

住まいを受け継ぐための自律的湿気環境コントロール外壁の開発

排湿外壁構造の適用による屋内相対湿度低下効果の実証研究

主査 垂水 弘夫*¹

委員 前田 雅喜*², 円井 基史*³

本研究では、従来、壁の内層仕上げ材として用いられてきた調湿性を有する材料（珪藻土、珪質頁岩など）を、住宅の外壁の一部に単層で適用することで、「調湿」ではなく「排湿」性能を有する、つまり屋内の湿気を時系列的に外気へと排出できる外壁構造を開発した（垂水弘夫：排湿外壁構造，特許第 4682334 号，2011 年 2 月登録）ので、その排湿効果を実際の住宅に近いレベルで実測・検証することを目的としている。排湿外壁構造は、イ）原材料が自然素材であり土壁として施工される、ロ）屋内外の水蒸気圧力差でもって自律的に排湿できる、ハ）化石燃料由来の電力をエアコンや除湿機において除湿目的で消費することが抑制される、等の特徴を有している。

キーワード：1) 排湿外壁構造，2) 調湿建材，3) 屋内外水蒸気分圧差，4) 自律的排湿，5) 屋内相対湿度，6) 湿気環境，7) 珪質頁岩，8) フィールド試験，9) 除湿用電力消費，10) 節電

EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECTS OF INDOOR MOISTURE DISCHARGE THROUGH A MOISTURE EXPULSION EXTERIOR WALL STRUCTURE FOR INHERITING HOUSES

- Empirical Study about The Humidity Reduction Effect under Winter Climate -

Ch. Hiroo Tarumi

Mem. Masaki Maeda, Motofumi Marui

This research aims at developing a moisture expulsion exterior wall which can discharge indoor moisture to the outdoor air by the use of a humidity control material. The indoor moisture is naturally discharged using the difference in water vapor pressure between the indoor and the outdoor air in winter. In the present study, the humidity reduction effect under winter climate conditions was investigated using a field test house located in Hakusan City. And the effect of the moisture expulsion exterior wall structure was shown as a moisture expulsion quantity through one winter season.

1. 研究の背景・目的

わが国の住宅を新築のフェーズで眺めると、断熱・気密化して計画換気システムを装備した優れた省エネルギー住宅が供給される体制が整備されている。こうした住宅では、屋内は乾燥した状態となるのが一般的であり、加湿器が必要となる場合も多い。

しかし一方で、大量のストックがある既存の住宅に目を転じると、現代の水準から見れば熱的性能が十分でなく、低温・高湿度の領域や部屋が存在して、屋内湿気問題に悩まされている住宅は数多い。また東日本大震災後も含めて、依然として多く使用されている石油ストーブなど開放型の暖房器具も湿気問題を助長しており、結露

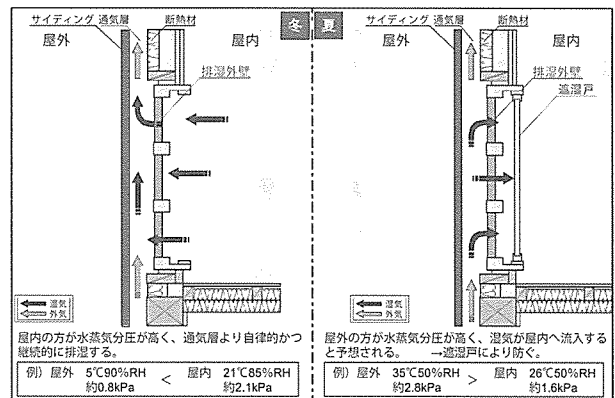


図 1-1 排湿外壁構造の概念図

*¹ 金沢工業大学 環境・建築学部 建築学科 教授 工学博士

*² 産業技術総合研究所 中部センター サステナブルマテリアル研究部門 上級主任研究員 博士 (工学)

*³ 金沢工業大学 環境・建築学部 建築学科 准教授 博士 (工学)

やカビ・ダニの発生など、居住者にとって健康衛生上の問題が生じている場合もある。さらに、阪神淡路大震災の折の木造住宅の倒壊では、土台と筋交の接合部の腐食が指摘されたこともあった。このように屋内の湿気問題は、住まいを将来に向けて長く受け継いで行く上で、環境衛生的にも構造耐力的にも、大きな障害となっており、これを技術的に解決することが重要な研究課題であると認識している。

そこで本研究では、従来、壁の内層仕上げ材として用いられてきた調湿性を有する材料（珪藻土、珪質頁岩など）を、住宅の外壁の一部に単層で適用することで、「調湿」ではなく「排湿」性能を有する、つまり屋内の湿気を時系列的に外気へと排出できる外壁構造を開発したので¹⁾²⁾、その排湿効果を実際の住宅に近いレベルで実測・検証することを目的としている。

排湿外壁構造は、イ) 原材料が自然素材であり土壁として施工される、ロ) 屋内外の水蒸気圧力差（例えば冬季に屋外が5℃・降雨（相対湿度90%）であっても、屋内の20℃・相対湿度80%の状態の方が、水蒸気分圧は2倍超）でもって自律的に排湿でき、化石燃料由来の電力をエアコンや除湿機で消費することがない、等の特徴を有している。

排湿外壁構造の概念図を図1-1に示す。排湿外壁構造は、通気層を有する木造軸組住宅の外壁に対し、透湿性がある調湿建材から作られる単層壁（以下、排湿外壁ブロック）を適用するものである。屋内外の水蒸気分圧差を原理とし、主に冬期において、屋内の水蒸気を通気層より自律的に排出する。

これまでに既往研究として、金沢工業大学地域防災科学研究所内において、温湿度環境を再現できる人工気象室と内部に建築された試験棟を利用した、実大模擬実験が行われてきた^{20)・23)・25)}。また、石川県白山市に立地する、10mm厚排湿外壁ブロックを適用したフィールド試験棟を用いた実験により、外界の気象に対応した排湿外壁構造の基本性能が確認できている^{26)・27)}。

2. 研究概要

本研究の概念図を図2-1、研究フローを図2-2に示す。まず、本研究では排湿外壁ブロックの厚さや使用素材を変更した排湿外壁ブロックを3種類製作する。製作した排湿外壁ブロックは、人工気象室内の試験棟を利用し、冬期想定実験によって排湿性能を確認する。その結果、従来よりも性能向上が最も期待できた排湿外壁ブロックをフィールド試験棟に新しく適用し、夏期及び冬期を通じた実験を行う。それらの実験結果と気象庁データを用いることにより、夏期湿気流入量及び冬期排湿量を推定し、性能評価を行うこととする。

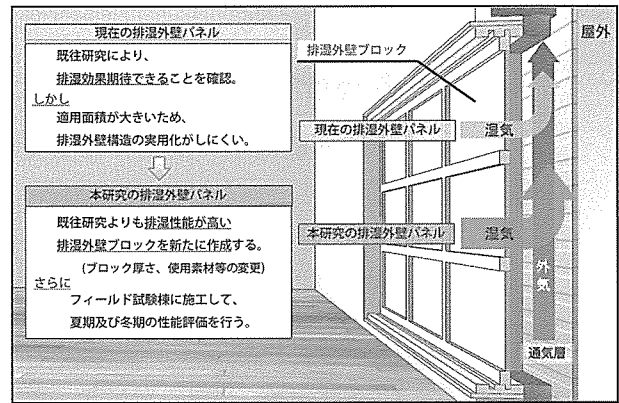


図 2-1 本研究の概念図

序論	・研究の背景と目的
関連項目の調査	・屋内湿気問題 ・既存研究の調査
排湿外壁構造の概要	・使用素材の文献調査及び選定 ・排湿外壁ブロックの製作 1) 使用素材を変更したケース 2) ブロック厚さを変更したケース
人工気象室を用いた排湿性能比較実験	・新しい排湿外壁ブロックの製作及び施工 ・排湿外壁ブロックのCase毎による排湿性能評価
フィールド試験の概要	－夏期実験－ ・成り行きでの温度上昇にみる湿気流入量把握実験 ・居住者の日常生活を考慮した冷房・加湿状態下における湿気流入量把握実験 －冬期実験－ ・夜間における排湿性能把握実験 ・居住者の日常生活を考慮した暖房・加湿状態下における排湿性能把握実験 1) 排湿外壁パネルの枚数を変更したケース 2) 居住者の生活条件を変更したケース
実測結果の分析・解析	・夏期における湿気流入量の推定 ・冬期における排湿量の推定 ・既往研究（珪質頁岩主原料材料1、厚さ10mm）との比較
結論	

図 2-2 研究フロー

表 3-1 人工気象室及び試験棟の仕様

	名称 [製造元]	概要
人工気象室	日射人工気象室 [株式会社日立プラントテクノロジー]	温度：-10～40[°C] (制御制度±2°C) 相対湿度：10～90[%RH]
試験棟	ルームエアコン MSZ-JXV220-W [三菱電機株式会社]	温度：16～31[°C] 相対湿度：40～70[%RH]
	加湿器 ASY-B300 [タイガー魔法瓶株式会社]	方式：気化＋スチーム式 加湿能力：約280[mL/h]
	温湿度計 RTR-53AL [株式会社ティアンドイ]	温度：0～55[°C] (制御制度±0.3°C) 相対湿度：10～95[%RH]

3. 人工気象室を用いた試験棟実験の概要

3.1 人工気象室及び試験棟の概要

本研究で使用する人工気象室及び試験棟の仕様を表3-1、人工気象室の平面図及び試験棟の写真を図3-1に示す。人工気象室は、金沢工業大学69号館3階に設置されており、約540m³の大容積空間を有している。その空間内部は、温度-10~40℃、相対湿度10~90%RHの範囲で制御でき、それによって外気の温湿度条件の再現を可能としている。人工気象室内に施工されている試験棟は、エアコンにより温湿度条件を設定することで実際の住宅と見立てる。また、試験棟内に設置されているエアコンは、温度16~31℃、相対湿度40~70%RHの範囲で制御可能である。

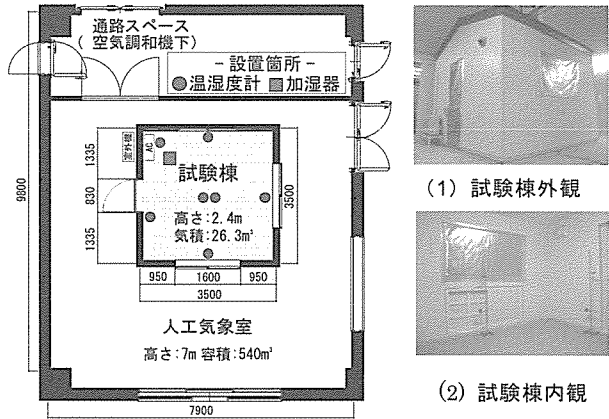


図3-1 人工気象室の平面図及び試験棟写真

3.2 人工気象室における実験概要

排湿外壁ブロックの仕様を表3-2、人工気象室における実験条件を表3-3に示す。排湿外壁ブロックは、厚さや使用素材を変更した3種類で製作し、冬期を想定した実験を行った。排湿外壁ブロックの使用素材としては、従来の「珪質頁岩主原料材料1」と新素材の「珪質頁岩主原料材料2」を用いて製作した。主原料となっている稚内層珪質頁岩は、一般的な珪藻土よりも3~6倍以上の調湿機能を持ち、自律性自然呼吸作用による相対湿度の自律性調湿機能材として適した特性を持つ。

排湿外壁ブロックの厚さは、10mm(Case1・2)と5mm(Case3)の2種類である。また、3種類全ての排湿外壁ブロックの中間層には、ガラス繊維のメッシュを補強のために挟む。

実験の温湿度の設定条件は、屋外は10℃55%RHの定常温湿度で制御する。屋内は、実験開始時に20℃85%RHとなるように加湿し、相対湿度の低下時間や排湿量で排湿性能を比較する。

3.3 排湿性能の比較実験結果

排湿外壁ブロックの排湿性能比較実験結果を図3-2に示す。Case1・2は、相対湿度が約5時間で70%RHに到達し、排湿量も4.23g/m³と4.32g/m³であり、ほぼ同様な排湿性能が確認できた。一方、厚さを5mmに薄くしたCase3では、約3時間30分で70%RHに到達し、排湿量もCase1・2より約0.80g/m³大きい5.09g/m³であった。

以上の結果より、最も排湿性能が高かったCase3(珪質頁岩主原料材料2, 厚さ5mm)の排湿外壁ブロックをフィールド試験棟に新しく適用し、夏期及び冬期実験の性能評価を行った。

表3-2 排湿外壁ブロックの仕様

項目	内容	内容
使用素材	珪質頁岩主原料材料1	珪質頁岩主原料材料2
主原料	稚内層珪質頁岩 77 wt%	稚内層珪質頁岩 70 wt%
他の配合原料	消石灰 8 wt% 焼成ホタテ 6 wt% 天然鉱物顔料 5 wt% 食用糖・ケナフ 4 wt%	消石灰 15 wt% 焼成ホタテ 6 wt% 天然鉱物顔料 5 wt% 食用糖・ケナフ 4 wt%
水粉体比	66% (水10kg/粉体15kg)	
補強メッシュ	ガラス繊維	
ブロック寸法	190×330 [mm]	

表3-3 人工気象室における実験条件

Case	名称	排湿外壁ブロック		屋内		屋外	
		厚さ	枚数	気温	相対湿度	気温	相対湿度
1	珪質頁岩主原料材料1 ^{*1}	10mm	12枚	20℃	85%RH	10℃	55%RH
2	珪質頁岩主原料材料2 ^{*2}	10mm					
3	珪質頁岩主原料材料2	5mm					

*1: 藻々太郎 *2: ハイオール塗り珪藻土

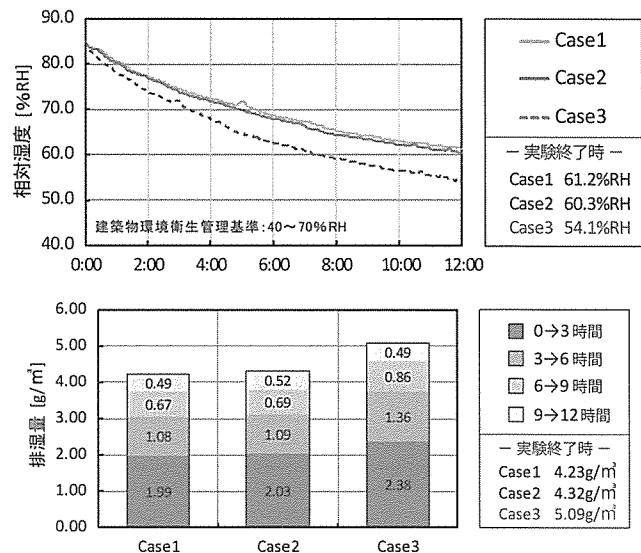


図3-2 排湿性能の比較実験結果

4. フィールド試験棟を用いた実験の概要

4.1 フィールド試験棟の概要

フィールド試験棟及び排湿外壁構造の概要を表4-1、フィールド試験棟の写真を図4-1に示す。本研究で使用するフィールド試験棟は、石川県白山市の金沢工業大学敷地内に立地している。フィールド試験棟は、高気密・高断熱の処理が施された通気層のある木造平屋建て住宅であり、床面積は約49.7m²、気積は約124.3m³である。また、ドアや窓の建具、断熱材は実際の住宅と同様である。

適用している排湿外壁構造は、日射の影響を受けにくい北側壁面に施工されており、一枚当たり約1.28m²の排湿外壁パネルが計4枚施工されている。各排湿外壁パネルには、190mm×330mm×厚さ5mmの排湿外壁ブロックを、上下方向に3枚、横方向に4枚の計12枚ずつ嵌め込んでいる。設置した48枚の排湿外壁ブロックの面積は約3.01m²である。この結果、フィールド試験棟における排湿外壁構造の建材負荷率(対象空間の気積に対する排湿外壁ブロックの面積)は、0.024m²/m³となった。排湿外壁パネルの内側には、遮湿戸として複層ガラスの引き違いアルミサッシを設置した。JIS基準で気密の等級がA-4、水密等級がW-4、熱貫流率が3.49W/(m²・K)以下(Ⅲ～Ⅴ地域適合)のものを使用する。

屋内の設備としては、ルームエアコンと換気設備を有しているが、本研究では換気設備のバルブを閉め、換気口からの湿気の流出入を防ぐものとする。備え付けの設備とは別に、加湿器を持ち込み、ルームエアコンと共に屋内の環境を作り出す。また、サーキュレーターを用いることで、屋内の空気の分布が均一になるよう配慮する。

4.2 フィールド試験棟における実験概要

フィールド試験棟の平断面図及び測定点を図4-2、フィールド試験に用いる測定機器の仕様を表4-2に示す。室中央の床上1,100mmの温湿度を基準とし、玄関横の百葉箱にて屋外、その他に各排湿外壁ブロック近傍の屋内外等で計12箇所に温湿度計を設置し、温度及び相対湿度を測定する。また、データロガーと熱電対を各排湿

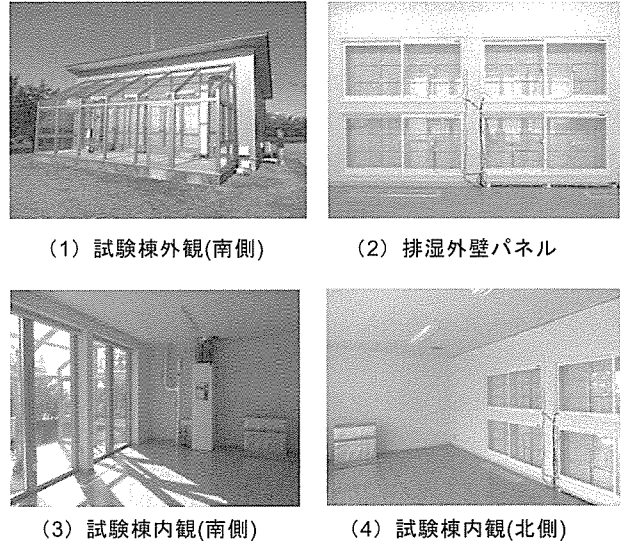
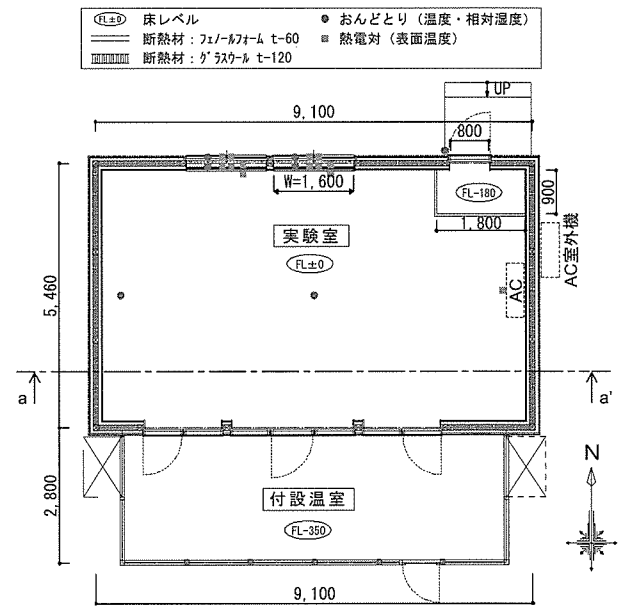
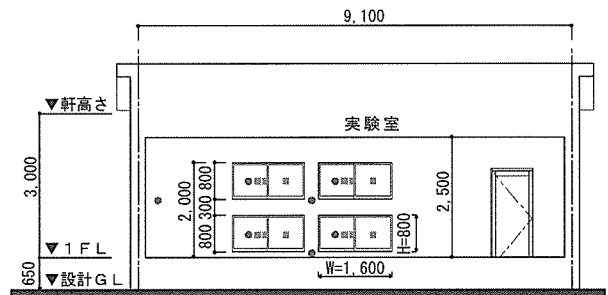


図4-1 フィールド試験棟の写真



(1) 平面図



(2) 断面図

図4-2 フィールド試験棟の平断面図及び測定点

表4-1 フィールド試験棟及び排湿外壁構造の概要

フィールド試験棟	床面積	49.7m ²
	気積	124.3m ³
排湿外壁パネル	施工方位	北側壁面
	枚数	4枚
	1枚あたりの面積(合計面積)	1.28m ² (5.11m ²)
排湿外壁ブロック	パネル1枚あたりの施工枚数	12枚
	合計枚数(ブロック合計面積)	48枚(3.01m ²)
	気密等級(JIS) / 水密等級(JIS)	A-4 / W-4
遮湿戸	熱貫流率	3.49W/(m ² ・K)以下 (Ⅲ～Ⅴ地域適合)

外壁パネル、ブロック、遮湿戸の屋内外に設置し、表面温度を測定する。そのほかには、居住者の生活パターンを模擬した加湿を行うために、加湿器やプログラムタイマーの使用、数値の記録や確認のために電子上皿天秤やインターバルレコーダーを使用した。

以上の測定機器により実験を行うが、フィールド試験棟における実験条件について表4-3に示す。

実験は、夏期で2種類、冬期で6種類の計8ケースで行う。夏期は、「居住者の日常生活を考慮した冷房・加湿状態下における夏期湿気流入量把握実験」を遮湿戸開閉で条件変更して行う。

冷房 27.0℃, 60.0%RH 設定で24時間稼働し、文献を元に決定した水蒸気発生量(後述)を、タイムスケジュールに沿って発生させる。また、夏期湿気流入量は、加湿器によって発生させた加湿量から、屋外へと排水されるドレン水量を差し引いたものとして評価する。冬期は、「冬期における夜間の排湿性能把握実験」として、加湿器を用いることで23時に屋内が高湿状態になるようにし、朝夕8時までの屋内相対湿度の低下経過を見る。また、「居住者の日常生活を考慮した暖房・加湿状態下における冬期排湿量把握実験」として、暖房 20℃設定で24時間稼働し、夏期同様に文献を元に決定した水蒸気発生量を発生させ、排湿性能を評価する。そして、冬期実験はパネル枚数や居住者の生活条件を変更した実験を行うことにより、様々な条件に対応した実用的な性能評価を目指す。

冬期における排湿外壁構造の性能は、屋内外の水蒸気分圧差と、屋内の温湿度測定データから求まる排湿勾配との関係で直接的に把握できるが、夏期における排湿外壁構造を通じた戸外からの湿気流入量を捉えるには、エアコンのドレン水量及び人体や生活行為からの屋内水蒸気発生量(加湿量)と、屋内外水蒸気分圧差及び経過時間との関係を知る必要がある。エアコンのドレン水は、蒸発器における結露水が即時に排水されるとは限らず、一定量の蓄積後に流れ落ちるケースが多いため、時間の要素をパラメータに加えたものである。

5. 夏期実験について

5.1 居住者を考慮した夏期実験概要

夏期は、居住者を考慮した実験が既往研究で行われていないため、居住者を考慮した冷房・加湿状態下における湿気流入量把握実験(Case 1・2)を主として行う。実験の設定条件となる水蒸気発生量は、文献^{28)~31)}を元に表4-4に示すように定めた。具体的には、戸建て住宅に4人家族(夫婦+子供2人)、300m³の一般的な世帯条件を算定モデルとして生活行為及び人体からの水蒸気発生量を求めた。1日の水蒸気発生量は、食事・洗濯等の生活行為からの水蒸気発生量が3,540g/日、人体からの水蒸

表4-2 フィールド試験に用いる測定機器の仕様

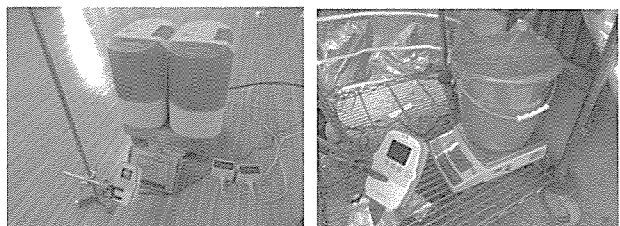
測定項目・用途	測定機材	型式(製造元)	設置位置
温度 相対湿度	温湿度計	C-TR-72U (株式会社テフランドイ)	屋内
			屋外
表面温度	熱電対	T型 (林電工株式会社)	屋内
			屋外
	データロガー	midi LOGGER GL800 (グラフィック株式会社)	屋内
			屋外
屋内での水蒸気発生	加湿器	ASY-B300 (タイガー魔法瓶株式会社)	室内中央
	デジタルプログラムタイマー	PT60D (リコーベークス株式会社)	
	インターバルレコーダー	recolo IR7 (株式会社ヤングジム)	
	電子上皿天秤	XP64001L (オムロン株式会社) LW8200S (株式会社島津製作所)	

表4-3 フィールド試験棟における実験条件

Case	温度	相対湿度	パネル数	遮湿戸	実験内容	
居住者の日常生活を考慮した冷房・加湿状態下における夏期湿気流入量把握実験						
夏期	1	27℃	60%RH	4枚	開	
	2				閉	
夜間における排湿性能把握実験						
冬期	3	20℃	90%RH以上	4枚	開	
	4				閉	
	居住者の日常生活を考慮した暖房・加湿状態下における冬期排湿量把握実験					
	5	20℃	-	4枚	開	
	6				閉	
	7				開	
8	閉					

表4-4 夏期の水蒸気発生量の算定条件^{28)~31)}

標準的な世帯条件における水蒸気発生量			
算定モデルとなる一般的な世帯条件			
家族構成: 夫婦+子ども2人 空間容積: 300m ³ (床面積125m ² ×天井高2.4m)			
a) 生活行為からの水蒸気発生			
時刻	発生源		
7時~	洗剤 [150g/(人・h)] × 4人 × 2分		
	調理		
	食器洗い		
	洗濯物の屋内干し [1605g/(4人・日)]		
12時~	調理		
	食器洗い		
15時~	コーヒーメーカー [g/日]		
	調理		
19時~	夕食		
	食器洗い		
合計			
b) の凡例			
状態	発生量 [g/(人・h)]	備考	
人体	やかに 寝起きている	70	・成人女子は×0.82 ・子どもは×0.75
	寝たが 軽い作業	91	・昼寝時は夜間へ1/2 吸収され、昼間に放 出されるものとする
	就寝	67	
	外出	0	
	合計	882	1,469 780 917 4,046
c) 1日の水蒸気発生量(a+b) [g/日]		7,588	
1日の水蒸気発生量(7588g)を住宅の単位体積(1m ³)あたりに換算(÷300) [g/(m ³ ・日)]		25.3	
フィールド試験棟において必要な水蒸気発生量(×124.3m ³) [g/日]		3,144	



(1) 加湿量測定 (2) ドレン水量測定

図5-1 加湿量及びドレン水量の測定システム

気発生量が 4,048g/日で、合計 7,588g/日と推定された。次に、それをフィールド試験棟の気積 124.3 m³に換算して発生量 3,144g/日を算出した。図 5-1 に加湿量及びドレン水量の測定システムを示す。加湿量は、大型の電子上皿天秤に加湿器 2 台を載せてプログラムタイマーやインターバルレコーダー等を用いることで、時間ごとの水蒸気発生量を再現及び記録できるようにした。また、ドレン水量はドレンホースにつないだバケツを電子上皿天秤に載せることで測定し、インターバルレコーダーを用いることで測定値を記録・確認した。

5.2 居住者を考慮した夏期実験結果

居住者を考慮した夏期実験結果の一例を図 5-2 に示す。屋内温度の日平均は、遮湿戸開が 26.7℃、遮湿戸閉が 26.6℃と、1 日を通して設定値 27.0℃に近い値で制御された。日平均相対湿度も同様に、遮湿戸開が 57.5%RH、遮湿戸閉が 58.4%RH と、設定値 60.0%RH に近い値であった。また、相対湿度は遮湿戸開閉ともに 1 日を通して、建築物環境衛生管理基準で定められている 40~70%RH の範囲で収まった。

ドレン水は、遮湿戸開閉ともに水蒸気の発生が少ない時間帯にはあまり排水されず、水蒸気が多く発生する朝食や昼食等の食事後の時間帯に多く排水された。そのことから、多少の時間差があるものの屋内の水蒸気発生に伴ってドレン水が排水されていることがわかる。累積ドレン水量は、昼以降から少しずつ遮湿戸開閉で差が出始め、1 日の累積ドレン水量の差は 431.0g/日となった。また、ある時刻において 24 時間後に屋内水蒸気量の増減がないものとする、ドレン水量から加湿量を差し引いた値が屋内への湿気流入量だと考えられる。そのため、屋内への湿気流入量は遮湿戸開が 618.2 g/日、遮湿戸閉は 223.6 g/日となり、遮湿戸閉の方が 394.6g/日も湿気流入量を抑制できたことがわかる。以上のことより、遮湿戸を閉めることによる遮湿効果が確認できた。

夏期における測定データ及び算出値の一覧を表 5-1 に示す。8 月 4 日から 9 月 10 日にかけて、遮湿戸開 (Case 1) の条件で 11 日、遮湿戸閉 (Case 2) の条件で 13 日測定をおこなった。次に、屋内外水蒸気分圧差×時間とドレン水量-加湿量の関係を図 5-3 に示す。遮湿戸開において、屋内外水蒸気分圧差×時間は 2.53~16.19kPa・h/日、ドレン水量-加湿量は 220.0~730.2g/日の範囲で分布した。一方、遮湿戸閉では、屋内外水蒸気分圧差×時間は 1.37~18.88kPa・h/日、ドレン水量-加湿量は 6.4~472.0g/日の範囲で分布した。それらのことから、以下の直線回帰式が遮湿戸開閉で得られた。

$$\text{遮湿戸開} : y = 27.60x + 284.22 \quad \dots (1)$$

$$\text{遮湿戸閉} : y = 16.24x + 81.15 \quad \dots (2)$$

遮湿戸開閉ともに屋内外水蒸気分圧差×時間が大きいほど、ドレン水量-加湿量が大きいという直線回帰式が得

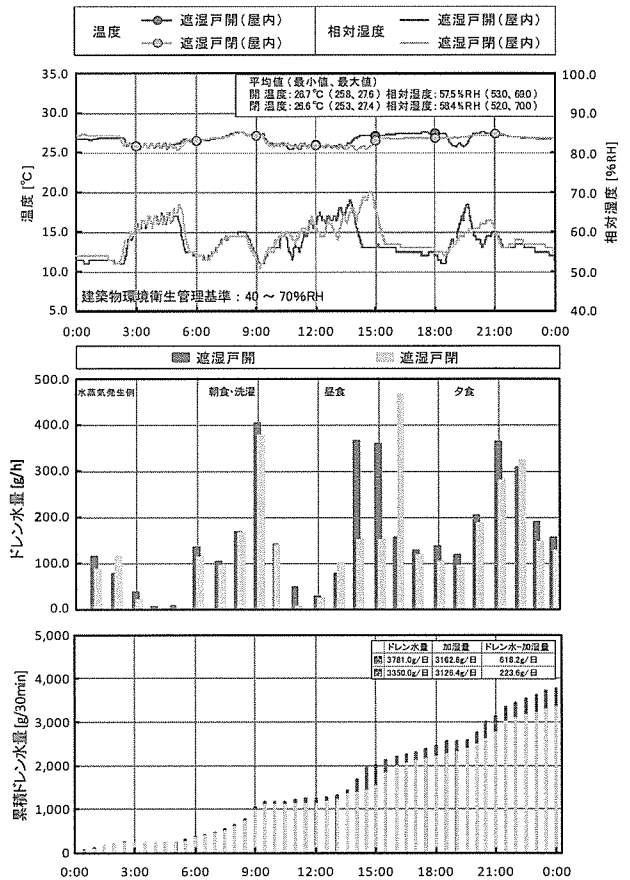


図 5-2 居住者を考慮した夏季実験一覧

表 5-1 夏季における測定データ及び算出値の一覧

測定日	遮湿戸条件	日平均値						屋内外水蒸気分圧差 × 時間 [kPa・h/日]	ドレン水量-加湿量 [g/日]	屋内外水蒸気分圧差 × 時間 [kPa・h/日]
		温度 [°C]		相対湿度 [%RH]		水蒸気分圧 [kPa]				
		室内	室外	室内	室外	室内	室外			
8/4	開	26.8	29.8	56.7	63.6	1.99	2.63	0.64	630.0	10.48
8/5	開	26.5	31.0	55.8	58.6	1.93	2.58	0.65	730.2	10.94
8/6	開	26.5	28.1	57.9	76.7	2.01	2.89	0.87	632.6	16.19
8/7	開	26.7	26.6	57.6	81.5	2.01	2.87	0.86	618.2	15.88
8/15	開	26.6	26.3	58.4	85.7	2.03	2.92	0.89	290.7	16.45
8/16	閉	26.5	24.0	57.4	94.8	1.99	2.83	0.84	285.9	15.40
8/17	閉	26.6	25.0	58.8	92.8	2.04	2.93	0.88	213.5	16.43
8/18	閉	26.3	27.6	56.4	80.7	1.94	2.92	0.99	403.6	18.88
8/19	閉	26.2	28.4	57.0	74.5	1.94	2.83	0.89	402.4	16.58
8/20	閉	26.4	26.6	55.7	72.3	1.92	2.79	0.87	402.4	15.99
8/21	開	26.4	28.8	56.7	73.0	1.85	2.85	0.90	351.9	16.87
8/22	閉	26.4	26.3	59.4	76.7	2.04	2.81	0.87	554.5	8.79
8/23	開	26.3	25.9	55.4	78.3	1.90	2.57	0.67	692.4	11.20
8/24	開	26.5	25.8	57.9	78.5	2.00	2.59	0.59	492.8	9.37
8/25	開	26.5	24.3	57.4	86.5	1.99	2.62	0.63	553.9	10.28
8/26	開	26.3	23.1	57.7	91.4	1.98	2.58	0.60	633.3	9.72
8/27	閉	26.2	23.6	59.9	80.2	2.04	2.31	0.27	222.0	2.69
8/29	閉	26.2	22.9	58.4	73.3	1.99	2.02	0.04	108.0	1.37
8/30	閉	26.2	23.2	57.9	76.9	1.97	2.16	0.19	176.1	1.99
9/2	閉	26.3	23.9	57.5	78.3	1.97	2.30	0.33	199.3	4.30
9/5	閉	26.4	24.2	57.4	85.0	1.98	2.55	0.57	286.1	8.81
9/6	閉	26.4	23.7	58.1	73.1	1.99	2.11	0.12	53.9	2.41
9/9	閉	26.1	22.5	55.5	74.8	1.88	2.01	0.14	358.8	2.53
9/10	閉	26.1	23.3	57.9	69.8	1.96	1.98	0.02	6.4	1.55

※「屋内外水蒸気分圧差×時間」は、屋内外水蒸気分圧差が0.20kPaを超える分について、1440分(60分×24時間)のデータを積算したものである。

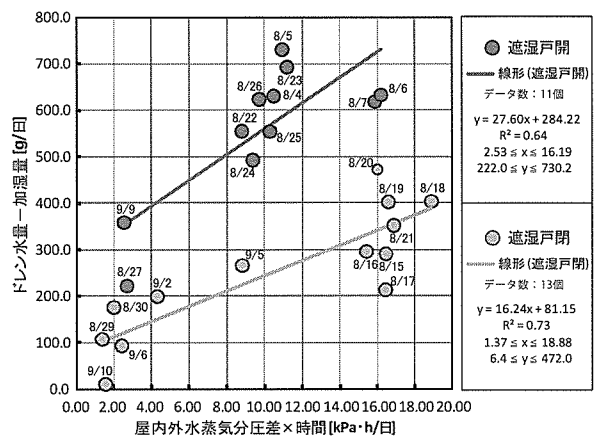


図 5-3 (屋内外水蒸気分圧差×時間)と(ドレン水量-加湿)の関係

られた。また、同じ屋内外水蒸気分圧差の場合には、常に遮湿戸開の方がドレン水量+加湿量が大きくなることが明らかとなった。

5.3 気象庁データを用いた夏期湿気流入量の推定

夏期の湿気流入量を求めるため、過去10年間による金沢市の気象庁データを用いて推定を行い、夏期における湿気流入量の推定及び遮湿戸の有効性を評価する。夏期における湿気流入量の推定手順を図5-4に示す。推定期間は、冷房を使用する6月から9月を夏期と想定し、日別や月別の湿気流入量を求める。手順としては、気象庁データを整理し、屋内を27.0℃、60.0%RHと仮定した場合の屋内外水蒸気分圧差×時間を算出する。それらを図5-3で得た式(1)、(2)に代入することで、遮湿戸の開閉別の湿気流入量の推定値を得る。

夏期湿気流入量の日別推定結果を図5-5に示す。6月から9月の湿気流入量の平均は、遮湿戸開が265.4g/日、遮湿戸閉が102.0g/日、開閉の差が163.4g/日であった。また、湿気流入量の最も大きくなる日は8月7日と推定され、遮湿戸開閉の差は306.2g/日である。日別で湿気流入量にばらつきはあるが、屋内外水蒸気分圧差が大きくなりやすい7月中旬から8月中旬までの期間で、特に湿気流入量が大きくなるのがわかる。

過去10年間の夏期湿気流入量の推定結果一覧を表5-2に示す。年度別で比較すると、どの月もばらつきがあるため、過去10年間の平均値でそれぞれ推定をおこなった。夏期における月別の湿気流入量の推定結果を図5-6に示す。推定結果を見ると、遮湿戸開における期間合計は32,379g/4ヶ月となり、各月の平均値は6月から9月にかけて2,294g/月、11,186g/月、13,524g/月、5,377g/月となった。遮湿戸閉では、期間合計の12,441g/4ヶ月に対し、それぞれ、765g/月、4,240g/月、5,513g/月、1,924g/月となった。遮湿戸を閉めることによる湿気流入量の減少量は、6月から1,529g/月(67%減)、6,946g/月(63%減)、8,011g/月(59%減)、3,453g/月(62%減)と推定された。また、期間合計では19,938g/4ヶ月(62%減)の低減効果が期待できることから、推定によって遮湿戸の有効性が明らかとなった。

6. 冬期実験について

6.1 夜間における排湿性能把握実験

排湿外壁構造は、主に夕食や入浴などで水蒸気の発生がピークを迎え、生活者が就寝する夜間において排湿効果が期待される。そこで、夜間の基本性能を把握するため、冬期における夜間の排湿性能把握実験を行った。実験結果として、温度・相対湿度・水蒸気分圧・排湿量の時系列変化を図6-1に示す。

まず、温度についてみると、屋内温度の平均は設定値

手順	単位
STEP 1: 実測データ(1分値)より水蒸気分圧差を出す。	[kPa]
STEP 2: 水蒸気分圧差が0.20kPaより大きいものを抽出し、0.20を超える分について積算する。 例) 0.57kPa-0.37kPa、0.13kPa-0.00kPaとして積算。	[kPa-h/日]
STEP 3: ドレン水量+加湿量(湿気流入量の日量を整理する。	[g/日]
STEP 4: STEP 2と3について整理し、湿気流入量(水蒸気分圧差×時間の関数)の直線回帰式を得る。	[g/日]
STEP 5: 気象庁データの屋外水蒸気分圧より、屋内を27.0℃60.0%RHと仮定した場合の水蒸気分圧差を出す。	[kPa]
STEP 6: STEP 5について、STEP 2の処理を行う。	[kPa-h/日]
STEP 7: STEP 6をSTEP 4の式に代入し、湿気流入量の推定値を算出する。	[g/日]

図5-4 夏期における湿気流入量の推定手順

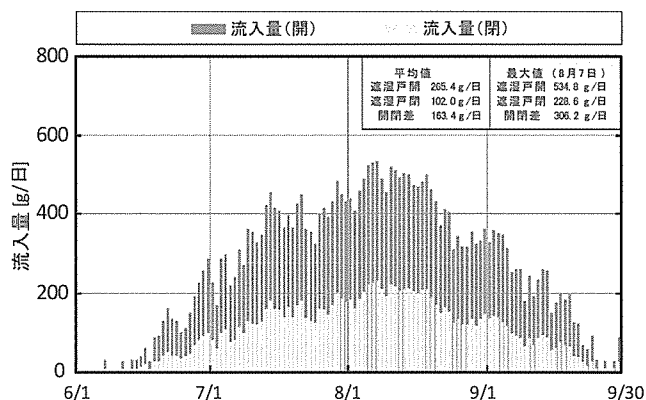


図5-5 夏期湿気流入量の日別推定結果

表5-2 過去10年間の夏期湿気流入量の推定結果一覧

年	遮湿戸	月				合計 [g/4ヶ月]
		6月	7月	8月	9月	
2004年	開	4391 (1.00)	13697 (1.00)	11807 (1.00)	6652 (1.00)	36544 (1.00)
	閉	1465 (0.33)	5563 (0.41)	4623 (0.39)	2106 (0.32)	13756 (0.38)
2005年	開	3262 (1.00)	11683 (1.00)	14165 (1.00)	6342 (1.00)	35448 (1.00)
	閉	1145 (0.35)	4292 (0.37)	5924 (0.42)	2268 (0.36)	13627 (0.38)
2006年	開	1502 (1.00)	9206 (1.00)	14428 (1.00)	2121 (1.00)	27254 (1.00)
	閉	453 (0.30)	3351 (0.36)	5821 (0.40)	731 (0.34)	10355 (0.38)
2007年	開	954 (1.00)	5679 (1.00)	11344 (1.00)	7190 (1.00)	25165 (1.00)
	閉	303 (0.32)	1792 (0.32)	4265 (0.38)	2509 (0.35)	8868 (0.35)
2008年	開	886 (1.00)	11621 (1.00)	10634 (1.00)	3513 (1.00)	26650 (1.00)
	閉	263 (0.30)	4341 (0.37)	4019 (0.38)	1206 (0.34)	9828 (0.37)
2009年	開	1208 (1.00)	8393 (1.00)	9721 (1.00)	935 (1.00)	20254 (1.00)
	閉	366 (0.30)	2787 (0.33)	3568 (0.37)	292 (0.31)	7012 (0.35)
2010年	開	2951 (1.00)	10850 (1.00)	16139 (1.00)	6351 (1.00)	36288 (1.00)
	閉	962 (0.33)	3888 (0.36)	6828 (0.42)	2446 (0.39)	14122 (0.39)
2011年	開	4105 (1.00)	14437 (1.00)	16378 (1.00)	7890 (1.00)	42806 (1.00)
	閉	1554 (0.38)	5912 (0.41)	6968 (0.43)	3179 (0.40)	17612 (0.41)
2012年	開	592 (1.00)	13341 (1.00)	15342 (1.00)	7477 (1.00)	36749 (1.00)
	閉	176 (0.30)	5353 (0.40)	6531 (0.43)	2678 (0.36)	14737 (0.40)
2013年	開	3095 (1.00)	12952 (1.00)	15286 (1.00)	5298 (1.00)	36628 (1.00)
	閉	961 (0.31)	5124 (0.40)	6584 (0.43)	1826 (0.34)	14493 (0.40)
平均	開	2,294 (1.00)	11,186 (1.00)	13,524 (1.00)	5,377 (1.00)	32,379 (1.00)
	閉	765 (0.33)	4,240 (0.39)	5,513 (0.41)	1,924 (0.36)	12,441 (0.38)

※()内の数字は遮湿戸開に対する割合を示す。

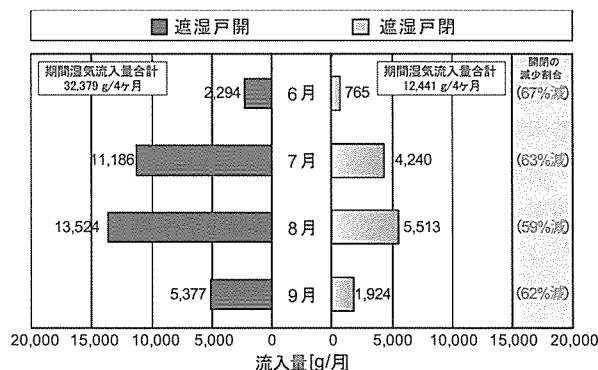


図5-6 夏期における月別の湿気流入量の推定結果

20.0℃をやや下回る 18.7℃となったが、測定時間を通じて安定した制御がなされた。外気温度の平均値は 0.6℃であり、屋内同様にほぼ一定であった。次に、屋内相対湿度の変動をみると、実験開始時の 93.0%RH から、3 時間経過後の 2 時から 3 時にかけて、建築物環境衛生管理基準で定められている 70.0%RH を下回り、最終的には 62.0%RH と約 30%RH も低下している。屋内水蒸気分圧も屋内相対湿度同様に、実験開始時の 2.03kPa から終了時には 1.31kPa まで、約 0.70kPa 低下している。また、容積絶対湿度の低下量を示している排湿量は、実験終了時には 5.32g/m³ と排湿効果が確認され、排湿外壁構造の有効性を明らかにできた。

6.2 フィールド試験棟の屋内外水蒸気分圧差と排湿勾配の関係

以上の結果を踏まえ、冬期の排湿外壁構造の特性を把握するために、屋内外水蒸気分圧差と排湿勾配（単位時間当たりの容積絶対湿度の低下）の相関関係を分析した。Case 3, Case 4, 既往研究のそれぞれの実験データに基づく結果を図 6-2 に示す。図 6-2 では、時間経過に伴って排湿が進むに連れ、屋内外水蒸気分圧差が縮小し、排湿勾配の値も小さくなる関係を表わしている。回帰直線としては、以下の式がそれぞれ得られた。

$$\text{本研究(遮湿戸開)} \quad y = -3.43x + 2.38 \dots (3)$$

$$\text{本研究(遮湿戸閉)} \quad y = -2.14x + 1.86 \dots (4)$$

$$\text{既往研究(遮湿戸開)} \quad y = -3.62x + 3.20 \dots (5)$$

遮湿戸開閉で比較した場合、遮湿戸開は閉に対して左側に回帰直線が位置しており、同じ屋内外水蒸気分圧差時では、開の方が閉よりも排湿効果が期待できることがわかる。本研究の遮湿戸開と既往研究で比較した場合にも、本研究の方が左側に位置しているため、同様なことがいえる。以上のことより、本研究で適用している排湿外壁ブロックは、排湿外壁を施工してない場合や既往研究と比較して、大きな排湿勾配が得られることを把握できた。また、上記で示した関係式(3)は、後述の排湿量の推定時(図 6-4)に適用する。

6.3 居住者の日常生活を考慮した暖房・加湿状態下における性能把握実験

基本的な排湿性能を明らかにしたうえで、居住者の日常生活を考慮した 24 時間実験を行った。実験は、遮湿戸の開閉(Case 5・6)と居住者の生活条件(Case 7)を変更した 3 ケースで比較する。それぞれ 3 日間連続して実験を行い、温度と水蒸気分圧は平均を取り、相対湿度は逆算してまとめた。冬期の水蒸気発生量の算定条件を表 6-1、温度・相対湿度・水蒸気分圧の時系列変化を図 6-3 に示す。

屋内温度の日平均値についてみると、Case 5 は 19.4℃

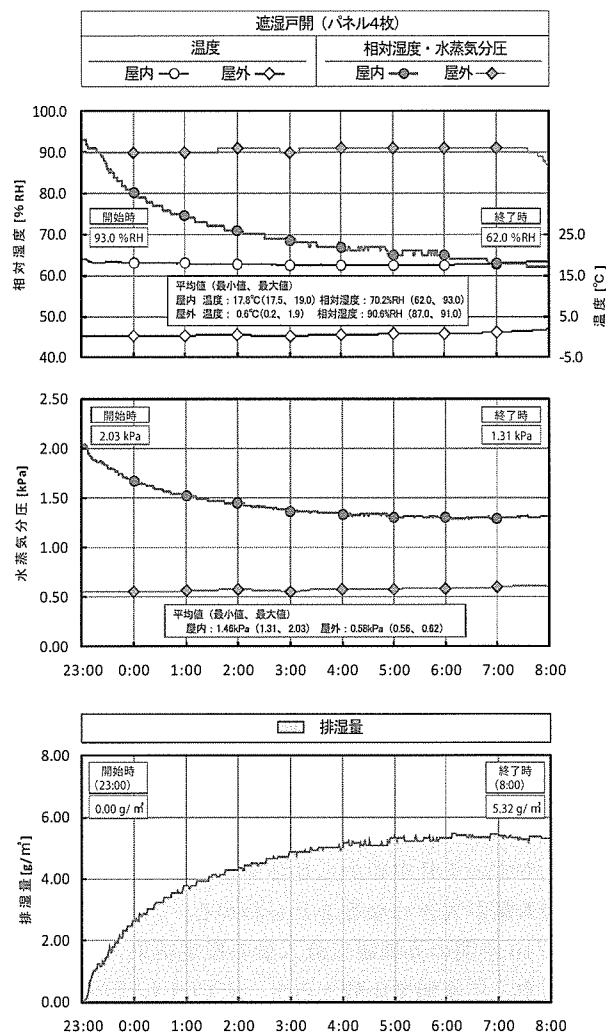


図 6-1 冬期における夜間の排湿性能把握実験

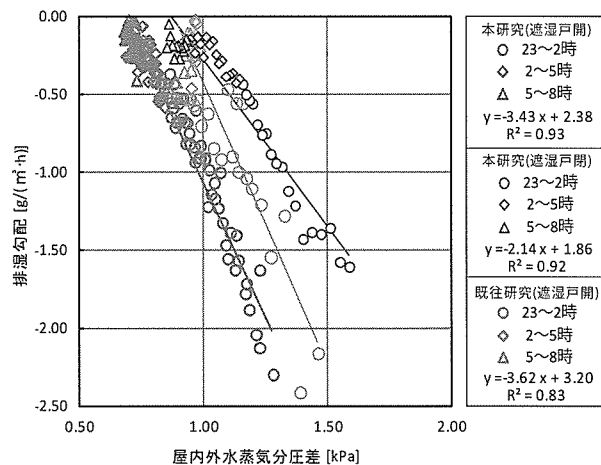


図 6-2 冬期における屋内外水蒸気分圧差と排湿勾配の関係

表 6-1 冬期の水蒸気発生量の算定条件 (29)~(31)

算定モデルとなる一般的な世帯条件 家族構成：夫婦+子ども2人 空間容積：300m ³ (床面積125m ² ×天井高2.4m)											
時間	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	11:00
文献より定めた水蒸気発生量 [g/h]	加湿A	75	75	75	75	75	166	822	332	241	241
	加湿B	185	175	175	175	175	150	241	732	257	115
		12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00
文献より定めた水蒸気発生量 [g/h]	加湿A	573	253	175	191	138	138	191	849	521	163
	加湿B	75	34	34	67	38	79	266	899	586	228
1日の水蒸気発生量 [g/日]										5944(加湿A)、5298(加湿B)	
1日の水蒸気発生量(5944g、5926g)を住宅の単位体積(1m ³)あたりに換算(+300) [g/(m ³ ・日)]										19.8(加湿A)、17.7(加湿B)	
フィールド試験棟において必要な水蒸気発生量(+124.3m ³) [g/日]										2461(加湿A)、2202(加湿B)	

Case 6は 18.6℃、Case 7は 19.2℃となり、設定値 20.0℃をやや下回ったが、1日を通して安定した制御ができています。屋内相対湿度については、Case 5を基に Case 6・7と比較して示していく。Case 5は、日平均が 69.0%RH であり、夜間から朝方にかけて 70%RH 以下に下回っている時間が多い。食事時や夕方以降の水蒸気発生に対しては 70.0%RH を上回ったが、1441分の測定データのうち 849分(58.9%)が 70%RH 以下となった。次に、遮湿戸を閉めた Case 8についてみると、日平均は 81.2%RH と高い値を示し、1日を通して 70%RH を下回ることのない高湿な状態が続いた。続いて、Case 7についてみると、日平均が 70.0%RH となり、70%RH 以下になった時間数は 862分(60.2%)と、Case 5と近い結果になった。ただし、Case 7は居住者が誰もいない昼から夕方にかけて相対湿度が低下していることが多く、居住者のいる時間帯では Case 5よりも相対湿度が上昇していることを確認できた。

Case 5・6の結果より、排湿外壁構造を機能させることで、夜間の相対湿度を大きく低減でき、1日を通じて相対湿度の上昇を抑制できることが明らかとなった。また、Case 5・7の結果より、居住者の生活条件が変わることで相対湿度の変動に多少の相違はあるが、1日を通してみると比較的近い数値を示しており、どちらの条件でも十分な排湿効果があることを把握できた。

6.4 気象庁データを用いた冬期排湿量の推定

夏期実験同様に、過去 10 年間の金沢市の気象庁データを用いて、一冬分の排湿量について推定を行い評価する。排湿量の推定手順を図 6-4 に示す。方法としては、屋内で Case 5 の変動が繰り返されると仮定した場合の屋内外水蒸気分圧差を気象庁データから算出し、図 6-2 で得た式 (3) に適用することで、排湿勾配の推定値を取得する。そして、取得した値に試験棟の気積を乗じることで、単位時間当たりの排湿量を推定する。なお、屋内の変動が暖房を要する期間であると仮定するため、本研究では推定期間を 11 月から 3 月とする。

推定結果について、排湿外壁構造が機能する時間数の調査結果を表 6-2、冬期における単位時間当たりの排湿量の推移を図 6-5、冬期における排湿量の日別推定結果を図 6-6、過去 10 年間の推定結果一覧を表 6-3 に示す。排湿外壁構造が機能する時間数では、平均値で見ると、11 月が 278 時間 (38%) と半分以下に留まるが、12 月から 3 月にかけてはそれぞれ 606 時間 (81%)、714 時間 (96%)、629 時間 (94%)、618 時間 (86%) と排湿外壁構造の効果が大きい期待できることがわかった。

次に、単位時間当たりの排湿量の日推移をみると、屋内で水蒸気が多く発生し、屋内外水蒸気分圧差が大きくなる時間帯において排湿量が大きく推定された。特に、昼

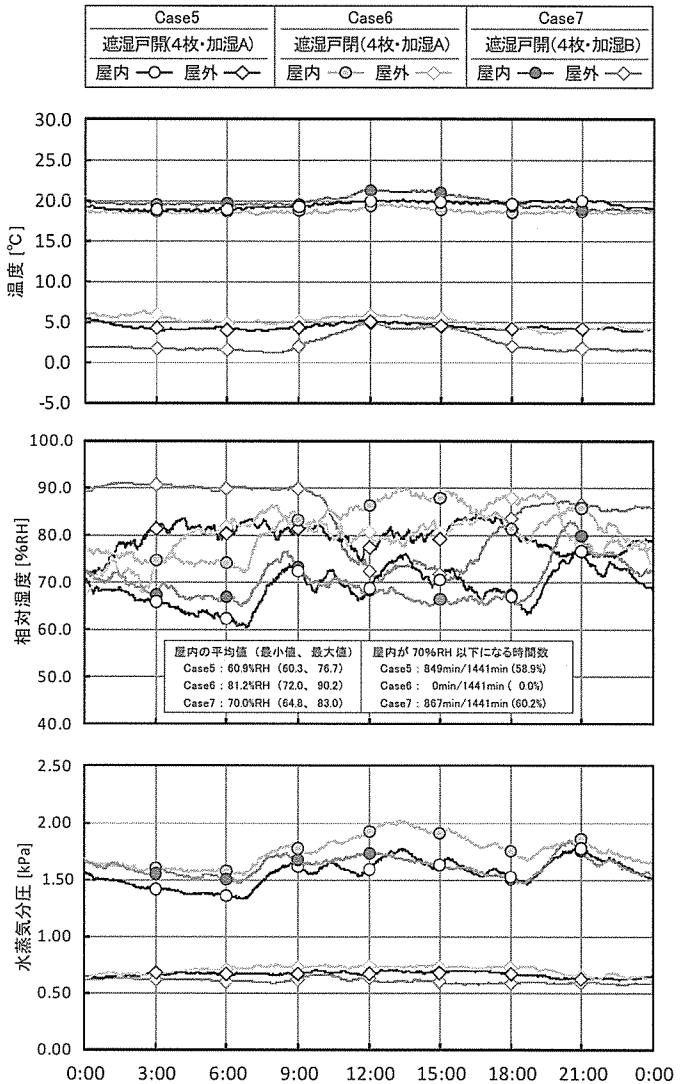


図 6-3 冬期日常生活想定下における 24 時間実験の結果

手順	単位
STEP 1: 冬期における夜間の排湿性能把握実験より、排湿勾配を求め、屋内外水蒸気分圧差との相関を取ることで、回帰直線式を得る。	[g/(m ² ·h)]
STEP 2: 冬期日常生活想定下における 24 時間実験の結果より、連続する 3 日間の測定データについて、平均値(相対湿度、水蒸気分圧の平均値から求める)を得る。	[°C] [%RH] [kPa]
STEP 3: 気象庁データの屋外水蒸気分圧を用いて、屋内を STEP 2 の条件が繰り返されると仮定した場合の水蒸気分圧差を求める。	[kPa]
STEP 4: STEP 3 を STEP 1 の式に代入し、排湿勾配の推定値を得る。	[g/(m ² ·h)]
STEP 5: STEP 4 に試験棟の気積 (124.3 m ³) を乗じ、単位時間当たりの排湿量を得る。	[g/h]

図 6-4 冬期における排湿量の推定手順

表 6-2 冬期に排湿外壁構造が機能する時間数の調査結果

月	全データ数	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	平均
1月	744時間 (31日×24h)	698 (0.94)	712 (0.96)	717 (0.96)	712 (0.96)	723 (0.97)	716 (0.96)	714 (0.96)	743 (0.99)	709 (0.95)	699 (0.94)	714 (0.96)
2月	672時間 (28日×24h)	634 (0.91)	626 (0.93)	606 (0.90)	596 (0.89)	693 (1.00)	623 (0.93)	595 (0.89)	649 (0.97)	668 (0.96)	599 (0.89)	629 (0.93)
3月	744時間 (31日×24h)	634 (0.85)	608 (0.82)	631 (0.85)	595 (0.80)	593 (0.80)	645 (0.87)	638 (0.86)	638 (0.89)	665 (0.80)	594 (0.77)	618 (0.83)
11月	720時間 (30日×24h)	110 (0.15)	305 (0.42)	239 (0.33)	339 (0.47)	353 (0.49)	293 (0.41)	322 (0.45)	199 (0.28)	316 (0.44)	307 (0.43)	278 (0.39)
12月	744時間 (31日×24h)	535 (0.72)	724 (0.97)	594 (0.80)	568 (0.76)	611 (0.82)	613 (0.82)	591 (0.79)	586 (0.79)	639 (0.86)	595 (0.80)	606 (0.81)

※2004年、2008年、2012年は696時間(29日×24h)
※()内は全データ数に対する割合を示す

食時や夕食時の時間帯に多く排湿されることが明らかとなった。日別の推定結果でみると、期間排湿量の平均は2209.9g/日、最も排湿量が大きくなる日は2月5日で3472.4g/日と推定された。また、推定期間である11月から3月末の5ヶ月間の屋内外水蒸気分圧差は、 $0.87 \pm 0.16 \text{ kPa}$ であった。標準偏差は比較的小さく、安定した排湿効果が期待出来ることがわかる。排湿量の変動係数は、排湿量の多い1月から3月では0.10前後となり、排湿量の少ない11月は0.32と大きく、年較差があった。期間合計の変動係数は0.06と小さく、安定した排湿効果が期待できると推定された。

6.5 冬期排湿量の既往研究との比較

冬期排湿量の月別推定結果の比較を図6-7に示す。5mm厚排湿外壁ブロックを適用したフィールド試験棟において、1ヶ月当たりの排湿量を月別でみると、1月が94,769g/月で最大となり、2月はそれに対して10%少ない85,212g/月、3月は23%少ない73,388g/月、12月は34%少ない62,468g/月と続き、11月は80%少ない18,479g/月と推定された。期間合計の排湿量は334,315g/5ヶ月と推定され、内訳は1月が28%、2月が25%、3月が22%、11月が6%、12月が19%となった。また、既往研究で適用していた10mm厚排湿外壁ブロックと比較した場合には、排湿量が多い12月から3月では約2倍、排湿量の少ない11月は約3倍と、5mm厚排湿外壁ブロックの方が大いに排湿量を期待できることがわかった。

以上の結果より、新しく製作及び適用した5mm厚排湿外壁ブロックが従来よりも向上したことを確認でき、冬期において有益性が明らかとなった。

7. まとめ

本論文では、石川県白山市に立地するフィールド試験棟を対象とし、新たに製作及び適用した5mm厚排湿外壁ブロックの夏期と冬期を通じた実測データをもとに、排湿外壁構造の性能評価について検討した。研究成果を以下にまとめる。

1) 従来の排湿外壁ブロックから使用素材や厚さを変更した排湿外壁ブロックを3種類製作し、金沢工業大学地域防災科学研究所内の人工気象室を用いて、冬期想定での排湿性能比較実験を行った。実験結果より、最も排湿性能が優れていた5mm厚排湿外壁ブロックをフィールド試験棟に新たに適用した。

2) 夏期は冷房・加湿状態下における実験により、居住者の日常生活を考慮した湿気流入量を把握した。また、実測データをベースに金沢市の過去10年間の6月から9月の気象庁データを用いて推定した。その結果、遮湿戸を開けた場合の夏期湿気流入量は32,379g/4ヶ月に対

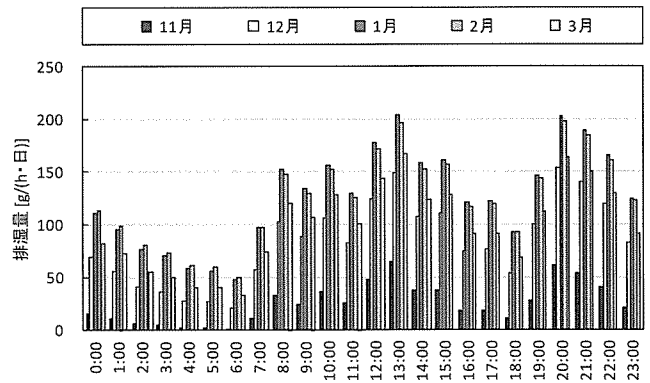


図6-5 冬期における単位時間当たりの排湿量

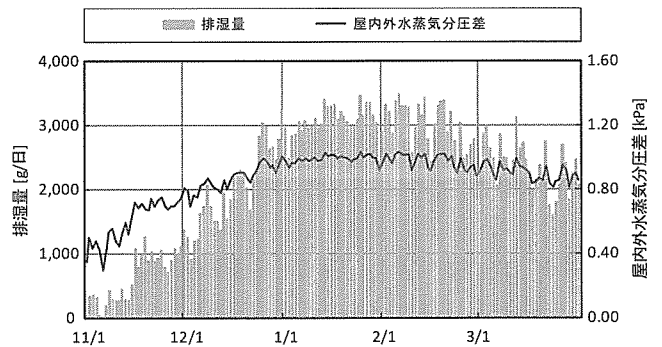


図6-6 冬期における排湿量の日別推定結果

表6-3 過去10年間の冬期排湿量の推定結果一覧

	1月	2月	3月	11月	12月	合計
	[g/月]					[g/5ヵ月]
2004年	86,796	74,415	71,309	5,245	48,803	286,568
2005年	86,644	81,556	74,878	20,251	89,414	352,744
2006年	103,523	81,467	75,790	14,600	52,233	327,613
2007年	84,210	76,930	79,249	27,174	50,850	318,413
2008年	101,238	104,498	56,309	23,318	64,260	349,624
2009年	95,644	82,696	80,201	18,390	64,424	341,355
2010年	93,511	75,269	69,111	20,008	57,633	315,531
2011年	109,358	89,310	85,036	12,240	59,692	355,635
2012年	88,618	92,996	68,934	22,760	76,727	350,034
2013年	98,145	92,981	73,061	20,800	60,649	345,635
平均	94,769	85,212	73,388	18,479	62,468	334,315
期間合計に占める割合	28%	25%	22%	6%	19%	100%
σ	$\pm 7,899$	$\pm 9,096$	$\pm 7,475$	$\pm 5,978$	$\pm 11,821$	$\pm 20,937$
CV	0.08	0.11	0.10	0.32	0.19	0.06

※ σ : 標準偏差 CV: 変動係数(標準偏差/平均値)を表す。

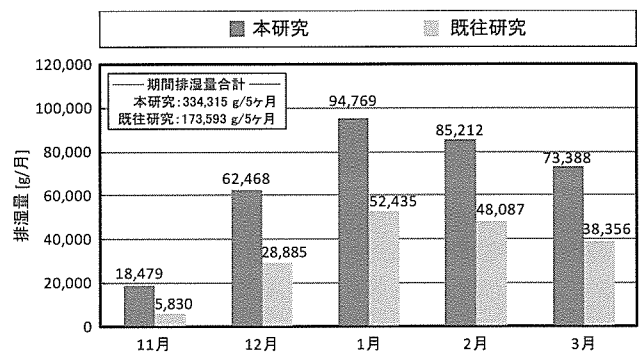


図6-7 冬期排湿量の月別推定結果の比較

し、遮湿戸を閉めた場合は62%少ない12,441g/4ヶ月と推定され、遮湿戸の遮湿効果を明らかにした。

3) 冬期の夜間から朝方にかけて相対湿度の低減をみる実験を行った結果、93.0%RHから約3時間で建築物環境衛生管理基準で定められている70.0%RH、9時間後には62.0%RHに到達できることがわかった。

4) 冬期は暖房・加湿状態下における実験により、居住者の日常生活を考慮した排湿量を把握した。遮湿戸を閉めている場合には70%RHを常に上回る高湿な状態が続いていたのに対し、遮湿戸を開けて排湿外壁構造を機能せると、1日の中で約60%の849分間で70%RHを下回った。以上の結果より、冬期において排湿外壁構造を用いることで湿気低減効果が期待できることを把握した。

5) 夏期実験同様に、冬期の実測データをベースに金沢市の過去10年間の気象庁データを用いて期間排湿量の推定を行った。11月から3月の期間排湿量は、本研究で適用した5mm厚排湿外壁ブロックの場合は334,315g/5ヶ月となった。一方、既往研究で適用していた10mm厚排湿外壁ブロックは、173,593g/5ヶ月と推定され、冬期における5mm厚排湿外壁ブロックの有益性が明らかにできた。

<参考文献>

- 1) 渡村信治・前田雅喜・犬飼恵一・大橋文彦・鈴木正哉・芝崎靖雄(名古屋工技研)・鈴木慎(鈴木産業), 多孔質内装タイルによる室内温度の調整効果, 室内環境学会誌, Vol.2, No.1, pp.88-89, 1999
- 2) セントラル硝子株式会社ホームページ, <http://www.c-g-glass.jp/pro/double/energy.pdf>, 2015年2月3日最終アクセス
- 3) 国土交通省ホームページ, <http://www.mlit.go.jp/ju-takuentiku/build/kensetu.files/030609gaiyouflownew.pdf>, 2015年2月3日最終アクセス
- 4) 垂水弘夫・田口浩太, 排湿外壁構造の排湿効果に関する基礎的研究 日射人工気象室を用いた試験棟実験, 日本建築学会環境系論文集 第76巻 第661号, pp.239-246, 2011
- 5) 前田雅喜: 調湿建材の目指す屋内環境, 建築雑誌, Vol.120, No.1535, 2005年7月号, pp.24-25, 2005
- 6) 阿部恵子, カビと室内空気環境, 熱と環境, Vol.49, p2, 1997.
- 7) 厚生労働省ホームページ, <http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsu-eisei10/index.html>, 2015年2月3日最終アクセス
- 8) 社団法人日本建材・住宅設備産業協会ホームページ, http://www.kensankyo.org/nintei/tyousitu/tyousitu_top.html, 2015年2月3日最終アクセス.
- 9) ナトゥアジャパン株式会社ホームページ, <http://www>

natur-j.jp/pdf/kokudo.pdf, 2015年2月3日最終アクセス

- 10) ナトゥアジャパン株式会社, 珪藻土革命 藻々太郎 営業資料, 2009
- 11) 楠木浩文, 阿部恵子: チリダニの発育に与える影響, 日本環境管理学会・室内環境学会 合同研究発表会講演予稿集 室内環境学会誌, Vol.7 No.1, pp.278-279, 2004
- 12) 水谷章夫, 健康な地球・健康な人間・健康な材料, 断熱・結露と調湿材料と健康, Journal of Society of Inorganic Materials, Japan, Vol.10, No.307, p.450, 2003
- 13) 南雄三, 省エネ住宅・新時代, 建築技術, No.720, p.100, 2010
- 14) 黒木勝一, 調湿用語 調湿性の測定方法と規格, 建築技術, No.660, p131, 2005
- 15) 小椋大輔, 調湿のメカニズム 多孔質材料の調湿メカニズム, 建築技術, No.660, p.132, 2005.
- 16) 小椋大輔, 宇野朋子, 吸放湿材の利用の諸条件と評価 日本建築学会 第35回熱シンポジウム「湿気研究の実用的展開」, pp.77-84, 2005
- 17) 白石靖幸, 藤田哲典, 張本和芳, 谷本潤, 木村建一, 調湿建材を用いた通気層壁体システムの吸放湿効果に関する研究 その1 実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.301-302, 1996
- 18) 藤田哲典, 張本和芳, 谷本潤, 木村建一, 調湿建材を用いた通気層壁体システムの吸放湿効果に関する研究 その2 数値シミュレーション, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.303-304, 1996
- 19) 気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>, 2015年2月3日最終アクセス
- 20) 相川加織: 日射と内外温度差を利用した外壁調湿システムの検討—人工気象室を用いた模擬実験を通じて—, 平成19年度 金沢工業大学 工学設計Ⅲプロジェクトレポート, 2008.
- 21) 山崎政英, 調湿建材を用いた排湿外壁構造の開発に関する実験的研究, 平成20年度 金沢工業大学大学院 修士論文, 2009
- 22) 田口浩太, 排湿外壁構造を有する住宅の性能評価に関する研究 —日射人工気象室を利用した試験棟実験—, 平成21年度 金沢工業大学大学院 修士論文, 2010
- 23) 石黒良輔, 山口翔太, 排湿外壁構造の実用化のための開発研究 —冬期日射環境下及び夏期蒸暑環境下における性能把握—, 平成22年度 金沢工業大学 工学設計Ⅲ, 2010
- 24) 田中浩之, 中嶋健太郎, 排湿外壁透湿水蒸気の壁体内拡散に関する試験棟実験 —温湿度分布の実測と結露発生状況の確認—, 平成23年度 金沢工業大学 プロジェクトデザインⅢ プロジェクトレポート, 2012

- 25) 川端武, 坂本剛, 排湿外壁構造を有する住宅の夏期遮湿対策に関する研究 ―日射人工気象室を利用した試験棟実験―, 平成24年度 金沢工業大学プロジェクトデザインⅢプロジェクトレポート, 2013
- 26) 山口翔太: 排湿外壁構造を有する住宅のフィールド試験による性能評価―石川県白山市に立地する屋外試験棟を利用して―, 平成24年度金沢工業大学大学院 修士論文, 2013.
- 27) 井本貴之, 吉岡二成, フィールド試験棟を用いた排湿外壁構造の性能評価に関する研究―従来の排湿量推定手法の検証と改善―, 平成25年度 金沢工業大学プロジェクトデザインⅢプロジェクトレポート, 2014
- 28) 空気調和・衛生工学会編, 新版・快適な温熱環境のメカニズム 豊かな生活空間をめざして, 丸善, p.122, 2006.3
- 29) 澤地孝男, 換気量と防露の考え方, 建築技術, No. 620, pp.109-113, 2001.10
- 30) 出端祐輔, 埴淵晴男, 実測に基づく室内干し時における洗濯物の乾燥時間および室内温湿度環境. 日本建築学会近畿支部研究報告集, p. 315, 2010.
- 31) 本間義規, 防露計算の現状, 建築技術, No. 620, pp.167-174, 2001.10

<研究協力者>

坂本 剛 清水建設株式会社 工修
(当時, 金沢工業大学大学院生)

齊藤拓也 金沢工業大学 建築学科4年