

## 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 163）

## BESTEST による空調エネルギー計算の検証

## Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST(Part 163)

## Validation of the Performance of Space-Cooling and Space-Heating Equipment by BESTEST

正 会 員○二宮 博史（日建設計）

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 石野 久彌（首都大学東京名誉教授） 技術フェロー 長井 達夫（東京理科大学）

Hiroshi NINOMIYA\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup>Hisaya ISHINO\*<sup>3</sup> Tatsuo NAGAI \*<sup>4</sup>\*<sup>1</sup> Nikken Sekkei Ltd.\*<sup>2</sup> Institute for Building Environment and Energy Conservation\*<sup>3</sup> Tokyo Metropolitan University \*<sup>4</sup> Tokyo University of Science

This paper describes validation of the calculated results about the performance of Space-Cooling and Space-Heating Equipment by BESTEST which was developed in IEA to establish verification method of energy simulation programs. As a result of these inspections, it is confirmed that the calculated results in BEST-P is proper.

## はじめに

LEEDやGreenMarkの評価項目の一つであるエネルギー消費量の計算は、使用するシミュレーションプログラムがBESTEST<sup>1)</sup>を実施していることが必要条件となっている。既報<sup>2)</sup>でBESTESTの建物側の計算について報告した。ここでは空調側のテストケースの計算条件の概要と、計算のために行ったBESTの設備モジュールの機能改良およびBESTESTの計算結果について報告する。

## 1. 空調側のテストの計算条件の概要

空調のテストケースには、内部発熱や外気温湿度を固定値として1か月分の冷房計算をするCE100～CE200、変動する内部発熱や外気温湿度で年間冷房計算をするCE300～CE545、暖房計算のHE100～HE200がある。CE100～CE545の冷房の各ケースの主な計算条件については既報<sup>2)</sup>で説明している。計算条件を満たすためにケースによってはBESTの設備モジュールの改造や機能追加が必要であった。

## 1.1 期間冷房計算 CE100～CE200（定常負荷）

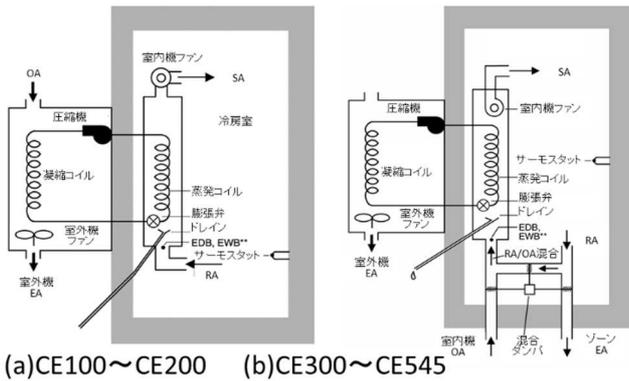
冷房対象の室は窓のない、床、外壁、屋根が1m厚の断熱材の直方体(8m×6m×2.7mH)で宙に浮いた設定である。隙間風や外気の導入はなく、内部発熱(顕熱、潜熱)が計算期間中固定値として与えられる。これを図1のaに示す装置で冷房を行う。気象データは外気の温湿度を計算期間中一定値としたものを使用し、2月の1か月分の冷房計算の結果を評価する。このシリーズのベースとなるCE100では、外気DBが46.1℃、室設定DBが22.2℃と空冷ヒートポンプパッケージにとっては厳しい条件が設定

されている。BESTで用意しているビル用マルチなどの機器特性は、冷房計算の外気DBの適用上限値が43℃であるため正しい計算ができない。表1はBESTESTで与えられているCE100～CE200で使用する機器特性である。これに対応するモジュールを新たに作成して計算を行った。機器特性表には外気DB(29.4～46.1℃)と室WB(15～21.7℃)に対する全熱能力と、さらに室DB(22.2～26.7℃)に対する顕熱能力が与えられており、これらの能力と装置露点温度とから乾きコイル状態と湿りコイル状態を分けた計算を行う。

その他の冷房装置の運用条件は次の通りである。冷房装置から室へは送風による100%対流方式で室内空気は完全混合、外気導入や排気は無くドレン水は室外へ排出する。室内機のファンは定速型で室外機のファンと共に圧縮機と連動運転である。室外機は空冷式でクランクケースヒータやその他補機動力は無い。冷房運転は室設定DBを超えると運転する発停制御が基本であるが、比例制御モデルの計算も可能であり、この場合の部分負荷に対しては図2のCOP特性を適用する。BESTでは、PID制御モジュールにより室設定DBとなるよう容量制御した計算を行った。湿度制御はなく成り行きである。

## 1.2 年間冷房計算 CE300～CE545（変動負荷）

冷房対象の室は窓のない、床、外壁、屋根が1m厚の断熱材の直方体(14m×14m×3mH)で宙に浮いた設定である。年間冷房計算では変動する負荷を与え、隙間風や外気の導入が計算条件として加わる。内部発熱(顕熱、潜熱)が表3に示す年間スケジュール(5種類)で与えられている。



(a)CE100~CE200 (b)CE300~CE545

図1 冷房装置の構成モデル

表1 冷房機器特性 (CE100~CE200)

室外乾球温度 [°C]	入口湿球温度 [°C]	全熱冷房能力 [kW]	顕熱冷房能力 [kW]					消費電力 [kW]	装置露点温度 [°C]
			入口乾球温度 [°C]						
			22.2	23.3	24.4	25.6	26.7		
29.4	15.0	7.19	6.31	6.87	7.28	7.48	7.66	1.62	8.9
	17.2	7.78	5.26	5.81	6.37	6.90	7.45	1.66	11.1
	19.4	8.42	4.11	4.67	5.23	5.75	6.31	1.71	13.4
	21.7	9.06	2.97	3.50	4.05	4.58	5.14	1.76	15.8
32.2	15.0	7.01	6.22	6.78	7.13	7.31	7.51	1.69	9.1
	17.2	7.57	5.20	5.72	6.28	6.81	7.37	1.74	11.3
	19.4	8.19	4.03	4.58	5.14	5.67	6.22	1.79	13.6
	21.7	8.80	2.85	3.41	3.97	4.49	5.05	1.84	15.9
35.0	15.0	6.81	6.16	6.69	6.98	7.16	7.34	1.77	9.3
	17.2	7.37	5.11	5.64	6.19	6.72	7.28	1.81	11.4
	19.4	7.95	3.94	4.49	5.05	5.58	6.14	1.86	13.8
	21.7	8.57	2.77	3.32	3.85	4.41	4.96	1.91	16.2
37.8	15.0	6.63	6.08	6.63	6.81	6.98	7.16	1.85	9.4
	17.2	7.16	5.02	5.55	6.11	6.63	7.16	1.89	11.6
	19.4	7.72	3.85	4.41	4.93	5.49	6.05	1.94	13.9
	21.7	8.27	2.68	3.24	3.76	4.32	4.85	1.98	16.3
40.6	15.0	6.43	5.99	6.49	6.63	6.81	6.98	1.94	9.6
	17.2	6.93	4.93	5.46	6.02	6.54	6.98	1.98	11.8
	19.4	7.45	3.76	4.32	4.85	5.40	5.93	2.02	14.2
	21.7	8.01	2.59	3.12	3.67	4.23	4.76	2.06	16.6
46.1	15.0	6.02	5.81	6.13	6.31	6.46	6.60	2.11	10.0
	17.2	6.49	4.76	5.29	5.84	6.37	6.60	2.14	12.2
	19.4	6.98	3.59	4.14	4.67	5.23	5.75	2.18	14.6
	21.7	7.48	2.41	2.94	3.50	4.03	4.58	2.21	16.9

室内機送風量 1530[m³/h], ファン消費電力 室内機230[W], 室外機108[W]

表2 冷房機器特性 (CE300~CE545) 外気DB35°C の例

ODB (°C)	EWB (°C)	35.00	EDB (°C)									
			12.78	15.56	18.33	21.11	23.89	26.67	29.44	32.22	35.00	
7.22	TC	22.57	24.19	25.85								
	SHC	22.56	24.19	25.85								
	kW	8.6	8.5	8.8								
10.00	TC	24.42	24.56	25.85	27.56							
	SHC	17.66	23.20	25.85	27.56							
	kW	8.6	8.6	8.8	9.1							
12.78	TC	26.79	26.81	26.85	27.56	29.28						
	SHC	11.77	17.60	23.27	27.56	29.28						
	kW	9.0	9.0	9.1	9.4	9.4						
15.56	TC		29.32	29.37	29.39	29.72	31.05	32.82				
	SHC		11.68	17.46	23.15	28.33	31.05	32.82				
	kW		9.4	9.4	9.4	9.7	9.9	9.9				
18.33	TC			32.01	32.07	32.12	32.26	32.92	34.63			
	SHC			11.49	17.20	22.87	28.28	32.68	34.63			
	kW			9.8	9.8	9.8	9.9	10.0	10.2			
19.44*	TC					33.28	33.28	34.63				
	SHC					26.04	26.04	27.56				
	kW					10.0	10.0	10.2				
21.11	TC				34.82	34.94	35.02	35.05	35.41	36.45		
	SHC				11.22	16.87	22.48	27.96	32.97	36.45		
	kW				10.2	10.3	10.3	10.3	10.3	10.5		
23.89	TC					37.81	37.96	38.07	38.10	38.28		
	SHC					10.87	16.47	22.03	27.49	32.72		
	kW					10.7	10.7	10.7	10.7	10.8		
26.67	TC						40.96	41.15	41.29	41.33		
	SHC						10.48	16.02	21.52	26.95		
	kW						11.2	11.2	11.2	11.7		
29.44	TC							44.23	44.49	44.64		
	SHC							10.03	15.51	20.95		
	kW							11.7	11.7	12.2		
32.22	TC								47.66	47.92		
	SHC								9.54	14.95		
	kW								12.2	12.2		
35.00	TC									51.18		
	SHC									9.03		
	kW									12.7		

ODB (外気DB), EWB (吸込WB), EDB (吸込DB), TC (全熱能力), SHC (顕熱能力), kW (圧縮機消費電力)

年間を8期間(中には1日だけの期間もある)に分けて内部発熱(顕熱, 潜熱)の日スケジュールが設定されている。日スケジュールの時間帯の区分は期間によって異なる。室設定温度は5種類(15, 20, 25, 35, 昼25夜35°C)でCE350のように昼と夜で室設定温度が違うケースが含まれる。隙間風は3種類(0, 5.8, 11.6回/h)、外気量は4種類(0, 1.7, 5.8, 11.6回/h)である。隙間風と外気量には日スケジュールがあり、時間帯で風量を変化させる。CE400~CE440は外気冷房を行い、温度、エンタルピー、判断値などで制御方法を変えた5ケースである。CE500~545は隙間風と外気量が無いケースである。計算条件に対応するため目標温度と外気導入量をスケジュールで変化させる機能を新たに制御モジュールに追加して計算を行った。

年間冷房計算で使用する機器特性のうち外気 DB が35°Cのものを表2に示す。表2の他に外気DBが12.78°C、18.33°C、23.89°C、29.44°C、40.56°C、46.11°Cにおける同様の特性表が用意されている。これらの複数の表に定義された特性にも対応するよう計算機能を追加した。

冷房は図1のbに示す装置で行う。期間冷房計算のaに外気導入装置が追加されている。室内機のファンが連続運転となる以外は、期間冷房計算の冷房装置の運用条件に同じである。

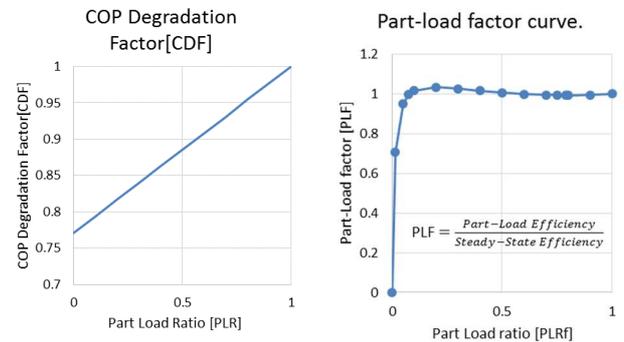


図2 冷暖房装置の部分負荷特性 (COP, PLF)

表3 内部発熱スケジュール (CE300~CE545)

期間	開始月日	時間帯	CE300	CE310	CE360	CE500	CE510
		【時】【時】	顕熱[W] 潜熱[W]				
1月1日	0 8	20	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
		8 20	2931 366	2931 1466	2931 366	0 0	0 0
		20 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
3月11日	0 9	9 18	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
		9 18	7034 1466	7034 7034	7034 1466	7034 2858	7034 2858
		18 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
4月11日	0 6	6 20	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
		8 20	2931 366	2931 1466	2931 366	0 0	0 0
		20 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
4月12日	0 8	8 19	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
		8 19	9379 1466	9379 7034	9379 1466	9379 3810	9379 3810
		19 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
4月21日	0 8	8 12	7034 0	7034 7034	29310 0	7034 2858	21103 8573
		8 12	9379 1466	9379 7034	29310 1466	9379 3810	21103 8573
		12 14	14069 1466	14069 9379	29310 1466	14069 5715	14069 5715
		14 16	18758 1466	18758 9379	29310 1466	18758 7621	21103 8573
		16 20	9379 1466	9379 7034	29310 1466	9379 3810	21103 8573
		20 24	7034 0	7034 7034	29310 0	7034 2858	21103 8573
		20 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
10月13日	0 8	8 16	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
		8 16	9379 1466	9379 7034	9379 1466	9379 3810	9379 3810
		16 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
10月19日	0 8	8 12	2931 0	2931 1466	2931 0	0 0	0 0
		8 12	9379 1466	9379 7034	9379 1466	9379 3810	9379 3810
		12 14	14069 1466	14069 9379	29310 1466	14069 5715	14069 5715
		14 16	18758 1466	18758 9379	29310 1466	18758 7621	21103 8573
		16 20	9379 1466	9379 7034	29310 1466	9379 3810	21103 8573
		20 24	7034 0	7034 7034	7034 0	7034 2858	7034 2858
		20 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
11月6日	0 8	8 20	2931 366	2931 1466	2931 366	0 0	0 0
		8 20	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0
		20 24	2931 0	2931 0	2931 0	0 0	0 0

\* 期間開始月日の10月13日は、CE500とCE510では10月12日

### 1.3 暖房計算 HE100~HE200

暖房対象の室は窓のない、床と外壁が1m厚の断熱材で屋根が熱貫流率0.0714W/(m・K)厚さ10mmの部材の直方体(8m×6m×2.7mH)で宙に浮いた設定である。冷房の条件とは屋根部材の設定が異なる。内部発熱、隙間風と外気の導入はない。暖房は密閉型燃焼機器の1~3月の3か月の計算結果で評価する。機器能力(特性→図2のPLF)、外気と室の設定温度、バーナーなどの運転方法が与えられる。

その他の暖房装置の運用条件は次の通りである。暖房装置から室へは循環ファンの送風による100%対流方式で、室内空気は十分に混合されるものとする。室への外気導入や排気は無く、燃焼用空気は直接外気から取り込む。燃焼ガスはドラフトファンによって直接室外へ排気する。ドラフトファンはバーナーと連動、循環ファンは連続運転あるいはバーナーと連動である。密閉型燃焼機器モジュールは与えられた機器特性で新たに作成したものを使用した。暖房計算の主な計算条件の一覧を図7に示す。

### 1.4 BESTEST 計算のための未対応機能の実装

BESTESTの計算上、未対応の機能をビル用マルチの室内機と室外機モジュールに実装した。また、暖房計算に使用するFF式暖房機モジュールを開発した。その専門版の入力画面の一部を図4に示す。次の①~⑤の追加機能は画面から指定可能である。①室外機の機器種別メニューにBESTESTで使用する機器特性を追加し期間冷房と年間冷房の計算に対応した。②室外機ファンの消費電力の入力項目を追加し、③圧縮機と連動する・しないを指定可能とした。④室内機に取り入れ外気量を外部からの操作量信号で制御する計算に対応した。⑤FF式暖房機のファンをバーナーと連動する・しないを指定可能とした。

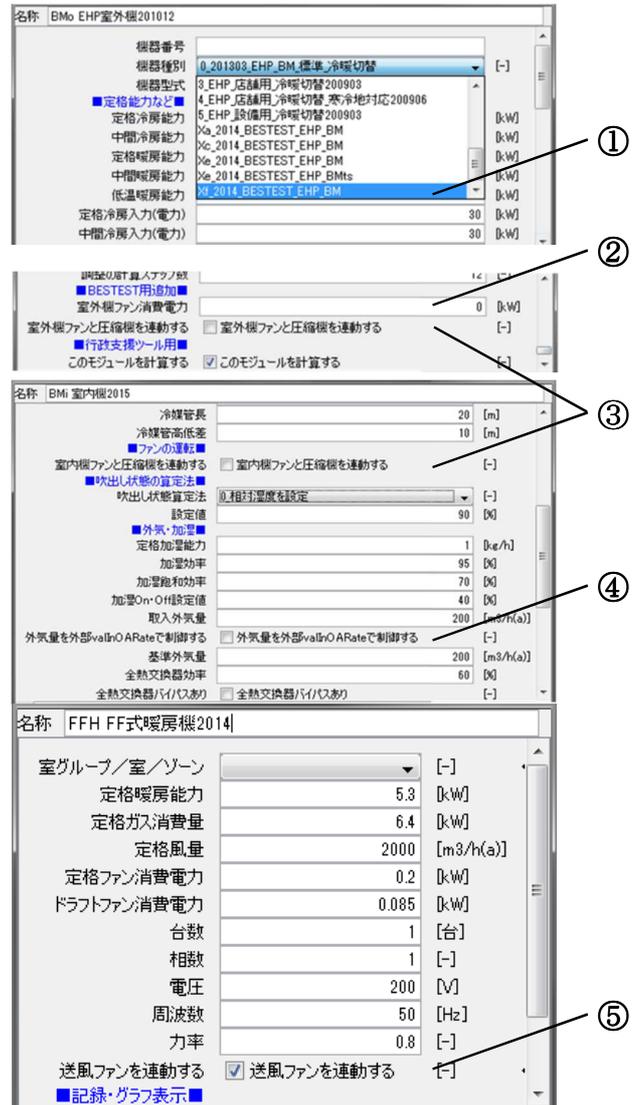


図4 ビル用マルチ等の入力画面(一部分を表示)

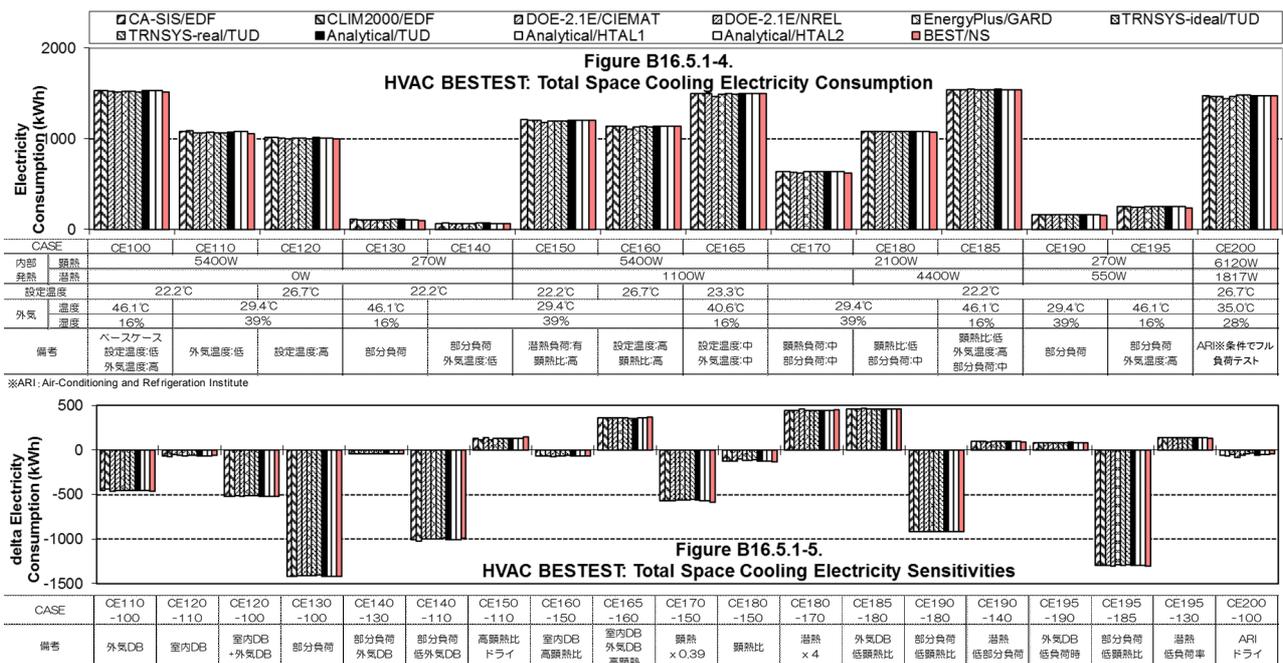


図5 CE100からCE200の消費電力量の比較(下段は2ケースの消費電力量の差による感度分析)

## 2. 計算結果

期間冷房計算CE100～CE200の計算結果の例として図5の上段に2月1か月分の消費電力を示す。下段にはそれらのケース間の差による感度分析を示す。凡例にある11種類のシミュレーションプログラムの計算結果を、ケース毎に棒グラフで表している。BEST以外の計算結果はBESTESTツールとして予め用意されているものである。各ケースの棒グラフの右端がBESTの計算結果であり全ケースで他のプログラムの結果と同等の値となっている。

年間冷房計算CE300～CE545の計算結果の例として図6の上段に消費電力を示す。下段にはコイル負荷を示す。年間冷房計算では7種類のシミュレーション結果で、右端がBESTの結果であり他のものと同等の値となっている。

図7はCE300の6月28日の室DB, WB, コイル負荷の日変化で、他のシミュレーションと同様の変化である。

暖房計算HE100～230の計算結果の例として図8に負荷と入力の結果を示す。暖房計算は5種類のシミュレーション結果で、BESTの結果は他と同等の値となっている。

室環境など他の評価指標でも他のシミュレーションプログラムの結果と同等であり、BESTの期間冷房、年間冷房および暖房計算の結果の妥当性を確認した。

## 3. まとめ

空調のBESTESTをBESTツールに対して行い、その計算結果が他のシミュレーションプログラムのものと同等であることを確認した。テスト用の空調モデルはシンプルなものであるが、計算条件を満たすために新たな計算機能を追加する必要があり、改良したモジュールで計算を行った。最新のBESTにはこの新たな計算機能と改良モジュールが実装されている。

【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企画開発委員会(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、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：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), 野瀬暁則(大林組), 工月良太(東京ガス), 郡公子(宇都宮大学), 菺田英晴(鹿島建設), 佐藤誠(佐藤エネルギーリサーチ), 芝原崇慶(竹中工務店), 新武康(清水建設), 田中拓也(大成建設), 長井達夫(東京理科大学), 二宮秀興(鹿児島大学), 野原文男, 長谷川蔵, 滝澤総, 二宮博史, 丹羽勝巳, 久保木真俊, 飯田玲香(以上, 日建設計), 柳井崇, 品川浩一, 山本佳嗣(以上, 日本設計) 事務局：生稲清久, 石田真理(以上, 建築環境・省エネルギー機構)

【文献】1) ANSI/ASHRAE Standard 140-2011: Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs

2) 平林・村上・石野・郡・内海：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15報BESTESTによる検証とケーススタディ, 日本建築学会大会学術講演梗概集 {2009.8 (東北)}

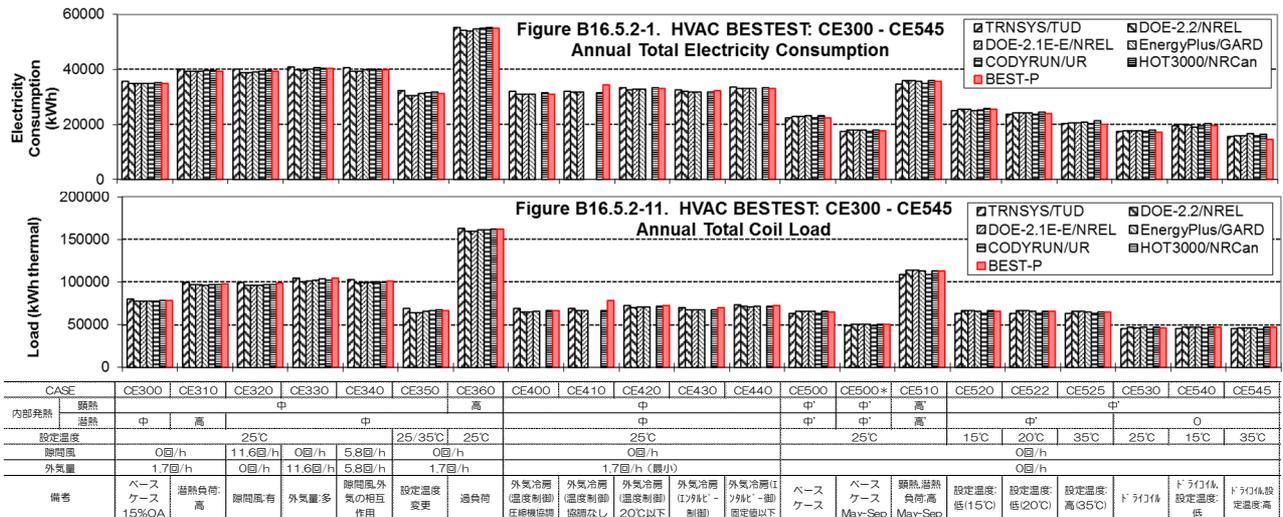


図6 CE300 から CE545 の消費電力量とコイル負荷の結果

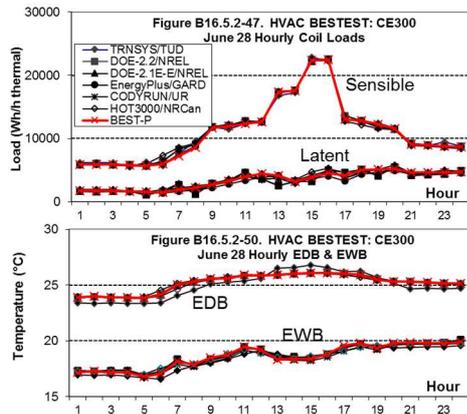


図7 CE300 の室 DB・WB と負荷

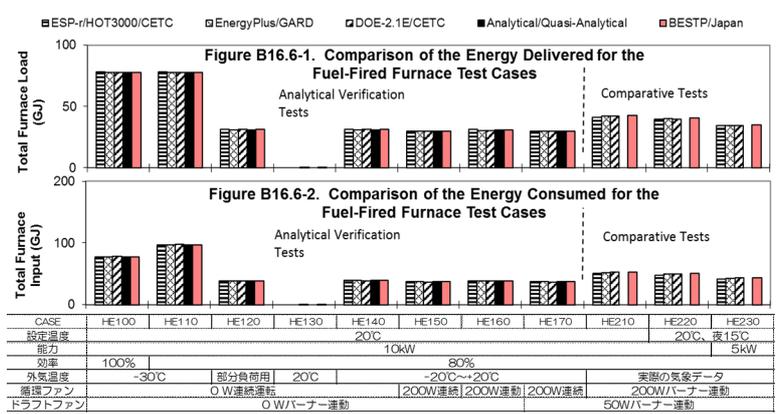


図8 HE100 から HE230 の負荷と入力の結果