

平成30年4月28日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06320

研究課題名(和文)高性能ファサードと空調の融合化手法の評価

研究課題名(英文) Evaluation of Techniques Integrating High-Performance Facades with HVAC systems

研究代表者

郡 公子 (Kohri, Kimiko)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・教授

研究者番号：20153504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ダブルスキン、エアフローウィンドウ(AFW)などのような高性能窓システムに、自然換気や外気冷房、最小外気量制御、全熱交換器による熱回収などの外気導入制御を組み合わせることによる融合効果を推定する方法を提案した。さらに、数値解析から、地域に適する高性能窓システムや外気導入制御方式を明らかにした。AFWは寒冷地に、ダブルスキンは温暖地に適することや、高性能ファサードに組み合わせる最小外気量制御や全熱交換器の空調熱負荷低減効果は寒冷地で大きいのに対して、自然換気や外気冷房の空調熱負荷低減効果は国内のどの地域にも同程度期待できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：This research presented a simulation method of HVAC equipment load considered the combined effects of high-performance window systems and natural and energy-efficient mechanical ventilation systems. High-performance window systems are facades such as airflow windows, double skin facades and windows with high-performance glazing. Energy-efficient mechanical ventilation systems contain air-side economizers, demand control systems and heat recovery systems. Through thermal load simulations for about 840 cities in Japan, it was found that airflow windows are more effective for cold regions than for hot regions. Unlike airflow windows, double skin facades are more effective for hot regions. The similar energy-saving effects of natural ventilation and air-side economizer systems for buildings with high-performance windows can be expected in all cities in Japan, however the energy-saving effects of demand control and heat recovery systems are larger for cold regions than for hot regions.

研究分野：建築環境設備

キーワード：ダブルスキンファサード エアフローウィンドウ 自然換気 外気冷房 最小外気量制御 全熱交換器  
空調熱負荷

### 1. 研究開始当初の背景

ファサード、特に窓の熱性能は室内環境と空調エネルギーに大きく影響する部位であり、ブラインド内蔵二重ガラス内に室空気を通すエアフローウィンドウ(AFW)や自然換気により外気を通すダブルスキン(DSF)などの窓システムは、高性能なファサードを実現する有力な手法として開発され、利用されるようになった。一方、自然換気を可能とするファサードの普及もさらに加速し、また省エネルギーに配慮した空調システムと高性能なファサードとを一体的に機能させて、より一層の省エネルギーと快適な室内環境の実現を目指すことが求められるようになった。このような背景のもと、高性能ファサードと空調の融合手法の評価法の開発と評価が重要となった。

### 2. 研究の目的

本研究では、高性能窓システムや自然換気が可能なファサードを高性能ファサードと位置づけ、これらと空調システムとを融合させて機能させる効果を実用的に推定可能とし、設計や運用上の性能を明らかにしようとするものである。省エネに配慮する空調システムとしては、外気冷房、最小外気量制御、全熱交換器による熱回収を評価対象とする。

具体的には以下の項目が挙げられる。

#### (1)高性能窓システムの性能評価

高性能窓システムの設計事例動向を把握するとともに、省エネルギー性、室内快適性の年間評価、地域に対する適性評価を行う。

#### (2)高性能ファサードと外気導入制御の効果推定法の開発

高性能ファサードと外気導入制御を利用する建物の熱計算法を開発する。

#### (3)高性能ファサードと外気導入制御の融合効果の評価

数値解析をもとに高性能ファサードと外気導入制御の融合効果の期間性能や地域に対する適性を明らかにする。

### 3. 研究の方法

#### (1)文献調査

各種ファサードの設計動向、自然換気法の実態を把握するために、建築専門誌の調査分析を行った。

#### (2)理論研究

高性能ファサードと空調の融合効果を評価できる熱計算法を提案した。

#### (3)プログラム開発と検証

高性能ファサードと空調の融合効果を評価できるシミュレーションプログラムを開発した。実測値との比較による妥当性と有用性の確認も行った。

#### (4)数値解析

高性能ガラスファサード、外気導入制御、それらの融合効果を定量評価するための数値解析を行った。

### 4. 研究成果

#### (1)高性能ファサードの動向

高性能窓システムである AFW、DSF、エアバリア窓の動向、ルーバーファサードの動向を、建築専門誌に掲載された建築の調査により分析した。その結果を図1に示す。

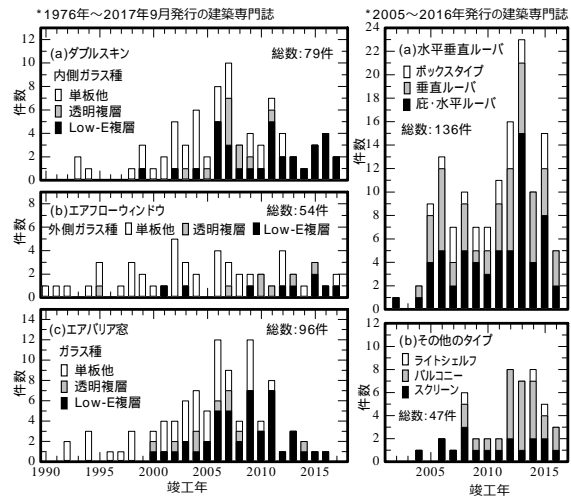


図1 高性能ファサードの動向

DSF とエアバリア窓は、2000 年以降件数が増加し、DSF は 2007 年にピークを迎えた後、年 3 件前後に落ち着いた。近年は Low-E 複層ガラスの使用が定着した。AFW は比較的コンスタントに利用されている。エアバリア窓は AFW より省エネ効果は小さいが手軽であるため普及した。2012 年以降件数が減少し、それに呼応するように外部日除けを持つ建築、特にバルコニー建築が増加している。

#### (2)高性能窓システムの地域適合性の評価

Low-E ガラスの普及により、内側に Low-E 複層ガラスを使用する高性能 DSF が一般化した。AFW も、外側に Low-E 複層ガラスを使用する高性能 AFW が出現している。高性能 AFW は、少風量でも断熱性が高く、また高性能 DSF より日射取得性がある。

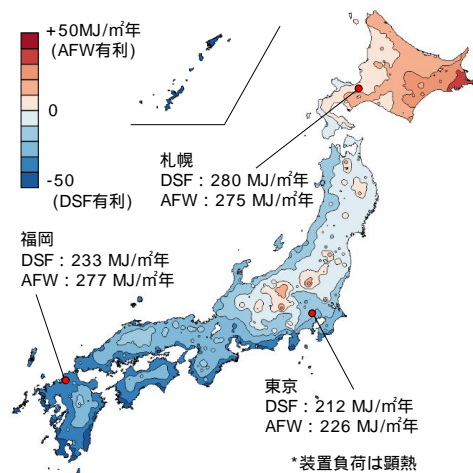


図2 高性能な DSF と AFW の省エネ性能比較 (両者の空調年間熱負荷の差)

高性能 DSF と高性能・少風量 AFW(風量 30CMH/m で、全て屋外排気)の地域適合性を比較した。国内 842 地点の空調年間熱負荷を求め、両ケースの差をカラーマップとして示したものが図 2 である。図より、高性能・少風量 AFW は寒冷地向き、高性能 DSF は温暖地向きである傾向が明らかになった。

### (3)自然換気を併用する外気導入制御の効果の数値計算法

空調の省エネ手法として外気冷房、最小外気量制御、全熱交換器を取り上げ、これと自然換気が可能な高性能ファサードの融合効果を評価できる熱負荷計算法を提案した。

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とし、簡単な入力条件で自然換気の効果を実算できるようにした。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特徴をもつ。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ければ外気冷房も行う。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み合わせる場合には、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。

図 3 は、自然換気と外気冷房を併用するオフィス(東京)の中間期の運転状態の数値計算結果である。比較のために併用なし、外気冷房のみの 2 ケースも示している。冷房設定室温 26 に対して、自然換気、自然換気で不足する場合はさらに外気冷房を行うことにより、空調時は 24 まで室温を下げる事ができる。冷房負荷は、月曜日以外はほとんどなく、火曜日以降の空調時の PMV は自然換気と外気冷房により、0 に近い値となり快適性が向上していることを確認できた。

図 4 に、外気導入制御を行う東京のオフィスビル中間階のインテリアゾーン、南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。8 月の全熱交換器運転時間率は両ゾーンとも 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 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。

\* 冷房設定室温：26 自然換気・外気冷房下限室温：24 (空調時)、22 (非空調時)

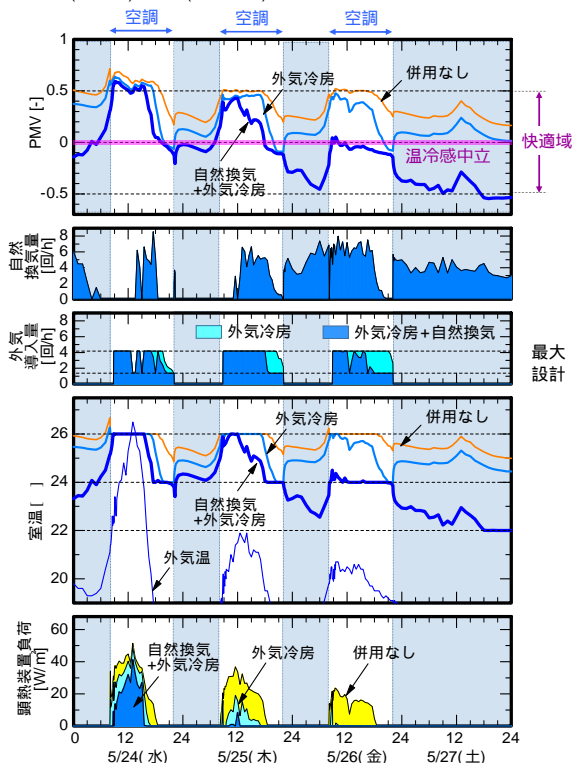
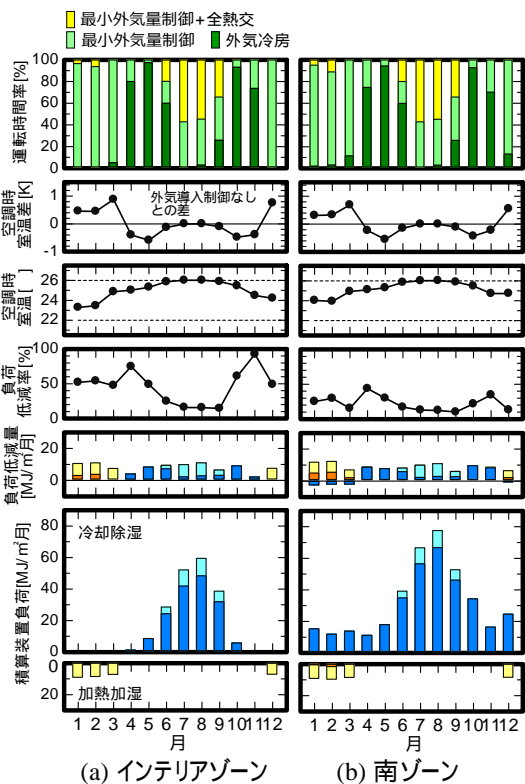


図 3 オフィスの自然換気併用外気冷房の運転状態 (東京)



(a) インテリアゾーン (b) 南ゾーン  
図 4 オフィスの外気導入制御の月別運転状態

(4)高性能ファサードと外気導入制御の融合効果の評価

高日射遮蔽型 Low-E 複層ガラス一般窓のファサードに、自然換気、外気導入制御を組み合わせる効果の地域性を検討した。国内 836 都市の年間空調熱負荷を計算し、外気利用(自然換気と外気冷房)と外気抑制(最小外気量制御と全熱交換器)による負荷低減量を求め、その中央値を基準として、負荷低減量の大小をカラーマップ表示した結果を図 5 に示す。

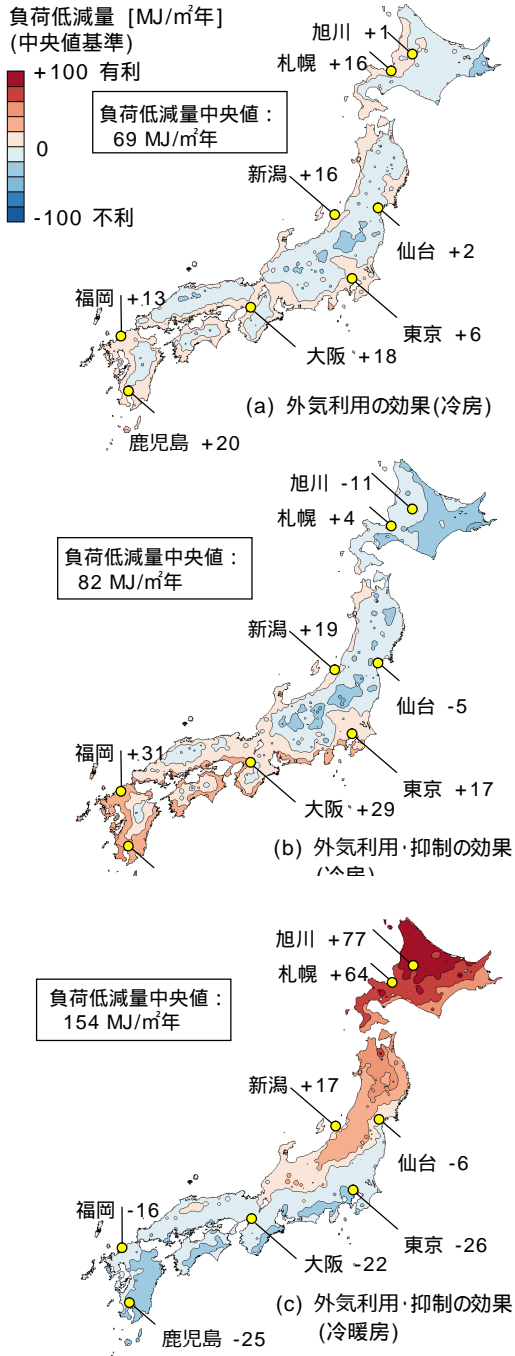


図 5 自然換気・外気導入制御による年間負荷低減効果(中央値基準)

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く、どの地域

でも自然換気と外気冷房による効果を期待できることが分かった。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。図 5(c)のケースの年間空調負荷について、その中央値を基準として地域による有利不利を評価したカラーマップを図 6 に示す。北海道、東北は省エネルギーを達成しやすく有利で、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。

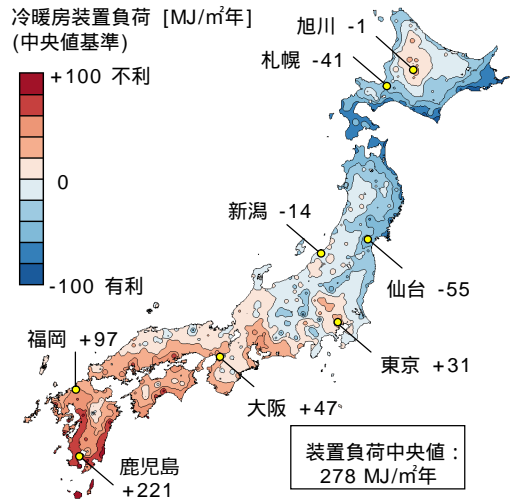


図 6 高性能窓と自然換気・外気導入制御の融合効果(年間空調負荷の中央値基準)

図 7 は、国内 836 地点の空調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と比較したものである。

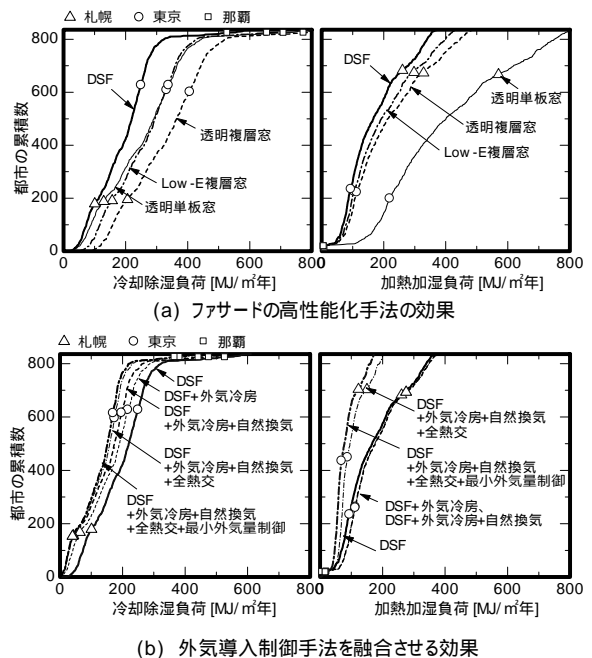


図 7 国内 836 都市の空調年間熱負荷の累積頻度

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、図示は省略したが、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った。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 42 件)

郡公子、石野久彌、村上周三：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、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、37-40、2017、査読無

郡公子、石野久彌、松山 大介：ファサードの高性能化手法の評価(第 2 報) 気象の地域特性を考慮した窓の適性評価、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、141-144、2017、査読無

郡公子、石野久彌、村上周三：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、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、1367-1370、2017、査読無

郡公子、石野久彌、村上周三：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 Vol.82、No.732、pp.175-181、2017、査読有

郡公子、石野久彌、村上周三：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) 自然換気併用外気制御システムをもつゾーンの熱平衡計算、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、17-21、2016、査読無

郡公子、石野久彌、岩本博未：BEST による自然換気ビルの性能予測に関する研究、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、101-104、2016、査読無

郡公子、石野久彌、須崎岳導：ファサードの高性能化手法の評価 第 1 報 熱負荷曲線を用いる年間性能評価、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.121-124、2016、査読無

郡公子、石野久彌、野崎海：AFW を採用するガラス建築の熱負荷解析 第 3 報 代表都市における AFW 排気の熱回収効果、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、117-120、2016、査読無

郡公子、石野久彌、村上周三：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 自然換気・外気処理のシ

ミュレーション法、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、1017-1018、2016、査読無

郡公子、石野久彌、長井達夫、村上周三：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 53 報 自然換気併用ハイブリッド空調のシミュレーション法、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、965-966、2015、査読無

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

郡 公子 (KOHRI KIMIKO)

宇都宮大学・地域デザイン科学部・教授  
研究者番号：20153504

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

佐々木 宏一郎 (SASAKI KOICHIRO)

下ノ園 慧 (SHIMONOSONO KEI)

須崎 岳導 (SUZAKI TAKEMICHI)

野崎 海 (NOZAKI UMI)

天城 大治 (AMAGI DAICHI)

佐東 拓海 (SATO TAKUMI)

タイド タン ツン (THAI DO THANH TUNG)

橋本 真実 (HASHIMOTO MAMI)

山田 昭徳 (YAMADA AKINORI)

青木 彩華 (AOKI SAYAKA)

佐藤 大地 (SATO RIKU)

松山 大介 (MATSUYAMA DAISUKE)