

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 203）
空調機の coils 仕様が水蓄熱式空調システムの運用に与える影響

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems,
the BEST (Part203)

Influence of the Spec of Chilled and Hot Water Coil on the Operation of Air Conditioning
System with Thermal Storage

正 会 員 ○河路 友也（愛知工業大学） 特別会員 村上 周三（建築環境・省エネルギー機構）
技術フェロー 柳原 隆司（東京電機大学） 技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）
正 会 員 二宮 博史（日建設計） 名誉会員 中原 信生（環境システック中原研究処）
正 会 員 中塚 一喜（三晃空調） 正 会 員 南島 正範（ヒートポンプ・蓄熱センター）

Tomoya KAWAJI*1 Shuzo MURAKAMI*2 Takashi YANAGIHARA*3 Hisaya ISHINO*4

Hiroshi NINOMIYA*5 Nobuo NAKAHARA*6 Kazuki NAKATSUKA*7 Masanori MINAMIJIMA*8

*1 Aichi Institute of Technology *2 Institute for Building Environment and Energy Conservation

*3 Tokyo Denki University *4 Tokyo Metropolitan Univ. *5Nikken Sekkei Ltd. *6 NESTEC

*7 Sanko Air Conditioning Co.,Ltd. *8 HPTCJ

The purpose of this study is to examine the influence of the spec of heat exchange coil on the operation of air conditioning system with thermal storage. In the design of the water thermal storage type air conditioning system, setting of the temperature difference on the secondary side effects the heat storage tank capacity. According to the results of calculation of the BEST, it showed that it is important to design and input the detail data of the coil correctly to realize proper operation.

はじめに

水蓄熱式空調システムの設計において、二次側の利用温度差の設定は必要蓄熱槽容量に与える影響が大きい。また、運用段階においても、二次側利用温度差が設計値と異なる場合には、利用可能な蓄熱量に変化が起り、蓄熱システムの運転において障害が生じる可能性もある。

本稿では、BEST 専門版(BEST1705)(以下、本ツールと称す)を利用して、二次側空調機の coils 仕様などの変化により、蓄熱システムの運転状況にどのような影響を及ぼすのか検討を行い、本ツールで水蓄熱式空調システムの計算を行う場合の coils 仕様入力において留意する点を明らかにすることを目的としている。なお、本稿では紙面の関係もあり、冷房運転時の結果についてのみ示す。

熱源設備については、基本データでは、吸収式冷温水発生機と空冷ヒートポンプチラーの組み合わせであるが、本稿では水蓄熱式空調方式とするため、必要熱源能力および蓄熱槽容量については、次節で設計結果を示す。

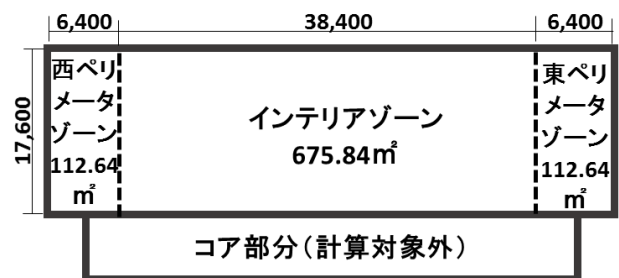


図-1 計算対象建物基準階平面図

1. 計算対象建物・設備概要

1.1 建物・空調設備概要

計算を行った建物は、本ツールの講習会で使用されている A ビルである。表-1 に建物・空調設備概要、図-1 に基準階の平面図を示す。空調計算ゾーンとしては、図-1 に示すようにインテリアゾーンと西、東のペリメータゾーンに分けられている。エレベータホールなどのコア部分は計算対象外とし、コア部分と接する面については、内壁として処理され、隣室温度差係数 0.3 で負荷を算入している。空調方式については、各ゾーンに 1 台ずつの AHU とし、VAV ユニットと組み合わせた方式となっている。

表-1 建物・空調設備概要

建物概要	建設地	東京都
	建物用途	事務所
	建築面積	1,497,75 m ²
	延床面積	20,580.88 m ²
空調設備概要	階数	地上 14 階、地下 1 階
	熱源設備	連結完全混合槽型蓄熱槽 + 空冷ヒートポンプ方式 ※詳細は表-2 参照
	空調方式	各階空調機 + VAV ユニット インテリア系統 (AHU1) 東ペリメータ系統 (AHU2) 西ペリメータ系統 (AHU3) 各階 1 台設置

1.2 水蓄熱式空調システムの設計

図-2 に、夏期期間中の日積算冷房負荷の最大値が記録された日の時間別負荷を示す。この負荷は、前述した基本データの熱源（吸収式冷温水発生機と空冷ヒートポンプチラー）で計算した場合の処理熱量であり、負荷計算の結果ではない。この日負荷を使用して、水蓄熱方式を採用した場合の必要熱源能力と蓄熱槽容量の設計を行った。設計には水蓄熱槽最適設計プログラム TESEP-W²⁾を使用した。表-2 に、TESEP-W による設計結果を示す。設計は、二次側の利用温度差を 10℃と 5℃の場合で行った。槽容量は 600m³と 1200m³となり、蓄熱槽効率も同じ値となった。熱源は 24 時間運転の設定である。

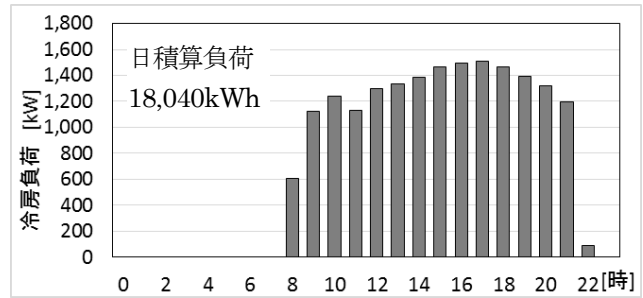


図-2 日積算最大冷房負荷発生日の時刻別負荷 (8月7日)

表-2 水蓄熱システム設計結果

熱源	冷却能力：800kW (10℃→5℃) 冷水流量：2,300L/min	
空調機	①7℃→17℃	②7℃→12℃
蓄熱槽容量	①600m ³ (30 槽)	②1,200 m ³ (60 槽)
蓄熱槽効率	①105.9%	②105.9%

2. 計算条件の設定

2.1 本ツールにおける空調機コイル仕様

図-3 に本ツールにおける空調機コイル仕様入力画面を示す。正面面積、列数等のコイル仕様に関する細かなデータ入力が必要となる一方で、空調機能力、冷温水の出入口水温設定値などの入力箇所が無い。そのため、この画面の情報のみでは入力者以外の者が空調機能力、水温設定値を把握できないため改善を望む点である。

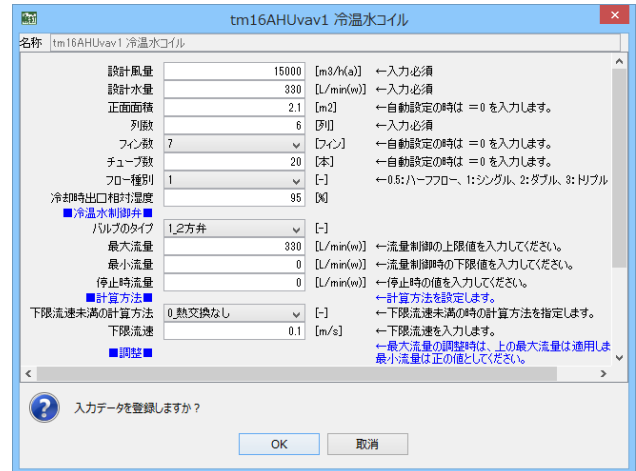


図-3 BEST 専門版コイル仕様入力画面

2.2 計算条件設定とコイル仕様の決定

最大負荷計算結果、および図-2 に示した計算結果を基に、インテリアゾーン (AHU1) 97kW、東西ペリメーターゾーン(AHU2・3)30kW でコイル仕様の計算を行った。コイル仕様の計算には、空調機器メーカーが公開している技術資料³⁾を利用した。空調機の風量については、室内と吹き出し空気の温度差が 10℃程度になるように設定した。表-3 に AHU1、表-4 に AHU2・3 のコイル仕様の決定値を示す。デフォルトは、基本データに入力されていた値であり、冷却能力とコイル出入口水温設定は不明である。コイルでの温度差 5℃と 10℃、および変風量と定風量の組み合わせで、CASE-1~4 を設定した。5℃差と 10℃差による違いは、コイルの列数で表れており、5℃差の場合は 6 列、10℃差の場合は 8 列となった。フロー種別については、AHU2・3 の 10℃差の場合のみハーフとなり、それ以外は全てシングルとなった。なお、フィン数については、メーカー資料に記述が無かったため、デフォルト値で統一している。変風量から定風量の切り替えについては、VAV ユニットの CAV ユニットとして利用する設定に変更することで対応した。表-2 に示したように、二次側の利用温度差によって槽容量が変化するため、本来であれば CASE-1・3 は 1,200m³、CASE-2・4 が 600m³での計算となるが、設計とは異なる運転となった場合を想定し、CASE-0~4 の全てについて、1,200m³と 600m³の槽容量で計算を実施した。なお、600 m³の計算が CASE-0~4、1200 m³での計算を CASE-10~14 とする。

表-3 AHU1 の CASE 毎のコイル仕様

AHU1	デフォルト	変風量		定風量	
		5deg	10deg	5deg	10deg
冷却コイル負荷(kW)	-	97	97	97	97
定格(最大)風量(m ³ /h)	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
最小風量(m ³ /h)	2,800	2,800	2,800	-	-
SA風量(m ³ /h)	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
RA風量(m ³ /h)	12,200	12,200	12,200	12,200	12,200
設計水量(L/min)	330	278	139	278	139
コイル入口水温(℃)	-	7	7	7	7
コイル出口水温(℃)	-	12	17	12	17
コイル正面面積(m ²)	2.10	1.389	1.389	1.389	1.389
コイル列数(列)	6	6	8	6	8
フィン数(フィン)	7	7	7	7	7
チューブ数(本)	20	28	28	28	28
フロー種別(-)	シングル	シングル	シングル	シングル	シングル

表-4 AHU2・3 の CASE 毎のコイル仕様

AHU2・3	デフォルト	変風量		定風量	
		5deg	10deg	5deg	10deg
冷却コイル負荷(kW)	-	30	30	30	30
定格(最大)風量(m ³ /h)	6,000	4,800	4,800	4,800	4,800
最小風量(m ³ /h)	460	460	460	-	-
SA風量(m ³ /h)	6,000	4,800	4,800	4,800	4,800
RA風量(m ³ /h)	5,540	4,340	4,340	4,340	4,340
設計水量(L/min)	70	86	43	86	43
コイル入口水温(℃)	-	7	7	7	7
コイル出口水温(℃)	-	12	17	12	17
コイル正面面積(m ²)	0.84	0.444	0.444	0.444	0.444
コイル列数(列)	6	6	8	6	8
フィン数(フィン)	7	7	7	7	7
チューブ数(本)	20	16	16	16	16
フロー種別(-)	シングル	シングル	ハーフ	シングル	ハーフ

3. 計算結果と考察

3.1 計算条件とコイル仕様の妥当性確認

本ツールでは水蓄熱式空調システムの計算において制御方式の選択が可能であるが、今回は負荷計算予測制御を採用した。これは事前に計算した処理負荷熱量を利用して熱源の運転時間を決定する方式であり、100%の負荷予測精度の元で毎日の熱源運転時間が決定されるため、蓄熱コントローラーの異常などの影響は排除できる。

図-4 にコイル仕様の妥当性の確認のために、7月から9月までの空調時間帯における平均往還水温差を示す。5℃差設定の CASE では7℃前後、10℃差設定の CASE では11℃程度の往還水温差となっており、コイル仕様は妥当であったと考えられる。槽容量および、変・定風量制御による往還水温差の顕著な変化は見られない。通常、定風量制御の方が温度差は大きくなるが、今回の計算結果

ではそのような差は生じていない。図-5 に変風量制御である CASE-2、図-6 に定風量制御である CASE-4 の AHU1 のコイル水量と水温変化を示す。CASE-4 の定風量ではコイルに通水されている時には、変風量と比べても往還水温差が大きくなっていることが確認できる。但し、通水が停止する時間もあり、その状態も含めた平均値であるため往還水温差が小さくなり、変風量との差が生じなかったと考えられる。図-7 には各 CASE の7月から9月の3ヶ月間の熱源消費電力量の積算値を示す。槽容量が1200m³の方が夜間移行率は高くなる結果が得られており、熱源の運転制御は妥当と考えられる。定風量の CASE の熱源消費電力量の値が変風量に比べて小さくなる結果となったが、この原因については更に調査が必要であること、また紙面の制約もあるため、以降は変風量の結果についてのみ考察を進めることとした。

3.2 コイル仕様が計算結果に与える影響

CASE-1 と CASE-2 を比較することで、コイル仕様が計算結果に与える影響について考察する。図-8 に CASE-1 の AHU1 のコイル水量と水温変化、図-9 に CASE-1 の放熱時水温プロフィール、図-10 に CASE-2 の放熱時水温プロフィールを示す。コイル水量では、CASE-2 の方が小さくなっており、17時以降にコイル入口水温が若干上昇するものの、水量は負荷の減少に伴い低下している様子が確認できる。CASE-1 では15時頃からの水温上昇

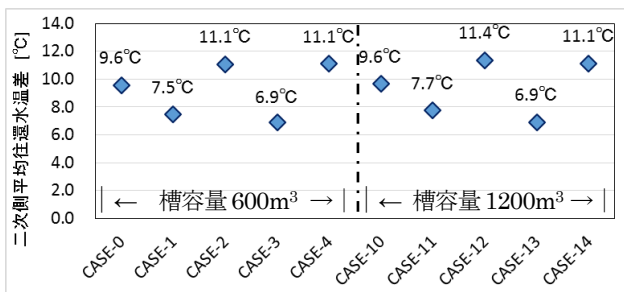


図-4 各 CASE の二次側平均往還水温差(7-9月)

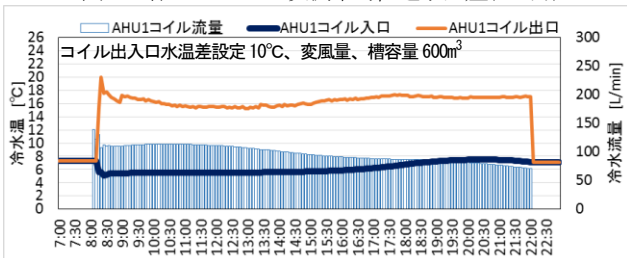


図-5 CASE-2 の AHU1 コイル水量と水温変化(8/7)

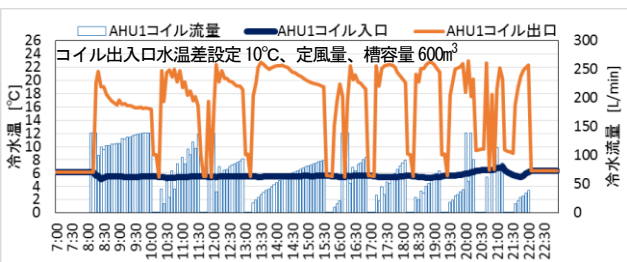


図-6 CASE-4 の AHU1 コイル水量と水温変化(8/7)

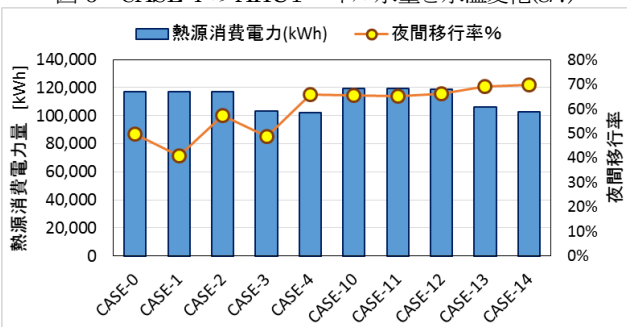


図-7 各 CASE の熱源消費電力量と平均夜間移行率(7-9月)

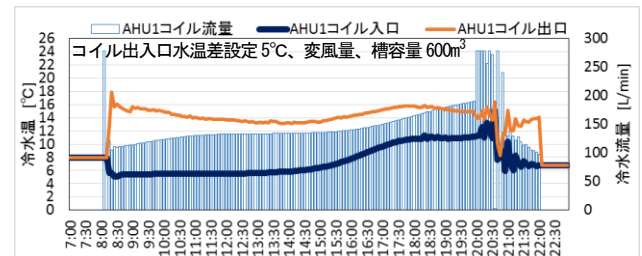


図-8 CASE-1 の AHU1 コイル流量と水温変化(8/7)

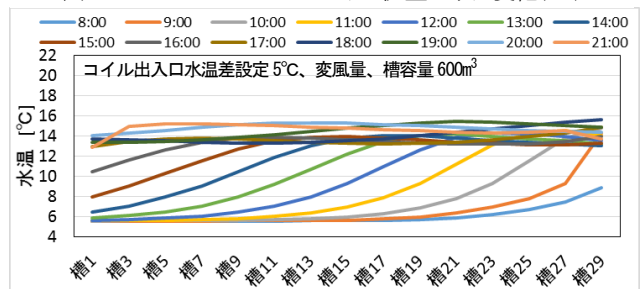


図-9 CASE-1 の放熱時槽内水温プロフィール(8/7)

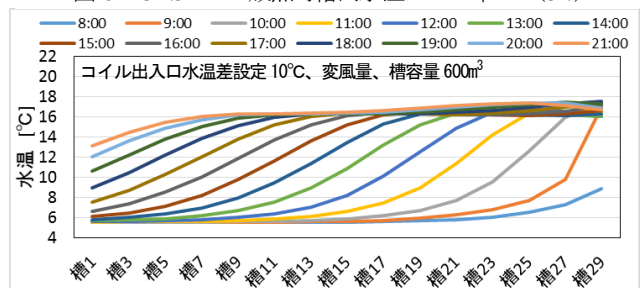


図-10 CASE-2 の放熱時槽内水温プロフィール(8/7)

が見られ、20時以降には水量が急増するなど状態が不安定になっている。両CASE共に熱源は8時15分から22時まで連続運転を行っているが、水温プロフィールに示すように、CASE-1の方が早期に始端槽側の水温が上昇してしまうことで、コイル入口水温も上昇することになる。このように、本ツールでの計算上において、コイルの入力値が設計温度差と異なる仕様となっている場合には、不適切な運転による計算となり、図-7で示したように水蓄熱式空調システムの重要な要否判断材料となる夜間移行率にも変化が生じることになる。また、実システムにおいても同様なことは起こり得ることであり、二次側の設計利用温度差に対して、コイル仕様や制御が適切で温度差が維持されることが重要である。

3.3 蓄熱槽容量の違いが計算結果に与える影響

蓄熱槽容量が1200m³の場合の計算結果について、図-11と12にCASE-11、図-13と14にCASE-12のAHU1

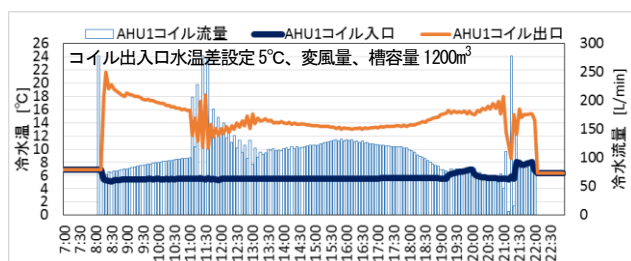


図-11 CASE-11のAHU1コイル水量と水温変化(8/7)

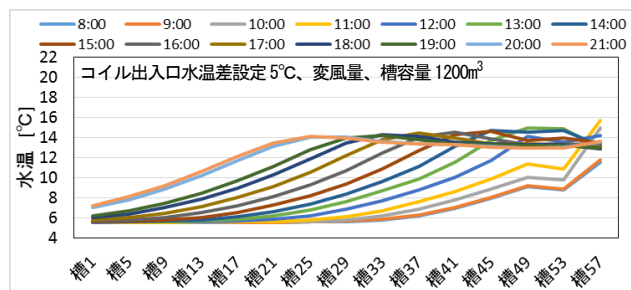


図-12 CASE-11の放熱時槽内水温プロフィール(8/7)

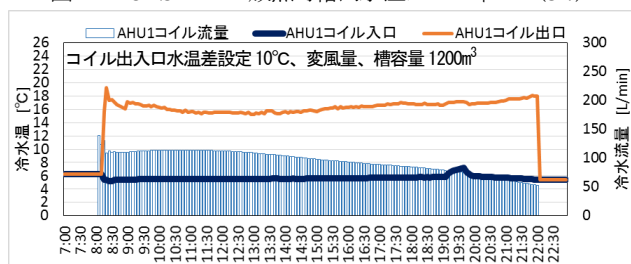


図-13 CASE-12のAHU1コイル水量と水温変化(8/7)

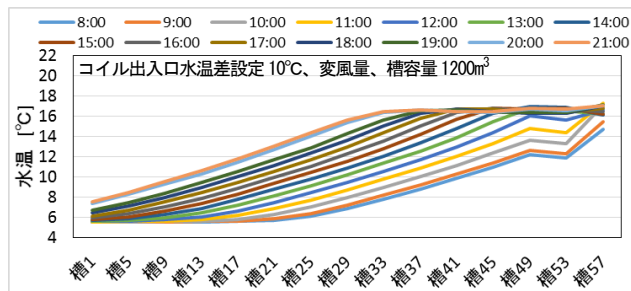


図-14 CASE-12の放熱時槽内水温プロフィール(8/7)

の水量と水温変化、放熱時の槽内水温プロフィールを示す。CASE-11では、図-8で見られたコイル入口水温の上昇が発生していない状況においても、水量が急増し不安定な状態が発生している。この点については、原因を解明し、結果によっては本ツールの改善が必要となると考える。CASE-11においても、設計利用温度差の5°Cに対して7°C前後の運転となるため蓄熱槽には余裕が生じ、始端槽側水温も最高で7°C程度に維持されている。CASE-12では、CASE-2と比較してもコイル入口水温は安定している。19時30分頃の上昇は、一時的に熱源が停止したことが原因である。蓄熱槽には余裕があり、槽の全体を利用できていないことが分かる。このように、設計値よりも二次側利用温度差が大きくなった場合には、二次側ポンプの搬送動力削減などのメリットは生じるものの、蓄熱槽の利用温度帯が設計時とは異なる為、蓄熱コントローラーの設定値などの変更も必要となる。

コイル仕様については、設備技術者であっても自ら設計する機会は少ないと考えられ、その重要性の認識も低いことが考えられる。本ツールにおいては前述の通り、コイル仕様入力画面に能力、冷温水温度設定値の入力等を追加することが必要と考え、利用者側も正確な設計値の入力と共に計算結果の確認が重要となる。

4. まとめ

本報では、BEST 専門版で水蓄熱式空調システムの検討を行う場合に、空調機のコイル仕様が蓄熱槽の運転に及ぼす影響について検討を行った。蓄熱槽容量は、二次側利用温度差の設計値を基に決定されるため、コイル仕様が設計温度差を実現できない場合には、蓄熱量の過不足を生じることが示された。本ツールで水蓄熱式空調システムを検討する場合には、空調機のコイル仕様を正確に設計・入力し、結果を確認することが重要である。

【謝辞】

本報は、(一財)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)、蓄熱・蓄電等システム検討 SWG(柳原隆司主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表す。蓄熱・蓄電等検討等システム(蓄熱)SWG 名簿(順不同)主査: 柳原隆司(東京電機大学)、幹事: 合田和泰(蒼設備設計)、委員: 夏目政和(中部電力)、南島正範(ヒートポンプ・蓄熱センター)、河路友也(愛工大)、工藤良一(蒼設備設計)、中原信生(環境システック中原研究処)、二宮博史(日建設計)、角谷悟、山崎康司(以上、関西電力)、品川浩一(日本設計)、岡本泰英(東京電力エナジーパートナー)、中塚一喜(三晃空調)、事務局: 生稲清久(日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム)、村田創造、菅谷善昌(以上、ヒートポンプ・蓄熱センター)

【参考文献】

- 1) 河路 他: 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 33)、(その 77)、(その 93)、(その 107)、(その 127)、(その 151)、(その 152)、(その 186) の蓄熱式空調システムに関わる各種発表、空気調和・衛生工学会学術講演論文集
- 2) 河路友也、中原信生: 熱源・エネルギーシステム最適設計のためのシミュレーションプログラム実用化への取り組み、日本建築学会学術講演梗概集 D-2、pp. 1123-1126、2008
- 3) 暖冷工業(株)エアハンドリングユニットカタログ、pp. 57-63、2015. 3