

# インターロック式ペリメータ換気システムの開発

諏訪 好英 小関 由明 土屋 貴史  
原嶋 寛 矢部 周子

## Development of Interlock Ventilation System

Yoshihide Suwa Yoshiaki Ozeki Takashi Tsuchiya  
Hiroshi Harashima Chikako Yabe

### Abstract

A countermeasure to the heat in perimeter zones resulting from solar radiation is very important for achieving thermal comfort in indoor environments. In this research, an advanced facade system named IVS (Interlock Ventilation System) was developed. This system accumulates the heat from solar radiation in perimeter zones and expels this high-temperature air to outside the window. Characteristics of this system were studied by mock-up experiments and CFD analysis. Energy required operating the IVS was estimated and compared with that for an AFW (Airflow window system). Then it was found that energy required for operating the former was about 30% less than for the latter during summer. The optimum design of solar-blinds used in this system was also studied in terms of its reflectivity and air-tightness. These results show that the IVS is expected contribute to energy conservation.

### 概 要

ペリメータゾーンにおける日射の対策は、快適な屋内温熱環境を実現する上で重要である。従来の窓システムに比べ、省エネルギー性の高い新たなファサードシステムとして、インターロック式ペリメータ換気システム (IVS: Interlock Ventilation System) を開発した。従来から使用されているエアフローウインドウ等では、窓面から回収した熱を空調機で処理することが多く、そのためのエネルギーを必要とする。本システムは窓面で取得した熱を熱だまり用チャンバに滞留させ、インターロック式扉を開閉動作してこれを屋外に排出するもので、回収熱処理にエネルギーを必要としない。本システムを適用した場合を想定し、その運用に必要となるエネルギー量を試算した結果、エアフローウインドウに比べ約30%削減できることがわかった。また模型実験により本システムの熱排気性能を検討し、間欠的な排熱動作により十分な排熱性能を得られることを確認した。

## 1. はじめに

ペリメータゾーンにおける日射の対策は、快適な屋内温熱環境を実現する上で重要である。これまで、ペリメータゾーンの熱処理を考慮したファサードシステムとして、エアフローウインドウ (以下AFW) などさまざまな方式が応用されている<sup>1)~3)</sup>。しかし、これらのシステムでは、窓面から回収した熱を空調機で処理することが多く、そのためのエネルギーを必要とする。

筆者らは、従来の窓システムに比べ省エネルギー性の高い新たなファサードシステムとして、インターロック式ペリメータ換気システム (Interlock Ventilation System, 以下IVS) を開発した。本システムは窓面で取得した熱を熱だまり用チャンバに滞留させ、間欠的に扉を開放してこれを屋外に排出するもので、回収熱処理にエネルギーを必要としない。

本報では本システムの原理と概要について述べた後、模型実験による排熱効果の確認、気流シミュレーション (以下CFD) によるシステム動作性能の検討結果および省エネルギー性能の検討結果について報告する。

## 2. 基礎検討

### 2.1 システムの原理と概要

窓面からの日射影響を防止する方法として、ブラインドやロールスクリーンを使用する方法が一般的である。しかし室内側にブラインドを使用した場合には、ブラインドと窓ガラスとの間に高温領域が形成され、この高温空気がブラインドの間隙から室内に流入してインテリアゾーンに影響を与える (Fig.1 a)。

AFWではブラインドの内側にガラスを設け、二枚のガラス間に気流を形成して日射取得熱の室内側への流入を防止する (Fig.1 b)。AFWを採用するとペリメータゾーンの温熱環境は改善される。しかし、窓面積が増えると処理すべき風量も大きくなるため窓で取得した熱を空調機で処理する場合も多く、そのためのエネルギーが必要となる。そこで、ブラインドと窓ガラスとの間の高温空気を窓面付近でそのまま外部に排出することができれば、さらに省エネルギーなシステムを実現できると考えた。

しかし単純に開口から高温空気を排出するシステムでは、外部風が排熱用開口部に向かって吹いた場合に高温空気が排出できず、インテリアゾーンに吹き込んでしま

う可能性も考えられる。そこで、Fig.2のようにブラインドやロールスクリーンを取付けた窓面の上部に熱だまり用のチャンバを設け、チャンバ下部の開口から日射受熱により生じた高温空気をチャンバ内に滞留させる。チャンバ内が特定温度を超えた場合には、チャンバ下部の開口を閉じ、屋外側開口を開けてチャンバ内の空気を屋外に排出する。このように2カ所の開口部についての開閉動作をインターロック制御すると、外部風による屋内環境への影響を防止することができる。本システムではすべての空気交換が浮力によって行われるので、システム運用に必要なエネルギーは動作制御システムおよび2カ所の開口の開閉動作の駆動力のみでよく、既往の方法に比べ、省エネルギー性能に優れたシステムが期待できると考えた<sup>4)</sup>。

## 2.2 簡易実験による排熱効果の確認

提案したシステムでは、屋外に高温空気を排出する際に開口が1カ所しかないため、短時間に効果的な排熱ができるかどうか重要となる。そこで簡単なモックアップを製作し、排熱効果の確認実験を行った。Fig.3は実験装置およびこれを用いて測定したチャンバ内温度の時間変化である。

実験装置は前面に窓に見立てたガラス面を設け、内部にロールスクリーンを設置した木製600mm(W)×580mm(D)×1660mm(H)の箱である(幅方向(W)は連続的な構造として一部を切出したモデルとしている)。ガラス面とロールスクリーンとの距離は260mmとし、内部壁面はポリスチレンで断熱した。箱の上部には熱だまり用チャンバとして600mm(W)×580mm(D)×360mm(H)のスペースを設け、室内側、屋外側にそれぞれ400mm(W)×200mm(D)の開閉扉を設けた。実験は、ガラス面に500Wの赤外線ランプ9台で光を照射してチャンバ内を所定温度まで上昇させ、IVSの動作を模して2カ所の扉を開閉動作させて行った。

Fig.3 b)は、屋外温度とチャンバ内温度との差が10℃以上となったとき排熱動作させるものとして実験した結果



a) 実験装置  
Experimental Setup

である。受熱モード(温度上昇時)の温度変化は受熱量に依存するので、実験では加速的に大きな受熱量を与え

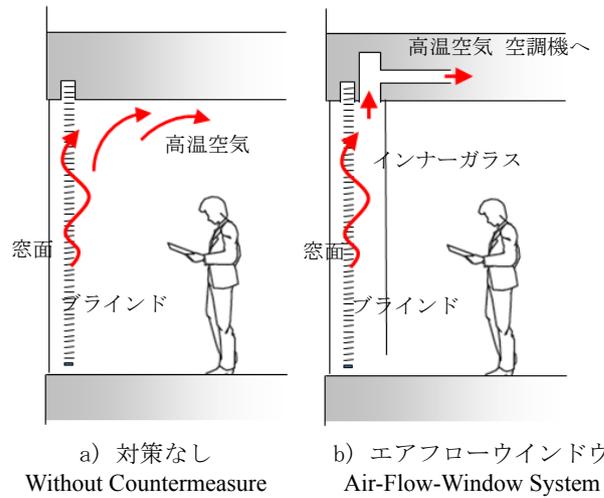


Fig.1 ブラインド-窓ガラス間からの高温空気の流れ  
Airflow of Hot Air from the Space between Window Shades and Window Glasses

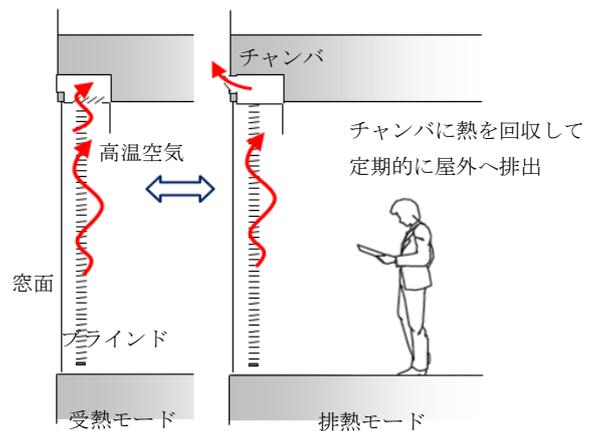


Fig.2 インターロック式ペリメータ換気システム  
IVS : Interlock Ventilation System

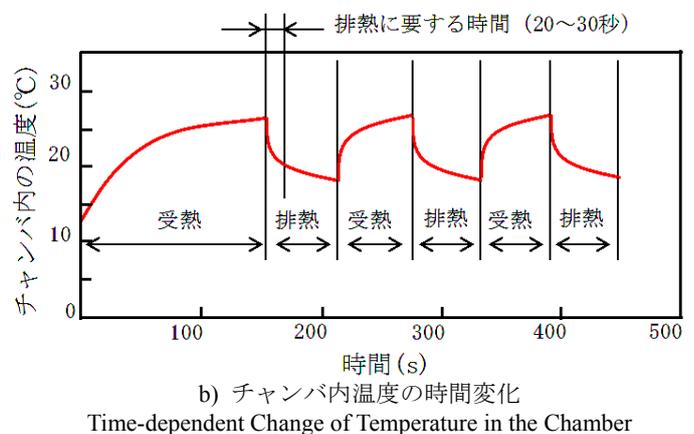


Fig.3 簡易実験による排熱効果の確認  
Performance Test by the Simplified Model

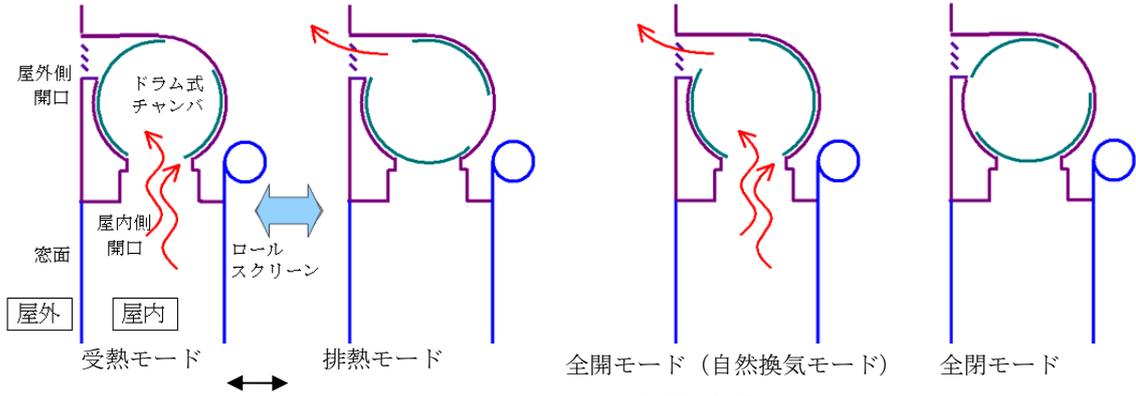


Fig.4 チャンバに回転ドラムを用いた構成

An Example which adopts a Revolving Drum for the Chamber

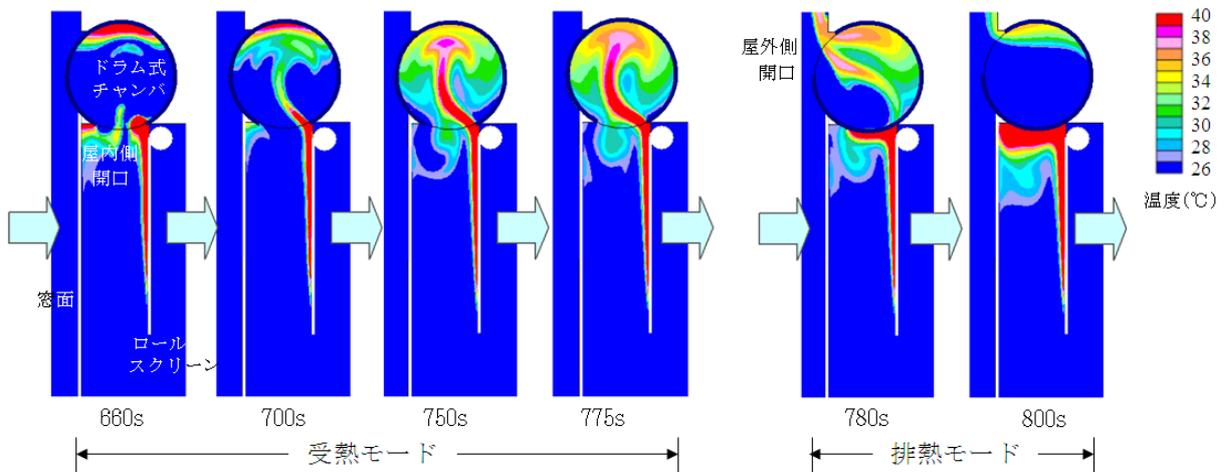


Fig.5 チャンバ内温度分布のCFDシミュレーション結果

Result of CFD Simulation for Temperature Distribution in the Chamber

ている。しかし排熱モードの特性は同寸法のチャンバおよび開口を持つシステムに固有のものとなることが予測される。屋外側無風時を想定して実験を行ったところ、屋外側開口を開放してから20～30秒でチャンバ内の高温空気はほぼ完全に外気と交換されることがわかった。有意な風がある場合はさらに短時間で空気交換できるものと予測できる。このことから、本システムではチャンバ内に高温空気が滞留する数分に一回程度、数十秒間の排熱モード動作を行う間欠的動作をすることで、十分な排熱性能を得られることが確認できた。

### 3. システムのバリエーション化

#### 3.1 チャンバに回転ドラムを用いた構成

IVSの基本形では、立方体形チャンバに2つの開閉扉を使用する構成としていた。熱だまり用チャンバはどのような形状でもよく、例えばチャンバとして2つの回転ドラムを同軸に用いた構成が考えられる。Fig.4のように内側ドラム、外側ドラムに開口を設け、内側ドラムの回転によりそれぞれの開口を一致させて開口を開閉する方式

とすると、回転角度により各開口の開閉操作を制御できる。Fig.4の例では、開口位置の工夫によりインターロック動作に加え、全開/全閉モードも実現できる。窓の下部を開放して全開モードを適用すると、自然換気も可能となる。またFig.4では日射遮熱物体をブラインドではなくロールスクリーンとした。ロールスクリーンは窓面と室内との間の気密性が得やすく、IVSのバリエーションとしてはブラインドよりも有利と考えられる。Fig.2の例では、ブラインド上部から室内への熱の流入を避けるため、ブラインドに加え、垂れ壁を設けたが、Fig.4ではロールスクリーンがこの役割を兼ねている。

#### 3.2 チャンバ内温度分布のCFDシミュレーション

回転ドラムを用いたシステムについて、チャンバ内温度分布の時間変化のCFDシミュレーションを行った。

結果をFig.5に示す。ここでは日射遮熱（受熱）物体としてロールスクリーンを想定したが、シミュレーション結果は、受熱モードにおいてロールスクリーンで受けた熱が高温空気となって回転ドラムチャンバ内に徐々に蓄積されていく状況や、排熱モードにおいてチャンバ内の

高温空気が迅速に屋外へ排気される状況をよく再現している。

システム運用に必要な消費エネルギーを最小限とするには、チャンバ内に可能な限り多くの熱を蓄積し、受熱モード・排熱モード間の切替え頻度を低く抑える必要がある。しかし、チャンバ容積に対してぎりぎりまで高温空気を蓄積すると、扉を開閉した際に高温空気が屋内に逆流する可能性も考えられ、チャンバ内への熱の蓄積量のある程度の範囲に制限する必要がある。また排熱モードに移行したとき、ロールスクリーンで受けた熱はチャンバ下部に一時蓄積されることとなるため、この高温空気を室内側に流入させないためには、ロールスクリーンの気密性も重要となる。CFDシミュレーションにより、窓条件に合わせたチャンバ容積の選定法、受熱モード・排熱モード間の切替えを行うための温度条件やモニタリング位置などについての検討が可能となった。

#### 4. システムの運用エネルギー

##### 4.1 エネルギー試算の概要

IVSの特徴は、日射によって暖められた窓近傍の空気をそのまま屋外に排出する点にある。そこでIVSの運用に必要なエネルギーを試算し、既存のAFWと比較した<sup>5)</sup>。

##### 4.1.1 システムのモデル化

IVS およびAFW の計算モデルをFig.6に示す。ここでは窓の取得熱量に対する処理のみを対象としており、外壁からの負荷、内部発熱等は考慮していない。またシステムの駆動に必要な電力は熱負荷に比べて小さく、また駆

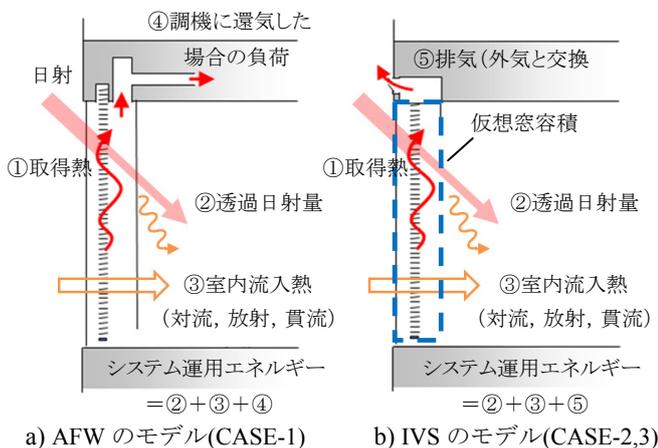


Fig.6 インターロック式ペリメータ換気システム  
IVS : Interlock Ventilation System

Table 1 試算したケース  
Estimated Cases

	対象としたシステム
CASE-1	AFW: エアフローウィンドウ
CASE-2	IVS: 仮想窓容積分の熱溜まりを常時外気と交換
CASE-3	IVS: 仮想窓容積分の熱溜まりと外気の比エンタルピーを比較し、有効な場合のみ外気と交換

動系の構成に依存することから、これも除外した。

ここではTable 1に示す3つのケースを想定した。すなわち、CASE-1ではAFWの場合を想定し、すべての時刻において仮想窓容積分の熱溜まりはすべて空調機で処理するものとした。またIVSについては、すべての時刻において仮想窓容積分の熱溜まりを屋外に捨てて外気と交換した場合をCASE-2、比エンタルピーから熱溜まりを屋外に捨てた方が有利な時間帯のみ外気と交換した場合をCASE-3とした。

AFWの場合(CASE-1)、ブラインド内蔵二重窓を想定し、ここに内外温度差および日射が入射した場合の取得熱量①と透過して室内に入射する成分②を求める。ブラインド内蔵二重窓で取得した熱①については、対流および放射熱伝達により室内に流入する成分③と、エアフロー排気として空調機で処理されるもの④に分離してそれぞれ計算し、②+③+④の合計をシステム運用エネルギーとして集計することとした。一方、IVSについては内ブラインド付き単層ガラス窓を想定し、透過日射による入射成分②および対流・放射熱伝達により流入する成分③を計算するが、外側ガラスおよびブラインドで取得した熱①については、空調機に戻さず屋外に排気するものとする(すなわち④=0)。ただし高温空気を屋外に排出する際に同量の外気と交換することとなる。高温排気と外気との交換はFig.6 b)に点線で示した領域で行われると考えられるので、便宜的にこの容積を仮想窓容積と定義し、同容積に相当する外気負荷⑤が生じるものとしてIVSの運用エネルギーを②+③+⑤の合計として集計した。

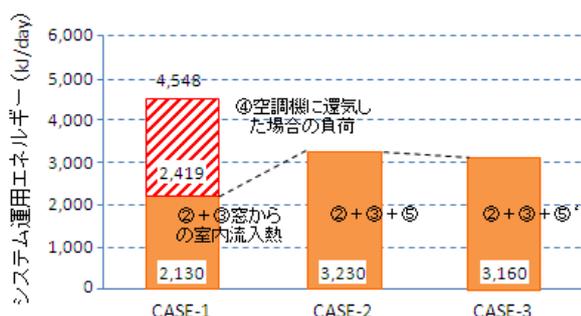
##### 4.1.2 設定条件

対象とした窓は1 m (W)×1.3 m (H)、外側：透明ガラス15mm、内側：透明ガラス8mm、空気層幅200mmで構成するものとした。窓方位は東面、南面、西面を対象とし、計算は東京の標準年拡張アメダス気象データから8月の空調時間帯(8~20時)について行った。

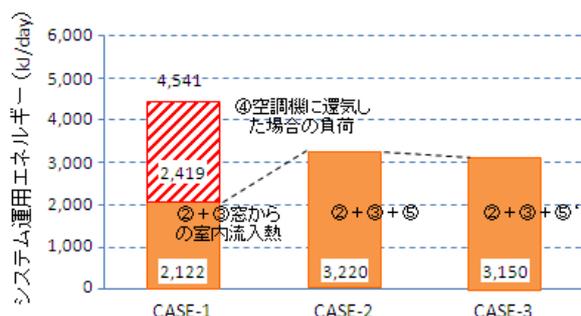
##### 4.2 各ケースのエネルギー試算結果

Fig.7は1日分の運用エネルギー試算結果をケースごとと比較した結果である。西面を例にとって比較すると、AFWを想定したCASE-1では透過日射および窓面からの熱取得(②+③)の合計が2651kJ/day、還気処理に必要な負荷(④)が2932kJ/dayであり、1日分の運用エネルギーは5583kJ/dayとなった。一方、IVSを想定したCASE-2およびCASE-3では窓面からの熱取得(②+③)がAFWに比べ約50%程度大きくなるものの、1日分の運用エネルギーはCASE-2で3973kJ/day、CASE-3で3912kJ/dayであり、IVSはAFWに比べ約30%のエネルギー削減が可能であることがわかった。なお、CASE-2とCASE-3では運用エネルギーにほとんど差がなかった。これは熱溜まりを最小限の気積で効率よく換気できれば、外気負荷の増分は窓面からの熱取得に比べて僅かであることを示している。

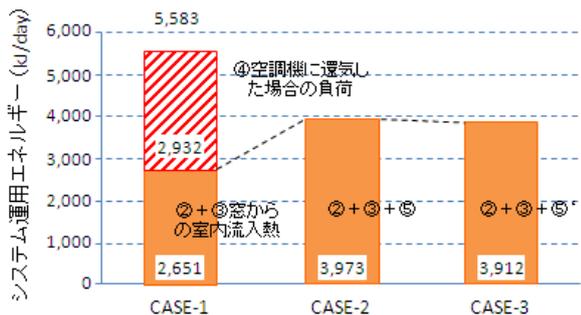
窓面方位の違いによる傾向としては、東面・南面の運用エネルギーはほぼ同等で、西面に比べ約20%少なくな



a) 東面



b) 南面



c) 西面



Fig.8 ブラインドの気密性による影響 (西面)  
Influence by the Air-tightness of Window Shades

Fig.7 1日分のシステム運用エネルギー試算結果  
Estimated Necessary Energy to Operate the System during  
a Day

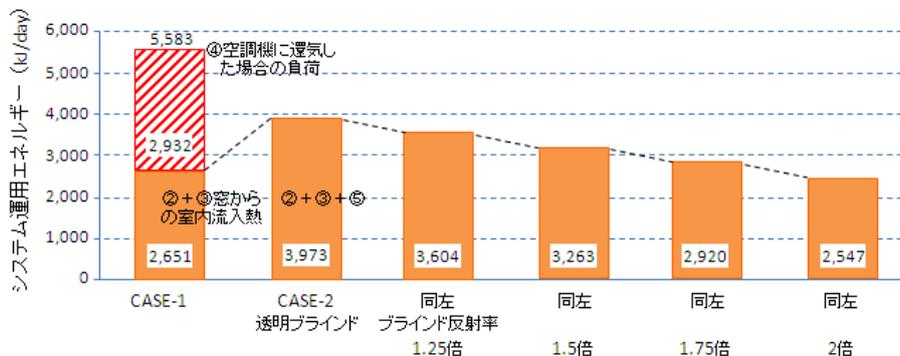


Fig.9 ブラインドの日射反射率による影響 (西面)  
Influence by the Solar Reflectance of Window Shades (at the Window facing West)

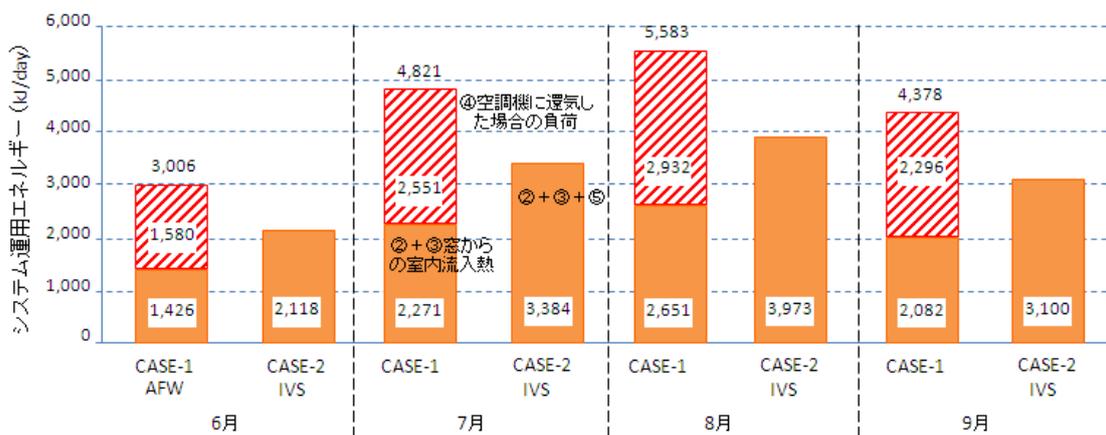


Fig.10 夏期の各月代表日におけるシステム運用エネルギーの推移 (西面)  
Necessary Energy to Operate the System during each Month in Summer (at the Window facing West)

っている。東面が西面に比べ少ない理由は、日の出時刻直後の日射の影響のない空調時間帯（8～20時）を計算対象としているためである。これら試算結果より、単純に熱溜まりを屋外に排出するCASE-2の方式で十分性能を発揮できる可能性があることがわかった。

#### 4.3 システムの設計条件に関する検討

##### 4.3.1 ブラインドの気密性による影響

IVSでは、窓面にブラインド内蔵二重窓のような高气密な構造を持たない。そこで室内側への熱溜まり漏洩に対して必要となる気密性能について検討した。想定した条件は4.1のCASE-1、CASE-2と同様である。Fig.8は西面のCASE-2において漏洩量を仮想窓容積に対して0～60%と想定した場合の比較である。先述したように、IVSは窓面からの熱取得(②+③)がAFWに比べ大きい、空調機で処理する熱量④が削減できる点が有利となる。漏洩を許容した場合にはこの削減率が減少し、漏洩量が50%以上ではAFWとIVSの運用エネルギーが逆転した。試算結果から、本システムの優位性を確保するには漏洩量を約50%以内とする必要があると判断した。IVSは熱対流による空気交換を基本としているので、熱溜まりの高温空気を室内に逃がさない設計を行うことでIVSの性能向上が可能と考えられる。

##### 4.3.2 ブラインドの日射反射率による影響

IVSでは内側ガラスが存在しないので、AFWに比べ窓面からの熱取得(②+③)による影響が大きくなる。この影響は日射反射率の大きなブラインドを採用することで軽減可能と考えられる。Fig.9はブラインドの日射反射率を変更してIVSの運用エネルギーを試算した結果である。IVSでは還気処理に消費するエネルギーが必要ないので、ブラインドの日射反射率を向上するほど省エネルギー性能が向上することがわかる。

#### 4.4 夏期の各月におけるIVSの効果検証

##### 4.4.1 各月代表日の選定

夏期（6～9月）における各月代表日の西窓についてシステム運用エネルギーの比較を行った。代表日の選定については、標準年拡張アメダス気象データから各月の最高外気温度が出現する日を各月の代表日とした。その他の条件は4.1と同様である。

##### 4.4.2 夏期の各月におけるIVSの効果

夏期（6～9月）における各月代表日のシステム運用エネルギーをFig.10に示す。IVSを想定したCASE-2の運用エネルギーは、8月に比べ7月および9月は約15～20%、また6月は約50%少なかった。6月については代表日の

日射量が少なかったためと考えられる。いずれの月においてもIVS（CASE-2）の運用エネルギーはAFW（CASE-1）に比べ約30%少なく、夏期においてはIVSに一定の効果があることがわかった。

## 5. まとめ

ペリメータゾーンにおける効果的、かつ省エネルギー性に優れた熱処理の実現を目的として、インターロック式ペリメータ換気システム（IVS）を提案し、検討の結果、省エネ型窓システムとして応用可能なことがわかった。本報で得た知見を以下にまとめる。

- 1) 模型実験により本システムによる運用が十分可能なことを確認した。
- 2) 本システムのバリエーションとしてチャンバに回転ドラムを用いた構成を提案し、CFDシミュレーションにより運用時におけるチャンバ内温度分布の時間変化を明らかにした。
- 3) 夏期代表日の運用エネルギーを試算し、本システムの運用エネルギーはエアフローウインドウに比べ30%程度削減できる可能性のあることを確認した。
- 4) ブラインドの気密性、日射反射率について本システムの優位性を確保するための条件を得た。

今後は本システムの実用化を目指し、より効果的な運用方法や性能向上の可能性を検討していく予定である。

## 参考文献

- 1) 加藤利志：窓の性能(2) 窓の性能，空気調和・衛生工学，75(10)，pp.873～875 (2001)。
- 2) 佐々木邦治：窓の性能(3) エアフローウインドウ(空気流通窓)，空気調和・衛生工学，75(10)，pp.877～882 (2001)。
- 3) 笠原重剛，田中良彦，青山啓伸：エアフローウインドウの熱的性能に関する研究，日本建築学会環境系論文報告集，Vol.57，pp.675～676 (1982)。
- 4) 諏訪好英，土屋貴史，奥田章子，原嶋寛，小関由明，矢部周子：インターロック式ペリメータシステムの開発(その2)システムの原理と概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.959～960 (2013)。
- 5) 小関由明，諏訪好英，原嶋寛，土屋貴史，矢部周子：インターロック式ペリメータシステムの開発(その2)省エネルギー性の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.961～962 (2013)。