

## 技術センターSOU センター棟におけるダブルスキンカーテンウォールの熱特性の評価

### Evaluation of Thermal Properties of Double Skin Curtain walls in the Center building of the Technology Centre SOU

#### キーワード

ダブルスキン, Low-E 複層ガラス,  
上下温度分布, PMV, シミュレーション

森口 拓生\*, 鈴木 泰樹\*, 菊田 道宣\*

#### 研究概要

技術センターSOU センター棟に採用されたダブルスキンの熱特性把握のため、キャビティ内の上下温度分布の測定を行った。また、ダブルスキンが在室者へ及ぼす熱的な影響を把握するため、窓面温度の測定を行い他の窓仕様との比較をした。その結果、夏期においてダブルスキンでは想定とは異なるキャビティ内の高温化が確認された。在室者への影響としては、Low-E 複層ガラスの断熱効果によって夏期はあまり他の窓仕様と差異がなく、冬期においてはダブルスキンの保温効果によって高い窓面温度が維持され、熱環境的にも熱負荷的にも良好な環境であることが確認された。また、シミュレーション結果より、ダブルスキンの開口面積を拡張した場合にキャビティ内の高温化が抑制できる可能性が示唆された。

#### 1 はじめに

当社の技術センターSOU センター棟の南面の一部は、ダブルスキンカーテンウォール（以降、ダブルスキン）を採用している。ダブルスキンは高い断熱性と日射遮蔽性能を持つことから空調熱負荷の低減効果が大きく、省エネ上、非常に有効な方法とされている。一方、計画時においては、ダブルスキン内部のキャビティ内を通過する風量の予測が複雑であり、様々な計算法<sup>1,2)</sup>が提案されているが、実測値との検証が十分ではない。また、空調熱負荷の観点からではなく、在室者に及ぼす熱的な影響という点では、ダブルスキンと一般的な窓仕様において、どの程度の差異があるのかは明らかになっていない。センター棟の南面には、ダブルスキンの他に、一般的な庇と一重サッシ（以降、シングルスキン）を採用している箇所があり、これらの比較によってダブルスキンによる在室者への熱的な影響を容易に把握できると考えられる。

以上のことから、本報では、ダブルスキンのキャビティ内の上下温度分布の測定とサーモカメラによる窓面温度の測定結果、及びシミュレーションによる温度予測結果を報告する。

#### 2 センター棟南面の窓仕様

##### 2.1 窓仕様の種類

センター棟南面開口部は、図-1に示す通り西側から3ス



図-1 センター棟南面外観と部位毎の窓構成

パンのダブルスキン部、2スパンの吹き抜け部、3スパンのシングルスキン部の3種類の構成となっている。また、どの窓構成においても Low-E 複層ガラス（日射遮蔽型）を採用している。

\* 技術センター 建築研究部

## 2.2 ダブルスキン部

センター棟のダブルスキンは2~3Fの2層吹き抜け型であり、外ガラスはフロート板ガラス(FL12mm, 西端部のみFL15mm)、内ガラスはLow-E+Air+FL(8+12+8mm)の複層ガラスを採用している。また、内ガラスの外側100mmの位置には電動ブラインドがある。この電動ブラインドは太陽光自動追尾システムを採用しており、太陽高度、入射角、屋外照度によってスラット角度が自動制御されている。ダブルスキンのキャビティの幅は940mmで、上部と下部はパンチングメタルによって通気される想定となっている。上部のパンチングメタルの開口率は57.9%で、単純開口面積は4.86m<sup>2</sup>下部の開口率は40.2%で単純開口面積は1.47m<sup>2</sup>となっている。下部はパンチングメタルによって常時開放されているが、上部パンチングメタルのさらに上部には電動の開閉窓があり、夏期は窓開放によってキャビティ内を通気し、冬期は窓閉鎖によりキャビティ内に日射熱を蓄熱することで熱負荷低減効果を期待している。

## 2.3 吹抜け部

中央の階段部分は2~3階が吹き抜けとなっており、電動ロールスクリーンが屋外照度によって自動で昇降し、採光量を調整している。ガラスはLow-E+Air+FL(10+10+10mm)のLow-E複層ガラスを採用している。

## 2.4 シングルスキン部

東側のシングルスキン部は奥行き1.5mの底となるバルコニーがあり、バルコニーには日射遮蔽と緑化を目的とした植栽がある。ガラスはLow-E+Air+FL(8+12+8mm)を採用しており、室内側に設置された電動ブラインドは、ダブルスキン部と同様、スラット角度が自動制御されている。

## 3 ダブルスキンキャビティ内の上下温度の測定結果

### 3.1 測定概要

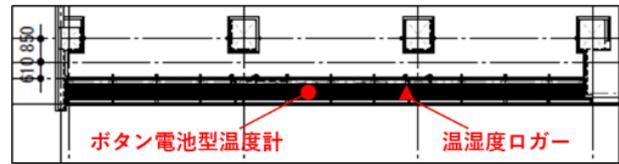
測定はダブルスキンの通気状況の推定と保温効果の把握のため、夏期と冬期に行った。夏期の実測期間は2023年7月25日から9月1日で、測定時は上部開閉窓を開放し、自然換気状態としている。冬期の実測期間は2024年1月9日から3月19日で、上部開閉窓は閉鎖している。

### 3.2 測定方法

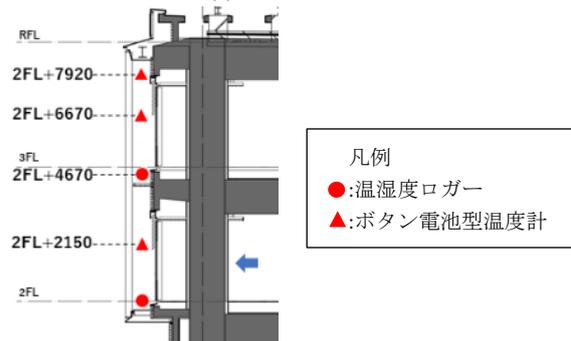
測定項目を表-1に示す。キャビティ内温度の測定は、ダブルスキンキャビティ内の中央部に5点高さ別に(2FL, 2FL+2150, 2FL+4670, 2FL+6670, 2FL+7920mm)ボタン電池型温度計と温湿度データロガーを設置して行った。図-2にキャビティ内温度測定位置を示す。ボタン電池型温度計と温湿度ロガーは日射による影響を避けるため、写真-1のようにセンサー部分にアルミホイルを使用した自作のラジエーションシールドを取り付けている。外気温と日射量は建物の屋上で計測しているデータを使用した。

表-1

外気気象条件	外気温度・湿度 水平面全天日射量
キャビティ内 空気温度	2FL(流入口付近) 2FL+2150, 2FL+4670, 2FL+6670, 2FL+7920



(1)ダブルスキン平面図



(2)ダブルスキン断面図

図-2 測定箇所



写真-1 キャビティ内温度測定状況

### 3.3 夏期測定結果

晴天日であった8月31日の1日の鉛直面日射量とキャビティ内の温度変化を図-3、時間ごとの温度変化を図-4に示す。鉛直面日射量は屋上で計測している水平面全天日射量を太陽位置と建物方位角に基づいて直散分離<sup>4,5)</sup>を行い推定している。

この日の外気温は最高33.5℃、最低24.4℃、平均28.4℃で鉛直面日射量は最大637W/m<sup>2</sup>であった。キャビティ内温度は、夜間は外気温と同程度となるが、昼間は日射量が多い時間ほど高くなり、キャビティ内温度がピークとなる11:00に最高温度50.7℃に達した。また、その時の外気温との温度差は19.0℃だった。

時間ごとの上下温度分布では、比較的日射量の少ない8:00, 14:00に上部の温度が上がり、温度成層が形成された。日射量の多い10:00, 12:00では2FL+2150, 2FL+6670の温度が最上部の計測点である2FL+7920よりも高くなった。

外気との温度差が大きく、中上部の温度が上昇している現状の上下温度分布は、通常のダブルスキンの熱特性とは異なり、キャビティ内の通気が十分になされていないことが考えられる。図-5にダブルスキン上部の断面図を示す。日射熱によって温められた空気は、ダブルスキン上部のパンチングメタルを通過し、上部開閉窓から排熱されるが、図面を確認すると開閉窓下部の角パイプと発泡ウレタン断熱材との間が狭隙部となっており75mm程度の隙間しかない。そのため通気量が限られ排熱が不十分となり、キャビティ内温度が高温となっていることが考えられる。

### 3.4 冬期測定結果

冬期晴天日であった1月17日の1日の鉛直面日射量とキャビティ内の温度変化を図-6、時間ごとの上下温度分布を図-7に示す。

この日の外気温は最高12.3℃、最低-2.7℃、平均4.2℃で、鉛直面日射量は10:40に928W/m<sup>2</sup>で最大となった。キャビティ内の空気温度は鉛直面日射量に対して遅れて変動し、日射量が最大となる10:40から1時間20分後の12:00に2FL+7920が最高温度63.3℃に達した。また、その時の外気温の温度差は55.0℃となった。

時間ごとの上下温度分布では、日射量が比較的少ない8:00と14:00では2FL+2150から上部はほとんど温度分布が変わらなかったが、10:00、12:00では上部ほど温度が高くなり、温度成層が形成されることが確認された。

冬期測定の結果では、上部開閉窓の閉鎖に加えて、太陽高度が低くなることによって鉛直面日射量が増加し、その結果夏期よりも外気温との温度差が大きくなる傾向がみられた。また、日没後の18:00でもキャビティ内は10.0~20.0

℃を保持しており、熱環境・熱負荷的にも良好な状態であることが確認できた。

## 4 窓面温度の測定と在室者への熱的影響の評価

### 4.1 測定概要

ダブルスキンの在室者への熱的影響をシングルスキンと比較するために、2F 室内側窓面温度をサーモカメラで経時的に撮影した。なお、シングルスキンの窓面温度とはガラス面と室内側ブラインドを合わせて撮影した表面温度のことである。

熱画像の撮影位置を図-8に示す。撮影期間は、夏期は2023年7月25日から9月5日、冬期は2024年1月5日から3月19日で、3F ダブルスキンについては冬期曇天時も測定を行った。なお、カメラの撮影は目線の高さ(1700mm)で行っている。

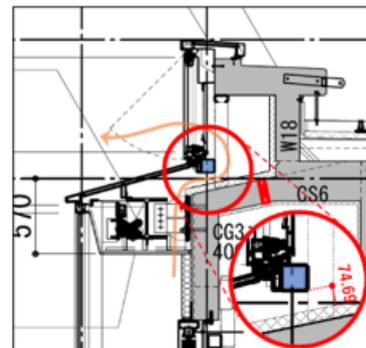


図-5 流出空気経路

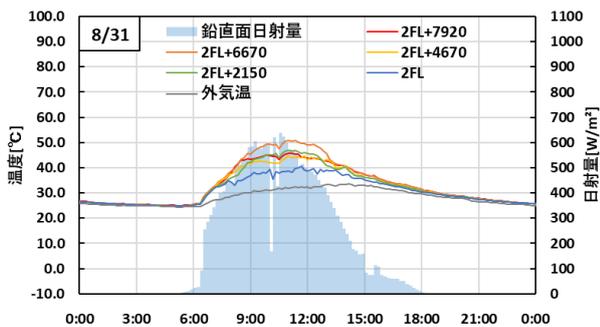


図-3 日射量と温度変化(夏期)

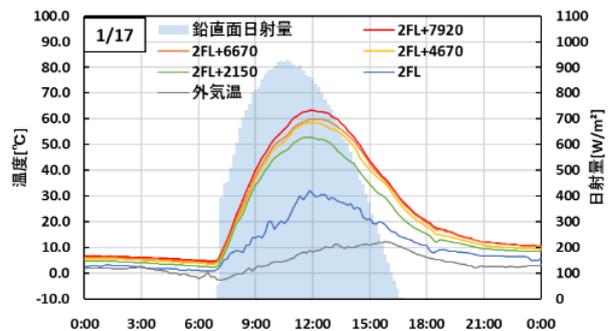


図-6 日射量と温度変化(冬期)

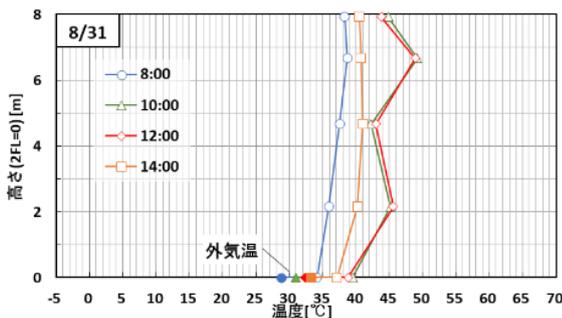


図-4 上下温度分布(夏期)

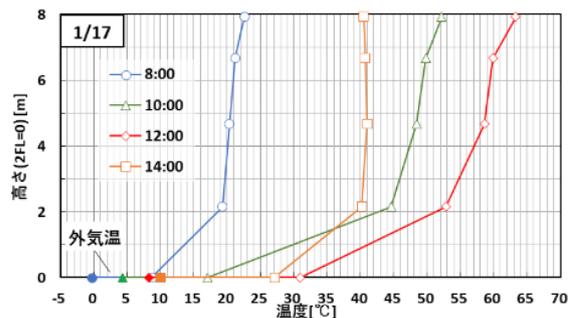


図-7 上下温度分布(冬期)

## 4.2 夏期測定結果

図-9に夏期晴天日である8月25日の窓面温度を示す。9:00にダブルスキンのキャビティ内温度は41.5°Cで、窓面温度は27.4°Cとなり、シングルスキンよりも1.2°C高かった。

11:30にはキャビティ内温度が45.7°Cまで上昇し、ダブルスキンの窓面温度は29.3°Cでシングルスキンより1.8°C高くなった。

15:00になると直達日射が当たらなくなるためダブルスキンのキャビティ内温度が下降し、それに伴い窓面温度も27.7°Cまで下がったが、シングルスキンよりも2.0°C高い状態だった。

夏期の窓面温度の比較では、シングルスキンは庇の効果により、直達日射が窓面下部付近にのみ当たっていたが、直達日射が当たる箇所と当たらない箇所では窓面温度差が4.0°C程度となった。一方で、ダブルスキンは庇がないため直達日射が窓面全体に当たる状態だったが、日射量が多い時間帯ではキャビティ内温度が高いにも関わらず窓面温度は最高30.0°C程度になっており、日射遮蔽効果の高さが明らかになった。しかし、キャビティ内の温度が高くなると貫流熱によって窓面温度が上昇することが確認された。

## 4.3 冬期測定結果

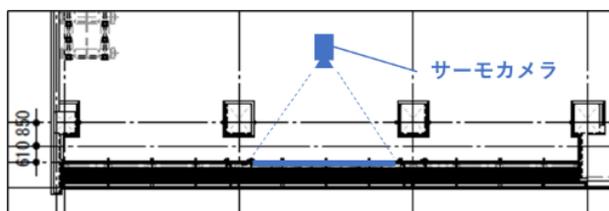
### (1)晴天日の結果

図-10に冬期晴天日である1月17日の窓面温度を示す。9:00のダブルスキンのキャビティ内温度は34.2°Cで、窓面温度は20.8°Cとなり、シングルスキンの日射が当たっている箇所よりも6.8°C低い。

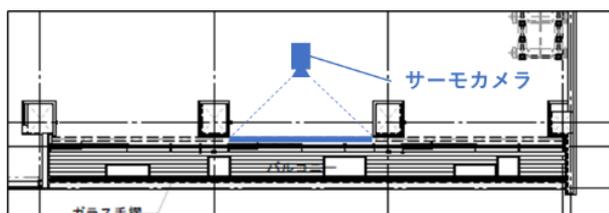
11:30にはキャビティ内温度が52.6°Cまで上昇し、窓面温度は下部から上部にかけて25.5~31.4°Cの分布があった。中部の温度をシングルスキンと比較すると3.2°C程度低い状態だった。

15:00になるとキャビティ内温度は34.4°Cまで低下し、窓面温度も26.3°Cまで下がったが、シングルスキンよりも1.8°C程度高い状態だった。

晴天日の結果では、夏期よりも太陽高度が低くなるため、



(1)ダブルスキン測定位置



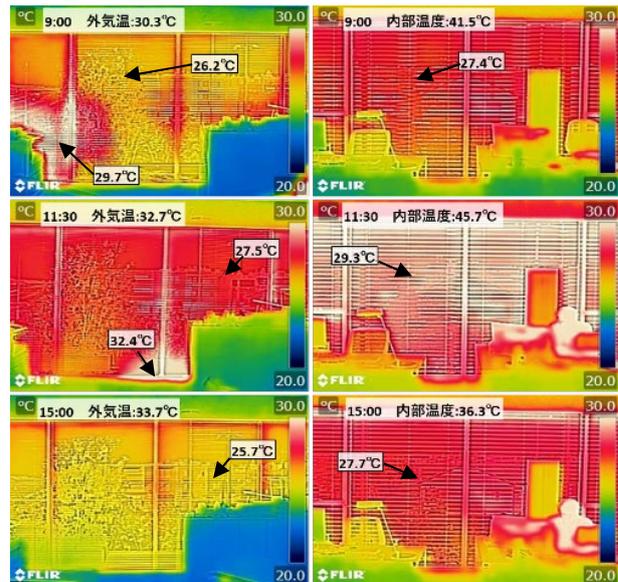
(2)シングルスキン測定位置

図-8 窓面温度測定位置

日射の影響を受ける室内側ブラインドによってシングルスキンの窓面温度が全体的に高くなる傾向がみられた。一方で、ダブルスキンはキャビティからの貫流熱によって窓面温度が上昇するため、キャビティ内温度が上昇中の9:00ではシングルスキンの方が温度は高く、キャビティ内温度がピークに達する11:30にシングルスキンと同程度になる。そして、直達日射が当たらなくなる15:00になるとシングルスキンよりも高い窓面温度が保たれることが確認できた。

### (2)曇天日の結果

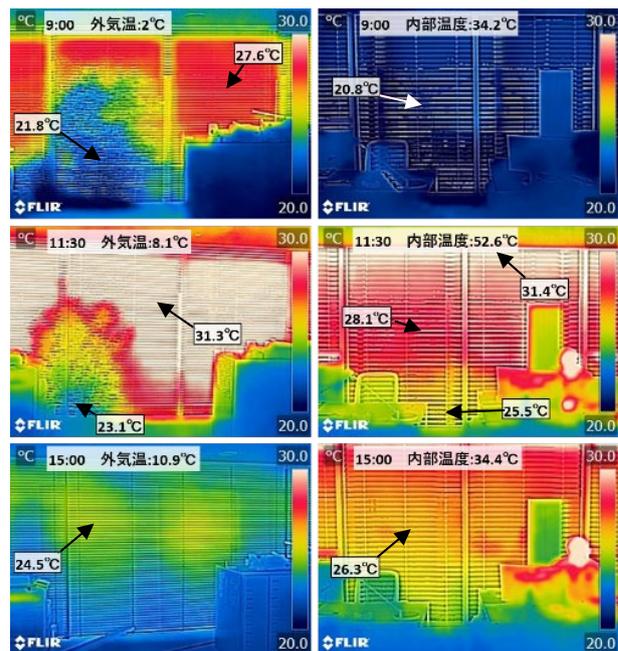
図-11に冬期曇天日3月6日の窓面温度を示す。この期間は3Fのダブルスキン窓面温度も測定を行っていたため、併



(1)シングルスキン

(2)ダブルスキン

図-9 夏期窓面温度(8月25日)



(1)シングルスキン

(2)ダブルスキン

図-10 冬期晴天日窓面温度(1月17日)

せて比較する。

9:00の2F ダブルスキンのキャビティ内温度は5.7℃で、窓面温度は16.2℃とシングルスキンと同程度の温度だった。3F のキャビティ内温度は2F よりも4.7℃高く、シングルスキンよりも窓面温度は1.5℃高かった。

11:30では2F のキャビティ内温度は4.7℃と9:00の温度から下降したが、窓面温度は17.0℃とシングルスキンより0.6℃高かった。3F のキャビティ内温度は2F より5.2℃高く、窓面温度はシングルスキンよりも2.2℃高い状態だった。

15:00では日射量の変動によってどちらの窓面も温度が上がり、ダブルスキンでは2F のキャビティ内温度が12.1℃まで上昇し、窓面温度も20.2℃とシングルスキンよりも0.5℃高い状態だった。3F のキャビティ内温度は2F よりも7.0℃まで高くなり、窓面温度はシングルスキンよりも2.0℃高い状態となった。

曇天日では、外気温が低く日射量が少ない場合、シングルスキンの窓面温度は9:00から変化しないが、ダブルスキンはキャビティ内に保温されることによって窓面温度が上昇し、特に熱の溜まりやすい3F とシングルスキンを比較すると2.5~3.0℃の温度差となることが確認された。

#### 4.4 PMV による比較

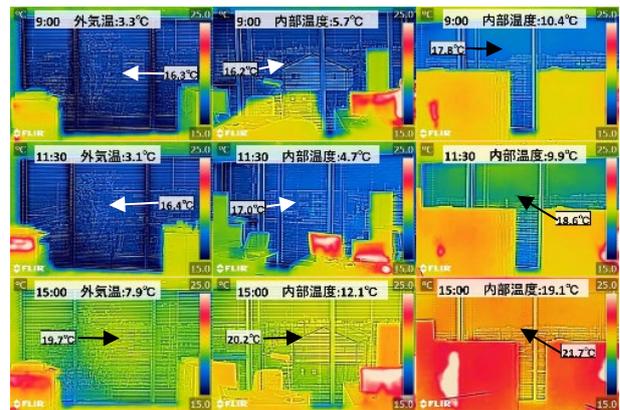
##### (1) PMV 計算条件

ダブルスキンとシングルスキンの窓構成が在室者へ与える熱的影響を確認するため、実測した窓面温度を用いてそれぞれPMV<sup>3)</sup>を計算し、比較を行った。

表-2にPMVの算出に用いた諸条件を示す。温度と湿度は設計条件から与えている。気流速については、センター棟の執務室の環境測定を行った際の結果から0.1m/sとしている。平均放射温度は、周囲表面温度に各面積を重み付けた面積加重平均周壁温度を採用した。周囲表面温度については、壁面は中央監視データの月平均値、天井面は躯体蓄熱時の天井表面の設定温度、床面は床染み出し空調を考慮し空調機の設定温度とした。窓面温度は夏期と冬期(曇天日のダブルスキン側は3F)の窓面平均温度の実測値を使用した。着衣量については、夏期は作業服、長袖長ズボンを着用した状態を想定し、冬期はその上にブルゾンを着用した状態を想定している。活動量は、デスクワークを想定して設定した。

##### (2) 計算結果

表-3にPMVの計算結果を示す。夏期は終日ダブルスキンの方が窓面温度は高い結果となったが、ダブルスキン側のPMVは窓面温度27.3~29.2℃で0.3となり、シングルスキン側と同じ値となった。冬期では、ダブルスキンはキャビティの保温効果によって窓面温度が17.6~21.5℃と高くなり、PMVは終日-0.1となった。一方、シングルスキンのPMVは9:00、11:30に-0.2となり、15:00に-0.1となった。



(1)シングルスキン (2)2F ダブルスキン (3)3F ダブルスキン

図-11 冬期曇天日窓面温度(3月6日)

表-2 PMV 計算諸条件

条件	夏期	冬期
温度	26[°C]	22[°C]
湿度	50[%]	40[%]
気流速	0.1[m/s]	
平均放射温度	面積加重平均周壁温度	
表面温度	天井	23[°C]
	壁	25.4[°C]
	床	26[°C]
	窓	実測値
着衣量	0.66[clo] (上着なし)	0.99[clo] (上着あり)
活動量	1.1[met]	

表-3 PMV 算出結果

		シングルスキン		ダブルスキン	
		窓面温度	PMV	窓面温度	PMV
夏期	9:00	26.9[°C]	0.3	27.3[°C]	0.3
	11:30	27.8[°C]	0.3	29.2[°C]	0.3
	15:00	25.8[°C]	0.3	27.6[°C]	0.3
冬期	9:00	15.9[°C]	-0.2	17.6[°C]	-0.1
	11:30	16.0[°C]	-0.2	18.4[°C]	-0.1
	15:00	19.1[°C]	-0.1	21.5[°C]	-0.1

## 5 シミュレーションによるキャビティ内温度予測

### 5.1 シミュレーション概要

#### (1) i 層の熱収支式

ダブルスキンのキャビティ内温度と換気性能を予測するため、ダブルスキンの熱収支式<sup>2)</sup>を解き、キャビティ内温度のシミュレーションを行った。図-12に計算モデルを示す。ダブルスキンを鉛直方向に*n*層に分割し、下部から1, 2, 3...*n*とする。通気量*V*[m<sup>3</sup>/s]を既知とした場合の第*i*層の熱収支は以下のように表すことができる。

外ガラス内表面温度の熱収支は、

$$I_{ag} + K_{g1}(\theta_o - t_{1i}) + \alpha_{cg1}(t_{2i} - t_{1i}) + \alpha_{rg1}(t_{3i} - t_{1i}) = 0 \quad \dots(1)$$

キャビティ内温度の熱収支は、

$$\alpha_{cg1}A_i(t_{1i} - t_{2i}) + C_p\rho V(t_{2(i-1)} - t_{2i}) + \alpha_{cb}A_i(t_{3i} - t_{2i}) = 0 \quad \dots(2)$$

ブラインド温度の熱収支は、

$$I_{ab} + \alpha_{cb}(t_{2i} - t_{3i}) + \alpha_{cb}(t_{4i} - t_{3i}) + \alpha_{rb}(t_{1i} - t_{3i}) + \alpha_{rb}(t_{5i} - t_{3i}) = 0 \quad \dots(3)$$

ブラインド・内ガラス間空気温度の熱収支は、

$$\alpha_{cb}(t_{3i} - t_{4i}) + \alpha_{cg2}(t_{5i} - t_{4i}) = 0 \quad \dots(4)$$

内ガラス外表面温度の熱収支は、

$$\alpha_{cg2}(t_{4i} - t_{5i}) + \alpha_{rb}(t_{3i} - t_{5i}) + K_{g2}(\theta_i - t_{5i}) = 0 \quad \dots(5)$$

- ここに、 $\theta_o, \theta_i$  : 外気温度[°C], 室内温度[°C]  
 $\alpha_{cg1-2}$  : 外ガラス内側, 内ガラス外側の対流熱伝達率[W/m²K]  
 $\alpha_{rg1-2}$  : 外ガラス内側, 内ガラス外側の放射熱伝達率[W/m²K]  
 $t_{1-5i}$  :  $i$ 層における, 外ガラス内側表面温度, キャビティ内温度, ブラインド温度, ブラインド内ガラス間温度, 内ガラス外側表面温度[°C]  
 $I_{ag}$  : 外ガラス面に吸収される日射量 [W/m²]  
 $I_{ab}$  : 外ガラスを透過し, ブラインドに吸収される日射量[W/m²]  
 $K_{g1-2}$  : 外ガラス, 内ガラスの熱貫流率 [W/m²K]  
 $C_p$  : 空気の容積比熱[J/m³K]  
 $\rho$  : 空気密度[kg/m³]  
 $V$  : ダブルスキン内の通気量[m³/s]

なお, 計算モデルは, 定常状態で, ブラインドのブラインドが閉じた状態を想定し, ブラインドを通した空気の流れはないものとして計算を行った。

## (2)通気量の計算方法

通気量  $V$ [m³/s]は温度差に伴う自然換気量であり, ダブルスキン内の空気温度が既知であれば計算できる。計算を簡易にするため, 空気温度を  $\theta_a$  で一定とし, 全体の高さを  $H = \sum_{i=1}^n h_i$ , 中性帯高さを入口側から  $h_n$  とすると, その風量は以下のように表すことができる。

流入側から

$$V_{in} = A_{in} \sqrt{\frac{2}{\rho_o}(\rho_o - \rho_a)h_n g} \quad \dots(6)$$

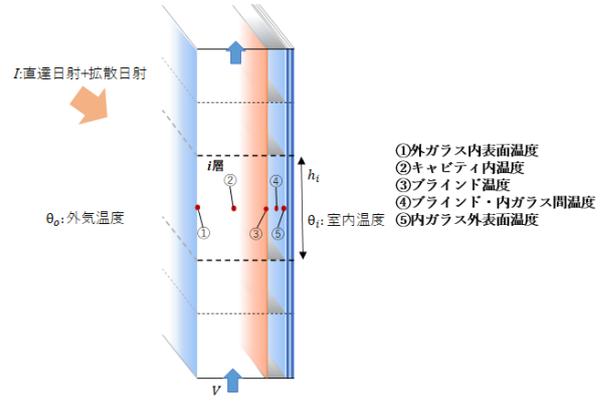


図-12 シミュレーションモデル

流出側から

$$V_{out} = A_{out} \sqrt{\frac{2}{\rho_o}(\rho_o - \rho_a)(H - h_n)g} \quad \dots(7)$$

流入量と流出量は等しいので, (6)(7)より次式を得る。

$$\frac{A_{in}^2}{\rho_o} h_n = \frac{A_{out}^2}{\rho_a} (H - h_n) \quad \dots(8)$$

$$\therefore h_n = \frac{\rho_o A_{out}^2}{\rho_a A_{in}^2 + \rho_o A_{out}^2} \quad \dots(9)$$

したがって, 通気量  $V$  は次式で計算できる。

$$V = A_{in} \sqrt{\frac{2(\rho_o - \rho_a)A_{out}^2}{\rho_a A_{in}^2 + \rho_o A_{out}^2} H g} \quad \dots(10)$$

- ここに、 $A_{in}, A_{out}$  : 流入口, 流出口の有効開口面積[m²]  
 $\rho_o, \rho_a$  : 外気, ダブルスキン内の空気密度 [kg/m³]  
 $g$  : 重力加速度(=9.81)[m/s²]

## (3)全体の計算式

各層の温度と通気量が未知数であり, 1~n層について式(1)~(5)及び(10)を連立させれば良いが, 式(10)は非線形であるので, 通気量  $V$ [m³/s]を仮定して(11)より各部の温度計算を行う。

$$\begin{bmatrix} -t_{1i}(\alpha_{cg1} + \alpha_{rg1} + K_{g1}) + t_{2i}(\alpha_{cg1}) + t_{3i}(\alpha_{rg1}) \\ t_{1i}(\alpha_{cg1}A_i) - t_{2i}(\alpha_{cg1}A_i + \alpha_{cb}A_i + C_p\rho V) + t_{3i}(\alpha_{cb}A_i) \\ t_{1i}(\alpha_{rb}) + t_{2i}(\alpha_{cb}) - t_{3i}(2\alpha_{cb} + 2\alpha_{rb}) + t_{4i}(\alpha_{cb}) + t_{5i}(\alpha_{rb}) \\ t_{3i}(\alpha_{cb}) - t_{4i}(\alpha_{cb} + \alpha_{cg2}) + t_{5i}(\alpha_{cg2}) \\ t_{3i}(\alpha_{rb}) + t_{4i}(\alpha_{cg2}) - t_{5i}(\alpha_{cg2} + \alpha_{rg2} + K_{g2}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} t_{1i} \\ t_{2i} \\ t_{3i} \\ t_{4i} \\ t_{5i} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -(I_{ag} + \theta_o) \\ -C_p\rho V(t_{2(i-1)}) \\ -I_{ab} \\ 0 \\ -K_{g2}(\theta_i) \end{Bmatrix} \quad \dots(11)$$

各層のキャビティ内温度から平均温度を求め、通気量の再計算を行う収束計算とする。通気量  $I$  [m³/s] の変化が十分に小さければ収束とみなす。

## 5.2 シミュレーション結果と実測値との比較

計算条件に使用した夏期晴天日であった2023年8月31日 11:00の外気条件<sup>4,6)</sup>と室内温度、及び各部位の物性値<sup>1,4-11)</sup>を表-4に、計算結果と実測値を図-13に示す。実測値に対して算出したキャビティ内温度は概ね再現できており、上部の温度差は0.5°C程度であった。ただし、実測値でみられた2FL+2150, 2FL+6670が高温となる特徴は再現できず、原因としては、キャビティ内が微風速で一様な上昇気流となっていなかったことが考えられる。

## 5.3 開口面積を変更した場合の計算結果

夏期の実測結果より、現状では開口面積の不足によって通気量が不足し、キャビティ内が高温となっている可能性が確認された。そのため、現状の開口面積を変更した場合にキャビティ内温度がどの程度になるか、2つのCaseについてシミュレーションを行った。Case-1は上部開口部の狭隙部を考慮せずパンチングメタルのみとした状態、Case-2についてはCase-1の状態に加え、さらに上部と下部のパンチングメタルのパネルを外した状態としている。

図-14に開口面積を変更した場合のシミュレーション結果を示す。Case-1は現状よりも上部の有効開口面積が6.6倍となり、風速は0.2m/sとなる。キャビティ内温度も最上部では4.1°C程度低下し、平均温度も2.8°C低下する。Case-2では現状より流入口の有効開口面積が4.4倍、流出口は8.1倍となり、風速は0.47m/sとなる。キャビティ内温度は最上部で9.0°C、平均温度は6.2°Cの低下となった。

シミュレーション結果は実測値との誤差はあるが、開口面積を変更した場合、Case-2では上下温度差が小さく、キャビティ内平均温度と外気温の差も2.9°Cとなり、キャビティ内温度の上昇を抑制できる可能性が確認された。

## 6 まとめ

技術センターSOU センター棟に採用されたダブルスキンカーテンウォールの熱特性の把握のため、キャビティ内の上下温度分布と窓面温度の測定、及びシミュレーションによる温度予測を行った。

上下温度分布測定では、夏期の結果通常ダブルスキンの熱特性とは異なるキャビティ内温度の高温化が確認され、通気量の不足が示唆された。一方冬期では、日没後もキャビティ内温度は10.0~20.0°Cを保ち、熱環境・熱負荷的にも良好な状態であることが確認できた。

ダブルスキンが在室者へ及ぼす熱的な影響を把握するため行った窓面温度の測定では、夏期にダブルスキンのキャビティ内温度が上昇しても、室内側窓面温度の上昇は小さく、在室者への影響という観点ではシングルスキンとの差異はなかった。しかし、冬期は日射量が少ない日であっ

表-4 計算条件及び物性値

物理量[単位]	数値
外気温	[°C] 31.7
室温	[°C] 27.3
鉛直面直達日射量	[W/m²] 425
鉛直面拡散日射量	[W/m²] 147
外ガラス熱貫流率	[W/m²K] 6.26
外ガラス対流熱伝達率	[W/m²K] 5
外ガラス放射熱伝達率	[W/m²K] 4.6
内ガラス熱貫流率	[W/m²K] 1.638
内ガラス対流熱伝達率	[W/m²K] 5
内ガラス放射熱伝達率	[W/m²K] 4.6
ブラインド対流熱伝達率	[W/m²K] 10
ブラインド放射熱伝達率	[W/m²K] 4.6
外ガラス垂直透過率	[-] 0.719
外ガラス垂直反射率	[-] 0.064
外ガラス垂直吸収率	[-] 0.217
ブラインド反射率	[-] 0.734
ブラインド吸収率	[-] 0.287
上部有効開口面積	[m²/m] 0.0470
下部有効開口面積	[m²/m] 0.0783

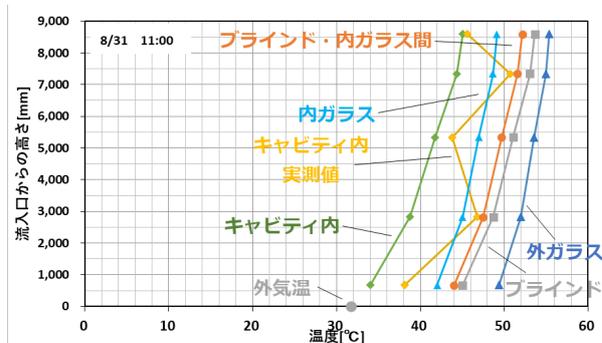


図-13 シミュレーション結果と実測値の比較

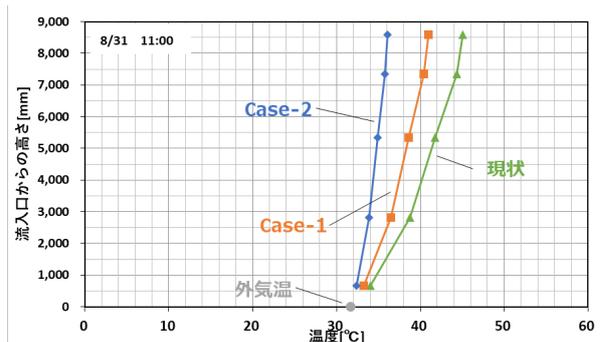


図-14 開口面積別のキャビティ内温度

てもダブルスキンの保温効果によって窓面温度が上昇し、シングルスキンよりも快適な室内環境であることが確認された。

シミュレーションによるキャビティ内の温度予測では、実測値中上部の高温化は再現できなかったものの、概ね温度分布を再現することができた。また、開口面積を拡大した場合にキャビティ内温度の上昇を大幅に抑制できる可能性が確認された。

## 参考文献

- 1) 石野久彌, 郡公子, 他: 日本建築学会編「見る・使う・学ぶ 環境建築」, オーム社, pp.82-85, 2011.5
- 2) 山本佳嗣, 庄司研: 実務におけるダブルスキン設計事例と環境工学的視点からみた設計上の留意点, 日本風工学会誌, 45 巻 2 号, pp.112-117, 2020
- 3) 空気調和・衛生工学会: 新版・快適な温熱環境のメカニズム, 丸善出版, pp.71-73, 2006.3.20
- 4) 赤坂裕: 年差を考慮した太陽位置の簡易計算, 拡張アメダス気象データ, 技術解説一般, pp.1-4, 2022.8
- 5) 赤坂裕: 日射直散分離と斜面日射の計算, 拡張アメダス気象データ, 技術解説一般, pp.1-5, 2020.5
- 6) 田中俊六, 武田仁, 岩田利枝, 土屋喬雄, 寺尾道仁, 秋元孝之: 最新 建築環境工学 [改訂 4 版], 井上書院, pp.188-212, 2016.2.20
- 7) 日本機械学会: 管路・ダクトの流体抵抗, pp.110-112, 1993
- 8) JIS A 2103:2014 窓及びドアの熱性能-日射熱取得率の計算付属書 G (参考) 斜入射に対する板ガラスの光学特性の計算方法, pp.29-31
- 9) AGC 株式会社: 板ガラス建材総合カタログ技術資料編, pp.3-2-1, 2023.3.1
- 10) 三協立山株式会社: ARM-S BOOK (高性能省エネサッシシステム アームス) 2023, WEB カタログ, pp.17, 2023.10
- 11) 立川ブラインド工業: ヨコ型ブラインド 総合版, デジタルカタログ, pp.99, 2024.7.1