%
冬 気温		日中 4-15℃ 夜間 -7--2℃	日中 21-24℃ 夜間 16-18℃	日中 26-32℃
日射量	950-1030kcal/sqah	880-1030kcal/sqah	880-950kcal/sqah	750-950kcal/sqah
築落形態	互いに密集して日影を作る		住居は互いに離れて建ち、風通しをよくする	
通風	比較的少ない	通風塔	年中開放	高天井
日除け	厚い壁、小さい窓	マシュラベアー、回廊	庇	庇、格子、簾
蒸発冷却	上屋根は少量の雨を吸収	室内の池	屋根	藁葺き屋根、瓦屋根
日射反射大気放射	白っぽい土色の屋根と外壁	白壁	多雨のため白は汚れる	反射は意図しない
屋根の形	陵屋根、ドーム	傾勾配屋根	急勾配屋根、二重屋根	急勾配屋根、二重屋根
床	土間床	土間床	高床	竹造り
蓄熱容量	石造、日干煉瓦	石造、日干煉瓦	軽業	土蔵造り、土間
煙突効果	日射加熱塔 排風型ドーム	排風型ドーム Badgir	通風孔	換気孔、煙出し
水面	オアシス	噴水のある広場	水上家屋	池
湿度			コケ、水	土、タタキ、水
土壌接触	地中住居、横穴住居	霧洞、地下風道	盛土土間	盛土土間
夜間換気	風上寝台	中庭の下部に罅留	自然換気のみ	土壁に蓄熱
中庭	採光のためのみの中庭	非常に多い	一般にない	少ない
前庭	あまりない	あまりない	草木は高く多い	植物、池を配する
植栽	あまりない	中庭に植樹し影を作る	大木に囲まれる	霧、大木、灌木、芝生

(早大・木村)

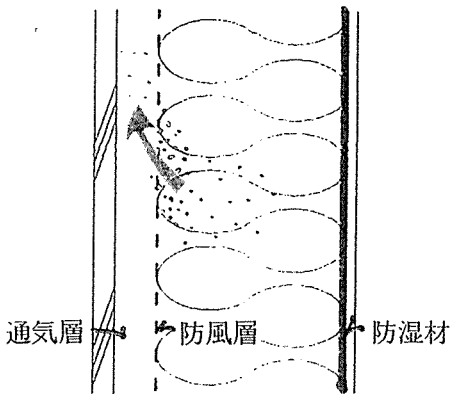
低温面となる断熱材の外装材側で結露が発生



冬季内部結露



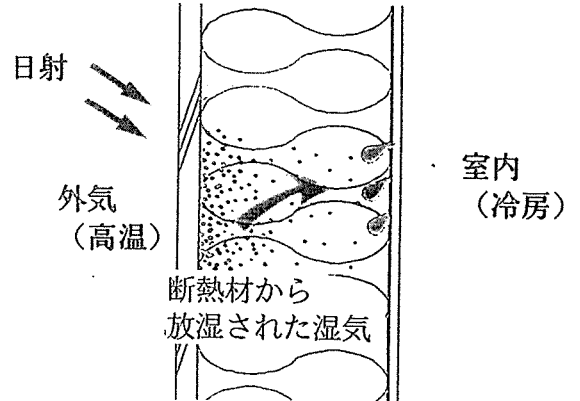
外壁外周部に通気層を設けた通気構法が実用



冬季内部結露の解消

図1-2 冬型結露

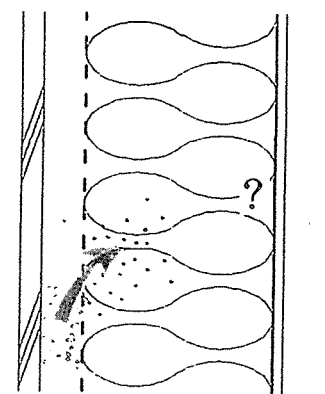
冷房時に低温面となる断熱材の内装側で結露



夏季内部結露



梅雨季・夏季には高湿外気が通気層内に流入



夏季内部結露 ?

図1-3 夏型結露

2. 通気構法⁶⁵⁾における通気層幅の検討

- 1) 図2-1, 図2-2に壁体の仕様と防水防湿シート(室内側合板外表面)の施工の良否による影響について示す(冬季における約2ヶ月の実験)。防水防湿シートを完全に貼付したもの, 防水防湿シートに穴(30×50mm)を設けたもの, 上下密閉したパネルを解体した時の内部結露の様子が図2-2である。ほんのわずかの冷気流を生じるようにグラスウール(繊維質断熱材)を施工したパネルは, 壁体内が冷却され, 大量の内部結露を生じており, グラスウール(繊維質断熱材)を平らにきちんと施工したパネルでは, 下部に大量の結露を生じている。防湿層の穴の有無はあまり働いていないことから, 床下から水蒸気が侵入していることも考えられる。それに対して, 2×4工法のように, 上下密閉したパネルでは, 防水防湿シートの穴で結露が生じており, 当然ながら床下とは関係がなくなっていることがわかる(室蘭工業大学における実験建物での実大実験の結果より)⁶⁵⁾。
- 2) 図2-3のように通気層を設けたパネルにおいては, 壁体構成は上下開放で行ってみたが, 壁体内の湿度を低く乾燥しており, 内部結露は生じていないことがわかった。しかし, 壁体下部は, やはり大量の結露が生じており, 床下から断熱材の中を気流がゆっくり走り, 壁体下端部を冷却し, また床下から水蒸気も供給され結露が生じている。また, 通気層の厚さを変えてみると, 24, 18, 12, 9, 6, 3mmの各厚さで, 壁体内湿度に大差が無く, また下端を紙で塞ぎ, 水蒸気は抜けるが空気を通さないという構成でも差がないことから, 水蒸気の拡散経路を確保してやれば良いことがわかった(室蘭工業大学における実験建物での実大実験の結果より)⁶⁵⁾。
- 3) 通気層とグラスウール(繊維質断熱材)の間の防風層としてのシートやボードについては防水透湿シート(タイベック)やシージングボードが適しており, 合板や発泡スチロールボードについても可能だが, アスファルトフェルトは不適當であることがわかる(室蘭工業大学における実験建物での実大実験の結果より)(図2-4参照)⁶⁵⁾。
- 4) 外側を通気構法とし, 壁体下部の結露を防ぐためには, 床下の地盤に防水防湿シートを敷き込むことが有効であり, 相当な効果を得るが, 完全ではない。完全にするためには, 2×4工法のように壁体内の気流が生じないように, 上

- 下密閉が必要である。壁の断熱性能を 100% 発揮させるためにも必要である⁶⁵⁾。
- 5) 外壁にかかる風圧が、通気層を介して防風層にもかかってくることを示す。防風層は、水蒸気を通し、外壁からの漏れる水に対して防水性もあり、風圧にも耐え、施工時の傷や、破断を生じない丈夫なものを選ぶ必要がある（図 2 - 5 参照）⁶⁵⁾。
 - 6) 北海道での通気構法は、おそらく 80% 以上の普及をみており、大半は胴部材（45mm×18～24mm）で壁の外側に縦下地を作り、横貼りサイディングを貼るという構成である⁶⁵⁾。世界での通気構法を見ると、風の強い地方は通気層幅が小さく、風の弱い地方は通気層幅が大きくなる傾向を示す最も通気層幅が大きい所では 50mm の通気層を確保しているとの報告がある⁷⁷⁾。
 - 7) 上下端のいずれか一方のみ開放し他方を閉鎖した場合の通気層中央での湿度分布を示す。いずれの場合の通気層幅においても上下に分布が生じ、放湿の効果は期待できない（図 2 - 6、図 2 - 7 参照）⁶⁸⁾。
 - 8) 上下開放した通気層中央での湿度分布を示す。通気層幅が 0.6cm の場合は、通気層の下端から 45cm 付近までは急激に湿度が増加するが、それ以上になるとほぼ高湿側に近い値で一定値となっている。通気層幅が 1 cm と 1.5cm の場合には、ほぼ同一の傾向を示し、通気層の下端から上端まで直線的に湿度が増加しているのがわかる。通気層幅が 2 cm 以上になると、湿度分布は通気層幅によってほとんど変化せず、上下一様となって、低湿になる（図 2 - 8 参照）⁶⁸⁾。
 - 9) スリット位置の相異に拘わらず、ほとんど同一垂直湿度分布になっており、この結果から、スリット位置の相異による放湿効果の差異はほとんどないことが分かる。ただし、スリット幅が同一の場合には、垂直湿度分布は通気層幅が小さくなるに従って、上下に分布が大きくなっていく傾向を示す（図 2 - 9 ～ 図 2 - 12 参照）⁶⁹⁾。
 - 10) 通気層幅 2 cm においてスリット幅を種々変えた場合の結果を示す。スリット幅が 0.1cm の場合には、通気層の下端から 1.2m 付近まではかなり急激に湿度が増加し、それ以上の高さになると、ほぼ高湿状態で一定になる。スリット幅が 0.2cm の場合には、通気層の下端から上端まで直線的に湿度が増加し、スリット幅が大きくなるに従って上下一様に近づき、しかも低湿状態となり、放湿効果が大きくなって行く傾向を示す（図 2 - 13、図 2 - 14 参照）⁶⁹⁾。

- 11) 図 2 - 15, 図 2 - 16に示すグループ 1 は換気用開口面積を一定とした仕様を、グループ 2 は通気層幅を 20mmにした仕様である。グループ 1 では、通気層幅を 20mmとした時の壁体内部の絶対湿度は、外気のそれとほぼ等しく、その場合の壁内内部の露点温度は -6.9°C で、壁体内部で結露が発生する危険性はないものと思われる。グループ 2 では、通気層幅 20mmにおいて、どの壁体でも、上記同様に内部結露の起きる可能性はなく、20mm程度の通気層であれば、換気によって壁体内部結露は、十分に防止できるものと考えられる⁷⁰⁾。
- 12) 通気層内の除湿能力により現在の通気層幅 18mmを決定しており、通気層内の空気の流れと流速は、外部風圧によって支配されることを明らかにしている。また、北海道での平均的な外部風速 4 m/s であることから、通気層幅 7 mmでも有効であり（通気層 3 mmでは無効）、24mmと 18mmの通気層幅の流量はほとんど変わらないことを明らかにしている（北見工業大学の坂本弘志教授の研究）（図 2 - 17参照）^{76), 72)}。
- 13) カナダの R-2000住宅のマニュアルには、温暖地の内部結露防止方法として「3分の2, 3分の1」理論が紹介されています。防湿層を室内側から 3分の1 だけずらした位置に設けるという対策です（図 2 - 18参照）⁷⁵⁾。
- 14) 通気構法は外気の影響を受けやすいため、梅雨季など外気が高湿な場合に壁体内温湿度環境の悪化が心配されたが夏季期間、梅雨期間、真夏期間共に在来構法より壁体内相対湿度が低くなり、冷房期間においては通気構法の方が壁体内相対湿度が高くなった。在来構法における防水防湿シートと防水透湿シートの平均相対湿度は梅雨期間、真夏期間においては防水防湿シートの方が高いが、冷房期間においては防水透湿シートの方が高くなった（表 2 - 1, 表 2 - 2, 図 2 - 19～図 2 - 21参照）⁴¹⁾。
- 15) 在来構法は、外装材に透湿性のあるものを使用した場合でもモルタルが湿流抵抗層となるため、室内から壁体内への湿流が生じた場合には、湿気が壁体内に停滞して高湿となる。また、通気構法では、湿気が防水透湿シートを通過して通気層から速やかに排湿されるため、壁体内部は比較的到低湿となる（表 2 - 1, 表 2 - 2, 図 2 - 19～図 2 - 21参照）⁴¹⁾。
- 16) 夏季における冷房期間は、いずれの構法においてもグラスウール（繊維質断熱材）の室内側の防水防湿シートに結露が生じた。この結露は晴天日の日中に

発生する。これは、壁体の温度上昇に伴って木材などからの蒸し返し現象により壁体内の絶対湿度が高くなり、さらに室内冷房により冷やされたことによるものである。また、結露が生じる確率は、通気構法の防水透湿シートが最も小さく約11%程度であり、在来構法の防水防湿シート、在来構法の防水透湿シート、通気構法の防水透湿ボードはほぼ等しく約20%程度となった（図2-22参照）⁴³⁾。

17) 躯体からの放湿が起こる場合、在来構法は放湿された水蒸気が壁体内部の密閉空間（空気層）に停滞するため高湿状態となる。これに対し、通気構法は壁体内部と外気の水分伝達が通気層を介して行われるため、壁体内部は比較的低湿に保たれる。また、通気構法は外気水蒸気が通気層を介して壁体内へ侵入するため、外気相対湿度が高い期間には在来構法に比べて壁体内の空気相対湿度が高くなる場合がある（表2-3，図2-23参照）⁴⁶⁾。

18) 夏季および梅雨季の非冷房期間の北壁において、在来構法である壁体1，壁体2よりも通気構法である壁体3，壁体4，壁体5の温湿度の方が高い値を示す。壁体2は在来構法であるため高湿外気を壁体内に取り入れないことや、外壁の透湿抵抗の高いサイディングを使用していることが要因として考えられる。またサイディングは熱容量が小さいために、日中、温度が高くなりやすく、そのため壁体内相対湿度が低下したことも考えられる。また、壁体4は他の通気構法に比べて通気断面積が大きいために、高湿外気の影響が著しかったことが考えられる。ただし、日中において、通気構法である壁体3，壁体4，壁体5は浮力による排湿効果が期待される。しかし、夜間に外気の湿気が侵入したため、在来構法である壁体1，壁体2よりも高湿となったものと考えられる（表2-4，表2-5，図2-24のa)参照）²⁴⁾。

19) 梅雨季，夏季において，通気構法の方が在来構法より結露しやすい。また，通気構法の壁体内部の相対湿度で比較すると，壁体2は壁体3，壁体4より低湿である。なお，通気構法は壁体内の湿気を排出を行うことが目的であるが，外気の相対湿度が高い場合には，逆に外気の影響を受けて，木材の耐久性劣化に対して危険な状態になり得ることが明らかになった。また，通気構法は外気の影響を受けやすいが，有孔シーディングボードを使用すると高湿な外気の影響を軽減できることがわかった（表2-4，表2-5，図2-24のb)参照）²⁶⁾。

- 20) 外装材と断熱材の間に取り付けている金物やボルトなどがあると、それらを伝って断熱材内に水が侵入する。室内からの透湿が多い建物では、外装材の取り付け金物に結露水の逆流防止を考える必要がある。この観点からすると、撥水加工した高密度繊維系断熱材や独立気泡断熱材が安全である²¹⁾。
- 21) グラスウール（繊維質断熱材）は透湿性が高く、それ自体の吸放湿量が多いため、在来構法の内部絶対湿度は躯体材料よりもグラスウール（繊維質断熱材）の吸放湿に大きく影響される。終日冷房した場合には、室内側仕上げ材の温度はほぼ一定に保たれるため、その吸放湿量は微量なものとなる。しかし、終日冷房した場合でも、在来構法はグラスウール（繊維質断熱材）からの放湿により昼間の内部の絶対湿度が増加するため、冷房により温度が低下した室内側に結露が発生する（図2-27、図2-28参照）。これに対して、樹脂系断熱パネル（硬質ウレタンフォームは、透湿抵抗が非常に大きく、それ自体の吸放湿量が少ないため、断熱パネルを使用した壁体内部の絶対湿度は、躯体材料（構成部材）の吸放湿に影響される。透湿抵抗の大きい断熱材を使用した壁体は、グラスウール（透湿性断熱材）を使用した壁体よりは断熱材自体の吸放湿が非常に少ないため低湿状態となる。しかし、室内から壁体への湿流が生じるような場合には、断熱材内側に湿気が停滞し高湿状態になる恐れがあるため排湿手法を考慮する必要がある（表2-8、表2-9参照）²⁸⁾。
- 22) 在来構法では、壁体の温度上昇とともに壁体からの放湿が起こり、日中は密閉化された壁体内部空間（空気層）に水蒸気が停滞し高湿状態となる（図2-27、図2-28参照）。さらに、夏季の冷房時には壁体よりも室内空気の温度が低くなるため、在来構法は壁体内部の空気絶対湿度が増加する日中に、室内仕上げ材の外表面に結露が発生する（図2-29～図2-32参照）。また、通気層の厚み7mmとした通気構法は、通気層内において十分な通風が得られず（本実験では、通気層の厚みが7mmに正確に確保されていないことも考えられる）壁体から放出された水蒸気を外気に排湿することができない（表2-8、表2-9参照）⁴⁵⁾。
- 23) 在来構法は密閉化された壁体内部に水蒸気が停滞し常に高湿状態になるのに対して、通気構法は壁体内部の水蒸気が通気層を通り外気に排湿されるため比較的low湿に保たれる（図2-33～図2-36参照）。壁体の温度上昇に伴う躯体

からの放湿により、壁体内部の絶対湿度が増加する昼間に両者の違いが顕著に現れる（図2-37、図2-38参照）。夏季冷房時には、壁体温度よりも室内空気温度の方が低くなるため、壁体内部の絶対湿度が増加する昼間に、室内仕上げ材の外表面に結露が発生する場合がある。冷房期間中に結露が発生した割合は、在来構法は約40%、通気構法は約20%であった（表2-10、表2-11、写真2-1参照）⁴⁷⁾。

- 24) 断熱層内部の水蒸気の放出（断熱層の屋外側は、各部位の断熱工法に応じて、水蒸気の外気への放出を妨げない納まりとする）を通気層による場合は、通気層は断熱層の屋外側全面にわたって設け、密閉されないような納まりとする（建築工事標準仕様書JASS24断熱工事）。
- 25) 断熱材が通気層をふさがないように注意して施工し、必要に応じて押さえ板を用いる（建築工事標準仕様書JASS24断熱工事）。
- 26) 断熱材が通気層に流れる冷気流に直接接する場合は、その間に必要に応じて水蒸気の放出を妨げない適当な防湿層を設ける（建築工事標準仕様書JASS24断熱工事）。
- 27) 壁の断熱材は長期にわたってずり落ちないように、適切な支持構法を用いる（建築工事標準仕様書JASS24断熱工事）。
- 28) 壁の断熱材は、原則として土台から桁までまたは桁から桁まで隙間なくはめ込む（建築工事標準仕様書JASS24断熱工事）。
- 29) 筋かいや配管部分で隙間を生じないように注意して施工する（建築工事標準仕様書JASS24断熱工事）。
- 30) 床下の湿気や水蒸気が、壁下部から断熱層に侵入しないように気流止めなどを設ける（建築工事標準仕様書JASS24断熱工事）。

通気層幅を7mmにした場合と18mmにした場合との通気構法の排湿効果について屋外暴露実験にて検討した。その結果、通気層幅を7mmとした場合は通年の効果がほとんど見られない。その後、解体してみると通気層の寸法が図面通りに確保されていないことが分かった。通気層幅18mmの場合と異なり、7mmの場合は容易に通気層が塞がれるため、通気層内において通風が得られず、外に排湿できない。つまり、グラスウール（繊維質断熱材）の膨らみによって、防風

シートが通気層を塞いでいることが分かった（通気層幅は、薄いと空気の粘性が作用し動かなくなり、静止空気と同様である（図2-40参照）。このときの排気口面積が小さい場合は、水蒸気の排出が遅れ、この状態が続くと密閉空気層に性質が似てくることになり、結露の可能性がある）。また、通気層幅を18mmとした場合は、壁体から外気に排湿される効果が見られた。

- ・ 通気層幅7mmを確実に確保できるように通気層にスペーサーを入れて実測を行った結果（写真2-1参照）、通気の無い防水防湿シート使用の壁に比べて排湿の効果がみられた。しかし、室内冷房時の夏型結露について検討すれば、通気層無しの壁に比べて結露時間および結露量ともに減少はしているが、解消されたわけではない。このように防風シートを使用する場合は、防風シートの施工に留意して、たるまないように施工したとしても限界があるから、18mm程度の通気層を確保し、たとえ膨らみがあったとしても通気層が確保できるようにすること（18mm程度で支障の無いボード状やシートでもスペーサーを設ければ18mmより小さい寸法でも可能であること）が肝要である。
- ・ 通気層を10mmにして、確実に通気層を確保するための工夫（スペーサーを設けた）を施こした実験を行なった（写真2-2参照）。その背景として通気層幅が10mm前後でも効果があると分かれば、わざわざ縦胴縁を使用しなくても、サイディングの止め金具を工夫したり、図2-39に示すような工夫を図ることによって、通気構法が実現できるメリットがあるためである。このことは台風時の通気層内への雨しぶきや塩水の侵入などの危険性を減少させ、さらに外壁材を直接、柱に固定できるため台風時の釘の曲げや引張り強度に対しても安全側に作用するメリットも生じることになり、その効果が大きいと期待される。
- ・ 在来断熱構法と通気構法（通気層幅を10mmに確実に確保するための工夫をこらした構法の実測結果については、第4章にて詳細に述べている。

注

- 1) 住宅の省エネルギー基準では、内部結露防止工法として①別付防湿層、②耳付き付属防湿層、③外張り断熱工法、④通気構法（通気層工法）、⑤床下地盤の防湿工法が挙げられている。この通気層工法とは、壁体内の水蒸気を排出しやすくして内部結露防止の効果を上げるために、断熱材の外側に通気層を設けた構法である。通気層の一端は外気に、他端は外気または小屋裏に開放する。

通気層の厚さは、18mm以上確保するように努め、横棧、防水層、防風層などで通気が妨げられないよう注意する。特に、開口部に注意が必要である。断熱材の通気層に接する面に、雨水や外気の侵入を防ぐための防風・防水透湿層を設ける。防風・防水透湿層とは、一つの層が防風・防水の機能を兼ねるもので、かつ透湿性が大きく、水蒸気の排出を防げないものをいう。単に防風層ともいう。防風層としては、シート状や板状のものが使用される。シート状では、高い透湿性、防水性、防風性はもちろんのことであるが、同時に高い引裂き強度も要求される。たるみのないよう気密に張り上げることと、風などによるバタつき、変形や破損が生じないように細心の施工を行うことが重要である。板状材としては、硬質繊維板、合板、高密度グラスウール（繊維質断熱材）、押出発泡ポリスチレンなどが使用される。合板は、断熱・透湿性の点では他よりも劣る。押出発泡ポリスチレンは、材料自体の透湿性は小さいが、材料の継目が透湿に有効であると言われている。一般に、板状材では施工の確実性が高く、さらに断熱性の上昇にも寄与する。

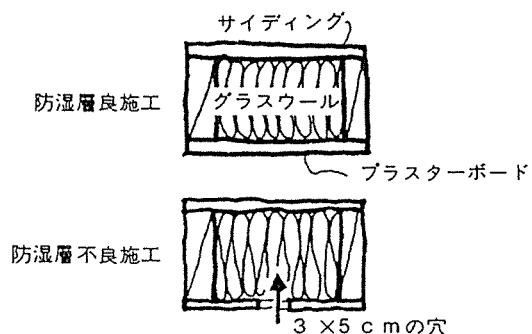
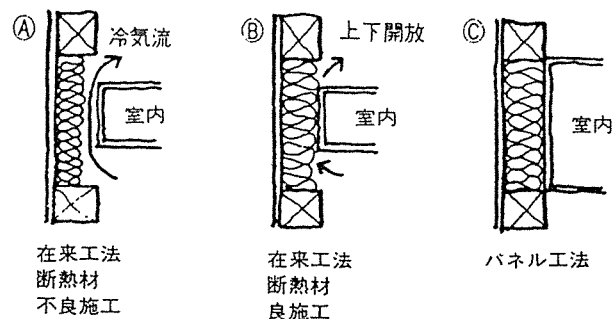


図2-1 サイディング壁パネル(65)

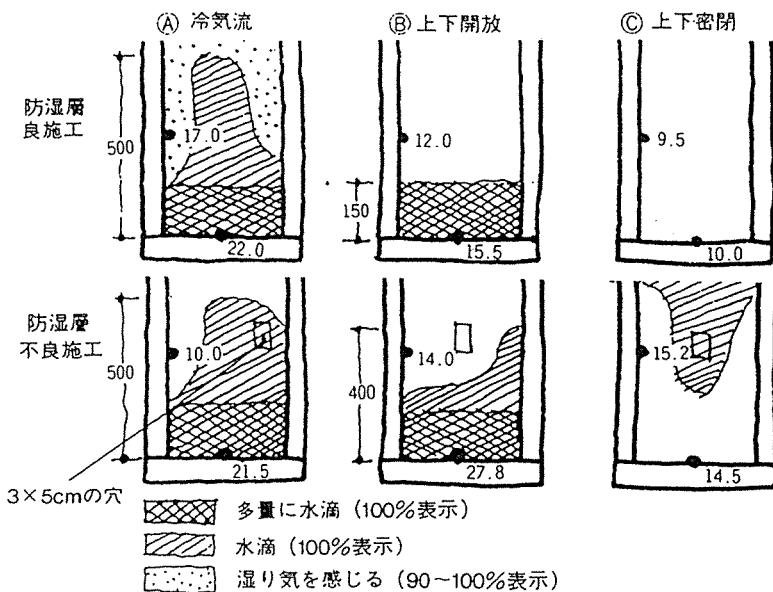


図2-2 サイディング壁の結露状況 (パネル内部) (65)

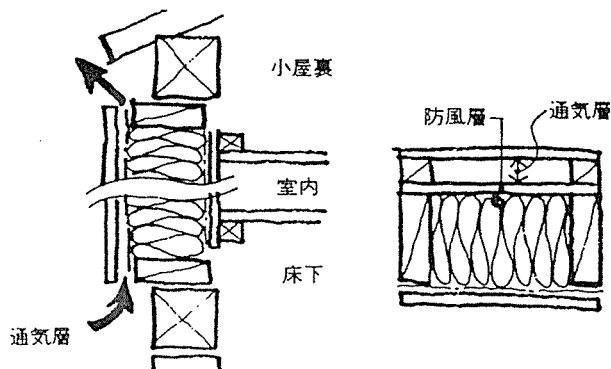


図2-3 通気構法の壁体構成(65)

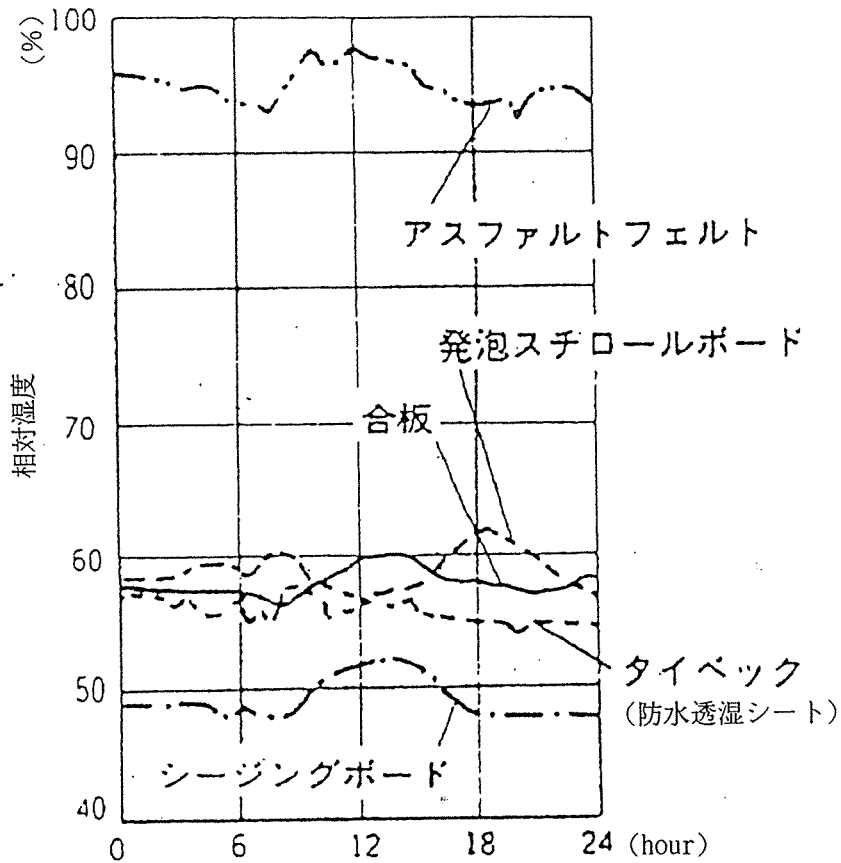
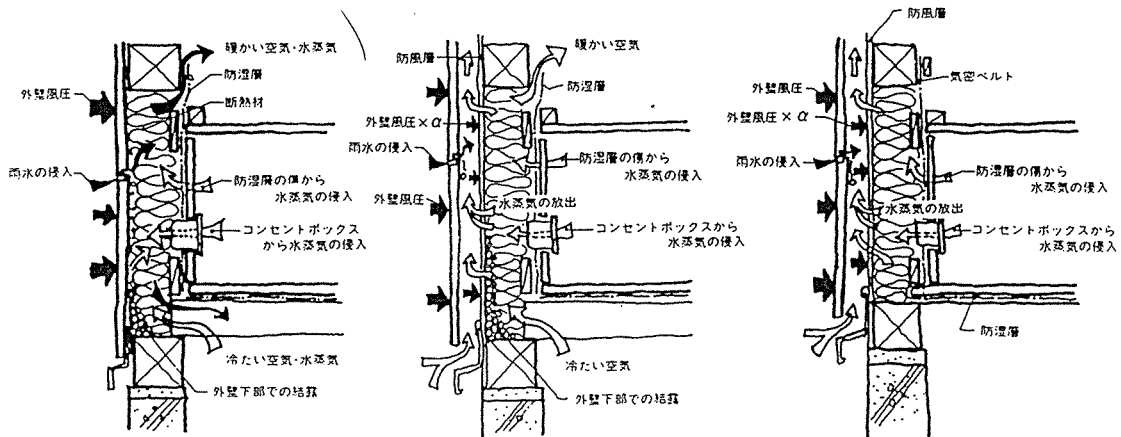
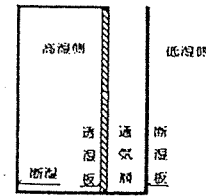
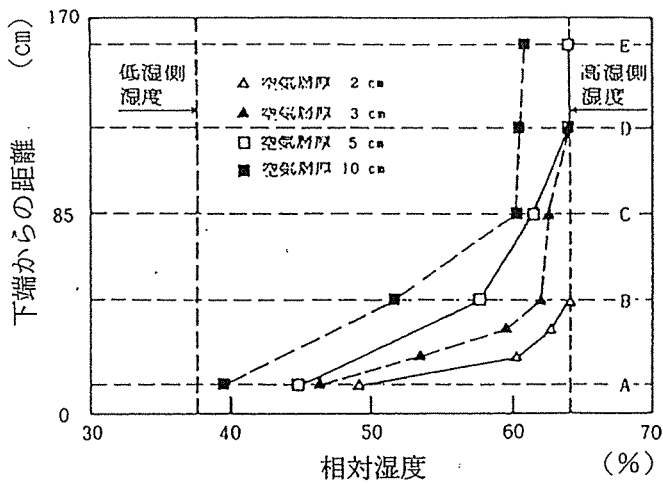


図 2 - 4 防風層の材質の違いの比較⁶⁵⁾



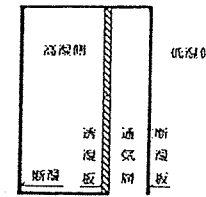
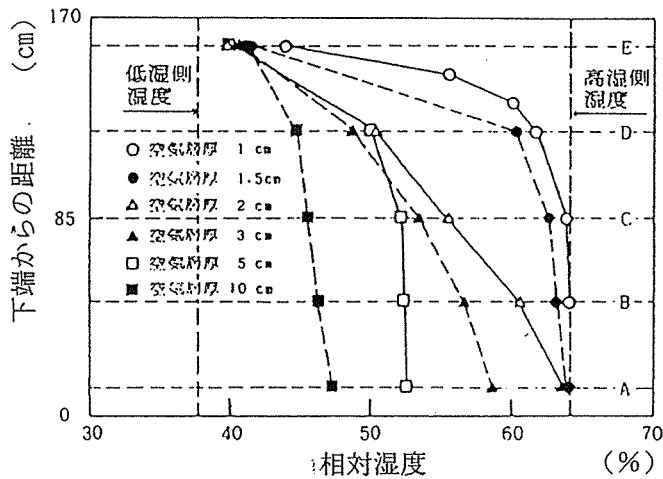
a) 通気層を設けない壁 b) 現在最も普及している通気構法 c) 上下密閉壁体の通気構法

図 2 - 5 壁体構成と水蒸気移動のモデル⁶⁵⁾



通気層厚 (cm)	透湿量 (g/h)	高湿側			低湿側			みかけの 透気抵抗 $\frac{g}{m^2 \text{hour} \cdot g}$	みかけの 透気抵抗 $\frac{m^2 \text{hour} \cdot g}{g}$
		温度 (°C)	湿度 (%)	水蒸気圧 (mmHg)	温度 (°C)	湿度 (%)	水蒸気圧 (mmHg)		
5.0	1.20	21.2	73.0	13.78	20.1	39.5	6.97	0.11	9.08
10.0	1.85	21.1	72.4	13.58	20.1	38.5	6.79	0.17	5.87

図 2-6 上端開放の通気層中央の垂直湿度分布(68)



通気層厚 (cm)	透湿量 (g/h)	高湿側			低湿側			みかけの 透気抵抗 $\frac{g}{m^2 \text{hour} \cdot g}$	みかけの 透気抵抗 $\frac{m^2 \text{hour} \cdot g}{g}$
		温度 (°C)	湿度 (%)	水蒸気圧 (mmHg)	温度 (°C)	湿度 (%)	水蒸気圧 (mmHg)		
1.0	1.00	21.1	72.0	13.51	20.1	38.7	6.83	0.09	10.7
1.5	1.69	21.1	72.0	13.51	20.1	38.7	6.83	0.16	6.32
2.0	2.46	21.2	71.5	13.50	20.1	39.5	6.97	0.24	4.25
3.0	3.60	21.0	69.3	12.92	20.1	39.2	6.87	0.37	2.69
5.0	4.92	20.9	71.0	13.08	20.1	39.5	6.97	0.50	1.99
10.0	5.26	20.9	66.0	12.23	20.1	39.0	6.88	0.62	1.63

図 2-7 下端開放の通気層中央の垂直湿度分布(68)

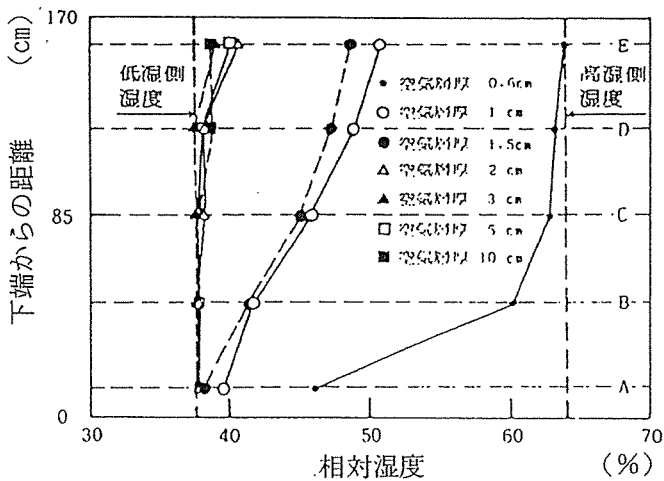


図 2-8 上下端開放の通気層中央の垂直湿度分布(68)

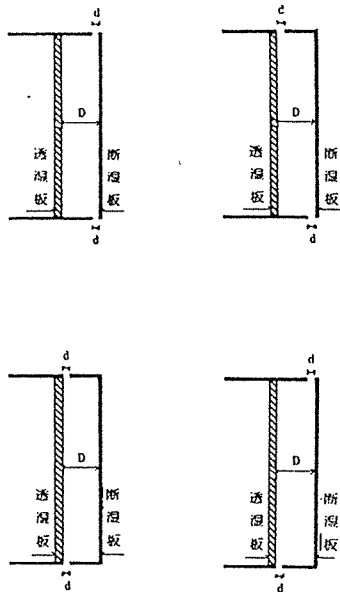


図2-9 壁体モデル
(D:通気層厚, d:スリット幅) 69)

実験 ケース	スリット 幅 (cm)	通気層厚 (cm)	透湿量 (g/h)	高湿側			低湿側			みかけの 透気係数 $\frac{1}{m^2 \cdot h \cdot mmHg}$
				温度 (°C)	湿度 (%)	水蒸気圧 (=mmHg)	温度 (°C)	湿度 (%)	水蒸気圧 (=mmHg)	
A	0.5	3.0	5.67	20.9	66.0	12.23	20.1	39.5	6.97	0.67
		5.0	5.49	20.9	65.5	12.14	20.1	39.5	6.97	0.66
		10.0	5.43	21.0	64.5	12.03	20.1	39.5	6.97	0.67
	1.0	3.0	6.09	20.9	63.8	11.82	20.1	39.0	6.88	0.77
		5.0	6.41	21.0	64.8	12.09	20.1	39.0	6.88	0.77
		10.0	5.87	20.9	64.0	11.86	20.1	39.5	6.97	0.75
B	0.5	3.0	5.87	20.9	65.5	12.14	20.1	39.5	6.97	0.71
		5.0	5.66	20.9	65.5	12.14	20.1	39.5	6.97	0.68
		10.0	5.40	21.0	64.0	11.94	20.1	39.5	6.97	0.68
	1.0	3.0	6.22	20.9	63.5	11.77	20.1	39.0	6.88	0.80
		5.0	6.40	20.9	65.0	12.04	20.1	39.5	6.97	0.79
		10.0	6.00	21.0	64.0	11.94	20.1	39.5	6.97	0.76
C	0.5	3.0	5.90	20.9	66.0	12.23	20.1	39.5	6.97	0.70
		5.0	5.64	20.9	65.3	12.10	20.1	39.5	6.97	0.69
		10.0	5.38	20.9	64.0	11.94	20.1	39.5	6.97	0.68
	1.0	3.0	6.44	21.0	64.5	12.03	20.1	39.5	6.97	0.80
		5.0	6.29	20.9	65.0	12.04	20.1	39.5	6.97	0.78
		10.0	5.98	20.9	63.5	11.77	20.1	39.1	6.90	0.77
D	0.5	3.0	5.76	20.9	65.8	12.19	20.1	39.5	6.97	0.69
		5.0	5.66	20.9	65.5	12.14	20.1	39.5	6.97	0.68
		10.0	5.63	21.0	64.5	12.03	20.1	39.3	6.93	0.69
	1.0	3.0	6.14	20.9	64.0	11.86	20.1	39.5	6.97	0.79
		5.0	6.60	21.0	64.5	12.03	20.1	38.5	6.79	0.79
		10.0	6.04	20.9	63.5	11.77	20.1	39.3	6.93	0.78

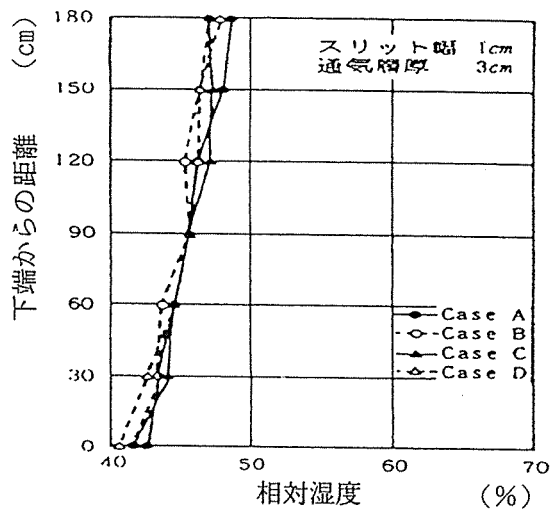
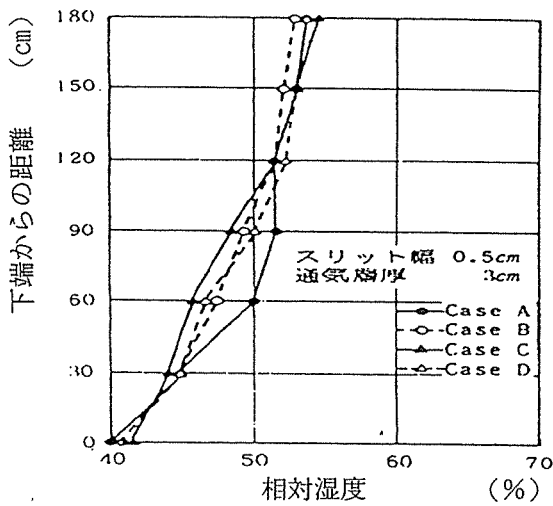


図2-10 通気層幅 (3 cm) 中央の垂直湿度分布 69)

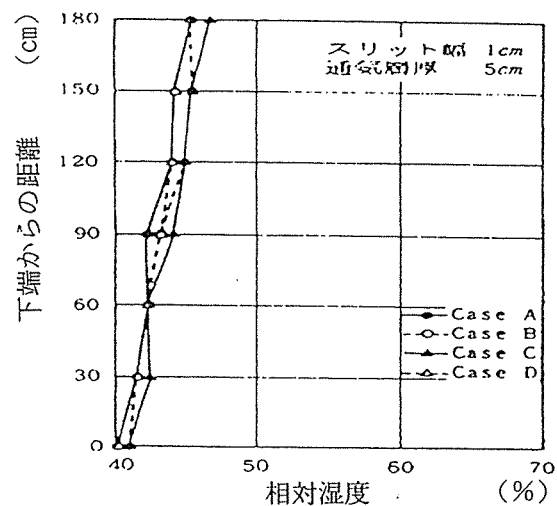
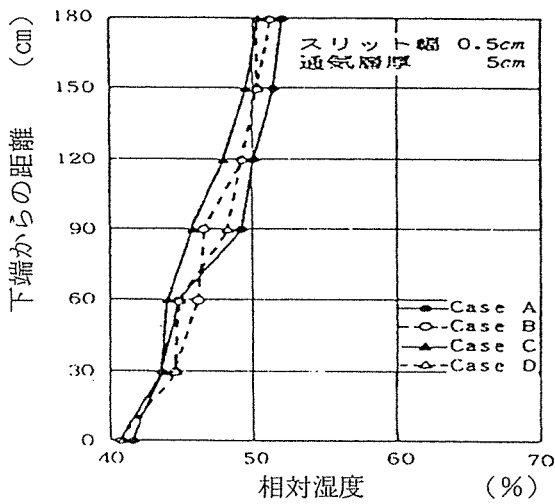


図2-11 通気層幅 (5 cm) 中央の垂直湿度分布 69)

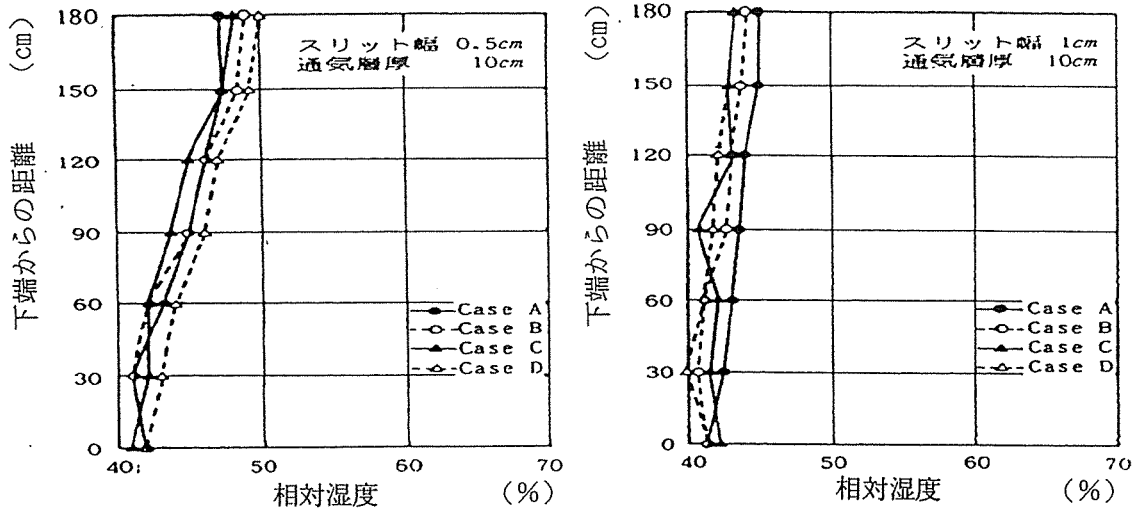


図 2-12 通気層幅 (10 cm) 中央の垂直湿度分布⁶⁹⁾

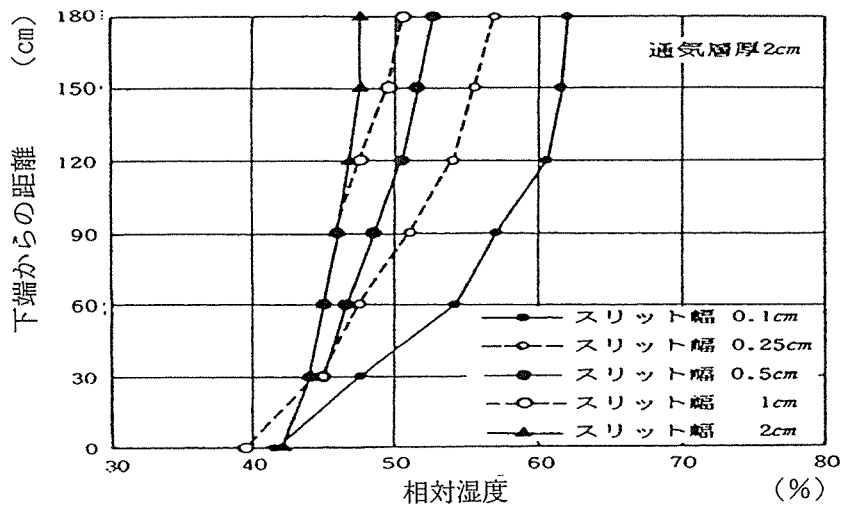


図 2-13 通気層幅 (2 cm) 中央の垂直湿度分布⁶⁹⁾

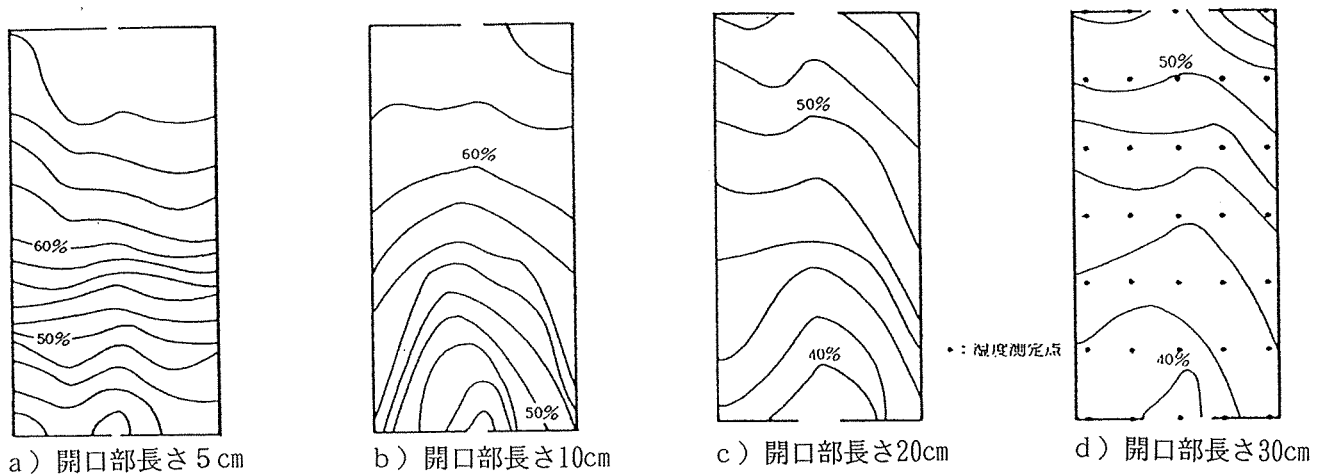


図 2-14 通気層幅 (2 cm) 中央の垂直湿度分布⁶⁹⁾

グループ 1		グループ 2	
No. 1	G.W.I 60m/m 通気層なし 開口なし	No. 6	G.W.I 60m/m 通気層なし 開口なし 内装塩ビクロスなし
No. 2	G.W.I 60m/m 通気層なし 開口 2個	No. 7	G.W.I 45m/m 通気層 15m/m 開口 1個
No. 3	G.W.I 50m/m 開口 2個 通気層 10m/m 開口 2個	No. 8	G.W.I 40m/m 通気層 20m/m 開口 1個
No. 4	G.W.I 45m/m 通気層 15m/m 開口 2個	No. 9	G.W.I 40m/m 通気層 20m/m 開口 3個
No. 5	G.W.I 40m/m 通気層 20m/m 開口 2個	No. 10	G.W.I 40m/m 通気層 20m/m 開口 4個
G.W.I=グラスウール断熱材 開口=20m/m ϕ			

図 2-15 壁体仕様⁷⁰⁾

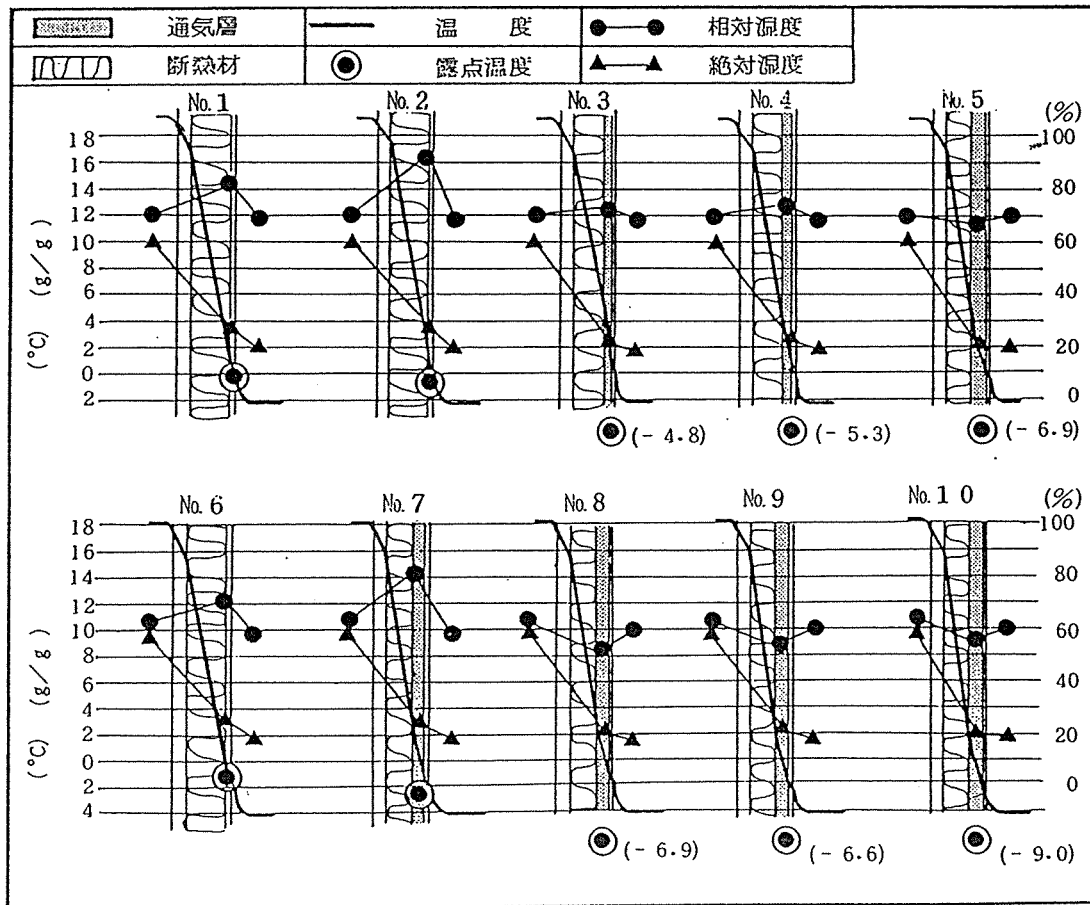


図 2-16 測定結果⁷⁰⁾

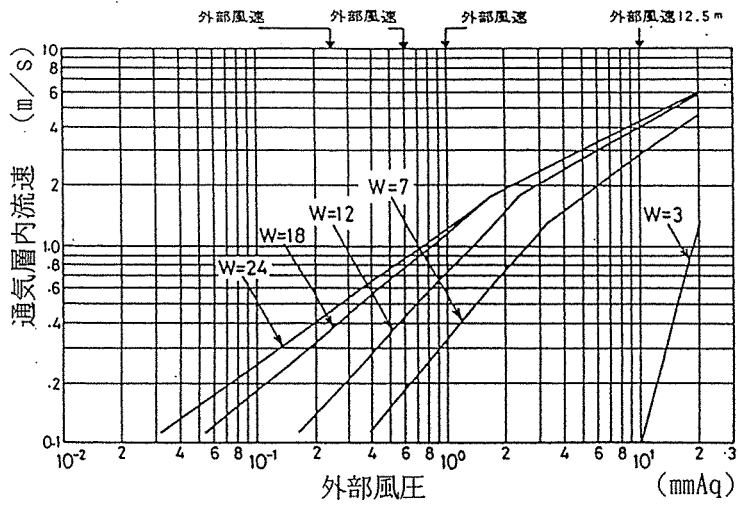
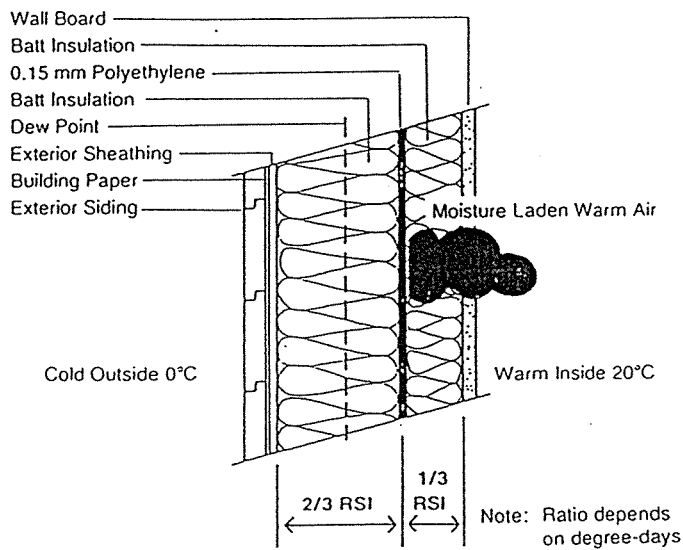


図 2 - 17 外部風圧と通気層内の換気性状⁷²⁾



Recessed Vapour Barrier

図 2 - 18 カダのR2000の断熱壁の例⁷¹⁾

表2-1 試験家屋の仕様および検討項目

実験No	実験期間 (1989年)	検討項目	試験家屋			実験条件 (時間帯, 室内設定)
			A棟 (湿式工法)	B棟 (乾式工法)	C棟 (乾式工法)	
1	6/14~7/13 [梅雨期間]					非冷房状態 終日冷房状態 (0:00~24:00, 22℃)
2	7/17~8/16 [真夏期間]	在来構法と通気構法(通気層幅18mm)の壁体内部結露の有無	在来構法 (防水防湿シート)	通気構法 (防水透湿シート)	通気構法 (防水透湿ボード)	
3	8/20~9/15 [冷房期間]					

表2-2 実験結果(北壁)

	外装仕上げ材	防風層の種類	防風層の内表面相対湿度			合板外表面の (露点・表面) の湿度の割合
			梅雨期間	真夏期間	冷房期間	
在来構法	モルタル + 防水防湿塗料	防水防湿シート	77.5%	75.9%	77.8%	20%
在来構法	モルタル + 防水透湿塗料	防水透湿シート				20%
通気構法 (通気層幅18mm)	サイディング	防水透湿シート	77.5%	81.3%	75.5%	11%
通気構法 (通気層幅18mm)		防水透湿ボード	79.0%	85.8%	77.3%	20%

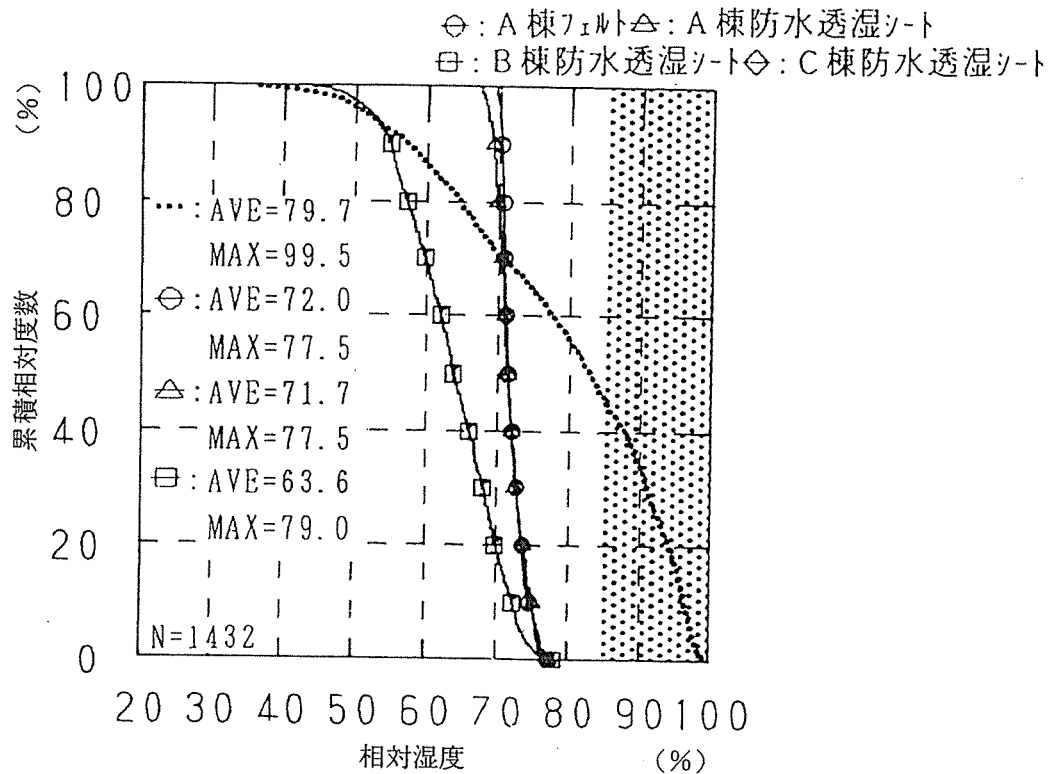


図2-19 北壁のグラスウール外表面相対湿度の累積相対度数
(1989年6/14~7/13) 41)

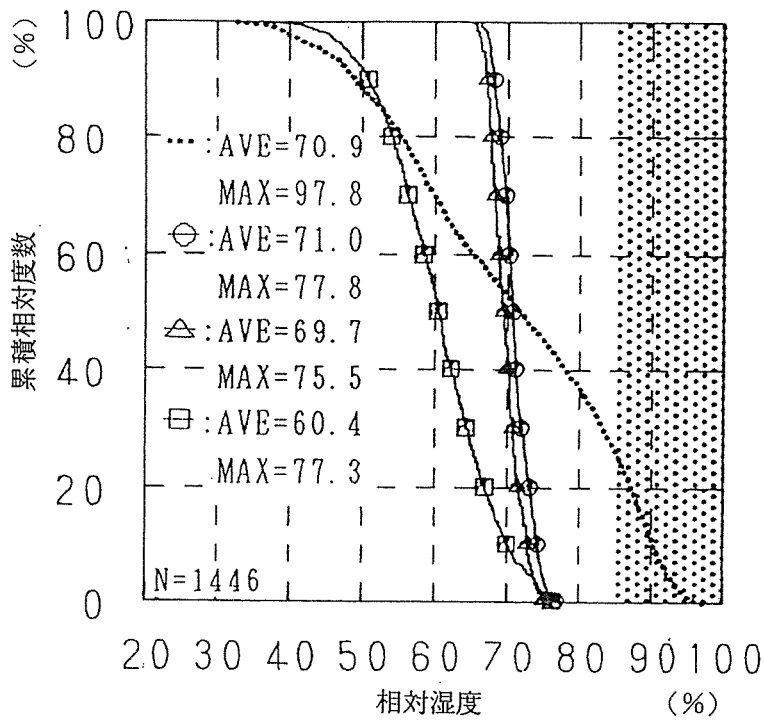


図2-20 北壁のガラスール外表面相対湿度の累積相対度数
(1989年7/17~8/16) 41)

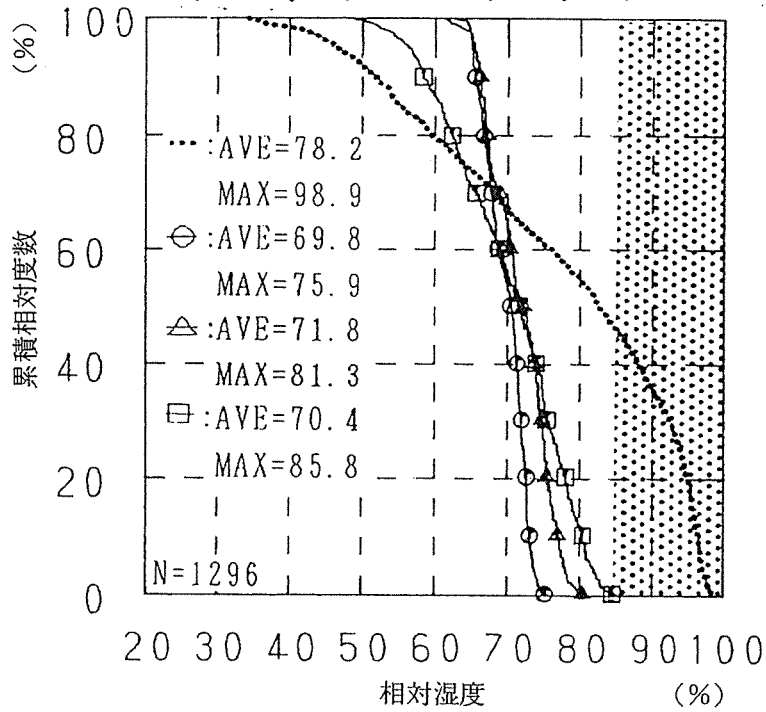


図2-21 北壁のガラスール外表面相対湿度の累積相対度数
(1989年8/20~9/15) 41)

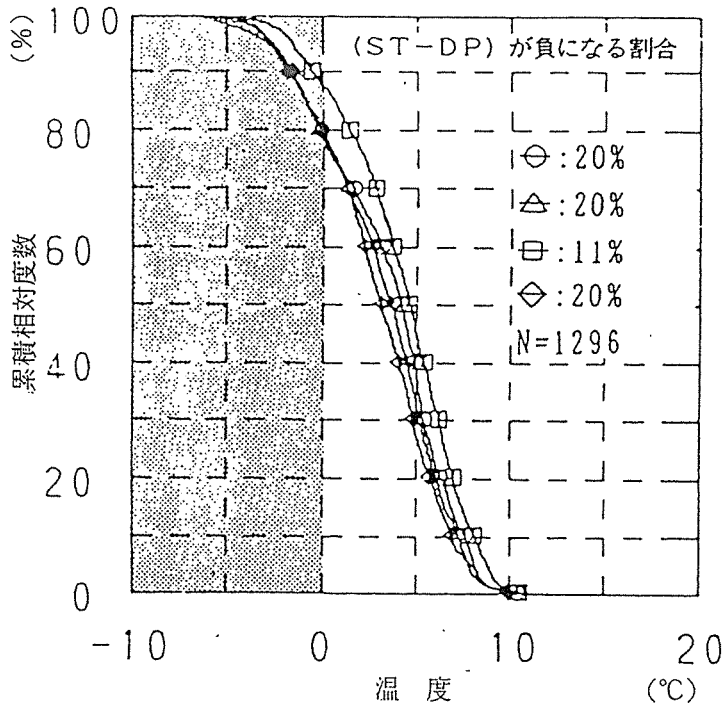


図2-22 北壁のグラスウール外(表面-露点)温度の累積相対度数 (1989年8/20~9/15)41)

表2-3 試験家屋の仕様および検討項目

実験回	実験期間 (1989年)	検討項目	試験家屋			実験条件 (時間帯, 室内設定)
			A棟 (湿式工法)	B棟 (乾式工法)		
1	6/15~7/18 【梅雨期間】					
2	7/20~7/29 8/25~9/9 【夏假期間】	在来構法と通気構法(通気断層18mm)の壁体内部結露の有無	在来構法 (防水防湿シート)	在来構法 (防水透湿シート)	通気構法 (防水透湿シート)	非冷房状態
3	7/31~8/3 8/11~8/20 9/11~9/17 【冷房期間】					終日冷房状態 (0:00~24:00, 26℃)

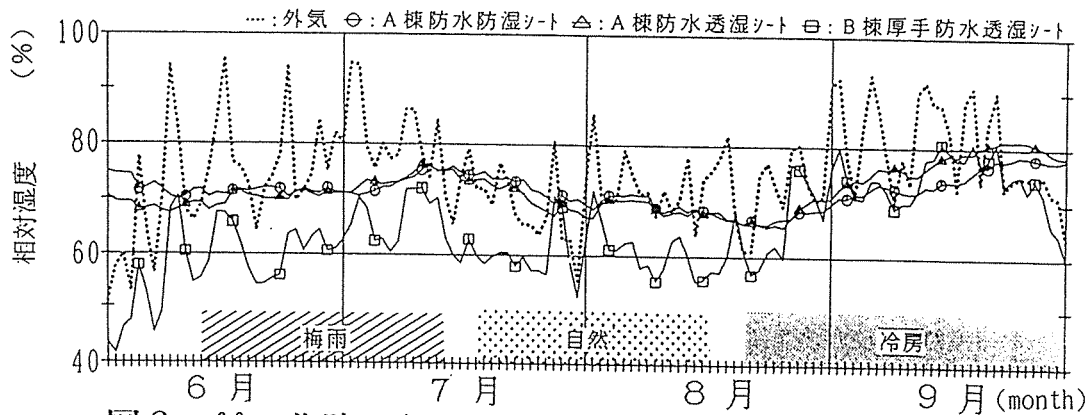


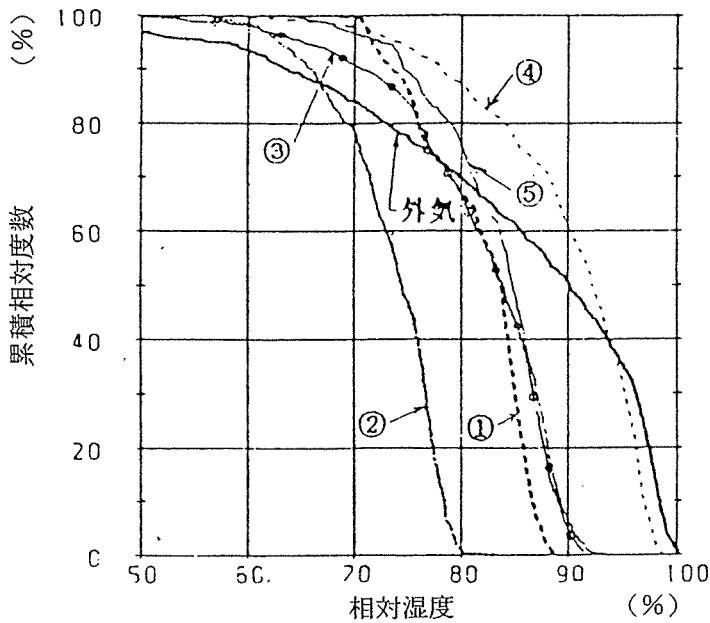
図2-23 北壁のグラスウール外表面の日平均相対湿度 (1989年6~9月) 43)

表 2-4 試験家屋の仕様および検討項目

実験No.	実験期間 (1988~ 1989年)	検討項目	試験家屋				実験条件 (時間帯, 室内設定)	
			在来構法 (湿式工法)	在来構法 (乾式工法)	通気構法 (乾式工法)			
1	6/11~7/14 (1988年)	通気構法の空気取り入れ口の違による構況効果	在来構法	在来構法	通気構法 (15×30mm×8) [外気側]	通気構法 (通気層幅11.5mm) [外気側]	通気構法 (通気層幅18mm) [外気側]	非冷房状態
2	8/1~8/31 (1989年)				通気構法 (φ15×16mm) [床下側]	通気構法 (通気層幅20mm) [外気側, 床下側]	通気構法 (通気層幅20mm) [外気側]	

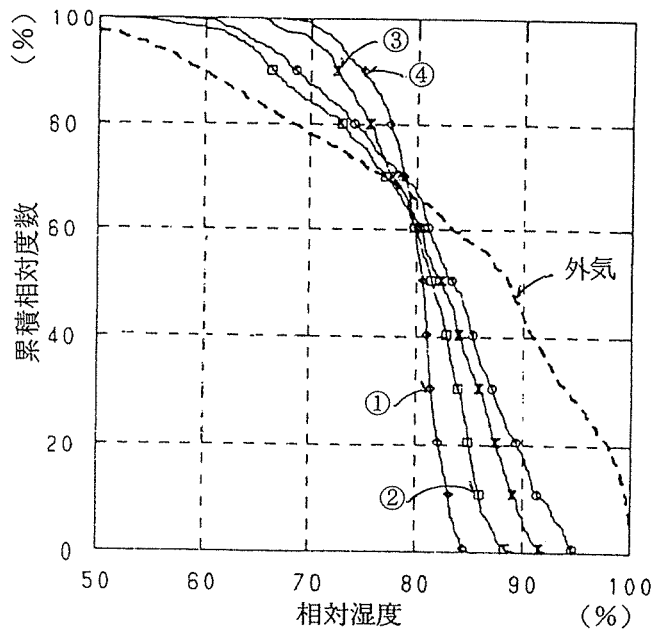
表 2-5 実験結果 (北壁)

	外装仕上げ材	防風層の極差	空気層・通気層 の相対湿度	
			実験No.1	実験No.2
在来構法	モルタル		89.1%	84.3%
在来構法			82.9%	
通気構法 (15×30mm×8) [外気側]		防水防湿シート	91.9%	
通気構法 (φ15×16mm) [床下側]				88.1%
通気構法 (通気層幅11.5mm) [外気側]	サイディング	防水通気シート	98.6%	
通気構法 (通気層幅20mm) [外気側, 床下側]				95.0%
通気構法 (通気層幅18mm) [外気側]		シーシングボード	93.4%	
通気構法 (通気層幅20mm) [外気側]		有孔 シーシングボード	-	91.0%



a) 実験No. 1 24)

- ①在来構法
- ②在来構法
- ③通気構法 (15×30mm×8) [外気側]
- ④通気構法 (通気層幅11.5mm) [外気側]
- ⑤通気構法 (通気層幅18mm) [外気側]



b) 実験No. 2 26)

- ①在来構法
- ②通気構法 (φ15×16mm) [床下側]
- ③通気構法 (通気層幅20mm) [外気側, 床下側]
- ④通気構法 (通気層幅20mm) [外気側]

図 2-24 北壁のガラスール外表面相対湿度の累積相対湿度数

表 2-6 試験家屋の仕様および検討項目

実験No	実験期間 (1991年)	検討項目	試験家屋			実験条件 (時間帯, 室内設定)
			A棟 (湿式工法)	B棟 (乾式工法)		
1	7/1~7/19	通気構法(通気層幅18mm)の場合の排湿効果	在来構法	通気構法 (通気層幅18mm) (溝無しパネル)	通気構法 (通気層幅18mm) (溝付きパネル)	非冷房状態
2	7/20~7/25	在来構法と通気構法(通気層幅18mm)の壁体内部結露の有無		通気構法 (通気層幅18mm) (溝無しパネル)	通気構法 (通気層幅18mm) (溝付きパネル)	終日冷房状態 (0:00~24:00, 27℃)

表 2-7 実験結果 (北壁)

	外装仕上げ材	防風層の種類	合板外表面の(露点温度-表面温度)	
			実験No 1	実験No 2
在来構法	モルタル	防水防湿シート	1.8℃	1.6℃
通気構法 (通気層幅18mm) (溝付きパネル)	サイディング	発泡硬質ウレタン	4.5℃	7.6℃
通気構法 (通気層幅18mm) (溝無しパネル)			5.8℃	3.3℃

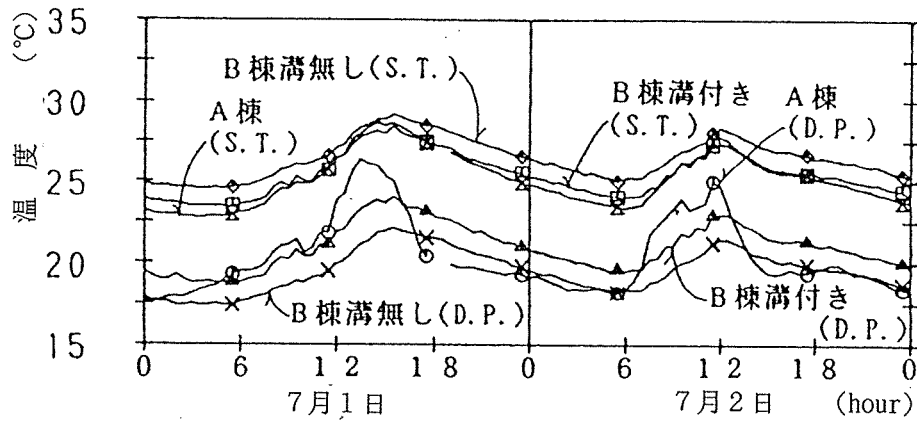


図 2-25 北壁の合板外表面温度および露点温度²⁸⁾

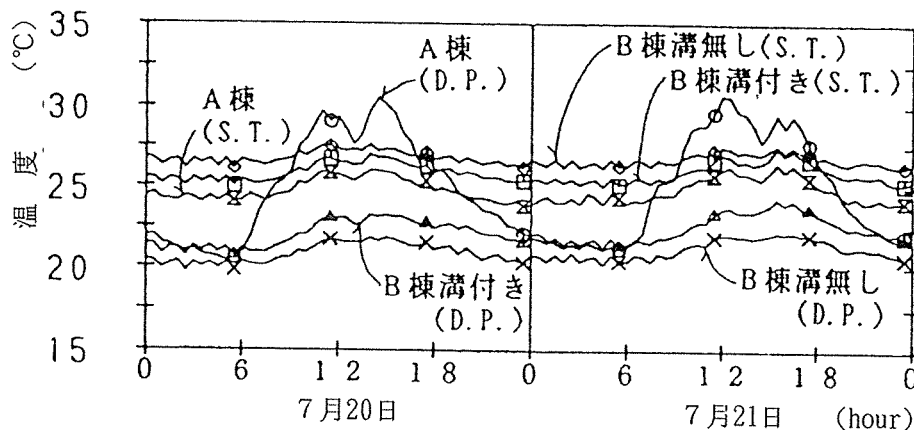


図 2-26 北壁の合板外表面温度および露点温度²⁸⁾

表 2 - 8 試験家屋の仕様および検討項目

実験No.	実験期間 (1990年)	検討項目	試験家屋			実験条件 (時間帯, 室内設定)
			A棟 (湿式工法)	B棟 (乾式工法)		
1	7/21~7/31	通気構法(通気層幅18mm)の場合の 排湿効果	在来構法	在来構法	通気構法 (通気層幅18mm)	非冷房状態
2	8/1~8/2	在来構法と通気構法(通気層幅18mm)の 壁体内部結露の有無			通気構法 (通気層幅18mm)	終日冷房状態 (0:00~24:00, 26℃)
3	8/21~8/31	通気構法(通気層幅7mm)の場合の 排湿効果			通気構法 (通気層幅7mm)	非冷房状態
4	8/11~8/19	在来構法と通気構法(通気層幅7mm)の 壁体内部結露の有無			通気構法 (通気層幅7mm)	終日冷房状態 (0:00~24:00, 26℃)

表 2 - 9 実験結果 (西壁)

	外装仕上げ材	防風層の種類	防風層の内表面絶対湿度			室内合板外表面の(露点-表面)の温度		結露する割合	
			実験No. 1, 3	実験No. 2	実験No. 4	実験No. 2	実験No. 4		
在来構法	モルタル	防水防湿シート	42.5g/kg'	-2.4℃	-4.8℃	18.0%	12.0%		
在来構法	サイディング		25.5g/kg'	-0.5℃	-1.2℃	10.0%	9.0%		
通気構法 (通気層幅18mm)		防水透湿シート	25.0g/kg'	0.5℃	-	0.0%	-		
通気構法 (通気層幅7mm)			40.0g/kg'	-	-1.0℃	-	9.0%		

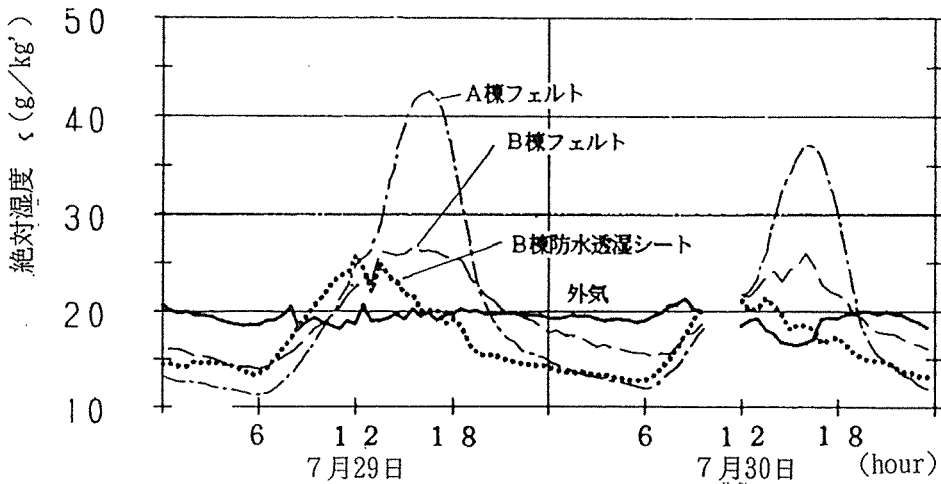


図 2 - 27 西壁のグラスウール外表面絶対湿度(45)

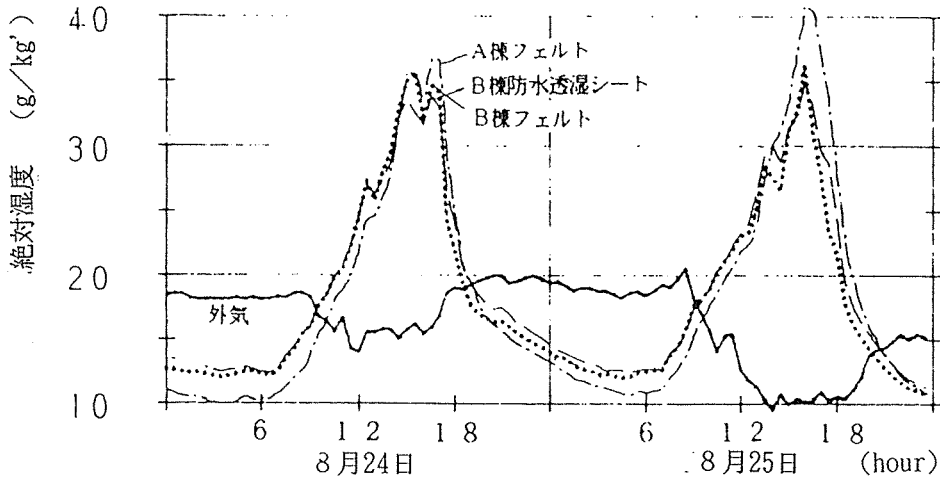


図 2 - 28 西壁のグラスウール外表面絶対湿度(45)

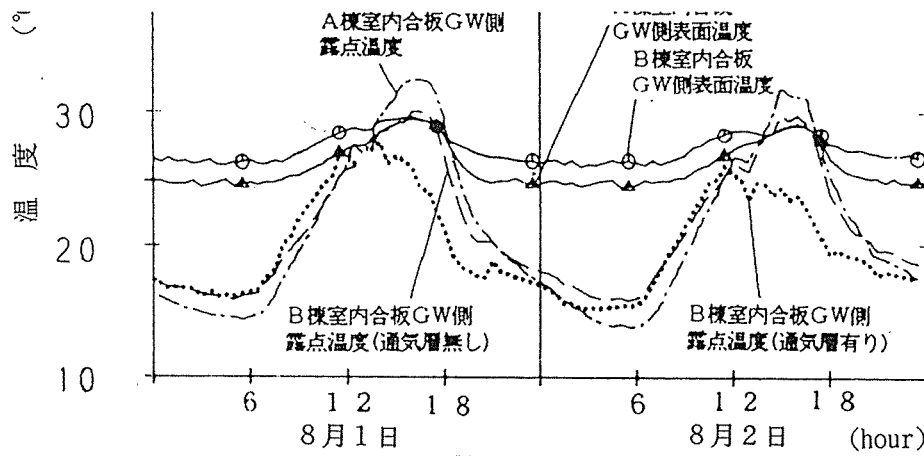


図 2-29 西壁の合板外表面温度および露点温度⁴⁵⁾

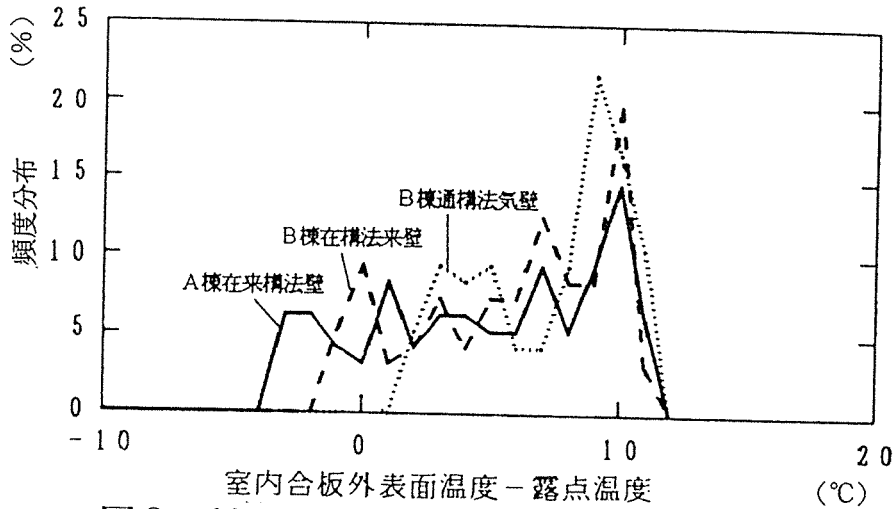


図 2-30 西壁の合板外（表面-露点）温度の頻度分布⁴⁵⁾

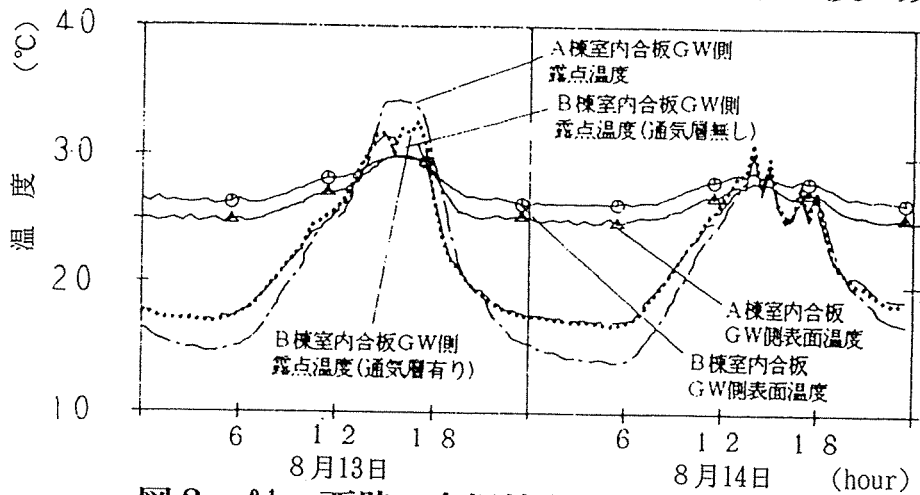


図 2-31 西壁の合板外表面温度および露点温度⁴⁵⁾

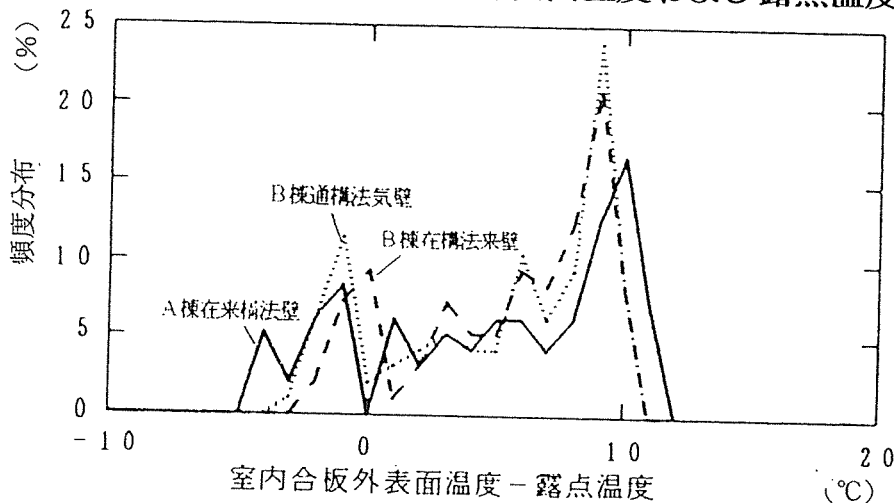


図 2-32 西壁の合板外（表面-露点）温度の頻度分布⁴⁵⁾

表2-10 試験家屋の仕様および検討項目

実験No	実験期間 (1990年)	検討項目	試験家屋(乾式工法)		
			A棟 (乾式工法)	B棟 (乾式工法)	実験条件 (時間帯, 室内設定)
1	7/21~7/31	通気構法(通気層幅7mm)の場合の排湿効果	在来構法	通気構法 (通気層幅7mm)	非冷房状態
2	8/1~8/2	在来構法と通気構法(通気層幅7mm)の壁体内部結露の有無			終日冷房状態 (0:00~24:00, 26℃)

表2-11 実験結果(南壁)

	外装仕上げ材	防風層の種類	防風層の内 表面絶対湿度	室内合板外表面の (露点 表面)の温度	結露する割合
			実験No 1	実験No 2	
在来構法	サイディング	防水防湿シート	47.0g/kg'	-0.9℃	40.0%
通気構法 (通気層幅7mm)			39.0g/kg'	0.4℃	20.0%

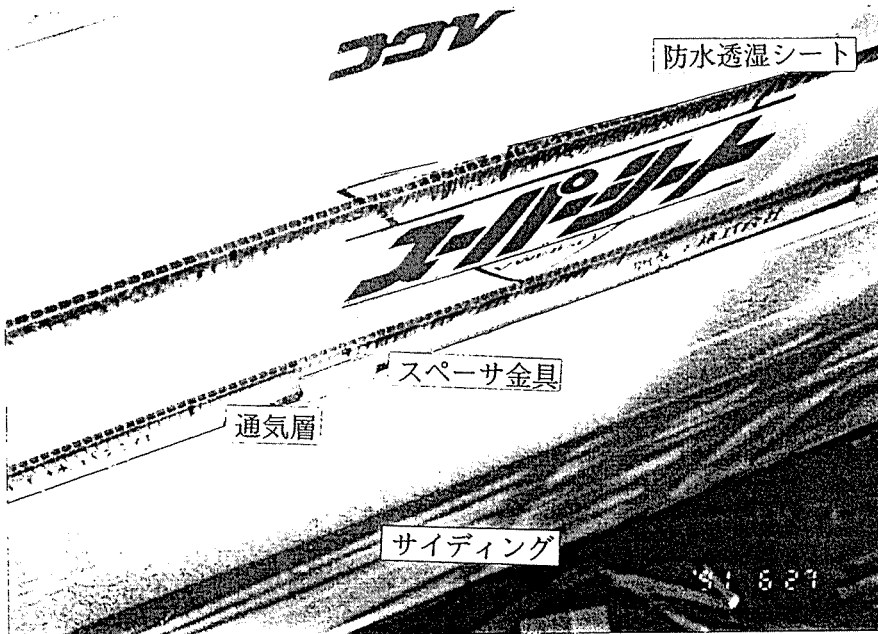


写真2-1 7mmスペーサ付きサイディング

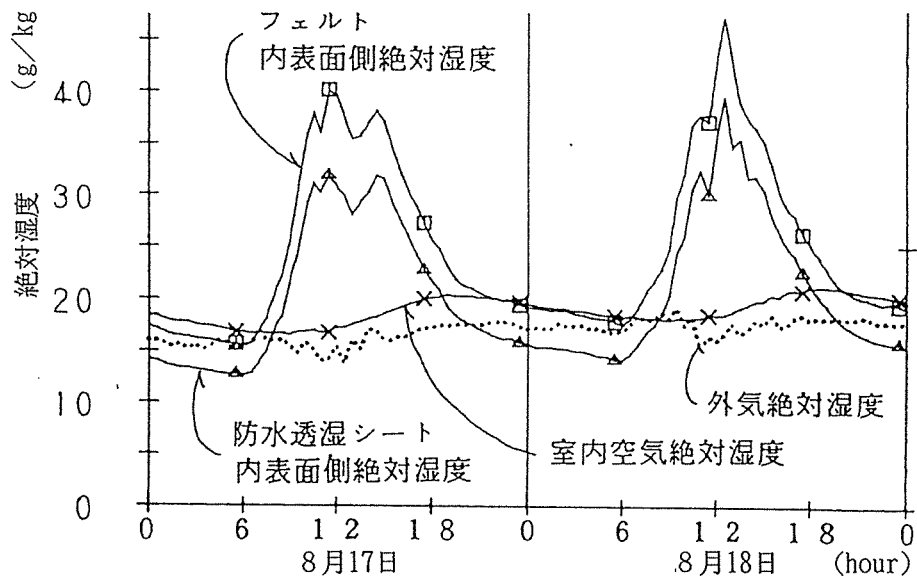


図 2 - 33 南壁の合板外表面絶対湿度⁴⁷⁾

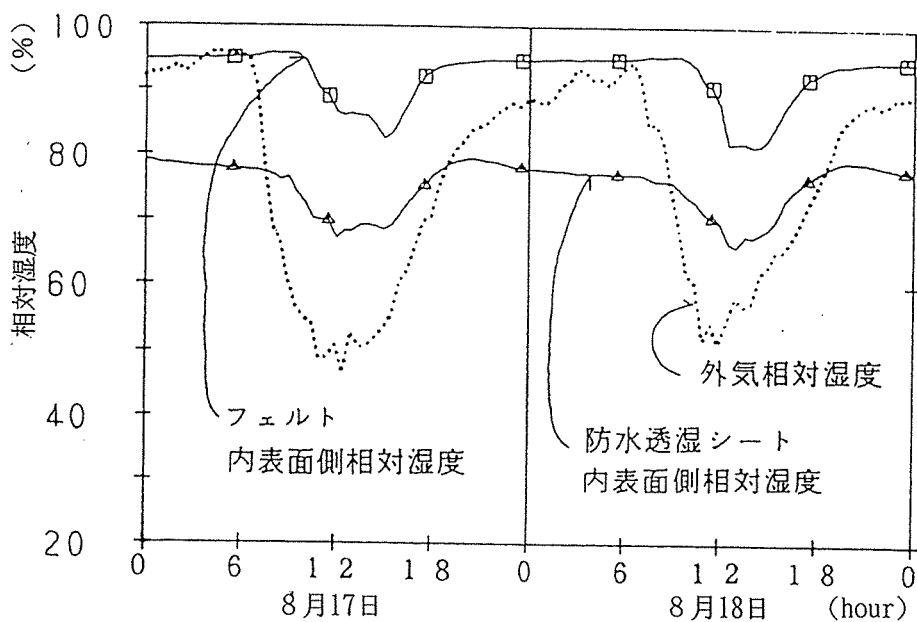


図 2 - 34 南壁の合板外表面相対湿度⁴⁷⁾

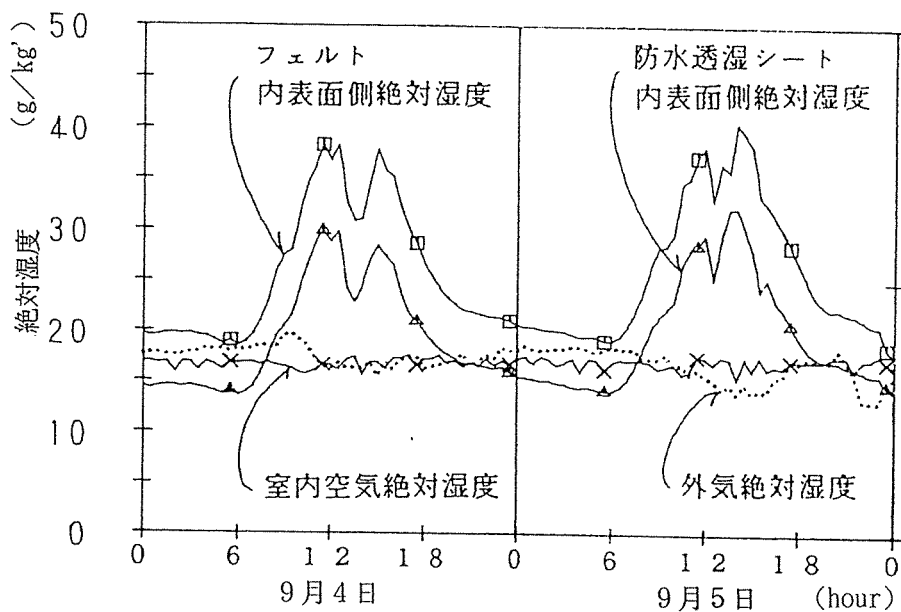


図 2 - 35 南壁の合板外表面絶対湿度⁴⁷⁾

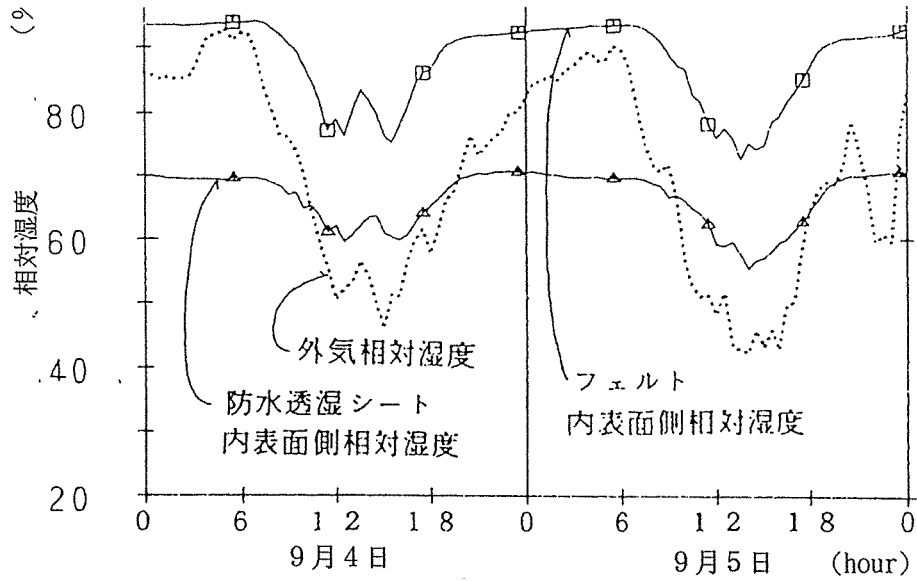


図 2-36 南壁の合板外表面相対湿度⁽⁴⁷⁾

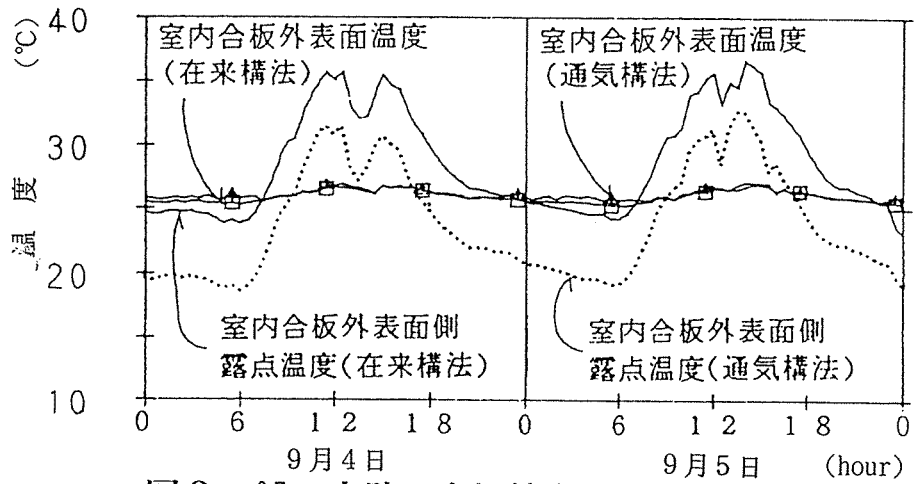


図 2-37 南壁の合板外表面温度および露点温度⁽⁴⁷⁾

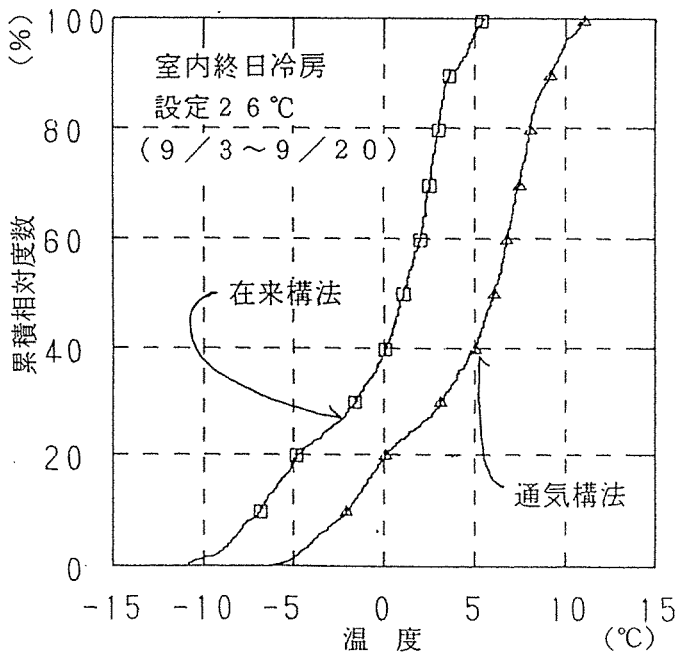
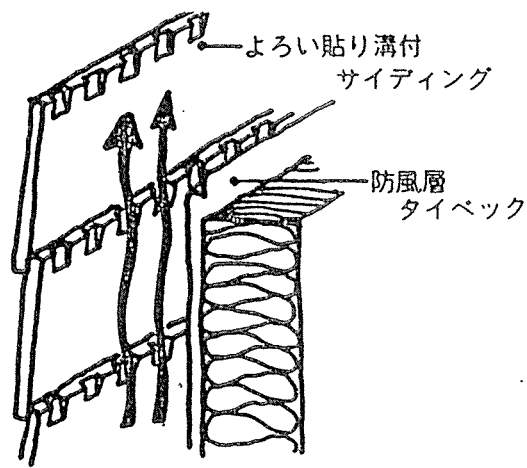
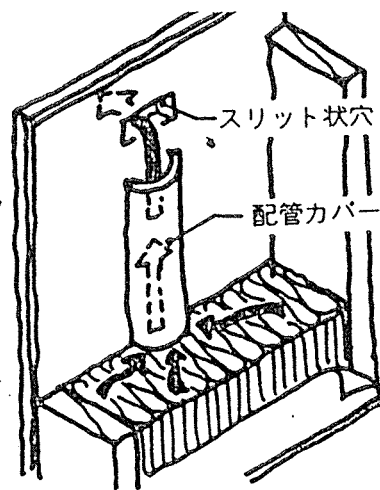


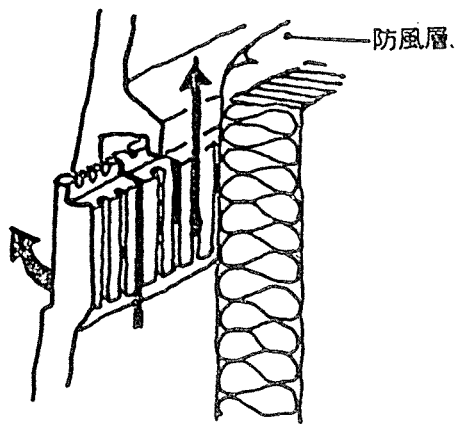
図 2-38 南壁の合板外(表面-露点)温度の累積相対度数⁽⁴⁷⁾



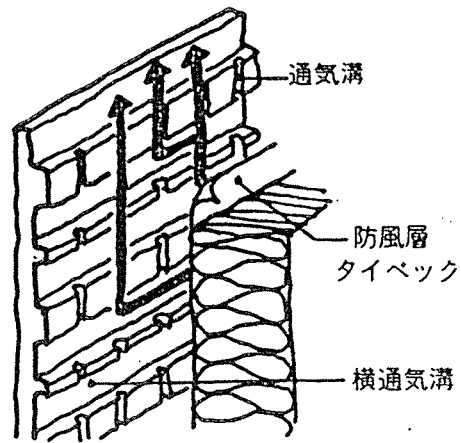
a) 溝付よろい貼り構法



b) 壁体内通気ダクト構法



c) 押しよろい製の通気サイディング



d) 通気サイディング

図2-39 通気構法によらない除湿外装システム65)

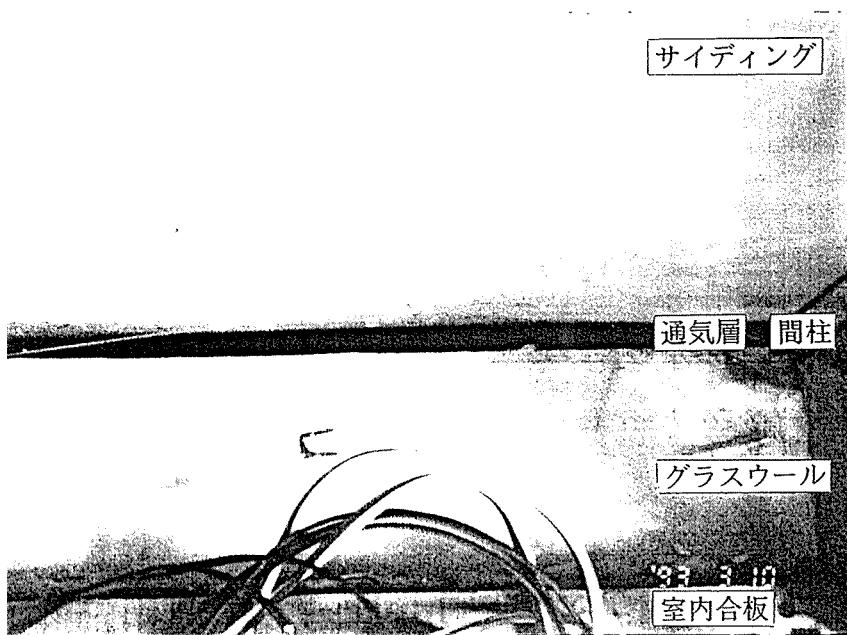


写真2-2 10mmの通気層確保のための構法

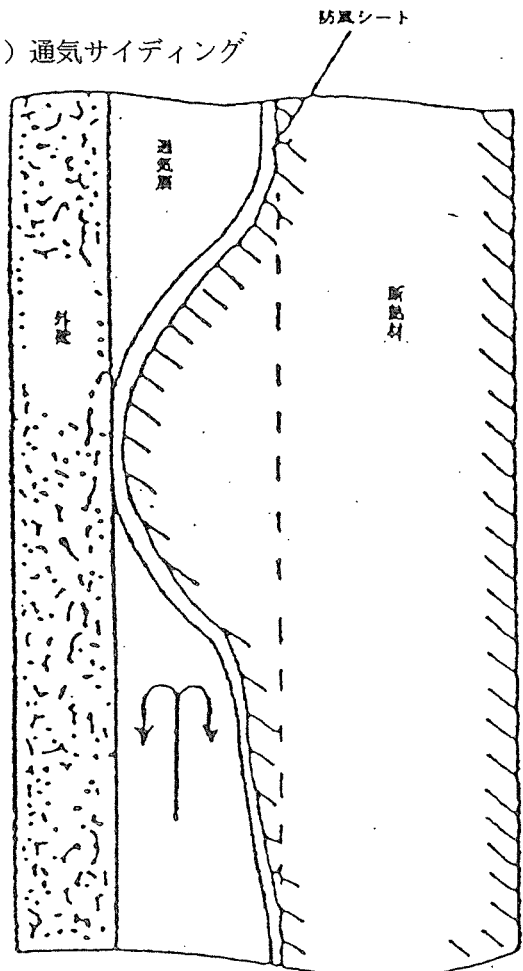


図2-40 断熱材による通気層の閉塞

3. 通気構法における通気開口部位（通気の取り入れ口および排出口）の検討

- 1) 雨水の漏れによって建物が縮む。ところが暴雨時に雨水がモルタルなどの外装材に染み込み、防水防湿シート（アスファルトフェルト）などの材料に隙間がある場合などには壁体部に漏水することがある。そこに日射が当たった場合、壁体内部の水分が水蒸気になるばかりでなく、雨に濡れた外壁のモルタルなどからの湿気も多量に壁体内部に侵入してくることになり、躯体内全体に湿気が拡散する結果、冷えた部位で集中的な結露被害を起こすことがある。これは年間を通して生じるので、耐久性・建物の劣化防止の観点から無視し得ない現象である。また、夏季冷房時には室内側の内装材下地面に結露が発生する可能性がある²¹⁾。
- 2) 外壁での防水対策の基本は、まず第一に庇などを設けて壁面を雨から保護すること、次いで耐水性の高い外装材料を選び、その目地から浸透する雨水や材料の含む水分を容易に排出できるように配慮することである。雨水の排出を容易にするためには、外装材の裏面に通気層を設け、さらに通気層の室内側の表面には滲水性の高い材料を貼って目地からの水飛沫をはじき返し、通気層の下部で水を外に排出するのがよい（図3-1参照）¹¹⁾。
- 3) 薄いボード張りなどの水平目地ではボード相互を重ねるが、ボード相互の隙間が不足すれば毛細管現象が顕著となるし、隙間が大きければ雨水の吹き込みが生まれる。垂直目地の防水はさらに容易ではないので、雨水が裏面に侵入することを防止できないと考えるべきである²¹⁾。
- 4) 厚肉の材料を外装とする場合には、水平目地に水返ししゃくりを設けたり、必要に応じてコーキングを施すなど、雨水がしみ込まないように目地を設計することも可能である。また、水切り材に金属板などの熱伝導率の高い材料を用いる場合には水切り板（雨押さえ）裏面の排湿を十分にしないと結露を生じる危険性がある²¹⁾。
- 5) 防水設計において重要なことは、建築材料に当初から含まれている水分ならびに、建築の使用開始後室内でしばしば発生する水分の排出を妨げないような構法を選択することである。このためには厚肉の外装材料を用いる場合にも通気層で内部から排出される水分の除去に支障のないよう計画をする方が無難である。そして室内側から通気層に至るまでの間に透湿抵抗の著しく大きな材料

を配置しないようにすることが重要である。このような観点から、通気層に面して透水性の高い防水シートを使う場合は、このシートに透湿抵抗の小さなものを選ぶ必要がある（図3-3参照）²¹⁾。

6) 金属材料やプラスチック材料などを除けば、多くの建築材料は多孔質であり、大なり小なり透湿性をもっている。水はモルタルやコンクリートにも吸い込まれ、ゆっくりではあるが移動していく。モルタルやコンクリートの部材に温度差があると温度の高い方から低い方へ水分は移動する。このため、雨上がりのモルタル壁が西日で熱せられると日射によって壁の外面が内部より高温になるため壁の外面側の水分が壁内側に移動して、内部の木造下地を腐らせてしまう現象が生まれる。20～30mm程度のモルタルを裏面に通気層を設けずに塗った壁の内部の木部が腐るのは、このような現象による場合が多いので、このような構法は基本的には避けるべきである²¹⁾。

7) 外壁にかかる風圧が、通気層を介して防風層にもかかる場合がある。そのため、防風層は、水蒸気を通し、外壁からの漏れる水に対して防水性もあり、風圧にも耐え、施工事の傷や、破断を生じない丈夫なものを選ぶ必要がある²¹⁾。

8) 通気層の上端にある換気溝は、雨水の侵入溝になる。図3-6のように単純な雨仕舞にすると、強風を伴った雨は用意に通気層内に侵入する。強風時の雨は、外壁のクラックから室内に撥出する力をもっているから、単純な雨仕舞では断熱材が水びたしになる危険がある。単純な雨仕舞の場合は、水に濡れても安全な断熱材がよい。水に弱い断熱材の場合は、雨仕舞をよほど検討しないと危険である²⁰⁾。このことから、雨仕舞のしっかりしたものを使用する必要がある。

9) 寒冷地域では、床下空気が断熱材料内に侵入しないようにするため、繊維系断熱材の場合は室内側に防湿層を設置し、床下に防風層（水蒸気は通すが、空気は通さない材料）を設ける。板状断熱材の場合は、根太、大引との間に隙間を作らないようにし、さらに気密化を図る場合は、気密シート、断熱材を室内側に密着して設置する。また、壁との取り合い部（土台廻り）には通気止めを設置し、床下空気が壁の断熱材料内に侵入するのを防ぐ必要がある（図3-7参照）⁶⁶⁾。

10) 多雪地域では壁体内への空気の取り入れ口が雪で閉鎖される事態も予測され

るが、実際には 建物あるいは日射熱により雪が融け、問題は生じないことが知られている。

11) 寒冷地域では土台部廻りの通気取り入れ口には、45×45mm程度の材料を取り付ける方法と既製品を取り付ける方法の2つがあるが、前者の場合、水切り用の勾配を付けずに取り付けると逆勾配となり、雨水が建物に侵入することがあるため、必ず勾配を取る必要がある(図3-8参照)⁷³⁾。また、後者を使用した場合の例を示す(図3-9参照)⁷⁴⁾。

12) 在来構法は地盤からの貫流水分により基礎に近い下部において壁体の含水率が大きくなるのに対して、通気構法は壁体の上部・下部の含水率にあまり差が生じない(図3-10参照)⁴⁶⁾。

13) 在来構法は、冷房により室内空気が除湿される場合、同時に壁体からの放湿が起こり壁体含水率が低下する。通気構法は、外気が流入する通気層を有しているため、冷房により壁体が放湿する場合でも同時に外気から吸湿しており、冷房状態と自然状態の壁体の含水率はほぼ等しい値となる(図3-10参照)⁴⁶⁾。

14) 蒸暑地域では、台風時の雨水、塩害などの影響もあることから壁体内への空気の取り入れ口は床下空間から土台基礎の間を通して壁体内に空気を入れる(床下の土壌からの水分供給がないことを前提とする)。このことにより、多湿である蒸暑地域においては床下の乾燥にもつながる。また、害虫対策として外気取り入れ口には害虫を入れない工夫(ネット)などが必要である(図3-11, 図3-12参照)。

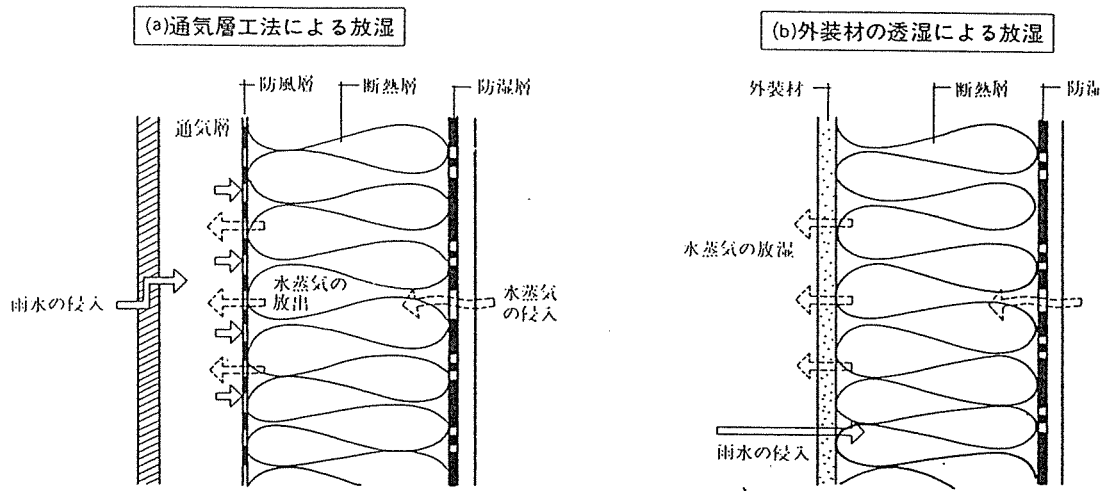


図3-1 外側への除湿方法¹⁾

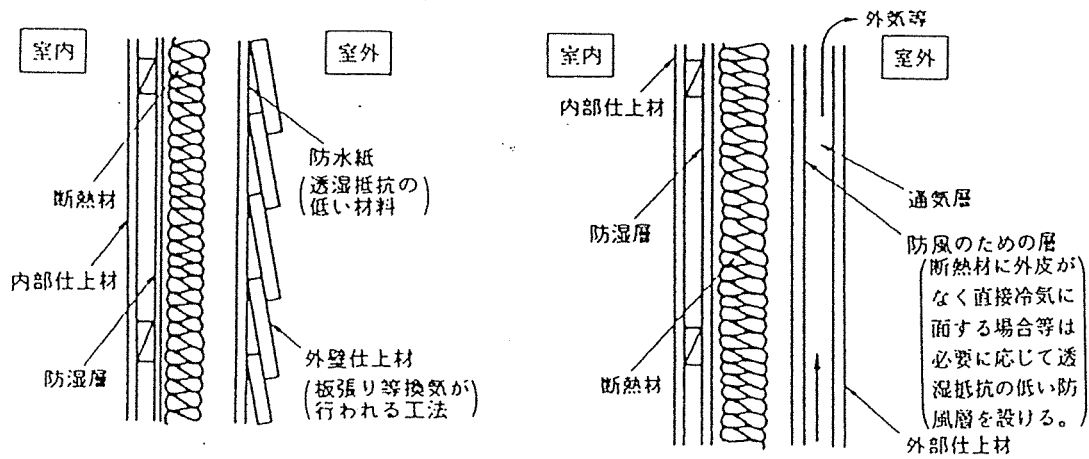


図3-2 壁体内の水蒸気を放出する処置²⁾

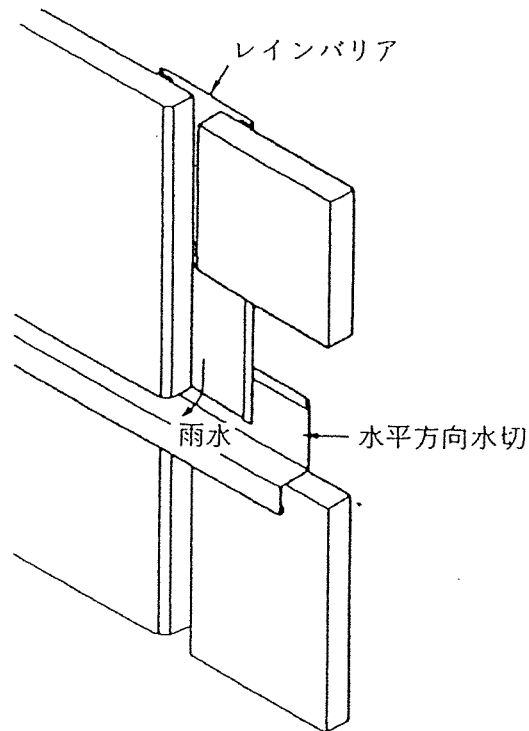


図3-3 外壁目地処理の例²⁾

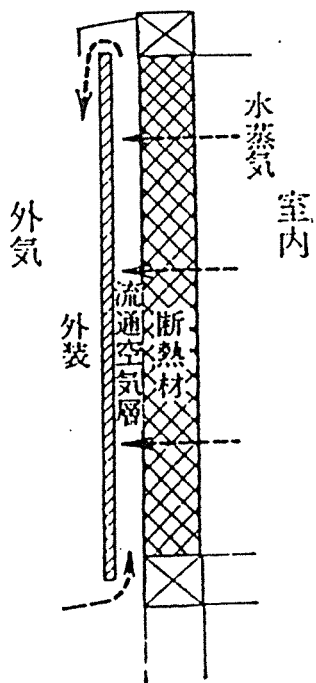


図3-4 通気層のある
木造壁²⁰⁾

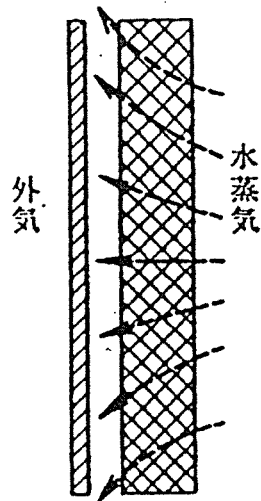


図3-5 水蒸気の流出
と通気層²⁰⁾

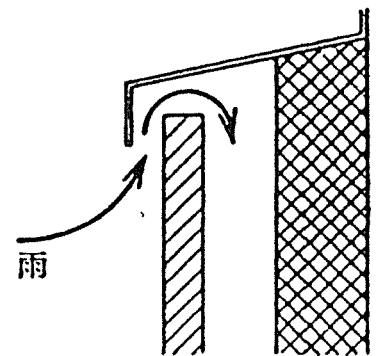


図3-6 水切り部からの
雨水の浸入²⁰⁾

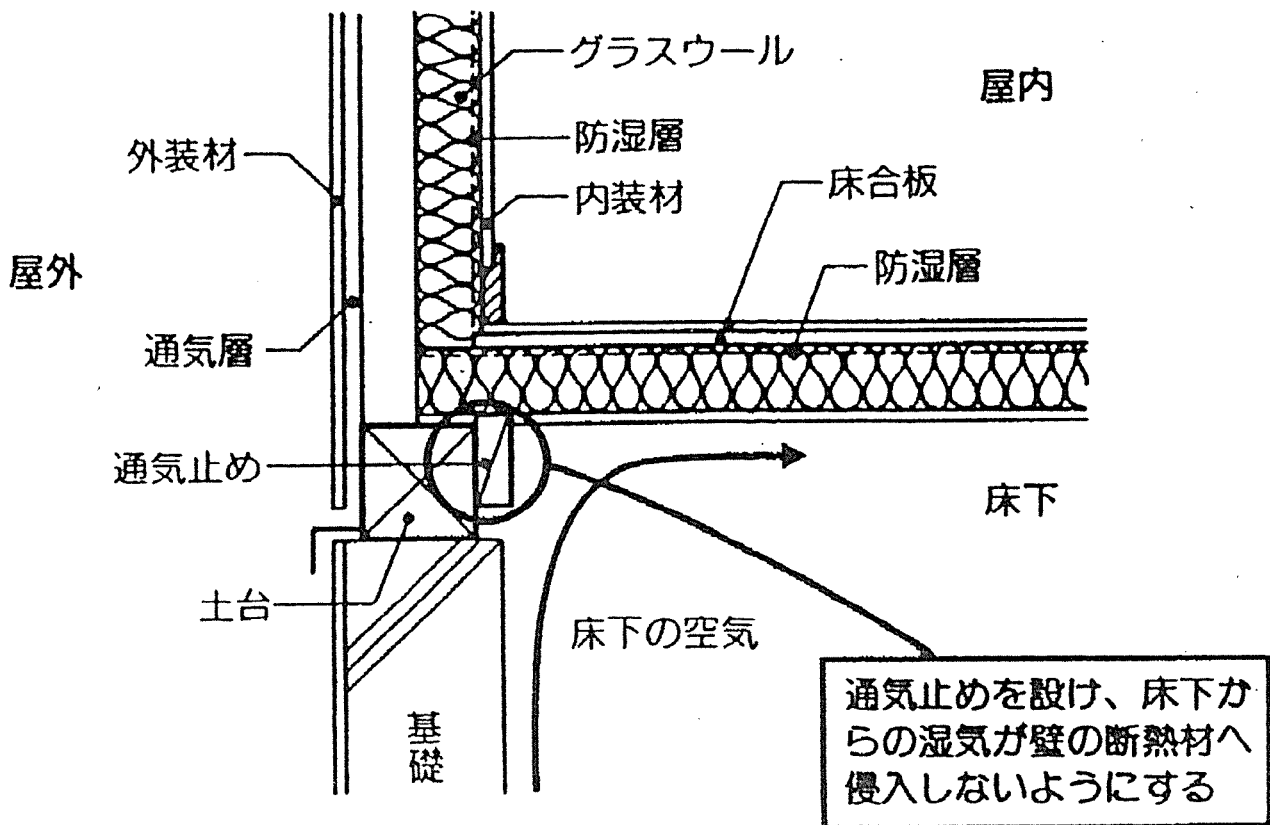
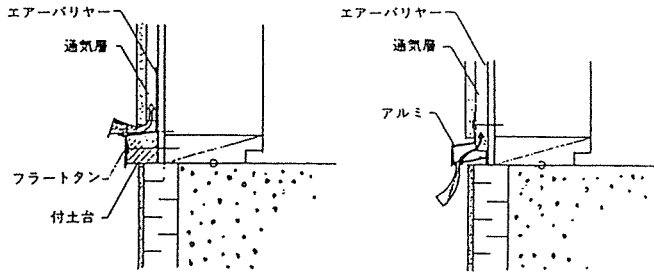


図3-7 壁との取り合い部(土台廻り)の納まり⁶⁶⁾



a) 土台に設置する場合 b) 外装材に設置する場合 (アルミ製の水切り板)

図3-8 通気開口部位 (通気取り入れ口) 73)

・水切りが潰れない工夫が必要である。

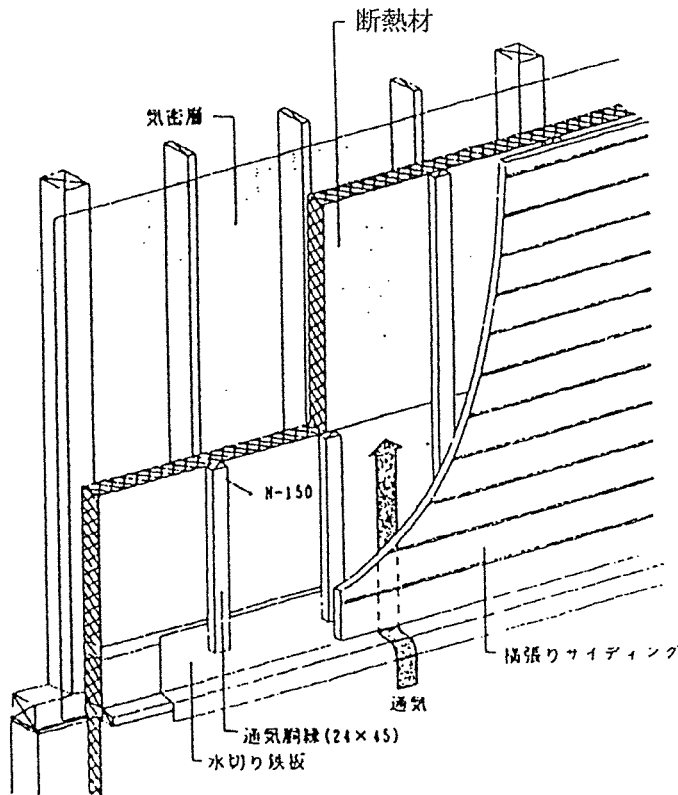


図3-9 図3-8のb)の例74)

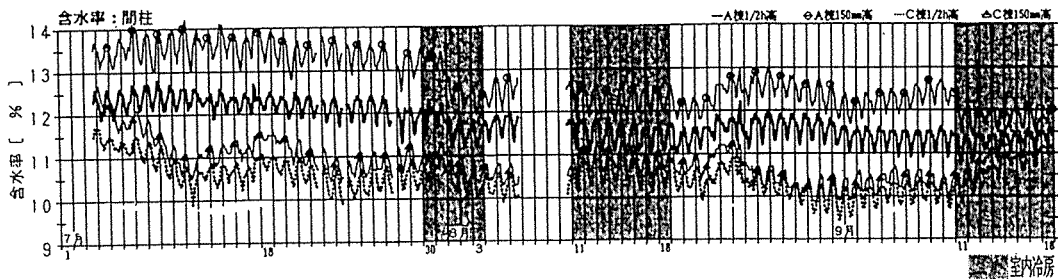
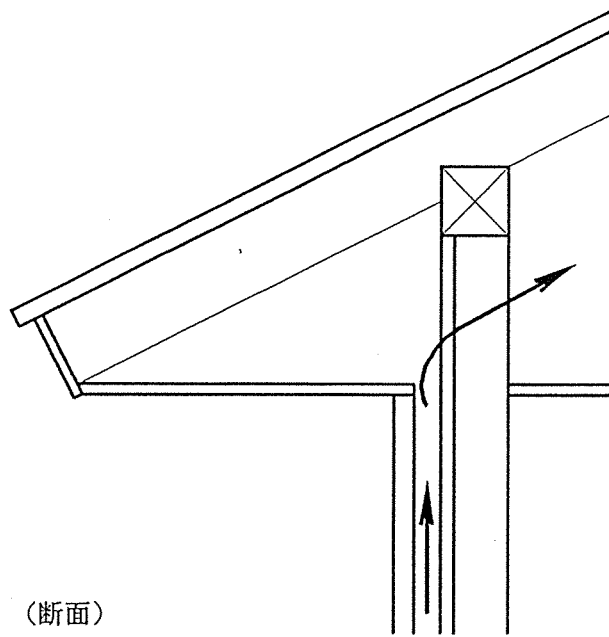
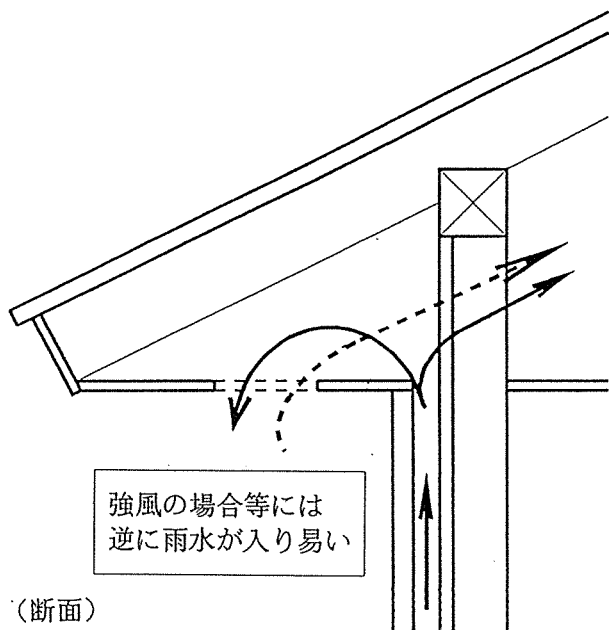


図3-10 夏季の北壁の間柱の含水率46)



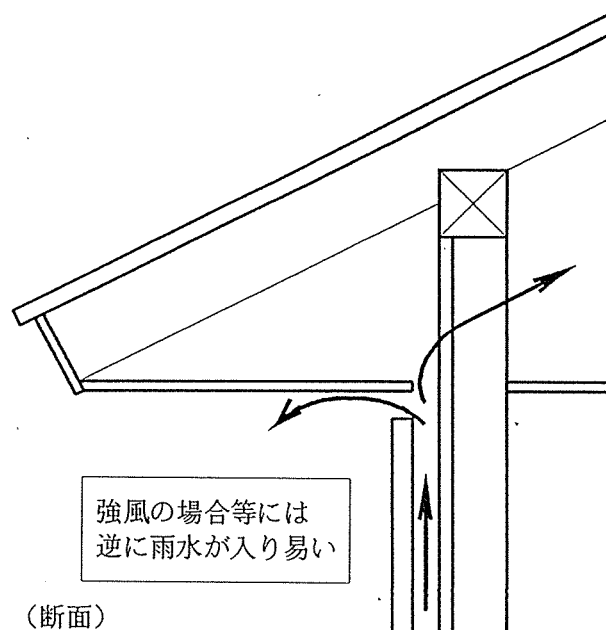
(断面)

a) 直接、小屋裏に逃げる場合



(断面)

b) 軒天換気口がある場合
(小屋裏換気口に通気する構造)

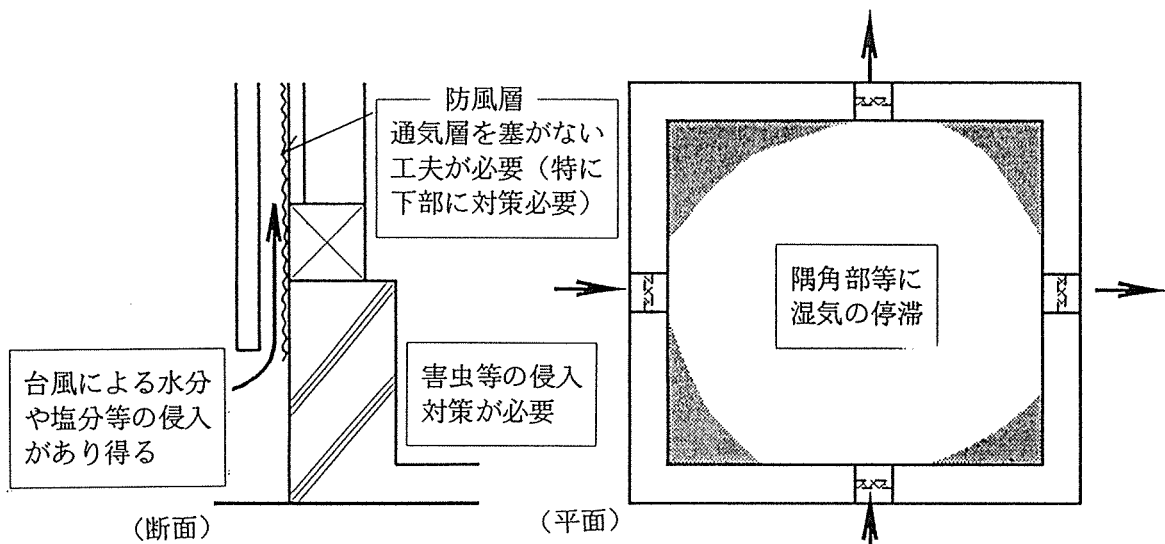


(断面)

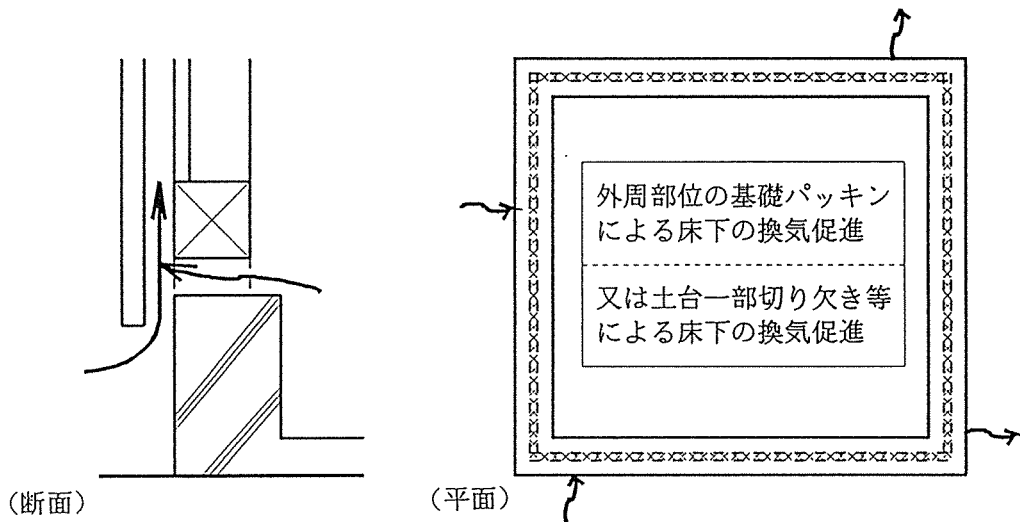
c) 外壁上部に換気口がある場合
(軒天見切縁に通気する構造)

図3-11 通気開口部位 (通気排出口)

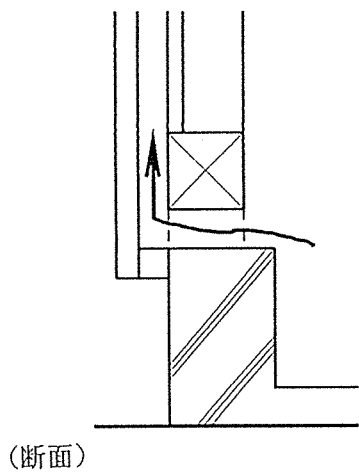
※b), c) の構造の場合には、小屋裏に雨水が侵入する危険性が高いので、特に注意すること。



a) 通常の床下換気口（基礎と土台の間に通気用のパッキンが無い場合）



b-1) 外気及び床下から通気のある場合



b-2) 床下からのみ通気のある場合
(台風による水分・塩分等の侵入は無く、かつ床下の換気が全体的に促進される)

b) 基礎パッキンによる床下換気口

図3-12 通気開口部位（通気取り入れ口）

4. 壁体内を断熱化する場合の防湿層の位置の検討

第4章では、季節蒸暑地域において湿害防止に有効な木造断熱壁体の最適構成（特に断熱・防湿指針）を提案することを目的として在来壁体（壁体1）、通気壁体（壁体2）、内部防湿層付き通気壁体（壁体3）の温湿度特性を試験家屋の屋外暴露実験（写真4-1、図4-1、図4-2参照）および水分ポテンシャル⁴⁹⁾を用いた熱・水分移動方程式により、実験的・解析的に明らかにした。得られた結果を実験および数値シミュレーションごとに述べる。

注

1) 水分ポテンシャルとは、水蒸気の化学ポテンシャルのことであり、湿流の駆動力を表す指標である。湿り空気線図に習えば、図4-3のような水分ポテンシャル線図（温度、相対湿度、絶対湿度、水分ポテンシャルの関係）が描ける。

4-1 夏季屋外比較実験（表4-1、表4-2参照）

- 1) グラスウール（繊維質断熱材）は温度変化に依存して吸放湿を行い、グラスウール（繊維質断熱材）内部の空気と実質部には瞬時に局所的な湿気平衡が成立する（図4-4）⁴⁹⁾。
- 2) 壁体内部相対湿度（内装材外側）は昼間に上昇し、在来壁体（壁体1）では夏型結露（冷房時に低温面となる壁体内部室内側での結露）が発生した。これに対し、内部防湿層付き通気壁体（壁体3）は低湿に保たれ、壁体内部の相対湿度は最高でも89.6%を示す程度であった。しかし通気壁体（壁体2）は最高97.4%を示し、夏季蒸暑地域では高湿になることが明らかにされた（図4-5～図4-7）⁴⁹⁾。
- 3) 通気層を有する壁体（壁体2、壁体3）では、昼間は壁体内から外気へ、夜間は外気から壁体内へ湿流が生じ、外気と壁体内部の間で通気層を介した日周期的な湿気伝達が行われる（図4-8～図4-10）⁴⁹⁾。
- 4) 通気層（壁体2、壁体3）は壁体内の蒸れ防止に有効であるが、通気層から壁体内への湿流量が多い場合は内部結露を生じる恐れがある⁴⁹⁾。
- 5) カナダのR-2000の例を見ると、断熱厚さの何分の1の部分に、防湿層の位置を定めている。これは暖房日数によって比率が異なると記述されている（図4-11）⁶⁸⁾。

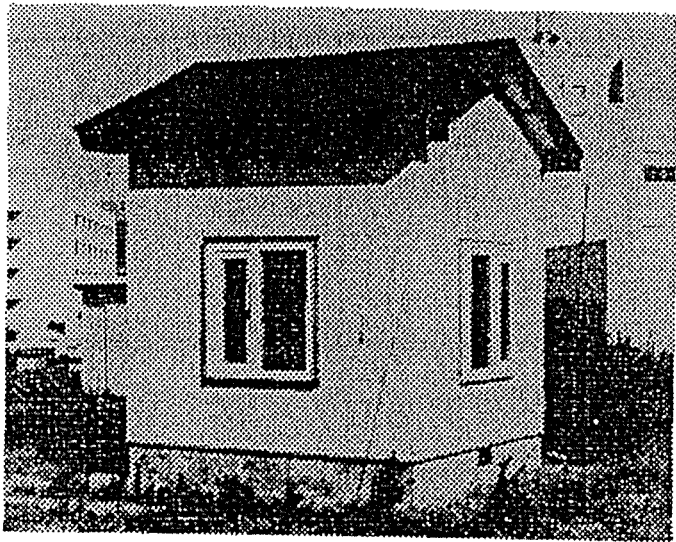


写真4-1 試験家屋の外観（福岡）49）

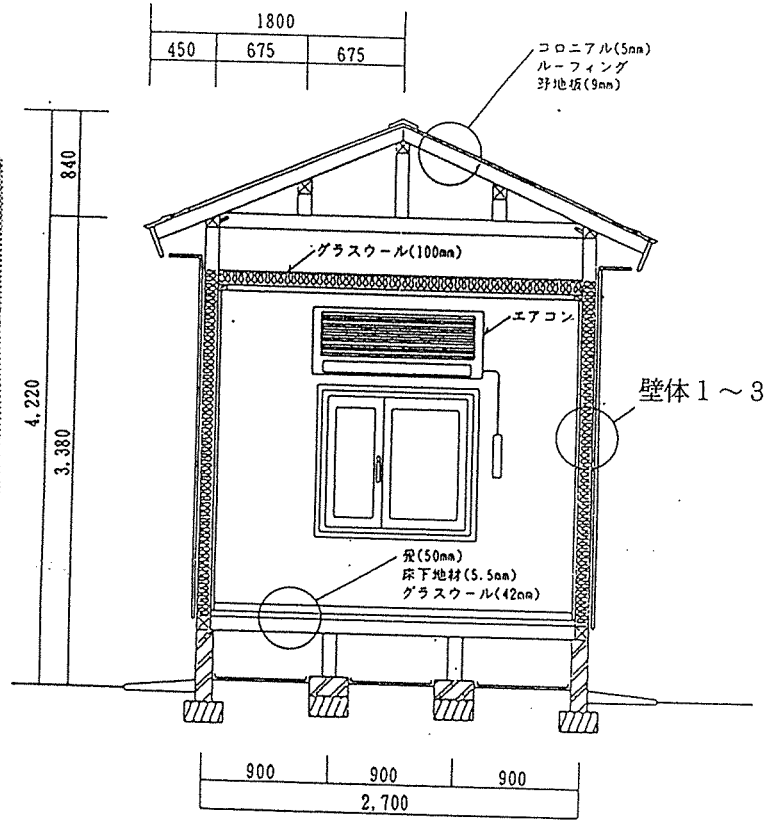


図4-1 試験家屋の断面49)

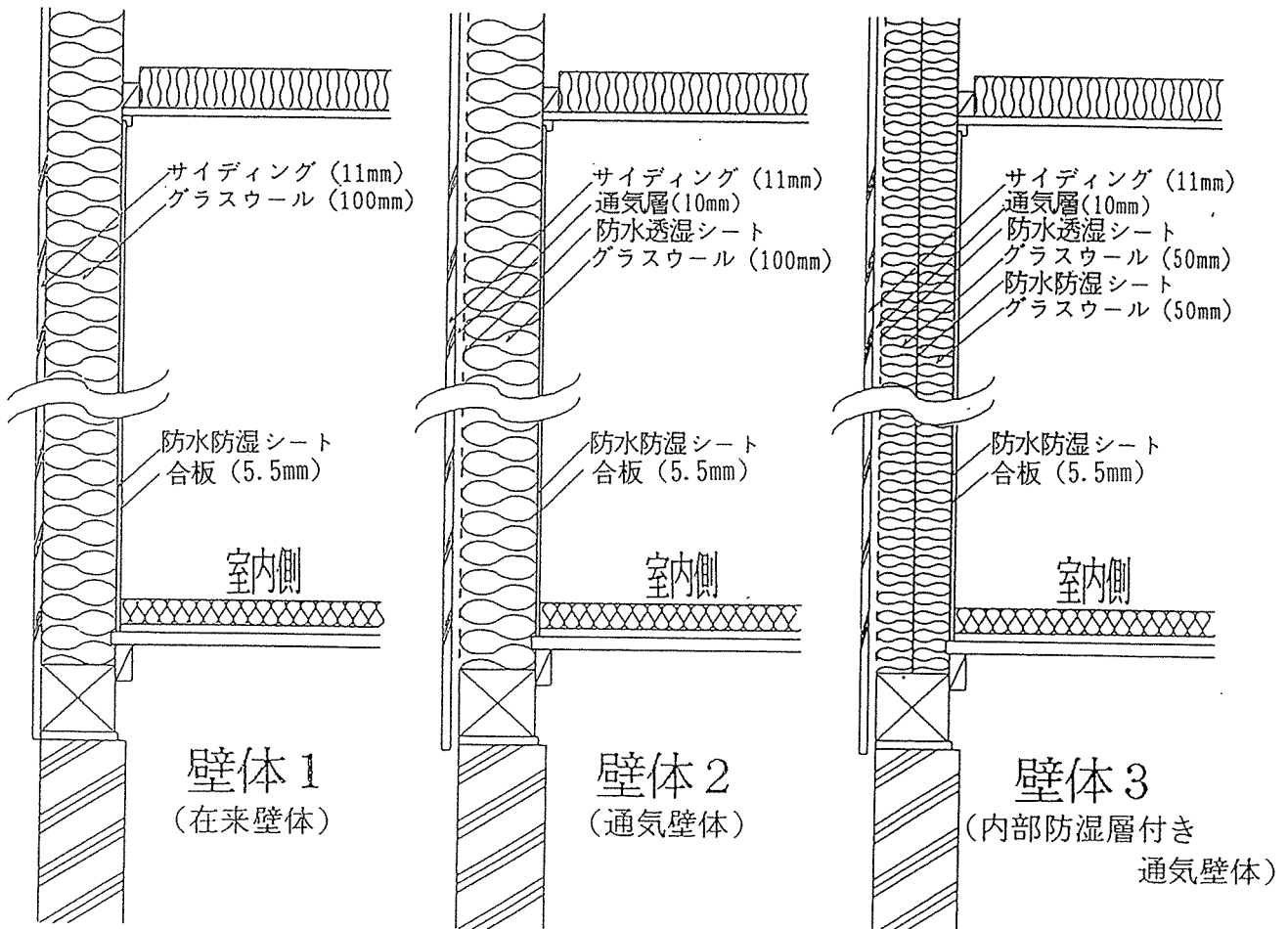


図4-2 壁体構成（西壁）49)

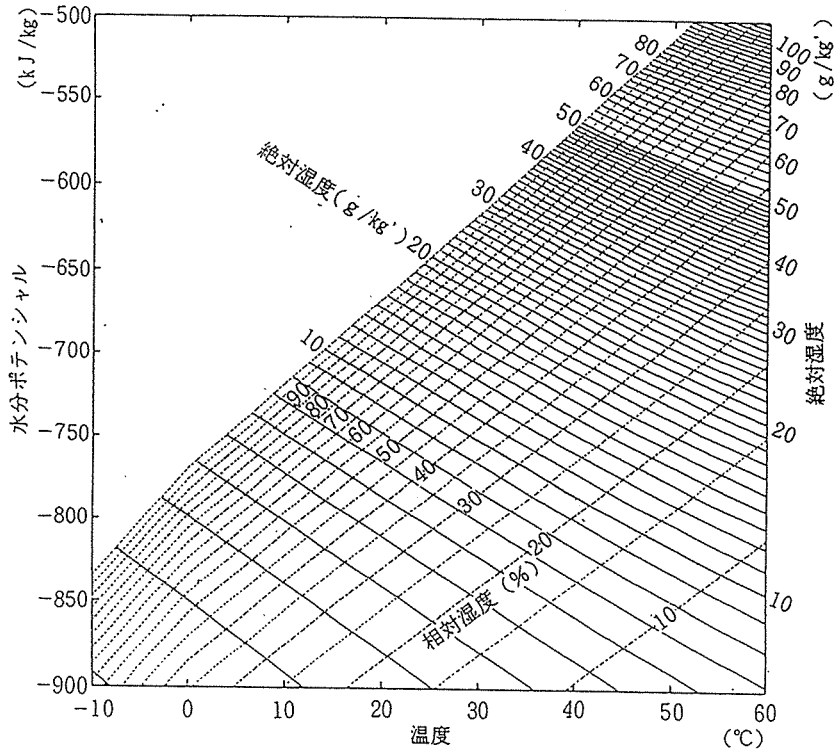


図4-3 水分ポテンシャル線図

8月28日~31日 (データ数: 192)

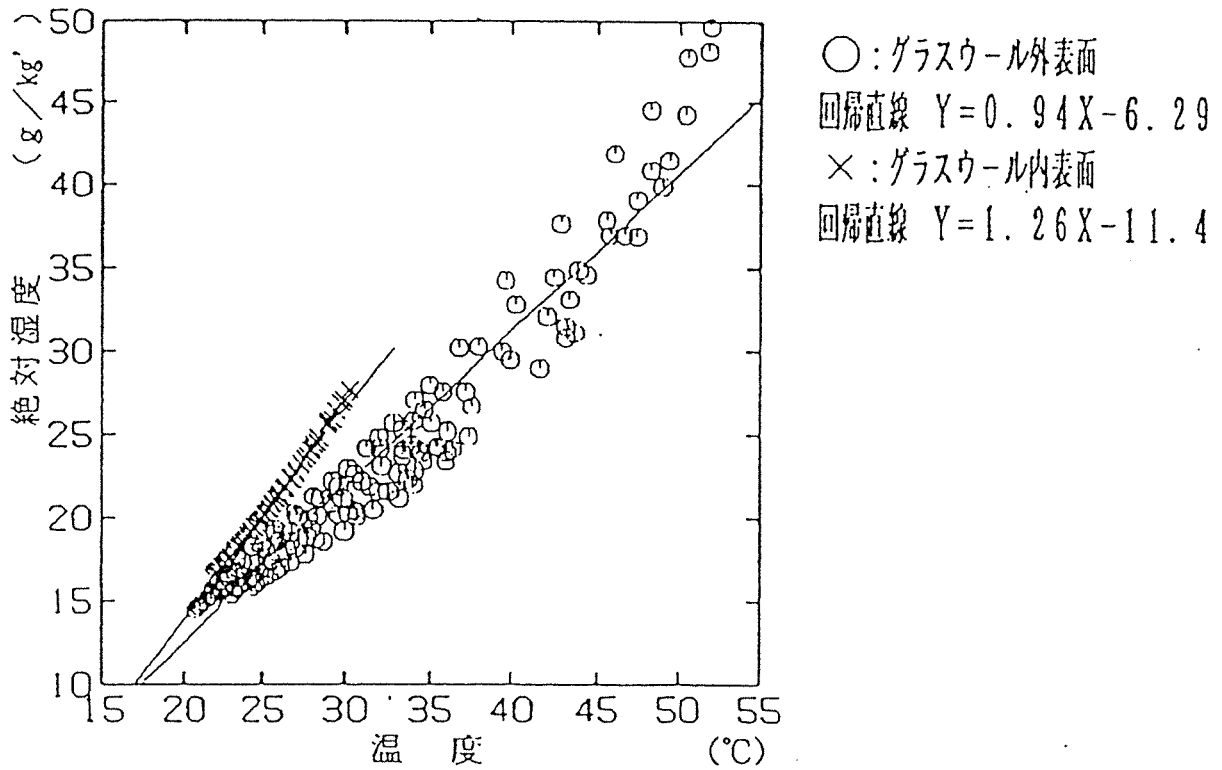


図4-4 グラスウール内外表面の温度および絶対湿度の相関(49)

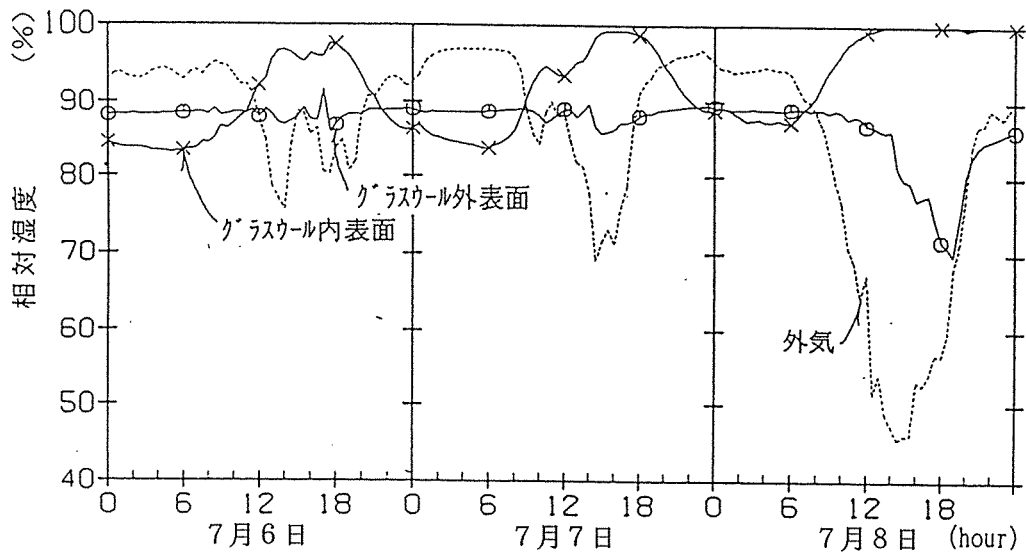


図4-5 在来壁体の相対湿度⁴⁹⁾

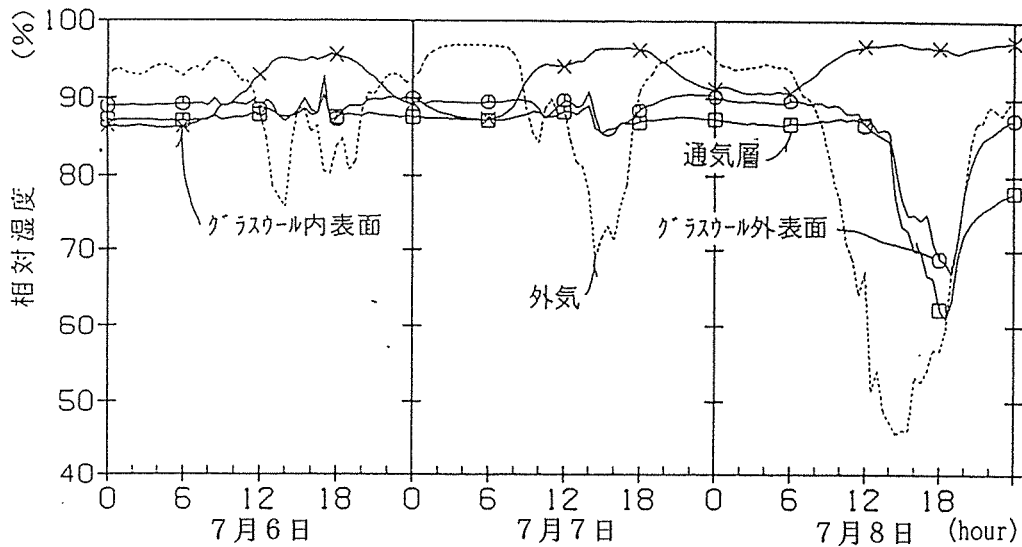


図4-6 通気壁体の相対湿度⁴⁹⁾

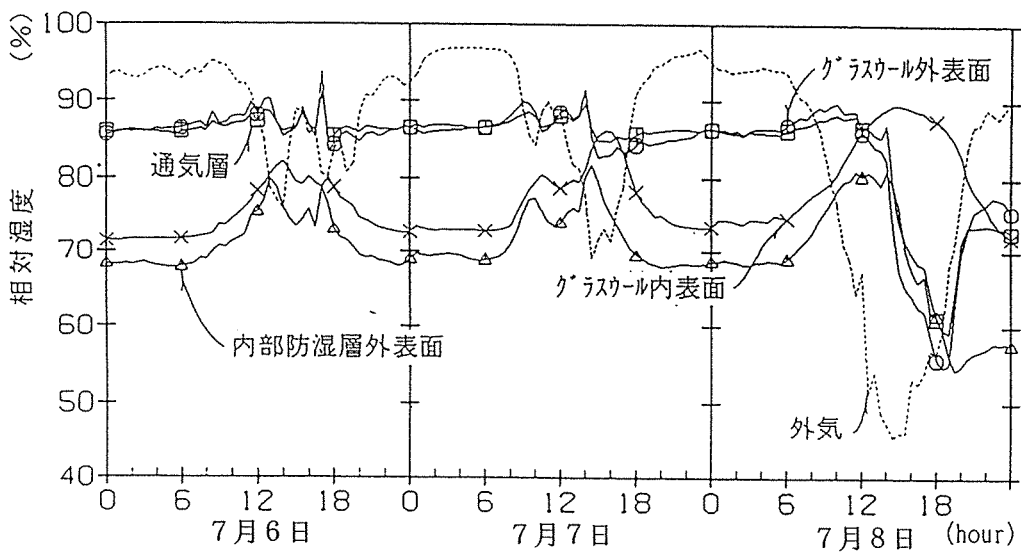


図4-7 内部防湿層付き通気壁体の相対湿度⁴⁹⁾

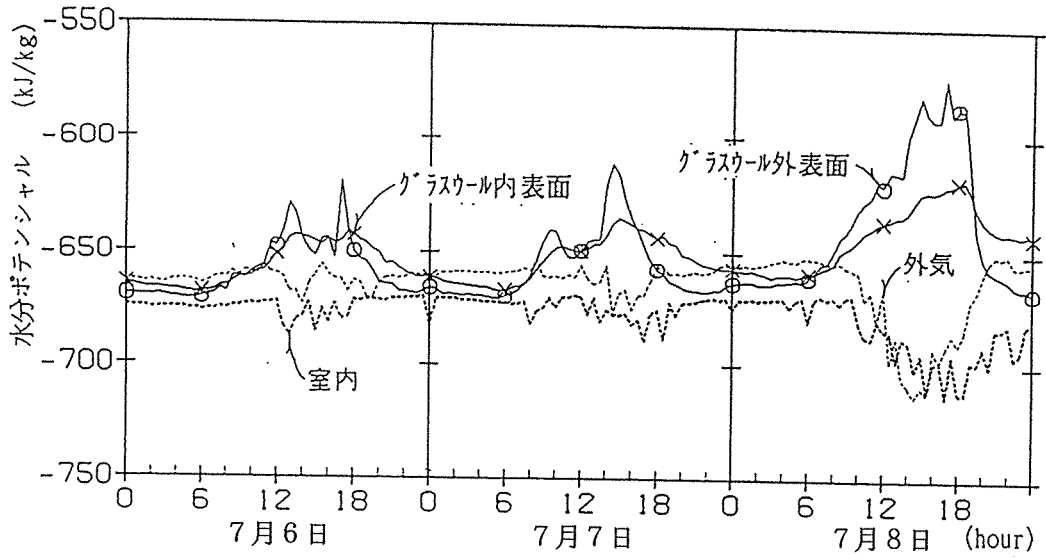


図4-8 在来壁体の水分ポテンシャル(49)

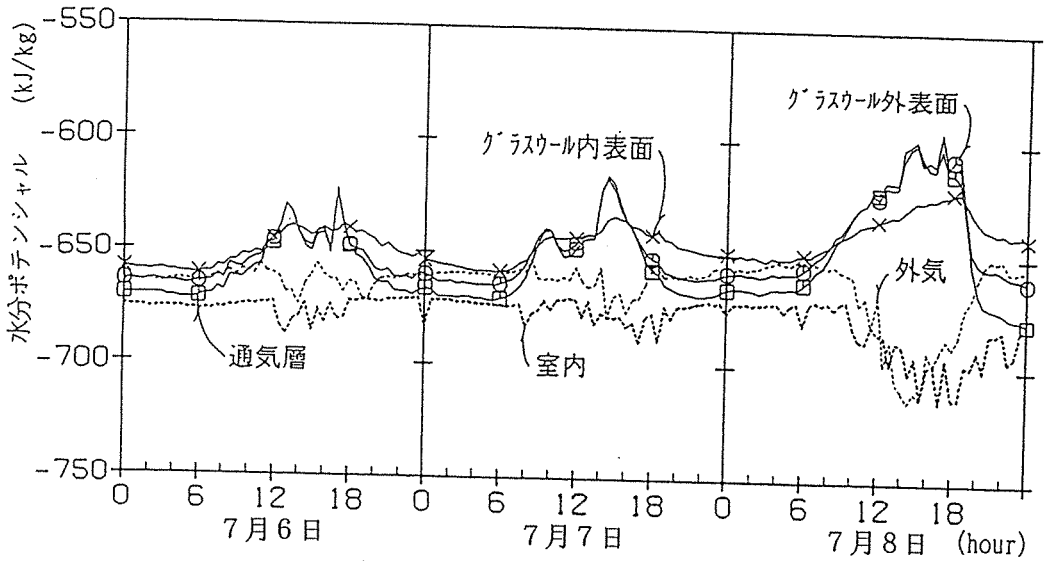


図4-9 通気壁体の水分ポテンシャル(49)

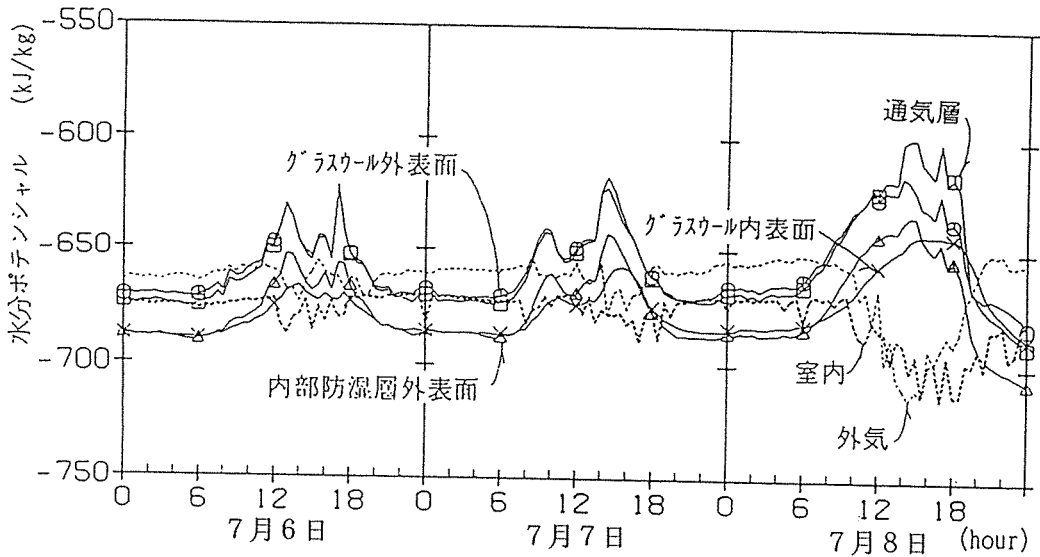
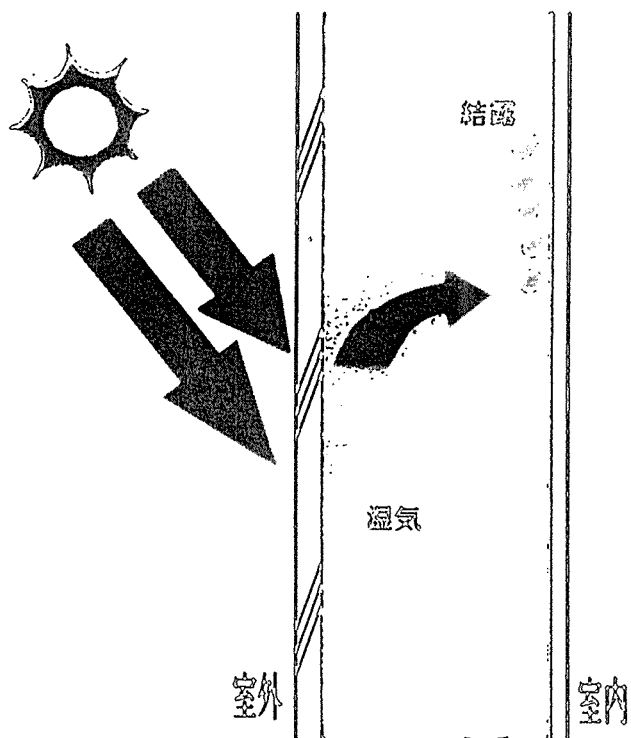
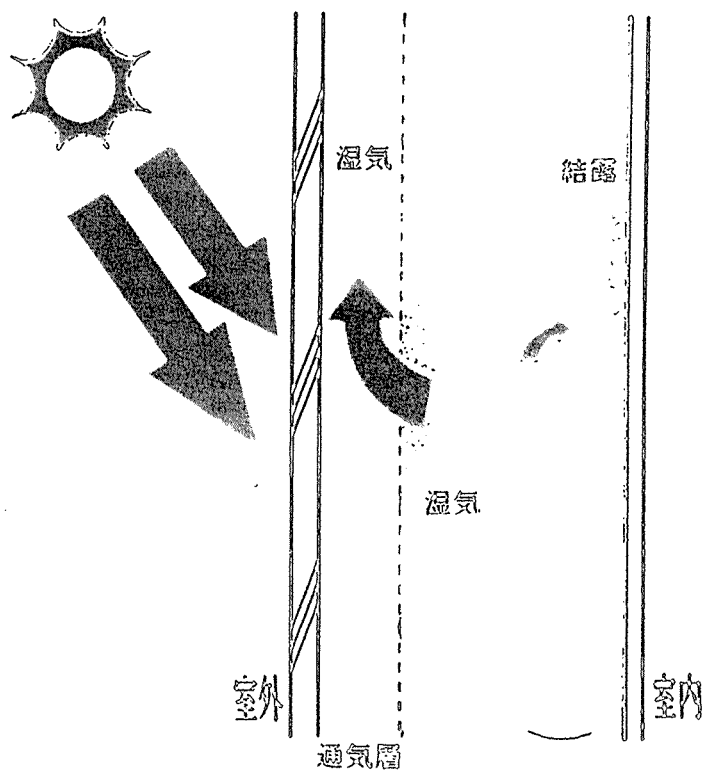


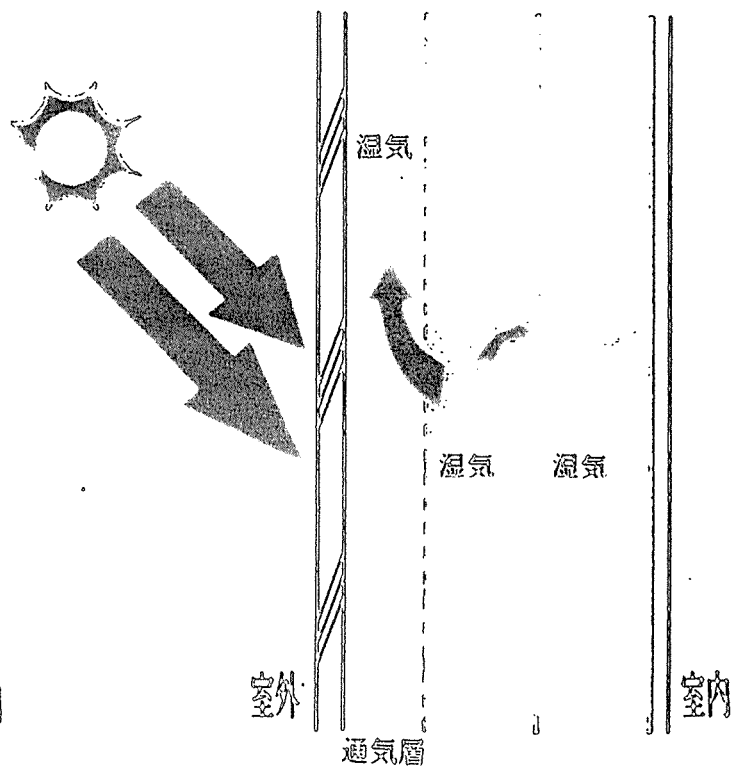
図4-10 内部防湿層付き通気壁体の水分ポテンシャル(49)



壁体 1 (在来構法)



壁体 2 (通気構法)



壁体 3 (内部防湿層付き通気構法)

図 4-11 壁体の通気・通湿システム

4-2 数値シミュレーション

水分ポテンシャルを用いた熱・水分移動方程式を使用して、壁体の温湿度変動に関する数値計算を行う。まず、4-2-1では、壁体内湿気移動実験での実測値と計算値を比較することにより、数式モデルの妥当性について検討する。次に、4-2-2では放射受熱量のステップ変化に対する各種壁体内温湿度の過渡応答を求め、壁体構成の違いがその温湿度に及ぼす影響を明らかにする。さらに、4-2-3では標準気象データを用いた数値シミュレーションにより、季節蒸暑地域における壁体内部結露の有無について月別、地域別、方位別、壁体別に検討する。

4-2-1 壁体モデル

a) 数式モデル

水分ポテンシャルを用いた熱・水分移動方程式と、以下に示す通気層の熱・水分収支を使用する。

【基礎式】

・ 熱収支

$$C\rho\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda\nabla^2 T + r\left(\lambda''\nabla^2\mu_w - \frac{\partial\rho_{\varepsilon w}\phi}{\partial t}\right)$$

・ 水分収支

$$\frac{\partial\rho_{\varepsilon w}\phi}{\partial t} + \rho_{iw}\frac{\partial\phi}{\partial\mu}\frac{\partial\mu}{\partial t} = \lambda''\nabla^2\mu_w = \lambda''\nabla^2\mu_w^0 + \lambda''\nabla^2\mu$$

C : 躯体の比熱, T : 絶対温度, ρ : 躯体の比重, $\rho_{\varepsilon w}$: 容積絶対湿度, ρ_{iw} : 液水の比熱, λ : 熱伝導率, λ'' : 水分伝導率, μ : 水分化学ポテンシャル, μ_w : 水分ポテンシャル, μ_w^0 : 飽和水分ポテンシャル, ϕ : 含水率, ϕ : 空隙率

【境界条件】

・熱収支式

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} - r\lambda'' \frac{\partial \mu_w}{\partial n} = \alpha(T_a - T_s) + r\alpha''(\mu_{wa} - \mu_{ws}) + q_s$$

・水分収支式

$$-\lambda'' \frac{\partial \mu_w}{\partial n} = \alpha''(\mu_{wa} - \mu_{ws})$$

n : 境界面の内向き法線ベクトル, γ : 気・液相水分の相変化熱, α : 対流熱伝達率, α' : 水分伝達率, q_s : 放射受熱量, μ_{wa} , μ_{ws} : 空気と表面の水分ポテンシャル

【通気層】

・熱収支

$$C_p \gamma V \frac{dT}{dt} = \sum_s \alpha A_s (T_o - T_v) + C_p \gamma m V (T_o - T_v)$$

・水分収支

$$\begin{aligned} \gamma_d V \frac{dx}{dt} = & \sum_s A_s \alpha'' (\mu_{ws} - \mu_{wv}) \\ & + \gamma_d m V (x_o - x_v) + \sum_v A_v \alpha'' (\mu_{wo} - \mu_{wv}) \end{aligned}$$

ここで、式(6)の α'' と α_v'' は、通気層に面する壁体表面の水分伝達率と通気口の透湿係数で、式(6)右辺の各項は、通気層と壁体表面の水分伝達（第1項）、換

気（第2項），通気口での水分ポテンシャル差（通気層空気と外気の水分ポテンシャル差）による通湿（第3項）を表す（図4-12参照）。なお，通湿層の熱・水分収支は，式(5)と式(6)の右辺第2項（換気）を無視したものとなる。

b) 計算値と実測値の比較

壁体内湿気移動実験における内部防湿層付き通気壁体の温湿度測定位置（あるいは計算位置）①～⑤を図4-13に，温度と相対湿度の実測値と計算値を図4-14，図4-15に示す。温度は，①～⑤のいずれの位置でも実測値と計算値は良く一致する。相対湿度は，通気層①とグラスウール通気層側②で僅かに差を生じるが，その差は最大でも6%程度で，内部防湿層の室内側④とグラスウール内表面⑤では良く一致する。温湿度とも計算値は実測値を比較的良い精度で捕捉する。

4-2-2 放射受熱量のステップ変化に対する各種壁体内温湿度の過渡応答

a) 計算内容および条件

放射受熱量のステップ変化に対する各種壁体内温湿度の過渡応答を求める。壁体モデルは，在来壁体Ⅰ，内部防湿層付き在来壁体Ⅱ～Ⅳ，通気壁体Ⅴ，内部防湿層付き通気壁体Ⅵとする。各壁体の内外仕上材はいずれも合板（5.5mm）とサイディング（12mm）であり，断熱材としてグラスウール（16kg/m³，100mm）を使用する（図4-16参照）。ただし，合板とサイディングの吸放湿は無視し，壁体内部の吸放湿（吸脱着）はグラスウールでのみ生じるものと仮定する。ステップ変化後のサイディングの放射（日射）受熱量は300W/m²，壁体内外表面の総合熱伝達率はそれぞれ10W/m²K，15W/m²K，通気層の換気回数は5回/hとする。なお，グラスウールの初期温湿度は27.3℃，76.0%（福岡の外気温湿度の8月平均）とし，室内と外気の温度はそれぞれ26.0℃と27.3℃で一定とする。

b) 計算結果および考察

図4-16に，各種壁体およびそれらの温度，絶対湿度，相対湿度を示す。各壁体の温度は，構成の違い（通気層の有無）でグラスウールの内外表面に僅かな差を生じるが，その温度分布はいずれの壁体もほぼ等しい。通気層の無い在来壁体Ⅰと内部防湿層付き在来壁体Ⅱ～Ⅳの絶対湿度は，温度に追従して変化し温度の高い方が絶対湿度も高くなる。ただし，壁体Ⅰ～Ⅳのグラスウール外表面を比較すると，温度はいずれも同じ値であるにも拘らず，絶対湿度は壁体Ⅲ，Ⅱ，Ⅳ，

Iの順に高い値を示す。壁体I～IVのグラスウール全体の脱着水量はいずれも同じであるが、局所的な脱着水量は温度上昇が著しい外側ほど多いため、内部防湿層が外側（外表面付近）にある場合は高温側（外表面側）から低温側（内部防湿層の内側）への脱着水の拡散が妨げられ外表面絶対湿度が高くなる。グラスウール内表面絶対湿度は、壁体I, III, II, IVの順に高い値を示す。これは、高温側（内部防湿層の内側）から低温側（内表面側）への湿流量（脱着水の拡散量）の差に起因しており、内部防湿層が内側（内表面付近）にある場合は内表面への湿流量が少なく（内部防湿層内側での脱着水が少なく）、内表面絶対湿度が低くなる。夏季冷房時に壁体の内表面仕上材外側に生じる夏型結露は、在来壁体Iと内部防湿層付き在来壁体IIIで発生している。これは、高温側から低温側への湿流量が多いためである。同じ理由により、内部防湿層付き在来壁体IVでも結露が発生しているが、その位置は内部防湿層の外側である。在来壁体でも内部防湿層を設けることで夏型結露を防止できるが、防湿層の位置、壁面方位、室内温度などの条件で結露の危険性が変わる。

通気層を有する壁体V, VIの絶対湿度は、温度上昇に追随して高くなるが、温度が定常に達した後は次第に低下する。壁体V, VIのグラスウール外表面絶対湿度と在来壁体Iのそれを比較すると、壁体Iより壁体V, VIの方が最高値で約2～4 g/kg'、ステップ変化6時間後で約6 g/kg'も低い値を示す。これは、グラスウールの脱着水が通気層から排湿されるためである。その結果、壁体V, VIでは内表面（壁体VIは内部防湿層）への湿流量が減少し結露が防止される。しかし、通気壁体Vの内表面相対湿度は最高で約97%を示しており、受熱量や初期含湿量などの条件によっては結露の可能性はある。これに対して、内部防湿層付き通気壁体VIのグラスウール内表面相対湿度は、比較的低い値を示しており結露の危険は少ない。

4-2-3 月別，地域別，方位別，壁体別の壁体内部結露の有無

a) 計算条件

壁体モデルは，壁体1～3（在来壁体，通気壁体，内部防湿層付き通気壁体）とする。各壁体の内装材と外装材は合板（5.5mm）とサイディング（12mm）で，断熱材にはグラスウール（10kg/m³，100mm）を使用する。ただし，壁体モデルの吸放湿はグラスウールのみで生じるものと仮定し，サイディングと合板のそれは無視する。表4-1に熱・水分伝達に関する係数を示す。通気層の換気回数は2回/h一定で，通気層に面するグラスウール表面の水分伝達は透湿シートを純抵抗層とみなして算出する。なお，室内空気温度は26℃一定で，壁体の日射吸収率 a_s は0.7である入力値には標準気象データを使用する。

b) 計算結果

- 1) 在来壁体（壁体1）と通気壁体（壁体2）の相対湿度は昼間に100%を示すのに対して，内部防湿層付き通気壁体（壁体3）のそれは最高でも約93%である（図4-18）。
- 2) 在来壁体（壁体1）では東西壁はいずれの地域でも結露し，鹿児島と那覇では北壁でも結露する。鹿児島と那覇では比較的同じ割合で結露するが，相対湿度が90%以上を示す割合は那覇の方が遙かに多い。例えば，西壁では鹿児島は約19%であるのに対して那覇では約34%にもなる（図4-19）。
- 3) いずれの地域においても内部相対湿度は7，8月に高くなる。例えば，大阪で在来壁体（壁体1）の相対湿度が90%以上を示す割合は6～9月の順に約4%，約12%，約8%，約2%であり，内部結露は7，8月にのみ発生する（図4-20）。
- 4) 通気壁体（壁体2）と内部防湿層付き通気壁体（壁体3）の相対湿度を比較すると，90%以下の範囲では壁体2の方が低い値となるが，90%以上の範囲では壁体3の方が低い値となる。壁体3の相対湿度はほぼ90%以下であるのに対し，壁体2のそれは東西南壁で90%を越え僅かながら100%を示す（図4-21）。
- 5) 相対湿度が75%以上の範囲では，日射吸収率が小さい方が低湿になる。これは，日射受熱量が少ない方が壁体の温度上昇が抑制され，グラスウールの脱着水分量が減少するためである。蒸暑地域でも通気壁体は壁体内部の蒸れ防止に有効であるが，壁体内部に防湿層を設けることでさらに効果的となる（ただし，

後述するように内部防湿層は逆効果になる場合があるため、地域・方位に合致するように付設位置を決める必要がある)。特に、通気層に面する部位(透湿シート等)の透湿抵抗が大きい場合は有用であると考えられる。日射遮蔽や日射吸収率を小さくする等の工夫が必要である(図4-22)。

6) いずれの地域においても内装材外側で内部結露が発生する在来壁体(壁体1)と比べると通気壁体(壁体2)は低湿になるが、依然として結露する地域がある。一方、内部防湿層付き通気壁体(壁体3)は、一部の地域では通気壁体(壁体2)より内装材外側の相対湿度が上昇し、結露する。したがって、内部防湿層付き通気壁体(壁体3)では、地域・方位に合致するように防湿層の付設位置を決める必要がある(図4-23~図4-28)。

7) 在来壁体(壁体1)は、グラスウールが50mm厚と100mm厚のいずれの場合も約8%、約14%の割合で結露している。これに対して、通気壁体(壁体2)はグラスウールが50mm厚の場合は結露しないが、100mm厚の場合は約6%の割合で結露している。夏季内部結露には材料からの脱着水分が大きく影響するため、グラスウールが厚い(含湿量の多い)壁体では結露の危険性が高く、通気壁体(壁体2)でも断熱強化にともない結露の危険性が増大する(図4-29)。

8) 内装材裏面は、内部防湿層を外装材近くに設けるほど高湿になり、内装材から75mmの位置に設けた場合には結露している。これに対して、内部防湿層外気側は、防湿層を内装材近くに設けるほど高湿になる。しかし、内部防湿層を内装材から25mmの位置に設けた場合でも、その外気側相対湿度は最高で約93%を示す程度である。したがって、内装材側から断熱材の厚みの1/4~1/2の位置に防湿層を付設することで、夏季の内部結露はほぼ防止できると考えられる(図4-30, 図4-31)。

9) 日射吸収率の低下にともない内部結露の割合が低下している。これは、日射受熱量の差異により材料から放湿される水分量が異なるためである(図4-32)。

10) 換気回数の増加により内部結露の割合は僅かに減少するが、相対湿度が90%を越える割合は約17~19%でほぼ同じである。通気壁体(壁体2)の内部湿度は在来壁体と比較すると低い値となるものの、夏季蒸暑地域においては依然として結露の危険性がある(図4-33)。

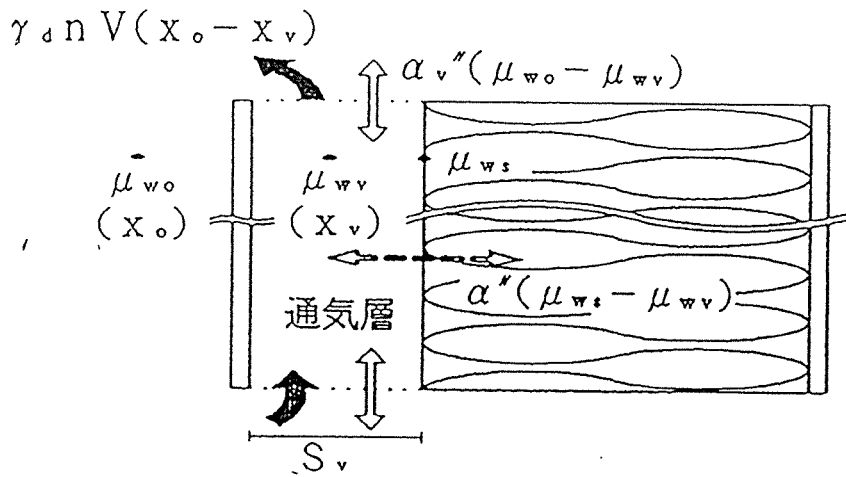


図4-12 通気層の熱収支モデル⁵³⁾

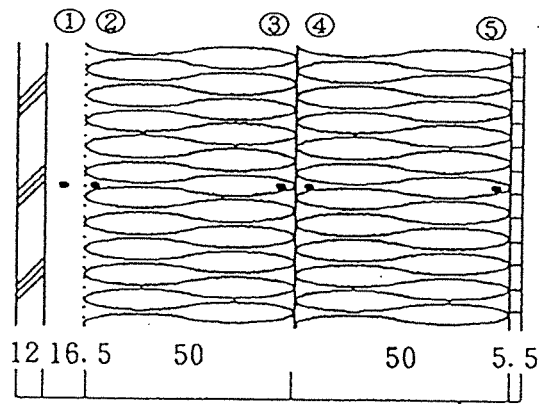


図4-13 壁体の温湿度測定位置⁵³⁾

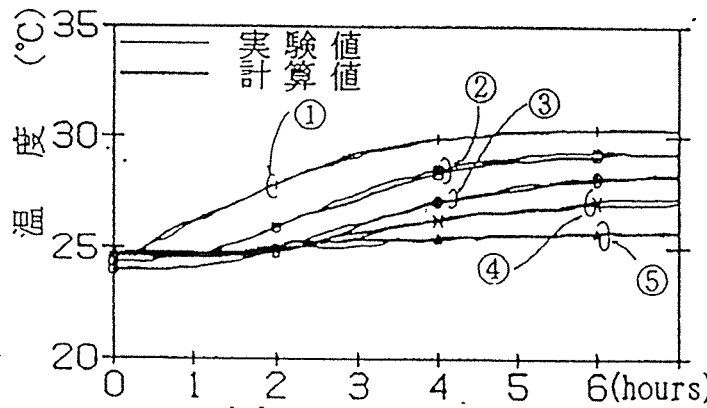


図4-14 内部防湿層付き通気壁体の温度⁵³⁾

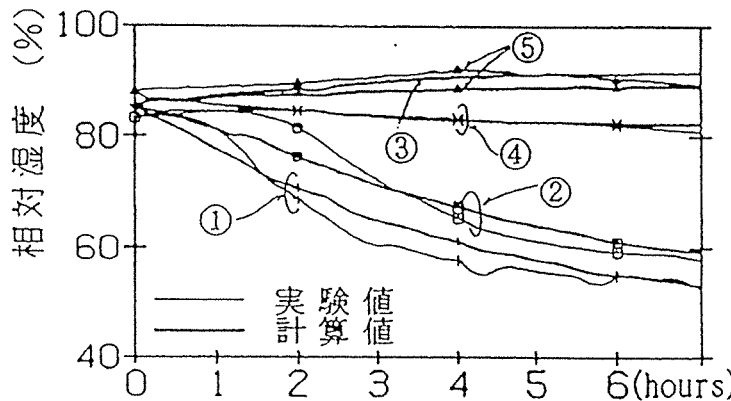


図4-15 内部防湿層付き通気壁体の相対湿度⁵³⁾

壁体構成

温度, 絶対湿度, 相対湿度の過渡応答

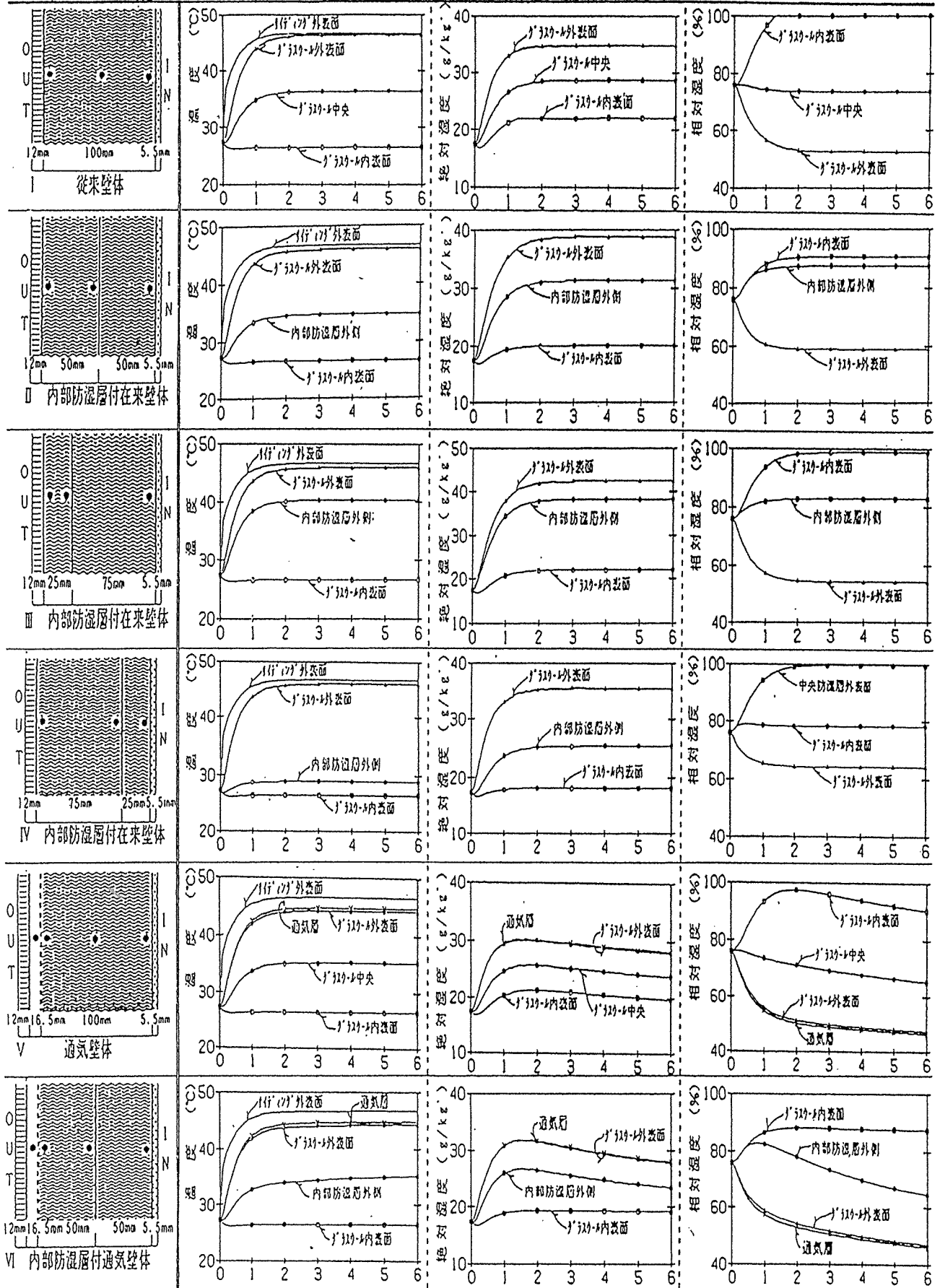


図4-16 壁体構成別の温湿度の過渡応答(53)

表4-1 熱・水分伝達に関する係数⁵⁶⁾

通気層の水分伝達率	1.3667×10^{-11}	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{J} \cdot \text{kg}))$
通湿層の水分伝達率	1.2629×10^{-11}	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{J} \cdot \text{kg}))$
通気層（空気流出入口）の水分拡散係数	2.0×10^{-10}	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{J} \cdot \text{kg}))$
通湿層（排湿口）の水分拡散係数	1.4249×10^{-11}	$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot (\text{J} \cdot \text{kg}))$
内表面对流熱伝達率	3	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
外表面对流熱伝達率	風速の関数	
内外表面の放射熱伝達率	温度の関数	

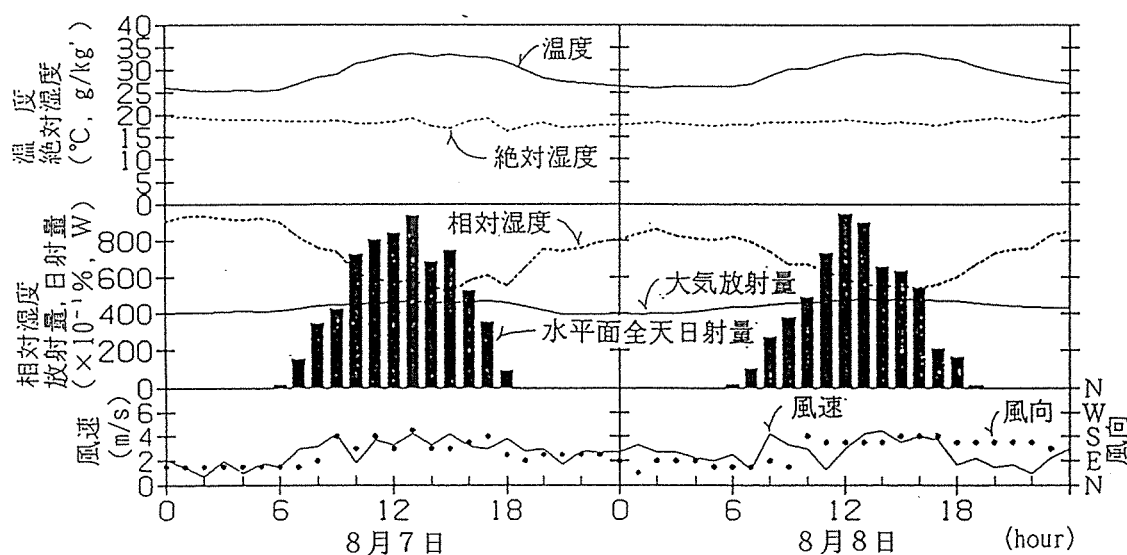


図4-17 福岡の外界気象（標準気象データ）⁵⁶⁾

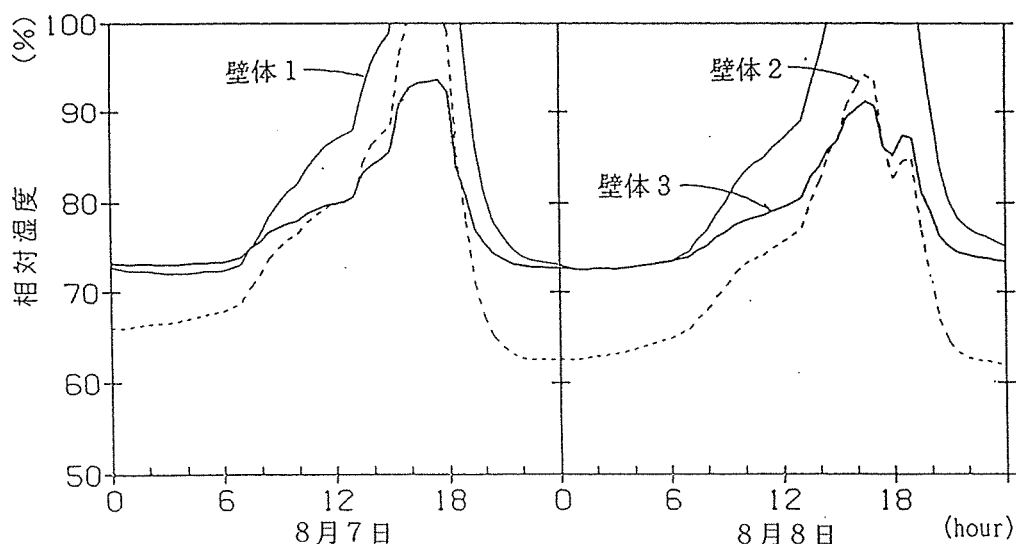
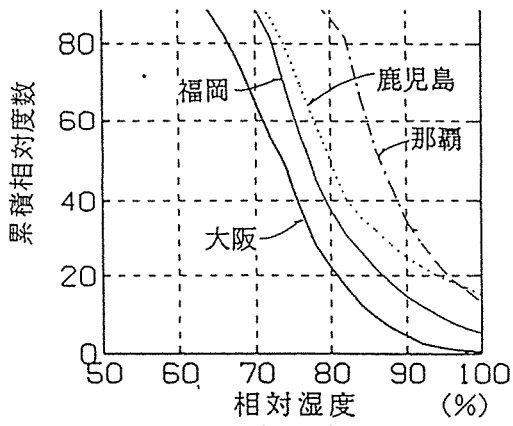
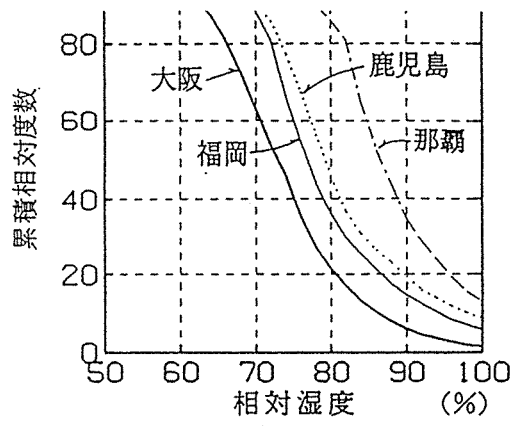


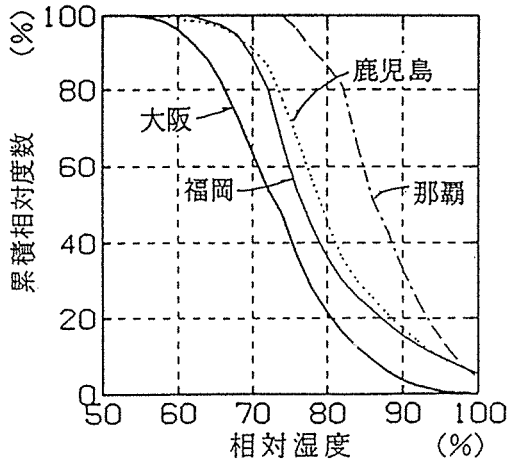
図4-18 壁体構成別の内装材外側相対湿度（西壁）⁵⁶⁾



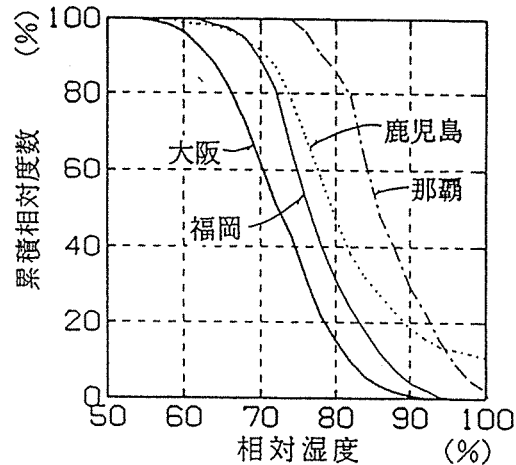
a) 西壁



b) 東壁



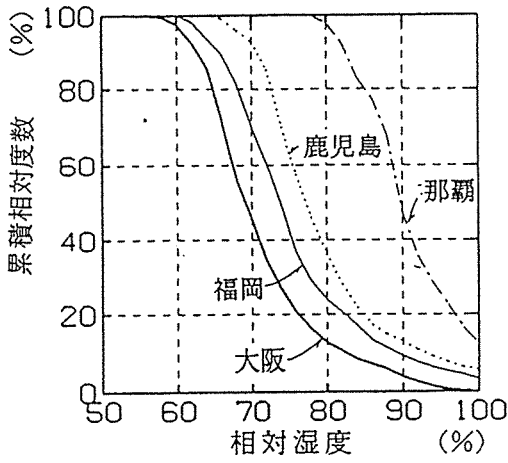
c) 南壁



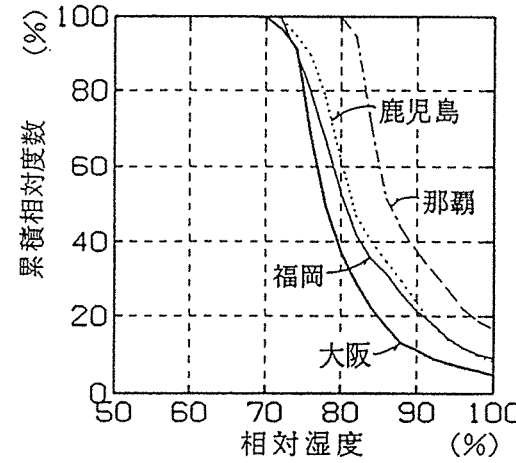
d) 北壁

図4-19 地域別・壁体方位別の内装材外側相対湿度⁵⁶⁾

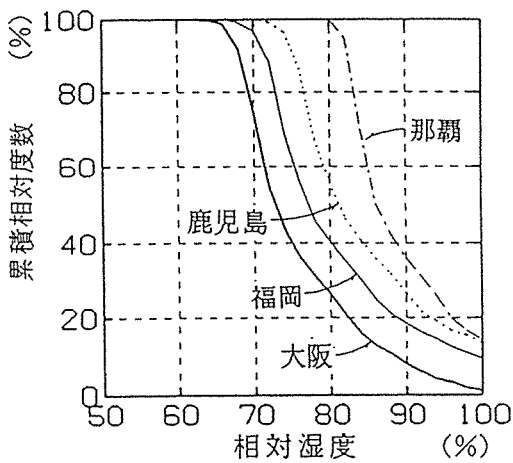
(在来壁体, 6月~9月)



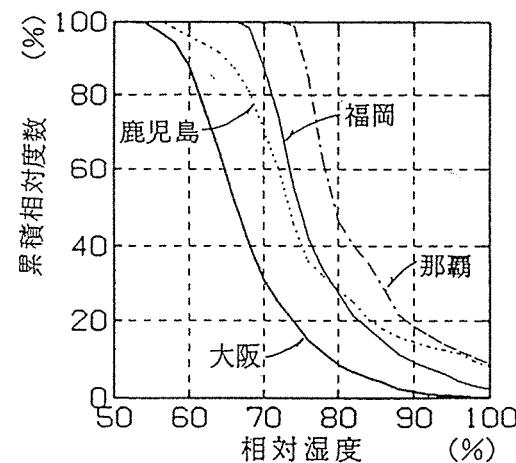
a) 6月



b) 7月



c) 8月



d) 9月

図4-20 地域別・月別の内装材外側相対湿度⁵⁶⁾

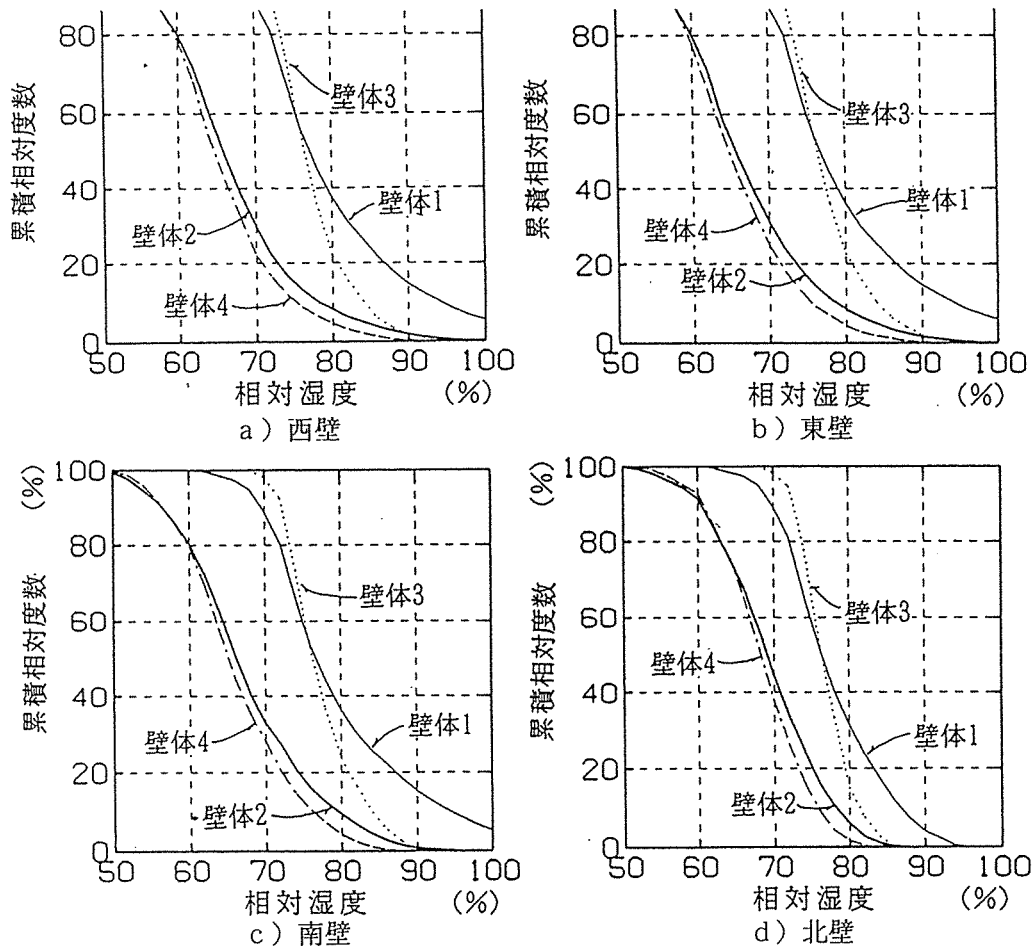


図4-21 壁体構成別・壁体方位別の内装材外側相対湿度⁵⁶⁾

(福岡, 6月~9月)

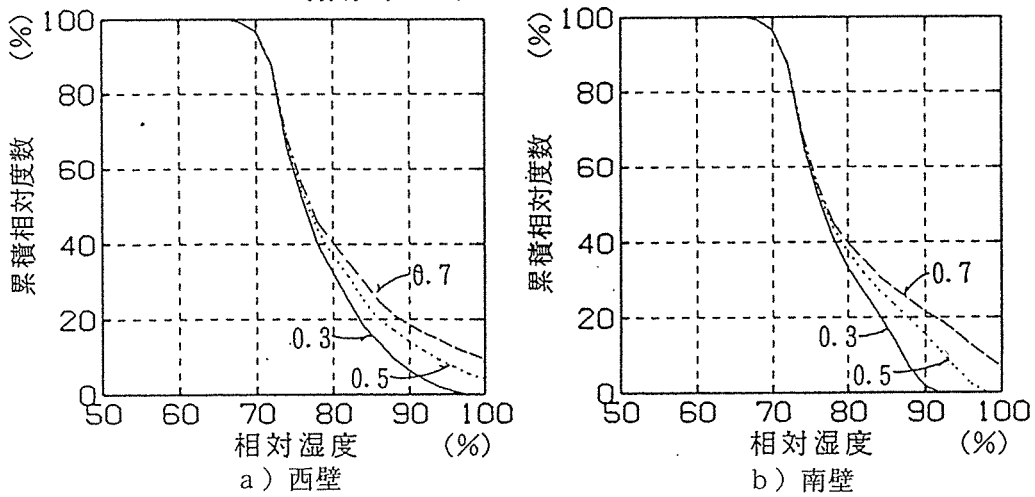


図4-22 西壁および南壁の日射吸収率と内装材外側相対湿度⁵⁶⁾

(福岡, 在来壁体)

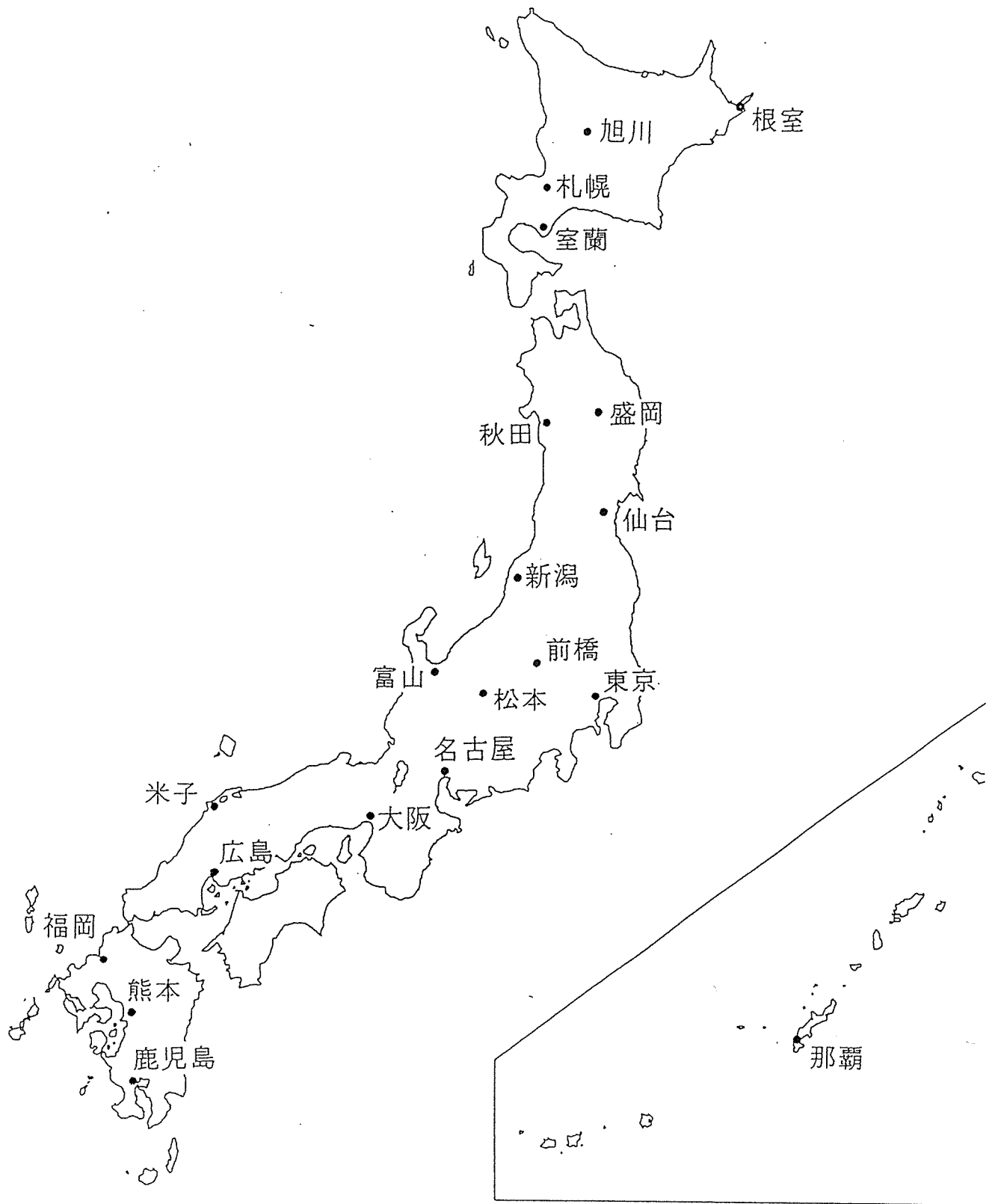


図4-23 計算対象地域(全国20地域) 56)

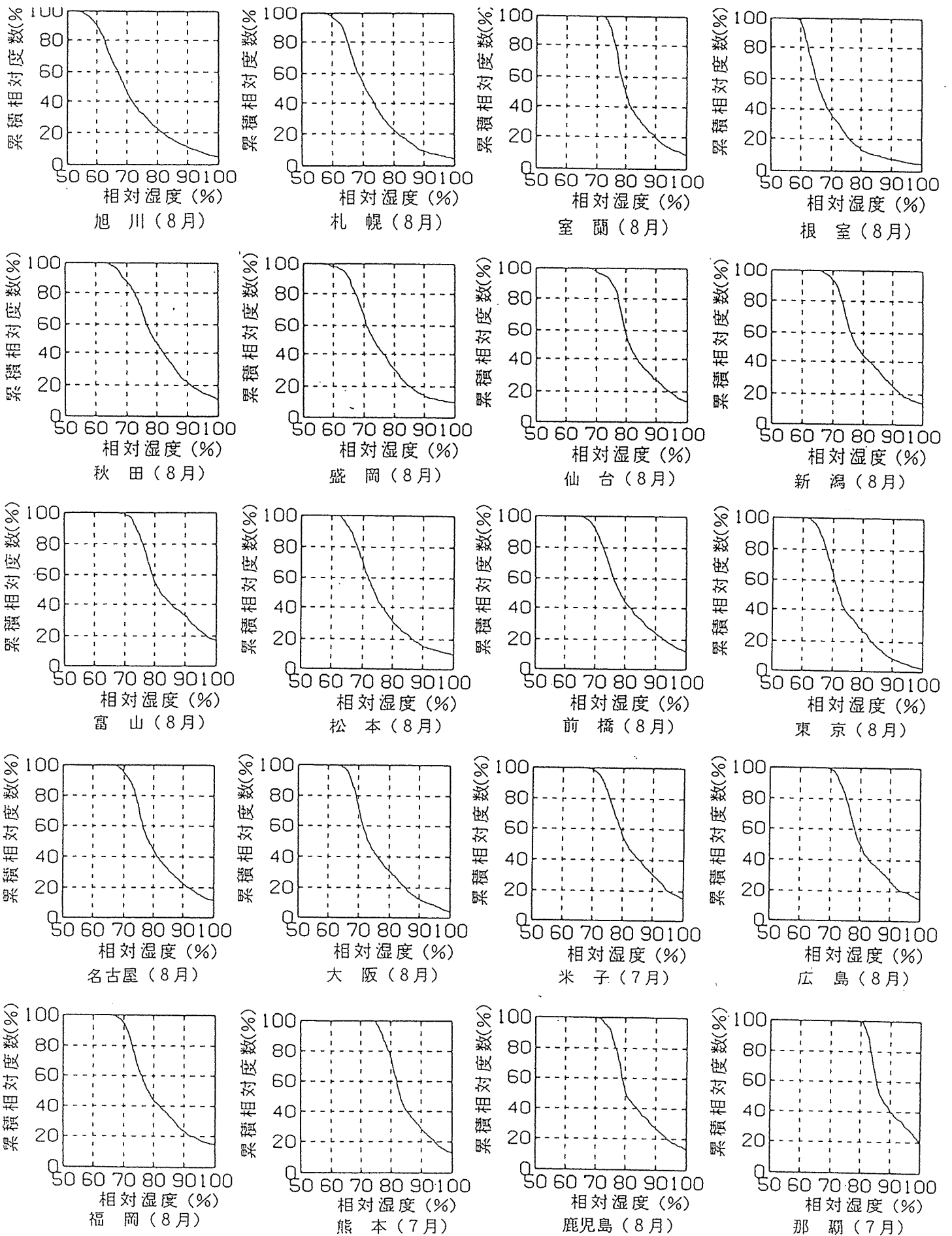


図4-24 全国20地域における内外装材外側相対湿度の累積相対度数⁵⁶⁾

(西壁, 在来壁体)

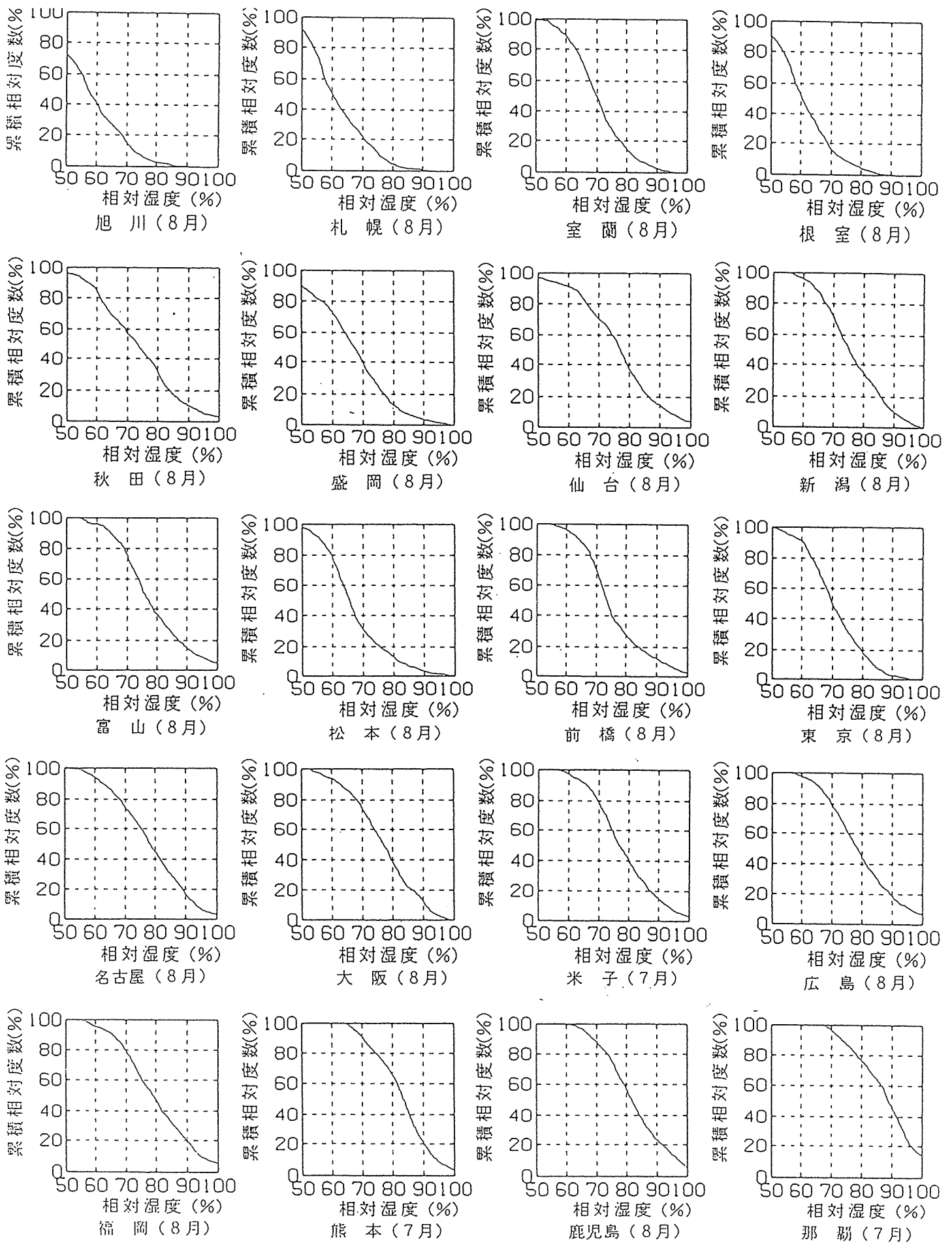
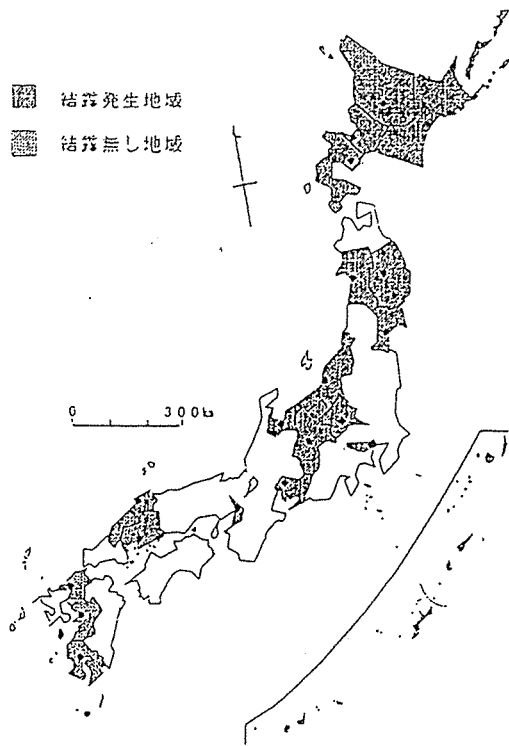
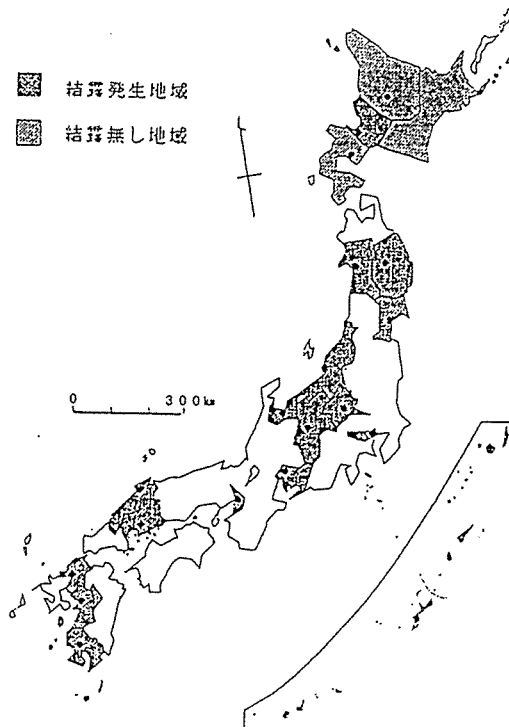


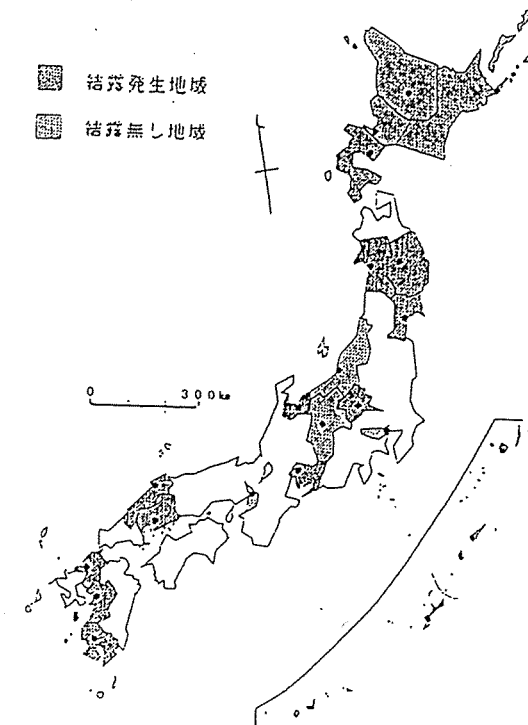
図4-25 全国20地域における内外装材外側相対湿度の累積相対度数⁵⁶⁾
(西壁, 通気壁体)



壁体1：在来壁体

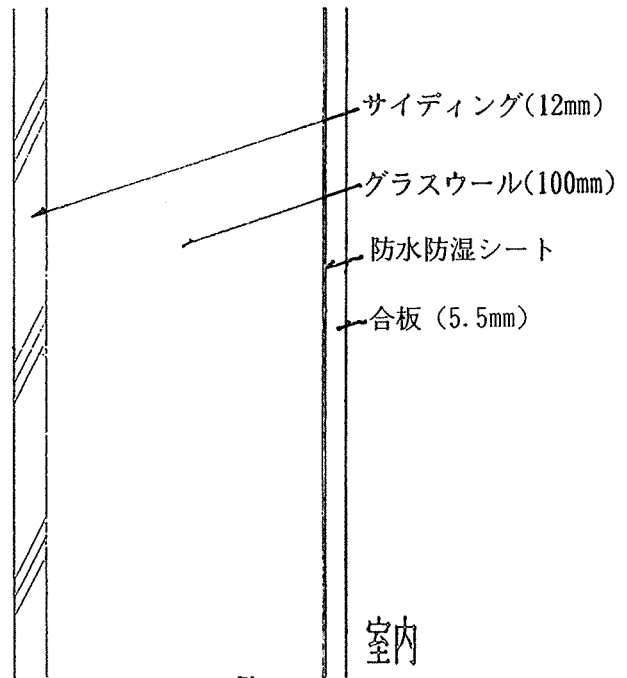
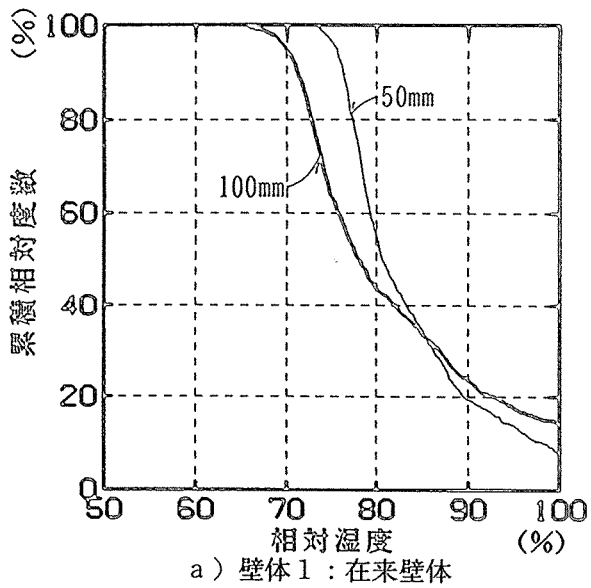


壁体2：通気壁体

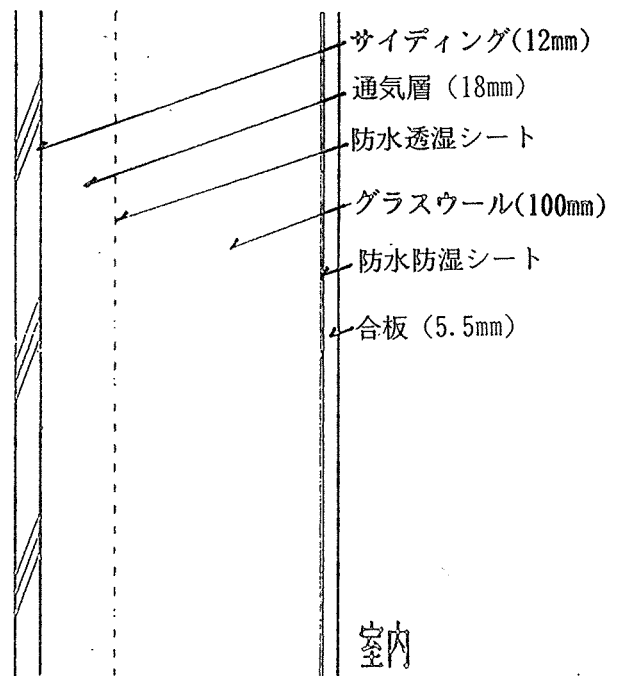
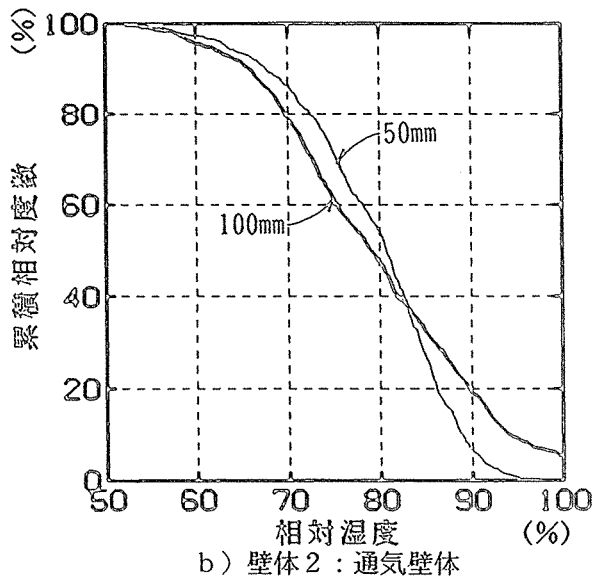


壁体3：内部防湿層付き通気壁体

図4-28 地域別・壁体構成別の内装材外側相対湿度（内部結露発生の有無）

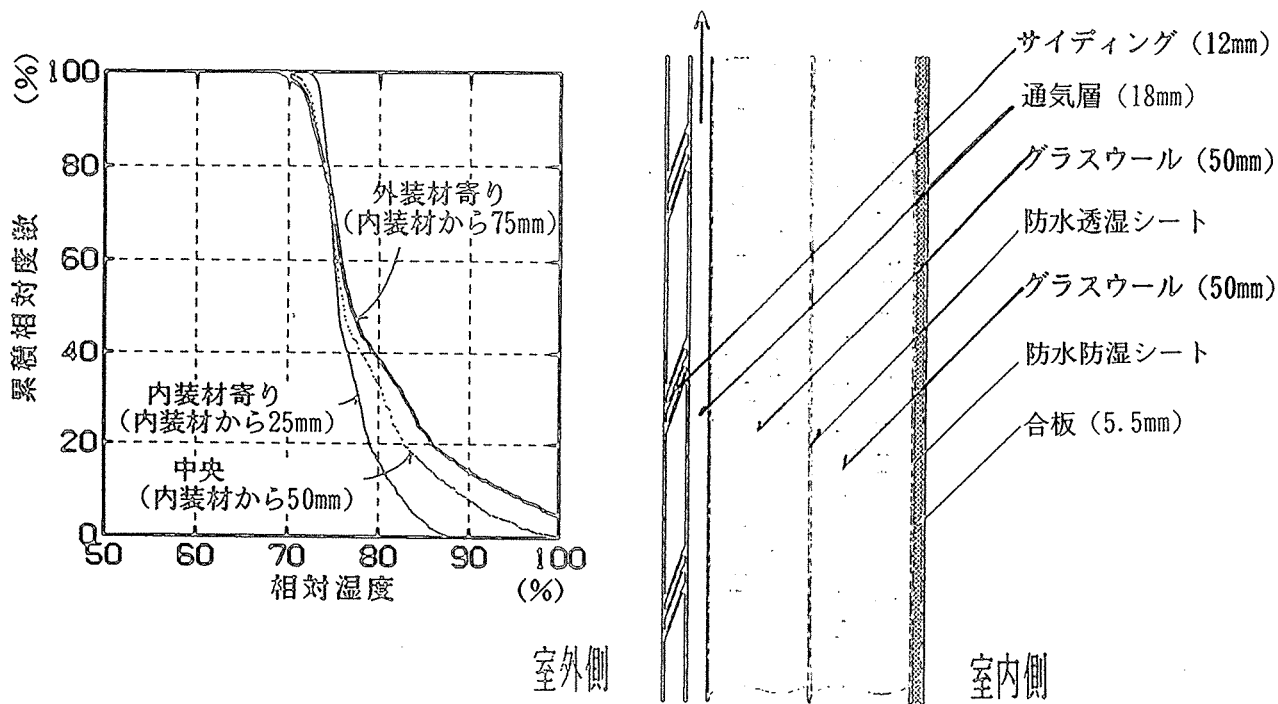


壁体1：在来壁体



壁体2：通気壁体

図4-29 グラスウール厚みを変えた場合の内装材外側相対湿度の累積相対度数
(福岡, 西壁, 8月)



壁体 3 : 内部防湿層付き通気壁体

図 4 - 30 内部防湿層の位置を内装材から25mm, 50mm, 75mmにした場合の内装材外側相対湿度の累積相対度数 (福岡, 西壁, 8月)

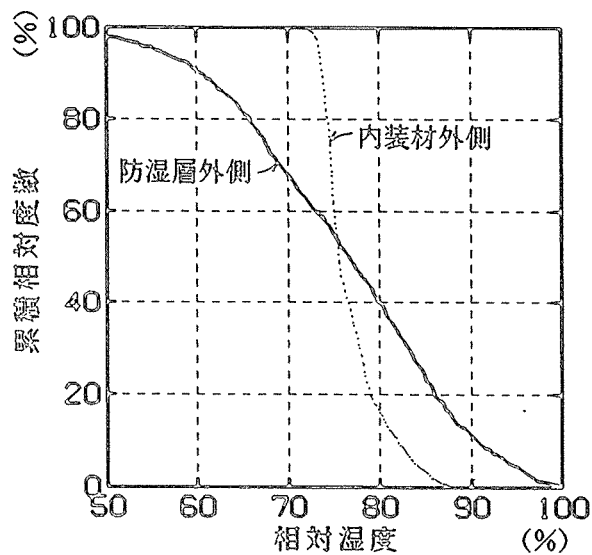


図 4 - 31 内部防湿層の位置を内装材から25mmにした場合の内装材外側相対湿度の累積相対度数 (福岡, 西壁, 8月)

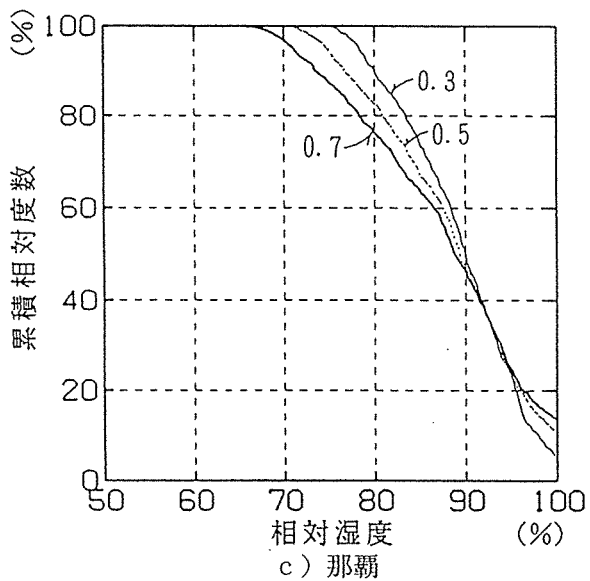
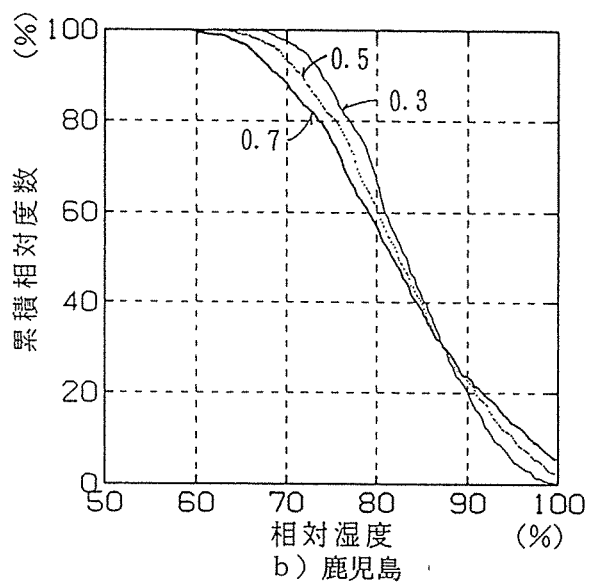
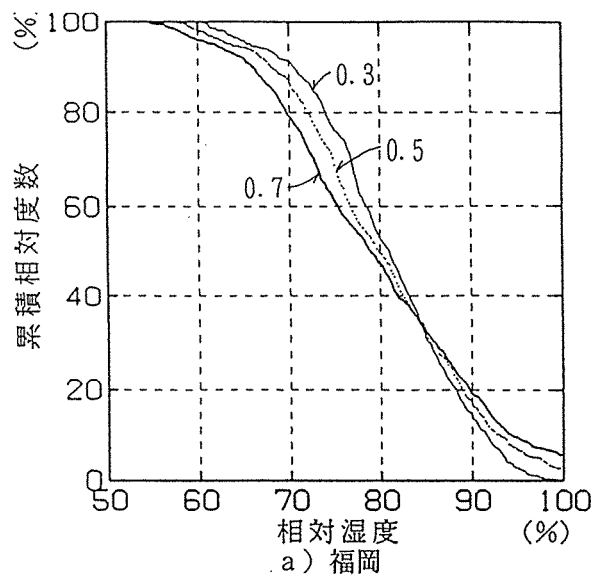
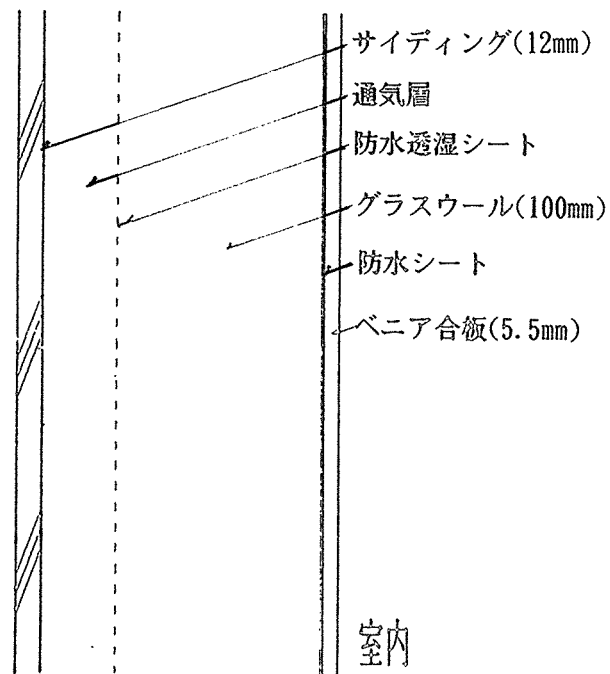
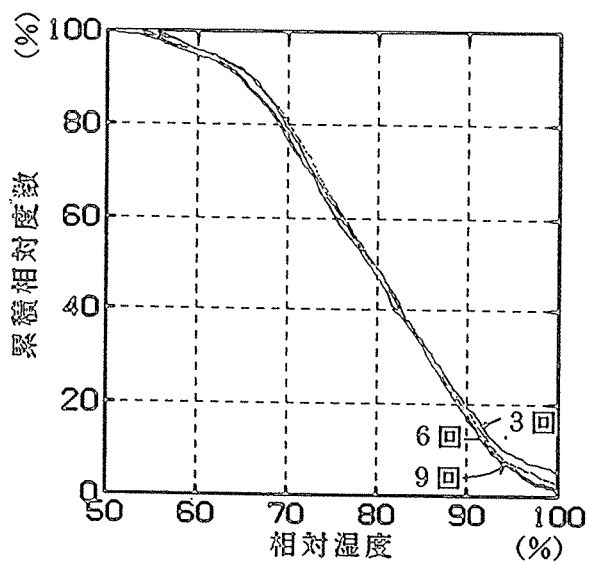


図4-32 日射吸収率別の内装材外側相対湿度⁵⁶⁾
(西壁, 通気壁体)



壁体 2 : 通気壁体

図 4 - 33 換気回数別の内装材外側相対湿度の累積相対度数 (福岡, 西壁, 通気壁体 (グラスウール100mm), 8月)

5. まとめ

本研究では、蒸暑地域における壁体内断熱化および通気構法の検討として、通気層の有無（通気層がある場合には通気層幅の検討）、通気開口部位（通気の取り入れ口および排出口）、内部防湿層の有無（室内側防湿層の設置を前提とした内部防湿層の設置位置）、断熱材の種類などで構成が異なる各種断熱壁体の温湿度特性を実験的・解析的に明らかにしている。

そこで、試験家屋の屋外暴露実験により蒸暑地域における湿害防止に有効な最適な壁体構成（特に断熱・防湿指針）を提案することを目的としている。

ここでは、各種断熱壁体の夏季の温湿度特性を明らかにするとともに、水分ポテンシャルを用いた熱・水分移動方程式による壁体温湿度の数値シミュレーションにより、湿害の危険性とその防止に有効な壁体構成について月別・地域別（外気温や日射量などの外界気象条件、室内温湿度などの条件）・壁面方位別（東西南北面毎）に検討し、年間蒸暑地域に適応した壁体について明らかにした。さらに寒冷地域における壁体についても調査した。

5-1 通気構法における通気層幅の検討（表5-1参照、表5-2参照）

- 1) 通気層幅7mmでスペーサー無しとした壁体は、断熱材および防風層の膨らみにより通気層が塞がれるため、通気層内において通風が得られず、外気に容易に排湿できないために結露が発生している。
- 2) 通気層幅7mmでスペーサー有りとした壁体でも、結露が発生している。
- 3) 通気層幅18mmでスペーサー無しとした壁体は、1)で示した壁体よりも結露時間は少なくなっている。
- 4) 通気層幅10mmでスペーサー有りとした壁体は、外気への排湿効果が見られ、夏季冷房時においても結露は生じていない。
- 5) 1)～4)のことから、湿害防止の観点から壁体内の通気を図るためには、外装材と防風層間の通気層を確実に確保するための工夫が必要である。その工夫としては、綿状断熱材を使用する場合はスペーサー等を用いて、施工時・施工後において膨らみが生じないようにする。または、発泡系断熱材を使用することにより確実に通気層が確保される。
- 6) 防風層には澆水性・防水性・透湿性・防風性・引裂き強度の高い材料を選択

する必要がある。

5-2 通気構法における通気開口部位の検討

- 1) 西日本のような蒸暑地域では降雨量が多いので施工中に、建材が雨に打たれた水分、またサイディングの目地の劣化により通気層内に侵入した雨水、あるいは壁体内から移動した湿気の排出方法として通常の場合は、小屋裏もしくは軒天換気口に排出するが、強風の場合には逆に雨水が入り易くなるので、工夫が必要である（図5-1参照）。
- 2) 通気層の外気取り入れ口としては、台風時の雨水や塩害などの侵入が懸念され、直接外気を壁体に取り入れるのは支障のある場合が考えられる。そのため、床下空間から土台と基礎の間を通して壁体通気層に空気を入れる方法が望ましい（なお、床下の土壌からの水分の供給がない対策を施しておくこと）（図5-2参照）。

これにより、多湿である蒸暑地域においては床下の乾燥にもつながる。さらに、害虫対策として外気取り入れ口には害虫を入れない工夫（ネット）などが必要である。

5-3 壁体内断熱化における防湿層の位置の検討

- 1) 夏季室内を冷房した実験では、在来壁体（綿状断熱材 100mm、通気層無しかつアスファルトフェルト使用）は夏型結露が発生した。壁体内部の蒸れ防止に有効な通気壁体でも、特に内部防湿層付き（防湿層が室内側ではなく、内部にある）通気壁体は夏型結露の危険性は非常に少なくなる。つまり、壁体内部に防湿層を設けること（但し、地域・方位に合致するように防湿層の付設位置を決める必要がある）でさらに効果的となる。また日射遮蔽や日射吸収率を小さくするなどの工夫も検討する必要がある。
- 2) 数値シミュレーションを行った結果、福岡における内部防湿層付き通気壁体（綿状断熱材 100mm断熱の場合）は、内装材から25～50mm程度外側の位置に防湿層を付設することで、夏季の内部結露は防止できると考えられる（表5-3参照）。

5-4 その他〔寒冷地域における通気構法〕

- 1) 寒冷地域では、現在、外壁下地材の縦胴縁材の厚みから通気構法における通気層幅は一般に18mmが普及している。通気開口部位としては、通気層の上下端のいずれか一方のみ開放し、他方を閉鎖した場合と通気層の上下開放した場合を比較すると、上下開放とした場合は低湿に保たれ、さらに通気層幅が20mm以上になると、湿度分布は通気層幅によってほとんど変化せず、上下一様となって効果的であるとの実験結果がある。
- 2) 通気層内の流速と外部風圧との関係から壁体内換気による除湿効果は、通気層幅7mmでも有効であり（通気層3mmでは無効）、24mmと18mmの通気層幅の流量はほとんど変わらないとの実験結果がある。
- 3) 通気構法における通気開口部位の排出口は、小屋裏の棟換気による方法（棟換気は妻換気口よりも換気能力が優れていることによる）、壁上部から換気する方法のいずれかを採用している。
- 4) 土台部廻りの通気取り入れ口に設ける水切りは、雨水が建物に侵入させないための勾配を必ず取る必要がある。土台水切りに関しては空気抵抗の小さなもの（空気が通りやすい形状）を使用する。なお、冷えた床下空気が断熱材料内に侵入しないようにするため、床下の室内側に防湿層がくるように、丁寧に設置し、床の下部側にも断熱材受けの防風層を設ける。
- 5) 壁体断熱化における防湿層の位置は、原則として室内からの湿気移動防止のために室内仕上げ材の外側に隙間が無いように防湿層を施工している。しかし、カナダのR-2000仕様の住宅に代表されるように室内に設置している防湿層の位置を室内側から3分の1に設置する例も見受けられる。

表5-1 防湿層の種類と熱・湿気に関する物性値

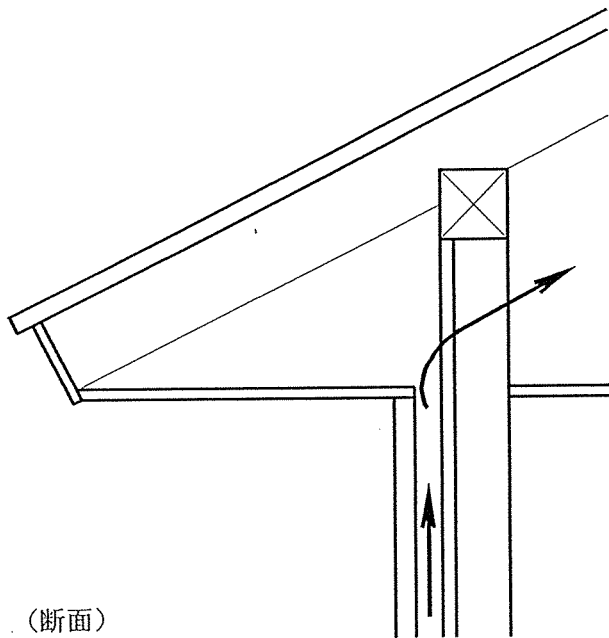
防風層の種類		熱伝導抵抗 [m ² ・h・°C/kcal]	文献名	透湿抵抗 [m ² ・h・mmHg/g]	文献名	
軟質系	シート状	防水防湿シート <フェルト>	0.08 (0.06)	43)	8.80 (73.33)	43)
		防水透湿シート	0.12 (1.00)	43)	0.12 (1.00)	43)
硬質系	ボード状 (板)	防水透湿ボード (12mm)	0.28 (2.33)	43)	0.90 (7.50)	43)
		シージングボード (12mm)	0.26 (2.21)	11)	2.90 (24.16)	27)
		合板 (6mm)	0.08 (0.70)	11)	1.70 (17.00)	68)
		発泡ポリスチレンボード (38mm)	1.31 (10.92)	11)	30.00 (250.00)	43)
		硬質ウレタンフォーム (45mm)	2.14 (17.85)	11)	4.00 (33.33)	

※熱伝導抵抗および透湿抵抗の項目の()の中の値は、防水透湿シートを1とした場合の値である。

表5-2 防風層の種類と通気層幅 (夏季の実測および計算の結果)

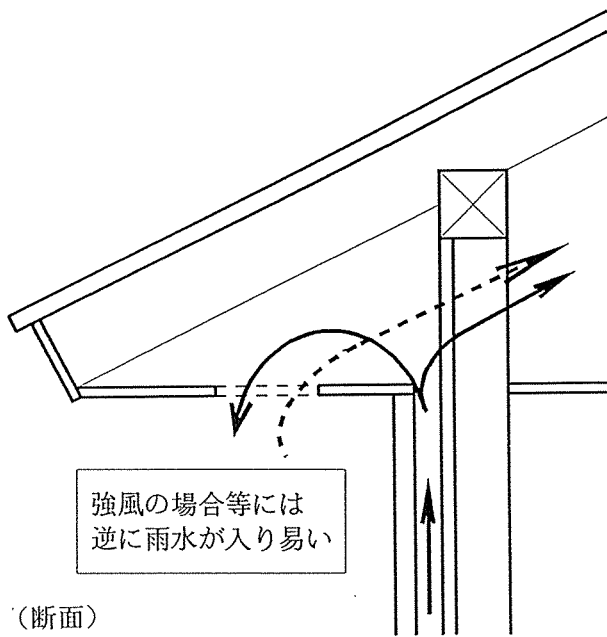
防風層の種類		通気層幅						
		7mm		10mm~		18mm	20mm	
		スペーサー無	スペーサー有	スペーサー無	スペーサー有			
軟質系	シート状	防水防湿シート (フェルト) [断熱材: 繊維質断熱材]	-	-	△北F9 (15mm)	△南F9 (15mm)	-	△北F12
	防水透湿シート [断熱材: 繊維質断熱材]	×西F4	×南F5	○西F17 (10mm)	○北F6 (15mm) ○北F10 (15mm) △南F10 (15mm) △北F11 (11.5mm) △南F11 (11.5mm) △東C17 (10mm) △西C17 (10mm) △南C17 (10mm) ○北C17 (10mm) △西C24 (16.5mm)	×北F1 ×西F3 ○北F7 ○北F8	-	
硬質系	ボード状 (板)	発泡ポリスチレンボード	-					○北F6
		硬質ウレタンフォーム	-		○北F15 (10mm) ○北F16 (10mm)		-	
		防水透湿ボード					×北F2	-
		シージングボード					△北F13 △北F14	-
		合板						

※結露の判断の評価は3段階(壁体内部の相対湿度が90%未満「○」、90%以上「△」、100%の結露状態「×」)とし、壁面方位は、「東」、「西」、「南」、「北」、実測値は「F」、計算値は「C」と記述する。また、数字は図5-4、図5-5に示す断面の壁体番号を表す。アンダーラインは床下から空気を取り入れている。



(断面)

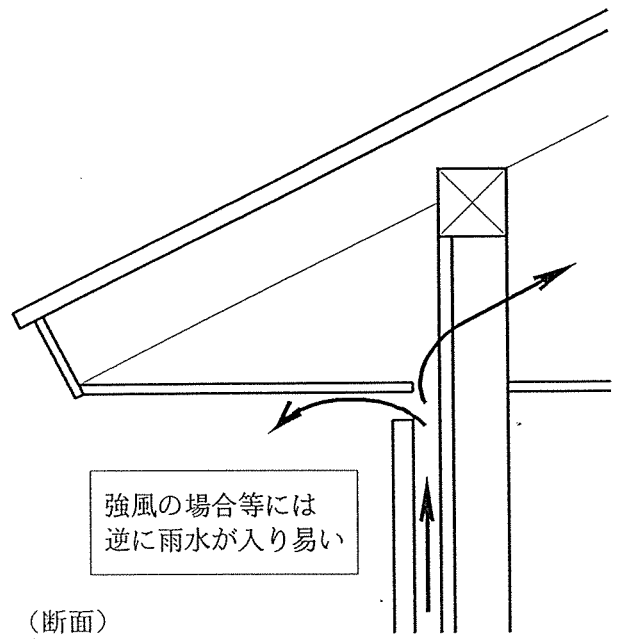
a) 直接、小屋裏に逃げる場合



強風の場合等には
逆に雨水が入り易い

(断面)

b) 軒天換気口がある場合
(小屋裏換気口に通気する構造)



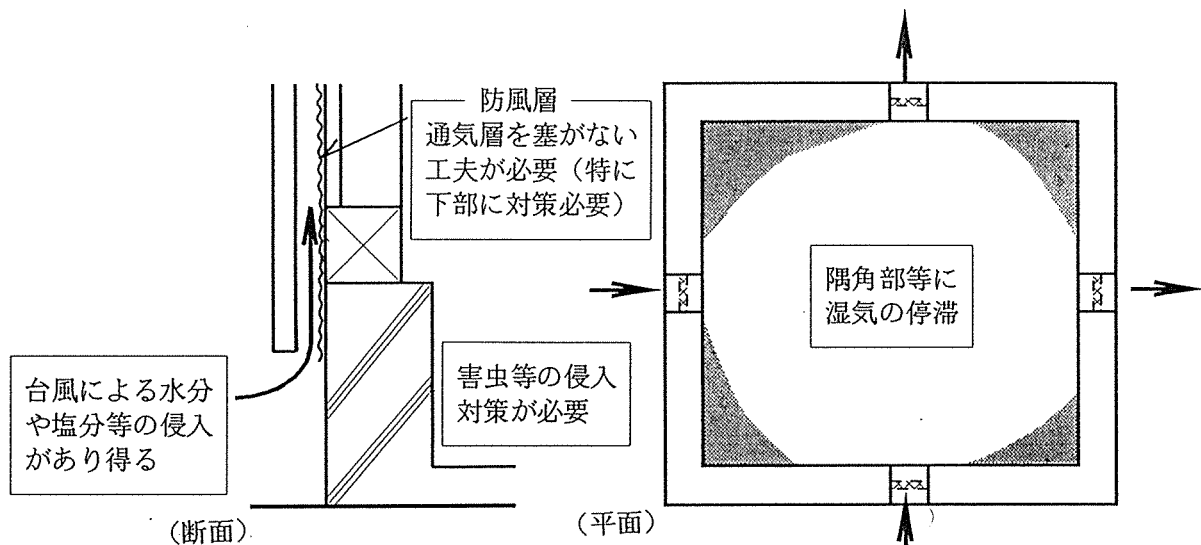
強風の場合等には
逆に雨水が入り易い

(断面)

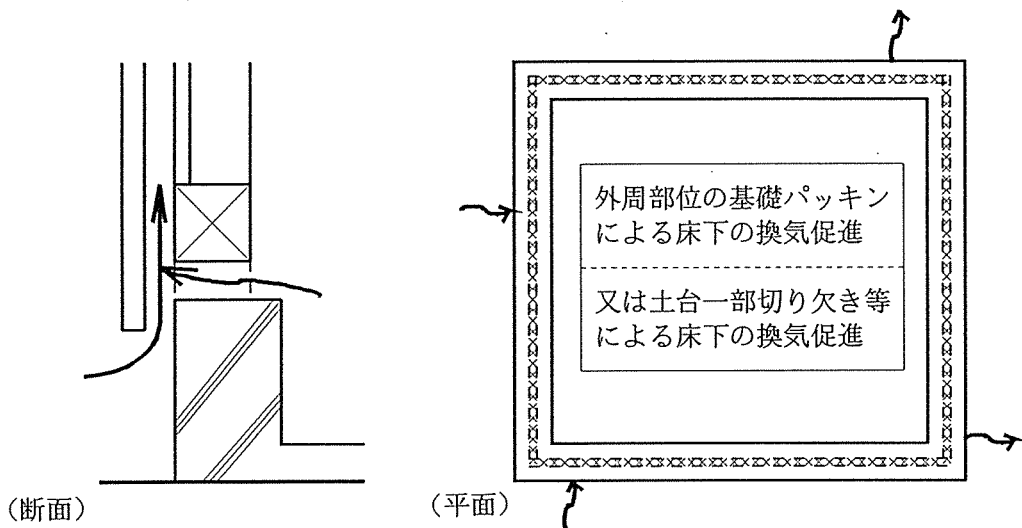
c) 外壁上部に換気口がある場合
(軒天見切縁に通気する構造)

図5-1 通気開口部位 (通気排出口)

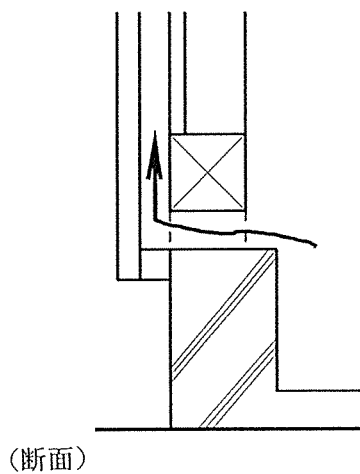
※b), c) の構造の場合には、小屋裏に雨水が侵入する危険性が高いので、特に注意すること。



a) 通常の床下換気口（基礎と土台の間に通気用のパッキンが無い場合）



b-1) 外気及び床下から通気のある場合



b-2) 床下からのみ通気のある場合
(台風による水分・塩分等の侵入は無く、かつ床下の換気が全体的に促進される)

b) 基礎パッキンによる床下換気口

図5-2 通気開口部位（通気取り入れ口）

表5-3 福岡における内部防湿層の位置

	内部防湿層の位置（内装材からの距離）※室内にも防湿層あり			
	繊維質断熱材の室内側	壁内25mm	壁内50mm	壁内75mm
在来構法 通気層幅：無 防水防湿シート：有	×西 F 20, ×北 F 20 ×南 F 20 ×東 C 20, ×西 C 20 ×南 C 20, △北 C 20	○西 C 25	△西 C 21	△西 C 22
通気構法 （通気層幅10.0mm）	○西 F 17 △東 C 17, △西 C 17 △南 C 17, ○北 C 17	○西 C 27	○西 F 24 △東 C 26, △西 C 26 ○南 C 26, ○北 C 26	×西 C 28
通気構法 （通気層幅16.5mm）	△西 C 24	-	○西 C 25	-

※結露の判断の評価は3段階（壁体の室内側防湿層外表面の相対湿度が90%未満「○」、90%以上「△」、100%の結露状態「×」）とし、壁面方位は、「東」、「西」、「南」、「北」、実測値は「F」、計算値は「C」と記述する。また、数字は図5-6に示す断面の壁体番号を表す。

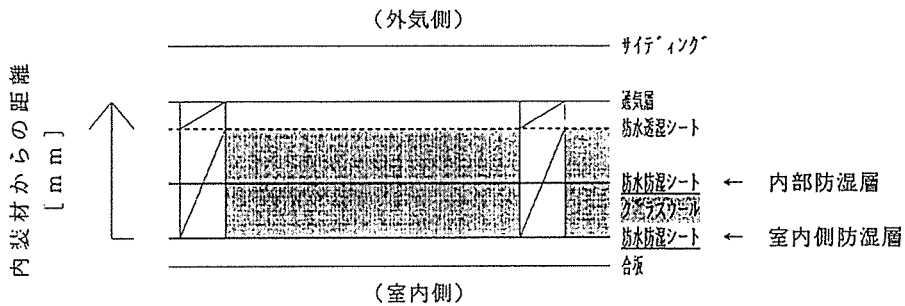


図5-3 内部防湿層と室内側防湿層の位置

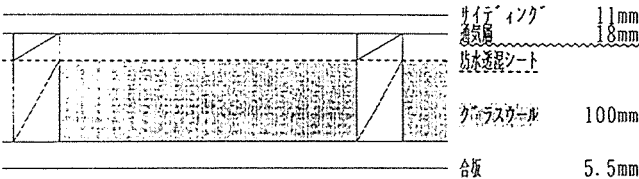
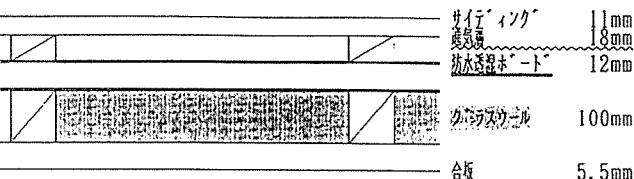
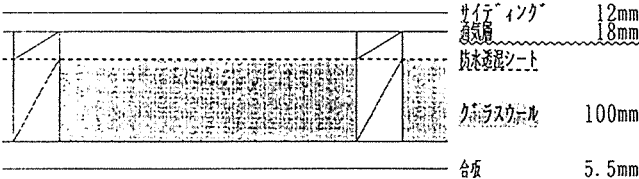
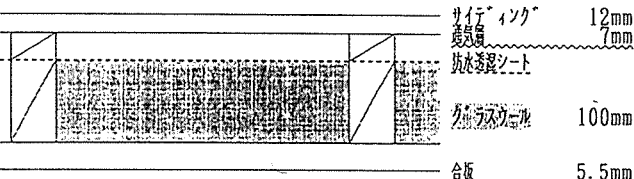
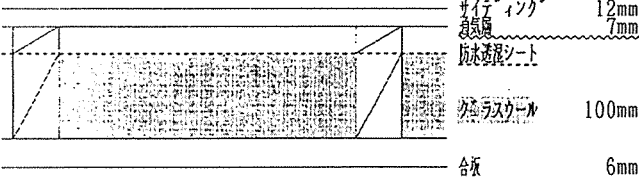
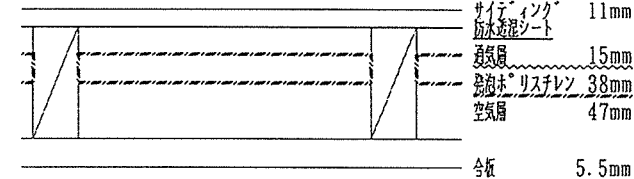
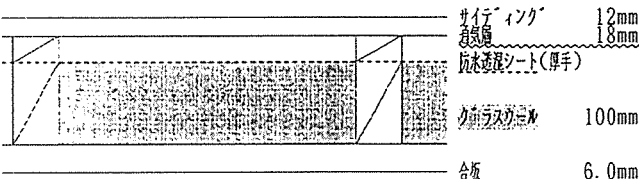
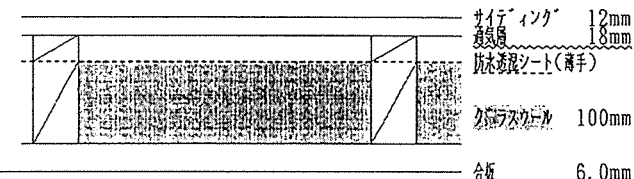
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 11mm 空気層 18mm 防水透湿シート グラスウール 100mm 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 11mm 空気層 18mm 防水透湿シート 12mm グラスウール 100mm 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No. 1) (参考文献43)</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No. 2) (参考文献43)</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 12mm 空気層 18mm 防水透湿シート グラスウール 100mm 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 12mm 空気層 7mm 防水透湿シート グラスウール 100mm 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No. 3) (参考文献45)</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No. 4) (参考文献45)</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 12mm 空気層 7mm 防水透湿シート グラスウール 100mm 合板 6mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 11mm 防水透湿シート 空気層 15mm 発泡スチレン 38mm 空気層 47mm 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No. 5) (参考文献47) ※通気層幅を確保するための工夫有り</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No. 6) (参考文献46)</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 12mm 空気層 18mm 防水透湿シート(厚手) グラスウール 100mm 合板 6.0mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 12mm 空気層 18mm 防水透湿シート(薄手) グラスウール 100mm 合板 6.0mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No. 7) (参考文献41, 42) ※防水透湿シート(厚手) : 透湿度4147g/m²・日</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No. 8) (参考文献41, 42) ※防水透湿シート(薄手) : 透湿度3035g/m²・日</p>

図5-4 壁体構成(その1)

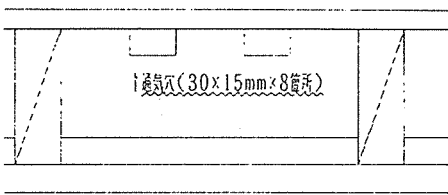
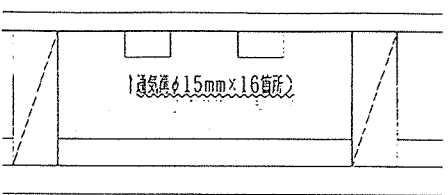
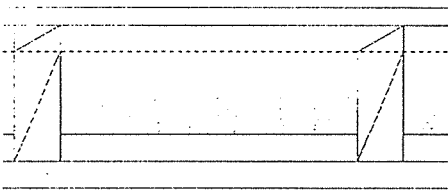
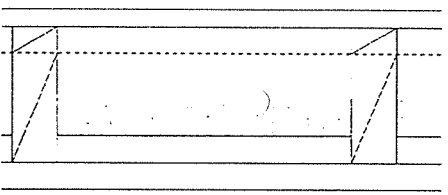
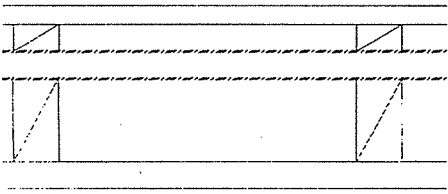
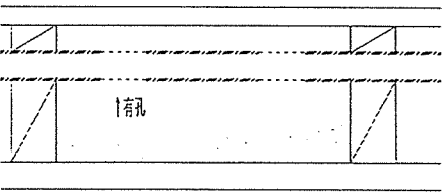
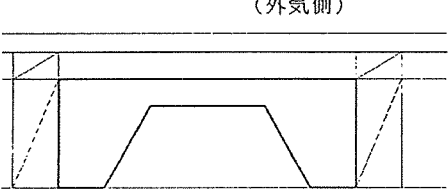
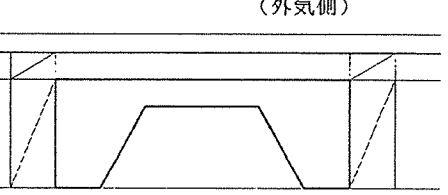
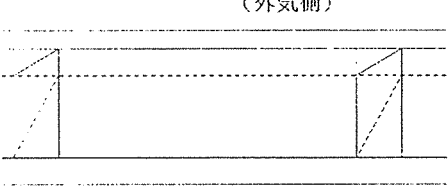
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水透湿シート</p> <p>1 通気穴(30×15mm×8箇所)</p> <p>空気層 41mm グラスウール 50mm 合板 9mm 石膏ボード 12mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水透湿シート</p> <p>1 通気溝(15mm×16箇所)</p> <p>空気層 41mm グラスウール 50mm 合板 9mm 石膏ボード 12mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No.9) (参考文献27)) ※通気穴は外気から導入 (根太部分に通気孔φ15mm)</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No.10) (参考文献26)) ※通気溝は床下から導入 (根太部分に通気孔φ15mm)</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 空気層 11.5mm 防水透湿シート</p> <p>空気層 41mm グラスウール 50mm 合板 9mm 石膏ボード 12mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 空気層 20mm 防水透湿シート</p> <p>空気層 41mm グラスウール 50mm 合板 9mm 石膏ボード 12mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No.11) (参考文献27)) ※通気層は外気から導入</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No.12) (参考文献26)) ※通気層は外気および床下から導入</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 空気層 8mm</p> <p>シーリングボード 12mm 空気層 38mm グラスウール 50mm 石膏ボード 12mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 空気層 18mm 通気孔</p> <p>シーリングボード 12mm 空気層 38mm グラスウール 50mm 石膏ボード 12mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No.13) (参考文献27)) ※通気層は外気から導入</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No.14) (参考文献26)) ※通気層は外気から導入</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水透湿シート</p> <p>空気層 10mm ウレタンパネル 45mm 空気層 60mm</p> <p>合板 7mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水透湿シート</p> <p>空気層 10mm ウレタンパネル 45mm 空気層 60mm</p> <p>合板 7mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No.15) (参考文献28))</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No.16) (参考文献28)) ※ウレタンに排湿溝 (幅10mm, 深さ10mm, 9cm間隔) を設けている</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 空気層 10mm 防水透湿シート</p> <p>グラスウール 100mm 防水透湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	
<p>通気構法の壁体構成 (No.17) (参考文献49))</p>	

図5-5 壁体構成 (その2)

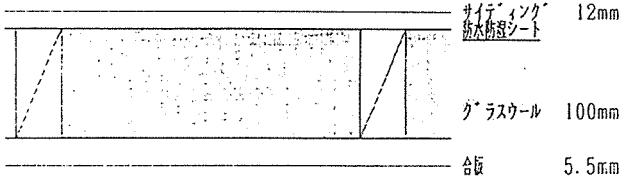
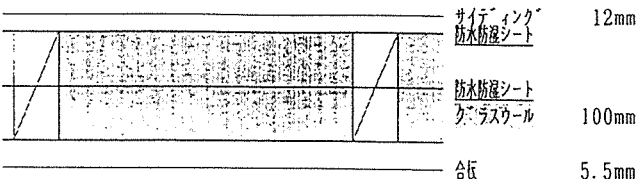
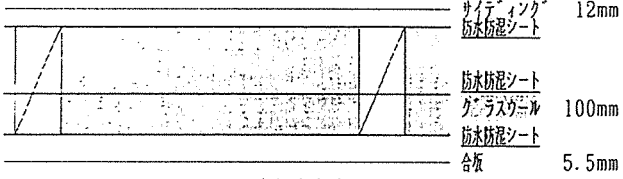
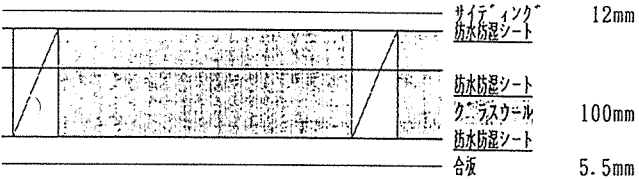
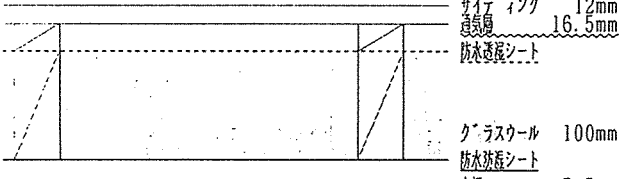
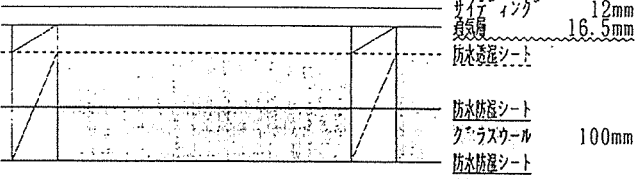
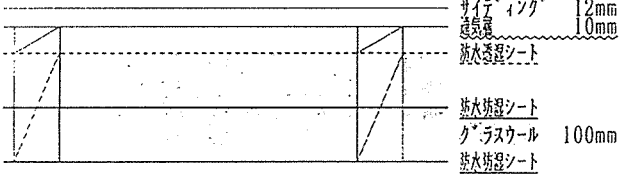
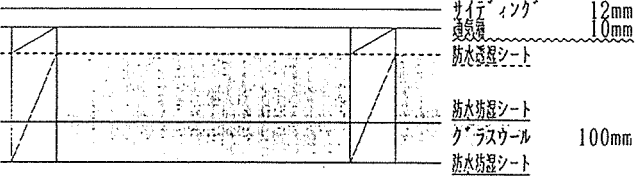
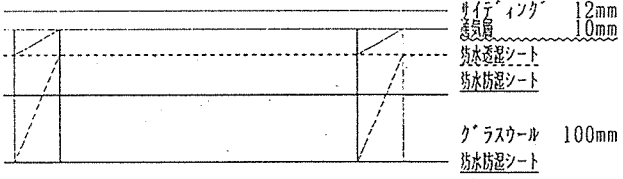
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水防湿シート 12mm</p> <p>グラスウール 100mm</p> <p>合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水防湿シート 12mm</p> <p>防水防湿シート グラスウール 100mm</p> <p>合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>在来構法の壁体構成 (No.20) (参考文献56))</p>	<p>在来構法の壁体構成 (No.21) (参考文献56)) ※防水防湿シートの位置は、内装材から50mm</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水防湿シート 12mm</p> <p>防水防湿シート グラスウール 100mm</p> <p>防水防湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 防水防湿シート 12mm</p> <p>防水防湿シート グラスウール 100mm</p> <p>防水防湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>在来構法の壁体構成 (No.22) (参考文献55)) ※防水防湿シートの位置は、内装材から25mm</p>	<p>在来構法の壁体構成 (No.23) (参考文献55)) ※防水防湿シートの位置は、内装材から75mm</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 通気層 12mm 防水透湿シート 16.5mm</p> <p>グラスウール 100mm</p> <p>防水防湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 通気層 12mm 防水透湿シート 16.5mm</p> <p>防水防湿シート グラスウール 100mm</p> <p>防水防湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No.24) (参考文献55))</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No.25) (参考文献55)) ※防水防湿シートの位置は、内装材から50mm</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 通気層 12mm 防水透湿シート 10mm</p> <p>防水防湿シート グラスウール 100mm</p> <p>防水防湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 通気層 12mm 防水透湿シート 10mm</p> <p>防水防湿シート グラスウール 100mm</p> <p>防水防湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>
<p>通気構法の壁体構成 (No.26) (参考文献50, 51)) ※防水防湿シートの位置は、内装材から50mm</p>	<p>通気構法の壁体構成 (No.27) (参考文献50, 51)) ※防水防湿シートの位置は、内装材から25mm</p>
<p>(外気側)</p>  <p>サイディング 通気層 12mm 防水透湿シート 10mm</p> <p>防水透湿シート 防水防湿シート</p> <p>グラスウール 100mm</p> <p>防水防湿シート 合板 5.5mm</p> <p>(室内側)</p>	
<p>通気構法の壁体構成 (No.28) (参考文献50, 51)) ※防水防湿シートの位置は、内装材から75mm</p>	

図5-6 壁体構成(その3)

【参考文献，引用文献】

- 1)木村健一：『建築環境学 1』，丸善株式会社，平成4年4月30日
- 2)木村健一：『建築環境学 2』，丸善株式会社，平成5年2月28日
- 3)須貝高：『内部結露を防ぐには－木造住宅を中心に－』，建築技術，建設省建築研究所監修，昭和60年1月1日，pp.115-127
- 4)The Solar Home Book heating, cooling and designing with the sun, by Bruce Anderson with Michael Riordan, Brick House Publishing Co., Inc. Andover, Massachusetts
- 5)浦野良美：『住宅のパッシブクーリング』，森北出版株式会社，1991年8月26日
- 6)今井与蔵：『絵とき建築環境工学』，株式会社オーム社，昭和56年3月20日
- 7)宮野秋彦：『建物の断熱と防湿』，株式会社学芸出版社，1983年6月20日
- 8)山田雅士：『結露をとめる』，井上書院，1990年1月11日
- 9)『住宅建築新工法全集』，日本住宅新聞社，平成2年(1990年)3月31日
- 10)The R-2000 Builders' Manual by Canadian Home Builders' Association, Published by The Canadian Embassy, Tokyo, Japan
- 11)『住宅の新省エネルギー基準と指針』，監修；建設省住宅局住宅生産課，編集；住宅新基準解説書編集委員会，財団法人住宅・建築省エネルギー機構，平成4年3月10日
- 12)『建築設計資料集成1環境』，財団法人日本建築学会，丸善株式会社，平成3年8月5日
- 13)木村健一：『建築設備基礎理論演習』，株式会社学献社，1984年5月25日
- 14)松尾陽，他3名：『空調設備の動的熱負荷計算入門』，日本建築設備士協会，昭和59年12月20日
- 15)J. P. ホールマン，平田賢監訳：『伝熱工学上』，丸善株式会社，昭和57年3月3日
- 16)J. P. ホールマン，平田賢監訳：『伝熱工学下』，丸善株式会社，昭和57年3月3日
- 17)田中俊六，武田仁，足達哲夫，土屋喬雄：『最新環境工学(改定版)』，株式会社井上書院，1989年2月10日
- 18)谷下市松：『伝熱工学』，株式会社裳華房，1986年4月5日
- 19)斎藤平蔵：『建築気候』，共立出版株式会社，昭和49年5月15日
- 20)山田雅士：『建築の結露－その被害と対策』，有限会社井上書院，1979年12月15日
- 21)財団法人日本建築センター：『大規模木造住宅建築物設計資料集<構法編>』，平成4年6月30日
- 22)須貝高：「通気構法における冬季の壁体内温・湿度特性に関する分析」，福岡大学工学集報，第36号，昭和61年9月，pp.99-109
- 23)須貝高：「梅雨期における木製壁内の温・湿度特性の分析－実験棟における各種木製壁内の実測データの比較－」，第37号，昭和62年3月，pp.137-147
- 24)須貝高：「壁構法の違いによる温・湿度特性の比較分析－木造実験棟における各種構法壁の通年実測データの分析－」，福岡大学工学集報，第38号，昭和62年3月，pp.67-80
- 25)須貝高：「壁構法の違いによる温・湿度特性の比較分析－木造実験棟における秋期実測データの分析－」，福岡大学工学集報，第39号，昭和62年9月，pp.103-119
- 26)須貝高，他2名：「壁構法の違いによる温・湿度特性の比較分析－木造実験棟における各種構法の通年実測データの分析－」，福岡大学工学集報，第43号，平成元年9月，pp.145-158
- 27)須貝高，他3名：「壁体構成の違いによる壁体内温・湿度特性の分析 その1－梅雨期に於ける実験棟実測データの比較－」，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第7号，昭和62年3月，pp.221-224
- 28)須貝高，尾崎明仁，阿南壮典，他4名：「樹脂系断熱パネルを使用した断熱気密壁体の温湿度特性に関する研究」，日本建築学会九州支部研究報告，第33号，1992年3月，pp.121-124
- 29)阿南壮典，須貝高，尾崎明仁，石田卓：「季節蒸暑地域に適した木造断熱壁体に関する研究」，日本建築学会大会学術講演梗概集，1993年9月，pp.1251-1252
- 30)須貝高，他5名：「温暖地型木造住宅追求のための実験棟による性能評価－耐久性及び室内熱環境の面からの実験計画と基本実験－」，日本建築学会九州支部研究報告，第31号，平成元年3月，pp.169-172
- 31)須貝高，他7名：「温暖地型木造住宅追求のための実験棟による性能評価－その②防水透湿シートと防水防湿シートを用いた壁体の温湿度特性の比較－」，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第8号，平成2年3月，pp.169-172
- 32)須貝高，他6名：「温暖地型木造住宅追求のための実験棟による性能評価－その③在来断熱構法と通気構法(防水透湿シート使用)の北壁内の湿度環境の比較－」，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第8号，平成2年3月，pp.265-268
- 33)須貝高，他7名：「温暖地型木造住宅追求のための実験棟による性能評価－その④在来断熱構法と通気構法(防水透湿シート使用)の北壁内の湿度環境の比較－」，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第8号，平成2年3月，pp.269-272
- 34)須貝高，他5名：「温暖地型木造住宅追求のための実験棟による性能評価－耐久性及び室内熱環境の面からの実験計画と基本実験－」，福岡大学工学集報，第42号，平成元年3月，pp.255-267
- 35)須貝高，他4名：「木造住宅構法の実験棟による性能評価－冬季実測データの分析－」，福岡大学工学集報，第43号，平成元年9月，pp.159-172

- 36)須貝高, 他2名:「木造住宅構法の実験棟による性能評価-その2. 梅雨期・夏期の実測データの分析-」, 福岡大学工学集報, 第44号, 平成2年3月, pp.117-133
- 37)須貝高, 他2名:「木造住宅構法の実験棟による性能評価-その3. 冬季実測データの分析-」, 福岡大学工学集報, 第45号, 平成2年9月, pp.119-132
- 38)須貝高, 他4名:「在来断熱構法と通気構法の壁体内の温・湿度特性の比較-実験棟における冬季実測データの分析-」, 福岡大学工学集報, 第43号, 平成元年9月, pp.187-200
- 39)須貝高, 他1名:「在来断熱構法と通気構法の壁体内の温・湿度特性の比較-その2. 実験棟における梅雨期・夏期及び年間の実測データの分析-」, 福岡大学工学集報, 第44号, 平成2年3月, pp.149-161
- 40)須貝高, 他4名:「防水透湿シートと防水防湿シートを用いた壁体の温・湿度特性の比較-実験棟における冬季実測データの分析-」, 福岡大学工学集報, 第43号, 平成元年9月, pp.173-186
- 41)須貝高, 他1名:「防水透湿シートと防水防湿シートを用いた壁体の温・湿度特性の比較-その2. 実験棟における梅雨期・夏期及び年間の実測データの分析-」, 福岡大学工学集報, 第44号, 平成2年3月, pp.135-148
- 42)須貝高, 他4名:「防水透湿シートと防水防湿シートを用いた壁体の温・湿度特性の比較-その3. 試験家屋の夏季及び冬季実測データの解析-」, 福岡大学工学集報, 第47号, 平成3年9月, pp.233-244
- 43)須貝高, 他1名:「各種壁構法の壁体内の温湿度の比較-夏期・冷房実験の分析-」, 福岡大学工学集報, 第45号, 平成2年9月, pp.229-234
- 44)須貝高, 他1名:「夏季蒸暑地域に適した木造住宅に関する実験的研究」, 福岡大学工学集報, 第46号, 平成3年3月, pp.109-117
- 45)須貝高, 他3名:「通気構法の排湿効果および屋根遮熱効果に関する実験的研究」, 福岡大学工学集報, 第46号, 平成3年3月, pp.119-128
- 46)須貝高, 他4名:「在来断熱構法と通気構法の壁体内温湿度環境に関する実験的研究-梅雨期および夏季の解析-」, 福岡大学工学集報, 第46号, 1991年3月, pp.129-137
- 47)須貝高, 他4名:「通気断熱構法の排湿・遮熱効果に関する研究」, 福岡大学工学集報, 第48号, 平成4年3月, pp.43-52
- 48)須貝高, 尾崎明仁:「季節蒸暑地域に適する木造住宅に関する研究」, 福岡大学工学集報, 第49号, 平成4年9月, pp.131-139
- 49)尾崎明仁, 須貝高, 他1名:「季節蒸暑地域における木造断熱気密壁体の最適構成に関する研究」, 福岡大学工学集報, 第50号, 平成5年3月, pp.127-135
- 50)阿南壮典, 尾崎明仁, 須貝高, 石田卓, 他5名:「季節蒸暑地域に適した木造壁体の断熱・防湿について その1 屋外暴露実験による壁体温湿度変動解析」, 日本建築学会九州支部研究報告, 1994年3月, pp.93-96
- 51)湯浅孝, 尾崎明仁, 須貝高, 石田卓, 他5名:「季節蒸暑地域に適した木造壁体の断熱・防湿について その2 夏季冷房時の壁体内部結露に関する数値シミュレーション」, 日本建築学会九州支部研究報告, 1994年3月, pp.97-100
- 52)藤田協二, 渡辺俊行, 他2名:「高断熱高気密住宅の夏季壁体内部結露に関する研究 その1」, 日本建築学会九州支部研究報告, 1992年3月, pp.85-88
- 53)藤田協二, 渡辺俊行, 他3名:「高断熱高気密住宅の夏季壁体内部結露に関する研究 その2」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1992年3月, pp.749-750
- 54)渡辺康徳, 渡辺俊行, 他4名:「高断熱高気密住宅の夏季壁体内部結露に関する研究 その3. 実在家屋における梅雨季および夏季の壁体内温湿度調査」, 日本建築学会九州支部研究報告, 1993年3月, pp.181-184
- 55)藤田協二, 渡辺俊行, 他5名:「高断熱高気密住宅の夏季壁体内部結露に関する研究 その4. 人工気候室内における夏季空調時を想定した壁体内湿気移動実験」, 日本建築学会九州支部研究報告, 1993年3月, pp.185-188
- 56)渡辺俊行, 須貝高, 尾崎明仁, 他1名:「高断熱高気密住宅の夏季壁体内部結露に関する研究 その5, 6」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1993年3月, pp.1255-1258
- 57)松本衛:「建築壁体における熱・水分同時移動および水分蓄積に関する研究」, 京都大学学位請求論文, 1978年
- 58)尾崎明仁, 須貝高, 渡辺俊行, 他4名:「壁体の湿気移動に関する基礎研究 その1. 湿流の駆動力と熱・水分移動方程式」, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 1993年3月, pp.193-196
- 59)山崎繁, 渡辺俊行, 須貝高, 尾崎明仁, 他3名:「壁体の湿気移動に関する基礎研究 その2. 熱・水分移動方程式の構造感度」, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 1993年3月, pp.197-200
- 60)湯浅孝, 渡辺俊行, 須貝高, 尾崎明仁, 他4名:「壁体の湿気移動に関する基礎研究 その3. グラスウールの断湿実験と透湿実験」, 日本建築学会中国・九州支部研究報告, 1993年3月, pp.201-204
- 61)尾崎明仁, 他7名:「水分ポテンシャルによる壁体湿気移動解析 その1. 湿流の駆動力と熱・水分移動方程式」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1993年9月, pp.1237-1238
- 62)山崎繁, 尾崎明仁, 他6名:「水分ポテンシャルによる壁体湿気移動解析 その2. 熱・水分移動方程式の構造感度 その1」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1993年9月, pp.1239-1240

- 63)湯浅孝, 尾崎明仁, 他6名:「水分ポテンシャルによる壁体湿気移動解析 その3. 熱・水分移動方程式の構造感度 その2」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1993年9月, pp.1241-1242
- 64)佐藤章造, 尾崎明仁, 他6名:「水分ポテンシャルによる壁体湿気移動解析 その4. グラスウールの断実験と透湿実験」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1993年9月, pp.1243-1244
- 65)鎌田紀彦, 鈴木大隆, 鈴木憲三:「知っておきたい寒冷地住宅設計のポイント」, 建築知識 特集北国に学ぶ [暖かい住宅]」january, 1987, vol.29, no.344, pp.102-132
- 66)鎌田紀彦, 鈴木大隆, 鈴木憲三:「「省エネ住宅」設計ガイド」, 建築知識 特集=断熱・気密からソーラーまで, March, 1993, vol.35, no.426
- 67)「住宅における結露防止研究開発の概要「結露に関するデータ」」, IBEC'89・9, pp.67-69
- 68)大澤徹夫:「防湿層について」, IBEC'84・10, pp.21-23
- 69)水谷章夫, 大澤徹夫, 宮乃秋彦:「垂直通気層の放湿効果におよぼす上下開口形状の影響 通気層による構造体の防湿効果に関する研究・その2」, 日本建築学会計画系論文報告集, 第379号, 昭和62年9月, pp.1-8
- 70)瀬戸裕直:「壁体内通気と小屋裏換気による除湿効果」, IBEC'84・10, pp.24-26
- 71)佐々木隆:「寒地における方策」, 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, pp.191-197
- 72)坂本弘志:「通気層内の換気性状と最適な換気方法」, 北海道新聞, 第242号(4), 平成3年3月15日(金)
- 73)「これがR-2000住宅」, 北海道新聞, 第265号(4), 平成3年11月15日(金)
- 74)「省エネの気密住宅に」, 北海道新聞, 第291号(4), 平成4年8月15日(土)
- 75)「通気層の効用(2)」, 北海道新聞, 第296号(4), 平成4年10月5日(月)
- 76)「寒地住宅のQ & A 通気層厚さ(1)」, 北海道新聞, 第303号(2), 平成4年12月15日(火)
- 77)「寒地住宅のQ & A 通気層厚さ(3)」, 北海道新聞, 第308号(2), 平成5年2月5日(金)
- 78)大澤元毅:「結露被害の要因」, IBEC'89・9, pp.6-11