

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19）

BEST の開発状況

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 19)

The Features of the Latest Version of the BEST

正会員	石野 久彌（首都大学東京名誉教授）	特別会員	村上 周三（建築研究所）
正会員	赤坂 裕（鹿児島高専）	正会員	大塚 雅之（関東学院大学）
正会員	郡 公子（宇都宮大学）	正会員	長井 達夫（東京理科大学）
正会員	牧村 功（日建設計）	正会員	野原 文男（日建設計）
正会員	滝澤 総（日建設計）		

Hisaya ISHINO*¹ Shuzo MURAKAMI*² Hiroshi AKASAKA *³ Masayuki OTSUKA*⁴

Kimiko KOHRI*⁵ Tatsuo NAGAI*⁶ Isao MAKIMURA*⁷ Fumio NOHARA*⁷ So TAKIZAWA*⁷

*¹ Tokyo Metropolitan University *² Building Research Institute *³ Kagoshima National College of Technology

*⁴ Kanto-Gakuin University *⁵ Utsunomiya University *⁶ Tokyo University of Science *⁷ Nikken Sekkei Ltd

This paper presents the features of the latest version of the BEST. Building energy consumption can be evaluated by using the BEST which involves the simulation models for buildings and not only HVAC systems but plumbing and electric systems. The BEST is available for simulations using both of integrated models and individual model. The features of the models are summarized and the simulation results in a detached residential house are presented.

1. 序

今日ほど、シミュレーションへの要求が高まっている時期は嘗てないといえる。日本のシミュレーション開発は世界に遅れをとっていたが、今やLCSEMプログラムが先陣を切って2006年7月に公開され多くの設計者の利用に供せられており、非常に喜ばしい。今のシミュレーションは設計の事後評価、運用の事後評価のみでなく設計そのもの、運用そのもののツールに期待されている。

BESTプログラムは2004年に建築設備技術者協会が検討委員会が発足し、2005年秋から建築環境・省エネルギー機構へ場を移し、同時に国交省と協調しつつ、多人数大組織で開発されてきた。現在は2008年3月公開版に対するサポート、保守、その後の開発を行っている。

BESTプログラムは大型であるがゆえに、複雑さは本質的特性であり、この分野でいう software crisis に陥まりがちである。すなわち、納期遅れ、予算超過、機能未充足である。これを回避するために、オブジェクト指向プログラミング、アジャイル思考のXPの導入を試みている。徐々にではあるが確かな方向に進みつつあるので、本オーガナイズドセッションでその概要をご理解いただければ幸いである。本報告は全体の開発状況と特徴を述べるものである。

2. 各計算部の開発状況と特徴

表1に全体的特徴を概説している。

まずは、建築と空調、衛生、電気の連成計算と単独計算も可能なことである。解き方としては、エクスプリシット法、インプリシット法の切り替えにより最適解法を可能としている。

気象データは60分の約数（1分まで）であれば任意の時間間隔のものが提供できる。日射についても天空強度を不均一とした Perez モデルを標準としている。世界基準 epw フォーマットデータもBESTで利用可能である。建物側は壁体・窓の物性値の充実を図るとともに可読性が高く再利用性も高いXML形式の採用とJPA利用、多数室計算、計算時間間隔可変などである。

設備的には、各機器モデルを統一的フォーマットに従ったモジュールにより表現し、モジュールのクラスは抽象クラスのサブクラスとして実装され外部からはインターフェースを介して情報伝達やメソッドの実行がされるという拡張性の高いフレームワークを実現した。空調部門は、モジュール接続の自由度の高さを残しつつも、モジュール配置リンク接続の手間を軽減したいとこのために、空調機、熱源、熱源群のテンプレートを用意し要素モジュールを全く意識しなくても動かせることも可能にしている。衛生部門は衛生機器をモジュールとして扱いモジュール間のノードのやり取りで水量、水温を計算し、負荷に応じた水槽の水位変動やポンプの運転状態を計算する。電気部門は、昼光連動照明制御、太陽光発電、変圧器損失電力量の計算

表1 BESTの特徴

分類	特徴	概要
全体	建築と設備の連成	建築・空調・電気・衛生との連成計算が可能であり、建物全体のエネルギー消費量を計算できる。同時に、建築、空調・電気・衛生の部分システムについて単独計算も可能である。
	最適解法	建築熱計算は、線形として取り扱い可能であり、連立方程式を解くインプリシット法を採用可能である。これに対して設備システムは非線形・不連続な現象が多く、インプリシット法は不向きである。エクスプリシット法を採用することで、どのようなシステムも計算可能となる。そこで、システム計算はエクスプリシット法、建築計算はシステムとの連成モードのときはエクスプリシット法、非空調時や単独計算のときはインプリシット法に切り換え可能とする。
気象	1分値気象	国内56地点の1分値データを提供可能とし、60分の約数の任意の時間間隔データに変換する。
	国内842地点対応	国内842地点の拡張アメダス標準年、20年(1981~2000年)および設計用気象の1時間値データを補間して任意の時間間隔データを作成する。
	海外対応	世界3700余の都市について、月別平均日および最大負荷日の気象データを発生させるソフトWEADACの考え方をもとに新たに作成した気象データを提供する。
	外部気象対応	EnergyPlusに対応するEPWフォーマットデータをBEST用データに変換して利用可能にする。またユーザ作成のCSV形式データの利用も可能である。
	降水量・屋外照度	給排水衛生システムで利用する降水量、昼光計算で利用する屋外照度データを提供する。
建築	豊富な壁体物性値データベース	空気調和・衛生工学会便覧データ、ISOデータ、湿気データを含むデータの3つのライブラリのなかから、自由に物性値(約230種)を選択可能。ユーザが物性値を登録することも可能。
	豊富な窓性能値データベース	豊富なガラス種類とガラス厚、数種のブラインド、中空層厚、封入ガスの場合の断熱性能値、日射遮蔽性能値、可視光透過率データを選択可能(約650種)。エアフローエンドウの補正用データも用意されている。
	XML形式データとJPA利用	データベースおよびユーザ入力データに対して、内容を理解しやすく再利用効率の高いXML形式を採用した。同時にJPA(Java Persistence API)を使用することにより、データを取得後自動マッピングしてオブジェクトとして取り扱い可能にしている。
	計算時間間隔可変	エクスプリシット法で計算する時間帯は短い間隔、インプリシット法で計算する時間帯は長い間隔とするなど、スケジュールで可変設定可能。
	多ゾーン相互影響	隣接空間あるいは同一室の隣接ゾーンの相互影響を考慮する。ゾーン間の影響は間仕切りの貫流熱とゾーン間換気量によって生じるものを想定する。
	温熱環境指標	熱的快適性の評価指標である作用温度、PMVを計算して出力する。平均放射温度はASTで代用する。
	昼光・調光計算	昼光と人工照明による照度計算を行い、スラット角制御と調光制御の効果をシミュレーションすることも可能。
設備共通	機器のモジュール化	各機器モデルを、統一的フォーマットに従ったモジュールにより表現する。これにより自由なモジュール接続によるシステム構築が可能となし、ユーザがモジュールを追加することもできる。
	拡張性の高いフレームワーク	各機器モジュールのクラスは、機器共通の処理を記述した抽象クラスのサブクラスとして実装され、外部からはインターフェースを介して、情報伝達やメソッドの実行がされる。多様なモジュールを簡単に追加可能な汎用性・拡張性が高く、比較的シンプルな構造のフレームワークを実現した。
空調	自由度の高いシステム構成	添付された典型的な例題システムをもとに、モジュールの追加・リンク接続を行うことにより、多彩な機器構成に対応できる。
	テンプレート機能	モジュールの配置・リンク接続の手間を軽減するために、「空調機」、「熱源」、「熱源群」の3種類のテンプレートを用意している。これにより「空調機」の場合であれば、「冷温水コイル」、「加湿器」、「ファン」といった要素モジュールを意識することなく、一つのまとまりとして「空調機」を扱うことができる。
	部分システム	室から熱源・冷却塔に至る全体システム以外にも、機器単体、あるいは熱源周りのみといった部分システムの検討が可能である。
	制御検討対応	制御コントローラもモジュールで表現されるため、ユーザが各種ロジックを新規モジュールとして追加することにより、例えば外気冷房ロジック、熱源台数制御ロジックの検討などが可能となる。
衛生	水負荷算定	文献や設計データにおいて汎用的に使用されている原単位データを細分化し、器具使用量(節水効果)や男女比などのパラメータと器具使用頻度(パターン)を組合せた簡便な負荷算定手法により、設計の自由度を高めた。
	システム計算	水槽やポンプといった衛生機器をモジュールとして扱い、モジュール間のノードのやりとりで水量と水温を計算し、負荷に応じた水槽の水位変動やポンプの運転状態を計算することが可能である。
	資源量・エネルギー消費量	ユーザが入力した負荷算定のパラメータや衛生機器の仕様・容量に基づきシステム計算を行い、計算結果として水使用量、エネルギー消費量、雨水利用量、配管熱損失(給湯計算の場合)等を出力することが可能である。
電気	昼光連動照明制御	照明制御において、明るさセンサ部に入射する昼光照度を受け、人工照明の削減量を計算することが可能である。
	太陽光発電量	時刻変動する太陽光などの気象条件に合わせ、太陽光発電の電力量を計算することが可能である。
	変圧器損失電力量	時刻変動する各負荷機器の消費電力に合わせ、変圧器の損失電力量を計算することが可能である。
コージェネシステム	排熱温度可変モデル	一般的に用いられているような排熱温度を固定するモデルではなく、排熱量や気象条件、需要量のバランスによって変動するモデルを採用した。
	入口状態値依存モデルの採用	構成する機器には入口状態によって特性が変化する計算モデルを採用した。排熱温度も可変としたため、よりリアリティのあるシミュレーションが可能である。
	連成計算が可能	従来のコージェネレーションシステムのシミュレーションプログラムでは、システム性能に最も影響する需要量を与条件とするものが多い。BESTでは、建物性能や内部で使用する機器を変更した場合などのような、需要量がシステム構成・運用によって変動する場合も、空調や衛生、電気と連成させることで対処可能とする。
	配管の非定常伝熱モデルの採用	配管の管内水熱容量を考慮するモデルを採用したため、システム停止時や開始時の温度低下、上昇を再現させた。開始時の計算精度が向上した。

表1 BESTの特徴(続き)

蓄熱システム	モジュール分割	蓄熱槽本体(水蓄熱槽:連結完全混合槽型・温度成層型、氷蓄熱槽:現場築造型)、蓄熱用制御弁、蓄熱槽内水槽プロフィール確認用グラフ、熱量計などを独立モジュールとして作成し、これらの組み合わせにより色々なタイプの蓄熱システムに対応できるようにした。
	蓄熱槽に物理モデルの採用	水蓄熱槽および現場築造型の氷蓄熱槽には、TESEP-W(ヒートポンプ蓄熱センター)や中原らの研究成果を採用して、物理モデルにてモジュールを作成している。氷蓄熱ユニットについても物理モデルを基本に今後作成の予定である。水槽内部の変化を精度を上げて解くために、水槽モジュールについてはモジュール内部で計算時間分割を行なっている。
	水槽内状態値モニタ	計算中に水槽内の水温変化などをリアルタイムでグラフ表示するモジュールを用意した。水温プロフィールの確認が可能である。
	蓄熱制御	蓄熱制御モジュールは簡易な翌日熱源運転時間制御を用意した。制御モジュールも独立しているため、既存の現実の蓄熱制御方法や新制御方式の開発についても制御部分だけを作成すれば、蓄熱システムとしての評価が即座に可能としている。
GUI	UMLの利用	BESTで想定される使い方について、UMLの一つであるユースケース図を用い整理を行い開発を進めた。
	外部ファイル化	GUI画面のほとんどはCSVファイルにて定義されており、画面修正のためにソースコードを修正する必要はほとんどない。また、ツリーメニューも外部ファイルにて定義されており、新しい部品の追加などのカスタマイズが可能である。またXMLファイルも開発中であり、両者の共存を視野に入れている。
	状態値をオブジェクトで扱う	モジュール間の空気や水などの熱媒をクラスとして取り扱い、状態値をオブジェクトで取り扱う。例えば、空気クラスは、乾球温度、絶対湿度、質量流量、圧力などの状態値を持つ。これにより物質、エネルギー等の流れを統一的に整理・把握することができる。
	計算順序の自動決定	システム部品の計算順序の設定は、熱媒の流れに沿って自動的にGUIから計算順序を決定する。また、ユーザが変更することもできるようになっている。
	リアルタイムグラフ表示	各ステップの計算結果を逐次グラフに表示し、計算しながら結果を確認できる。これにより、最終結果を待たずに計算条件の修正が可能となる。

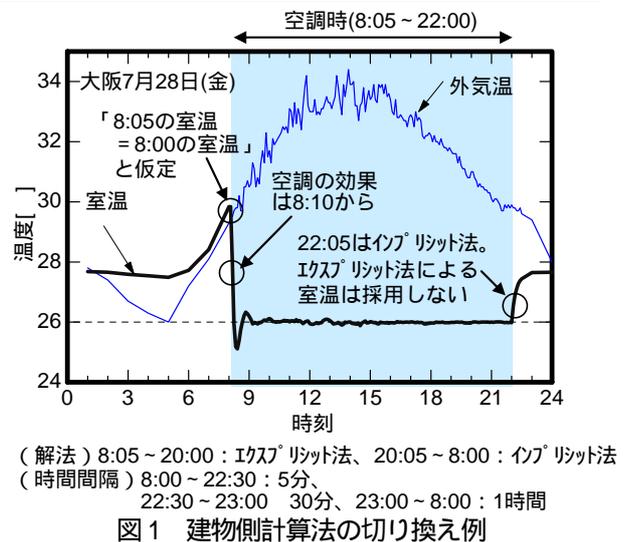
が可能である。コジェネレーションシステムにおいては、排熱温度可変モデルの採用、入口状態値依存モデルの採用、配管の非常伝熱モデルの採用が特徴的である。蓄熱槽システムにおいては、水蓄熱槽および現場築造型の氷蓄熱槽にはTESEP-W(ヒートポンプ蓄熱センター)や中原らの研究成果を採用して物理モデルにてモジュールを作成している。GUIにおいては、GUI画面の殆どはCSVファイルにて定義されており画面修正はソースコードへの影響は殆どない。ツリーメニューも外部ファイルにて定義されており、新しい部品の追加などのカスタマイズが可能である。開発が遅れている部門であるが、更に今後XMLファイルへの変更を予定している。

図1は事務所建築でのインプリシット法とエクスプリシット法の切り替えの例を示した。計算時間間隔も同時に変わっていることがわかる。エクスプリシット法では空調時の室温を求めるためにPID制御を導入した解法を採用しているため、空調時の室温は設定温度の近傍をふらついていることが読み取れる。

図4は住宅での計算例であり、夏期冬期それぞれ代表3日間の室内環境、室負荷の時刻変動の詳細を示した。建物単独計算でありインプリシット法による計算時間間隔可変計算としている。

3. 結

大規模プログラミングの問題解決に対して、ソフトウェア工学分野ではその成熟の結果、オブジェクト指向分析、オブジェクト指向プログラミングへと到達した。しかし、まだその歴史は高々10年である。そのオブジェクト指向にBESTプログラムは挑戦している。今後の設備界のためにもわが国の国際貢献のためにも、皆様からのご意見感想を戴きたいし、プログラム開発グループへの参画を切に期待する次第である。



【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るものである。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)

【文献】

- 1) 村上、石野他: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18)、空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.1969-2040、2007.9
- 2) 石野・村上他: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1報~第8報、日本建築学会大会学術講演梗概集D-2、2008.9

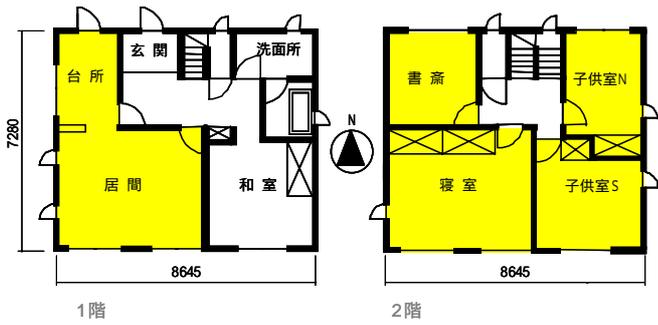


図2 計算対象住宅の平面図

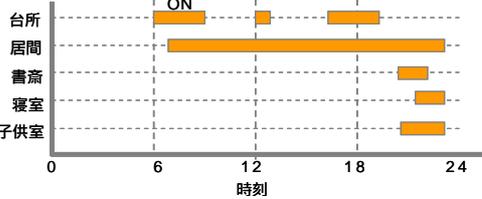


図3 冷暖房スケジュール

【住宅計算例注記】

気象：東京 2006 年 1 分値データ

計算室 (1F)台所、居間、和室 (2F)書斎、寝室、子供室 S、N (1、2F)廊下ほか

計算法：インプリシット法 (建物単独計算)

計算時間間隔

23:00~5:00 60分、5:00~5:30 30分、5:30~23:00 15分

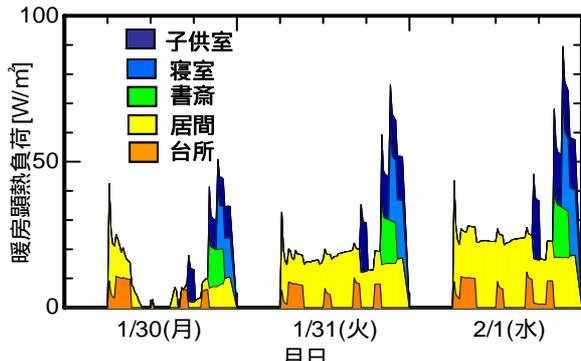
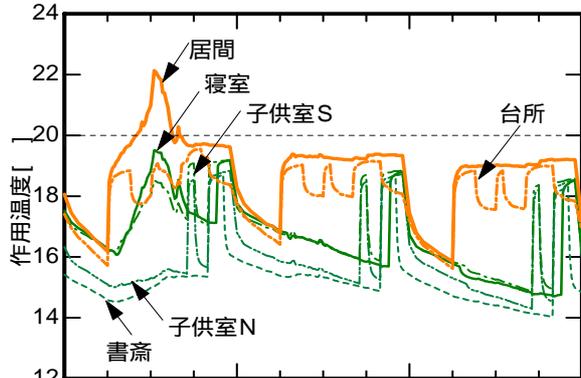
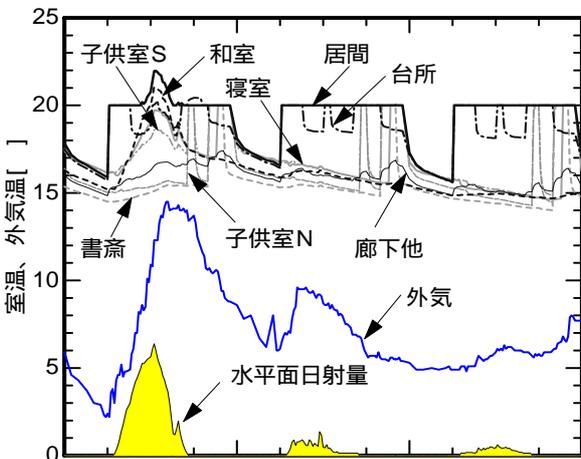
建物条件

構造：RC造 断熱：外壁 25mm、屋根 50mm 窓：透明二重ガラス(日中は内部日除け開) 隙間風：0.5回/h、室間換気(双方向)：居間-台所 400CMH、各居室-廊下 100CMH、内部発熱：4人家族

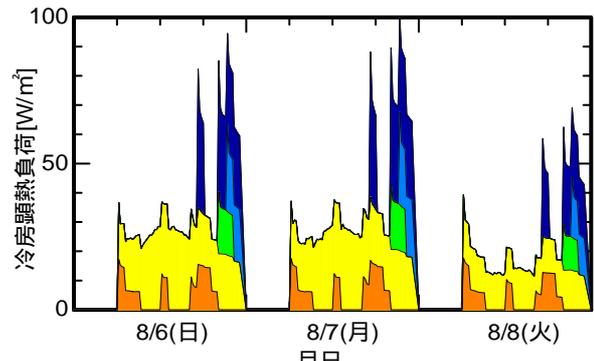
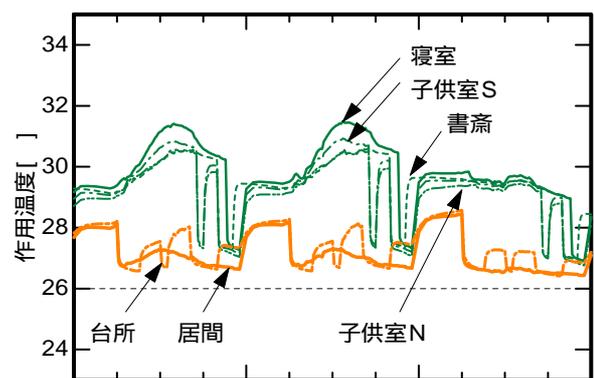
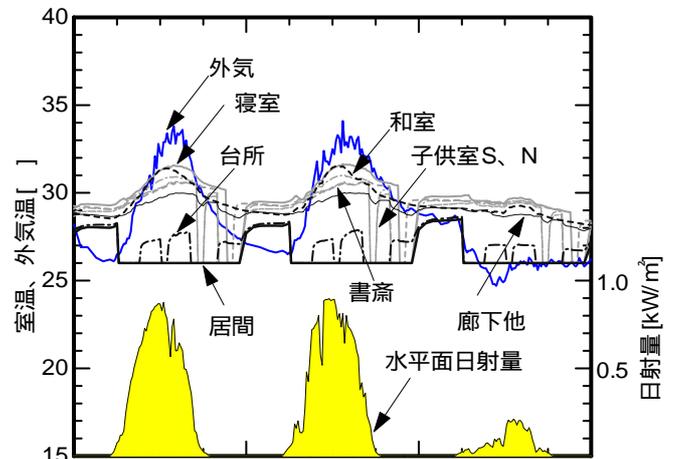
空調運転条件

設定室温：暖房 20、冷房 26 暖房期：12-3月、冷房期：

6-9月、換気のみ：4、5、10、11月 冷暖房能力(顕熱)：200W/m²、換気：暖房時のみ、居間・台所 4CMH/m²、2F 居間 2CMH/m²



(a) 冬期代表3日間



(b) 夏期代表3日間

図4 RC造戸建て住宅の室内環境・室負荷時刻変動(東京2006年)