

## 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 206）

### 全体概要と最近の開発内容

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 206)

### Outline of the Whole Tool and Recent Development

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	二宮 秀典（鹿児島大学）	正会員	宮田 征門（国土技術政策総合研究所）
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	大塚 雅之（関東学院大学）	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（RY 環境・エネルギー設計）	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> Hideyo NIMIYA \*<sup>3</sup> Masato MIYAMOTO\*<sup>4</sup>

Kimiko KOHRI\*<sup>5</sup> Tatsuo NAGAI\*<sup>6</sup> Masayuki OTSUKA\*<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> Kagoshima Univ. \*<sup>4</sup> NILIM

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

The BEST provides three types of user interfaces. One is for energy-saving design of buildings and the second is for practical evaluation of residential houses. The last one is for detail simulation analysis. All user interfaces and the engine programs are continuously developed. This paper also presents the results of simulation analysis of natural and energy-efficient mechanical ventilation control systems as an example of using the latest version.

#### はじめに

BEST プログラムは、エンジンの機能拡充と共に、用途に応じた使いやすさをもつユーザーインターフェース (UI) の開発を続けてきた。本報では、それらの全体概要と最近の開発状況、最新専門版による解析例を示す。

#### 1. 全体概要と最近の開発

現在は、研究開発用の専門版(2008 年初版)、省エネ基準対応ツール(2013 年初版)、住宅版(2017 年初版)が主に利用されている。3つのUIには互換性があり、省エネ基準対応ツールや住宅版で作成した入力データを専門版へインポートし、より詳細な解析を行うことも可能である。

表1に、最近1年間の開発状況を示す。省エネ基準対応ツールは、誘導基準申請用と設計用の2つの機能に分けられ、申請用は国交大臣が認めるプログラムを目指し、関係機関との調整を続けている。スマートウェルネス住宅の実現を支援する住宅版は、初版リリース後も入出力機能の充実、住宅用設備機器の計算機能拡充のためにエンジンとともに開発を続けている。また、専門版の入力を支援するツールとしてエクセルを利用するツールの開発を進め、公開間近である。

#### 2. 換気制御の効果解析

BEST では、熱負荷計算を利用して自然換気と機械換気の省エネ制御(外気冷房・最小外気量制御・全熱交換器)の検討が可能である。既報<sup>1)その187</sup>では、基準ファサードのオフィスビルに対して国内での換気制御の効果を確認

した。本報では、検討対象を国内のほか海外として米国の代表都市を選び、気候やファサード性能の影響を解析した。米国代表都市は、図1に示すように、ケッペン気候区ごとに選んだ代表7都市と大都市のニューヨークである。図2に、国内5都市を含めた代表13都市の月平均外気温湿度を示す。表2に基準計算条件、図3に計算対象オフィス基準階、表3に計算ケースを示す。各都市の基準ファサードは、ルーバ付き透明単板窓(ケース1-2)とLow-E複層窓(ケース2-1)の年間熱負荷計算結果(図4)から、サンフランシスコ、マイアミ、那覇はルーバ付き透明単板窓、その他の都市はLow-E複層窓とした。

基準ファサード建築への換気制御の導入効果を図5に示す。外気利用手法(自然換気と外気冷房)による冷房負荷低減量はファサードの断熱性により傾向が異なり、透明板窓のサンフランシスコ、マイアミ、那覇は30~40MJ/m<sup>2</sup>年であるのに対して、Low-E複層窓のその他都市は80~100MJ/m<sup>2</sup>年と少し大きい。乾燥気候のラスベガス、デンバーは外気利用による暖房負荷増加の逆効果が顕著に現れた。外気抑制手法(最小外気量制御と全熱交換器)の暖房負荷低減は、導入前に多少の暖房負荷があれば効果を期待でき、寒冷地ほど大きい。冷房負荷低減量は、マイアミ、那覇では大きい、効果のほとんどない都市も多い。外気利用・抑制両手法による冷暖房年間負荷の低減率は、シアトルが最も高く約60%、ラスベガスが最も低く約15%となった。

基準ファサード建築に外気利用・抑制両手法を導入したケースの南ゾーンについて、各種換気制御の運転時間率を図6に、自然換気と外気冷房の不許可理由の時間率を図7に示す。シアトル、サンフランシスコは外気冷房が適し、年間換気時間数の約半分は外気冷房が可能である。しかし、自然換気を行うには外気温が低過ぎることが多く、特にサンフランシスコは空調時間の1割程度しか自然換気できない。ラスベガスは、低湿外気に関する許可基準のない自然換気は行われるが、外気露点温度の下限判定を行う

外気冷房はほとんど許可されない。全熱交換器の運転時間率は、マイアミと那覇では25~35%あるが、他の地域は15%程度かそれ以下で多くはない。

図8は、13都市について表3の全ケースの熱負荷計算を行い、換気制御なしのときの年間負荷とそれに外気利用、外気抑制手法を導入したことによる負荷低減量の相関を示したものである。外気抑制手法は、ファサードの断熱性のタイプ別に年間暖房負荷と暖房負荷低減量の相関が強い。外気利用手法の冷房負荷低減量は、断熱性が高いと

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：誘導基準認定用を申請用ツールと設計用ツールに分離して機能追加（申請用ツール）一部の機能制限、PAL-BESTの計算機能、換算係数の追加、審査用出力機能の修正（設計用ツール）EPW、WEADACデータの利用機能追加、最大負荷計算機能追加（開発中）②検証：各種意見収集、一次エネルギー・PAL-BESTの実物件入力テスト③「国土交通大臣が認めるプログラム」を目指す検討：PAL*とPAL-BEST、一次エネルギー計算におけるWEBツール（PAL*/一次エネルギー消費量算定プログラム）とBESTの詳細比較、WEBツールの結果と整合させる換算係数の検討、操作編解説書、理論編解説書の修正④今後の計画：BEST誘導基準対応ツールのリリース、操作編及び理論編解説書・審査用マニュアルの公開、設計用ツールの機能拡充（デシカント空調・自然換気・太陽熱利用空調等）
住宅版	①UIの開発：入力条件の一覧・室内環境表示・詳細出力の機能追加等（開発中）②機能拡充：EPWデータの読み込み、地中温度の整備、新しい材料登録、浴室暖房機・温水式床暖用ヒートポンプ給湯機、変风量ルームエアコンの計算、各機器の詳細パラメータの設定などの機能を追加、燃料電池計算の改良③検証：試行版のテスト実施、入力機能に関する意見徴収④普及：シンポジウム、講習会3回の実施⑤今後の計画：BEST住宅版のリリース、新機能の開発（居住者の行動を考慮した室内環境表示、自然換気など）、入力サンプル事例の作成、住宅簡易版の基本構想の検討
専門版UI	①新UIの開発方針：現UIの課題整理と新規UIの入力法の検討②表計算ソフト利用の入力支援ツール開発：入力データの一覧性向上、コピー・ペースト機能の活用、データの数式入力を可能とする建築計算条件作成用のエクセルフォーマットの開発、エクセルで作成した入力データをエンジン入力データに変換する機能の開発、これとUIへのインポートを連続処理する機能の開発、サンプルデータの作成、試行版のテスト③計算エンジンの直接呼出機能の追加④今後の予定：（新UIの開発）建築計算用の入力画面の開発（表計算ソフト利用の入力支援ツール）ツールの完成とリリース、ツールの活用事例の拡充、計算実行手順の簡易化と更なる利便性の向上のための検討
気象	①データ拡充：EA標準年気象データのEPWフォーマット版の整理と公開、東京を対象とする1分値標準年気象データの開発（開発中）②プログラム開発：EPWフォーマットデータの日射量積算時間の変換機能の改良③今後の計画：2011~2020年版のEA気象データの開発、1分値標準年気象データの開発、世界の気象データの品質向上に向けた取組み
建築	①プログラム機能拡充：インテリアの昼光調光計算機能の追加（省エネツール用）、外気導入制御の月別出力機能の追加、UIの互換性を高めるためのXMLフォーマット整理と入力機能改良、CSV気象データ読込機能の試験的追加と試行、光計算ツールとの連携機能の試験的追加と試行②データベース整備：2010年版EA設計用気象データの作成法の検討（危険率の決定、日射計算法の改良など）③講習会：講習会資料作成と講習会実施（2ゾーンモデル、窓システム、自然換気・外気処理、ZEB）④有用性確認と応用：自然換気併用中央空調の省エネルギー効果、他ツールとの自然換気効果の比較、外気導入制御（外気冷房・最小外気量制御・全熱交換器）の地域適合性解析・設計用チャート・外皮性能との交互作用を考慮した評価⑤今後の計画：表2010年版設計用気象データの作成法の決定と836地点のデータ整備・公開、光計算ツールとの連携機能の拡充（ブラインドスラット角制御の熱計算改良など）
空調	①プログラム機能拡充：機器モジュールの新規開発（個別式HP冷暖切替、店舗用HP冷暖切替、熱回収空冷HPチラー、水熱源HPチラーなど）・更新（空冷HPチラー、ボイラ・真空温水器、変风量ルームエアコン、FCU）、モジュール接続ノードのチェック機能、SHASEシミュレーション評価ガイドライン用のテンプレート開発（4管式熱源空調系統、ゾーン空調、空調機、2次ポンプ、熱源群）、グラフ表示機能の追加・改良、冷温水コイルの下限流量特性の検討、各ゾーンへの空調給気風量算定ツールの開発等②マニュアルの整備：モジュール解説フォーマットの検討と内容作成③講習会・例題改訂：講習会用の例題作成と講習会実施④検証：新規、更新モジュールのテスト（継続中）、SHASEシミュレーション評価ガイドラインによるテスト⑤今後の計画：マニュアルの整備、設計者等のニーズ把握と開発目標の策定、新規モジュールの開発、モジュール、テンプレートの検証と改良
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を調査の上、更新・追加が必要な機器特性を調査（実施電動機定格効率（IE3対応）、静止型全熱交換器ユニット、デシカント空調機、アクティブチルドビーム、パッケージ空調機の変风量制御、ファンコイルユニット）（継続中）②マニュアル整備：真空温水ヒータ・貫流ボイラ・電動機定格効率・空調機組込み加湿器等について整備③データベース構築法の公開：中央および個別分散熱源機器のデータベース構築法の発表④今後の計画：新規調査（蒸気コイル）、マニュアル整備・モジュールテストラン（ヒーティングタワー、間接気化冷却空調機、空調機機内圧損データベース）
蓄熱・蓄電	①検証とプログラム改良：大温度差水蓄熱の制御・FCUシステムの特長などに関する検証、SHASEガイドラインに基づく他ツールとの比較テスト、NAS電池・RF電池についての実測値との照合と電池特性に合わせたプログラム改良、②有用性確認・応用：BESTを用いた蓄電池容量の調整機能の考案③今後の計画：蓄熱プログラムのテストと実測値との照合、NAS電池・RF電池の実測値との照合、蓄電池入力法の改良
コジェネ	①検証・有用性確認：詳細モデルによる蒸気利用CGSケーススタディの準備、デマンドレスポンス制御の数値解析②マニュアル更新：新CGSテンプレートの内容に合わせた解説の追加など③講習会：新CGSテンプレートに沿う内容への更新、操作法だけではなく結果集計機能を使ったCGS評価法の説明追加④今後の計画：蒸気利用CGSケーススタディ、温水CGSの結果検証、排熱投入型吸収冷温水機の熱源コントローラ拡張機能の検証

大きい傾向があり、ダブルスキンは年間冷房負荷が小さいときにも低減量は大きい。外気利用手法により冷房負荷をほぼゼロにできるケースもある。図9はファサードと換気制御の組合せと年間熱負荷を示したものである。寒冷地では、ファサードを Low-E 複層窓からダブルスキンに高性能化するより換気制御の方が、冷暖房合計負荷低減量が大きく、暑熱地では日射遮蔽性の高いファサードにする方が換気制御の負荷低減量より大きい。サンフランシスコは多ルーバ付き Low-E 複層窓と換気制御の組合せにすると年間冷暖房合計負荷がゼロに近くなる。

おわりに

今後も機能の拡充を進め、ZEB、ZEH の検討に便利なツールを目指す予定である。

【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」の BEST 企画委員会(村上周三委員長)およびプログラム開発委員会(石野久彌委員長)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。プログラム開発委員会名簿

(順不同) 委員長：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)、奥田篤(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)、相沢則夫(大林組)、野原文男、二宮博史、丹羽勝巳、長谷川巖、久保木真俊、飯田玲香(以上、日建設)、品川浩一(日本設計)、山本佳嗣(東京工芸大学)、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)

表2 基準計算条件

項目	内容
気象	2010年版標準年EA気象データ、EPWデータ
共通	[居室]ペリメータ奥行き:5m、階高4m、2.7m、窓面積率68%、外壁断熱25mm、隙間風0.1回/h、ゾーン間換気量:250CMH/m [内部発熱]在室者0.15人/m <sup>2</sup> 、照明10W/m <sup>2</sup> 、機器発熱15W/m <sup>2</sup> [空調]設定温湿度(通年):上限26°C・60%、下限22°C・45%、外気導入量:3.75CMH/m <sup>2</sup>
自然換気制御	有効換気口面積:0.005m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> (外皮長さ)、換気時間:年間常時、下限外気温:空調時18°C、非空調時15°C、上限外気相対湿度:90%、上限外気露点温度:19°C、上限風速:10m/sec、冷房中も許可、下限室温:24°C
機械換気制御	[外気冷房] 下限外気温:8°C、外気露点温度:上限19°C・下限5°C、下限室温:24°C、最大外気量比:3 [最小外気量制御] 下限外気量比:0.25 [全熱交換器] 効率:60%、最小外気量制御併用時の下限外気量比:0.5

(注)1)自然換気、外気冷房、全熱交換機は、内外エンタルピ・内外温度チェックあり 2)自然換気と外気冷房が併用される場合は、自然換気を優先許可する。3)機械換気は、各ゾーン独立したシステムとする。自然換気は、ペリメータゾーンごとに制御される。



図1 アメリカ代表都市と気候

表3 計算ケースと条件 (a) ファサードケース

ケース	備考
1-1 透明単板窓	1) ケース1-1~2-3の条件:「ルーバ」はDP比(奥行き/ピッチ)が0.5、「多ルーバ」はDP比が1.0、Low-Eガラスは遮熱型、ブラインドは内側
1-2 透明単板窓・ルーバ	
1-3 透明単板窓・多ルーバ	
2-1 Low-E複層窓	2) ケース3の条件:外ガラスは透明単板、内ガラスは遮熱型Low-E複層、奥行き0.5m、換気口は上下に有効開口面積0.04m <sup>2</sup> /m (キャビティ温度26°C以上で開口率調整)、外壁断熱100m、隙間風0.05回/h
2-2 Low-E複層窓・ルーバ	
2-3 Low-E複層窓・多ルーバ	
3 ダブルスキン	3) その他:ブラインドは開閉操作あり。特記のない条件は基準の条件と同じ

(b) 換気制御ケース

ケース	条件
換気制御なし	自然換気なし・一定風量機械換気
外気利用	自然換気・外気冷房
外気利用・抑制	自然換気・外気冷房・最小外気量制御・全熱交換器

【図4注記】 1)「\*」を付した都市はルーバ付きの透明単板窓、その他の都市はLow-E複層窓を基準ファサードとする。2)負荷は、各ゾーンの室負荷と外気負荷の和(全熱)を冷暖房別に基準階8ゾーンについて合計。水加湿を想定して加湿負荷は蒸発冷却熱として顕熱負荷と合計し、冷却除湿負荷を冷房負荷、加熱負荷を暖房負荷とした。以降の図も同様。

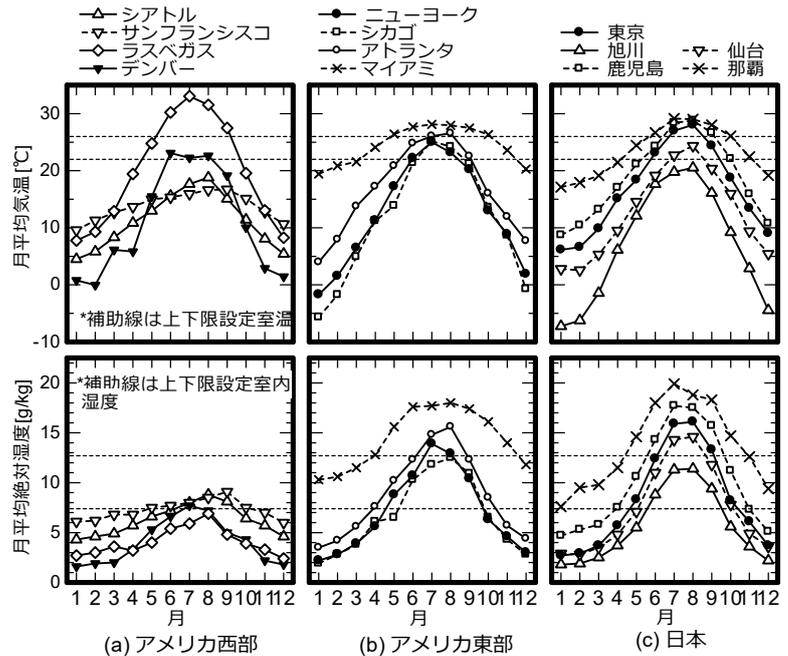


図2 日米代表都市の月平均外気温湿度

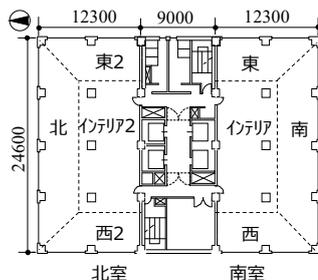


図3 計算対象オフィス基準階

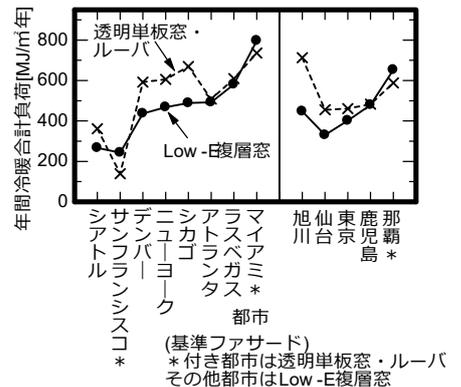


図4 基準ファサード候補の年間負荷(換気制御なし)

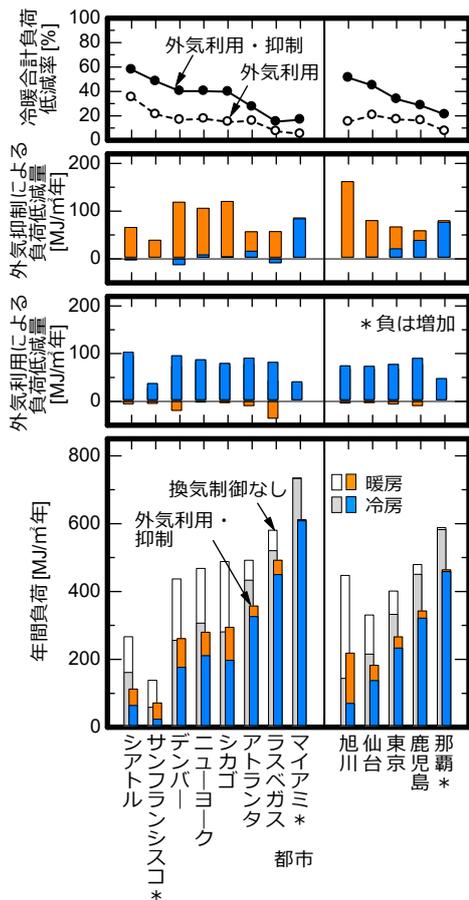


図5 換気制御による負荷低減効果

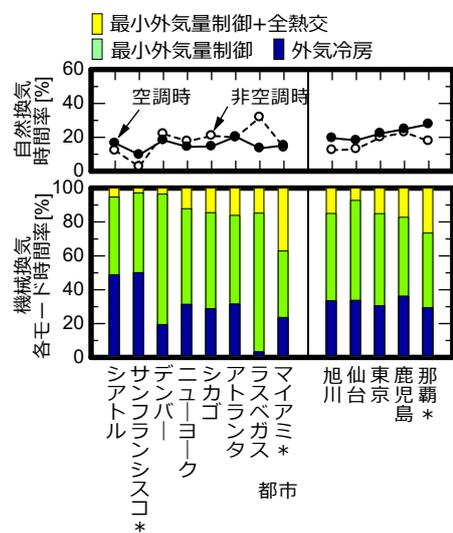


図6 換気制御の年間運転時間率 (南ゾーン・外気利用・抑制制御)

【図6注記】 空調/非空調時の自然換気時間率は、年間の空調/非空調時間に対する比率、機械換気各モード時間率は年間換気時間数に対する比率

【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205)、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、pp.1-76、2017.9
- 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

【図7注記】 自然換気不許可理由は空調時を対象とした。換気許可判定は、棒グラフ内訳の下の項目から順に行う。本ケースでは、どの都市も低室温が理由で自然換気が不許可となった時間はない。

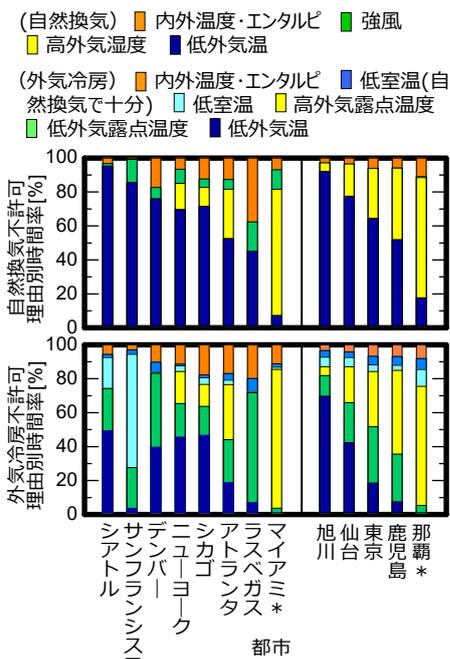


図7 自然換気・外気冷房の不許可理由の年間時間率 (南ゾーン・外気利用・抑制制御)

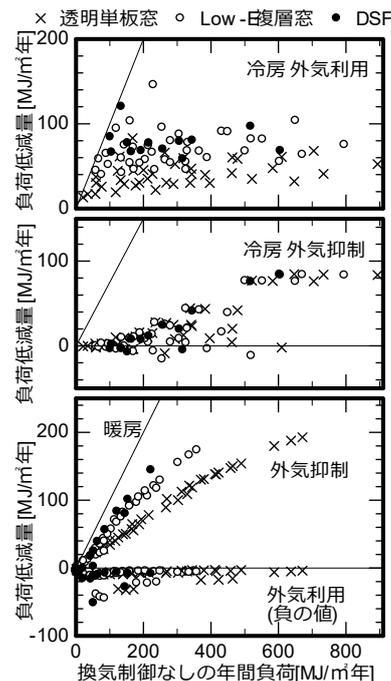


図8 年間負荷と負荷低減量の相関 (全ファサード・全都市)

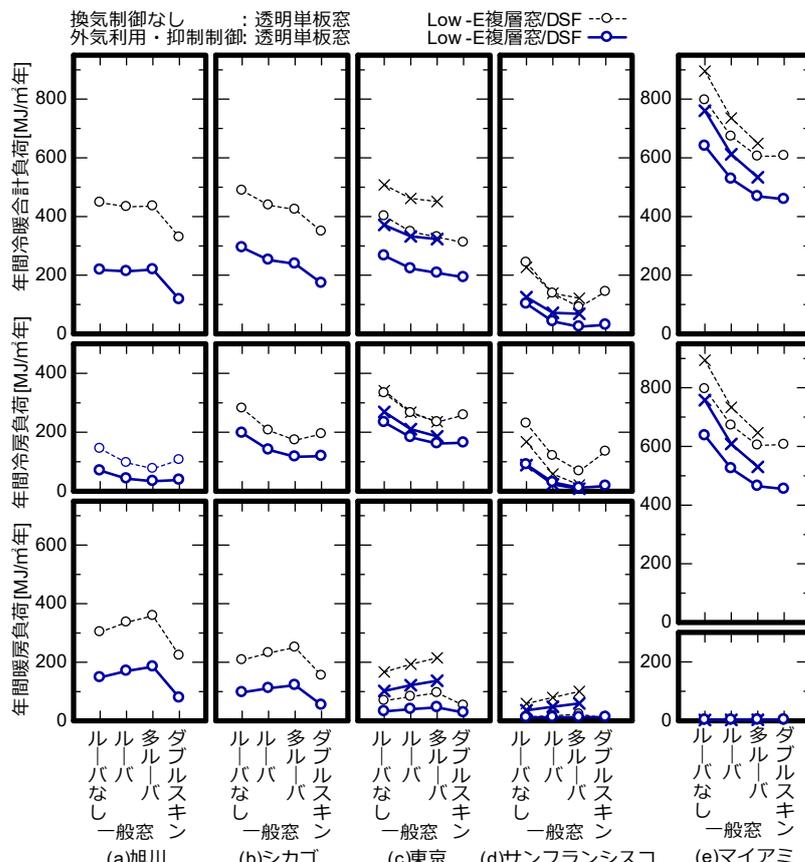


図9 ファサードと換気制御の組合せと年間負荷

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、pp.1463-1476、2017.8