

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 78）

BEST プログラムの全体概要と開発状況

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 78)

Outline of the whole programs and Progress Stage

技術フェロー	○石野 久彌（首都大学東京）	特別会員	村上 周三（建築研究所）
技術フェロー	坂本 雄三（東京大学）	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）	正会員	牧村 功（日建設計）
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 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.

The BEST program has been developed since 2005. The professional version has the essential capabilities as an integrated simulation tool that solves simultaneously the heat balance between multiple zones and building service systems. This paper describes the outline of the program and the current stage of the development. The results of the numerical analysis on building thermal storage systems as well as the verification with the measurements are also presented.

はじめに

BEST プログラムは 7 年前に開発を始めた。本報ではこの 1 年の BEST の開発状況について概説する。

1. BEST 簡易版

BEST は専門版を中心に開発がすすめられた。これは最も標準的なプログラムといえる。エンジンの共同開発、拡張性、精度、広範性、などに力点を置いていたものである。プログラム開発にはこの専門版の開発が基本となるが、それに対してユーザー利用の簡便さに重点をおく方向として、ここでは入力項目の省略化に絞って BEST 簡易版を位置付けた。大半の実務ユーザーにとっては、BEST 簡易版こそ有用なものとなり得る。計算は詳細だが、入力は非常に簡易化されているというものであり、簡易版は行政支援ツール版と専門版の中間に位置し、省エネ試算や基本計画時の検討に好都合なプログラムツールとなる。計算エンジンは専門版と同一のものを使用しており、高精度のエンジンを用いながら簡易入力、簡易出力に対応している点で FACES（東電+猪岡プログラム）と類似している。BEST 簡易版の入出力の特徴を説明すると、

・建物形状

矩形平面であることが計算条件とはなるが、コアタイプは 6 種類から選択することができコア面積率を入力すれば形状が決定できるという簡便さである。

・建物構成部材

屋根、外壁については構成種類をプルダウンメニューから選択し断熱については自由に入力できるようになっている。窓種類はほぼ全種類の入力が選択でき、面積は窓面積率で入力する。庇については、オーバーハング、サイドフィン、ボックスタイプの入力が可能である。これらは全方位共通とすることも可能であるし、方位別に入力することも可能である。

・内部発熱

人体、照明、機器発熱とそれぞれのスケジュールを曜日別時刻別に入力する。

・空調運転条件

冷暖房期間、設定温湿度、空調運転時間、外気導入条件、全熱交換機について入力。

・セントラル空調方式

熱源種類をプルダウンメニューから選択し、冷房暖房別に能力、消費電力、燃料消費量を入力する。水蓄熱槽の条件、水搬送方式、空気搬送方式、外気冷房、外調機+FCU、等について入力。

・パッケージ空調方式

EHP・GHP の選択、室外機の冷房暖房別の能力、消費電力、燃料消費量の合計値を入力する。室内機形式の入力、室内機容量は自動設計。

・換気、照明、昇降機、給湯、効率化設備

省エネ法の CEC の計算法に従った分子の一次エネルギー消費量計算を行う。

・出力
最大負荷計算、年間負荷計算、一次エネルギー消費量計算の出力指定が可能であり、最大負荷詳細グラフ（室温、湿度、装置負荷、PMV）、年間負荷詳細グラフ（月

別年間負荷、負荷頻度分布）、一次エネルギー消費量燃料別グラフ（月別・燃料別消費量、燃料別円グラフ、創エネルギー別円グラフ）

2. その他 BEST の開発状況

表 1 BEST 専門版の特徴と開発状況

項目		特徴と開発状況
全般	特徴	①建築・空調・電気・衛生との連成計算が可能であると同時に、建築・空調・電気・衛生の部分計算も可能である。②設計用最大熱負荷計算、年間熱負荷計算(以上建築単独計算)、年間エネルギー計算(連成計算)が可能で、各利用段階に対して、入力データを容易に変換可能。
気象	特徴	①豊富な気象データを利用できる。(a)BEST1分値データ：1分間隔に変動する気象データ（東京）が内蔵。(b)EAデータ：出版公開されたDVDに収録された国内842地点の標準年、実在年(1981～2000年)のEA（拡張メタス）データを読み込み可能。(c)EA設計用データ：国内842地点のデータが内蔵。(d)EPWデータ：無償公開されている海外2100地点以上の標準年データを読み込み可能。(e)WEADACデータ：約3700地点の海外設計用気象データ、月代表日データを読み込み可能。②60分より短い時間間隔に自由に変換可能。
	開発状況	①2001～2007年のEA気象データを開発中であり、今後順次公開する予定である。②全国55地点の2000～2009年の1分値気象データの整理を行い統一フォーマットで表すことができた。今後、欠測補充を行い、可能な年・地点から順次公開する予定である。
建築	特徴	①解法の切換えが可能である。連成計算時にはエクスプリシット法により解くものに対して、建築独立計算時にはインプリシット法に切換えて効率的な計算をすることが可能。②インプリシット法で計算する時間帯には、計算時間間隔を変動設定可能。③多ゾーン相互の熱的影響を考慮できる。④年間計算のほか、日周期定常最大熱負荷計算も可能である。⑤豊富な壁・窓データベースをもつ。⑥PMV、作用温度を出力する（MRTの代わりにASTを使用）。⑦簡単入力で風光・調光計算が可能である。
	開発状況	①最大熱負荷計算に関する機能充実として、最大熱負荷検索・出力機能の追加、年間計算用装置容量の自動設定機能の追加、最大熱負荷計算と年間熱負荷計算の入力データ共有化のためのエンジン改良を行った。今後、これに対応するUI改良を行う。②実在複数年気象の連続計算の可能とするエンジン改良を行った。③壁物性値データベースの編集ツールを開発中である。④ダブルスキンのシミュレーション理論を考案した。今後、理論の拡張とエンジン開発に着手する予定である。⑤例題を利用した手引書の内容検討中であり、今後公開する。⑥BESTの特長を活かすモデリング法をオフィスを中心に検討し、妥当性を検証した。⑦各種省エネルギー手法の評価を可能とするシミュレーション法、計算条件を検討中であり、今後も続行する。
空調	特徴	①各機器モデルを、統一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。②種々のシステムや計算法を組み込み可能で、かつ比較的シンプルなフレームワークをもつ。③個別式、中央式ともに計算可能。④全体システムその他、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が可能である。⑤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用意し、入力の手間を省くことができる。
	開発状況	①モジュール・テンプレートの拡充を行った。2次ポンプ、空調系統、中央式・個別式の併用方式、個別式新機種（EH-HP：冷暖同時、寒冷地用、水蓄熱、水冷、GHP：発電機付自己消費型、発電機付系統連携型、KHP：標準、寒冷地用、EHPパッケージ：店舗用（標準、寒冷地用）、設備用、ウォールスルー（定速、インバータ）、水熱源（定速、インバータ）、EHP外気処理パッケージ：冷媒熱回収型）、熱源（水冷チャラー、HPチャラー（スクリーン、スクロール）、直焚き冷温水発生機（高期間効率機、三重効用）、蒸気吸収式冷凍機、冷却塔）、熱源群（熱源5台の台数制御）などのテンプレート、ファン、ポンプモジュールを整備した。今後も拡充を継続する。②PID制御モジュールの改良（自動調整機能、3モード、逆+正動作など追加）を行った。③テンプレートマニュアル、作成手順書を整備・作成中である。④機器単体の動作チェックを行いやすい機器特性チェック用テストモジュールの作成
衛生電気	特徴	(衛生)①器具使用頻度を利用する負荷算定法を採用している。②雨水利用、節水器具の効果の計算が可能である。③各種給湯加熱装置、太陽熱利用システムの計算が可能である。(電気)①昼光照度を連動した調光制御の計算が可能。②太陽光発電の計算が可能。③各負荷機器の消費電力に合わせ、変圧器の損失電力量の計算が可能
	開発状況	(衛生)①ハイブリット給湯システム（業務用エコキュート+燃焼系ボイラー、業務用エコキュート+太陽熱利用）、一管式給湯システムのモジュールを開発する予定である。②各衛生システムのテンプレートを開発する予定である。
機器特性	特徴	多種類の機器の特性データを収集し、定式化とデータベース化を行っている。
	開発状況	①熱源機器：水蓄熱用ターボ冷凍機、高期間効率直焚き吸収式冷凍機の特性調査を行った。今後、排熱投入吸収式モデルの高度化を行う。②熱源補機：冷却塔計算モデルの検討、ショートサーキット率の検討を行った。今後、白煙防止型冷却塔の特性を追加する。③搬送機器：プラグファンの特性調査を行い、今後特性の定式化を行う。④個別分散空調：水熱源ヒートポンプの特性を調査した。さらに、新規データの収集を継続する。
コージェネシステム	特徴	①配管内の水熱容量を考慮するモデルを採用し、システム停止時や開始時の水温変動を計算可能である。②貯湯槽の放熱計算が可能である。③ガスエンジン、ガスタービン、燃料電池の計算が可能。④排熱投入型冷温水機、デシカント空調機による排熱利用、熱交換器を介する暖房利用の計算が可能。
	開発状況	①太陽熱駆動の温水焚き吸収冷凍機、熱主電従運転・冷却水変流量制御のコントローラのモジュール作成、排熱投入型吸収冷温水機とガスエンジンのテンプレート作成を行った。②太陽熱利用+コージェネ排熱利用冷暖房・給湯システムの事例再現、排熱投入型吸収冷温水機の特長の見直し、排熱利用給湯システムのデフォルト計算順序の追加を行った。③現在、熱主電従運転ロジックの検証、機器モジュールのテストを実施中である。④今後、蒸気焚き排熱投入型吸収冷温水機のモデル化、排熱利用型吸収ヒートポンプ、発電機能付きGHPチャラーのモジュール作成を行う。

・BEST 専門版

開発内容の詳細は表 1 に示すが、ユーザー要望を重視して建築では広範な気象データの取り入れ、ガラス建築への対応、マニュアルの整備強化であり、設備関連はテンプレート開発の充実拡大、モジュールの補完、機器データの拡充、マニュアル整備などである。

・BEST 行政支援ツール版

昨年 4 月から行政支援ツール版が無償公開されているが、来年 4 月以降の新省エネ法に対応するように BEST プログラムも室単位入力への配慮、気象の新ブロック・気象年への配慮、効率評価から原単位評価への配慮を作業中である。また入力の柔軟性、簡易化、確実性についても討議中である。

3. 躯体蓄熱空調の検討例

BEST の設備側フレームワークは自由なモジュール追加を許容し、用途に応じた計算を可能としている。ここでは、天井リターン方式や床吹出方式のように、空調により複数ゾーンを経由する空気の流れが生じる場合の計算が可能なモジュール (ZoneAirRootsModule) を使用し、躯体蓄熱空調の試算を行った例を示す。まず、躯体蓄熱空調の実験値との照合を行い、次に二重床蓄熱方式と天井蓄熱方式の数値解析を行った。

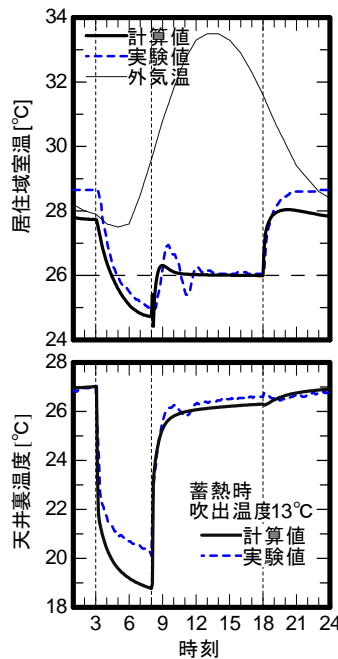
3.1 実験値との照合

相楽らの天井裏空間利用躯体蓄熱実験 (床スラブ吹付

表 2 実験値との照合用計算条件 (case1)

気象	福岡夏期設計用外気温	
建物	対象室：試験室居住域と天井裏 (床面積60㎡) (外気室側)窓：透明5mmガラス、天井裏外壁：断熱50mm (上下階側)コンクリート150mm、上階は居住域、下階は天井裏の空気温に等しい (隣接室側)プラスターボード24mm、隣接室の空気温は居住域と同じ 隙間風：0.2回/h 天井板漏気：1回/h 梁：鋼9mmの内壁に置換	
	照明：空調時32W/㎡、機器発熱：20W/㎡ (非空調時は15%)	
	空調	蓄熱：3:00-8:00、空調：8:00-18:00 吹出風量1500CMH/h 蓄熱時：吹出空気温度13℃、空調時：設定室温26℃

注) 隙間風、天井板漏気以外は、注記文献の実験条件と同じ。計算時間間隔は5分間隔。



*計算値は、case1 (表 2 の条件) の結果

図 1 実験値との照合 (温度変動)

【注記】実験値との照合では、次の文献の実験 No.1-1 の条件を用いて計算を行い、結果の比較を行った。
相楽・宋・前原・龍他：天井裏空間利用躯体蓄熱空調システムに関する実験的研究 ―各種設計要因がコンクリートスラブ等の蓄放熱特性に及ぼす影響評価―、日本建築学会環境系論文集 No.636, pp.209-216, 2009.2

方式、本報では天井蓄熱方式と呼ぶ)の結果 (注記文献)に着目し、同条件で BEST の連成計算を行った。試験室居住域とその天井裏の 2 ゾーンを計算対象とした。外乱は外気温と内部発熱であり、5 時間蓄熱 10 時間空調の日周期定常状態を求めた。計算する上で不明な隙間風と天井漏気については標準的な値を仮定しこれを case1 とした。case1 の計算条件を表 2 に示す。BEST では、ゾーン内空気温度を均一と扱うため、床スラブに冷風を直接吹付ける効果は考慮できない。また、表面熱伝達率が部位によらず固定値である点にも限界がある。case1 の温度変動を実験値と比較した結果を図 1 に、隙間風量、天井漏気量を変更した数ケースについて日積算冷却熱量を比較した結果を図 2 に示す。case1 の非空調時居住域室温、蓄熱時天井裏温度が、実験の平均温度に比べて低い、日積算熱量は実験値とほぼ一致した。蓄熱時の積算熱量の差も小さいことから、天井裏温度の計算値は、実験での空調機吸込温度に近い値といえる。非空調時の居住域室温の実験値との差については今後更に検討する予定である。天井漏気量の条件を変えると蓄熱時と空調時の熱量比率が少し変わるが、日積算熱量はそれほど変化しなかった。

3.2 二重床蓄熱方式と天井蓄熱方式の比較

基準階オフィスについて、二重床蓄熱・床吹出空調と天井蓄熱・天井吹出空調の 2 ケースの比較を行った。表 3、図 3 に計算条件を、図 4~6 に夏期代表日 (東京 8/4 (金)) の結果を示す。二重床蓄熱は、天井蓄熱に対して、蓄熱量が少ない、作用温度環境が少しよい、インテリアゾーンのピークカット率が高い、供給熱量の増加率がやや小さいなどの傾向があり、蓄熱運転するときの日積算供給熱量は天井蓄熱よりやや小さかった。ただし、週後半の平日の結果であり、今後週間あるいは期間での解析評価が必要である。

おわりに

BEST は、現在の関心事である電力ピーク回避の検討に十二分に活用されるべき計算ツールといえる。

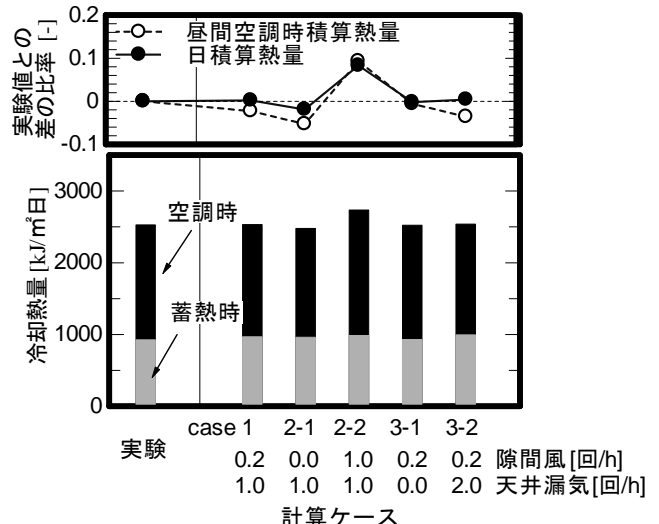


図 2 実験値との照合 (日積算熱量)

表3 計算条件

気象	2006年東京1分値データ
対象室	オフィス基準階南室インテリアゾーン107、南ゾーン98、東・西ゾーン各49㎡(空間高さ: 居住域2.7、天井裏1.0、床下0.3m)
建物	窓: Low-E複層ガラス内側ブラインド、窓面積率: 68% 外壁: 断熱50mm、隙間風: 0.2回/h、内壁: コンクリート、隣室温度差係数0.1、梁: コンクリート厚300mm、表面積0.4㎡/㎡の内壁に置換
空調	ゾーン間換気: インテリア-ペリメータ20回/h(ペリメータ容積基準)、居住域-天井裏、居住域-床下: 1回/h(居住域容積基準)
空調方式	各ゾーンAHU方式
空調風量	10回/h(インテリア)、20回/h(ペリメータ)
躯体蓄熱	3:00-8:00、送風温度15℃
昼間空調	8:00-22:00(換気: 8:30-22:00)、冷房設定室温: 26℃
その他	計算時間間隔: 主に、5分、60分

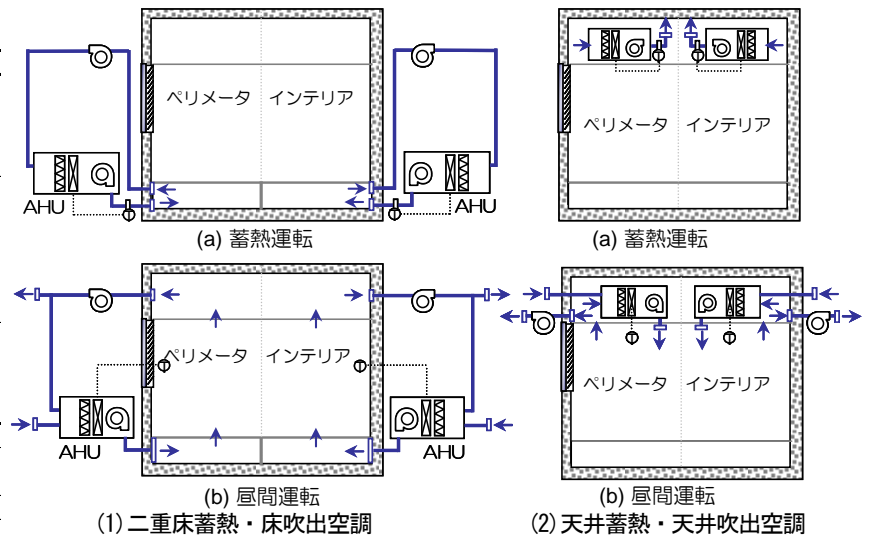


図3 空調システム

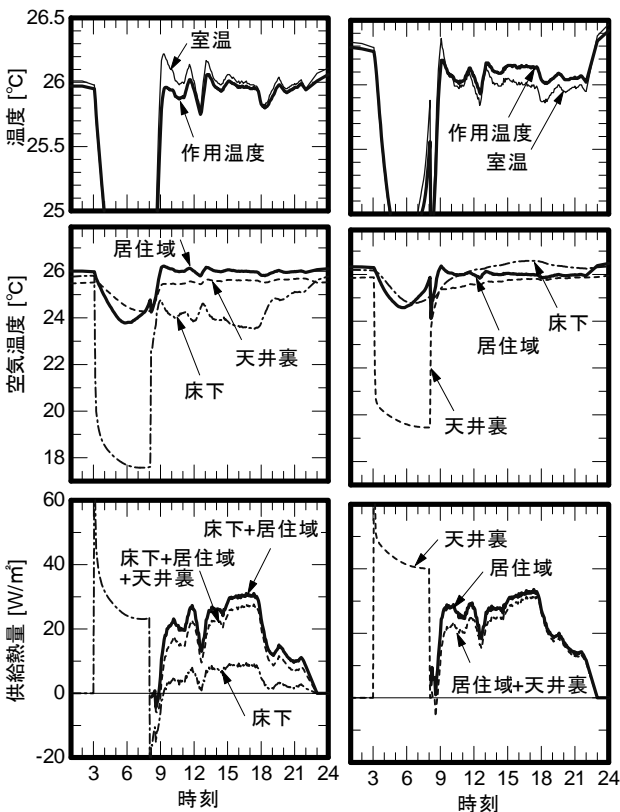


図4 夏期代表日(8/4(金))の室内温度と供給熱量(インテリアゾーン)

【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ものである。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ものである。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)、工月良太(東京ガス)、郡公子(宇都宮大学)、菖

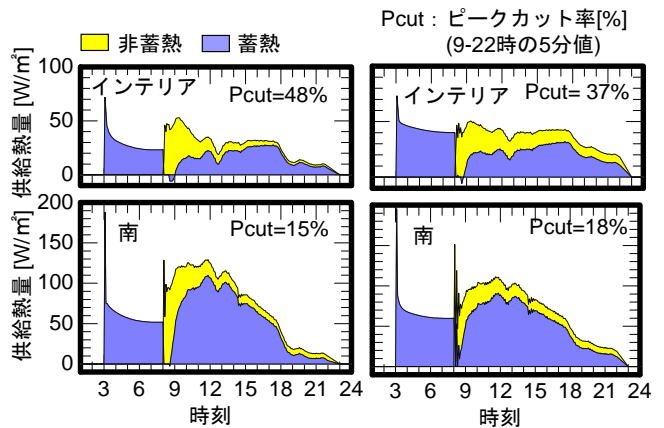


図5 蓄熱・非蓄熱運転ち夏期代表日供給熱量

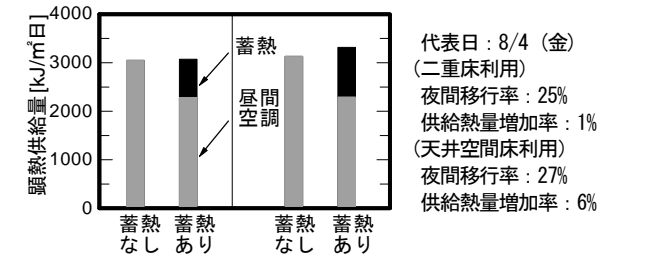


図6 夏期代表日の日積算供給熱量(南室4ゾーン合計)

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)、高橋亜璃砂(大林組)、田中拓也(大成建設)、長井達夫(東京理科大学)、二宮秀典(鹿児島大学)、野原文男、長谷川巖、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊(以上、日建設計)、保木栄治(東京電力)、柳井崇、品川浩一(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77)、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、pp.639-730、2009.9、pp.2527-2590、2010.9
- 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22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、第23報~第25報、pp.1293-1298、2010.9、第26報~第29報