

多数室温湿度シミュレーションに基づく窓面結露性状の把握  
開口部の断熱強化に関する研究 その1

断熱戸, 開口部, 結露  
多数室換気, 熱水分同時移動, 逐次積分法

正会員 本間義規 1\* 正会員 清水則夫 3\*\*  
正会員 菅原正則 2\*\* 正会員 瀬戸裕直 4\*\*\*\*

1. はじめに

開口部の断熱強化は、住宅の省エネルギー化と自然エネルギーのパッシブ利用には欠かせない。その手法として内側に断熱戸を用いるアイデアは古くからあるが、そうした工夫を躊躇させるいくつかの要因がある。本研究では、その要因のひとつである、断熱戸を用いた場合の窓中空層における外窓での結露性状について検討する。

2. 数値計算手法

空間の水分状態は、水分発生量と水分移流量、壁体等への吸放湿量のマスバランスで決定する。本研究では、窓中空層への水分移動をより現実に近いかたちで扱うため、窓中空層も1室とみなした多数室熱収支バランスを計算する。また、壁層に関してはハイグロスコピック領域における非定常熱水分同時移動扱いとする。壁層部分の基礎式を(1), (2)式に、境界条件を(3), (4)式に示す。室の熱水分収支式は(5), (6)式に示すとおりで、これらを逐次積分法で計算する。なお換気計算に関しては瞬時定常で扱うが、1タイムステップ前の温度を利用することにより簡略化を図る。

3. 外窓表面の結露水の凝固・蒸発量の扱い

結露量は絶対湿度差と水蒸気の物質移動係数によって決定する。窓中空層は基本的に半密閉空間であるから、通常の表面よりはるかに小さな湿気伝達になっていることが想定される。そこで、結露が生じると想定されるガラス表面の物質移動係数 $K_c$ はSh数から(7)式で算出することにした。ガラス表面近傍風速が高くなるほど、すなわちRe数が大きくなるほど物質移動係数は大きくなるが、ここでは層流を仮定し $Re=1500$ (一定値)を採用した。

建築材料の水分収支式  $(\Phi_0 \gamma' + \kappa) \frac{\partial X}{\partial t} - v \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_x \nabla^2 X$  (1)

建築材料の熱収支式  $-r\kappa \frac{\partial X}{\partial t} + (c\rho + rv) \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T$  (2)

湿気伝達境界条件  $-\lambda_x \frac{\partial X}{\partial n} = \alpha'_x \cdot (X_o - X)$  (3)

熱伝達境界条件  $-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \alpha \cdot (T_o - T)$  (4)

室の水分収支  $\Gamma \frac{dX_r(t)}{dt} + \sum_{i=1}^N \alpha'_i \cdot S_i \cdot (X_r - X_{surf_i}) + G \cdot (X_r - X_o) = W(t)$  (5)

室の熱収支  $c\Gamma \frac{dT_r(t)}{dt} + \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i \cdot (T_r - T_{surf_i}) + cG \cdot (T_r - T_o) = H(t)$  (6)

ガラス面の物質移動係数 シャーウッド・ウィリアムズの数  $K_c = \frac{Sh \cdot D}{l}$  (7)

$Sh = 0.43 \cdot Sc^{\frac{1}{3}} \cdot Re^{0.56}$  (8)

4. シミュレーション条件と計算モデル

図1に示すような総2階建て(延床面積120m<sup>2</sup>)の5室モデル(床下, 1F居室, 1F窓開口部, 2F居室, 2F窓開口部)を対象とする。断熱性能と気密性能・換気量設定を表1に示す。1Fおよび2Fの開口部に押出発泡ポリスチレン3種bを10mmおよび20mmの2水準の厚みで設置する。断熱戸の隙間配分は、実験によって得た引き違いモデルの隙間分布・量をベース(表2)に、その量を0.5倍および0.25倍とする3水準で検討する。

窓面結露は、外気温度が低下し、長波長放射量が増える夜間に増えるが、そのときの室温も大きく影響する。そのため、全日暖房(20)の場合と日中20設定(6~22時20)かつ夜間暖房停止の2水準で考慮している。水分発生量は住宅全体で10.033kg/dayとした<sup>1)</sup>。気象データは盛岡(地域)、仙台(地域)、東京(地域)の拡張アメダス気象データを用いており<sup>2)</sup>、材料の熱湿気物性値は文献3の値を用いた。2年の助走計算を行い、3年目の1月1ヵ月間のデータを用いて考察する。

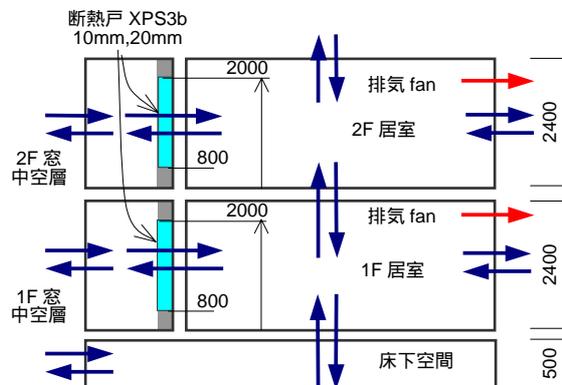


図1 計算モデルと移流に関する空間接続構造

表1 計算モデルの部位層構成(外内)・換気量設定

外壁	(通気層)+合板12mm+GW16k100mm +PE0.2mm+合板12mm
天井	(小屋裏)+GW16k200mm+PE0.2mm+合板9mm
1・2F床	合板30mm
基礎	XPS3b100mm+コンクリート120mm
開口部	1F:14.4m <sup>2</sup> , 2F:14.4m <sup>2</sup> (床面積比率24%) PVCペア(2.5W/m <sup>2</sup> K),窓枠ヒノキ30mm
気密性能	C=2cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> (基礎土台30%,開口部10%,取合部60%)
換気	0.1ach,0.5ach(3種セントラル,1F,2Fから等量排気)

表2 断熱戸(引き違いモデル)の隙間設定

部位	上下	左右	召合せ
隙間量(cm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	1.10	6.80	20.91

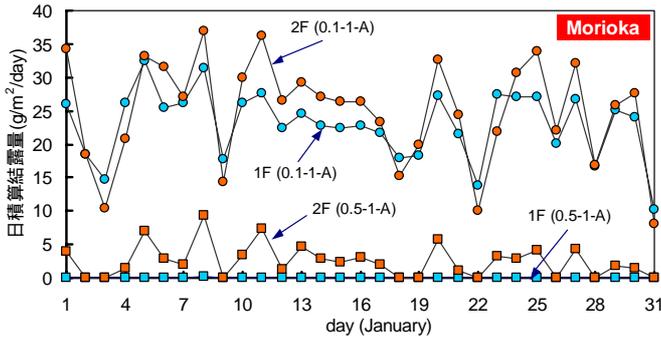


図2 居室換気量をパラメータとする場合の窓表面の日積算結露量比較(1月・盛岡)

### 5. シミュレーション結果と考察

シミュレーション結果の典型的な例を図2に示す。図中各線を示すカッコ内の記号は「換気量(0.5 or 0.1)」「断熱戸隙間量(1倍)」「暖房(A:全日, P:間欠)」を示している。図2は、断熱戸の隙間量、暖房方式を同一にし、居室の換気量を変化させたときの、各階外窓表面の日積算結露量の推移を示したものである。この結果より、1階の開口部よりも2階の開口部で結露量が多いこと、換気量が0.5achを確保していれば、1階開口部では結露を生じず、2階開口部の結露量も比較的少ないことがわかる。こうした性状は、中性帯より下にある1階部分は外気流入が支配的になり、中性帯より上にある2階部分は外気流出側になることが影響していること、また居室換気量の確保が結露防止に効果的であることがわかる。

図3~5に各地域におけるパラメータ要素毎の月平均日積算結露量に関するシミュレーション結果を示す。

全般的な傾向として、居室換気量が0.5ach確保されていれば1階開口部は地域・間欠暖房でも問題がなく、地域、地域と南下するにつれて2階の結露量も減少することがわかる。これは断熱戸の隙間量にほとんど依存しない。換気量が0.1achに低下すると当然ながら結露量が増加するが、断熱戸の隙間量をコントロールすることで結露発生量をかなり抑制することが可能である。夜間暖房停止が影響する結露はゼロではないが、それほど大きくはない。これは躯体の断熱性能が高いため、室温低下があまり大きくないからである。

### 6. まとめ

多数室温湿度シミュレーションにより、断熱戸を使用する際の外窓表面の結露性状について検討した。その結果、階数によって結露性状に違いが生じ、1階は比較的安全なこと、また基準法通りの換気量が確保されるならば、ある程度隙間量の大きな断熱戸でも結露被害を抑制できることを示した。より詳細な換気経路との組み合わせなども今後検討する予定である。

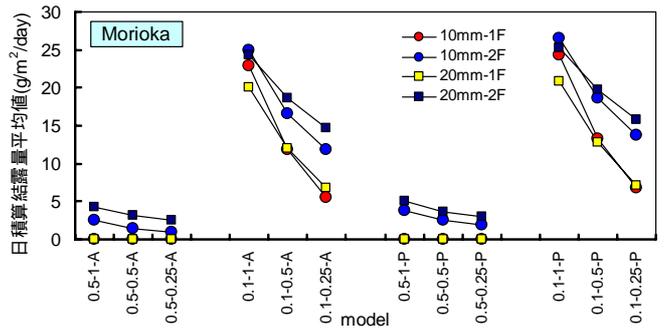


図3 各パターンの結露量比較(盛岡・地域)

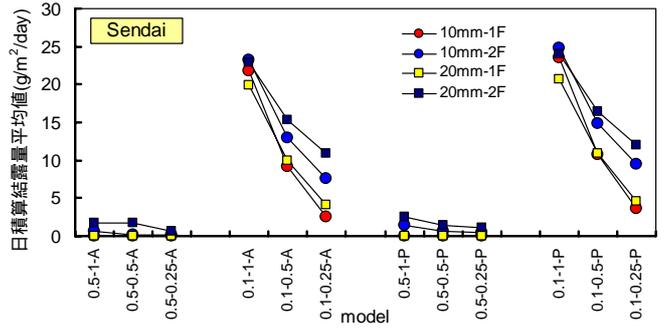


図4 各パターンの結露量比較(仙台・地域)

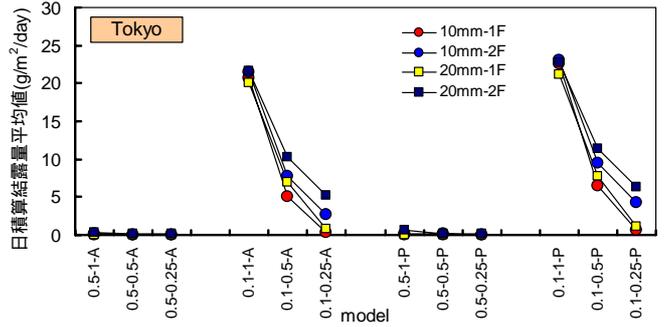


図5 各パターンの結露量比較(東京・地域)

### 謝辞

本研究は、国土交通省総合技術開発プロジェクト「循環型社会及び安全な環境の形成のための建築・都市基盤整備技術の開発」及び独立行政法人建築研究所研究課題「エネルギーと資源の自立循環型住宅に係る普及支援システムの開発」の一環として実施した。

本実験結果は、(財)ベターリビングの開発研究費(研究題目:開口部に付属部品を使用することによる省エネルギー効果に関する研究)の成果を引用している。記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 本間義規, 絵内正道, 福島 明, 鈴木大隆: 居室・外気からの空気移動が基礎断熱した床下温度環境に与える影響, 日本建築学会計画系論文集, No.548, P.23, 2001.10
- 2) 日本建築学会: 拡張アメダス気象データ, 2000
- 3) 日本建築学会: 建築材料の熱・空気・湿気物性値, 2001

### 記号表

T: 温度(°C), X: 絶対湿度(g/kgDA),  $\lambda$ : 湿気伝導率(g/ms(g/kgDA)),  $\alpha$ : 熱伝導率(W/mK),  $\beta$ : 絶対湿度変化に対する含水率変化率(g/m³(g/kgDA)),  $\gamma$ : 温度変化に対する含水率変化率(g/m³K), c: 材料比熱(J/kgK),  $\rho$ : 材料密度(kg/m³), r: 相変化熱(J/kg),  $\sigma$ : 対流熱伝達率(W/m²K),  $\tau$ : 湿気伝達率(g/m²s(g/kgDA)), W(t): 水分発生量(g/h), 発生熱量(W), D: 水蒸気の拡散係数= $2.65 \times 10^{-5}$  (m²/s), l: 代表長さ(m), v: 代表風速(m/s),  $\nu$ : 動粘度= $14.23 \times 10^{-6}$  (m²/s, 1011325Pa), Sc=0.615 (8)

1\* 岩手県立大学 盛岡短期大学部 助教授, 博士(工学)

2\*\* 宮城教育大学教育学部 助教授, 博士(工学)

3\*\*\* 財団法人ベターリビング環境性能試験室長, 博士(工学)

4\*\*\*\* 独立行政法人建築研究所 環境研究グループ 主任研究員

1\* Associate Prof., Morioka Junior College, Iwate Pref. University, Dr. Eng

2\*\* Associate Prof., Miyagi University of Education, Dr. Eng.

3\*\*\* Center for Better Living, Dr. Eng.

4\*\*\*\* Senior Researcher, Building Research Institute