

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243）

自然換気・外気冷房の効果指標と評価

Development of an Integrated Energy Simulation Tool for Buildings and MEP Systems, the BEST (Part 243)

Effect Indices and Evaluation of Effects of Natural Ventilation and Air-Side Economizers

技術フェロー ○郡 公子（宇都宮大学） 技術フェロー 石野 久彌（東京都立大学名誉教授）
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 presented new indices of thermal performance of natural and mechanical ventilation systems. The achievement ratio is the ratio of thermal load reduction achieved by a certain system to the ultimate value achieved by an ideal system. The increase of comfortable hours without cooling and heating is also defined. Several strategies such as air-side economizers combined with natural ventilation were evaluated by using these indices.

1. 序

省エネルギーのために外気冷房や自然換気を行うビルは多いが、運用法によりその効果はかなり異なる。BESTを利用すると、外気冷房、自然換気について、種々の運転条件を想定する熱負荷計算が可能である。外気冷房や自然換気を許可する下限室温を冷房設定室温より低く設定することもできる。本報では、外気冷房・自然換気の効果指標として、熱負荷低減効果の指標のほかに、外気のもつ極限冷却力に対する利用度を表す指標や室内環境の改善効果を示す指標を導入し、いくつかの換気法について評価を行った。

2. 外気冷房・自然換気の効果指標

表1に、本報で利用する外気冷房・自然換気の効果指標をまとめた。外気導入を行う空調装置の全熱負荷に対して低減効果を定義した。全熱負荷を求める際には、水加湿を想定して冷却負荷と加湿負荷を相殺させて合計するものとしたが、低湿度外気を導入するときに加湿負荷増大から外気冷房・自然換気が逆効果となることもある。熱負荷低減効果の指標は、負荷低減量、負荷低減率の2種類である。負荷低減率は、暖房負荷も含めた冷暖房合計負荷に対する比率として定義した。

自然換気・外気冷房による換気量を無限に増やせると想定し外気のもつ冷却力を最大限に利用する場合を極限換気と定義することにした。極限換気の場合、自然換気や外気冷房が許可されたゾーンの室温は、下限室温あるいは外気温のどちらか高い方の値となる。極限換気による負荷低減量は外気利用の理想値であり、これに対する通常の換気による負荷低減量の比率を達成率として評価指標に加えた。外気温が低い、自然換気口面積が大きい、外気冷房最大外気導入量が多い、自然換気や外気冷房の時間数が長いと達成率は高くなる。

室内環境の指標として、室温が冷房設定室温より低く暖房設定室温より高い時間数の比率を、無負荷時間率として導入した。外気冷房や自然換気を許可する下限室温を冷房設定室温より低く設定する方法は、省エネルギーのほかに室内環境を改善する効果があり、これを評価するために利用できる。なお、全熱交換器、外気冷房、自然換気の調整により加熱冷却不要で冷暖房設定室温に保たれる時間は、無負荷時間には含まれない。

3. 計算条件と比較する換気ケース

いくつかの外気冷房や自然換気のケースについて数値計算を行い、導入した効果指標を用いて評価を行った。表2に基準計算条件、図1に計算対象とする中規模オフィスビルの平面図を示す。空調8ゾーンのほか、非空調のコア部分をまとめて1ゾーンとし、計9ゾーンの熱平衡を解いた。自然換気の効果は、ペリメータ・インテリア間のゾーン間換気によりインテリアゾーンにも波及する。本数値解析では、空調装置に全熱交換器が利用され

表1 外気冷房・自然換気の効果指標

指標	定義
負荷低減量	外気利用なし(外気冷房も自然換気も行わない)のケースに対する外気冷房や自然換気を行うケースの装置全熱負荷(冷暖房合計)の変化量
極限負荷低減量	外気冷房や自然換気を行うケースに対して、機械換気量や自然換気量を無限に増やせると仮想した場合の負荷低減量
負荷低減率	外気利用なしのケースの全熱装置負荷(冷暖房合計)に対する外気冷房、自然換気を行うケースの負荷低減量の比
達成率	負荷低減量の極限負荷低減量に対する比率で、外気の有効利用の度合いを示す指標
無負荷(顕熱)時間率	室使用時間帯(9-22時)において、室温が空調上下限温度の範囲内(上下限値は含まない)にある時間数の比率。年間無負荷時間率は、冬期も含む年間全期間に対する値。

【注記】1)装置負荷は、室負荷と外気負荷の和。全熱負荷は、冷却負荷と加湿負荷を相殺させて合計した。2)極限負荷低減量は、極限換気と同等の結果が得られる最大外気量を与える計算により求める。

表2 計算基準条件

項目	内容
気象	EA設計用、標準年気象データ(東京)
ゾーン	(計算対象室とゾーン)10階建てビルの2Fの南北2室、各室ペリメータ3ゾーン・インテリア1ゾーンとコア1ゾーンの計9ゾーン(熱的相互影響を考慮) (主要部寸法) ペリメータ奥行5m、階高4m、天井高2.7m、居室窓高2.7m (ファサード)日射遮蔽型Low-Eペアガラス一般窓(明色ブラインド)、外壁断熱25mm (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 (コア) 窓面積率: 34%、居室内換気(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: 8:00-22:00、外気導入時間: 8:45~22:00 設定温湿度・熱処理: 上限26℃・60%・冷却除湿、下限22℃・40%・加熱加湿、設計外気導入量: 4.5CMH/m ² 、全熱交換器: 内外温度・エンタルピチェックあり、顕熱処理を不要とする熱回収率調整あり、効率60%
自然換気	(換気口)単位外皮長さ当り換気口有効開口面積: 0.005m ² /m (制御)自然換気期間・時間: 制約なし、下限外気温: 空調時18℃、非空調時15℃、上限外気相対湿度: 90%、外気露点温度: 上限19℃、下限5℃、上限屋外風速: 10m/sec、内外温度・エンタルピチェックあり、下限室温: 24℃、冷房中も許可、加熱時禁止
外気冷房	最大外気量: 設計外気量の3倍、外気露点温度: 上限19℃・下限5℃、下限室温: 24℃、内外温度・エンタルピチェックあり、加熱時禁止

【注記】1)自然換気計算において外部風の影響は無視、中性帯高さは建物高さの2/3の位置に想定。
2)以降のケーススタディにおいて、特記のない条件は基準条件とする。

表3 外気冷房・自然換気のケース

外気利用なし
EC (外気冷房): 下限室温24℃(基準)、26℃
NV (空調時自然換気空調時): 冷房中許可(基準)、不許可
NV+NP (常時自然換気)
NV+NP+EC (常時自然換気+外気冷房 ^{*1})

*1 自然換気と外気冷房を併用する場合、自然換気を優先的に実施する。

ていることを前提にした。自然換気口は、建物外周に有効高さ5mmのスリット状のものが配置されていると想定している。自然換気、外気冷房それぞれに運転許可条件を設定した。下限室温はともに24℃である。

表3に換気ケースを示す。外気冷房のケースについては下限室温を冷房設定室温より低くするか等しくするか2ケース、空調時に自然換気を行うケースについては冷房中の自然換気を許可するか否かの2ケースを設定した。そのほか非空調時にも自然換気を行うケース、さらに外気冷房も併用するケースを設定した。

図2に、外気利用なしのケースについて、東京・南ゾーンの月別熱負荷を示した。装置負荷は冬期に少し暖房要求があるが、室顕熱負荷は、冬期にも盛夏期の半分近い冷房負荷があり暖房要求はほとんどない。

4. 東京における外気冷房・自然換気の基本特性

各換気ケースの基本的な特徴を、東京の南ゾーンについて、室温や熱負荷等の時刻変動や月別値で比較した。まず、外気冷房について、外気冷房を許可する下限室温を基準条件の24℃に対して、冷房設定室温の26℃と等しくする場合の比較を図3-1、3-2に示す。極限換気の結果も加えている。図3-1(a)より、下限室温24℃の場合、6/13は1日中最大外気量を供給し、夕方には室温が26℃より低くなり装置負荷がゼロになっている。6/14、15はさらに室温が26℃

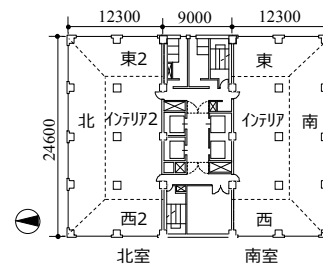


図1 計算対象オフィス平面

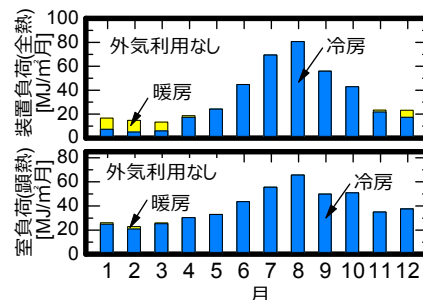
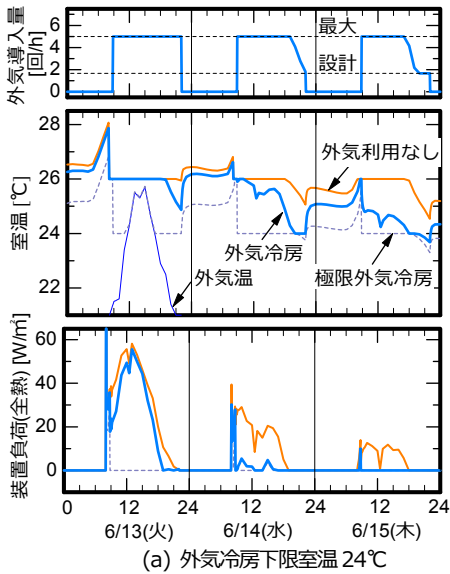


図2 外気利用なしのときの月別負荷(南ゾーン)

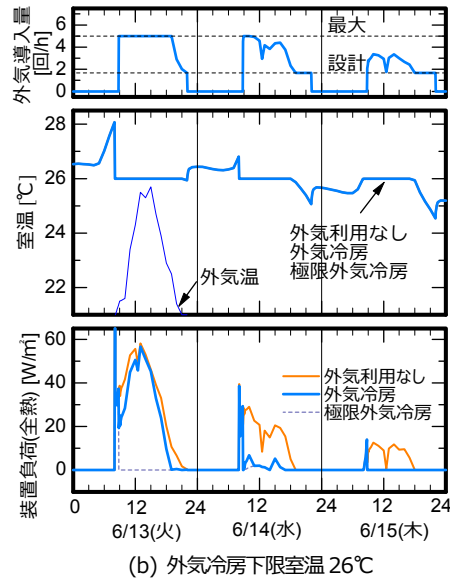
未満の時間帯が増え夕方以降は下限室温24℃に保たれるよう外気導入量が調整されている。外気導入量を無限に増やせる極限換気の場合は、装置負荷は3日間ゼロで、室温は24℃か、外気温が24℃より高い場合は外気温に等しく調整される。図3-1(b)に示す下限室温26℃の場合は、下限室温24℃に対して、外気導入量を調整する時間帯が増え、室温は高くなるが装置負荷にはあまり差がなかった。室温は外気利用なしのケースと等しい。極限換気の場合も室温は外気利用なしのときと等しい。図3-2より、外気冷房の負荷低減は、主に4~6、10、11月に期待できるが、12月にもわずかな低減が認められた。下限室温24℃と26℃の負荷低減量の差はそれほど大きくない月が多いが、無負荷時間率の差は5、6、10月に20~30%と大きく、下限室温を冷房設定室温より下げる効果は省エネルギーより室内環境の改善に現れるといえる。外気冷房の達成率は30%程度と小さい。達成率を上げるには最大外気導入量の増量やナイトパーズの併用などが必要である。

図4-1、2は、冷房中の自然換気を許可するかしないかの違いを比較した結果である。冷房中の自然換気を許可しない実際の制御では、冷房不要の状態にならなければ自然換気は許可されないため、自然換気モードになりにくい。本数値計算では、換気口の開口率100%とする場合の室温が冷房設定値より低ければ自然換気を許可するという理想の制御を想定して、図4-1に示されるように、室温は、冷房中に自然換気を許可するケースと変わらない。図4-2より、理想的な制御をしても冷房中の自然換気を不許可とする場合の熱負荷低減量は小さい。

図5-1~3は、種々の換気法を比較した結果である。図5-1より、常時自然換気(NV+NP)にすると、図3-1(a)の外気冷房、図4-1(a)の空調時自然換気に対して、非空調時に下



(a) 外気冷房下限室温 24°C



(b) 外気冷房下限室温 26°C

図 3-1 外気冷房下限室温と熱負荷・室温の時刻変動(南ゾーン)

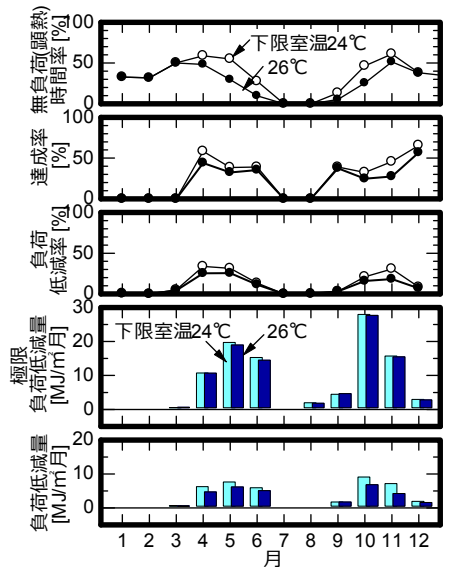
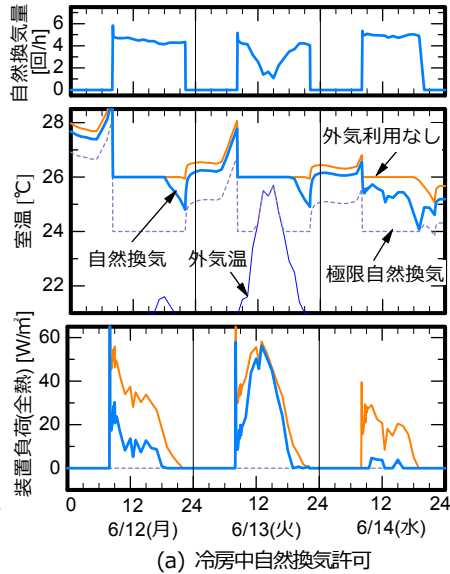
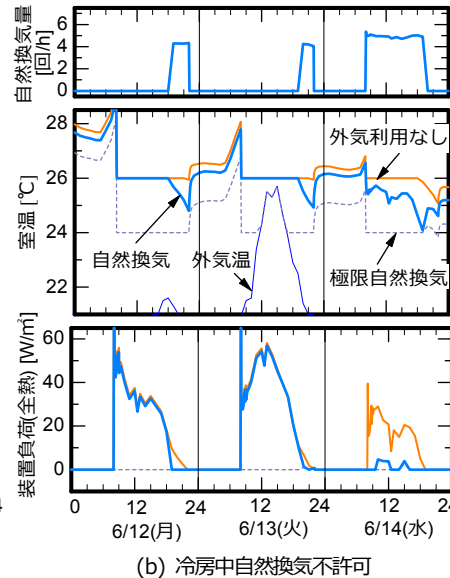


図 3-2 外気冷房下限室温と各月の熱負荷・室内環境(南ゾーン)



(a) 冷房中自然換気許可



(b) 冷房中自然換気不許可

図 4-1 冷房中の自然換気許可と熱負荷・室温の時刻変動(南ゾーン)

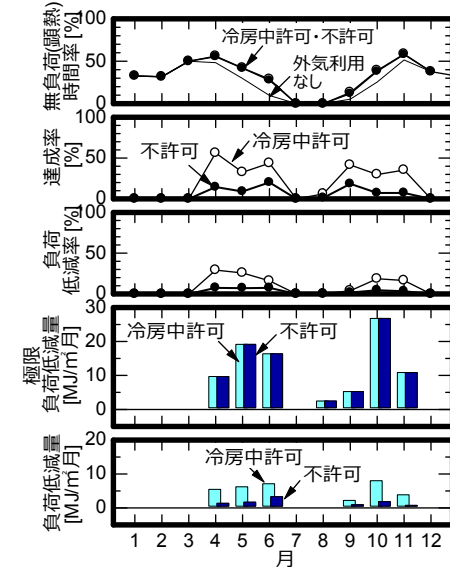


図 4-2 冷房中の自然換気許可と各月の熱負荷・室内環境(南ゾーン)

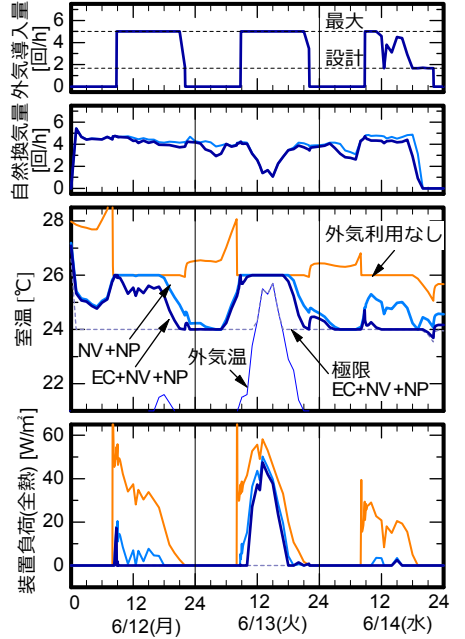


図 5-1 2種の換気法と熱負荷・室温の時刻変動(南ゾーン)

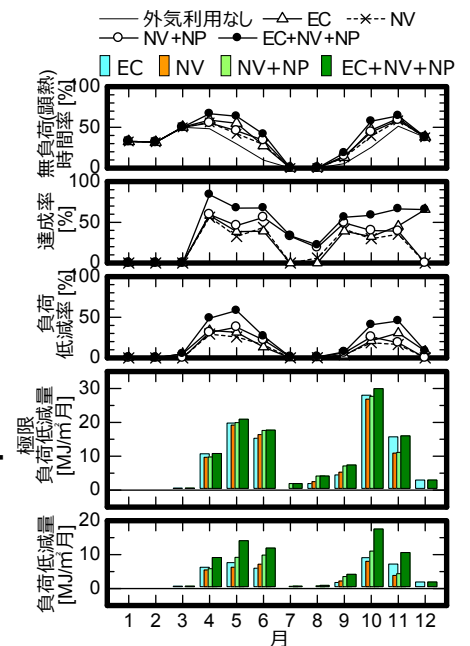


図 5-2 4種の換気法と各月の熱負荷・室内環境(南ゾーン)

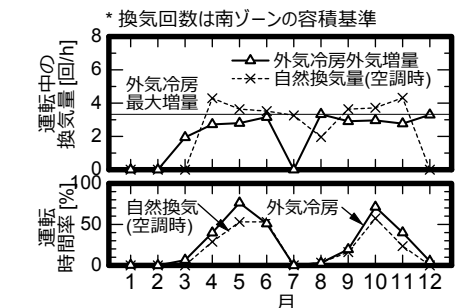


図 5-3 ケース EC+NV+NP の各月の換気運転状態(南ゾーン)

限室温に調整される時間が多くなり、さらに外気冷房も併用(EC+NV+NP)すると、空調時室温が冷房設定値より低い時間が増加し装置負荷も小さくなる。図 5-2 の負荷低減量について、外気冷房(EC)と空調時自然換気(NV)を比べると、低温外気でも外気増量できる EC が有利な月と、運転許可された場合の換気量が多い自然換気が有利な月がある。また、ケース NV に対してケース NV+NP は、5、6、10 月に有利となるが、夜間外気温の低い 4、11 月はあまり差がない。ケース NV+NP、EC+NV+NP の比較から、空調時自然換気に外気冷房を併用する負荷低減効果はある程度大きい。達成率は、ケース EC、NV、NV+NP は 40%前後の月が多いのに対して、ケース EC+NV+NP は 60~70%の月が多くなり、達成率の低いケースに対して空調時間帯の換気量増加が、外気の冷却力の利用度向上に効果的とわかる。無負荷時間率は、換気法により 20%ほどの差が生じる月もある。

ケース EC+NV+NP は、自然換気による冷却だけでは不足する場合に外気冷房を運転する方法をとるが、図 5-3 より、運転時間率は自然換気より外気冷房が多い。また、運転中の換気量は自然換気量の方が外気冷房の外気増量より多い傾向にある。

5. 代表都市における外気冷房・自然換気の年間特性

東京における空調 8 ゾーン合計の年間熱負荷低減効果と代表ゾーンの年間無負荷時間率を図 6 に示す。極限換気時の負荷低減量は、換気ケースによりそれほど差はなく、年間の負荷低減率は 2 割程度期待できるが、通常の換気の負荷低減率は、ケース EC、NV のとき 8%前後、それに対して、ケース NV+NP は 4%増加して 12%、ケース EC+NV+NP は 2 倍程度の 16%である。年間の達成率はケース EC、NV、NV+NP が 40~50%程度、ケース EC+NV+NP は 70%ほどの値となった。達成率をさらに上げるには、換気量を増加させる設計のほか、ファサードの日射遮蔽性能の向上、内部発熱の抑制により外気冷房や自然換気を必要とする時間数を減らす方法がある。無負荷時間率に関しては、インテリアゾーンの外気冷房による無負荷時間率の増加は 10%以上あり、ペリメータゾーンより大きい。また、ペリメータゾーンでの自然換気による室温低下の影響を受け、インテリアゾーンにも自然換気による無負荷時間率の増加があり、3 方位のペリメータゾーンと接していることから、ペリメータゾーンと同程度か若干大きな効果となった。

図 7 に、札幌、鹿児島についての各種換気法の年間熱負荷低減効果と代表ゾーンの年間無負荷時間率を示す。図 6

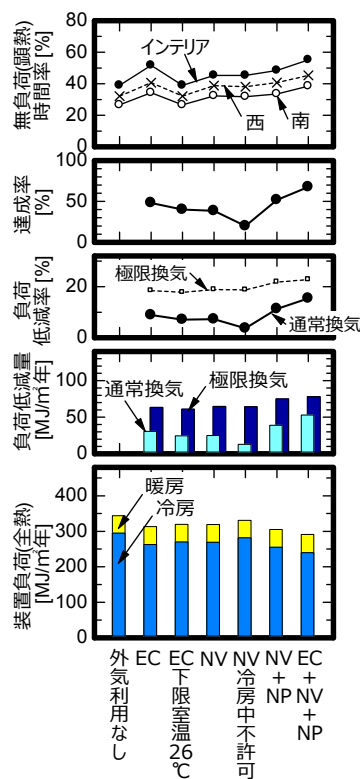


図 6 全ゾーン年間負荷低減効果と代表ゾーンの無負荷時間率(東京)

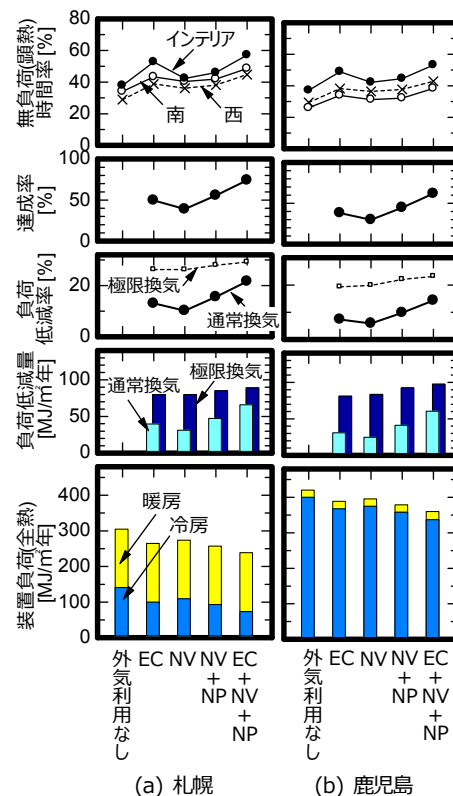


図 7 全ゾーン年間負荷低減効果と代表ゾーンの無負荷時間率(札幌・東京)

と合わせて比較すると、外気冷房や自然換気による負荷低減量は都市によりそれほど大きな違いがあるとは言えないものの、札幌、鹿児島、東京の順に負荷低減量が大きい。札幌は自然換気や外気冷房の適する時期に冷涼な気候が多いこと、鹿児島は自然換気や外気冷房が可能な時期が長いことが影響している。達成率は、寒冷地の札幌が少し高く、暑熱地の鹿児島が少し低くなる。

5. 結

外気冷房や自然換気の評価に際して、熱負荷の低減効果のほかに達成率と無負荷時間率を指標に加え、各種換気法や都市による効果の違いを明らかにした。

【謝辞】 本研究の一部は科研費補助金 18K04454 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。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: 大木泰祐(大成建設)、郡公子(宇都宮大学)、孤田英晴(鹿島建設)、佐藤誠(佐藤エネルギーリサーチ)、佐々木尚(安井建築設計事務所)、品川浩一(日本設計)、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)、西田裕道(東京ガス)、二宮秀典(鹿児島大学)、相沢則夫(大林組)、野原文男、二宮博史、長谷川巖、久保木真俊(以上、日建設計)、事務局: 生稲清久、三田茂(以上、建築環境・省エネルギー機構)

【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) H. Ishino, et al., Performance Evaluation of Energy-Efficient Hybrid Ventilation Systems for Office Buildings, Papers of ASHRAE Winter Conference, AT-19-c067, 2019.1
- 3) 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 91 報 ファサードの違いと自然換気・外気冷房効果の評価、2020.9