

建築材料の吸放湿履歴が室内調湿に及ぼす影響の検討

正会員 ○池浦まり*1 同 小椋大輔*2 同 銚井修一*3

4.環境工学—9.湿気

吸放湿履歴、熱水分同時移動、調湿

1.序論

1-1 研究背景

建築材料として一般に使用される多孔質材料には吸放湿性があり、室内湿度の調整に利用される建築材料も開発されている。吸放湿材の効果に関わる因子として、特に平衡含水率は吸放湿性に大きな影響を与える物性値といえる。しかし、材料には同じ相対湿度であっても、その吸湿過程と放湿過程とで平衡含水率が異なり、過去の相対湿度の履歴が現在の状態に影響を及ぼす、いわゆる吸放湿履歴（ヒステレシス）があり、放湿時の平衡含水率は吸湿時の平衡含水率よりも大きく、相対湿度が高ければ高いほどその差は大きくなる（図1）。しかし、これまで吸放湿履歴が室内の調湿に及ぼす影響は十分明らかになっていない。

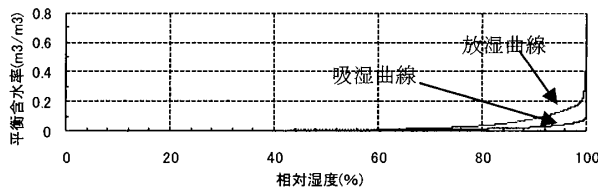


図1 ALCの平衡含水率の履歴

1-2 研究目的

本研究では、吸放湿履歴（以下、履歴）が室内調湿に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。本報では、吸放湿材の持つ吸放湿履歴性状の考慮の有無について、吸放湿材のみで構成される壁体を持つ単室を対象として、日周期変動を持つ異なる外気条件や室内利用条件下で解析を行い、それらの結果を考察することによりその性状を明らかにする。

2.解析方法

2-1 解析に用いる基礎式

本研究に用いる基礎方程式は、蒸気拡散支配の吸放湿履歴を考慮した熱水分同時移動方程式¹⁾である。

2-2 平衡含水率の履歴を取り扱うモデル

平衡含水率の履歴に関しては、独立領域理論²⁾を用いる。

2-3 計算条件

解析対象は、一辺4mの立方体の部屋である。吸放湿材はALCを用い、壁は10mm厚のALC一層で構成され、一辺3mの2mm厚の単板のガラス窓を設けるものとする。表1に室寸法や用いる熱水分物性値を示す。

表1 室寸法・熱物性値

室体積	64[m ³]	壁面積	87[m ²]	窓面積	9.0[m ²]	壁厚	10[mm]	窓厚	2[mm]	空気の比熱	1006[J/kg・K]
窓熱貫流率	5.68[J/s m ² K]	換気回数	1 [1/h]	乾燥空気の密度	1.2[kg/m ³]	室内側熱伝達率	9.3[J/s m ² K]	外気側熱伝達率	23[J/s m ² K]	室内側湿気伝達率	0.0093[kg/s m ² (kg/kg')]
外気側湿気伝達率	1.7×10 ⁻⁵ [kg/s m ² (kg/kg')]	(第4章・5章では 1.7×10 ⁻² [kg/s m ² (kg/kg')])									

境界条件は、いずれも日周期的変動を考え、以下の3条件を考える。

- ①外気絶対湿度が周期的に変動する場合
- ②室内で周期的な加熱がある場合
- ③室内で周期的な加熱と加湿がある場合

3.外気絶対湿度が周期的に変動する場合

3-1 解析条件

外気絶対湿度が24時間周期で変動する時、履歴の考慮の有無で室内の温湿度がどのように異なるのかについての検討を行う。一般的に、履歴の特徴は高湿度域で顕著に表れると考えられるが、高湿度域と低湿度域では履歴の特徴がどう異なるのかを調べる為、外気の相対湿度の変動域を中高湿度域（相対湿度50～90%）と、低中湿度域（10～50%）の2種類で行う。次に、初期条件の影響を明らかにする為室内及び壁体の初期の相対湿度を、外気より低湿度の5%（壁体が最初に吸湿を行う）と外気より高湿度の95%（壁体が最初に放湿を行う）の2条件に設定し、定常状態に至った室内の温度と湿度がどのように異なるのかについての比較を行う。

表2 外気条件と初期条件

外気の相対湿度変動域	初期条件
10～50%	①5%
	②95%
50～90%	③5%
	④95%

3-2 初期120時間の結果の考察

①の条件での履歴の考慮の有・無の違いについて、初期120時間の温度、絶対湿度、相対湿度をそれぞれ比較した結果を図2～4に示す。また、②～④の初期120時間の相対湿度について履歴の考慮の有・無を比較した結果を図5～図7に示す。

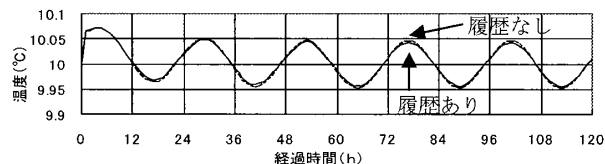


図2 条件①の初期120時間の温度変動

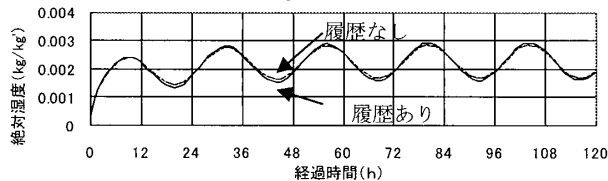


図3 条件①の初期120時間の絶対湿度変動

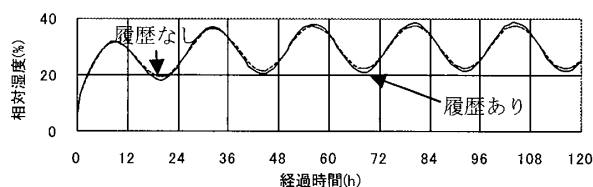


図4 条件①の初期120時間の相対湿度変動

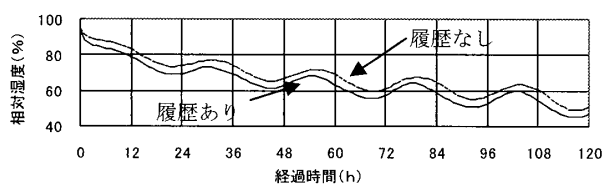


図5 条件②の初期120時間の相対湿度変動

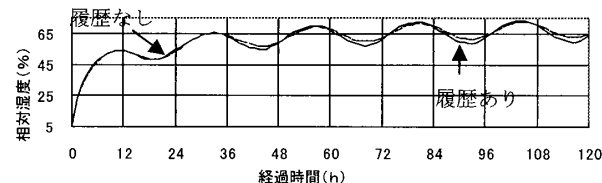


図6 条件③の初期120時間の相対湿度変動

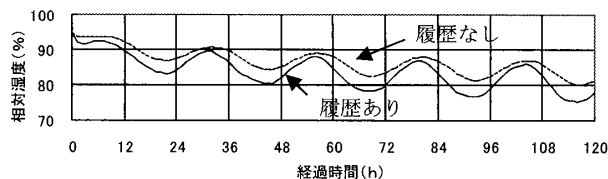


図7 条件④の初期120時間の相対湿度変動

図2～4より、温度の変動は非常に小さく、相対湿度の変動は、絶対湿度の変動の影響が大きいため、室内の相対湿度は絶対湿度が決定していることがわかる。図4,6より初期条件が低湿の場合、室内の相対湿度は履歴を考慮の有無で大きな差は見られない。図5,7より初期条件が高湿の場合、履歴を考慮した時の方が考慮していない時より室内の湿度低下がはやい。

3-3 周期的定常状態の結果の考察

①～④の条件で、履歴の考慮の有・無の違いについて周期的定常状態の相対湿度について比較した結果を図8～11に示す。

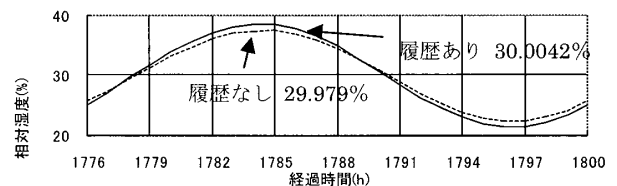


図8 条件①の周期的定常状態の相対湿度変動

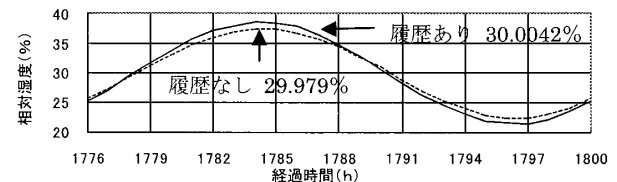


図9 条件②の周期的定常状態の相対湿度変動

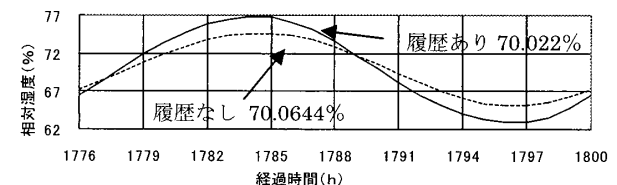


図10 条件③の周期的定常状態の相対湿度変動

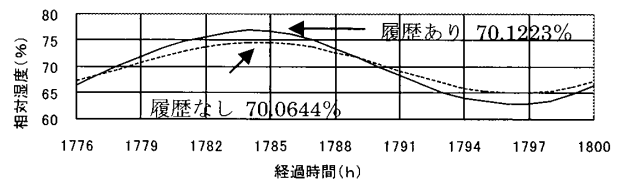


図11 条件④の周期的定常状態の相対湿度変動

全ての図より履歴を考慮した時の方が履歴を考慮していない時より振幅が大きくなっており、低中湿域では約1%、中高湿域では約2%、振幅が大きくなっている。履歴を考慮した時の方が吸放湿量は小さく、外気の影響を受けやすくなっており、室内の調湿効果が小さくなっているといえる。

次に、初期条件の影響について検討を行う。低中湿域の条件では、初期条件の違いにより室内の相対湿度の平均値は変わらない。一方、中高湿時は、室内の相対湿度の平均は、初期条件が高湿の場合の方が0.1%高くなる。室内の湿度が高いほど初期値の影響が残りやすくなると考えられ、より高湿の初期条件ではその影響がさらに大きくなると考えられる。

4.室内で周期的な加熱がある場合

4-1 解析条件

室内で周期的な加熱を行うことで壁体が周期的に吸放湿を行う時、履歴の考慮の有無で室内の温湿度がどのように異なるのかについて検討を行う。第3章では室内の相対湿度は、ほぼ絶対湿度で決まっていたが、この章では温度が変動することで相対湿度が決まる。表3に計算に用いた初期条件、室内・外気条件を示す。

表3 初期条件、室内・外気条件

初期条件：室内・壁体内部において温度 15 °C 絶対湿度 0.00963kg/kg'、相対湿度 90% 外気：温度 15 °C、絶対湿度 0.00963 kg/kg'、相対湿度 90%一定 室内で 24 時間周期で 0~4000W で加熱

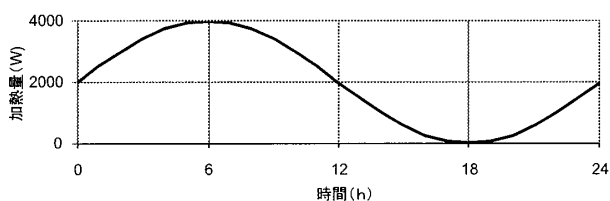


図12 加熱量の時間ごとの変動

また、外気との水分のやりとりを無くした場合を検討するため、換気回数を0回/hとし、壁体の外気側表面を完全断湿に変更した計算も行った。

4-2 結果

図13~15に初期120時間の室内の温度・絶対湿度・相対湿度のそれぞれの結果を、図16に周期的定常状態の室内の相対湿度の結果を示す。

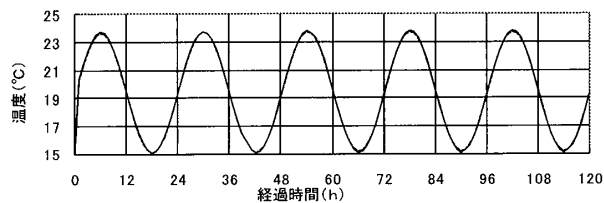


図13 初期120時間の温度変動

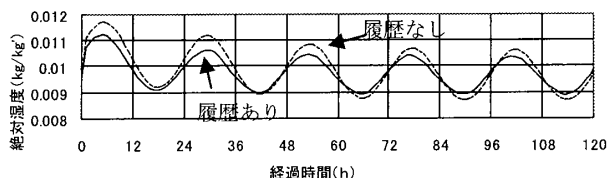


図14 初期120時間の絶対湿度変動

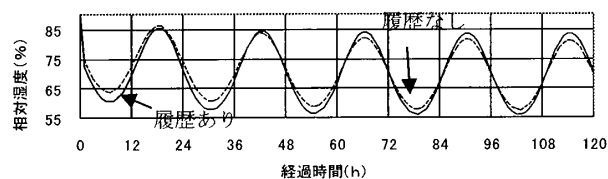


図15 初期120時間の相対湿度変動

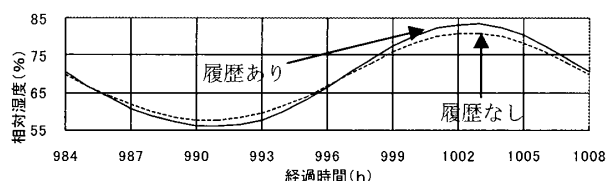


図16 周期的定常状態の相対湿度変動

図13~15より、温度と絶対湿度が同時に上昇し、その時相対湿度が低下する。従って、相対湿度は温度変動による飽和水蒸気圧変動で決まっている。

図15, 16より、初期120時間、周期的定常状態のいずれも、相対湿度の振幅は履歴を考慮した時の方が履歴を考慮していない時より大きい。従って、履歴を考慮した時の方が室内の調湿効果が小さくなっている。

図17~19に換気回数と外気側湿気伝達率を0にした時の周期的定常状態の室内の温度・絶対湿度・相対湿度の結果を示す。

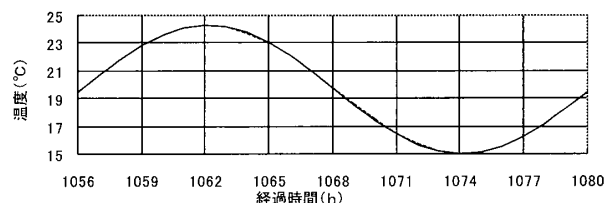


図17 周期的定常状態の温度変動 (換気・外気湿気伝達率0)

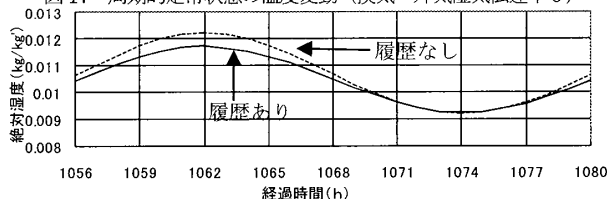


図18 周期的定常状態の絶対湿度変動 (換気・外気湿気伝達率0)

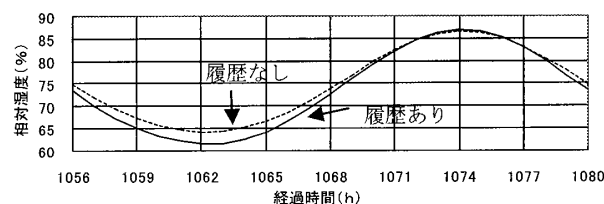


図19 周期的定常状態の相対湿度変動 (換気・外気湿気伝達率0)

図17~19より、温度と絶対湿度が同時に上昇し、その時相対湿度が低下する。従って、相対湿度は温度変動による飽和水蒸気圧変動で決まっている。

図19より、履歴を考慮した時の方が履歴を考慮していない時より振幅が大きくなることに加え、日平均値が低くなっている。密閉性の高い空間においては、履歴による影響が振幅が大きくなるだけでなく平均を下げる可能性がある。

5.室内で周期的な加熱と周期的な加湿を行う場合

5.1 解析条件

前章の室内に周期的な加熱を行う条件に、周期的な加湿を行う条件を加え、履歴の考慮の有無で室内の温湿度がどう異なるか検討を行う。加湿条件が加わることで、前章とは壁体が吸放湿を行う時間帯がずれると考えられる。

表4に計算に用いた初期条件、室内・外気条件を示す。

表4 初期条件、室内・外気条件

初期条件：室内・壁体内部において温度 15℃、絶対湿度 0.00745 kg/kg'、相対湿度 70%
外気：温度 15℃、絶対湿度 0.00745 kg/kg'、相対湿度 70%一定
室内で24時間周期で0～4000Wで加熱（加熱量は図12と同じ）
室内で加湿量 7.2×10^{-4} [kg/h]と0[kg/h]を12時間毎に繰り返す。

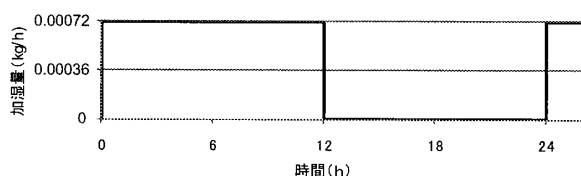


図20 加湿量の時間ごとの変動

5.2 結果

図21～23に初期120時間の室内の温度・絶対湿度・相対湿度の結果を、図24に周期的定常状態の室内の相対湿度の結果を示す。

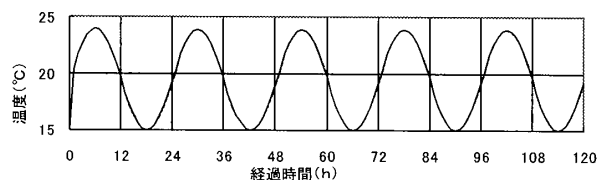


図21 初期120時間の温度変動

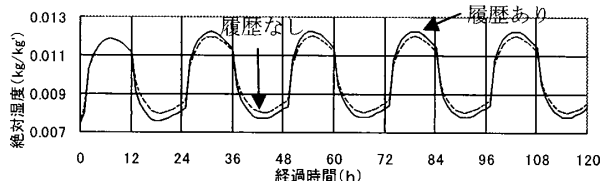


図22 初期120時間の絶対湿度変動

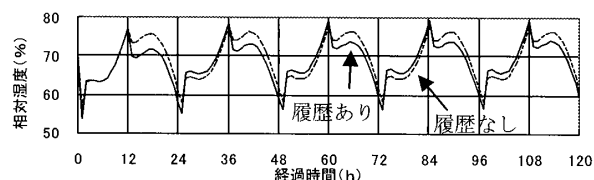


図23 初期120時間の相対湿度変動

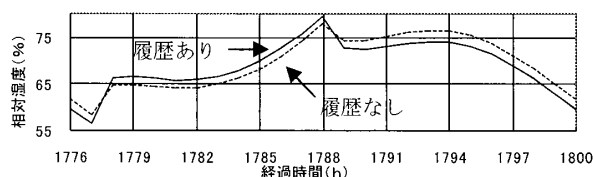


図24 周期的定常状態の相対湿度変動

図21～23より、相対湿度は最初の24時間で下降と上昇を3回繰り返す、その後も同様の変動を繰り返す。下降と上昇は、温度と絶対湿度がほぼ同時に増加する間や、ほぼ同時に低下する間に生じており、両者の変化曲線の違いによる。

また、図23, 24より、初期120時間や周期的定常状態の両方で相対湿度の振幅は履歴を考慮した時の方が履歴を考慮していない時より大きい。従って、室内での加熱や加湿がある場合でも履歴を考慮した時の方が室内の調湿効果が小さくなっている。

6.結論

本研究では、吸放湿材の持つ吸放湿履歴性状の考慮の有無について、異なる外気条件や室内利用条件下で解析を行い、それらの結果を考察することによりその性状を明らかにした。得られた結論は以下の通りである。

- 1) 履歴を考慮することで室内相対湿度変動が大きくなり、室内の調湿効果が小さくなる。
- 2) 履歴を考慮した場合に、外気の湿度が中高湿度域で変動する場合、初期値が低湿度の場合と初期値が高湿度の場合で周期的定常状態の平均値は高湿度の方が高くなる。ここでは、初期値が95%RHの場合の方が10%RHより、平均が0.1%高くなった。これは、初期値をさらに高湿度とすることで、平均を含めた周期的定常状態の差がさらに大きくなる可能性がある。
- 3) 外気との湿気のやりとりがなく室内の周期的加熱がある場合、履歴を考慮することで室内相対湿度の振幅は大きく、平均値は小さくなる。密閉性の高い空間では履歴による影響で振幅が大きくなる上に平均を下げる可能性がある。

謝辞 本研究は、(財)トステム建材産業振興財団の平成20年度研究助成金の補助を受けた。記して謝意を表す。

参考文献 1) 松本衛：新建築学大系 10 環境物理 第3章 湿気、彰国社、pp.105-130(1984) 2) 松本衛、松下敬幸：ハイグロスコピーの領域での気泡コンクリートの吸放湿性状 その2 吸放湿過程におよぼす吸放湿履歴の影響と履歴のある場合の解析法、日本建築学会論文報告集、第306号、65-72,1981.8

*1 京都大学大学院工学研究科 大学院生
*2 京都大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)
*3 京都大学大学院工学研究科 教授・工学博士

Graduate student, Graduate School of Engineering, Kyoto University
Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng.
Prof., Graduate School of Engineering, Kyoto University, Dr. Eng.