

追手門学院大学中央棟におけるダブルスキンファサードの効果検証について Observation Result of Double-Skin Façade of Outemonn Univ. Chuoutou

株式会社 三菱地所設計
Mitsubishi Jisho Sekkei Inc
高西 茂彰
Shigeaki TAKANISHI

キーワード：ダブルスキン(double-skin)、大学(college)、ペリメーター(perimeter)
熱収支モデル(model to calculate thermal balance)、実測 (measurement)

1. はじめに

建築物の省エネルギー化を図る上で外皮計画における熱負荷軽減は重要である。本建築は、周囲に日射遮蔽物がない大きな東西面を有した高層建築のため、建物の東西面については多層式ダブルスキンを採用している。本研究では、多層式のダブルスキンにおける実測結果と熱収支計算モデルの作成によって、ダブルスキン全体の熱収支と風の挙動を明らかにすることを目的にしている。

2. 建物概要

所在地：大阪府茨木市
主要用途：学校（大学）
敷地面積：149,236.97 m²
建築面積：1,705.37 m²
延床面積：9,186.23 m²
階数：地下1階、地上11階
最高高さ：44.07m
空調設備：空冷ヒートポンプパッケージ+全熱交換機

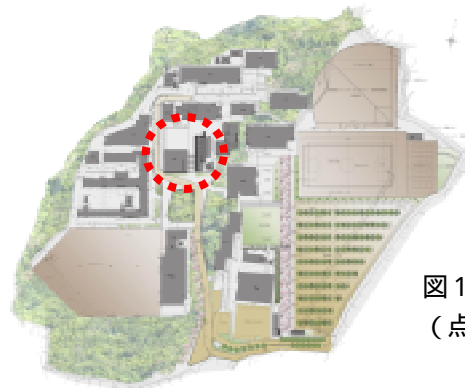


図1 敷地図
(点線部分が中央棟)

学校全体の敷地図を図1に示す。本建物は南北に長く配置し西は大阪、東は京都の街を一望できる高台に位置しており、大学の中央に位置することより、シンボルとしての機能が望まれた。又キャンパス内のどの建物からも学生と先生のコミュニケーションが見える「学びとコミュニケーションの空間」となる研究施設をつくりたい学校の要望に基づき、東西面において開口部を透明度の高いガラスとする計画とした。

本建物の平面図並びに立面図を図1に示す。写真1は建物西側の外観である。本建物の平面形状は13m×45mと南北に長い建物であり、建物高さは約45mである。日射負荷が大きい東西面の外皮性能を向上させるため多層式ダブルスキンの採用を決定した。その結果研究室からは北摂の雄大な丘陵地を眺めることができ内部執務環境向上が図れ、且つ負荷低減によるランニングコスト低減を実現した。

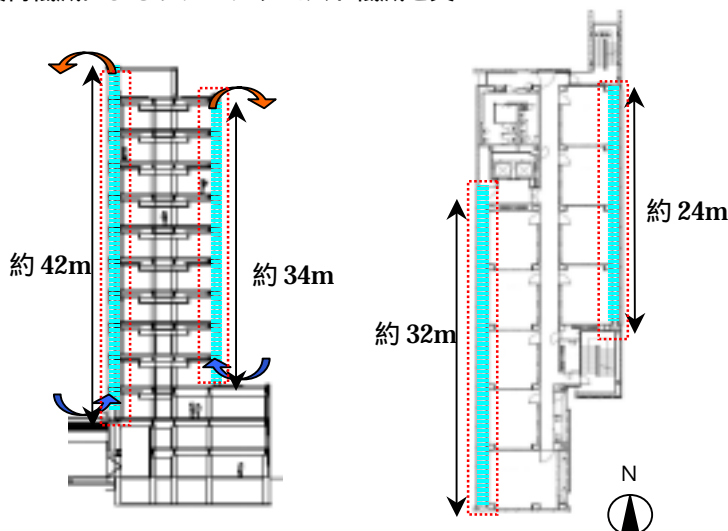


図2 中央棟平面図及び立面図（点線部分がダブルスキン）



写真1 建物西側外観

3. ダブルスキン概要

ダブルスキンの概要としては下記の通りである。写真2にダブルスキン内部写真を示す。

ダブルスキン奥行：700mm

外側ガラス：単板ガラス 15mm

内側ガラス：Low-e ガラス 12mm+A12+8mm

ロールブラインド：自動開閉式

日射センサー及びスケジュール機能により、太陽光が当たるときには強制的にブラインドを降ろすシステムとした。

またロールブラインドは内部の清掃配慮と恐怖感低減、層間区画を兼用したPCスラブを設け、そこより吊り下げの構造とした。



写真2 ダブルスキン内部写真

4. 実測概要

ダブルスキンの性能を検証するため建物西面を対象として実測を行った。西面を覆うダブルスキンは最下階から最上階まで貫通しており多層式のダブルスキンである。図3に示す箇所に各種測定機器を設置して実測を行った。対象階は2F・6F・11F・屋上とし、6Fを代表階として詳細に実測を行った。6Fにおいてはダブルスキン内の測定を行い、ロールスクリーンを境にして内側と外側の乾球温度、内側ガラス・外側ガラス・ロールスクリーン・スラブの表面温度、流入・流出風速、ロールスクリーン透過日射量を測定した。ダブルスキンに流入する風速は2Fで、流出する風速は屋上で測定した。夏季の実測期間は、2007/8/24～30（一部データの欠落があったため実質のデータは2007/8/27～30）冬季の実測期間は、2007/12/24～28とした。

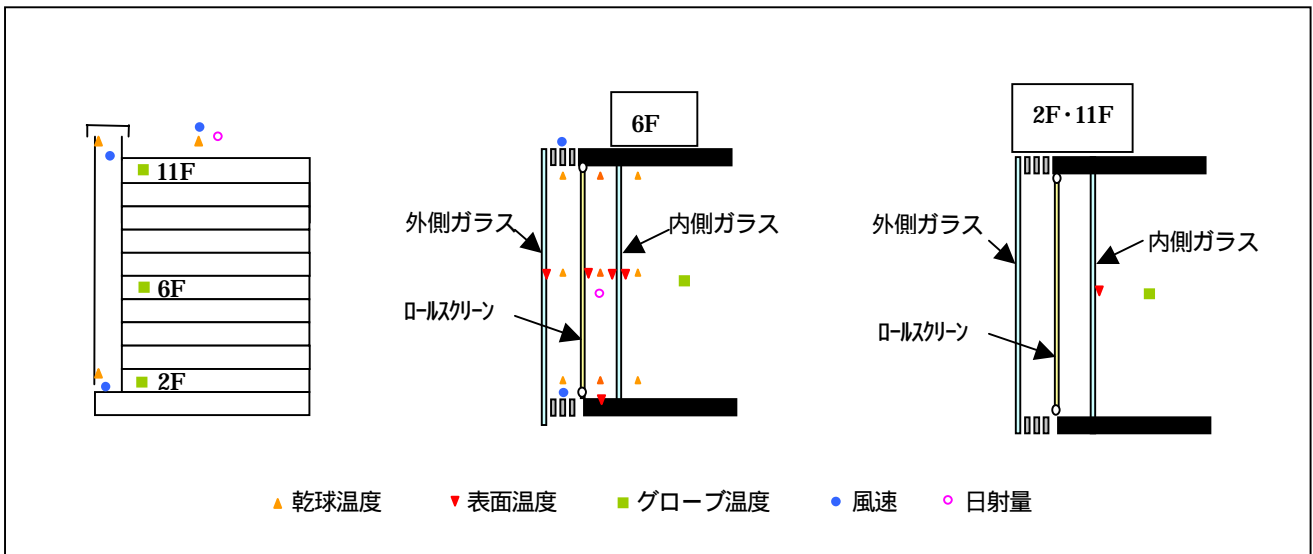


図3 測定点について

5. 夏季の実測の概要

図4に代表日（2008/8/29）における外気温と西面日射量のグラフを示す。この日は晴天であり、西面日射量が最大で761W/m²であった。図5に6Fダブルスキン内乾球温度を示す。ダブルスキン内の乾球温度に関しては最大で50程度まで上がり外気温よりも高くなること分かる。ダブルスキン内において最も高くなる部位はロールスクリーンの表面温度であり、60程度である。ロールスクリーンを境として内側と外側を比べて大きな違いはない。

図6に階毎のダブルスキン内乾球温度並びに風速を示す。乾球温度に関しては、2Fは比較的低い乾球温度を保っている。6F・11Fは2Fと比較すると特に日射がある時間に差が大きい。

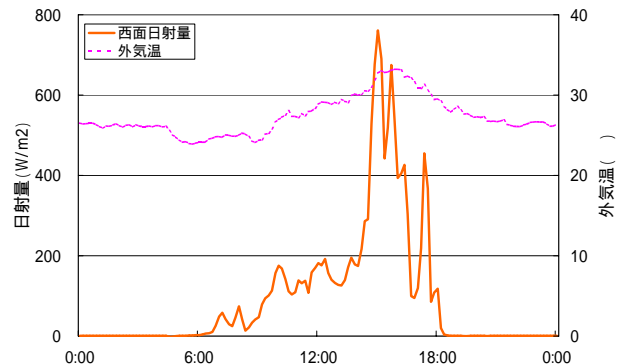


図4 外気温と西面日射量 (2008/08/29)

くなり 25 程度の差がある。また、6F と 11F でも 5 程度の差があり、上階に行くほど温度が上がるのが分かる。逆に日射のない時間帯はあまり差はなく 2F と 11F を比べても 3 程度である。

また風速については、2F の風の流入口は高いと比べ断面積が小さい（直径 5cm 程の円）ため、他階と比べて風速が大きくなっている。日射が強い時間帯では 7m/s 程度まで上昇する。上階に行くにつれて風速は小さくなるが、6F と RF ではほとんど差はない。

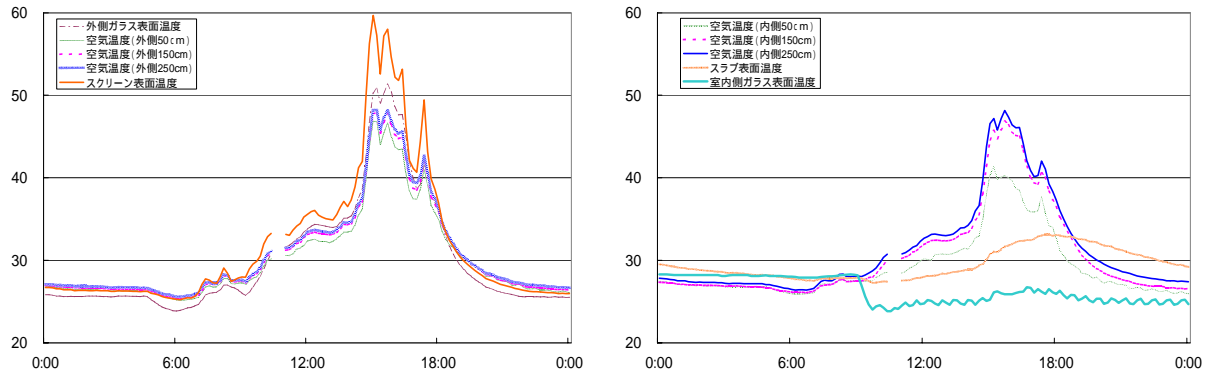


図5 6Fダブルスキン内乾球温度（2008/08/29）
（左側：スクリーン外側 右側：スクリーン内側）

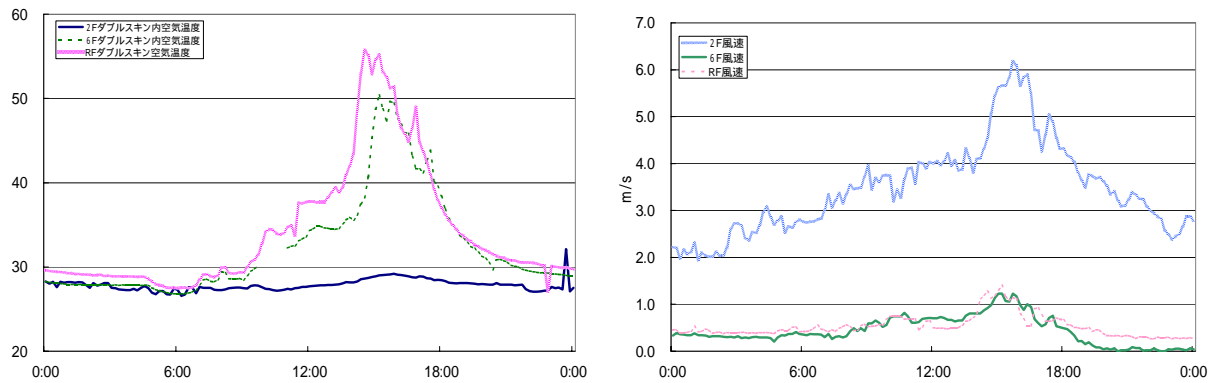


図6 階毎のダブルスキン内乾球温度及び風速（2008/08/29）

6. 冬季の実測の概要

図7に代表日（2008/12/27）における外気温と西面日射量のグラフを示す。この日は晴天であり、西面日射量が最大で $573\text{W}/\text{m}^2$ であった。図8に6Fダブルスキン内乾球温度を示す。ダブルスキン内の乾球温度に関しては最大で 40 近くまで上がり、室温が約 25 なので、これは室温よりも 15 程度高いことになる。夏季と同様に最も温度が高くなるのはロールスクリーンの表面であり最大で 45 程度である。内側窓の内表面温度よりも外表面温度やダブルスキン内気温の方が高くなっていることがわかる。

図9に階毎のダブルスキン内乾球温度並びに風速を示す。階毎のダブルスキン内に関しては、夏季とほとんど同様の傾向を示している。

風速に関しては、2Fにおける風速は夏季とほぼ同様であるが、6FとRFに差がある点が異なっている。日射がある時間帯については、6Fで $3\text{m}/\text{s}$ 程の風速があり常にRFの風速を上回っている。

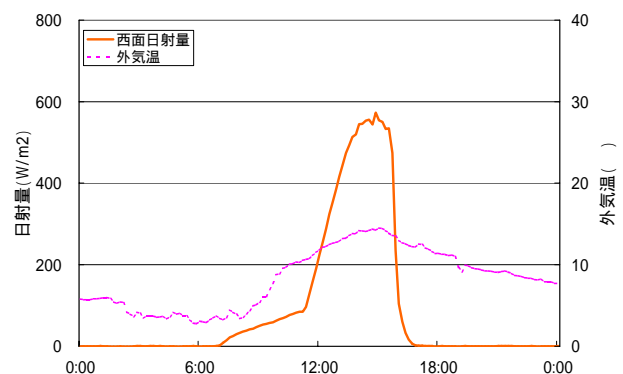


図7 外気温と西面日射量（2008/12/27）

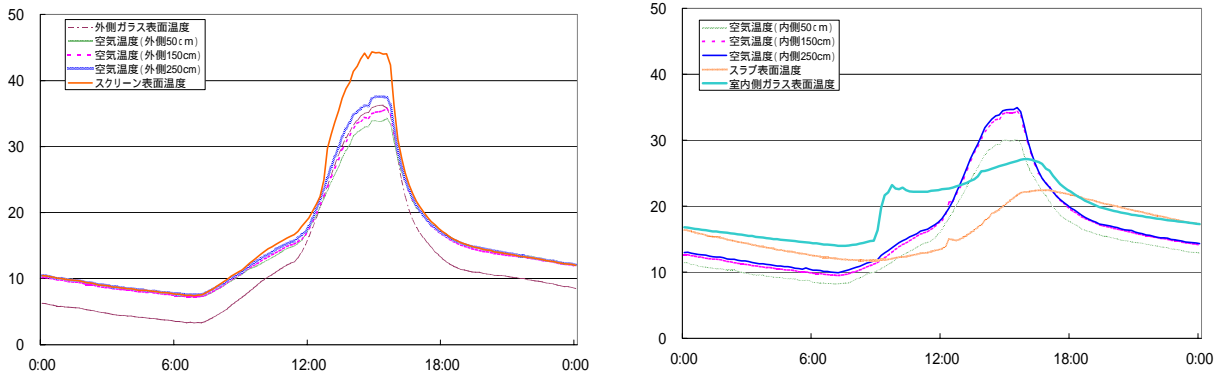


図7 6F ダブルスキン内乾球温度 (2008/12/27)
(左側：スクリーン外側 右側：スクリーン内側)

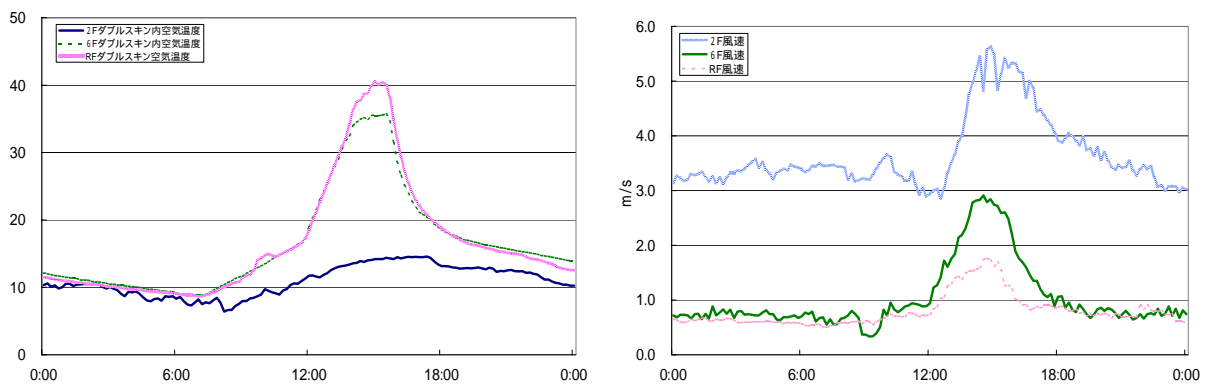


図8 階毎のダブルスキン内乾球温度及び風速 (2008/12/27)

7. ダブルスキンの効果についての試算

ダブルスキンの性能については、日射熱負荷並びに貫流熱負荷にて評価した。比較対象は Low-e + ブラインドシステムとし、温度・日射量については実測値を用い、熱負荷を計算にて求めている。図9に最大時の熱負荷の比較を示す。晴天日において日射熱負荷が大きく削減される為 Low-e + ブラインドに比べて全体負荷は夏期において 25.6%、冬期において 23.9% となり、省エネルギーな窓システムであるといえる。夏期最大日射量時 (8月29日 15:29) の熱負荷について図10に示す。ダブルスキンシステムが日射成分をダブルスキン内で処理し、暑くなった空気を屋上の排出口にて排出することにより、Low-e + ブラインドに比べて熱負荷が小さくなるのが分かる。

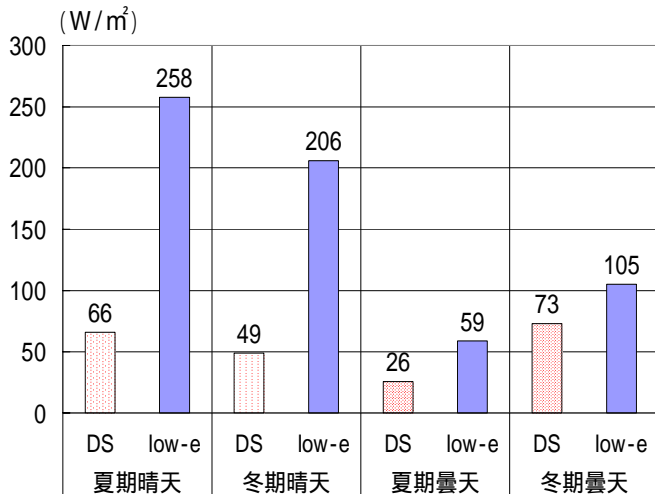


図9 熱負荷の比較

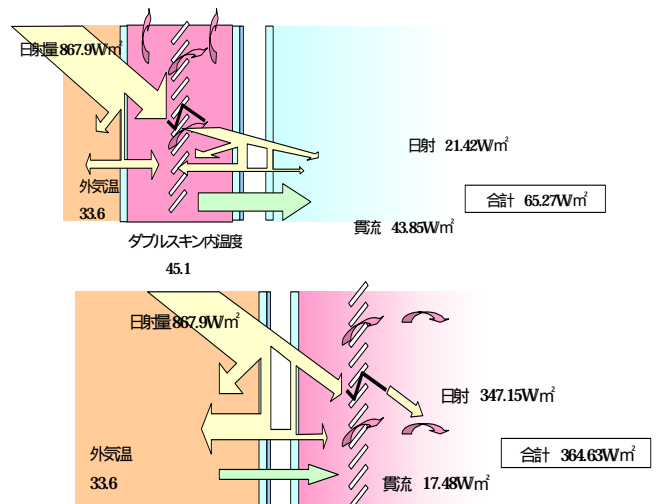


図10 最大日射量時の熱負荷比較
上図：ダブルスキン 下図：Low-e + ブラインド

8. ダブルスキンの熱収支計算モデルの構築

8.1 熱収支計算モデルの概要

ダブルスキン内の熱収支について明らかにするため、熱収支計算モデルを作成し、実測値との比較を行った。現段階でのモデルは、6階におけるダブルスキンのみを対象としたものである。横幅1m、奥行き0.7m(空気の流れる幅は0.2m)、高さ3mの単位ユニットを想定し、定常を仮定して熱収支計算を行った。本モデルは外側ガラス、外側中空層、ロールスクリーン、内側中空層、Low-e ガラス外側表面、Low-e ガラス内側表面、スラブ温度についてそれぞれ熱収支式を立て、連立して解くものである。外気温、室内気温、日射量、ダブルスキン内風速を入力要素として、ガラス・ロールスクリーンの表面温度とダブルスキン内の乾球温度を出力する。その出力値と実測値を比較し検討を行う。具体的な連立方程式と概念図を図11に示す。

$$I\phi_{w1} + \alpha_1(\theta_0 - \theta_{w1}) - \alpha_2(\theta_{w1} - \theta_{a1}) + \alpha_o(\theta_0 - \theta_{w1}) - F_{w1,s}\epsilon_{w1,s}\chi_{w1,s}(\theta_{w1} - \theta_s) = 0 \quad (\text{外側ガラス})$$

$$\alpha_2(\theta_{w1} - \theta_{a1}) - \alpha_2(\theta_{a1} - \theta_s) - C_p\rho V(\theta_{up} - \theta_{below}) = 0 \quad (\text{外側空気層})$$

$$I\tau_{w1}\phi_s + \alpha_2(\theta_{a1} - \theta_s) - \alpha_3(\theta_s - \theta_{a2}) + F_{w1,s}\epsilon_{w1,s}\chi_{w1,s}(\theta_{w1} - \theta_s) - F_{s,w2}\epsilon_{s,w2}\chi_{s,w2}(\theta_s - \theta_{w2}) - F_{s,c}\epsilon_{s,c}\chi_{s,c}(\theta_s - \theta_c) = 0 \quad (\text{ロールスクリーン})$$

$$\alpha_3(\theta_s - \theta_{a2}) - \alpha_3(\theta_{a2} - \theta_{w2}) - \alpha_3(\theta_{a2} - \theta_c) - C_p\rho V(\theta_{up} - \theta_{below}) = 0 \quad (\text{内側空気層})$$

$$I\tau_{w1}\tau_s\phi_{w2} + \alpha_3(\theta_{a2} - \theta_{w2}) - \alpha_4(\theta_{w2} - \theta_{w3}) + F_{s,w2}\epsilon_{s,w2}\chi_{s,w2}(\theta_s - \theta_{w2}) - F_{w2,w3}\epsilon_{w2,w3}\chi_{w2,w3}(\theta_{w2} - \theta_{w3}) - F_{w2,c}\epsilon_{w2,c}\chi_{w2,c}(\theta_{w2} - \theta_c) = 0 \quad (\text{Low-e 外側})$$

$$I\tau_{w1}\tau_s\tau_w\phi_{w3} + \alpha_4(\theta_{w2} - \theta_{w3}) - \alpha_5(\theta_{w3} - \theta_i) + F_{w2,w3}\epsilon_{w2,w3}\chi_{w2,w3}(\theta_{w2} - \theta_{w3}) - \alpha_i(\theta_{w3} - \theta_i) = 0 \quad (\text{Low-e 内側})$$

$$C\gamma\frac{\theta_c - \theta_c^-}{\Delta t} = \alpha_5(\theta_{a2}^- - \theta_c^-) + F_{s,c}\epsilon_{s,c}\chi_{s,c}(\theta_s^- - \theta_c^-) + F_{w2,c}\epsilon_{w2,c}\chi_{w2,c}(\theta_{w2}^- - \theta_c^-) \quad (\text{スラブ表面})$$

1	熱伝達率 外気と外ガラス(W/m ² *K)	18.00
2	熱伝達率 外側空気層(W/m ² *K)	10.00
3	熱伝達率 内側空気層(W/m ² *K)	10.00
4	熱伝達率 Low-eガラス空気層(W/m ² *K)	0.30
5	熱伝達率 Low-eガラス内側と室内(W/m ² *K)	4.10
w1	外窓の日射吸収率	0.35
w1	外窓の日射透過率	0.66
s	スクリーンの日射吸収率	0.41
s	スクリーンの日射透過率	0.19
w2	Low-eガラス外側の日射吸収率	0.03
w2	Low-eガラス外側の日射透過率	0.69
w3	Low-eガラス内側の日射吸収率	0.02
w1,s	有効放射率 単版ガラスとスクリーン	0.82
s,w2	有効放射率 単版ガラスとスクリーン	0.82
w2,w3	有効放射率 Low-e面と単版ガラス	0.10
s,c	有効放射率 スクリーンとコンクリートスラブ	0.82
w2,c	有効放射率 単版ガラスとコンクリートスラブ	0.82
Xw1,s	線形近似時の係数 外ガラスとスクリーン	5.40
Xs,w2	線形近似時の係数 スクリーンと内ガラス外側	5.40
Xw2,w3	線形近似時の係数 Low-eガラス外側と内側	5.40
Xs,c	線形近似時の係数 スクリーンとスラブ	5.40
Xw2,c	線形近似時の係数 Low-eガラス内側とスラブ	5.40
Fw1,s	形態係数 外ガラスとスクリーン	0.80
Fs,w2	形態係数 スクリーンとLow-eガラス外側	0.55
Fw2,w3	形態係数 Low-eガラス外側と内側	1.00
Fs,c	形態係数 スクリーンとコンクリートスラブ	0.32
Fw2,c	形態係数 Low-eガラス外側とスラブ	0.32
Cp	空気の比熱(J/kg*K)	1020.00
C	空気の密度(kg/m ³)	1.20
C	スラブの比熱(J/kg*K)	840.00
C	スラブの密度(kg/m ³)	2000.00
1	放射率(単版ガラス)	0.90
2	放射率(スクリーン)	0.90
3	放射率(Low-e面)	0.10
4	放射率(スラブ)	0.90
1	外窓の日射吸収率	0.28
1	外窓の日射透過率	0.66
1	外窓の日射反射率	0.06
2	スクリーンの日射吸収率	0.44
2	スクリーンの日射透過率	0.19
2	スクリーンの日射反射率	0.37
3	Low-eガラスの日射吸収率	0.44
3	Low-eガラスの日射透過率	0.40
3	Low-eガラスの日射反射率	0.16

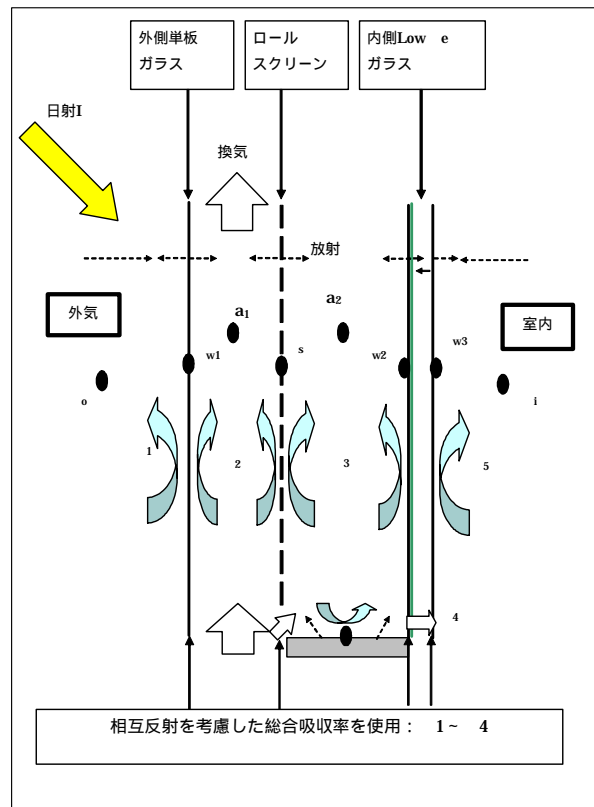


図11 熱収支計算の概念図

8.2 熱収支計算モデルによる計算結果と実測値の比較

熱伝達率、日射吸収率、放射率などのパラメータを文献・カタログなどから決定し、再現計算を行った。

代表として外側中空層と内側中空層の乾球温度について実測値と計算値を比較したものを図12に示す。

夏季については概ね計算値と実測値が合う結果となったが、冬季については若干の違いが見られた。これは冬季における、日射高度が夏季に比べて低くなるため、スクリーンへの日射吸収率に変化が見られるためであると考えられ、計算に改善の余地があると思われる。

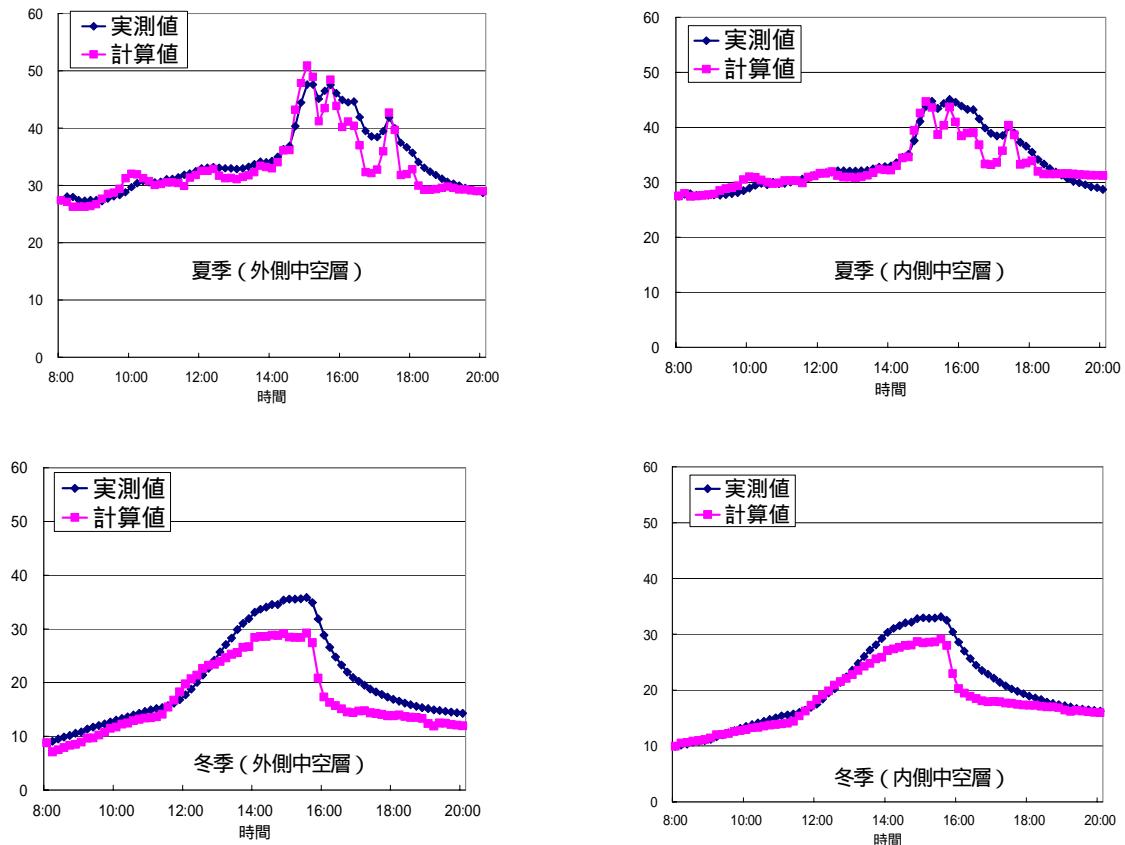


図12 計算モデルと実測値の比較

9. まとめと今後の展開

夏期と冬期における実測とダブルスキンの熱収支計算の結果によって、ダブルスキンファサードの熱特性を検討した。日射を受けたダブルスキン内で生じた風速により換気による熱排出が行われ、熱負荷の軽減に繋がっていることが示された。冬季においても換気により熱排出が行われてはいるが、ダブルスキン内での発熱による熱負荷軽減効果は大きいものになっていた。

今後はこのモデルの精度を高め、多層式ダブルスキンでの解析結果を得ることにより、設計へフィードバックしたいと考えている。また、換気の挙動に注目しダブルスキンの熱収支の詳細を考察する。

謝辞：本実測に協力いただきました追手門学院様並びに神戸大学森山研究室の皆様には謝辞を申し上げます。

参考文献

- 1) 田中 俊六、足立 哲夫、武田 仁、土屋 喬雄：最新 建築設備工学 井上書院 1999年9月
- 2) 郡 公子：ペリメータレス空調のための窓システムの評価に関する研究 第1報 窓側放射環境の評価法 日本建築学会計画系論文集 第539号, 7-13 2001年1月 pp.7~12
- 3) 北原 知治 他：寒冷地に建つアトリウムとダブルスキンファザードを持つ複合施設の環境性能評価 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 2007年8月 pp.1337~1345