

ヒートポンプ式デシカント外調機の夏季実居住空間における省エネルギー性と快適性の評価

Energy Conservation and Comfort of Heat Pump Desiccant Air Conditioning System in Actual Living Space in Summer

学生会員 ○山本 一久 (東京大学) 正会員 今野 雅 (東京大学)
 正会員 柳原 隆司 (東京大学) 正会員 坂本 雄三 (東京大学)
 Kazuhisa YAMAMOTO*¹ Masashi IMANO*¹ Ryuji YANAGIHARA*¹ Yuzo SAKAMOTO*¹
 *¹ The University of Tokyo

Recently, the demand for energy conservation and comfortable indoor thermal environment is increasing. In such circumstances, desiccant air conditioning system has attracted considerable attention. In this study, we conducted a field measurement of actual living space (a room for graduate students in The University of Tokyo) with multi-split type and desiccant air conditioning system in summer. We found that the system was better than a system of conventional packaged air conditioner and total heat exchanger in terms of both energy conservation and thermal comfort in summer.

1. はじめに

近年、空調設備の省エネ性と快適性の両立に対する要求が増加しているが、そのような状況の中でデシカント外調機を用いたシステムが注目されている。顕熱と潜熱の個別制御により、快適な室内環境が実現しやすくなるとともに、顕熱処理機と潜熱処理機という各機器の役割が明確化して COP の向上にも効果がある。

本研究では吸湿剤の再生熱源にヒートポンプを用いたヒートポンプ式デシカント外調機（以下、外調機）に注目した。使用した外調機は2つの吸湿剤を持ち、ダンパーによる空気経路の切り替え及び四方弁による冷媒回路の切り替えによって連続した除湿・加湿が可能である。

デシカント外調機の研究に関して、実験室において模擬的な室内熱負荷を与え、その調湿機能、システム COP の向上等に関する報告はなされているが、実空間・実負荷での実測と分析例は少ないようである。

本研究の目的は、実際の居住空間での実測を通して夏季におけるデシカント外調機の省エネ性、快適性について分析することである。

2. 実測概要

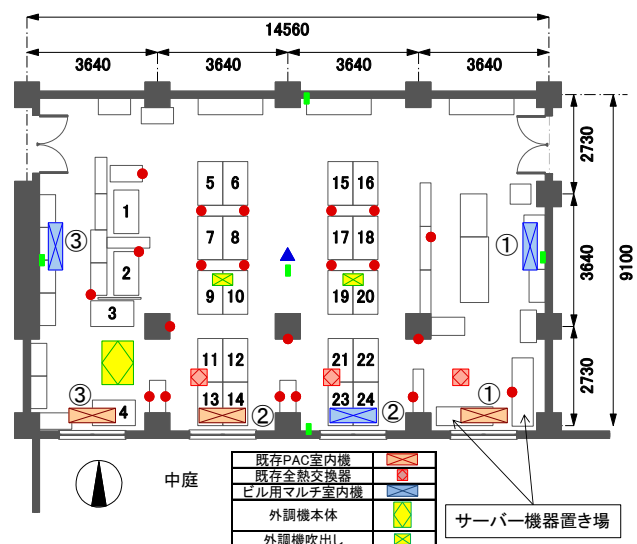
2.1 実測対象室概要

実測対象室は東京大学工学部の院生室（以下、実測室）である。平面は図1に示す通りである。実測室の床面積は132.5 m² (14.56m×9.1m)、天井高は3.45mであり、南面が外気に接し、それ以外は廊下に接する。図1中の番号(1~24)は座席を表す。実測室には元々パッケージエアコン3台（以下、既存 PAC）と全熱交換器3台が設置されていたが、本研究のために新しくビル用マルチ室内機3台と外調機を設置した。

実測室内では照明、人間（座席数24）、各座席の PC、室南東隅に置かれたサーバー機器などから熱が発生する。

2.2 実測項目

室内環境の実測項目を表1に示す。凡例は図1と対応している。既存 PAC、ビル用マルチについては吹出しと吸込み、全熱交換器と外調機については吹出し、吸込み、取入れ外気、排気の温湿度を測定した。温湿度の測定はすべて2分間隔である。また、各機器の消費電力および室内のコンセント電力を電力量計で測定した。



※室内機には①～③の番号を付けている
 ※南面は外気に接し、それ以外は廊下に接する

図1 実測対象室平面図および機器配置図

表1 室内環境実測項目

凡例	測定項目	測定位置
●	平面温湿度分布	21点 (FL+0.8m)
▲	垂直温湿度分布	4点 (FL+0.65, 1.35, 2.05, 2.75m)
■	床、天井、壁面温度	床・天井は室中央で各1点 壁面は各1点ずつ

2.3 実測モードと実測期間

実測は2010年夏季に4モードで行った。各モードと実測期間を表2に示す。モードAとBは既存のシステムでの実測である。モードCはビル用マルチを標準仕様とし、温度、湿度ともにビル用マルチが処理する。モードA、B、Cでは湿度は成り行きであるが、モードDでは外調機による湿度制御が可能である。当初の計画ではこれら4モードの他にモードDを27°C設定に変更したものを加えてそれぞれ1週間ずつ行う予定であったが、モードA、B、Cでは室利用者から苦情がでたために途中で実測を打ち切り、モードA以外に27°C設定の実測は行わなかった。

2.4 室利用者へのアンケート調査

快適性の評価のため、温湿度測定、電力測定と並行して室利用者へのアンケート調査を実施した。毎日9時から21時まで1時間半ごとに任意でwebにアクセスしてもらい、その時点での温冷感、湿度感、快適感について表3に示すスケールの中から選択する形式である。

3. 実測結果

3.1 室内温湿度比較

図2にモードA~C実測期間中の外気温湿度及び室内平均温湿度を、図3にモードD実測期間中の外気温湿度及び室内平均温湿度を示す。モードA、Bでは、室内の相対湿度が40%以下の時間が多く、モードCでも40%程度で推移していたことがわかる。これに対し、モードDでは45~60%程度で推移していたことが読み取れる。

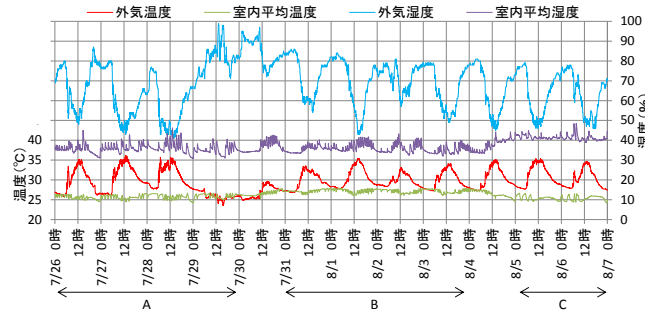


図2 外気、室内平均温湿度 (モードA~C実測期間)

図4及び図5は測定期間中の外気温湿度、室内平均温湿度を30分毎に平均した上でh-x線図にプロットしたものである。また、ビル管理法の基準域(温度17°C~28°C、相対湿度40~70%)も合わせて示している。図4を見ると、モードA、Bでは成り行きまかせの湿度処理の結果として過剰な除湿が行われ、室内環境がビル管理法の基準域から外れていたことが読み取れる。モードCの場合も完全には基準域に収まっていなかったことがわかる。一方、図5を見ると、モードDでは室内平均相対湿度は50%前後であり、ビル管理法の基準域に収まっていたことが読み取れる。実際に人が活動している空間においても、外調機の適切な湿度制御の効果が発揮されていることが確認できた。

表2 実測モードおよび実測期間

モード	機器構成	温度設定	期間
A	既存PAC+全熱交換器	27°C	7/26~7/29(4日間)
B	既存PAC+全熱交換器	28°C	7/31~8/3(4日間)※
C	ビル用マルチ(標準)+全熱交換器	28°C	8/5~8/6(2日間)
D	ビル用マルチ(高顕熱)+外調機	28°C	8/12~8/23(12日間)

※7/30の11:14にAからBへ、8/4の11:15にBからCへ切り替え。
※期間平均値を出す際は7月30日と8月4日のデータは除外した。

表3 アンケート申告スケール

	温冷感	湿度感	快適感
+3	非常に暑い	非常に湿っている	非常に快適
+2	暑い	湿っている	快適
+1	やや暑い	やや湿っている	やや快適
0	どちらでもない	どちらでもない	どちらでもない
-1	やや涼しい	やや乾燥している	やや不快
-2	涼しい	乾燥している	不快
-3	寒い	非常に乾燥している	非常に不快

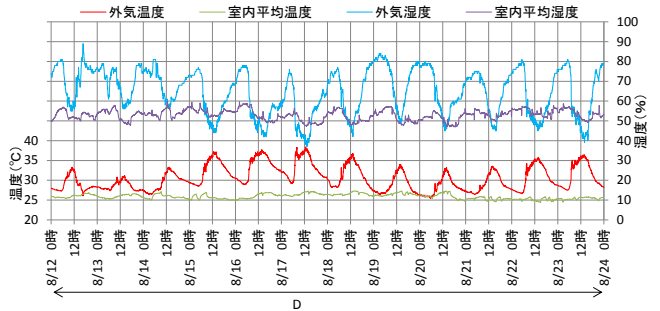


図3 外気、室内平均温湿度 (モードD実測期間)

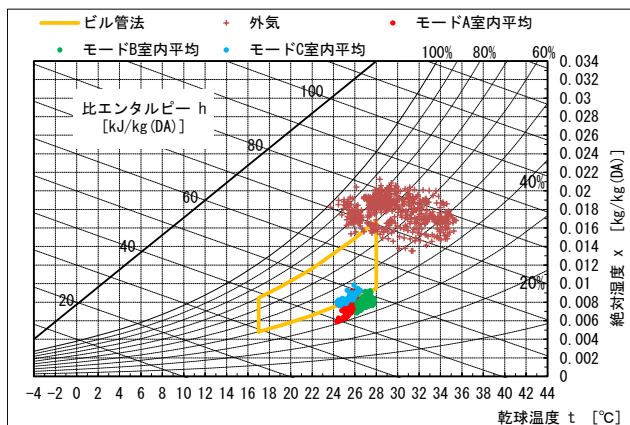


図4 h-x線図 (モードA~C実測期間)

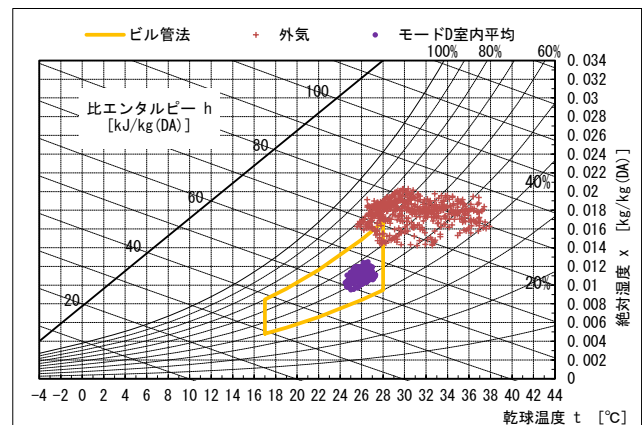


図5 h-x線図 (モードD実測期間)

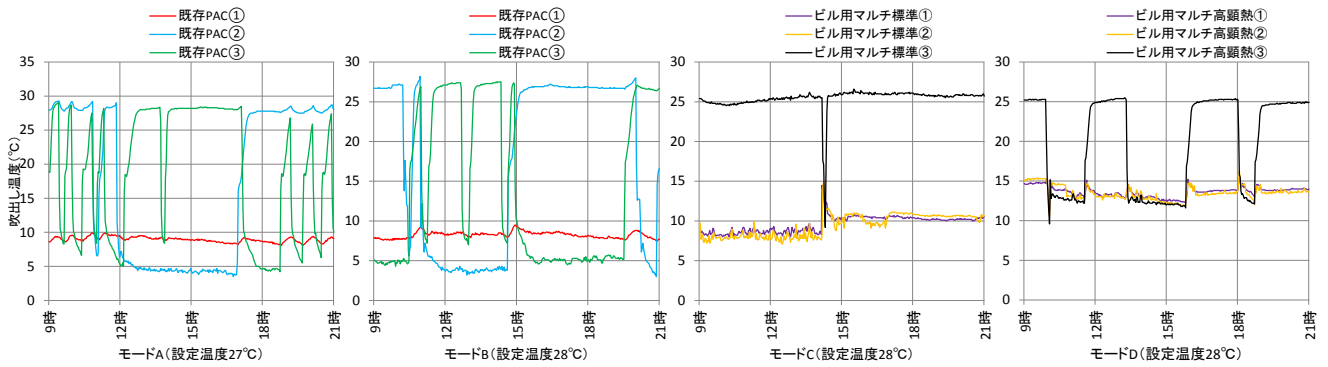


図6 各モード代表日の室内機吹出し温度

3.2 室内機吹出し温度比較

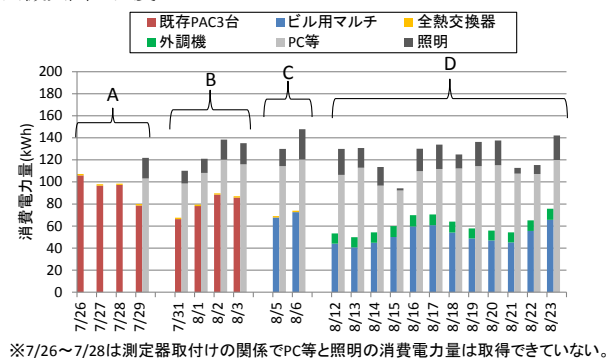
図6に各モードの代表日の9時～21時の室内機吹出し温度を示す。どのモードでも図6に示す代表日においては室内機1台もしくは2台が連続で稼働し、残りが発停を繰り返しているが、この傾向は実測期間を通して見られた。なお、室内機番号①～③は図1と対応している。

モードAとBでは連続で稼働している既存PAC①の平均吹出し温度はそれぞれ9°C、8.2°Cと低く、さらに既存PAC②と③は稼働時に吹出し温度が4～5°C程度まで低下する場合もあった。モードCでは主にビル用マルチ①と②が稼働し、平均吹出し温度は9.5°C程度であった。モードDでは主にビル用マルチ①と②が稼働し、平均吹出し温度は13.5°Cであり、モードA～Cに比べて高くなっていた。高顕熱モードにすることで吹出し温度が高くなることが確認された。

3.3 処理熱量とCOP

図7に各モードの日別空調機消費電力量と、室内コンセント(各座席のPC、サーバー機器等)及び照明の消費電力量を示す。また、図8及び図9は各モードでの顕熱、潜熱別の処理熱量と実測値から算出したCOPを日別に示している。処理熱量は既存PACとビル用マルチについては室内機吸込み、吹出し空气のエンタルピー差と定格風量から算出し、全熱交換器と外調機は取り入れ外気と吹出し空气のエンタルピー差と風量²⁾から算出した。全熱交換器については、他の機器と同様に一日の処理熱量を一日の消費電力量で除したものをCOPとして定義している。システムCOPは一日の全空調機処理熱量を一日の全空調機消費電力量で除したものと定義した。表4に各モードごとの日別空調機処理熱量の平均値、日別消費電力量の平均値と平均システムCOPの値を示す。

図8、図9で日別のシステムCOPを比較すると、モードAは最大で2.76、最小で2.51であり、モードBでは最大2.60、最小で2.44となった。モードCでは2日間の値がそれぞれ2.89と3.03であった。これらに対して、モードDでは最大で4.94、最小でも4.25となっており、適切な湿度制御に加えて実居住空間で



※7/26～7/28は測定器取付けの関係でPC等と照明の消費電力量は取得できていない。

図7 日別消費電力量

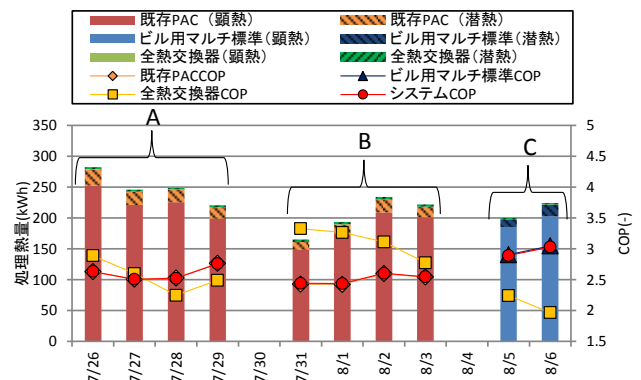


図8 空調機処理熱量とCOP(モードA～C実測期間)

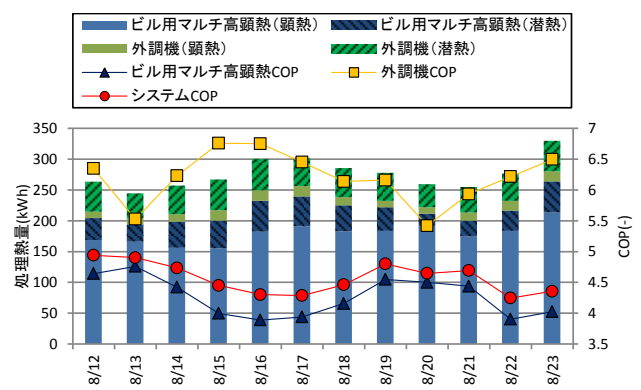


図9 空調機処理熱量とCOP(モードD実測期間)

の省エネ性の高さも確認された。

また、表4でモードCとモードDのビル用マルチのCOPを比較してみると、標準仕様の平均COP2.98に対し、高顕熱仕様では平均COP4.23であり、高顕熱仕様でCOPが向上していたことが確認された。

表4 モードごとの日別平均システム COP

		日別の平均値			
		処理熱量(kWh)	消費電力量(kWh)	COP(-)	システムCOP(-)
A	既存PAC(27°C)	245.85	94.63	2.60	2.60
	全熱交換器	3.22	1.26	2.55	
B	既存PAC(28°C)	199.47	79.69	2.50	2.51
	全熱交換器	3.92	1.26	3.12	
C	ビル用マルチ標準(28°C)	209.15	70.25	2.98	2.96
	全熱交換器	2.66	1.27	2.10	
D	ビル用マルチ高顕熱(28°C)	217.33	51.36	4.23	4.54
	デシカント外調機	59.20	9.52	6.22	

※全熱交換器のCOPは一日の処理熱量を一日の消費電力量で除したものとして定義。

4. アンケート結果の分析

実測と並行して実施したアンケート調査の結果を分析する。図10は温冷感、湿度感、快適感のそれぞれについて、モードごとの回答積算とその割合表示である。図11は表3において割り当てた申告スケール(-3~+3)に基づいて、温冷感、湿度感、快適感ごとに日別の平均値を算出し、「温冷感-快適感」及び「湿度感-快適感」についてプロットしたものである。3.1節において室内温湿度を分析した際には、モードA、B、Cの3つとモードDでは明らかに室内湿度に違いが見られたが、図10の湿度感のグラフを見ると、温冷感の変化に対して湿度感には大きな変化は見られない。また、図11を見ても、温冷感のばらつき(-1.7~0)に比べて湿度感のばらつき(-0.4~0.2)は小さい。

モードA~Cの実測期間中、アンケートの自由解答欄に不快感を訴えるコメントが寄せられることもあったが、その内容の多くが「風が強い」といった気流に関する不快感を示すものであった。温冷感、湿度感だけでは快適性の評価はできないが、図10で快適感のグラフを見ると、モードDでは不快感の割合が減っていたことが読み取れ、また、モードDでは不快感を訴えるコメントが一件もなかった。適切な湿度調整と、高顕熱仕様による吹出し温度の上昇が快適感に影響したと思われる。本研究において、外調機を用いたシステムは快適性において優位であったと言えるであろう。

5. まとめ

本研究では湿度制御可能なデシカント外調機について、夏季の実居住空間での実測と分析を行った。

- ・外調機により室内の相対湿度は50%前後の快適域に収まった。
- ・外調機を用いたシステムではビル用マルチを高顕熱仕様にする事ができ、吹出し温度の上昇が確認された。
- ・ビル用マルチを高顕熱仕様にする事でCOPが向上し、外調機と合わせたシステムCOPの平均値も4.54と高い値を示し、省エネ性が確認された。
- ・アンケート調査において、既存の湿度成り行きのシステムに比べて外調機を用いたシステムによって不快感の割合が減ったことが確認された。

外調機を用いたシステムは夏季の実居住空間で省エネ性、快適性ともに優れていることがわかった。

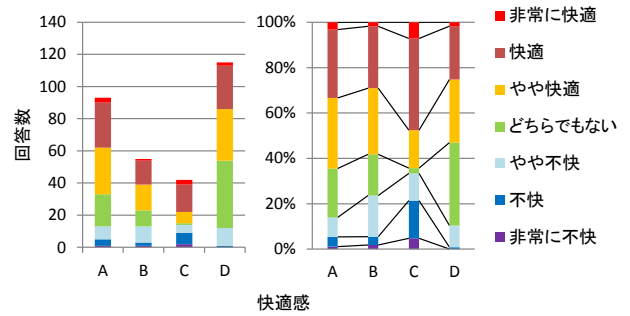
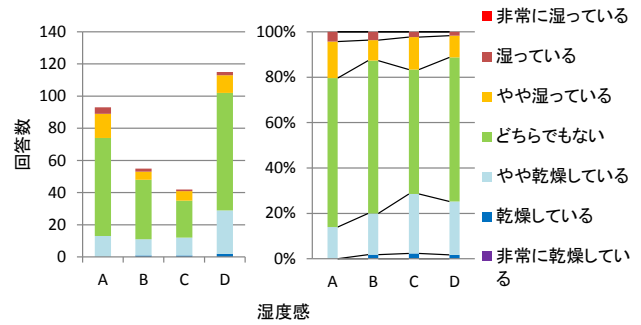
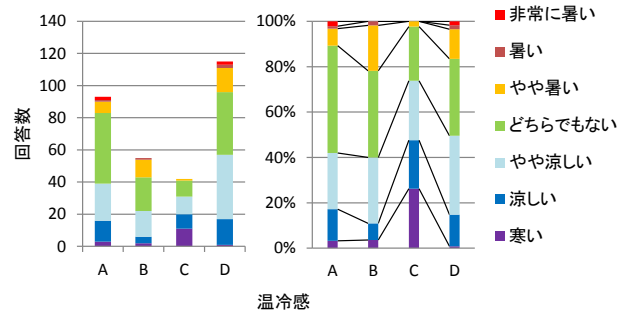


図10 アンケート結果(左:回答積算,右:割合表示)

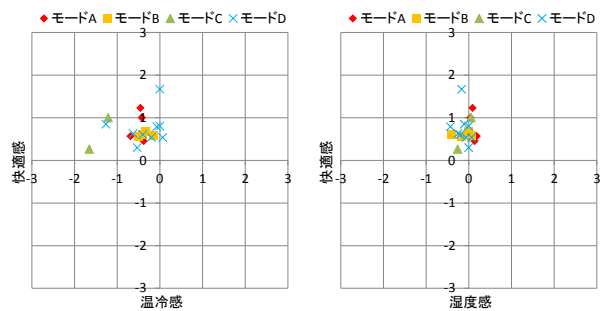


図11 温冷感-快適感、湿度感-快適感プロット

注1) 外調機の風量は定格風量を用い、全熱交換器の風量は風量測定器による測定値を用いた(図1の右から7.0、9.9、17.7 m³/h)。

【謝辞】

本研究において、ダイキン工業株式会社様、株式会社テクノ菱和様、東京大学サステイナブルキャンパスプロジェクト室の方々から測定機器の提供ならびに、種々の御助言をいただきました。関係者に謝意を表します。