

## 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188）

## 開発経過の検証と将来

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part188)

## Verification of the development process and its future

技術フェロー ○野原 文男（日建設計総合研究所）

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）

正会員 二宮 博史（日建設計）

正会員 飯田 玲香（日建設計）

Fumio NOHARA\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>4</sup>Hisaya ISHINO\*<sup>2</sup>Hiroshi NINOMIYA\*<sup>3</sup> Reika IIDA\*<sup>3</sup>\*<sup>1</sup> Nikken Sekkei Research Institute \*<sup>2</sup> Tokyo Metropolitan Univ. \*<sup>3</sup> Nikken Sekkei \*<sup>4</sup> IBEC

Ten years has passed since the first paper on the BEST program was reported in 2007. As this program was expected to become extremely large, we have set eight basic development targets at the beginning of the development. Since then, we have been developing this program based on them. It is said that there is no end in a program development. So, thinking 10<sup>th</sup> anniversary as a turning point, we have tried to review them for the next decade. In this paper, the result of the review and author's some expectations for the future are briefly presented.

## はじめに

2005年に（一社）建築環境・省エネルギー機構（IBEC）に開発委員会を設置し、プログラム開発に着手してから12年余が経過し、本学会大会に初めて投稿した2007年から数えると10年の年月が過ぎた。開発にあたり the BEST program（以降、単に本プログラムと呼ぶ）は、大規模なプログラムになる可能性があり、かつ、将来にわたり開発を継続する必要があることから、マクロデザインを重要視した。10年の節目の年に、これまでの開発を振り返ってマクロデザインの検証を行い、さらには次の10年に向けた期待について筆者の私見を述べる。

1. マクロデザインの検証<sup>1)</sup>

第1報で発表した本プログラムのマクロデザインは以下の通り。

- ①オブジェクト指向プログラム
- ②空調・電気・衛生設備の総合的エネルギー解析
- ③ユーザーフレンドリー
- ④外皮・躯体と設備・機器の連成解析
- ⑤計算時間間隔の可変性
- ⑥インターネットの利用
- ⑦豊富な気象データ
- ⑧部分負荷特性を表現する機器特性データ

上記は何れも世界水準のプログラムを目指したものであると同時に、持続的な開発を念頭に置いた。以下に、

各項目別に検証する。

## 1.1 オブジェクト指向プログラム

オブジェクト指向を実現するため、プログラミング言語としてJavaを選択した。言語の選択では、そのものが消滅したり廃れたりすることを最も懸念したが、Javaは現在もバージョンアップが行われ幅広く使われていることから、この選択はある程度、正しかったと言える。

オブジェクト指向を目指した理由は、プログラムが大規模になると予想されたため「変更に対して柔軟に対応できる」「効率的な開発を図る」ことが重要と考えたからである。オブジェクト指向プログラムでは、系を構成するモノ（部品）を「そのモノの状態や動作（振る舞い）」を表現するオブジェクトとして扱い、オブジェクトとオブジェクトを繋げることで、系の動きを表現する。

本プログラムは、建築空間や各種設備モジュールをオブジェクトとして開発し、これらを繋げることでエネルギーシミュレーションが実行されるようになっている。モジュールが繋がるとメッセージの伝達が順次行われ、その結果として系全体が動く。このような仕組みそのものはオブジェクト指向と呼ぶことができることから、本プログラムは当初の開発目標に則って開発されていると言って良い。

なお、コーディングレベルまでオブジェクト指向の考え方が徹底できているかどうかは検証できないものの、一応の合格点と判断する。

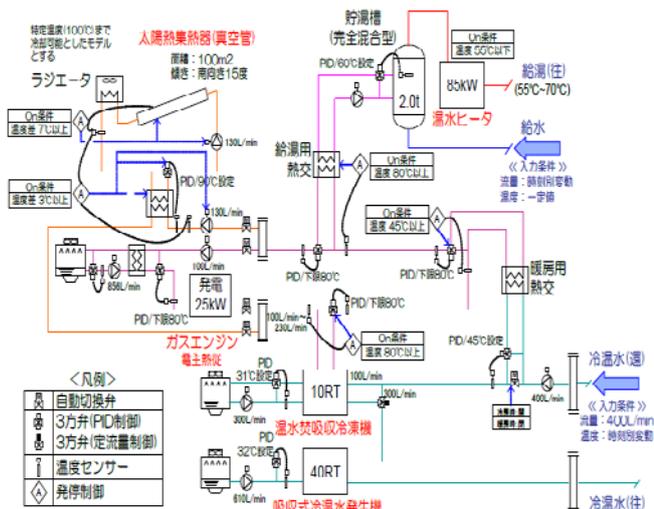


図1 総合的解析の事例

### 1.2 空調・電気・衛生設備の総合的エネルギー解析

建築、空調、機器特性、電気、衛生、コージェネ、蓄電・蓄熱などの委員会 (SWG) に分かれて開発を続けている。最近ではこれらのSWGの上位に統合化WGを設置し、夫々のSWGで開発されたオブジェクトを統合するための検討を行っている。

ところで、この“総合的エネルギー解析”は、建物を丸ごと、しかも可能な限り動的に評価することを目的としている。先述したように本プログラムはオブジェクト指向を実現していることから、こうした大規模な総合的エネルギー解析が可能になったとも言える。これにより、例えば、コージェネレーションシステムや図1に示すような太陽熱利用の冷暖房給湯システムといった複雑なシステムや、系全体の動きの影響を受ける変圧器のような機器の評価においても大きな威力を発揮する。

### 1.3 ユーザーフレンドリー

現時点で、この項目が最大の懸案事項と言える。省エネルギー計画書作成支援ツールの開発を契機として入出力画面 (以降、単にUIと呼ぶ) の充実は何らされてきたものの、詳細計算を行う時に必要な専門版のUIの開発については、リソースの関係から後回しにされてきた。例えば、ハードウェアの進歩などがOSにも影響し、その結果、UIに不具合が出るといった事象も発生した。

ところで、UIの開発に極めて大きなリソースを必要とすることは、本プログラム全体のステップ数を見ると分かる。全体のステップ数69万に対し、UIのそれは43万であり、62%を占めている。今後は、図-3に示すBIMとの連携を含むサードパーティーによってUIの開発が飛躍的に進むことを期待したい。

### 1.4 外皮・躯体と設備・機器の連成解析

例えば、ZEBを目指すためには、太陽光発電は勿論、建築をはじめとして空調設備、電気設備、衛生設備にお

いて相互に影響を及ぼす省エネ技術の効果を適切に把握し、最大効果が得られるような工夫が必要である。

例えば、相互に影響を及ぼす省エネ技術の例として、送風の高温差化や自然採光などがある。前者は、送風の高温差化によりファンは省エネになるが、一方で除湿負荷が増えるといったマイナスの効果を誘発する。後者は、自然採光により照明電力の削減と同時に冷房負荷も減るが、暖房負荷は増えるといったマイナスの効果を招く。このようにプラスとマイナスを合わせた正味の省エネ効果を算出できるのが連成解析の強みである。本プログラムのような総合的でしかも連成解析できるシミュレーションツールを用いることではじめてZEBの解析や設計ができるようになる。本プログラムの解析事例(図-2参照)から、ZEB化によって最大電力の発生が夏から冬に移動することや、標準的な建物に対する省エネ技術の効果量と、省エネがある程度進んだ建物に対するそれとでは大きな違いがあるなどの新たな知見も得られている<sup>5)</sup>。

ところで、連成解析を実現するための解法として陽解法を採用し、次の時刻ステップにおける操作量はPIDコントローラの実出力値に基づく方法とした。これにより、計算精度を保ちつつも計算時間の短縮を可能にした。また、冷凍機と冷却塔のように互いに他の影響を受けるよ

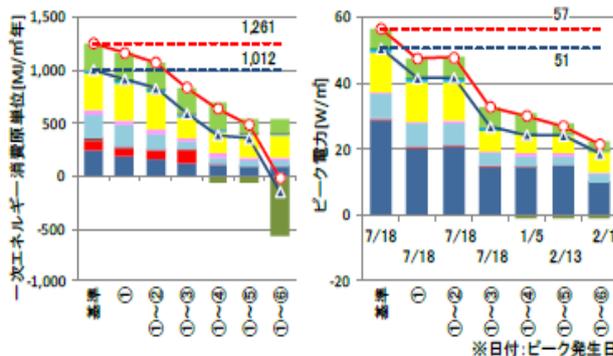


図2-1 ZEB 検討事例 (一次エネルギー消費量とピーク電力)

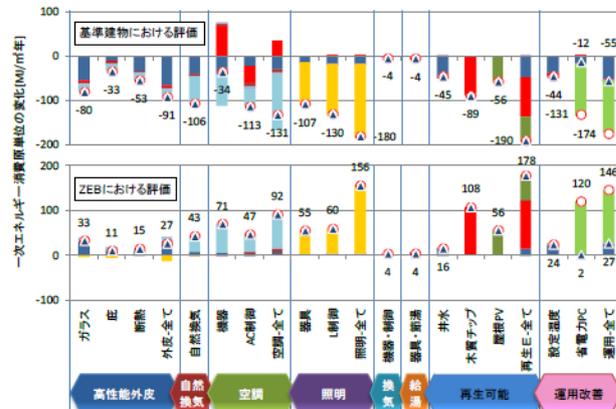
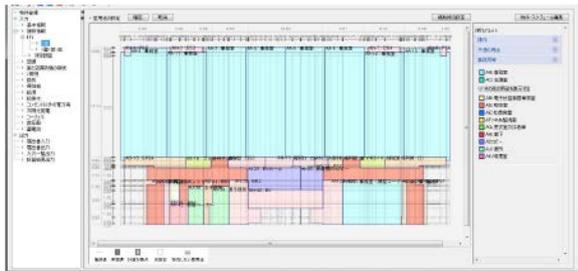


図2-2 ZEB 検討事例 (単独導入による一次エネルギー消費原単位の変化)



図 3-1 BIM から BEST へ (BIM データ)



a) 平面図(形状・室用途)



b) 壁部材・室用途



c) 部材構成

図 3-2 BIM から BEST へ (BEST 入力画面・読み込みデータ)

うな場合の計算順序についての検討を行い、適切な方法を提案している。さらには PID パラメータの自動チューニング機能を設けるなど、利用者の利便性も考慮した開発を進めてきた。これらの一連の成果は連成計算で目指した初期の狙いをほぼ達成できていると評価できる。

### 1.5 計算時間間隔の可変性

“計算時間間隔の可変性”の狙いは、予冷予熱時において予冷熱に要する時間が装置容量(最大熱負荷)に及ぼす影響が大きいこと、さらには、空調時間帯におけるエネルギー計算に陽解法を採用するにあたって必要な計算精度を確保するという二つにあった。計算時間間隔が与える計算精度への影響について検討した結果、当然のことながら出来るだけ短い計算時間間隔(1分)が最も望ましいことは自明であるが、計算時間との観点から、現時点の誘導基準認定ツールでは予冷予熱時を含む空調時間帯、非空調時間帯において計算時間間隔は5分を標準としている。

### 1.6 インターネットの利用

インターネット環境さえあれば本プログラムの開発を行える環境の実現に向けて取り組んだ。例えば、教育関係者や省エネ機器、システムの製造者によって新規に開

発されたモジュールはインターネット上に公開され、テスト関係者による審査に合格すれば誰でも使えるといったような状態を理想と考えた。また、建築材料などの各種データはXML(eXtensible Markup Language)を用いることでWeb上において共有化され、物性値の変更などに柔軟に対応できるようにした。

一方で、現時点ではプログラム自体がオープン化されていないことから、開発者が限定的になっていることが残念である。

### 1.7 豊富な気象データ

日本では840地点程度の気象観測点があり、そのデータが利用可能である。一山超えれば気象は変わると言われるように、同じ東京でも山間部と都心では気温そのものが異なる。また、近年では温暖化の影響によって気温が上昇傾向にある。このような観点から本プログラムでは建設地に最も近いアメダス気象観測所の気象データを使えるようにした。また、時間データから1分データを作成する機能も付加し、より精度の高い計算が行える環境も整えている。一方、グローバル化にとめない、海外における設計、評価を行う需要も今後は増える傾向にある。こうしたことを考えて本プログラムではEnergyPlusと同様にEPWフォーマットを使えるようにしている。

### 1.8 部分負荷特性を表現する機器特性データ

本プログラムでは先述したように機器特性のSWGを設け、多様な設備機器の機器特性を収集し、オブジェクトとしてその特性式を埋め込んでいる。オブジェクト指向プログラムの特徴を活かし、オブジェクトに格納される機器特性を表現する手続き(メソッド)は基本的に自由で、出力に影響する変数と入力との関係が定義どおりであれば、オブジェクトとして使うことができる。

こうしたオブジェクト指向プログラムの利点を活かして、設計用ツールとしては新技術を比較的自由に評価できることから、初期の目標は達成できていると言える。

## 2. 次の10年に向けての期待

本プログラムは、村上周三委員長を筆頭とする開発チームが一丸となり、世界で最先端のプログラムを目指すと同時に持続可能な開発体制の構築を目標に、10年余に亘って活動を続け、これまでに200報近い報文を学会に発表し続けてきた。こうした活動に加えて本プログラムの普及推進に向けシンポジウムや講習会なども続けている。しかしながら、開発チームの狙いが設備設計者や行政関係者、教育関係者などに十分に理解されていないと思われる。以下に、筆者が次の10年に向けて本プログラム開発にどうしても必要と思っていることを示す。

### 2.1 オープン化

プログラムの開発に終わりはない。このためには持続可能な開発体制が必須と言える。例えばEnergyPlusは

DOE (United States Department of Energy : 米国エネルギー省) から資金補助を得て開発されていると聞く。オープン化によって EnergyPlus は世界中で幅広く利用されている。

一方、本プログラムは一般財団法人である IBEC に開発体制を置くものの、民間企業から会費を募りコンソーシアムを組成して開発を行っている。このままの状態ではオープン化の実現可能性は低いと言わざるを得ない。官を主体とする開発体制を構築することが最も望ましい。

オープン化がもたらす利益は図り知れない。EnergyPlus を見ても分かるように、利用者が飛躍的に増えるだけでなく、サードパーティーが UI 開発に参加する道筋も見えてくる。結果として省エネが大きく推進する。オープン化への取り組みを、次の 10 年の一番の期待 (目標) としたい。これが実現できると、まさしく世界のプログラムになると考える。

## 2.2 性能検証までが設計者の責務

一般的に設備設計者の責務とは、「設備システムを決定し、最大負荷計算に基づいて設備容量を求め、建築空間に合理的に設備を配置すること。そして関連法規を遵守していることを確認し、建築許可を受領すること。」と説明できる。

本年より関連法規の一つに“建築物省エネ法”が新たに加わり、2,000 m<sup>2</sup>以上の新築・増改築において、「設計建物の年間エネルギー消費量が法令で定める基準値より下回っていること」の確認が必須になった。この法令は、建築物における一層の省エネ推進を目指したものであるが、国民の財産に規制を加えるという難しい側面を有している。このため、「国民の権利や利益を損なってはならない」という一定の配慮も働いていることに留意が必要である。言い換えれば、温暖化などの地球環境保全が喫緊の課題となっている今、基準値を可能な限り大きく上回る省エネ対策が求められていることを忘れてはならない。

ところで、建築許可申請時に年間エネルギー消費量が計算されるということは、計算モデルの構築 (計算エンジンの選定とデータ入力) が済んでいるということであり、竣工後はこの計算モデルに運用実態 (運転時間、内部発熱、設定温度など) を入力することで実運用における予測値を再計算し、それと実績値と比較することで高度な性能検証を行うことができる。

“建築物省エネ法”が施行された今、設備設計者の責務に性能検証を加えることが省エネへの貢献と同時に、設備設計者の社会的ステータスの向上に繋がると筆者は考える。

## 2.3 BIMへの期待 (サードパーティーへの期待)

先述したように UI は本プログラム開発において一番の懸案事項である。BIM から本プログラムへ自動データ

変換が可能になれば、ユーザーは BIM で作図とほぼ同時に年間エネルギー消費量を計算することになり、理想的な環境になる。

現時点では建築図から建築熱負荷計算までは自動変換が相当程度の進捗を見ているが、設備図からの自動変換については未だ手つかずの状態とあって良い。設備が比較的単純な住宅や、非住宅であっても個別分散方式であれば、開発は比較的容易ではないかと期待している。

現在の開発メンバーは BIM データを BEST データに自動変換する仕組みの作成を目指して努力しているが、先ほど述べたオープン化が仮に実現できれば、サードパーティーの参加が期待され、飛躍的な速度で実現する可能性があるのではないだろうか。

## 2.4 シミュレーション教育と将来の開発者

2012 年度よりアカデミックユーザー会員制度を設け、教育機関に対して無償で本プログラムを公開している。この制度は、学生時代に親しむことで、社会人になっても利用してもらいユーザーが拡大することを狙っている。また、研究・教育機関で新しいモジュールが数多く開発されることも期待している。こうした活動を通じて本プログラムが一層、幅広く使われ、多様な計算が出来る環境が早く整うものと思われる。

また学生時代からシミュレーションという計算機上の仮想実験を通してエネルギーの消費過程を肌感覚で知ることが極めて重要と筆者は考えている。筆者自身は社会人となった後に、HASP/ACLD/ACSS を用いたシミュレーションを実施する機会があり、そこでの計算体験が省エネに関する基礎を作ったと言っても過言ではない。例えば、過大な設備容量がもたらすエネルギーの浪費といったことは、省エネ設計以前の問題であり、設備設計者として必携の知識と言える。

大学教育に携わる先生方は是非とも仮想実験の楽しさ大切さを学生に教えて欲しい。シミュレーションに興味を持った優秀な学生さんが一人でも多く誕生し、その人達が本プログラムの未来を背負ってくれるものと私は信じている。

## おわりに

2. では筆者の期待 (夢) をお話した。次の 10 年で、一つでも実現できたら嬉しい。

## [参考文献]

- 1) 石野・村上他：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)~(その185)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1969-2040、2007.9、pp.1077-1156、2008.8、pp.639-730、2009.9、pp.2527-2590、2010.9、pp.1675-1738、2011.9、pp.1327-1398、2012.9、pp.1-72、2013.9、pp.1-89、2014、pp.1-64、2015、pp.3-68、2016