

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

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part33)

Outline of Program for Air Conditioning System with Thermal Storage

正 会 員 河路 友也（トーエネック） 特別会員 村上 周三（建築研究所）
正 会 員 柳原 隆司（電力中央研究所） 正 会 員 合田 和泰（蒼設備設計）
正 会 員 二宮 博史（日建設計）

Tomoya KAWAJI*1 Shuzo MURAKAMI*2 Takashi YANAGIHARA*3 Kazuyasu GODA*4 Hiroshi NINOMIYA*5

*1 Toenec Corporation *2 Building Research Institute *3 Central Research Institute of Electric Power Industry

*4 Soh M&E engineers Corporation *5 Nikken Sekkei

This paper describes the outline of program for air conditioning system with thermal storage which was introduced into the BEST. Thermal storage system with heat pump using is considered an effective measure for electrical load leveling and energy conservation. Therefore, the function of calculating thermal storage system was added. The program of thermal storage system was developed based on TESEP-W which was provided by Heat Pump & Thermal Storage Technology Center of Japan.

はじめに

本報では、BEST プログラムにおける蓄熱式空調システムのプログラム概要について述べる。蓄熱式空調システムは、正しく設計・運用が成されていれば、省エネルギー、省コストなどのメリットを享受できる。しかしながら、非蓄熱システムに比べ、空調時間と熱源運転時間が異なる、蓄熱槽内の挙動により二次側送水温度が変化するなど、若干複雑なシステムとなり、設計・運用上の問題点が実システムにおいても指摘される場合がある。このような問題点を事前に検討し、間違った設計・運用を防止する為にはシミュレーションが有効な手段となる。そのため、BEST プログラムにおいても蓄熱システムの計算を組み込み、計画・設計・運用段階で有効に利用されることを目指している。

1. 基本プログラムの選定

1.1 基本プログラムに必要とされる条件

BEST プログラムに蓄熱式空調システム計算機能を追加する方法としては、既存のプログラムを利用する、新規に開発する、の2通りが考えられたが、開発スピードを上げ、かつ過去の研究成果・実績を活かすためにも、既存のプログラムを利用する方法で進めることにした。しかし、BEST に適用するためにはいくつかの条件があり、それらをクリア出来るプログラムでなければならぬ。必要な条件は以下の通りである。

一次側、二次側と蓄熱槽の間で交換される情報は、水温、流量であるため、熱量のみの計算ではなく、水温、流量が算出される必要がある。

BEST の計算時間間隔は可変となっているため、計算時間間隔を変更しても計算が可能なロジックであ

ることが必要。

蓄熱槽の種類、容量、槽数、深さなど条件をある程度自由に変更しても計算が可能であることが必要。

1.2 検討したプログラム

蓄熱システムのプログラムについては、蓄熱・蓄電等システム検討 WG で検討が行われたが、基本プログラムの検討においても、WG の各委員が候補となるソフトを持ち寄り委員会で精査を行った。検討対象となったソフトは、(1)水蓄熱槽最適設計プログラム TESEP-W (財団法人ヒートポンプ・蓄熱センター)、(2)FACES、(3)LCEM、(4)3 次元水蓄熱シミュレータの 4 本であった。FACES については熱量ベースでの計算であること、LCEM については EXCEL シートでの計算であり BEST にそのまま組み込めないこと、3 次元水蓄熱シミュレータについては CFD での計算となり BEST に搭載するのは困難であること、等のそれぞれの理由により採用不可となった。TESEP-W については水温の計算であり、前述の から全ての条件をクリアしているため、TESEP-W を基本プログラムとすることに決定された。TESEP-W は、中原らが名古屋大学時代に水蓄熱の研究¹⁾を進めていく中で、N88BASIC で開発した蓄熱槽効率の推定表作成のためのプログラムであるが、プログラムそのものを一般の設計者に提供するために財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターの委員会にて Windows 化作業が行われたものである。現在は研修会で教材として使用、配布されている。

2. 基本プログラム (TESEP-W) の概要

基本プログラムとして採用した TESEP-W の概要を紹介する。図 1 に入力画面の一例を示す。この画面は熱源関係の設定を行う画面である。このように、系統図な

どを示すことによって、プログラム操作中もシステムを意識した入力が可能になるように工夫されている。図2にシミュレーション実行画面を示す。熱源の運転状態、空調負荷の処理および蓄熱の状況等、熱量・水温プロフィールの変化が視覚的に確認できる。一次側、二次側、蓄熱槽の設定状況の影響を考慮した計算が行われ、水蓄熱式空調システム全体の検討が可能である。本プログラムは基本的には蓄熱槽の最適容量と構造設計であるが、既存建物の性能検証等にも適用できるように、熱源容量、蓄熱槽容量の固定入力、中間期など低負荷での計算、実測値との比較用計算機能などを備えている。その他運転管理、設計者・運転管理者の教育用、コミッションングへの適用など利用範囲は広い。

本プログラムのみでも水蓄熱式空調システムの検討が可能であるが、BEST に組み込まれることにより、建物条件など様々な要因の影響も考慮した検討に利用されることを期待している。

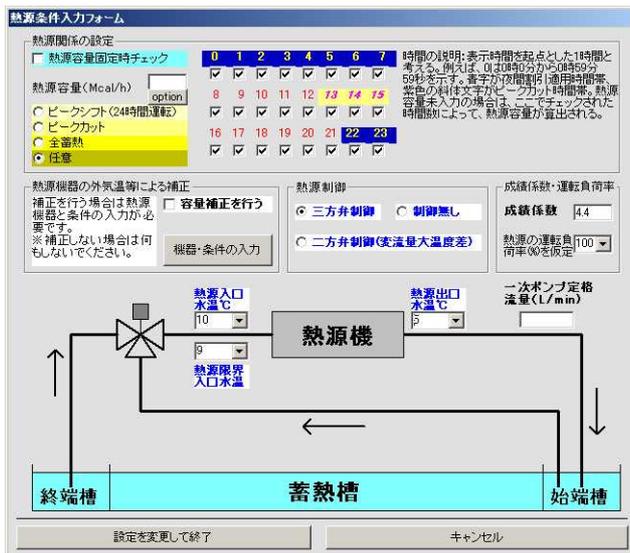


図1 TESEP-W 入力画面例(熱源運転制御条件入力)

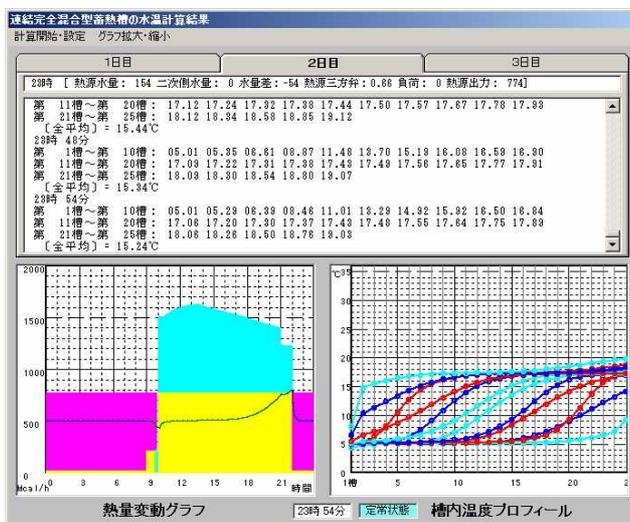


図2 TESEP-W 計算画面例(熱量及び温度プロフィール)

3 . BEST における蓄熱プログラムの概要

3.1 BEST における蓄熱プログラムの現状

平成 20 年 4 月に公開された BEST には、蓄熱システムとして、水蓄熱(連結完全混合型、温度成層型)、氷蓄熱(現場築造型)が用意されている。氷蓄熱についても、中原らの研究成果²⁾を採用して開発が行われている。氷蓄熱ユニットや氷ビルマルチエアコンについても、一つのオブジェクトとして提供できるように準備を進めているが、機器の特性、制御方法に関する十分なデータが開示されない等の問題もあり、作業の進行が遅れているのが実情である。

以上のようなことから、以下では水蓄熱システムのプログラムの内容について主に説明する。

3.2 想定したシステムとモジュール構成

図3に想定した基本的な水蓄熱式空調システムを示す。一次側は複数熱源の設置が可能である。蓄熱時は全台数が全負荷運転することが基本となるが、昼間追掛け時および中間期などのために、台数制御モジュールも用意されている。熱源の入口水温制御は三方弁で行われる。2次側ポンプは変流量制御が可能である。FCU 系統などの定流量システムが存在し、負荷が小さい場合に蓄熱槽への還水温度が低温(冷房時)になってしまうのを防ぐ為に、送水温度を制御する2次側送水温度制御用3方弁の選択も可能となっている。TESEP-W のアルゴリズムは、主には蓄熱槽内の水温計算に利用されており、その他部分においても思想は反映されている。

3.3 二次側との関連

蓄熱システムは、図3で示した範囲内で完結するものではなく、当然、2次側の空調機運転状況の影響を受けることになる。蓄熱槽水温と熱源の追掛け運転状況から算出された2次側送水温度と流量を、BESTの空調機側の計算に引き渡している。そして、空調機側の制御に従って室負荷を処理した結果の水温と流量を、水蓄熱槽側で受取ることになる。その情報を元に、蓄熱槽内水温の計算を実行していくことになる。

3.4 蓄熱コントローラーの考え方

夜間移行率や蓄熱槽効率が高い状態での運転を維持する為には、適切な制御が必要である。現在、蓄熱コントローラーと称されるものがいくつか存在している。BESTプログラムにおいても、それらの制御を模擬できるような機能は必要と考えている。また、現存するコントローラーの問題点を克服し、理想的な制御が行えるコントローラーも将来的には装備したいと考えている。しかしながら、現段階で用意しているものは非常に簡易なコントローラーであり、スケジュール制御で基本的には稼働し、2次側送水限界温度の判定によって、追掛け運転が始動する程度の機能しか有していない。

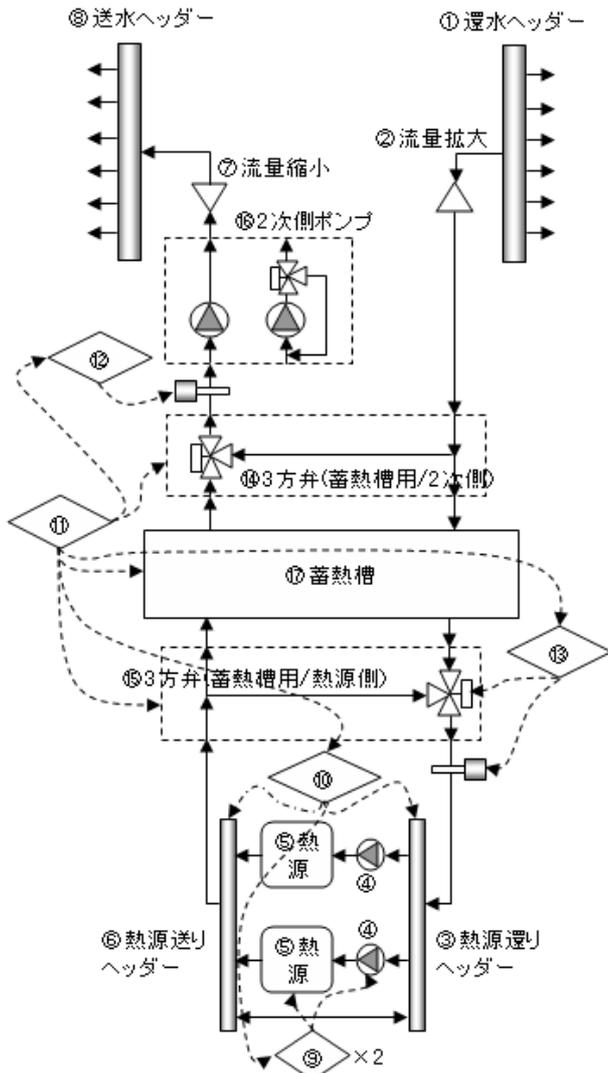


図3 想定システムとモジュール構成

表1 各モジュールの名称

No.	モジュール名称	No.	モジュール名称
	還水ヘッダー		熱源台数制御
	流量拡大		蓄熱コントローラー
	熱源還りヘッダー		PID 制御(2次側送水)
	冷温水ポンプ		PID 制御(熱源送水)
	熱源(HP チラー)		3方弁(蓄熱槽用/2次側)
	熱源送りヘッダー		3方弁(蓄熱槽用/熱源側)
	流量縮小		2次側ポンプ
	送水ヘッダー		蓄熱槽
	熱源制御		

4. 蓄熱プログラムの入出力項目

4.1 入力項目

図4に水蓄熱槽の入力画面を示す。蓄熱槽のタイプは、連結完全混合槽型、温度成層型から選択できる。槽分割数と槽容量を入力するようになっており、1槽の容量は槽数で等分されたものとなる。蓄熱槽の水深、流入口の

形状・面積は、温度成層の形成に大きな影響を与える項目であるので、温度成層型蓄熱槽の場合には、各数値の決定には十分な検討が必要である。蓄熱槽自体の熱損失の影響も考慮した計算が可能である。蓄熱槽の容量、形状、一次側、二次側の制御方法については、事前にTESEP-Wで検討したものを入力すると良い。

4.2 出力項目

水蓄熱槽が良好に稼働しているかの判断材料として、蓄熱槽内水温プロフィールは非常に重要である。そのため、蓄熱槽内水温プロフィールの時間変化を出力している。図5に出力画面を示す。蓄熱運転時と放熱運転時が色分けされた状態で、アニメーションにより変化の状況を確認できるようになっている。

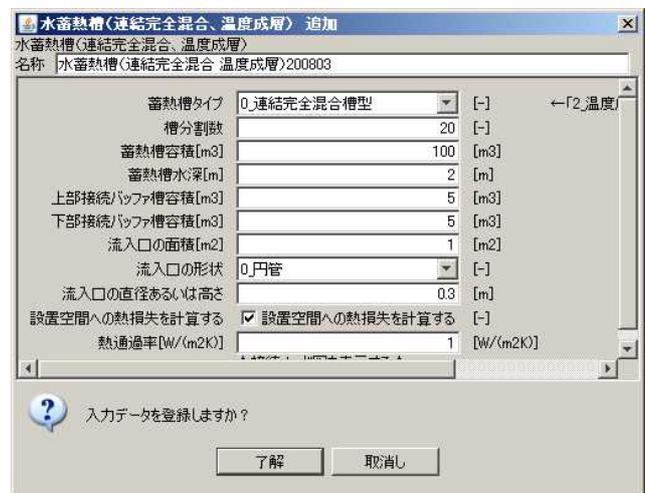


図4 水蓄熱槽入力画面

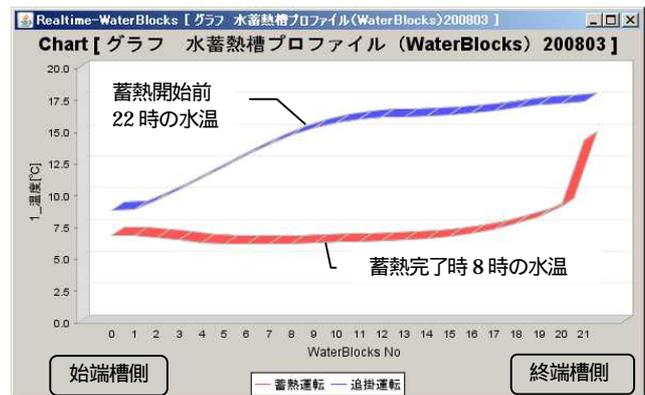


図5 水蓄熱槽水温プロフィール表示画面

表2 主要モジュールの仕様

モジュール名称	仕様
水蓄熱槽 連結完全混合槽型	水槽容量 900m³ 水槽分割 20分割 始端槽 5m³ 終端槽 5m³
HP チラー	冷却能力 530kW 水温 12 7
冷温水ポンプ	25200g/s × 15kW
運転時間	蓄熱運転 22時～翌日8時 空調運転 8時～22時

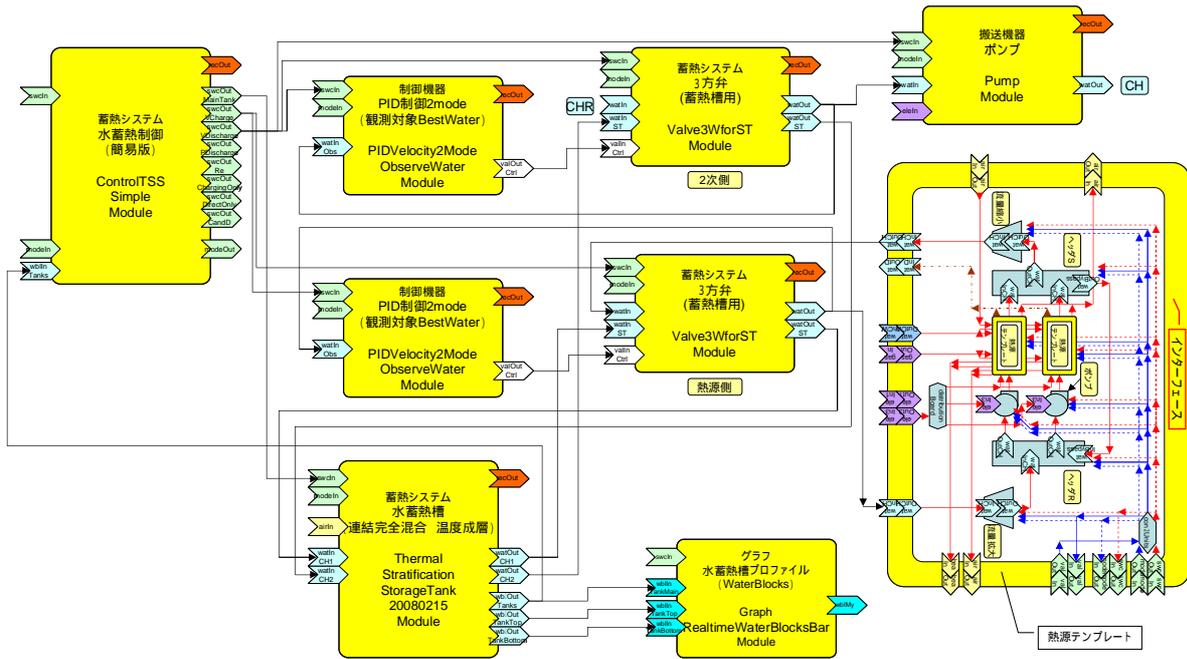


図6 水蓄熱システム主要モジュール部品の接続図

5. 計算例

5.1 モデルシステム概要

BEST-P を用いた蓄熱システムの計算例を紹介する。表2に主要機器の仕様の概要、図6に蓄熱槽まわりの主要モジュール部品の接続状況を示す。計算は、モジュール部品単位で行なわれる。今回の計算例では、簡易版水蓄熱制御 2次側PID 2次側3方弁 熱源側PID 熱源側3方弁 熱源テンプレート内の部品 水蓄熱槽の順番でモジュールの計算を実行している。水蓄熱槽の水温変化は、次の計算ステップで反映されることになる。また、計算時間間隔については5分として実行した。

5.2 計算結果

図7に、BEST-P で計算した水蓄熱システムの水蓄熱槽の水温プロフィールの例を示す。縦軸は水温、横軸は分割水槽で左側のNo1が始端槽、右側のNo20が終端槽であり、No1から20は20分割したブロックである。蓄熱時(22時8時)と放熱時(8時22時)を示す。

6. まとめ

BESTにおける蓄熱式空調システムのプログラム概要を示した。今後は、各種ケーススタディの実行、蓄熱コントローラーの充実、水蓄熱ユニットや氷ビルマルチエアコンの実装作業を進める予定である。

【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 開発普及事業研究会(村上周三委員長)」ならびにアーキテクチャ検討部会(坂本雄三部会長)、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するものである。蓄熱・蓄電等検討WG名簿(順不同)主査:柳原隆司(電力中央研究所) 幹事:合田和泰(蒼設備設計) 委員:中原信生(環境システック中原研究処) 林英人(関西電力) 柳井崇(日本設計) 村西良司、澤田佳也、井上聡(以上、中部電力) 岡本泰英、小澤正一(以上、東京電力) 河路友也(トーエネック) 助飛羅力(三機工業) 野原文男、二宮博史(以上、日建設計) 内海一朗(ヒートポンプ・蓄熱センター) 事務局:生稲清久(建築環境・省エネルギー機構) 西尾敏朗(ヒートポンプ・蓄熱センター)

また、プログラムを提供頂いた、(財)ヒートポンプ・蓄熱センターの関連委員会(中原信生主査)に感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 中原信生、相良和伸、辻本誠:蓄熱槽に関する研究、第3報-運転シミュレーションを用いた実験計画法による連結完全混合型蓄熱槽の蓄熱槽効率の推定、空気調和・衛生工学会論文集、No.20, pp.59~72, 1982 他一連の研究
- 2) 中原信生、山羽基:水蓄熱槽の熱特性に関する研究、第3報-アイスコイル型水蓄熱槽のシミュレーションモデルと蓄熱槽効率推定表の作成、空気調和・衛生工学会論文集、No.56, pp.13~24, 1994

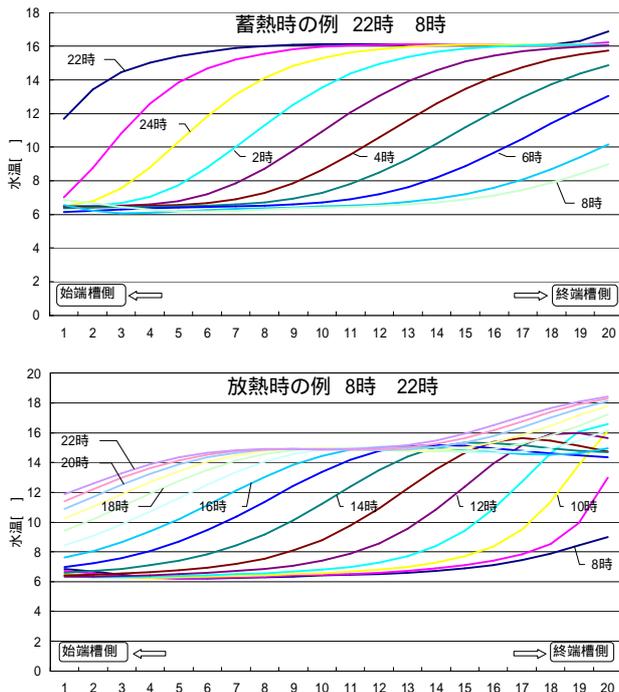


図7 水蓄熱槽 7月26~27日の水温プロフィール