

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 178)

室内快適性を考慮した水蓄熱空調システムの制御設定値の検討

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part 178)

Study of the Optimization of Set Value which Considered Comfort in Water Thermal Storage HVAC System

正会員 ○小林 信裕 (前田建設工業) 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 石野 久彌 (首都大学東京) 技術フェロー 郡 公子 (宇都宮大学)

Nobuhiro KOBAYASHI*¹ Syuzo MURAKAMI *² Hisaya ISHINO *³ Kimiko KOHRI *⁴

*¹ Maeda Co *² Institute for Building Environment and Energy Conservation

*³ Tokyo Metropolitan University *⁴ Utsunomiya University

The influence which the set value of the control gives to the electric power and comfortableness was made clear in water thermal storage HVAC system for the purpose of energy saving repair in an existence building using the BEST program professional edition.

はじめに

建物の改修時における性能検証はエネルギー使用の合理化を行う上で有効な手段となる。本計画では、実際の高層オフィスビルを含む複合施設の省エネ改修を目的に、シミュレーションツール BEST を、各種改善手法導入の効果の把握、改修後の運用改善、更なる省エネ項目の抽出と継続して利用する。BEST は空調・電気・衛生および室内環境シミュレーションを総合的に行うことができ、複数の省エネ技術の複合導入効果の検証に優れている。今回用いた BEST 専門版は、モジュール単位でのシステム構築により、詳細に建物のエネルギー性能、建築環境が検証可能であり、且つ、本対象建物の水蓄熱空調システムのように、複雑な熱源システムも建物毎の特徴を反映しながらモデルを構築できる。本報では、BEST 専門版による建築・熱源システムの解析により、夏の改修後のオフィスを対象に、空調システムの制御設定値が空調システム全体の電力や室内快適性へ与える影響を明らかにした。

1. 建物・熱源システム、改修計画の概要

図-1 に建物概要を示す。本建物はオフィス、ホテル、スポーツ施設、駐車場の用途をもつ複合施設となっている。表-1 にオフィス棟と熱源部分の改修項目を示す。照明の LED 化だけでは、冷房負荷が減る半面、暖房負荷が増える。窓の高断熱化、ブラインド制御と組み合わせ、冷房・暖房負荷ともに削減するとともに、窓付近の快適性向上を図る。また、本建物は、熱源と蓄熱槽断熱防水の改修時期にあり、改修コスト削減のため、熱源の高効率化とともに、熱源機能力、蓄熱槽容量の縮小を図った。



敷地面積: 16,287 m² 建築面積: 6,421 m²
 延床面積: 62,995 m² 公開空地: 6,252 m²
 階数: <オフィス棟>地上 24F 地下 3F <ホテル棟>地上 6F 地下 3F 塔屋 1F
 <スポーツ施設>地上 2F、構造: SRC 造・S 造・RC 造、所在地: 東京都練馬区

図-1 建物概要

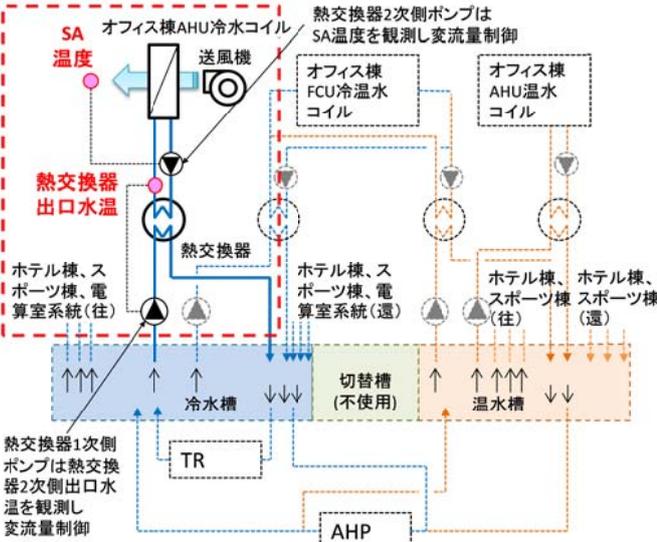
表-1 オフィス棟と熱源部分の改修項目

項目	改修前	改修後
建築	窓	熱線反射ガラス (既存) +Low-e (後施工)
	電動ブラインド (タイマー制御)	電動ブラインド (夏期: 日射遮蔽制御)
照明	FHF蛍光灯	高効率LED
	制御なし	昼光制御、初期照度補正
熱源	ターボ冷凍機 定格冷房能力[kW]: 386 定格冷房COP: 4.5	ターボ冷凍機 定格冷房能力[kW]: 949 定格冷房COP: 6.5
	ヒーティングタワーHP 定格冷房(暖房)能力[kW] : 1758(1332) 定格冷房(暖房)時COP: 4.7(2.2)	空冷HPモジュールチラー 定格冷房(暖房)能力[kW] : 1275(1275) 定格冷房(暖房)時COP: 4.1(3.9)
	ダブルバンドルHP (冷房専用運転) 定格冷房能力[kW]: 1261 定格冷房時COP: 2.74 (冷暖同時運転) 定格冷房(暖房)能力[kW] : 1261(1105) 定格冷房+暖房時COP: 5.1	-
	水搬送	熱交換器1次側: 定流量制御
蓄熱槽	冷水槽1602m ³ : 空調利用	空調利用(高断熱化改修)
	温水槽688m ³ : 空調利用	空調利用(高断熱化改修)
	切替槽2114m ³ : 空調利用	空調不使用(非常時貯水利用)

2. AHUのSA温度と熱交換器出口水温の制御設定値の検討

図-2に熱源システムの概要と検討対象を示す。蓄熱槽は冷水槽、切替槽、温水槽があり、改修以降は切替槽を空調利用しない。2次側はAHU冷水、AHU温水、FCU冷温水の3系統で、それぞれ熱交換器を介する。図-3に2014年8月の冷房負荷の大きかった平日5日間における冷水槽2次側出口水温、AHU系統の熱交換器2次側出口水温、東西AHUのSA温度の実測と計算の比較を示す。計算では冷水槽2次側入口水温と流量を境界条件として与えている。計算は実測を概ね再現できた。

オフィス棟AHU冷水系統(検討対象)



【凡例】TR:ターボ冷凍機、AHP:空冷モジュールチラー

図-2 熱源システムの概要と検討対象

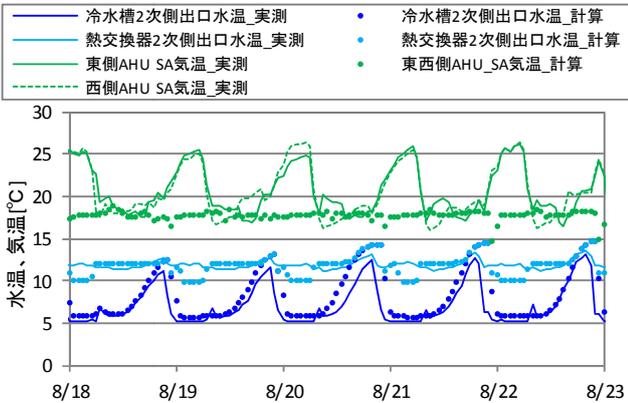


図-3 各部の計算値と実測値の比較

表-2 空調設備の仕様と計算条件

熱交換器	熱通過率2200kW/°C
熱交換器1次側ポンプ	定格流量:3370L/min、定格揚程:412kPa、台数:2台、末端差圧一定制御
熱交換器2次側ポンプ	定格流量:3370L/min、定格揚程:235kPa、台数:2台、末端差圧一定制御
冷却コイル	コイル入口空気:27°C、0.0138kg/kg ¹ 、過冷却除湿時の出口相対湿度:95%、台数:44台 設計風量:9000m ³ /h、設計水量:124L/min、正面面積0.625m ² 、列数:5、フィン数:7、チューブ数:20本、シングルフロー
送風機	【SAファン】定格風量9000m ³ /h、定格機外静圧:794Pa、INV制御、台数:44台、 【RAファン】定格風量9000m ³ /h、定格機外静圧:304Pa、INV制御、台数:44台

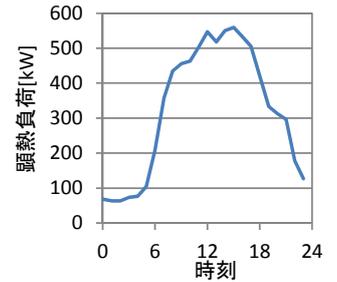


図-4 冷却コイル処理顕熱量

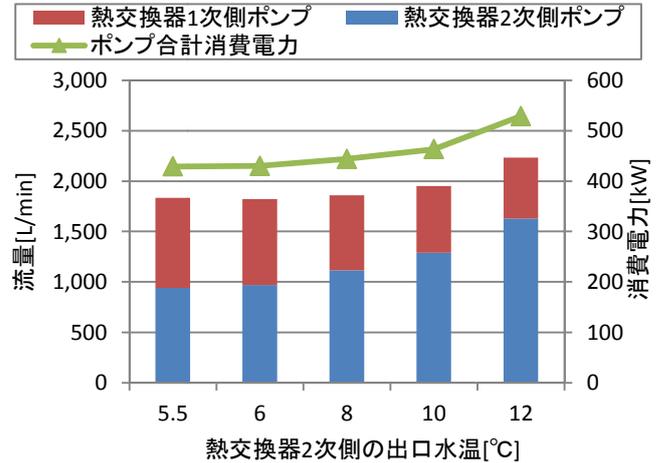


図-5 熱交換器2次側出口水温別のポンプ流量 (SA温度18°C)

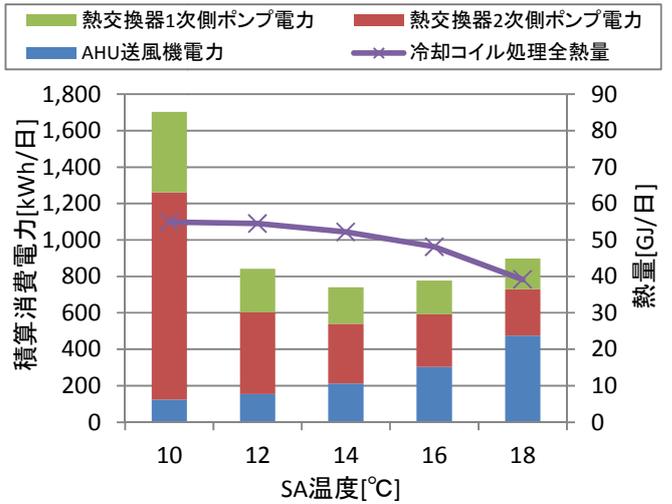


図-6 SA温度別のポンプ、送風機の消費電力と冷却コイル処理全熱量

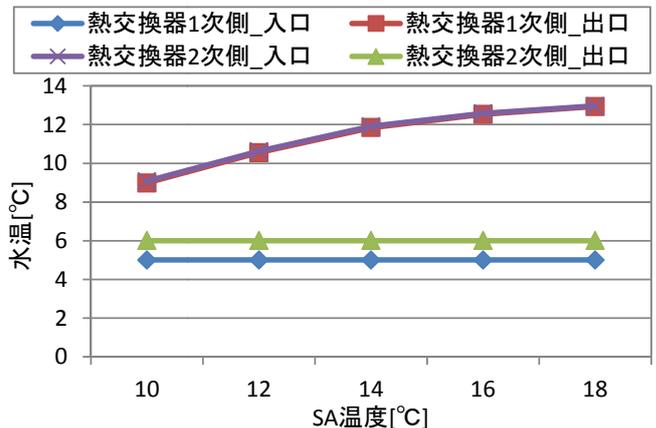


図-7 SA温度別の熱交換器の出入口水温の日平均値

本検討では、全ケースとも冷却コイルが図-4 に示す顕熱量を処理し、任意の SA 温度になるように送風機の風量を変化させて比較した。冷却コイル処理顕熱量は 2014 年 8 月の日変動の実測平均値を用いた。表-2 に空調設備の仕様と計算条件を示す。図-5 に SA 温度 18°C 時における熱交換器 2 次側出口水温別のポンプ流量を示す。熱交換器 2 次側出口水温が低いほど、1 次側流量は増加し、2 次側流量は減少する。1, 2 次側ポンプの一方の流量が多い時、合計消費電力が多くなる傾向が見られた。本検討では 6°C の時が最も合計消費電力が少なくなったが、5.5~10°C では差が 10% 以内であった。図-6 に SA 温度別のポンプ、送風機の消費電力と冷却コイルの処理全熱量を示す。図 5 の結果をもとに、熱交換器 2 次側出口水温はポンプ消費電力の少ない 6°C で計算した。SA 温度が高いほど、冷水の往還温度差が大きくなり、ポンプの消費電力は減少するが、AHU の送風機電力は増加する。また、冷却コイルで過冷却除湿による処理潜熱量が減少する。このことから、SA 温度が高いほど、室内の湿度が上がり、室内快適性が低下すると考えられる。本検討において、合計消費電力の最小値は SA 温度が 14°C の時となった。図-7 に SA 温度別の熱交換器の出入口水温の日平均値を示す。SA 温度が低くなるほど熱交換器 2 次側入口水温が低下し、熱交換器 1 次側出口水温も低下する。熱交換器 1 次側出口水温が低下すると、冷水槽の温度差が確保できず蓄熱容量が減少することになる。また、熱源の入口水温を 12°C で計画した場合、熱交換器 1 次側出口水温が 12°C より低くなると熱源が部分負荷運転となる。水蓄熱空調システムの省エネには、ポンプと送風機の最適点や、室内快適性、熱交換器 1 次側出口水温が低くなりすぎないように検討（冷水コイルの温度効率が良いものを選定するか、熱交換器 1 次側出口水温が 12°C 以下にならない制御とする等）が必要である。

3. 室内快適性と SA 温度

図-8 に基準階平面モデル、表-3 に基準階の計算条件、図-9 に基準階の AHU 系統の概要を示す。基準階は、図-9 に示す AHU が、東側と西側の 2 系統あり、単一ダクト VAV 方式となっている。AHU の仕様は表-2 と同じとした。図-10 に室温 26°C 時の SA 温度別の処理熱量と PMV を示す。2 章で述べたように、SA 温度が低いほど、冷却コイルの処理潜熱量が増加し、室内の湿度が下がることから、同じ室温でも快適性が向上する。最も PMV が高くなるペリメータ西ゾーンの PMV を、夏 0.5 以下にするには、SA 温度を 14°C 以下にする必要があることが分かった。設定温度 27°C でも同様の検討を行ったが、AHU の冷却コイルの過冷却除湿のみで、PMV を 0.5 以下にするには、冷水コイルへの送水温度を、現実的ではない温度まで低くする必要があった。

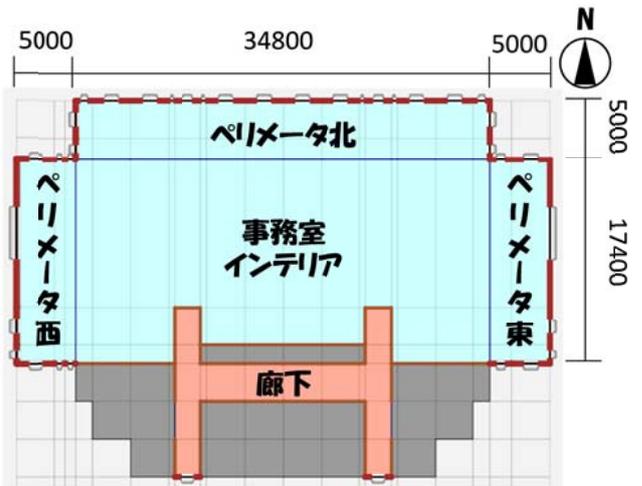
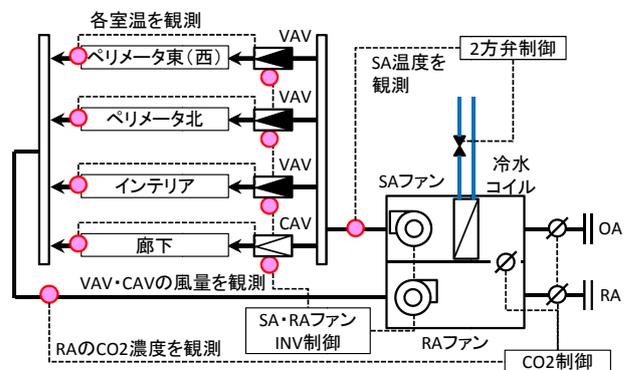


図-8 オフィス基準階モデルの平面図

表-3 オフィス基準階の計算条件

気象データ	実在年BEST1分値データ(東京)
外壁仕様	・御影石+RC+吹付けロックルール20mm+中空層+PB (熱貫流率1.37W/m ² ・K)
窓仕様	・窓面積率35% ・熱反グリーン単板ガラス+室内側Low-eガラス (熱貫流率1.6W/m ² ・K、日射熱取得率0.35、 日射透過率0.23、可視光透過率0.47) ・明色ブラインド(スラット角制御)
外気導入量	最大2600m ³ /h (CO ₂ 制御)
人員	・密度:事務室0.05人/m ² 、廊下0人/m ² ・夏の着衣量0.8clo、夏の代謝量met
照明発熱	事務室8W/m ² 、廊下4W/m ²
機器発熱	事務室16W/m ² 、廊下0W/m ²
空調運転時間	8:30-21:00



※AHU 内部の温水コイル、加湿器は夏稼働しないため省略

図-9 基準階の AHU 東 (西) 側系統の概要

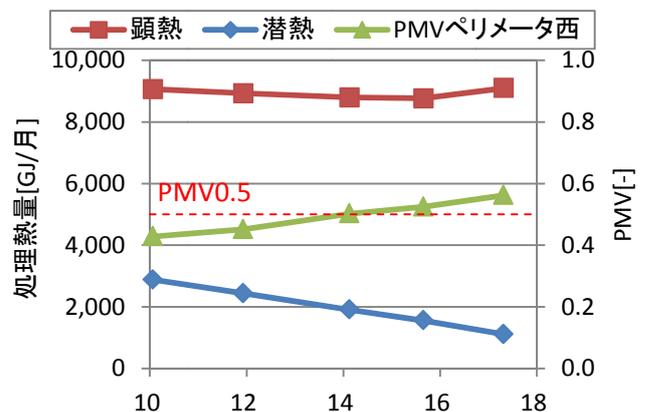


図-10 SA 温度別の処理熱量と PMV (室温 26°C)

4. 夏期の空調システム全体のシミュレーション

オフィス棟の建築・空調をモデル化し、建物全体の空調消費電力量を計算した。図-11に8月のSA温度別の空調システム全体の消費電力量を示す。ホテル・スポーツ棟の水空気搬送電力は、2014年8月の実測値を与えた。これまでの結果同様、SA温度が低いほど、水搬送の消費電力量が増加し、SA温度が高いほど、空気搬送の消費電力量が増加し、SA温度が低いほどPMVは下がり快適性が向上した。本検討では、14℃が最も消費電力が少なくなったが、SA温度が12~16℃の範囲で消費電力量は2%であり、PMV0.5以下にするために快適性を考慮してSA温度を約13℃で計画しても良いとも考えられる。図-12に8月のオフィス棟、ホテル・スポーツ棟の蓄熱槽2次側の処理熱量を示す。オフィス棟の処理熱量はSA温度が低いほど、処理潜熱量が増加しているが、ほとんど差がない。図-13にオフィス基準階のSA温度別の室温、室内絶対湿度、PMVの8月の平日5日間の時刻変動を示す。計算時間間隔は1分で、図は1時間平均した値としている。各条件とも26℃の室温だが、室内絶対湿度は約0.004kg/kg、PMVは約0.2の差がある状態で推移した。

まとめ

BEST 専門版による建築・熱源システムの解析により、既存ビルの省エネルギー改修を目的に、水蓄熱空調システムにおいて、制御設定値が空調システム全体の電力や室内快適性へ与える影響を明らかにした。水搬送の行き還り水温の大温度差化による省エネは、空気搬送の消費電力量の増加や、快適性を考慮する必要があると言える。

【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)、統合化WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表するものである。

参考文献

- 1) BEST 空調制御モジュールマニュアル
- 2) 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)蓄熱式空調システムのプログラム概要、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1133~1136、2008.8.3
- 3) 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77)蓄熱式空調システムの槽内熱挙動検証、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.2587~2590、2010.9
- 4) 小林 他：建築エネルギー・環境シミュレーションツールBESTの開発、BEST 専門版による水蓄熱空調システムのポンプ変流量制御設定値の検討、日本建築学会大会学術講演 2016

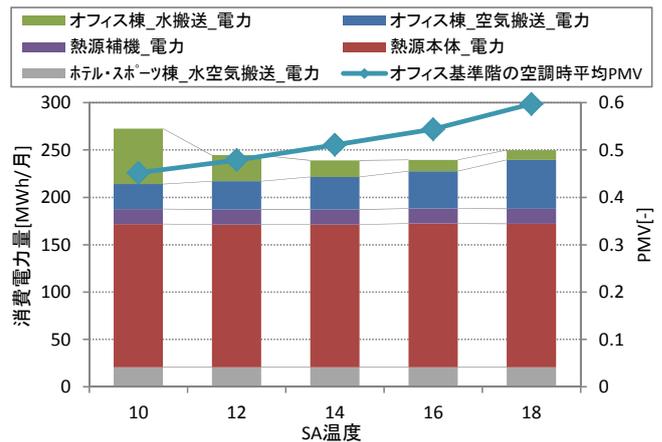


図-11 SA温度別の空調システムの消費電力量(8月)

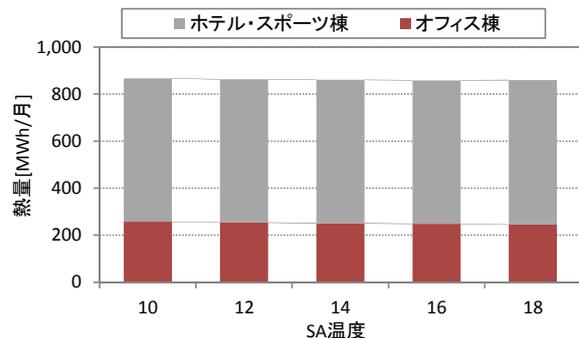
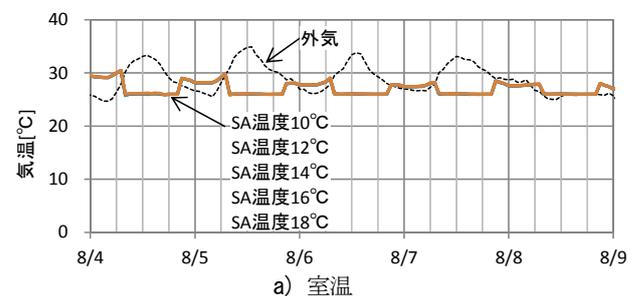
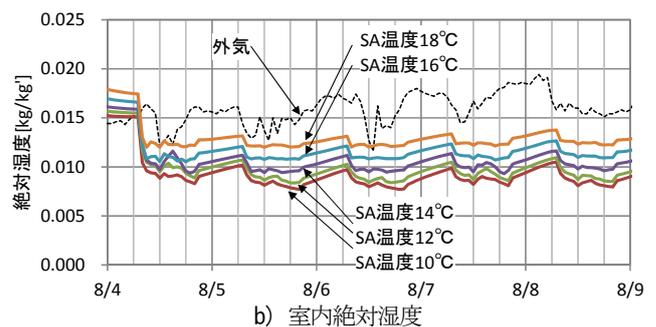


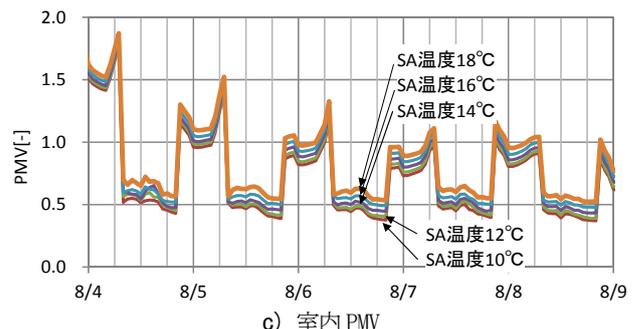
図-12 オフィス棟とホテル・スポーツ棟の蓄熱槽2次側の処理熱量(8月)



a) 室温



b) 室内絶対湿度



c) 室内PMV

図-13 オフィス基準階のSA温度別の8月の5日間の時刻変動