

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58）

ケーススタディの目的と概要

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 58)

Outline of Software Testing Method and Case study

正会員 丹羽 勝巳（日建設計）

名誉会員 村上 周三（建築研究所）

正会員 石野 久彌（首都大学東京大学院）

正会員 郡 公子（宇都宮大学）

正会員 松本 明広（日建設計）

正会員 久保木 真俊（日建設計）

Katsumi NIWA*₁ Shuzo MURAKAMI*₂ Hisaya ISHINO*₃ Kimiko KOHRI*₄

Akihiro MATSUMOTO*₁ Masatoshi KUBOKI*₁

*₁ NIKKEN SEKKEI Ltd. *₂ Chief Executive, Building Research Institute, Dr.Eng

*₃ Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng *₄ Associate Prof., Utsunomiya Univ., Dr.Eng

The purpose of this study is to analyze the effectiveness of BEST for an integrated energy simulation tool for buildings. This study is a series of the testing method and case study of software, according to the air conditioning system types of buildings, and this study is focus on variable refrigerant flow (VRF) air conditioning system. It is confirmed the result is described the hourly load trend for outdoor unit and each indoor unit installed by zoning.

1. はじめに

BESTプログラム開発においては、プログラム作成者によるテストとして、テスト自動化の有力なツールであるJUnitを用いた単体テストを行っている。本報においては、その次のステップとして、開発者とは独立したテストチームによるシステムテスト、および、実建物を対象としたBEST適用のケーススタディの概要と代表的なケーススタディ結果について紹介する。

BESTのユーザーは、研究者・設計者・施工者・運転管理者など様々な立場のユーザーが存在し、開発者が当初想定していた使い方のみならず、思いがけない使い方をされることが予想される。テストチーム（ここではテストSWGのことを指す、末尾謝辞参照）はこれらの幅広いユーザーに先駆けて、BESTを様々な種類の実建物に対して、様々な視点で適用してみることで、BEST開発の課題を抽出し、ソフトウェアの品質向上につなげることを目標としている。テストチームは、エンジンのアルゴリズムチェックのような深くプログラム内容に係わるようなチェックは行わないが、テスト実施を通して、マニュアルやGUI、用語・単位などの検討を行っている。これらの検討結果は、改善要望としてまとめ、開発チームに伝達することで、BESTはバージョンアップを重ねるごとに改善されている。データの移行・変換に用いるマイグレーション・ツールに対する使い勝手上的要望なども、テストチームから発信している。

2. ソフトウェアテストの状況

BESTのソフトウェアテストは、開発と無縁のクリーンなマシンで実行した。パッケージ空調機、ヒートポンプチャラー、蓄熱槽、VAVユニットなど熱源・二次側空調のモジュールを中心に、システムテストを実施し、システム単位で入出力値のチェックを実施している。さらに、ケーススタディを通して全般的なテストを実施している。

3. ケーススタディの目的

テストチームでは、実建物を対象としたケーススタディを、ソフト開発者や研究者の視点ではなく、より多くのユーザーと立場を同じくする設計者や施工者、運転管理者などの実務者の視点に立って、多数の事例について行うこと目指している。BESTプログラムに入力するために、実建物をモデル化する過程においては、一般的な建物・設備をどのような精度でモデル化できるか、想定外のシステムをどのようにモデリングすることで適切な計算結果が得られるかなど、入力時の精度に関する検証が可能である。また、入力と計算に実際に必要な日数・人数など、実務的には重要な情報の収集も期待している。

4. ケーススタディの概要

当面のケーススタディは、エネルギー消費や室内環境の実測データが既に得られている運用段階の建物を中心

表1 ケーススタディの概要とシステム・フェーズの一覧表

名称	所在地	規模・用途	概要	熱源・空調システム	対象建物のフェーズ、比較データ	備考
Aビル	東京	14階建、延床21,000㎡、事務所	セントラル空調方式の建物を対象とした衛生・電気を含むビル全体のスタディ	冷温機+氷蓄熱、VAV空調	運用段階、室内環境実測結果および用途別個別エネルギー消費量と比較	第59報に詳述
Bビル	東京	12階建、延床10,000㎡、事務所	個別空調方式の建物を対象とした衛生・電気を含むビル全体のスタディ	ビル用マルチパッケージ空調	施工段階、他のエネルギーシミュレーション結果と比較	本報
Cビル	群馬	9階建、延床6,500㎡、事務所	セントラル空調方式の建物を対象とした衛生・電気を含むビル全体のスタディ	大温度差水蓄熱、VAV空調	運用段階、用途別・部位別エネルギー消費量と比較	第60報に詳述
Dビル	東京	基準階のうち約450㎡、事務所	セントラル空調方式を対象とした空調に関する1テナントについてのビル一部分の部分的なスタディ	DHC(検討対象外)、VAV空調	運用段階、室内環境実測結果およびエネルギー消費量と比較	
Eビル	東京	基準階約1000㎡、事務所	個別空調方式の建物を対象とした基準階についてのビル一部分の部分的なスタディ	ビル用マルチパッケージ空調	運用段階、用途別・部位別エネルギー消費量と比較	

表2 テストケースの建物入力条件 (Bビル)

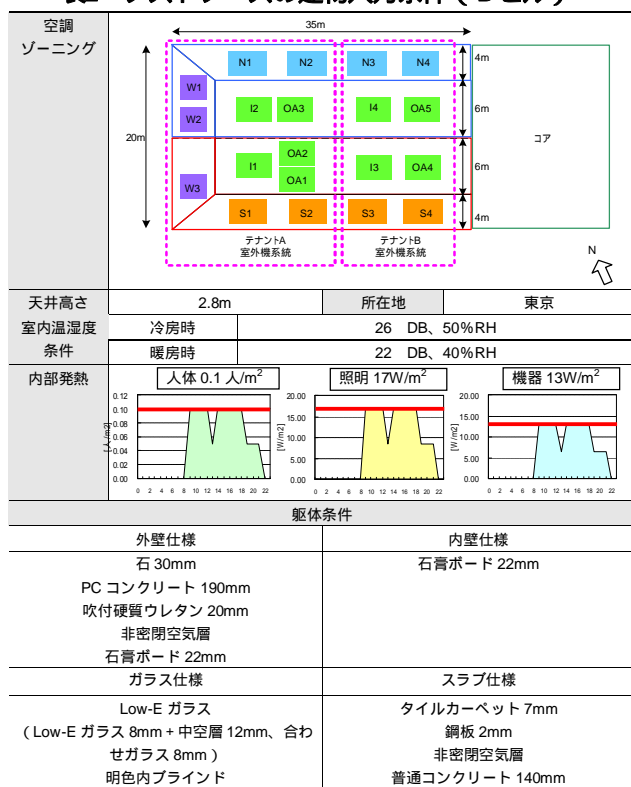


表3 負荷計算結果との比較

テナントA	ゾーン名	床面積	MicroPeakによる負荷最大値	選定機器	MicroPeakによるゾーン毎の負荷	BEST計算によるゾーン毎の負荷
室外機			88.6 kW 1	90.0 kW		
室内機負荷			51.7 kW 2		kW	
外気負荷			14.0 kW 3		kW	
室内機	北	33 ㎡	4.892 kW	N1 5.6 kW	148 W/㎡	147.36 W/㎡
	北	33 ㎡	4.892 kW	N2 5.6 kW	148 W/㎡	147.36 W/㎡
	南	33 ㎡	5.595 kW	S1 7.1 kW	170 W/㎡	155.19 W/㎡
	南	33 ㎡	5.595 kW	S2 7.1 kW	170 W/㎡	155.19 W/㎡
	西2	32 ㎡	7.106 kW	W1 11.2 kW	222 W/㎡	189.26 W/㎡
	西1	32 ㎡	6.762 kW	W2 11.2 kW	211 W/㎡	269.55 W/㎡
	西1	21 ㎡	5.503 kW	W3 9.0 kW	262 W/㎡	269.55 W/㎡
	インテリア1	93 ㎡	10.469 kW	I1 11.2 kW	113 W/㎡	111.34 W/㎡
	インテリア2	93 ㎡	10.469 kW	I2 11.2 kW	113 W/㎡	111.34 W/㎡
	インテリア1	(-)	処理風量800m ³ /h	OA1 7.0 kW		
	インテリア1	(-)	処理風量800m ³ /h	OA2 7.0 kW		
	インテリア2	(-)	処理風量800m ³ /h	OA3 7.0 kW		
テナントB			負荷計算最大値	選定機器	MicroPeakによるゾーン毎の負荷	BEST計算によるゾーン毎の負荷
室外機			45.0 kW 1	45.0 kW		
室内機負荷			31.6 kW 2		kW	
外気負荷			8.5 kW 3		kW	
室内機	北	33 ㎡	4.797 kW	N3 5.6 kW	145 W/㎡	147.36 W/㎡
	北	33 ㎡	4.797 kW	N4 5.6 kW	145 W/㎡	147.36 W/㎡
	南	33 ㎡	5.595 kW	S3 7.1 kW	170 W/㎡	155.19 W/㎡
	南	33 ㎡	5.595 kW	S4 7.1 kW	170 W/㎡	155.19 W/㎡
	東1	93 ㎡	10.469 kW	I3 11.2 kW	113 W/㎡	113.58 W/㎡
	東2	93 ㎡	10.469 kW	I4 11.2 kW	113 W/㎡	113.58 W/㎡
	東1	(-)	処理風量600m ³ /h	OA4 5.6 kW		
	東2	(-)	処理風量600m ³ /h	OA5 5.6 kW		

- 1) 機器および冷媒管補正等を含む
- 2) ピーク時における負荷を示す
- 3) 全熱交換効率60%として想定

準階のゾーニング、内部発熱、躯体条件は表2に示す。計算上、方位ごとにゾーニングを設定し、各ゾーンに複数かつ異なる容量の室内機を配置している。室内温湿度条件は、実際の設定値を用いている。各ゾーン間には、ゾーン間換気を想定している。この結果、各ゾーン、各室内機の室温・負荷は個々に変動している。室内機の処理熱量の変化に連動して、屋外機の処理熱量も変動している。

6-1. 計算結果：(1)選定室内機との比較

空調機選定の際のMicroPeakによる計算結果、選定機器およびBESTシミュレーションによる計算結果との比較を示す。BESTシミュレーションの熱負荷計算は2006年8月10日の気象データを用いて行った(図1)。ゾーン毎の計算結果については、MicroPeakによる結果と概ね一致することが確認された(表3)。

に進めることとしている。BESTのシミュレーション結果と実測結果の比較検証により、計算精度の妥当性の検証も行うこととしている。ビル全体ばかりで無く、サブシステム単体に対してのBESTの適用のケーススタディも現在実施中である(表1)。

5. Bビルにおけるテストケースの事例

個別空調方式の建物を対象としたビル全体の代表的テストケースとして、Bビルのスタディ結果を報告する。

モデル化にあたり、実際のテナントオフィスビル(12階建、延床面積約10,000㎡)を対象とし入力を行った。本論文ではBEST Ver.0.2.9を用いて計算を実施した。基

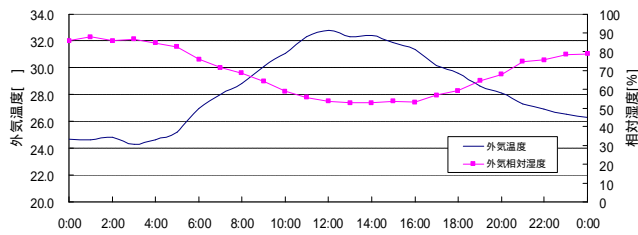
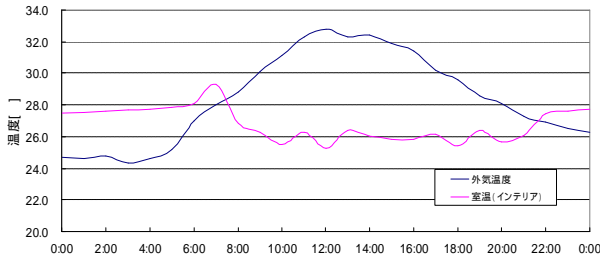


図1 夏季代表日 気象条件および室温変動



6-2. 計算結果：(2)室内機の時刻別負荷変動

図2にBESTシミュレーションによる、夏季代表日(2006年8月10日)における各室内機、室外機の時刻別の全熱および顕熱処理負荷を示す。インテリアゾーンにおいては立ち上がり時刻を除くとほぼ一定の負荷が確認された。南側および西側ペリメータゾーンにおいては、それぞれ昼前後および夕刻において処理負荷が増加していることがわかる。

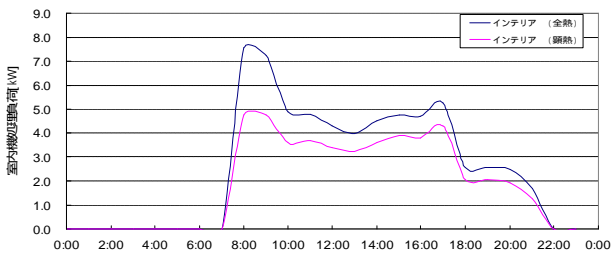


図2-1 夏季代表日 室内機時刻別処理負荷変動

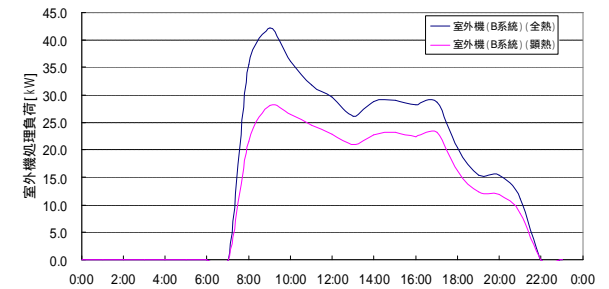
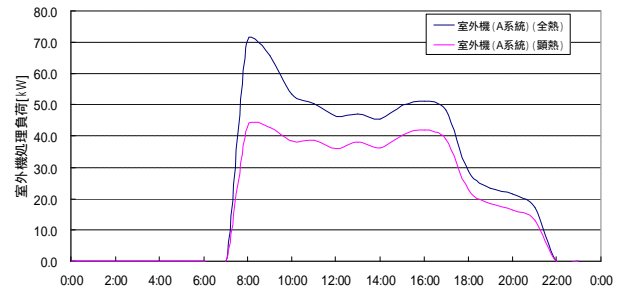


図2-2 夏季代表日 室外機時刻別処理負荷変動

6-3. 計算結果：(3)ゾーン換気の影響

図3-1、3-2に、ゾーン間換気量を変化させた場合の各室内機、室外機のBESTシミュレーション計算結果を示す。ゾーン間換気量は、250CMH/m、150CMH/m、0CMH/mの3パターンについて行った。インテリアゾーンにおいて、ゾーン間換気を行った場合に空調立ち上がり時における処理負荷の増加が確認できる。

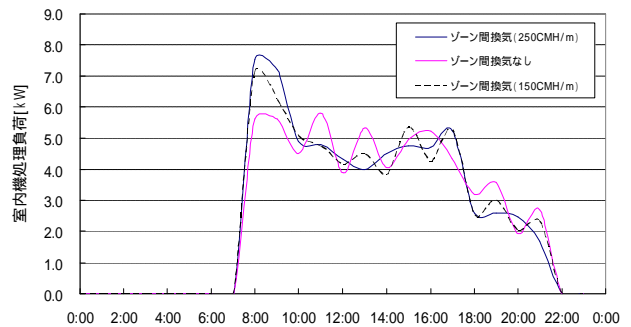
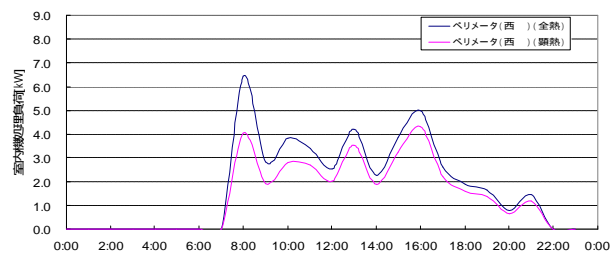
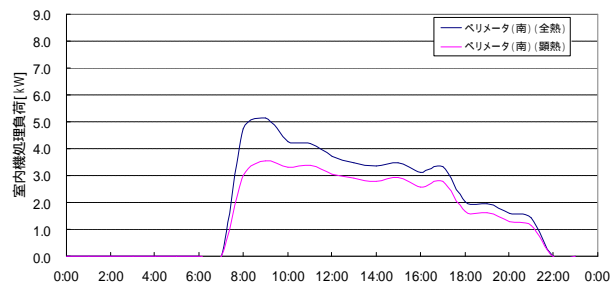


図3-1 ゾーン間換気量毎の時刻別処理負荷変動 (インテリア系統)

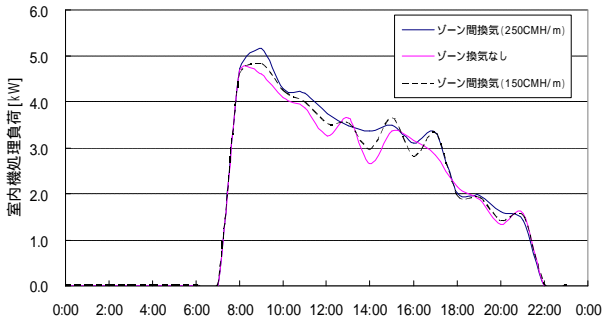


図3-2 ゾーン間換気量毎の時刻別処理負荷変動
(ペリメータ南系統)

6-4. 計算結果：(4)設定機器容量の影響

図4に空調稼働時間の冷房負荷デレレーションカーブを示す。このように空調ゾーンごとの負荷の出現頻度を容易に求めることが可能であるため、後述のように非省エネ運転を招く過大な熱源容量選定の回避が可能である。

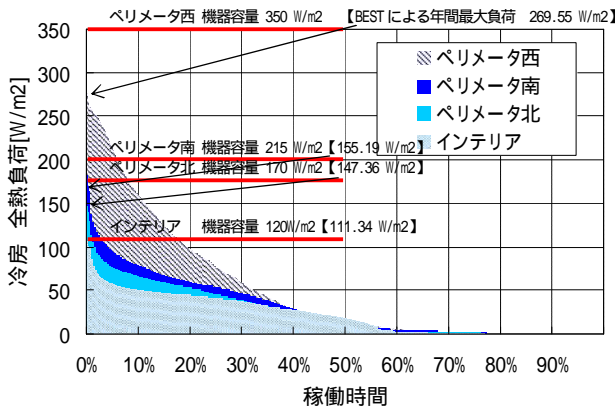


図4 冷房負荷デレレーションカーブ

室外機の選定容量を各ゾーンのピーク負荷の積算値で選定した場合、同時稼働率を加味した容量選定をした場合での年間のエネルギー消費を比較した(図5)。

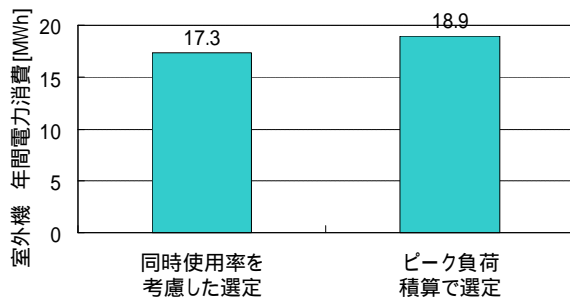


図5 室外機容量の違いによるエネルギー消費

差異は約9%となり、適切な熱源容量選定による省エネルギー効果を確認した。

選定機器容量を変化させた場合におけるBESTシミュレーション計算結果を示す(図6)。室内機容量を実際の負荷に近い150W/m²から300W/m²程度とするなど、それぞれ負荷の2倍の機器能力を選定した場合の各々の時刻別処理負荷の検討を行った。室内機、室外機ともに容

量を過大とした場合において間欠運転の発生が再現されている。

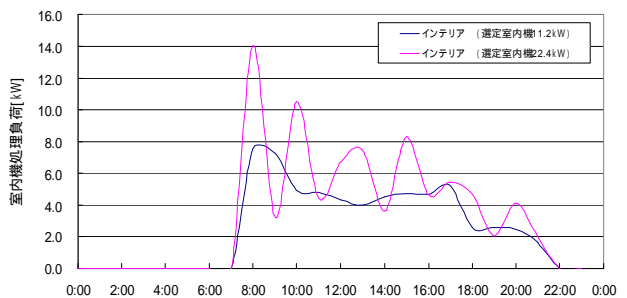
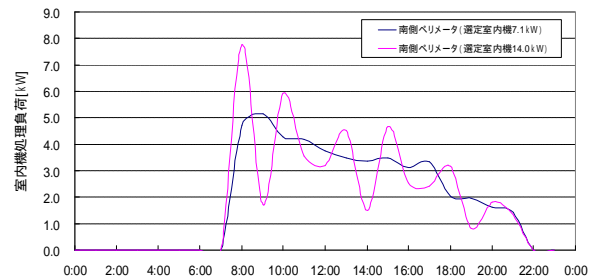


図6 機器容量を変化させた場合の時刻別処理負荷変動

7.まとめ

BESTに関するソフトウェアテスト全般とケーススタディの状況について紹介を行った。本報に示したパッケージ空調方式を対象とした詳細な挙動解析などは、従来のシミュレーションソフトでは容易に検討できなかった事項であり、今後も更なる詳細分析を予定している。なお、BESTは多様なユーザーを対象としており、その検討対象も電気・空調・衛生など広範囲であることから、開発チームによるテストには限界がある。本報で示すとおり、開発チームとは別な立場でテストを継続的に実施していくことが、BESTのソフトウェアの品質を高いレベルに向上することにつながる。テストチームでは更にメンバーを拡充し、より多くのテストやケーススタディを行うことで、BEST開発に貢献していきたいと考えている。また、テストチームだけでなく、今後はBESTのユーザーが更に拡大し、そこからの多様な要望に応えるべくBEST開発が進展していく事で、ますますBESTの利便性・応用範囲が拡大していくものと思われる。

【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 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)、テストSWG(丹羽勝巳主査)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。
テストSWG名簿(順不同) 主査:丹羽勝巳(日建設)、委員:石野久彌(首都大学東京名誉教授)、郡公子(宇都宮大学)、柳井崇(日本設計)、瀧澤博(元鹿島建設)、小池正浩、田村暢茂、山田 裕明(以上、竹中工務店)、芦村昌士(安藤建設)、滝澤知史、田中祐輔(以上、三菱地所設計)、大西晴史、阿部有希子(以上、関電工)、松本明広、久保木真俊(以上、日建設) 事務局:生稻清久(建築環境・省エネルギー機構)