

外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その 57)
 コージェネレーション排熱利用としてのデシカント空調機
 Development of an Integrated Energy Simulation Tool
 for Buildings and MEP Systems, the BEST

Part 57 Desiccant Air-Conditioning System for the Effectively Waste-heat-using
 of Cogeneration System

正会員	田端 康宏 (日建設計)	特別会員	村上 周三 (建築研究所)
正会員	秋元 孝之 (芝浦工業大学)	正会員	石野 久彌 (首都大学東京名誉教授)
正会員	野原 文男 (日建設計)	正会員	佐藤 誠 (佐藤エネルギーリサーチ)
正会員	工月 良太 (東京ガス)	正会員	二宮 博史 (日建設計)
正会員	笹嶋 賢一 (日本設計)		

Yasuhiro TABATA*¹ Shuzo MURAKAMI*² Takashi AKIMOTO*³ Hisaya ISHINO*⁴ Fumio NOHARA*¹

Makoto SATOH*⁵ Ryota KUZUKI*⁶ Hiroshi NINOMIYA*¹ Kenichi SASAJIMA*⁷ Kyoichiro KONNO*⁸

*¹ Nikken Sekkei Co.,Ltd *² Buildig Research Institute *³ Shibaura Institute of Technology *⁴ Tokyo Metropolitan Univ.

*⁵ Satoh Energy Research Co.,Ltd. *⁶ Tokyo Gas Co.,Ltd. *⁷ Nihon Sekkei Co.,Ltd.

For the purpose of applying the BEST to buildings including cogeneration systems, a module of cogeneration system is being developed. The Desiccant Air-Conditioning system is used a tool of the effectively waste-heat-using of Cogeneration System. This paper reports a module of the Desiccant Air-Conditioning system. As a result, it is able to used calculation coupling the Desiccant Air-Conditioning system with Cogeneration System.

1. はじめに

コージェネレーションシステムは、オンサイトで発電し、同時に発生する排熱を空調や給湯等に利用することによりエネルギーの利用効率（一次エネルギー効率）を向上させるシステムである。利用効率を向上させるためには排熱利用が鍵を握っており、発電と同時に発生する排熱をどれほど有効に利用されているかを定量的に把握する必要がある。しかしながら、排熱の温度レベルや流量によって機器の特性をきちんと評価可能なシミュレーションプログラムは見当たらない。

本稿では排熱を有効に利用できるポテンシャルを有する機器のひとつとして注目されるデシカント空調機を取り上げる。デシカント空調機の排熱利用を定量的に評価するためにデシカント空調機の計算モデルについて既往のモデルを BEST に適用するとともに、BEST に実装したうえで連成計算を行ったので報告する。

2. デシカント空調機モジュールの作成

図 1 にデシカント空調機の一例を示す。デシカント空調機は、排気ファン、除湿ロータ、再生コイル、顕熱ロータ、冷温水コイル、給気ファンが中心となる構成機器である。付属機器として、気化冷却器や予冷コイル等

が考えられるが、開発段階では最低限必要とされる機器を作成することを優先とした。除湿ロータ以外の機器については、すでに BEST 上における実装が完了しているためここでは除湿ロータの計算モデルを整備し、他の構成機器と組み合わせてデシカント空調機として動作するモジュールの構築を行った。そこで本節では、除湿ロータのモデル化、デシカントロータユニットとしてのモジュール作成、およびそれらの計算結果と実測値を比較することにより計算モデルの検証を行ったので報告する。

2-1. 除湿ロータのモデル化

除湿ロータの計算モデルは既往研究^{文献1)}を参考とし

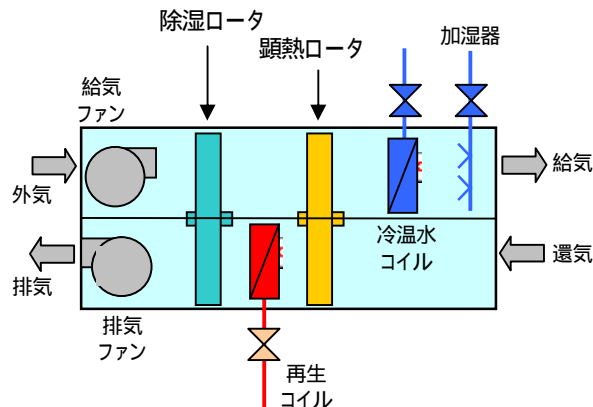


図 1. モデル化したデシカント空調機の構成

た。このモデルは処理空気及び再生空気の入口状態（乾球温度と相対湿度）と各々の状態値における相対湿度効率から、出口空気状態が求められるのが特徴である。実際の機器特性データから特性式の係数を同定しているため、適用範囲が制限される^{注1}ものの、熱・物質移動係数を考慮する複雑な計算ではないため、計算速度が速く、BEST における連成計算に適していると言える。

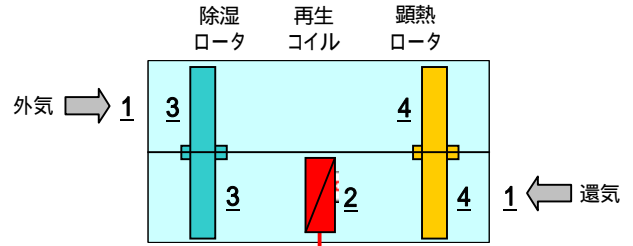
2-2. デシカントロータユニットの作成と入力条件

除湿ロータオブジェクトを作成したことで、デシカント空調機を構築することが可能となった。空調機内を同時刻で計算するために、除湿ロータ、顕熱ロータ、再生コイルをひとつにまとめた「デシカントロータユニット」を作成した。図2にその構成と計算過程を示す。除湿ロータは処理側・再生側の入口空気（3）が境界条件として必要であり、また顕熱ロータも処理側・再生側の入口空気（4）を必要とする。2つのコイルの間に挟まれた状態値を入力条件とするため、収束計算をせざるを得ない。従ってデシカントロータユニットの内部では、再生コイルの出口空気温度（ ）がある一定値に落ち着くまで計算を繰り返すこととした。非線形連立方程式の解法としては乱暴であるが、実用的な範囲における感度解析によって数回の計算で収束が完了することを確認している。

デシカント空調機として必要な入力項目を表に示す。これらの部品は、デシカント空調機テンプレートとして相互を接続した状態で作成した。

2-3. 計算値と実測値の比較

作成したデシカント空調機の精度検証を行うため、実測値と計算結果の比較を行った。表1に実測条件を、図3に実測したデシカント空調機の実測ポイントを示す。対象建物は某病院施設、実測箇所はデシカント空調機内のA点～G点、計7点である。実測では、デシカント空調機のON/OFFを計測していなかったため、実測されていた再生コイルの出入口空気温度の差が5以上ある場合に運転していると仮定した。そのときの運転時間を図



番号は収束計算の順序、下線は入力、は出力を表す
図2. デシカントロータユニットの構成と、収束計算の過程

表1. 実測条件

対象建物	弊社設計による某病院施設
実測対象	乾球温度と露点温度
実測箇所	図2参照
期間	2007/04～2008/03
時間間隔	1時間

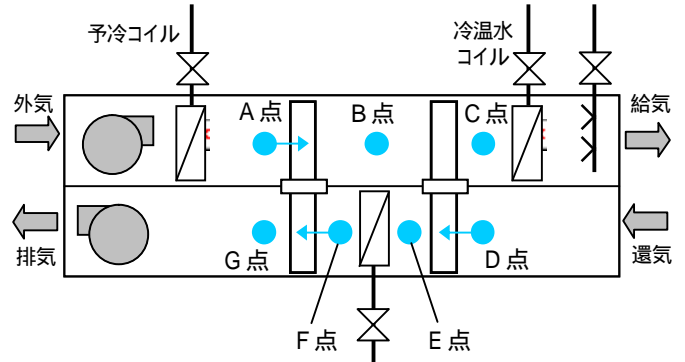


図3. 実測したデシカント空調機の実測ポイントと、境界条件

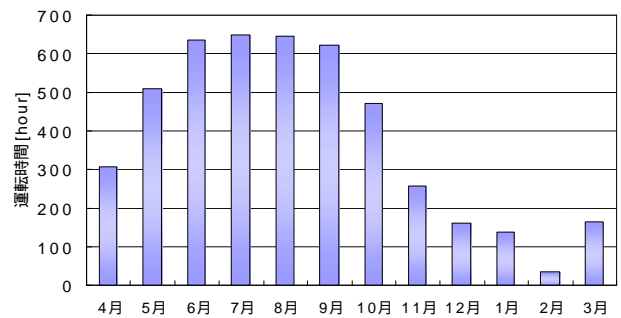


図4. 想定されたデシカント空調機の運転時間

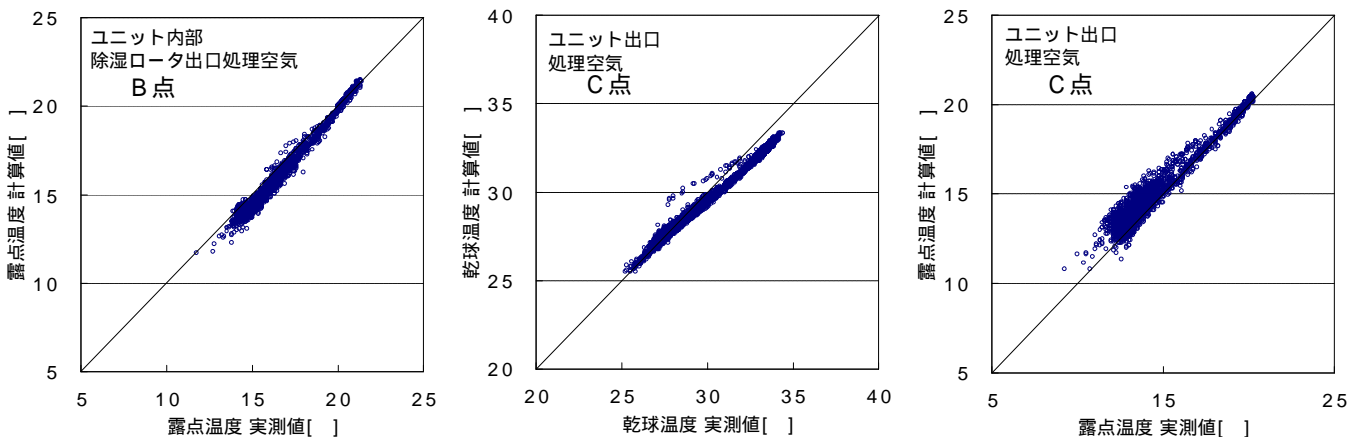


図5. B点、C点における実測値と計算値の相関

4 に示す。除湿すべき夏期に多く運転され、冬期にも運転している時間が見られる。

除湿ロータ、及びデシカントロータユニットの計算精度を確認するため、A点・D点・F点の実測値を境界条件として計算を行った。B点における露点温度の計算値と実測値の相関を図5(左)に示す。また、C点における処理側出口温度の計算値と実測値の相関を図5(中央,右)に示す。ユニット出口C点の露点温度でばらつきが見られるものの、3つのグラフとも概ね一致していると言える。

デシカント空調機によって湿度制御をしているものの、図5(左)では制御点を大きく越える箇所がある点に気がかかる。これは空調機が運転していなかった、もしくは運転していたにも関わらず再生コイルからの供給、つまり排熱が十分に得られなかったためと考えられる。図6に時系列で見た実測値と計算値の比較を示す。22時を超えたあたりで湿度制御を終えているものの、実測値は計算値と近い値を示している。つまり定格状態より排熱が不足するような運転までシミュレータで正確に評価できると言える。

3. コージェネレーションとデシカント空調機の連成計算

連成計算^{注2)}は表2の設定で行った。大きくは前報^{文献3)}から引用している。異なる点として、排熱フローは図7のようにデシカント空調機の再生コイルへ発電機の排熱を利用し、余剰排熱があれば排熱投入型吸収冷温水機へ活用するシステムとした。デシカント空調機の対象範囲を6フロア分とし、南側系統・北側系統の計12台のデシカント空調機を想定した。またデシカント空調機の特徴を活かすため、冷水コイルの送水温度を15とし、過冷却による除湿を無駄に行わないようにした。

図8にはデシカント空調機廻りの制御システムを示している。熱交換器で排熱をデシカント空調機系統へ送る際、排熱温度低下に伴いガスエンジン発電機が停止するのを防ぐため、1次側3方弁出口の排熱温度が80を下回らないようにPID制御を行う。また再生コイルの2方弁は、デシカントロータユニット出口の絶対湿度を制御対象とするPID制御を行い、絶対湿度10.5g/kgになるように流量を制御する。

図9に夏期代表日(8月29日)における計算結果を示す。グラフ(a)ではデシカント空調機の絶対湿度と再生コイルの流量を示している。9時からデシカントロータユニットに0.016kg/kg以上の外気が取り込まれ、0.010kg/kgから0.011kg/kgまで除湿されているのがわかる。ガスエンジンの運転直後は排熱系の温度が低いことから除湿が十分になされず、冷却コイルにて除湿されている。午前中は設定湿度よりも下回るため、再生コイル流量は徐々に絞られ、適正に制御されている様子が見られる。

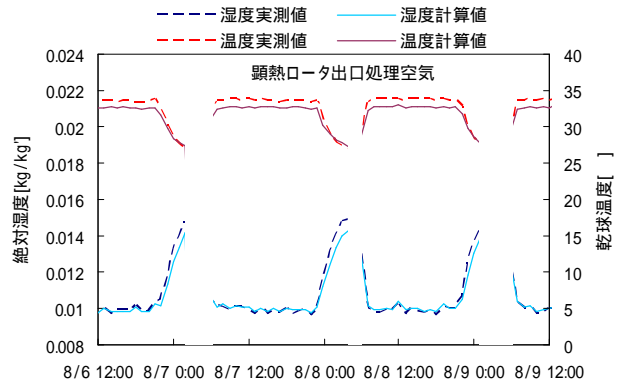


図6. 時系列で見た実測値と計算値の比較

表2. 計算条件

項目	設定値
建築	延床面積：9919m ² (12フロア) 天井高さ：2.6m
空調	空調面積：6フロア分 ゾーニング：南側4ゾーン/北側4ゾーンに分割し、各階2台にデシカント空調機設置 運転時間：8:00～22:00(月曜～金曜)
デシカント空調機	風量6000m ³ /h(各4ゾーンに等風量)
排熱投入型吸収冷温水機(冷房時)	定格能力/ガス消費(排熱なし)/電力消費 /定格排熱回収量：1055/822/5.1/326kW 冷水温度：15
冷却塔	冷却水流量：5000L/min
冷却水三方弁制御	熱源の冷却水入口温度を観測対象とし、目標設定温度になるように冷却水三方弁の流量比にPID制御を行う

用途はオフィスビルとし、建物条件は標準問題とする。その他ガスエンジン等の計算条件は前報^{文献3)}参照

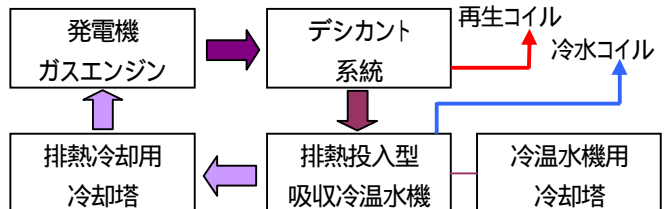


図7. 排熱フロー図

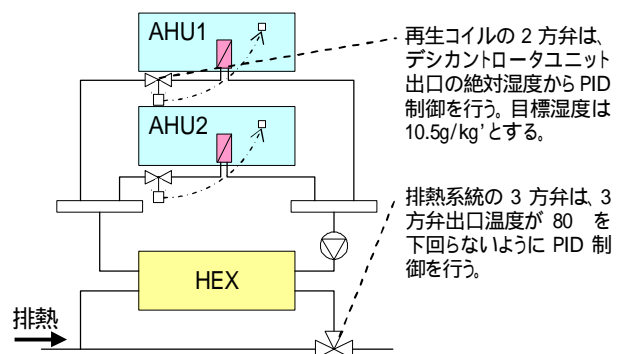


図8. デシカント空調機廻りの制御システム

グラフ(b)では、三方弁出口温度が80以上となるような制御が再現されていることが確認できる。熱交換器の2次側流量が徐々に増えていき、2次側コイルの温度差が徐々に少なくなっている。この結果から、2次側の温度制御をさらに適正に制御し、流量をより抑えることで、2次ポンプの動力を抑えることができるのではない

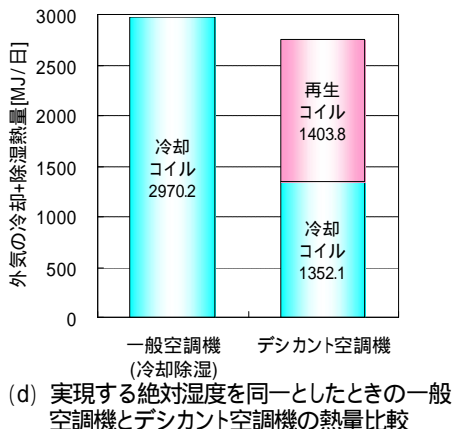
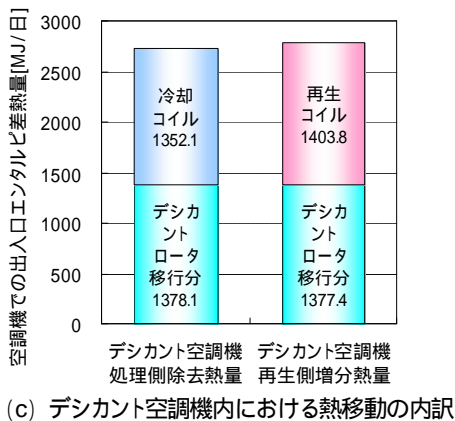
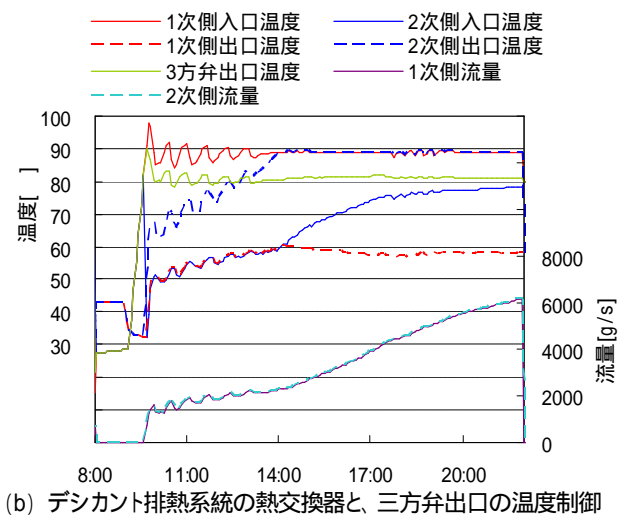
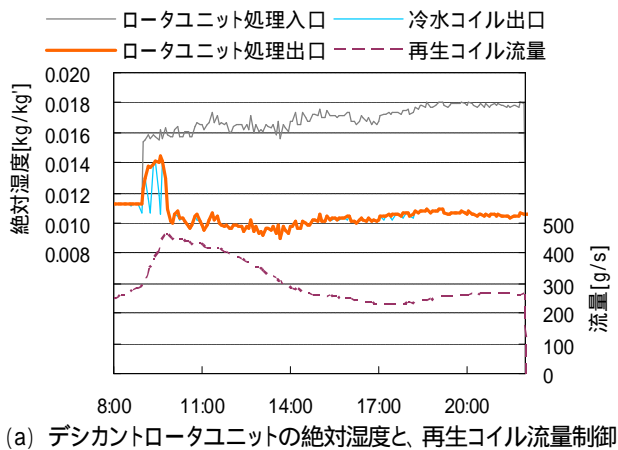


図9. 夏期代表日における連成計算結果(8月29日)

かという考察ができる。

グラフ(c)にはデシカント空調機内における熱移動の日積算値を示している。処理側では除湿・顕熱ロータによって 1378.1[MJ/日]の除湿がなされたのちに、冷却コイルで 1352.1[MJ/日]が除去される。デシカントロータ移行分の熱量に差が生じているのは、計算による誤差であり、0.7[MJ/日]と非常に小さい。

グラフ(d)では、デシカント空調機の出口温湿度を満たすように一般空調機(冷却除湿)を想定し、熱量比較を試みた。冷却コイルの除湿は相対湿度 95%と仮定し、外気と吹出空気のエントルピ差から熱量を求めた。夏期代表日(8/29)では一般空調機よりもデシカント空調機の方が、210[MJ/日]程度少ない結果となった。

4. まとめ

コージェネレーションシステムの排熱利用として、デシカント空調機の除湿ロータ、及びデシカントロータユニットを作成し、その計算モデルについて述べた。また実測値と計算値の比較を行い、十分な精度で予測できることを確認した。以上より、コージェネレーションシステムとデシカント空調機の連成計算が実現可能となった。

【謝辞】

本報は、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、クラス構想 WG(石野久彌主査)、コージェネレーション検討 SWG(秋元孝之主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表すものである。コージェネレーション検討 SWG 名簿(順不同)主査:秋元孝之(芝浦工業大学)、副主査:笹嶋賢一(日本設計)、委員:野原文男、二宮博史、田端康宏(以上、日建設計)、昆野京一郎(ヤンマーエネルギーシステム)、佐藤誠(佐藤エネルギー・リサーチ)、工月良太(東京ガス)、斎藤央(システック環境研究所)、事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

【注】

- 1) デシカントロータユニットの設計風量は 6000m³/h までを制限とする。
- 2) 本計算では「連成計算」が主旨であり、コージェネレーションやデシカント空調機の最適設計は必ずしもなされていない。

【参考文献】

- 1) 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集 2008 『地域におけるエネルギー・環境マネジメントに関する研究(第3報)シミュレーションプログラム(SPREAM)の精度確認と機能の拡張』
- 2) 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集 2008 『外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その34)コージェネレーションシステムプログラムの概要』
- 3) 空気調和衛生工学会大会学術講演論文集 2009 『外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その56)コージェネレーションシステムプログラムの特徴』