

## 通気層内温湿度変動の実態把握

壁体内通気層における防露性能の実態に関する研究 その2

## FIELD SURVEY OF HYGRO-THERMAL CHARACTERISTICS IN AN EXPERIMENTAL HOUSE

A study of anti-condensation performance in the vented air space of exterior walls Part 2

梅野徹也\*, 銚井修一\*\*, 齋藤宏昭\*\*\*, 本間義規\*\*\*\*

Tetsuya UMENO, Shuichi HOKOI, Hiroaki SAITO

and Yoshinori HONMA

Most exterior walls of wooden residential buildings in Japan have a vented air space between the exterior cladding and the insulation. This air space is designed to dehumidify exterior walls by discharging humidity to the outside and taking outdoor air into the walls, in order to decrease the risk of condensation on exterior walls in winter. Many studies have been carried out on vented air space, and the most effective thickness for dehumidification has been determined. However, most of these studies have only investigated the performance of vented air spaces under laboratory conditions, and the characteristics of vented air spaces in the field have not been clarified. Our previous study clarified the characteristics of ventilation volume through the vented air space based on field measurements. This study continues that work by reporting on the hygro-thermal characteristics of vented air space. The field measurement and numerical simulation have been carried out on the vented air space and it was pointed out that absolute humidity of the vented air space is lower on the average than the outdoor air due to absorption and desorption of the exterior cladding and the daily variation in ventilation volume through the vented air space.

**Keywords :** Vented Air Space, Hygro-thermal characteristics, Field survey, Absorption, Solar radiation, Numerical simulation

壁体内通気層, 温湿度, 実測, 吸放湿, 日射, 数値解析

## 1. はじめに

日本の在来木造住宅では通気層工法が多く採用されている。壁体内通気層の湿気特性に関しては多くの研究<sup>1) 2) 3) 4) 5)</sup>がなされており、壁体内の湿気排出に有効な通気層厚さなどの知見が得られている。また、通気層の伝熱特性についての計算法も確立されている<sup>6) 7) 8)</sup>。しかしながら、実住宅において壁体内通気層の排湿効果を検討した事例<sup>9) 10)</sup>は少なく、特に温湿度の長期的な変動や通気層内を流れる通気量の実態に関する検討は十分とは言えない。筆者らは、屋外に建てられた実験住宅において通気量を測定し、壁体内通気の駆動力である、外気と通気層の温度差による浮力と外部風による風圧力に関して、通気量との関係性について検討した<sup>15)</sup>。

本報では、日射や外部風を受ける実環境における壁体内通気層の温湿度変動性状の実態を明らかにするため、風速測定と同時に行った通気層内温湿度の長期測定結果を示すとともに、温湿度変動の数値解析を行い、壁体内通気層の温湿度変動に及ぼす建材の吸放湿性

の影響について検討した結果を報告する。

## 2. 測定の概要

## 2.1. 実験住宅の概要

測定は、岩手県立大学敷地内に建設された岩手県立大学盛岡短期大学の建築環境工学実験棟にて行った。実験住宅の概要を表1に、平面図と立面図を図1に、外観を図2に示す。西向き片流れ屋根の総2階建てで、周囲に隣接する建物はなく開けた敷地に建っている。

外壁の構成を図3、図4に示す。木造軸組工法で断熱材としてグラスウールを柱間に充填し、外装材と断熱材の間に通気層が設けられている。壁合板と透湿防水シートを防風層とする一般的な通気層工法である。壁合板に455mm間隔で貼った縦網縁によって壁体内通気層を確保している。外装材は基材、塗装剤とも一般的な窯業系サイディングである。基礎水切りと外壁の隙間が通気層下端の開口であり、通気層上端は軒裏を介して外気および小屋裏に開放されて

\* 積水ハウス 博士(工学)  
\*\* 京都大学 名誉教授・工博  
\*\*\* 足利工業大学工学部創生工学科 准教授・博士(工学)  
\*\*\*\* 宮城学院女子大学生活科学部生活文化デザイン学科 教授・博士(工学)

Sekisuihouse Co. Ltd., Institute of Research and Technology, Dr.Eng.  
Prof. Emeritus, Kyoto University, Dr.Eng.  
Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Division of Architecture and Civil Engineering, Ashikaga Institute of Technology, Dr.Eng.  
Prof., Faculty of Human Life Science, Department of Life Style and Space Design, Miyagi Gakuin Women's University, Dr.Eng.

いる。実験住宅の北側は天井断熱、南側は屋根断熱であるため、小屋裏の換気方式が異なっている。ただし通気層の上端は同一の軒裏空間に開放されており、軒裏空間を介して小屋裏または屋根通気層につながっている点は共通である。通気層の厚さが9mm、18mm、27mmの3仕様を図5に示すとおり配置した。通気胴縁は通気層下端から上端まで連続して設置されており、各通気層は独立した通気経路を有している。通気層厚さの調整は例えば図5の丸囲みの位置では図6のように、通気胴縁の厚さを変えて外装材の位置を変えることにより行った。測定点は図5に示す通りいずれも窓がなく1、2階連続した壁とした。以下では、天井断熱に通ずる厚さ9mm、18mmの通気層を「天井9mm」、「天井18mm」、屋根断熱に通ずる厚さ18mm、27mmの通気層を「屋根18mm」、「屋根27mm」と呼ぶこととする。

表 1 実験住宅の概要

建設地	岩手県滝沢市 (岩手県立大学敷地内)
工法	木造総2階建て
延床面積	33.12 m <sup>2</sup> (3.64×4.55m)
屋根	片流れ (3寸勾配)
断熱仕様	外壁: 高性能 GW16K100mm 天井: 高性能 GW16K200mm 基礎: XPS3種 b100mm (外張り)
通気層	厚さ: 東西面—9, 18, 27mmの3仕様 南北面—18mm
測定期間	2010年3月18日~2011年5月22日 (2010年8月29日~12月5日欠測)

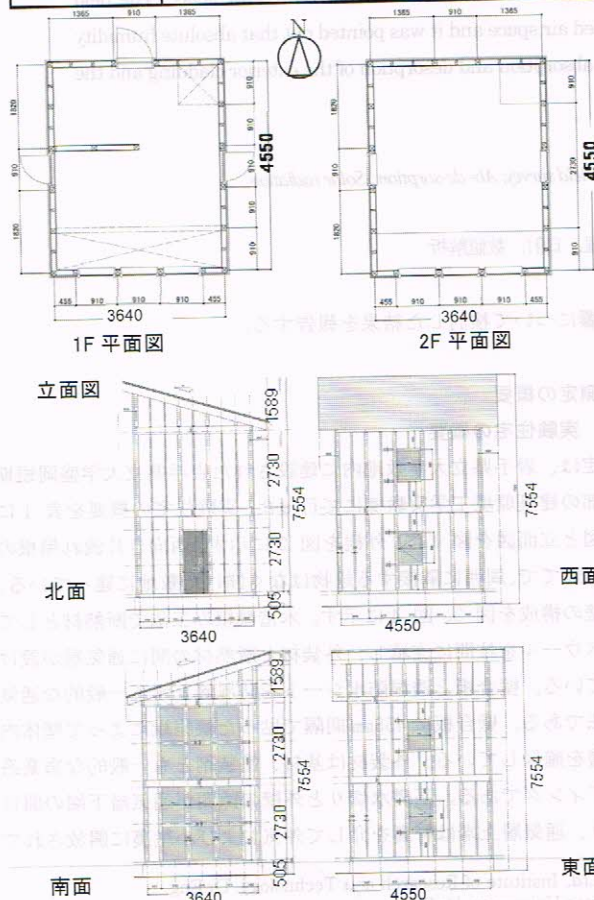


図 1 実験住宅の平面図・立面図

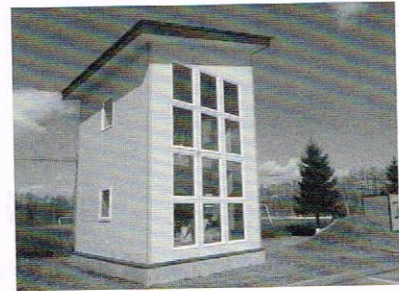


図 2 実験住宅の外観

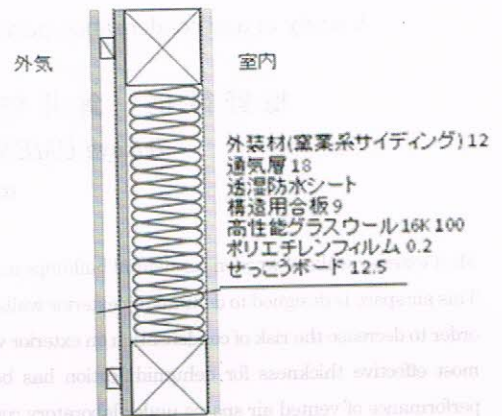


図 3 外壁の材料構成 (水平断面)

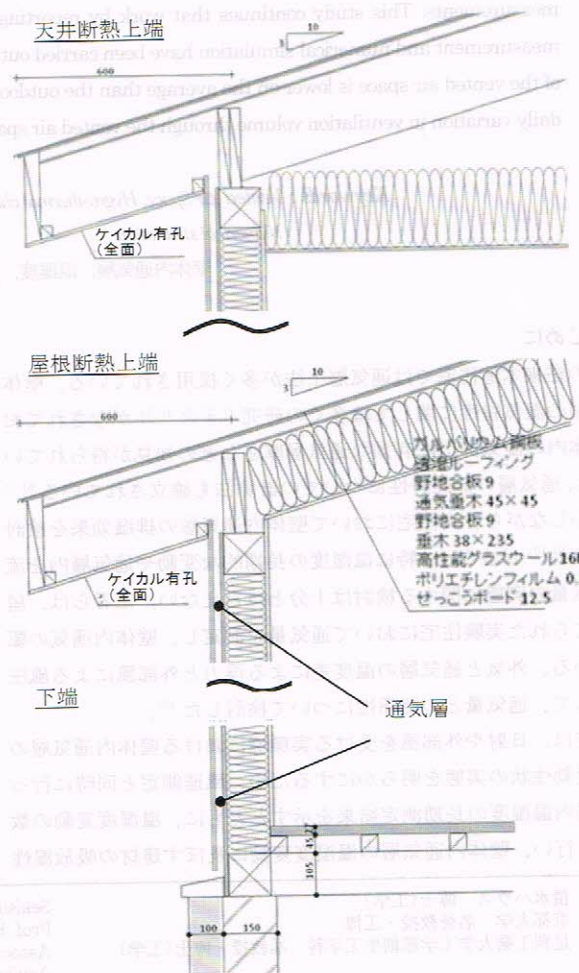
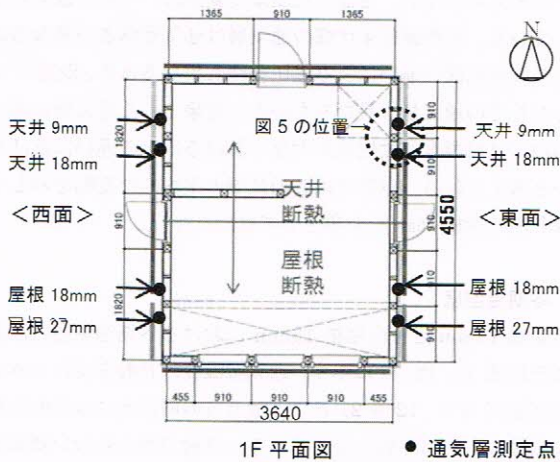


図 4 通気層上下端の納まり



1F 平面図 ● 通気層測定点

図 5 通気層厚さの配置

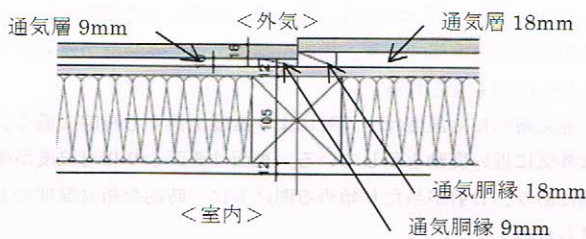


図 6 胴縁による通気層厚さの調整 (図 5 丸囲み部の水平断面)

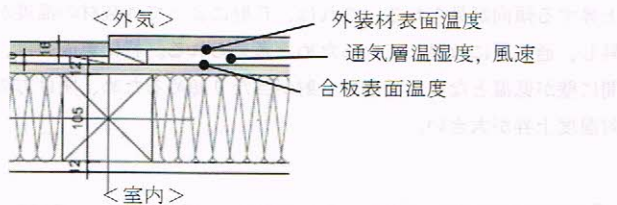


図 7 温湿度測定位置

## 2.2. 温湿度測定

1 階の中央高さ (FL+1200mm) において、通気層の温湿度と風速を測定し、建物近傍の高さ約 7m の位置にて、外気温湿度と外部風向・風速、水平面全天日射量を測定した。通気層内の測定位置を図 7 に示す。通気層の温度は T 型熱電対、相対湿度は電子抵抗式湿度センサ (CHS-UPS, TDK 製、精度  $\pm 3\%RH$ )、通気層内風速は、無指向性の風速風温プローブとアナログ変換器 (QB-10 と MONITOR-N, いずれも (株)Tohnic 製、精度  $\pm 5\%FS$ ) により測定した。外気温湿度と外部風向・風速、全天日射量の測定には、気象計測器 (Vantage Pro2, Davis 社製) を用いた。気象計測器の精度は、温度  $\pm 0.5^\circ C$ 、相対湿度  $\pm 3\%RH$ 、風速 1m/s である。温湿度は 10 分間隔、風速、風向、日射量は 1 分間隔でそれぞれ瞬時値を記録した。測定期間は、2010 年 3 月から 2011 年 5 月である。

## 3. 測定結果

### 3.1. 夏期温湿度

測定結果の一例として西面屋根 18mm における夏期通気層内温湿度を図 8 に示す。室内は冷房など行わない自然状態である。通気

層の温度は、日射が当たる時間を除くと外気温と同じかやや高い値で変動している。日射が当たると外気温より高くなり、外気との差は約  $15^\circ C$  に達する。外装材の通気層側表面温度は  $50^\circ C$  を超える日もあり、合板の通気層側表面温度との差は  $8^\circ C$  近くを示している。通気層温度は両者の間の値をとっている。夜間は外気に近い部位ほど温度が低い。

通気層の相対湿度は、温度変動に応じておよそ 20~90% で変動している。外装材と合板の表面温度が通気層の露点温度より高いことから、通気層内で結露を発生させるほどではないものの、外気と同様、日射が当たり始める明け方に高湿度となっている。

通気層の絶対湿度には温度と同様、日射の当たる時間に上昇する傾向が見られる。その際には外気より絶対湿度が高くなることもあるが、ほとんどの時間において外気より低い値で推移している。また、通気層の温度が日射の影響を受けながら緩やかに変動しているのに対し、通気層の絶対湿度には振幅が  $1\sim 2g/kg(DA)$  程度の小刻みな振動が見られる。

東面屋根 18mm (図 9) では、日射が当たる午前中に通気層の温度が上昇している。通気層の相対湿度が温度変動に応じて変動する傾向は西面と同じである。通気層の絶対湿度は、西面に比べてやや高いものの、夜間に外気より低くなり日中に外気と同じ程度になる点、小刻みに振動している点は西面と同様である。8 月 6 日の結果に見られるように、日射が当たり始める時刻の絶対湿度上昇が大きく、それは相対湿度が一時的に上昇する要因となっている。

室内の絶対湿度低下時に通気層の絶対湿度が上昇するなど、東西面いずれの結果においても通気層と室内の温湿度変動には相関関係は見られない。通気層の温湿度は室内温湿度変動の影響を受けず、外気温湿度と壁面日射量によって決定されていることが考えられる。通気層が断熱層および防湿層の外側にあるためであり、断熱・防湿された外壁に共通の特徴であると推定される。

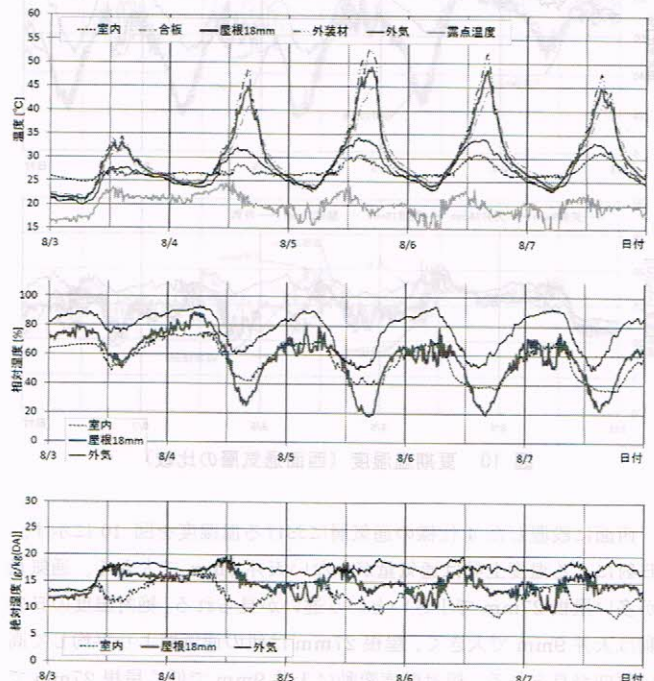


図 8 夏期温湿度 (西面屋根 18mm)

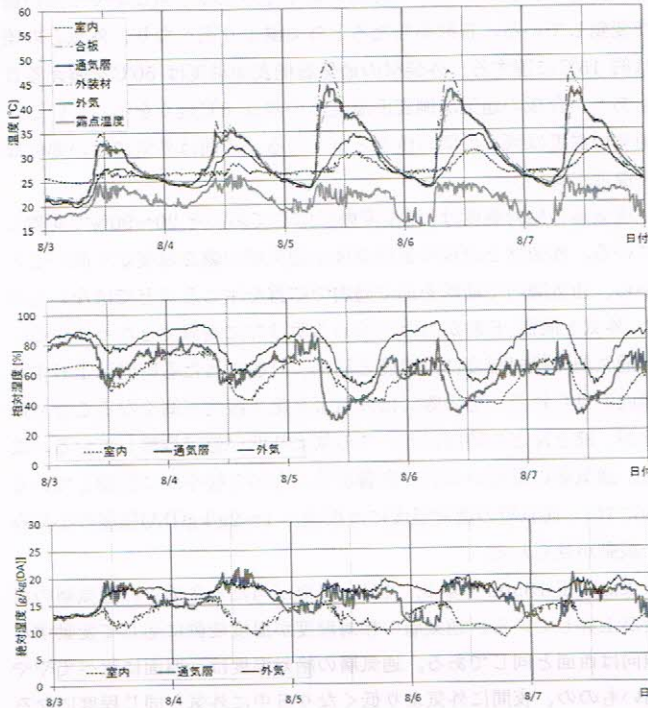


図9 夏期温湿度（東面屋根 18mm）

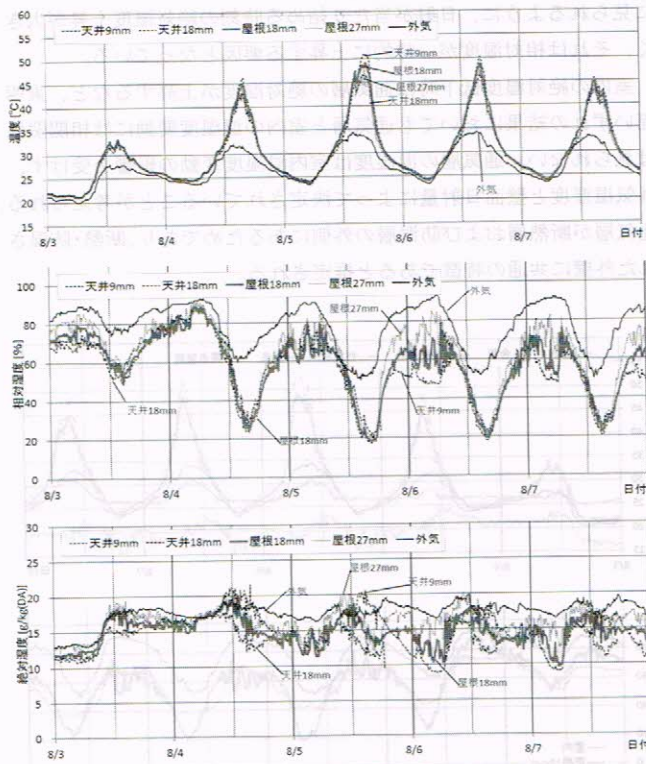


図10 夏期温湿度（西面通気層の比較）

西面に設置した4仕様の通気層における温湿度を図10に示す。日射による温度上昇は通気量が少ない天井9mmで大きく、通気量が多い屋根27mmで小さいという違いが見られる。絶対湿度の日変動は天井9mmで大きく、屋根27mmは他の通気層より平均して高い傾向が見られる。相対湿度変動は天井9mmで低く屋根27mmで高い。これらの違いは通気層厚さおよび通気量の違いに起因してい

ることが考えられるが、定性的な温湿度変動はいずれの通気層にも共通している。東西面各4仕様の通気層は通気層厚さが異なることに加えて設置位置の違いによる風圧条件も異なるため、既報<sup>15)</sup>で示したとおりその通気量は異なるものの、対象とした通気層仕様の違いにおいては温湿度変動性状が大きく異なるほどの違いは及ぼしていないと考えられる。以降では各通気層の平均的な変動を示している東西各面の屋根18mmを対象として検討を行う。

### 3.2 冬期温湿度

西面屋根18mmと東面屋根18mmにおける冬期通気層内温湿度をそれぞれ図11、図12に示す。通気層温度は日射を受けて外気より約10°C高くなり、12月21日など晴天日の明け方には放射冷却により外気より約3°C低くなっている。日射が当たらない時間は夏期と同様、外気とほぼ同じ温度である。日中のピーク時、外装材の温度は通気層より高いものの、合板は通気層とほぼ同じ温度を示しており、夏期と性状が異なっている。夜間における断面方向の温度勾配は夏期と同様であり、放射冷却によって外装材が外気より低温となる時間も見られる。

通気層の相対湿度は、日射により温度上昇する時間に低く、夜間は外気に近い変動を示している。東面は西面より相対湿度が高い傾向にあり、日射が当たり始める明け方に一時的な相対湿度の上昇が見られる。

通気層の絶対湿度は外気絶対湿度と同様の変動をしているが、外気よりやや低い値を示している。温度と同様、日射の当たる時間に上昇する傾向が見られる。これは、日射によって外装材の温度が上昇し、通気層に放湿しているためと考えられる。特に東面では、夜間に壁が低温となった状態で日射が当たり始めるため、明け方の絶対湿度上昇が大きい。

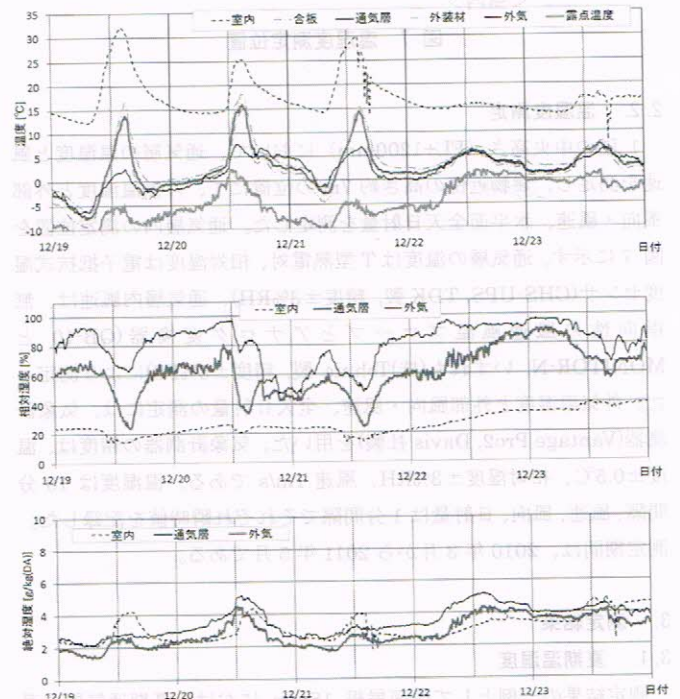


図11 冬期温湿度（西面屋根 18mm）

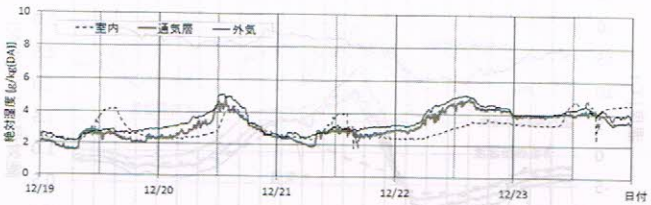
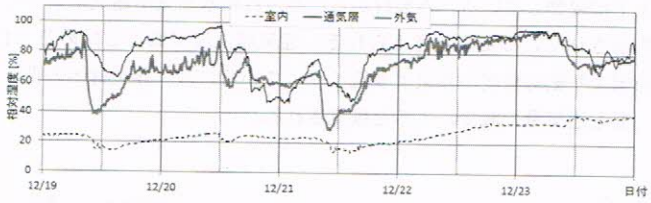
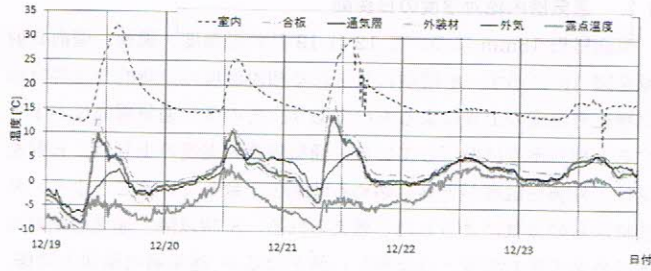


図 12 冬期温湿度 (東面屋根 18mm)

### 3.3. 年間温湿度変動

西面屋根 18mm について、全測定期間における通気層温度と通気層絶対湿度を外気温湿度と共にそれぞれ図 13、図 14 に示す。2010 年 8 月 29 日～12 月 5 日は欠測である。

3.1 と 3.2 で示した通気層温湿度の性状は年間を通して確認され、通気層の温度は外気温に追従しながら、日射を受けて外気温より高くなるという変動を示し、通気層の絶対湿度は、年間を通して外気絶対湿度に追従して変動しているものの、外気よりやや低い値を示している。特に夏期は通気層の絶対湿度が外気より低くなっている。

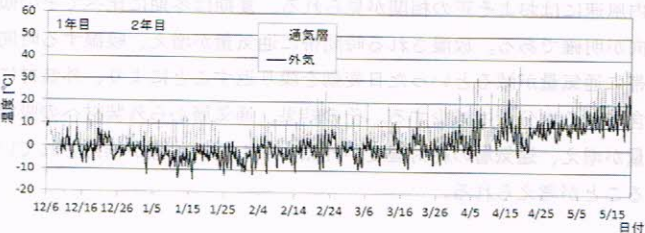
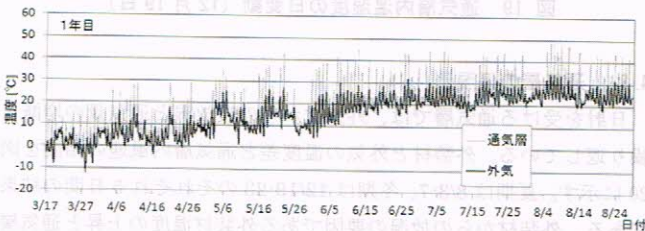


図 13 通気層温度の年変動 (西面屋根 18mm)

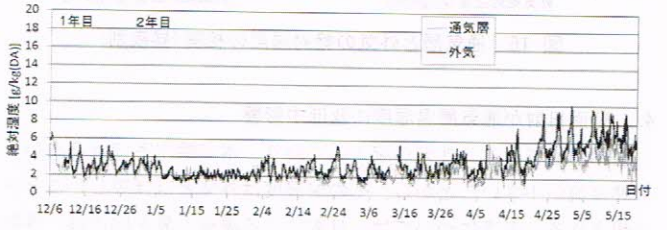
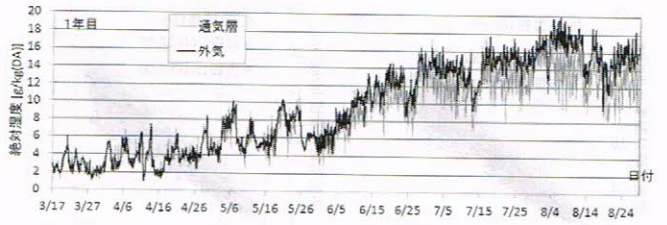


図 14 通気層絶対湿度の年変動 (西面屋根 18mm)

通気層と外気の絶対湿度を季節ごとに比較する。春期(1年目)、夏期、冬期、春期(2年目)の各 2 週間について、通気層と外気の絶対湿度の平均値を表 2 に示す。

竣工直後の春期(1年目)では通気層と外気の絶対湿度平均値はほぼ等しいのに対し、夏期には通気層の値が低くなっている。冬期に差が小さくなるものの、春期(2年目)に再び湿度差が生じている。1年目春期と比べて 2年目春期の湿度差が大きく、通気層の絶対湿度が低くなっている。

表 2 季節ごとの絶対湿度平均値 [g/kg(DA)]

	春(1年目)	夏	冬	春(2年目)
期間	2010/5/1-14	2010/8/1-14	2011/1/1-14	2011/5/1-14
外気	6.10	16.63	2.31	6.77
通気層	5.85	14.29	2.17	4.95
差	0.25	2.34	0.14	1.82

日中を 6:00-18:00、夜間を 18:00-6:00 とし、全測定期間の通気層温湿度を昼夜別に外気温湿度と比較する(図 13、図 14)。通気層温度は夜間に外気とほぼ等しく、日中に外気温と同じか外気温 + 20°C 程度を示している。絶対湿度は、日中に外気とほぼ等しく、夜間はばらつきが大きいものの、外気より 3~5g/kg 程度低い傾向が見られる。

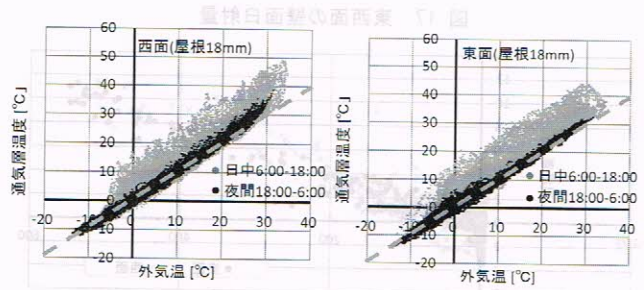


図 15 通気層温度と外気温の相関(昼夜別)

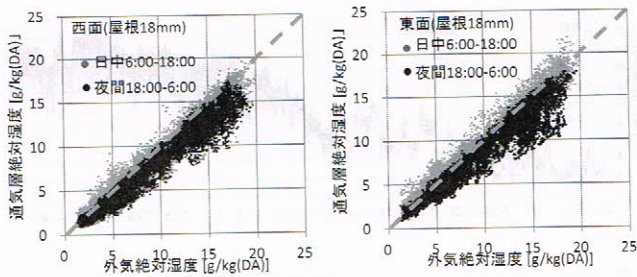


図 16 通気層と外気の絶対湿度の相関(昼夜別)

#### 4. 壁面日射が通気層温湿度に及ぼす影響

壁体内通気層には外気が流入しており、本実験住宅では室内からの熱湿流が小さいことから、その温湿度は外気とほぼ等しいことが予想される。温度については、日射による温度上昇を除けば、外気に追従する測定結果が得られていると考えられる。一方、絶対湿度は平均して外気より低くなっており、外装材の吸放湿による変動のみでは説明できない。

そこで本節では、図 11 と図 12 に示した東西面屋根 18mm での冬期測定結果を対象として、通気層絶対湿度が外気絶対湿度より低くなる要因について検討する。

##### 4.1. 日射による通気

対象期間における東西面の壁面日射量を図 17 に示す。壁面日射量は実験住宅の西面、東面の外壁の中心に設置した日射計 (LP02-J-10、Hukseflux 製) により測定し 1 分間隔で瞬時値を記録した。壁面日射量に対する通気層内外温度差の相関を図 18 に示す。通気層内外温度差と前の時刻の日射量との相互相関が高かった時間 (東面で 40 分前、西面で 60 分前) の壁面日射量と比較した結果である。壁面日射量と通気層内外温度差には比例関係が見られ、通気層の温度は東西面とも、壁面日射量  $100\text{W}/\text{m}^2$  あたり約  $2\text{K}$  上昇している。既報<sup>19)</sup>で得られた通気層内外温度差と通気層内風速の関係より、 $400\text{W}/\text{m}^2$  の壁面日射量が  $0.25\sim 0.5\text{m}/\text{s}$  の通気層内風速を生じる駆動力となっていることが推定される。

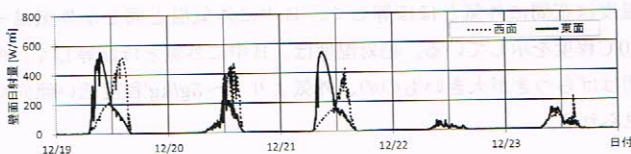


図 17 東西面の壁面日射量

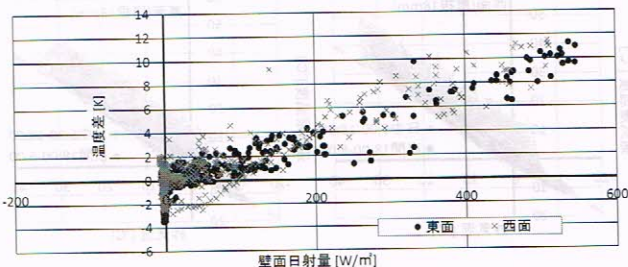


図 18 壁面日射により生じる通気層内外温度差

##### 4.2. 通気層内絶対湿度の日変動

東面屋根 18mm について 12 月 19 日の温湿度、風速、壁面日射量を図 19 に示す。8 時頃に見られる相対湿度の一時的な上昇は通気層絶対湿度の上昇によるものであり、その後、通気層温度が上昇すると相対湿度は低下している。通気層絶対湿度の上昇は、日射を受けて外装材温度が上昇し始める時刻と一致していることより、外装材からの放湿によるものと考えられる。8 時以降、通気層絶対湿度は外気の絶対湿度とほぼ等しい値となるが、通気層内風速と同様、上下に変動している。外装材から放湿された水蒸気が通気層によって排湿されているためと考えられる。通気層温度が低下し始める 11 時頃より絶対湿度が外気より低くなっているのは、外装材への吸湿と通気量の減少によると推測される。

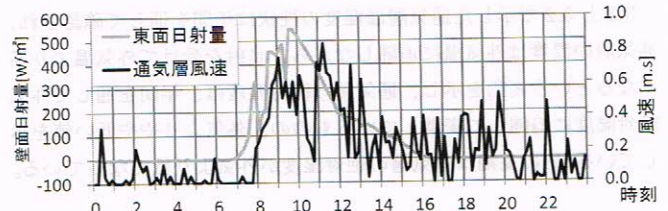
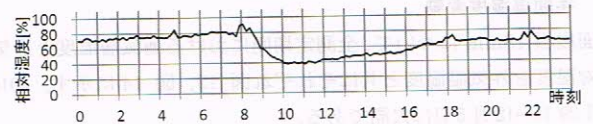
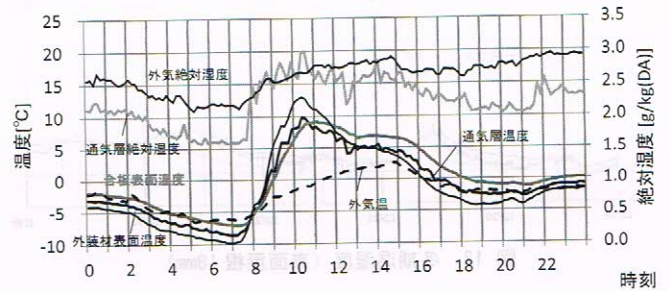


図 19 通気層内温湿度の日変動 (12 月 19 日)

##### 4.3. 通気層の低湿化

日射を受ける通気層では、外装材からの吸放湿と通気量の増減を繰り返している。外装材と外気の温度差と通気層内風速の相関を図 20 に示す。夏期は 8/3-7、冬期は 12/19-23 のそれぞれ 5 日間の結果である。外装材からの放湿の要因である外装材温度の上昇と通気層内風速にはおよそ正の相関が見られる。夏期は冬期に比べてその傾向が明確である。放湿される時間帯に通気量が増え、吸湿する時間帯に通気量が減るといった日変動を繰り返すことにより、外装材に含まれる水分量は減少する。その結果、通気層から外装材への吸湿量が増え、通気層の絶対湿度が外気よりも低い状態が維持されることが考えられる。

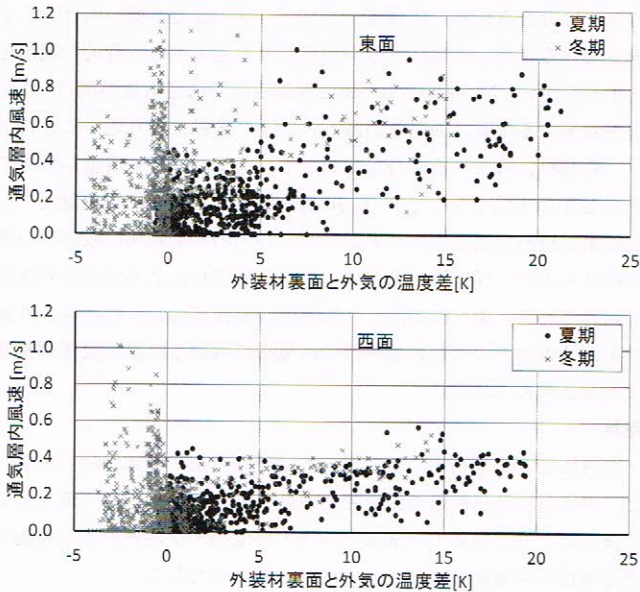


図 20 外装材と外気の温度差と通気層内風速の相関  
(屋根 18mm、上：東面、下：西面)

### 5. 数値解析による温湿度性状の把握

通気層内温湿度の数値解析により、測定結果の再現を試みた。解析の対象としたのは西面屋根 18mm の通気層である。

#### 5.1. 数値解析の概要

解析に用いた壁体の熱水分移動の基礎式を式(1)、(2)に、境界条件を式(3)、(4)に、通気層空気の熱水分収支を式(5)、(6)示す。材料内の熱水分移動は壁面法線方向に一次元の熱水分同時移動とし、 $\kappa$ 、 $\nu$  は前時間の相対湿度を用いて平衡含水率曲線より求める非線形な扱いとした。水分移動は絶対湿度をポテンシャルとし、蒸気拡散支配とした。材料内で結露を生じた場合の結露水は排水されることとし、材料内の蓄積や液水移動は考慮していない。透湿防水シートの熱および湿気容量は小さいため無視し、合板との間に空気層を生じることによる熱伝達抵抗および透湿防水シート自身の透湿抵抗を与えた。同様に、防湿シートの熱および湿気容量は無視し、透湿抵抗のみを考慮した。

$$\text{壁体熱収支} \quad (C_p + Lv) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + L\kappa \frac{\partial X}{\partial x} \quad (1)$$

$$\text{壁体水分収支} \quad (\varepsilon \rho_{air} + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda' \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \nu \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

$$\text{壁体境界条件} \quad -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha_c (T_{out} - T) + 0.5\varepsilon_w (E_s - E_w) + A_s J_s \quad (3)$$

$$-\lambda' \frac{\partial X}{\partial n} = \alpha' (X_{out} - X) \quad (4)$$

$$\text{通気層の熱収支} \quad C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_c (T_s - T) + C_p V (T_{out} - T) \quad (5)$$

$$\text{通気層の水分収支} \quad \rho_{air} \frac{\partial X}{\partial t} = \alpha' (X_s - X) + \rho_{air} V (X_{out} - X) \quad (6)$$

ここで、 $C_p$  は熱容量[J/m<sup>3</sup>K]、 $L$  は潜熱[J/g]、 $\nu$  は温度変化に対する含水率変化率[g/m<sup>3</sup>K]、 $T$  は温度[°C]、 $\lambda$  は熱伝導率[W/mK]、 $\kappa$  は絶対湿度変化に対する含水率変化率[g/m<sup>3</sup>(g/kg<sup>-1</sup>)]、 $X$  は絶対湿度[g/kg<sup>-1</sup>]、 $\varepsilon$  は空隙率[m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>]、 $\rho$  は密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $\lambda'$  は湿気伝導率[g/ms(g/kg<sup>-1</sup>)]、 $\alpha_c$  は対流熱伝達率[W/m<sup>2</sup>K]、 $\alpha'$  は湿気伝達率[g/m<sup>2</sup>s(g/kg<sup>-1</sup>)]、 $\varepsilon_w$  は長波長放射率[-]、 $E_s$  は大気の放射能[W/m<sup>2</sup>]、 $E_w$  は壁表面の放射能[W/m<sup>2</sup>]、 $A_s$  は外壁の日射吸収率[-]、 $J_s$  は壁面日射量[W/m<sup>2</sup>]、 $V$  は通気量[m<sup>3</sup>/s]、添字の out は外気、air は空気、s は建材表面を示す。

外気と室内の温湿度測定値を境界条件として与えた。日射は水平面全天日射量の測定値を渡辺<sup>16)</sup>の式により直散分離して壁面日射量を算出し夜間輻射と長波長放射とともに等価外気温として与えた。

通気層内の流れは層流であり図 21 のような風速分布であると想定し、通気層内風速の測定値より通気量を算定した。

計算に用いた材料の物性値を表 3 に、対流熱伝達率および湿気伝達率を表 4 に示す。材料の物性値は主に文献<sup>17)</sup>によるが、外装材の熱湿気伝導率、透湿防水シートの熱湿気抵抗は、実験住宅で用いた通気層温湿度の測定値と合うよう適切な値を設定した。外部風速や通気層内風速の変動によらず一定値を用いた。

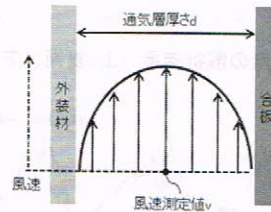


図 21 通気層内風速分布の想定

表 3 解析に用いた材料の物性値<sup>17)</sup>

材料	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$\lambda'$ [g/ms (g/kg(DA))]	$C_p$ [J/m <sup>3</sup> K]	$\varepsilon$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
外装材	1000	0.35	$1.6 \times 10^{-6}$	840	0.53
合板	550	0.16	$3.1 \times 10^{-7}$	1.880	0.60
グラスウール	16	0.038	$2.2 \times 10^{-5}$	840	0.99
せっこうボード	700	0.22	$4.0 \times 10^{-6}$	870	0.70
	熱伝達抵抗[m <sup>2</sup> K/W]		透湿抵抗[m <sup>2</sup> s(g/kg(DA))/g]		
透湿防水シート	0.18		$1.04 \times 10^3$		
防湿シート	-		$5.0 \times 10^5$		

表 4 解析に用いた対流熱伝達率および湿気伝達率

	$\alpha_c$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\alpha'$ [g/m <sup>2</sup> s(g/kg(DA))]
外気側表面	9.0	$10.00 \times 10^{-3}$
通気層	2.0	$2.27 \times 10^{-3}$
室内側表面	4.1	$4.53 \times 10^{-3}$

#### 5.2. 解析結果

冬期、夏期の解析結果について、通気層温度を図 22 に、通気層絶対湿度を図 23 に示す。日射が当たる時間の温度上昇がやや小さいものの、通気層温度の計算値は実測値を概ね再現している。

絶対湿度は、日射を受けて温度が上がる時間において実測値と比べて大きい解析結果となっているものの、その他の時間では実測値に近い値を示している。夜間などに通気層の絶対湿度が外気の絶対湿度より低くなる性状が確認できる。

通気層に面している外装材および合板の吸放湿量の解析結果を通気層風速の測定値とともに図 24 に示す。吸放湿量は通気層への放湿を正、通気層からの吸湿を負で表している。外装材は温度が上昇する 15:00 頃の時間まで放湿し、その後明け方まで吸湿する。合板も日射が当たり温度が上がるとともに放湿を始めるが、外装材よりも早く吸湿を始める。これは、外装材からの放湿量が多く、通気層が高湿度となるためと考えられる。外装材に比べて吸放湿量は非常に少ない。通気層風速は外装材や合板が放湿する日中に大きい傾向にあり、外装材の放湿より数時間遅れて通気層風速がピークとなる日変動が多くみられる。日射を受けて高温となった外装材から放湿された水分は一部が合板に吸湿されながら、大部分は通気により排湿されており、4.3. 節で通気層の低湿度の要因として推定した外装材の吸放湿と通気層内風速の日変動が示されている。

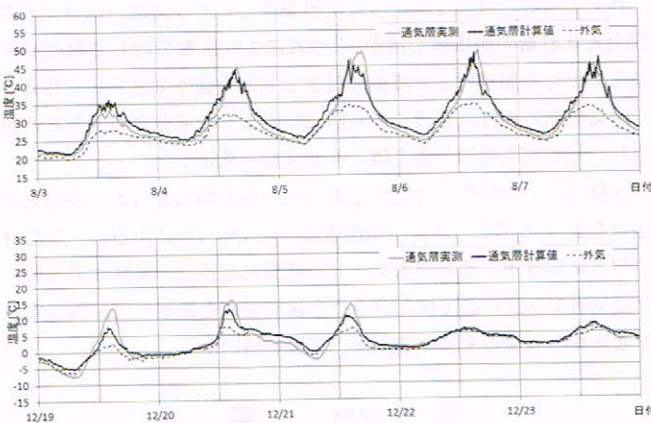


図 22 通気層温度の解析結果 (上:夏期、下:冬期)

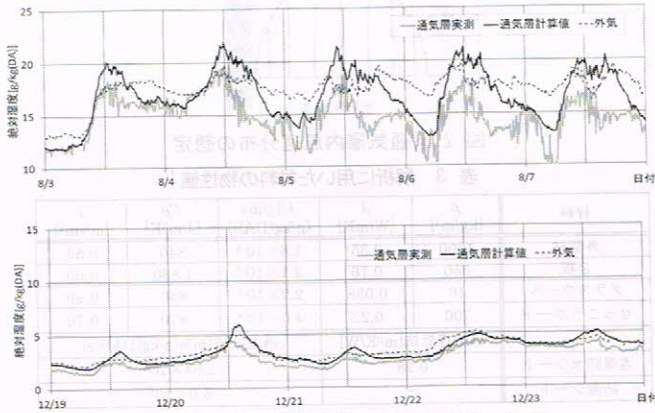


図 23 通気層絶対湿度の解析結果 (上:夏期、下:冬期)

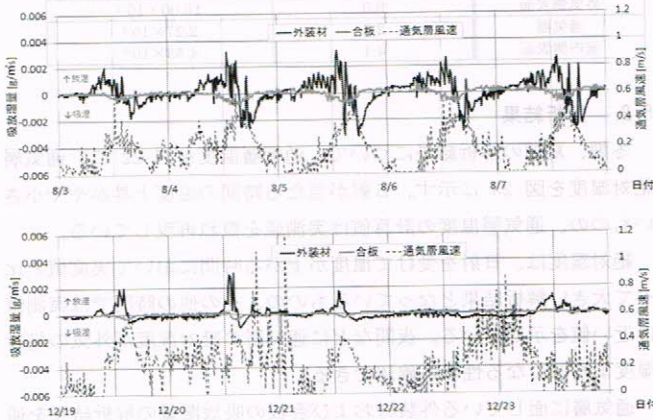


図 24 吸放湿量の解析結果 (上:夏期、下:冬期)

## 6. まとめ

実験住宅における長期実測調査および数値解析を行い、本研究で対象とした吸放湿性を有する外装材を用いた壁体内通気層について、その温湿度変動の特性を明らかにした。1) 本実験住宅のように断熱および室内防湿がなされた外壁の壁体内通気層では、通気層内温湿度は室内温湿度の影響をほとんど受けておらず、外気温湿度に追従して変動している。2) 通気層の温湿度は壁面日射量の影響を強く受けており、日中は外気より 20~30℃高い温度となる。3) 壁面への日射は通気層内外温度差による通気の駆動力となるため、放湿された水蒸気が排湿されやすく、通気層内絶対湿度の上昇は外気と同

等以下に抑えられる。4) 東面の壁では、壁の温度が低い明け方に日射を受けるため、外装材からの放湿による通気層の一時的な高湿化を生じやすい。5) 外装材から放湿される日中に通気量が増え、外装材が吸湿する夜間に通気量が減るという日変動を繰り返すことにより、外装材に含まれる水分量は減少し、通気層の絶対湿度が外気の絶対湿度より低くなっている。6) 数値解析により通気層温湿度の測定結果を概ね再現した。日射が当たる時間の解析結果に改善の余地が残るものの、通気層の低湿化、および外装材による吸放湿の性状が確認された。3)~6)に記した外装材の吸放湿による性状は、外装材裏面で吸放湿が行われる構成の通気層に共通した温湿度変動特性であると考えられる。

## 謝辞

実験住宅の実測利用は岩手県立大学盛岡短期大学の協力を受けた。本研究は自立循環型住宅開発委員会第3フェーズの一環として実施した。また内容の一部は平成23年度国土交通省住宅・建築関連先進技術開発助成事業として実施したものである。

## 参考文献

- 1) 水谷章夫, 大澤徹夫, 宮野秋彦: 垂直通気層の放湿効果におよぼす温度差の影響 通気層による構造体の防湿効果に関する研究 その3, 日本建築学会計画系論文報告集 第389号, pp.37-45, 1988.7.
- 2) 鎌田紀彦, 鈴木大陸, 廣田誠一: 寒冷地における繊維系断熱材を充填した木造壁体の内部結露の防止構法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集 第513号, pp.39-45, 1998.11.
- 3) 鈴木大陸, 廣田誠一, 福島明: シート状防風材を用いた木造断熱壁における通気層空隙の確保に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集 第480号, pp.123-128, 1996.2.
- 4) 田中秀弥, 池田哲朗: 通気工法における壁体内結露性状とその被害についての検討, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.89-92, 1999.6.
- 5) 石田卓, 須貝高, 尾崎明仁, 蔵重裕行: 断熱壁体の内部結露とその防止に関する研究 その1 夏季・冬季の屋外比較実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.337-338, 1995.8.
- 6) 角倉輝典, 本間宏他: 密度差換気のなされる中空壁体の伝熱特性についてその14, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.107-108, 2002.6.
- 7) 石原修, 酒井孝司, 田島美沙子, 上森清美: 外張断熱通気工法における壁体内通気層の熱・通気特性に関する研究, 日本建築学会計画系論文集 第502号, pp.29-36, 1997.12.
- 8) 赤坂裕, 武田和大: 通気層を有する外壁, 屋根の遮熱・断熱効果の計算法, 日本建築学会環境系論文集 第595号, pp.33-40, 2005.9.
- 9) 須奈洋年, 土屋喬雄, 永峰章: 外壁通気層の防湿防暑効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D, pp.1431-1432, 1989.10.
- 10) 小野公平, 須貝高, 渡辺俊行, 龍有二, 尾崎明仁, 赤司泰義, 蔵重裕行, 宮副泰彰, 加藤誠, 田中崇浩: 高断熱壁体の夏季・冬季の湿害防止に関する研究 その1 通気層の効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.285-286, 1997.9.
- 11) 佐々木隆, 橋本直樹, 荒谷登: 日射と風力変動による通気性状, 断熱壁体通気層の除湿換気動力源に関する研究 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D, pp.1105-1106, 1987.10.
- 12) 橋本直樹, 佐々木隆, 荒谷登: 通気層の内部構造を考慮した風力換気性状の検討, 断熱壁体通気層の除湿換気動力源に関する研究 その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D, pp.1107-1108, 1987.10.
- 13) 梅野徹也, 鈴木修一: 壁体内通気層の通気量に及ぼす外部風の影響に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.817-818, 2010.9.
- 14) 鈴木修一, 池田哲朗, 新田勝通: エース建築環境工学II-熱・湿気・換気-, 朝倉書店, p.152, 2002.3.
- 15) 梅野徹也, 鈴木修一, 齋藤宏昭, 本間 義規: 壁体内通気層における防露性能の実態に関する研究 実験住宅における通気量の実態把握, 日本建築学会環境系論文集 第694号, pp.909-916, 2013.12.
- 16) 渡辺俊行, 浦野良美, 林徹夫: 水平面全天日射量の直散分離と傾斜面日射量の推定, 日本建築学会論文報告集 第330号, pp.96-108, 1983.8.
- 17) 社) 日本建築学会: 建築材料の熱・空気・湿気物性値, 2001.10.



# FIELD SURVEY OF HYGRO-THERMAL CHARACTERISTICS IN AN EXPERIMENTAL HOUSE

A study of anti-condensation performance in the vented air space of exterior walls Part 2

*Tetsuya UMENO*\*, *Shuichi HOKOI*\*\*\*, *Hiroaki SAITO*\*\*\*  
and *Yoshinori HONMA*\*\*\*\*

\* Sekisuihouse Co., Ltd., Institute of Research and Technology, Dr.Eng.

\*\* Prof. Emeritus, Kyoto University, Dr.Eng.

\*\*\* Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Division of Architecture and Civil Engineering, Ashikaga Institute of Technology, Dr.Eng.

\*\*\*\* Prof., Faculty of Human Life Science, Department of Life Style and Space Design, Miyagi Gakuin Women's University, Dr.Eng.

Most exterior walls of wooden residential buildings in Japan have a vented air space between the exterior cladding and insulation. This air space is designed to dehumidify exterior walls by discharging humidity to the outside and taking outdoor air into the walls, in order to decrease the risk of condensation on exterior walls in winter.

Many studies have been carried out on vented air space, and the most effective thickness for dehumidification has been determined. However, most of these studies have only investigated the performance of vented air spaces under laboratory conditions, and the characteristics of vented air spaces in the field have not been clarified. Our previous study clarified the characteristics of ventilation volume through the vented air space based on field measurements. This study continues that work by reporting on the hygro-thermal characteristics of vented air space.

Temperature and humidity were measured in an experimental house built in Iwate prefecture, and the hygro-thermal characteristics of the vented air space were verified. Temperature and humidity in the vented air space were affected by the outdoor temperature and humidity during most periods of time, except when the wall was exposed to solar radiation. Indoor temperature and humidity had less of an effect on the vented air space, because the walls of the experimental house are well insulated and highly moisture proof. The temperature of the vented air space is 20 or 30 degrees higher than the outdoor temperature when exposed to the sun during the day, and the humidity of the vented air space also rises. It is thought that the rise in humidity is due to moisture desorption from the exterior cladding. The vented air space of the east wall that is exposed to the sun in the early morning tends to have high humidity for a short time because moisture desorption from exterior cladding occurs when the temperature of the wall is low.

Solar radiation on the wall also produces a temperature difference between the vented air space and the outside that is one of the driving forces of ventilation in the vented air space. So ventilation volume tends to be high when the wall is exposed to the sun, and low at night time. This means that ventilation volume in the vented air space is high during moisture desorption from the exterior wall cladding and low during moisture absorption. As a result, most of the desorbed moisture from the exterior cladding is discharged well by the ventilation, and the absolute humidity in the vented air space is kept lower than that outdoors. Through long-term measurement of the hygro-thermal characteristics of the vented air space, it was shown that absolute humidity of the vented air space is lower on the average than the outdoor air due to daily variation in ventilation volume and moisture absorption by the exterior cladding.

A numerical simulation was conducted and the results of the field survey were simulated. The hygro-thermal characteristics of the vented air space, moisture absorption by the exterior cladding and drying of the vented air space over the long term were generally confirmed.

(2015年12月10日原稿受理, 2016年7月26日採用決定)