

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 112)

BEST 開発の現状とその具体例

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 112)

The Current Development Progress of the BEST and the Specific Capabilities

技術フェロー	○石野 久彌 (首都大学東京名誉教授)	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	坂本 雄三 (建築研究所)	技術フェロー	二宮 秀典 (鹿児島大学)
技術フェロー	大塚 雅之 (関東学院大学)	技術フェロー	郡 公子 (宇都宮大学)
技術フェロー	長井 達夫 (東京理科大学)	技術フェロー	秋元 孝之 (芝浦工業大学)
技術フェロー	柳原 隆司 (東京電機大学)	正会員	牧村 功 (名細環境・まちづくり研究室)
技術フェロー	野原 文男 (日建設計)	技術フェロー	柳井 崇 (日本設計)

Hisaya ISHINO*¹ Shuzo MURAKAMI*² Yuzo SAKAMOTO *³ Hideyo NIMIYA*⁴

Masayuki OTSUKA*⁵ Kimiko KOHRI*⁶ Tatsuo NAGAI*⁷ Takashi AKIMOTO*⁸

Takashi YANAGIHARA*⁹ Isao MAKIMURA*¹⁰ Fumio NOHARA*¹¹ Takashi YANAI*¹²

*¹ Tokyo Metropolitan Univ. *² IBEC *³ Building Research Institute *⁴ Kagoshima Univ.

*⁵ Kanto-Gakuin Univ. *⁶ Utsunomiya Univ. *⁷ Tokyo Univ. of Science *⁸ Shibaura Institute of Technology

*⁹ Tokyo Denki University *¹⁰ Naguwashi E & TP Lab. *¹¹ Nikken Sekkei Ltd *¹² Nihon Sekkei Inc.

The BEST program has been developed since 2005. This paper describes the current stage of the development and the current features and capabilities of the engine, especially in simulations of building thermal behavior and HVAC system operation. The new user interface for the engine was also developed. It is more user-friendly and enables the successful design of buildings that satisfies the energy-saving standards.

はじめに

BESTは2005年に開発に着手された。2008年に初版を発売しその後毎年改良を重ね、2013年6月現在BEST1209(2012年09月版)が最新である。今年になって、省エネ法の計算基準の変更に基つき、改正省エネ基準対応ツールを発売している。BESTを大別すると研究開発用のBEST専門と設計・省エネ申請・運用を対象としたBEST設計の二種になる。本報はBESTの開発現状とBESTの計算機能を報告する。

1. BESTの開発状況

今年の開発の目玉は、改正省エネ基準対応ツールの公表である。省エネ法計算基準に合わせて多くの人が間違いなく入力できるようにビジュアル入力を基本姿勢にしている。省エネ基準の特徴はエネルギー消費量を効率表示するのではなく、絶対量として全消費エネルギーを評価するところにありBESTのプログラム特徴と正に合致している。表4に空調方式の概要を示す。

その他、今年の開発内容を表1~3に示す。建築ではダブルスキンの計算法の導入と放射の温熱環境計算の精緻化、窓・壁のデータベースの見直しなどであり、空調はアースチューブの計算法の導入、放射空調の機器特性の整理、電気は蓄電池モジュールの開発、機器特性は新規機器のデータ整理の他にマニュアル作成、などである。表2、表3は現在のBESTプログラムの建築と空調の計算機

表1 BESTの開発・ユーザ支援の現状
(過去1年、建築・空調は除く)

分類	開発・ユーザ支援内容
全体	改正省エネ基準対応ツール(UI)の開発を行った。①プログラム開発:設備システムのモデル構築の自動化、複合熱源・未利用エネルギー活用・4管式・蓄電池利用・複数給湯熱源・給湯負荷系統などのシステムに対応 ②評価基準の検討:ベースラインビルによる基準一次エネルギー消費量の検討 ③技術解説書作成:操作とその解説 ④普及支援:講習会・シンポジウム開催、行政機関への説明
気象	①2001~2007の拡張アメダス気象データ:開発を完了し公開準備中 ②国内55地点の1分値10年気象データ:データ整理・欠測補充の継続
衛生・電気	【衛生】①データ整備:一管式給湯システムに対応する給湯負荷パターンデータの整備 ②例題作成:講習会用基本例題の作成 【電気】蓄電池モジュールの開発
機器特性	①機器特性の検証:テストモジュールによる確認、特性式の適用範囲確認と範囲外の計算法見直し、ビルマルチDBの確認 ②新規機種:機器特性整備:高期間効率機(直焚・蒸気焚)の特性整備・プログラム化、ダブルバンドルターボ冷凍機、高顕熱型ビルマルチ・散水制御・デマンドカット、天井輻射冷暖房パネルの特性整備 ③マニュアル作成
コージェネ・蓄熱	【コージェネ】①プログラム開発:発電制御方式の拡充 ②ケーススタディ:冷却水変流量制御、ピーク電力低減効果 ③機器特性の作成:蒸気利用機器の特性作成、排熱投入型吸収冷温水機特性の検証 【蓄熱】①プログラム検証:熱源運転時間を決定する3種類の負荷予測手法の追加・動作確認と改良、熱源の変流量システムの検証、②マニュアル改訂:水蓄熱に関する部分の改訂

表2 建築エンジンの計算機能

項目	内容・特徴
計算タイプ	設備との連成計算と建築単独計算（熱負荷計算）が可能。連成計算の場合、空調時間帯は短い計算時間間隔でエクスピリット法により、非空調時間帯は1時間程度の計算時間間隔でインプリット法により熱平衡状態を解く。
	日周期定常最大熱負荷計算（EAあるいはWEADAC設計気象利用）が可能。最大値の検索機能もある。任意の予冷熱時間の設定ができる。間々欠運転の予冷熱にも対応
	BEST1分値気象データのほか、EA気象データ、EPW気象データによる年間計算が可能。EA実在年気象に対しては複数年連続計算が可能。月代表日（WEADAC各月代表気象）の日周期定常熱負荷計算が可能
	最大・年間熱負荷計算入力データを両方保存し、選択実行できる。最大熱負荷計算結果を装置容量として自動設定可能。最大熱負荷計算のときにのみ有効な内部発熱の割増・割引係数を「季節係数」として設定可能
スケジュール	日別モード（平日、休日、その他）を曜日ごとに設定するほか、期間別に特別設定することも可能
	時刻変動スケジュールは、折れ線変化と階段状変化を選択可能
外部日射遮蔽物	計算時間間隔や解法（インプリット法とエクスピリット法）切換えは時刻変動スケジュールで設定
建築単独計算用空調運転法	水平・垂直ルーバ、隣棟の影響（隣棟の高さと距離を設定）を計算
ゾーン	設定温湿度、顕熱処理タイプ（冷却加熱・冷却のみ・加熱のみ・処理なし）、潜熱処理タイプ（加湿除湿・加湿のみ・除湿のみ・処理なし）を期間別に設定。空調・換気時間帯は年間、最大負荷計算用を区別して設定可能
	設定室温の時刻変動入力もできるので、冷暖房室温のナイトセットバック効果も評価可能
壁体・家具類	多数ゾーンの熱的な相互影響を、内壁貫流熱、ゾーン間換気で考慮。相互に放射熱移動のあるゾーンの集合（閉空間）を「室」、相互に熱的影響にあるゾーンの集合を「室グループ」と定義
	計算時間間隔の変動に適する項別公比法・最適2根近似による一次元熱伝導計算。家具類の計算には、実験に基づくオフィス家具類吸熱応答データを利用
	豊富な壁材料データベースをもつ。2007年版ライブラリ（空衛学会便覧、欧州規格、M. K. Kumaranらの熱・湿気データの3種）のほか、2012年版ライブラリとして空衛学会HASPEEデータを追加
	ユーザが独自に作成した壁データベースを計算に利用することが可能
一般窓	外壁の室外側を固定温度やスケジュールで与える温度と想定することも可能
	内壁の室外側条件として、多数室計算の場合に隣接ゾーンの部位を選択する方法のほか、隣室温度差係数法や、固定温度と室温の中間温度と仮定する方法なども利用可能
	豊富な窓の熱・光データベースをもつ。2007年版一般窓（ブラインド内側、ブラインド内蔵）のほかに、2012年度版一般窓（ブラインド内側窓）の最新データも追加
エアフローウィンドウ	入射角、プロファイル角変動の影響を考慮する計算法。熱計算ではスラット角は45°固定
	ガラス熱・光性能値の自由入力が可能。ブラインド付きの場合は似た窓を選択して補正に利用。
ダブルスキン	窓排気の一部を空調機に戻す影響を計算できるようになった（UI改訂は今後）。
すきま風	ダブルスキン、ブラインド内蔵一般窓と共通の2013年版窓システムデータベースを整備
ゾーン間換気	ダブルスキン単独で自然換気するタイプを対象とする。自然換気時の多層吹抜けダブルスキンの階による熱性能の違いも考慮可能。ダブルスキンの自然換気方法は、開口率などを期間別に指定する（UI改訂は今後）。
在室者	換気回数法（一定値設定・スケジュール設定・内外差圧も考慮する設定）、外壁漏気係数法による計算
照明	風量設定には、一定値、空調時・非空調時切換え、時刻変動スケジュールによる設定がある。
機器	在室者数、変動スケジュールの設定のほか、代謝量、着衣量の季節別値、気流速度も入力する。Two-Nodeモデルを応用した発熱計算。入力データは、PMVなどの温熱感指標の計算条件としても使用される。
昼光・調光	発熱ワット数、変動スケジュールと放射成分比などを入力する。放射熱は、表面積、家具類の存在を考慮して室内各面へ配分し、吸収される効果を計算する。在室者、機器発熱の放射熱の扱いも同様。
システム発熱体（放射パネル類）	顕熱、潜熱発熱量と変動スケジュールを設定。放射放熱比は、強制対流か自然放熱かにより内部で決める。
温熱環境評価	簡易な昼光・照明調光計算ができる。ブラインドスラット角制御と調光制御による省エネ効果を評価可能
今後の機能拡張	連成計算用に設備側で設定される放射パネルなどの室内発熱体の条件に応じた建築熱計算を行う。パネル類の非運転時の状態に対して、設備モジュールで計算される室内対流・放射放熱量の効果を重ね合わせる考え方の計算である。表面積、家具類の存在を考慮してパネル類からの放射熱を各面に配分し、放射効果を計算する。
	在室者の入力をした場合にPMV、作用温度の時刻変動を出力。MRTの代わりに各ゾーンASTを使用した計算。照明や放射パネルの放射効果も考慮する。

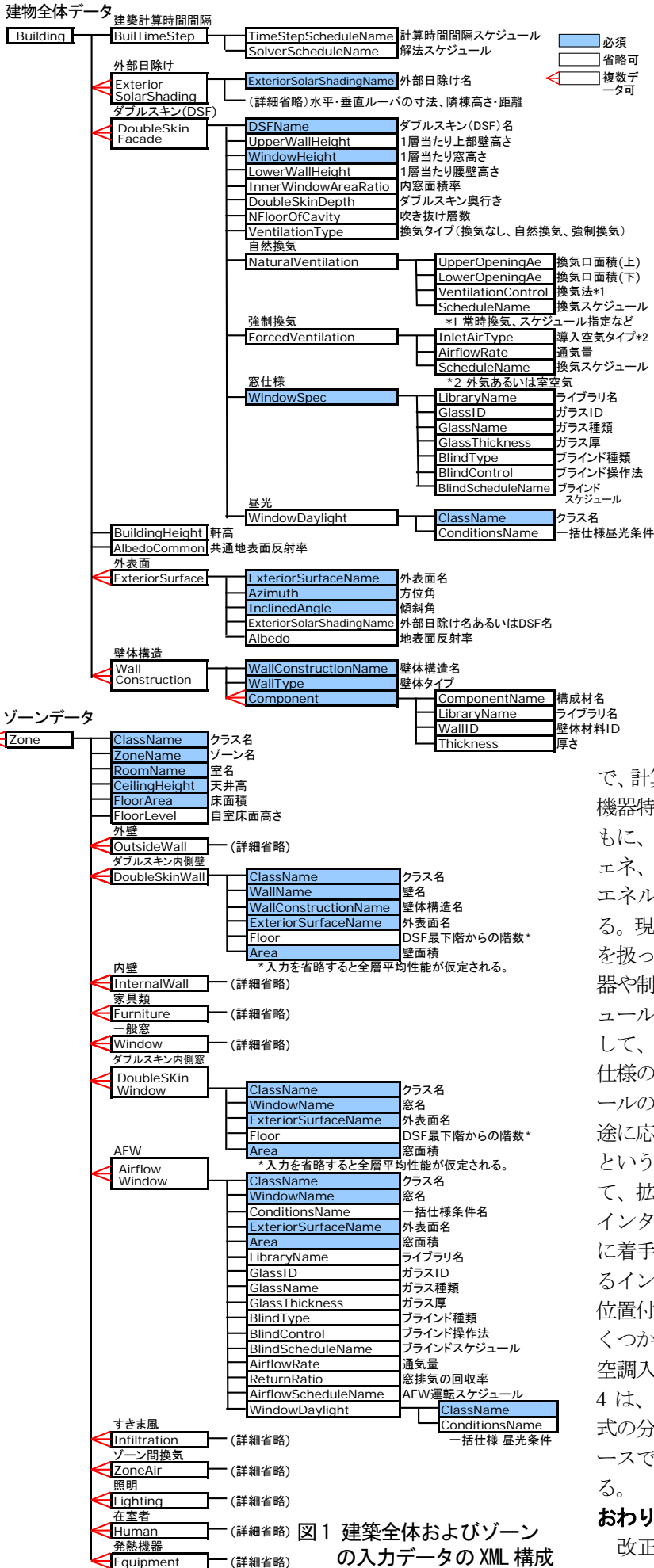
能を整理して示した。

2. 建築計算機能

これまでの開発により、建築エンジンの装備した計算機能を表2にまとめた。当初からもつ機能の特徴は、建築・設備連成計算のほかに建築単独計算が可能、年間計算と日周期定常最大負荷計算・代表日計算が可能、ゾーン相互の熱的影響を考慮、豊富な気象データを利用可能、温熱環境指標の計算、簡単な昼光・調光計算が可能、豊富な壁・窓データベースを装備するなどの点である。昨年度には、ダブルスキン、エアフローウィンドウ（AFW）に共通する熱計算法を提案し、それをプログラムに実装した。また、最大負荷計算と年間負荷計算の

入力データの共通化を進め同時設定機能を付加することで、選択実行できるようにした。

図1は、現在の建築全体および各ゾーンの入力データの構成を示したものである。建築の入力データはXML形式で記述され、図1はそのタグ名で構成を説明している。今回ダブルスキンの計算が可能になった。ダブルスキンの各部寸法、外ガラス・内ガラス・ブラインドの仕様、自然換気に関連する仕様などの入力データは、ルーバ類の外部日除け入力データと並列する位置に配置される。これらの入力データをもとに、ダブルスキン計算クラスで、自然換気量、ダブルスキン空気温度、インナースキン窓部分の熱取得計算用の日射熱取得率と熱負



流率、インナースキン壁部分の熱取得計算用のダブルスキン側相当温度が計算される。多層吹抜けダブルスキンに対しては、ダブルスキン空気温度や熱性能値の上下分布も計算可能である。各ゾーンの入力データの構成にも、ダブルスキンインナースキンの窓、壁に関する項目を加えた。ダブルスキン計算クラスで、計算された熱性能値をもとに各ゾーンの熱取得、熱負荷計算を行うための入力データである。AFW に対しても新計算法を導入し、一般窓とは別の専用の入力データを用意した。

3. 空調計算機能

空調エンジンの計算機能を表 3 にまとめた。設備計算の解法はエクスプリシット法であり、計算時間間隔は 5 分間隔程度に短くする。制御の平衡状態は、PID 制御の式を応用して操作量を決めて解く。これにより収束計算上の問題がなくなり、広範なシステムを計算対象とできる。また、各機器の計算処理はそれぞれ独立したモジュールに記述され、それを組み合わせることにより自由なシステム構成に対応でき、多様なシステム、計算法への拡張性ももつ。これまで

で、計算可能な空調方式、制御方式を拡大するために、機器特性の整備を進めながら、個別式、中央式空調ともに、モジュールの充実を図ってきた。蓄熱式、コージェネ、太陽熱・未利用エネルギー・地中熱などの自然エネルギー利用システムに対しても拡張を進めている。現在のモジュールはかなり細分化された計算内容を扱っており、莫大な数が用意されている。様々な機器や制御の組み合わせが可能である反面、多数のモジュール接続や詳細な仕様設定が必要となる。これに対して、ユーザーインターフェースと連携して、①機器仕様の設定にデフォルト値を用意する、②複数モジュールの接続を済ませたテンプレートを用意する、③用途に応じて複数種類のインターフェースを用意する、という方策をとってきた。当初、入力の詳細度に応じて、拡張版、専門版、基本版（行政支援用）の 3 種のインターフェースの開発を想定し、まず専門版の開発に着手した。空調エンジンの計算機能を全て利用できるインターフェースとした結果、実質的には拡張版に位置付けられる詳細入力になったといえる。その後いくつかの行政支援用インターフェースの開発を行い、空調入力が容易なインターフェースを提案できた。表 4 は、改正省エネ基準対応ツールで計算可能な空調方式の分類である。これはグラフィカルなインターフェースであり、建築入力より簡単な空調入力が可能である。

おわりに

改正省エネ基準に対応する省エネルギー計画のた

図 1 建築全体およびゾーンの入力データの XML 構成

表3 空調エンジンの計算機能

項目	内容・特徴
計算タイプ	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、自由なモジュール接続によって全体システムを構築する。種々のシステムや計算法を組み込み可能。ユーザ作成のモジュールも追加可能。
	建築との連成計算のほか、空調システムのみでの計算が可能。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計算も可能である。
	外乱やその他の状態値の変動データを入力できる境界条件設定モジュールを使用することで、実測値を利用したシミュレーションが可能。
空調方式	機器容量入力による計算のほか、機器容量を自動決定する機能（仮設調整のテンプレートやモジュール）を開発中。熱源、空調機の容量自動決定を4管式システム、デュアルダクト方式に適用できる。
	中央式空調機（CAV方式、VAV方式、2コイル、全熱交換器、外気カット、外気冷房、大温度差）、個別式空調機（冷暖切替、冷暖同時、水冷熱回収、寒冷地仕様）、水・氷蓄熱システム、コージェネシステム、太陽熱利用システム、未利用（河川水など）エネルギーを使用するシステム、アースチューブ
制御方式	制御モジュールと機器モジュールを分け、制御信号の受け渡しにより機器動作をシミュレートする。
	制御の平衡状態はPID制御理論を応用して求める。VAVユニットの風量、冷温水コイルや加湿器二方弁の流量、冷却塔3方弁の流量、パッケージ空調機の運転容量、コージェネ発電機発電量などが該当する。
	制御目標値（冷暖房の設定室温、熱源の冷温水出口温度、空調機送風温度）を月別に設定することが可能。複数の熱源、ポンプ、ファンの台数制御が可能。
運転発停	発停は、スケジュール発停と状態変化に応じた発停が可能。前者の場合、一日に複数の発停を曜日別、期間別に設定できる。後者の例として、電気室換気ファン（室温が設定値を超えると運転）、換気扇（ガス瞬間式湯沸かし器発停と連動）、外灯（日射量で点滅）がある。
	効率的な入力のために、複数のモジュールの接続、基本的な仕様の設定を済ませたテンプレートを各種用意した。タイプが同じテンプレートは入替えが可能。建物全体テンプレートはエネルギー消費の仕分け集計のための接続がされており、建物全体のエネルギー消費量が簡単に出力できる。
入力機能	複数階のシステムを基準階1階分の入力で済ませることが可能。このために、熱源との接続の際に冷温水の流量を階数で拡大・縮小して伝達できる。電力やガス消費量についても同機能を用意している。
	モジュール単位に出力設定が可能。負荷・消費エネルギー・入口、出口状態値などの出力項目を選択できる。
出力機能	計算中にグラフを表示し計算状態を確認することが可能である。トレンドグラフ、散布図、ヒストグラム、水蓄熱槽の温度プロファイルの表示ができる。計算中のグラフ表示スピードの調整もできる。運転の不具合等のチェックにも利用できる。
	エネルギー消費量をエネルギー種類と消費項目別に集計できる。各計算ステップ、時間、日、月、年単位で計算中のグラフ表示も可能。

表4 BEST 設計 改正省エネ基準対応ツールで計算可能な空調方式

パッケージ方式	セントラル方式
・スプリット型EHP 1)ビル用マルチ標準型：冷暖切替、冷暖切替寒冷地対応、冷暖同時 2)店舗用：冷暖切替、冷暖切替寒冷地対応 3)設備用冷暖切替 4)ビル用マルチ：氷蓄熱冷暖切替、水冷（冷暖切替、冷暖同時）	1)空気熱源ヒートポンプチラー： スクリュー（インバータ無）、スクロール（インバータ有/無） 2)水冷チラー： スクリュー（インバータ無）、スクロール（インバータ無） 3)ターボ冷凍機：標準型、高効率型、高効率型インバータ
・スプリット型GHP 1)ビル用マルチ：標準型（冷暖切替、冷暖同時）、発電機付（自己消費、系統連携）	4)吸収式冷温水発生機： 直焚き二重効用（一般、高効率、高期間効率）、直焚き三重効用、温水炊き、排熱投入型s 5)冷却塔 6)氷蓄熱ユニット 7)水蓄熱：連結完全混合槽、温度成層型
・スプリット型室内機 1)室内機 2)室内機+全熱交換機 3)外気処理室内機 4)全熱交換機付き外気処理室内機 5)全熱交換機ユニット	8)真空温水器 9)熱交換器：温水熱交換器（CGS排熱、地域熱供給など）、冷温水熱交換器（地域熱供給など）、冷水熱交換器（地域熱供給など）
・一体型 1)ウォールスルー：定速型、インバータ 2)EHP水熱源：定速型、インバータ 3)冷媒熱回収型外調機 4)全熱交換機ユニット	

めのツールをグラフィカル入力に留意して提案した。また、現在のエンジンが有する計算機能を、建築、空調に関して総括した。

今後、多くのユーザーのための確かな入力と確かな計算に留意して開発を進めていきたい。

【謝辞】

本研究は、(一財)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)、統合化 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。統合化 WG 主査：石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員：一ノ瀬雅之(首都大学東京)、大西晴史(関電工)、内海康雄(宮城工業高等専門学校)、木下泰斗(日本板硝子)、木本慶介、野瀬暁則(大林組)、工月良太(東京ガス)、郡公子(宇都宮大学)、菰田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤 ER)、芝

原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、菅長正光(菅長環境設備事務所)、田中拓也(大成建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀與(鹿児島大学)、野原文男、長谷川巖、滝澤総、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊(以上、日建設)、保木栄治(東京電力)、柳井崇、品川浩一、山本佳嗣(以上、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111)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.19669-2040、2007.9、pp.1077-1156、2008.8、pp.639-730、2009.9、pp.2527-2590、2010.9、pp.1675-1738、2011.9、pp.1327-1398、2012.9
- 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29報、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1027-1042、2008.9、pp.976-1000、2009.9、pp.1293-1298、2010.9、pp.1147-1154、2011.9、pp.1211-1224、2012.9
- 3) 建築環境・省エネルギー機構：BEST 改正省エネ基準対応ツール技術解説書、2013.4