

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

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST
 (Part 235) Improvement of Modules and Calculation Functions of Thermal Storage System

正会員○二宮 博史 (日建設計) 名誉会員 村上 周三 (建築環境・省エネルギー機構)
 正会員 河路 友也 (愛知工業大学) 技術フェロー 柳原 隆司 (RY 環境・エネルギー設計)
 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)

Hiroshi NINOMIYA*1 Shuzo MURAKAMI*2 Tomoya KAWAJI*3

Ryuji YANAGIHARA*4 Kazuki NAKATSUKA*5 Nobuo NAKAHARA*6 Hisaya ISHINO*7

*1 Nikken Sekkei Ltd. *2 Institute for Building Environment and Energy Conservation

*3 Aichi Institute of Technology *4 RY Environmental and Energy Design Office *5

Sanko Air Conditioning Co.Ltd. *6 NESTEC *7 Tokyo Metropolitan University

We have improved the functions of the modules that make up the thermal storage system and created a template consisting of the improved modules, so we will report the outline. Modification of method of connecting the thermal storage tank and the heat source and the secondary side, Function to make the operation range of the water tank variable in connected complete mixing tank type, Connection of multiple heat sources and thermal storage tank by template, etc.

はじめに

水蓄熱システムを構成するモジュールについて機能改良を行い、改良モジュールで構成されるテンプレートを作成したのでその概要を報告する。

1. 水蓄熱システムの構成モジュールと機能の改良

1.1 水蓄熱槽の熱源と二次側との接続の改造

図1にある水蓄熱槽と熱源のモデルを、現在は図1oのように水蓄熱槽モジュールと蓄熱槽用三方弁モジュールおよび三方弁用PID制御モジュールの構成としている。

改造では蓄熱槽用三方弁を水蓄熱槽に組込み一体化モジュールとした。一体化した三方弁部分は図1のa-cに示す3種類の形態から選択し簡単に切替できるようにしている。図1aは三方弁なしで、負荷側のインバータポンプ等との接続を想定している。図1bは一般的な三方弁と槽との接続方法で、今回新たに追加した接続形態である。図1cは三方弁(蓄熱槽用4口タイプ)でこれまで使用していた接続形態である。一体化に伴い三方弁の混合計算機能を追加し、水蓄熱槽モジュール内部で送水目標温度となるように混合計算をすることとした。三方弁用の操作量を指示していたPID制御モジュールは不要となる。

三方弁の形態別の混合計算は次の通りである。

図1oの従来のモジュール構成は、水蓄熱槽本体+蓄熱

槽用三方弁(4口)+三方弁用PID制御モジュールで、三方弁は終端槽側バッファ槽の水と熱源出口からの水を混合する。熱源出口から始端槽側バッファ槽へは三方弁への流量を減じた流量が入ることになる。

図1aの一体化で三方弁なしの場合は、負荷側の戻りは終端槽へ(熱源出口負荷からののは始端槽へ)直接流入し、それと同量が逆側の槽から流出する計算となる。

図1bと図1cとは三方弁の混合方法が異なる。

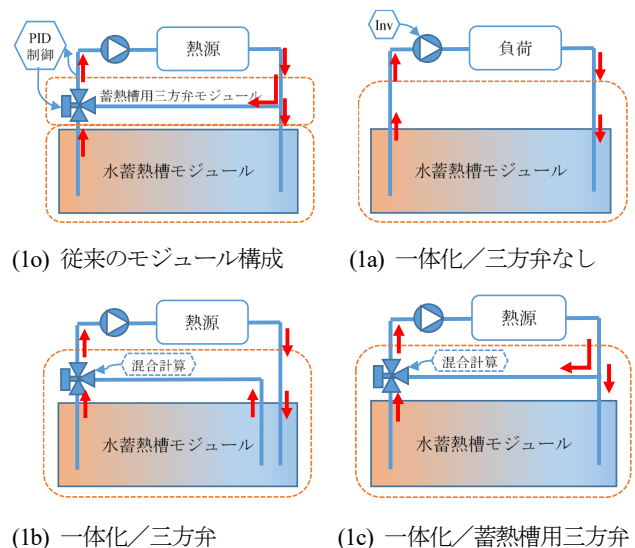


図-1 一体化による接続の改造と内部接続形態

図 1b は蓄熱槽の一般的な三方弁の用い方で、三方弁は終端槽側と始端槽側のバッファ槽の水を混合し、熱源出口から水は全て始端槽へ流入する。

図 1c は従来の蓄熱用三方弁（4 口）で図 1o と同じで、終端槽側バッファ槽と熱源出口の水の混合で、余りが始端槽へ流入する。

水蓄熱槽で混合計算をするために、三方弁の出口目標温度を水蓄熱標準制御モジュールから受け取る接続ノードを追加した。L0_valInSP_T_watInCH_HS ノードから熱源側への送水目標温度、L0_valInSP_T_watOutCH_2 ノードからの負荷側への送水目標温度を取得する。一体化した三方弁を機能させるにはこれらの接続が必要である。

1.2 連結完全混合槽型の運用水槽の変機能

水蓄熱システムの蓄熱槽の運用で、冷暖房の負荷の大きさの違いで例えば温水槽としての使用範囲を狭める場合がある。このようなケースに対応すべく、連結完全混合槽型水蓄熱槽に水槽の運用範囲の変機能を追加した。

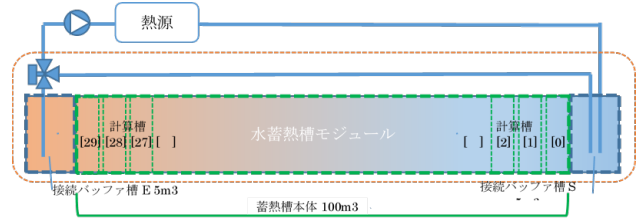
運用する水槽の設定は、水蓄熱標準制御モジュールで行い、部分運用時の始端槽の計算槽番号と終端槽の計算槽番号を入力する。運用範囲は月別に設定可能である。

水蓄熱槽モジュールの入力を、蓄熱槽タイプに連結完全混合槽型、本体水容積 100 m³、本体の計算分割数 30、そして両端のバッファ槽水容積を 5 m³とすると、図 2a のモデルで計算を行う。両端にバッファ槽があり、槽本体は計算槽番号[0]から[29]に 30 分割される。計算槽[0]が始端槽側、計算槽[29]が終端槽側である。熱源や負荷側との水蓄熱槽への流入と流出は両端のバッファ槽で行う。

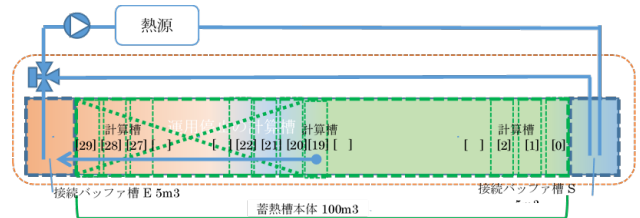
部分運用のモデルの例を図 2b と図 2c に示す。図 2b は始端槽を計算槽[0]、終端槽を計算槽[19]で部分運用する場合で、計算槽[19]は接続バッファ槽 E と接続されたものとして計算を行う。この時、計算槽[20]から計算槽[29]は水の移動は無く周囲との熱損失による水温変化を計算する。図 2c は始端槽を計算槽[20]、終端槽を計算槽[29]とした場合で、計算槽[20]は接続バッファ槽 S と接続されたものとして計算を行う。この時、計算槽[0]から[19]は水の移動は無く周囲との熱損失による水温変化を計算する。

図 3 の a~c は、図 2 の a~c に対応した計算例の状況で、計算実行時に水蓄熱槽モジュールが出力表示するグラフを掲載している。右側のグラフは水槽内の温度プロフィールで横軸は槽本体の計算槽番号で両端がバッファ槽である。赤色は蓄熱終了の 8 時の状況、青色は蓄熱開始の 22 時の状況である。部分運用の 3b と 3c では、運用停止の範囲の水温が槽外部との熱損失により上昇している。

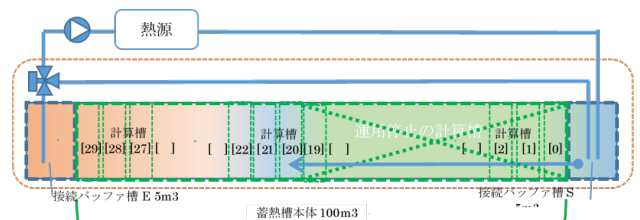
左側の時系列グラフは 1 日の計算槽の温度変化の状況を示す。凡例は省略したが、両端のバッファ槽と本体の計算槽に加え熱源側の流出入水温（11℃、5℃）、負荷側の流出入水温（7℃、15℃）を表示している。部分運用の 3b と 3c の約 16℃のラインは運用停止範囲の水温である。



(2a) 通常の水蓄熱槽本体のモデル

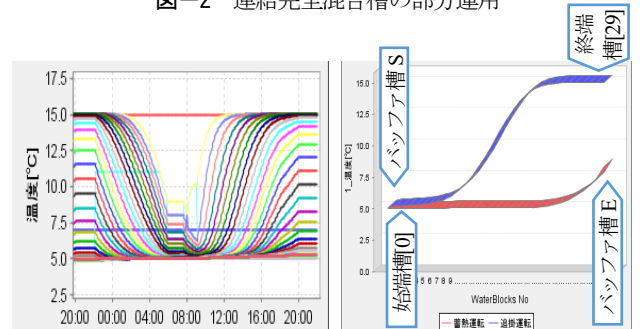


(2b) 部分運用のモデル／始端槽=0、終端槽=19 の例

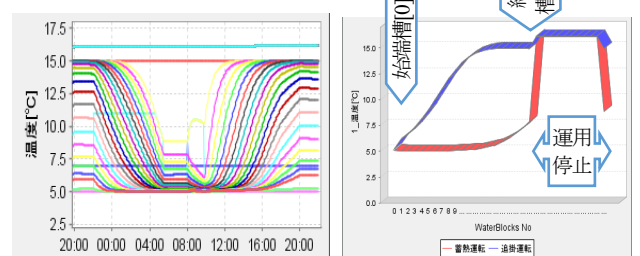


(2c) 部分運用のモデル／始端槽=20、終端槽=29 の例

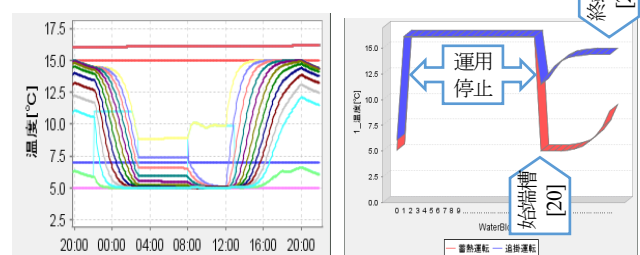
図-2 連結完全混合槽の部分運用



(3a) 通常の水蓄熱槽本体のモデル



(3b) 部分運用のモデル／始端槽=0、終端槽=19 の例



(3c) 部分運用のモデル／始端槽=20、終端槽=29 の例

図-3 連結完全混合槽の部分運用の計算例

2. 改良モジュールによるテンプレートの追加

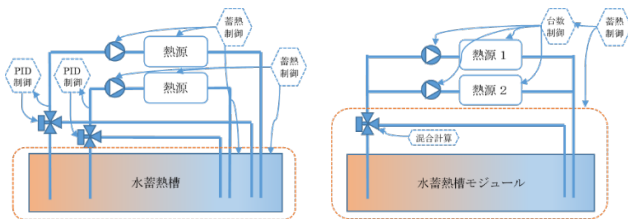
2.1 複数の熱源と水蓄熱槽との接続

大規模な水蓄熱システムでは水蓄熱槽に複数の熱源が接続されることがあり、それに次の方針で対応した。

- ・接続作業の軽減のため、水蓄熱槽との接続は流入・流出ともに各1か所とする。
- ・複数の熱源はヘッダでグループ化し、熱源グループのテンプレートが利用できるようにし、いろいろなタイプの熱源が接続可能とする。

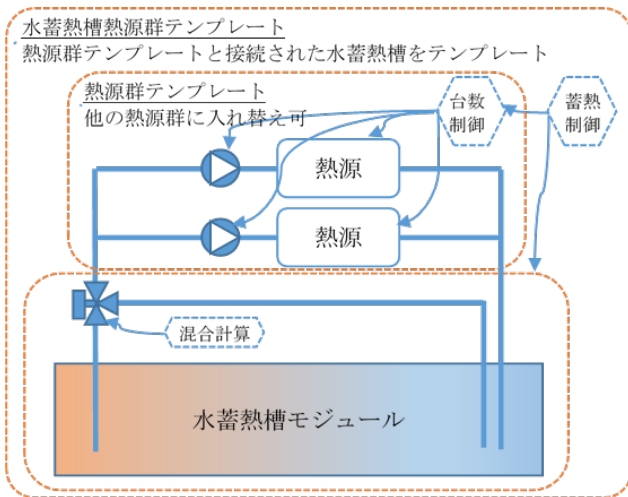
図4に接続モデルの例を示す。図4aは2台の熱源と水蓄熱槽との接続例で、熱源それぞれに三方弁が設けられ、槽の両端のバッファ槽との接続が6か所必要となる。また、熱源と熱源用ポンプに対して2組の水蓄熱標準制御の設定と信号線の接続が必要となる。水蓄熱槽モジュールでは複数台の熱源との接続のための水媒体や制御信号のノードの確保などの改造が必要となり、モデル化も複雑となるため、図4aの形体で複数の熱源との接続を実現するのは効率的ではないと判断した。

図4bは、対応方針として示した「水蓄熱槽との接続は流入・流出ともに各1か所とする」に従い接続を簡略化したモデルである。三方弁一体型の水蓄熱槽モジュールを使用すると、熱源側との接続は熱源1台の時と同じで、流入・流出の2か所であり、水蓄熱標準制御モジュールとの制御信号の接続の変更も発生しない。熱源の同時運転台数によって三方弁の出口流量は変化するが、熱源への送水目標温度の混合計算に問題はない。



(4a) 熱源2台との接続例

(4b) 槽との接続の一本化

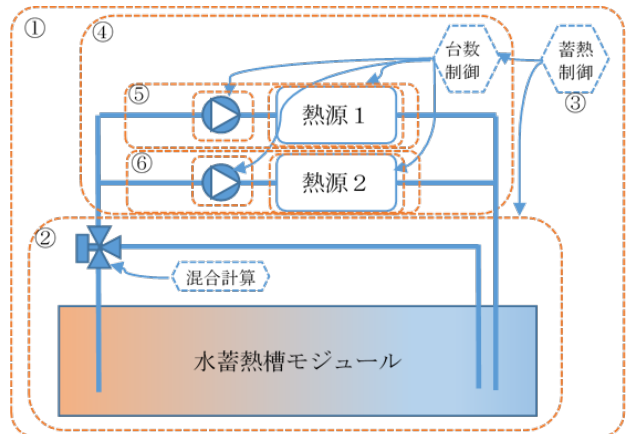


(4c) テンプレート化（熱源グループテンプレート）

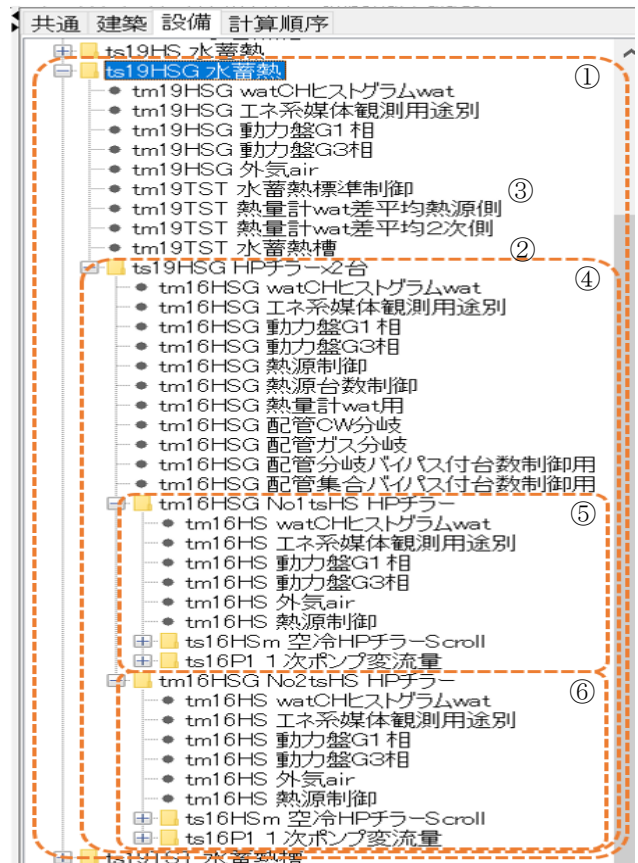
図-4 複数の熱源との接続モデル/テンプレート化

2.2 テンプレートへの実装

図4cは図4bの熱源2台と熱源用ポンプの部分をも熱源グループのテンプレートとして取り扱い接続するものである。複数の熱源からの冷温水の混合計算は熱源グループのテンプレート内で行われ、混合後の水媒体が水蓄熱モジュールへ流入する。図4cの三方弁一体型の水蓄熱槽モジュールと熱源グループテンプレートが接続された熱源群テンプレートは、ts19HSG 水蓄熱テンプレートとして実装している。図5に実装したテンプレートの展開例を示す。図5aはテンプレートの構成図、図5bはテンプレートで登録し展開した画面を示し、図5aと図5bの対応するもの同士を同じ番号①から⑥で示している。



(5a) ts19HSG 水蓄熱テンプレートの構成



(5b) テンプレートの登録し展開した画面の例

図-5 実装テンプレートの展開例

3. その他周辺モジュールの改良等

3.1 ポンプの台数制御方法の改良

ポンプの台数制御方法について次の機能改良を行った。

- ・台数切替の増段と減段の流量比率をそれぞれ設定できるように改良した。(→表1のリスト作成における注意点を参照)
- ・増段と減段の方法を2種類用意した。(→表2の単体定格流量による方法と合計定格流量による方法の説明を参照)
- ・流量制御方式に圧力損失の特性式(ポンプ群の流量負荷率の3次式)を追加した。(→表3の特性式について説明を参照)
- ・流量負荷率をOPE1~OPE3の期間ごとの最大流量に対して算定していたものを、全期間の最大流量に対して算定するよう変更した。最初の3点の機能改良は、SHASEのシミュレーション評価ガイドラインのトライアルのポンプ台数制御の計算条件に対応したものである。

表-1 台数増段流量比リスト、台数減段流量比リスト

ポンプの運転台数の増段時、減段時の流量比のリストで、ポンプ台数-1個の数値とする。

台数増段流量比リストと台数減段流量比リストとで、ポンプ台数切替のディファレンシャルを形成する。

有効なディファレンシャルとするには、次の大小関係で入力する必要がある。

台数増段流量比の値 > 台数減段流量比の値

適切なディファレンシャルを設けることで、台数増減時の発停の繰り返しを避けることができる。

表-2 台数増段・減段の方法

選択肢として次の2種類があり、台数増段と台数減段に共通である

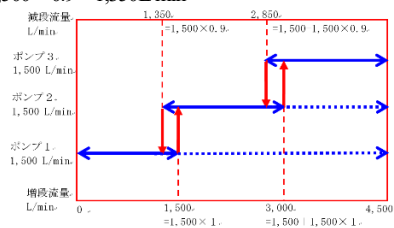
0 単体定格流量 1 合計定格流量

・「0 単体定格流量」を指定すると、対象の単体の定格流量に対して台数増段の流量比を適用する。台数減段時も同様である。

例えば、定格流量リストが[1500 1500 1500]、台数減段流量比リストが[0.9 0.9]の場合、次の計算方法となる。

3台運転から2台運転への減段流量は、
 $1,500 + 1,500 \times 0.9 = 2,850 \text{ L/min}$

2台運転から1台運転への減段流量は、
 $1,500 \times 0.9 = 1,350 \text{ L/min}$



・「1 合計定格流量」を指定すると、対象の合計定格流量に対して台数増段の流量比を適用する。台数減段時も同様である。

例えば、定格流量リストが[1500 1500 1500]、台数減段流量比リストが[0.9 0.9]の場合、次の計算方法となる。

3台運転から2台運転への減段流量は、
 $(1,500 + 1,500) \times 0.9 = 2,700 \text{ L/min}$

2台運転から1台運転への減段流量は、
 $1,500 \times 0.9 = 1,350 \text{ L/min}$

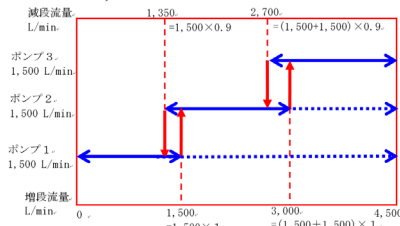


表-3 圧力損失特性式係数リスト

「流量制御タイプ」を5 圧力損失特性式とした場合に、ここの圧力損失特性式係数リストを特性式に適用して圧力損失(運転揚程)を計算する。

圧力損失特性式係数リストは7個の数値で、

入力数値[a b c d e f g]と計算式へ次のように適用する。

圧力損失(運転揚程) [Pa] = 運転揚程比[-] × 定格揚程[Pa]

運転揚程比[-] = $aXXX + bXX + cX + d$

X: 流量負荷率[-] = 負荷流量 / 合計定格流量

e: 計算式の適用下限流量負荷率[-]

f: 計算式の適用上限流量負荷率[-]

g: 流量負荷率=0の時の定格揚程に対する圧力損失の比(運転揚程の比) [-]

☞ 運転揚程比は、定格流量比 X=1 と定格揚程比 Y=1 を通るように係数を設定する。

3.2 モジュール間の接続図描画ツール

エンジン用入力データあるいはテンプレートの定義情報ファイルから、モジュール間の接続図を描画するツールを開発した。図6はこのツールで描画した蓄熱システムのテンプレートの接続図である。BESTでは設備モジュールやテンプレートをユーザーが開発し、プログラム本体へ組み込み使用できる仕組みを提供しており、その操作マニュアルを公開している。ユーザーが作成したテンプレートのモジュール間の接続や、複数のモジュールで構築したモデルの接続状況のチェックにこの描画ツールが活用できる。

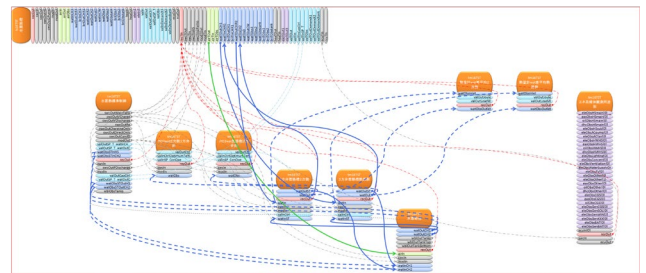


図-6 水蓄熱テンプレートの接続図の描画例

4. まとめ

水蓄熱システムを構成するモジュールについての機能改良および改良モジュールで構成されるテンプレートの実装について概要を報告した。今後、実装したテンプレートの検証と改良、非蓄熱システム熱源を含むテンプレートの開発と運用方法の検討等に取り組む予定である。

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

- 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236)改良された蓄熱モジュールの詳細検証、空調和・衛生工学会講演論文集、2019.9