

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 16 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560232

研究課題名(和文)空調の新たな展開を図る顕熱・潜熱分離型ヒートポンプ併用収着剤空調システムの開発

研究課題名(英文)Development of a new air conditioning system with organic sorbent using a heat pump to separate control of sensible heat and latent heat

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) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで未利用であった空調機(ヒートポンプ)等の低温排熱を利用して、収着剤ユニットの再生(水分の脱着)操作を行う新たな空調システムの構築を行うために、新規収着剤の収脱着挙動に関する検討を行った。各種の実験の結果、ユニットの水蒸気収着・脱着挙動に及ぼす空気流速、温度、湿度、収着剤塗布量などの各因子の影響を明らかにした。さらに、実機として用いる際の基礎的データを整理し、新たな空調機器の知見を公表した。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is to develop a new air conditioning system with organic sorbent which is able to utilize the low temperature waste heat such as the heat from a condenser of air conditioner. The experiments were carried out under the various conditions such as inlet air flow velocity, air temperature, air humidity, amount of sorbent, and so on. As a result, the effects of each factor for sorption and desorption were clarified. Basic data of this system for using as a real equipment were obtained and the findings of the new air-conditioning equipment were made public.

研究分野：伝熱工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：空調 吸着・収着 デシカント ヒートポンプ

1. 研究開始当初の背景

現在、環境負荷を伴わず省エネルギーに寄与できる空調機器の開発が求められている。そのため、空気中の水蒸気を直接出し入れすることにより、湿度および温度を制御する吸着式空調システムが注目を集めている。本研究は、吸着剤より吸湿性能が高い新規有機系吸着剤を用いて、その特性を生かすために簡易なハニカムユニットに吸着剤を塗布し、ヒートポンプ等と併用することにより顕熱と潜熱を独自に制御する新規空調システムを提案するものである。本システムは、吸着した水分を50℃以下の低温廃熱の利用により水蒸気を脱着させ吸着剤を再生する省エネルギー型の新空調システムである。

新規有機系吸着剤は、シリカゲルなどの無機吸着剤と同様に水蒸気を取り込み、吐き出す性質を有する物体であり、ポリアクリル系高分子架橋体に水蒸気吸着サイトを付与したものである。無機吸着剤ではその性能に限界があるため機器体積が大きくなり、また、本研究で提案する吸着剤に比べて水蒸気を放出する脱着（再生）温度が高い熱源を必要となる。本研究で使用する有機系吸着剤は、材料内部に蒸気分子を取り込み、その膨潤作用により従来の吸着剤に比較して2倍以上の大量の水蒸気を吸着し、50℃以下の低温熱で収縮を伴いながら水蒸気の脱着が可能であるなどこれまでの材料には見られない優れた特徴を有している。

本吸着剤を用いることにより、ノンフロンタイプの高性能な空調機器が可能となるばかりではなく、これまで捨てられていた排熱を利用して、省エネルギー的に除湿冷房や加熱操作を行う高度な調湿・調温サイクルの構築が可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、これまで未利用熱として排出されていた空調機（ヒートポンプ）等の排熱を利用して、吸着剤ユニットの再生（水分の脱着）操作を図る。湿度分（潜熱）を吸着剤ユニットで処理することにより、システム全体の効率を向上させる。これらのシステムを構築するために、まず静止型の吸着ハニカムユニットにおける水蒸気吸着および再生（脱着）特性の把握を行うものである。本研究において対象とする吸着剤空調システムは、従来よりも吸着材料の担持量の増加による大容量の調湿を実現し、ヒートポンプ等の低温排熱を再生に利用して、システムの高効率化を図ることなどを目指している。

本システムの目的は、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り、膨大に分散賦存する低温排熱を利用することができ、従来の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吸着剤を用いて、省エネルギー型の調湿・調温サイクルの構築が可能となる顕熱・潜熱分離型のヒートポンプ併用吸着剤空調システムを構築することである。

これまで、排熱を利用した空調機器としては、吸収式冷凍機やシリカゲルなどを用いたデシカント空調システムが実用化されている。しかし、これらのシステムでは100℃から120℃程度の排熱が必要であり、100℃以下の膨大な排熱は利用することが困難であり、効率も悪くなる。本システムでは、50℃程度までのヒートポンプなどの未利用低温排熱が有効活用できる。

3. 研究の方法

(1) 静止型吸着剤ユニットの基礎的吸着・脱着挙動の解明

静止型吸着剤ユニットを用いた場合は、吸

着（空気除湿）と脱着（収着剤再生および空気加湿）のサイクルを繰り返すバッチ機構となり、吸着と脱着の各過程における、水蒸気の収着量および脱着量の経時変化を把握する必要がある。そのため、各過程における空気流速や温度、湿度などの因子が及ぼす影響について詳細に把握し、空調システムを構築するための基礎的データを明らかにする。まず、静止型収着剤ユニット空調システムを模擬する実験装置を作製し、実験的検討を行う。精密に各種のデータを得るために、試験部は想定する実際のシステムの一部を抜き出した形として作製する。実験では、詳細な挙動を把握するために、収着実験と脱着実験を各々分離して行い、それぞれの熱・物質移動のメカニズムを検討する。実験因子としては、収着・脱着実験ともに入口空気温度・入口空気相対湿度・空気流速などである。

(2) 実用化や性能に対する評価

本研究で実機として想定しているものは、静止型収着剤ユニットを2つ用いて、収着（除湿）と脱着（再生）を繰り返して連続的に空気の湿度および温度を制御するシステムや回転型収着剤ユニットを用いたシステムであり、収着・脱着時における収着、除湿特性について明らかにし、実機として用いる際の基礎的データを整理し性能評価を行う。また、上記の実験で得たデータを元にして除湿性能について検討を加え実用化に耐えうるようにメリット、デメリットを把握する。

(3) 性能予測

上記の実験結果を元にして本システム用いた場合の、実用を想定した性能予測を行う。

4. 研究成果

(1) 収着剤ユニット空調システム試作機作製

静止型収着剤ユニットの性能を評価するため、所定の条件（空気温度、空気湿度、通過風量（流速））の空気を導入できる試験機を作製した。本実験装置は、コンプレッサー、アフタークーラー、エアフィルターおよびミストフィルター、メンブレンドライヤー、気泡塔加湿器、加熱・冷却器、浮子式流量計、試験部、恒温槽および管路で構成されている。なお、空気温湿度の効果を独立して検討するため、まず本機ではヒートポンプではなく加熱・冷却器等によって温度制御した。

コンプレッサーから送られた空気は、アフタークーラーによって冷却され露点以下まで温度を下げ、空気中の水蒸気を凝縮除去される。フィルターおよびミストフィルターにて空気中の水滴及びゴミなどを除去し、さらにメンブレンドライヤーによって乾燥空気にした後、流路を2系統に分割して、一方を気泡塔加湿器に送られる。気泡塔加湿器はステンレス製円筒温水槽であり、円筒内に電気ヒーターを取り付けて、温水の温度を制御される。気泡塔の下方から空気を流し込むことによって空気を加湿させる。なお、試験部入口に設置する露点計により露点温度を測定し、それをもとに加湿器内の電気ヒーターをPID制御して空気湿度を一定に調節した。

試験部は静止型収着剤ユニットを想定し、100mm×100mmの断面を有するハニカム状の基材に収着剤を塗布した矩形収着剤ユニットを挿入した構造とした。使用するハニカムは実機として想定する断面2m×2m程度のコルゲートハニカムの一部断面を模擬したものであり、試験部容器とハニカムの間には断熱材を設置して、周囲をほぼ断熱条件とした。試験部長さは1.5mで3分割できる構造とした。

一方、回転型収着剤ユニットに関しては、主

に、収着剤ロータ部、空気制御部、ヒートポンプから構成されている装置を作製した。本実験で用いた収着剤ロータは、ガラス繊維を含んだ不織布に有機系収着剤を塗布した八ニカムシート成型し、円筒状に巻いたものである。また、その形状は外径 250mm、内径 98mm、長さ 200mm の中空円筒状である。本実験で利用したヒートポンプは汎用小型除湿機の部品であり、実験では圧縮機の回転数を 3600rpm と等速で回転させて使用した。本実験装置では、収・脱着側空気を空気制御部で所定の温・湿度にした後、浮子式流量計で流量を調整して試験部に通風をさせた。

(2) 静止型収着剤ユニットの基礎的収着・脱着挙動の把握

実機の性能を予測できるように収・脱着挙動に及ぼす各因子の影響を検討した。なお、試験因子が多いため各因子の影響を評価する場合には、まず基本条件を定め、評価対象因子以外は条件を固定し優先順位を決めて実験を行った。試験因子として八ニカム長さ、空気温度、空気湿度、試験部空気流速（流量）について検討し、測定結果をもとに、各入口空気条件における出口空気温度・湿度の経時変化、出口空気平均温度・湿度、八ニカム内の水分量の経時変化、圧力損失等について明らかにした。

例えば、空気流速の影響に関しては、収着過程では流速の増大により水分の移動速度（物質伝達係数）の増加による空気湿度の減少と単位時間当たりに流れる空気量が多くなることによる影響が生じること、また、流速が大きいと収着剤の収着状態は速く飽和状態に近付き、一方流速が小さい場合には単位時間当たりの水蒸気収着量は少ないため、収着剤の収着飽和に近づくには、時間がかかることなどが明らかになった。また、脱着過

程においては、それぞれの流速における出口絶対湿度は開始後すぐに増加するが、しばらくすると一定の絶対湿度を保つことが明らかになった。その後、急激に空気絶対湿度の減少がみられ、最終的に入口絶対湿度とほぼ一致する。

新規収着剤は、世界初の材料であり、このような基礎的な特性を詳細に明らかにすることは非常に価値があると考えられる。

(3) 収着剤ユニットの収着・脱着挙動の評価

ヒートポンプを併用した際の条件設定にて、収着剤塗布量の効果や、八ニカム長さや試験部空気流速（流量）について変化させた際の測定結果をもとに、出口空気温度・湿度の経時変化、出口空気平均温度・湿度、八ニカム内の水分量の経時変化、圧力損失等について明らかにした。

さらに、収着材ユニットとヒートポンプ併用時の除湿性能を検討するため、回転型収着ユニットにヒートポンプを付加したシステムを想定して、コスト削減の検討要因となる回転型収着ユニットの収着剤塗布量の影響など種々の因子の効果について詳細に検討した。

新たな収着剤に関するこれらの知見は、これまで得られていなかったものであり、この種のユニットを実機として用いる際の有用なデータとなるものである。

(4) 性能予測

実験結果を元にして、実機の導入現場にて簡単に性能予測ができるよう、収着剤八ニカムの収脱着特性を推算できる簡易な計算モデルを構築した。このモデルは所定の温度・湿度の空気が流入した場合、収着剤八ニカム出口における空気状態を想定できるものであり、種々のシステムにおいて有用であると

考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

堀部明彦, 春木直人, 宮内裕昭, 仁科裕貴, 種々の流路における有機系収着剤ロータへの二重通風除湿 - 第2報: ヒートポンプ使用時の除湿特性 -, 日本冷凍空調学会論文集, 査読有, Vol.29, No.1, 2012, pp.131-140.

堀部明彦, 春木直人, 稲葉渉, 直方型収着剤ユニットの収脱着特性, 日本冷凍空調学会論文集, 査読有, Vol.29, No.1, 2012, pp.153-162.

[学会発表](計7件)

堀部明彦, 高分子収着剤を利用した潜熱・顕熱分離空調, 日本冷凍空調学会関東地区事業推進委員会, 2011年10月, 東京都

堀部明彦, 高分子収着剤による潜熱・顕熱分離空調とヒートポンプの利用, 日本冷凍空調学会 西日本地区事業推進委員会技術セミナー(西日本地区)2012年2月, 福岡.

堀部明彦, 春木直人, 稲葉渉, 種々の条件における直方型収着剤ブロックの除湿特性, 2012年度日本冷凍空調学会年次大会, 2012年9月, 札幌.

堀部明彦, 熱の有効利用を目的としたデシカント(顕潜熱分離)空調について, 第8回中国地域エネルギー・温暖化対策推進会議, 2012年11月, 広島.

堀部明彦, 春木直人, 宮内裕昭, 田中峻, 有機系収着剤ロータの除湿性能に及ぼす収着剤塗布量の効果, 第50回日本伝熱シンポジウム講演論文集, 2013年5月, 仙台.

堀部明彦, 春木直人, 佐野吉彦, 田中峻, 種々の塗布量における有機系収着剤ロータの除湿特性, 2013年度日本冷凍空調学会年次

大会, 2013年9月, 東京.

Akihiko Horibe, New Sorption/Adsorption Materials and Desiccant Air Conditioning Systems, 10th Asian Thermophysical Properties Conference (ATPC 2013), 2013. 9, Jeju, Korea.

[図書](計0件)

なし

[産業財産権]

なし

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀部 明彦 (HORIBE Akihiko)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号: 50229241

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

春木 直人 (HARUKI Naoto)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号: 10311797