

## 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1)

## BEST 開発の背景と趣旨

## Development of an Integrated Energy Simulation Tool

## for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 1)

## Macrodesign of the Tool

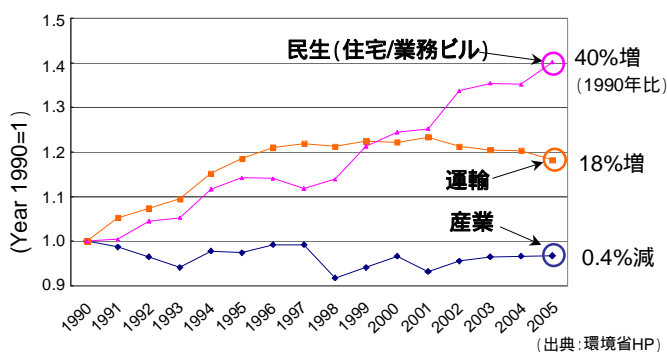
特別会員	村上 周三 (慶応義塾大学)	特別会員	松尾 陽 (東京大学名誉教授)
正会員	坂本 雄三 (東京大学)	正会員	石野 久彌 (首都大学東京)
正会員	大塚 雅之 (関東学院大学)	正会員	赤坂 裕 (鹿児島工業高等専門学校)
正会員	滝澤 総 (日建設計)	正会員	野原文 男 (日建設計)

Shuzo MURAKAMI\*<sup>1</sup> Yo MATSUO\*<sup>2</sup> Yuzo SAKAMOTO\*<sup>3</sup>Hisaya ISHINO\*<sup>4</sup> Masayuki OTSUKA\*<sup>5</sup> Hiroshi AKASAKA\*<sup>6</sup> So TAKIZAWA\*<sup>7</sup> Fumio NOHARA\*<sup>7</sup>\*<sup>1</sup> Keio University \*<sup>2</sup> Emeritus Professor of Tokyo University \*<sup>3</sup> Tokyo University\*<sup>4</sup> Tokyo Metropolitan University \*<sup>5</sup> Kanto Gakuin University\*<sup>6</sup> Kagoshima National College of Technology \*<sup>7</sup> Nikken Sekkei

Prevention of global warming, i.e., the reduction of CO<sub>2</sub> emission, is an urgent and serious issue of worldwide concern. In Japan, CO<sub>2</sub> emission due to fossil energy consumption in the residences and commerce buildings has been increasing every year since 1990. For energy savings in these buildings, the development of the BEST (Building Energy Simulation Tool) is indispensable. The Ministry of Land, and Infrastructure and Transport Japan formed a committee to study the necessity of a new energy simulation tool that could assist the promotion of energy saving policies of the government. In this paper, an outline of the report of the committee is provided.

## BEST 開発の背景

地球温暖化防止は、日本だけでなく世界各国の喫緊の課題である。このための具体策としてエネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量の削減(省エネルギー)が極めて重要であるが、わが国の民生部門のエネルギー消費量は1990年以降、増加し続けている(図1)。このため、政府は省エネ法の改正をはじめ様々な方策に取り組んでいる。その一環として国土交通省では、2002年に環境性能評価システム(CASBEE)を開発・公表し持続可能な建築物を普及させるための基盤を整備した。

図1 分野別 CO<sub>2</sub> 排出量の推移

ところで、民生部門のエネルギーのほとんどは空調や照明、給湯の用途に消費されるが、これらを精度良く予測し、削減方策を検討するための適切なツールがないのが実状である。過去において1970年代のオイルショックを契機に、空調の年間エネルギー消費をコンピュータシミュレーションにするソフト(HASP/ACLD/ACSS)が1985年に開発され、その後このソフトをベースに省エネルギー法のCEC/ACを求めるためのソフト(BECS)が作られるなど我が国の空調分野における省エネルギーに大きな貢献をしてきた。しかしながら、その後のメンテナンスがなされなかったこともあり、幅広く普及しているとは言い難い。

一方、米国ではDOE(エネルギー省)が中心となって年間の空調用エネルギー消費計算プログラムであるEnergyPlusを開発し、継続的な維持管理を行っている。また、中国ではDeSTを開発し、EnergyPlusと同様に維持管理されているなど、これらの国と比較して我が国はシミュレーションツール開発・維持管理といった点において立ち遅れていることは否定できない。

このような状況を受けて国土交通省の主導により産官

学の協力で、新たなエネルギーシミュレーションツールとしての BEST ( Building Energy Simulation Tool ) 開発を推進するため、平成 17 年度に ( 財 ) 建築環境・省エネルギー機構に開発委員会が発足し、現在に至っている。本報では、当委員会における検討成果の概要について報告する。

## 1. エネルギー消費量算出ツールの現状調査

BEST のマクロデザイン作成を目的として、海外における同種のプログラム開発の実状を調査した。

### 1.1 BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics)

BLAST は 1977 年に米国陸軍建築研究所で開発され、最終版は 1998 年の BLAST3.0 である。出所は楠田氏のヒートバランス法であり、イリノイ大学で維持管理されている。熱負荷、空調システム、熱源システムに分かれており、これらを順に解く方法であるが、iBALST ( 建築と設備を同時に解く ) にその後展開されている。

### 1.2 EnergyPlus

EnergyPlus は世界標準となっていたプログラム DOE-2 ( ローレンス・バークレー国立研究所、HASP 系であり米国郵政省で開発された ) を基にしている。iBLAST と DOE - 2 を基にして 2001 年に EnergyPlus として公開された。EnergyPlus は米国 DOE の Web Site から無償で download できる。EnergyPlus はユーザーフレンドリーなインターフェースこそ持っていないが、現在世界で最も人気のあるプログラムである。

### 1.3 DOE に登録されているプログラム

DOE の登録プログラム総数は、およそ 300 本以上あり、20 以上の国々から登録されている。これらの登録プログラムの内、およそ 80 本は無償で提供される。登録プログラムの国別内訳は、アメリカ、イギリス、カナダ、ドイツ、スウェーデン、スイス ( 10 本以上 ) の順であり、日本から登録されたプログラムは未だない。また、使用目的別に分類すると、エネルギーシミュレーションの目的が最も多く、全体のおよそ 3 分の 1 を占めている。次いで負荷計算の順であり、これは全体のおよそ 4 分の 1 を占めている。

### 1.4 メンテナンス体制

DOE-2.2 はローレンス・バークレー国立研究所でメンテナンスされ、BLAST(iBLAST) はイリノイ大学で常時 10 名程度の研究者で管理されている。EnergyPlus は DOE で E-mail による質問受付を実施し、IBPSA ( 国際建物性能シミュレーション協会 ) のメーリングリストで討議されている。TRANSYS はウィスコンシン大学の太陽エネルギー研究所がサポートしており、HVACSIM+ は同じくアメリカの国家標準技術研究所にて管理されている。DeST は中国の精華大学の DeST グループに常時

20 人以上の研究者で管理されており、いずれのプログラムもメンテナンス体制がはっきりしている。BEST も開発後のメンテナンス体制を検討することは極めて重要と言える。

### 1.5 世界の新しい動向

IBPSA ( 国際建物性能シミュレーション協会 ) では建物のシミュレーションに関する国際的学会議を 2 年に 1 回開催している。IEA ( 国際エネルギー機関 ) では、太陽熱利用、空調システムシミュレーションのプログラム開発をしており、また、ツールの検証システム BESTEST を開発している。さらにシミュレーションの情報センターをネット上に計画している。STEDI プロジェクトでは、TRANSYS と CFD の連成を試みている。また、各種環境シミュレーションを標準 CAD 規格で統合する動き ( EVA ) や NMF、proforma などソフトの統一表記への取り組みが行われている。

## 2. BEST のマクロデザイン

1. の調査に基づき、BEST のあるべき方向性について検討を重ね、以下のマクロデザインを作成した。

### 2.1 オブジェクト指向プログラム<sup>1</sup>

オブジェクト指向とは、ソフトウェアの設計や開発において、操作手順よりも操作対象に重点を置く考え方で、関連するデータの集合と、それに対する手続き ( メソッド ) を「オブジェクト」と呼ばれる一つのまとまりとして管理し、その組み合わせによってソフトウェアを構築するプログラミング手法である。オブジェクトは、その内部構造や動作原理の詳細を知る必要はなく、外部からメッセージを送れば機能するため、ソフトウェアをサブシステムやコンポーネント単位に分割できるので、大規模なソフトウェアを多人数で分担して開発する場合に適している。

オブジェクト指向プログラムのメリットは、a) モデルの再利用<sup>2</sup> が行いやすい、b) 機能拡張が容易、c) 問題をモデリングしやすいことにある。BEST 開発では、OOP ( Object Oriented Programming ) とするために、

UML ( Unified Modeling Language : 統一モデリング言語 ) でプログラムを表現する

プログラミング言語はオブジェクト指向言語と言われる Java を用いる

X P ( eXtreme Programming ) 開発手法<sup>3</sup> を可能な限り踏襲する

ことにした。

1 : BEST に先行して、国土交通省大臣官房官庁営繕部等の支援を得て公共建築協会の委員会 ( 委員長村上周三 ) で開発が進められている LCEM ( Life Cycle Energy Management ) ツールでは汎用表計算ソフト上で空調用エネルギーシミュレ

ーションを実現するため、オブジェクト化セルズ法を用いている

2: 再利用はオブジェクト単位の小さいものから一つのプログラム全体まで幅広い

3: 12個ほどあると言われており、例えば、small release や simple design などがある

## 2.2 空調・電気・衛生設備の総合的エネルギー解析

これまでのエネルギーシミュレーションプログラムは、空調用のエネルギー消費量だけを求めるものであった。しかしながら、建物全体の省エネルギーに配慮する場合、空調用エネルギー消費量だけでは不十分である。そこでBESTは、空調設備だけではなく、電気設備や衛生設備のエネルギー消費量や水資源消費量を算出可能にすることを目指した。これにより、BESTは各設備間の境界条件を共有できるようになり、整合性のとれた計算を行うことが可能になる。

また、建築熱負荷や室内温熱環境、エネルギー消費に伴う排熱などの環境負荷を求めることができるなど、多彩な機能を有し、これにより幅広いユーザーのニーズに応えられるほか、省エネ法におけるPAL,CECの計算やCASBEEのような性能評価の支援ツールになることを目指すこととした。

## 2.3 ユーザーフレンドリー

プログラムは何と言っても使いやすさが重要で、究極は「マニュアルを読まないでも動かせる」ことだと考えられる。BESTは、このことを目標とした前処理(入力)UI(User Interface)を具備し、例えば、お絵かき感覚のGUI(Graphical User Interface)や、入力し易いCUI(Character-based User Interface)を用意することとした。また、利用者の必要とするグラフや表を作成する後処理(出力)UIを用意することとした。また、別途サードパーティーによる開発支援も予定している。

さらにBESTはオブジェクト指向のプログラムであることから、多様な使い勝手が可能になる。例えば、実データを使ったコミショニングなどに使うことも想定して開発を進めている。

## 2.4 外皮・躯体と設備・機器の連成解析

最近では、建築と空調設備の境界が明確ではないシステムが数多くある。例えば、エアフローウィンドウやダブルスキン、躯体蓄熱システムなどはこの典型的事例と言える。これらのシステムを有する系の熱負荷や自然室温などを求めるためには、建築と空調設備を連成して解く必要がある。

ところで、建築と空調設備を連成して解く手法には

いろいろなものがあるが、BESTでは図3に示すように、各オブジェクトにとって本来は未知数となる情報を  $t$  時間前のデータを引き渡すという方針で求めることとした。

この場合、プログラムの互換性は増すが計算精度が問題になる。そこで  $t$  の細分化により精度を保証することとした。建築と空調設備の引渡し変数は熱媒流量、熱量、温度、湿度などを想定している。

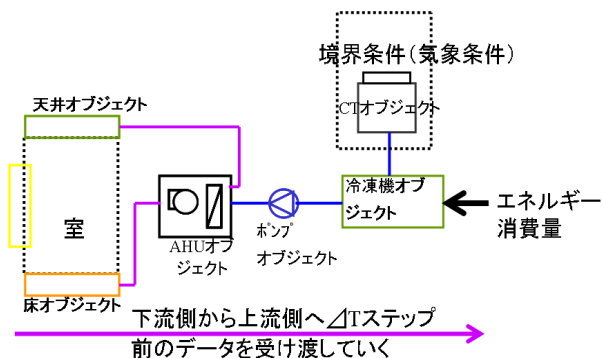


図3 建築と空調設備の連成解法のイメージ

## 2.5 計算時間間隔の可変性

これまでのHASP/ACSSやBECSをはじめとする各種エネルギー・シミュレーション・プログラムの計算時間間隔は1時間で、しかも全てのプログラムで計算時間間隔は固定であった。例えば、建築と空調設備の連成解法として、前述のような  $t$  を細分化する手法を選択した場合、いたずらにコンピュータの演算時間が増える結果を招くことが懸念される。そこで計算精度は保証しながらコンピュータの演算時間を抑える工夫として、例えば、予冷予熱時は1分、通常時は15分など計算時間間隔を可変にすることが考えられる。これにより、要求精度に応じた計算や、目的に応じた演算時間の設定を可能にする方針とした。

## 2.6 インターネットの利用

BEST開発では、図4に示すように、インターネ

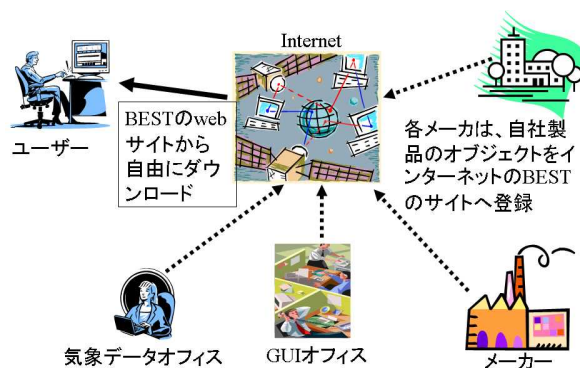


図4 web利用イメージ

ットの積極的利用を目指すこととした。これにより、利用者だけでなく、オブジェクトの最新データへの更新など多くの技術者が BEST の維持管理に web を利用できるようになるほか、ASP (Application Service Provider) サービスも可能になる。また、汎用性を持たせるため BEST の各種ファイルは XML (eXtensible Markup Language : 拡張タグ付け言語) といった汎用言語を用いることとした。

## 2.7 豊富な気象データ

拡張アメダス気象データ (Expanded AMeDAS Weather Data : EA 気象データ) は、気象庁の地域気象観測所 (アメダス) で観測された気象データの欠測を補充、異常値と判断されるデータを修正、そしてアメダスで観測されていない日射量、湿度、大気放射量のデータを補充して作成された気象データである。標準年気象データ、設計用気象データ、20 年分の実気象データがある。現在の拡張アメダス気象データは 1 時間間隔のデータであるが、BEST では、これをもとに作成した 1 分間隔のデータを使用し、また、EPW (Energy Plus Weather Data) フォーマットに準拠した海外の気象データやユーザーが作成したデータも使えるような方針とした。

## 2.8 部分負荷性能を表現する機器特性データ

機器特性データの作成・収集に関しては、既存プログラムなどのレガシーコードを利用可能な範囲で参照するほか、BEST で独自に調査を行う予定である。なお、機器の動特性については製造者のデータが入手できない場合、熱容量を与えるなどの代替手法を検討することとしている。

これまでの最大負荷計算法のみによる機器選定では、定格点における性能で評価されることが殆どであったものが、BEST を使うことで低負荷運転時を含めて年間のエネルギー消費量の予測が可能になり、かつ、その計算精度の向上を期待することができる。

## 3. 今後の課題およびツール開発について

先述したように地球温暖化問題緩和のためには一層の省エネを推進する必要があり、特に民生部門のエネルギー消費の増大傾向が顕著である。これに歯止めをかける目的で国土交通省の主導の下に産官学が協力して BEST 開発に着手した。開発にあたって、BEST のマクロデザインについて専門分野の多くの学識者、実務者の方々からなる委員会を組織し、慎重に議論し纏めた。その結果については本報の通りである。

これまで、建築や設備の設計プロセスにおいて、外

皮・躯体の設計や設備・機器の選定などにおいて、部分負荷を考慮した年間エネルギー消費計算は省略されることが殆どであった。しかしながら、BEST によってこのような従来型の設計プロセスを改革することが可能になる。即ち、新築や改築を問わず何時でも誰でも BEST を使うようにしていくことが重要と考える。このため、BEST は以下のような Tool 別の開発を行うこととした (表 1)。それぞれのツールの詳細は、続報を参照されたい。

表 1 BEST の名称と概要

	略称	名称	概要
Tool 1	BEST (又は BEST - B)	BEST BEST Basic BEST 基本版	基本ソフトであり行政支援ツールとして広く使われるもの
Tool 2	BEST - P	BEST Professional BEST 専門版	技術者が一般的な詳細設計に利用するもの、政策支援ツールにもなり得る

将来構想として以下に示す Tool 3 の開発を検討する

	略称	名称	備考
Tool 3	(仮称) BEST E	(仮称) BEST Extended (仮称) BEST 拡張版	特定の目的に対して、特に専門的に開発されたソフト

【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建築・設備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」ならびに開発委員会の活動成果の一部である。ご尽力頂いた関係各位に謝意を表する次第である。

BEST 開発普及事業研究会委員名簿 (順不同)

委員長：村上周三 (慶應義塾大学) 副委員長：松尾陽 (東京大学名誉教授) 委員：赤坂裕 (国立鹿児島高専) 石野久彌 (首都大学東京) 射場本忠彦 (東京電機大学) 猪岡達夫 (中部大学) 宇田川光弘 (工学院大学) 大塚雅之 (関東学院大学) 加藤信介 (東京大学) 鎌田元康 (神奈川大学) 坂本雄三 (東京大学) 市川徹 (東京ガス) 佐藤信孝 (日本設計) 佐藤正章 (鹿島建設) 滝澤総 (日建設計) 時田繁 (公共建築協会) 野原文男、牧村功 (以上、日建設計) 安友哲志 (三晃空調) 柳原隆司 (東京電力) 渡邊剛 (NIT ファシリティーズ) 協力委員：戸邊千広 (経済産業省) 伊藤明子、安藤恒次 (以上、国土交通省住宅局) 事務局：稗田裕史、沖村恒雄、諏佐平平、生稲清久 (以上、建築環境・省エネルギー機構) 篠原奈緒子 (日建設計)