

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196）

外気導入制御の運転状態の季節特性・地域特性

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 196)

Seasonal and Regional Characteristics of Fresh Air Control Systems

技術フェロー ○郡 公子（宇都宮大学） 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）

Kimiko KOHRI*¹ Hisaya ISHINO *² Shuzo MURAKAMI *³

*¹ Utsunomiya University *² Tokyo Metropolitan University

*³ Institute for Building Environment and Energy Conservation

This paper discusses the seasonal and regional impacts of fresh air control systems including airside economizers, demand control ventilation and energy recovery ventilation on thermal load reduction in office buildings. Through thermal load simulations, the seasonal characteristics of switching control modes were analyzed for a building located in Tokyo and then the effects of fresh air control systems combined with natural ventilation on thermal load in domestic 836 cities were evaluated.

1. 序

既報¹⁾では、熱負荷計算における自然換気併用外気導入制御の計算法とその計算例を示した。外気導入制御として、外気冷房、全熱交換器、最小外気量制御の効果を推定できるようになった。本研究では、より現実的なオフィス想定した数値計算を行い、外気導入制御の季節特性や熱負荷低減効果の地域特性を分析しようとした。

2. 東京における外気導入制御の運転特性

図1に示すオフィスビル中間階を計算対象とした。非空調ゾーンのコアを含む9ゾーンについて熱的相互影響を考慮する計算を行う。まず東京を想定し、表1の計算条件を設定した。ファサードは、Low-E 複層ガラスの一般窓である。外気導入制御として、外気冷房、最小外気量制御、全熱交換器の全てを行うものとする。中間期・夏期の外気冷房下限室温は冷房設定室温 26℃より低い24℃とし、外気冷房により室内の快適性を積極的に向上させるようにした。最小外気量制御は、外気冷房が不許可の場合に、エネルギー的な有利不利とは無関係に運転される。その下限風量比は25%、また全熱交換器の運転を許可する下限風量比は50%と仮定した。

図2に、期間別の運転状態の時刻変動を示す。装置負荷は顕熱のみを示した。中間期の5/17、18には、冷却が

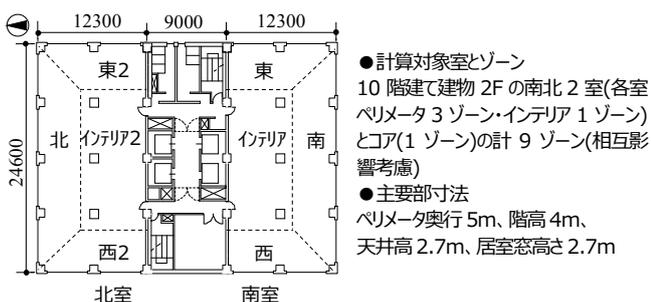


図1 計算対象オフィス平面

必要なゾーンはなく、外気冷房により下限室温 24℃に制御されている時間もあった。夕方に室温が下限値より下がると最小外気量制御に切り換えられる。計算上、最小外気量制御で決まる外気量までは、室温を下限値に保つ外気冷房調整域と見なしている。外気冷房による室温低下は空調時に最大 2K あり、休日にもその効果が残っている。夏期の8月にはほとんど外気冷房は許可されないが、8/28には午前と午後に許可され、冷却負荷がわずかに低減された。最小外気量制御と全熱交換器が同時運転される時間もあるが、負荷低減量は、中間期の外気冷房に比べるとわずかである。冬期には、室温が冷却加熱不要のゼロエネルギーバンド

表1 外気導入制御ビルの計算条件（東京）

項目	内容
気象	拡張アメダス設計用、2010年版標準年気象データ
ファサード	遮熱型Low-Eペアガラスの一般窓(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/m ² 、在室者0.15人/m ² 、機器15W/m ² 、設計用季節係数(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%、居空間換気(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/m ²
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: 夏期(6-9月)…26℃・60%・冷却除湿、冬期(12-3月)…26℃・冷却、22℃・50%・加熱加湿、中間期…26℃・冷却、22℃・加熱、外気導入量: 3.75CMH/m ²
外気導入制御	(外気冷房) 下限外気温: 10℃、外気露点温度: 上限19℃・下限0℃、内外温度チェックあり*、内外エンタルピチェックあり、下限室温: 夏期・中間期24℃、冬期26℃、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(設計外気量に対する比): 0.25 (全熱交換器) 基本的に加熱冷却中に運転*、内外エンタルピ・内外温度チェックあり、最小外気量制御併用時の下限外気量比: 0.5、効率(フル運転時): 60% *付きはプログラム内固定の必須条件

【注記】 1)ガラス厚 8mm、複層ガラスの空気層 12mm。ブラインドは平日の 9:00-18:00 は使用調整、それ以外の時間帯は 100%使用 2)装置容量は、最大熱負荷計算による。 3)最小外気量制御時の外気量比は、在室率に等しいと仮定される。外気量が下限外気量比 25%、50%未満となる時間は、それぞれ換気時間の約 15%、30%である。

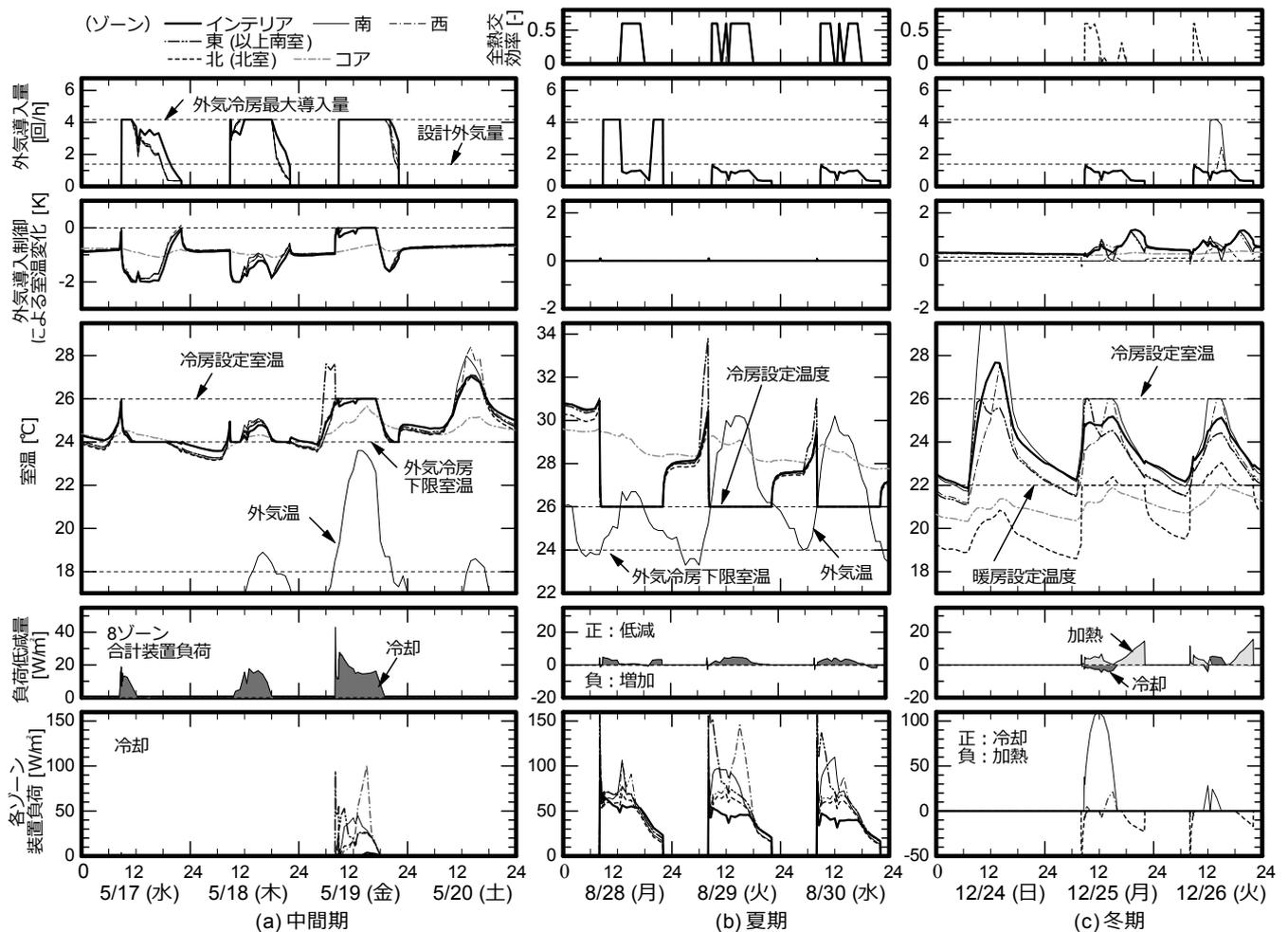


図2 中間期・夏期・冬期の外気導入制御運転状態の時刻変動(東京)

(22~26°C)にあると、全熱交換器は運転されない。12/25、26は主に北ゾーンで運転されていた。南ゾーンは、12/25の冷却負荷が大きいにも関わらず、外気露点温度や外気温が低すぎるために外気冷房不許可となった。12/26の午後には外気冷房が許可された。最小外気量制御は、ゼロエネルギーバンドの室温を上昇させる作用があり、エネルギー上は、加熱が必要なゾーンには有利、冷却が必要なゾーンには不利に働く。

図3に代表3ゾーンの各月運転状態を示す。インテリア、南ゾーンは、冬期に、主に最小外気量制御の効果で加熱負荷がほぼゼロとなり、1、2月の空調時室温も0.5Kほど上昇したが、無負荷時間が多いために全熱交換器はあまり必要とされなかった。それに比べ、北ゾーンは冬期に全熱交換器がある程度運転され負荷低減量も他ゾーンより大きい、その運転時間率は1-2月でも30~40%である。夏期7、8月の全熱交換器運転時間率はどのゾーンも60%程度で、除湿負荷の低減に効果があった。外気冷房は、特に5、10月の運転時間率が高く、どのゾーンも90%以上となり、空調時の室温低下も0.5K程度得られた。南ゾーンは冬期にも冷却負荷があるが、外気冷房はあまり許可されない。図4に年間装置負荷を示す。冷却除湿負荷の低減量はゾーンによる差がほとんどなく、加熱加湿負荷の低減

量の大きい北ゾーンが、最も効果の高いゾーンとなった。空調室全体の年間合計装置負荷は25%程度低減された。図5は、南ゾーンを例に、各月の外気冷房の不許可理由を示したものである。許可条件の判定順序により結果は異なるが、この場合、冬期、夏期に不許可となる主な理由は外気露点温度であることがわかる。

3. 国内836地点における熱負荷低減効果

ファサードの高性能化とともに自然換気併用外気導入制御の熱負荷低減効果を評価できるようになったので、国内836地点について、両手法の熱負荷低減効果とその地域性を調べた。図1のオフィスに対して表2のケースと計算条件を設定した。地域別の冷暖房期間設定を避けるために年間共通の空調条件を用いた。基準ケース(DSF)は、ダブルスキンをもち自然換気も外気導入制御も行わない場合である。これに対してファサード性能の低い3ケース、自然換気併用外気導入制御の条件を追加する4ケースを設定した。ファサード条件は、地域によっては非現実な場合があるが、比較のため全地点同条件とした。以降は、空調8ゾーンの合計装置負荷(全熱)で評価する。

図6に、東京について基準ケースのDSF、それに自然換気併用外気導入制御の全手法を追加したケースの月別負荷を示す。年間全熱装置負荷は、自然換気併用外気導入

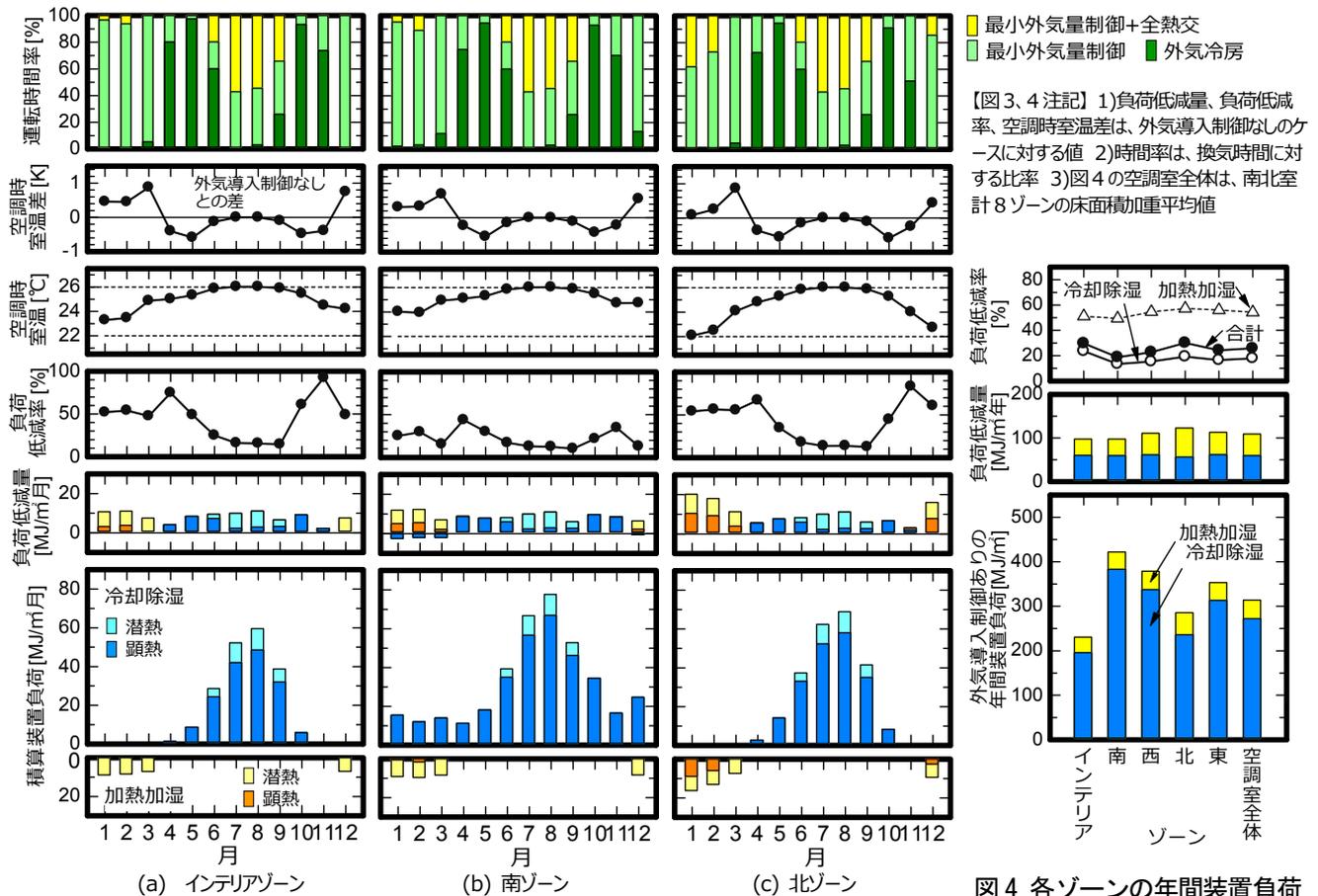
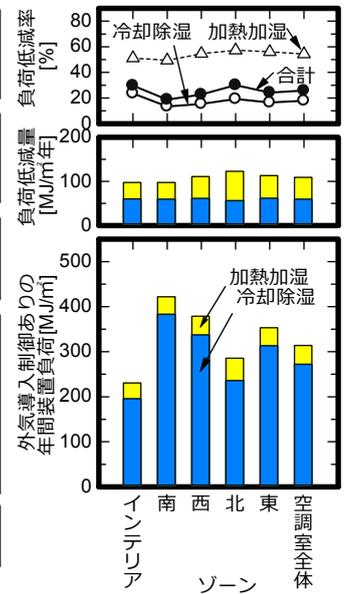


図3 代表3ゾーンの各月運転状態(東京)

図4 各ゾーンの年間装置負荷(東京)



制御の追加により約3割低減された。図7に、基準ケースに対する各ケースの負荷の差を示す。一般窓のガラス複層化はDSFに近い加熱負荷低減効果をもつが、冷却負荷低減に対しては、Low-E複層窓でもDSFに比べてかなり劣り、中間期には透明単板ガラスより劣る結果となった。外気冷房・自然換気の効果は7、8月にはほとんどないが、全熱交換器と最小外気量制御を組み合わせることにより、5～10月の各月同程度の冷却除湿負荷の低減が可能になる。4、10月に現れる自然換気・外気冷房による加湿負荷増大は、冷却除湿負荷の減少と合わせると逆効果にはならない。

図8、9は、国内836地点の年間熱負荷の累積頻度により、ファサードの高性能化、外気導入制御の効果を比較したものである。DSFは、Low-E複層窓に対して、寒冷地での加熱負荷低減量より温暖地での冷却負荷低減量の方が大きく、温暖地向きといえる。外気冷房の熱負荷低減効果はそれほど大きくはないが、全国的に同程度の効果を期待できる。加熱加湿負荷における全熱交換器や最小外気量制御の効果は寒冷地ほど大きい。そのため、冷却除湿と加熱加湿の合計負荷で評価すると、全熱交換器と最小外気量制御を導入しないケースでは、東京の方が札幌より負荷が小さく優位であるが、全熱交換器と最小外気量制御を加えると、札幌がかなりの差で優位となる。

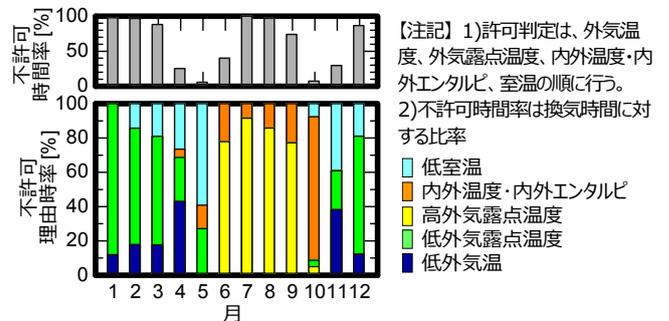


図5 外気冷房の不許可理由(東京・南ゾーン)

4. 結

熱負荷計算から、外気導入制御の運転状態の季節特性を確認した。また、国内において、自然換気も併用する場合の熱負荷低減効果の傾向を評価することができた。

【謝辞】本研究の一部は科研費補助金15K06320による。また、(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)、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: 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ER)、芝原崇慶(竹中工務店)、新武康(清水建設)、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、長谷川巖、滝澤総、二宮博史、丹羽勝巳、久保木真俊、大浦理路(以上、日建設計)、柳井崇、品川浩一、山本佳嗣(以上、日本設計)、小林信裕(前田建設工業)、事務局: 生稲清久、石田真理(建築環境・省エネルギー機構)

表2 全国計算用のケースと条件

(a)ファサードのケースと条件	
ケース	条件
透明単板窓	透明単板ガラスの一般窓、外壁断熱5mm
透明複層窓	透明ペアガラスの一般窓、外壁断熱50mm
Low-E複層窓	遮熱型Low-Eペアガラスの一般窓、外壁断熱25mm
DSF(ダブルスキン)	外側透明単板、内側高遮熱Low-Eペアガラス(内窓面積率68%)、壁断熱100mm、換気口:上下に有効開口面積0.04m ² /m(基準ケース)(12-3月:キャビティ空気温度35℃以上で開、4-11月:常時開)

* どのケースも、外気導入制御はなし

(b)自然換気併用外気導入制御のケース

ケース	
外気冷房	外気冷房+自然換気
外気冷房+自然換気+全熱交	外気冷房+自然換気+全熱交+最小外気量制御(外気導入制御全手法)

* どのケースもファサードはDSF

(c)自然換気などの条件

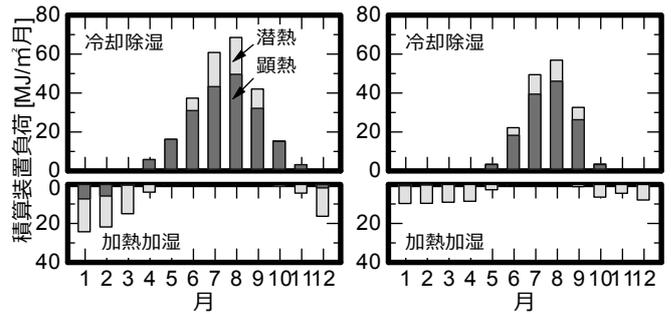
●自然換気

(換気口) 単位外皮長さあたりの換気口有効開口面積: 0.005m²/m
 (自然換気制御) 自然換気期間・時間: 年間常時、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・非空調時とも24℃
 (計算上の仮定) 外部風は無視。中性帯の高さは建物高さの2/3の位置

●その他の条件: 表1の条件に対して以下を変更

(外気導入制御) 外気冷房 下限室温: 年間24℃
 (空調) 設定温湿度・熱処理(年間共通): 26℃・60%・冷却除湿、22℃・50%・加熱加湿

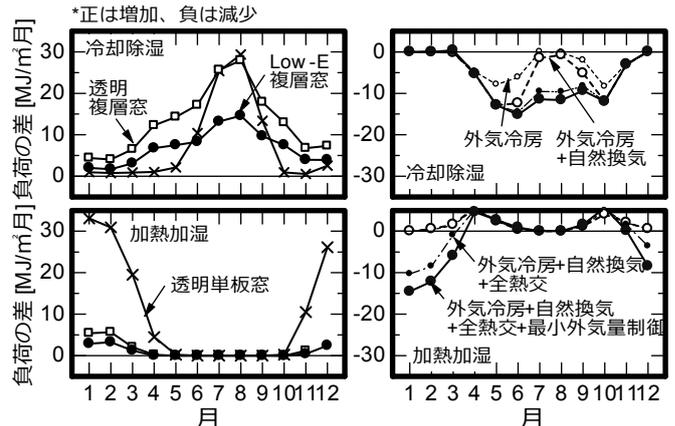
[注記] コアも自然換気を行う。



(a) DSF(基準)

(b) 外気導入制御全手法

図6 月別装置負荷(東京)



(a) ファサード

(b) 外気導入制御

図7 DSFに対する月別装置負荷の差(東京)

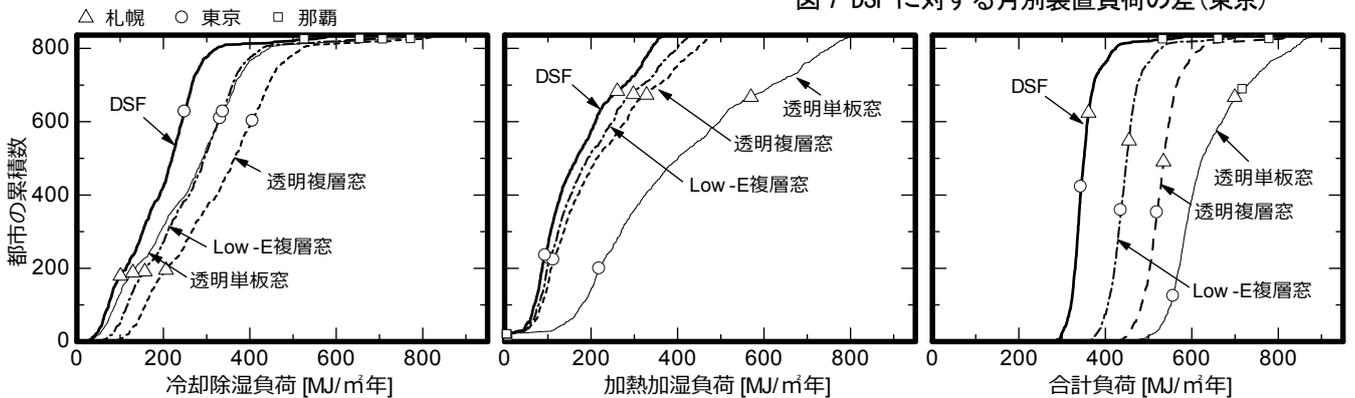


図8 ファサードの高性能化と国内836地点の年間装置負荷の累積頻度

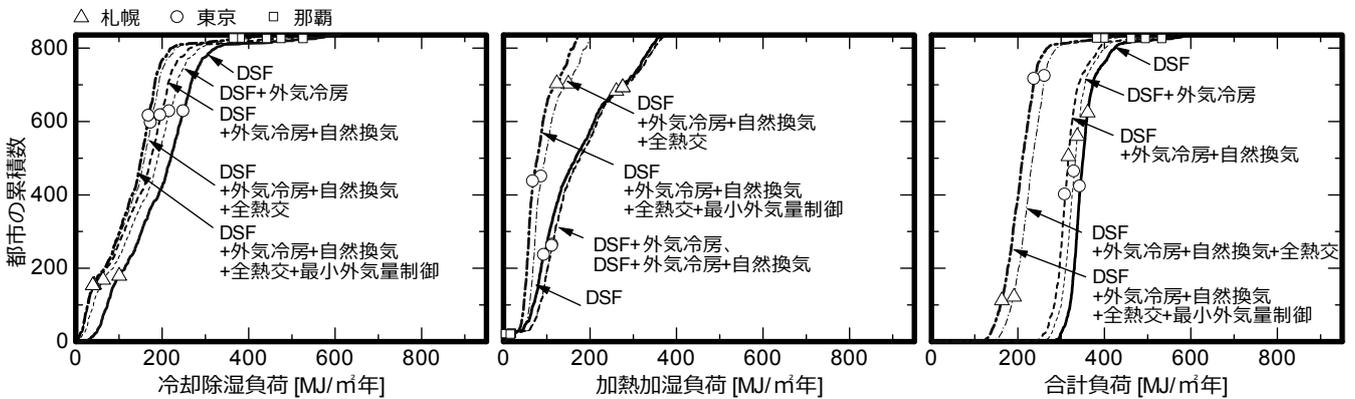


図9 外気導入制御と国内836地点の年間装置負荷の累積頻度

[文献] 1) 郡・石野・村上: 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173、空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp.17-20、2016.9
 2) 郡他: 外気導入制御雄フィルの熱負荷低減効果の推定と地域性評価、

日本建築学会大会学術講演梗概集、2017.8
 3)天城・郡・石野: シミュレーションツール BEST によるオフィスの熱負荷・熱環境解析 第33報、日本建築学会大会学術講演梗概集、2017.8