

## 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 187）

### 最近の進展の特徴

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 187)

### Features of Recent Progress

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（東京大学名誉教授） 技術フェロー 松本 真一（秋田県立大学）  
 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（日建設計総合研究所）

Hisaya ISHINO\*<sup>1</sup> Shuzo MURAKAMI\*<sup>2</sup> Yuzo SAKAMOTO \*<sup>3</sup> Shin-ichi MATSUMOTO\*<sup>4</sup>

Masayuki OTSUKA\*<sup>5</sup> Kimiko KOHRI\*<sup>6</sup> Tatsuo NAGAI\*<sup>7</sup> Takashi AKIMOTO\*<sup>8</sup>

Takashi YANAGIHARA\*<sup>9</sup> Isao MAKIMURA\*<sup>10</sup> Fumio NOHARA\*<sup>11</sup>

\*<sup>1</sup> Tokyo Metropolitan Univ. \*<sup>2</sup> IBEC \*<sup>3</sup> The Univ. of Tokyo \*<sup>4</sup> Akita Prefectural Univ.

\*<sup>5</sup> Kanto-Gakuin Univ. \*<sup>6</sup> Utsunomiya Univ. \*<sup>7</sup> Tokyo Univ. of Science \*<sup>8</sup> Shibaura Institute of Technology

\*<sup>9</sup> Tokyo Denki Univ. \*<sup>10</sup> Naguwashi E & TP Lab. \*<sup>11</sup> Nikken Sekkei Research Institute

This tool has been continuously developed for 12 years. This paper describes the outline and features of the progress in the most recent year. The trial version of user interface for simulations of residential houses was released. The building simulation engine was improved to have the capability of simulating the effects of air-side economizers, demand control ventilation and heat recovery ventilation.

#### はじめに

本ツールは既に 12 年間にわたる継続的な開発を行い、本年 1 月には ASHRAE 冬季大会で 4 人の講演を行い、会場内外で多くの貴重な意見を受けることができた。これからは開発・普及の両者に力を注ぐことになる。

本報ではこの一年の開発状況の報告と計算例として外気導入制御に焦点を当てて省エネ効果の複合効果を考察した結果新たな知見を得たのでここに報告する。

#### 1. 最近の開発状況

表 1 に、最近 1 年間の開発状況をまとめた。省エネ基準対応ツールは、申請計算と設計計算の 2 つの用途に利用できるという特徴をもつ。申請計算に関しては、誘導基準認定用の機能追加、国交大臣が認めるプログラムを目指す調整を行った。住宅版については、住宅用設備機器の計算機能の装備、各種データベースの整備、計算条件の設定法の検討、既存プログラムとの比較による妥当性検証を進め、戸建て住宅の計算が可能な試行版をリリースできた。計算結果の表示機能も工夫され、エネルギーのほかに室内環境の評価にも利用できる。

気象データは、拡張アメダス新データが公開された。2006～2010 年実在年と 2010 年版標準年である。2010 年版標準年データの収録地点数は、2000 年版の 842 地点に対して 836 地点となった。今後は、2010 年版設計用気象データの開発に取り組む予定である。建築プログラムは、熱負荷計算用の外気冷房・最小外気量制御・全熱交換器

の計算機能が追加された。また、多数の室入力を行う熟練ユーザに便利な機能を付加するため、表計算ソフトを利用するユーザーインターフェースの開発に取りかかった。空調プログラムは、機器モジュール、テンプレートの追加・改良を続行するとともに、マニュアルの整備のために、フォーマットの検討、モジュールマニュアルの作成などに力を注いだ。機器特性データの収集・整理については、既存データの更新必要性の調査、新規機器特性調査、特性補正に関する調査を幅広く継続している。同時に、マニュアル整備も進めた。蓄熱・蓄電システム、コジェネレーションシステムの計算のために、機能拡充と計算法の改良、妥当性検証も継続されている。

毎年開催している講習会は、基本的な計算のほかに、省エネ手法の評価や設計事例での利用や応用検討など、内容が豊富になり、モデリング法、結果の分析・評価法も学べるものとなっている。ユーザからの問合せに対する回答とその内容公開も継続している。

#### 2. 非連成用外気導入制御の計算機能

最近の開発項目のうち、非連成(熱負荷計算)用の外気導入制御の計算機能について、特徴とケーススタディの結果を示す。外気導入制御とは、外気冷房、最小外気量制御、全熱交換器による熱回収運転のことを指している。熱負荷計算では、具体的な空調機器や制御を想定しないことが基本であるが、室負荷と外気負荷を計算対象としているので、換気に関する省エネ手法も評価できると便

利である。今回、熱負荷計算に導入した外気導入制御の計算機能は、種々の運転許可条件を設定できることが特徴である。本計算機能を利用すると、内部発熱やファサード高性能化手法と外気導入制御との交互作用を考慮した省エネ評価を手軽にできる。ただし、各ゾーン独立した外気導入制御が仮定される、最小外気量制御時の外気量は在室率をもとに決めるなどの簡易な扱いがされている。

国内 836 地点の熱負荷計算を行い、自然換気を併用する外気導入制御の効果を調べた。計算ケースを表 2 に示す。基準ケースとそれに対して自然換気と外気冷房を行う外気利用ケース、さらに最小外気量制御と全熱交換器を加え

た外気利用・抑制ケースの 3 ケースである。オフィスビルを想定する計算条件を表 3 に示す。全都市共通に使用できるゾーンと空調条件を設定した。標準年気象データは最新版である 2010 年版を使用した。

まず、東京、札幌の月別負荷を比較した。図 1 より、外気利用効果がある程度認められるのは、東京は春・秋 4 ヶ月、札幌は夏 4 ヶ月、外気抑制効果は、東京は冬 4 ヶ月と夏 2 ヶ月、札幌は冬のみ 7 ヶ月程度であった。また、札幌は外気利用・抑制により、装置負荷の季節差が小さくなった。図 2 は、代表 8 都市の年間装置負荷を示したものである。外気利用による負荷低減率は都市によらず 15%前後

表 1 最近 1 年間の開発状況

項目	開発・ユーザ支援内容
省エネ基準対応ツール	①機能拡充(2回のバージョンアップ): 誘導基準認定用の申請計算機能追加、気象地域区分(8区分)入力・壁窓底画面でのサッシ入力・共同住宅室用途の追加、全熱交換器の入力機能・熱源出口温度適正範囲チェック機能の追加等 ②検証: 各種意見収集、リリース前のテスト ③講習会: テキスト作成、講習会(計4回)実施 ④「国土交通大臣が認めるプログラム」を目指す検証: 操作編・理論編解説書の改訂、気象データの扱い・PAL計算法の検証、WEBとのPAL計算比較 ⑤今後の予定: 誘導基準対応ツールのリリース、PAL計算解説書の改訂、計算法の改良
住宅版	2017年4月に住宅用試行版を一般公開した。開発内容は次の通り。①UIの開発: 平面図での温熱環境表示、月別・年間負荷・エネルギー消費量、特別電力・ガス消費量・発電量表示 ②計算機能開発: 外壁・室仕様整理、カーテン等を含めた窓性能DB整備、ゾーン間換気ルートの設定機能、ルームエアコン・電気ヒータ・温水式床暖房・給湯器(従来型、潜熱回収型、ヒートポンプ、太陽熱利用)・太陽光発電・住宅用燃料電池・蓄電池の計算機能 ③検証: ESLISM等の既存プログラムとの比較検証、入力に関する意見収集、試行版の入力・計算テスト実施 ④今後の予定: 自然換気・エアコン変風量特性の計算機能とUI開発等
気象	①気象データ拡充: 2010年版EA標準年気象データ、2006~2010年EA実在年気象データの公開
建築	①計算機能拡充: 非連成用外気導入制御(外気冷房(自然換気との併用制御も可)・全熱交換器・最小外気量制御)の計算機能追加、外気導入制御専用の出力機能追加、EA気象データ拡充と新地点番号導入に対応する機能の追加 ②サンプルデータの公開: 非連成計算用の自然換気併用外気導入制御オフィスの入力データ公開 ③講習会・マニュアル: 初級・中級講習会の実施、講習会用テキストの作成(2ゾーンオフィス計算、TRYBEST活用、AFW・ダブルスキンの計算と結果解析、自然換気併用ハイブリッド空調の計算と省エネ評価)、マニュアル改訂 ④有用性確認と応用: PMV、OT制御の空調熱負荷・室内環境への効果解析、自然換気口面積の決定法の提案とその効果解析、自然換気併用空調の感度解析と自然換気効果推定チャート提案、外気冷房制御等の省エネ効果解析 ⑤今後の予定: 外部日除け・外部形状の日除け効果の計算機能追加
建築UI拡充	表計算ソフトをベースとした入力支援ツールの開発を開始した。ある程度熟知したユーザー用に効率的な多数室入力が可能となる。開発内容は次の通り。①入力データ作成用の表計算ソフトフォーマットの作成 ②サンプルの入力データ作成 ③計算エンジン用入力データへの変換プログラム開発 ④今後の予定: プログラム開発、入力データ作成ガイダンス機能、ケーススタディ支援ツールの検討
空調	①計算機能拡充: テンプレート更新、新タイプの熱源空調テンプレートの作成、デマンドレスポンスに対応したテンプレートへの改良、シーケンス接続軽減の改良、スケジュール設定機能の拡張等 ②マニュアルの整備: 整備方針の検討、マニュアル構成の見直し(操作編と資料編、具体的なモジュール作成方法の説明追加)、モジュールマニュアル(各モジュールの仕様書)のフォーマット作成 ③講習会・例題改訂: 講習会用の例題作成と講習会の実施、解説書TRYBESTの内容修正 ④検証: 誘導基準対応版から専門版へのインポート機能の検証、SHASEシミュレーション評価ガイドラインによるテスト、換気回路網モジュール、放射パネルモジュールの検証・改良 ⑤有用性確認: 水蓄熱空調、温水床暖房の効果解析等 ⑥今後の予定: モジュール・テンプレートの開発・更新、シーケンス接続に関するマニュアル検討他
機器特性	①機器特性の調査: 熱源機器の市場動向・JIS改定・既存機器特性の更新必要性についての調査、水温帯拡大型水熱源パッケージ、ヒートポンプ付ファンコイルユニット等の新規機器特性の調査、個別分散空調機の変風量制御特性の調査とロジック整理、高顕熱冷熱同時型パッケージ空調機の実態調査、静止型全熱交換器ユニットの効率補正值調査 ②マニュアル整備: 空冷・水熱源ヒートポンプチャラー、水温帯拡大型水熱源パッケージ、ヒートポンプ付ファンコイルユニット、パッケージ形空調機、電動機等のマニュアルの整備 ③今後の予定: 蒸気コイル・デシカント空調機・空調機組込み加湿器の特性調査、空調機内圧損のデータベース作成、マニュアル作成とテスト
衛生	①機器特性の見直し: 給湯機器の特性確認、業務用ヒートポンプ給湯器の特性見直し ②講習会の実施 ③今後の予定: 開発項目の検討(温泉水、地中熱等による給水温度の予熱に関する計算方法等)
蓄熱・蓄電	①計算機能拡充: 蓄熱制御に新機能追加、熱源計算の改良、ピークカット制御の計算改良、②検証: SHASEシミュレーション評価ガイドラインによるテスト、温度成層型蓄熱槽の分割数についてBESTとCFDの結果比較、NAS電池での計算値と実測値との比較 ②有用性確認: ピークカット用蓄電池容量、太陽電池と蓄電池による電力削減の解析 ③講習会の実施 ④今後の予定: 動作検証とプログラム改良、実測値との比較
コジェネ	①計算機能拡充: 蒸気利用CGSモジュール(蒸気ボイラ・ヘッダー一体型、蒸気・温水熱交換器、蒸気焚吸収冷凍機、排熱投入型蒸気吸収冷凍機等)の開発・テスト、排熱有効利用の熱源コントローラの機能拡張、CGSテンプレート更新 ②有用性確認: 蒸気利用CGSの簡易・詳細モデルの作成・試算、デマンドレスポンス制御のシミュレーション解析 ③講習会の実施 ④今後の予定: 詳細モデルによるケーススタディ、マニュアル更新等

であるが、外気抑制も加えると 25~50%となり都市による違いが大きく、寒冷地が有利である。札幌、旭川の年間負荷は、基準ケースでは東京より大きい、外気利用・抑制を導入すると、東京より小さくなった。8都市のなかでは、仙台の年間負荷が最も小さい。

図2に示した国内836都市の装置負荷中央値を基準として、年間装置負荷の有利不利を評価したカラーマップを図3に示す。Low-E 複層一般窓の基準ケースの場合、本州、四国は負荷が中央値付近となる地域が多い。負荷が特に小さいのは関東・東北の太平洋沿岸、特に大きいのは北海道の北部内陸であった。これに対して、外気利用・抑制のケースでは、北海道、東北に有利な地域が増え、低緯度になるほど不利な度合いが増すという傾向が顕著である。図4は、外気利用・抑制手法による年間負荷低減量のカラーマップである。図3と同様に負荷低減量の中央値を基準とした。外気利用による冷房負荷低減量は、カラーマップで確認しても地域差が小さかった。さらに外気抑制手法を加えると、温暖地で冷房負荷低減量が増加するが、中央値は少し増す程度である。寒冷地における外気抑制の暖房負荷低減量が非常に大きいため、外気利用・抑制による冷暖房負荷低減量は、低緯度より高緯度、太平洋側より日本海側で大きいという傾向が明瞭に現れた。

表2 比較ケース

ケース	内容
基準	外気導入制御、自然換気ともになし
外気利用	基準に対して、外気冷房と自然換気を導入
外気利用・抑制	基準に対して、外気導入制御全手法(外気冷房、最小外気量制御、全熱交換器)と自然換気を導入

【図1~3注記】 図示した装置負荷は、空調8ゾーンの合計負荷である。冷房負荷とは冷却除湿負荷、暖房負荷とは加熱加湿負荷のこと。図1の東京の5、9、10月、札幌の6、9月の暖房負荷は加湿負荷のみである。

【図1、2注記】 1) 負荷低減率は、冷暖房負荷に関する値。2) 図2の中央値とは、国内836都市の年間装置負荷の中央値。

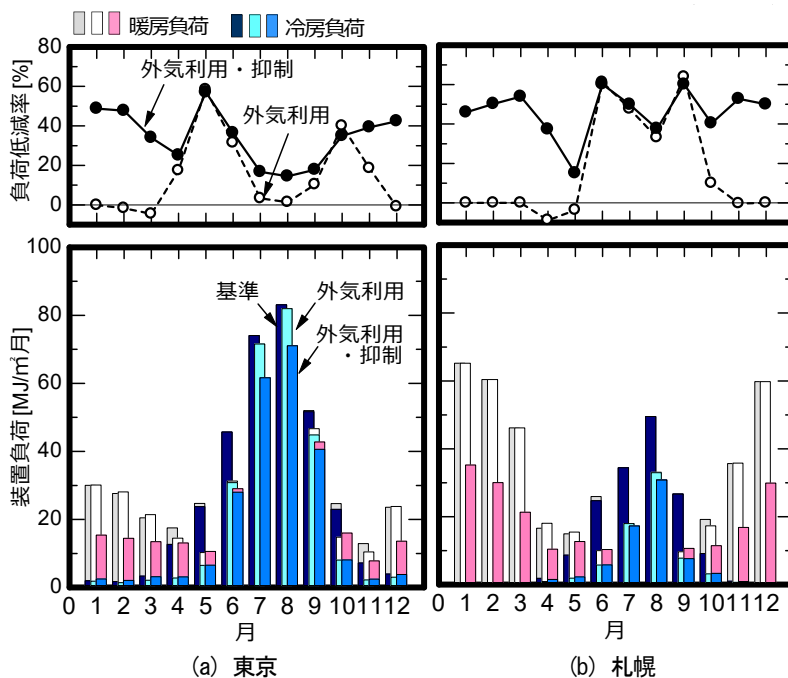


図1 東京・札幌の月別装置負荷

表3 計算条件

(a) 基本条件

項目	内容
気象	EA設計用、2010年版標準年気象データ
建物	(対象室・ゾーン構成) オフィス標準問題、10階建て建物の中間階(2F)、南北2室(各室303㎡、ペリメータ3ゾーン・インテリア1ゾーン)とコア(非空調、221㎡)の計9ゾーン、ペリメータ奥行き5m、階高4m、天井高2.7m (ファサード) 日射遮蔽型Low-Eペアガラスの一般窓(窓高さ2.7m、明色ブラインド)、外壁断熱25mm
ゾーン	(居室) 窓面積率: 68%、インテリア・ペリメータ間換気(ゾーン境界単位長さあたり): 250CMH/m、内部発熱(最大値): 照明10W/㎡、在室者0.15人/㎡、機器15W/㎡、最大負荷計算用季節係数(内部発熱割増・割引係数): 暖房設計用0.3、冷房設計用1.1 (コア) 窓面積率: 34%、居室間換気(インテリア容積基準): 3回/h(9:00-18:00)、1回/h(それ以外の時間帯)、照明2W/㎡
空調	空調時間: 年間計算用 8:00-22:00、最大負荷計算用 8:30-20:00(予冷熱30分)、外気導入時間: 8:45~空調終了時刻 設定温湿度・熱処理(年間共通): 26℃・60%・冷却除湿、22℃・50%・加熱加湿、外気導入量: 3.75CMH/㎡

(b) 外気導入制御・自然換気条件

外気導入制御	運転期間: 通年 (外気冷房) 下限外気温: 10℃、内外エンタルピチェックあり、外気露点温度: 上限19℃・下限0℃、下限室温: 24℃、最大外気量: 設計外気量の3倍 (最小外気量制御) 下限外気量比(設計外気量基準): 0.25 (全熱交換器) 内外エンタルピ・内外温度チェックあり、下限外気量比: 0.5、効率(フル運転時): 60%
自然換気制御	単位外皮長さあたりの換気口有効開口面積: 0.005㎡/m 自然換気期間・時間: 通年24時間、下限外気温: 空調時18℃、非空調時15℃、上限外気相対湿度: 90%、上限外気露点温度: 19℃、上限屋外風速: 10m/sec、内外エンタルピチェックあり、冷房中も許可、下限室温: 空調時24℃

【注記】 1) ブラインドは、日中は使用率調整、休日・夜間は100%使用。 2) 自然換気計算において、外部風の影響は無視した。また、中性帯高さは建物高さ(40m)の2/3と仮定。 3) 外気導入制御、自然換気制御についてのプログラム内固定条件は以下の通り ①外気冷房・自然換気は、外気温 $\geq$ 室温のとき不許可 ②最小外気量制御は、外気冷房運転時以外は常に許可。外気量は在室率をもとに決定 ③全熱交換器は、空調機で加熱冷却が不要な時間帯は不許可

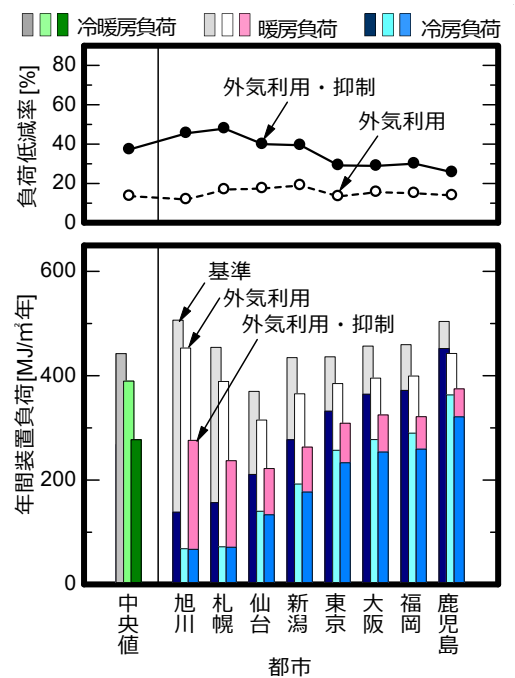


図2 国内代表都市の年間装置負荷

【図3、4 注記】1) ファサード条件が沖縄に対して現実的ではないため、沖縄地方の表示は省略した。 2) 負荷低減量は基準ケースに対する値

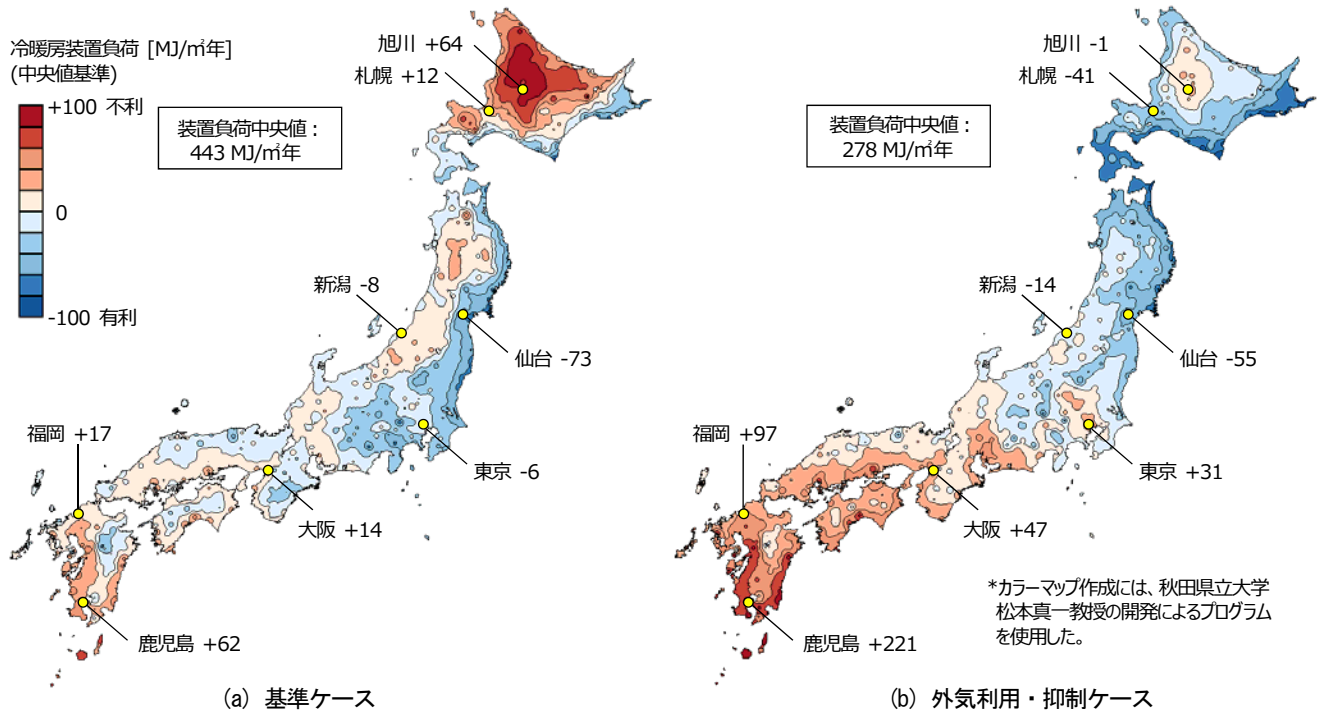


図3 年間冷暖房装置負荷(中央値基準)のカラーマップ

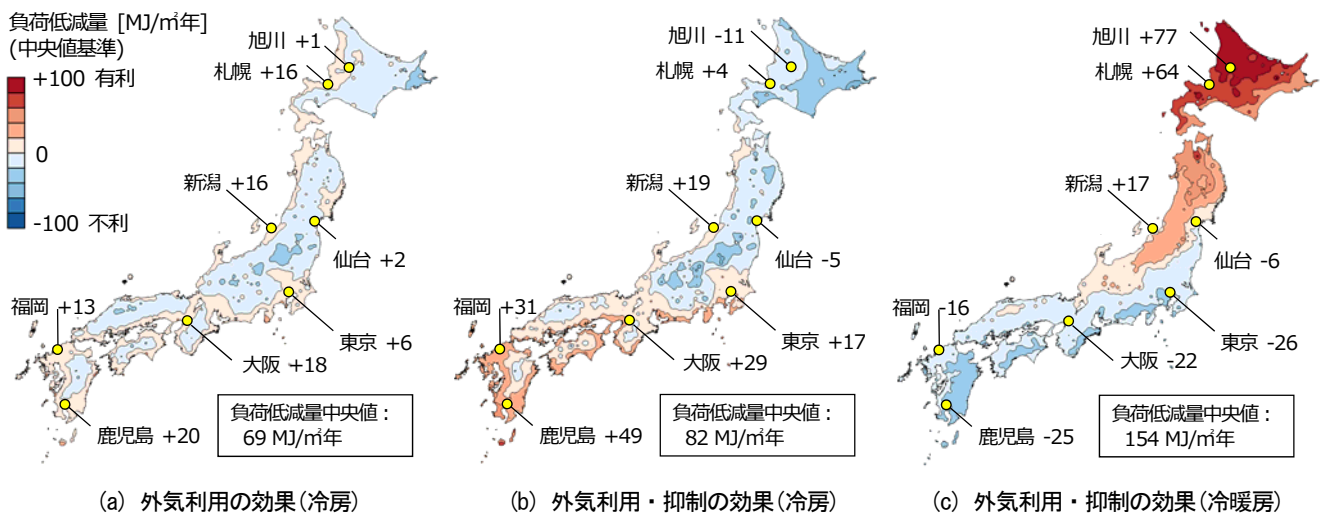


図4 自然換気・外気導入制御による年間負荷低減量(中央値基準)のカラーマップ

おわりに

用途の拡大、機能の拡充を進めることができたが、ZEB、ZEH の検討のためには、さらに幅広い環境配慮手法の評価を可能とする開発の継続が必要である。また、高度化するツールの使いやすさを維持するためのユーザーインターフェースの改良も重要といえる。

【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)、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。統合化WG名簿(順不同) 主査: 石野久彌(首都大学東京名誉教授)、委員: 内海康雄(宮城工業高等専門学校)、大西晴史(関電工)、木下泰斗(日本板硝子)、相沢則夫(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

(佐藤エネルギーリサーチ)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、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)、保木栄治(東京電力)、野原文男、長谷川巖、滝澤総、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊、飯田玲香、大浦理路(以上、日建設計)、柳井崇、品川浩一、山本佳嗣、川津行弘(以上、日本設計)、事務局: 生稲清久、石田真理(以上、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186)、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.1-72、2016.9
- 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77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、pp.1235-1246、2013.9、pp.1245-1262、2014.9、pp.963-976、2015.9、pp.1009-1032、2016.8、頁未定、2017.9