

NewHASPと換気回路網プログラムを用いたエアフロースクリーンモデル

相 賀 洋

Modeling of Airflow-Screen Facade Model using NewHASP and Ventilation Network Program

Hiroshi Ohga

Abstract

From an economic perspective, airflow-screen facades are expected to be adapted to green buildings. Therefore, there is a need for a practical thermal load simulation model that can evaluate and design various airflow-screen facade systems and can be used in mechanical designs. In this study, using the NewHASP and ventilation network program, a multi-space model of an entire airflow-screen facade system is proposed, which consists of a glazing, an air layer between the glazing and Venetian blinds, an airflow cavity, and a rolling screen. We clarified the effect of rolling screen air permeability on the thermal performance of airflow screens.

概 要

経済性と建物熱負荷低減の観点から、エアフロースクリーンの環境建築への適用が期待されている。そのためには多様なエアフロースクリーンを評価・設計でき、設備設計者が利用可能な実用的熱負荷シミュレーションモデルが必要となる。本論文では、動的熱負荷計算プログラムNewHASPと換気回路網プログラムを用いたモデルを提案し、熱性能に影響を与えるロールスクリーンの透気特性について明らかにする。さらに設計パラメータとして、ロールスクリーン幕材、ガラス種別、ブラインド制御方式、窓方位、排気ファン風量特性を取り上げ、これらについて最大熱負荷および年間熱負荷の感度解析を行う。

1. はじめに

地球温暖化は拡大し、加速し、深刻化しつつある。この温暖化を抑えた持続可能で安心な社会構築のため、CO₂削減が建築分野で強く求められている。建築ファサードについても、省エネルギー性能が求められており、Table 1に示すダブルスキンやエアフローウィンドウなどの高性能窓システムが検討される事例が多い。しかし、これらの高性能窓システムはガラスの枚数が増えるためコストがかかる。そこで経済的観点から、ガラスとブラインドおよびロールスクリーンからなるTable 2に示すエアフロースクリーンと呼ばれる空気流通窓（Airflow-screen-façade system, 以降AFS）が期待されている。そのためAFSの性能を明らかにでき、かつ設備設計の実務で利用されている空気調和・衛生工学会方式動的熱負荷プログラムNewHASPを用いたモデルが求められている。

AFSは、透気性のあるロールスクリーンを用いた場合、室内側への逆流が発生することが知られている。そのためロールスクリーンの透気による室内側逆流を考慮した熱性能評価および設計が重要となる。室内側逆流とは、夏にロールスクリーン窓側空気層の温度上昇で上昇気流が生じ、排気ファンで排気しきれずロールスクリーン上部の透気により室内側に流入する気流、冬にロールスクリーン窓側空気層の温度降下で下降気流が生じ、排気ファンで排気しきれずロールスクリーン下部の透気および下端スリットより室内側に流入する気流を意味する。

Table 1 高性能窓システム
High Performance Fenestration Systems

ダブルスキン	エアフローウィンドウ

Table 2 エアフロースクリーン
Air Flow Screen

エアフロースクリーン
<p>イメージ図</p> <p>*上下排気（ガラス高が大きい場合）</p>

郡・石野は、高性能窓システムに関する熱負荷計算のための窓性能値に関する提案¹⁾を行った。相賀は、実用的熱負荷シミュレーションのためのNewHASPと換気回路網プログラムを用いたダブルスキンの多数室モデル²⁾を構築した。平山らは、AFSに関する実験的研究³⁾において、AFSの透気特性、排熱特性、熱性能値、室内温度分布を実験において明らかにした。谷本らはAFSの数値計算モデル⁴⁾を作成し、実験値と比較した。上田はエアフローウィンドウの熱・通風特性値を実験、CFDで求め、熱換気回路網モデルとCFDモデルの比較⁵⁾を行った。これらAFSに関する実験研究および数値計算モデル、CFDモデル等については、室内側境界条件として実験条件もしくは設定条件を与えた場合の評価であり、AFSを有する居室の通風時および非通風時の挙動を含めた年間時刻別熱負荷特性に関する記述は少ない。

そこで、本論文では実用的な熱負荷シミュレーションによるAFSの解析を目的とし、設備設計実務において熱負荷計算に利用されているNewHASPをベースとして熱質点系モデルと換気回路網モデルを用いたシミュレーション技術⁶⁾によりAFSのモデルを構築した。AFSの設計パラメータとして、ロールスクリーン幕材、ガラス種別、ベネシャンブラインドスラット角制御方式、窓方位、排気ファン風量特性を取り上げ、これらについて最大熱負荷および年間熱負荷の感度解析を行う。さらに従来の熱負荷計算体系で適用できるAFS全体としての熱貫流率(以降、K値)および日射熱得率(以降、 η 値)算出専用の熱質点系モデルを構築し、換気回路網シミュレーションで得られる最大負荷発生時刻の各種風量を与えてK値、 η 値を求めた結果についても報告する。

2. シミュレーションモデル

AFSのシミュレーションモデルをFig. 1に示す。NewHASPと換気回路網プログラム(以降、CVNEC)を用いて、AFSのガラスとブラインドの間の中空層(以降、SPBS)、ブラインドとロールスクリーンの間の空気層(以降、SPAS)およびAFSに接する居室(以降、SPRM)の3室で構成されるAFSの多数室モデルを構築した。SPASから上部に排気する排気ファン風量を与え、ブラインドについては高さ方向に2等分し、ブラインド上部および下部とSPASとの循環流、ロールスクリーンについても高さ方向に2等分し、スクリーン上部および下部からSPRMへの透気風量、ロールスクリーン最下部の通風用スリット部の通過風量をCVNECで求める換気モデルを構築した。CVNECで求めたこれらの風量は、換気転写ファイルを通じてNewHASPのスペース間移動風量(以降、CFLW)と内部置換する。ガラス、ブラインド、ロールスクリーンについては、それぞれについて窓(以降、WNDW)と仮想壁体(以降、IWAL)に分離して入力する。WNDWについては日射熱取得のみ扱い、IWALで貫流熱取得を扱う。IWALは、ガラス用IWGL、ブラインド用IWBL、ロー

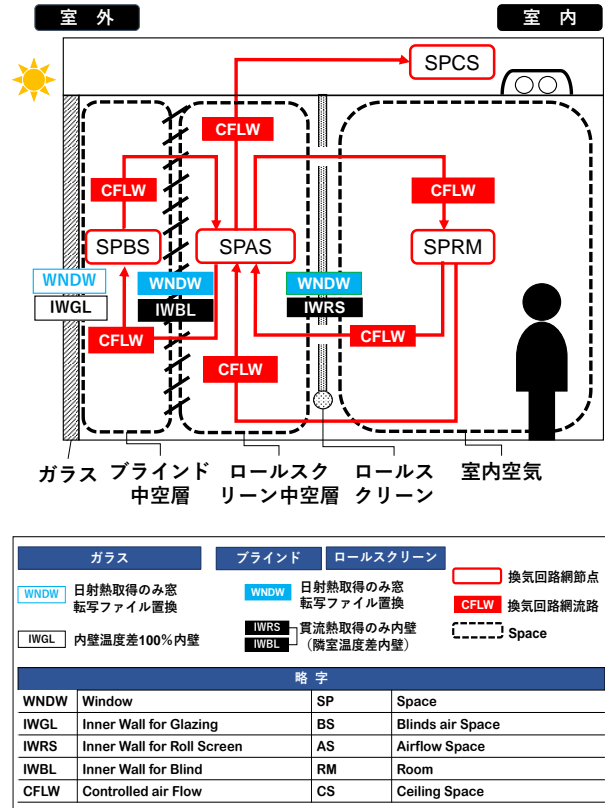


Fig. 1 AFSシミュレーションモデル
AFS Simulation Model

ルスクリン用IWRSとし、内壁温度差条件を変えた。熱質点系モデルで求めた日射熱取得を、窓転写ファイルを介してWNDWの窓透過日射熱取得と内部置換する。IWALの貫流熱取得は、NewHASPの多数室計算機能より求める。

2.1 AFS 換気回路網モデル

2.1.1 NewHASP での AFS 換気回路網モデル AFSのNewHASPでの換気回路網モデルをFig. 1に実線赤矢印で示す。NewHASPにおける「スペース」(SPBS, SPAS, SPRM, SPCS)が換気回路網のNODE(節点)であり、NewHASPにおける「スペース間空気移動」(CFLW)が換気回路網のFLOW(流路)となる。この関連付けにより、NewHASPの入力データである「スペース」と「スペース間空気移動」を用いれば、CVNECにおける換気回路網をNewHASPの入力データで定義することができる。そのためCVNECの換気回路網の入力データをNewHASPの入力データから自動作成することが可能となる。設備設計者は、CVNECの入力データを新たに作成する必要がなく、実務で利用しているNewHASPの入力知識だけで換気回路網とNewHASPを連携させることが可能である。ただし、AFS設計用のCVNEC用詳細なデータ(たとえばロールスクリーンの通気特性式、ロールスクリーン下端スリット高さなど)は、NewHASP側では入力できないので、AFS設計専用のCSV入力ファイルで与えた。

2.1.2 CVNEC での AFS 換気回路網モデル Fig. 2 に CVNEC での換気回路網モデルと設計パラメータを示す。Table 3 に流路条件を示す。ロールスクリーン①②の通気特性は、佐久間らの試験結果⁷⁾を参考にして3タイプの気密性を選んで Tight, Medium, Loose とした。ロールスクリーン下端のスリット③および天井給気口⑦の通気特性は流量係数として0.7を与えた。排気ファンについて、ブラインドとロールスクリーンとの間の中空層の上部から排気するとし排気風量④を与えた。ブラインドの通気特性は、鈴木らの試験結果⁸⁾から求めた流量係数とスラット角の関係²⁾を用いた。ブラインドの通気については、スペース SPBS と SPAS 間の循環流⑤⑥を与えた。CVNEC の換気計算は、室温を与え定常計算とした。換気量と室温は相互影響するため、NewHASP と CVNEC は換気転写ファイルにより年周期で反復計算を行う。

2.2 AFS日射熱取得モデル

AFSの日射熱取得ダイアグラムをFig. 3に、熱平衡式をTable 4に示す。外気温度 t_0 および室温 t_6 を0として、連立方程式を解き各節点の温度を求めた後、各部位の熱伝達率から各スペースの日射熱取得を求める。なおSPAS, SPBSの天井面、床面の影響については無視した。日射熱取得は、Excelマクロで1年分計算された後、NewHASPでWNDWの日射熱取得と内部置換する。

2.3 AFSモデル

各スペースの日射熱取得とスペース間空気移動量が内部置換されると、NewHASPの多数室伝熱計算機能を用いて各スペースの自然室温もしくは除去熱量が求まる。この過程で、「室温変動に対する除去熱量重み係数初項(以降、WF)」が用いられる。このシミュレーションでは、一つの窓に対して日射熱取得のみのWNDWと仮想壁体IWALの2つの部材を入力する。そのため、WFが窓と仮想壁体とで2重に計算されてしまうという問題が生じる。WFとしては仮想壁体のみとして計算するのが正しい。

Table 3 流路条件
Flow Conditions

流路番号	流量係数 C	べき指数 分母 n	計算式	
① ②	Loose	265	0.60	$Q = C(\Delta p)^{\frac{1}{n}}$
	Medium	94.6	1.39	
	Tight	13.2	1.25	
③	0.7	2.0	$Q = c \left(\frac{2}{\rho} \Delta p \right)^{\frac{1}{n}}$	
④	排気風量			
⑤ ⑥	0.01*~ 0.82*	2.0		
⑦	0.7	2.0		
* ブラインドスラット角と流量係数の関係より求める				Q:風量[m ³ /h・m ²] Δp:圧力差[Pa] ρ:空気密度[kg/m ³]

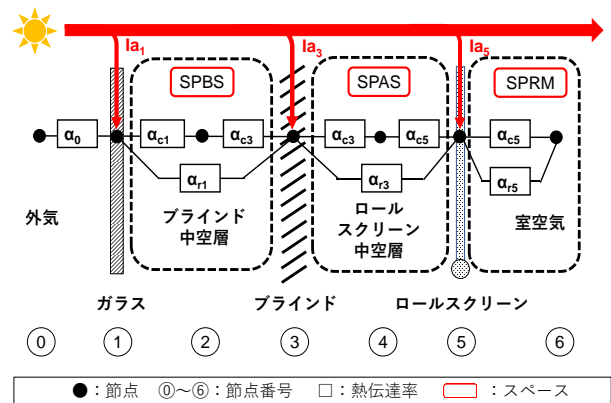
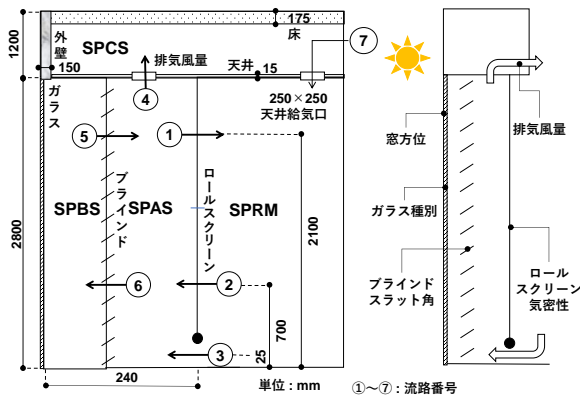


Fig. 3 AFS日射熱取得ダイアグラム
AFS Solar Heat Gain Diagram

Table 4 AFS日射熱取得算出用熱平衡式
Heat Balance Equations for Solar Heat Gain of AFS

$$\begin{aligned}
 &Ia_1 + \alpha_0 \left(t_0 - \frac{\varepsilon}{\alpha_0} l_l - t_1 \right) + \alpha_{c1}(t_2 - t_1) + \alpha_{r1}(t_3 - t_1) = 0 \quad \dots (1) \\
 &\alpha_{c1}(t_1 - t_2) + \alpha_{c3}(t_3 - t_2) = 0 \quad \dots (2) \\
 &Ia_3 + \alpha_{r1}(t_1 - t_3) + \alpha_{c3}(t_2 - t_3) + \alpha_{c3}(t_4 - t_3) + \alpha_{r3}(t_5 - t_3) = 0 \quad \dots (3) \\
 &\alpha_{c3}(t_3 - t_4) + \alpha_{c5}(t_5 - t_4) = 0 \quad \dots (4) \\
 &Ia_5 + \alpha_{r3}(t_3 - t_5) + \alpha_{c5}(t_4 - t_5) + (\alpha_{c5} + \alpha_{r5})(t_6 - t_5) = 0 \quad \dots (5)
 \end{aligned}$$

ここに、
 t_i : 節点 i の温度 [°C], α_0 : 外表面熱伝達率 [W/m²K], α_{ci} : 節点 i の対流熱伝達率 [W/m²K], α_{ri} : 節点 i の放射熱伝達率 [W/m²K], a_i : 節点 i の日射吸収率 [-], I : 直達日射量 [W/m²], l_l : 長波長放射量 [W/m²], ε : 外表面長波長放射率 [-]



a) 換気回路網・断面図 b) 設計パラメータ
 Fig. 2 AFS換気回路網モデル・設計パラメータ
 AFS Ventilation Network Model and Design Parameters

そこで窓と仮想壁体ありとして求めたWFから仮想壁体のみWFとの差 ΔWF をWF補正值として与える。窓は薄い壁体なのでWFの初項WF₀のみ補正することとして、 ΔWF_0 を求め、窓転写ファイルを介しWNDW側でWF補正值として与える。NewHASPにはHASP/ACSS出力ファイルにWFが格納されているので、2種類のWFを求め、差をとることにより ΔWF_0 を求めることが可能である。なおブラインドおよびロールスクリーンの熱性能値として、熱抵抗値⁷⁾を与えた。

2.4 AFS光学モデル

ブラインドについては、Radiance⁹⁾を用いてプロファイル角とブラインド透過率、反射率の関係¹⁰⁾を求め、関数近似して与えた。ロールスクリーンについては、Table 5に示す値を用いた。AFS光学モデルより各層の相互反射を考慮してTable 4およびTable 6の吸収率を求めた。

2.5 AFS熱性能値算出モデル

AFSの日射熱取得および貫流熱取得を求めるための専用単独モデルを構築した。モデルのダイアグラムおよび熱平衡式をFig. 4, Table 6に示す。Fig. 4の熱性能算出モデルは、Fig. 3の日射熱取得モデルに、ガラスの貫流熱取得を評価するためガラス外表面と内表面節点、最大負荷発生時の換気計算結果ファイルに格納されている各種風量および窓計算結果ファイルの格納データを組込んだモデルである。すなわちNewHASP多数室計算モデル側で処理していた機能を補填したモデルである。

Table 6の式(1)~式(6)を連立させて解くと各節点の温度が求まる。各節点の温度が求まると式(7)から窓熱取得が求まる。窓用の相当外気温度 t_0 および室温 t_7 を0とおいて、窓熱取得を求めると日射熱取得が求まる。日射熱取得を窓面入射日射量 I で除してAFSの日射熱取得率 η が求まる。同様に窓面入射日射量 I を0とおいて窓熱取得を求めると貫流熱取得が求まる。貫流熱取得を相当温度差で除してAFSの熱貫流率 K 値を求める。

この計算に必要なデータおよび各種関数をすべて内蔵したAFS熱性能値算出モデルExcelマクロを作成し、最大負荷発生時の窓・換気計算結果を与えてAFSの熱貫流率と日射熱取得率を求める。このAFS熱性能算出モデルは、ロールスクリーンを透して室内側に逆流してくるスクリーン透気風量、およびロールスクリーン下端スリットから室内側へ逆流してくる暖房期のコールドドラフトなどを評価できる。なお、換気回路網シミュレーションで求まるFig. 4に示す風量 V_{6A} , V_{6B} , V_{6C} の方向を判定しながら統合し、節点5及び節点7の風量 V_5 , V_7 を求めて熱平衡式の風量の値とした。

3. シミュレーション結果

3.1 パラメータおよび条件

Fig. 5にシミュレーションの対象とした建築モデルを

示す。7.2m角の事務室の窓(主方位1面)にフルハイトのAFSを設置し、年間熱負荷シミュレーションを行う。Table 7に熱負荷シミュレーション条件、Table 8にシミュレーションのパラメータと条件を示す。パラメータとしては、Fig. 2bに示したロールスクリーン気密性(Tight/Medium/Loose)、スラット角(水平0°/45°/75°/保護角)、ガラス種別(Single/Double)、窓方位(E/S/W/N)、排気ファン風量(500/580/650m³/h、窓幅1m当たり70/80/90m³/h・m、換気回数3.4/4.0/4.5回/h)とした。なおガラス種別のDoubleとは、ペアガラスを想定した。

Table 5 ロールスクリーン光学特性
Optical Properties of Roll Screen

ロールスクリーン 気密性	日射反射率 %	日射透過率 %
Loose	68.9	21.5
Medium	69.2	20.9
Tight	63.3	29.9

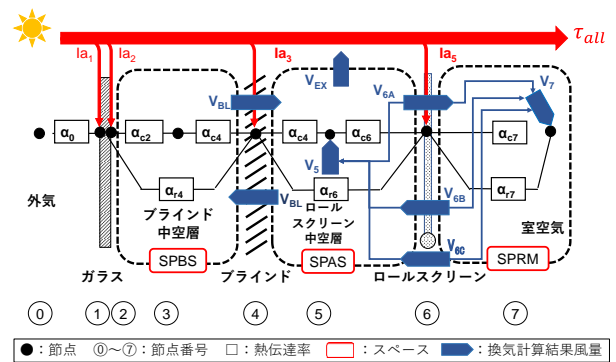


Fig. 4 AFS熱性能値ダイアグラム
AFS Thermal Properties Diagram

Table 6 AFS熱性能値算出用熱平衡式
AFS Equations for Thermal Properties Model

$\frac{1}{2}Ia_1 + \alpha_0 \left(t_0 - \frac{\varepsilon}{\alpha_0} I_L - t_1 \right) + \frac{\lambda}{d} (t_2 - t_1) = 0$ (1)
$\frac{1}{2}Ia_2 + \alpha_{C2}(t_3 - t_2) + \alpha_{r4}(t_4 - t_2) + \frac{\lambda}{d} (t_1 - t_2) = 0$ (2)
$\alpha_{c4}(t_2 - t_3) + \alpha_{c4}(t_3 - t_2) + C_p \rho V_{BL}(t_5 - t_3) = 0$ (3)
$Ia_4 + \alpha_{r4}(t_2 - t_4) + \alpha_{c4}(t_3 - t_4) + \alpha_{c4}(t_5 - t_4) + \alpha_{r6}(t_6 - t_4) = 0$ (4)
$\alpha_{c4}(t_4 - t_5) + \alpha_{c6}(t_6 - t_5) + C_p \rho V_{BL}(t_3 - t_5) + C_p \rho V_5(t_7 - t_5) = 0$ (5)
$Ia_6 + \alpha_{r6}(t_4 - t_6) + \alpha_{c6}(t_5 - t_6) + (\alpha_{c7} + \alpha_{r7})(t_7 - t_6) = 0$ (6)
$q_{HG} = (\alpha_{c7} + \alpha_{r7})(t_6 - t_7) + C_p \rho V_7(t_5 - t_7) + I\tau_{all}$ (7)

ここに、
 t_i : 節点 i の温度 [°C], α_0 : 外表面熱伝達率 [W/m²K], α_{ci} : 節点 i の対流熱伝達率 [W/m²K], α_{ri} : 節点 i の放射熱伝達率 [W/m²K], α_i : 節点 i の吸収率 [-],
 I : 直達日射量 [W/m²], I_L : 長波長放射量 [W/m²], ε : 外表面長波長放射率 [-],
 λ : 熱伝導率 [W/mK], d : 厚さ [m], V_{BL} : ブラインド循環風量 [l/s m²],
 V_i : 節点 i の風量 [l/s m²], C_p : 比熱 [J/kgK], ρ : 密度 [g/l], q_{HG} : 熱取得 [W/m²],
 τ_{all} : 透過率 [-]

3.2 標準条件でのシミュレーション結果

Table 8の標準条件でのシミュレーション結果をFig. 6に示す。冷暖房最大負荷発生日を含む夏冬各ピーク3日間(9/9土~9/11月及び12/2土~12/4月)の室温、各スペース温度、室顕熱負荷(除去熱量基準、冷房+, 暖房-で表示, 以下同じ), 各種風量, 長波のみ相当外気温度(以降, SAT), 窓面透過日射の時刻変動を示した。

3.2.1 室温・スペース温変化 夏ピーク期休日(9/9土~9/10日)のSPBS温度は室温(SPRM温度)より最大4℃, SPAS温度は室温(SPRM温度)より最大3℃程度高い。夏ピーク期AFS運転時(9/11月8~17時)のSPBS温度はSATより最大1.5℃高く, SPAS温度はSATと同程度である。このことより夏ピーク時AFSの効果は, 窓面透過日射量削減分と同程度と考えられる。冬ピーク期休日のSPBS温度はSAT温度差(SATと室温(SPRM温度)の温度差)の50%, またSPAS温度はSAT温度差の室温側30%程度で推移しているが, これは休日の窓面透過日射が少なく, SAT変化に追従したためである。冬ピーク期AFS運転時のSPBS温度はSPAS温度より0.5℃程度高いが, これは日射の影響と考えられる。

3.2.2 熱負荷変化 室顕熱負荷は, 夏ピーク40~70W/m², 冬ピーク-20~-65W/m²で推移している。土日休日明けのため立ち上がり時負荷が大きくなっている。

3.2.3 風量変化 排気ファンは, 空調時間帯に650 m³/hで運転し, 休日は停止する。夏ピーク期のブラインド循環流⑥(AS→BS)は, SPBS, SPAS温度が室温より高い場合, 上昇流循環となりそれ以外は下降流循環となっている。上昇流最大710m³/hとなり, ブラインド前面垂直断面風速換算で0.02m/s程度となる。夏ピーク期休日昼間(9/9土~9/10日)は, ロールスクリーン上部透過気流は室内側流入(最大257m³/h), 同下部透過気流は室内側へ流入(最大35m³/h), ロールスクリーン下端スリット通過気流は, SPAS側へ流入(最大270m³/h), 夜間は逆転した。夏ピーク期AFS運転時間帯は, ロールスクリーン上部透過気流は室内側流入(最大230m³/h), 同下部透過気流はSPAS側流入(最大230m³/h), ロールスクリーン下端スリット通過気流(最大600m³/h)は, SPAS側へ流入している。冬ピーク期ブラインド循環流は, 上昇流(最大700m³/h), 下降流(最大1420m³/h)となった。冬ピーク期休日昼間期間は, ロールスクリーン上部透過気流はSPAS側流入(最大430m³/h), 同下部透過気流はなし, ロールスクリーン下端スリット通過気流は, 室内側へ流入(最大430m³/h)している。冬ピーク期AFS運転時間帯は, ロールスクリーン上部透過気流はSPAS側流入(最大812m³/h), 同下部透過気流はSPAS側流入(最大260m³/h), ロールスクリーン下端スリット通過気流(最大400m³/h)は, 室内側へ流入している。すなわちAFS運転時においても, 夏ピーク時にはロールスクリーン上部から室内側への逆流, 冬ピーク時には下端スリットより室内側への逆流が生じている。フルタイトの窓については, ロールスクリーンの気密性を高めるべきである。

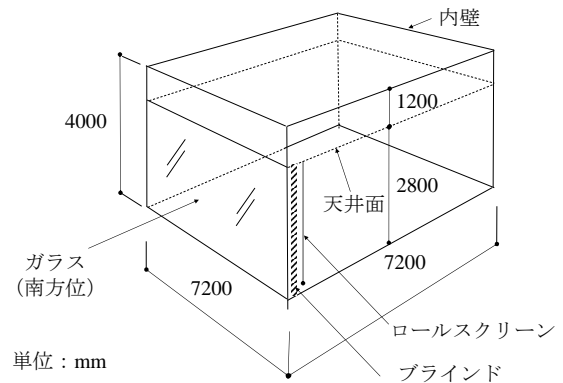


Fig. 5 建築モデル
Building Model

Table 7 熱負荷シミュレーション条件
Thermal Simulation Conditions

建築用途	事務所		
部材仕様	外壁	コンクリート	150 mm
		断熱材	20 mm
	内壁	コンクリート	120 mm
	床+天井	コンクリート	175 mm
		空気層(熱抵抗R)	0.086 m ² K/W
	天井板	15 mm	
内部発熱	人員密度	0.2人/m ²	
	照明密度	15W/m ²	
	機器発熱密度	30W/m ²	
空調条件	設定温度	夏期	26℃/50%
	湿度条件	冬期	22℃/40%
		中間期	24℃/50%
	空調時間	8:00-18:00	
	予熱時	8:00-9:00	
気象条件	東京 拡張アメダス標準年気象データ		

※断面図はFig.2a参照

Table 8 シミュレーションパラメータと条件
Simulation Parameters and Conditions

パラメータ	ガラス種別	窓方位	ブラインドスラット角°	排気風量 m ³ /h
気密性 *Medium				
標準条件	*Double	*S	*45°	*650
① スラット角	*	*	0/45/75/保護角	*
② ガラス種別	Single/Double	*	*	*
		*	*	*
③ 窓方位	*	E/S/W/N	*	*
④ 排気風量	*	*	*	650/580/500
気密性 Tight				
① スラット角	*	*	0/45/75/保護角	*
② ガラス種別	Single/Double	*	*	*
		*	*	*
③ 窓方位	*	E/S/W/N	*	*
④ 排気風量	*	*	*	650/580/500
気密性 Loose				
① スラット角	*	*	0/45/75/保護角	*
② ガラス種別	Single/Double	*	*	*
		*	*	*
③ 窓方位	*	E/S/W/N	*	*
④ 排気風量	*	*	*	650/580/500

*標準条件

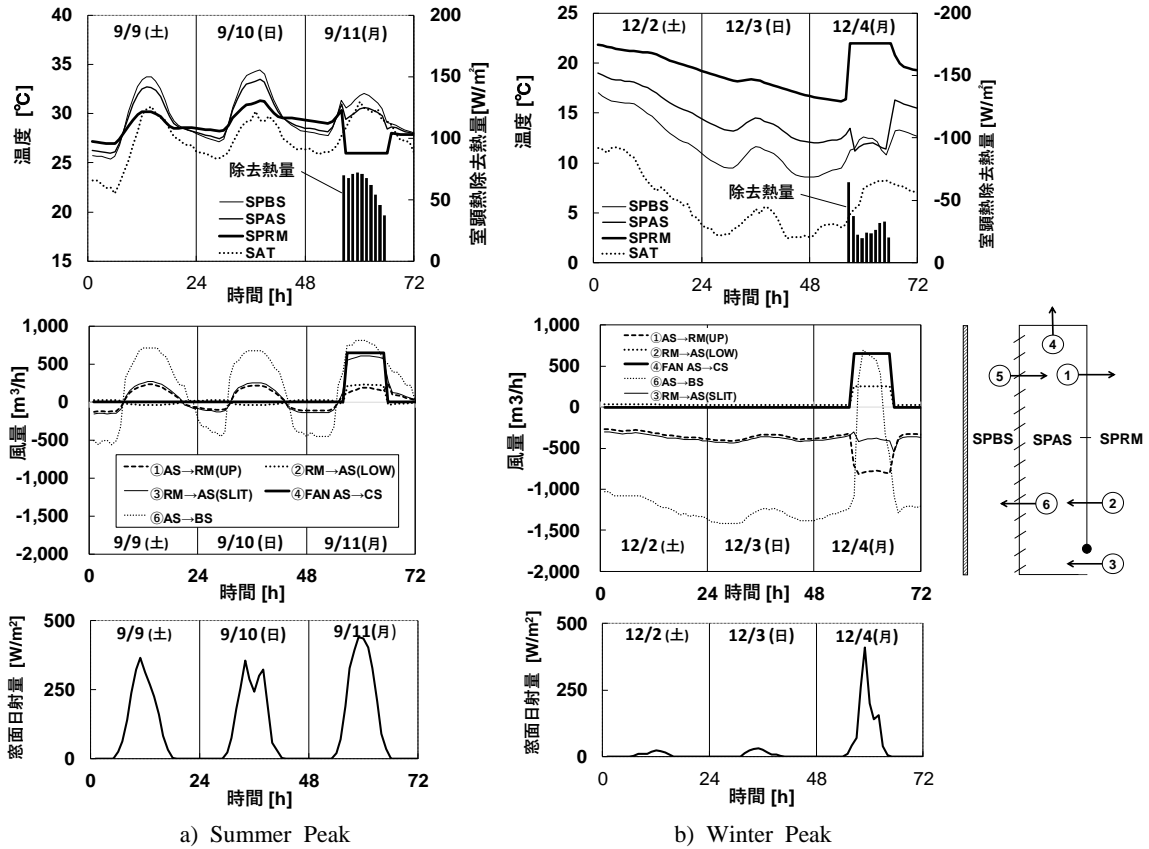
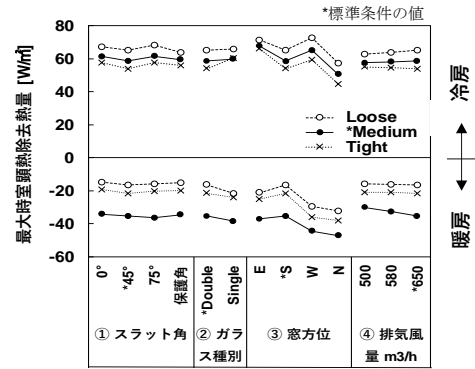


Fig. 6 標準条件シミュレーション結果
Simulation Results of Standard Condition

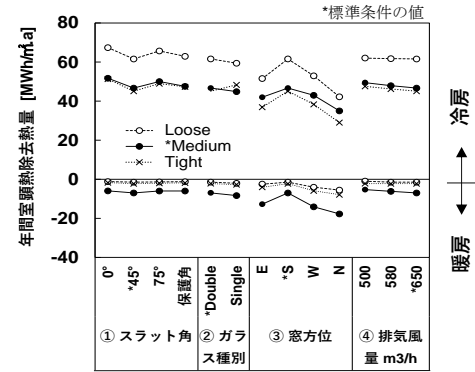
3.3 最大熱負荷・年間熱負荷の感度解析結果

最大熱負荷および年間熱負荷の感度解析結果をFig. 7に示す。ロールスクリーンの気密性それぞれについて、ブラインドスラット角、ガラス種別、窓方位、排気ファン風量（以降、排気風量）を変化させた場合の最大熱負荷・年間熱負荷の変化を示す。最大熱負荷は超過危険率2.5%（冷暖共第20位）とした。

3.3.1 冷房最大負荷特性 スラット角については、45°と保護角制御の冷房最大負荷が他に比べ小さい。ガラス種別については、ペアガラスをシングルガラスにすると冷房最大負荷は若干大きくなる。Tightの場合、中空層温度が高まるので、ガラス種別による差がLoose, Mediumに比べ大きい。窓方位については、W, E, S, Nの順に冷房最大負荷が小さくなる。排気風量について500, 580, 650 m³/h (70, 80, 90 m³/h・m) と増加させると、冷房最大負荷はLoose, Mediumでは微小増加, Tightでは微小減少となった。すなわち、ロールスクリーンの気密性がTightでない場合と排気風量を増やしても熱負荷削減効果は見られなかった。Loose, Mediumで冷房最大負荷が微小増加したのは、第20位の発生日時が異なるため生じた現象と考えられる。排気風量は、外気導入量（室奥行による）により決まるため、70~90 m³/h・mが妥当と考えるが、この範囲で熱負荷に与える影響は小さいと考えられる。ロールスクリーン気密性変化については、シングルガラ



a) 最大室頭熱除去熱量



b) 年間室頭熱除去熱量

Fig. 7 熱負荷感度解析結果
Results of Thermal Load from a Parametric Study

き、各パラメータ変化において冷房最大負荷はLoose, Medium, Tightの順に小さくなった。

3.3.2 暖房最大負荷特性 スラット角変化による暖房最大負荷への影響は小さい。ガラス種別について、ペアガラスをシングルガラスにすると暖房最大負荷は大きくなる。窓方位については、S, E, W, Nの順に暖房最大負荷は大きくなるが、これは日射の影響と考えられる。排気風量を増加させた場合、LooseとTightではほぼ変化がないが、Mediumは暖房最大負荷が増える傾向にある。ロールスクリーン気密性変化については、暖房最大負荷はLoose, Tight, Mediumの順に大きくなった。最大負荷時において、Tightの場合、ロールスクリーン上部および下部、下端スリットからの室内側への逆流はない。Mediumの場合、下端スリットからのみ室内側への逆流が生じる。そのため暖房最大負荷がTightより増える。Looseの場合、スクリーン上部で室内側から窓側への流入風量が大きくなり、スクリーン下部と下端スリットから室内側への逆流があるが、そのほとんどが温度の高い室内側気流の逆流のため暖房最大負荷が最も小さくなったと考えられる。

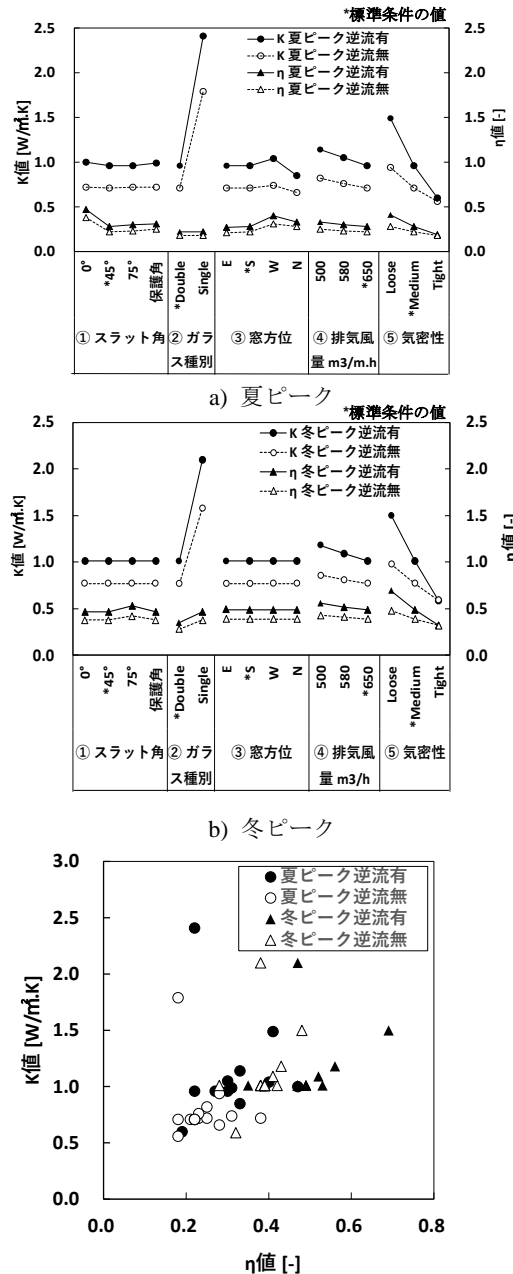
3.3.3 冷房年間負荷特性 スラット角変化およびガラス種別変化について冷房最大負荷と同様な変化がみられる。ただし、MediumとTightの差が小さい。窓方位については、S, W, E, Nの順に冷房年間負荷が小さくなり、またTightの冷房年間負荷が最も小さくなった。排気風量を増加させた場合、冷房年間負荷は減少した。ただし、MediumとTightの差が小さい。

3.3.4 暖房年間負荷特性 スラット角変化およびガラス種別変化による暖房年間負荷の影響は小さい。窓方位については、S, E, W, Nの順に暖房年間負荷が大きくなる。排気風量を変化させても、暖房年間負荷への影響は小さい。ロールスクリーン気密性変化については、TightとLooseの差が小さく暖房年間負荷も小さい。全体を通してMediumの暖房年間負荷が大きく、各種パラメータによる差も大きくなるがこれは暖房最大負荷と同じ傾向である。

3.4 熱性能値の感度解析結果

年間シミュレーション結果の最大負荷発生時（冷暖共第1位）の気象条件（ただし設計条件として、冬ピーク時は拡散日射のみとした）、シミュレーションで得られた各種風量を与えた場合のK値、η値の感度解析結果およびK値とη値の関係をFig. 8に示す。なお、SPASからSPRMへの逆流有無についても比較した。

3.4.1 夏ピーク時 スラット角変化によるK値への影響は小さいが、η値については、スラット角0°の時、他のスラット角条件の時の約1.4倍の値となった。ガラス種別変化によるK値の影響は大きく、ペアガラスをシングルガラスにすると、K値は2.5倍となる。η値への影響は小さい。窓方位について、K値はW, E, S, Nの順に小さくなった。K値は日射を考慮しない条件で求めている



c) K値とη値の関係
Fig. 8 熱性能値感度解析結果

U Factors(K) and SHGC(η) from a Parametric Study

ため、スラット角や方位の影響は受けないはずだが、シミュレーション結果で与えた風量の大きさによりK値に差異が生じたと考えられる。窓方位についてη値は、W, N, S, Eの順に小さくなった。また、排気風量が大きくなるにつれてK値、η値は小さくなった。ロールスクリーン気密性変化によるK値、η値の変化は、気密性が高くなるにつれてK値、η値は小さくなった。逆流に関しては、逆流有のK値は逆流無の値に比べ、約1.4倍になった。逆流有のη値は逆流無の値に比べ、約1.3倍になった。ただし、ロールスクリーン気密性を変化させると、気密性が高くなるにつれてK値、η値の逆流有無の差が小さくなる。Tightの場合、逆流がなく逆流有無の差がなくなる。

3.4.2 冬ピーク時 夏ピーク時と概ね同様な傾向であるが、拡散日射のみとしたため、スラット角および窓方位については、K値の変化が見られなかった。スラット角については、 η 値の変化は夏ピーク時に比べ小さい。窓方位については、 η 値の変化が見られなかった。

3.4.3 K値と η 値の関係 全感度解析を通してK値が0.5~2.5と5倍、 η 値0.2~0.7と3.5倍程度変化している。また η 値が増えるとK値も増える傾向がみられた。逆流については、逆流有のK値と η 値は逆流無の値に比べ大きくなるため、逆流を考慮した値で設計する必要がある。

4. まとめ

設備設計の実務に用いられている実用的熱負荷計算プログラムNewHASPと換気回路網プログラムを用いたエアフロースクリーン (AFS) モデルを構築し、AFSの設計パラメータとして、ロールスクリーン幕材の気密性 (Tight/Medium/Loose) ごとに、スラット角制御、ガラス種別、窓方位、排気ファン風量を取り上げ、最大熱負荷と年間熱負荷の感度解析を行った。さらにシミュレーションで得られた最大負荷発生時刻の各種風量を与えて従来の熱負荷計算体系におけるAFS全体としての熱貫流率および日射熱得率を求め感度解析を行った。

本論文の結論を以下に示す。

- (1) NewHASPの多数室計算におけるゾーン間移動風量および外気侵入風量を換気回路網プログラムの計算結果とNewHASPプログラム内部で置換する手法により、ロールスクリーン透気風量、同下端スリット通過風量およびブラインド循環風量を求め、年間時刻別熱負荷を求めるAFS多数室換気回路網モデルを構築した。
- (2) NewHASPの多数室計算におけるガラスとブラインド間空気層層、ブラインドとロールスクリーン間空気層層、居室の3室に関するAFS日射熱取得モデルを構築した。ガラス、ブラインドおよびロールスクリーンを窓と仮想壁体に分離して入力し、窓には日射熱取得のみ与え、伝熱は仮想壁体で解くAFS多数室伝熱モデルを構築した。その場合のWF補正法を示した。
- (3) 夏冬ピーク3日間 (土・日・月) のシミュレーション結果より、夏ピーク休日昼間および空調運転時間にロールスクリーン上部より室内側への透気流がみられ、冬ピーク休日および運転時にロールスクリーン下端スリットから室内側への逆流がみられた。これらの逆流の抑制がピーク熱負荷削減に有効と考えられる。
- (4) 年間シミュレーションによる最大負荷 (超過危険率2.5%) と年間負荷結果より、冷房最大負荷および冷房年間負荷はTight, Medium, Looseの順で大きくなり、暖房最大負荷および暖房年間負荷はLoose, Tight, Mediumの順に大きくなる。
- (5) 感度解析結果より、最大熱負荷、年間熱負荷に与える影響の大きいパラメータは、窓方位とロール

スクリーン気密性である。またロールスクリーンの気密性がMedium以上でないと排気風量の影響は小さい。

- (6) 熱貫流率に影響を与えるパラメータは、窓種別、ロールスクリーンの気密性である。気密性がTightの場合逆流は生じなかった。日射熱取得率に影響を与えるパラメータは、ロールスクリーンの気密性である。逆流に関しては、逆流有の熱貫流率は逆流無の値の約1.4倍、逆流有の日射熱取得率は逆流無の約1.3倍である。
- (7) 全感度解析を通し、熱貫流率が0.5~2.5と5倍、日射熱取得率0.2~0.7と3.5倍程度変化している。熱貫流率が大きくなると日射熱取得率も大きくなった。

本AFSモデルと感度解析結果を利用し、ロールスクリーンの気密性、光学特性を指定して幕材を製造できれば、個々の建物の冷暖房負荷特性に合わせた幕材の開発も可能である。また本AFSモデルは、NewHASP既往の入力支援システム、熱負荷集計表作等の出力支援システムがほぼ変更なしに使用でき、設備設計の実務に適用できる。

参考文献

- 1) 郡公子, 石野久彌: ダブルスキン, エアフローウィンドウの熱性能式の提案, 熱負荷計算のための窓性能値に関する研究, 第3報, 日本建築学会環境系論文集, 第77巻, 第682号, pp. 997-1002, 2012.12
- 2) 相賀洋: 実用的熱負荷シミュレーションのためのNewHASP と換気回路網プログラムを用いたダブルスキン多数室モデルの構築, 日本建築学会環境系論文集, 第85巻, 第775号, pp. 645-654, 2020.9
- 3) 平山, 山口, 金田: ロールスクリーンを用いた空気流通窓に関する実験的研究(その1), 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, pp. 433-436, 1993など
- 4) Tanimoto, J., Kimura, K.: Simulation study on an air flow window system with an integrated roll screen, Energy and Buildings 26, pp. 317-325, 1997
- 5) 上田博嗣: ロールスクリーンを併用した窓システムの計算法に関する研究 (第1報), 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, pp. 151-152, 2016
- 6) 相賀洋: NewHASPを核としたメタシミュレーション技術に関する研究 (第2報) 換気メタシミュレーションモデル, 空気調和・衛生工学会学術講演梗概集, pp. 105-108, 2016.9
- 7) 佐久間, 二宮, 永田, 萩原: 窓に付属する日射遮蔽物の断熱性能に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第82巻, 第731号, pp. 31-41, 2017.1
- 8) 鈴木宏和, 武田仁, 磯崎恭一郎: ブラインド制御, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 145-146, 2015.9
- 9) Radiance: <https://www.radiance-online.org/about/main.html>, (accessed 2020-3-4)
- 10) 大木, 岡本, 只木, 山本, 相賀, 吉澤: RadianceとNewHASPを用いた外部・内部日射遮蔽物の最適化, 日本建築学会環境系論文集, 第84巻, 第766号, pp. 1067-1076, 2019.12

