

含珪藻土粒を用いた吸放湿型除湿・熱交換換気装置の開発

稚内層珪質頁岩を用いた含珪藻土粒の生成とその吸放湿性能

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MOISTURE-ABSORBENT DEHUMIDIFYING AND
HEAT-EXCHANGING VENTILATION BY USING THE DIATOMATE SOAKED
IN CaCl₂ SOLUTIONProduction of grains made from diatomate, and performance of moisture-absorbent of
small balls formed out of the grains

大橋正知*1, 繪内正道*2, 本間義規*3, 羽山広文*4, 森 太郎*5

Masanori OHASHI, Masamichi ENAI, Yosinori HONMA,
Hirofumi HAYAMA and Taro MORI

In cold region like Hokkaido, well-insulated and high air-tightened houses are supplied and have made indoor climate comfortable in winter by a little expense. However, a few of the house unfortunately require the real air-conditioning system in summer. So the new air-conditioning system must be developed considering well-insulated and high air-tightened conditions.

In this report, the characteristics of moisture-absorbent of the diatomate used for the new air conditioning system are discussed. Powder of the diatomate is made into grains (diameter: 8mm) by a machine. After that, the grains are baked. Small balls (diameter: 45mm) are made from the grains, those as moisture-absorbent materials are used for the cells of the dehumidifying device. The gross moisture conductivity (GMC) of a small ball is measured in case of two conditions.

(1) GMC of small ball not soaked in CaCl₂ solution is $0.45 \cdot 10^{-4}$ [kg/m²·s(kg/kg')].(2) GMC of small ball soaked in CaCl₂ solution is $1.5 \cdot 10^{-4}$ [kg/m²·s(kg/kg')].

Keywords: moisture absorbent, diatomate, small balls made from the baked grains,
gross moisture conductivity, equilibrium water content ratio

吸放湿、珪藻土、焼成粒のボール、湿気浸透率、平衡含水率曲線

1. 研究の背景と目的

近年、寒冷地では高断熱・高气密住宅が普及し、暖房費用をさほど必要とせずに、暖かく快適な生活をおくることが可能となってきた。しかしその一方で、夏対応を誤ると、温熱環境的な不快感が増大し、今まであまり必要としなかったエアコンの設置事例も散見され、年間の熱負荷も増大傾向にある。地球環境を常に意識せざるを得ない時代にあつて、寒冷地ならではの夏期に冷涼な気候特性と低負荷建物の熱特性を活かしたエネルギー消費の少ない空調方式の創出が望まれている。

高断熱住宅は外壁の熱流出入量を大幅に縮小させるので、夜間換気による排熱や日除けによる透過日射の削減、室内取得熱の非拡散処理などを心掛けると、顕熱除去量は大幅に軽減され、搬送動力の小さい水系の床冷房方式による環境調整が可能になる。このような低負荷冷房の場合、導入外気の潜熱(除湿)処理が室内環境調整の主題になってくる¹⁾。

珪藻土は、吸放湿性能に優れた材料として知られており、少量の粘土と混ぜて焼成したタイルやプラスターに混入させた内装用ポー

ドが市販され、湿度緩和建材として利用されている。また、住宅の通年の空気環境・温湿度環境の改善を目的とした吸放湿型除湿・熱交換換気装置の吸放湿材として試用されている^{2), 3), 4), 5)}。

吸放湿型除湿・熱交換換気装置は粒状の珪藻土をパッケージ化した2個のCELLと2台の切り替えダンパーで構成される(図1)。

夏季には、換気量を連続的に確保しながら、1つのCELL内で新鮮外気を除湿して室内へ送り込む吸湿行程が行われ、もう一方のCELL内では室内側からの汚染空気を加熱し、吸湿行程で珪藻土粒に蓄積された湿気を取り込みながら屋外へ排気する放湿行程が行われている。周期的にダンパーを切り替えることで、1つのCELL内で吸湿行程と放湿行程を交互に繰り返し、吸放湿型の除湿換気を行う。

冬期には、1つのCELL内で、室内からの排気熱を珪藻土に蓄熱し、もう一方のCELL内では冷外気の予熱が行なわれる。周期的にダンパーを切り替えることで、1つのCELL内で蓄熱行程と放熱行程を交互に繰り返し、熱交換換気を行う^{1), 5)}。

この吸放湿型除湿・熱交換換気装置はCELLの通気抵抗が増加すると、送風に必要な動力が増大し、当該装置が消費するエネルギー

*1 鶴大林組 修士(工学)

*2 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博

*3 岩手県立大学盛岡短期大学部 講師・博士(工学)

*4 北海道大学大学院工学研究科 助教授・博士(工学)

*5 北海道大学大学院工学研究科 助手・博士(工学)

Obayashi Corporation, M. Eng.

Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.

Lecturer, Morioka College School, Iwate Prefectural University, Dr. Eng.

Assoc. Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.

Instructor, Graduate School of Engineering, Hokkaido University, Dr. Eng.

量の大部分を占めてしまうことが分かってきた⁵⁾。従って、装置の性能はCELLの通気抵抗とCELLの吸放湿性能によって決定される⁵⁾。そこでCELLの通気抵抗を軽減させると同時にその吸放湿性能を確保するために、粒径8mm程度の球状珪藻土粒を詰めたゴルフボール大の吸放湿ボールを製作し、CELL内に敷き詰めることにした。均一な隙間を確保して通気抵抗を小さくし、その一方で詰められた球状珪藻土粒の表面で吸放湿ボールの見かけの表面積を稼ぎ、吸放湿性能の低下を抑える工夫を試みることにした⁶⁾。(図2)

稚内層珪質頁岩を粉砕し、粒径を可能な限り揃えてパッケージ化した場合と、図2に示すように径と形状が揃ったゴルフボール大の吸放湿ボールをパッケージ化した場合との通気特性を比較した。1住戸の取り入れ外気量を150 m³/hとして、双方の通気特性を比較すると、径と形状が揃ったゴルフボール大の吸放湿ボールをパッケージ化した通気特性は、圧力損失が1/5に軽減されることが明らかとなった⁶⁾。(図3)

このような吸放湿型除湿・熱交換換気装置の普及のためには、吸放湿性能に優れた吸放湿材の適用とその湿気物性の把握や吸放湿ボールの吸放湿性能の検証が要諦となってくる。

そこで本研究では、吸放湿性に優れた材料開発の一環として、塩化カルシウムを含浸させた球状珪藻土粒を試作し、その吸放湿性能の把握と同時に、含浸珪藻土粒で構成された吸放湿ボールの吸放湿性能の検討を行なった。検討事項を以下に記す。

1. 造粒・焼成処理・塩化カルシウム含浸が吸放湿性能に及ぼす影響：粒状珪藻土粒の平衡含水率曲線の測定。
2. 吸放湿ボールの吸放湿性能の同定：数値計算による湿気浸透率(見かけの湿気伝導率)の算定。

2. 吸放湿材の製造

2.1 造粒

吸放湿材として、粒径8mmの球状珪藻土粒の製造を試みた。球状珪藻土粒を生成する方法として、珪藻土の原石を直接的に削って造粒することが考えられる。しかし、珪質頁岩は脆いため、機械・物理的な球状形成は、珪質頁岩の個々の細片の粒径を揃える以前に粉砕させてしまうことが分かった。そこで、粉体の珪藻土とそれを結合させるための粘土の混合物を原料として傾斜回転パン型造粒機を使用して造粒生成を行い、強度保持のためにさらに焼成を施した球状珪藻土粒の製造を試みることにした。

<造粒機構>

造粒には、傾斜回転パン型造粒法を採用した。(図4) 傾斜回転パン型造粒法とは、粉体とスプレー液(本論文では水を使用している)を連続的に供給し、大きく成長した球状ペレットを下部のリムから排出させる方式をいう。滞留時間の関係から、パンの回転数を増加させるか、または傾斜角を大きくとった場合には、ペレットの粒径は小さくなり、パンの深さを大きくとると粒径は大きくなる傾向がある。スプレー液の供給は、パンの回転に伴って上昇下降を繰り返す粉粒体層の中間層(粉と小凝集粒の層)付近の含水率(乾燥基準)が塑性限界相当の含水率に対して0.50~0.75の範囲にくるように調整して、造粒行程と粒径の制御を行った。

<運転条件>

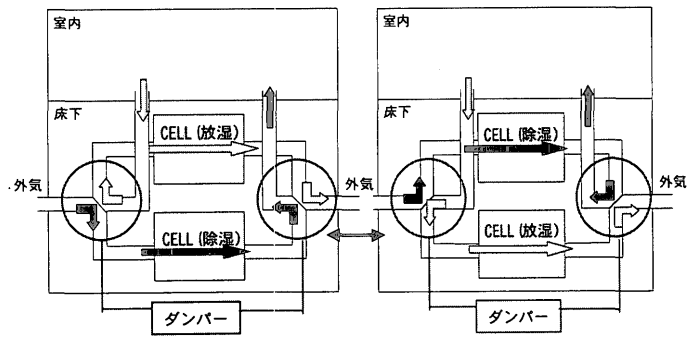


図1 開発装置の概念図

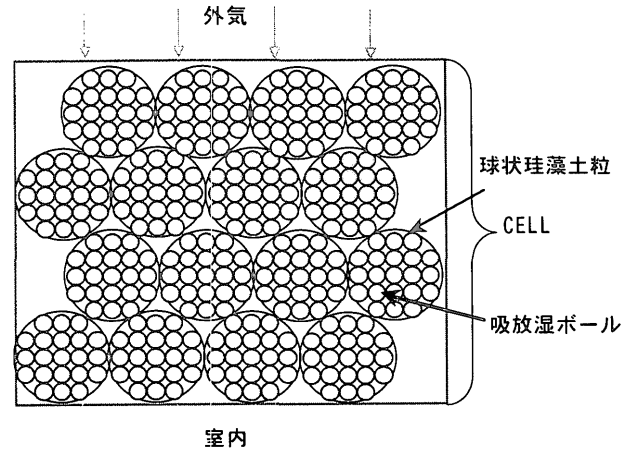


図2 CELLの構成

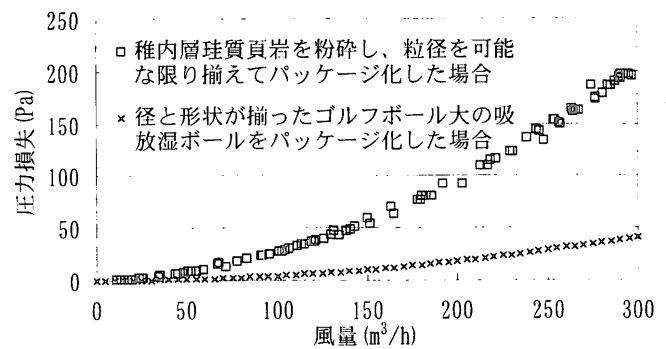


図3 CELLの通気抵抗の比較 (CELL長: 0.1m)

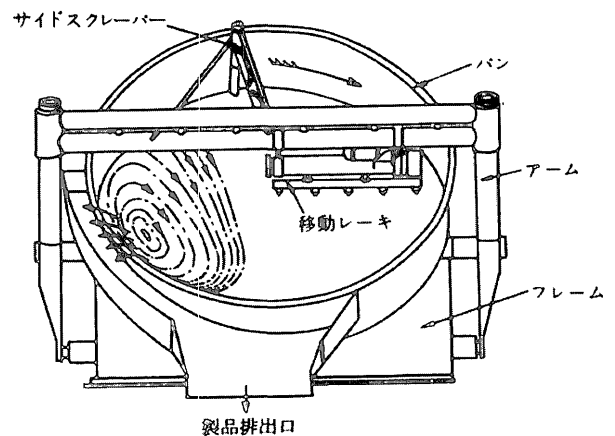


図4 傾斜回転パン式造粒機 (文献: 粉粒体プロセス技術集成・基礎技術編、産業技術センター、pp. 131, 1974)

運転条件は以下の通り。

回転数：26rpm、深さ：120mm

傾斜角：45度、処理時間：10～15分

<試料>

珪藻土の粉体とバインダー用粘土を重量比 85：15 の割合で配合した試料を使用した。珪藻土は稚内層珪藻質頁岩（豊富産）を粉碎操作で 0.5mm under に調整し、バインダー用粘土も粉碎操作で 0.5mm under に調整した。ただし、珪藻土の粉体とバインダー用粘土の重量比の割合は、造粒行程及び焼成行程において試料が球状を形成・維持するのに最低限必要となる配合割合であることが望まれる。この割合はこれまでの北海道工業試験場における経験的な知見に基づいて決定されたものである。

<造粒方法>

上述運転条件の基で、重量比 85：15 の割合で配合した珪藻土と粘土を連続的に供給しながら、造粒状況を視覚的に判断し、加湿速度を制御、造粒生成を調整した。また、造粒物は回収後、重量を測定し、105℃にて12時間の乾燥後に再度重量を測定し、それらの数値から含水率を算出した。表1に含水率を示す。

製造した造粒物をふるい分けし、各粒径ごとに重量・強度を計測した。表2に各粒径毎の生成量・強度を示す。

2.2 焼成処理

表2に示すように、造粒物を乾燥させただけでは、圧縮強度が小さく、また水を含ませると崩壊してしまう。塩化カルシウムを含浸させた吸放湿を想定した場合には、吸放湿ボールとしての形成を維持可能な強度が求められる。本論文では焼成処理を施して造粒物に強度を与えた。

<焼成温度の決定>

珪藻土をタイル状に焼成した製品は既に市販されているが、造粒物の焼成に際し、その焼成温度を決定する必要がある。その第一段階として、焼成温度と強度との関係を検討するために、粒径 5-10mm の造粒物に 400℃、500℃、600℃、700℃で2時間の焼成を施し、各焼成温度毎に造粒物の強度を測定した。その後、水に16時間浸し、再び強度を測定した。

表3に各焼成温度毎の強度を示す。球状造粒物は焼成温度が高い程、強度は増大した。また、700℃未満のケースでは水に浸した後の強度が低下する傾向を示す（焼成処理を行わない場合は水に浸すと崩壊する）。

700℃焼成の場合、水に浸しても強度が低下しない。700℃では完全焼結に近い状態になるためと考えられる。本論文では、完全焼結に近い700℃と、それより低温の600℃で造粒物を焼成し、この2ケースを対象に吸放湿性状を検討した。

<焼成条件>

以下に焼成条件を記す。

焼成温度 600℃と700℃（焼成釜の温度上昇速度：50℃/h）

焼成時間 24時間（焼成温度に達してからの継続時間）

焼成量 粒径 5-10mm 5.0kg

焼成時間を24時間にしたのは多量の造粒物を焼成するにあたって、焼成体毎のむらが生じないようにするためである。24時間焼成後、粒径 5-10mm の焼成体の強度を計測。その後、造粒物を水に24時間浸し、再び強度を測定した。600℃の測定結果を表4に示す。

2.3 球状珪藻土粒の平衡重量含水率曲線

造粒過程でバインダー用粘土を配合したこと、造粒物に強度を与えるために焼成処理を施したことが吸放湿性能にどのような影響を及ぼしているかを明確にするために、各試料（稚内層珪藻質頁岩とバインダー用粘土を混合した造粒物を焼成処理した焼成体）の平衡重量含水率曲線を定容量式ガス吸着法によって測定し、バインダー用粘土の混合や焼成処理などが湿気物性に及ぼす影響度合いについて検証を行なった⁷⁾。

<測定概要>

表1 含水率

乾燥前 (kg)	乾燥後 (kg)	含水量 (kg)	含水率 (%)
0.246	0.160	0.086	53.8

表2 各粒径ごとの生成量・強度

粒径	量 (kg)	割合 (%)	強度 (Pa)
2mm 以下	3.0	9.4	34.0*10 ⁻³
2-4mm	6.0	18.8	32.5*10 ⁻³
4-5mm	2.3	7.2	18.9*10 ⁻³
5-10mm	13.0	40.6	27.6*10 ⁻³
10-15mm	5.9	18.4	24.2*10 ⁻³
15-20mm	0.9	2.8	
20mm 以上	0.9	2.8	

表4 24時間焼成体の強度（平均値）

焼成温度	600℃
強度 (Pa)	55.7*10 ⁻³
16時間水に浸した後の強度 (Pa)	33.8*10 ⁻³

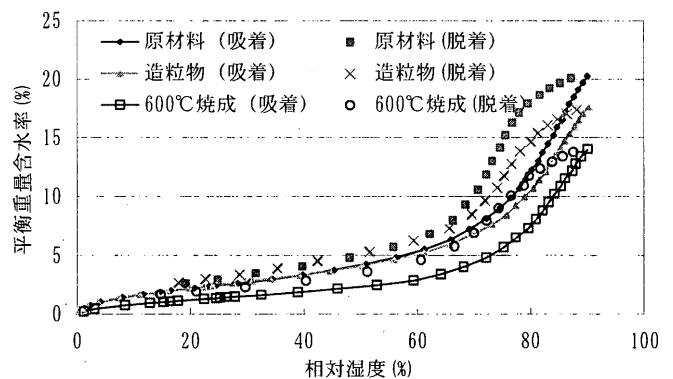


図5 稚内層珪質頁岩、バインダー用粘土を混合した造粒物、600℃焼成処理を施した焼成体の平衡重量含水率曲線

表3 各焼成温度毎の強度

粒径 5-10mm	2時間焼成				非焼成
	700℃	600℃	500℃	400℃	
強度 (Pa)	79.2*10 ⁻³	61.6*10 ⁻³	55.8*10 ⁻³	49.6*10 ⁻³	27.6*10 ⁻³
16時間水に浸した後の強度 (Pa)	74.9*10 ⁻³	26.3*10 ⁻³	22.6*10 ⁻³	7.1*10 ⁻³	壊

4種類の試料（稚内層珪質頁岩の原石片、バインダー用粘土を混合した造粒物、それを600℃で焼成処理を施した焼成体、同じく700℃で焼成処理を施した焼成体）の測定を行なった。各試料を粉砕し、粉体にして105℃で乾燥させた。（ただし、700℃で焼成処理した焼成体は粉砕せずに、球体（粒径8mm）のまま測定を行った。）

150℃、6時間の真空脱離させた各試料を、自動水蒸気吸着量測定装置（日本ベル：BELSORP18）に装着し、吸着平衡時の水蒸気吸着量を測定し、各試料の平衡重量含水率曲線を整理した。

<測定結果>

図5に稚内層珪質頁岩、バインダー用粘土を混合した造粒物、それを600℃で焼成処理した焼成体の平衡重量含水率曲線を示す。何れの試料も、相対湿度の増加と共に吸着量が增大することが分かる。相対湿度が60%を超えたあたりから急激に吸着量は増加する。脱離時の平衡重量含水率曲線にヒステリシス性が確認された。

バインダー用の粘土を混合した造粒物の吸着量は、低湿時には原材料（稚内層珪質頁岩）の吸着量とほぼ同程度であるが、相対湿度80%前後から徐々に下回り、相対湿度90%付近では1割程度低めになった。これはバインダー用粘土の吸放湿性能が低いために、高湿時の吸着量に影響が顕れたものと考えられる。

また、600℃で焼成処理した焼成体の吸着量は、バインダー用粘土を混合した造粒物の吸着量に比べて、低湿時から全体的に2割程度下回っている。焼成処理による試料の焼結が高湿環境における吸放湿性能を劣化させる可能性がある。

図6に600℃で焼成処理した焼成体、700℃で焼成処理した焼成体の平衡重量含水率曲線を示す。600℃で焼成処理した焼成体と700℃で焼成処理した焼成体の平衡重量含水率曲線は殆ど変わらないことが分かる。焼成処理によって吸放湿性能は低下するが、焼成温度の違いによる吸放湿性能の低下に、大きな差異は顕れないことが分かった。700℃で焼成処理すると、焼成体の強度を増大させ、吸放湿性能を600℃のそれと同程度にすることが出来る。実用化の際は、強度の大きい方が球状珪藻土粒の取り扱いが容易になることを勘案すると、造粒珪藻土の焼成温度としては完全焼結に近い700℃がより適切であると言える。

2.4 塩化カルシウムによる含浸処理

2.3節で造粒・焼成処理を行うと、バインダー用の粘土が混合されるため、球状珪藻土粒の吸放湿性能が珪質頁岩の状態よりも低下することが確認された。そこで、吸放湿性能を増強するために、塩化カルシウムによる含浸処理を行った^{9),91)}。

<含浸条件>

球状珪藻土粒は乾燥機にかけて乾燥させ、その重量を計測。本論文では、含浸溶液として重量濃度30%の塩化カルシウム水溶液を作成し、水溶液中への浮き上がりを防ぎながら、乾燥させておいた球状珪藻土粒を漬け置き、約3日静置した。

含浸処理の後、含浸球状珪藻土粒を網の上に放置し、重力による水溶液の落下分を除去。その後、105℃で24時間乾燥を行ない、重量を再測定した。表5に球状珪藻土粒の含浸率を示す。

<平衡重量含水率曲線>

塩化カルシウムを含浸させたことが吸放湿性能にどのような影響を与えているかを明確にするために、含浸処理を施していない球状

珪藻土粒と含浸処理を施した球状珪藻土粒の平衡重量含水率曲線を定容量式ガス吸着法によって測定した。

2.3と同様に、各試料を105℃で乾燥させた。その後、各試料を150℃加熱、6時間の真空脱離をさせて、自動水蒸気吸着量測定装置（日本ベル：BELSORP18）を用いて吸着平衡時の水蒸気吸着量を測定し、各試料の平衡重量含水率曲線を入力した。

図7に600℃で焼成処理を施した焼成体（粒体）、塩化カルシウム含浸処理を施した焼成体（粒体）の平衡重量含水率曲線を示す。含浸処理を施すと、吸着量は増加し、塩による吸湿性能への好影響が

表5 球状珪藻土粒の含浸率

粒径	5-10mm
含浸前の試料の重量(kg)	4.20
含浸後の試料の重量(kg)	4.77
含浸量(kg)	0.57
含浸率(%)	13.7

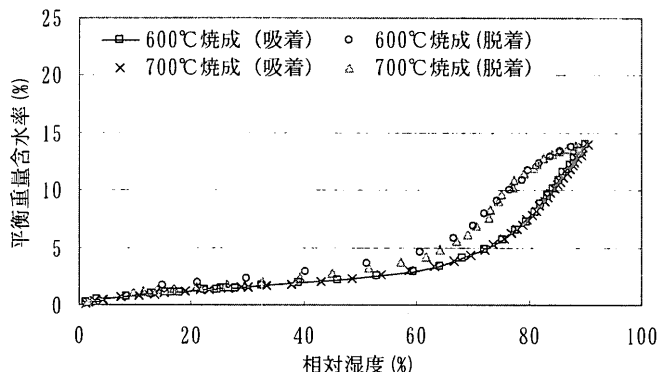


図6 600℃焼成処理を施した焼成体と700℃焼成処理を施した焼成体の平衡重量含水率曲線

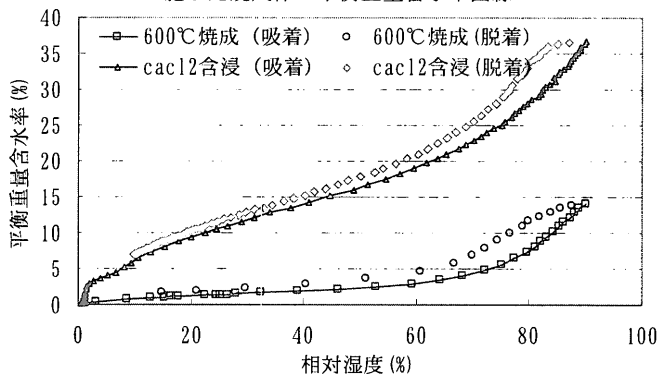


図7 含浸処理を行った焼成体と行っていない焼成体の平衡重量含水率曲線

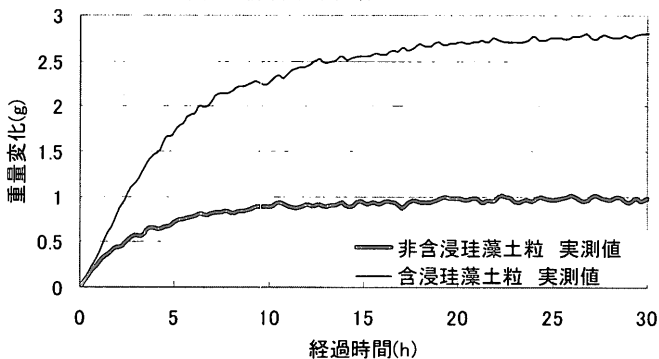


図8 吸湿量の経時変化
(設定条件 21℃60%RH → 21℃75%RH)

確認された。特に、含浸処理を施さなかった焼成体に比べ、含浸処理した焼成体は低湿時から吸着量が大幅に増加している。

各試料ともヒステリシスが認められる。何れの場合も、高湿時に吸着が増大する特性を示している。吸放湿型除湿・熱交換換気装置は主に相対湿度40～100%の外気処理を行うため、その範囲における吸着平衡時の水蒸気吸着量が大きい程、装置の吸湿性能は向上する。含浸処理した焼成体は先の相対湿度範囲で水蒸気吸着量が大幅に増大するため、装置の吸放湿性能の向上が期待できる。

3. 吸放湿ボールの吸放湿性能

3.1 吸放湿実験

吸放湿ボール作成用の網（ナイロン製）は、幾つか編み目の粗い市販製品をあたって、釣り用の「こませネット」を使用することにした。それに粒径8mmの非含浸珪藻土粒と含浸珪藻土粒を詰めた2種類の吸放湿ボール（直径45mm）を作成した。初期温湿度を設定し、それらを吊下した恒温恒湿槽内を十分に調湿した後に、槽内の湿度をステップ状に変化させた。微小加重ロードセルを使用し、2試料の吸湿による重量変化を経時的に1分間隔で測定した。各試料の周囲温湿度は、温湿度測定器（HMP143湿度温度変換器）を使用し、経時的に1分間隔で記録した。

図8は恒温恒湿槽内の初期温湿度を21℃・60%RHとし、その後温度一定のまま相対湿度をステップ状に75%RHまで変化させた時の各試料の重量変化を示す。槽内の温湿度変動を図9に示す。

図10は恒温恒湿槽内の初期温湿度を21℃・75%RHとし、その後温度一定のまま相対湿度をステップ状に90%RHまで変化させた時の各試料の重量変化を示す。槽内の温湿度変動を図11に示す。

何れの設定条件においても、含浸珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールの方が、含浸処理を施していない珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールよりも、恒温恒湿槽内の湿度設定条件を変えた直後から、吸湿量が大幅に増大しており、塩化カルシウムの含浸による吸放湿性能への好影響を確認することができた。

3.2 吸放湿ボールの湿気浸透率の推定

<解析方法>

吸放湿ボールを球体にモデル化し、パラメータ推定法を用いて湿気浸透率（見かけの湿気伝導率）の同定を行った^{[10],[11],[12]}。蒸気拡散（ハイグロスコピック）領域を対象として熱湿気同時移動方程式を適用した。周囲空気温湿度を境界条件として表面湿流積分値を算定し、この数値計算により得られた表面湿流積分値を基に吸放湿ボールの

熱湿気収支式

$$\Delta V \cdot \begin{pmatrix} (\phi_0 \gamma_{air} + \kappa) & -\nu \\ -r\kappa & (c\rho + r\nu) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\delta X}{\delta t} \\ \frac{\delta T}{\delta t} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda' S_n \cdot \frac{X_{n+1} - X_n}{r_n} - \lambda' S_n \cdot \frac{X_n - X_{n-1}}{r_n} \\ \lambda' S_n \cdot \frac{T_{n+1} - T_n}{r_n} - \lambda' S_n \cdot \frac{T_n - T_{n-1}}{r_n} \end{pmatrix}$$

- X: 絶対湿度 [kg/kg'] T: 温度 [℃] t: 時間 [s] r: 空間領域中心間の距離 [m]
- λ' : 湿気浸透率 [kg/m · s (kg/kg')] λ : 熱伝導率 [W/m · K]
- κ : 絶対湿度変化に対する含湿率変化 [kg/m³ (kg/kg')]
- ϕ_0 : 材料の空隙率 [m³/m³] γ_{air} : 空気比重 [kg/m³] ν : 温度変化に対する含湿率変化 [kg/m³ · K]
- c: 比熱 [J/kg · K] ρ : 材料比重 [kg/m³] S: 分割された空間領域が隣の領域に接する場所の表面積 [m²] r: 相変化熱 [J/kg]

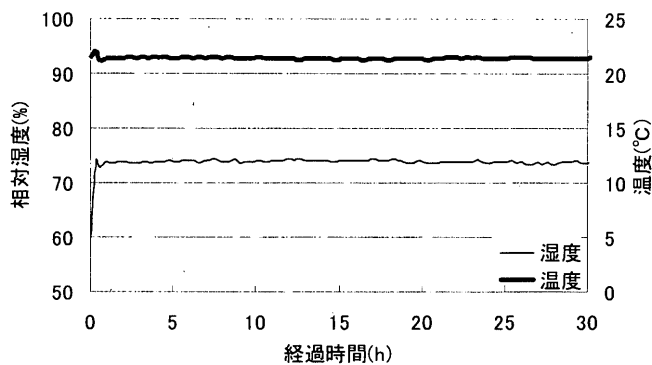


図9 恒温恒湿槽内の温湿度変化
(設定条件 21℃60%RH → 21℃75%RH)

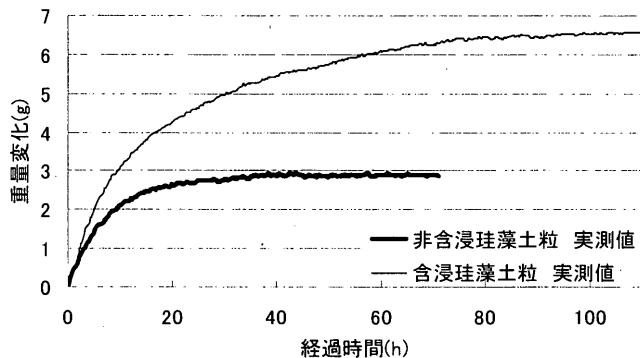


図10 吸湿量の経時変化
(設定条件 21℃75%RH → 21℃90%RH)

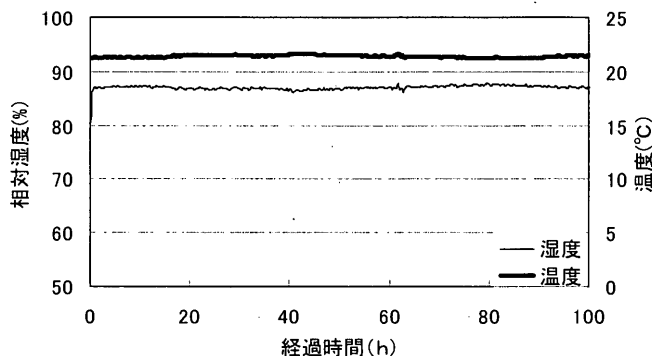


図11 恒温恒湿槽内の温湿度変化
(設定条件 21℃75%RH → 21℃90%RH)

表6 数値計算に使用した物性値

	非含浸	含浸
絶対比重(kg/m ³)	927.8	1027.8
空隙率(-)	0.371	0.371
比熱(J/kg · K)	671.0	676.9
熱伝導率(W/m · K)	0.357	0.357
熱伝達率(W/m ² · K)	50.0	50.0

表7 同定された湿気浸透率（見かけの湿気伝導率）

	非含浸	含浸
湿気浸透率(kg/m · s(kg/kg'))	0.45 · 10 ⁻⁴	1.5 · 10 ⁻⁴

質量変化実測値との残差二乗和を最小にする湿気浸透率を決定した。

湿気浸透率（見かけの湿気伝達率）は環境温度 20℃の時のルイス関係より、 $Le^{2/3}$ (Le : ルイス数 [-]) の値に対し 0.817 を用い、対流熱伝達率から逆算推定した。数値計算に使用した諸物性値を表 6 に示す¹³⁾。

数値計算に際し、時間は前進差分、空間は中心差分とした。吸放湿ボールの空間領域の分割は、次式の ΔV が一定となるように、吸放湿ボールの中心からの 40 分割を行った。時間刻みは 0.02sec とした。境界条件として、吸放湿ボールの中心は断湿・断熱条件とする。本論文で使用した解析モデルは吸放湿ボールを真球と仮定して熱湿気の収支を考えると、以下ようになる¹⁴⁾。

ただし、絶対湿度変化に対する含湿率変化率 κ [kg/m^3 (kg/kg')]、及び温度変化に対する含湿率変化率 ν [$\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$] は一定と仮定した線形モデルで計算を進めている。

<解析結果>

数値計算による解析結果を図 12 に示す。計算値と実測値は良好な一致が見られる。同定されたグロスの湿気浸透率を表 7 に示す。

球状の含浸珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールの湿気浸透率は 1.5×10^{-1} [$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ (kg/kg')]、含浸させなかった球状の珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールの湿気浸透率は 0.45×10^{-1} [$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ (kg/kg')] と推定された。含浸珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールの見かけの湿気伝達率は、含浸させなかった珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールのそれと比べて約 3 倍のオーダーで同定された。

この同定結果と、2.4 節に示した吸着等温線の結果を合わせて考えると、焼成した球状の珪藻土粒に塩化カルシウムを含浸させた場合、吸放湿性能が向上し、吸放湿材としての可能性が増すと見える。

ただし、本論文で同定した見かけの湿気伝達率については、 κ と ν の値を一定とする線形モデルで数値解析を行なったことや吸放湿ボールを真球の形状にモデル化し、その球面上のみで湿気伝達が行なわれると仮定していることから、結果的に数値が大きめに同定されている可能性も否定できない¹⁵⁾。

何故なら、含水率が急激に変化し始める、相対湿度 60%RH ~ 75%RH のような高湿度領域では、 κ と ν の非線形性が湿気伝達率の同定結果に大きく影響してくると思われるからである。また、実際の吸放湿現象としては、粒径 8mm の球状珪藻土粒を「こませネット」に詰め込んでいるため、周囲の空気が流入・流出する隙間が存在し、吸放湿ボールの内部でも球状の珪藻土粒の表面で湿気伝達が行なわれていると予測されるからである。

以上の諸要因によって、本論文の吸放湿ボールの湿気浸透率（見かけの湿気伝達率）は過大に同定されていると考えられるが、吸放湿型除湿・熱交換換気装置の開発には、見かけの湿気伝達率の方が応用に容易であることも指摘しておきたい。今後、珪藻土単体や密実な吸放湿ボールの湿気伝達率の測定を行い、隙間のある吸放湿ボールの見かけの湿気伝達率との比較検討を行なう所存である。

4. まとめ

吸放湿型除湿・熱交換換気装置に使用する吸放湿性材料の応用開発の一環として、稚内層珪質頁岩を用いた造粒物の平衡重量含水率及び焼成した球状珪藻土粒で製作した吸放湿ボールの湿気浸透率

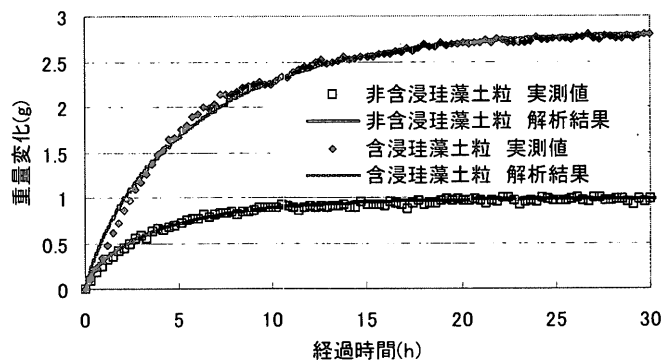


図 12 解析結果

(設定条件 21℃60%RH → 21℃75%RH)

(見かけの湿気伝達率) を測定した。

1. 球状珪藻土粒の吸放湿性能に対する焼成温度の影響は少ない。バインダー用粘土の配合による吸放湿性能の低下も、塩化カルシウムを含浸させることで軽減が可能となる。

2. 球状の含浸珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールの湿気浸透率は 1.5×10^{-1} [$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ (kg/kg')]、含浸させなかった球状の珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールの湿気浸透率は 0.45×10^{-1} [$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ (kg/kg')] と推定された。

含浸させなかった球状の珪藻土粒を詰めた吸放湿ボールの湿気浸透率は 0.45×10^{-1} [$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ (kg/kg')]

と推定された。焼成した球状の珪藻土粒で構成される吸放湿ボールの湿気浸透率（吸放湿性能）は、塩化カルシウムを含浸させた場合と含浸させなかった場合とで約 3 倍の違いが現れる。吸放湿型除湿のためのパッケージ材料としては含浸させた方が望ましい。

本論文は、大橋、繪内、荒谷、羽山、森、尾谷、赤澤、内山、野村、鈴木（徳）、鈴木（和）：含浸珪藻土粒を用いた吸放湿型除湿換気装置の開発とその性能把握（その 2） 日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 75 pp. 413-416, 2002 を基に新知見を加え、整理したものである。

謝辞

本研究は鈴木産業（株）との共同研究として行なわれ、北海道立工業試験場による技術指導を受けた。実施に当たり技術指導をお願いした北海道立工業試験場の尾谷賢、内山智幸、赤澤敏之、野村隆文、研究協力を頂いた鈴木産業の鈴木徳雄、鈴木和徳の各氏および関係者各位に記して感謝する。

参考・引用文献：

- 1) 品川浩一、湯浅岳雄、サデギアン・モハメド・タギ、荒谷登：低顕熱比冷房のための熱回収および吸放湿除湿器 日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 70, pp. 325-332, 1997. 3
- 2) 笹森礼子、荒谷登、繪内正道：全熱回収装置と兼用する吸放湿除湿器の試作・試験 日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 70, pp. 333-336, 1997. 3
- 3) 西澤繁毅、湯浅岳雄、繪内正道、荒谷登：数値解析による吸放湿型除湿器付住宅の夏期の温湿度改善効果 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.71, pp. 265-

268, 1998. 3

- 4) 湯浅岳雄、繪内正道、荒谷登:含浸珪藻土を用いた吸放湿型熱交換換気装置の試作と性能把握 日本建築学会北海道支部研究報告集 No71, pp. 281-284, 1998. 3
- 5) 大橋正知、繪内正道、西澤繁毅、荒谷登:含浸珪藻土粒を用いた吸放湿型除湿換気装置の試作及びその性能試験に関する研究 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) pp. 303-304, 2001. 9
- 6) 大橋正知、繪内正道、荒谷登、羽山広文、森太郎、尾谷賢、赤澤敏之、内山智幸、野村隆文、鈴木徳雄、鈴木和徳:含浸珪藻土粒を用いた吸放湿型除湿換気装置の開発とその性能把握(その2) 日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 75 pp. 413-416, 2002
- 7) 竹内雍監修:多孔質体の性質とその応用技術 フジ・テクノシステム
- 8) 谷本潤、張本和芳、木村健一:塩化物を含ませた高性能調湿建材の開発 日本建築学会計画系論文集 No. 495, pp. 45-51, 1997. 5

- 9) 朝倉靖弘、信田聡:硝酸マグネシウムを含まれたパーティクルボードの吸湿性能 日本木材学会大会 1995. 4
- 10) 中尾正喜:建築材料の吸放湿特性の動的測定 その3 測定実験 日本建築学会論文報告集 No. 348 1985. 2
- 11) 本間義規、鉾井修一、福島明:吸放湿性建築材料の実用的湿気物性同定に関する基礎的検討 日本建築学会計画系論文集 No. 513, pp. 31-37, 1998. 11
- 12) 大橋正知、本間義規、繪内正道、福島明:粒状珪藻土体の湿気物性同定の検討 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北) pp. 333-334, 2000
- 13) 早川亨八郎:粒体物性測定法 朝倉書店
- 14) 松本 衛:新建築学大系 10, 環境物理, 彰国社, 1984
- 15) 大澤徹夫、水谷章夫、土川忠浩:多孔質材料内の局所湿気非平衡性 日本建築学会熱環境小委員会第26回熱シンポジウム

(2002年9月9日原稿受理, 2002年12月19日採用決定)