

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49）
空調シミュレーションにおけるプログラム間比較

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part 49)
Program Comparison among HVAC simulation tools

正会員○長井 達夫（東京理科大学） 正会員 菰田 英晴（鹿島建設）
特別会員 村上 周三（建築研究所） 正会員 石野 久彌（首都大学東京名誉教授）
正会員 二宮 博史（日建設計） 正会員 菅長 正光（菅長環境・設備一級建築士事務所）
正会員 柳井 崇（日本設計）

Tatsuo NAGAI*¹ Hideharu KOMODA*² Shuzo MURAKAMI*³ Hisaya ISHINO*⁴
Hiroshi NINOIMYA*⁵ Masamitsu SUGANAGA*⁶ Takashi YANAI*⁷

*¹Tokyo University of Science *²Kajima Corporation *³ Building Research Institute

*⁴Tokyo Metropolitan University *⁵Nikken Sekkei Ltd. *⁶Suganaga Architecture Office *⁷Nihon Sekkei Inc.

In this paper, we compare HVAC simulation programs in terms of annual energy consumption, and calculated details of VAV air handling unit. Annual calculation gives rough agreement among those tools. In detailed calculation for VAV air handling unit sub-system, coil heat extractions are roughly in accordance for HASP/ACSS and BEST, but water flow rates and the water temperature difference are considerably different due to the coil model and the control algorithms employed.

はじめに

既報¹⁾では、BESTにおける空調システムシミュレーションのモジュール構造と、テンプレート機能によるモジュール間接続の簡易化等について詳述した。

本報では、年間計算によるシステムのエネルギー消費量、代表日におけるシステム挙動について、既開発のエネルギーシミュレーションプログラムとの比較を行った結果について報告する。

1. シミュレーション概要

1.1 計算モデルの概要

計算モデルについては、既報²⁾の建物及び室モデルを用いた。表-1に設備システム概要、図-1に空調システム概要、図-2に空調・熱源システム概要を示す。

空調システムはファンコイルユニット+ダクト併用方式であり、インテリアゾーンはVAV、ペリメータゾーンはファンコイルユニットにより空調を行う。外気は、空調機のみで導入されている。熱源には空冷ヒートポンプチラーを用い、搬送系は熱源機側1次ポンプにより二次側へ送水するワンポンプシステムとしている。

対象室の設定温湿度は、夏季：26℃/50%、冬季：22℃/40%とする。熱源は、ヘッダ位置による要求熱量により台数制御を行い、通年で冷水、温水のいずれかが供給されるものとした。

表-1 建物・設備システム概要

建物概要	延床面積	9919m ² (826.6m ² ×12フロア) 東京(表-3参照)	熱源	空冷ヒートポンプチラー COP 3.3
立地	壁体仕様	ウレタン発泡板25mm、 RC150mm他	搬送	ワンポンプ方式
外壁	窓	Lwo-ε 窓面積率約0.4	空調	インテリア 単一ダクト変風量方式 気化式加湿 外気導入エリア
内部発熱	照明	20W/m ²	換気	ペリメータ ファンコイルユニット方式
機器	人体	15W/m ² 0.15人/m ²	制御	各階方式 流量：PI制御 加湿量：P制御 熱源台数制御
外気量		5m ³ /m ² h		

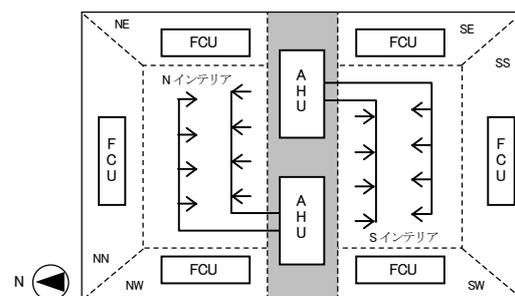


図-1 空調システム概要（基準階）

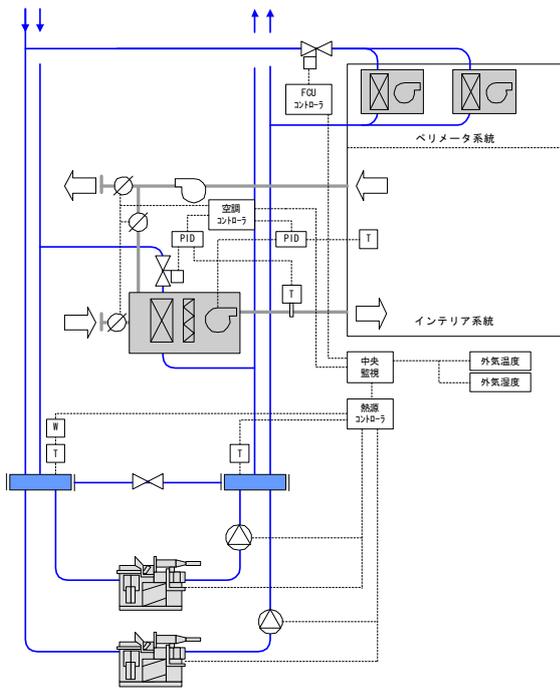


図-2 熱源・空調システム系統概要

1.2 ツール比較概要

比較対象としたプログラム概要を表-2に示す。それぞれのプログラムは全て日本国内で開発されたものであるが、開発目的が異なるゆえにそれぞれが個別の特性をもっている。そのため、必ずしも計算条件が一致しない部分があり、その違いを表-3に示す。

表-2 比較対象プログラム概要

	BEST	HASP/ACSS	原単位管理ツール (ESUM)
利用目的	建物総合エネルギーのシミュレーション	空調システム消費エネルギーのシミュレーション	運用段階における建物エネルギー管理
その他	IBEC 有償	建築設備技術者協会 有償	省エネルギーセンター 無償 (気象データは一部有償)

表-3 比較対象プログラム計算条件

	BEST	HASP/ACSS	原単位管理ツール (ESUM)
気象データ (東京)	2006年 1分データ	2006年 1時間データ	2006年 1時間データ
加湿方式	気化式	気化式	なし
空冷ヒートポンプチャラーの性能	最新モデル	開発当初の機器モデルの特性 (レシプロ)	特性 (レシプロ)

2. 年間シミュレーション結果

計算結果を図-3に示す。年間の単位面積当たりの一次エネルギー消費量については、それぞれ異なる結果となったが、図-4に示すように月別のエネルギー消費量を見ると、HASP及びBESTは傾向が似通うものの、ESUMは多少異なる結果となった。一因として、二次側空調システムの潜熱処理方法の違いがあるものと思われる。図-5にBESTとHASP/ACSSの機器特性の比較を示す。部分負荷時

における特性差が、かかる負荷率の差によって図-3におけるエネルギー消費量差を生じた一因と考えられる。

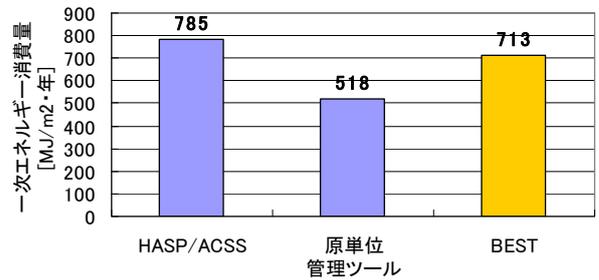


図-3 年間一次エネルギー消費量の比較

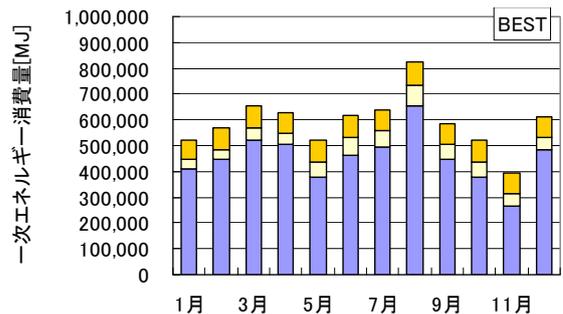
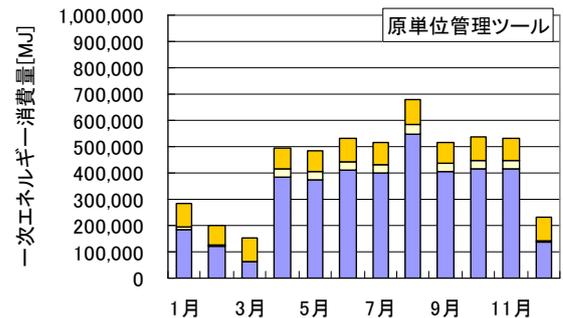
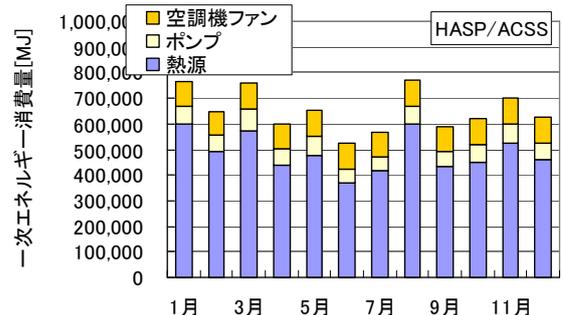


図-4 月別一次エネルギー消費量の比較

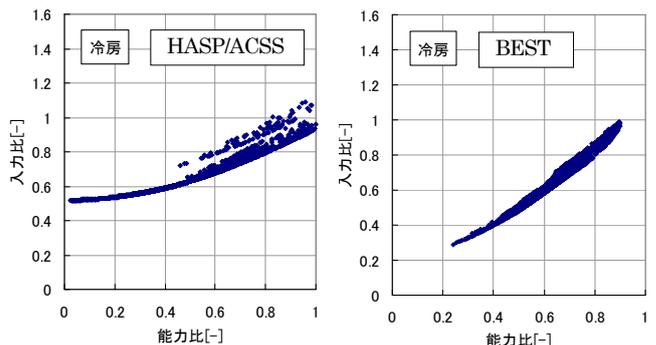


図-5 熱源部分負荷特性の比較

3. 空調機・室サブシステムの詳細比較

3.1 BEST のサブシステムの構成

ここでは、HASP/ACSS と BEST の詳細比較を行うため、インテリア 1 ゾーンと VAV 空調機 1 台とからなる、サブシステムを対象とし、再度計算を行う。

図-6 に BEST におけるモジュール構成を示す。VAV ゾーンテンプレートは、その内部において、「ゾーン接続」モジュールを用いて室との接続を行う。「PID」モジュールは、室温をもとに制御信号を「VAV ユニット」に渡し、風量制御を行う。「VAVfan 制御」モジュールは、一般的には複数の「VAV ユニット」から渡される風量を合計し、給気温度リセット値を演算・出力する。

VAV 空調機テンプレートは、コイルやファン等の要素機器および制御ロジックを要素モジュールとして内包している（図では加湿機等を省略している）。「水量 PID」モジュールは、ゾーンテンプレートから渡された給気温度リセット値を考慮した上で、目標給気温度となるよう、冷水 2 方弁をフィードバック制御する。

空調機と室からなるサブシステムは、上記 2 つのテンプレートをループ状に接続することにより構成される。空調機テンプレートの冷水入口については、固定的に冷水温度（7℃）を与えるような「固定 WATER モジュール」を用い、熱源とは無関係に計算できるようにする。

3.2 計算結果の比較

図-7 に夏期のある日の計算結果を示す。コイル除去熱量については、立ち上がり時の相違はあるものの、その後は概ね同等の値で推移している。風量は、いずれも最小風量（定格風量の 40%と設定）近くとなっている。ここで、ACSS の VAV 制御は「最小風量補償」を選択しているが、風量が最小となるような給気温度（図中、コイル出口空気温度とほぼ同じ）に設定しているというよりは、水量を定格流量流した状態での風量を計算し、風量が最小風量以下となる場合に限り、最小風量における給気温度が計算されているようである。

BEST における給気温度リセット制御は、VAV の合計風量が最小風量を下回った場合に給気温度設定値を一定値だけ上昇させ、最大風量を上回った場合に逆に下降させる、という制御を基本としている。昼前に風量が最小風量になると、給気温度設定値は単調に上昇しているが、給気温度は、この設定値への追従がやや緩慢であり、夕方において給気温度設定値との乖離の影響で、室温の低下を招いている。

コイル出口空気温度は ACSS と BEST で大差はないが、コイル出口水温は BEST の方が高く、水側の温度差がより大きくなる結果となった（入口水温はともに 7℃）。給気温度制御の応答性は、コイル 2 方弁の PID モジュールのパラメータを調整すれば改善されると思われるが、HASP/ACSS との比較により、コイルモデルあるいは VAV

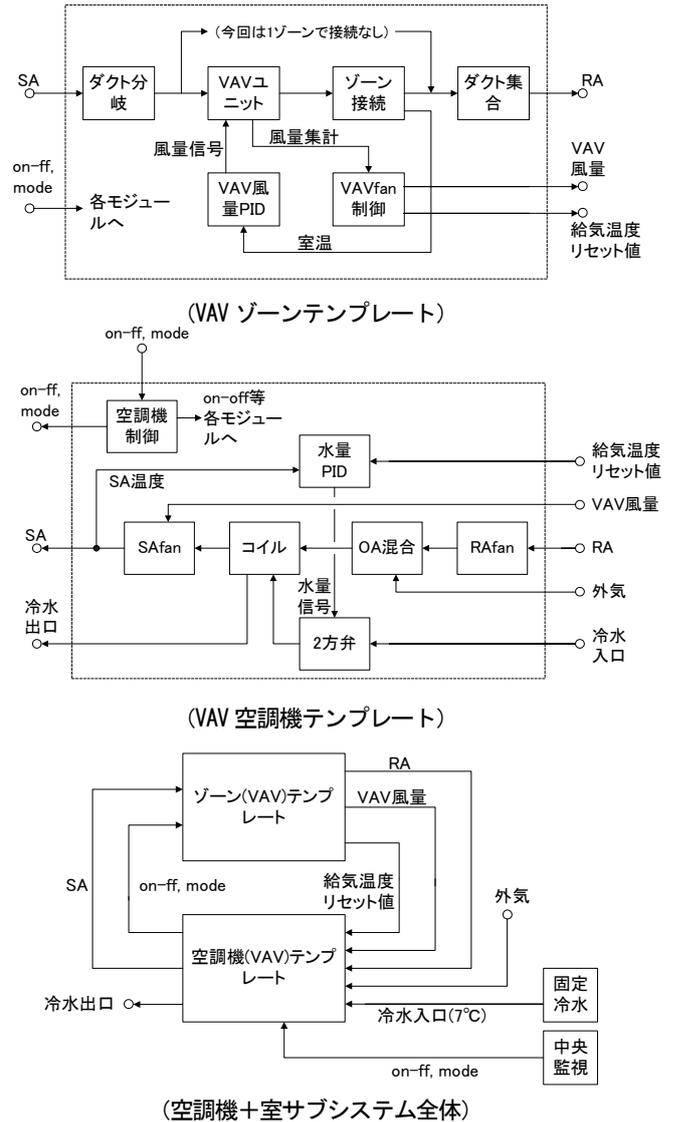


図-6 空調機+室サブシステムの構成

制御ロジック（給気温度リセットアルゴリズム）によって、風量、水量に差異が生じうることが確認できる。

4. 今後の改善点、課題等

BEST 専門版は、一般性および拡張性の確保という観点から、空調シミュレーションに限定せず、抽象化されたモジュールとそれらの間の情報接続というモジュール構造を基本としている。この方針により、例えば本報で示したような VAV 制御の検討において、必要であれば種々の制御アルゴリズムをモジュールとして表現し、詳細な比較検討を行うといったことが可能である。

一方で、システム全体を構築するために必要となる要素モジュールの数は膨大となるため、入力作業の手間を軽減する方策について継続的に検討を行っている。既に要素モジュールをマクロ化したテンプレート機能の実装が完了しているが、なお、テンプレート間の情報接続の

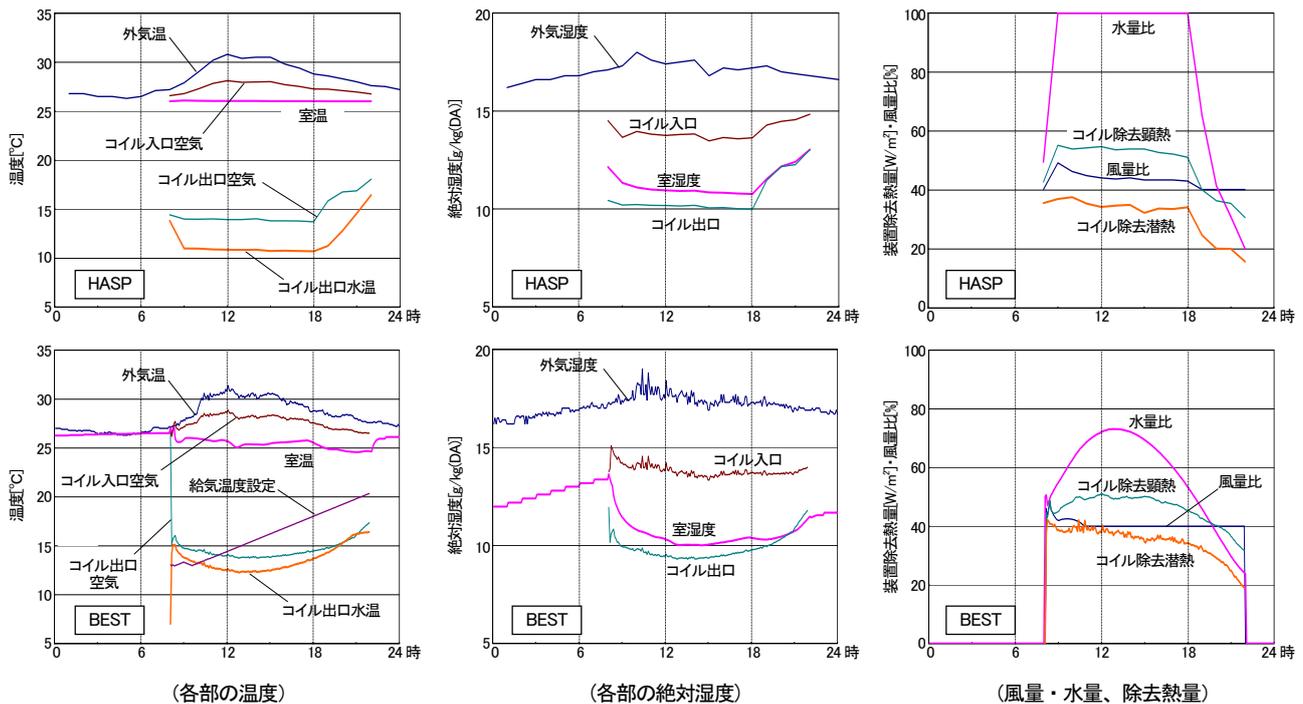


図-7 空調機・室周りの温湿度・風量等の時間変動比較 (2006年7月12日、東京)

手間が無視できないため、パッケージシステムにおいて採用された「単線接続」機能(続報³⁾参照)をセントラルシステムにおいても実現できないか検討を行っているところである。

また、期間消費エネルギーの評価を行う上で、PIDコントローラによるフィードバック制御は本来不要という考え方もある。PMVによる室温制御や、CO₂による外気量制御など、制御の自由度を簡単に高めるためにも、現行のフィードバック制御を基本としたシステム構築は維持すべきと考えられるが、システム間の比較を行うケーススタディにおいて生じた結果の差異が、PIDパラメータの調整に起因していた場合など、その原因が簡単には把握できないという問題もある。今後、ツールの使用目的によっては、フィードバック制御に依らない、より単純な解法が適用可能となるようなモジュールおよびシステム構築を検討する必要性が生じる可能性もある。

5. まとめ

本報では、既開発のエネルギーシミュレーションプログラム、特にHASP/ACSS/8502との比較を行った。システム全体のシミュレーション比較により、年間消費エネルギーについては概ね同様の結果が得られた。空調機および室からなるサブシステム間の詳細比較を行った結果、コイル除去熱量については概ね同様の傾向となったが、コイルモデルおよび給気温度制御のアルゴリズムの違いによって、風量・水量の計算結果に無視できない違いが生じた。

【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)、行政支援ツール開発委員会(坂本雄三委員長)、クラス構想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。クラス構想WG名簿(順不同)

主査：石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員：井上隆、一ノ瀬雅之(以上、東京理科大学)、上田博嗣(大林組)、内海康雄(宮城工業高等専門学校)、木下泰斗(日本板硝子)、工月良太(東京ガス)、黒本英智(東京電力)、郡公子(宇都宮大学)、菰田英晴(鹿島建設)、芝原崇慶(竹中工務店)、菅長正光(菅長環境・設備一級建築士事務所)、瀧澤博(元鹿島建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀典(鹿児島大学)、野原文男、二宮博史、丹羽勝巳、田端康宏(以上、日建設計)、平林啓介(新日本空調)、柳井崇(日本設計)、事務局：生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

【参考文献】

- 1) 長井達夫他：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28)空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集2008.8
- 2) 松村一誠他：建築エネルギー・環境シミュレーションツールBESTの開発 第8報、日本建築学会学術講演梗概集、pp.1041-1042、2008.9
- 3) 菅長正光他：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50)ビル用マルチのテンプレートと単線接続による簡易入力と計算、空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集2009.9
- 4) 長井達夫他：空調システムのシミュレーション法 空調調和・衛生工学 pp.39-44、Vol.82、No.11、2008.11