

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 151）
蓄熱式空調システムの試算例と他ソフトとの比較（1）

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems,
the BEST (Part151)

Example of Trial Calculation of Air Conditioning System with Thermal Storage
and Comparison with Other Software(1)

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） 名誉会員 中原 信生（環境システック中原研究処）

正会員 二宮 博史（日建設計） 正会員 中塚 一喜（三晃空調）

正会員 南島 正範（関西電力） 正会員 加藤 伯彦（中部電力）

Tomoya KAWAJI*1 Shuzo MURAKAMI*2 Takashi YANAGIHARA*3 Nobuo NAKAHARA*4

Hiroshi NINOMIYA*5 Kazuki NAKATSUKA*6 Masanori MINAMIJIMA*7 Norihiko KATO*8

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

*3 Tokyo Denki University *4 NESTEC *5 Nikken Sekkei Ltd. *6 Sanko Air Conditioning Co.,Ltd.

*7 The Kansai Electric Power Co., Inc. *8 Chubu Electric Power Co., Inc.

This paper describes the results of trial calculations of energy consumption of the air conditioning system with thermal storage using BEST for energy conservation standards (2013). The results of comparison with other software, i.e. TES_ECO and FACES, are also shown. The calculation results of the energy consumption of the system with thermal storage has proved smaller than a standard system, leaving some discussion points of the tool.

はじめに

既報^{1)~5)}においては、BEST 専門版の蓄熱システムの内容、検証結果について報告を行ってきた。本稿では、平成 25 年省エネ基準対応ツールの中の蓄熱システムに関する報告を行う。専門版との相違点・制限事項、試算例、他ソフトとの比較検証、省エネルギーのための留意点などについて示す。なお、本報では、連結完全混合槽型水蓄熱システム、次報では温度成層型水蓄熱槽と氷蓄熱ユニットに関する試算例などを示す。

1. 平成 25 年省エネ基準対応ツール蓄熱部分の概要

1.1 計算可能システム

平成 25 年省エネ基準対応ツールに用意されている蓄熱式空調システムは、①氷蓄熱ユニット、②水蓄熱連結完全混合槽型、③水蓄熱温度成層型、の 3 種類である。

1.2 入力項目

図 1 に蓄熱システムを選択した場合のシステム系統図の画面を示す。非蓄熱システムと比較して蓄熱槽とポンプが一つ追加される。蓄熱槽に関しては、槽容量、分割数、水深、断熱性能(以上、②・③共通)、流入口の形状・面積・直径あるいは高さ(以上③のみ)を入力する必要がある。熱源については、基本的には非蓄熱源と同じであるが、水蓄熱システムでは、蓄熱時と追い掛け時の熱源出口水温を

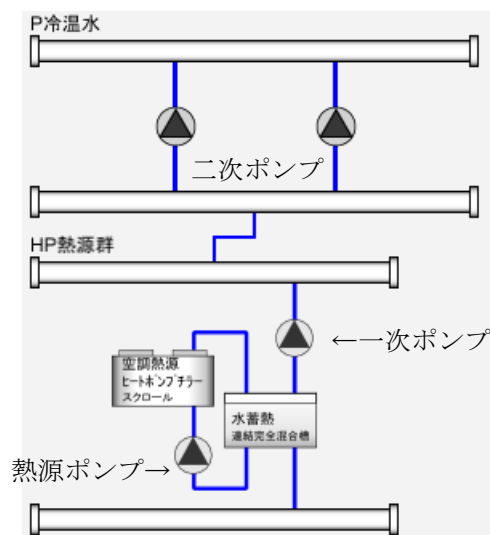


図 1 水蓄熱システム選択時の系統図表示例

別々に入力可能である。一次ポンプの入力項目は非蓄熱システムと基本的には同様であるが、水蓄熱システムの場合には、二次側をクローズ回路とするために熱交換器を設置する場合を除いては図 1 に示した一次ポンプを設置する事は少ない。なお、基準システム的设计において必要となるため、一次ポンプの入力において送水温度差の入力が求められている。熱源ポンプについては、熱源の入口水温を指定できるようになっている。図 1 には三方弁

は記載されていないが熱源の入口側に三方弁があり熱源の入口水温が設定値に制御される。

1.3 専門版との相違点

平成 25 年省エネ基準対応ツールは、簡易な入力を実現するために、専門版と比較して入力項目が削減されている。入力の労力は軽減される一方で設定条件においては制限が生じてしまう。表 1 に専門版との主な相違点をまとめた。計算結果に影響が大きいと考えられる項目は、ピークカットなどのスケジュール設定ができないこと、負荷予測の方式が選択できないことが考えられる。負荷予測については、平成 25 年省エネ基準対応ツールでは、前日負荷を用いた簡易予測に固定されている。なお、スケジュールについては、今後改善される予定である。

2. 平成 25 年省エネ基準対応ツールによる試算例

2.1 計算対象建物・設備概要

表 2 に試算を行った建物の概要、表 3 に設備概要を示す。平面図は単純な長方形とし、西側片側コアの設定としている。熱源は空冷ヒートポンプチラースクロールを選択している。

2.2 計算結果

設計システム(水蓄熱式空調システム)と基準システム(非蓄熱システム)の年間一次エネルギー消費量の比較を図 2 に、月別の比較を図 3 に示す。年間では設計システムの方が一次エネルギー消費量は小さくなる結果となった。設計システムの方が熱源本体と補機の一次エネルギー消費量が減少しており、その他は増加する結果となった。月別の値では、冬季は比較的両者の結果は合致しているが、夏季は設計のエネルギー消費量の方が小さい。12 月に設計の熱源本体のエネルギー消費量が基準の倍以上になっている原因は、冷水槽から温水槽への切り替え負荷があることと、切り替え時の制御が最適化されておらず、蓄熱システム本来の最適な運転制御が行われていないためと考えられる。夏季に設計の熱源エネルギー消費量が小さくなる原因については、基準よりも設計熱源の定格 COP が若干高いこと、外気温が低い夜間の運転時間が長くなるため COP が向上すること、全負荷運転が基本であり部分負荷運転による COP の低下がないことが考えられる。但し、基準と設計の差が大きいため、夏季の熱源エネルギー消費量の計算に何らかの問題が生じている可能性もある。建物仕様についても基準と設計が同じになるように入力しているが、基準は自動設計されるため熱源の処理熱量自体に差が生じている可能性もある。

図 4 には、8 月 9 日の放熱時間帯における水温プロフィールを、図 5 には同日の二次側往還水温と流量を示す。図 5 より、負荷が大きい時間帯では二次側還水温は 15℃程度と設計値(14℃)に近い値となっているが、負荷が小さくなると更に水温は高くなり 20℃を超える場合もあ

表 1 平成 25 年省エネ基準対応ツールと専門版の相違点

部位	専門版のみ可能な入力項目
蓄熱槽	バッファ槽容量と初期水温の入力が可能
運転	ピークカットなどのスケジュール設定が可能 熱源出口水温、二次側送水温度、蓄熱目標温度等の月別設定が可能
負荷予測	負荷予測なしも含めて 5 種類から選択可能
制御	熱源入口三方弁等の PID 詳細設定値の変更が可能

表 2 試算建物概要

項目	内容
用途、地域	事務所、東京
階数、規模	地上 9 階建て、延床面積：10,000 m ²
設定温湿度	夏期(4-11 月)26℃50%、冬期(12-3 月)22℃40%

表 3 試算例設備概要

項目	内容
熱源本体	空冷ヒートポンプチラースクロール 冷房・暖房能力 472kW、COP(冷 3.7/暖 3.86) 冷水出口水温：6℃(蓄熱時)、7℃(追掛時) 温水出口水温：46℃(蓄熱時)、45℃(追掛時)
熱源ポンプ	1353L/min、640kPa、固定速
蓄熱槽	連結完全混合槽型：440m ³ (20 槽)
二次側空調機	AHU+CAV、二管式、 $\Delta\theta = 7^\circ\text{C}$
二次側ポンプ	850L/min×2 台、台数+INV 制御

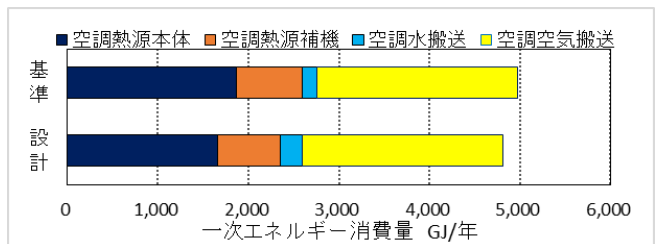


図 2 年間の一次エネルギー消費量の計算結果

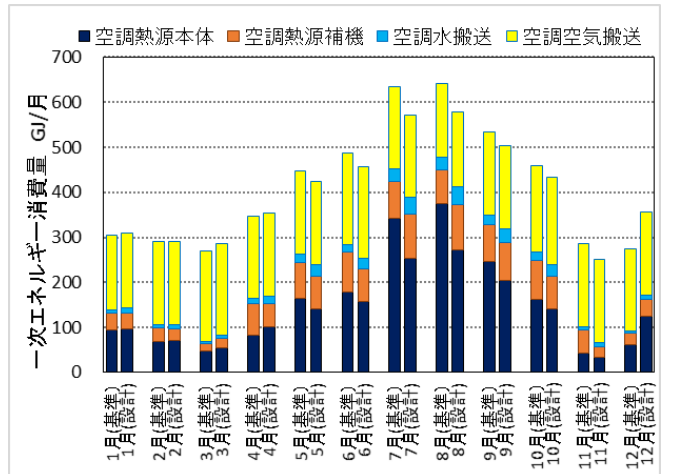


図 3 年間の月別一次エネルギー消費量の計算結果

る。これは三方弁制御の特性上正しい動きであり、蓄熱槽の水温プロフィールの変化も問題は無く、始端槽の水温は常に低温で維持されている。夏季の負荷が処理できない結果として図 3 のように熱源のエネルギー消費量が小さくなったとの懸念もあったが、図 4 より良好な空調が行われた状況でのエネルギー消費量の計算が行われていると考えられる。

3. 他ソフトとの比較

平成 25 年省エネ基準対応ツール(以下、BEST と表記)の計算結果の妥当性を確認するために他ソフトとの比較を行った。比較対象としたソフトは、TES_ECO[®]と FACES^{7,8)}である。

3.1 TES_ECO との比較

TES_ECO は一般財団法人ヒートポンプ・蓄熱センターで開発された、水蓄熱システム経済性・省エネ性評価プログラムである。水蓄熱システムのみでなく、非蓄熱システム、コージェネレーションシステムなどの年間エネルギー消費量の計算が可能である。TES_ECO では負荷計算は行わないため、2 章で示した設計の熱源システムが処理した負荷を空調熱負荷として TES_ECO で読込計算を行った。TES_ECO の計算で使用した熱源の定格条件時の COP については、ほぼ同一条件としている。

図 6 に熱源本体の各月一次エネルギー消費量の比較を示す。全体の傾向としては、同様な結果となっているが、BEST の方がエネルギー消費量は小さくなっており、特に夏季の差が大きくなっている。TES_ECO の夏季の結果は図 3 の基準の値に近くなっている。このような差が生じる原因としては、BEST と TES_ECO に登録してある熱源の特性(外気条件と COP の関係)の違いも考えられるが、ここまで差が大きくなる可能性は低い。TES_ECO で読込んだ負荷と BEST の熱源が処理している熱量自体に差が生じていること、両者の毎時の熱源 COP の扱い方法などが異なる可能性などが考えられるが、詳細な原因は調査中である。図 7 には、熱源本体のみの消費電力量の夜間移行率を示す。夏季はほぼ同一の夜間移行率となっているが、冬季については BEST の結果の方が低い値となった。TES_ECO では、負荷予測を行う前提で熱源の運転時間を決定しているため、理想的な夜間移行率となる。一方、BEST では前日の負荷を利用して熱源の運転時間を決定しているため、蓄熱量の過不足が生じる可能性が高くなる。また、12 月では前述のように蓄熱槽の冷温水切り替え時期の制御に課題があり、その影響で夜間移行率が低下していると考えられる。

3.2 FACES との比較

FACES2003 Ver4.38.0 を用いて計算を実施した。FACES は HASP/ACLD/8501、HASP/ACSS/8502 をベースにしたエネルギーシミュレーションを行うツールである。蓄熱計算部分には予測制御機能⁹⁾を備えており、シミュレーション精度も高いことが検証されている。FACES では、TES_ECO のように空調熱負荷を読み込むことはせず、自らの機能として負荷計算を実施する。そのため、負荷計算のための条件設定については、極力 BEST 側の入力条件に合わせるようにしたが、ソフトの入力制約上の問題により完全に合致できていない部分もある。表 4 に BEST と FACES の入力条件の差異をまとめている。

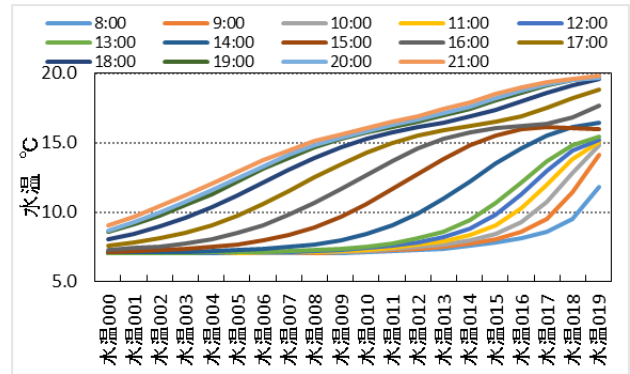


図 4 8月9日の放熱時水温プロフィール

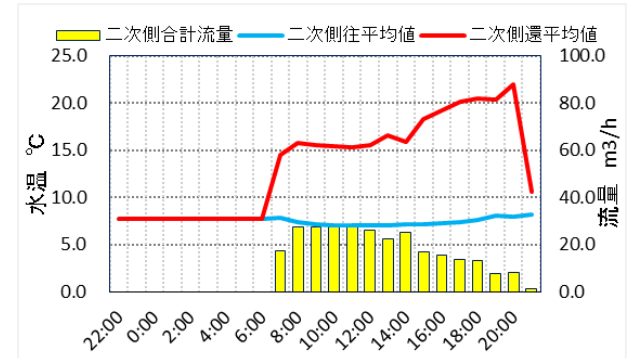


図 5 8月9日の二次側往還水温と流量

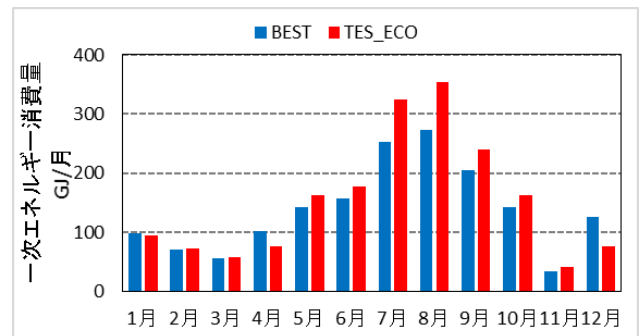


図 6 熱源本体一次エネルギー消費量の月別比較

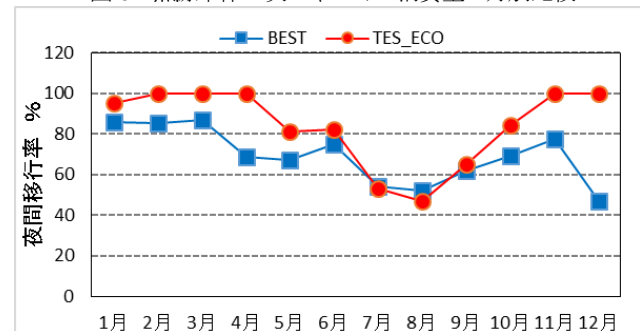


図 7 熱源本体消費電力量の夜間移行率の比較

表 4 BEST と FACES の入力条件差異

項目	内容
空調面積	BEST(5,508 m ²)、FACES(5,476 m ²)
照明負荷	BEST(16.3W/m ²)、FACES(16W/m ²)
外気導入量	BEST(24,220m ³ /h)、FACES(44.2m ³ /(h・人))
熱源本体	冷房・暖房能力：425kW/450kW
熱源ポンプ	1218L/min、551kPa、固定速
蓄熱槽	連結完全混合槽型：600m ³
二次側ポンプ	887L/min×1台、579L/min×1台

る。表4に示した以外の項目はBESTと同じ数値を入力している。空調システムに関しては、表3との比較となる。槽容量等も異なるが、FACESの自動設計機能により算定された値を使用しているためである。図8にFACESとBESTの負荷計算結果を示す。正值が冷房負荷、負値が暖房負荷である。FACESの方が暖房負荷は大きく、冷房負荷は小さくなっている。室内発熱の季節による見込み割合に差異が生じている可能性や、負荷計算の手法自体が異なることが主な原因と考えられるが、熱負荷の差が大きいと詳細な原因は明確になっていない。

図9には熱源本体の一次エネルギー消費量の比較を示す。冬季は負荷と同様にFACESの方がエネルギー消費量は大きくなるが、夏季ではFACESの方が負荷は小さいにも関わらずエネルギー消費量が大きくなる逆転現象が生じている。TES_ECOとの比較結果と併せて考えると、BESTの夏季熱源エネルギー消費量の計算において、何らかの課題が残存していると推察される。

4. 水蓄熱システムにおける省エネ実現のための留意点

平成25年省エネ基準対応ツールにおいて、水蓄熱システムに適用可能な省エネ手法について以下に示す。

4.1 蓄熱槽の設定

蓄熱槽については、連結完全混合槽であれば槽数、温度成層型蓄熱槽であれば流入口の面積などが槽内水温の適正化に影響を及ぼすため、TESEP-W[®]などを用いて適正な数値にすることが重要である。また、断熱性能についても、根拠を持った上で小さい値を入力することで槽からの自然放熱を抑えた計算となる。

4.2 熱源の設定

高効率な熱源を選択することは当然であるが、蓄熱システムの場合には、基本的には全負荷運転となるため、部分負荷時よりも定格時のCOPが高いものを選択すべきである。また、大温度差仕様とすることで、熱源ポンプの動力は削減できるが、熱源の部分負荷運転が発生する要因にも成りかねないため、蓄熱槽の利用温度との関係を十分に検討した上で設定する必要がある。

4.3 二次側の設定

二次側では変流量大温度差システムが基本となる。空調機器のコイル数、流量の調整により可能な限り大温度差を実現する。大温度差により二次側ポンプの動力削減、および蓄熱槽容量の縮小と放熱量の削減が実現される。

以上のような省エネ手法を適用することは可能であるが、システム全体として整合性が取れていることが必要であるので、TESEP-Wなどを利用して事前に最適な設計を行うことが重要となる。

5. まとめ

本報では、連結完全混合槽型蓄熱槽について、平成25年省エネ基準対応ツールの試算及びTES_ECO、FACESとの比較を実施した。次報では、温度成層型蓄熱槽、氷蓄熱ユニットの試算結果について示す。

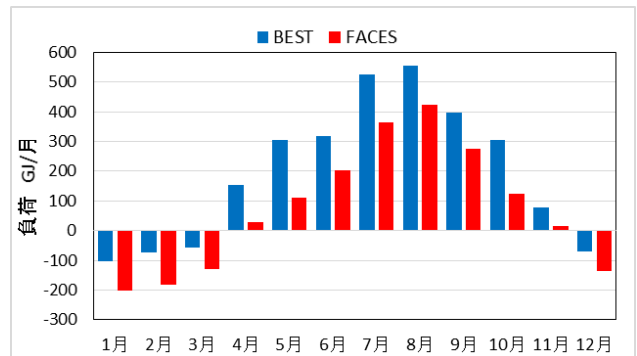


図8 FACESとBESTの月別負荷計算結果比較

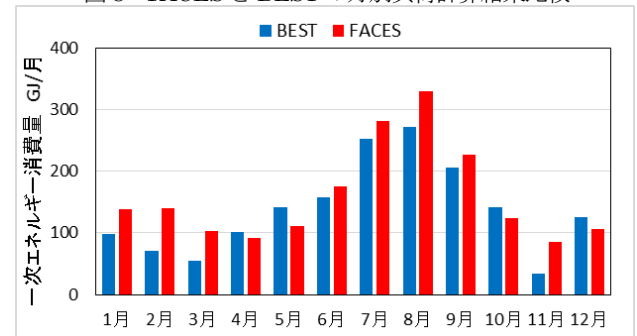


図9 FACESとBESTの熱源本体一次エネルギー消費量比較

【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るものである。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(着設備設計)、委員:中原信生(環境システック中原研究処)、南島正範(関西電力)、柳井崇(日本設計)、加藤伯彦(中部電力)、田中勝彦(東京電力)、工藤良一(着設備設計)、河路友也(愛工大)、助飛羅力(三機工業)、野原文男、二宮博史(以上、日建設計)、畠田博之、中塚一喜(以上、三見空調)、松原隆彦(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)、木下昭夫、早瀬訓(以上、ヒートポンプ・蓄熱センター)。

【参考文献】

- 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
- 河路 他: 同上(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
- 河路 他: 同上(その93)氷蓄熱式空調システムの運転検証、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1735~1738、2011.9
- 河路 他: 同上(その107)BESTを利用した水蓄熱式空調システムの高効率化検討とフォルトシミュレーション、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1379~1382、2012.9
- 河路 他: 同上(その127)BESTに組み込まれた水蓄熱システムの運転制御方法とその効果、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.61~64、2013.9
- 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
- 柳原 他: ビル空調熱源経済性評価プログラム-FACES-(第1報)開発の目的と概要、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.397~400、2004.9
- 二宮 他: ビル空調熱源経済性評価プログラム-FACES-(第2報)プログラムの構成と計算ロジック、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.401~404、2004.9
- 猪岡 他: システムシミュレーションプログラムにおける蓄熱システム予測制御機能の開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.211~214、2006.9