

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 71）

## 空調システム計算におけるプログラム比較とパラメータスタディ

### Development of an Integrated Energy Simulation Tool

#### for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 71)

#### Case-studies of the centralized system

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）  
正会員 野原文男（日建設計） 正会員 二宮博史（日建設計） 正会員 長井達夫（東京理科大学）

Hideharu KOMODA \*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Hisaya ISHINO \*<sup>3</sup> Fumio NOHARA\*<sup>4</sup>  
Hiroshi NINOMIYA\*<sup>4</sup> Tatsuo NAGAI\*<sup>5</sup>

\*<sup>1</sup> Kajima Corporation \*<sup>2</sup> Building Research Institute \*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University  
\*<sup>4</sup> Nikken Sekkei Research Institute \*<sup>5</sup> Tokyo University of Science

In this paper, we compared 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 airhandling unit system, coil heat extractions are roughly in accordance for EnergyPlus and BEST, but water flow rates and the water temperature difference are considerably different due to the coil model and the control algorithms employed.

### 1. はじめに

地球規模での CO<sub>2</sub> 削減に対する意識の高まりから、建築分野においても効果的な省エネルギーに関する検討が数多く行われている。特に、実建物のライフサイクルにおける CO<sub>2</sub> 消費量の大半は運用段階にあることから、このステップにおける削減効果量を設計段階から十分に検討することが重要である。そこで、本報では、その効果検討に利用可能なシミュレーションプログラムである BEST<sup>1)</sup>を用いて、これまでに日本で開発されてきたエネルギーシミュレーションプログラムとの比較や海外のプログラムの代表格である EnergyPlus との比較を行うことで、その有用性を検証する。

### 2. 日本のプログラム間比較

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。

表-1 比較対象プログラム概要

	BEST-P	HASP/ACSS	原単位管理ツール (ESUM)
Ver	BEST1004	/8502	4.03
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 BESTは無償	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)

### 2.1 検討モデル概要

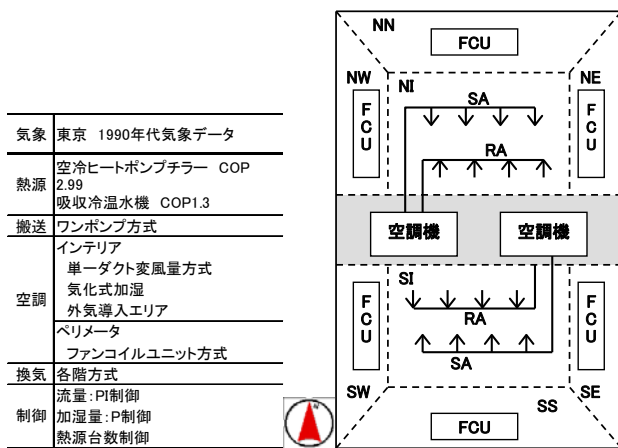
計算モデルについては、既報<sup>2)</sup>の建物及び室モデルを用いた。表-2 に設備システム概要、図-1 に空調システム概要、図-2 に熱源システム概要を示す。

基本ベースとした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、搬送系は熱源機近傍の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。

給気温湿度は対象室温が設定値（夏季：26°C/50% 冬季：22°C/40%）になるよう冷温水 2 方弁（PI 制御）と気化式加湿器（P 制御）を制御する。熱源は、ヘッド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。

比較ケースを表-3 に示す。ベースとなる空調システムである AHU と FCU に、FCU の部分を AHU に置き換えた分散 AHU の 2 ケース、ベースとなる熱源システムである空気熱源ヒートポンプチラーから吸収冷温水機に置き換えた 2 ケースとし、これらへの掛け合わせによる 4 ケースを基本比較ケースとし、これに対して、CO<sub>2</sub> 削減対策ケースとして、なにもしないケースを含み、変風量対応、全熱交換器による対応の 3 ケースを先のベースケースと掛け合わせたものを比較ケースとした。

表-2 設備システム概要 (基準ケース)



気象	東京 1990年代気象データ	
熱源	空冷ヒートポンプチャラー COP 2.99 吸収冷温水機 COP1.3	
搬送	ファンポンプ方式	
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	
	ペリメータ ファンコイルユニット方式	
	換気	各階方式
	制御	流量・PI制御 加湿量・P制御 熱源台数制御

図-1 空調システム概要 (基準階 基準ケース)

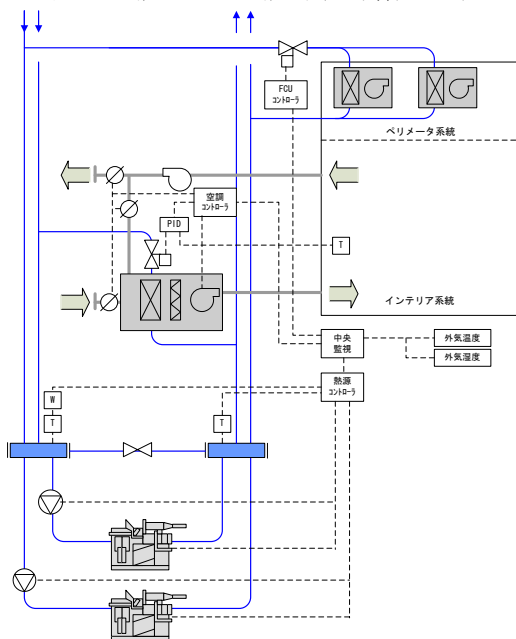


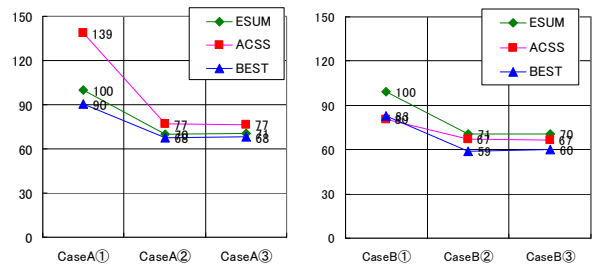
図-2 熱源・空調システム概要 (基準ケース)

表-3 検討ケース

基本空調・熱源システム		
ケース	空調システム	熱源システム
CaseA	分散AHU	空気熱源ヒートポンプチャラー
CaseB	AHU+FCU	空気熱源ヒートポンプチャラー
CaseC	分散AHU	吸収冷温水機
CaseD	AHU+FCU	吸収冷温水機
CO2削減対策		
case1	省エネなし	
case2	VWV+VAV	
case3	VWV+VAV+全熱交換器	

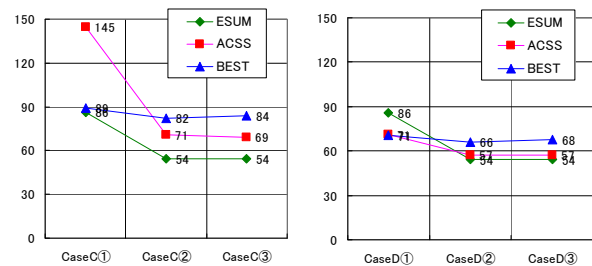
## 2.2 検討結果

図-3 に各ケースの一次エネルギー消費量比較結果を示す。ここで、図内の値は CaseA①の ESUM の値を 100 とした場合の比率を示している。3 つの方式ともにほぼ同様の傾向となっている。ただし、ACSS の CAV 計算では、他のケースよりも大きな値となっていることや、BEST の吸収冷温水機で CAV のケースでは、他と比較



分散 AHU+HP

AHU+FCU+HP



分散 AHU+吸収冷温水機 AHU+FCU+吸収冷温水機

図-3 各ケースの一次エネルギー消費量比較 (CaseA①の ESUM の値を 100 とした場合の比率)

して若干小さな値となっていることが確認できた。

## 3. EnergyPlus との比較

EnergyPlus は、米国において 1998 年から開発が進められている建物負荷及びエネルギー消費量を算出するシミュレーションプログラムである。<sup>3)</sup> 一般利用であれば無償でライセンスを取得かつ実行が可能である。

EnergyPlus の無償公開版には、サンプルデータが豊富に取り揃えてありその数は 300 種類を超える。中でも、代表的なサンプルデータと思われるケースについて比較を行った。

### 3.1 検討モデル概要

ここでは、代表的なサンプルの一つで熱源が独立したシステムの例である 5Zone を VAV で冷暖房するシステムとの比較を行った。表-4 に検討建物概要、図-4 に検討対象平面図、図-5 に熱源・空調システム概要を示す。

基本ベースとした空調システムは VAV エアハンドリングユニット+リヒータ方式であり、各ゾーンは VAV により空調を行う。外気は、空調機のみを導入されている。冷熱源には空冷ヒートポンプチャラーを用い、温熱源はボイラにて供給するシステムとしている。

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。ここでは、リヒータコイルモジュールを追加し、ゾーンの室内温度に応じて VAV 空調機からのコイル出口空気温度を加熱し室に供給する。

VAV 空調機テンプレートは、コイルやファン等の要素機器及び制御ロジックを要素モジュールとして内包している(図では加湿器等を省略している)。「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。

表-4 検討建物概要

延床面積	463.6m <sup>2</sup> (1フロア463.6 m <sup>2</sup> ×1フロア)×12フロア
天井高さ	2.6m
気象	東京(EPWフォーマット 百里)
計算時間間隔	5 分間
スケジュール・温湿度条件	
空調時間	8:00 ~ 22:00
室内設定温湿度	冷房26°C 40% 暖房22°C 50%
内部発熱	
照明	16.2 [W/m <sup>2</sup> ]
人体	0.108 [人/m <sup>2</sup> ] 1.2 [met]
機器	10.78 [W/m <sup>2</sup> ](顕熱) 0 [W/m <sup>2</sup> ](潜熱)
外皮条件	
ガラス	Low-ε クリア+透明
ブラインド	中間色

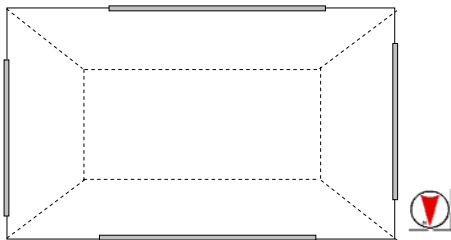


図-4 検討平面図

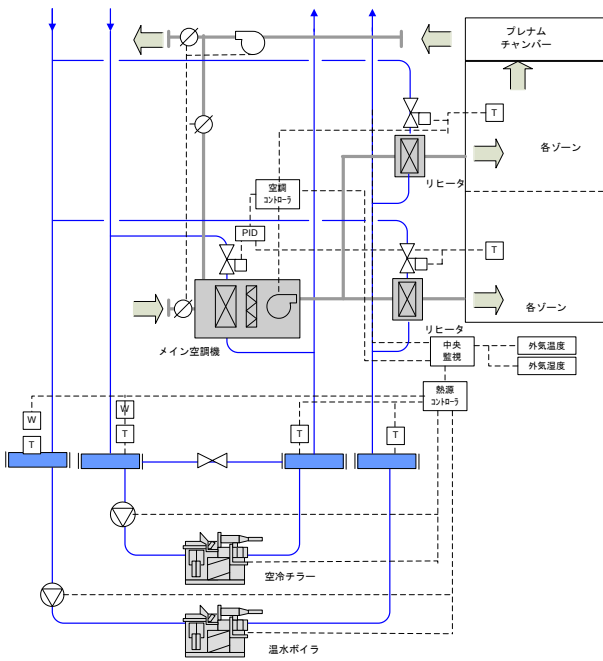


図-5 検討システム概要

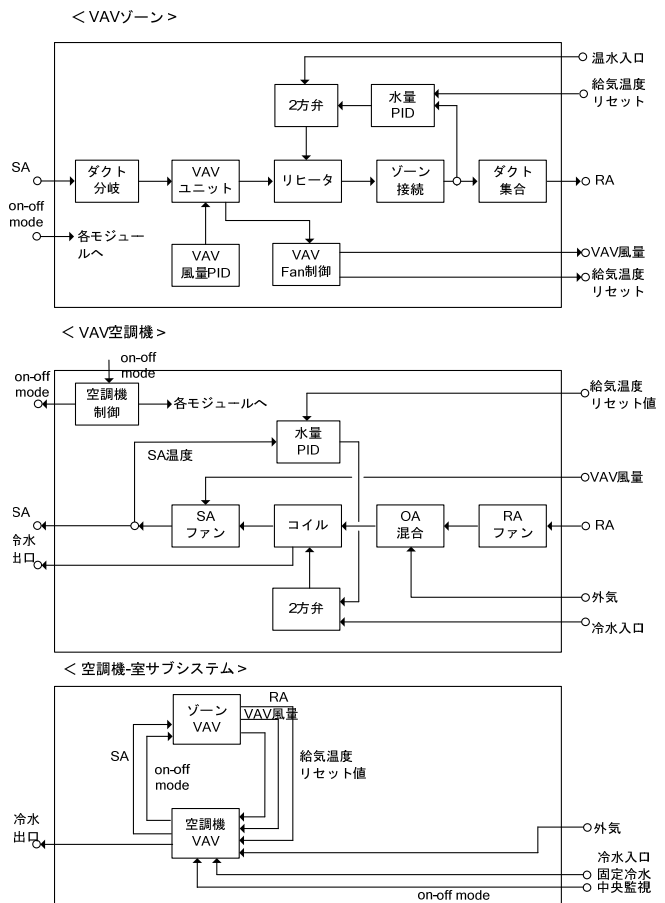


図-6 空調機+室サブシステムの構成

空調機と室からなるサブシステムは、上記 2 つのテンプレートにループ状に接続することにより構成される。

### 3.2 検討結果

図-7、8 に夏期代表日 (7 月 19 日)、図-9、10 に冬期代表日 (1 月 23 日) の計算結果を示す。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。

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が、コイルモデルあるいは VAV 制御ロジックに(給気温度リセットアルゴリズム) によって差異が生じている。

### 4. 今後の課題・改善点

今回のリヒートモデルのようなシステムでは、一般的な空調機テンプレートでは構成されないコイルモジュールをゾーンテンプレートの要素モジュールとして追加させることで評価が可能となっている。また、プレナムチャンバーについても同様にシステム接続用モジュールとダクトモジュールとを利用することで評価が可能となっ

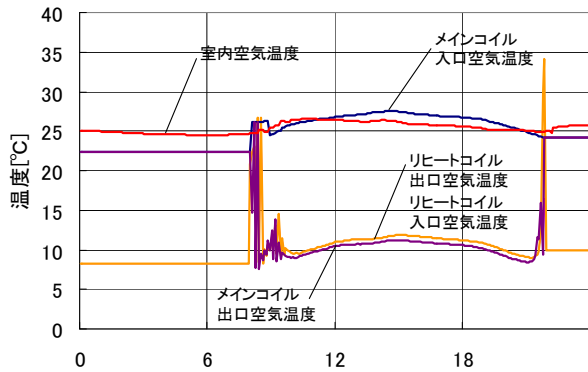


図-7 夏期代表日における各部温度 (BEST)

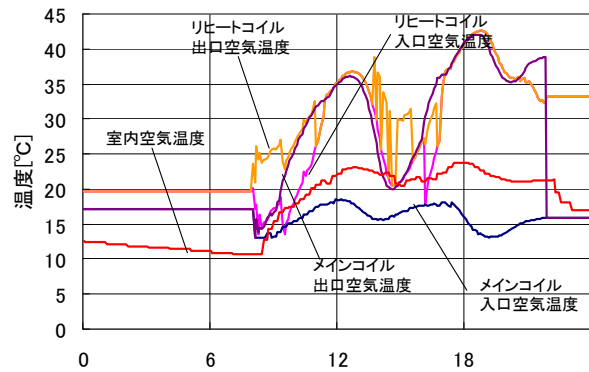


図-8 冬期代表日における各部温度 (BEST)

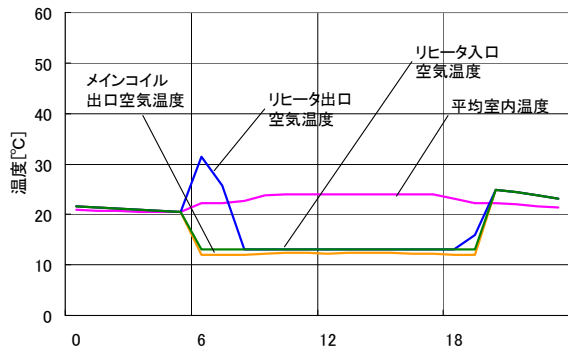


図-9 夏期代表日における各部温度 (EnergyPlus)

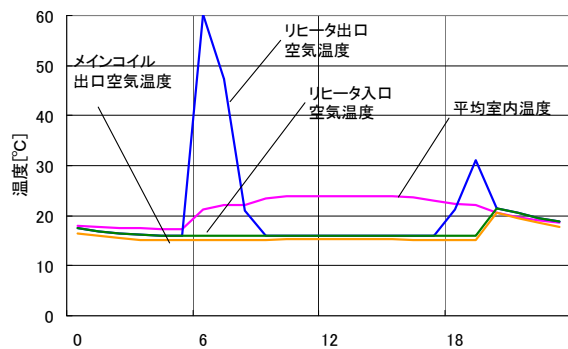


図-10 冬期代表日における各部温度 (EnergyPlus)

ている。このように新たなモジュール追加による入力作業の手間は相当軽減されているが、テンプレート間の情報接続については、エネルギー媒体の接続含め BEST 接続に関する深い知識の必要性は否めない。一般的なシステム構築に関しての手間はテンプレートによって軽減されたが、今後は、このような一般に用意されていないテンプレートへの新規モジュールの追加に関して容易な接続の検討が必要であると思われる。

## 5. まとめ

本報では、BEST と日本国内で開発されたプログラム HASP/ACSS、ESUM の比較及び EnergyPlus との比較を行い、その結果について報告した。システムエネルギーシミュレーション比較により、年間エネルギー消費量については、概ね同様の結果が得られた。EnergyPlus との比較では、空調機システムの詳細比較を行った。

【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)、統合化 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。統合化 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(東京理科大学)、一ノ瀬雅之(東京大学)、内海康雄(宮城工業高等専門学校)、大西晴史(関電工)、木下泰斗(日本板硝子)、久保木真俊(日建設計)、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)、品川浩一(日本設計)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、菅長正光(菅長環境・設備一級建築士事務所)、滝澤総(日建設計)、滝澤博(元鹿島建設)、高橋亜瑠璃(大林組)、長井達夫(東京理科大学)、二宮博史(日建設計)、二宮秀與(鹿児島大学)、丹羽勝巳、野原文男、長谷川巖、田端康宏(以上、日建設計)、平林啓介(三菱 UFJ 銀行)、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)

## 【文献】

- 1) 長井他 空調システムのシミュレーション法 空気調和・衛生工学 pp.39-44、Vol.82、No.11、2008.11
- 2) 松村、村上他 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) EnergyPlusWeb サイト、<  
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>(accessed 2010-06-04)
- 4) Crawley Drury B, Energy Plus: creating a new generation building energy simulation program, Energy and Building, Vol.33, No. Issue 4, pp.319-331, 2001