

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656332

研究課題名(和文) 家庭用コジェネレーション活用の常圧吸着冷凍サイクル付デシカント空調システム

研究課題名(英文) Desiccant air-conditioning system with a normal pressure adsorption refrigeration cycle of household use of cogeneration

研究代表者

加藤 信介 (KATO, Shinsuke)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：00142240

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、「家庭用コジェネレーション活用の常圧吸着冷凍サイクル付デシカント空調システム」の原型を開発することを目的とする。本研究は吸着剤を塗付された水空気熱交換器を燃料電池の廃熱や太陽熱等熱源としてバッチ式で駆動する家庭用小型デシカント外調システムにおいて、得られた常圧の乾燥空气中で水噴霧により冷水を作成し、冷温水による放射冷暖房とデシカント外調により空調換気する家庭用システムの原型を開発する。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a prototype of "normal pressure adsorption refrigeration cycle with desiccant air-conditioning systems for household cogeneration utilization". In small household desiccant outside control system which is driven by two batch as solar thermal, etc. or a heat source of waste heat of the fuel cell water-air heat exchanger that was attached coating the adsorbent, this study in dry air at normal pressure obtained to develop a prototype system for the home to create a cold water spray with water, air-conditioning ventilation by the desiccant out of control and radiation cooling and heating with hot and cold water.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：コジェネレーション デシカント空調システム 吸着冷凍サイクル

## 1. 研究開始当初の背景

エネルギー担体の輸送は、エネルギー密度の低い担体ほど相対コストがかかる。コジェネレーションによる熱電供給を行う場合、低温廃熱の利用はそのエネルギー密度が低いため、遠方での利用は難しく、熱需要家に近接して行う必要がある。固体酸化物型の燃料電池は、作動温度が高く高効率であり更に一酸化炭素などが含まれた燃料の使用が可能であり、近年は家庭用の小型の燃料電池も開発されている。このような状況下、コジェネレーションによるエネルギーの高効率使用を行うためには、燃料供給システムの開発、燃料電池の開発だけでなく、家庭でのコジェネレーションによる熱供給の合理的な活用技術の開発が不可欠である。家庭での熱利用は、給湯や暖房など温熱利用が主となるが、夏季は冷房需要も大きく、冷熱供給を避けて通ることは出来ない。コジェネレーションによる熱利用に関しては、限られた期間であるが、冷熱供給が出来ることも必須の条件となる。

## 2. 研究の目的

本研究は、「家庭用コジェネレーション活用の常圧吸着冷凍サイクル付デシカント空調システム」の原型を開発することを目的とする。

本研究は吸着剤を塗付された水空気熱交換器を燃料電池の廃熱や太陽熱等熱源としてバッチ式で駆動する家庭用小型デシカント外調システムにおいて、得られた常圧の乾燥空気中で水噴霧により冷水を作成し、冷温水による放射冷暖房とデシカント外調により空調換気する家庭用システムの原型を開発する。低温廃熱の輸送コストが大きい為コジェネレーションは熱需要がある場所で行うことが合理的である。燃料に乾留を主とするバイオマスガスを既存のガス導管で過程に導き固体酸化物型燃料電池によるコジェネレーションを家庭で行う際の熱の合理的利用を検討する。

## 3. 研究の方法

## (1) システムの概要

図1に家庭用小型デシカント外調機と常圧の乾燥空気中で水噴霧により冷水発生を行う装置を併用したシステム(以下、システム)の構成図、表1にシステムの構成要素の概要を、写真1にシステムの外観を示す。システムの外形寸法は横幅 1,800 (W)×奥行き 1,250 (L)×高さ 800 (H) mm である。家庭用小型デシカント外調機システムの装置内には、吸着剤が塗布された水・空気式熱交換器(以下、熱交換器)2台と共に、ファン2台、空気経路制御用電動ダンパー8台、熱源経路制御用電動三方弁8台、水蒸発・空気加湿ユニット(以降、加湿ユニットと称する)1台が設置されている。熱交換器の寸法は横幅 264.0 (W)×奥行き 400.0 (L)×高さ 65.2 (H) mm であり、伝熱面積は 5.50 m<sup>2</sup> (管部面積 0.29 m<sup>2</sup>, フィン部面積 5.2 m<sup>2</sup>) である。フィン上部の熱交換器の表面には、ゼオライト系の水蒸気吸着剤(質量 0.98 kg, 熱容量(0.805 kJ/(kg·K), (303K の場合))が塗布されている<sup>3)</sup>。

家庭用小型デシカント外調機システムは加湿側と除湿側でそれぞれの空気経路が分離されており、熱交換器に温水・冷水を投入し、サーマルサイクルによる水蒸気の脱着・吸着をおこなう。それにより、外気(outdoor

air, OA)を空気加熱・水蒸気脱着(加湿側)もしくは空気冷却・水蒸気吸着(除湿側)することが可能になる。

除湿側では外気を冷却・水蒸気吸着し、加湿側では還気(return air, RA)を加熱・水蒸気脱着する。既存のヒートポンプ式デシカントシステム<sup>4)</sup>の駆動原理も同様であるが、家庭用小型デシカント外調機システムは空気加熱・水蒸気脱着(加湿)にコジェネレーションや燃料電池などで得られた低温廃熱温水(60℃)を活用する特徴がある。また、空気冷却・水蒸気吸着(除湿)にはクーリングタワー(cooling tower)による冷水(22~26℃)もしくは、熱交換器を通過する空気(外気)を活用する。常圧の乾燥空気中で水噴霧により冷水発生を行う装置は家庭用小型デシカント外調機システムの除湿側に設置されている。除湿側で冷却・水蒸気吸着した空気は加湿ユニットにある加湿器エレメントを通る。加湿器エレメントの外見を写真2に示す。加湿器エレメントの寸法は横幅 300 (W)×奥行き 100 (L)×高さ 300 (H) mm である。加湿器エレメントはハニカム構造であり、無機充填材と無機結合材で構成された不燃タイプである。加湿器エレメントに冷水(26℃)を垂直に落下させ、水平方向に流れる除湿側の空気冷却・水蒸気吸着後の空気との水蒸気・熱交換により、冷水の温度は下がり空気は加湿されることになる。

## (2) 実験概要

風量はピトー管式センサーを測定点⑨、⑩に設置し、高精度差圧トランスデューサー(MKS社, バラトロン)を用いて測定する。空気の温・湿度はVAISALA社製の測温抵抗体(RTD)センサー(空気温度, 計測範囲 -20~80℃, 精度±0.1℃)と高分子静電容量式センサー(空気湿度, 計測範囲 0~100%, 精度±1% at 20℃CDB)を用いて測定した。温湿度センサーの測定点位置は、予備計測として行われたダクト内の高さ別の測定(JIS規格A1431)に基づいて定めた。ダクト内において10点の計測を行い、平均値と同じ値を示す測定点位置とした。

実験は東京大学の生産技術研究所内にある極限環境試験室を用いて実施する。OA側は極限環境試験室の温・湿度制御を行って一定状態の外気を再現した。RA側は実験準備室に設置されているエアコンを用いて温度制御(設定温度 24℃)をおこなう。ダクトの周囲に厚さ 30 mm の発泡スチロールを貼り合わせるにより外部との断熱を確保した。

デシカント空調機の熱源としては、ガスボイラーで作られた温水とチラーで作られた冷水を、それぞれ低温廃熱からの温水とクーリングタワーからの冷水と想定した。空気熱源・水蒸気脱着モードでは60℃の温水を供給した。一方、空気冷却・水蒸気吸着モードでは26℃の冷水を供給して実験を行った。

システムの熱交換器におけるサーマルサイクルの構成を図3に示す。サーマルサイクルは197秒の周期(吸着・脱着時間180秒, サイクル準備時間17秒)で切り替える設定とした。サイクル準備時間にはシステムの電動ダンパーと電動三方弁を制御することで、熱交換器を通過する空気経路と熱交換器に投入される熱源水の経路を同時に切り替える。

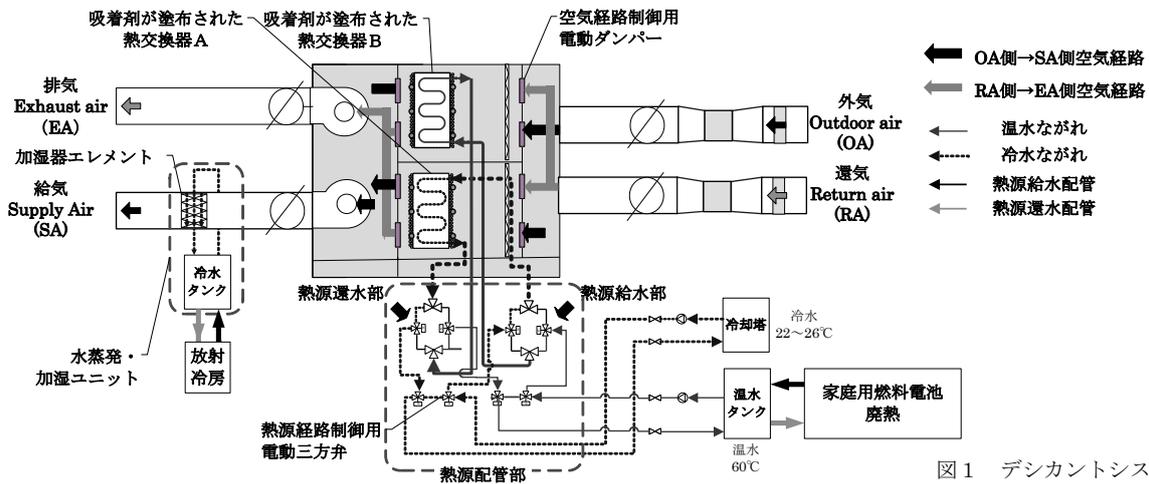


図1 デシカントシステム

実験はデシカント空調機の吸着（処理）において導入空気を室内からの還気を利用することを想定し、基本ケースを外気温湿度 $26^{\circ}\text{C}$ 、 $50\%RH$ にする。他にデシカント空調機の風量 $500\text{ m}^3/\text{h}$ （除湿側，加湿側），熱源温水の温度 $60^{\circ}\text{C}$ ，流量 $30\text{ l}/\text{min}$ ，熱源冷水の温度 $26^{\circ}\text{C}$ ，流量 $30\text{ l}/\text{min}$ ，加湿ユニットの冷水温度 $26^{\circ}\text{C}$ ，流量 $0.25\text{ l}/\text{min}$ とし，外気条件・風量・加湿ユニットの冷水流量及び温度条件を変化させ，各条件における加湿ユニットの冷水出口温度及び空気出口温湿度を確認する。

4. 研究成果

本報では冷房における熱源として除湿空調でよく用いられるデシカント空調機からの低湿空気を利用することにし，家庭用燃料電池の廃熱利用を模擬した実験で水噴霧による冷水作成の出力パターンを把握した。下記に本稿で得た知見を述べる。

(1) 本システムにおいて熱交換器で吸着時に熱が発生し，熱交換器に $26^{\circ}\text{C}$ で供給される熱源冷水と熱交換され，熱交換器自身が持つ熱容量が大きいため，外気が加熱される。その後，加湿ユニットで冷水との水蒸気・熱交換によって空気は冷却され， $26^{\circ}\text{C}$ より低い温度で給気される。

(2) 外気がデシカント空調機を持つ吸脱着能力に応じて熱交換器を通過して冷却・水蒸気吸着され，その空気を持つポテンシャルより空気と冷水が物質・熱交換されることで冷水の温度が下がる。

(3) 風量が小さくなると吸着剤での水蒸気交換が大きくなり，加湿ユニットでの入口空気の絶対湿度が低くなる。低い水蒸気量により水との水蒸気・熱交換が大きくなり，加湿ユニットの水の出口温度が小さくなる。

(4) 流量が大きいことで冷水出口温度が高くなる。冷却熱量は水流量に大きく依存するため，水流量を大きくすることで，冷却熱量を大きくすることが出来る。

(5) 加湿ユニットでの水の出口温度は入口温度の変化には影響されず，熱・水蒸気交換においては入口空気の状態に大きく依存する。入口空気条件を用いた重回帰分析では実験結果との良い相関を見せる。

(6) 外気条件が $26^{\circ}\text{C}$ ， $50\%RH$ ，加湿ユニットの冷水の入口温度 $26^{\circ}\text{C}$ に対して，加湿ユニットの冷水出口温度が $20^{\circ}\text{C}\sim 21^{\circ}\text{C}$ になる。加湿ユニットでの流量が $0.25\text{ l}/\text{min}$ で少ないが，約 $0.1\text{ kW}$ 程度の冷却能力を持つ。この水を冷房利用における冷熱源として使うことを考えると実験で得られ

表1 システムの構成要素の概要

項目	内容		数量
外形寸法	寸法：1,800 (W) × 1,250 (L) × 800 (H) mm		-
吸着剤が塗布された熱交換器	寸法	264.0 (W) × 400.0 (L) × 65.2 (H) mm	2台
	銅管外径	9.53 mm	
	吸着剤	0.98 kg (ゼオライト系水蒸気吸着材)	
	伝熱面積	5.50 m <sup>2</sup> (管部：0.29, フィン部：5.20)	
送風機	アルミフィン	ピッチ：1.80 mm, 厚み：0.12 mm	-
	風量	500 m <sup>3</sup> /h	2台
電動ダンパー	寸法：φ200 mm (空気経路切り替え)		8台
電動三方弁	寸法：φ20 mm (熱源経路切り替え)		8台
水蒸発・空気加湿ユニット	加湿器エレメント寸法:300(W)×100(L)×300(H)mm 水配管径：10 mm		1台

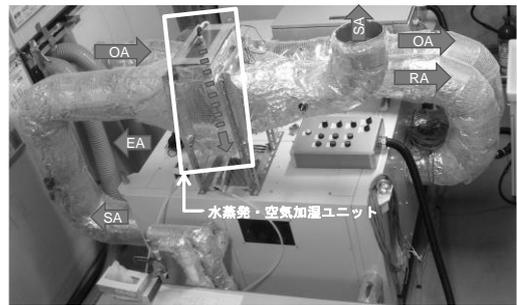


写真1 システムの外観



写真2 加湿器エレメントの外観

た加湿ユニットの出口温度は高いが、高温放射冷房として適用すると結露がなく快適な冷房環境が得られると考える。

(7) 熱交換器の処理熱量に比べて加湿ユニットでの冷却熱量はそれに及ばないが、処理熱量と冷却熱量の差によって生じる余った熱量は、冷房用給気として導入の場合に室内で処理され供給できると考える。即ち、低温放射冷房で処理できなかった熱量を空気側で補うことが可能と考える。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

- ① 朴炳龍、李時桓、加藤信介、市川徹、工月良太、バッチ式デシカントシステムの空気調湿・調温性能に関する実験的検討 コージェネレーション排熱利用バッチ式デシカント外気処理システムの開発 (その2)、日本建築学会環境系論文集 No.689、(7, 2013)、pp.595-604、(査読有)

[学会発表] (計4件)

- ① 小林遼一、加藤信介、樋山恭助、手塚純一、二川智吏、住宅用バッチ式デシカント空調システムの実装と性能評価 (その3) 数値解析モデルを用いた感度分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2013年8月30日～9月1日、北海道
- ② 趙旺熙、金政一、川本光一、河野仁志、加藤信介、大岡龍三、小金井真、岩本静男、非結露型次世代空調システムに関する研究 (その23) デシカントローターの熱パージによる冬季の加湿性能、日本建築学会大会学術講演梗概集、2013年8月30日～9月1日、北海道
- ③ 金政一、加藤信介、家庭用燃料電池の排熱を利用した住宅における省エネかつ快適な冷暖房方式に関する研究 (その3) 排熱の冷房利用を考慮したデシカント空調機を用いた蒸発冷却実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、2013年8月30日～9月1日、北海道
- ④ 中川友貴、大森敏明、金政一、張偉榮、加藤信介、シミュレーションによるスマートハウスの温熱環境とエネルギーの予測 (その1)、日本空気調和・衛生工学会大会学術講演梗概集、2013年9月25日～9月27日、長野

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加藤 信介 (KATO, Shinsuke)

研究者番号: 00142240

所属研究機関名・部局名: 東京大学生産技術研究所

職名: 教授

### (2) 研究分担者

樋山 恭助 (HIYAMA, Kyosuke)

研究者番号: 10533664

所属研究機関名・部局名: 山口大学・理

工学研究科

職名: 准教授

大岡 龍三 (OOKA, Ryouzou)

研究者番号: 90251470

所属研究機関名・部局名: 東京大学生産

技術研究所

職名: 教授

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号: