

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：13904

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06288

研究課題名(和文) 潜熱顕熱分離空調システムによる空調場改善の定量的評価

研究課題名(英文) Evaluation of thermal environment improvement effect by desiccant air conditioning system

研究代表者

鍋島 佑基 (Nabeshima, Yuki)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10738800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：デシカントシステムの導入による空気質評価のため、実験室内にデシカントシステムを構築し、温熱環境と消費電力評価を行った。夏期には除湿時の浮遊真菌数調査を行い、温熱環境計測は10月中旬に開始し、冬期の加湿による温冷感の変化と消費電力について評価した。デシカントシステムと従来空調を比較した結果、絶対湿度については、デシカントシステムによって絶対湿度は外気より、2.0 g/kgDA程大きいことが確認できた。このことから冬期の無給水加湿が行われていたことが確認できたが、消費電力削減効果は見られなかった。また、夏期においては除湿換気の稼働による真菌数減少が確認できた。

研究成果の概要(英文)：In order to evaluate thermal environment, power consumption evaluation and air quality evaluation of the desiccant system, a desiccant system was built in the laboratory. In summer season, the number of floating fungus during the operation of the desiccant system was investigated, and furthermore, changes in thermal environment due to humidification and power consumption were evaluated in winter. As a result of comparing the desiccant system and conventional air conditioning system, heating and humidification performance were confirmed. Indoor absolute humidity was larger than the outside air by about 2.0 g / kgDA. From this result, it was confirmed that no-feed water humidification was performed in winter. However, an effective reduction in power consumption was not seen. In addition, decreasing of the number of fungus was confirmed by dehumidifying ventilation system in the summer season.

研究分野：建築設備

キーワード：潜熱顕熱分離空調 稚内層珪質頁岩 浮遊真菌 無給水加湿 温熱環境計測

## 1. 研究開始当初の背景

建物などのエネルギー消費量の内、空調・給湯に要するエネルギー消費量の割合は家庭用で52%、業務用建物では43%を占めており、民生部門のエネルギー消費量の削減は最重要課題の一つとなっている。この対策として、省エネルギーに有効な空調方式である潜顕熱分離空調システムがある。本システムは、吸着材に水蒸気を吸着することで除湿を行うため、エアコンの蒸発温度上昇が可能となるため消費電力の削減が可能となる。既に市場に数機種の新シカント換気ユニットが発売されている。本システムはローエネルギーを目指した建物に対して導入されている。これを反映して、建築学会や空気調和・衛生工学会の年次大会ではここ数年、潜顕熱分離空調システムに関する発表件数が増加傾向にある。従来の空調システムでは、潜熱負荷と顕熱負荷はまとめて室内機で処理されるが、潜顕熱分離空調システムでは潜熱負荷を外調機によって処理することで室内機の蒸発温度を通常の7℃から15℃以上に高く設定できるため、チラーやパッケージエアコンでは高効率運転を維持でき、大幅な消費エネルギー削減が可能となる。また、地下水熱などの再生可能エネルギー冷熱も利用可能性がある。

さらに、潜顕熱分離空調は「空調質の向上」が可能である。潜熱の分離処理によって夏期における相対湿度の上昇の防止、冬期における過乾燥の防止が可能であることから、湿度コントロールによる快適な空気環境の提供が可能である。さらに室内機の顕熱処理によって吹き出し空気温度を室温に近づけることで上下温度分布の少ない良好な温熱環境が形成できると考えられる。潜顕熱分離空調の導入によって夏期空調時に室内機設定温度を上昇させることで、熱交換器表面上や屋内壁面の結露を低減することが可能となる。また、低湿環境という、真菌類にとって発育しにくい環境を維持することでカビの発生を抑制し、空気質(IAQ)向上など、空調設備の消費エネルギー削減以外にも多くの付加価値が期待できる。

## 2. 研究の目的

### 2.1 温熱感変化の定量化

潜顕熱分離空調システムの導入により、温熱快適性は向上すると考えられる。居室空間の快適性について基礎試験を行った。居室を想定したチャンバーを用いて通常型空調と潜顕熱分離空調システムの温熱環境を再現し、快適性の変化に関する温熱環境計測を行い、潜顕熱分離空調システムによる温熱環境の優位性を調査した。実験室内にデシカントユニットと空調機を設置し、従来空調とデシカント空調について実測を行った。本実測では、従来型空調と比べて温熱環境がどのように改善したかをとらえるため、空調室の温度、湿度、気流、放射を測定し、比較を行なうこ

とで、潜顕熱分離空調システムが室内気流環境改善に与える影響を検討した。

### 2.2 空気質変化の評価

潜顕熱分離空調のメリットとして、室内や空調機器表面の結露の抑制によるカビ発生リスクの低減が予測される。一方、デシカント空調機での臭気物質をはじめとする室内空気汚染物質の移行リスクは増える。そこで、潜顕熱分離空調環境下のカビ発生状況やそれに伴う臭気について実測を行い、従来型の空調機器に対する優位性を検証した。

## 3. 研究の方法

### 3.1 温熱感変化の定量化

デシカントシステムの有効性を検証するために、温熱感の実測を行った。実測は豊橋技術科学大学実験棟に家庭用デシカントシステムを構築して行った。実測期間は2016年12月からである。システムはデシカントユニット、ビルトインタイプのエアコンディショナから成る。実験に使用するデシカントユニットおよびエアコンの概要を図1に示す。実験室-配置図も図1中に示す。実験は、豊橋技術科学大学の実験室で行った。実験室は、床面積が88.2m<sup>2</sup>、高さが3.5mであり、容積は308.8m<sup>3</sup>であり、一戸建ての平均容積とほぼ同等の値である。換気量は0.5回換気とし、150m<sup>3</sup>/hとした。

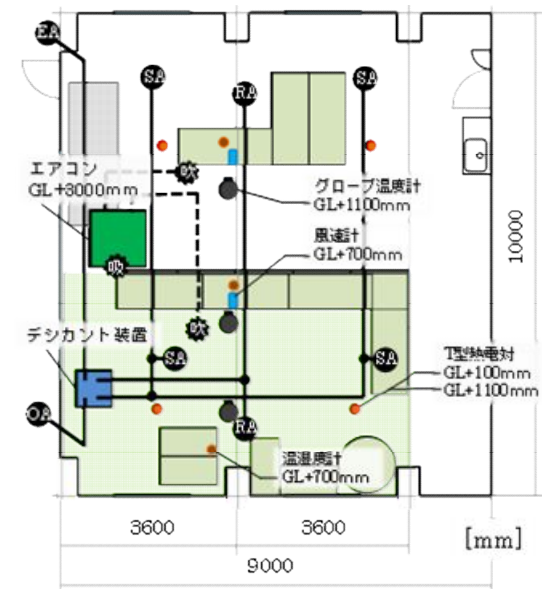
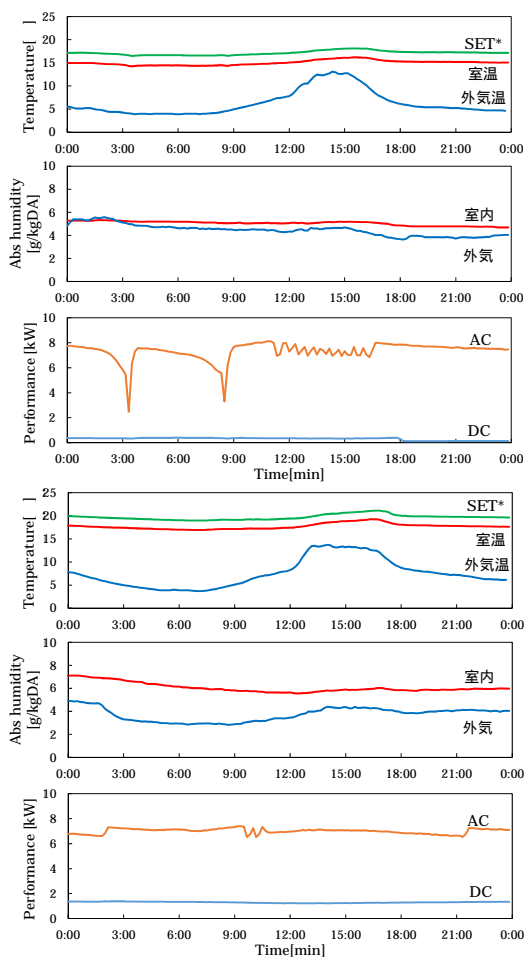


図1 実測現場及び測定系統図

測定項目について説明する。各機器の能力測定のため、デシカントユニットおよびエアコンの吸込み、吹き出し温湿度をそれぞれ測定した。室内の温熱環境を評価するため、実験室内の3か所にグローブ温度、2か所に風速計、9か所に熱電対、3か所に温湿度センサーを設置した。それぞれの取り付け位置について述べる。机上高さ(700mm)に温湿度計および風速計、座位の頭部高さ(1100mm)にグローブ温度計およびT型熱電対、くるぶしの高さ(100mm)にT型熱電対を設置し、エアコ

ン及びデシカントユニットの消費電力はパワーメーターによって連続測定した。本測定では温熱環境の物理量 4 要素である温度、湿度、放射、風速を測定した。さらに測定データを用いて SET\* を算出した。SET\* については、一般的な 2 ノードモデルによる計算プログラムを作成し、算出した。

本試験ではデシカントシステムとの比較対象として、従来換気（第 3 種換気）と通常暖房の組合せとした。デシカントシステムの冬期の有効性については蒸発温度の変更等が不可能であることから、SET\* をデシカントシステムと従来空調システムについて算出、比較した。



(上段：従来空調，下段：デシカント空調)  
図 2 温湿度測定結果

各運転モードにおいて、同様な外気温度変動が測定された日の比較結果を図 2 に示す。各運転モード共に、SET\* と室温の差がおよそ 2.0 程度であった。絶対湿度に着目すると、デシカントシステムの室内絶対湿度は 9 g/kgDA 近くまで上昇しており、外気よりも 2.0~3.5 g/kgDA 程度高いことがわかる。このことから、デシカントシステムは冬期において無給水加湿が可能であることが明らかとなった。

デシカントユニットの稼働によって SET\* は最大 21 °C に達しており、従来空調よりも 1~2 度高い値を示した。暖房・加湿能力に着

目すると、従来空調システムでは、夜間にエアコンの発停が確認されたが、昼間は比較的安定していた。空調機の暖房能力はおよそ 7.0 kW を示しており、デシカントユニットの加湿能力は 1.4kW 一定を示した。

消費電力、SCOP および SET\* の関係を図 3 に示す。デシカントユニットを運転したことによって、デシカントシステムの消費電力が全体的に増大してしまった。この原因としては、空調機の容量が過少であったことによって、デシカントユニットが稼働しても、エアコンが最大出力で動き続けたためと推測できる。

一方、SCOP を見ると、デシカントシステムの方が高い値を示しており、システム全体の効率はデシカントシステムの方が高いことがわかる。このことから、デシカントユニットとエアコンの出力バランスを最適化すれば省エネルギー性の向上が期待できると考えられる。

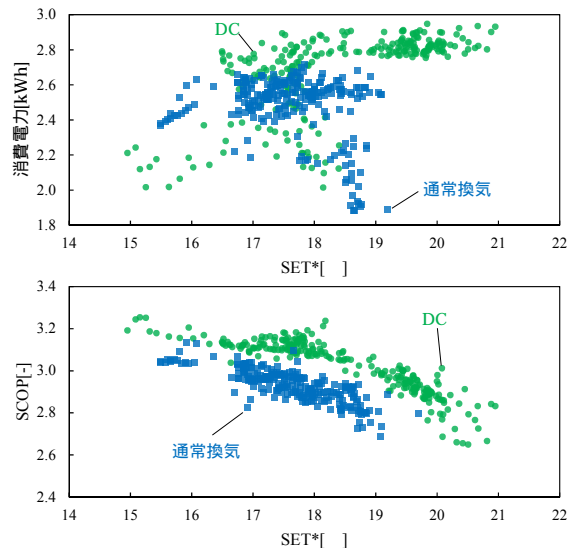


図 3 消費電力、SCOP および SET\* の関係

### 3.2 空気質の向上

#### 3.2-1 夏期浮遊真菌数変化の測定

潜顕熱分離空調システムは、温度と湿度を個別制御できるため消費エネルギー削減だけではなく、水分除去によるカビ発生の抑制も期待されている。しかし、カビ抑制効果の定量化はまだ行われておらず、空調機内部は水分吸着によって高湿となるため真菌発生リスクが高まるなどの問題もある。そのためデシカントシステムの真菌発生リスクの評価が必要である。本研究では、室内および空調内のカビ生育抑制方法の確立を目的に、空調システム構成が真菌数に与える影響と種々の培養条件における真菌生育条件の基礎的な調査を行った。

#### 3.2-1(A) 実験条件

様々な組み合わせの空調機を稼働させた場合の室内の浮遊真菌数に与える影響を測定した。実験は実験室に通常のエアコンとデシカントユニットを設置して行なった。実験現場の系統図を図 4 に示す。



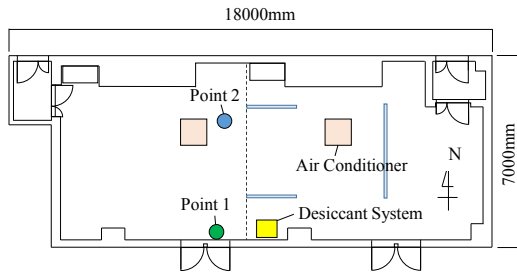


図4 実験現場の測定位置と空調系統図

表1 空調システムの運転条件

mode	Indoor air condition	Indoor air condition	
		Temp.	RH.
1	IAU(AC)	28 ~ 25	-
2	AC+換気	28 ~ 25	-
3	AC+デシカント	26	70 ~ 60 %
4	デシカント(DC)	-	80 ~ 60 %

実験前に室内外の空気を入れ換えた後、測点1でエアサンプラーを用いて100ℓの空気採取する。採取後、測点2で同様に採取を行う。その後モードごとの空調機を稼働させ、室内温湿度の制御を行う。温湿度が安定するまで運転を行い、再び測点2でサンプリングを行う。終了後、空調機の設定を変更する。全ての室内条件が終了後、25℃、90%RHの培養条件に設定した恒温恒湿器内で培養して真菌数を計数した。

空調モードごとの温湿度・浮遊真菌の変動計数した真菌数より式(1)によって浮遊真菌濃度を求めた。

$$\text{浮遊真菌濃度}[\text{CFU}/\text{m}^3] = n \times 1000 / V \quad \dots(1)$$

ここに、 $n$ は得られた真菌数[個]、 $V$ はサンプリング空気量を意味する。モードごとの室温と浮遊真菌濃度の関係を図5に示す。今回の実験範囲では絶対湿度15g/kgDA以下の環境では浮遊真菌数が抑えられていた。真菌濃度は温度・相対湿度に大きく影響されるといわれているが、今回の実験によって絶対湿度による真菌の制御の可能性が示唆された。

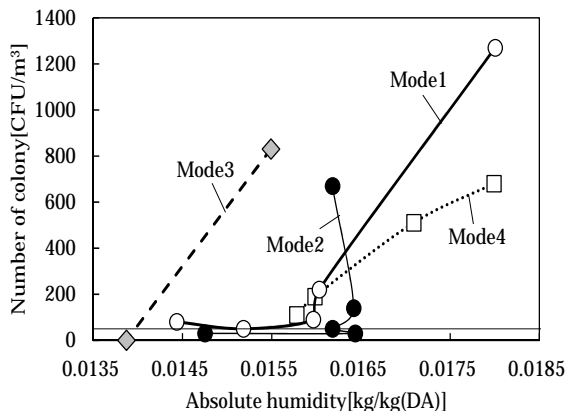


図5 各モードにおける真菌数の変化

日本建築学会で定められている真菌濃度基準は50 CFU/m<sup>3</sup>である。モード1では室温26℃で50 CFU/m<sup>3</sup>と基準値に達しているが、モード4では最小110 CFU/m<sup>3</sup>と今回の実験範囲内では基準に達しなかった。

以上のことから、浮遊真菌数は、温度制御を行った際には温度に、湿度制御を行った際には相対湿度に伴って減少すると考えられ、2パターンでの制御が可能である。デシカントユニット単体では、相対湿度60%を下回る範囲で制御することで真菌の抑制が可能である。ただし、エアコン単独運転においても同様に真菌数の減少が確認できたことから、エアコン室内機のフィルター等によって、浮遊真菌類が捕集されていたと考えられる。

### 3.2-2 浮遊真菌の成長条件の検討

吸着材は紙製ローターのため、ローター上への真菌類の繁殖の可能性が懸念されている。そこで、前節の実験で採取した真菌類について培養時の温湿度・培地材料を変化させ培養し、真菌生育条件の検討を行った。

空調機内部に用いられる材料として、フィンチューブに用いられるアルミニウム(ケース1)、デシカントローター基材紙(ケース2)を培地とした培養試験を行い、真菌発生を調査を行った。培養条件は夏季の室内環境を想定した温度32、28、24℃、湿度80、60、40%を組み合わせた9パターンとした。実験は、材料表面上に何もつけない場合とPDA粉末水溶液を滴下した条件について行った。水溶液は純水200mlにポテトデキロース粉末10gを加えたものであり、十分に攪拌した後に乾燥した材料を水溶液に浸し、十分に濡らしたものを使用した。

培養を行った際の発生真菌数を図6、図7に示す。まず、空調機内部を想定した低温環境(16℃)では真菌の発生は見られなかった。さらに、低相対湿度である40%では真菌数が少なかった。また、32℃の高温環境での真菌はほとんど見られなかった。

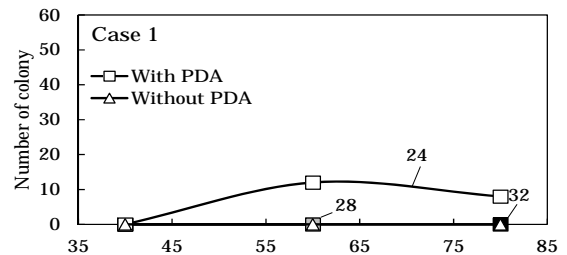


図6 アルミフィン上の真菌数

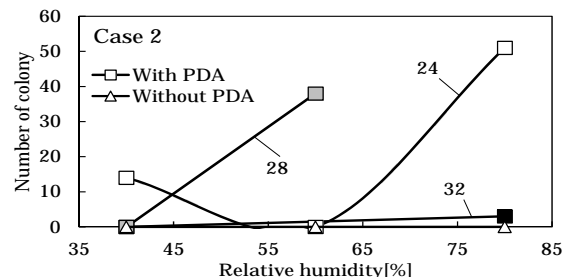


図7 ローター基材上の真菌数

図 6, 7 のいずれにおいても, PDA 水溶液を担持していない基材においては真菌の発生は殆ど見られなかった。これは実験現場の粉塵中に真菌類の養分となるものが殆ど存在していなかったことを意味している。従って基材によらず浮遊真菌の数は「栄養あり」>「栄養なし」の順となる。このことから真菌の生育には表面の栄養量が影響することが推察できる。また, 紙培地とアルミニウム培地は同濃度の栄養を与えたが, 紙培地の真菌発生が多くなった。紙培地は繊維質で表面の凹凸に栄養や真菌が付着しやすいことが原因の 1 つだと考えられる。したがって, 浮遊物の中に真菌類の餌となる油分や有機質が無ければ, ローター-基材紙, アルミフィン上に 48 時間以内にカビが生えるリスクは低いと考えられる。

今回の実験では, 高温環境では真菌の発生が見られず, 24℃, 中~高温環境で真菌が多く培養されていたことから中温性で活発に繁殖する菌が多かったと考えられる。また, 培地による菌種の差は確認できなかった。

#### 4. 研究成果

##### 4.1 温熱感変化の定量化

冬期の温熱環境改善効果を調査するため, 大学実験棟に家庭用デシカントシステムを構築した。測定結果をもとに SET\* を算出し, 加湿が住環境にもたらす効果を調査した。

1) デシカントユニットによる無給水加湿が可能であることが示された。しかし, 2~4 g/kgDA 程度の加湿では SET\* に与える影響は小さく, 優位に体感温度を上昇させることは困難であることが確認された。

2) デシカントシステムの方がシステム全体の効率が高く, デシカントユニットと空調機の出カバランスを調整することで, 省エネルギー性が向上する可能性が示唆された。デシカントシステムは夏期においてはエアコンの蒸発温度の調整によって大きな省エネルギー性が確認されているが, 冬期はデシカントユニットの有無にかかわらず, エアコンの制御は一定である。このため, SET\* を高めながら投入エネルギーを削減するには, エアコンとデシカントユニットの綿密な連携が必要になると考えられる。

##### 4.2 空気質の向上

デシカントシステムの夏期の真菌類抑制効果を検証するため, 実験室を対象としたデシカント空調下の浮遊真数調査を行った。

1) 空調機の稼動によって浮遊真菌数が減少することが確認された。室温, 相対湿度が低下すると浮遊真菌数は減少し, 基準値 50 CFU/m<sup>3</sup> に達するのは温度制御時は 26℃, 除湿条件では 60%RH を下回る条件であった。

2) 真菌の成長については, 培養時の温度 32℃ および相対湿度 40% の条件ではあまり成長がみられなかった。このことから, 相対湿度を 40% が以下であれば室温が高くて

によって真菌成長の抑制が可能と考えられる。

3) 吸着材紙および熱交換フィン上を想定した材料表面での真菌発生数を調べた。いずれの材料においても PDA 粉末水溶液が無ければ真菌の発生は見られなかった。栄養を与えた場合, 発生真菌数は紙培地 > アルミニウム培地となった。このことから, 真菌の成長は材料表面の状態に強く影響を受けることが明らかになった。

#### 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 件)

[学会発表](計 2 件)

1. 土井隆(豊橋技術科学大学), 鍋島佑基, 都築和代, “冬期におけるデシカント空調システムの省エネルギーに関する研究”, 中部支部第 18 回学術研究発表会(名古屋), 4-4

2. 松浦大介(豊橋技術科学大学), 土井隆, 鍋島佑基, 都築和代, “潜熱分離空調システムによる浮遊真菌数制御に関する基礎的研究”, 中部支部第 18 回学術研究発表会(名古屋), P1-7

[図書](計 件)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍋島 佑基 (Nabeshima, Yuki)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 10738800