

令和元年5月24日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06122

研究課題名(和文) 収着剤複合粒子流動層を用いた潜熱貯蔵型空調システムの構築

研究課題名(英文) Development of a latent heat storage type air conditioning system using sorbent composite particles fluidized bed

研究代表者

堀部 明彦 (Horibe, Akihiko)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：50229241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、新規有機系収着剤を用いた蓄熱システムの構築を目的としている。有機系収着剤は、水蒸気を取り込み、吐き出す性質を有する物質である。本収着剤粒子やガラスなどをコアにして周囲に収着剤を塗布した複合粒子を用いて流動層とし、潜熱蓄熱のための収着挙動を把握することによりシステム展開のための基礎的知見を得ることを目的としている。

研究では、システムを模擬する実験装置を作製し、各粒子を使用して基礎的実験を行い、空気流速、温度、湿度、および粒子量などの影響を検討した。さらに、容器に充填した粒子層の内部の有効熱伝導率を測定するなど、有機系収着剤を用いた蓄熱システムの構築のための有用な資料を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究における特色・独創的な点は、(1)シリカゲルなどの吸着剤に比較して2倍以上の性能を有する、世界に先駆けて開発した有機収着剤を用いて、(2)貯蔵層には、熱特性の改善かつ高流量での運転ができる収着剤粒子や複合粒子を用いた流動層を使用し、(3)ヒートポンプの温・冷熱の同時利用を可能とする潜熱貯蔵法を利用した水蒸気潜熱・顕熱分離型の空調システムを構築するための基礎的資料を得る点である。本システムは、新規収着剤を用いて潜熱貯蔵を行うことにより、現在改良が限界にきている従来の空調システムの新たな展開を図るものである。

研究成果の概要(英文)： The purpose of this research is to construct a heat storage system using a novel organic sorbent. Organic sorbents are substances that have the property of taking in and releasing water vapor. The aim is to obtain basic knowledge for system development by grasping absorption and desorption behavior in fluidized bed using sorbent particles or composite particles coated with sorbent around the core such as glass.

In this research, an experiment system was made to simulate the system, and basic experiments were performed using the particles, and the effects of air velocity, temperature, humidity, and particle amount were examined. Furthermore, useful data for construction of a heat storage system using organic sorbents were obtained, such as measuring the effective thermal conductivity of the particle layer packed in the container.

研究分野：伝熱工学

キーワード：熱利用 収着剤 蓄熱

1. 研究開始当初の背景

近年、空調ニーズの高まりに応じて空調システムは大きく発展しているが、基本技術は成熟し、これまでの延長上では更なる大幅な効率改善は困難になりつつある。一方で、最近のエネルギー事情により空調機器の効率化の要求は切実なものとなっており、また、電気以外にも動力源を多様化する必要もある。これらの問題解決の一方策として、デシカント空調が見直されている。デシカント空調とは、デシカント（Desiccant：吸着剤や収着剤などの乾燥剤）を用いた空気の除湿動作により種々の操作を行うものである。固体吸湿剤を用いたデシカント空調は、以前より存在する技術であるが、装置の規模が大きい点や効率面などがこれまで障害と考えられ大規模な普及は遅れてきた。しかし、デシカント空調は熱を主な動力源として作動するため、廃熱など多様な熱を使用できる特徴があり、温度と湿度を分離した制御や大量の外気処理ができることなど環境調和型機器として大きな利点を有している。

2. 研究の目的

本研究は、新規有機系収着剤複合粒子の水蒸気脱着・収着により、ヒートポンプの温・冷熱の同時利用を可能とする新しい潜熱貯蔵型空調システムの構築を目的としている。

夏季の冷房には、除湿と冷却操作が必要である。提案するシステムでは、夜間に、ヒートポンプの凝縮器の温熱を利用して、収着剤の水分脱着を行い乾燥状態（水蒸気潜熱分貯蔵）とし、同時に、ヒートポンプの蒸発器の冷熱で、相変化蓄冷熱物質を冷却する（凝固潜熱蓄冷）。昼間には、乾燥した収着剤による空気の除湿と蓄冷熱物質による空気冷却を行い、空気の顕熱（温度）と潜熱（湿度）を分離して制御する高効率な「水蒸気潜熱・顕熱分離空調」として用いる。収着剤貯槽には、優れた物質移動効率を考え流動層を用い、流動粒子には、高空気流速を可能とすべく、新たに開発するガラスや金属粒子に収着剤をコーティングした新規収着剤複合粒子を使用する。

本研究では想定するシステム構築の基礎的資料を得るために、特に収着剤粒子等を用いた流動層における収着・脱着挙動について明らかにした。

3. 研究の方法

(1) 収着剤複合粒子の材質等の検討

本研究では、収着剤を用いて潜熱貯蔵を行うことを目的としており、収着剤粒子の特性を考慮して流動層にて水蒸気の出し入れ（乾燥と水蒸気収着）を行う。流動層では、適用する空気流速に適した粒子径や密度があり、また、大量に素早く水蒸気の出し入れを行うためには、平衡収着量や収着速度、および流動層内の熱の移動を作用する熱伝導率や比熱など様々な因子が性能に関与する。本研究では、収着剤粒子やガラスや金属の粒子に収着剤を塗布する新規収着剤複合粒子を用いることを検討し、中心材を変えることにより径や密度、熱特性を変化させた粒子を試作し、最適な粒子を選定する。

(2) 流動層式潜熱貯蔵槽の構造検討および実験装置の作製

流動層式潜熱貯蔵槽を模擬する実験装置では、収着剤粒子を流動層型の蓄熱槽に充填し、ヒートポンプの凝縮熱加熱を模擬した温度の空気を下部から流入させることにより流動化させて収着剤の脱着（乾燥）操作を行い、その後、乾燥した収着剤により空気の除湿を行うものとする。実験装置は大別して空気制御部および試験部から構成される。空気制御部は図1に示すように、コンプレッサ、アフタークーラ、メンブレンドライヤ、気泡塔、エアヒータより構成され、調湿された空気を試験部へ送り出すことを可能とする。また、空気制御部は2流路に分かれており、3方弁にて切換えることができる構造としている。試験部は可視化を可能とするためにポリカーボネイト製の円管容器とし、内部に収着剤複合粒子を充填する。また空気入口および出口に試験部の圧力損失を測定するための圧力タップ並びに湿度測定用の湿度センサーを設け、出口には精密湿度測定用の露点計も設置し、入口、出口の空気湿度を測定する。また、流動層内および空気入口、出口には熱電対を取り付けて温度をデータロガーにて測定する。

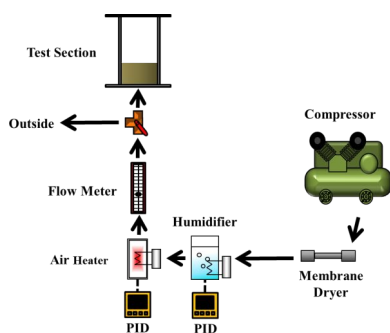


図1 実験装置概要

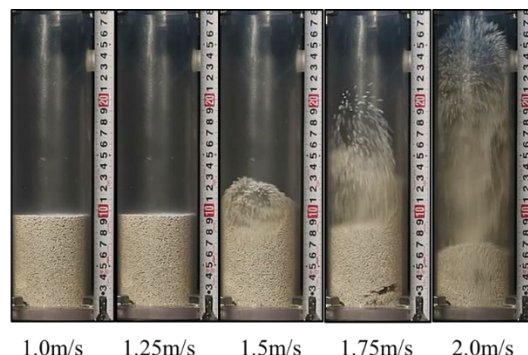


図2 ステンレス 1.2mm コア複合収着剤
収着実験平衡時の可視化画像
($T_{in}=30$, $\phi=60\%$, $m_b=863g$)

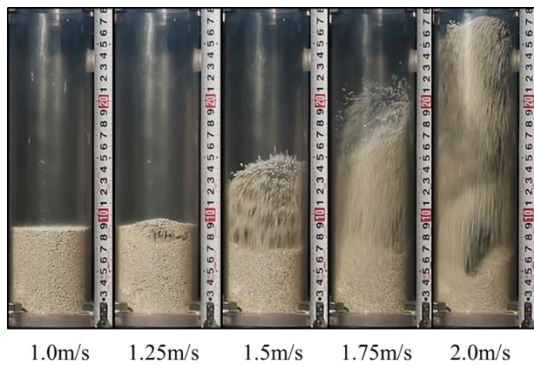


図3 ステンレス 1.2mm コア複合収着剤
脱着実験平衡時の可視化画像
($T_{in}=50$, $\varphi=20\%$, $m_b=863g$)

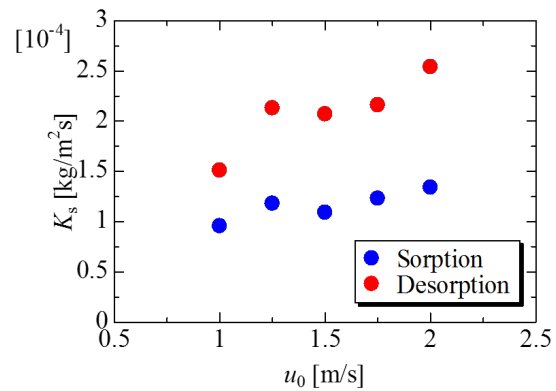


図4 ステンレス 1.2mm コア複合収着剤の
各流速における総括物質伝達係数の比較

4. 研究成果

本システムは、新規収着剤を用いて空気除湿のための潜熱貯蔵を行うことにより、現在改良が限界にきている従来の空調システムの新たな展開を図るものである。本研究では、シリカゲルなどの吸着剤に比較して2倍以上の性能を有する有機収着剤を用いて、貯蔵層には熱特性の改善かつ高流量での運転ができる収着剤複合粒子を用いた流動層を使用し、ヒートポンプの温・冷熱の同時利用を可能とする潜熱貯蔵法を利用した水蒸気潜熱・顕熱分離型の空調システムの構築を目的として基礎的資料を得るために、特に収着剤粒子等を用いた流動層における収着・脱着挙動について明らかにしたものである。以下に成果の一部を示す。

(1) ステンレス径 1.2mm をコアとした複合収着剤の挙動

図2にステンレス 1.2mm コア複合収着剤収着実験平衡時の可視化画像を示す。実験条件は入口空気温度 $T_{in}=30$, 空気相対湿度 $\varphi=60\%$, 充填量 $m_b=863g$ である。流速 1.0m/s, 1.25m/s では最小流動化速度 1.34m/s を超えておらず流動していないことから固定層となることがわかる。最小流動化速度を超えた 1.5m/s から流動を開始し、流速が増加するにつれ流動高さが上昇し、流動が激しくなっている。次に図3にステンレス 1.2mm コア複合収着剤脱着実験平衡時の可視化画像を示す。図3より 1.25m/s で局所的に流動している様子が確認できた。これは、脱着による乾燥のため質量および粒径が減少し、収着条件の最小流動化速度よりも低い流速で流動していると考えられる。また、図2と図3より各流速において脱着実験の方が収着実験よりも流動高さが上昇していることがわかる。これは収着による膨潤現象の影響と相対湿度の増加により粒子の付着力が増加することが流動高さに影響したと考えられる。

図4にステンレス 1.2mm コア複合収着剤収着および脱着実験の各流速における総括物質伝達係数を示す。図4より流速の増加にともなって総括物質伝達係数も増加していることがわかる。これは流速を増加させることで粒子と気体との界面にある濃度境界層が薄くなり、収着反応が促進されたためである。しかし、流動開始直後の流速 1.5m/s で総括物質伝達係数が少し低下している。これは流速の低い固定層では気体は粒子充填層区間の隙間を通過して一様に流れていくことが考えられるが、流動開始直後では流動にムラができ、収着反応が不均一に行われたことが原因と考えられる。

(2) ステンレス径 2.0mm をコアとした複合収着剤の挙動

図5にステンレス 2.0mm コア複合収着剤収着実験平衡時の可視化画像を示す。ステンレス 2.0mm コア複合収着剤に関してはステンレス 1.2mm コア複合収着剤と比較し、密度および粒径が大きいことため高流速条件下で流動する。よって今回の実験条件範囲の流速においては主に固定層領域で収着反応が行われ、2.0m/s で流動を開始している。図6にステンレス 2.0mm コア複合収着剤脱着実験の各流速における総括物質伝達係数を示す。図6よりステンレス 1.2mm コア複合収着剤と同様に流速の増加にともなって総括物質伝達係数も増加しており、流動開始直後の流速 2.0m/s で総括物質伝達係数が低下していることがわかる。また、1.2mm コアの粒子の場合と同様に、各流速において収着実験よりも脱着実験の方が高い総括物質伝達係数を示している。

(3) 粒状収着剤の挙動

図7に粒状収着剤収着実験平衡時の可視化画像を示す。粒状収着剤は複合収着剤と比較し、コア物質が入っていないため密度が小さく、低流速で流動する。よって今回の実験条件範囲の流速においては、常に流動しており、他の複合収着剤よりも激しく流動していることが明らかとなった。また図8に各相対湿度における空気が流れていない状態の可視化画像および充填高さを示す。充填高さが相対湿度の増加に伴って高くなっていることがわかる。これは粒状収着剤は複合収着剤と同様に相対湿度の増加に伴って質量および粒径が増加するが、コアが無いことため収着水分量が多く、複合収着剤よりも変化の割合が大きいことによると考えられる。

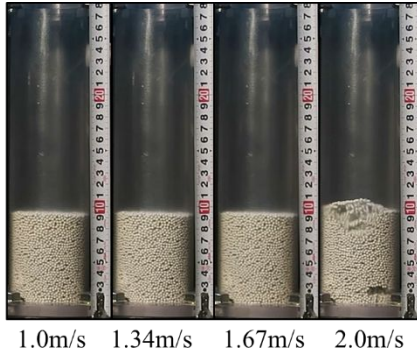


図5 ステンレス 2.0mm コア複合収着剤
収着実験平衡時の可視化画像
($T_{in}=30$, $\varphi=60\%$, $m_b=980g$)

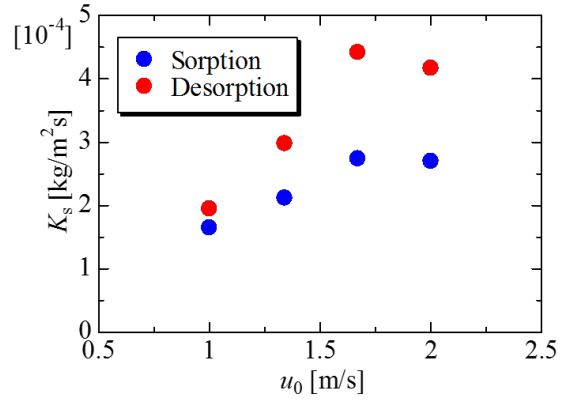


図6 ステンレス 2.0mm コア複合収着剤の
各流速における総括物質伝達係数の比較

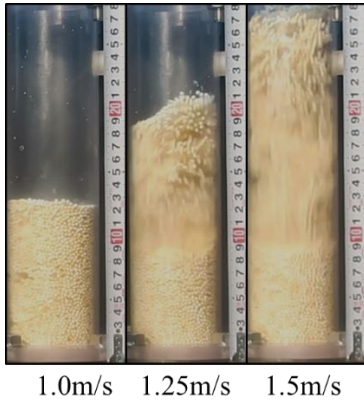


図7 粒状収着剤収着実験平衡時の可視化画像
($T_{in}=30$, $\varphi=60\%$, $m_b=200g$)

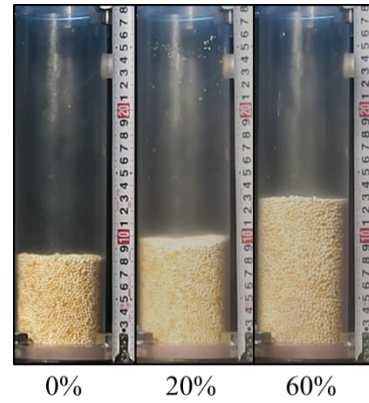


図8 各相対湿度における空気流動なしの
可視化画像($m_b=200g$)

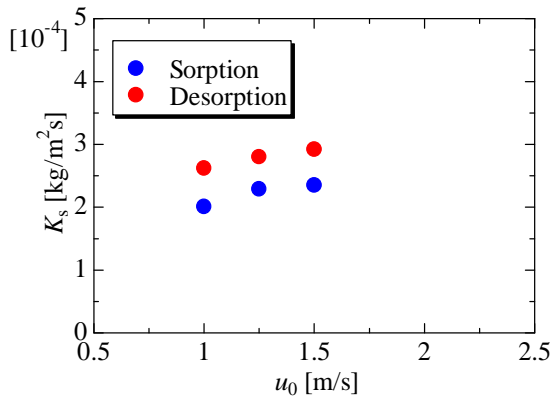


図9 粒状収着剤収脱着実験の
各流速における総括物質伝達係数

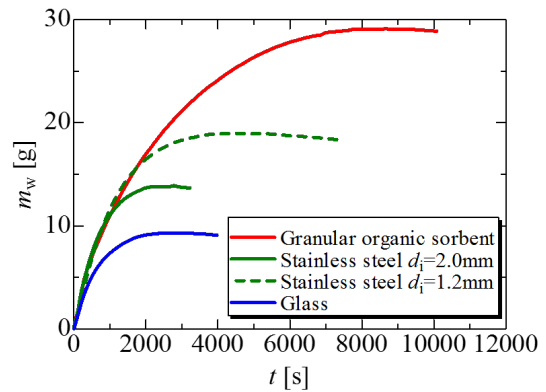


図10 各試料の収着実験における
収着水分量の経時変化

図9に粒状収着剤収脱着実験の各流速における総括物質伝達係数を示す。図9より他の複合収着剤と同様に流速の増加とともに総括物質伝達係数も増加している。また各流速において収着実験よりも脱着実験の方が高い総括物質伝達係数を示している。これはステンレス 1.2mm, 2.0mm コア複合収着剤と同様の理由であると考えられる。

(4)各粒子の比較

図10に各試料の収着実験における収着水分量の経時変化を示す。ガラスコア、ステンレス 1.2mm, 2.0mm コア複合収着剤は流速 2.0m/s, 粒状収着剤は流速 1.5m/s である。図10から各試料において実験初期は収着速度が同程度であり、収着水分量は粒状収着剤が優れていることがわかる。またステンレス 2.0mm コア複合収着剤は流動高さを抑制できる点で優れている。

(5)成果のまとめ

ステンレスやガラスコアとした複合収着剤と粒状収着剤を用い収脱着特性の解明を行った。

その結果、空塔流速の増加に従い、流動状態が激しくなることで総括物質伝達係数は増加するが、流動開始直後の流速では減少する傾向を示すことが判明した。また粒状収着剤は複合収着剤と比較し、相対湿度の増加に伴う、質量、粒径の変化の割合が大きいことが明らかとなった。さらに各試料において収着初期に関しては収着速度が同程度であることが分かった。以上のように、流動層に用いる各複合収着剤の流動時の特性が把握でき、流動層式潜熱蓄熱システム構築のための有用な資料を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

なし

〔学会発表〕(計 10件)

堀部明彦, 山田寛, 中村一貴, 永井哲, 有機系収着剤膜の水蒸気透過特性, 第39回日本熱物性シンポジウム, 2018

堀部明彦, 山田寛, 村田智規, 複合有機系収着剤粒子層の熱移動特性, 2018年度日本冷凍空調学会年次大会, 2018.

永井哲, 堀部明彦, 山田寛, 高分子収着剤の水蒸気収脱着速度, 2018年度日本冷凍空調学会年次大会, 2018

Akihiko Horibe, Yutaka Yamada, Keisuke Yamashita, Mass transfer characteristics of organic sorbent particles in a circular tube and circulating fluidized beds, 9th Asian Conference on Refrigeration and Air-conditioning (ACRA2018), 2018

堀部明彦, 山田寛, 富山椋介, 長絵理菜, 丸山智弘, 前多信之介, 有機系収着剤を用いた密閉式蓄熱ユニットにおける放熱挙動, 第55回日本伝熱シンポジウム, 2018

永井哲, 堀部明彦, 山田寛, 高分子収着剤の水蒸気収着機構, 第55回日本伝熱シンポジウム, 2018

徳毛亮太, 堀部明彦, 山田寛, 有機系収着剤粒子を用いた蓄熱システムにおける収着挙動, 日本機械学会中国四国支部第56期総会講演会, 2018年

Akihiko HORIBE, Naoto HARUKI, Yutaka YAMADA, Fluidization and Mass Transfer Characteristics of Composite Organic Sorbent Particles in a Fluidized Bed, International sorption heat conference 2017(国際学会), 2017年

堀部明彦, 春木直人, 山田寛, 大旗和希, 収着剤塗布膜の水分移動特性, 日本機械学会中国四国支部第55期総会講演会, 2017年

堀部明彦, 春木直人, 山田寛, 瀬川稜介, 複合収着剤粒子層の有効熱伝導率測定, 2016年度日本冷凍空調学会年次大会, 2016年

〔図書〕(計 0件)

なし

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

なし

〔その他〕

ホームページ等

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

該当なし