

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 236）
改良された蓄熱モジュールの詳細検証

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems,
the BEST (Part 236)

Detailed Verification of the Improved Module for Air Conditioning System with Thermal Storage

正会員 ○河路 友也（愛知工業大学） 名誉会員 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（RY 環境・エネルギー設計） 正会員 二宮 博史（日建設計）
正会員 中塚 一喜（三晃空調） 名誉会員 中原 信生（環境システック中原研究処）
技術フェロー 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）

Tomoya KAWAJI*1 Shuzo MURAKAMI*2 Ryuji YANAGIHARA*3 Hiroshi NINOMIYA*4

Kazuki NAKATSUKA*5 Nobuo NAKAHARA*6 Hisaya ISHINO*7

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

*3 RY Environmental and Energy Design Office *4 Nikken Sekkei Ltd. *5 Sanko Air Conditioning Co.Ltd.

*6 NESTEC *7 Tokyo Metropolitan Univ.

The purpose of this paper is to verify the operation of the module for thermal storage air conditioning system with various improvements. There are four points of improvement, one related to the heat source and the secondary side three-way valve, the response to the installation of multiple heat sources, and the seasonal change of the heat storage tank capacity. We calculated with the real building model using the improved BEST Professional Edition, and confirmed that the improved function works almost correctly.

はじめに

BEST プログラム専門版には、水蓄熱式空調システムのモジュールも実装されており、各種検討が可能になっていた。しかしながら、以下の点において実際のシステムをそのまま再現することができない課題もあった。

- 1) 熱源入口三方弁のバイパス配管側の接続が始端槽ではなく、熱源出口配管からの取水に固定されていた。
- 2) 二次側送水温度の制御に三方弁が設置される事例は少ないが、デフォルトで二次側三方弁が設置されており、温度設定値の変更により、三方弁を無効とする対応が必要であった。
- 3) 熱源の複数台設置には対応できていなかったため、実システムで複数台の熱源が設置されている場合でも、1台の熱源として入力・計算を行っていた。
- 4) 実建物では、夏期と冬期で利用する蓄熱槽の容量を変更するシステムもあるが、このような設定は行えなかったため、入力ファイルを夏期用と冬期用に分けて計算する必要があった。

前報¹⁾で示されたように、上記の課題を解決するため蓄熱モジュールの改良作業が行われた。本稿では、改良が施された BEST 専門版(BEST1810 改良版)(以下、本ツールと称す)について、改良内容の説明と改良前後の計算結果の相違点の確認を行った。

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



図-1 計算対象建物基準階平面図

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
	階数	地上 14 階、地下 1 階
空調設備概要	熱源設備	水蓄熱：連結完全混合槽型蓄熱槽＋空冷ヒートポンプ
	空調方式	各階空調機＋VAV ユニット インテリア系統 (AHU1) 東ベリメータ系統 (AHU2) 西ベリメータ系統 (AHU3) 各階 1 台設置

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。

1.2 水蓄熱式空調システムの設計

A ビルデータを非蓄システムで年間計算し、熱源処理熱量の日積算負荷の最大日を抽出した。冷房は 7 月 18 日、暖房は 1 月 10 日となった。図-2 に各日の時間別熱源出力の変化を示す。この熱量を用いて、熱源と蓄熱槽容量を、TESEP-W²⁾により算出した。各種条件を表-2 に示す。熱源は 5°C 差、二次側は 10°C 差とし、蓄熱槽も 10°C 差利用で槽容量を設計した。AHU も 10°C 差が実現できるようにコイル列数などを調整した。次章から、各改良内容の説明と検証結果を示す。

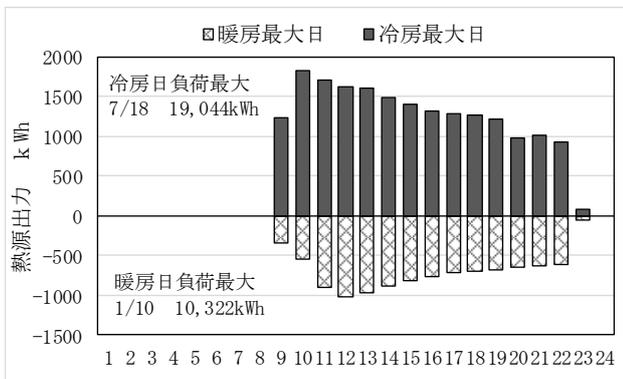


図-2 計算対象建物の冷暖房日負荷最大日の時間別負荷

表-2 水蓄熱式空調システム機器仕様

熱源設備	熱源能力	冷水 820kW / 温水 820kW
	水温設定	冷水 11→6°C / 温水 40→45°C
	流量	2360L/min
	運転時間	設計値：ピークシフト(24時間)
	蓄熱槽容量	600m ³ (30m ³ ×20槽) 10°C差設計
空調機器	AHU1	能力：97kW、風量：15,000m ³ /h 温度差：10°C、流量：139L/min コイル列数：8列、ハーフフロー
	AHU2・3	能力：30kW、風量：6,000m ³ /h 温度差：10°C、流量：43L/min コイル列数：8列、ハーフフロー

2. 熱源側三方弁の改良内容と検証

2.1 熱源側三方弁の改良内容

図-3 に熱源三方弁について、従来方式と改良後のシステム図を示す。従来は三方弁のバイパス配管は熱源出口配管に接続されている設定であった。また、三方弁は PID 制御により、熱源三方弁出口水温（熱源入口水温）が目標値になるように制御されていた。一方、改良後では三方弁のバイパス配管は始端槽（ツール内では始端槽に接続されるバッファ槽）に接続されるため、バッファ槽内水温と熱源出口水温の混合水が三方弁に送水されることになる。また、PID 制御は無効とし、単純に三方弁出口水温が目

標値となるように、終端槽側と始端槽側水温の混合比で制御されるようになった。この変更によって大きく計算結果が変わるわけではないが、システム上、実システムに近付けることができること、三方弁の不安定な動作を排除できるといったメリットはある。一方、実システムにおいても三方弁の設定値の不具合により、熱源の起動直後の停止などの不具合が発生すが、このようなフォルトの再現検討が行えなくなる点はデメリットと考えられる。

2.2 熱源側三方弁改良による計算結果検証

図-4 と 5 に従来方式と改良後の熱源出入口水温と蓄熱槽の両端水温の変化を示す。本ツールでは、計算を安定させるためにバッファ槽が蓄熱槽両端に設置されており、そこを経由して一次側・二次側と接続されている。バッファ槽の始端槽側が Bottom 槽、終端槽側が Top 槽と表現される。図で示す 7 月 24 日は熱源の追従運転のタイミングが遅れ過放熱となり始端槽側（Bottom 槽）の水温も上

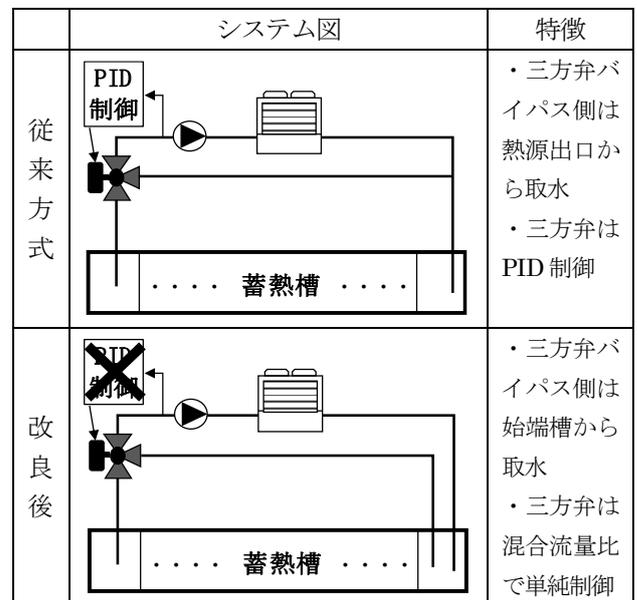


図-3 熱源側三方弁の改良内容

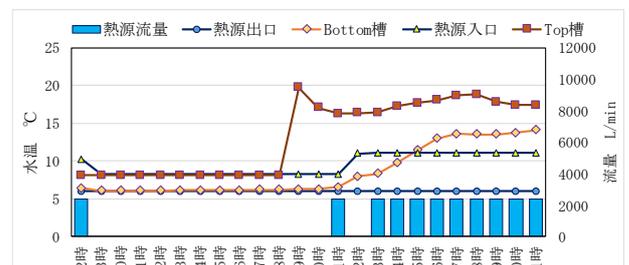


図-4 従来方式の熱源出入口水温と蓄熱槽両端水温 (7/23~24)

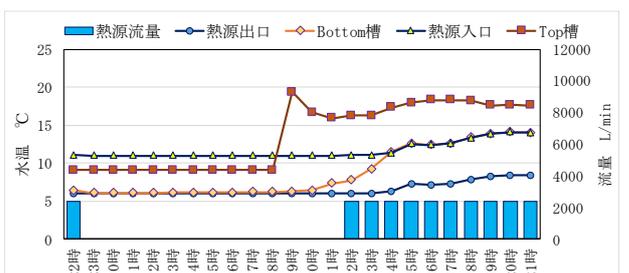


図-5 改良後の熱源出入口水温と蓄熱槽両端水温 (7/23~24)

昇ってしまった状況である。この状況下において、従来方式では、熱源三方弁のバイパス側取水が熱源出口水温となるため、熱源入口水温は設定値の11℃に制御され、出口水温も安定している。一方、改良後では、Bottom槽とTop槽の水温の混合により熱源入口水温が制御されるので、Bottom槽が熱源入口水温設定値より高温になれば、三方弁はBottom槽側が100%開度となる。計算結果も熱源入口水温とBottom槽の水温が同一となっており、正しい計算が行われていることが確認できた。熱源の入口水温の上昇に伴い出口水温の上昇も発生しており、より現実の運転に近い状況を再現できていると考える。

3. 二次側三方弁の改良内容と検証

3.1 二次側三方弁の改良内容

図-6に、二次側三方弁について、従来方式と改良後のシステム図を示す。従来方式では、デフォルトとして二次側三方弁が設置されていた。そのため、実システムにおいて二次側三方弁が設置されていない場合には、三方弁の制御値を冷水運転時には熱源出口水温よりも低い温度に設定する等の対応により、三方弁が設置されていない状況を作り出す必要があった。一方、改良後においては、三方弁の有無が選択可能となったため、本ツール内で三方弁の制御設定値を誤り、実際の運転と異なる状況で計算されてしまうことを避けられるようになっている。

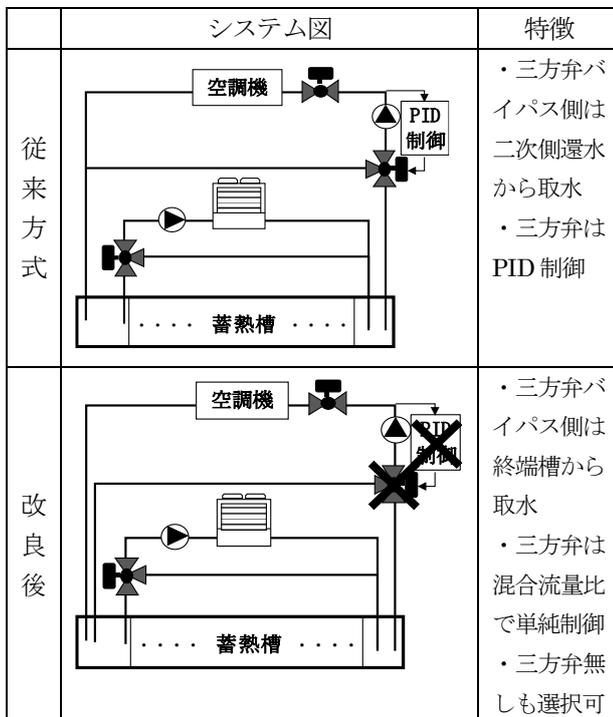


図-6 二次側三方弁の改良内容

3.2 二次側三方弁改良による計算結果検証

ここでは、改良後の計算において、始端槽水温 (Bottom槽) から二次側へ直接送水されていることを確認する。図-7と8に従来方式と改良後の二次側送水温とBottom槽水温の変化を示す。従来方式では二次側送水温度が7℃

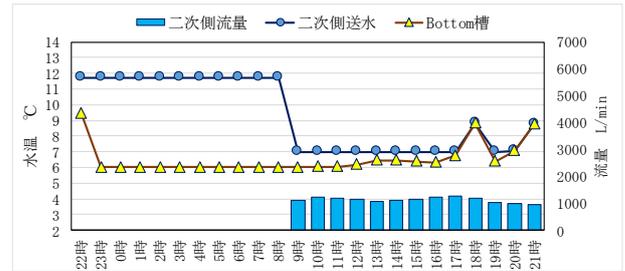


図-7 従来方式の二次側送水温とBottom槽水温 (7/19~20)

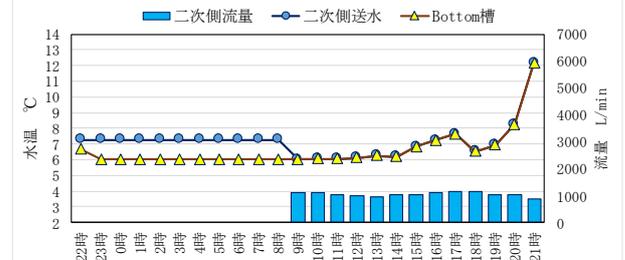


図-8 改良後の二次側送水温とBottom槽水温 (7/19~20)

設定とされているため、Bottom槽が6℃程度であっても7℃で送水されている。Bottom槽が7℃を超えてしまった場合には、Bottom槽水温と二次側送水温度は等しくなっている。一方、改良後では、Bottom槽の水温と二次側送水温度が等しくなっていることが確認できる。今回の改良により、通常の二次側システムの構築がより容易になったと考えられる。

4. 熱源複数台対応内容

図-9に、熱源複数台設置について、一般的な実建物システム、本ツールでの従来モデル、改良後のモデルを示す。実システムでは、メンテナンスなどを考慮して複数台設置されることが一般的であるが、本ツールの水蓄熱システムのモジュールにおいては複数台設置に対応できていなかったため、二台分の能力や消費電力などの仕様を合算した値で一台の熱源として入力していた。水蓄熱式空調システムにおいては、通常、熱源が複数台設置の場合でも台数制御はせず、部分負荷運転を行う訳ではないため、計算精度において大きな誤差が生じる可能性は低かったが、実システムに近い条件での入力が行えることは重要であり、運転方式のバリエーションを検討する上でも、熱源の複数台設置に対応することは有用と考えられる。紙面の関係上、計算結果の掲載については省略するが、二台が同様な運転を行う計算が行われることは確認している。但し、現状では、昼間の追従運転時には、1台のみの運転にする、水冷・空冷熱源の異種熱源組合せ時の運転優先順位の設定などには対応できていないため、今後も機能拡張が望まれる。

5. 水蓄熱槽の季節別槽容量変更対応と検証

5.1 水蓄熱槽季節別槽容量変更対応の内容

図-10に、水蓄熱槽の季節別蓄熱槽容量変更について、従来方式と改良後のシステム図を示す。実建物においても、冷房負荷と暖房負荷に差が大きい場合には、槽からの

	システム図	特徴
実建物システム		熱源が複数台設置され、配管・三方弁もそれぞれ設置
従来方式		熱源複数台設置の場合にも合計能力を持つ1台の熱源として入力・計算
改良後		複数台の熱源として入力可能 但し、配管・三方弁は共有するモデル

図-9 熱源複数台設置対応の改良内容

熱損失などを考慮して、槽容量を変更しているシステムもある。本ツールにおいては、従来は季節によって蓄熱槽容量を変更して計算することは出来なかったため、そのようなシステムの計算を行う場合には、夏期と冬期で入力データを分けて作成する必要があった。

改良後においては、月ごとに使用しない槽番号が指定できるようになり、図に示すように、冬期閉鎖槽の設定ができるため、蓄熱槽容量が異なるシステムにおいても一つの入力ファイルで対応が可能となり、年間の計算も一回で終わらせるようになっている。休止している槽は、熱損失による水温変化のみ計算される。

5.2 水蓄熱槽季節別槽容量変更対応計算結果検証

図-11 と 12 に、槽容量を変更した場合の槽内水温プロフィールを示す。夏期は 20 槽、冬期は 16 槽で計算を行った結果である。冬期においては、槽 4 と Bottom 槽がほぼ同じ水温となっており、4 槽分が不要となっていることが確認でき、季節の負荷に応じた適切な容量での計算が可能になったことを確認した。

6. まとめ

本報では、改良された蓄熱槽モジュールの詳細検証を実施した。改良された各モジュールは、適切に機能していると考えられるが、熱源台数制御については、より実システムに近付ける機能の追加等の課題も残っている。また、

	システム図	特徴
従来方式		季節によって蓄熱槽容量が異なる場合は、別々に計算する必要有
改良後		季節によって利用する蓄熱槽容量を変更可能

図-10 季節による槽容量変更対応の改良内容

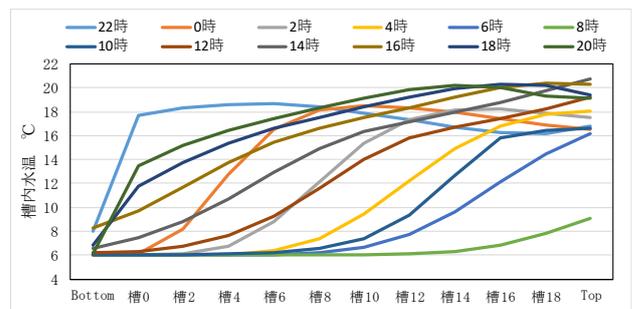


図-11 槽容量変更時の夏期槽内水温プロフィール (7/25~26)

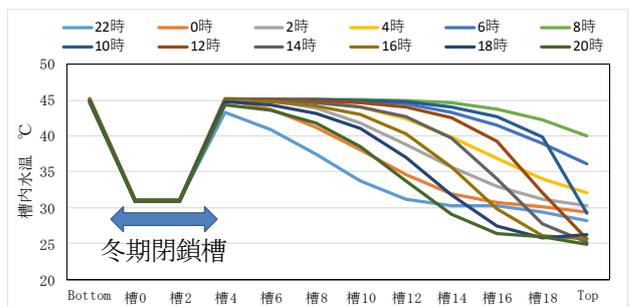


図-12 槽容量変更時の冬期槽内水温プロフィール (2/8~9)

様々な状況下での動作確認は十分とは言えないため、今後も検証作業を継続する予定である。

【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 企画開発委員会」(村上周三委員長)および「プログラム開発委員会」(石野久彌委員長)、「蓄熱・蓄電等システム検討WG」(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します。

【参考文献】

- 二宮他：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 235) 蓄熱システムの構成モジュールと計算機能の改良、空気調和・衛生工学会講演論文集、2019. 9
- TESEP-W マニュアル、(一財) ヒートポンプ・蓄熱センター