窓システムの組合せ性能の評価手法に関する研究

張本　和芳[*1]　　田中　拓也[*1]　　武田　仁[*2]

Keywords : Window system, Thermal load calculation, Double-skin facade
窓システム，ダブルスキン

1.　はじめに

近年、ダブルスキンやエアーフローウィンドなど高性能な窓システムが採用される建物が増えてきている。これらの窓システムは屋外気象や窓システム自体の調整機構により性能が変化する特性がある。特に、ダブルスキンは、二重ガラス内のブラインドで日射遮蔽を行い、自然換気により日射熱を排熱する機構となっているので、ファン動力が不要で室内エアバランスとの干渉がないメリットがあるが、排熱の換気量は気象条件に左右される性質があるため、熱性能の予測が困難である。またブラインドの光学特性は、天空輝度分布やスラットの角度・色に対し、変化する点も熱性能の予測を困難にしている要因のひとつである。

本論文は、気象条件に対して変化する部材特性を考慮した窓システムの年間熱負荷計算プログラムを構築し、窓の熱性能の予測評価により、部材の組合せ、及び制御機構の最適設計を目指すものである。

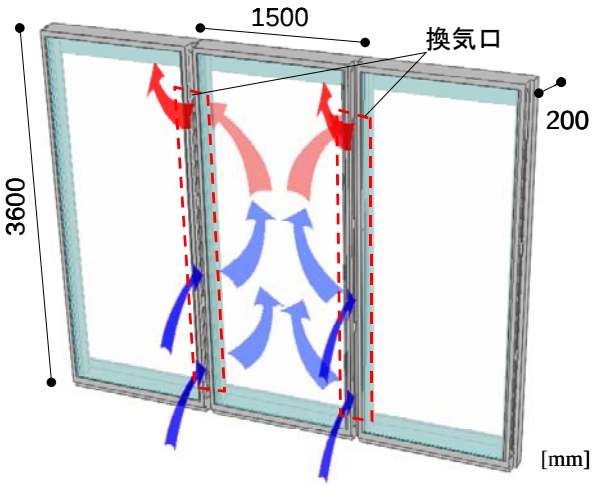
本報ではまず、実建物において、構成部材の組合せを変えた仕様の異なるダブルスキンを8種類設置し、熱性能の実測を行ったのでその結果を報告する。その次に、仕様の異なる窓システムの年間熱負荷を計算により予測し、定量的な評価を行った。本プログラムでは、ダブルスキン中空層内の自然換気を多数室換気計算により求め、窓の各部位における日射吸収による温度上昇を再現した。

2.　実測

2.1　概要

対象としたダブルスキンは、ユニット化された薄型ダブルスキン(ガラス間距離約200㎜)であり、窓の両サイドに配置している縦型の換気スリットに特徴があり、温度差による上下方向の換気に加え、風圧による左右方向の風力換気の効果が見込める(図－1)。

本研究では、このダブルスキンが適用された事務所用途建物を対象として、実測を行った。本ダブルスキンは下層と上層の中空層の連通が可能であるが、本検討では単層区切りのモードとした。測定対象としたダブルスキンの標準仕様を表－1 に示す。また、表－2 に屋外測定概要、図－2 に窓廻り測定概要を示す。冬期、夏期それぞれ数週間に亘り、測定を行った。窓面方位は北西である。



図－1　ダブルスキン外観
Fig.1 Mechanism of Double-Skin

表－1　ダブルスキン概要(標準仕様)
Table 1 Specification of Double-Skin (Standard Type)

部位	構成	日射透過率(%)	日射反射率(%)	日射吸収率(%)	熱貫流率 W/(m²・K)
室外側ガラス	FL12mm	69.3	6.4	24.3	5.7
中空層	幅:200mm 換気口: 夏(開),冬(閉)	－	－	－	－
ブラインド	幅:25mm 角度:45° カラー:シルバー	－	62.2 (スラット単体)	－	－
室内側ガラス	FL8mm	76.5	6.8	16.7	5.8

※日射透過率、日射反射率は垂直入射時の値

＊1　技術センター 建築技術研究所 環境研究室

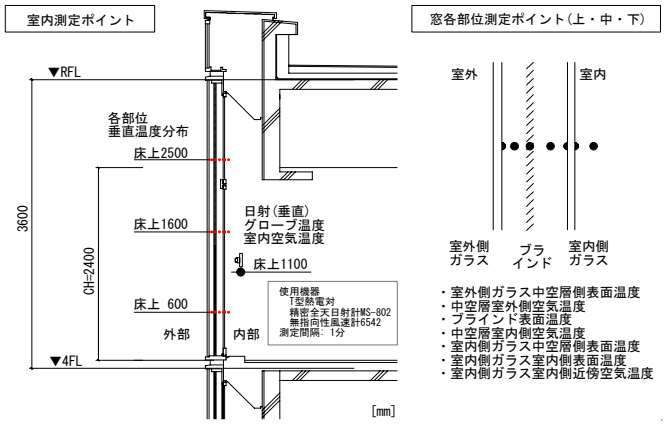
2.2 実測ケース

表－1 に示す標準仕様のダブルスキンを基準として、ガラス、ブラインド、フィルムの仕様を変えたものを 8 種類用意し、各窓システムの熱性能について実測を行った。なお、各窓は図－3 に示すように隣接して配置されている。各窓システムの仕様を表－3、図－4 に示す。

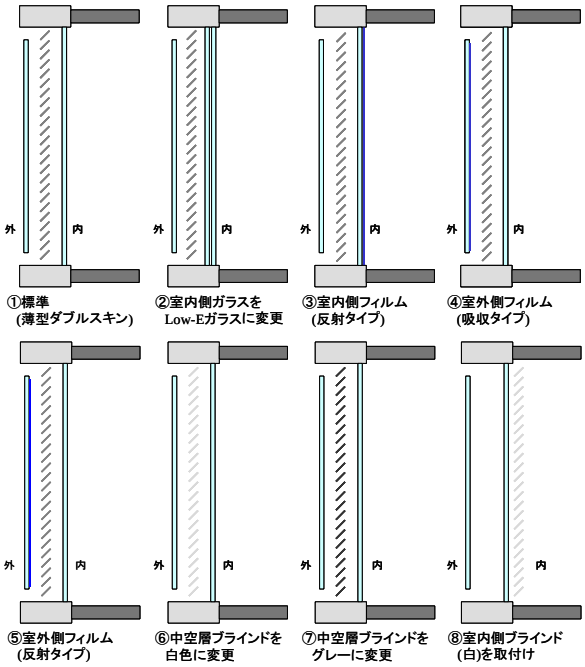
表－2 屋外測定概要
Table 2 Outdoor Measurement

場所	対象建物屋上(軒高 16.1m)
測定項目	外気温度、風向、風速、SAT、水平面日射、鉛直面日射、鉛直面赤外放射 ※垂直面=ガラス面方向(北西)

図－3 実測風景
Fig.3 Measurement Area



図－2 窓廻り測定概要
Fig.2 Indoor Measurement around Window

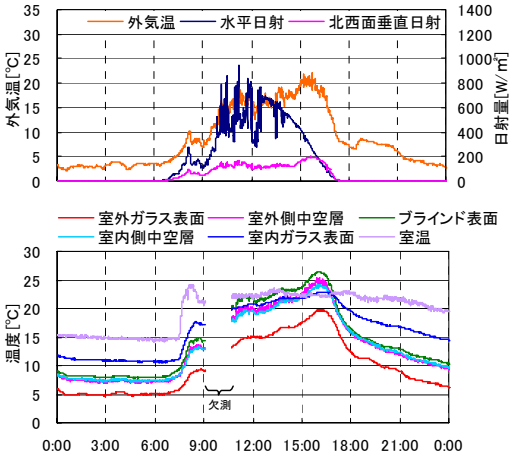


図－4 各窓システムの仕様
Fig.4 Variation of Window system

表-3 各窓システムの仕様
Table 3 Specifications of Window system

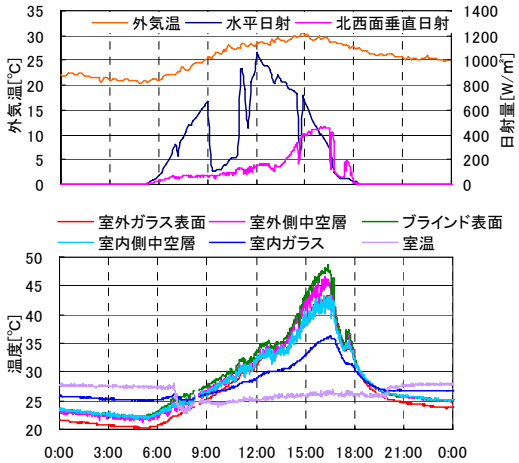
Case	室外側ガラス	中空層ブラインド	室内側ガラス	室内側ブラインド
①標準(薄型ダブルスキン)	FL12	シルバー(反射率 62.2)	FL8	なし
②室内側ガラス：Low-E ガラス	FL12	シルバー(反射率 62.2)	LE5A2FL5(40/29/31)	なし
③室内側ガラス：フィルム(反射タイプ)貼付け	FL12	シルバー(反射率 62.2)	FL8+フィルム (33/30/37)	なし
④室外側ガラス：フィルム(吸収タイプ)貼付け	FL12+フィルム (37/6/57)	シルバー(反射率 62.2)	FL8	なし
⑤室外側ガラス：フィルム(反射タイプ)貼付け	FL12+フィルム (33/30/37)	シルバー(反射率 62.2)	FL8	なし
⑥中空層ブラインド：白色	FL12	白色(反射率 68.7)	FL8	なし
⑦中空層ブラインド：グレー	FL12	グレー(反射率 43.5)	FL8	なし
⑧ブラインド位置：室内側(白色)	FL12	なし	FL8	白色(反射率 68.7)

※()内は日射の透過率/反射率/吸収率(%)



図－5 冬期代表日(2/22)屋外気象と Case①窓廻り温度の推移

Fig.5 Temperature Fluctuation on Winter day



図－6 夏期代表日(8/27)屋外気象と Case①窓廻り温度の推移

Fig. 6 Temperature Fluctuation on Summer day

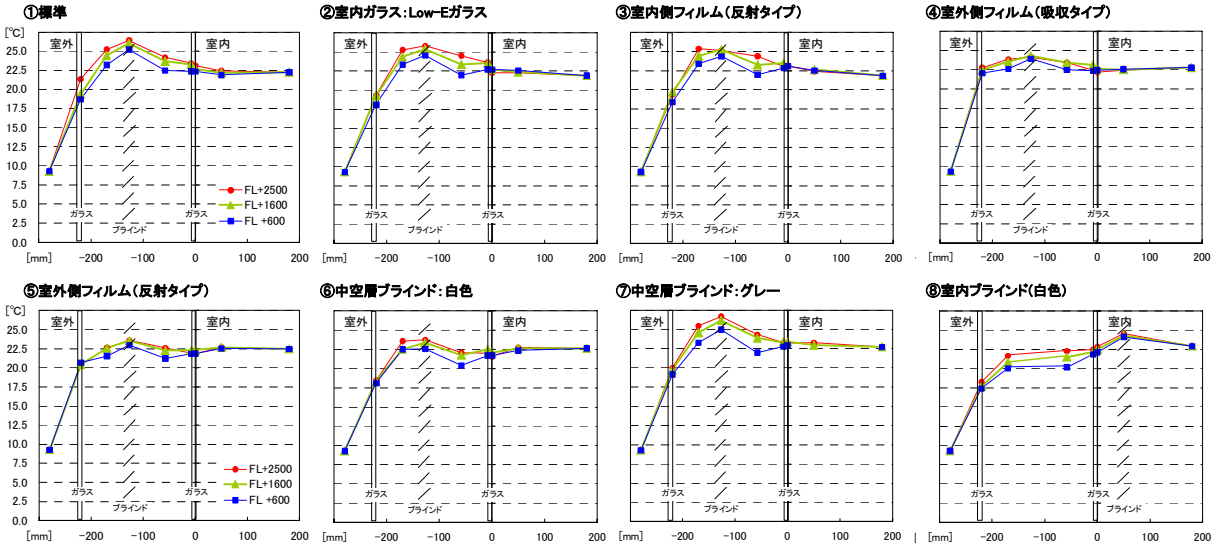


図-7 冬期(2/22 16:00)窓廻り温度分布 ※垂直面日射量 182W/㎡

Fig.7 Temperature Distribution of Window Section (Winter)

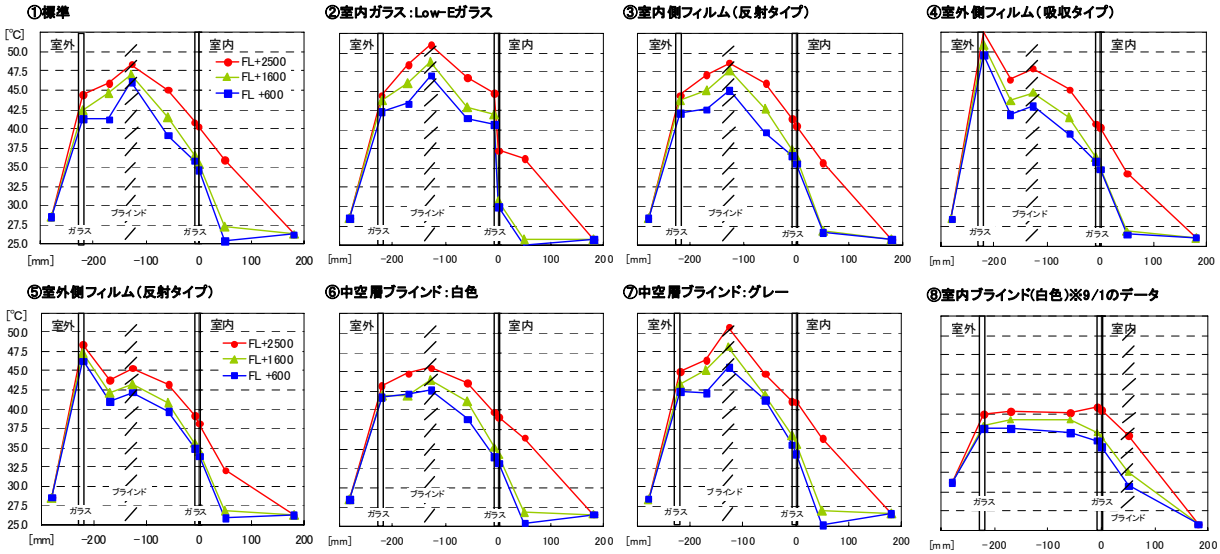


図-8 夏期(8/27 16:00)窓廻り温度分布 ※垂直面日射量 ①～⑦:452W/㎡(8/27)、⑧のみ:366W/㎡(9/1)

Fig.8 Temperature Distribution of Window Section (Summer)

2.3 各部位の温度分布

図－5、6 に快晴に近い代表日(冬期：2010/2/22、夏期：2009/8/27)の屋外気象と Case①の窓廻り温度の推移を示す。対象面は北西であり、西日により夕方 16 時頃が窓廻り温度のピークとなる。直達日射が窓面に照射する時間帯は 14 時～17 時頃であった。また、実測条件としてブラインドのスラット角を 45° 固定としているため、太陽高度の低い夕方には直達光により室内側ガラスの温度も上昇している。室内側ガラスの表面温度に着目すると冬期では、明け方が最も低く 11℃程度、夕方の西日が差込む時間帯には 23℃程度まで上昇している。一方、夏期では明け方 25℃程度、夕方には 36℃程度となっている。

図－7、8 には、冬期、夏期それぞれ 16:00 の窓廻り温度分布 (15:30～16:29 の平均)を示す。冬期は換気口を閉じたモードとしているため、断熱性が向上し、ブラインドによる日射吸収の影響もあり室内側ガラス表面温度が室温に近い値となっている。仕様の違いによる室内側ガラス表面温度に大きな差異はなく、ダブルスキンにすることで日中には十分に外皮負荷が低減できている。

一方、夏期は換気口を開けて自然換気モードとしており、仕様の違いにより、室内側ガラス表面温度に差異が見られる。室内側ガラスを Low-E ガラスにした Case②は室内側ガラスの室内側表面温度が 30℃程度に抑えられており、中空層からの熱貫流を低減している。ガラスにフィルムを貼付けた Case③、④、⑤では、室外側フィルム(反射タイプ)の Case⑤が、中空層温度の上昇を防ぎ、室内側ガラス表面温度を最も低く抑えることができている。また、Case①、⑥、⑦のブラインドの色の違いでは、白色の Case⑥がスラットの反射率が高いため日射吸収量が小さく、ブラインド表面温度、室内側ガラス表面温度ともに低い結果となった。

2.4 熱性能値

実測結果をもとに表－4 式(1)～(6)に示す方法で熱貫流率と日射熱取得率を算出した。熱貫流率については、夜間の日射がなく温度が安定している時間帯(0:00～6:00)のデータを用い、算出した。なお、Case⑧については Case①(標準)の値に室内ブラインドの熱貫流抵抗 0.045[m²・K/W](カタログ値)を加えた値とした。また、室内総合熱伝達率については、別途、裏面に断熱材を貼付けた面状発熱体を窓面位置に設置して実測を行い、面状発熱体の発熱量と室内側ガラス表面と室内の温度差から求めた。その結果、今回の対象空間での室内総合熱伝達率は平均で 7.4[W/m²]であった。Case⑧の室内ブラインドについては、郡らの研究 [1)]を参考にした。

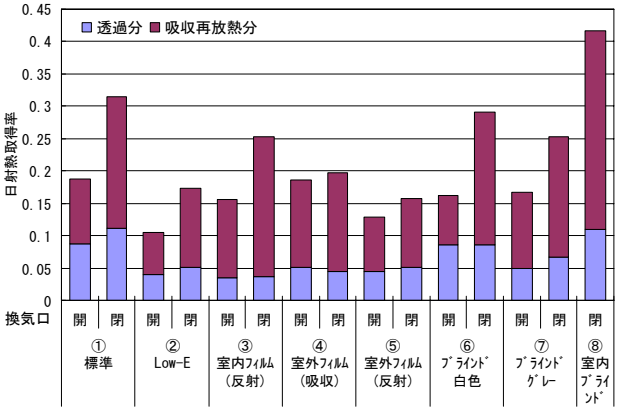
表－4 記号一覧
Table 4 Symbol List

$\eta = (I_\tau + I_c) / J_o$	式(1)
$I_\tau = J_i$	式(2)
$I_c = \alpha_i (\theta_{si} - \theta_I) - I_k$	式(3)
$I_k = K (\theta_o - \theta_I)$	式(4)
$K = \alpha_i (\theta_{si} - \theta_i) / (\theta_i - \theta_o)$	式(5)
$\alpha_i = q / (\theta_{si} - \theta_i)$	式(6)
$\alpha_o = (J_o - J_e) / (\theta_{SAT} - \theta_o)$	式(7)

η：日射熱取得率	[-]	α_o：室外側総合熱伝達率	[W/(m²K)]
K：熱貫流率	[W/(m²K)]	α_i：室内側総合熱伝達率	[W/(m²K)]
I_t：透過成分	[W/ m²]	θ_o：外気温	[℃]
I_c：吸収再放熱成分	[W/ m²]	θ_{SAT}：SAT 温度	[℃]
I_k：貫流成分	[W/ m²]	θ_{si}：室内ガラス表面温度	[℃]
J_o：屋外垂直面日射量	[W/ m²]	θ_i：室温	[℃]
J_i：室内垂直面日射量	[W/ m²]	q：面状発熱体発熱量	[W/ m²]
J_e：実効放射量	[W/ m²]		

表-5 熱貫流率[W/(m²・K)]
Table5 Heat Transmission Coefficient

換気口＼Case	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
開	2.88	1.37	3.42	2.70	2.72	2.63	2.97	2.55
閉	2.22	1.05	1.84	2.15	1.98	2.16	2.07	2.02



※測定期間中の冬期 15～16 時の平均値

図－9 日射熱取得率(スラット角 45°)
Fig.9 Solar Heat Gain Coefficient

表－5 に熱貫流率を、図－9 に各窓のスラット角 45° での日射熱取得率(冬期 15:00～16:00 の平均値)を示す。熱貫流率については、室内側を Low-E ガラスにした Case②の値が小さく、その他の Case では大きな差は見られなかった。また、換気口を閉じることで、熱貫流率が小さくなることが分かった。次に、日射熱取得率については Low-E ガラスの Case②が最も小さく良好な結果となった。室内側フィルムの Case③と室外側フィルムの Case⑤を比較すると、室内側フィルムの

場合、透過分は低減できているが、その分吸収再放熱分が大きくなっており、結果的には室外側フィルムの方が日射熱取得率を低く抑えることができる。ブラインドの色の違いとして Case①、⑥、⑦を比較すると、換気口を開けた時には透過分と吸収再放熱分の割合は変わるもののその和である日射熱取得率に大差はない。また、室内ブラインドの Case⑧はブラインドで吸熱した熱が室内に放熱されるため日射熱取得率は高い。

2.5 実測のまとめ

本実測を通して、季節や時刻変動また部材の組合せによる熱性能の違いを把握した。今回対象とした薄型ダブルスキンでは、標準仕様(換気口：開)で熱貫流率 2.88[W/(m^2・K)]、日射熱取得率 0.19 程度の熱性能を実測値として得た。室内側ガラスを Low-E ガラスとすることで更なる性能向上も可能であることが分かった。

3. シミュレーション

3.1 概要

前章での実測データをもとに今回開発したプログラムの精度検証を行うとともに年間熱負荷を予測することで、年間を通した窓システムの性能評価を定量的に行う。

ダブルスキンにおける温度差換気と風圧換気を再現するため、1)開口部の圧力特性実験、2)CFD による開口部廻りの風圧係数の算出、3)換気回路網を組み込んだ熱性能計算の手順で計算を行った。

対象としたダブルスキンは、ユニット化された薄型ダブルスキン(ガラス間距離約 200㎜)であり、ユニットの両サイドに配置している縦型の換気スリットに特徴があり、温度差による上下方向の換気に加え、風圧による左右方向の風力換気の効果が見込める(図－10)。本研究では、このダブルスキンが適用された事務所用途建物を対象として、実験、解析を行った。本ダブルスキンは下層と上層の中空層の連通が可能であるが、本検討では単層区切りのモードを対象とした。

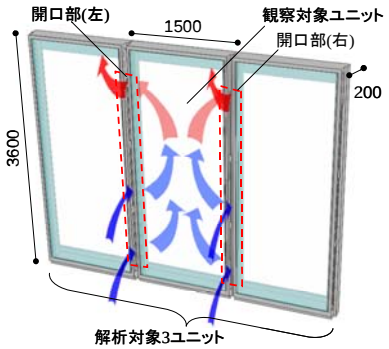
3.2 開口部の圧力損失実験

CFD 解析に先立ち、中空層に対する換気開口部の圧力損失特性を計測した。本研究では適用建物において窓ユニットのインナーサッシに加圧ファンを設置し、風量および中空層内部と外気の圧力差を計測した。外気に面する開口部の見付け面積に対し流量係数は 0.39 であった。

3.3 CFD による風圧係数の計算

CFD における窓の形状モデル作成において、外気に面するサッシ形状については、風圧に影響を与えるため再現する必要があるが、開口部廻りについては、外気に接する面から中空層内部に至る経路の微細なサッシ形状を再現するのは現実的ではないため、実験による圧力損失特性を再現するように数値にて与えた。

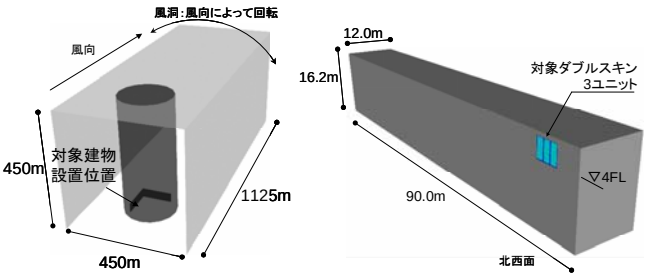
風洞を模擬した解析領域の下流域に、壁面の一部にダブルスキンユニットを再現した建物形状を再現し、開口部廻りの圧力を観察した。モデルの概要を表－6、図－11に示す。適用建物に倣い、ダブルスキン面は北西とした。



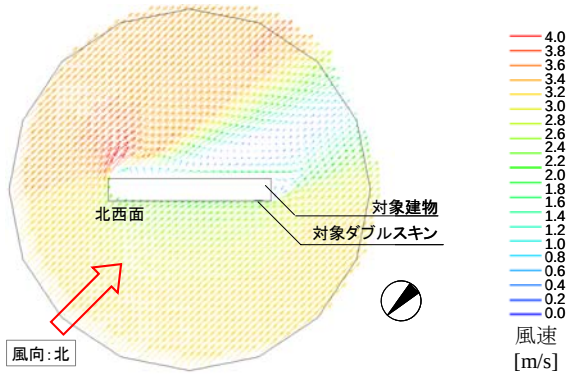
図－10 解析概要
Fig.10 Model of Analysis

表－6 CFD による建物周囲解析概要
Table 6 CFD Analysis around Building

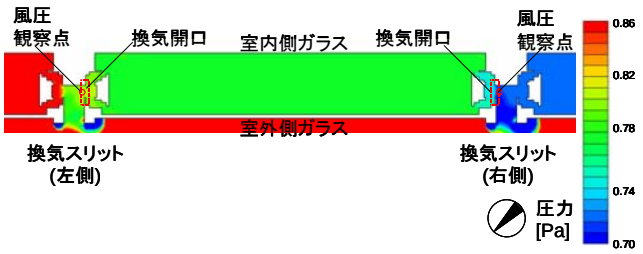
解析モデル	標準 k-ε モデル
解析領域	D1125×W450×H450 m(風上側 225+風下側 900m) z 方向解析格子間隔 0.3～25 [m]
対象建物	W90.0 ×D12.0×H16.2 m
ダブルスキン	1 ユニット W1500×H3600mm 4F(GL+11.75)に 3 ユニットを再現 解析格子間隔 4～50mm
接近風	軒高 16.1m で 3.4m/s (横浜気象台 2009 年平均風速) 粗度区分 III(べき指数 0.20)を設定



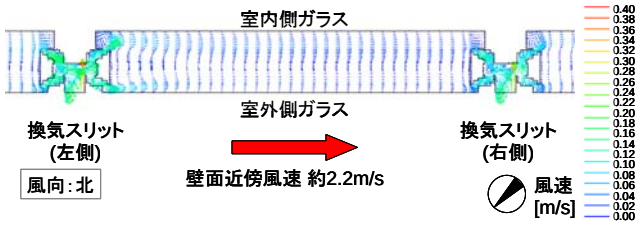
図－11 建物周囲解析概要（左：解析領域 右：建物外観）
Fig.11 Model of CFD Analysis around Building



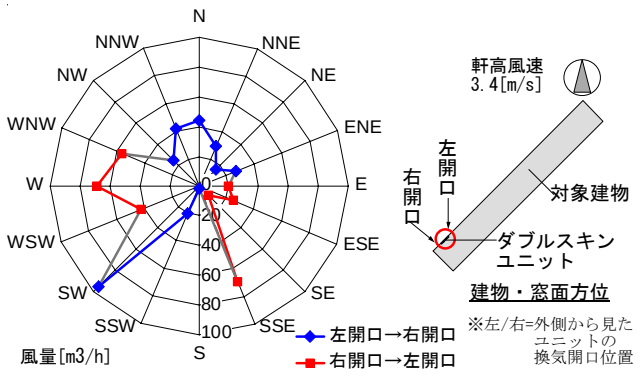
図－12　建物周辺気流
Fig.12 Airflow around building



図－13　ダブルスキン 開口部-中空層廻り圧力分布
(ユニット平断面)
Fig.13 Pressure distribution around Ventilation Opening and Cavity



図－14　ダブルスキン 開口部-中空層廻り風速分布
(ユニット平断面)
Fig.14 Airflow around Ventilation Opening and Cavity



図－15　風向と風量の関係(ダブルスキン 1 ユニットあたり)
Fig.15 Relation between Wind direction and Ventilation Air Volume

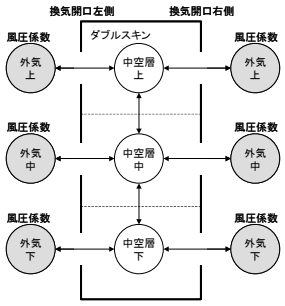
図－12～14 に北向き風向における建物周辺気流、およびダブルスキン断面の圧力・風速分布を示す。北西を向くダブルスキン面は巨視的には同一風圧になるが、微視的にはユニットの左右の換気開口に、風上/風下の風圧係数の差が生じ、換気の駆動力となる。1 ユニットあたりの風力換気による換気風量を図－15 に示す。西の風向にて換気開口の左右に 0.05 の風圧係数の差が生じ、約 70m^3/h の換気量がある。ダブルスキン背面からの接近風(東北東～南南西)においては換気量が少ないが、正面方向からの接近風において換気量が多くなり、特に斜め 45°(北、西)からの接近風において風量が増加する傾向が見られた。

3.4　換気回路網を組み込んだ熱性能計算

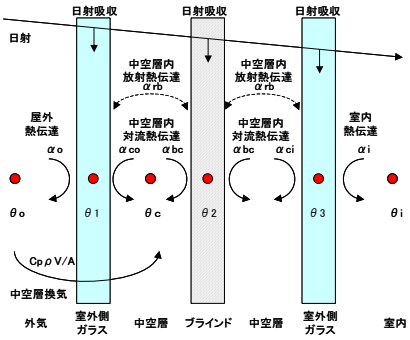
ベースとした熱負荷計算プログラム LESCOM は、窓部材の入射角特性の取り扱いが可能であるが、本研究にて風圧・温度差を考慮した多数室換気回路網を組み込み、中空層の換気量により窓各部位の温度を求めダブルスキン等の空気流通窓の計算を可能とした。

換気計算では、中空層を上中下 3 分割とし、ユニット両サイドの換気口に上中下 3 点の規定節点を設定し、各点の風圧係数と気象データの風向・風速により求めた風圧を与え、風圧と温度差による換気量を計算した(図－16)。

温度計算では、直達光、拡散光に対する日射特性により部材への吸収熱量を算出し、ガラス、ブラインド、中空層を上下 3 分割し、各節点における熱収支計算を行った(図－17)。中空層はブラインドを挟んで室内側と室外側に分割されているが、本計算では 1 節点として扱った。換気量と温度は 4 回の反復計算で十分な収束値を得た。



図－16　換気計算モデル　(1 ユニット)
Fig.16 Calculation Model of Ventilation



図－17　温度計算モデル　(窓断面モデル 3 層の場合)
Fig.17 Calculation Model of Ventilation

表－7　ダブルスキン　構成部材の熱性能
Table 7 Thermal Performance of Double skin component

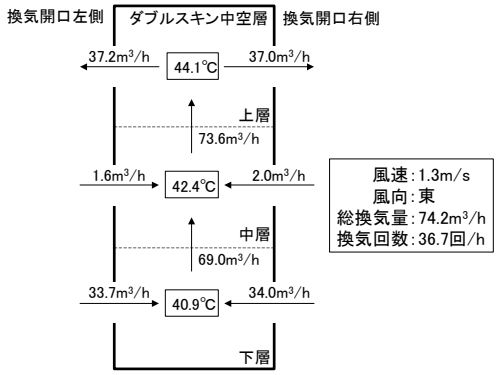
構成	仕様
室外側ガラス	FL12mm 透過率 69.3% 反射率 6.4% 吸収率 24.3%
中空層	幅:200mm 換気口:夏期(開),冬期(閉)
ブラインド	シルバー 幅:25mm 角度:45° 反射率 68.7% 吸収率 31.3%
室内側ガラス	FL8m 透過率 76.5% 反射率 6.8% 吸収率 16.7%

※透過率、反射率は垂直入射時の値。
　単層で空気流通するモードとした。

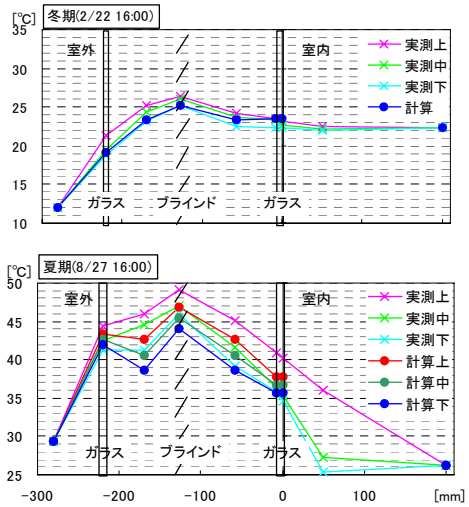
表－8　窓廻り条件
Table 8 Calculation Condition of Window

	項目		冬期(2/22 16 時)	夏期(8/27 16 時)
気象条件	日射	W/m²	182	410
	外気温度	℃	11.9	29.3
	室内温度	℃	22.2	26.2
	風速	m/s	0.9	1.3
	風向	-	東南東	東
物性値	室外側総合熱伝達率	W/(m²・K)	16.36	18.56
	室内側総合熱伝達率	W/(m²・K)	7.41	7.41
	ガラス面対流熱伝達率	W/(m²・K)	2.47※	5.80※
	ブラインド面対流熱伝達率	W/(m²・K)	2.47※	5.80※
	中空層放射熱伝達率	W/(m²・K)	4.85	5.56

※冬期（自然換気なし）：自然対流
※夏期（自然換気あり）：強制対流(ユルゲスの式)として算出
注）上記の各値は実測値(15:30～16:29 の平均)



図－18　換気量と中空層温度
Fig.18 Ventilation Air Volume and Cavity Temperature



図－19　窓廻り温度の比較(上:冬期，下:夏期)
Fig.19 Temperature Distribution of window

3.5　精度検証

プログラムの精度検証のため、夏期・冬期の実測値との比較を行った。屋外総合熱伝達率は屋上に設置した SAT 計から、室内総合熱伝達率は、室内窓面に設置した面状発熱体の表面温度から求めた。日射量は実測値を直散分離した値を用いた。各構成要素の熱性能はカタログ値を参照し、光学特性は入射角特性を考慮した値とした。ダブルスキンの概要、窓廻りの諸条件を表－7, 8 に示す。

測定対象面は北西面であるので、西日により窓廻り温度がピークとなる夕方 16 時頃の実測値にて比較した。

図－18 に夏期の各層の換気量と中空層温度の計算結果を、図－19 に冬期・夏期の温度分布の実測結果との比較を示す。自然換気なしの冬期では、精度よく再現できている。夏期においては、強い日射照射により、外壁近傍の空気温度が外気温度よりも上昇していることを考慮し、入力外気温度を以下の式で設定した[注 1)]。日射による中空層温度、室外側ガラス表面温度の温度上昇の傾向は、実測値と一致する傾向が見られた。

$$\text{入力外気温度}=\text{外壁面温度}\times\beta+\text{外気温度}\times(1-\beta)$$
$$\beta=0.25$$

3.6　年間熱負荷計算

3.6.1　概要

以上のプログラムを用い、表－9 に示す奥行き 5m のペリメータを窓幅 1.5m に切り出した空間を対象とし、表－10 に示す複数の日射遮蔽手法について年間熱負荷の比較を行った。対象 Case には前報に対応する①～⑦のダブルスキンの仕様とともに、Low-E 窓ガラスの室内側にブラインドを設置した仕様(⑧⑨)を付け加えた。

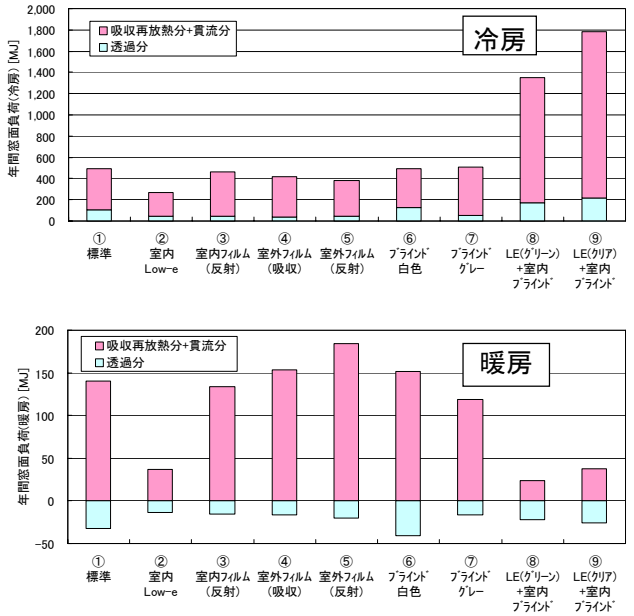
表－9　年間熱負荷計算　対象空間概要など
Table9 Condition of Annual Heat Load Calculation

ペリメータ （南面）	幅 1.5m×奥行き 5m×高さ 3m 面積:7.5m2、室容積:22.5m³
窓面積	5.4m²　(=幅 1.5m×高さ 3.6m)
人体発熱	70.5W　(=47W/人×0.2 人/m2×7.5m²)
導入外気量	45m³/h (=0.2 人/m²*7.5m²*30m³/h 人)
家具熱容量	282.6kJ/K (12.56kJ/Km³(室容積))
照明・機器発熱	412.5W (=照明 15+共用機器 10+PC30 W/m²)
上下階条件	空調室
気象データ	1990 年代標準気象データ

表－10　窓システムの構成部材の組合せ
Table10 Combination of Window system Component

Case	室外側ガラス	中空層ブラインド	室内側ガラス
①標準(ダブルスキン)	FL12	シルバー	FL8
②室内側 Low-E ガラス	FL12	シルバー	LE5 +A2+FL5
③室内側フィルム貼付(反射型)	FL12	シルバー	FL8 +フィルム
④室外側フィルム貼付け(吸収型)	FL12 +フィルム	シルバー	FL8
⑤室外側フィルム貼付け(反射型)	FL12 +フィルム	シルバー	FL8
⑥中空層ブラインド：白色	FL12	白色	FL8
⑦中空層ブラインド：グレー	FL12	ｸﾞﾚｰ	FL8
⑧LowE 仕様(ｸﾞﾘｰﾝ) +室内ブラインド	LE5+A2+FL5 +室内側ブラインド白色		
⑨LowE 仕様(ｸﾘｱ)+室内ブラインド	LE8+A6+FL8 +室内側ブラインド白色		

各ブラインド反射率: シルバー:62.2, 白色:68.7, ｸﾞﾚｰ:43.5 (%)
フィルム反射型: 透過 33.0/反射 30.0/吸収 37.0 (%)
フィルム吸収型: 透過 37.0/反射 6.0/吸収 57.0 (%)



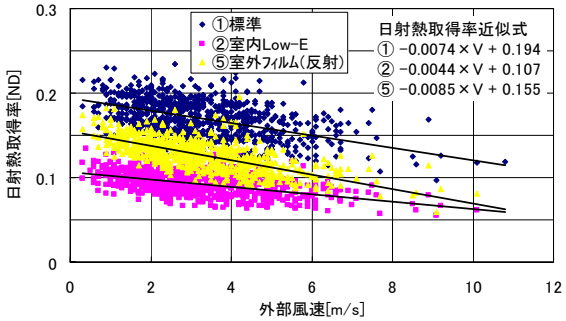
図－20　各窓の熱負荷比較(対象空間あたり)
Fig.20 Heat load Comparison among Window variation

3.6.2　計算結果

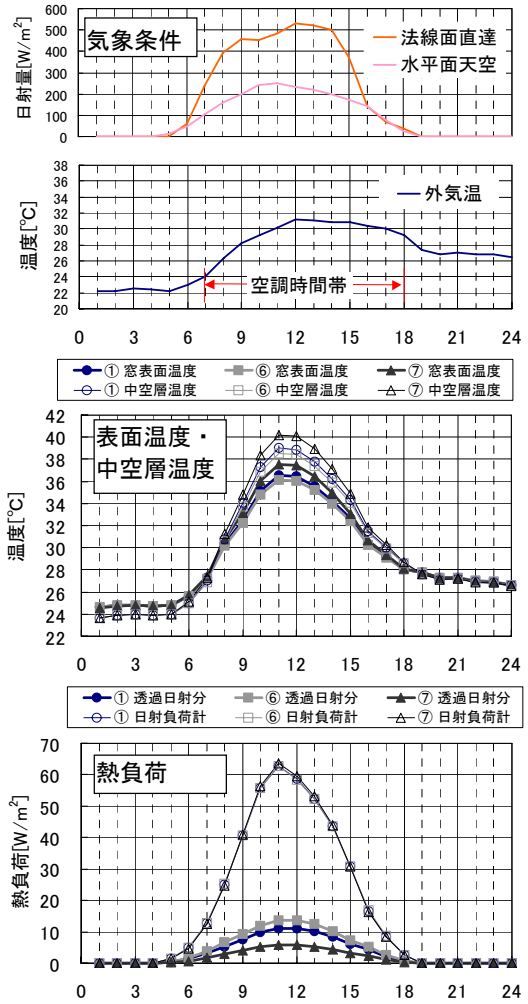
各 Case の空調運転時における窓面負荷の合計を図－20 に示す。Low-E の Case⑧,⑨は空調運転時間帯が長くなり、ダブルスキンとの差が生じている。室内側 Low-E 仕様のダブルスキン②が冷房負荷を半減させている。また室外ガラス側に反射性がある Case⑤は、暖房は日射による熱利得が減ずるものの、冷房負荷は約 24%減となる効果がみられた。

外部風速と日射熱取得率の関係を図－21 に示す。外部風速が高いと中空層換気が促進され、日射熱取得率が低くなる傾向があり、Case①では風速 1～5m/s で約 15%程度変化する。

ブラインド色による熱負荷の時系列変化の比較を図－22 に示す。ブラインドの反射率が低いと(Case⑦)、中空層で日射が吸収され、ガラス表面温度が高くなるが、透過日射が低くなるため、合計としての熱負荷には大きな差がなかった。



図－21　外部風速と日射熱取得率の関係
Fig.21 Correlation between Wind velocity and Solar Heat gain coefficient



※ブラインド反射率：①シルバー:62.2, ⑥白色:68.7, ⑦ｸﾞﾚｰ:43.5
図－22　ブラインド色による温度・熱負荷の比較
Fig.22 Comparison of Temperature and Heat Load on Blind Colors

3.7　シミュレーションのまとめ

窓システムの年間熱負荷計算において、開口部の圧力損失・風圧係数による中空層自然換気と、構成部材の熱・光学特性を考慮した手法を示し、フィルム、ガラス種類、フィルム、ブラインドを組合せたケースについて検討を行った。

4.　おわりに

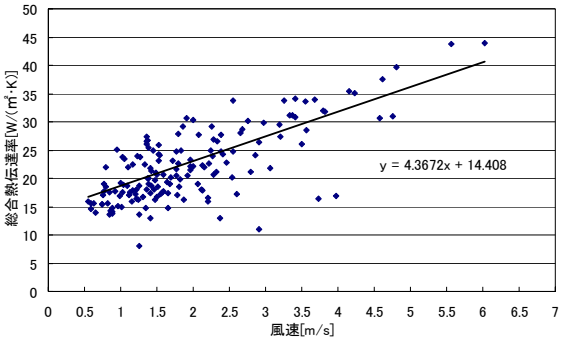
本研究では、ブラインドや空気流通層などの複数の部材の組み合わせによる窓システムについて実測による検証を行い、熱負荷低減効果に関する知見を得た。また、これらの窓システムについて、気象条件の変化を考慮した年間での熱性能の予測評価を可能にした。

本評価手法により、新築向けの窓システムのみならず、既存窓に対して後付け部材が組み合わされるような省エネ改修検討にも、定量的な評価を行うことが可能となった。

注 1) 日射照射による外壁面発熱が建物近傍空気に及ぼす温度の影響は風向・風速によって大きく変化することが予想され、更なる検討が必要である。本報における年間熱負荷計算ではこれを考慮しない設定(β=0)とした。

付録

本実測では、屋上に設置した SAT 計の計測値から表－4 式(7)を用いて屋外総合熱伝達率を算出し、近似式を求めた(付図)。熱負荷計算プログラムでは、この近似式による屋外総合熱伝達率を用いる。



付図　屋外総合熱伝達率と屋外風速の相関
Appended Fig. Correlation of Outdoor Heat transfer coefficient and Wind velocity

謝辞

本論文を作成するにあたり、日本大学の早川眞先生に、多大なご指導を頂きました。御礼申し上げます。

参考文献

1) 郡,石野,「熱負荷計算のための窓性能値に関する研究」,日本建築学会環境系論文集, 2006.02
2) 武田,吉沢,稲沼,磯崎,「標準気象データと熱負荷計算プログラム LESCOM」,井上書院, 2005.04
3) 倉渕 隆,大場 正昭 他、局所相似モデルの概念と風洞実験による検証 ： 通風時の換気量予測法に関する研究(第 1 報), 日本建築学会環境系論文集, 2006.09
4) 早川 眞, 高層建築の自然換気のための壁面風圧均等化の実験: (その 4), 日本建築学会学術講演梗概集, 2008.07
5) 藤村 淳一、他、：高性能薄型ダブルスキンユニットの開発、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2009.09