

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：13904

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630262

研究課題名(和文)熱交換型エアフローウィンドウシステムの開発

研究課題名(英文)Development of a heat exchange type airflow window

研究代表者

松本 博(Matsumoto, Hiroshi)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90125659

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、既存のエアフローウィンドウをベースに、熱的性能の向上による省エネと室内熱環境改善の機能強化に加え、窓システム自体で熱交換換気が可能な機能をもつ新しい高性能窓「熱交換型エアフローウィンドウ」(以下、H-AFW)を開発することを目的とする。そのため、人工気候室を用いたH-AFWの熱的性能に関する基礎実験を通して、H-AFWの熱的特性・機構を明らかにし、dual-flowモデルの高いエネルギー削減効果を検証した。次に、VIP手法による通気層内部の気流の可視化手法を確立し、詳細な流れの特性を明らかにした。また、総合的な熱的性能評価法及び最適制御・設計法を提案し、それを検証した。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to develop a high performance window, heat exchange type airflow window (H-AFW) which allows the heat exchange ventilation having energy saving and improvement of thermal environment. Firstly, we investigated the high performance of H-AFW under the dual mode to supply and exhaust air at the same time by model experiments. As a result of experiments, the dual mode of H-AFW showed relatively low power consumption in comparison with the other modes, supply and exhaust modes. Secondly, we investigated the basic characteristics of internal airflow inside a H-AFW by PIV (Particle Image Velocimetry) analysis. Finally, we proposed an overall thermal performance evaluation method, optimal control and design method.

研究分野：建築環境工学

キーワード：エアフローウィンドウ 熱交換 省エネルギー 換気 PIV解析

1. 研究開始当初の背景

建物外皮の開口部に一般的に用いられるガラスは外気温や日射の影響を受けやすく、冬季には暖房負荷の増大、表面結露、コールドドラフトや窓表面からの冷放射による熱的不快感を招き、夏季にも冷房負荷の増大や熱的不快感を招く。そのため、これまで様々な手法によりガラスの熱的弱点を克服する工夫がなされ、その中に高性能窓の一つであるエアフローウィンドウが注目されている。しかしながら、その窓の内蔵ブラインドの制御、窓のキャピティ内空気の流れモード・流量制御、熱的性能評価法など、未解明の課題も多い。これまで、松尾ら(1983-1986)はエアフローウィンドウの長波長ふく射改善効果と、その熱回収効果を定量的に明らかにした。また、Chenら(2008, 2010)は、3層ガラス内に2つの通気層を持つ新しいエアフローウィンドウの提案と性能評価を行い、窓システムの熱的性能を実験によって評価し、また数値実験によって異なる気候条件下での性能比較を行っている。筆者らは(2008-2011)エアフローウィンドウ内における室内外空気の接触面積を大幅に増やすことにより温度交換効率の改善が期待できる新しい発想に基づくH-AFWを提案し、窓前後に温度差や外部からの日射がある場合、デュアルモードにおけるH-AFWの高い熱的性能(夏季モードの実効温度交換率80%以上、従来型エアフローウィンドウに対する日射排気率はデュアルモードで2~3倍)を縮尺模型による基礎実験により確認した。

2. 研究の目的

近年、社会的な背景から暖冷房負荷の低減やペリメータゾーンの熱環境改善を目的とした高性能窓の一つとしてエアフローウィンドウが徐々に普及しつつある。しかしながら、内蔵ブラインドの制御、窓キャピティ内通気の流れモードや流量制御など、未解明の課題が少なくない。本研究は、既存のエアフローウィンドウをベースに、熱的性能の向上による省エネと室内熱環境改善の機能強化に加え、窓システム自体で熱交換換気が可能な新しい機能をもつ新しい高性能窓「熱交換型エアフローウィンドウ」(以下、H-AFW)を開発することを目的とする。そのために、本学所有の人工気候室を用いたH-AFWの熱的性能に関する基礎実験及び野外実験を通して、H-AFWの熱的特性・機構を明らかにし、熱的性能評価法の確立並びにその最適制御・設計法を提案する。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、初年度は人工気候室を用いて異なる仕様の熱交換型エアフローウィンドウ(H-AFW)に対して、PIV解析手法を用いたH-AFW通気層内気流の可視化による気流性状を調べ、様々な環境条件下(異なる外気温・日射強度、エアフローモード、

通気量など)におけるH-AFWの熱的性能の関する基礎実験を行い、窓システムにおけるヒートバランスの詳細な時間的・空間的分布を測定し、その伝熱機構を解明する。また他の窓(シングル、二重、従来型エアフローウィンドウなど)との対比較実験により総合的なエネルギー性能を定量的に明らかにする。次年度は前年度の成果を受けて、改良型H-AFWを作成し、人工気候室を用いた性能試験及び屋外における長期実測を実施し、実用可能性を検討する。また、H-AFWの工学モデルを提案し、CFDシミュレーションや熱回路網計算を併用して、通気による熱移動を伴うH-AFWの伝熱機構の解明と総合的な熱的性能評価法を提案する。さらに、H-AFWの最適設計法のための基礎資料を整備する。

4. 研究成果

(1) H-AFWの基本的な熱特性及び伝熱機構の解明:

H-AFWのプロトタイプを図1,2に示す。図1の設計図に従い、窓枠を木材、開口部をガラスで作成した(図2)。H-AFW以外にも比較実験用にシングルガラス、ペアガラスおよびQCモデル(Chenモデル)を作成した。エネルギー評価を行うための室模型の室温制御にはペルチエ素子による加熱冷却が可能な装置を用いた。

窓モデルの評価には本学所有のビルトインチャンバーを用いた。

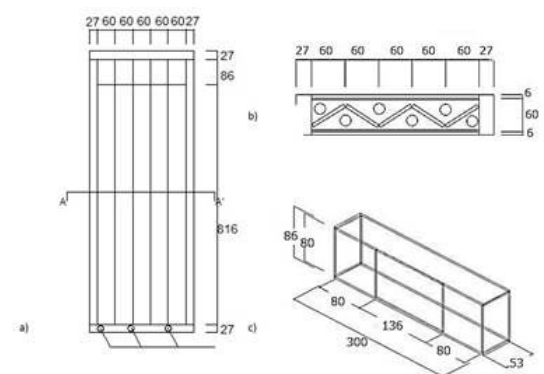


図1 H-AFW プロトタイプ



図2 H-AFW モデルのプロトタイプ

(2) PIV 解析手法を用いた H-AFW 内気流の可視化・計測：

図 3 に H-AFW 通気層内部の気流の可視化装置を示す。



図 3 PIV 手法による H-AFW 内通気の可視化装置

PIV 解析手法には、光速度カメラ（カトウ光研 K4）、レンズ（HF6M-2 FIXED FOCAL LENS, 1/2 12mm F1.4 MANUAL-IRIS）、レーザー発振器（Green DPSS laser, 2W）、DC 電源（PSD20-18）を用いた。

(3) H-AFW のエネルギー性能評価：

図 4 に夏期を想定した H-AFW のエネルギー性能測定結果を、シングルガラス、ペアガラス、QC モデル（Chen モデル）との比較で示す。シングルガラスに比べて約 40%程度、ペアガラスと比較しても約 50%程度のエネルギー消費量となっている。H-AFW の中では dual モード（外気と室内空気が両方とも通気層内のガラス層を隔てて流れる）が安定した値となっている。

図 5 は冬期を想定した H-AFW のエネルギー消費量を比較したものである。Dual, supply 及び exhaust モードの中では dual モードが最もエネルギー消費が少ないという結果になった。通常、冬期ではエアフローウィンドウが通気層を閉鎖するが、この結果は冬期の日射がある時間帯では空気循環の機能を止めることなく運転することで熱回収が効率よく行われていることを示す。

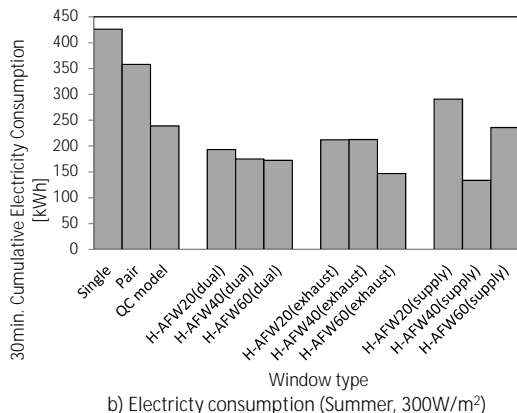


図 4 H-AFW のエネルギー性能試験結果

(夏期, 300W/m²)

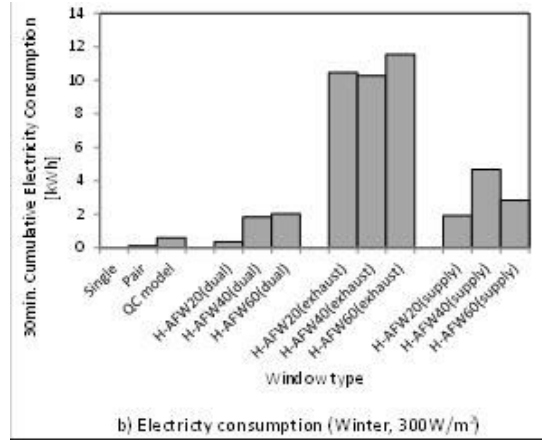


図 5 H-AFW のエネルギー性能試験結果

(冬期, 300W/m²)

(4) 改良型 H-AFW の性能評価と熱的性能の改善方法の検討：

H-AFW のプロトタイプを改良し、モデルを作り直した結果、人口気候室を用いた実験でシングルガラスに比べ、65%のエネルギー削減が得られることを確認した。

また、通気層厚や通気モードの異なる H-AFW のエネルギー性能試験も行い、dual flow モードで最も高い性能が得られた。

(5) PIV 解析手法による通気層内部の可視化手法の改善：

図 6, 7 に PIV 手法により解析した H-AFW の中央付近の流れの様子を示す。それぞれ、図 6 の平均流速は 0.37m/s 及び 0.19m/s であった。左側の層はほぼ一様に上昇気流が生じているが、右側の層の上部で渦が生じていることが分かる。これは H-AFW のような狭い空間の流れが PIV 解析手法で可視化でき、速度分布が鮮明に得られることを示している。それに対して、図 7 では流れが全体的にゆるやかで一般的な分布となった。

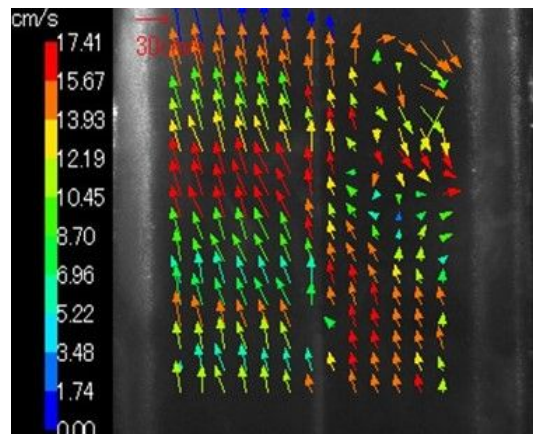


図 6 H-AFW 通気層の可視化画像（流速分布）
(平均流速 0.37m/s)

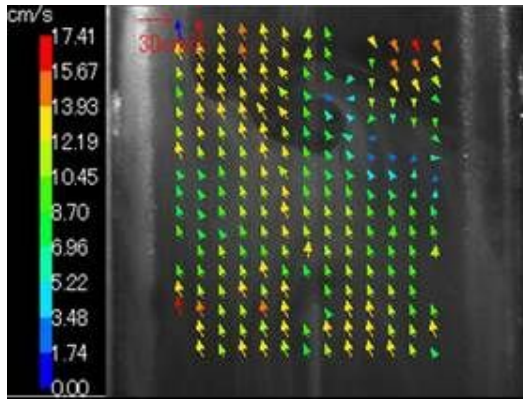


図7 H-AFW 通気層の可視化画像（流速分布）
（平均流速 0.19m/s）

(6) 総合的な熱的性能評価法及び最適制御・設計法の開発：

人工気候室でエネルギー評価を行うための試験方法として、模型室内の温度設定にペルチェ素子を使った加熱・冷却方法及び制御方法を開発し、空気交換がある窓システムの総合的な熱的性能およびエネルギー評価法を開発し、その検証を行った。また、冬期の結露発生条件を模型実験及びCFDシミュレーションで明らかにした。また、それらの結果は、H-AFW システムの最適制御・設計法に必要なデータとなった。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 6 件)

1. Saho Inoshima, Hiroshi Matsumoto: Visualization of internal airflow distribution and energy performance of a heat exchange type airflow window, Indoor Air 2016, July 4-8, 2016, Ghent University, Ghent(Belgium)
2. 猪島 沙帆, 松本 博: 熱交換型エアフローウィンドウ内気流の可視化とエネルギー性能評価, 日本建築学会大会, 2015年9月4~6日, 東海大学, 藤沢市(神奈川県)
3. Tomoka Tanishita, Miho Kitagawa, Hiroshi Matsumoto: Evaluation of thermal comfort based on EEG and physiological reaction by subject experiments, Healthy Buildings Europe 2015, May 18-20, 2015, Eindhoven University of Technology, Eindhoven(Netherlands)
4. 伊藤裕二, 松本 博: 熱交換型エアフローウィンドウのエネルギー性能評価, 空

気調和・衛生工学会中部支部学術発表会, 名古屋大学, 2015年3月9日, 名古屋市(愛知県)

5. 谷下智花, 松本 博: 改良型熱交換型エアフローウィンドウのエネルギー性能評価に関する模型実験, 2014年9月12-14日, 神戸大学, 神戸市(兵庫県)
6. Hiroshi Matsumoto, Toi Matsuyama, Yuji Ito, Tomoka Tanishita: Thermal Performance of an Energy Efficient Airflow Window in Buildings, Indoor Air 2014, July 7-12, 2014, The University of Hong Kong, Hong Kong

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://einstein.tut.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
松本 博 (Matsumoto Hiroshi)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号： 90125659

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：

