

オフィスにおける窓システムの熱性能評価に関する研究

(その2) Low-E ペアガラス+ブラインドおよびエアフローウインドウの再現計算結果

オフィス 熱環境 窓システム
Low-E ペアガラス エアフローウインドウ 再現計算

正会員 ○西村 欣英^{*1} 同 武政 祐一^{*2}
同 加藤 正宏^{*3} 同 松尾 陽^{*4}
同 村田 泰孝^{*5}

1. はじめに

前報(その1)¹⁾では各種窓システムの実測結果を示した。本報ではその測定結果を用い、窓の熱性能予測モデル(以下窓モデル)による計算値と実測値の比較を行い、窓モデルの再現性を検討した。

2. 窓モデル概要

今回対象とした窓は Low-E ペアガラス+ブラインド (以下 Low-E ペア+BL), エアフローウインドウ(以下 AFW)である。文献 2), 3)を参照して構築した窓モデルを図 1 に、熱収支式を表 1 に、記号表を表 2 に示す。また、窓モデルにガラスの熱容量を組み込んだ効果を検討するため、ガラスの熱容量を考慮した場合(以下[熱容量あり])と考慮しない場合(以下[熱容量なし])の双方の検討を行った。

3. 計算結果と実測結果の比較

(1) Low-E ペアガラス+ブラインド(夏期)

再現計算の対象とした N ビル(2003 年 8 月 7 日, 南東面, ブラインド全閉)の外界気象条件を図 2 に示す。ペアガラス内側温度の比較(図 3)を見ると, [熱容量なし]では計算値が変動するが, [熱容量あり]では変動がなく実測値と近似した。また, [熱容量なし]でも気象条件が 1 時間の平均値では実測値に近似した。このため日射量の変動が大きい 10 分間隔の気象データを用いる検討では, ガラスの熱容量を考慮する必要があるが, 1 時間値の気象データを用いる場合は, 再現性に顕著な影響はないと考えられる。ブラインド温度の比較(図 4)では, [熱容量あり・なし]ともに実測値に近似した。ブラインドはガラスほど厚みがないため, 窓モデルでは熱容量を考慮しなくても大きな問題はないと考えられる。[熱容量なし]の 10 時の熱収支(図 5)を見ると, 外ガラスは吸収日射量に対して室内側への放熱量が小さく, 内ガラスは室外側への放熱量が小さいことから Low-E ペアガラスの断熱性が高いことがわかる。

(2) AFW(夏期)

再現計算の対象とした K ビル(2003 年 9 月 12 日, 南東面, ブラインド全閉)の外界気象条件を図 6 に示す。窓高さ 2610mm を上下に 28 分割し計算した。内側ガラス, 窓上排気温度の比較(図 7, 図 8)を見ると計算値は実測値を比較よく再現している。[熱容量あり]の方が[熱容量なし]よりも, ガラスの熱容量による時間遅れに追従する傾向があるが Low-E ペア+BL と比べて日射量が安定していた夏期 AFW では, [熱容量なし]でも実測値をよく再現した。

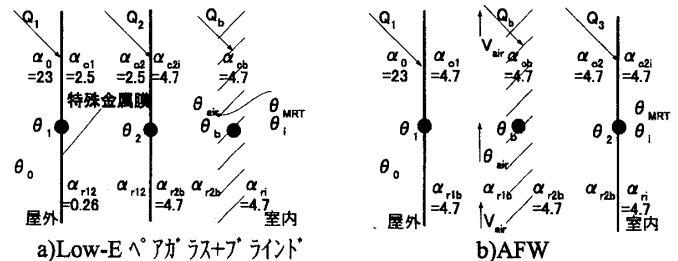


図 1 窓モデル

表 1 窓モデルの熱収支式

a) Low-E ペアガラス+ブラインド

Low-E ペアガラスの外側ガラスの熱収支式

$$Q_1 = \alpha_0(\theta_1 - \theta_0) + \{(\alpha_{c1} \cdot \alpha_{c2})/(\alpha_{c1} + \alpha_{c2})\}(\theta_1 - \theta_2) + \alpha_{r12}(\theta_1 - \theta_2) + (C_{pg}/3.6) \cdot \rho_g \cdot d_{g1}(\theta_1 - \theta_1)/\Delta t + J_{ev} \cdot \varepsilon_g$$

Low-E ペアガラスの内側ガラスの熱収支式

$$Q_2 = \{(\alpha_{c1} \cdot \alpha_{c2})/(\alpha_{c1} + \alpha_{c2})\}(\theta_2 - \theta_1) + \alpha_{c2i}(\theta_2 - \theta_{air}) + \alpha_{r12}(\theta_2 - \theta_1) + \alpha_{r2b}(\theta_2 - \theta_b) + (C_{pg}/3.6) \cdot \rho_g \cdot d_{g2}(\theta_2 - \theta_2)/\Delta t$$

ブラインドの熱収支式

$$Q_b = 2k_b \cdot \alpha_{cb}(\theta_b - \theta_{ab}) + \alpha_{r2b}(\theta_b - \theta_2) + \alpha_{ri}(\theta_b - \theta_{MRT})$$

ブラインド通過空気熱収支式

$$(C_{pa}/3.6) \cdot \rho_a \cdot V_b(\theta_{air} - \theta_i) = 2k_b \cdot A_w \cdot \alpha_{cb}(\theta_b - \theta_{ab})$$

ここに, $V_b = 4 \cdot \alpha_{cb} \cdot A_w / \{C_{pa}/(3.6) \cdot \rho_a\}$

b) AFW (I ブロックに関する熱収支)

外側ガラスの熱収支式

$$Q_1 = \alpha_0(\theta_1(i) - \theta_0) + \alpha_{c1}\{\theta_1(i) - \theta_{air}(i)\} + \alpha_{r1b}\{\theta_1(i) - \theta_b(i)\} + (C_{pg}/3.6) \cdot \rho_g \cdot d_{g1}\{\theta_1(i) - \theta_1(i)\}/\Delta t + J_{ev} \cdot \varepsilon_g$$

ブラインドの熱収支式

$$Q_b = 2k_b \cdot \alpha_{cb}\{\theta_b(i) - \theta_{air}(i)\} + \alpha_{r1b}\{\theta_b(i) - \theta_1(i)\} + \alpha_{r2b}\{\theta_b(i) - \theta_2(i)\}$$

内側ガラスの熱収支式

$$Q_2 = \alpha_{c2}\{\theta_2(i) - \theta_{air}(i)\} + \alpha_{c2i}\{\theta_2(i) - \theta_i\} + \alpha_{r2b}\{\theta_2(i) - \theta_b(i)\} + \alpha_{ri}\{\theta_2(i) - \theta_{MRT}\} + (C_{pg}/3.6) \cdot \rho_g \cdot d_{g2}\{\theta_2(i) - \theta_2(i)\}/\Delta t$$

中空層温度の熱収支式

$$(C_{pa}/3.6) \cdot \rho_a \cdot V_{air}\{\theta_{air}(i) - \theta_{air}(i-1)\} = \alpha_{c1}\{\theta_1(i) - \theta_{air}(i)\} \cdot A_w(i) + \alpha_{c2}\{\theta_2(i) - \theta_{air}(i)\} \cdot A_w(i) + 2k_b \cdot \alpha_{cb}\{\theta_2(i) - \theta_{air}(i)\} \cdot A_w(i)$$

ただし, $V_{air}(i) = V_{air}(i-1)$, $\theta_{air}(0) = \theta_i$

表 2 記号表

添字 0: 外気, 添字 1: 外ガラス, 添字 2: 内ガラス, 添字 b: ブラインド, 添字 i: 室内, θ : 温度[°C], θ_{air} : ブラインド通過後の空気温度 (Low-E ペアガラス+ブラインド), 中空層温度(AFW)[°C], θ_{MRT} : 室内側平均放射温度[°C], $\theta_{ab} = (\theta_{air} + \theta_i)/2$ [°C], θ' : 時間間隔 1step 前の温度[°C], Δt : 時間間隔, I: 上下方向のブロック番号, Q : 吸収日射量[W/m²], α_0 : 外気側総合熱伝達率[W/(m²·K)], α_{cm} : m 層目の対流熱伝達率[W/(m²·K)], α_{cmi} : m 層目の室内側対流熱伝達率[W/(m²·K)], α_{cb} : ブラインド表面の対流熱伝達率[W/(m²·K)], α_{cmn} : m 層・n 層間の放射熱伝達率[W/(m²·K)], α_{ai} : 室内側の放射熱伝達率[W/(m²·K)], V_b : ブラインド通過風量[m³/h], V_{air} : (=排気風量)[m³/h], C_{pa} : 空気比熱[kJ/(kg·K)], ρ_a : 空気密度[kg/m³], C_{pg} : ガラス比熱[kJ/(kg·K)], ρ_g : ガラスの密度[kg/m³], A_w : ガラス面積[m²], d_g : ガラス厚[m], J_{ev} : 鉛直面実効放射量[W/m²], k_b : ブラインド片側表面積/ガラス面積[1.15], ε_g : ガラスの放射率[-]

※AFW の排気風量は夏期 114[m³/(h·m)], 冬期 151[m³/(h·m)]

※Low-E ペアガラス+ブラインドの窓上排気風量は 17[m³/(h·m)], ガラス間の α_c は熱貫流率をメーカー値に合わせ設定。

※Low-E ペアガラス+ブラインドの測定値は 10 分間隔, AFW は 5 分間隔(外界気象条件のみ 1 時間間隔)

※表 1 は[熱容量あり]の熱収支式, J_{ev} は Brunt の式により推定。

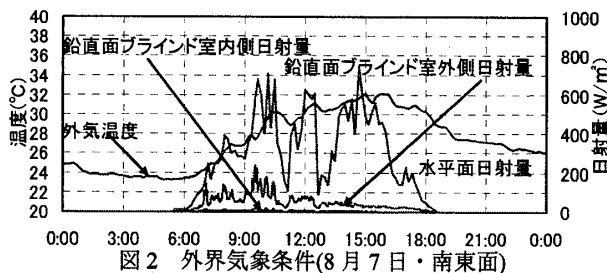


図2 外界気象条件(8月7日・南東面)

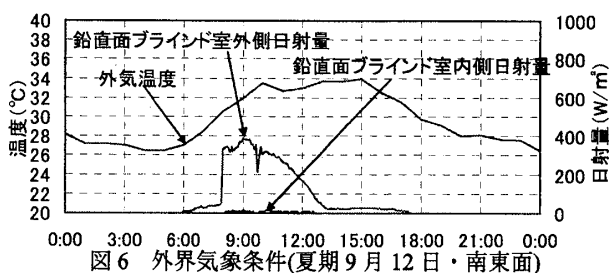


図6 外界気象条件(夏期9月12日・南東面)

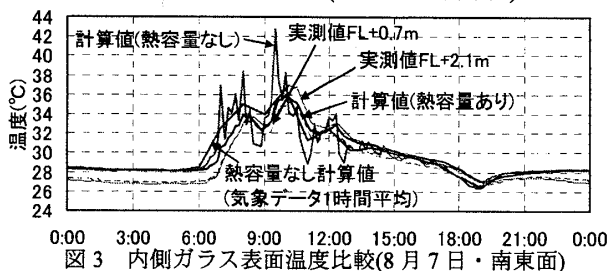


図3 内側ガラス表面温度比較(8月7日・南東面)

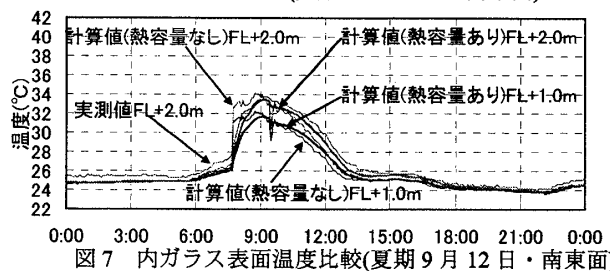


図7 内側ガラス表面温度比較(夏期9月12日・南東面)

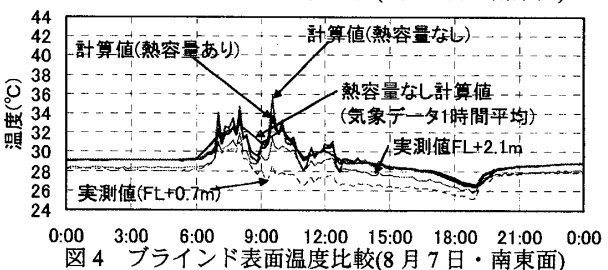


図4 ブラインド表面温度比較(8月7日・南東面)

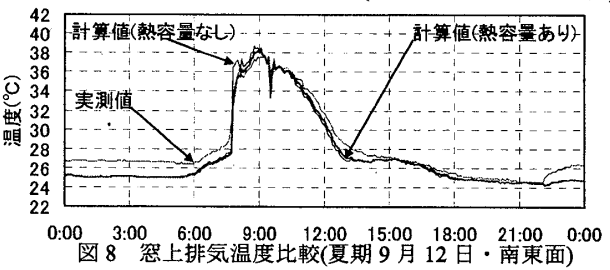


図8 窓上排気温度比較(夏期9月12日・南東面)

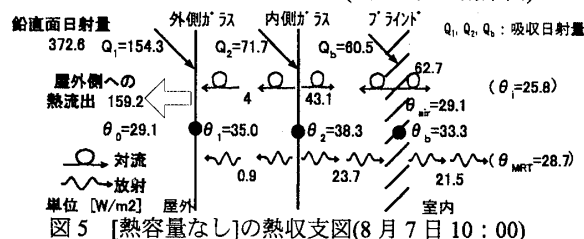


図5 [熱容量なし]の熱収支図(8月7日10:00)

(3) AFW (冬期)

再現計算の対象としたKビル(2月25日, 北面, ブラインド全閉)の外界気象条件を図5に示す。内ガラス, 窓上排気温度の比較(図10, 図11)を見ると内ガラス温度は実測値を概ね再現している。しかし, 日射のない夜間において, 実測値は窓の下方より上方の温度が高くなっていたが, 計算値は逆に窓の上方より下方の温度が高くなる時間帯があった。また, 窓上排気温度は1日を通して実測値が2℃ほど高くなった。これは, 窓モデルが中空層内の上下の熱移動の影響について各ブロック間のピストンフロー的な熱移動のみを考慮し, AFWの外ガラス面に沿った下降流の影響を考慮していないためと考えられる。

4. まとめ

Low-E ペアガラス+ブラインド, AFWの窓システムに対して窓モデルによる計算値と実測値と比較した結果, 窓まわりの再現性が概ね良いことが確認された。ただし, 今後より精度の高い再現性を求める場合, AFWの窓モデルに外ガラスに沿う下降流の影響を組み込む必要がある。

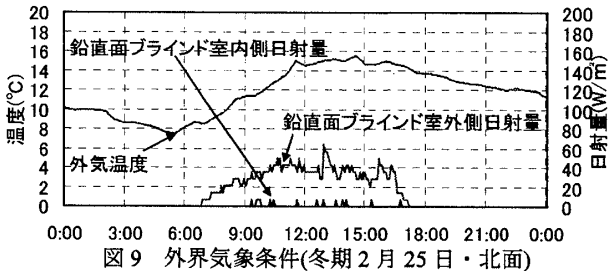


図9 外界気象条件(冬期2月25日・北面)

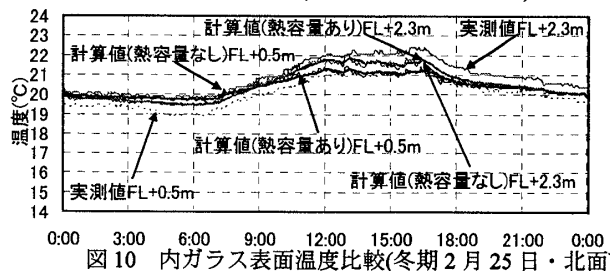


図10 内側ガラス表面温度比較(冬期2月25日・北面)

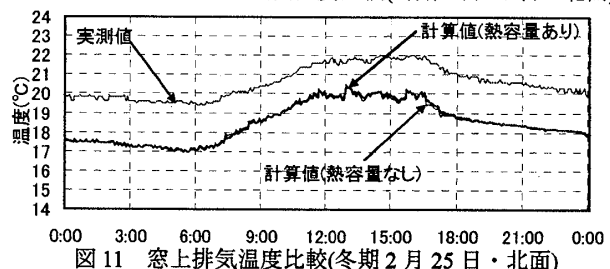


図11 窓上排気温度比較(冬期2月25日・北面)

謝辞 本研究にご協力頂いた八原輝明氏(当時明大卒業生)に謝意を表します。
参考文献 1)加藤, 武政ほか: 問題(その1)各種窓システムの実測結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2005 2)武政, 戸里: オフィス空間の空調・熱環境計画手法の研究-その4窓システムの熱性能予測モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1993 3)松尾, 射場本, 井上: 窓の熱的性能評価に関する研究(その2)シミュレーション手法の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1983

*1 長谷工コーポレーション 工務(当時明治大学大学院 博士前期課程)
*2 鹿島建設技術研究所 主任研究員 工務
*3 鹿島建設技術研究所 研究員 工務
*4 明治大学理工学部建築学科教授 工博
*5 明治大学大学院 工務

*1 Haseko Corporation, M. Eng.
*2 Senior Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, M. Eng.
*3 Research Engineer, Kajima Technical Research Institute, M. Eng.
*4 Professor, Department of Architecture, School of Science & Technology, Meiji University, D. Eng.
*5 Graduate School, Meiji University, M. Eng.