

建築エネルギー・環境シミュレーションツール BEST の開発

第40報 ダブルスキン建築の数値計算機能の追加

正会員 ○郡 公子*1 同 石野 久彌*2
同 長井 達夫*3 同 村上 周三*4

BEST エネルギーシミュレーション ダブルスキン

1. 序 年間エネルギー計算に組み込み可能なダブルスキン・AFW の実用的な熱計算法を提案し、計算に必要なデータベースを構築した¹⁾。これらをもとにダブルスキン建築の数値計算機能を BEST に追加したので報告する。

2. ダブルスキン建築の数値計算法 計算対象とするダブルスキンは、ブラインドが内側ガラスのダブルスキン側に配置され、上下に換気口を有しダブルスキン単独の自然換気が可能なタイプである。ダブルスキンの室内側壁や、自然換気時に生じる多層吹抜けタイプの上下温度分布の影響も評価できる。また、各階グレーチングの日射遮蔽の効果も反映できる。ただし、計算に際し次の仮定を行っている。①隣棟など屋外遮へい物はないものと

する。②外部風の影響は無視する。③ダブルスキン通気抵抗は換気口においてのみ考慮する(有効開口面積を与える)。④ダブルスキン空気温度計算において熱的遅れは無視する。表1に、多層吹抜けダブルスキンの熱・換気平衡と室熱取得計算のための主な式を示す。主な計算の流れは、ダブルスキン室内側壁・窓に当たる日射状態の計算、ダブルスキン自然換気量の計算の後、各階の壁・窓の定常熱取得計算を行い、壁の場合は、さらにダブルスキン空間の相当温度に換算してこれを使用して非定常計算を行う。

3. 試算例 南面に10層吹抜けダブルスキンをもつオフィスについて、表2の基準条件を設定して冷房設

表1 自然換気を行う多層吹抜けダブルスキンの熱・換気平衡と室熱取得の計算式

●熱貫流率 U_V [W/m² K]、日射熱取得率 η_V [-]

各層あるいは全層平均の性能値は、次式で表される。換気量 V [lit/sec・m²] は1層分の外ガラス面積で除した値である。

$$U_V = U + \Delta U \cdot R \quad \dots(1-1) \quad \eta_V = \eta + \Delta \eta \cdot R \quad \dots(1-2)$$

$$\text{空気流入層から } n \text{ 層目: } R = r^n \quad \dots(1-3)$$

$$N \text{ 層の平均: } R = r(1-r^N)/(1-r)/N \quad \dots(1-4)$$

$$r = c_p \rho V / (K_C + c_p \rho V) \quad \dots(1-5)$$

データベース化された U 、 ΔU 、 η 、 $\Delta \eta$ の値を用いると、室内側が全面窓あるいは全面壁のときの性能値が得られる。日射熱取得率は、基準入射条件、室内側が日照面のときの値である。これを次のように利用する。①室内側に窓と壁がある場合の部位別性能: 内側全面窓、全面壁のときの性能値を用いる。②グレーチングによる室内側日影面の日射熱取得率: ブラインド使用窓の場合日照面の値に等しいと考えてよい。壁面についても同様に扱う。ブラインド非使用窓の場合は、暗色ブラインド付き窓の日射熱取得率に等しいと扱う。③ダブルスキン全体性能: 壁、ブラインド使用窓・非使用窓、日影面・日照面などの部位別性能値を面積加重平均して求める。④日射入射角条件が異なる場合の補正は文献1)による。

●ダブルスキン空気温度 t_V [°C] と自然換気量 V [lit/sec・m²]

ダブルスキンの熱・換気平衡は、式(1-6)と式(1-9)を連立させて解く。このとき、式(1-6)の R は全層平均値を用いる。自然換気量が得られた後に上下温度分布を計算する際には、各層の R 値を用いる。

$$t_V = t_O + \{T^* o(t_{Oe} - t_O) + (1 - T^* o)(t_{Re} - t_O) + \sum_j T^*_{SR,j} I_j\} (1 - R) \quad \dots(1-6)$$

$$T^* o = \sum_k k_k T_{O,k} \quad \dots(1-7) \quad T^*_{SR,j} = \sum_k k_{k,j} T_{SR,k,j} \quad \dots(1-8)$$

$$V = (A_{ei} / h_{FL}) \sqrt{2g \Delta P_i / \rho_s} \times 10^3 \quad \dots(1-9)$$

$$\Delta P_i = h_{NPL} (\rho_o - \rho_i) \quad \dots(1-10) \quad h_{NPL} = \{A_{eo}^2 / (A_{ei}^2 + A_{eo}^2)\} h_V \quad \dots(1-11)$$

●第 n 層目の内側窓の日射熱取得 $HG_{SR,n}$ [W/m²]

直達、天空、地表面反射に対する第 n 層平均日射熱取得率 $\eta^*_{j,n}$ (j は日射種別) [-] は、ブラインド使用窓、非使用窓の日照面、日影面の

部位(k)別日射熱取得率 $\eta_{k,j,n}$ [-] を面積比 $k_{k,j}$ [-] で加重平均して求め、これを用いて熱取得計算をする。

$$H_{SR,n} = \sum_j \eta^*_{j,n} I_j \quad \dots(1-12) \quad \eta^*_{j,n} = \sum_k k_{k,j} \eta_{k,j,n} \quad \dots(1-13)$$

●第 n 層目の内側窓の貫流熱取得 $HG_{T,n}$ [W/m²]

室外側温度として、修正相当温度 t'_{Oe} [°C] を用いて計算する。 $U^*_{DS,n}$ は外気を通しての場合、 $U^*_{AFW,n}$ は室空気を通しての場合の第 n 層の平均熱貫流率 [W/m² K] である。

$$HG_{T,n} = U_{DS,n} (t'_{Oe} - t_{Re}) \quad \dots(1-14) \quad t'_{Oe} = t_O - \frac{U^*_{AFW,n} \varepsilon_O R_O}{U^*_{DS,n} h_O} \quad \dots(1-15)$$

●室内側に壁がある場合の n 層目の壁体熱取得 $HG_{W,n}$ [W/m²]

定常熱取得は内側全面壁のときの値に等しいと扱う。熱的遅れのない基準壁材の場合の窓内相当温度 $t_{e,n}$ [°C] を利用して求める。

$$HG_{W,n} = \int (\phi_{iw,T}(\tau) t_{e,n} (t - \tau) - \phi_{iw,A}(\tau) t_{e,n} (t - \tau)) d\tau \quad \dots(1-16)$$

$$t_{e,n} = \{U_{DS,W,n} (t'_{Oe} - t_{Re}) + \sum_j \eta_{W,j,n} \cdot I_j\} / U_{iw,base} + t_{Re} \quad \dots(1-17)$$

上式の t_{Re} は、便宜上前時間ステップの値を代用する。

【記号】 U 、 η : 非通気時の熱貫流率 [W/m² K]、日射熱取得率 [-]、 ΔU 、 $\Delta \eta$: 熱貫流率極限変化量 [W/m² K]、日射熱取得率極限変化量 [-]、 R : 各層通気効果率 [-]、 r : 通気効果率 [-]、 K_C : 窓内対流熱取得係数 [W/m² K]、 c_p 、 ρ : 空気の比熱 [J/gK]、密度 [g/lit]、 t_O 、 t_{Oe} 、 t_{Re} : 外気温、室外側相当温度、室内相当温度 [°C]、 I_j : 窓面日射量 (j は日射種別) [W/m²]、 T_O : 貫流用温度重み係数 [-]、 T_{SR} : 日用温度重み係数 [K m²/W]、 k_k : 部位別面積率 [-]、 A_{ei} 、 A_{eo} : 下部、上部換気口有効開口面積 [m²/m]、 h_{FL} 、 h_V 、 h_{NPL} : 階高、換気口間距離、下部開口から中性帯までの高さ [m]、 ΔP_i : 下部開口での内外差圧 [g/m²]、 ρ_o 、 ρ_i 、 ρ_s : 外気、ダブルスキン空気、基準空気密度 [g/lit]、 g : 重力加速度 [m/sec²]、 R_O : 夜間放射率 [W/m²]、 ε_O 、 h_O : 外ガラス外表面の放射率 [-]、総合熱伝達率 [W/m² K]、 $\phi_{iw,T}$ 、 $\phi_{iw,A}$: 室内側壁 (室内からダブルスキン空間まで) の貫流、吸熱重み関数 [W/m² K]、 t : 現在時間 [sec]、 $U_{DS,W,n}$ 、 $\eta_{W,n}$: 壁面熱貫流率 [W/m² K]、日射熱取得率 [-]、 $U_{iw,base}$: 基準壁の熱貫流率 (室内からダブルスキン空間まで) [W/m² K]

Development of a Building Energy and Environment Simulation Tool, the BEST

Part 40 Improvement for Numerical Simulations of Buildings with Double Skin Facades

KOHRI Kimiko, et al

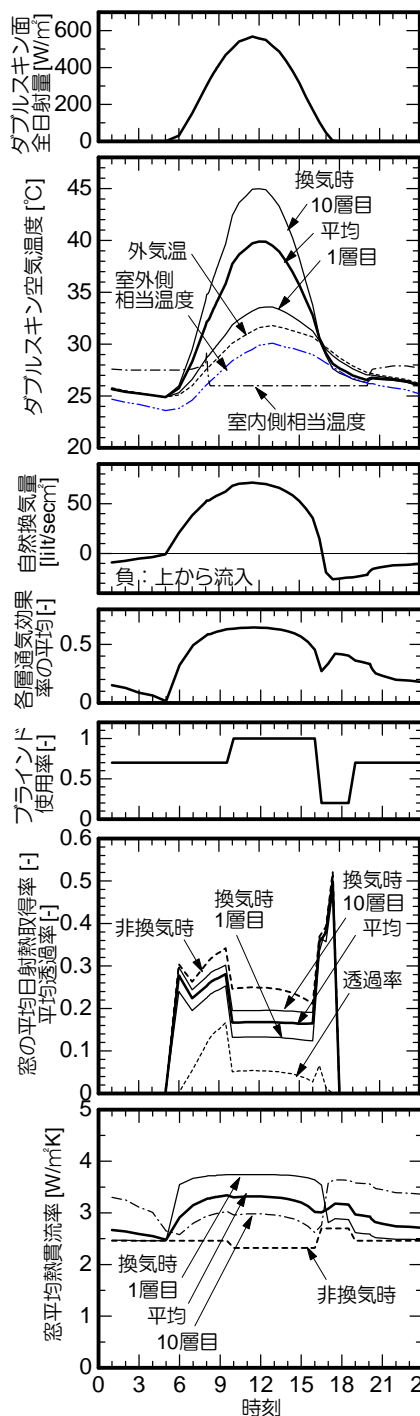


図1 ダブルスキン状態値の変動
(冷房設計用 Js-t 基準気象・南・基準条件)

【図1 注記】1)窓の平均日射熱取得率、平均透過率とは、ダブルスキン面全日射量に対する窓日射熱取得、透過日射量(ブラインド使用面・非使用面含む)の比のこと。2)各層通気効果率の平均とは表1の式(1-4)から求めたR値のこと。3)窓平均熱貫流率とはブラインド使用面と非使用面の平均値で、屋外から室内までの熱貫流率。

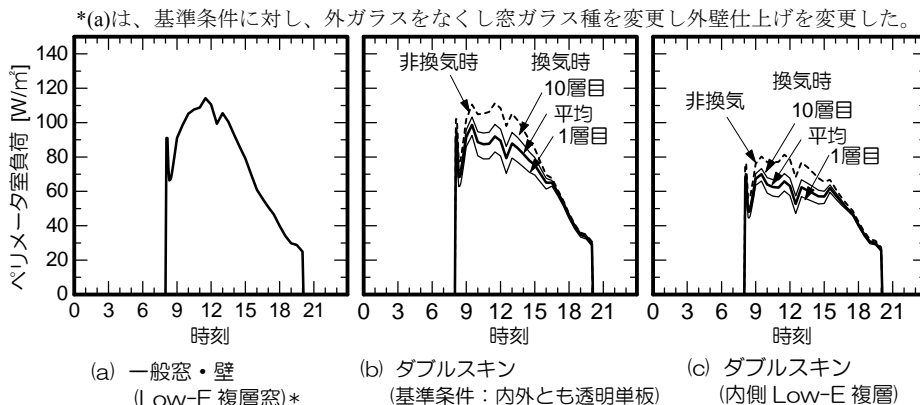


図2 ファサードの違いとペリメータ冷房室負荷(冷房設計用 Js-t 基準気象・南)

表2 基準計算条件

気象	東京EA設計用気象データ
ダブルスキン	外ガラス:透明単板ガラス、内側窓:白色ブラインド(ダブルスキン側に配置)+透明単板ガラス、内側の窓、居室壁、天井壁の面積率:それぞれ70%、5%、25%、壁断熱厚:25mm(ダブルスキン空間から室内までの熱貫流率:居室壁0.8W/m²K、天井壁0.9W/m²K)、奥行き:0.7m 吹抜層数:10層(吹抜高さ:40m)、換気口有効開口面積:上下に0.09m²/m
建物	室:中間階室ペリメータ・インテリア2ゾーン断面(室奥行き15m、ペリメータ奥行き5m、階高4m)、方位:南 内部発熱(最大):照明15W/m²、機器:15W/m²、在室者:0.15人/m²
空調	空調時間:8:00-20:00(予冷8:00-9:00)、設定温湿度:26°C、50%、外気導入:ペリメータは導入なし、インテリアに5.6CMH/m²

*計算時間間隔は、空調時間帯30分、非空調時間帯は主に1時間とした。

表3 計算に使用した高性能窓データベースの熱特性値

ケース (外側ガラス) +(内側ガラス)	室内側	貫流特性				日射特性				
		非通気	通気		非通気	通気				
		U	K _C	T _O	ΔU _{DS}	ΔU _{AFW}	η	τ	T _{SR}	Δη
(透明)+(透明)	窓(ブラインドなし)	2.8	6.2	0.59	1.02	-1.50	0.70	0.59	0.012	-0.02
	窓(白色ブラインド)	2.3	8.7	0.58	1.55	-2.12	0.26	0.08	0.040	-0.14
	壁	0.8	5.0	0.88	0.07	-0.53	0.11	0.00	0.077	-0.04
(透明)+(高日射遮蔽型Low-E+透明)	窓(ブラインドなし)	1.7	5.4	0.76	0.32	-1.00	0.35	0.18	0.034	-0.04
	窓(白色ブラインド)	1.3	6.9	0.76	0.41	-1.27	0.14	0.02	0.057	-0.09
	壁	0.8	5.0	0.88	0.07	-0.52	0.11	0.00	0.077	-0.04

U:熱貫流率[W/m²K]、K_C:窓内対流熱取得係数[W/m²K]、T_O:貫流用温度重み係数[-]、ΔU_{DS}、ΔU_{AFW}:窓内に外気、室空気を無限風量通したときの熱貫流率極限変化量[W/m²K]、η:日射熱取得率[-]、τ:透過率[-]、T_{SR}:日射用温度重み係数[K m²/W]、Δη:無限風量通気時の日射熱取得率極限変化量[-]

計気象条件下での試算を行った。図1に示すように、通気効果率やダブルスキン空気温度・熱性能値上下差を把握可能になった。図2には、ファサード性能を変更したケースについて室負荷変動を比較したものである。ダブルスキンの自然換気が、冷房ピーク負荷の低減に効果があることが分かる。

4. 結 今後、自然換気運用の違いの影響を解析し有用性を検討する。

【謝辞】本報の一部は、科研費補助金基盤研究 24560709 による。また、(財)建築環境・省エネルギー機構内に設置された産官学連携による環境負荷削減のための建築物の総合的なエネルギー消費量算出ツール開発に関する「BEST コンソーシアム」・「BEST 企画委員会(村上周三委員長)」および専門版開発委員会(石野久彌委員長)、統合化WG(石野久彌主査)の活動成果の一部であり、関係各位に謝意を表す。

【文献】1)郡、石野:熱負荷計算のための窓性能値に関する研究 第2報および第3報、日本建築学会環境系論文集 No.600、pp.39-44、2006.2、No.682、pp.997-1002、2012.12 2)石野、村上他:外皮・躯体と設備・機器の総合エネルギーシミュレーションツール「BEST」の開発(その94)、空気調和・衛生工学会学術講演論文集、pp.1327-1330、2012.9

*1 宇都宮大学 准教授 工博
*2 首都大学東京 名誉教授 工博
*3 東京理科大学 准教授 博士(工学)
*4 建築環境・省エネルギー機構 理事長 工博

*1 Associate Prof., Utsunomiya Univ., Dr.Eng.
*2 Emeritus Prof., Tokyo Metropolitan Univ., Dr.Eng.
*3 Associate Prof., Tokyo Univ. of Science, Dr.Eng.
*4 Chief Executive, Institute for Building Environment and Energy Conservation, Dr.Eng.