外壁性能試験装置を用いた実験による壁体吸放湿量簡易計算法の精度検証 多数室温湿度計算への適用を目的とした室内表面の吸放湿計算モデル その2

ACCURACY VERIFICATION OF SIMPLIFIED CALCULATION METHOD FOR MOISTURE SORPTION WITH EXTERNAL WALL PERFORMANCE TEST HOUSE

Simplified numerical model of moisture transfer on interior surfaces for transient room temperature
and heat load calculation of multiple zone buildings Part 2

細川 隆行*, 林 徹夫**, 好村 純一***

Takayuki HOSOKAWA, Tetsuo HAYASHI and Junichi YOSHIMURA

Detailed equations of combined heat and moisture transfer have been proposed to analyze temperature and humidity fluctuation of walls. They are, however, too complicated to apply to transient room temperature and heat load calculation of multiple zone buildings. Therefore, we proposed a simplified calculation method for sorption on walls. It is necessary to confirm the predictive accuracy of the indoor humidity when the simplified calculation method is applied. This paper describes that the indoor humidity fluctuation model applied the proposed calculation method, and the predictive accuracy of the model is confirmed by the comparison with the experiment. The experiment was carried out in the model house where the building materials to regulate an indoor humidity was set up. The measurement and calculation values were agreed and the effectiveness of the simplified calculation method was shown.

Keywords: Simplified Calculation Method, Adsorption and Desorption, Inside of Walls, Indoor Humidity, Experiment

簡易計算法, 吸放湿, 壁体内表面, 室内湿度, 実験

1. はじめに

室内には壁体, 家具, 衣類など吸放湿する材料が多数存在するため, その温湿度環境を十分な精度で予測評価するには, これら吸放湿材の影響を考慮する必要がある。一方で年間を通した室内温湿度環境や熱負荷の予測では, 壁体を一次元伝熱, 室内空気の瞬時一様拡散を仮定した汎用室温変動熱負荷シミュレーションが用いられる。汎用室温変動熱負荷シミュレーションでは, 室内空気温度および熱負荷の変動の解析に重点が置かれ, 室内湿度変動における吸放湿現象は簡略化して取り扱うことが多い。すなわち, 仮定の潜熱(水分)容量を室内空気に付与し, 吸放湿の影響を擬似的に考慮している¹⁾。

壁体の吸放湿を考慮した室内湿度の解析には, 絶対湿度をポテンシャルとした手法が多い²⁾⁻⁶⁾。また他の指標をポテンシャルとする方法を含めても壁体内部の湿気移動まで考慮されることがほとんどである。このため, 上記の解析手法を既存の汎用室温変動熱負荷シミュレーションに適用する場合に, 計算体系の見直しが必要になることもある(例えば, 壁体熱伝導に逐次積分法⁷⁾を用いている場合)。

そこで筆者らは既報⁸⁾において, 既存の室温変動熱負荷シミュレーションへの付加を考慮し, 室内空気温度および室内表面温度を既知として, 室内表面の吸放湿量を算定する簡易計算法(以下, 簡易法)を提案した。簡易法は, 壁体表面近傍層(水分容量層)と室内空気間の水分ポテンシャル差を駆動力とする物質伝達による水分収

支を考え, 水分容量層内の水分ポテンシャル分布を, 水分ポテンシャル勾配を有する部分(水分伝導層^{注1)})と水分ポテンシャルが均一な部分からなる折れ線で近似できると仮定する。

既報では, 自然室温を仮定した室内温湿度変動に対して, 計算時間間隔1時間の簡易法と5分間の熱・水分複合移動方程式による計算(以下, 詳細法)の壁体吸放湿量を比較した。その結果, 簡易法が実用上, 十分な計算精度を有することを示した。

熱・水分複合移動方程式は, 既往の研究により実測および実験による測定値との比較が行われ, モデルの妥当性が十分に確認されている。しかし, 既報の数値計算による簡易法の精度の検証は, 壁体単位の計算結果の比較にすぎず, 室単位での計算で簡易法が不整合を生まないことを確認する必要がある。また, 前報で仮定した室内温湿度変動は自然状態であり, 除湿器や加湿器の運転開始時のような, 短時間で大きな室内湿度変動が生じたときの計算精度も確認する必要がある。そこで本報では, 内装材として調湿建材を設置した外壁性能試験装置(以下, 実験家屋と称す)内の湿度変動を測定し, その結果と壁体吸放湿量算定に簡易法を用いた室内湿度変動モデルによる計算結果の比較により, 簡易法の実用性について検討する。調湿建材には「繊維混入珪酸カルシウム板(パーミキュライト入り)」(以下, パーミキュライト建材と称す)を使用する。

既報で示した簡易法を用いて, 室内湿度を求める方法の一例を以

* 東芝キャリア(株) 博士(工学)

** 九州大学大学院総合理工学研究院 教授・工博

*** 九州大学大学院総合理工学府 大学院生

Toshiba Carrier Co., Dr. Eng.

Prof., Faculty of Engineering Science, Kyushu Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu Univ.

下に示す。簡易法は蒸発（凝縮）潜熱など、水分の熱伝導への影響を無視しているため、室温計算と室内湿度計算を分離して計算できる。従って、以下の説明では温度を既知量として取り扱う。室内空気の時均一拡散性を仮定すれば、室内空気の水分収支は、室 i の絶対湿度を X_i とすれば、 X_i に関する一階常微分方程式として、式(1)で表される。

$$\rho_i V_i \frac{dX_i}{dt} = \sum_{j=1}^I G_{ij} (X_{ij} - X_i) + G_o (X_o - X_i) + W_i + G_{ac,i} (X_{ac} - X_i) + \sum_{j=1}^J SP_j S_j \quad (1)$$

第1項、第2項は室 i の隣室 ij や外気 o との換気による水蒸気移動量、第3項は室 i での室内水蒸気発生量、第4項は冷房機による除湿量、第5項は室内表面 j における吸放湿量を表す。 ρ_i は室 i の乾き空気の密度、 V_i は室 i の容積、 G_{ij} および G_o は隣室 ij および外気から流入する空気の重量流量、 W_i は室内水蒸気発生量、 $G_{ac,i}$ は室 i に設置された冷房機吹出空気の重量流量、 SP_j および S_j は室内表面 j の単位表面積あたりの吸放湿量および表面積である。提案した簡易法を用いれば、 SP_j は次式となる。

$$SP_j = \frac{1}{\frac{1}{\alpha'_j} + \frac{M_j}{\lambda'_j}} (\mu_{w,j'} - \mu_{w,i}) \quad (2)$$

ここで、 α'_j , λ'_j , M_j は室内表面 j の水分伝達率、気相水分伝導率、水分伝導層の厚みである。また、 $\mu_{w,j'}$ は室内表面 j の水分容量層内部の水分ポテンシャルであり、 $\mu_{w,i}$ は室 i の空気の水分ポテンシャルである。式(2)を式(1)に代入すると、水分ポテンシャルと絶対湿度は非線形関係^[2]にあるため、式(1)は非線形方程式となる。従って、反復計算により解を得る必要がある。

室内絶対湿度 X_i を一旦既知量として、室 i に存在し吸放湿が発生する全ての表面において既報^[8]の式(21)を解き、水分容量層内の水分ポテンシャル $\mu_{w,j'}$ を求め、式(2)より吸放湿量 SP_j を算出する。そして、式(1)より室内絶対湿度 X_i の計算し、得られた X_i から再度壁体吸放湿 SP_j を求めるという反復計算を行う。反復計算の収束条件は室内湿度 X_i の変化量が十分小さくなるまでとする。

2. 実験の概要

2.1. 実験設備と測定の概要

実験は福岡県春日市にある九州大学筑紫キャンパス F 棟屋上に設置された実験家屋で行った。実験家屋の平面図と断面図を図1、図2に示す。実験家屋は居室および前室、これらの室の空調設備が設置されている機械室の3室で構成される。実験では前室のドアを開放し、前室は外気と同等とみなし、居室を測定対象とする。居室の床面積は3.24m²、容積は8.1m³である。実験家屋は居室部外壁の一部（幅:1800mm、高さ:2000mm）が脱着可能で、そこに性能試験対象の外壁を設置できる。居室と前室の隔壁はアルミハニカムパネル（厚さ42mm）である。従って、居室部外壁以外の壁体表面では吸放湿が生じない。実験では外壁に、室内側からパーミキュライト建材（厚さ6mm）、アルミ箔、非密閉中空層、合板（厚さ12mm）、防水シートで構成される壁体を取り付けた。さらに居室の吸放湿量を多くす

図1 実験室平面図と測定位置

図2 実験室断面図と測定位置

るために、内壁に裏面をアルミ箔とアルミテープで断湿したパーミキュライト建材（幅:900mm、高さ:1800、厚さ:6mm）を付設した。居室空気に接するパーミキュライト建材の表面積は合計で6.84m²である。居室内空気に温湿度分布が生じないように、室内にファンを設置し、室内空気を攪拌した。居室の空調は、実験では使用しないため、居室の空調機吹出および吸込口をポリエチレンフィルムで塞ぎ、機械室からの水蒸気流入を防止した。居室の換気量は、実験終了後にSF₆ガスを用いた濃度減衰法^[11]により測定した。その結果、居室の換気回数は0.6回/h（換気量4.86m³/h）であった。さらに居室のドア周りの隙間を防湿シートやテープで塞いで測定したところ、換気回数は0.07回/h（換気量0.567m³/h）であり、外壁から居室への換気量よりも居室と前室間の換気量が多い。

図1、図2に主な測定点を示す。温度はT熱電対、相対湿度は静電容量式薄膜湿度計（VISALA社製）を使用する。室内空気温度は、居室が鉛直方向に3点、水平方向に5点、前室および外壁中空層では1点を測定する。また、壁体表面温度は天井と床面が各4点、その他の壁は上下方向3点、水平方向2点の計6点、外壁および隔壁に付設したパーミキュライト建材は上下に2点を測定する。相対湿度は居室、前室、機械室、外壁中空層の中央に各1点を測定する。測定時間間隔は1分間で、測定期間は2007年12月12日～15日の4

日間である。3日目の午前まで8時と20時(計5回)に居室内を加湿器により加湿する。加湿量は電子上皿天秤で加湿器重量を測定し、その減少量から求めた。加湿時間は、本研究では1時間程度の計算時間間隔を対象とするため、1時間以上を目標とした。ただし、結露が生じないように、居室の相対湿度が90%になるまでとした。

2.2. 調湿材の湿気物性値

計算に必要なパーミキュライト建材の気相水分伝導率および水分容量を測定した。測定用試料は、実験に用いるパーミキュライト建材の一部を切り出したものである。

気相水分伝導率はカップ法¹²⁾と同じ原理により測定する⁹⁾。試料2個の測定結果の平均値は $1.070 \times 10^{-13} \text{ kg/(m} \cdot \text{s} \cdot (\text{J/kg}))$ 、偏差は $\pm 0.099 \times 10^{-13} \text{ kg/(m} \cdot \text{s} \cdot (\text{J/kg}))$ であった。

水分容量は窒素ガス吸着法により得られる細孔径分布よりよとめた。図3に窒素ガス吸着法¹³⁾により得られたパーミキュライト建材の細孔径分布を示す。細孔半径が1nmで最も細孔容積が大きい。これは細孔半径の測定範囲が半径1nm未満を対象としていないため、細孔半径1nm未満のすべての細孔容積を測定したと思われる。図4に細孔径分布から計算した容積基準容積含水率と不飽和水分ポテンシャルの関係 ($\phi - \mu$ 関係) を示す。図中の相対湿度は、温度23°C時の相対湿度である。液水が細孔半径の小さい毛細管から保水されると仮定すると、ある状態の体積含水量は0からある細孔半径 r までの空隙容積 $v(r)$ の積算値で表される。従って、容積基準容積含水率 ϕ は、式(3)より求められる。式(3)と図3から細孔半径と容積基準容積含水率の関係が得られる。また、不飽和水分ポテンシャルと細孔半径の関係は式(4)に示す Kelvin 式¹³⁾により得られる。細孔半径と容積基準容積含水率の関係に、式(4)を適用すれば、 $\phi - \mu$ 関係 (図4) が得られる。

$$\phi = \rho_0 \int_0^r v(r) dr \quad (3)$$

$$\mu = R_v T \ln \left(\frac{p_v}{p_s} \right) = - \frac{2\sigma_{lw}}{r\rho_{lw}} \cos \theta_{lw} \quad (4)$$

ここで、 ρ_0 は絶乾時の材料密度 (830 kg/m^3)、 ρ_{lw} 、 σ_{lw} 、 θ_{lw} は液水の密度 (998 kg/m^3)、表面張力 (72.3 mN/m)、メニスカスの接触角である。メニスカスの接触角は 0° を仮定した¹⁰⁾。

水分容量は $\phi - \mu$ 関係の接線の勾配に液水の密度を乗じたものとして表される^{注3)}。簡易法では気相水分伝導率 λ'_g と水分容量 $\rho_{lw} \partial \phi / \partial \mu$ から式(5)および式(6)を用いて、水分容量層の厚み L と水分伝導層の厚み M を決定する。

$$L = 335.0 \left\{ \lambda'_g / \left(\rho_{lw} \frac{\partial \phi}{\partial \mu} \right) \right\}^{0.53} \quad (5)$$

$$M = 234.0 \left\{ \lambda'_g / \left(\rho_{lw} \frac{\partial \phi}{\partial \mu} \right) \right\}^{0.55} \quad (6)$$

図5に、相対湿度(温度23°C)と L 、 M の関係を示す。パーミキュライト建材内の相対湿度が約60%を下回ると L が、さらに約35%を下回ると M が、実験に使用する建材の厚み6mmを上回る。図4

図3 細孔径分布

図4 容積含水率と不飽和水分ポテンシャルの関係

図5 水分容量層および水分伝導層の厚み

より、パーミキュライト建材の水分容量は相対湿度70%(温度23°Cのとき)付近で大きく変化するため、既報のように L 、 M に一定値を仮定することは難しい。しかし、時刻毎に L を計算すると、気相水分の質量平衡が保証されなくなる。そこで L は、気相水分の拡散係数の平均値 $2.44 \times 10^{-4} \text{ kg/(m}^3 \cdot (\text{J/kg}))$ (図4参照) から求めた $L = 3.68 \text{ mm}$ 、 $M = 1.68 \text{ mm}$ とする。

3. 実験結果と簡易法の計算精度の検証

3.1. 実験結果

図6にパーミキュライト建材の居室内側平均表面温度を示す。また、図7に居室、前室、外壁中空層の空気温度変動を示す。居室空気温度は測定した7点の平均値である。計測期間中の空気温度分布の最大偏差は0.4K程度であり、居室空気は十分に攪拌されており、温度分布は小さい。また、室内をファンで攪拌していることを踏まえれば、湿度分布も小さいものとする。相対湿度変動を図8

図 6 壁体表面温度

図 7 室内空気温度

図 8 相対湿度変動

図 9 絶対湿度変動と加湿量

を示す。また、絶対湿度変動と加湿量を図 9 に示す。実験初日の居室および前室の相対湿度が 80%前後と高くなっているが、これは実験開始前後の降雨のためである。加湿時間は目標である 1 時間を概ね満足している。加湿量に負の値があるのは、室内空気を攪拌するファンの風圧によるものと思われる。

3.2. 計算条件

室内湿度変動モデルへの入力値は、居室の空気温度、パーミキュライト建材の表面温度、前室および外壁中空層の相対湿度、居室の換

気量の測定値である。出力は、居室の湿度である。換気による水蒸気移動は居室と前室、居室と外壁中空層の 2 経路が存在するため、測定した換気量の 90%が前室から、残り 10%が外壁中空層から流入すると仮定する。また、加湿量は、加湿器運転中については測定データを計算の入力値とし、非運転中は加湿器からの水分蒸発量は少ないため無視する。

壁体吸放湿を考慮し、熱・水分複合移動方程式（以下、詳細法）または簡易法を適用した場合、壁体吸放湿を無視した場合の三者を

比較する。計算時間間隔は測定と同じ1分間とする。また、壁体吸放湿を考慮する場合については、年間のエネルギー消費量算定でよく用いられる計算時間間隔を1時間とした場合も計算する。

詳細法は建材を7分割し、Crank-Nicolson 陰解法により計算する。パーミキュライト建材表面温度を境界条件に、蒸発潜熱の影響を無視して温度分布を求め、パーミキュライト建材裏面断湿条件において水分収支を解く。

壁体吸放湿を考慮した場合のパーミキュライト建材内の初期含水率と建材表面、室内空気間分伝達率は、詳細法を用いた場合の居室内湿度の計算値と測定値が最も良く一致するように設定する。具体的には初期含水率が相対湿度85%と平衡する含水率、水分伝達率は対流熱伝達率 α_c が8W/(m²·K)であるとし、式(7)のLewisの関係より対流熱伝達率 α_c から絶対湿度基準の水分伝達率 α'_x を求め、式(8)により水分ポテンシャル基準の水分伝達率 α' に変換した値である。

$$\alpha'_x = \frac{\alpha_c}{c_{p,m}} \quad (7)$$

$$\alpha' = \alpha'_x \frac{\partial X}{\partial \mu} = \alpha'_x \frac{\partial X}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial \mu} = \alpha'_x \left\{ \frac{\frac{m_v}{m_a} R_v T}{X \left(X + \frac{m_v}{m_a} \right)} \right\} \quad (8)$$

ここで $c_{p,m}$ は湿り空気比熱(1.005+1.846X kJ/(kg·K))、 m_v は水の分子量(18.02g/mol)、 m_a は空気の平均分子量(28.97g/mol)である。

3.3. 測定値と計算値の比較

図10に測定値、吸放湿を無視した計算、詳細法の計算結果の比較を示す。凡例の詳細法の括弧内は換気回数を表す。詳細法の計算時間間隔は1分である。壁体の吸放湿を無視し、換気による水蒸気移動のみによって居室の湿度変動を予測した場合、加湿の影響で相対湿度が100%RHを超え、測定値に比べ非常に大きな湿度変動が生じる。一方、詳細法で換気回数を測定値に合わせて0.6回/hとした場合、2日目の午後から測定値ほど絶対湿度が低下せず、時間がたつにつれ誤差が大きくなる。4日目には最大で0.8g/kg(DA)の誤差が生じる。この誤差の原因は、図8、図9より2日目以降、前室湿度が大きく低下し、測定値の居室内湿度と前室湿度の差が大きくなっていることから、換気回数の測定誤差によるものと考えられる。そ

こで、詳細法の計算において換気回数を0.8回/h(換気経路による換気量の割り振りは同じ)とすると、図10に示すように測定値と詳細法の結果はよく一致する。換気量測定の際に前室から居室へのSF₆ガスの逆流があったと思われる。以降は換気回数を0.8回/hとして検討する。また、換気回数0.8回/hとした時の、測定値を基準とする測定期間中の詳細法の根平均二乗誤差と最大絶対誤差はそれぞれ、相対湿度で0.2%RH、5.3%RH、絶対湿度で0.02g/kg(DA)、0.43g/kg(DA)である。

次に簡易法および詳細法と測定値を比較し、簡易法の計算制度について検討する。図11に居室の絶対湿度変動の測定値と計算値の比較を示す。同様に図12に相対湿度変動の比較を示す。凡例の簡易法の括弧内は計算時間間隔を示す。また、詳細法は、計算時間間隔1分の結果を示す。詳細法で、計算時間間隔を1時間とした場合は、加湿時に反復計算が収束せず解が得られなかった。

図11、図12、より、簡易法はおおむね測定値および詳細法の計算結果と一致している。簡易法で計算時間間隔を1分とした場合と測定値の根平均二乗誤差と最大絶対誤差はそれぞれ、相対湿度で3.6%RH、12.3%RH、絶対湿度で0.30g/kg(DA)、1.10g/kg(DA)である。最大誤差は計算時間間隔1分の場合は2日目午後の加湿時に生じる。また計算時間間隔を1分とした時と測定値の根平均二乗誤差と最大絶対誤差は、相対湿度で3.5%RH、8.5%RH、絶対湿度で0.29g/kg(DA)、0.76g/kg(DA)である。最大誤差は4日目の午後に生じる。いずれの計算時間間隔においても3日目の午後から4日目にかけて測定値よりも湿度が低くなる傾向がみられる。これは実際には長期間の多湿状態により内装材内部まで高含水率になり、室内湿度低下に伴う放湿の際も、水分が壁体内部から表面に供給されるのに対し、簡易法では、壁体内部との水分移動を無視しているため水分容量層内が低含水率化しているためと考えられる。このことは、長期間低湿度状態が続く場合には、実際よりも室内湿度が高く計算されることを示唆している。従って、簡易法は一日以上にわたり、室内が高湿度あるいは低湿度になった場合に予測誤差が大きくなる。また、計算時間間隔を1分とした場合の簡易法は加湿時および加湿停止時など室内湿度が突変した場合の予測誤差が大きくなる。ただし、計算時間間隔1時間の場合は、この傾向は緩和される。従って、簡易法は計算時間間隔1時間程度の計算に適用することが望ましい。

図10 計算値(吸放湿無視および詳細法)と測定値の比較

図 11 計算値と測定値の比較 (絶対湿度)

図 12 計算値と測定値の比較 (相対湿度)

4. おわりに

本論文は、既報で提案した壁体吸放湿の簡易計算法を用いた室内湿度変動モデルとその計算方法について述べた。また、パーミキュライト建材を設置した実験家屋居室内の湿度変動を測定し、測定値と実験家屋居室に室内湿度変動モデルを適用した計算値の比較により計算精度を確認した。実験は、除湿器や加湿器の運転開始時のような、室内湿度が突変する状況を想定したものであり、実験家屋居室内に加湿器により定期的に加湿した。

簡易法により壁体吸放湿を考慮することで、十分な精度で室内湿度予測が可能であることを示した。ただし、室内湿度の突変前後の過渡応答や、長期に渡り室内湿度が高湿度あるいは低湿度になった

場合には詳細法に比べ予測精度は劣る。

簡易法は、詳細法で解が得られなかった計算時間間隔 1 時間でも、測定値との根平均二乗誤差と最大絶対誤差は、相対湿度で 3.5%RH, 8.5%RH, 絶対湿度で 0.29g/kg(DA), 0.76g/kg(DA)の精度で予測結果が得られた。

簡易法は、計算時間間隔 1 時間でも加湿などにより室内湿度変動が突変した場合でも安定した解が得られること、詳細法よりも計算負荷が小さいことから、通年の室内温湿度環境解析やエネルギー消費量計算に向けた計算法と言える。また、計算時間間隔が小さい場合も、比較的緩やかな湿度変動下での室内湿度予測であれば、十分な精度が得られる。

謝辞

建材の物性値測定について、京都府立大学の尾崎明仁教授よりご助言、ご協力いただいた。また、本研究費の一部は、21 世紀 COE プログラム「循環型住空間システムの構築」(拠点リーダー:川瀬博, 九州大学大学院教授) の若手研究者助成によるものである。ここに記して感謝の意を表す。

記号

c	: 固体の比熱	[J/(kg·K)]
c_p	: 気体の定圧比熱	[J/(kg·K)]
G	: 重量流量	[kg/s]
h	: エンタルピー	[J/kg]
I	: 室の総数	
J	: 室内表面の総数	
k	: 水分ポテンシャル勾配	[J/(kg·m)]
L	: 水分容量層の厚さ	[m]
M	: 水分伝導層の厚さ	[m]
m	: 分子量	[kg/mol]
p	: 圧力	[Pa]
q_r	: 放射熱収支量	[J/m ²]
R	: 気体定数	[J/(kg·K)]
r	: 細孔半径	[m]
S	: 表面積	[m ²]
SP	: 単位面積当たりの吸放湿量	[kg/(m ² ·s)]
s	: エントロピー	[J/(kg·K)]
T	: 絶対温度	[K]
t	: 時間	[s]
V	: 容積	[m ³]
v	: 単位質量当たりの細孔容積	[m ³ /kg]
W	: 室内水蒸気発生量	[kg/s]
X	: 絶対湿度	[kg/kg(DA)]
X	: 空間座標	[m]
α_c	: 対流熱伝達率	[W/(m ² ·K)]
α'	: 水分ポテンシャル基準の水分伝達率	[kg/(m ² ·s·(J/kg))]
α'_X	: 絶対湿度基準の水分伝達率	[kg/(m ² ·s·(kg/kg(DA))))]
λ	: 熱伝導率	[W/(m·K)]
λ'	: 水分ポテンシャル基準の気相水分伝達率	[kg/(m·s·(J/kg))]
θ	: 接触角	[°]
μ_w	: 水分ポテンシャル	[J/kg]
μ	: 不飽和水分ポテンシャル	[J/kg]
μ_w^0	: 飽和水分ポテンシャル	[J/kg]
ρ	: 密度	[kg/m ³]
σ	: 表面張力	[N/m]
ϕ	: 容積基準容積含水率	[kg/m ³]

添字

a	: 乾き空気
ac	: 空調機
i	: 室内空気
ij	: 隣室空気
j	: 室内表面
l	: 水分容量層内部
lw	: 液水
m	: 湿り空気

o	: 外気
V	: 水蒸気
S	: 飽和
0	: 基準

注

- 注1) 既報では「変曲点の位置」と称したが、表現が不適切であると考え、「水分伝導層の厚み」と表現を改める。
- 注2) 既報の式(3)において、水蒸気圧を絶対湿度に変換すれば、不飽和水分ポテンシャルと絶対湿度の関係が得られる。この関係が非線形関係であるため、既報の式(1)で定義される水分ポテンシャルも絶対湿度と非線形関係となる。
- 注3) 既報では水分容量を $\partial\phi/\partial\mu$ と記述したが、 $\rho_{lw}\partial\phi/\partial\mu$ 誤りである。したがって、式(22), (23), (25), (26)の記述も誤りである。ここに訂正する。上記式中の数値や計算結果は変わらない。

参考文献

- 例えば, SMASH for Windows (住宅用熱負荷計算プログラム) ユーザーマニュアル: 財団法人 建築環境・省エネルギー機構, pp.107, 1999
- 松尾陽, 永田明寛: 吸放湿を考慮した熱負荷計算法, 第 21 回熱シンポジウム, pp.55-64, 1991.8
- 吉田治典, 寺井俊夫, 末吉弘明: 多層壁の熱・水分同時移動における三角波応答の離散フーリエ変換による計算法, 空気調和・衛生工学会論文集 No.46, pp.21~30, 1991.6
- 宿谷昌則, 斉藤正文: 熱・水分容量質点系モデルを用いた室内温湿度の簡易シミュレーション, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.921-922, 1987.10
- 芝池英樹, 松本衛: 境界要素法による多層平面壁の非定常熱・湿気性状の解析とその非線形性の検討, 日本建築学会計画系論文報告集 No.366, pp.22~32, 1986.8
- 土屋喬雄: 戸建て住宅の換気と室内温湿度, 空気調和・衛生工学, Vol.54 No.11, pp.13-19, 1980.11
- 木村建一: 建築環境学 2, 丸善, 1993
- 細川隆行, 林徹夫, 尾崎明仁, 小島昌一, 野村幸司: 水分ポテンシャルに基づく壁体内表面における吸放湿の簡易計算法の提案 多数室温湿度計算への適用を目的とした室内表面の吸放湿計算モデル その 2, 日本建築学会環境系論文集, No.573, pp.47-53, 2003
- Akihito Ozaki, Toshiyuki Watanabe, Tetsuo Hayashi and Yuji Ryu: Systematic analysis on combined heat and water transfer through porous materials based on thermodynamic energy, Energy and Buildings, Volume 33, Issue 4, pp. 341-350, April 2001
- 尾崎明仁, 香川治美: 多孔質材料の熱・物質移動の駆動力と拡散係数の関係について, IBPSA-Japan 講演論文集 (Technical Papers of Annual Meeting of IBPSA-Japan), 2007
- 空気調和衛生工学会規格: SHASE-S 116-2003 トレーサガスを用いた単一空間の換気量測定法, 2003 年
- JIS A 1324: 建築材料の透湿性測定方法, 1995 年
- 例えば, 近藤精一, 石川達雄, 阿部郁夫: 吸着の化学 第 2 版, 丸善, 2001

(2008年3月10日原稿受理, 2008年8月15日採用決定)