暖房時における置換換気用ペリメータレスシステムの実験

一般環境における置換換気に関する研究 その1

EXPERIMENTS ON PERIMETERLESS SYSTEM FOR DISPLACEMENT
VENTILATION UNDER HEATING CONDITION

Study on displacement ventilation in non-industrial premises Part 1

佐々木 秀次*, 吉野 一**, 竹内仁哉***, 近藤 靖史****

Hidetsugu SASAKI, Hajime YOSHINO, Jinya TAKEUCHI

and Yasushi KONDO

Ventilation by displacement is a type of ventilation where the air flow is thermally driven. By this arrangement one obtains two zones in the room - a lower zone with supply air conditions and an upper recirculation zone with extract air conditions. Cold climate causes downdraught from windows and external walls and results in a mixing of air from the upper into the lower zone. To avoid this problem during cold climate a new principle for ventilation by displacement is tested. Excess heat from the upper zone of the room is used for heating cold surfaces. The principle involves creation of a narrow space in front of the exterior wall, separating the cold wall from direct contact with room air. Extract air from the ceiling level is forced down through this space by an extraction fan. This method can advantageously be applied in large buildings where an external wall mainly consists of glass panes. In this case it might be appropriate to utilise the space between the inner couple of glasses for extract air. Tracer gas and temperature measurements were carried out in a test-room. The result shows that the ventilation efficiency improves when using the new principle. The thermal climate also improves due to less down-draught and higher surface temperatures.

Keywords : Displacement Ventilation, Perimeterless System, Indoor Environment Quality, Thermal Stratification, Experiment

置換換気, ペリメータレスシステム, 室内環境質, 温度成層, 実験

1. はじめに

置換換気・空調方式(以降、置換換気方式)は空気密度差を利用した換気・空調方式であり、一般に室内下部から室内設計温度よりやや低い空調空気を低速で給気し、室内上部で排気を行う。居住域に存在する人体等の発熱体(汚染源)上の熱上昇流により、室内では温度成層が形成されるとともに、発熱体周りに発生する汚染質は居住域から室内上部へと速やかに輸送される。このように、混合換気・空調方式(以降、混合換気方式)と比較して、置換換気方式は居住域の空気質を良好な状態に維持するとともに、給気温度が夏期冷房時には混合換気方式より高温に、また冬期暖房時には低温に出来るため省エネルギーの観点からも有効な換気・空調方式である。

特に、この方式は年間を通して冷房負荷が存在する環境において適している。このため工場等の労働環境で実施例が多い。その検討例として、置換換気方式を適用した室内が静穏な環境となることに着目した、近藤・吉野らによる局所給・排気の検討¹⁾や、三橋らによる置換換気用吹出し口面積の縮小手法を検討した誘引型置換換気に関する研究²⁾等が挙げられる。一方、労働環境と比較して室内の発熱が比較的少ないオフィスなどの一般環境では検討例が少ない。これは、一般環境において、冬期の外皮負荷のような暖房負荷が存在する場合、外皮に沿って発生するコールドドラフトが、置換換気

方式特有の温度成層の形成を妨げ、換気効率と空調効率が悪化するためである。これに対応する検討例として、東本・山中らによる実験室実験およびブロックモデルの適用に関する検討³⁾や、徐・山中らによる置換換気方式が適用された室内の冷却壁面や加熱壁面が温度成層および汚染質濃度分布に与える影響の検討⁴⁾等がある。このように置換換気方式の採用に関しては冬期の暖房負荷が問題となることは認識されている。暖房負荷の存在しない内壁に囲まれた空間や、外皮面に接していても十分な断熱が成されていれば、冬期においても置換換気方式の適用は比較的容易⁵⁾であるが、十分な断熱性の確保が困難な窓などの外皮では、暖房負荷の効率的な除去が別途必要となる。このことは、Rehva ガイドブック⁶⁾においても紹介されており、窓面の下部にコンベクタやラジエータ等の暖房器具を設置し、暖房負荷を除去する方法が一般的ではあるが、負荷と対応する暖房エネルギーが必要となる。また、暖房エネルギーが外皮負荷より小さい場合、温度成層に影響を与えることになる。一方、投入した暖房エネルギーが暖房負荷より大きくなると冷房負荷となり混合ロスが発生する事から暖房器具の制御も難しい。これらの問題に対し、P.Hansson⁷⁾らは冬期の外壁面による悪影響を防ぐ手段として、外壁面の室内側にポリウレタン製のフィルムを用いた2重壁を製作し、この内部を排気経路とすることで外壁面の悪影響を低減できる

本論文は、2006年度日本建築学会大会(関東)学術講演会、2006年度空気調和・衛生工学会大会(長野)および2007年度日本建築学会大会(九州)学術講演会において発表した論文に基づいて加筆・修正したものである。

* 東洋熱工業株式会社技術研究所 修士(商船学)

** 東洋熱工業株式会社技術研究所/

武蔵工業大学 客員准教授・博士(工学)

*** 東洋熱工業株式会社技術研究所 修士(工学)

**** 武蔵工業大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

Technical Research Institute, TONETS CORPORATION, M.M.M.S.

Technical Research Institute, TONETS CORPORATION/Visiting Assoc. Prof., Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.

Technical Research Institute, TONETS CORPORATION, M. Eng.

Prof., Dept. of Arch., Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.

図1 置換換気とD.V.ペリメータレスシステム

図2 環境試験室概要

単位：[mm]

可能性を示している。ただし、示された結果は実験条件などが限定されている。

本研究では、一般環境を想定した環境試験室における実験により、置換換気方式を冬期暖房時に適用する際に必要となる暖房負荷の処理方法について検討する。まず初めに、Rehva ガイドブック⁶⁾にも紹介されている一般的な方法である暖房負荷のある面の下部にコンベクタを設置し、暖房負荷を処理する方式(以降、コンベクタ方式)について検討する。さらに、居住域より上部の空気が高温で汚染質濃度が高くなる置換換気の特徴に着目し、温度成層に擾乱を与えずに外皮負荷を効率的に除去する事を意図した、置換換気用ペリメータレスシステム(本報では、D.V.ペリメータレスシステムと呼ぶ。2章で後述する。)を検討する。

3章では冬期の外気条件を再現するチャンバ(以降、外気チャンバ)および、外気チャンバと室内を区切る窓がある環境試験室において、一般的なペリメータ処理方法であるコンベクタ方式と、D.V.ペリメータレスシステムとの比較実験を行う。

4章ではガラス面積が広く、暖房負荷が大きい場合について混合換気方式を適用した室内等との比較実験を行う。

2. D.V.ペリメータレスシステム

2.1 概要(図1)

置換換気とD.V.ペリメータレスシステムの概要を図1に示す。図1に示すように、置換換気を適用した室内では、居住域より上部の空気が高温で汚染質濃度が高くなる。D.V.ペリメータレスシステムはこの特徴に着目し、上部の空気を室外へ排気すると同時

に外皮負荷の除去を行うシステムである。このシステムは、屋内側窓(以降、内窓)、屋外側窓(以降、外窓)で構成される。内窓の上部には流入口を設け、二重窓内に室内の上部の空気を導くとともに下部に設置された排気口から排気を行う。室内上部の空気が二重窓内を通過する際、暖房負荷が除去されることを期待している。

2.2 従来のペリメータレスシステムとの相違

従来のペリメータレスシステムの一例としてエアフローウィンドウシステム^{8)注1)}がある。エアフローウィンドウシステムは空間下部の空気を吸込み、二重窓間で鉛直上向きの流れが形成されるのに対して、D.V.ペリメータレスシステムは室内上部の空気を吸込み、二重窓間で鉛直下向きの流れとなる。置換換気方式が適用された室内において、エアフローウィンドウシステムを想定した場合、室内下部の新鮮な空気を排気する事になり効率的ではない。一方、D.V.ペリメータレスシステムは室内上部の汚染質濃度が高い空気を排気する。

3. コンベクタ方式とD.V.ペリメータレスシステムの比較

本章では置換換気方式が適用された空間を対象に、外皮負荷の処理にコンベクタ⁶⁾を設置した場合と、D.V.ペリメータレスシステムを用いた場合の比較を行い、D.V.ペリメータレスシステムの有効性を検討する。

3.1 環境試験室概要(図2、表1、写真1)

環境試験室概要を図2および表1に示す。また、実験を行うD.V.ペリメータレスシステムを写真1に示す。

環境試験室は、床面積11.7m²、天井高さ2.5mの執務室を想定

表 1 環境試験室の概要

環境試験室	3,900mm(X)×3,000mm(Y)×2,500mm(Z)	
壁・床・天井	断熱パネル 厚さ 42mm 断熱性能 0.49W/m ² ・K	
内部発熱	人体:	50W×2 ^{注2)} (事務作業時の顕熱を想定)
	OA 機器:	57W×2 ^{注2)} (PC を想定)
	照明:	38.5W×8 (40W Hf 型直管蛍光灯)
	コンベクタ:	606W×2 ^{注3)}
給・排気口 (面積)	SA:	1,000mm(w)×800mm(h)
	天井 EA	300mm×300mm
	/RA:	天井面中央に 1 箇所
	壁間 EA:	1,495mm×100mm 内壁上部から室内空気を吸込み、 壁間で外皮処理を行う。
外皮面	構成部材	鉄・アルミ・ガラス
	面積	1,495mm(Y)×2,250mm(Z) ガラス:フロート板ガラス 厚さ:3mm
外気 チャンバ	150mm(X)×1,500mm(Y)×2,500mm(Z) 温度制御範囲: -3~50℃

写真 1 D.V.ペリメータレスシステム

し、1面に幅 1,500mm の D.V.ペリメータレスシステムを設置した。D.V.ペリメータレスシステムは、脱着可能な内窓および外窓で構成されており、実験ケースに応じて壁構成を変更する事が可能である。内窓および外窓は、鉄およびフロートガラス(厚さ 3mm)で構成されており断熱性能が低い。D.V.ペリメータレスシステムは、外気チャンバと接しており、外気チャンバ内温度を調整することにより夏期・冬期の外皮条件を再現する。室内には内部発熱体を模擬した人体モデルを 2 体、OA 機器モデルを 2 台、および天井に照明器具(40W 型蛍光灯を 8 本)を設置した。人体モデルおよび OA 機器モデルは亜鉛めっき鋼板製で筐体内が空洞となっている。空洞内には電気ヒータおよびファンを設置し、加熱および強制攪拌し表面温度の均一化を行う。吹出し口は面積 0.8m² で、吹出し風速が均一となるよう工夫した吹出し口ユニットを、室内に 1 箇所設置し給気を行う。

3.2 実験ケース(表 2)

実験ケースを表 2 に示す。実験では表 1 に示す内部発熱時に外気チャンバ温度を 0℃とし、一般的な外皮負荷除去方法であるコンベクタ^{注3)}を使用したケース(Case 2)の室内の FL+1,100 の温度計測点(7 点)の平均温度が 22℃となる吹出し温度・風量^{注4)}とした。すなわち、外皮負荷の影響が室内の温度分布となって現れる。冬期における外皮負荷の除去方法および D.V.ペリメータレスシステムの有効性を検討するため、以下に示す 3 ケースとした。

(1) Case 1

冬期における外皮負荷(暖房負荷)が置換換気を適用した室内の

表 2 実験ケース

実験 ケース	外気 条件	外皮負荷 処理	壁面 構成	給気(SA) (壁面)		還気・排気
				温度 [℃]	風量 [m ³ /h]	風量 [m ³ /h]
Case 1	冬期 0℃	なし	一重	18	253	253(天井面)
Case 2		コンベクタ	一重	18	253	253(天井面)
Case 3		D.V.ペリメータレス システム	二重	18	253	253(窓間)

表 3 測定項目

測定項目	測定位置など	測定機器
室内温度	室内中心線上 7 箇所・各 7 点 (FL+100、FL+600、FL+1,000、 FL+1,400、FL+1,800、FL+2,100、 FL+2,400)	T 型熱電対 および データロガー: (江藤電気製 CADAC2)
壁間温度	内壁-外壁間 2 箇所・各 4 点 (FL+100、FL+1,000、FL+1,800、 FL+2,400)	
外気チャンバ 温度	2 箇所・各 3 点 (FL+407.5、FL+1,172.5、FL+1,937.5)	
グローブ温度	人体近傍 2 点、 室内中心付近 1 点	
D.V.ペリ メータレス システム 壁面温度	2 箇所・各 3 点 (FL+407、FL+1,172、FL+1,937)	サーモビューワー: (Avio 製 TVS-600)
SA・EA・RA 温度	各チャンバ BOX 内 1 箇所	
壁間排気温度	1 箇所	データロガー: (江藤電気製 THERMODAC-E)
発熱体 表面温度	各モデル: 1 箇所	
試験室外温度	OA 吸込口近傍	
床下空間温度	試験室床下空間内 1 箇所	ガスモニター: (Bruel&Kjaer 製 type3425)
SA・EA・RA 風量	各ダクト内	
可 視 化	吹出気流	吹出気流のパターンを確認 スモークジェネレータ: (ダイニチ工業製 PS-2100)
	温度成層	天井付近のからの下降がない か、および成層の形成を確認
	窓面気流	窓面近傍のコールドドラフト の確認
	発熱体 熱上昇流	発熱体上部における熱上昇流 の確認 アルゴンレーザー: (NEC 製 GLS 3620J)

温度成層へ与える影響の確認を行う。Case 1 では外皮面となるガラスは 1 重構成であり、外皮負荷の除去に対して特別な工夫は行わない。還気および排気は、天井面より行う。

(2) Case 2

一般環境に置換換気を適用する場合の冬期における一般的な外皮負荷の除去方法であるコンベクタ^{注3)}を用いた方式を検討する。Case 1 と同様に窓面は 1 重構成とした。窓面下部にコンベクタを設置し暖房を行う。これによって温度成層の形成を妨げるコールドドラフトが解消されるかを検討する。Case 1 と同様に還気および排気は、天井面より行う。

(3) Case 3

D.V.ペリメータレスシステムの効果を検討する。外皮面には、

D.V.ペリメータレスシステムを設置し、二重窓を利用して排気を行う。D.V.ペリメータレスシステムによってコールドドラフトが解消され温度成層が維持されるかを検討する。還気および排気は窓上部の開口からD.V.ペリメータレスシステムを介して行う。

3.3 測定項目(表 3)

表 3 に測定項目を示す。環境試験室内の鉛直中心断面には計 49 点の熱電対を設置し、温度分布の測定を行う。熱画像撮影を行いガラスの表面温度を把握する。また、給気ダクト内でスモークを発生させ、レーザーライトシートによる可視化を行い吹出し気流性状を把握する。

3.4 結果および考察(図 3)

図 3 に鉛直中央断面(Y=1,500mm)の温度分布^{注 5)}および室内側のガラス表面熱画像^{注 6)}を示す。

(1) 室内温度分布およびガラス表面温度

窓面で外皮負荷処理を行っていない Case 1(図 3(a-1)、(a-2))では、ガラス表面温度は室内温度に比べかなり低く 5~7℃となる。室内温度分布や可視化実験からコールドドラフトが床面に沿って吹出口近傍まで到達している事が確認できた。その結果、給気温度の方が吹出し口近傍の空気温度より高くなり、吹出し空気は居住域には輸送されず、天井吸込み口に向かって上昇し、ショートサーキットを形成する。居住域は設計温度にまでは上昇せず、16~20℃となる。

Rehva ガイドブック⁶⁾で紹介されている一般的な外皮負荷処理方法であるコンベクタを窓面下部に設置した Case 2(図 3(b-1)、(b-2))では、Case 1 と比較すると、ガラス表面温度はコンベクタの影響を受けやや高く 5~10℃となるが、室温に比べ低い。室内は想定した設計温度 22℃をほぼ満たしており、窓面からの外皮負荷はコンベクタによりほぼ除去されているが、床付近ではコールドドラフトが一部に見られた。吹出し空気は床面に沿い居住域へ供給される。

D.V.ペリメータレスシステムを用いて外皮負荷を除去する Case 3(図 3(c-1)、(c-2))では、ガラス表面温度は Case 1、Case 2 と比較し顕著に高く 16~18℃となる。このため窓付近ではコールドドラフトの発生もなく、置換換気の特徴である温度成層が形成されており、窓面からの外皮負荷は効率的に除去されていることが確認できる。

(2) 空調消費エネルギー(表 4)

室内設計温度を満たす Case 2 と Case 3 について、実験の結果(給気温度と風量、排気温度)から空調消費エネルギーの算定を行った。表 4 に空調消費エネルギーを示す。なお、空調消費エネルギーは人体 2 体分の必要換気量 60m³/h とし、外気温度 0℃の外気調和エネルギーを考慮した場合の暖房に要する加熱顕熱量、およびコンベクタの発熱量を対象とする。ここでは、加湿等のエネルギーは加味しない。空調機の負荷は、天井面から排気を行う Case 2 が、窓間で外皮負荷の処理を行う Case 3 より小さいが、室内への外皮負荷を処理するコンベクタへの投入熱量を考慮すると、Case 3 は Case 2 に比べ約 40%の消費エネルギー削減となる。

4. ペリメータレスシステムを取り入れた混合換気と置換換気の比較

図 3 室内温度分布およびガラス表面熱画像 単位: [℃]

表 4 空調消費エネルギー 単位: [W]

	Case 2 (コンベクタ方式)	Case 3 (D.V.ペリメータレス システム)
空調機(加熱)	259.2	883.2
コンベクタ	1212.0	-
合計	1471.2	883.2

本章では外皮負荷の影響がもっとも懸念されるガラス面積の多い外皮を想定し、混合換気方式と置換換気方式を適用した場合、また、それぞれにペリメータレスシステムを採用した場合について実験による比較を行い検討する。混合換気方式には、従来のペリメータレスシステムであるエアフローウインドウシステムを、置換換気方式には 3 章で検討した置換換気方式に特化した D.V.ペリメータレスシステムをガラスおよびサッシによって構成し比較する。

4.1 環境試験室概要(図 4、表 5、写真 2)

環境試験室概要を図 4 および表 5 に示す。表 5 では 3 章に示した表 1 と変更のある箇所のみを記す。環境試験室は 3 章と同様で

(a) 平面図

(b) 断面図

図 4 環境試験室概要

単位: [mm]

床面積 11.7m²、天井高さ 2.5m の空間に発熱体となる人体モデル 2 体、OA 機器モデル 2 台を設置した。4 章では環境試験室の一面のほぼ全てをガラスにより構成する。置換換気方式の給気口は 3 章と同様とする。一方、混合換気方式では天井面中心位置にネック部 150φ の角形多層コーン型吹出し口を設置し、暖房のため吹出し方向を鉛直下向きとし、置換換気方式の吹出し位置に吸込み口を設置した^{注 7)}。ペリメータレスシステムは写真 2 に示すように、混合換気方式では二重窓間に室内側の窓面下部に流入口を設け、空気を流入させて外皮負荷を処理するエアフローウィンドウシステムを、置換換気方式では窓面上部の流入口から空気を流入させ、外皮負荷を処理する D.V.ペリメータレスシステムを用いる。

4.2 実験ケース(表 6)

実験ケースを表 6 に示す。外皮面が一重窓で、換気・空調方式を混合換気方式、置換換気方式とした場合をそれぞれ Case A、Case B とする。また、空調方式を混合換気方式、外皮面を二重窓(エアフローウィンドウ)とした場合を Case C、一方、置換換気方式で外皮面を D.V.ペリメータレスシステムとした場合を Case D とし、計 4 ケースの検討を行う。全ケース吹出し風量を一定とする。ペリメータの処理を行わない Case A、Case B および Case C では室内 (FL+1,100) に設置した熱電対 7 点の平均温度が設計温度(22℃)となるように各ケースの吹出し温度を設定した。前章(3 章)の結果から吹出し空気のショートサーキットが予想される Case B では、Case A の吹出し温度と同様の温度とした。

4.3 測定項目

測定項目は、3 章(表 3)と同様の項目とする。

4.4 結果および考察

(1) 室内温度分布およびガラス表面温度(図 5)

冬期暖房実験の室内温度分布および室内側のガラス表面温度を図 5 に示す。

外皮面が一重窓で混合換気とした Case A(図 5(a-1)、(a-2))では、窓面近傍において外皮負荷の影響が大きく温度が低い。室内が設計温度(22℃)となる吹出し温度は 26.5℃となり、室内発熱より外皮面の暖房負荷が大きく室内設計温度より高い吹出し温度となる。

外皮面が一重窓で置換換気とした Case B(図 5(b-1)、(b-2))では Case A と同様の吹出し温度(26.5℃)としても、室内温度は低く設定温度にまでは上がらない。これは、Case 1(3 章)と同様で一重窓では断熱性能が低く、窓面に沿ってコールドドラフトが発生し室

表 5 環境試験室の概要

内部発熱	人体:	50W×2 ^{注 2)} (事務作業時の顕熱を想定)
	OA 機器:	135W×2 ^{注 2)} 注 8)(PC を想定)
	照明:	38.5W×8(40W Hf 型直管蛍光灯)
給・排気口 (サイズ)	SA:	置換換気方式 1,000mm(w)×800mm(h) 混合換気方式 300mm(w)×300mm(d)
	EA・RA:	置換換気方式 300mm×300mm(天井面中央) 混合換気方式 1,000mm(Y)×800mm(Z)(室内下部)
	窓 EA:	置換換気方式(室内上部) 950mm(Y)×100mm(Z)×3[箇所] 混合換気方式(室内下部) 950mm(Y)×80mm(Z)×3[箇所]
	外皮面	ガラス: フロート板ガラス 厚さ 6mm 950mm(Y)×2,200mm(Z)×3 枚 ×2 重(列)
外気 チャンバ		220mm(X)×3,000mm(Y)×2,500mm(Z) 温度制御範囲: -3~50℃

写真 2 ペリメータレスシステム^{注 9)}

表 6 実験ケース

実験 ケース	外気 条件	窓 構成	換気・空調 方式	風量[m ³ /h]			設定温度[℃]	
				SA	EA	RA	給気	室内
Case A	冬期 0[℃]	一重	混合	332	332 (天井面)		26.5	22
Case B			置換		332 (壁面)		26.3	
Case C		二重	混合		60 (窓間)	272 (壁面)	23.1	
Case D			置換		332 ^{注 8)} (窓間)		21.0	

内下部が低温となるためである。さらに吹出し空気が吹出し口近傍温度より高温となり、室内を暖房することなく天井面へ上昇し

ショートサーキットを形成していることによる。

外皮面が二重窓(エアフローウィンドウ)で混合換気とした Case C(図 5(c-1)、(c-2))では Case A より吹出し温度を約 3℃低くした 23.1℃としても室内は設計温度を満足する。一重窓の場合より外皮負荷の影響は小さいが、吹出し温度は室内設計温度より高くなっており室内発熱より外皮負荷がやや大きいことがわかる。

外皮面が D.V.ペリメータレスシステムで置換換気とした Case D(図 5(d-1)、(d-2))では、人体 2 体分の必要換気量(60m³/h)では、暖房負荷が完全に除去されず、置換換気の温度成層の擾乱となるため、給気量と同風量を D.V.ペリメータレスシステムにて排気を行った^{注 8)}。その結果、吹出し温度は Case A より約 6℃、Case C より約 2℃低い 21.0℃とすることができる。窓面からの外皮負荷を効率的に除去しコールドドラフトは発生しない。また、吹出し空気ショートサーキットは見られず、居住域は効率的に換気されていると考えられる。

Case A に対して Case C では外皮負荷が処理されているが、窓面下部近傍で処理しきれていない外皮負荷(暖房負荷)があるため、Case C の吹出し温度(23.1℃)は設計温度(22℃)よりやや高くなる。すなわち、室内発熱量より外皮負荷の方が大きい。一方、Case D では二重窓間の通過風量が多く外皮負荷は効率的に除去されている。そのため、Case D の吹出し温度(21℃)は設計温度(22℃)より低く冷房^{注 10)}となる。すなわち、室内発熱量より外皮負荷の方が小さい。このことから、D.V.ペリメータレスシステムを用いた置換換気方式では室内発熱によってペリメータレス化がより充分になされている。

(2) 空調消費エネルギー(表 7)

室内設定温度(22℃)を満たす結果となった Case A、Case C および Case D における空調消費エネルギーの算出を行った。算出した結果を表 7 に示す。なお、空調消費エネルギーは人体 2 体分の必要換気量を 60m³/h とし、外気温度 0℃の外気調和エネルギーを考慮した場合の暖房に要する加熱顕熱量として算出している。ここでは、加湿等のエネルギーは加味していない。

混合換気方式で外皮面を一重窓とした Case A に対して、エアフローウィンドウを設置し外皮負荷の処理を行う Case C および、D.V.ペリメータレスシステムの Case D では両ケースともに空調消費エネルギーは 2~4 割程度低減する。

ここで、外皮がエアフローウィンドウで混合換気である Case C と、外皮が D.V.ペリメータレスシステムで置換換気方式である Case D を比較すると、Case C の方が Case D より空調消費エネルギーは 2 割程低い。これは、D.V.ペリメータレスシステムとした Case D では窓間を通過する際に温度が低下した空気の一部を還気(RA)として利用することを想定したためであり、吹出し温度(SA)と還気温度(RA)の差が、Case C(1.7℃)より Case D(3.9℃)が大きくなることによる。

置換換気が適用された空間では、室内の発熱体上の熱上昇流によって温度成層が形成される。すなわち、D.V.ペリメータレスシステムは置換換気が適用された空間の室内発熱を利用する窓システムであり、本報で実験を行った環境試験室より奥行きがより大きな空間では、室内発熱量とともに必要換気量も多くなり、D.V.ペリメータレスシステムを通過した空気は全て排気とすることが

図 5 室内温度分布およびガラス表面熱画像 単位:[℃]

表 7 空調消費エネルギー	
単位:[W]	
ケース名	消費エネルギー
Case A (一重窓：混合換気)	1,015
Case C (エアフローウィンドウ：混合換気)	600
Case D (D.V.ペリメータレスシステム：置換換気)	783

可能である。

この場合、外気導入量は混合換気、置換換気に関わらず同風量であり、置換換気の方が吹出し温度が低温であること、還気温度(RA)は温度成層の形成により混合換気より高温となる。従って、

外皮面が D.V.ペリメータレスシステムで置換換気を行う場合、空調消費エネルギーは冷却熱量のみが必要となる。例えば、必要換気量(外気導入量)分の外気を還気と混合する外気冷房を採用した場合、空調消費エネルギーは低温な外気によって低減する。冷却熱量が不足する場合は、外気導入量を増加させる事で対応が可能である。これらの事から、D.V.ペリメータレスシステムで置換換気を行う場合、空調消費エネルギーはより低減できることが予想される。

5. 結論

置換換気を一般環境に適用する場合の問題点となる冬の外皮負荷の除去方法として D.V.ペリメータレスシステムを考え、実験により検討した。

執務室を想定した環境試験室で、初めに冬の外皮負荷の影響を確認し、コンベクタによる外皮負荷除去と D.V.ペリメータレスシステムによる外皮負荷除去を比較検討した。次に、外皮のほぼ全面がガラスで構成された窓面積率の高い執務室を想定した環境試験室にて、混合換気方式と置換換気方式、およびそれらの窓システムとして、エアフローウインドウ、D.V.ペリメータレスシステムを用いた場合の検討を行った。以下に結論を示す。

(1) D.V.ペリメータレスシステムを用いることで、コンベクタを設置する場合と同様に効率的に外皮負荷が除去できる。その結果、冬期においても D.V.ペリメータレスシステムを用いることで室内には温度成層が形成され、置換換気方式を適用することが可能である。

(2) コンベクタを利用した外皮負荷の処理はコンベクタを発熱させるためのエネルギー消費を伴うが、D.V.ペリメータレスシステムは発熱のためのエネルギー消費がなく、空調消費エネルギーが大幅に削減できると期待される。

(3) D.V.ペリメータレスシステムは、壁面全面がガラス面で構成された実験では、二重窓間の通過風量を人体 2 体分の必要換気量(60m³/h)と同風量とした場合、暖房負荷が完全に除去されず、置換換気の温度成層の擾乱となった。このため給気量と同風量を D.V.ペリメータレスシステムにて排気を行った。その結果、D.V.ペリメータレスシステムを用いた置換換気では設計温度より吹出し温度を低くすることができ、すなわち、室内設計温度から考えると冷房となり、ペリメータレスとすることが可能である。

次報以降では、CFD 解析による換気効率を用いた検討および夏期における D.V.ペリメータレスシステムの効果を検討する予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、東洋熱工業(株)技術研究所・荻田俊輔氏研究当時武蔵工業大学学生・廣瀬直美氏、榎本綾美氏、本橋比奈子氏、武蔵工業大学大学院生・三島広之氏の多大なるご支援を頂いた。ここに記して謝意を表します。

本論文に関する既発表論文

① 佐々木秀次、近藤靖史、吉野一、竹内仁哉:一般環境における置換換気に関する研究 (その2) 冬期暖房実験による二重窓・排気システムの検

討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ pp.795-796、2006.9

② 佐々木秀次、近藤靖史、吉野一、竹内仁哉:一般環境における置換換気に関する研究 (その3)数値流体解析(CFD)による冬期暖房時の検討、空気調和・衛生工学会学術講演論文集 pp.1045-1048・2006.9

③ 佐々木秀次、吉野一、竹内仁哉、三島広之、近藤靖史:一般環境における置換換気に関する研究 (その4)外皮負荷が大きい空間への二重窓・排気システムの適用、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ pp.1283-1284、2007.8

④ 竹内仁哉、吉野一、佐々木秀次、三島広之、近藤靖史:一般環境における置換換気に関する研究 (その5)冬期暖房時の置換換気方式と混合換気方式の実験、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 環境工学Ⅱ pp.1285-1286、2007.8

注

注 1) ここで言うエアフローウインドウとは二重窓で構成され、窓下部の流入口から室内の空気を二重窓間へ流入させ、二重窓間上部から排気を行う窓システムである。

注 2) 人体モデルおよび OA モデル筐体内には、攪拌のために 7.0W の DC ファンを 2 台内蔵しており、発熱量はこのファンの発熱(14W/人体モデル 1 体、1.5W/OA モデル 1 台)も含んだ値を示している。

注 3) コンベクタの定格発熱量は一台あたり 1,200W であり、チョップ制御で発熱量調整を行っている。コンベクタ自体は熱容量が大きく表面温度の変化は緩やかである。

注 4) 吹出し温度と風量は、予備実験を行い決定した。室内温度は文献 6 で定義されている居住域温度(FL+1,100)とした。

注 5) 温度変化が十分に小さく定常に達したと判断できた状態から 10 分間の平均値を図 3、図 5 に示す。

注 6) 図 3、図 5 に示す熱画像は、放射率(E)=0.9 に設定した温度である。ガラス表面には熱電対 9 点を設置し、熱画像が示す温度と大きな差異がないことを確認している。

注 7) 一般的に吸込み口は天井面に設置する、あるいは照明器具のスリット等を吸込み口として利用する事が考えられるが、本検討では床近傍に吸込み口を設ける。これは、床近傍に滞留する低温の空気を吸込むため、好条件の吸込み位置であり、その結果を用いて置換換気方式との比較検討を行う。

注 8) D.V.ペリメータレスシステムの場合、二重窓間の空気流量を人体 2 体分の必要換気量 60m³/h とした場合、外皮負荷が十分に処理できずコールドドラフトによって温度成層が形成されない結果となった。本実験では、OA 機器の発熱を装置の最大値である 135W/台と想定し二重窓間の流量は給気量と同風量とした。

注 9) 二重窓間下部には方向制御ダンパを内蔵した。エアフローウインドウ時は室内と二重窓間の空気の経路となり、D.V.ペリメータレスシステム時は二重窓間と排気ダクトが接続される。

注 10) 吹出し温度は、冬の外気温度と比較すると高温であり暖房となるが、ここでは、設計温度(目標温度)に対して低い吹出し温度となるので冷房と表現する。

参考文献

1) 近藤靖史、吉野一、田中智基:工場における Push-Pull 型局所換気装置の換気性状に関する実験および CFD 解析、Push-Pull 型局所換気装置の捕集効率と全般換気による妨害気流、空気調和・衛生工学会論文集 No.94 pp.17-24、2004.7

2) 例えば、三橋太、守屋寛之、高橋惇:誘引型置換換気空調に関する研究 その 1 給気に旋回を与えた場合の検討、空気調和・衛生工学会学術講演論文集 pp.729-732、2001.9

3) 東本文明、山中俊夫、甲谷寿史、花野弘之:冷却面を有する置換換気室内の温度・汚染濃度分布 熱ブルームを組み込んだブロックモデルの適用、日本建築学会環境系論文集 No571 pp.47-53、2003.9

4) 徐 鳴、山中俊夫、甲谷寿史、東本文明:置換換気される室内において冷却・加熱壁面が温度及び汚染物質濃度の鉛直分布に及ぼす影響、日本建築学会環境系論文集 No544 pp.17-23、2001.6

- 5) Håkon Skistad, Displacement Ventilation in Cold Climates, Proceedings of Ventilation2003 pp.665-674、2003.8
- 6) Håkon Skistad, Elisabeth Mundt, Peter V. Nielsen, Kim Hagström and Jorma Railio, Rehva Guidebook No.1: Displacement ventilation、2002
- 7) Peter Hansson and Hans Stymne、 A Technique to improve the Performance of Displacement Ventilation During Cold Climate Conditions、Proceedings of 17th AIVC Conference pp.521-528、1996.9
- 8) 例えば、松尾陽、井上隆、吉沼敏和、射場本忠彦、山本善保、堀川浩志：窓の熱的性能評価に関する研究：その 1・空気循環型窓の性能比較実験、日本建築学会学術講演梗概集 計画系 環境工学 pp.621-622、1983.9

(2008年5月7日原稿受理, 2008年10月24日採用決定)