

デシカント空調機のシミュレータの構築

Construction of a Desiccant System Simulator

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

大曲 康仁
Yasuhito Oomagari

アズビル株式会社
ビルシステムカンパニー

伊藤 卓
Suguru Ito

早稲田大学

山口 誠一
Seiichi Yamaguchi

早稲田大学

齋藤 潔
Kiyoshi Saito

キーワード

デシカント空調機, 吸着式除湿, シミュレーション, 見える化, エネルギー, 制御

低露点が求められる製造工場などでは、しばしばデシカント空調機が導入される。夏の高湿度を想定して設計されるが、多くの工場で冬期などでも常に定格運転されており、過度な除湿による無駄なエネルギー消費が発生している。そこで、過度な除湿を省く制御を導入することで、省エネルギーが期待できる。しかし、システムの挙動は複雑で適切な制御の導入は難しい。本研究では、システムの動的挙動やエネルギー特性を把握するため、シミュレータを構築し検討した。その結果、再生風量とロータ回転数を操作することで、動的に安定で、省エネルギーな除湿制御が可能なが分かった。

Desiccant air conditioners are often installed in manufacturing plants where a low dew point is required. They are designed to deal with high humidity load in the summer, and in many plants they are operated at full capacity continuously even during the winter. This often results in wasted energy consumption due to excessive dehumidification. Therefore, we can expect energy savings by introducing a control system to eliminate excessive dehumidification. However, introducing appropriate control is difficult because the behavior of a system is complicated. In this study, we constructed and evaluated a simulator to understand the dynamic behavior and energy characteristics of the system. We found that we can operate a system in a dynamically stable and energy-saving dehumidification mode-by controlling the regeneration air flow rate and the rotor rotary speed.

1. はじめに

1.1 デシカント空調とは

リチウムイオン電池製造工場・製薬工場・食品加工工場など、様々な分野で低露点環境が必要である。低露点環境を実現する除湿空調方式の一つとして、乾燥剤（デシカント）を用いたデシカント空調が利用されている。

デシカント空調とは、固体のデシカント（シリカゲルやゼオライトなど）に直接水分を吸着させて除湿する、吸着式除湿方式の除湿空調である。

吸着式除湿では一般に、図1のようなデシカントロータと呼ばれる、ダンボールのようにコルゲート状に成型されたデシカントが組み込まれた円筒形のロータを用いる。

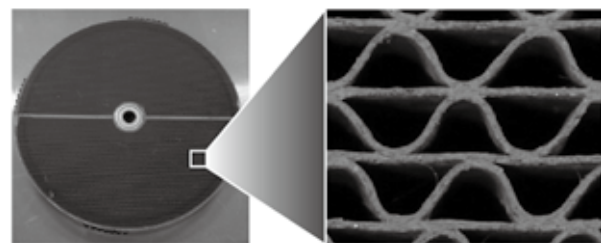


図1. デシカントロータ

デシカントロータに空気を投入することで、デシカントが空気中の水分を吸着し除湿する。水分を吸着したデシカントが連続して除湿を行えるようにするために、高温の空気をデシカントロータに投入し、デシカントを乾

燥させる。この機構を再生機構という。

図2のように、回転するデシカントロータに対し、除湿する空気流路と再生する空気流路が対向に設計され、連続除湿できる仕組みを作り出している。

このように、デシカント空調は、デシカントロータ、給気（処理）と再生の空気流路、再生加熱機構など構成要素が多く複雑である。しかし、一般的なビルに広く採用されている冷却式除湿では実現できないような、低露点の空気を作り出すことができる。

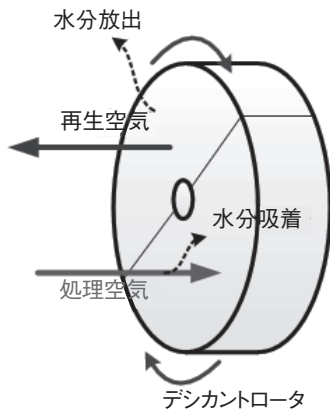


図2. デシカントロータの除湿と再生

1.2 目指すところ

低露点環境のためのデシカント空調では、夏の湿度の高い時期を想定した設計がなされつつも、安定して低露点を実現させることに重点をおき、多くの工場で常に定格運転されているのが現状である。しかし、省エネルギーが求められる社会情勢の中で、デシカント空調機でも同様に消費エネルギーの削減が求められている。

デシカント空調機で省エネルギーを達成するための一つの方法として、制御技術の活用が考えられる。すなわち、外気条件などの負荷状況に応じて、適正な操作を施すことで、無駄なエネルギーの発生を抑えつつ、一定の給気あるいは室内条件を維持させるものである（図3）。

このような省エネルギー制御を検討するためには、デシカント空調機のエネルギー特性や、負荷変動や操作量変化に対するデシカント空調機の特性を把握する必要がある。

また、デシカント空調機は、要求される給気風量や露点温度により、空気の流れの設計方法がいくつか存在するため、様々な設計条件に対して系の特性を把握する必要がある。

このような背景から、デシカント空調機に対して、広範囲な設計条件・運転条件のときの系の挙動・特性を再現できるシミュレータが必要であった。複雑なデシカント空調機の特性を見える化でき、かつ制御性やエネルギー特性を評価できる環境が必要である（図4）。

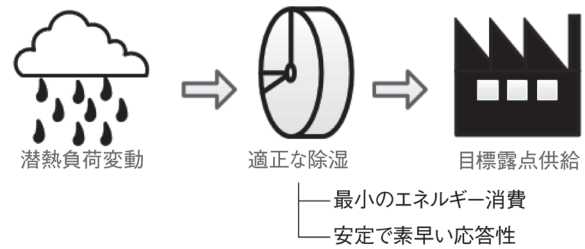


図3. 省エネルギー制御の目指すところ

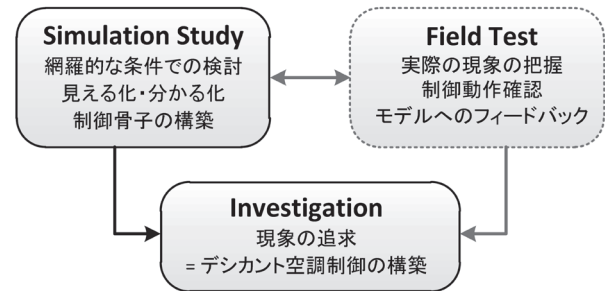


図4. シミュレーションの位置付け

1.3 シミュレーション環境

シミュレーションは米 MathWorks 社の数値解析ソフトウェアである MATLAB/Simulink を用いた。

MATLAB/Simulink は一般に、制御系の演算やデジタル信号処理が得意なことから、従来から制御の検討に積極的に活用してきた。例えば、室圧制御や VAV 空調制御、コンプレッサー台数制御について検討を行ってきており、空調機器や制御演算の計算モジュール群を構築してきた。このような背景から、デシカント空調機の制御検討でも、MATLAB/Simulink を用いることにした。

1.4 本論文の構成

本論文では、どのようにシミュレータを構築したのかについて述べたのち、デシカント空調機の制御を考える上での基本的特性となる年間の消費エネルギー試算や、操作量変化に対する系の動的挙動特性についての検討結果を述べる。

それらから導かれるデシカント空調機の制御についての考察を結論としてまとめる。

2. シミュレータの構築

2.1 対象のデシカント空調機

対象とするデシカント空調機の構成要素およびエアフローを図5に示す。

低露点給気を実現できる一般的な設計条件のデシカント空調機を対象とした。具体的には、再生空気の温度が140℃程度の高温再生タイプのデシカント空調機である。特徴として、処理、再生の流路のほかに、処理空気の一部が分岐するバージと呼ばれる流路が設けられて

いる。ロータのパージセクションで、再生によって暖められたロータを冷やすことで、低湿度の給気を得ることができる。パージセクションを通過した空気は高温であり、その熱を活かすため、再生流路に入るフローとなっている。

対象のデシカント空調機はデシカントロータ、処理給気ファン、再生ファン、外気冷却コイル、給気冷温水コイル、再生加熱コイルで構成している。各種コイルの出口空気温度を、フィードバック制御により冷水、温水あるいは蒸気流量を操作して、目標の温度に制御する。

対象のデシカント空調機の代表的な設計条件を表1に示す。なお、定格のロータ回転数については、構築したシミュレータを用いて、定格負荷条件下でロータ回転数が給気露点温度に与える影響（図6）を調査した上で、

給気露点温度が最も低くなる回転数を算出し、定格の回転数として定めた。

2.2 シミュレータの構成

MATLAB/Simulinkのシミュレータの外観を図7に示す。Simulinkでは、機能をもったモジュールを、制御系のブロック線図のように繋ぎあわせてモデルを作成する。

デシカント空調のシミュレータでは、図8に示すように大きな機能として、入力（外気条件・外乱など）、プロセス（操作部・制御対象）、コントローラ（調整器）、出力4つのサブシステムを用意した。上記の4つのサブシステムは、それぞれ機能ごとに細分化されたモジュールを連結して構成している。

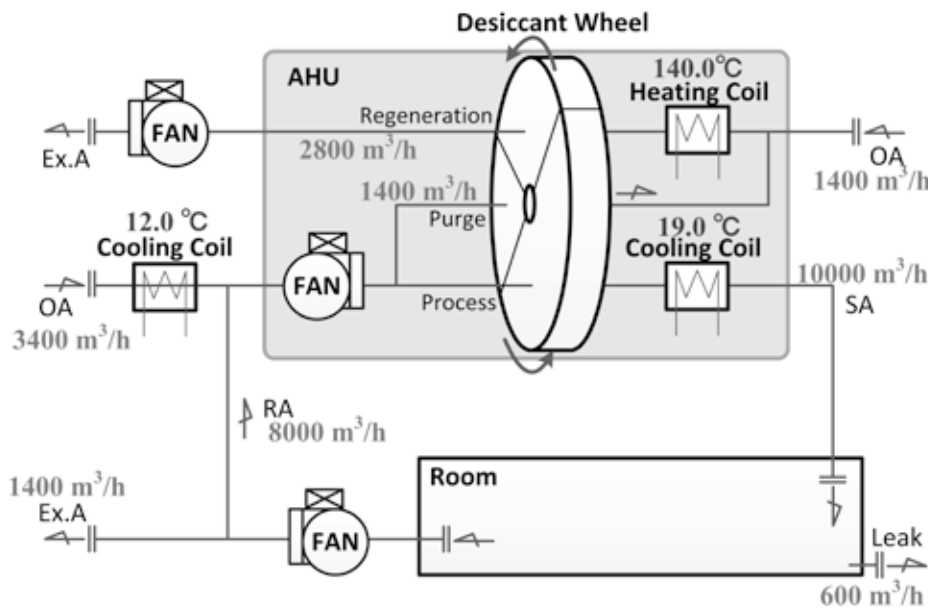


図5. 対象のデシカント空調機

表1. 代表的な設計条件

Module	Parameter	Unit	Value
Desiccant Wheel	Diameter	m	1.6
	Thickness	m	0.2
	Rotary speed	rph	12
	$K_m C_{sv}$	$\text{kW}/\text{m}^3\text{K}$	103.45
	$K_h C_{sv}$	$\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$	103.45
Room	Volume	m^3	270
	Sensible heat load	kW	16.7
	Latent heat load	kW	1.1
Air flow rate	Process air(SA)	m^3/h	10000
	Purge air	m^3/h	1400
	Regeneration air	m^3/h	2800
	Outside air(Pro)	m^3/h	3400
	Outside air(Reg)	m^3/h	1400
	Return air	m^3/h	8000
Control	SA Temp.	deg.C	19.0
	OA cooling Temp.	deg.C	12.0
	RegAir Temp.	deg.C	140.0

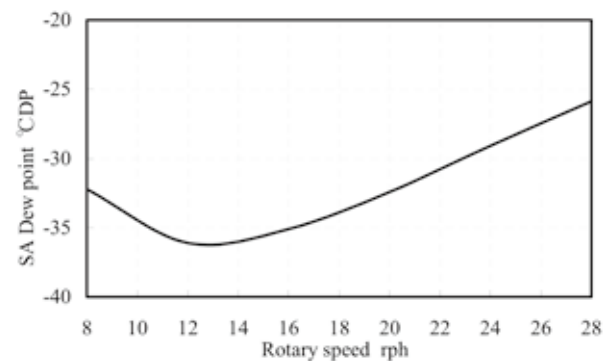


図6. ロータ回転数が給気露点温度に与える影響

例えば図9に示すように、プロセスのサブシステムはデシカント空調機モジュールと部屋モジュールで構成しており、モジュール間は各種データで連結している。コントロールのサブシステムから受けた冷却PID出力などから、空調機で給気状態を計算し、その給気状態にしたがって、部屋モジュールで室内状態を演算するといった具合である。

2.3 各種要素のモデル

デシカント空調機の系を構成する要素は、空調機（デシカントロータ、ファン、冷却コイル、加熱コイル）、

部屋、風量・圧力演算など多岐にわたる。ここでは、これらのモデルについて述べる。

(a) デシカントロータモデル

デシカント空調機を構成する要素の中で、最も重要かつ挙動が複雑なデシカントロータに関しては、従来よりデシカントの研究を進めてきた早稲田大学齋藤研究室との共同研究でモデルを構築した⁽¹⁾。

図10にモデル図を示す。デシカントロータの動的数値モデルを構築する上での主な仮定事項は以下の通りである。

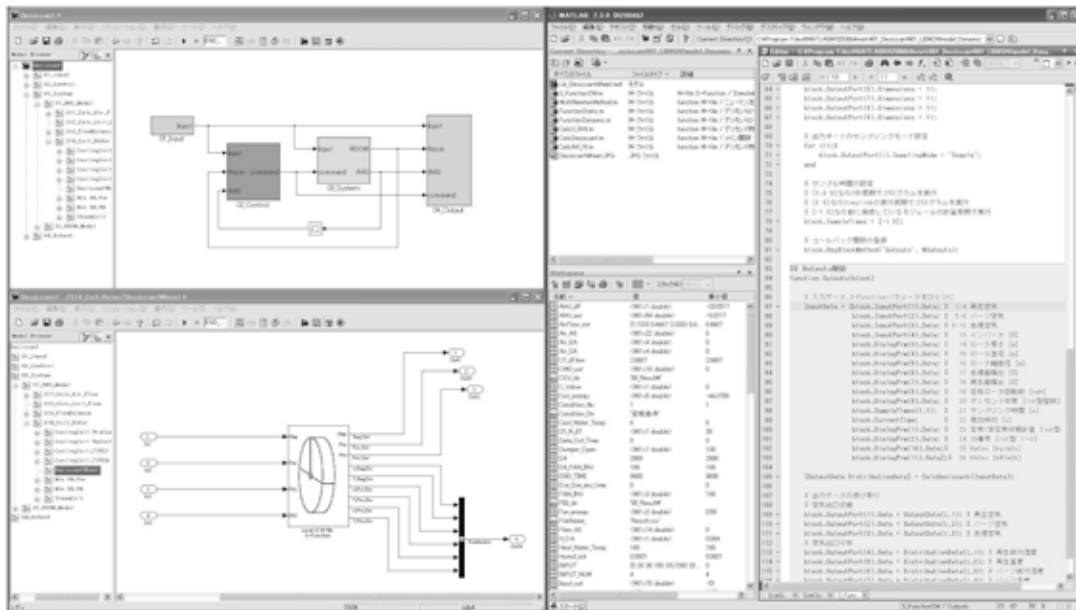


図7. MATLAB/Simulink のシミュレータの外観

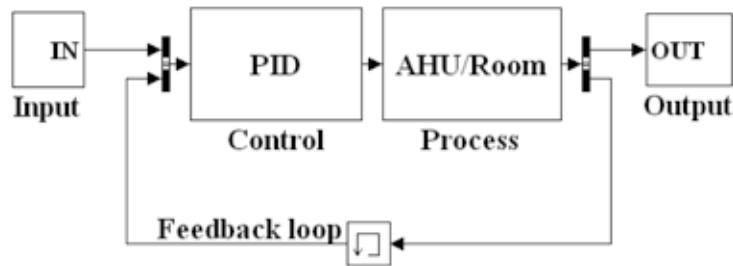


図8. Simulink モデルの全体像

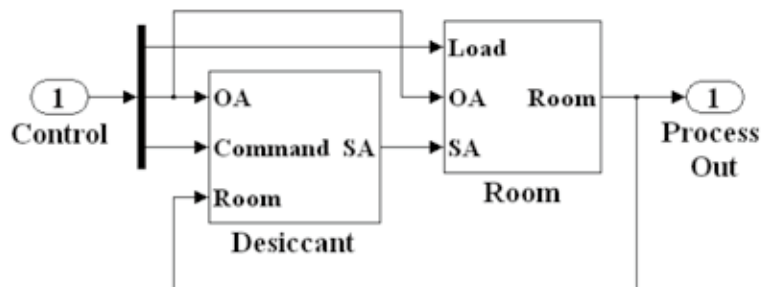


図9. Simulink モデルのプロセス（サブシステム）

- (1) 空気流路内の湿り空気と、吸着材壁との間の熱・物質移動は、両者の温度・濃度差を推進力とし、総括移動係数を用いて表されるものとする。
- (2) 空気流路内の湿り空気、および吸着材壁内部での熱伝導、物質拡散は無視する。
- (3) 空気流路内の湿り空気は、ロータの回転に伴って θ 方向へも移動するが、空気が空気流路内にとどまる時間は非常に小さく、 z 方向への移動に比べて十分小さいことから、これを無視する。

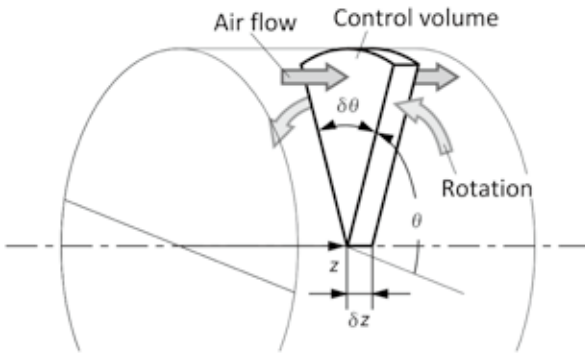


図 10. デシカントロータモデル

以下に、動的数値モデルを示す(記号表は後述)。まず、空気流路内の湿り空気の連続の式は次式のようにになる。

$$\frac{\partial u_a}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

空気流路内の湿り空気中の水蒸気に注目した質量保存式は次式のようにになる。

$$\varepsilon \rho_a \frac{\partial x_a}{\partial t} + \varepsilon \rho_a u_a \frac{\partial x_a}{\partial z} = -C_{sv} j_m \quad (2)$$

空気流路内湿り空気のエネルギー方程式は次式のようにになる。

$$\varepsilon \rho_a c_{pa} \frac{\partial T_a}{\partial t} + \varepsilon \rho_a u_a c_{pa} \frac{\partial T_a}{\partial z} = -C_{sv} q_s \quad (3)$$

吸着材壁の連続の式は次式のようにになる。

$$\frac{\partial \omega_d}{\partial \theta} = 0 \quad (4)$$

吸着材壁中の水分に注目した質量保存式は次式のようにになる。

$$(1-\varepsilon)\rho_d \frac{\partial X_d}{\partial t} + (1-\varepsilon)\rho_d \omega_d \frac{\partial X_d}{\partial \theta} = C_{sv} j_m \quad (5)$$

吸着材壁のエネルギー方程式は次式のようにになる。

$$(1-\varepsilon)\rho_d c_d \frac{\partial T_d}{\partial t} + (1-\varepsilon)\rho_d \omega_d c_d \frac{\partial T_d}{\partial \theta} = C_{sv} (q_s + j_m h_{ads}) \quad (6)$$

境界条件として、処理空気入口状態および再生空気入口状態は以下のようにになる。

(処理空気入口)

$$0 \leq \theta < \theta_p, z = 0 \\ u_a = u_{a,pi}, x_a = x_{a,pi}, T_a = T_{a,pi} \quad (7)$$

(再生空気入口)

$$\theta_p \leq \theta < 2\pi, z = L \\ u_a = -u_{a,ri}, x_a = x_{a,ri}, T_a = T_{a,ri} \quad (8)$$

ここで、 j_m は、空気流路内の湿り空気から吸着材壁へ移動(吸着)する水分の質量流束であり、両者の絶対湿度差を推進力として、次式のように表される。

$$j_m = K_m (x_a - x_d) \quad (9)$$

なお、この式に含まれる x_d は、吸着材壁の温度・濃度の状態に平衡する湿り空気の絶対湿度であり、この関係は後述の吸着等温線から直接導出できる。

同様に、 q_s は、空気流路内の湿り空気から吸着材壁へ伝わる顕熱流束であり、両者の温度差を推進力として、次式のように表される。

$$q_s = K_h (T_a - T_d) \quad (10)$$

次に、総括熱・物質移動係数 K_m, K_h の決定方法について述べる。仮定として、空気側の熱・物質移動が支配的であるとする。また、助走区間の影響は無視し、完全層流であるとする。さらに、熱・物質移動に関するアナロジーが成り立つとする。これらの仮定と山口らのこれまでの研究⁽²⁾により、 K_m, K_h は次のようになる。

$$\frac{K_h d_h}{k_a} = 2.57 \quad (11)$$

$$\frac{K_m d_h}{D_v} = 2.57 \quad (12)$$

物性として、密度、比熱、吸着熱などは一定値とする。また、本論文で対象とするデシカントロータの吸着材壁の吸着等温線は、図 11 に示す通りである。この吸着等温線の近似式がモデルに組み込まれる。

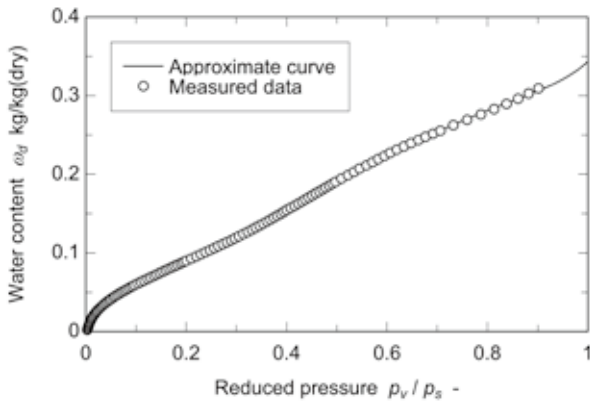


図 11. 吸着等温線

なお、ロータの動的数値モデルは、図 12 に示すように例えば回転数ステップアップ(0→30rph)入力実験で、デシカントロータ出口空気の周期的な特性など、実験結果と解析結果がよく一致することにより妥当性を確認している。

また、ロータの回転方向と軸方向については空気の状態の分布が出力できるモデルとなっている。分布を視覚的に確認できるよう、図 13 に示す可視化のツールを作成し、見える化を行っている。

デシカントロータは回転するため、一般に除湿した空気はロータ回転方向に温度分布や湿度分布を持つ。分布の情報は、実際の機器での計測などでは把握することが困難であるが、このようなシミュレーションと可視化ツールを用いることで、ロータ内部の空気の分布を再現することができる。

ロータ内部の空気の分布情報を把握することにより、デシカントの制御に重要な、ロータ内部の除湿状態や乾燥状態を把握できる。また、ロータ出口の計測位置の検討にも大いに役に立つ。

(b) 部屋モデル

部屋モデルは、簡易的な熱・物質バランスを考慮した 1 次遅れモデルを用いている。具体的には負荷と給気条件から室内温度および湿度を計算している。

(c) その他のモデル

モデルを作成するにあたり、コイルやファンなど一部のモジュールについては、既存の汎用的な空調機計算ツールである HVACSIM+ (J)⁽³⁾ を利用した。HVACSIM+ (J) のモデルは、物理法則に基づいた理論式でモデル化されており、妥当性が検証されている。ただし、HVACSIM+ (J) は空調計算のためのプログラムであるが、MATLAB/Simulink の拡張ではないため、MATLAB 環境に移植して使用している。

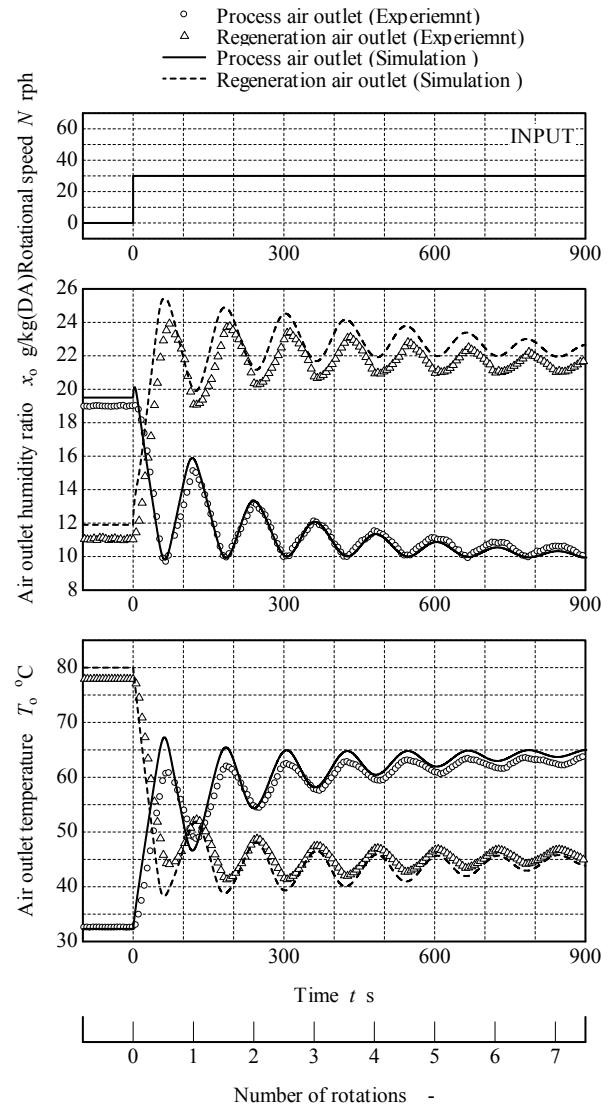


図 12. ロータ単体での解析結果と実験結果

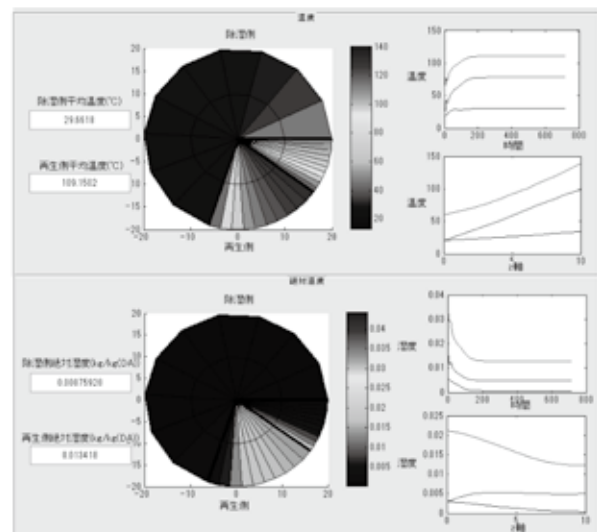


図 13. ロータ内部の空気分布の可視化

HVACSIM+ (J) を利用したモジュールの一覧と、HVACSIM+ (J) のモデルタイプを表2に示す。

なお、Flow Balance モジュールとは、空気の圧力バランスから各地点の風量を決定するモジュールである。

表2. HVACSIM+ (J) を利用したモジュール

Module	HVACSIM+(J) model TYPE
Room (Humidity calculation)	TYPE 402
Flow Balance	TYPE 501, 502
Fan	TYPE 503
Damper	TYPE 506
Cooling Coil	TYPE 602
Heating Coil	TYPE 602

3. シミュレータの活用

3.1 エネルギー特性の把握

対象のデシカント空調機のエネルギー特性を把握するために、年間外気条件に対する定格運転条件での空調機の給気露点温度や、エネルギー消費量を把握する。

【シミュレーション条件】

年間外気条件 (表3) は東京の月ごとの温度・湿度の平均値を用いた。

表3. 年間外気条件

Month	Temperature deg.C	Humidity ratio %RH
1	7.0	41.0
2	6.5	60.0
3	9.1	61.0
4	12.4	62.0
5	19.0	60.0
6	23.6	67.0
7	28.0	70.0
8	29.6	67.0
9	25.1	68.0
10	18.9	68.0
11	13.5	56.0
12	9.9	50.0

【シミュレーション結果】

年間外気に対する静的な空調機の給気露点温度を図14に、エネルギー消費量を図15に示す。結果から、空調機の給気露点やエネルギー消費量が外気の温湿度条件に影響を受けることがわかる。具体的には、外気の温度が高いとそれだけ給気露点も高くなり、またエネルギー消費も大きくなることが確認できる。

一般に、夏期の最も厳しい外気条件を想定して定格条件を設計するため、定格運転では冬期に過度に除湿をすることがわかる。制御により、給気露点温度を目標値に制御できれば、冬期などでは無駄な除湿のエネルギーを削減できるため省エネルギーとなることが期待できる。

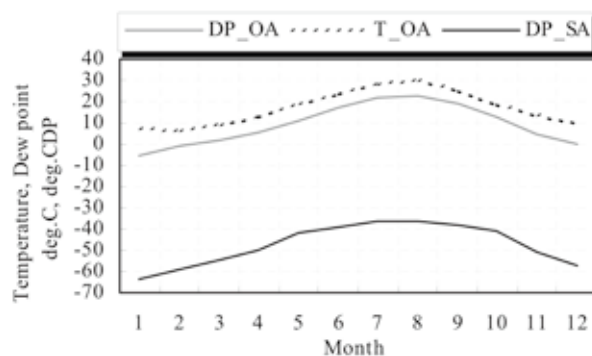


図14. 年間外気に対する給気露点温度の変動

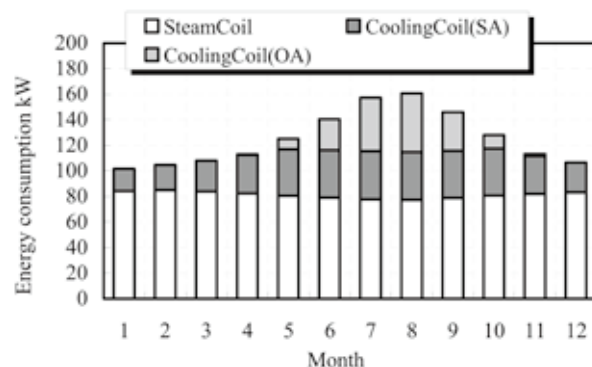


図15. 年間外気に対するエネルギー消費の変動

3.2 操作量の制御性検討

前節では、年間外気条件に対して定格条件で運転した場合、冬期などは目標値よりも低い給気露点温度の空気が供給されていることがわかった。そこで本節では、年間を通じて給気露点温度を目標値に制御することを考える。

代表的な操作量である、再生風量、再生温度、ロータ回転数の操作量としての適性を見極めるために、以下の手順で検討を行った。

- (1) 外気負荷に対する制御量の特性を把握
- (2) 各操作量で給気露点温度制御が可能かを把握
- (3) 操作量変化に対する制御量の応答性を把握

【外気負荷に対する制御量の特性把握】

外気負荷に対する制御量の特性を把握するために、外気絶対湿度に対する給気露点温度の影響を調査する。図16に外気絶対湿度に対する給気露点温度 (定常値) の計算結果を示す。この結果から、外気絶対湿度が下がるほど、給気露点温度が低くなることがわかる。特に外気絶対湿度が8.7 g/kg (DA) 以下では顕著である。

例えば、外気絶対湿度が8.0g/kg (DA) のとき、給気露点温度は -36.2℃ DPである。仮に、給気露点温度を -36.2℃ DPに一定とする制御を考えると、外気絶対湿度が8.0g/kg (DA) 以下では、給気露点温度が -36.2℃ DPより低くなる。そのため、過剰な除湿を防ぎ、給気露点温度を -36.2℃ DPに保つように、何らかの操作

量を制御する必要がある。

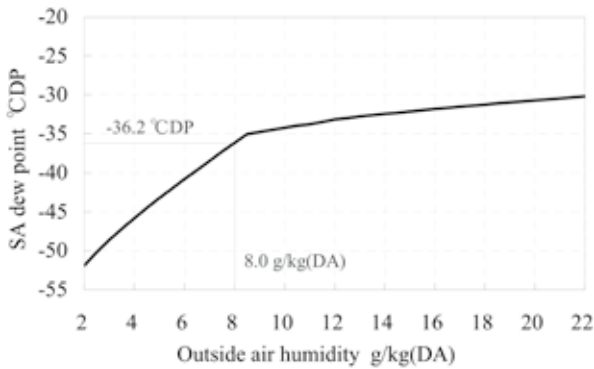


図 16. 外気絶対湿度と給気露点温度の相関関係

【各操作量の給気露点温度制御可否の把握】

次に、デシカント空調機の代表的な操作量で、給気露点温度制御が可能かどうかを把握する。操作量はロータ回転数・再生風量・再生温度とする。

外気絶対湿度が 4.0g/kg (DA) のときの、各操作量と給気露点温度の相関関係を調査する。操作量の出力は 0-100% で示し、実際の操作量の値と出力の関係は表 4 に示す。図 17 にそれぞれの操作量出力に対する給気露点温度 (定常値) の計算結果を示す。なお、ある操作量出力に対する給気露点温度を調査するときには、他の操作量出力は 100% 固定としている。

表 4. 操作量の値と出力の関係

Operation parameter	Operation value	Control output
Rotary speed	0-12 rph	0-100 %
Regeneration air flow rate	0-2800 m ³ /h	0-100 %
Regeneration temperature	70-140 °C	0-100 %

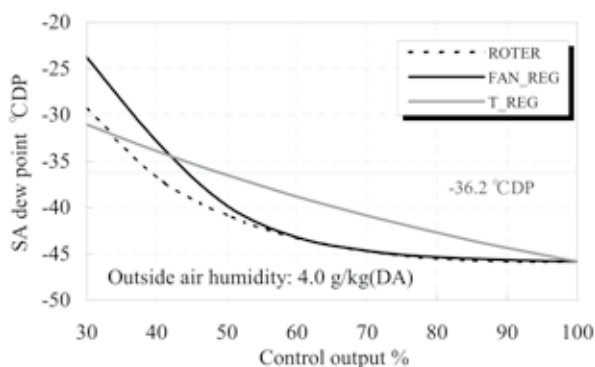


図 17. 操作量と給気露点温度の相関関係

図 17 から、ロータ回転数・再生風量・再生温度それぞれの操作量で、給気露点温度を -36.2°C DP にする出力があることがわかる。すなわち、外気絶対湿度が 4.0 g/kg (DA) のときは、それぞれの操作量を制御することで、給気露点温度を目標値に追従させることができる。

【各操作量変化に対する制御量の応答性を把握】

最後に、それぞれの操作量変化に対する制御量の動的な挙動を調査する。

具体的には、外気絶対湿度が 4g/kg (DA) のときに、給気露点温度が -36.2°C DP となる操作量出力 (ロータ回転数: 39.2%, 再生風量: 44.2%, 再生温度: 48.8%) から、100% の操作量出力にしたときの給気露点温度のステップ応答を調査する。0s のタイミングで操作量をステップ変化させたときの給気露点温度の応答を図 18 に示す。

結果から、それぞれ操作量変化に対する給気露点温度の動的な挙動の違いを確認できる。例えば、再生風量や再生温度を変化させたときに比べ、ロータ回転数を変化させたときは給気露点温度の応答が速い。また、再生風量と再生温度は、どちらを変化させてもほぼ同様の挙動を示す。

以上より、今回対象とした系では、外気湿度変化の外乱に対して素早く給気露点温度を応答させることを考えるとき、ロータ回転数を制御するのがよいことがわかる。

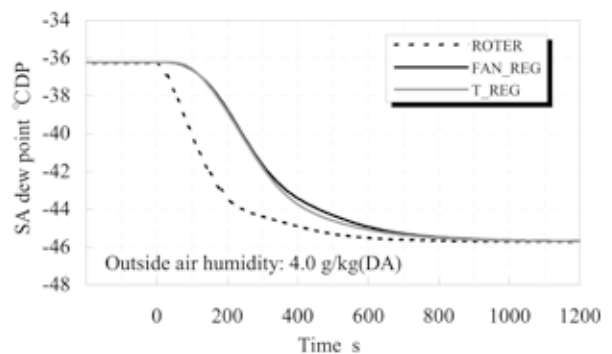


図 18. 操作量変化のステップ応答

3.3 操作量の省エネルギー性検討

前節では、操作量の制御性検討で、応答としてはロータ回転数が優れていることがわかった。

そこで、ここでは、エネルギー消費の観点から操作量を検討する。

シミュレータを用いて、外気絶対湿度が 4.0g/kg (DA) のときの、各操作量と消費エネルギー (各コイルの交換熱量の合計) の相関関係を調査する。実際の操作量の値と出力の関係は表 4 の通りである。図 19 にそれぞれの操作量出力に対する消費エネルギー (定常値) の計算結果を示す。なお、ある操作量出力に対する給気露点温度を調査するときには、他の操作量出力は 100% 固定としている。

図 19 から、各操作量でエネルギー消費量に大きく差が出るのがわかる。再生風量を操作すると、消費エネルギーを大きく削減できる。一方、ロータ回転数を操作する場合、定格回転数から回転数を落とすと、エネルギー消費量は若干増加する。

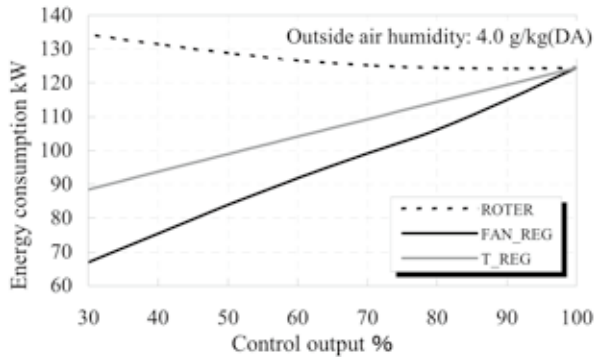


図 19. 操作量と消費エネルギーの相関関係

3つの操作量の省エネルギー性能を比較するために、外気絶対湿度が4g/kg (DA) のときに、給気露点温度が-45.8℃ DPとなる定格の操作量出力(100%)から、-36.2℃ DPとなる操作量出力(ロータ回転数:39.2%, 再生風量:44.2%, 再生温度:48.8%)に変えた時のエネルギー削減量を比較検討する。

比較結果を図20に示す。図より明らかなように、定格条件(-45.8℃ DP)から、それぞれの操作量を操作して同じ給気露点(-36.2℃ DP)に制御することができるが、このときのエネルギー削減量は操作量によって異なり、再生風量が最も多いことがわかる。

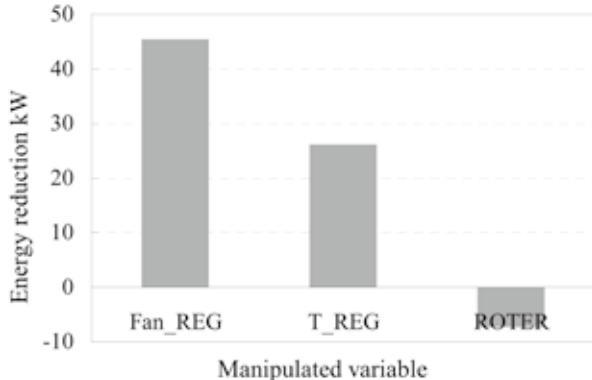


図 20. 操作量の省エネルギー性能の比較

4. デシカント空調の制御検討

前章では、シミュレータを活用して、対象のデシカント空調に対して、省エネルギーの余地や、操作量の制御性・省エネルギー性を検討した。

一般に制御を考えるならば、外乱発生時の操作量変化に対する制御性が重視されるが、省エネルギー制御の場合、操作量変化時のエネルギー消費削減も同様に重要な要素となる。

図18から、応答性はロータ回転数が優れていることがわかった。一方、図20から、省エネルギー性は再生風量が優れていることがわかった。これらから、対象の

デシカント空調の制御は、ロータ回転数と再生風量を操作量として構築すると、応答性・省エネルギー性に優れた制御を実施することができると考えられる。

5. おわりに

デシカント空調を対象に、シミュレータ環境を構築し、代表的な設計のデシカント空調に対して制御を検討することができた。

今後の展望としては、異なるエアフローや設備構成のデシカント空調を対象に、制御手法を整理していくとともに、複数の操作量をどう制御すれば最もエネルギー消費が少なくなるかなどの、エネルギーを最小とする最適運転手法などを検討していく。

シミュレータを活用することで、複雑な挙動を様々な視点から噛み砕いて評価することが容易になり、デシカント空調の制御の検討に大きく貢献することができた。シミュレータの活用はデシカント空調だけでなく、他の分野でも大いに活用し、制御の追求を進めていきたいと考えている。

<記号表>

C_{sv}	比表面積, $m^2 \cdot m^{-3}$
c_{pa}	定圧比熱, $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
D_v	湿り空気中の水蒸気の拡散係数, $m^2 \cdot s^{-1}$
d_h	空気流路の水力直径, m
h_{ads}	吸着熱, $J \cdot kg^{-1}$
j_m	質量流束, $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
K_m	総括の物質移動係数, $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
K_h	総括の熱移動係数, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
k	熱伝導率, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
q_s	熱流束, $W \cdot m^{-2}$
T	温度, $^{\circ}C$
u	面速度, $m \cdot s^{-1}$
X_d	吸着剤壁の水分含量, $kg \cdot kg^{-1} (DD)^{-1}$
x	絶対湿度, $kg \cdot kg^{-1} (DA)^{-1}$
ε	吸着剤壁の空隙率, -
ρ_a	空気密度, $kg (DA) \cdot m^{-3}$
ω_d	デシカントロータの角速度, $rad \cdot s^{-1}$

<添字>

a	空気
d	デシカント
pi	処理空気入口
ri	再生空気入口

<参考文献>

- (1) 山口誠一ほか：デシカントロータの非定常振動現象に関する研究，2012年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集，B122.1-4，2012，北海道
- (2) S. Yamaguchi, K. Saito, S. Kawai, Performance Evaluation of Silica gel Desiccant Wheel by Simulation and Experiment, IMPRES2010, 2010, Singapore.
- (3) HVACSIM+(J):http://www7a.biglobe.ne.jp/~nob_naka/jc.htm

<商標>

MATLAB, Simulink は, The MathWorks, Inc. の登録商標です。

<著者所属>

大曲 康仁	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
伊藤 卓	ビルシステムカンパニー 開発本部開発3部
山口 誠一	早稲田大学 基幹理工学部 助教
齋藤 潔	早稲田大学 基幹理工学部 教授