

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K15148

研究課題名（和文）自然エネルギー活用を含むデシカント空調システムのエネルギー性能と室内環境評価

研究課題名（英文）Energy Performance and Indoor Environment evaluation of desiccant air handling unit with renewable energy

研究代表者

鵜飼 真貴子 (Ukai, Makiko)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号：90813189

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、除湿処理に特化したデシカント空調機を対象に、熱源を含むトータルエネルギーシステムとしての評価及び室内環境評価を、シミュレーション及び実測を通じて行った。まず、デシカント空調機的设计においては、負荷分担の違いによる必要送水温度（冷水、温水）を、デシカント空調機の内部状態とともに整理した。また、太陽熱や井水といった再生可能エネルギーの活用拡大に向けた検討を実施し、デシカント空調機での太陽熱及び井水の活用可能性を示した。また、実測では、デシカント空調機への送水冷水温度の高温化に伴う熱源機の性能向上及び室内環境への影響を精査した。室内環境を悪化させず、システムの効率向上の可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は除湿処理に特化したデシカント空調機を対象に、熱源を含めたトータルエネルギーシステムとしての設計手法や運転改善手法を展開した。省エネルギーポテンシャルのある設計手法や再生可能エネルギーの活用拡大に向けた検討は、建物でのエネルギー消費量を削減することに大きく貢献できる。また、実運転によるデシカント空調機を含むトータルエネルギーシステムとしての運転改善効果及び室内環境への精査について、この一連の手法は他建物に適用できるものであり、デシカント空調機を採用する既存建物への応用ができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a desiccant air handling unit specialized for dehumidification treatment as a total energy system including heat source and indoor environment through simulation and actual measurement is evaluated. First, in designing the desiccant air handling unit, the required water supply temperatures (cold water and hot water) for the different load sharing were organized along with the internal conditions of the desiccant air handling unit. In addition, studies were conducted to expand the use of renewable energy sources such as solar thermal energy and ground water, and the possibility of using them was demonstrated. In addition, actual measurements were conducted to examine the performance improvement of the heat source system and the impact on the indoor environment as the temperature of the cold water supplied to the desiccant air conditioner was increased. It was suggested that the system efficiency could be improved without deteriorating the indoor environment.

研究分野：建築設備

キーワード：デシカント空調機 再生可能エネルギー 性能評価

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

建築における省エネルギーは急務の課題であるが、それとともに適正な室内温熱環境を維持することも重要である。空調設備が処理する負荷は、室内負荷（顕熱、潜熱）及び外気負荷（顕熱、潜熱）に大別できる。この室内顕熱負荷は、近年の壁の断熱性能向上、窓の高性能化、機器類の高性能化、LED 照明の普及等により大幅に減少傾向にある一方、居住者からの潜熱負荷量は変わらないため、潜熱負荷の割合が大きくなっている。また、外気負荷は、地球温暖化とともに増加傾向にある。室内温熱環境の適正化には、温度と湿度の制御が必要であるが、相対的に潜熱負荷（夏期）が増加しており、除湿が不可欠である。除湿に特化したデシカント空調機の採用は増えつつあるが、設計においてはデシカント空調機の設計が熱源の設計（送水温度など）に及ぼす影響、再生可能エネルギーの活用可能性、熱源を含むトータルシステムとしての評価手法が整理されていない。また、運用中のデシカント空調機のさらなる性能向上及びそれに伴う室内環境への影響を検討する必要がある。本研究で対象とするデシカント空調機は、図 1 に示すような予冷コイル・除湿ローター・再生コイル・顕熱交換ローター・冷温水コイルで構成される。

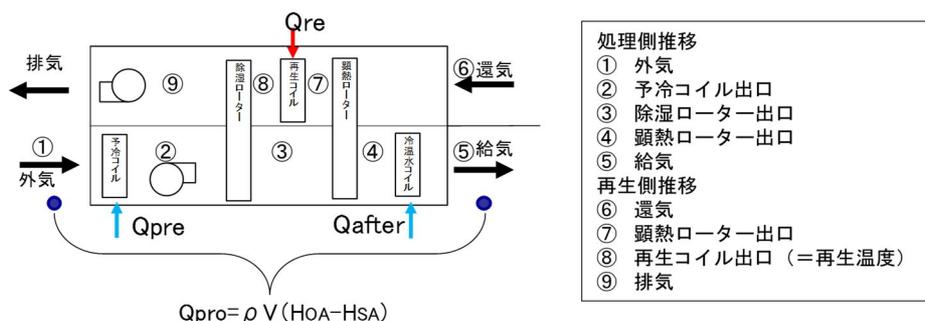


図 1 対象のデシカント空調機の構成

2. 研究の目的

本研究は、事務所ビルを対象に、実測及びシミュレーションを通じて、デシカント空調機と冷温熱源を含むトータルエネルギーシステム的设计・運用方法及び評価方法、さらにデシカント空調システムを採用することによる室内環境評価を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

本研究では、実測及びシミュレーションにより、デシカント空調機を含むトータルエネルギーシステムの評価を実施する。デシカント空調機自体の熱効率の指標として COP_{des} を、デシカント空調機の処理熱量を対象に一次エネルギー起源のエネルギー性能指標として $COP_{des, primary}$ を、デシカント空調機及び熱源を含むトータルエネルギーシステムとしての評価指標として $COP_{sys, primary}$ をそれぞれ式(1)～式(3)のように定義し、評価項目とした。

$$COP_{des} = Q_{pro} / (Q_{pre} + Q_{re} + Q_{after}) \quad \text{式(1)}$$

$$COP_{des, primary} = Q_{pro} / (PE_{pre} + PE_{re} + PE_{after}) \quad \text{式(2)}$$

$$COP_{sys, primary} = (Q_c + Q_h) / (PE_e + PE_g) \quad \text{式(3)}$$

【記号表】

Q_{pro} : デシカント空調機が処理した空気の熱量[MJ]、 Q_{pre} : 予冷コイルへの投入熱量(水側熱量)、 Q_{re} : 再生コイルへの投入熱量(水側熱量)[MJ]、 Q_{after} : 再生コイルへの投入熱量(水側熱量)[MJ]、 PE_{pre} : 予冷コイルへの投入した熱量を製造するのに要した一次エネルギー量[MJ]、 PE_{re} : 再生コイルに投入した熱量を製造するのに要した一次エネルギー量[MJ]、 PE_{after} : 冷水コイルに投入した熱量を製造するのに要した一次エネルギー量[MJ]、 Q_c : 冷水熱量[MJ]、 Q_h : 温水熱量[MJ]、 PE_e : Q_c と Q_h を製造するのに必要な電気量分の一次エネルギー量(ポンプによる冷温水の搬送動力も含む)[MJ]、 PE_g : Q_c と Q_h を製造するのに必要なガス量分の一次エネルギー量[MJ]

1) 設計時における検討

負荷分担による送水温度や必要風量の検討

前述したとおり、デシカント空調機は除湿に特化した空調機である。建物の処理すべき負荷(室内顕熱・潜熱、外気顕熱・潜熱)をデシカント空調機及び他空調機で賄う場合、デシカント空調機で賄える負荷は、a: 外気負荷のみ、b: 外気負荷 + 室内潜熱、c: 外気負荷 + 室内潜熱負荷 + 一部室内顕熱負荷、の3パターンが考えられる。図2に示すように、デシカント空調機で処理すべき負荷によって、デシカント空調機及び他空調機の給気状態は異なる。本検討では、3つのパターンに対し、ZEBを想定した建物において、デシカント空調機内部状態及び可能送水温度、必要再生温度において考察する。また、建物全体での必要風量を算出・比較を行う。今回対象とした建物は、8階建てのオフィスビルである。

OA : 外気 RA : 還気 SA_d : デシカント空調機給気条件 SA_{AHU} : 室内側空調機給気条件

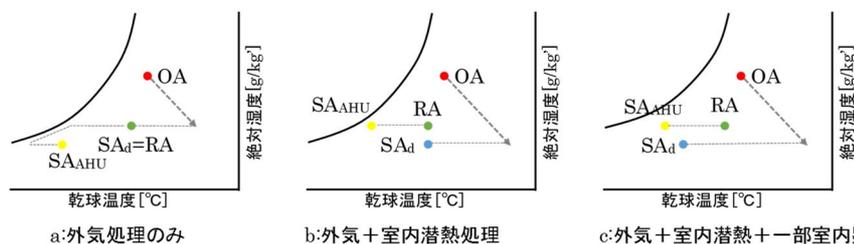


図2 負荷分担によるデシカント空調機及び他空調機での空気線図上での推移(イメージ図)

太陽熱利用の効果検討

デシカント空調機は、再熱コイルに温水が必要となることから、太陽熱の利用が期待される。多くのデシカント空調機は、予冷コイルの出口温湿度を固定として制御している。本研究では、この制御を「固定制御」と呼ぶ。本研究では、変動する太陽熱に柔軟に対応するため、「柔軟制御」を提案した。太陽熱が得られる時刻、さらにその温度は変動するため、図3に示すように、太陽熱からの温水温度が高い場合には、除湿ローターで多くの除湿を賄い、一方太陽熱からの温水温度が低い場合や太陽熱からの温水が期待できない場合には予冷コイルにて多くの除湿を賄うようにデシカント空調機の内部の空気状態を制御するものである。本検討においては、国土交通省官庁営繕部が公開している LCEM ツールを一部改変し、1時間ごとの計算を実行する。評価指標は、デシカント空調機の熱源を含めたトータルエネルギーシステムとしてのシステム COP である。

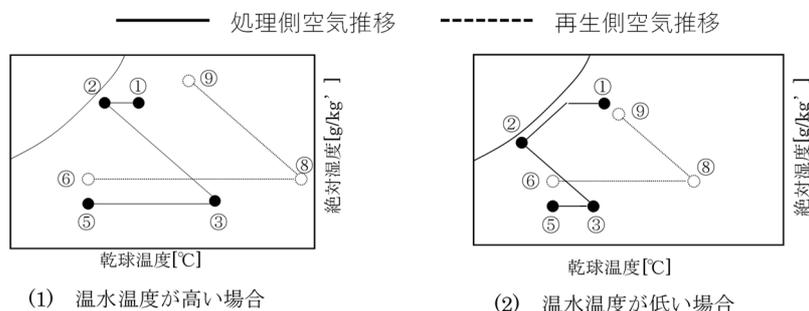


図3 太陽熱からの供給可能温水温度の違いによるデシカント空調機内部の空気線図上での推移のイメージ

井水直接利用の予備検討

設計時における負荷分担で検討したように、デシカント空調機は高温冷水の活用が期待できる。ここでは、東京・大阪・名古屋・福岡の4都市において、取水制限量とともにデシカント空調機の利用率を検討する。

2) 運用時の効果検証

熱源送水温度の高温化による効果検証

実測においては、ガス駆動のヒートポンプ(冷温熱同時取出型)(以降、GHPと省略)をデシカント空調機の予冷コイル及び再熱コイルに採用している施設を対象とし、冷水送水温度の高温化による効果を検証する。また、熱源の送水温度高温化に対して室内温湿度への影響を確認する。

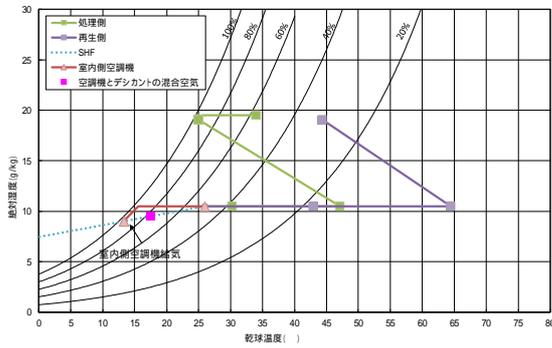
4. 研究成果

1) 設計時における検討

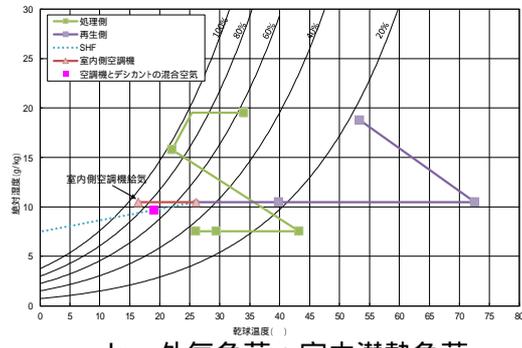
負荷分担による送水温度や必要風量の検討

図4に検討したa~cの3パターンでの空気線図上での推移を示す。デシカント空調機が外気負荷のみを処理するパターンaでは、デシカント空調機は15程度までの冷却でよく、中温冷水の活用が期待できる。一方、室内負荷(顕熱及び潜熱)を処理する室内側空調機は、13.3まで冷却する必要がある。また、必要再生温度は65と比較的低温である。デシカント空調機が外気負荷と室内潜熱負荷を処理するパターンbの場合、デシカント空調機では22程度までの冷却でよく、また室内側空調機も17程度の冷却で、負荷を賄うことができる。これにより、デシカント空調機及び室内側空調機ともに中温冷水の活用が期待できる。一方、必要再生温度は72とパターンaよりも高温化した。これは除湿ローターでの除湿負担が増加したことによる。デシカント空調機が外気負荷、室内潜熱負荷及び室内一部顕熱負荷を賄う場合には、デシカント空調機及び室内側空調機ともに中温冷水の活用が期待できる推移となる。

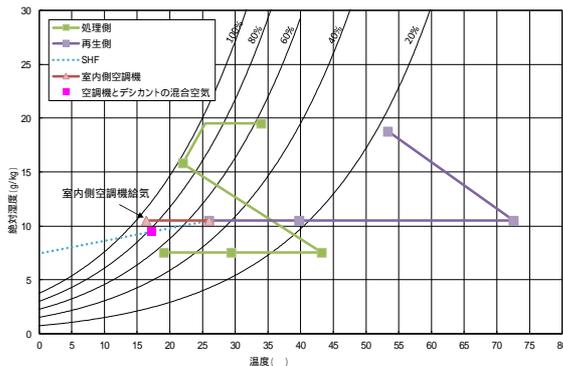
図5に、各パターンでのコイル熱量及び風量の比較を示す。パターンaが建物全体へのコイル熱量が小さいため、熱源で製造する冷水・温水熱量を小さくできる。一方、図6に示すようにパターンcが、建物での必要風量が最小となり、ファン動力の削減可能性が示唆された。



a: 外気負荷のみ



b: 外気負荷 + 室内潜熱負荷



c: 外気負荷 + 室内潜熱負荷 + 一部室内顕熱負荷

図4 各パターンでのデシカント空調機内部の空気状態の推移及び室内側空調機の給気温度

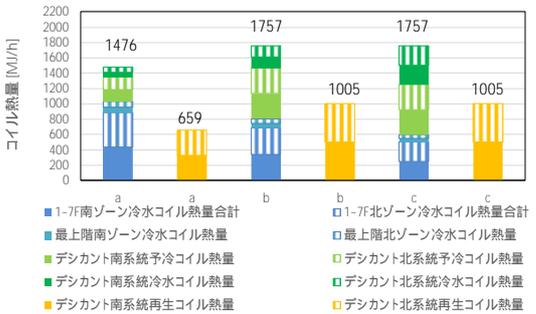


図5 デシカント空調機と室内側空調機の必要冷水コイル熱量

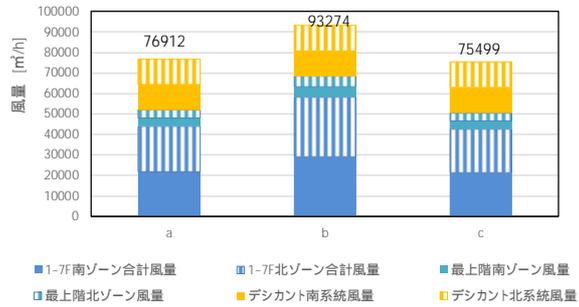


図6 各パターンでの必要合計風量

太陽熱利用の効果検討

図7及び図8に気象条件と東京として検討した結果の一部を示す。ここで、図中のケース名、FIは固定制御を、FLは柔軟制御を示す。また、太陽熱集熱器として、ETは真空管型集熱器、FPは平板型集熱器を示す。

図7に示すように、固定制御の場合、太陽熱温水温度が低い場合や太陽熱の活用が期待できない時間があるため、処理できる潜熱負荷が減少している。一方、柔軟制御の場合には、太陽熱に追従して制御されるため、必要負荷を処理できている。固定制御及び柔軟制御でのCOPdesに大きな違いはない。固定制御の場合、再生熱源にバックアップ熱源(本研究ではボイラーを想定)を採用することで、必要負荷を処理できるようになるが、図8に示すようにシステムの効率低下する。このように、デシカント空調機では、再生可能エネルギーとして太陽熱の活用を期待でき、太陽熱の変動をデシカント空調機の制御で補うことができることが証明された。

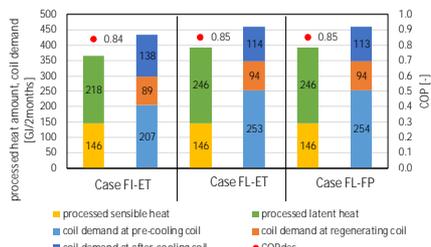


図7 各ケースでの処理顕熱及び潜熱量、各コイルでの必要熱量

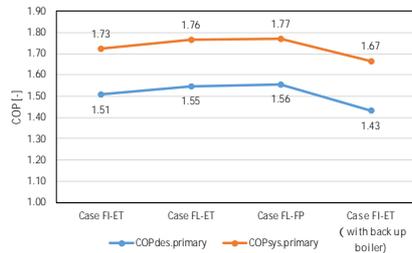


図8 各ケースでのCOPdes.primaryとCOPsys.primaryの比較

井水直接利用の予備検討

表 1 に東京・大阪・名古屋・福岡におけるデシカント空調機（外気量 30 m³/h/人、人員密度 12 m²/人）で利用可能な井水の利用率を示す。本検討は、デシカント空調機で室内潜熱を負荷処理の有無、井水を予冷コイルのみ、冷水コイルのみ、予冷コイル及び冷水コイルに送水することを想定して検討を行った。利用率とは、式で定義した。

$$\eta(i, a) = \frac{\min(V(i, a)_{gw.coil}, V(i)_{gw.limit})}{V(i)_{gw.limit}} \quad \text{式(4)}$$

【記号表】

：井水利用率、Vgw.coil：コイル必要水量[m³]、Vgw.limit：取水制限量 [m³]、i：検討した i 市、a：コイルへの送水が予冷コイルのみ、冷水コイルのみ、予冷コイル及び冷水コイルの各場合

取水制限が厳しい東京での直接利用は難しい。しかし、オフィス面積が 5,000 m²と小さい建物でも、デシカント空調機で室内潜熱処理をする場合には、必要な冷水需要の 18%を賅うことができることが示唆された。一方、福岡は本検討で対象とした 4 都市の中で最も取水制限量が多く、5,000 m²のオフィス面積であれば、デシカント空調機に必要な冷水需要量をすべて井水で賅うことができる。また、50,000 m²のオフィスでも 35%の需要量を賅うことができ、再生可能エネルギーの活用を期待できる。

表 1 各都市でのデシカント空調機での井水直接利用の利用率の比較

オフィス面積		井水利用率								
		5,000 m ²			10,000 m ²			50,000 m ²		
対象都市	室内潜熱負荷処理	PC*1	AC*2	Both coils*3	PC*1	AC*2	Both coils*3	PC*1	AC*2	Both coils*3
東京	Yes	0.19	0.48	0.18	0.11	0.28	0.11	0.03	0.08	0.03
	No	0.19	0.71	0.22	0.11	0.51	0.15	0.03	0.22	0.06
名古屋	Yes	0.79	1.00	0.72	0.56	1.00	0.50	0.23	0.47	0.20
	No	0.79	1.00	0.76	0.56	1.00	0.54	0.23	0.62	0.23
大阪	Yes	0.34	0.90	0.32	0.21	0.61	0.20	0.06	0.22	0.05
	No	0.34	1.00	0.35	0.21	0.84	0.23	0.06	0.34	0.08
福岡	Yes	1.00	1.00	0.99	0.83	1.00	0.78	0.39	0.86	0.36
	No	1.00	1.00	1.00	0.83	1.00	0.80	0.39	1.00	0.39

*1 PC: 予冷コイルのみへの送水、*2: 冷水コイルのみへの送水、*3: 予冷コイル及び冷水コイルの両方への送水

2) 運用時の効果検証

本検討では、東京に実在するオフィスビルの実システムを対象に、デシカント空調機及び熱源機器の BEMS データを活用しエネルギー性能を検証、さらに室内に温湿度計及び CO2 濃度計を設置し、熱源の高温化に伴う熱源システム・デシカント空調機内部への影響、室内への影響を検証した。具体的には、GHP の送水温度を 7 から 12 に変更した。冷水温度の高温化に伴い、設計時の条件をもとに、予冷コイル及び冷水コイルの列数からデシカント空調機内部への影響がないこと、さらに再生温度の高温化にはつながらないことを予備検討した。

図 9 に実測対象期間におけるコイル需要量、エネルギー消費量及び COPdes.primary を示す。送水温度を高温化したケースのほうがわずかであるが、COPdes.primary は向上した。予備検討で実施したように、送水冷水温度の高温化に伴うデシカント空調機内部への影響は見られず、対象建物の 2~4F にそれぞれ 3 点ずつ計測した温湿度計及び各階 1 点ずつ計測した CO2 濃度計の期間平均は同等であった。以上より、運用時においても、設計時の情報を基にデシカント空調機を用いたシステムのエネルギー性能の向上及び室内環境の維持は可能であり、この手法は他システムにも展開できるものである。

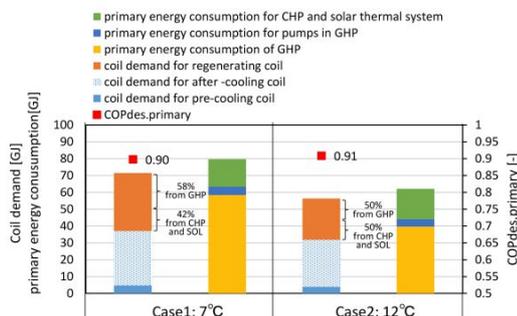


図 9 送水冷水温度の違いによるコイル熱量とエネルギー消費量、COPdes.primary

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Makiko Ukai, Hideki Tanaka	4. 巻 201
2. 論文標題 A Case Study of a Pilot System with Gas-engine Heat Pumps and a Desiccant Air Handling System using Higher Chilled Water Temperature in Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Thermal Engineering	6. 最初と最後の頁 117817
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.applthermaleng.2021.117817	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ukai Makiko, Okumiya Masaya, Tanaka Hideki	4. 巻 12
2. 論文標題 Energy Performance Evaluation of a Desiccant Air Handling System to Maximize Solar Thermal Energy Use in a Hot and Humid Climate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 1921 ~ 1921
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/su12051921	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------