

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26）

BESTEST による検証とケーススタディ

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 26)

Validation by BESTEST and the Case Study

正会員 ○平林 啓介（新日本空調）

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 郡 公子（宇都宮大学）

正会員 内海 康雄（宮城高専）

正会員 二宮 秀典（鹿児島大学）

Keisuke HIRABAYASHI*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hisaya ISHINO*³

Kimiko KOHRI*⁴ Yasuo UTSUMI*⁵ Hideyo NIMIYA*⁶

*¹ Shin Nippon Air Technologies Co.,LTD. *² Building Research Institute *³ Tokyo Metropolitan University

*⁴ Utsunomiya University *⁵ Miyagi National College of Technology *⁶ Kagoshima University

It aims to be validation of simulation results by energy simulation tool -BEST-, this paper describes the validation method by BESTEST and various results of the case studies. In order to be recognized as an international program in the future, we must take steps to validate results of the BEST.

1. はじめに

本報では、エネルギーシミュレーションツールである「BEST」の計算結果の検証を目的に、IEA で開発された BESTEST の手法を用いて行った、検証方法及びケーススタディの結果について報告する。現在世界で広く利用されている EnergyPlus も、この BESTEST による検証を行っており、今後、「BEST」が国際的なエネルギーシミュレーションプログラムとして認知される為にも、この手法を用いての検証は必要である。まず、その具体的な検証方法及び入力条件について述べ、次にケーススタディの結果について述べる。

2. 検証方法及び入力条件

IEA がまとめた BESTEST の報告書¹⁾によると、プログラムの検証方法としては、経験的な検証、解析的な検証、比較による検証が挙げられ、この BESTEST では比較による試験と診断の方法について示されている。具体的には、あらかじめ決められたいくつかのケースについて、欧米で広く利用されている各種プログラム（BLAST, DOE2, ESP, SERIRES, S3PAS, TASE, TRNSYS）で行った計算結果が示されており、それらの結果と比較・診断していくことで検証を行う。用意されている入力ケースは全部で36あるが、基本的にはその内14のケースについての検証が必要である。

実際に入力する建物には図1のような非常に単純なモデルが標準ケースとして用意されており、また、計算条件についても表1に示すように単純なものが用意されている。この標準条件に対して、建物方位、外部日除けの

有無、換気の有無、窓面積の与え方、建物の熱容量、空調制御方法といった入力条件を変えたことでの出力結果の診断が可能である。これら14ケースのうち地盤連成のケースを除いた CASE_600~650、900~960 の13ケースの詳細を表2に示す。ほとんどのケースが基本的に単室モデルであるが、CASE_960のみサニタールームのある熱容量の大きい室と窓のない熱容量の小さい室を組み合わせたモデルとなっている。また、これらのケースに加えて、空調のな

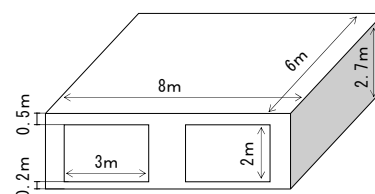


図1 標準建物アイソメ図(CASE_600)

表1 標準計算条件(CASE_600)

気象データ	EPW データ(Denver)	
建物情報	面積:6m×8m=48 m ² 、高さ:2.7m、窓面積:12 m ²	
ガラス種類	透明フロート二重(ガラス厚:3 mm、空気層:12 mm)	
壁体構造	屋根	Plasterboard 0.16W/mK, 10 mm Fibreglas quilt 0.04W/mK, 112 mm Roofdeck 0.14W/mK, 19 mm
	床	Timber flooring 0.14W/mK, 25 mm Insulation 0.04W/mK, 1003 mm
	外壁	Plasterboard 0.16W/mK, 12 mm Fibreglas quilt 0.04W/mK, 66 mm Wood Siding 0.14W/mK, 9 mm
侵入外気量	0.41 回/h	
内部発熱	機器 0.2kW 冷却方式:自然放熱	
空調条件	暖房:室温<20℃、冷房:室温>27℃ 暖房容量:1000kW、冷房容量:1000kW (実際上∞) 外気導入なし	
計算間隔	3600sec	

い自然室温を想定したケースが4つ用意されており、CASE_600、650、900、950において空調制御をなくしたものがそれぞれCASE_600FF、650FF、900FF、950FFとして用意されている。

BESTEST で比較することが可能な出力項目は表3のとおりで、これらの出力結果が大きく違う場合、フロー図に従って問題点を見つけることができるのもBESTEST の長所である。また、気象データはアメリカのデンバーの標準気象データ (TMY データ) が用意されているが、「BEST」ではそのままの形式では読み込めない為、EnergyPlus 気象データ (以下 EPW データ) を使用して今回の計算を行った。

3. ケーススタディ

3.1 室負荷による比較

13ケースの年積算負荷とピーク負荷 (暖房、冷房) の計算結果の比較を図2に示す。グラフ中の横棒線はBESTEST に記載されているレンジの最大と最小を示したものである。計算結果を見ると、ほとんどのケースで範囲内におさまっているものの、一部で最大を超えているケースも見られる。表2の診断項目よりルーバーの影響やセットバック制御の影響が考えられるが、計算結果が大きく違うわけではなく、この出力だけで問題を見つける事は難しく、他の出力項目についての検証が必要である。

表2 各ケースの入力項目と診断項目

CASE	熱容量	空調制御		換気	窓面積 [㎡]	方位	日除け	診断項目
		暖房	冷房					
600	小	20℃	27℃	—	12	S	—	熱容量が小さい建物の標準ケース
610		20℃	27℃	—	12	S	V:1m	南側水平ルーバーの影響の検証
620		20℃	27℃	—	6,6	E, W	—	東/西面の窓からの日射透過率の検証
630		20℃	27℃	—	6,6	E, W	VH:1m	東/西側水平垂直ルーバーの影響の検証
640		セットバック ^{※1}	—	—	12	S	—	セットバック制御の検証
650	off	27℃	○	12	S	—	外気導入の検証	
900	大	20℃	27℃	—	12	S	—	熱容量が大きい建物の標準ケース
910		20℃	27℃	—	12	S	V:1m	南側水平ルーバーの影響の検証
920		20℃	27℃	—	6,6	E, W	—	東/西面の窓からの日射透過率の検証
930		20℃	27℃	—	6,6	E, W	VH:1m	東/西側水平垂直ルーバーの影響の検証
940		セットバック ^{※1}	—	—	12	S	—	セットバック制御の検証
950	off	27℃	○	12	S	—	外気導入の検証	
960	小 大	20℃ off	27℃ off	— —	0 12	— S	— —	ゾーン間の熱移動の検証

表3 比較可能な出力項目

- ・年間積算負荷
- ・各ケース間での差 (例:610と600の積算負荷の差)
- ・ピーク負荷とその発生日時
- ・最大室温とその発生日時
- ・最小室温と "
- ・年間平均室温
- ・各面での年間の全日射量
- ・窓の年間の透過日射量
- ・代表日の室温の時刻変動
- ・代表日の負荷の "
- ・代表日の全日射量の "

※1 23:00~7:00は10℃以下で暖房、7:00~23:00は20℃以下で暖房、冷房は常に27℃以上

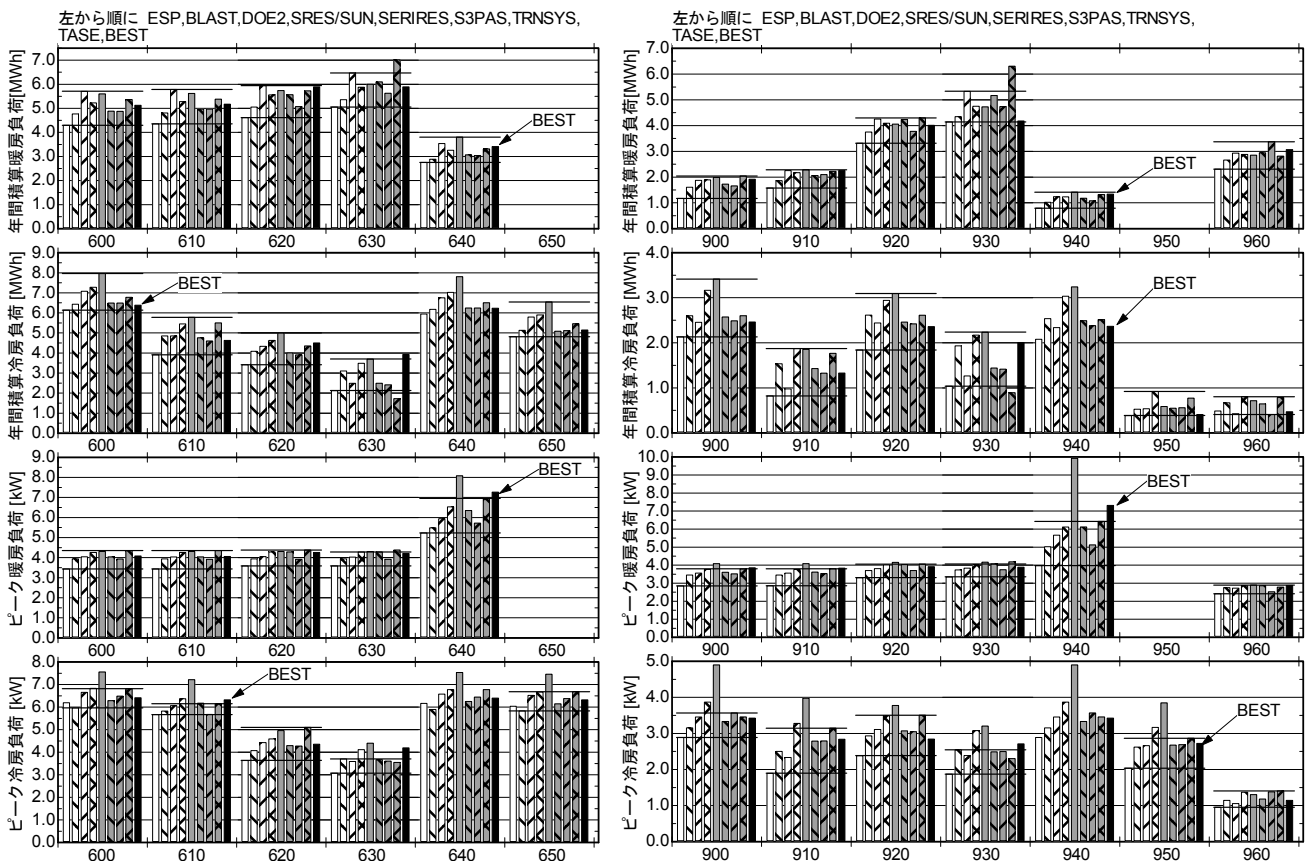


図2 BEST と BESTEST の年積算負荷とピーク負荷の比較 (右: 熱容量小のケース、左: 熱容量大のケース)

3. 2 室内温度での比較

空調制御を行わない自然室温 (CASE_900FF) での年間を通しての 1℃刻みでの温度の出現頻度による比較を図3に示す。同じく自然室温での最高温度、最低温度、年間の平均温度による比較を図4に示す。デンバーは年間を通して最高気温 35℃、最低気温-24.4℃と寒暖の差が激しい気候であるが、熱容量の小さい建物のケースでは、日射の影響もあり最高気温は 60℃を超えている。建物の熱容量の大小により年間の最高気温、最低気温には差がつくが、年間を通しての平均温度には差がほとんどつかないことがわかる。CASE_650FF、950FF は 18:00～7:00 までの夜間のみ換気を行っているケースである為、換気の有無で最高気温はそれほど差がないものの最低気温では差がついている。「BEST」でのシミュレーションの結果としては、他のプログラムの出力結果とほぼ同じであることが確認できる。

3. 3 方位別日射量による比較

方位別の全日射量の年間積算値による比較を図5に示す。水平面日射量は与条件であり各プログラムとも差はない。「BEST」の結果を見てみると、南北面については他のプログラムの結果とほぼ一致しているが、東面の日射量が他に比べてやや小さく、逆に西面の日射量は他に比べてやや大きい結果となっている。これについては後述の日射量の時間的なずれが影響しているものと考えられる。

次に快晴日と曇天日の南面と西面の全日射量の時刻変動を図6に示す。曇天日に関しては南面、西面とも各プログラムでほとんど同じ変動となっているが、南面の快晴日を見てみるとピーク値は各プログラムともほとんど同じ値であるが、「BEST」の時刻変動が左に1時間程ずれている。これは海外のプログラムで使用している太陽位置の時刻の取り方と「BEST」での時刻の取り方の違いによるものと考えられる。「BEST」では太陽位置は毎正時の値を使用しているのに対して、海外のプログラムでは正30分の太陽位置を使用している可能性が考えられる。

3. 4 代表日の室内温度、室負荷変動による比較

1月4日と7月27日の空調制御を行わない自然室温 (CASE_600FF,900FF,650FF,950FF) での時刻変動を図7

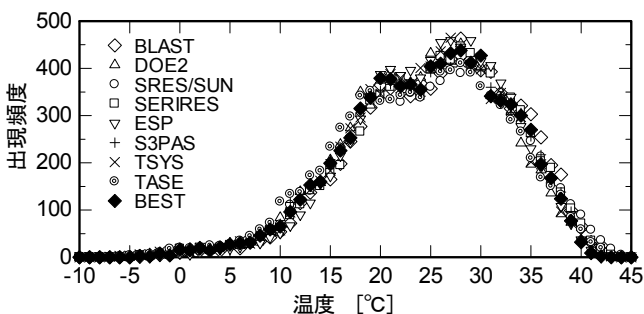


図3 温度の出現頻度 (CASE_900FF)

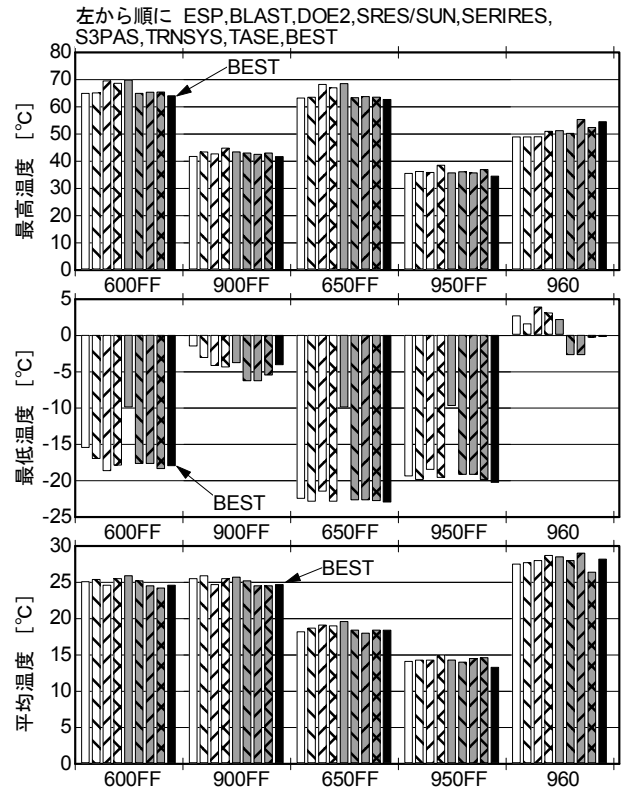


図4 自然室温ケースでの温度の比較
(上から最高温度、最低温度、平均温度)

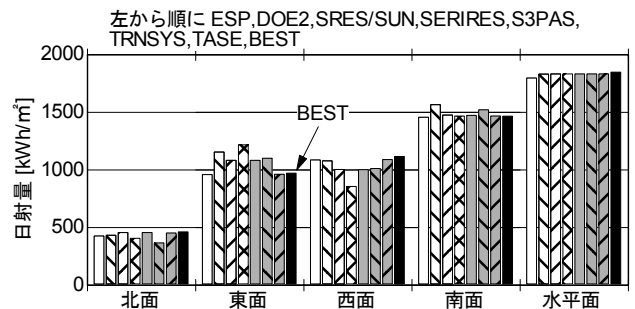


図5 方位別年間積算日射量による比較

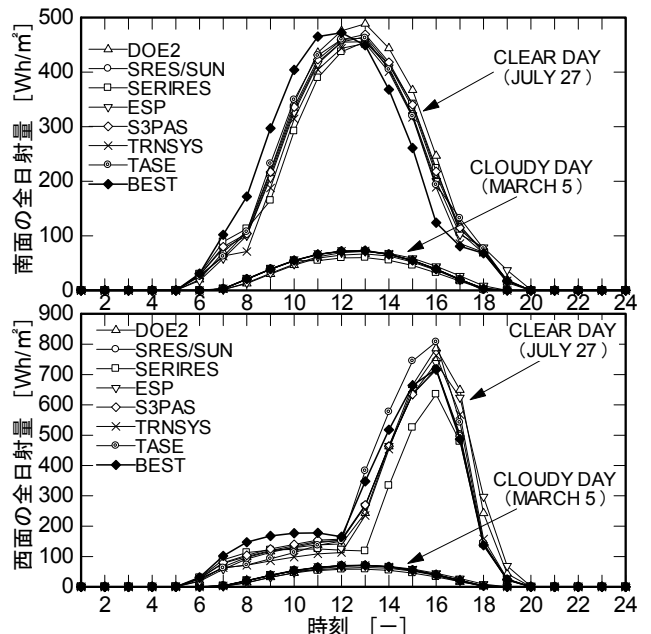


図6 全日射量の時刻変動による比較

に示す。グラフ左の1月4日の外気温は-25~10℃であるが、建物の熱容量の小さいケースでは日射の影響を受ける昼間には30℃を超えており、一日の変動幅も50℃以上と非常に大きい。それに対して熱容量の大きいケースでは変動幅も約10℃と小さいことがわかる。グラフ右の7月27日の外気温は18~35℃で、このケースでは夜間に換気を行っている為、熱容量が大きいケースでも左のグラフに比べて夜間の室温が低下傾向にあることが確認できる。両グラフとも他のプログラムの結果と比較して大きな違いは見られない。

次に冬期代表日である1月4日の、建物の熱容量が小さいCASE_600と熱容量が大きいCASE_900の室負荷の時刻変動を図8に示す。グラフ左のCASE_600では、図7で示した自然室温のケースでもわかるように、昼間は日射の影響で室温が上昇する為、冷房負荷となっており、それ以外の時間帯は暖房負荷となっている。冷房負荷側の「BEST」の時刻変動がやや左にずれているが、これは前項で述べた日射量の時間的なずれの影響によるものと考えられる。暖房負荷側にはこのような時間的なずれは見られない。グラフ右のCASE_900は暖房負荷のみとなっている。これは同様に図7の自然室温のケースを見てみると、日中でも室温は10℃程度にしかなっていないことからわかる。建物の熱容量が大きい為、日没後の暖房負荷の立ち上がりは、熱容量の小さい場合に比べて緩やかな立ち上がりとなっている。これらのケースについては他のプログラムの出力結果とほぼ同じ変動であることが確認できる。

4. まとめ

エネルギーシミュレーションツールである「BEST」の検証として、BESTEST の手法を用いた検証方法とケーススタディについて報告した。今回の検証により建物側の室温や室負荷などのシミュレーション結果について大きな問題は無いことが確認できた。今後は日射量の時間的なずれなどプログラムの修正を行いつつ、窓面の透過日射量などによる比較検証を行っていく予定である。

【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)、建築・空調設備作業部会 (石野久彌部会長)、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: 一ノ瀬雅之 (東京理科大学)、内海康雄 (宮城高専)、郡公子 (宇都宮大学)、長井達夫 (東京理科大)、羽山広文 (北海道大学)、上田博嗣 (大林組)、木下泰斗 (日本板硝子)、後藤裕 (三機工業)、菰田英晴 (鹿島建設)、芝原崇慶 (竹中工務店)、平林啓介 (新日本空調)、松村一誠 (清水建設)、渡邊剛 (NTT ファシリティーズ)、協力委員: 瀧澤博 (元鹿島建設)、菅長正光 (自営)、二宮博史、國吉敬司、篠原奈緒子 (以上、日建設計)、オブザーバー: 野原文男 (日建設計)、事務局: 生稲清久 (建築環境・省エネルギー機構)

【参考文献】

- 1) R.Judkoff, J.Neymark : International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method : February 1995
- 2) Rovert H. Henninger, Michael J. Witte : EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001 (BESTEST) : June 2004

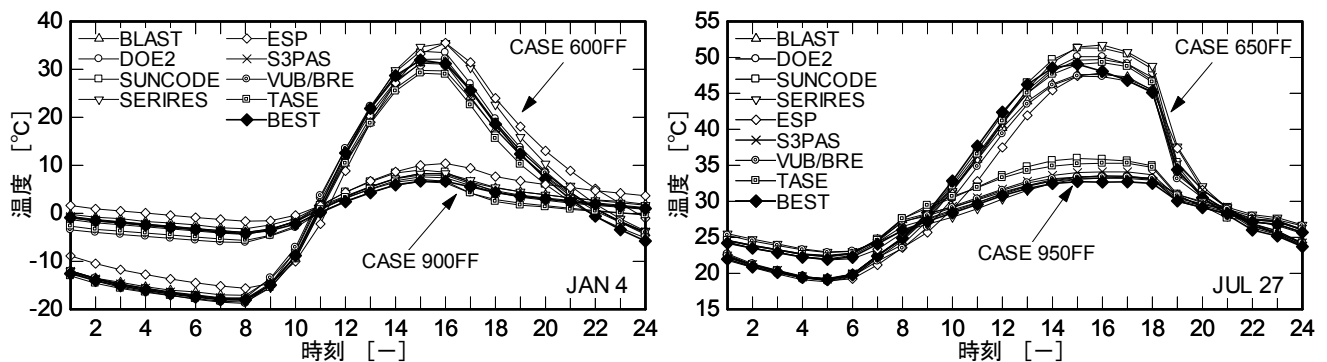


図7 代表日の室温の時刻変動による比較 (左: 1月4日、右: 7月27日)

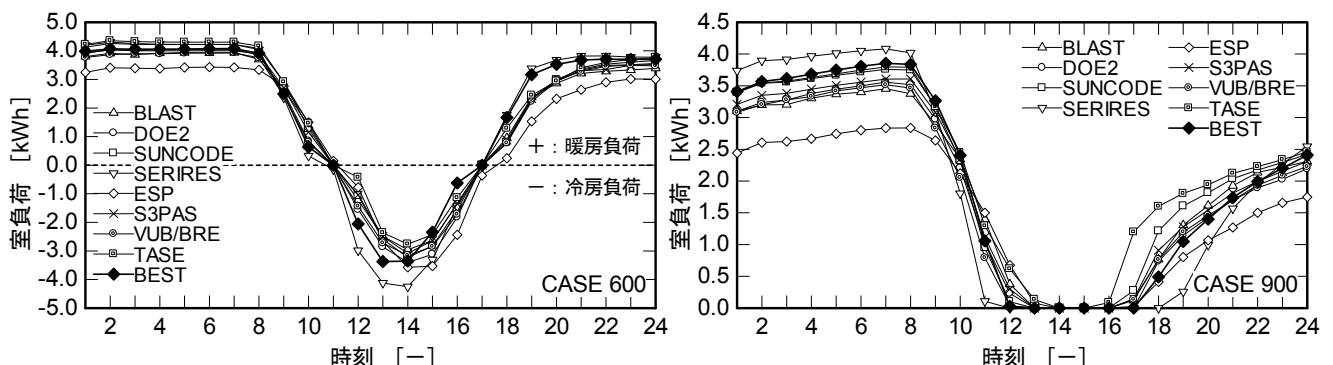


図8 1月4日の室負荷の時刻変動による比較 (左: CASE_600、右: CASE_900)