

含浸吸放湿粒を用いた吸放湿型除湿・熱交換換気装置の開発

—吸放湿粒の吸湿性能向上を目的とした諸条件の検討—

○正会員 牧野 準司^{*1} 正会員 繪内 正道^{*2}正会員 大橋 正知^{*3} 正会員 羽山 広文^{*4}

珪藻土粒 (ボール) 強度 容積平衡含水率 含浸 吸放湿応答

1 はじめに (研究の背景と目的)

夏期に冷涼な地域の低負荷建物の場合、空調方式は搬送動力の小さい水系の床冷房設備でも対応が可能となり、給気の潜熱 (除湿) 処理が室内環境調整の主題となる。吸放湿ボールを充填した2個の cell と切替ダンパーで構成される換気装置システムを図1に示す。換気の流れを連続的に確保しながら、空気の流れを切り替えることで、吸湿・放湿過程(夏期)、蓄熱・放熱過程(冬期)を交互に繰り返す通年型の換気システムとすることができる。

吸放湿に関わる一連の研究¹⁾は、道産資源である稚内層珪質頁岩の有効利用と住宅における通年の温湿度改善を目的としている。吸放湿応答向上のために繪内ら¹⁾は CaCl₂ を吸放湿粒に吸着させた。本報告では、吸放湿粒が安定した吸放湿応答を確保するために以下を検討した。

①強度、湿気容量を有した焼成条件

②良好な吸放湿応答を獲得する含浸濃度条件

2 吸放湿粒の造粒と諸物性

傾斜回転型パン型造粒機を使用し、珪藻土 (豊富産) とバインダー用の粘土 (野幌産) を重量比 85 : 15 で混合した試料をもとに造粒を行った。造粒後、最大温度 500°C、600°C、700°C、800°C の4段階でそれぞれ2時間焼成した。

吸放湿粒の諸物性を表1に示す。粒の径は 10mm-12.4mm である。比表面積測定で焼成温度 600°C と 700°C に顕著な差が現れたため、中間温度 650°C も測定した。強度は、500°C-600°C間で約 1.5 倍、600°C-700°C間で約 1.1 倍の差を勘案すると焼結は 700°C側であり、600-650°Cで十分な強度が確保できると判断した。

3 吸放湿ボールの容積平衡含水率

ナイロン網に吸放湿粒を充填し、直径約 45mm の吸放湿ボールを作成し、環境変動に対する吸放湿応答の指標として、吸放湿ボールの容積(基準)平衡含水率(最大到達値) [m³/m³] の測定を行った。

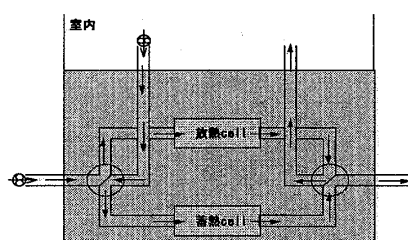


図1 換気システム

結果を図2に示す。20°C・50%RH に調湿した恒温恒湿槽内に、絶乾状態にした吸放湿ボールを吊り下げ、設定 20°C等温系で 60→70→80→90%RH と順に励起させた。焼成温度 650°Cの吸放湿粒は 60→80%RH の2点のみ計測した。容積平衡含水率は、焼成温度上昇とともに減少傾向となり、600°Cと 700°Cの間に顕著な差が確認された。650°Cは 600°Cに近似した。650°Cの吸放湿粒は 600°Cの強度と湿気容量を有すると判断できる。

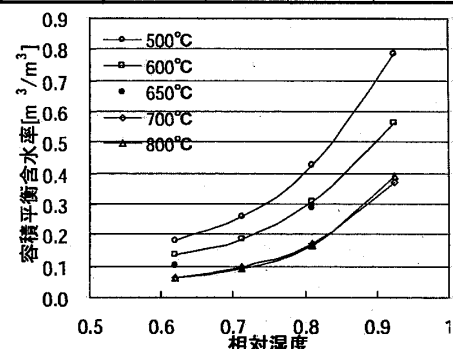
焼成温度 600°Cと 700°Cの試験体に、重量濃度 2.5%、5%、10%、20%の CaCl₂ の水溶液を 48 時間含浸させ、含浸吸放湿ボールの平衡容積含水率の変化を測定した。塩化カルシウム吸着量を表2に含浸体と非含浸体の容積平衡含水率を図3に示す。設定温湿度は非含浸と同じである。なお、濃度 20%の試験体は設定 90%RH の途中、飽水による水分滴下を生じた。焼成温度 600°Cの試験体が 700°Cを上回る傾向が見られた。600°Cの方が、湿気容量が大きく、温湿度環境の変化に対して、より安定した吸放湿応答を有することが分かる。

4 CaCl₂ の細孔内での吸湿現象把握

CaCl₂ 吸着量に伴う吸湿現象への影響度を分析するため、平衡状態における CaCl₂ の吸湿量に対する状態量変化を熱力学系 (標準生成ギブス自由エネルギー²⁾) の観点から解析した。等温系でそれを構成する元素から生成する反応において、元素および物質が全て標準状態である場合の自由エネルギー変化を、標準生成ギブス自由エネルギー (以下 ΔG) という。温度一定下の ΔG は式(1)で表される。

表1 吸放湿粒物性

焼成温度 [°C]	強度 [q/mm ²]	空隙率 [ND]	比重 [kg/m ³]	比表面積 [m ² /g]
500	58.4	0.63	4321	107
600	88.5	0.58	3281	112
650	計測せず	0.56	2860	112
700	94.2	0.52	2590	90
800	Over	0.54	2942	92

図2 容積基準平衡含水率(m³/m³)

Development of ventilation device for moisture-absorbent dehumidification and heat exchange by using diatomite saturated with CaCl₂ Evaluation of measured Condition for better performance MAKINO Junji et al.

$$\Delta G = \Delta H_f^\circ - T\Delta S^\circ \Lambda \quad (1)$$

ΔS° : エントロピー変化
 ΔH_f° : 標準生成エンタルピー変化

細孔表面に吸着した CaCl₂ の吸湿現象を把握するモデル実験を行った。無水塩化カルシウムの粉体をシャーレに約 10 g 入れ、恒温恒湿槽内に設置し、重量変化を計測した。設定条件は 20°C60、70、80、90%RH、吸湿量基準での CaCl₂ 電離に伴う ΔG[kJ/g] を表 3 に示す。

図 4 は、横軸を表 2 の吸湿モデル値、縦軸を含浸吸放湿ボールに吸着した CaCl₂ の各設定温湿度での平衡状態における ΔG として示したものである。

濃度 2.5%、5% ではモデルの値からの差が確認された。これは、平衡状態において細孔内表面での水蒸気吸着が残存しており、CaCl₂ 水溶液が見かけ上過大に希釈されたためであると考えられる。含浸濃度 10% 以上の場合、平衡状態においてモデルの値にほぼ相関が得られたので、平衡状態においては水溶液面による吸放湿現象と考えられる。焼成温度による影響は軽微であった。

5 吸放湿応答

ダンパー切替え周期内における短期的な吸放湿応答を把握した。本間³⁾の研究によれば、吸湿量が時間平方根に一次直線回帰可能な場合に(式(2))、κ は一次回帰直線の傾き(式(3))となる。吸湿量の大部分は直線回帰範囲に存在し、ダンパーの切替え時間内の短期的な吸放湿応答であれば、回帰直線の傾きが吸放湿応答に関する指標となる。

$$W(t) = D_v \sqrt{t} \Lambda \quad (2) \quad W_{balance} = \kappa \cdot V \cdot \Delta X \Lambda \quad (3)$$

W(t): 吸湿量 D_v: 拡散係数(const) κ[kg/m²·(kg/kg)]: 絶対湿度変化に対する吸放湿応答値

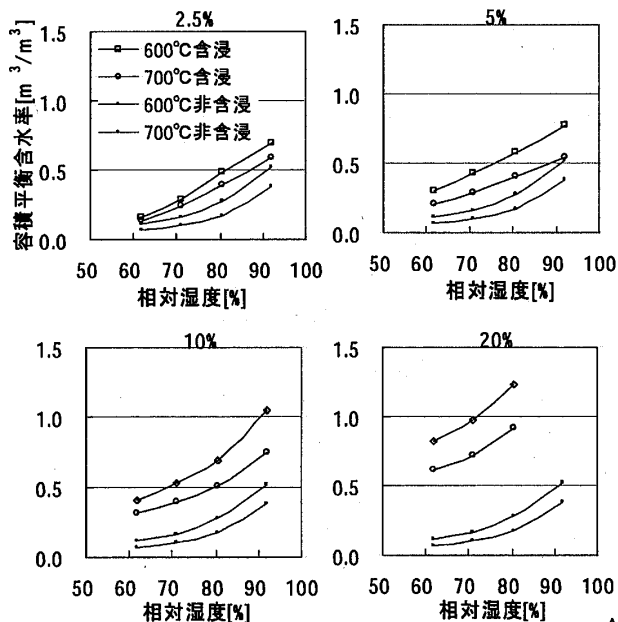


図3 容積基準平衡含水率[m³/m³]

CaCl₂ 吸着量に伴う吸湿応答の変化を検討した。焼成温度 650°C の吸放湿ボールを用いた。サンプルは非含浸体 3 個と重量濃度 5%、10%、15% の CaCl₂ 水溶液含浸体である。設定温湿度 20°C・60%RH で平衡状態確認後、等温で

80%RH に励起し、重量変化を計測した。

図 5 に横軸を容積基準塩化カルシウム吸着量、縦軸に回帰直線の傾きを示す。非含浸体と濃度 10%、15% 含浸体では吸湿応答に約 2.2 倍の差が見られた。含浸体での吸湿応答は、5% が 10%、20% に対して、約 0.95 倍と漸減である。濃度 10%、15% の 60%RH 平衡状態では、細孔内表面は CaCl₂ 水溶液で覆われており、平衡濃度はほぼ一定である。よって、湿度励起後、平衡に至る短期的な吸湿応答速度はほぼ等しくなる。濃度 5% では細孔面での水蒸気吸着が残存しているため吸湿応答が漸減となった。したがって、短期的な吸湿行程であれば、吸湿応答が一定値となる CaCl₂ 吸着量下限値の存在が推測される。

6 まとめ

本研究より、以下の知見を得た。

- 1) 本研究の材料条件における粒強度と吸放湿ボールの容積平衡含水率の結果から、安定した吸放湿応答が維持可能な焼成温度は 600~650°C である。
- 2) CaCl₂ は吸湿現象に大きな影響を及ぼす。CaCl₂ 吸着量に伴う影響度を熱力学的に解析し、標準生成ギブス自由エネルギーの面から検討を加えた。
- 3) 短期的な吸湿行程において、濃度平衡状態から相対湿度を増加させた場合、吸湿応答が一定となる CaCl₂ 吸着の下限値が存在する。本報告では、含浸濃度 10% で吸着させた場合、下限値が約 160[kg/m³] 付近として得られた。

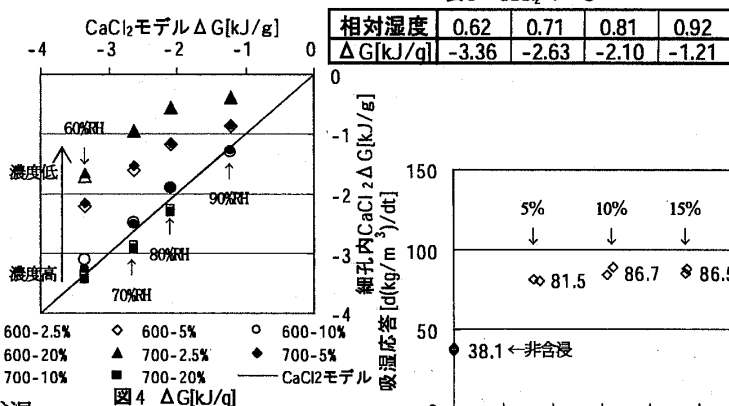
[参考・引用]

- 1) 絵内正道・大橋正知ら、塩化カルシウム含浸珪藻土粒を用いた吸放湿型除湿・熱交換気装置の開発とその性能把握 日本建築学会技術報告集 第 17 号 243-246 2003.06
- 2) 例えば、大門寛他、パーロー物理化学・上 東京化学同人
- 3) 本間義規、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研究 日本建築学会計画系論文集 NO.513 p31-37 1998.11

表 2 容積基準 CaCl₂ 吸着量[kg/m³]

含浸濃度	2.50%	5%	10%	20%
600°C	39.7	96.2	204.4	417.4
700°C	33.7	70.4	145.3	306.5

表 3 CaCl₂ の ΔG



△ 600-2.5%
□ 600-20%
● 700-10%

◇ 600-5%
▲ 700-2.5%
■ 700-20%

○ 600-10%
● 700-5%
◆ CaCl₂モデル

図4 ΔG[kJ/g]

相対湿度	0.62	0.71	0.81	0.92
ΔG[kJ/g]	-3.36	-2.63	-2.10	-1.21

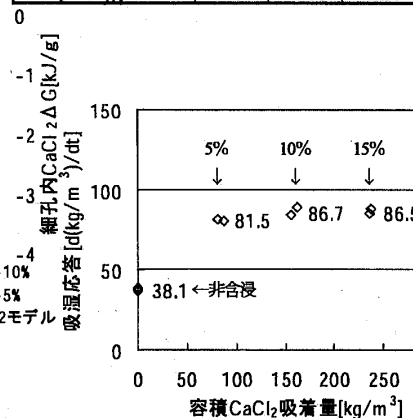


図5 吸湿応答変化

*1 山下設計, *2, *4 北海道大学大学院, *3 大林組

*1 Planner, Yamashita Sekkei, Ma. Eng., *2 Prof. Hokkaido University, Dr. Eng., *3 Engineer, Obayashi Corporation, Ma. Eng.