

外気導入制御オフィスの熱負荷低減効果の推定と地域性評価

正会員 ○郡 公子*1 同 石野 久彌*2
同 村上 周三*3

外気冷房 自然換気 全熱交換器 最小外気量制御 BEST

1. 序

熱負荷計算において、自然換気のほかに外気冷房、全熱交換器、最小外気量制御の効果を考慮できるようになると、建物の断熱性能向上に伴う冷房負荷増大に対する自然換気や外気冷房の相殺効果、断熱性向上と発熱密度抑制に対する全熱交換器や最小外気量制御の組合せによる加熱負荷消滅の可能性の検討が可能である。

エネルギーシミュレーションツールBESTは、自然換気の効果を実算できるが、それに加えて外気導入制御として外気冷房、全熱交換器、最小外気量制御の計算機能を付加した。本研究では、計算法の概要を述べたうえで、自然換気を含む外気導入制御を行うオフィスの数値計算を行い、運転状態の特徴を確認した。さらに国内836地点の年間計算を実施し、ファサードの高性能化手法と併せて本制御の熱負荷低減効果の全国的あるいは地域的な傾向を評価した。

2. 自然換気と外気導入制御法の計算法の概要

自然換気の計算法は風量収支を解かず中性帯位置を仮定する簡便な方法であり、簡単な入力条件で自然換気の実算を計算できる。冷房中の自然換気の可否を含め種々の自然換気許可条件を選択できることも特徴である。自然換気下限室温に対する換気口の開閉調整は、開口率調整による下限室温制御に置き換えている。

外気導入制御はゾーン単位で行う。外気冷房は自然換気と併用する場合の計算も可能で、自然換気を優先し、室温が下限値にならない限り外気冷房も行う。自然換気と外気冷房の室温下限値は、冷房設定室温より低く設定することも可能で、緩めの冷房に対して外気の冷却力で積極的に室温を下げる対策を評価できるようにした。最小外気量制御は、単純に在室率に応じた導入量調整を行うものとするが、他空間からの排気を確保するために下限外気量を設定できる。全熱交換器は、基本的に加熱冷却処理を行っているときに運転する。ただし、内外温度を考慮する制御の場合は、可能な範囲で加熱量がゼロになるように効率調整する。効率調整運転以外のときの効率は全熱顕熱とも同一値で固定される。最小外気量制御と組合せる場合には、極端な少風量運転を避けるための下限外気量を設定できる。

3. 東京におけるオフィスビルでの運転状態

以降、自然換気制御も外気導入制御に含めて扱い、単に外気導入制御と呼ぶ。図1に示す東京のオフィスビル

中間階について、外気導入制御を行う場合の熱負荷計算を行った。非空調であるコア部分も含め、計9ゾーンの熱的相互影響を解いている。計算条件を表1にまとめた。本研究では外部風の影響は無視した。比較のために、外気導入制御を行わないケースも計算した。

図2に、主要ゾーンの運転状態の時刻変動を示す。中間期には、代表日として外気冷房・自然換気・最小外気量制御の組合せ運転が行われる日を選んだ。5/17は外気温が低いために自然換気は許可されなかった。外気冷房

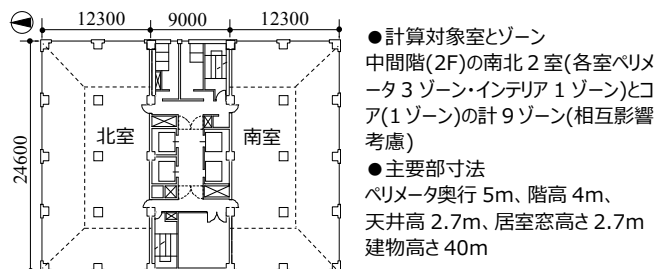


図1 計算対象オフィス平面

表1 東京の外気導入制御ビルの計算条件

項目	内容
気象	EA設計用、2010年版標準気象データ
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
外気導入制御	<ul style="list-style-type: none"> ●外気冷房 下限外気温: 10℃、内外エンタルピーチェックあり、外気露点温度: 上限19℃・下限0℃、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 内外エンタルピー・内外温度チェックあり、効率(フル運転時): 60%、最小外気量制御併用時の下限外気量比: 0.5 ●自然換気制御 自然換気期間・時間: 冬期以外常時、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、内外エンタルピーチェックあり、冷房中も許可、下限室温: 空調時24℃、非空調時22℃ 単位外皮長さあたりの換気口有効開口面積: 0.005m²/m
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、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/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

【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)自然換気計算用の無風時の中性帯高さは建物高さの2/3と仮定。本研究では、外部風の影響は無視。3)装置容量は、最大熱負荷計算による。

Simulations of Impacts of Outside Air Control Systems on Thermal Load Reduction in Office Spaces and Evaluation of Their Regional Characteristics

KOHRI Kimiko, et al

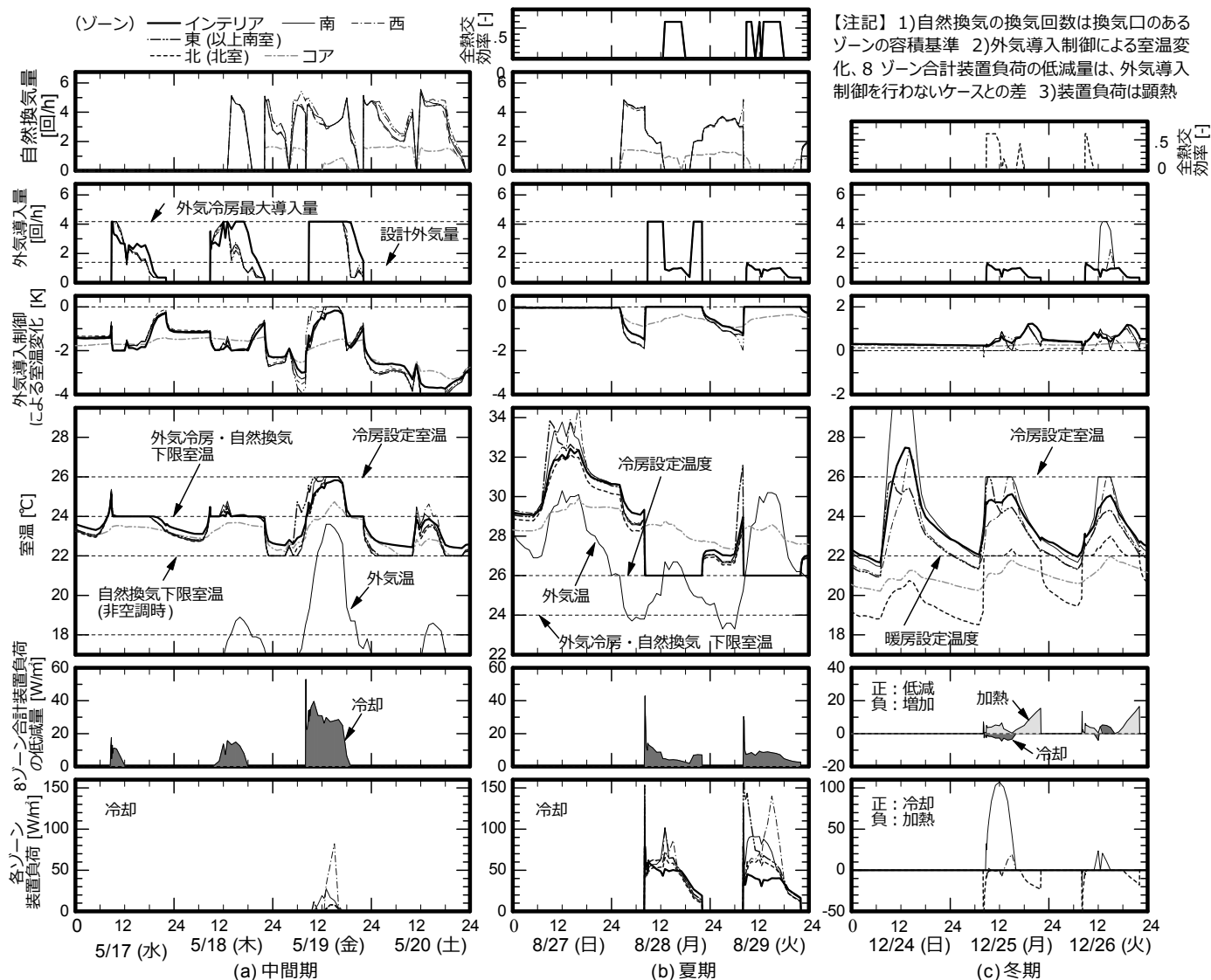


図2 東京における外気導入制御ビルの運転状態の時刻変動

により下限室温 24℃に制御されている時間が多く、冷却が必要なゾーンはなかった。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ている。外気冷房に最小外気量制御が併用される場合、計算上は、最小外気量制御で決まる外気量までは外気冷房調整域と見なしている。5/18には、外気温が自然換気下限値の18℃以上となる時間帯に、居室ペリメータゾーンでは開口率100%の自然換気と外気冷房による下限室温制御が行われている。5/19には、自然換気・外気冷房・冷却を同時に行うハイブリッド空調モードとなるペリメータゾーンもある。夜間や休日には、自然換気により非空調時間帯用下限室温 22℃に制御される時間帯もある。外気導入制御を行うことによる室温低下は、空調時に 2K 程度、自然換気を行う休日には 4K 程度であった。

夏期は、自然換気と外気冷房、最小外気量制御と全熱交換器の同時運転が含まれる日を選んで示した。8月には内外エンタルピ差や外気露点温度などの点から、ほとんどの日は自然換気・外気冷房ともに不許可となるが、8/28は自然換気と外気冷房が許可され冷却負荷が少し低

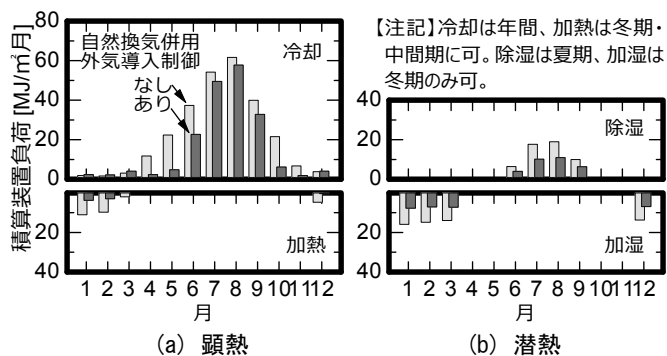


図3 外気導入制御の有無と月別装置負荷(東京)

減された。外気温や外気エンタルピが上昇する正午以降の数時間は、最小外気量制御と全熱交換器の同時運転に切り換えられている。8/29は、外気冷房は禁止され最小外気量制御が連続的に働いた。全熱交換器が停止したのは、外気量が下限値(設計外気量の50%)未満か内外エンタルピ上不許可になった時間帯である。

冬期の代表日は、外気冷房運転される日を含むように選んだ。12/25の南ゾーンは、冷却負荷が大きいものの、

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には外気冷房が許可されているものの、8ゾーン全体での負荷低減効果はそれほど大きくはない。全熱交換器は、室温が冷却加熱不要のゼロエナジーバンド(22~26℃)にあると稼働しない。加熱運転を行う北ゾーンで部分的に稼働する程度となった。最小外気量制御は、外気冷房が不許可で下限値以上の外気量であれば運転される。ゼロエナジーバンドの室温を上昇させる作用があり、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いている。

図3に外気導入制御の有無による月別負荷の比較を示す。本制御により、中間期の冷却負荷を大きく削減できたが、中間期・冬期の冷却負荷をゼロにすることはできなかった。また、冬期の加熱負荷もわずかに残った。潜熱に関しては、年間で除湿負荷を約4割、加湿負荷を5割近く削減できた。

4. 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るためのケーススタディを行った。表2にケースと計算条件を示す。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外気導入制御を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、外気導入制

【図4~7注記】装置負荷は、南北2室の計8ゾーンの合計

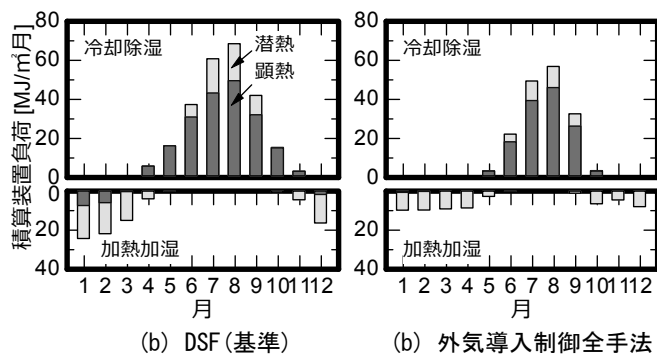


図4-1 月別装置負荷(東京)

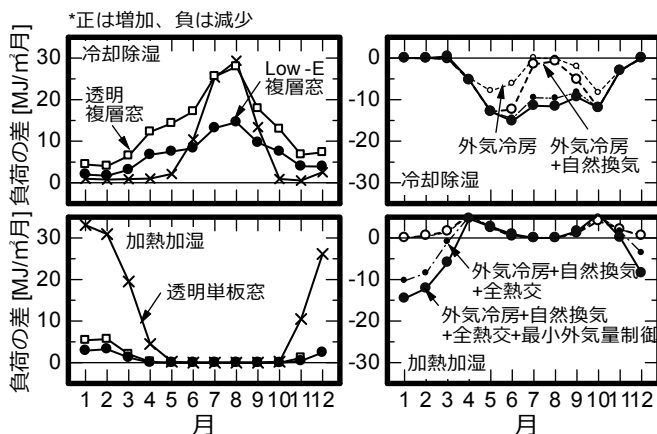


図4-2 DSFに対する月別装置負荷の差(東京)

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。空調8ゾーンの合計装置負荷(全熱)で評価する。

まず、東京と札幌について比較した。図4-1は、東京について基準ケースのDSF、それに外気導入制御の全手法を追加したケースの月別負荷を比較したものである。加熱負荷は、DSFに全熱交換器や最小外気量制御を組合

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0.04m²/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)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)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℃	
(自然換気制御) 下限室温:常時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	

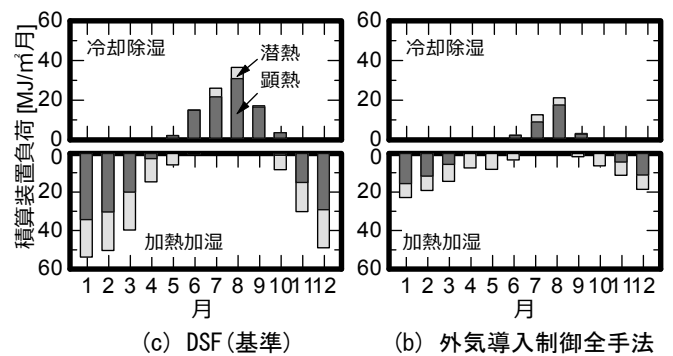


図5-1 月別装置負荷(札幌)

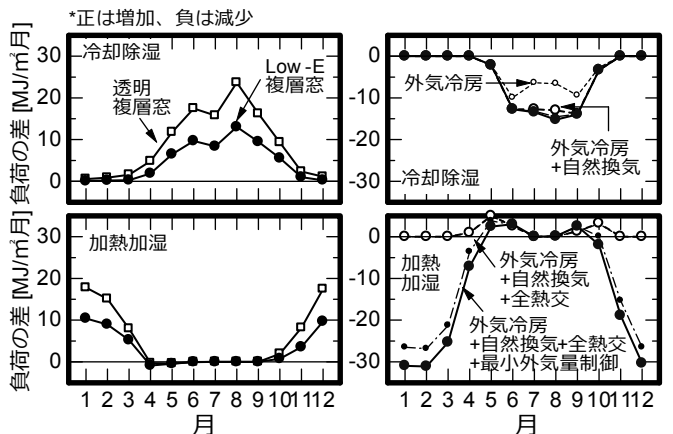


図5-2 DSFに対する月別装置負荷の差(札幌)

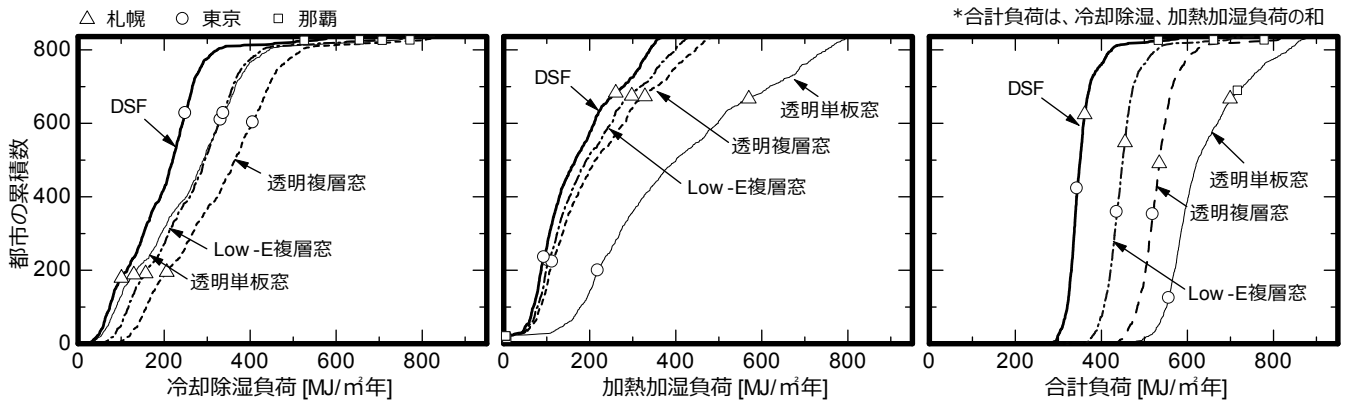


図6 ファサードの高性能化と国内836地点の年間装置負荷の累積頻度

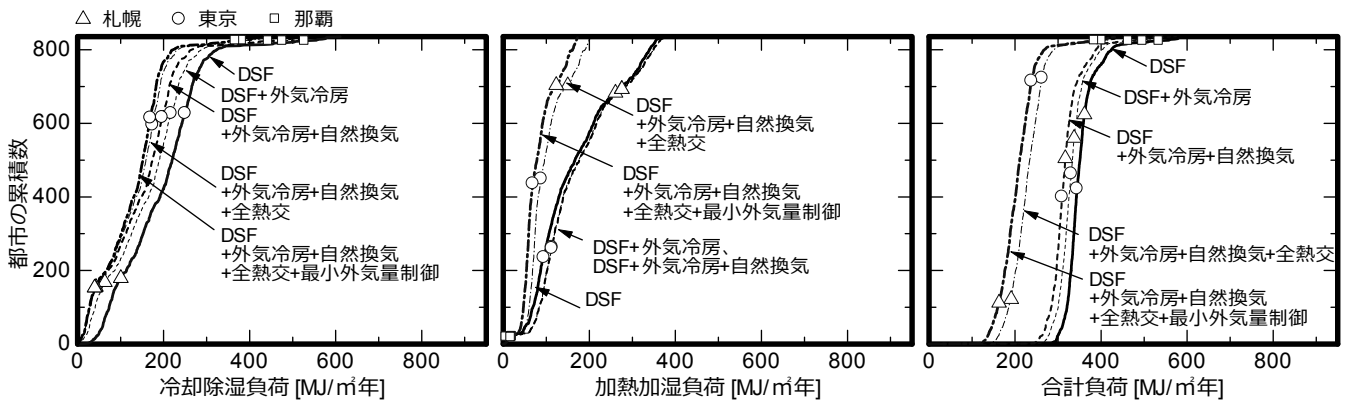


図7 外気導入制御と国内836地点の年間装置負荷の累積頻度

せるとほぼゼロとなる。年間加湿可能であるため、中間期の自然換気や外気冷房を行うと低湿度外気を処理する分だけ加湿負荷が増えた。水加湿を行う場合は蒸発冷却作用があるが、熱負荷計算では顕熱処理・潜熱処理を独立して扱うため、その効果を評価することはできない。図4-2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といえるが、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ある。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5-1、5-2に札幌の結果を示す。札幌においてもLow-E複層窓に対するDSFの年間の熱負荷低減量は、加熱加湿より冷却除湿において大きい。全熱交換器と最小外気量制御は加熱加湿負荷の低減に大きく寄与する一方、冷却除湿負荷に対してはほとんど効果がない。自然換気併用外気冷房は6～9月にコンスタントな効果を示した。

図6、7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

の加熱負荷低減より温暖地の冷却負荷低減に対して期待できるといえる。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。

5. 結

熱負荷計算による自然換気併用外気導入制御の運転状態と熱負荷低減効果を示すとともに、ファサード高性能化手法との組合せ効果を評価できることを示した。

【謝辞】本報のための研究の一部は、科研費補助金基盤研究15K06320による。また、(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。

【文献】1) 郡他：自然換気併用外気制御システムをもつ空調室の熱負荷計算法に関する研究、日本建築学会環境系論文集、No.732、pp.175-181、2017.2 2) 郡他：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63報、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1017-1018、2016.8 3) 郡他：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173、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.17-20、2016.9

*1 宇都宮大学 教授 工博

*2 首都大学東京 名誉教授 工博

*3 建築環境・省エネルギー機構 理事長 工博

*1 Prof., Utsunomiya Univ., Dr.Eng.

*2 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.

*3 Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Dr.Eng.