

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39）

2009年版の進展概要と今後の展望

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 39)

An Outline of the Developments in the Version 2009 and Future Views

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 坂本 雄三（東京大学） 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 秋元 孝之（芝浦工業大学） 正会員 牧村 功（日建設計）
 正会員 野原 文男（日建設計） 正会員 柳井 崇（日本設計）

Hisaya ISHINO*¹ Shuzo MURAKAMI*² Yuzo SAKAMOTO *³ Masayuki OTSUKA*⁴
 Kimiko KOHRI*⁵ Tatsuo NAGAI*⁶ Takashi AKIMOTO*⁷ Isao MAKIMURA*⁸
 Fumio NOHARA*⁸ Takashi YANAI*⁹

*¹ Tokyo Metropolitan University *² Building Research Institute *³ Tokyo University
 *⁴ Kanto-Gakuin University *⁵ Utsunomiya University *⁶ Tokyo University of Science
 *⁷ Shibaura Institute of Technology *⁸ Nikken Sekkei Ltd *⁹ Nihon Sekkei, Inc.

This paper describes the developments in the latest version of the BEST. The various types of weather data sets are available for simulations. Users can use the BEST for design thermal peak load calculations and integrated simulations such as plumbing systems utilizing rain water and co-generation systems with desiccant dehumidification. The idea of template system is introduced in building MEP system models and the database of HVAC equipment's properties is enriched for simulation use.

1. 序

BESTプログラムの開発は、2005年10月に研究会を発足し、現在4年弱を経過した。昨2008年3月に初版を公表し、その後も持続的開発を行いバージョンアップ版を発表し続けている。本報告は、この1年間の開発の内容と今後の方針の概要を述べるものである。

2. 気象データ

日本建築学会編「拡張アメダス気象データ 1981-2000」（気象データシステム）の付録DVDに収録されたデータのうち、設計用気象データは、842地点全てを無償公開することになり、BESTフォーマットに変換したデータも自由に利用可能とした。また、標準年、実在年データをDVDから直接読み込み可能とした。そのほか、EPWフォーマットの気象データを読み込みできるUI改訂が完了した。これらにより、非常に幅広い種類の気象データを利用できるようになった。

3. 建築プログラムの進展と今後の方針

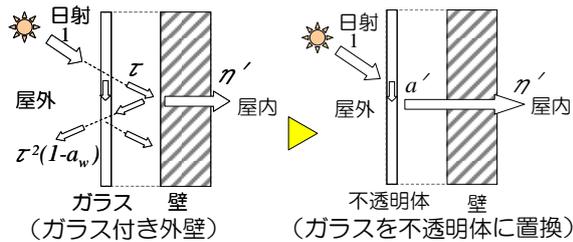
建築プログラムでは、機能拡張として、(1)拡張アメダス設計用気象データを利用する最大熱負荷計算機能の付加、(2)ガラス付き外壁の日射計算法の提案、(3)プログラムの妥当性の検証、(4)数値解析による有用性の確認、(5)XMLボキャブラリーの検討、(6)熱負

荷要素条件の入力における一括仕様設定の導入などを行った。

(1) 最大熱負荷計算機能

無償公開された国内842地点の拡張アメダス設計用気象データを利用する日周期定常最大熱負荷計算（建築単独計算）を可能にした。予冷熱時間帯に対しては、予冷熱終了時の室内温湿度が設計値を満たし、かつ予冷熱中の装置負荷が予冷熱終了時に必要な負荷値を超えないという条件を満たす予冷熱専用装置容量を仮想する。BESTの最大熱負荷計算は、①～③の特徴に加え、④、⑤の特徴ももつ。

- ① 多数ゾーン相互の影響を考慮可能
 - ② 計算時間間隔が可変であり、自由な予冷熱時間の想定も可能
 - ③ 温熱環境指標である作用温度、PMVが得られ、最大熱負荷発生時の快適性確認が可能
 - ④ 1日に複数の予冷熱時間帯がある間々欠運転にも対応可能
 - ⑤ 冷房3種（h-t基準 危険率0.5%、Jc-t基準、Js-t基準）、暖房2種（t-x基準 危険率1%、t-Jh基準 危険率1%）の設計用気象データによる計算を行い、5日分の周期定常状態の結果を連続出力する。
- (2) ガラス付き外壁の日射計算法
 ユーザからの要望に応え、外側にガラスを貼る外



換算日射吸収率 a'

$$a' = 3.6(\eta - \tau) + 23\tau\{1 - \tau(1 - a_w)\} \left(\frac{1}{U_g} - 0.04 \right)$$

ここに、 η 、 τ ：ガラスの日射熱取得率[-]、日射透過率[-]、 U_g ：ガラス熱貫流率[W/m²K]、 a_w ：壁の日射吸収率[-]

図1 ガラス付き外壁の換算日射吸収率

壁の日射計算法を提案し利用できるようにした。外壁の日射吸収率として、ガラスを不透明体に置換したときの換算日射吸収率を用いるもので、ガラス性能値をもとに簡単に計算できる(図1)。プログラムの変更は伴わず、式とガラス性能値を提供した。

(3) プログラムの妥当性の検証

BESTESTによる検証はほぼ終了し、建築計算の基本的な妥当性は確認できた。一部に、標準範囲を超える負荷値が算出されるケースがあり、これに関しては今後も検討を続ける。また、NewHASP/ACLDをはじめ、他のシミュレーションツールとの計算結果の比較を続行中で、妥当性の確認とBESTの特徴の明確化を進めている。

(4) 数値解析による有用性確認

種々の窓条件での年間熱負荷比較、昼光調光制御の効果確認、オフィス最大熱負荷に影響する要因の感度解析、最大熱負荷の地域比較、RC造標準戸建て住宅解析、躯体蓄熱空調解析への適用など、数値解析の実績を増やし、建築計算の有用性の確認を続けている。

(5) XMLボキャブラリーの検討

既に建築入力データはXML形式を採用しているが、より標準的なタグ名を追求した。gbXML、ifcXML、学会や業界で使用される用語を調査し、改訂案を作成した。

(6) 熱負荷要の一括仕様設定

多くのゾーンをもつ建物モデルで、例えば外壁や窓の条件を変更するとき、一括して変更できると便利である。そこで、外壁、窓、隙間風、内部発熱など全ての熱負荷要素それぞれについて、一括設定・一括変更が可能な一括仕様設定データを導入し、スピーディで正確な条件設定を可能にした。

(7) 今度の方針

今後は、①XMLの具体的な改訂、②国内外のシミュレーションツールとの結果比較、③窓性能値の増強(真空ガラス、外ブラインド、カーテン・簾など)、④ダブルスキンへの対応などを目指し、さらに長期的にはブロックモデルの組み込みを目指している。

4. 空調プログラムの進展と今後の方針

空調システム側の機能拡張およびプログラム整備として、(1)テンプレート機能の実装、およびテンプレートのバリエーション整備、(2)ビルマルチ方式の接続簡易化、(3)機器特性の更新・拡充などを行った。

(1) テンプレート機能の実装

BEST 専門版は、モジュールと呼ばれる要素機器をユーザが自由に配置・接続することによって、多様なシステム構成を構築できるようになっている。しかしながら、例えば空調機を構成する要素モジュールは、ファン、コイル、加湿器、二方弁、PIDコントローラ等多岐に渡り、これらのモジュールを一つ一つ配置・接続する手間は膨大となってしまう。そこで、これらの接続の手間を軽減するための方策として、「空調機テンプレート」と呼ばれる、要素機器からなるマクロ化されたまとまりを予め用意しておき、ユーザは、空調機内部の要素機器の接続状況を意識することなく、あたかも「空調機」を一つの要素モジュールとして取り扱えるようにした。

今回用意した、主要な空調関連テンプレートは以下の通りである。

- ・ゾーンテンプレート
- ・空調機テンプレート
- ・ビルマルチ室内機・室外機テンプレート
- ・熱源、熱源群テンプレート
- ・水蓄熱、氷蓄熱テンプレート

なお、上記項目それぞれに対して複数のテンプレートを用意しており、例えば、熱源テンプレートのバリエーションとして冷温水発生機、HPチラー+冷温水発生機、ターボ冷凍機+真空温水ヒータ等が登録されている。

(2) ビルマルチ方式の接続簡易化

(1)のテンプレート機能の実装により、モジュール間の接続の手間はかなり低減されたが、テンプレート間の接続においても、例えば熱源群と空調機の間では、①冷水往、②冷水還、③温水往、④温水還の4つの情報を接続しなければならず、簡易な入力のためには更なる改善が必要である。

そこで、テンプレート間の情報を一つのオブジェクト変数にまとめてやり取りする方式を開発し、ビルマルチ方式について今回導入した。この方式により、1台の室外機テンプレートと複数の室内機テンプレートをそれぞれ1本のリンクで接続すれば、ビルマルチシステム全体が構成されるようになった。

(3) 今後の方針

ビルマルチ方式で実現した、テンプレート間の接続簡易化をセントラルシステムに拡充する方針である。また、テンプレート間だけでなく、機器類の発停、冷暖モード、水・電気・ガス・油の使用量、といった共通情報に関する接続を簡略化する方法について検討を行う予

定である。

5. 空調機器特性データベースの進展と今後の方針

熱源機器と補機、パッケージ空調機、搬送機器、空調機器について、特性値の拡充と特性の定式化を進めた。

(1) 熱源機器

①高効率ターボ冷凍機への対応、②チラーの機種拡充（圧縮機台数制御タイプ、インバータ制御スクルー圧縮機対応）、機器特性の改良（外気温による最大能力変化）、③吸収式冷凍機の機種拡充（三重効用型、蒸気焚二重効用、温水焚単効用）、などを行った。

(2) 熱源補機

冷却塔の変流量制御への対応を行った。

(3) パッケージ空調機

①標準型ビル用マルチエアコン以外の機種の拡充（GHP 発電機付、EHP 寒冷地用ビルマルチ、店舗用エアコン、設備用エアコン、氷マルチ、KHP 標準型、KHP 寒冷地型の特性を追加）、②特性データの共通表示フォーマットの策定、③APF 表示に伴う中間能力・中間入力への反映、などを行った。

(4) 搬送機器

①電動機（標準型、高効率型、IPM 型）特性の定式化、②インバータ装置特性の定式化、③ラインポンプ特性の定式化、④ポンプ搬送媒体（水・ブライン）の特性を反映、⑤シロッコファンの定式化の改定（JIS 効率反映）、などを行った。

(5) 空調機器

①加湿器の計算方法の定式化、②全熱交換器の計算方法の定式化、などを行った。

(6) 今後の方針

熱源機器については、①高期間効率型吸収冷温水機への対応、②各種チラーの氷蓄熱向け仕様への対応、機種・方式の充実（室外機散水型空冷チラー、インバータ制御スクロール圧縮機）を予定しており、熱源補機については、冷却塔ファンの風量制御の特性の検討を実施予定である。パッケージ空調機については、更なる機種の充実（EHP 外気処理エアコン、EHP 空冷一体型、EHP 水熱源一体型、EHP 水熱源分離型、冷暖同時型エアコン等への拡充）を進める。搬送機器については、ポンプ、ファン種別の拡充を行う。空調機については、空調機関係の構成部材の特性把握（コンパクトエアハンへの対応を想定）を計画している。

6. 衛生プログラムの進展と今後の方針

衛生プログラムでは、(1)給水プログラム、(2)雨水利用プログラム、(3)給湯プログラムの開発を行い、それぞれのシステムにおいて、プログラム開発を進展させている。

(1) 給水プログラム

BEST 空調プログラムと同様に、モジュール間をあら

かじめ接続したテンプレートシステムを用い、基本的な給水システムとして、高置水槽による重力式給水システムを用意し、ユーザがシミュレーションをしやすいようにした。また次項の雨水利用システムと組み合わせ、上水と雑用水による2系統給水システムの計算が可能となった。

(2) 雨水利用プログラム

雨水集水面積と雨水貯留槽を入力することで、計算時刻別の雨水利用量の計算が可能であり、雨水を雑用水に利用した雨水利用率（=雨水利用量/雨水集水量）、雨水代替率（=雨水利用量/雑用水使用量）の算出が出来る。またプログラムの活用方法として、①種々の気象データを利用した降雨量の異なる地域での雨水利用量の計算、②節水器具を用いた場合の雨水代替率の変化、③雨水貯留槽や雑用水受水槽の補給水水位の設定を変えた場合など制御改善シミュレーション等に応用出来る。

(3) 給湯プログラム

中央式給湯システムにおいて、給湯負荷と配管熱損失量、給湯エネルギー消費量を計算時刻別に算出するプログラムを開発した。給湯使用量原単位、人員（給湯対象面積）、貯湯槽容量、加熱装置の能力とエネルギー消費量、循環ポンプ容量、給湯配管長さや熱損失量、給湯使用温度、給湯供給温度、循環ポンプ運転スケジュール等をパラメータとして入力することにより、給湯システムの省エネルギー計算が可能である。プログラムの活用方法として、①節水器具を用いた場合の検討、②地域別の給水温度（外気温度からの換算値）を用いた地域別の検討、③給湯循環配管の保温仕様を変えた場合の熱損失量の検討、④加熱装置の効率を変えた場合のエネルギー消費量への影響、⑤給湯循環ポンプの運転スケジュールや給湯使用温度を変えた場合のシミュレーション等に応用出来る。

(4) 今後の方針

これまで衛生プログラム開発において、給水・給湯負荷算定に関しては、標準的な事務所モデルを対象として原単位負荷、標準的な負荷パターンをあらかじめ設定して計算を行っていた。今後は、給水・給湯負荷算定のために必要な、①衛生器具ごとの1人1回あたりの使用量、②建物用途に応じた1人あたりの使用回数、③時刻別の使用パターン等のデータベースを、既往の研究結果より抽出し整理することで、BEST 衛生プログラムで計算可能なモデルケースの多角化を行っていく予定である。

7. コージェネレーションプログラムの進展と概要

(1)建築、空調設備、電気設備との連成、(2)蒸気排熱の計算方法の検討、(3)発電機の拡充と実装、(4)排熱利用機器の拡充と実装、(5)入力負荷軽減のための GUI の検討などを行った。

(1) 建築、空調設備、電気設備との連成

これまでのコージェネレーションシステムのシミュレーションでは、建築・空調設備、電気設備等の境界条件を与条件としており、コージェネレーションシステムのみを解析範囲としていた。平成20年度は、これら境界条件を全て連成させる仕様とし、建築の熱的性能の強化や空調・電気設備の省エネルギー手法採用によるコージェネレーションシステムの挙動についてもシミュレーションが可能となった。

(2) 蒸気排熱の計算方法の検討

大規模物件等では、排熱媒体として温水ではなく蒸気を用いる場合もある。そのため、蒸気のモジュールやその計算方法について検討した。上記の場合、物性に関する近似式が確立されていないため、蒸気表を補間する方法などを検討した。

(3) 発電機の拡充と BEST への実装

これまでは、発電機の種類としてガスエンジンのみを対象にシミュレーション方法の構築を行ってきたが、大型物件用のガスタービンや高効率な燃料電池についてもシミュレーション方法を整理し、BEST への実装を完了した。ただし、先に述べたように蒸気媒体の実装が完了していないのでコージェネレーションシステムとしての連成シミュレーションには至っていない。

(4) 排熱利用機器の拡充と BEST への実装

コージェネレーションシステムの排熱利用機器として期待されているデシカント空調機の計算モデルの検討と BEST への実装を行った。

(5) 入力負荷軽減のための GUI の検討

昨今のシミュレーションプログラムでは計算精度はもとより、入力負荷の低減が非常に大きな課題としてあげられ、開発資源も多く投入される傾向にある。そのため、BEST 専門版を対象にコージェネレーションシステム部分の入力負荷を低減させる方法について検討した。併せて、テンプレート化を試行した。

(6) 今後の方針

今後は給湯を含めた衛生設備との連成や太陽熱システムとコージェネレーションシステムの融合したシステムのシミュレーション等を実施する予定である。

8. 省エネルギー計画書作成支援ツール

建築物の省エネルギー基準として 5,000m² 以下の建築物に適用できる仕様基準（ポイント法）の、簡単な操作による評価手法を意識し、簡易な入力で PAL や CEC を BEST を用いて計算するツールを開発した。

ツールの画面は、物件管理、入力データ、結果表示の構成で、入力データ画面は、基本情報、建物形状、PAL、CEC/AC、/V、/L、/EV、/HW および効率化設備を各 1 画面で簡潔に作成している。各画面の入力データはポイント法の評価項目を考慮しかつ簡易な入力となるよう検討した。これらの入力項目にはデフォルト値がセットされているので、最初に物件名の登録手続きを終えると直ぐに計算の実行が可能となっている。計算エンジンは BEST 専

門版のものを使用する。専門版エンジンに不足する情報は、ツールのプログラム側で自動発生して補っている。そこで使用する不足データの自動発生アルゴリズムは今後チューニングを行なう予定である。

結果表示画面は、PAL や各種 CEC の結果以外に、BEST の主たる出力である建物全体の一次エネルギー消費量も算出している。これらの計算結果は、グラフや表の形で提供される。また、主要入力データや計算結果などを省エネルギー計画書フォームへ PDF 形式ファイルにて帳票出力ができる。省エネルギー検討のケーススタディ使用に配慮して、複数の物件の連続計算機能や結果一覧機能も備えている。計算結果については、拡張デグリーデー法による PAL の計算結果との比較を行なった。計算手法が異なるため結果が一致するものではないが、ほぼ同様の傾向であることを確認した。

本ツールは、簡単な入力で短時間に PAL や CEC の結果が得られ、建物の基本計画段階からの省エネルギー検討に有効であると考えられる。省エネルギー基準としては性能基準と仕様基準があるが、本ツールは簡略入力の性能基準計算法である。自動データ作成部分などは、簡略入力と計算精度のバランスに配慮し今後十分なチューニングを施す予定である。

9. 結

BEST の多様な発展の現況を報告した。

多様性に対応できるのは、オブジェクト指向プログラミングが有効に機能していることによる。今後、さらに種々のシステムや建築的手法の計算法を組み込み、より総合的な評価を可能にすることを目指す。また、UI を含めた計算の簡易化にも力を注ぐ予定である。

【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 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)、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：井上隆、一ノ瀬雅之(以上、東京理科大学)、上田博嗣、角谷亜璃砂(以上、大林組)、内海康雄(宮城工業高等専門学校)、木下泰斗(日本板硝子)、月井良太(東京ガス)、黒本英智(東京電力)、郡公子(宇都宮大学)、菟田英晴(鹿島建設)、芝原崇慶(竹中工務店)、菅長正光(菅長環境・設備一級建築士事務所)、瀧澤博(元鹿島建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀典(鹿兒島大学)、野原文男、二宮博史、丹羽勝巳、田端康宏(以上、日建設計)、平林啓介(新日本空調)、柳井崇(日本設計)、事務局：生稲清久(建築環境・省エネルギー機構)

【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38)、空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.19669-2040、2007.9、pp.1077-1156、2008.8
- 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、pp.1027-1042、2008.9、第9報～第22報、2009.9