

多機能型ダブルスキンNEXAT[®]の実測評価

三小田 憲 司 山 本 雅 洋
(本店設備設計部)

Result of Measurement of Multi-Function Double Skin “NEXAT”

Kenji Mikoda Masahiro Yamamoto

Abstract

Our companies have developed a multi-function double skin glazing system called “NEXAT” and installed it in an office building. With its high insulation cover and good solar performance, this system achieves excellent energy conservation. The air-layer of standard type double skin is connected from ground floor to top floor. On the other hand, the air-layer of NEXAT is concluded single floor unit thanks to a switch damper control. NEXAT can be widely applied to various buildings, for example, renewal building work on the ground that it is not necessary to make sure of large space. This paper reports on the annual thermal performance evaluation of NEXAT in the office building. The experimental results indicate that the solar shading and insulation performance of NEXAT are better than those of other window systems and standard type double skin too.

概 要

当社が開発した多機能型ダブルスキンサッシ「NEXAT」を事務所ビル実施物件に導入した。ダブルスキンとは、2枚のガラスの間に外気を通風させる機能を持つ窓のことで、日射遮蔽性と断熱性を兼ね備える省エネ性に優れた窓である。従来のダブルスキンは、地上階から最上階まで吹抜構造となっているが、NEXATはダンパーによる流通経路の切替えにより、フロア単位で完結する各階制御方式であり、コンパクト構造でリニューアル対応が容易である。本論文では、NEXAT実施物件における熱的性能年間評価について報告する。年間実測評価を行った結果、他方式窓システムに対する日射遮蔽性能や断熱性能の優位性が明らかとなった。また、総合的に従来ダブルスキンに対する優位性も明らかとなった。

1. はじめに

近年、ガラスの透明性を生かして、デザイン性、眺望確保、心理的開放感創出をコンセプトとするガラス建築物が増加している。その一方で、建物外皮における窓面積の増加に対して、省エネルギーの観点より窓面熱負荷の低減や、室内快適性の保持が求められている。建物外皮の開放性を確保しながら遮熱性能を上げる手法として、窓を2重化してその中の空気を流通させるダブルスキンがあるが、従来のダブルスキンはFig. 1のように、下の階

から上の階までつながる吹抜け型であったため、フロア単位の細かい機能調節は不可能であった。そこでFig. 2のように、フロア単位でダブルスキンの上部と下部に開口部を設け、各々の開口部に切り替え機能を持たせ、フロアごとにダブルスキン内の空気の流れを調節する多機能型ダブルスキンNEXATを当社と新日軽株式会社が共同して開発した。NEXATの特徴は、ダンパー切替えによる各階制御方式により各階毎に均一な室内熱環境を実現できる他、サッシ幅が従来ダブルスキンより小さく、リニューアル対応も容易な点にある。

ダブルスキンの熱的性能評価に関して、吹抜け構造型については実施建物を対象とした年間実測評価が行われている^{1),2)}などが、各階制御式の薄型ダブルスキンの熱的性能は、十分に解明されているとは言えない。そこで本報では、実施適用物件を対象とした年間実測結果をベースに、各階制御式の薄型ダブルスキンの熱特性評価及び室内温熱環境評価を行った。

2. 多機能ダブルスキンNEXATの概要

2.1 建物およびダブルスキンの概要

NEXATを適用した大林組道路技術研究所の外観はPhoto 1に示す通りで、一般の窓と見分けがつかないスマ

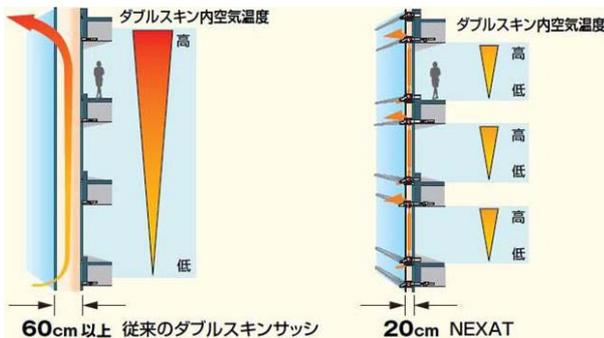


Fig. 1 従来ダブルスキン Standard Double Skin Fig. 2 各階制御式ダブルスキン Single Story Double Skin



Photo 1 建物外観
Outside of Building



Photo 2 ダブルスキン内観
Inside of Double Skin

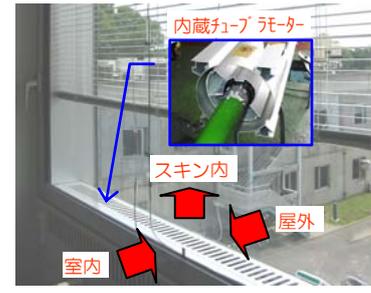


Photo 3 切替ダンパー
Motor Switch Damper

ートな外観となっている。同建物は延べ床面積1,291m²、RC造3階建の事務所建築で、3階事務室の南東面に試験的にNEXATを採用した。直達日射は午前10時頃をピークとして、午前中に窓面に入射している。Photo 2にダブルスキン内観を示す。NEXATはフロア単位で完結する構造となっており、各種比較実験を想定して、運転制御は2系統に分けている。Photo 3に下部開口部廻りを示す。上下開口部には各々チューブラモーターを内蔵した切替えダンパーを設置している。室内側、屋外側、スキン内に開口スリットがあり、内蔵チューブラモーターを回転させると、3つあるスリットのうちの1つを塞ぐ仕組みになっており、室内外の温熱環境に応じて空気の流通経路を自動的に切替えている。Table 1にはNEXATの仕様を示す。上下開口部の窓枠に対する開口率は19.5%となっている。ブラインドは、窓面の視界確保を目的として、通常水平スラットで運用している。

Table 1 ダブルスキンの仕様
Details of Double Skin

窓枠サイズ	W1, 615mm×H2, 215mm×D200mm(4連窓)
窓面積	W1, 480mm×H1, 810mm(4連窓)
開口スリット	0.063m ² (4連窓×上下2ヶ所)
外ガラス	熱線吸収ガラス10mm
ブラインド	電動式ソフトグレー色
内ガラス	透明板ガラス10mm

射量が小さい場合は上下ダンパーを密閉する断熱モードで運転する。中間期昼間には、直達日射がある場合は遮熱モードで運転し、日射量が小さい場合は下部換気口より冷涼外気を取り入れ、空調レタンに合流させる「外気冷房モード」を中心に運転している。中間期夜間は、上部換気口から冷涼外気を取り入れて、下部換気口より室内に吹出す「ナイトパージモード」を軸に運転を行っている。各モードの運転切替は、温度、日射量、エンタルピー等のセンサー情報により、自動的に行っている。

2.2 運転制御方法

Fig. 3に各期におけるNEXATの代表的運転モードを示す。夏期昼間には、下部換気口より外気を取り入れて上部換気口から屋外に排気する「遮熱モード」を中心に運転している。冬期には、直達日射がある場合は室内開放してレタンファンに接続するエアフローウィンドウ（以下AFWとする）モードで運転して熱回収を行い、日

2.3 測定方法

2005年9月の測定開始以降、測定項目の変更・追加を適宜行い、窓廻りの熱収支算定に必要な計測体制を整えた結果、最終的にはTable 2及びFig. 4に示す計測内容に至った。運転制御条件に関連する計測データは、自動計測システムにより1分間隔で記録し、運転制御システムと連動している。

注) 各期に運転比率の高いモードを代表的運転モードとして表示したものであり、他期運転モードが出現することも有り得る。

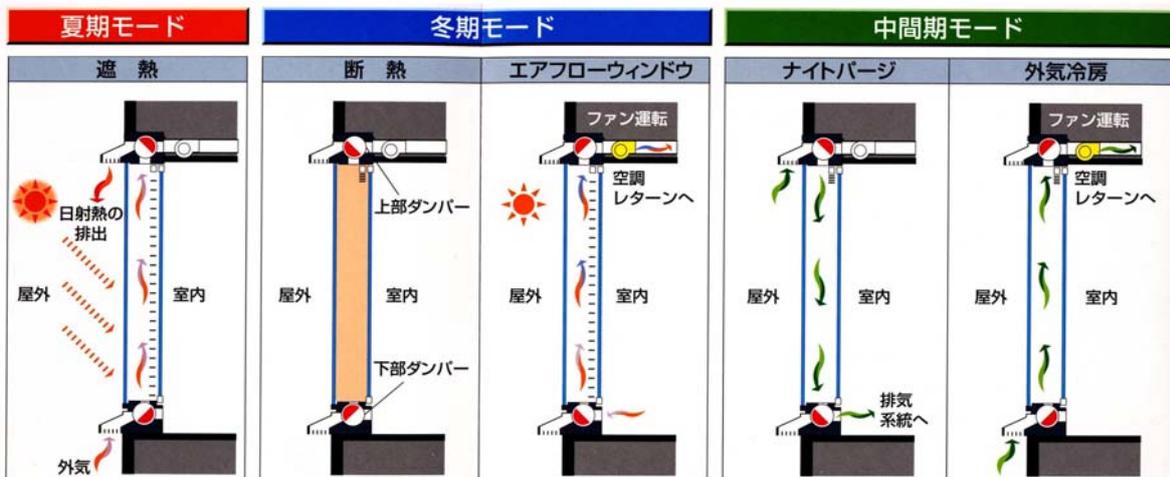


Fig. 3 各期におけるNEXATの代表的運転モード
Typical Operating Mode of NEXAT at Each Period

Table 2 測定項目
Items of Measurement

対象 No.	測定項目	凡例
外界気象	1 外気温度	●
	2 外気露点温度	■
	3 外気エンタルピー	▲
	4 水平面全天日射量	☀
	5 風向・風速	▶
	6 雨量	☔
室内	7 室内温度(室内・窓近傍各1)	●
	8 室内湿度(室内・窓近傍各1)	○
	9 室内エンタルピー	▲
ダブルスキン	10 上部開口部温度	●
	11 上部開口部湿度	○
	12 上部開口部エンタルピー	▲
	13 上部開口部風速	▶
	14 ガラス表面熱流(外・内各1)	■
	15 ガラス表面温度(外・内各1)	●
	16 ガラス透過日射量(外・内各1)	☀
	17 空気層温度(上下4点)	●
	18 ブラインド表面温度	●

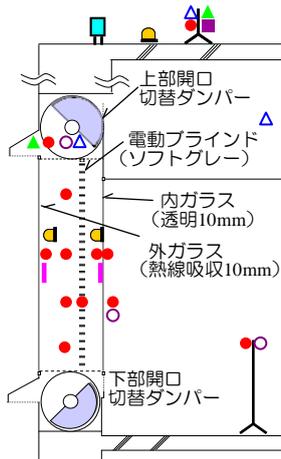


Fig. 4 測定地点
Points of Measurement

3. 各期代表日の測定結果

3.1 夏期代表日の運転結果 (遮熱)

夏期昼間は遮熱モードを中心に運転している。Fig. 5 には、典型的な真夏日で夏期代表日とした8月7日の窓面各部位の温度を示す。窓A (左図) は内窓を開放してシングル窓 (熱線吸収10mm) に変更し、窓B (右図) はダブルスキン遮熱モードとした。ダブルスキンの室内側窓ガラス表面温度は最高でも34℃止まりで、シングル窓より11℃低く抑えられた。Fig. 6には、窓面での入射・透過日射量を示す。シングル窓 (熱線吸収10mm) の日射透過率は0.30~0.35に対して、ダブルスキン内ガラスの日射透過率は0.03~0.07で推移し、窓からの眺望も確保した水平ブラインドの状態でも日射遮蔽性能が高いことが確認された。Fig. 7には、ダブルスキン空気層内の鉛直温度分布を示す。上部排気温度は11時には45℃になり、スキン内空気層の鉛直温度差は12℃に達した。空気層の中央部から上部にかけて高温化し、しかも上部で温度上昇が止まっており、空気層上部にはやや熱溜まりが生じていると考えられ、上部開口部の排気構造等に改善の余地があると推測される。

3.2 中間期代表日の運転結果 (遮熱および外気冷房)

中間期昼間は、晴天日は遮熱モードを中心に、曇天・雨天日は外気冷房モードを中心に運転し、夜間はナイトページモードを中心に運転している。Fig. 8には、晴天に恵まれた中間期遮熱モード代表日 (10月19日) における窓面各部位の温度を示す。窓A (左図) はシングル窓に変更し、窓B (右図) はダブルスキンで、昼間は遮熱モードを中心に運転した。ダブルスキンの室内側窓ガラス表面温度の日最高値は34℃で、夏期代表日と同様にシングル窓より11℃低く抑えられた。

Fig. 9には、薄曇り日の外気冷房モード代表日 (10月20日) におけるダブルスキン各部位の温度を示す。窓A (左図) は手動運転に切替えてダブルスキン断熱モードとし、

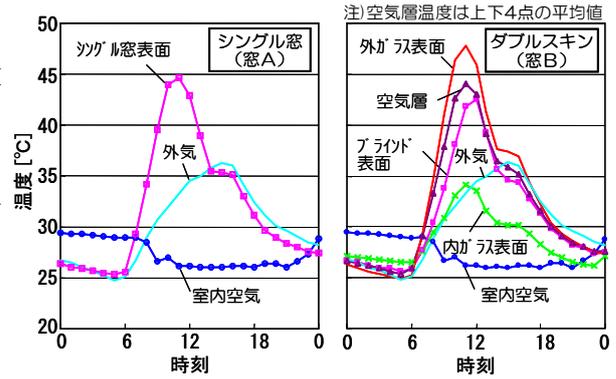


Fig. 5 夏期遮熱モード時の窓面温度 (2006. 8. 7)
Temperature of Windows at Heat Shading Mode

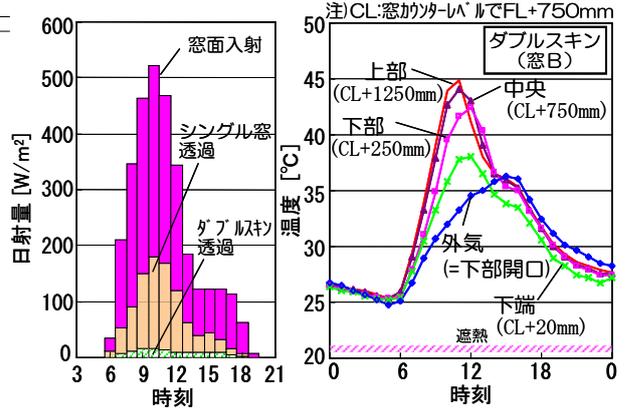


Fig. 6 窓面日射量 (2006. 8. 7)
Solar Radiation of Windows

Fig. 7 空気層鉛直温度分布 (2006. 8. 7)
Vertical Temperature of Air Layer

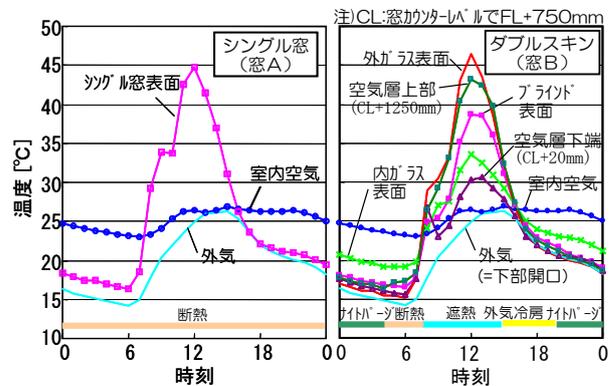


Fig. 8 中間期遮熱運転時の窓面温度 (2006. 10. 19)
Temperature of Windows at Heat Shading Mode

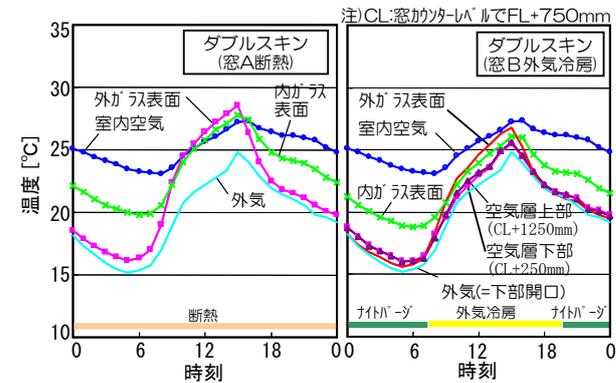


Fig. 9 中間期外気冷房時の窓面温度 (2006. 10. 20)
Temperature of Windows at Free Cooling Mode

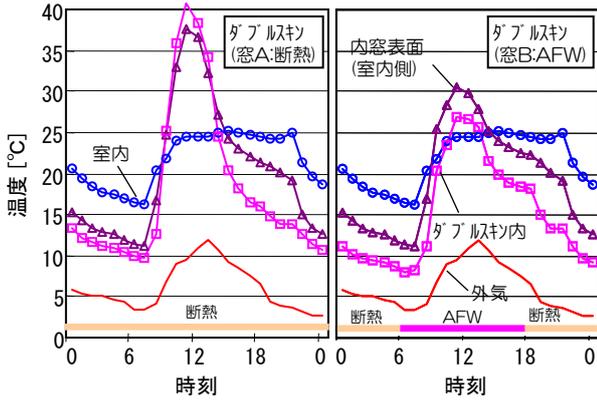


Fig. 10 冬期晴天日の窓面温度 (2006. 3. 3)
Temperature of Windows at Winter Sunny Day

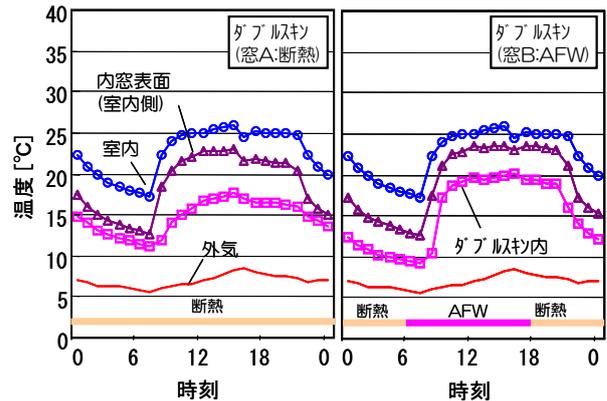


Fig. 11 冬期曇天日の窓面温度 (2006. 3. 10)
Temperature of Windows at Winter Cloudy Day

窓B (右図) は自動制御により昼間は外気冷房を中心に運転された。その結果、ファンを稼働して冷涼な外気を通風させることで、日中の室内側窓ガラス温度は2°C下がることを確認できた。空気層内の鉛直温度差も小さく、外気温度に近い温度で推移していることから、外気冷房時には空気層内の外気循環が順調に行われたと言える。

3.3 冬期代表日の運転結果 (AFWおよび断熱)

冬季昼間は、直達日射がある場合はAFWモードによる熱回収を行い、直達日射がない場合は断熱性を重視した断熱モードで設定している。冬期に昼間に窓Aは断熱モード、窓BはAFWモードとして、晴天日と曇天日について比較実験を行った。Fig. 10には、晴天日代表日 (3月3日) のダブルスキン各部位の温度分布を示す。ダブルスキン内の空気温度は、午前11~12時に断熱モード (窓A) では最高41.0°Cに達したが、AFWモード (窓B) では26.9°Cまで下がり、レタンファンにより温熱回収が行われ、冬期晴天日の昼間にはAFW運転による温熱回収が可能であることが示された。Fig. 11に曇天日代表日 (3月10日) のダブルスキン各部位の温度分布を示す。断熱モード (窓A) の室内側窓表面温度は、昼間は20.3~23.0°Cで推移し、コールドドラフトの心配もなく、AFWモード (窓B) より1°C低い程度であった。室内熱環境への影響は、断熱モードとAFWモードに差はなく、寒冷日における断熱モードの有用性が確認された。

4. 測定データの解析評価

4.1 各運転モードの性能評価

Table 3の評価指標を用いて、運転モード別に冷房時の熱除去効果及び暖房時の熱回収効果について評価した。

4.1.1 夏期遮熱モードの排熱効果 Fig. 12には9月後半における遮熱モード時の平均換気回数と窓1m²当たりの排熱量推定値を示す。平均換気回数は40~50回程度で、従来型のダブルスキン実施物件と同程度であったが、NEXATは容積が小さいため、平均排熱量は推定25~45W/m²にとどまった。

4.1.2 中間期外気冷房モードの熱除去効果 Fig. 13

table 3 評価指標の算定方法
Calculation Method of Thermal Index

運転モード	評価指標	算定式
遮熱	排熱量	$Q_{OUT} = c \rho v A_{DS} (T_{out} - T_{in})$
	換気回数	$n = \frac{v A_{DS}}{V_{DS}}$
外気冷房	除去熱量 (窓1m ² 当り)	$Q_{RAL} = \frac{(E_{DS} - E_o) \times (\rho v A_{DS})}{A_w}$
	回収熱量 (窓幅1m当り)	$Q_G = \frac{(E_{DS} - E_R) \times (\rho v A_{DS})}{L_w}$

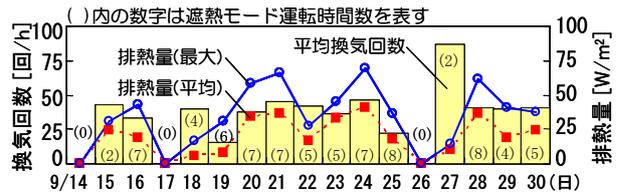


Fig. 12 遮熱モード時の換気回数と排熱量
Air Change Rate and Heat Removal at Heat Shading Mode

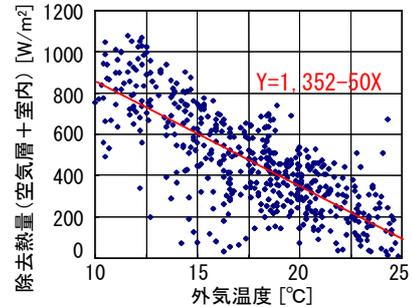


Fig. 13 外気冷房時の除去熱量と外気温度の関係
Correlations between Heat Removal and Outdoor Temperature at Free Cooling Mode

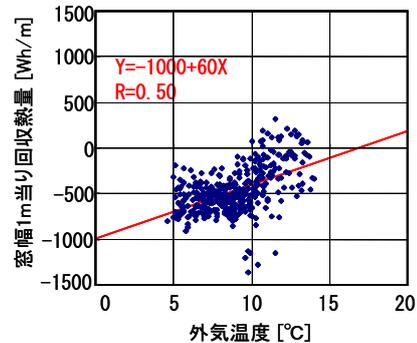


Fig. 14 AFW運転時の回収熱量と外気温度の関係
Correlations between Heat Recovery and Outdoor Temperature at AFW Mode

には、窓1m²当たりの外気冷房による除去熱量と外気温度の関係を示す。除去熱量は100~850W/m²程度と推定され、ファン所要動力を考慮しても室内熱除去効果が大いことが確認された。ダブルスキン方式における外気冷房は、日射熱取得率の軽減に貢献し、有効であると言える。

4.1.3 冬期AFWモードの熱回収効果 Fig. 14には、AFW運転時の回収熱量と外気温度の関係を示す。AFW運転時の回収熱量と外気温度との間には、ある程度の相関性を確認できた。暖房時の室温が25~28℃と高いため、AFW運転中は室内の熱によってスキン内を暖めている結果となり、1日を通して熱回収ではなくダブルスキン内の空気加熱に作用した。そのため、冬期のAFW運転は内ガラスの表面温度低下を防ぎ、コールドドラフトによる室内快適性の悪化防止には貢献したが、熱回収効果は認められなかった。冬期暖房時、室温設定が一般事務所レベルの22℃で運用されれば、晴天日昼間には日射熱の回収も期待できると考えられる。

4.2 日射熱収支の推定結果

Fig. 15にブラインド付ダブルスキンの熱収支モデル(遮熱モード)を定義した。空気層の温度T_{DS}は鉛直方向4点の平均温度で扱い、1次元の熱収支モデルで表した。ここで、屋外側総合熱伝達率α_oはコルゲスの式を用いて算定した。空気層内の対流熱伝達率α_c及び放射熱伝達率α_rは4.6 W/m²Kを与えた。Fig. 16には、夏期遮熱モード代表日における各部位の伝熱成分を示した。外ガラスでは、吸収日射熱量の70%以上が屋外へ放熱された。水平ブラインドと空気層については、日射量のピークと重なる10時まではブラインドが空気層からの加熱を受け、ブラインドが十分に加熱された10時以降はブラインドが空気層を加熱するようになった。これはブラインドと空気の熱容量の違いによると考えられる。内ガラスでは、室内には40~60W/m²Kの日射熱負荷が発生した。

Fig. 17には、各期負荷ピーク時の窓面日射熱収支を示す。入射日射量を基準にすると、夏期遮熱モードの8月9日11時には、室内への伝熱成分が約20%、ダブルスキン排熱が約10%で、残りが屋外への反射・放熱及びガラス・窓枠からの放熱成分と推定された。中間期外気冷房モードの10月20日12時には、外気温度が室温より低い状況でファンによる強制循環を行っているため、外気冷房による空気層の熱除去効果が非常に高く45%に達した。室内への伝熱成分はわずか3%で、室内冷房負荷の大幅な軽減効果が認められた。冬期断熱モードの12月19日9時には、空気層の保温効果が効いて、室内損失熱量は外ガラス面から屋外に損失する熱量の1/6程度となった。

4.3 NEXATの熱性能値の推定結果

Table 4に示した算定方法により、設計資料として広く利用されている窓の各種熱性能値を推定した。Fig. 18では、遮熱モード(水平ブラインド)におけるNEXATの夏期日射透過率を線形回帰分析により推定した。直達

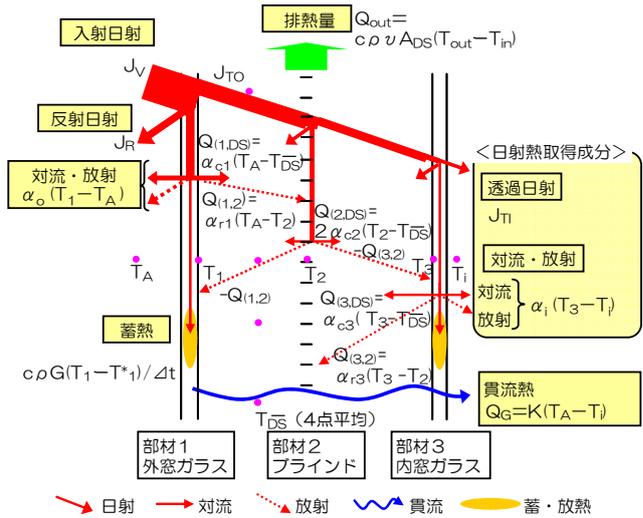


Fig. 15 ダブルスキンの熱収支モデル(遮熱モード) Heat Balance Model of Double Skin at Heat Shading Mode

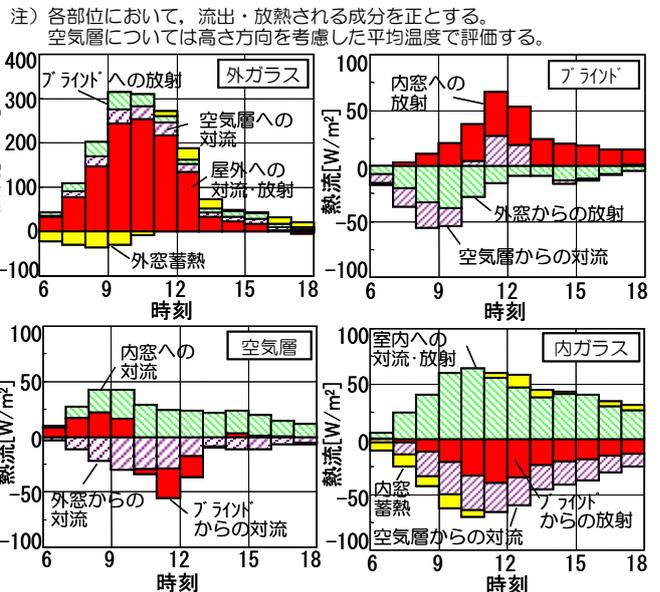


Fig. 16 NEXAT構成各部位の対流、放射、蓄・放熱による伝熱成分 (2006. 8. 7) Heat Transfer by Convection and Radiation and Heat Storage or Heat radiation at the Parts of NEXAT

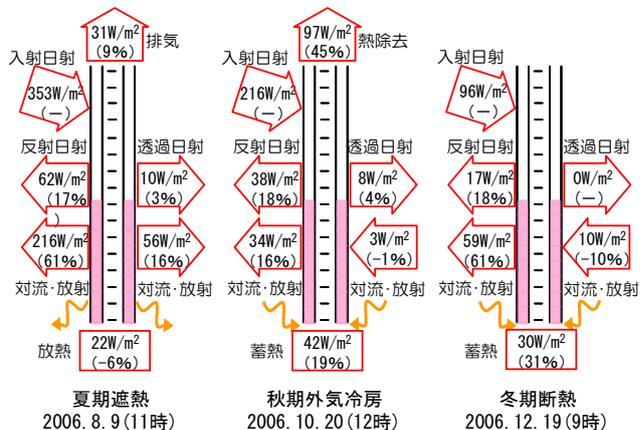


Fig. 17 各期負荷ピーク時の日射熱収支 Solar Radiation Balance of NEXAT at Heat Peak Load

注) 日射透過率, 日射熱取得率算定における日射量, 日射取得熱量は, 晴天日の8~12時の1~5分間隔測定データを10分間平均データとして用いた。熱貫流率算定における窓面損失熱量及び(窓近傍温度-外気温度)は, 0~4時の2~5分間隔測定データを10分間平均データとして用いた。

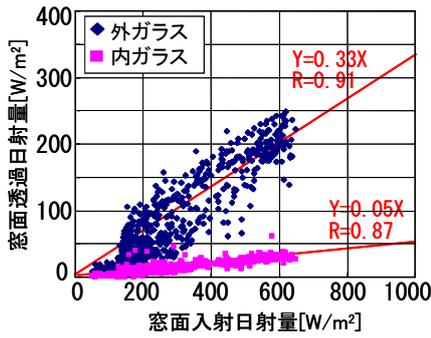


Fig. 18 夏期の日射透過率
Solar Transmittance at August

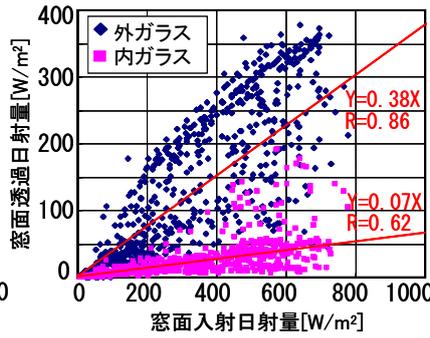


Fig. 19 秋期の日射透過率
Solar Transmittance at October

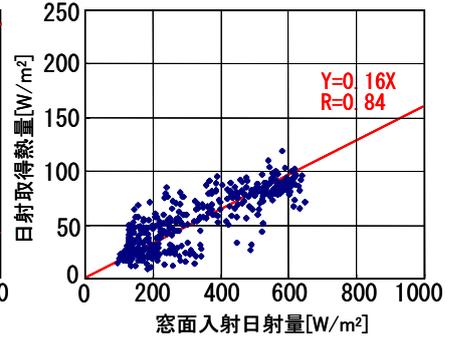


Fig. 20 遮熱モード時の日射熱取得率
Solar Heat Gain Coefficient
at Heat Shading Mode

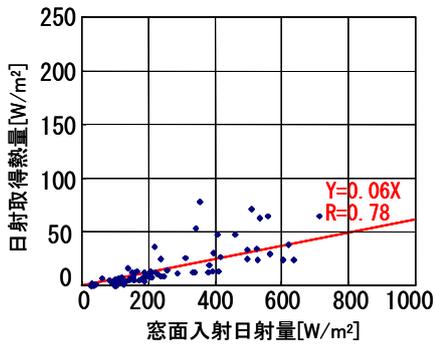


Fig. 21 外気冷房時の日射熱取得率
Solar Heat Gain Coefficient
at Free Cooling Mode

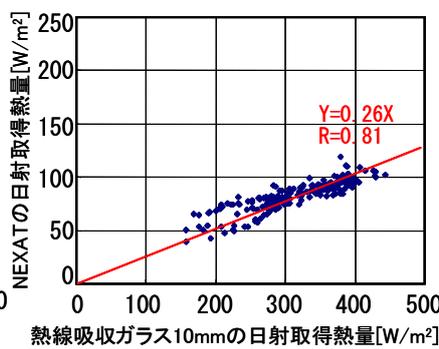


Fig. 22 夏期の日射遮蔽係数
Shading Coefficient

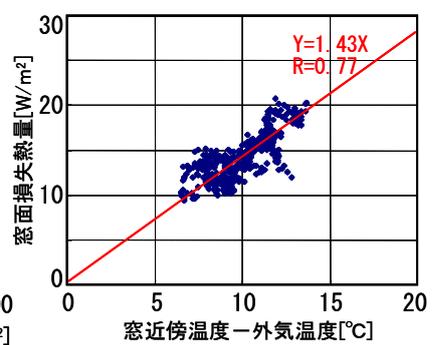


Fig. 23 冬季の熱貫流率
Over-all Coefficient of
Heat Transfer

日射の窓入射角特性の影響や不作為のブラインド操作が原因と見られるデータのばらつきもあるが, 相関性の高い直線回帰式が得られ, 日射透過率は外ガラスが0.33, 内ガラスが0.05と推定された。Fig. 19には, 外気冷房モード(水平ブラインド)における秋期日射透過率の推定結果を示す。夏期より入射角が小さいため水平ブラインドでの透過率はやや大きくなったが, やはり高い日射遮蔽性能が認められた。Fig. 20では, 遮熱モードにおける日射熱取得率を推定した。ここで, 室内側総合熱伝達率 α_i は9.3 W/m²K, 熱貫流率は1.43W/m²Kを与えた。遮熱モード時の日射熱取得率は0.16と推定され, 高い日射遮蔽性能が確認された。Fig. 21では, 外気冷房モード時の日射熱取得率を推定した。10~25°Cの冷涼な外気のスキン内通風によって, 窓ガラス内で日射吸収熱が除去されたことで, 日射熱取得率は0.06まで抑えられ, 遮熱運転時よりさらに良い結果が得られた。

Fig. 22では, シングルスキンとダブルスキンの夏期比較実験データを用いて, 外ガラス(10mm熱線吸収ガラス)基準の日射遮蔽係数を推定した。ここで, 10mm熱線吸収ガラスの熱貫流率は5.7 W/m²Kを与えた⁴⁾。日射遮蔽係数は0.26と推定され, ダブルスキン化することで室内に侵入する日射熱はシングル窓の1/4に軽減された。Fig. 23では, 冬季の熱貫流率の推定を行った。2月の深夜時間帯を対象とした熱貫流率は1.43W/m²Kで, 10mmフロート

Table 4 窓の熱性能値算定方法
Calculation Method of Thermal Performance
Index in the Windows

設計用パラメーター	算定式
日射透過率(外窓) τ_o	$\tau_o = \frac{J_{To}}{J_V}$
日射透過率(内窓) τ_i	$\tau_i = \frac{J_{Ti}}{J_V}$
日射熱取得率 η	$\eta = \frac{J_{Ti} + \alpha_i (T_3 - T_i) - K (T_A - T_i)}{J_V}$
日射遮蔽係数SC (熱線吸収10mm基準)	$SC = \frac{J_{Ti} + \alpha_i (T_3 - T_i) - K (T_A - T_i)}{J_{Ti} + \alpha_i (T_3 - T_i) - K (T_A - T_i)}$
熱貫流率K	$K = \frac{Q_G}{(T_A - T_i)}$

ガラスの熱貫流率の1/4程度に相当し, NEXATの高い断熱性能が確認できた。

4.4 各種窓システムの性能比較

日本建築学会のアンケート調査⁵⁾(1981~1999)によれば, ガラス建築では透明板ガラスが40%, 省エネタイプのガラスが40%を占めており, 省エネタイプの半数近くで複層ガラスが使われている。Table 5において, NEXATの熱性能値と一般的な窓システムの熱性能値を比較した。日射透過率については, ブラインドによる日射遮蔽効果が非常に大きい, NEXATはブラインドを水平スラッドとして視界を確保しつつ, ブラインド付一般窓と同程度の日射遮蔽効果が認められた。日射熱取得率

table 5 各種窓システムの熱性能値比較
Comparison of Thermal Performance in Various Windows

ガラス種類	日射透過率 [-]	日射熱取得率 [-]	熱貫流率 [W/m ² K]
NEXAT(遮熱) ^{*1}	0.05	0.06~0.16	1.43
透明 ^{*2}	0.73	0.80	5.70
透明BL付 ^{*3}	0.04	0.53	5.05
複層(熱線反射) ^{*4}	0.43	0.54	3.28
複層(熱線反射)BL付 ^{*5}	0.02	0.42	2.87
複層(熱線吸収) ^{*6}	0.39	0.54	3.34
複層(熱線吸収)BL付 ^{*7}	0.02	0.39	2.92
複層Low-ε ^{*8}	0.43	0.54	2.50

注) ガラス構成上の記号

FL:透明板ガラス, RA:熱線反射ガラス, LE:Low-εガラス,
GFL:熱線吸収ガラス, A:空気層, (BL):中間色ブラインド,
数字は構成材の厚さ(mm)を表す。

*1 日射透過率はブラインド水平スラッド時の値, 日射熱取得率は遮熱モード(8月)および外気冷房時(10月)の期間平均値, 熱貫流率は断熱モード(2月)の期間平均値。

*2 ガラス構成 FL10, 出典4)

*3 ガラス構成 FL10(BL), 出典6), 7)

*4 ガラス構成 RA10+A6+FL10, 出典4), 6)

*5 ガラス構成 RA10+A6+FL10(BL), 出典6), 7)

*6 ガラス構成 GFL8+A6+FL8, 出典4), 6)

*7 ガラス構成 GFL8+A6+FL8(BL), 出典6), 7)

*8 ガラス構成 LE10+A6+FL10, 出典4)

table 6 第4章で使用した記号表
Sign Used 4th Chapter

[温度・エンタルピー]
E:エンタルピー[kJ/kg] (添え字 0:外気, R:室内, DS:空気層)
T:温度[°C],
T*:∠tステップ前の温度[°C],
T':熱線吸収ガラスにおける温度[°C]
(添え字 A:外気, i:室内, 1:外ガラス, 2:ブラインド,
3:内ガラス, DS:空気層, IN:空気層流入, OUT:空気層流出)
[日射量]
J:日射量[W/m ²],
J':熱線吸収ガラスにおける日射量[W/m ²]
(添え字 V:垂直面入射, T0:外ガラス透過, TI:内ガラス透過,
R:反射)
[伝達率]
α:熱伝達率[W/m ² K]
(添え字 o:屋外側総合, i:室内側総合, c1:外ガラス対流,
c3:内ガラス対流, r1:外ガラス放射, r3:内ガラス放射)
[熱性能値]
τ:日射透過率[-] (添え字 o:外ガラス, i:内ガラス),
η:日射熱取得率[-],
SC:日射遮蔽係数(熱線吸収10mm基準)[-]
K:熱貫流率[W/m ² K]
[熱量]
Q _G :貫流熱[W/m ²],
Q _{GDS} :AFW回収熱量[W/m ²],
Q _{out} :排熱量[W/m ²],
Q _{RAL} :外気冷房時除去熱量(室全体)[W/m ²],
Q _{RDS} :外気冷房時除去熱量(空気層内)[W/m ²]
[長さ・面積・体積(ほか)]
L _w :窓幅[m],
A _w :窓面積[m ²],
A _{DS} :空気層面積[m ²]
[比熱・比重]
c _{ρa} :空気容積比熱[kJ/m ³ K],
c _{ρG} :ガラス容積比熱[kJ/m ³ K]
G:ガラス密度[kg/m ³],
v:空気層内風速[m/s]

については、透明板ガラスとの対比では最大8%にまで軽減され、最も効率の良いブラインド付複層熱線吸収ガラスとの対比でも、遮熱モードでは40%に、外気冷房モードでは15%にまで軽減された。熱貫流率については、透明板ガラスとの対比では25%にまで軽減され、最も効率の良いLow-ε複層ガラスとの対比でも60%に軽減された。

従来型ダブルスキンとの比較については、吹抜高さ、ガラス構成、空気層厚、ブラインドの有無等の多様性を考えると、熱性能値の画一的な比較は難しいが、従来ダブルスキンの熱性能値評価報告^{1), 2)}ほかによれば、換気回数が25~100回/h, 日射熱取得率は0.1~0.2程度で、NEXATは同等以上の日射遮蔽および断熱効果を有している。室内快適性の点では、各階制御が可能なNEXATの方が優位である。また、モデルビルを対象にした熱負荷シミュレーション⁸⁾では、従来型ダブルスキンより経済的に有利であることも確認している。

5. 運用上の諸問題についての考察

5.1 遮音性能

2006年2月11日, JIS A 1520 (1988) に基づく内部音源法により, NEXATのサッシ遮音性能測定を実施した。ファンが稼働中には測定はできないので, ①断熱モード, ②遮熱モード, ③ナイトパーズモードを対象に測定した。目標設定値および測定結果はTable 7の通りで, いずれも目標とする遮音性能を満足した。ダンパーを閉鎖している断熱モードおよび遮熱モードでは二重サッシ並の遮音性能が確認され, ダンパーを開放しているナイトパーズモードでも単板ガラス以上の遮音性能が確認され, NEXATの基本遮音性能に問題ないことが検証された。

table 7 遮音性能目標値と測定結果
Target Value of Sound Reduction Performance
and Result of Measurement

ダンパー	運転モード	目標値 (平均透過損失)	測定結果 (音圧レベル差)
閉止	断熱	25dB(125~4,000Hz)	34~56dB
	遮熱		34~53dB
開放	ナイトパーズ	10dB(125~4,000Hz)	25~45dB

5.2 結露対策

ダブルスキンでは、冬季夜間には外ガラスの室内側表面温度が下がるため、空気層内に室内空気の出入りがある場合には、外ガラスのくもりや結露について考慮する必要がある。本件では、窓ガラスで結露が発生したと見られるデータや報告は一度もなかった。地理的な理由により冬季に外気が乾燥しており、かつ暖房時に室内が乾燥していたことも結露防止に有利に働いた。本件へのNEXAT導入に先立って実施した実大模型実験⁹⁾では、室内が一般的な事務室暖房条件(22°C, 50%)で外気0°Cの時、AFWモードでは外ガラスで結露が生じるが、断熱モードでは結露しないことが検証され、気象条件に応じた運転切替えにより、結露を防止できることを確認している。

5.3 ブラインド開放時の視覚的效果

ブラインド閉止時と比べて、水平スラッドにした時の心理的開放感や視覚に訴えるやすらぎの効果は大きく、視界が良好な高層ビル等にNEXATを適用した場合には、景観上のインパクトは非常に大きいと予想される。そこでブラインドの開閉状態と日射遮蔽効果の関係について熱画像データにより検証した。Fig. 24は典型的な夏期晴天日の熱画像と可視画像である。左側の窓は、内ガラスを開放してシングル窓に変更している。ブラインドがない場合、左側シングル窓は表面温度が42℃に達するが、NEXATは31℃まで下がり、窓の日射遮蔽性能の差が顕著に表れている。ブラインド閉止の状態では、ブラインドによる日射遮蔽効果が非常に高く、ともに31℃まで下がっている。ブラインドを水平スラッドにした場合、シングル窓は表面温度が39℃に達するが、NEXATは32℃まで下がっている。直達日射入射時に室内側表面温度を下げるには、シングル窓ではブラインドを閉止する必要があるが、NEXATでは水平スラッドで視界を確保したまま可能であることが確認できた。

6. まとめ

フロア単位で完結する各階制御式ダブルスキンNEXATを実施建物に導入して年間実測評価を行い、熱性能値や窓面の熱伝達機構が明らかになった。NEXATに関する測定評価結果を以下に要約する。

- 1) 夏期・中間期の遮熱モード時には、室内側窓表面温度が35℃未満で、シングル窓より10℃以上低く下げることができるが、空気層上部にやや熱溜まりが生じ、排気構造に課題が残った。
- 2) 中間期外気冷房時には、室内に侵入する熱をほぼカットできることが確認された。
- 3) 冬期は、AFW運転による窓際の快適性向上効果や断熱モードによる寒冷日の断熱性が確認された。
- 4) 夏期日射透過率は0.05、日射熱取得率は夏期遮熱モードで0.16、中間期外気冷房モードでは0.06で、冬季熱貫流率は1.43W/m²Kで、日射遮蔽効果や断熱効果が大きいことが確認された。
- 5) 遮音性能、結露対策、水平ブラインド運用について、運用上支障がないことを確認した。

謝辞

本研究はNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）からの委託を受け、「エネルギー使用合理化技術戦略的開発事業—コストパフォーマンスの高いユニット化多機能ダブルスキンの開発」の一環として実施した。御指導頂いた関係各位に感謝申し上げます。

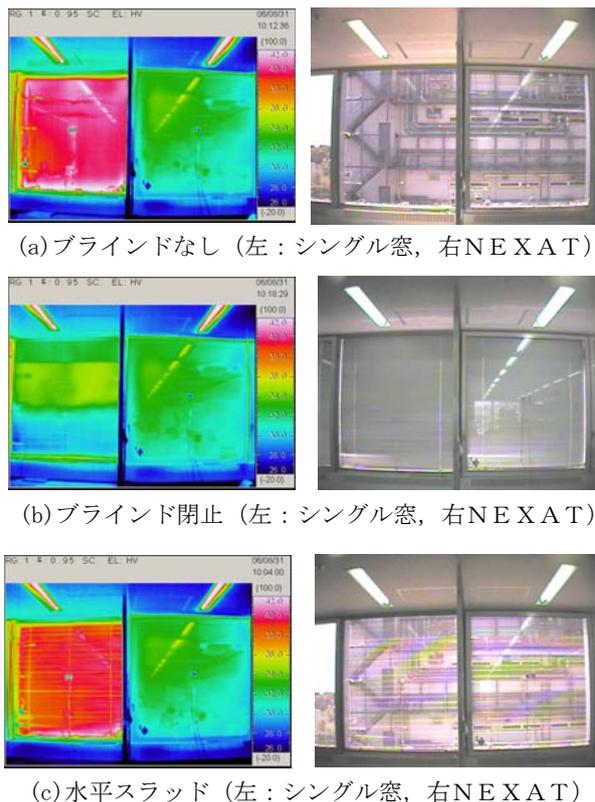


Fig. 24 夏期晴天日のシングル窓とNEXATの熱画像と可視画像 (2006. 8. 31, 10時)

Thermal Image and Individual Image of Single Window and NEXAT at Typical Sunny day

参考文献

- 1) 岡：太陽熱のパッシブ利用に関する研究，第2報ダブルスキンの熱的評価，空気調和・衛生工学会論文集 No. 24, (1984)
- 2) 石丸，柳井：ダブルスキンを利用したペリメータ空調システムの実施例—高崎信用金庫本店における実測報告，空気調和・衛生工学第71巻第4号，(1997)
- 3) 中村：日射が当たるガラス板の表面温度測定法，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 5-6, (2002)
- 4) 旭硝子株式会社ホームページ
- 5) 日本建築学会：ガラスの建築学，p. 211, (2004)
- 6) (独) 建築環境・省エネルギー機構：建築物の省エネルギー基準の計算と手引き，(2006)
- 7) 宇田川：パソコンによる空気調和計算法，p. 101, (1986)
- 8) 山本，三小田：熱経済性に視点をおいたファザードデザインに関する研究(その3)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 1217-1218, (2006)
- 9) (株)大林組，新日軽(株)：コストパフォーマンスの高いユニット化多機能ダブルスキンの研究開発，平成15年度～平成17年度成果報告書，p. 7, (2006)