

熱交換型エレメントによるデシカント空調方式の研究

張本 和芳*¹・関根 賢太郎*¹・田中 拓也*¹

Keywords : desiccant air-conditioning system, adsorbent, heat exchange

デシカント空調, 吸着剤, 熱交換

1. はじめに

日本は多湿な気候であり、冷房では空気温度の低減だけではなく、導入外気や人体から発生される湿気の除去にもエネルギーが使用される。デシカント空調は吸着剤による除湿を行う空調方式であり、吸着剤の再生に太陽熱や排熱などの未利用エネルギーを活用することにより、冷房に関わるエネルギーを削減できる可能性がある。本論文では、デシカント空調の効率化の手法の考案と実験による検証を行ったので、報告する。

2. 本デシカント空調方式の概要

2.1 空調における除湿のエネルギー

冷房空調では室内の空気や導入外気の冷却と除湿を行うが、空気の温度変化による熱を顕熱、湿度変化(水蒸気の蒸発)による熱を潜熱、顕熱と潜熱を合わせたものをエンタルピーと呼ぶ。

冷水や冷媒を循環させる冷却コイルを持つ一般的な空調機(エアハンドリングユニットやファンコイルユニット、エアコンの室内機)では、空気を冷却する顕熱処理を行うとともに、コイルやフィンで表面で空気中の水蒸気を凝縮させてドレン水として排水する潜熱処理を行い、冷却除湿と呼ばれる。この方式の場合、空気の除湿に関わるエネルギーは、空気の除湿に関わるエネルギーと併せて、冷水や冷媒を製造するコンプレッサーの電力消費エネルギーに加算される。

2.2 従来のデシカント空調方式

冷却除湿に対し、デシカント空調で用いられる吸着除湿は、ゼオライトや高分子材料などの吸着材料を担

持したハニカムやフィンに空気を流通させて水分を吸着する潜熱処理を行う。吸着材料はある量以上の水分を吸着できないので、加熱によって吸着材料から水分を脱着させる再生過程を経る必要がある。

ローター方式のデシカント空調は、吸着材料を担持させたハニカム構造のローターを回転させて、扇状の一部分で処理空気を流通して吸着過程、別の部分で加熱空気を流通して再生過程を行い、水分の吸着と脱着を繰り返す仕組みである。バッチ方式のデシカント空調¹⁾では、直方体のハニカム構造を2組装備し、一方で吸着過程、他方で再生過程を行い、処理空気と加熱空気の流通経路を一定時間で切り替えて、水分の吸着と脱着を繰り返す仕組みである。

デシカント空調の場合、再生に関わる加熱のエネルギーを、工場の生産プロセスや、コジェネレーション機器の発電の副産物として得られる排熱や、太陽集熱器による太陽熱などの未利用エネルギーを利用できる点で省エネルギーとなる。

一方、デシカント空調における吸着プロセスでは吸着熱の発生により空気温度が上昇するため、顕熱と潜熱を合わせたエンタルピーは変化せず、室内への供給空気に適した温度まで冷却する必要があり、デシカント空調の省エネルギー化の課題となっていた。

2.3 本デシカント空調方式

本研究では、吸着処理後の処理空気の冷却に関わるエネルギーの低減を目的として、吸着熱を効率的に除去する仕組みを提案する。

本デシカント空調方式は、従来の吸着を行うハニカム層(潜熱処理層)に加え、この潜熱処理層の空気流通方向と直交して熱交換を行うハニカム層(以下、顕熱処理層)を設け、潜熱処理層と顕熱処理層を交互に積層することで、潜熱処理層で発生する吸着熱を顕熱処理層で除去する仕組みである(以下、吸着熱交換型エレメン

*1 技術センター 建築技術研究所 環境研究室

ト)。システムは、2組の吸着熱交換型エレメントからなり、一方を吸着過程、他方を再生過程として、一定時間で流通経路を切り替えて、吸着過程・再生過程を交互に繰り返す。

まず、湿気を含む導入外気は、十分に再生された吸着過程側の吸着熱交換型エレメントの潜熱処理層で除湿され、発生した吸着熱は上下の顕熱処理層に移動して、導入外気の昇温が抑制される。導入外気はさらに補助的に冷却コイルで室内設定温度と同程度まで冷却されて室内側に導入される。外気導入に伴う室内の余剰排気は吸着過程側の顕熱処理層に流通され、潜熱処理層で発生する吸着熱の熱移動により昇温された後、

機器排熱や太陽熱などの未利用熱によりさらに昇温され、再生過程側の潜熱処理層に流通されて吸着材料に保持された水分の脱着を行い、高湿度となって外気に排気される。

以上のように、冷却コイルで必要とされる冷却エネルギーを、室内側の余剰排気による熱交換で軽減し、再生で必要とされる加熱エネルギーを吸着熱と未利用エネルギーでまかなうことで、省エネルギーな吸着・再生過程が実現される。

3. 実験

3.1 実験概要

吸着熱交換型エレメントによる吸着熱の排熱効果と除湿効果を確認するため、モックアップ装置を構築し実験を行った。

実験は、モックアップ装置に対して取り入れる外気として、1)ピーク負荷を想定した外気の温湿度で固定する条件の「模擬外気実験」と2)実際の外気を使用した温湿度が変動する条件の「実外気実験」を行った。

3.2 実験装置

3.2.1 吸着熱交換型エレメントの製作

吸着熱交換型エレメントは、潜熱処理層と顕熱処理層からなる。潜熱処理層は、紙材を材料とし、波形のスペーサーを平板で挟み込んだ両面段ボールに高分子吸着剤を十分に含浸させた後、自然乾燥させて製作した。顕熱処理層は、透湿性のないポリカーボネートを材料とした両面段ボールで製作した。これらの潜熱処理層と顕熱処理層を空気流通方向を直交させるように積層構造で接着し、1ユニットを W350(潜熱処理方向)×D500(顕熱処理方向)×H800(高さ)の大きさとした。

3.2.2 実験システム

実験は温度・湿度が制御可能な人工気象室内にて行った。

吸着熱交換型エレメントを収納した熱交換ボックスを設置し、ヒータと加湿器で外気相当の温湿度に制御する「外気模擬チャンバ」、および再生空気を製造する「ヒータ」を切り替えが可能なように接続した。また、執務室相当の温湿度に制御された人工気象室内からの空気により顕熱交換するようにした。これらのボックスにダクト、ダンパ、ファンを接続し、各点の温度・湿度を検出する熱電対、サーミスタ、高分子型湿度計を配置した。

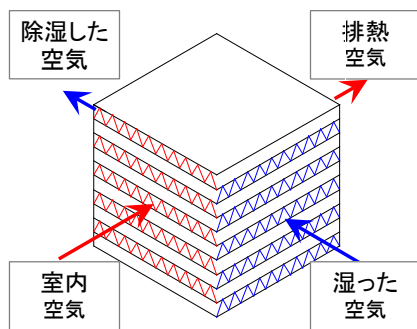


図-1 吸着熱交換型エレメント
Fig.1 Adsorption heat exchanging element

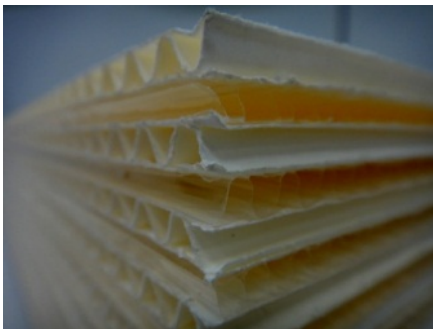


写真-1 吸着熱交換型エレメント
Photo.1 Adsorption heat exchanging element

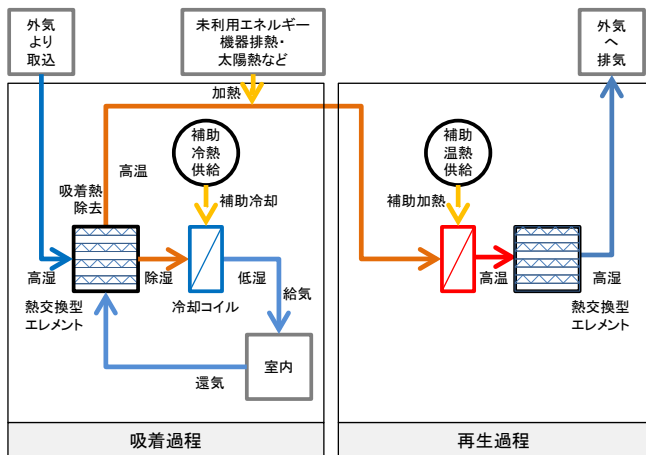


図-2 熱交換型エレメントによるデシカント空調システム
Fig.2 Desiccant air-conditioning system using heat exchanging element

3.2.3 実験条件

各実験の共通条件として、外気温湿度を 30℃、70%、室内温湿度を 26℃、50%とし、潜熱処理を行う空気の流れを 150m³/h、再生過程の高温空気は室内空気を 50℃まで昇温させたものを使用した。吸着過程を 20 分、再生過程を 20 分とし、1 サイクル 40 分とした。

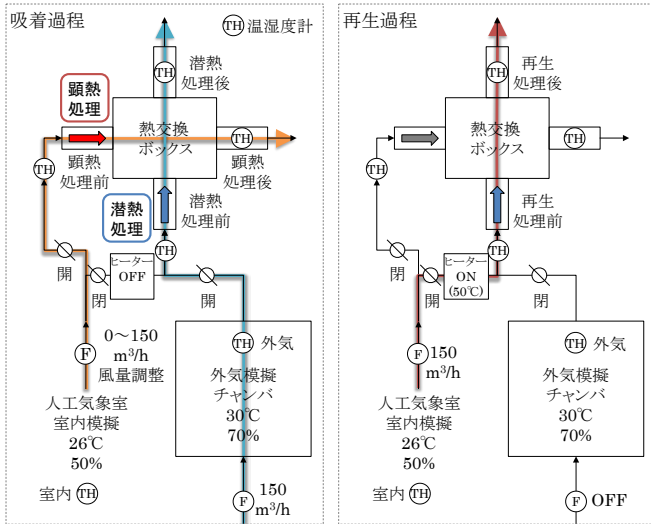


図-3 実験システム
Fig.3 Experiment system



写真-2 実験状況
Photo.2 Experiment setting

3.3 模擬外気実験

模擬外気を使用し、吸着熱を除去する風量を変化させて、吸着熱の排熱効果と除湿量を比較した。風量は 0, 50, 100, 150m³/h の 4 段階とした。150m³/h は導入外気量と同風量の設定であり、0m³/h は、吸着熱交換の仕組みのない従来型の吸着元素に相当する。

表-1 模擬外気実験の条件

Table 1 Parameters of outdoor air experiment

ケース	顕熱処理風量	共通条件	
		外気温湿度	室内温湿度
ケース 0	0 m ³ /h	:30℃, 70%	:26℃, 50%
ケース 1	50 m ³ /h	潜熱処理風量 :150m ³ /h	
ケース 2	100 m ³ /h	再生空気温度 :50℃	
ケース 3	150 m ³ /h	1 サイクル :40 分 (吸着 20 分+再生 20 分)	

3.3.1 吸着・再生サイクルの状況

各ケースの吸着熱交換型元素の潜熱・顕熱処理前後の温度・湿度の時刻変化を観察した(図-4, 5)。顕熱処理のないケース 0 では吸着熱により潜熱処理後の導入外気が温度上昇している。ケース 3 では室内空気による顕熱処理により潜熱処理後の導入外気が温度低下しており、ケース 0 に比べ吸着湿気量が大きい。

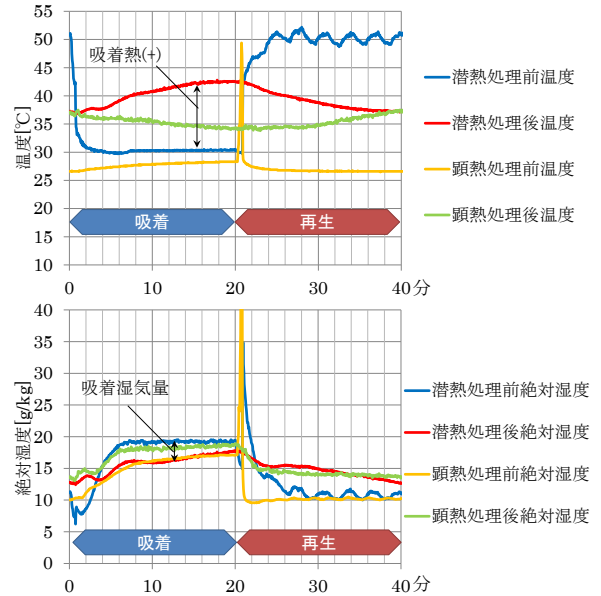


図-4 吸着・再生サイクルの状況(ケース 0: 風量 0m³/h)

Fig.4 Adsorbed/desorbed cycle (Case0:Air flow 0m³/h)

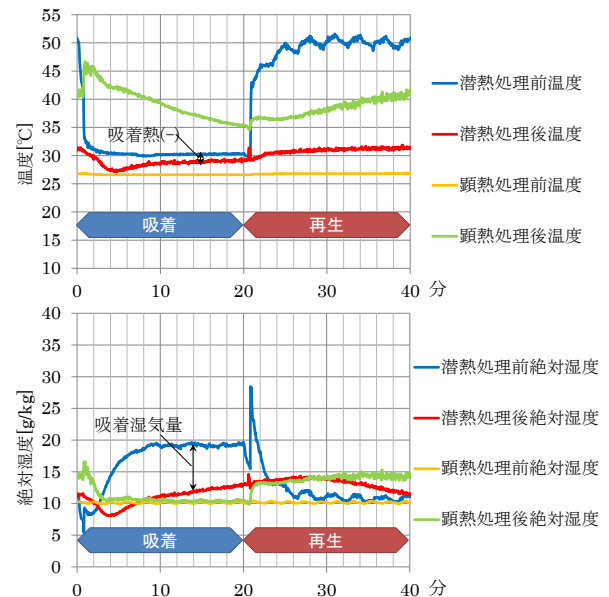


図-5 吸着・再生サイクルの状況(ケース 3: 風量 150m³/h)

Fig.5 Adsorbed/desorbed cycle (Case3:Air flow 150m³/h)

3.3.2 顕熱処理風量による出口温湿度の違い

表-2 に吸着熱交換型元素の潜熱・顕熱処理前後の温度・湿度を、図-6 に顕熱交換による吸着熱の除去効果を、図-7 に顕熱交換による吸着湿気量の向上効果

果を示す。顕熱処理を行わないケース0では、吸着熱による昇温が7.9℃であるのに対し、顕熱処理風量を150m³/hとしたケース3では、室内空気との熱交換により、外気を導入時よりも温度低下させる効果が見られている。風量を低減したケース1, 2においても外気の導入時を基準とした昇温を1~2℃に低減する効果が見られている。またエレメントの温度を低下させることにより、吸着湿気量の向上効果が見られており、顕熱処理を行わないケース0に比べてケース3では1.8倍の除湿効果が得られた。

3.3.3 空気線図における空気状態の変化

空気線図上に吸着前後の空気の状態の変化を示す。

表-2 エレメントの前後の温度・湿度

Table 2 Temperature and humidity of before/after element

	顕熱 処理 風量	潜熱 処理前 温度	潜熱 処理後 温度	吸着熱 による 昇温	潜熱 処理前 絶対湿度	潜熱 処理後 絶対湿度	湿気の 吸着量
	m ³ /h	℃	℃	℃	g/kg	g/kg	g/kg
ケース0	0	30.1	38.0	7.9	18.7	15.4	3.3
ケース1	50	31.1	33.1	2.0	17.0	11.2	5.8
ケース2	100	30.7	31.6	1.0	16.7	11.0	5.7
ケース3	150	31.0	28.8	-2.3	16.9	10.9	6.0

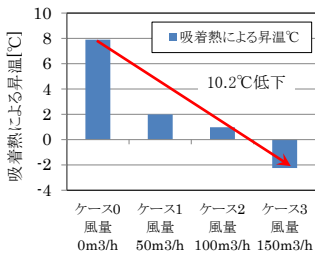


図-6 吸着熱の除去効果
Fig.6 Adsorption heat removal effectiveness

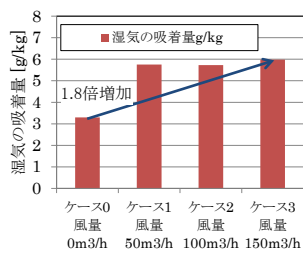


図-7 吸着湿気量の向上効果
Fig.7 Improvement of adsorption amount

空気線図は横軸を温度[℃]、縦軸を絶対湿度[g/kg]としたグラフであり、温度と湿度から空気が保有する熱量(エンタルピー)[kJ/kg]を読み取ることができる。ケース0では空気は除湿されつつ温度上昇するため、エンタルピーはほぼ変わらない状態変化となる。これに対し、ケース1~3では、除湿しつつ温度上昇を抑えるため、エンタルピーが減少する状態変化となっている。

3.4 実外気実験

温湿度変動がある実際の外気を使用した条件下で、長期時間のサイクル実験を行った。実験は2013年10月9日に行った。図-9に連続8時間の13サイクルの温湿度変化を示す。長時間においても吸着性能の低下は見られず、連続運転が可能であることを確認した。

4. まとめ

本研究では、「吸着熱交換型エレメント」を利用し、吸着熱を顕熱処理層で熱交換して排熱する仕組みにより、冷却エネルギーを軽減し、かつエレメントの温度低下により吸着効率を向上させる手法を提案した。

本方式の吸着熱の排熱効果と除湿効果を確認するモックアップ実験を行い、本方式は導入外気量と同量の還気で排熱を行った場合、吸着熱交換の風量を150m³/hとした場合は、従来方式に比べて除湿後の空気温度を10.2℃下げ、除湿量を1.8倍にする性能があり、デシカント空調の高効率化が可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 盧炫佑, 鈴木康司: 空気集熱式ソーラー除湿涼房システムの研究開発: その1)除湿涼房システムの運転実験, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2006, 309-312, 2006.

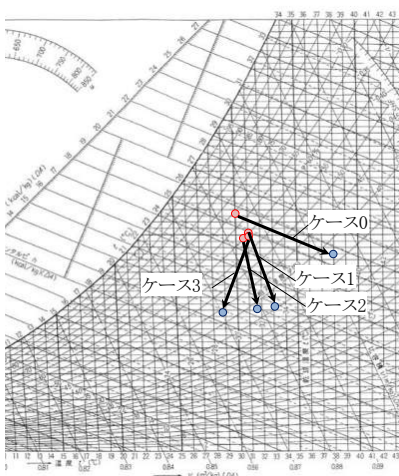


図-8 空気線図における空気状態変化
Fig.8 Condition change on psychrometrics

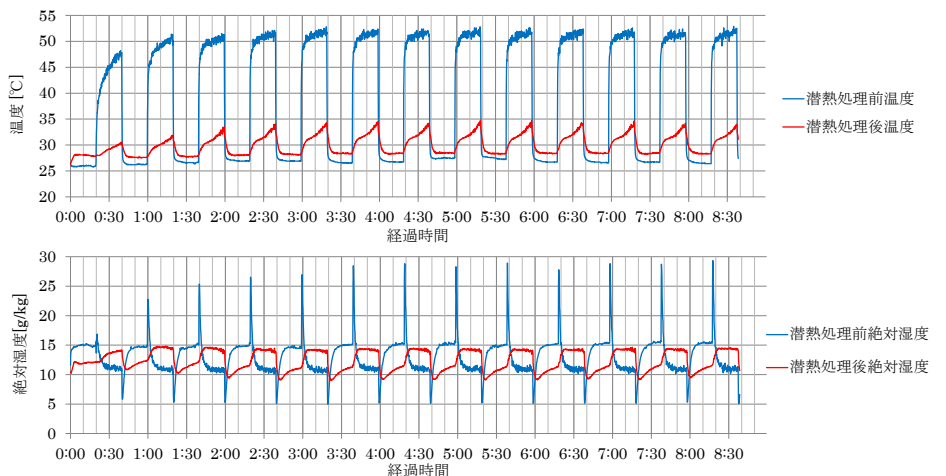


図-9 実外気実験における温湿度変化
Fig.9 Time series variation of temperature and humidity in real-outdoor-air experiment