

学 位 論 文 の 要 約

氏 名	児 島 輝 樹
学位論文題目	建物のエネルギー性能計算に資する開口部の日射熱取得の簡易評価法に関する研究

第 1 章 序 論

2015年に2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための新たな国際枠組みとして「パリ協定¹⁾」が採択された。2015年7月に日本が国連に提出した約束草案²⁾では、国内の温室効果ガス排出量を2030年度に2013年度と比較して26%削減することを目標としている。しかし、国内の温室効果ガス排出量³⁾は、2011年度から2014年度の平均で1990年度と比較して8.5%増加している。国内の温室効果ガス排出量の約9割を占める二酸化炭素の部門別排出量³⁾のうち、住宅・建築物のかかわる影響が大きい「家庭部門」や「業務その他部門」において、2011年度から2014年度の平均で1990年度と比較してそれぞれ51%、88%増加している。約束草案における各部門の二酸化炭素排出量の目安は、2030年度に2013年度と比較してそれぞれ約40%の削減と大幅な削減目標が設定されており、住宅・建築物の省エネルギー化は急務の課題である。日本では、オイルショックを契機として1979年に「エネルギーの使用の合理化に関する法律⁴⁾」が制定され、住宅・建築物の省エネルギー性能が段階的に強化されてきた。2012年7月に持続可能な低炭素社会の実現に向けて『「低炭素社会に向けた住まいと住まい方」の推進方策についての中間とりまとめ⁵⁾』が公表され、今後の住宅・建築物の省エネルギー化に関するロードマップが示されるとともに2020年までに新築住宅・建築物の省エネルギー基準への適合が義務化される方針となった。それに伴い、2015年に「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律⁶⁾」が制定され、2016年にそれに基づく告示が公布された^{7)~8)}。この評価・判断には、外皮性能による基準と一次エネルギー消費量による基準がある。住宅においては、その評価・判断のために建物外皮の断熱性能を表す外皮平均熱貫流率や建物外皮の日射熱取得性能/遮熱性能を表す暖/冷房期の平均日射熱取得率等が用いられる。一般的に建物外皮のうち開口部は熱的な弱点になりやすい。そのため、断熱性能が高い開口部製品が近年普及するようになった。一方、日射熱取得性能/遮熱性能に関しては、平成11年の省エネルギー基準までは、開口部の日射遮蔽の手法として「ひさし等のオーバーハング型の日除け」や「レースカーテン、和障子、内付ブラインド、外付ブラインド等の付属部材」が認められたが、平成25年以降の省エネルギー基準では、「ガラスの入射角特性」を考慮する一方、日射遮蔽物(付属部材)は省エネルギー基準の義務化を意図して建築的手法のみに限定されるようになり、「レースカーテン、内付ブラインド等の付属部材」が対象外となった。しかし、冷房期に様々な日射遮蔽物を用いて日射を遮ることは、室内の熱的快適性を向上し冷房エネルギーを削減するための有効な手法の一つであり、住宅・建築物の更なる省エネルギー化を実現するために住まい手にその効果を示し住まい方に工夫を促すことは非常に重要である。また、今後経済発展が著しくエネルギー消費が大幅に増加すると予測される東南アジアは、蒸暑地域であるため開口部の日射熱制御機能の強化によってエネルギー消費を抑制することが求められる。そのため、建物のエネルギー性能を計算するために必要な開口部の日射熱取得を簡易に精度よく評価できる手法が求められている。

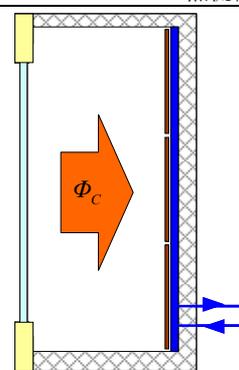
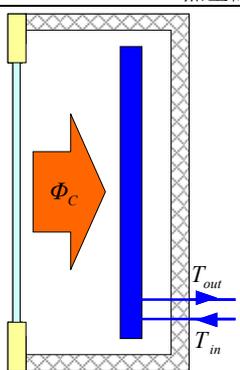
開口部の熱性能に関する評価法は、既往の研究をベースに国際規格（ISO）や国内規格（JIS）の測定法や計算法が整備されている。断熱性能を表す熱貫流率に関しては、測定法や計算法がシャッター等の付属部材があるまたはない窓や大開口となるカーテンウォールに関する規格があり概ね評価可能な状況にある。一方で日射熱取得性能／遮熱性能を表す日射熱取得率は、製品同士の横並び評価を対象とした垂直入射に対する測定法や計算法は概ね整備されつつあるが、省エネルギー計算を対象とした斜め入射に対する測定法や計算法は十分に整備されているとは言い難い状況にある。

日射熱取得率の測定法は、これまでに世界各国で様々な研究が行われてきた^{9)~28)}。これらの日射熱取得率の測定法を光源の種類や開口面に対する入射角を特徴として大別すると表1.1のように分類することができる。例えば、倉山らの研究成果^{22)~23)}をベースに開発されたJIS A 1493²⁹⁾（ISO/FDIS 19467³⁰⁾は、人工光・垂直入射の測定法であり、製品同士の横並び評価を行う際に有用である。また、熱量測定装置におけるアブソーバ（熱量測定装置から日射熱を除去するための冷却装置）の除去熱量の測定方法は、表1.2のように熱流計による方法と熱量計による方法に大別することができる。熱流計による方法は、熱流計によって直接的に熱流を測定できる反面、熱流計自体が高価であることと定期校正時に計測箱から熱流計を着脱する方法に課題がある（通常、接着剤や両面テープ等で面接着される）。一方、熱量計による方法は、冷媒の流量と出入口間の温度差が精密に測定できるかが熱量を正確に測定できるか否かの肝となる。

表1.1 日射熱取得率の測定法の分類

	人工光	自然太陽光
垂直入射	<ul style="list-style-type: none"> △照射光の入射角度が垂直に限定される。 ○一般的な垂直窓の場合、熱流方向は変化しない。 ○照射強度の時間変動率が小さい。 △スペクトル合致度はランプ種に依存する。 ○照射強度の場所むらが比較的小さい。 ○窓全体での測定が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・太陽追尾して照射光の入射角度を限定する。 △太陽追尾で熱流方向が変化する場合がある。 △照射強度の時間変動率は天候に左右される。 △スペクトル合致度は天候に左右される。 ○照射強度の場所むらが小さい。 ○カーテンウォールのような大開口での測定が可能である。
斜め入射	<ul style="list-style-type: none"> ○照射光の入射角度が限定されない。 ○一般的な垂直窓の場合、熱流方向は変化しない。 ○照射強度の時間変動率が小さい。 △スペクトル合致度はランプ種に依存する。 △入射角度に応じて照射強度の場所むらが大きくなる。 △ガラス中央部での測定に限定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ○照射光の入射角度が限定されない。 △太陽追尾で熱流方向が変化する場合がある。 △照射強度の時間変動率は天候に左右される。 △スペクトル合致度は天候に左右される。 ○照射強度の場所むらが小さい。 ○カーテンウォールのような大開口での測定が可能である。

表1.2 熱量測定装置におけるアブソーバの除去熱量の測定方法の分類

熱流計による方法	熱量計による方法
 $\Phi_C = \sum_{k=1}^n (A_k \cdot q_k)$ <p> Φ_C: 除去熱量[W] A_k: 熱流計kの面積[m²] q_k: 熱流計kの熱流束[W/m²] n: 熱流計の枚数 </p>	 $\Phi_C = C_p \cdot \rho \cdot V \cdot (T_{out} - T_{in})$ <p> Φ_C: 除去熱量[W] C_p: 冷媒の比熱[J/(kg·K)] ρ: 冷媒の密度[kg/m³] V: 冷媒の流量[m³/s] T_{out}: 冷媒の出口温度[K] T_{in}: 冷媒の入口温度[K] </p>

日射熱取得率の計算法は、ISO 15099³¹⁾のような国際規格やJIS A 2103³²⁾のような国内規格が整備されている。本論文では、JIS A 2103を詳細計算法として扱う。この計算法では、窓面に対して垂直方向から直達日射が入射することを想定しているが、斜め方向から直達日射が入射した場合の日射熱取得率もオプションとして計算することができる。また、ベネシャンブラインドのような複雑な形状をした日射遮蔽物の光学特性計算法についても、木下らの研究成果^{33)~34)}をベースにした手法が規定されている。

JIS A 1493の日射熱取得率の測定値とJIS A 2103の日射熱取得率の計算値は、図1.1のように様々な日射遮蔽物があるまたはない窓で垂直入射時の結果の差が概ね ± 0.05 以内であることが報告されている^{23),35)~36)}。

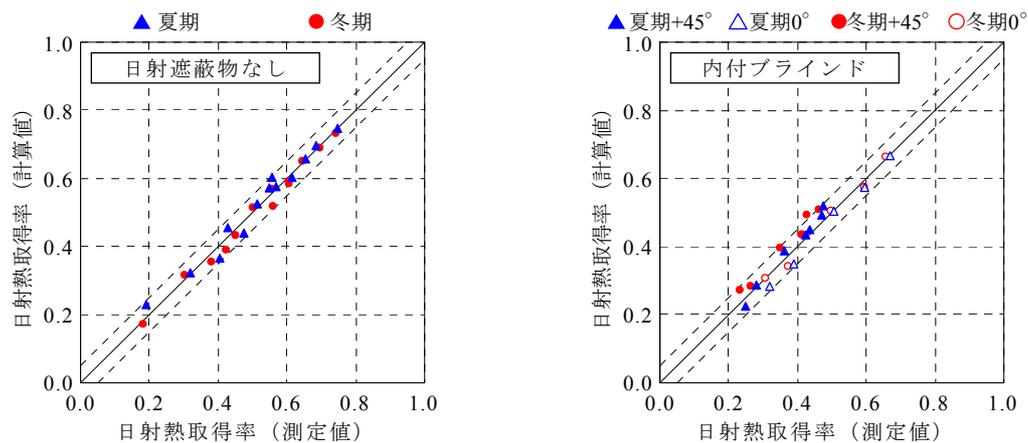


図1.1 JISによる日射熱取得率の測定値と計算値の比較

既往の熱負荷計算プログラム^{37)~38)}では、ガラスや日射遮蔽物の斜め入射による遮蔽効果係数を計算の簡略化のために3 mm透明ガラスの入射角特性を表す入射角の関数を用いて開口部からの日射熱取得を計算するのが一般的である。

本研究の目的は、建物の省エネルギー性能の計算をより精緻かつ簡易に行うための開口部の日射熱取得率の評価法を開発することと、精度よく計算した場合と既往の評価法で計算した場合の建物の省エネルギー性能に与える影響を検証することである。測定法については、製品同士の横並び評価を対象として行われてきた垂直入射の測定を斜め入射の測定に拡張して省エネルギー計算時に用いられる斜め入射における日射熱取得率の計算値の妥当性を得る。計算法については、JIS A 2103のような詳細かつ複雑な計算から得られる日射熱取得率の結果を用いて熱負荷計算に適用可能な開口部の日射熱取得の簡易計算法を提案する。また、簡易計算によって得られる日射熱取得率の値を熱負荷計算に適用して日本の代表地点における建物のエネルギー性能に与える影響を検討する。

第2章 屋外での日射熱取得率測定法

開口部の熱性能の測定評価は、主に開口部製品同士の横並び評価を目的として定常状態の実験室測定で行われている^{29)~30),39)~40)}。しかし、実際には開口部は非定常な屋外の環境に設置される。日射熱取得率に関して言えば、太陽位置、日射強度、直達日射量や拡散日射量の成分比、日射のスペクトル分布、室内外温度、風向・風速など様々な気象要素が時々刻々と変化し、それに伴い日射熱取得率も時々刻々と変化する。JIS A 1493による日射熱取得率の測定法では、開口面に対して垂直方向からの日射入射を前提として日射熱取得率の評価をしている。また、JIS A 1493の測定法と対

になる計算法としてJIS A 2103があり、標準的には同様に垂直入射で日射熱取得率が計算される。この計算法にはオプションとして開口面に対して斜め方向からの日射入射に対する板ガラスの光学特性の計算方法やプロファイル角特性を考慮したブラインドの光学特性の計算方法が記載されており、これらを用いて開口方位に対する太陽位置ごとに時々刻々の日射熱取得率を計算することができる。しかし、これらの計算結果は、測定結果との比較検証が充分になされているとは言い難い。また、レースカーテンや網戸などの計算が困難な複雑な形状をした日射遮蔽物を付属する開口部の斜め入射を考慮した日射熱取得率を実験的に明らかにすることで省エネルギー計算への適用も可能になると考えられる。さらに、これらの複雑な形状をした日射遮蔽物の日射熱取得率の計算法の開発の一助となることも考えられる。本章では、斜め入射の光源に対応可能な熱量測定装置を開発した。また、開発した熱量測定装置を屋外に設置して自然太陽光下でのガラス単体やガラスに日射遮蔽物を付属した場合の日射熱取得率を測定し、JIS A 2103による詳細な計算結果と比較検討を行った。

測定は、鹿児島大学工学部建築学科棟の屋上（北緯31.57°，東経130.54°）で行った。図2.1に熱量測定装置周辺の設置状況を示す。図2.2に水平面日射計の設置状況を示す。



図2.1 熱量測定装置周辺の設置状況



図2.2 水平面日射計の設置状況

ウェザートランスミッタは、屋上床面から高さ1200 mmに設置し、外気温、外気風速を測定した。全天日射計は、開口面日射量の測定用（以下、鉛直面）と水平面日射量の測定用（以下、水平面）の2台を設置した。鉛直面の全天日射計は、図2.1のように熱量測定装置の上部に開口面と平行に設置した。水平面の全天日射計は、図2.2のようにシャドウブレードと併用して1分ごと交互に全天日射量と天空日射量を測定した。

熱量測定装置は、倉山らの研究^{22)~23)}で開発された熱流計によってアブソーバでの除去熱量を測定する方法を応用し、斜め入射の光源に対応可能な熱量測定装置を開発した。図2.3にその改良点を示す。倉山の装置では、垂直入射の光源で測定を行っていたため、計測箱の背面のみにアブソーバとなる冷却パネルを設置していた。本研究の装置では、計測箱の背面と上下左右の側面の計5面にアブソーバとなる冷却パネルを組み込んだ。循環冷却装置からの冷媒をこれらの冷却パネルに循環させることによって、計測箱内表面の温度を一定に維持しつつ、計測箱内に侵入した斜め入射での日射熱を除去することができる。また、平滑なアルミ板で仕上げた冷却パネル表面に熱流計を貼付し冷却パネルによる除去熱量を熱流計で計測した。試験体の開口見付サイズは、幅830 mm×高さ830 mmとし、ガラス内外表面、計測箱内空気温度（試験体見付面を9分割した中央の9点）遮蔽物表面温度（試験体見付面の計測箱側中央の1点）、熱流計中央の温度を熱電対で測定した。

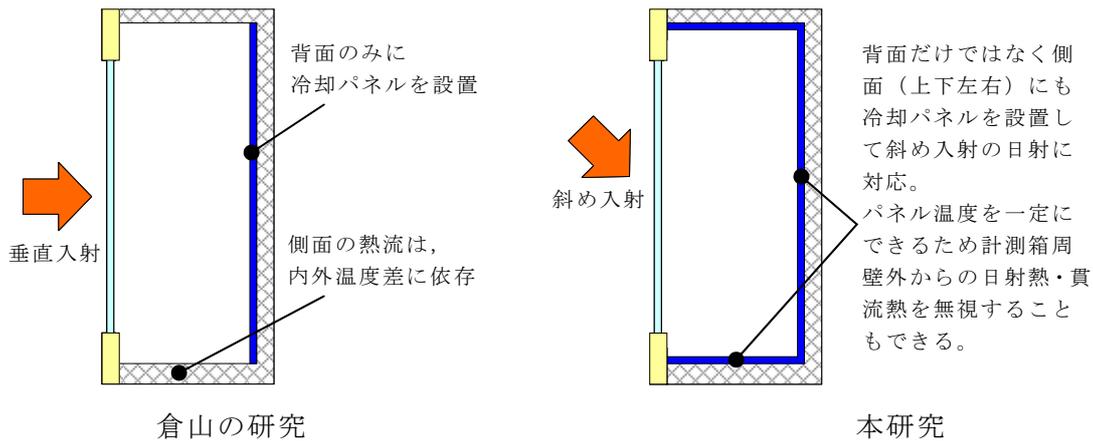


図2.3 本研究での熱量測定装置の改良点

試験体のガラスには、透明複層ガラス (FL 3 mm + Air 12 mm + FL 3mm) を用いた。また、日射遮蔽物には、シンプルな形状であるロールスクリーンと複雑な形状であるベネシャンブラインドを用いた。それぞれ、明色、中間色、暗色の3色を用意した。また、ブラインドのスラット角は、治具を用いて+75°、+45°、±0°、-45°、-75°に設定した (図2.4参照)。

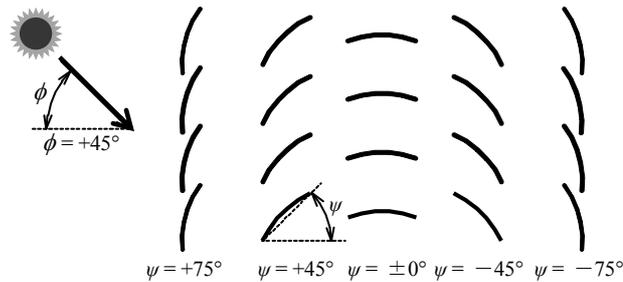


図2.4 ベネシャンブラインドのスラット角とプロフィール角の関係

測定による開口部の全天日射熱取得率 $\eta_{sp,m}$ は、熱量測定装置での熱収支を用いて式(2.1)によって算出した。

$$\eta_{sp,m} = \frac{q_{sp} - q_{sp}(q_{Solar} = 0)}{q_{Solar}} \quad (2.1)$$

ここに、 $\eta_{sp,m}$: 測定による開口部の全天日射熱取得率 (-)、 q_{Solar} : 開口部に入射する日射強度 (測定値) (W/m^2)、 q_{sp} : 日射あり時 (昼間) の開口部を通過する熱流束 (W/m^2)、 $q_{sp}(q_{Solar} = 0)$: 日射あり時 (昼間) の開口部の貫流による熱流束 (W/m^2)

計算による開口部の日射熱取得率 $\eta_{sp,c}(t)$ は、開口面の成分別日射量の計算値と成分別日射熱取得率の計算値を用いて式(2.2)によって算出した。

$$\eta_{sp,c}(t) = \frac{I_{T,d}(t) \cdot \eta_d(t) + I_{T,s}(t) \cdot \eta_s + I_{T,r}(t) \cdot \eta_r}{I_T} \quad (2.2)$$

ここに、 $I_T(t)$: 時刻 t の開口面全天日射量 (W/m^2)、 $I_{T,d}(t)$: 時刻 t の開口面直達日射量 (W/m^2)、 $I_{T,s}(t)$: 時刻 t の開口面天空日射量 (W/m^2)、 $I_{T,r}(t)$: 時刻 t の開口面地表面反射日射量 (W/m^2)、 $\eta_d(t)$: 時刻 t の開口面の直達日射熱取得率 (-)、 η_s : 開口面の天空日射熱取得率 (-)、 η_r : 開口面の地表面反射日射熱取得率 (-)

図2.5に2016年10月7日14時から15時に測定した水平面日射量からPerezの斜面日射

モデル⁴¹⁾を用いて推定した各成分の開口面日射量（アルベドは、0.1と仮定）と10秒間隔で測定した開口面全天日射量を示す。図より開口面全天日射量の推定値と測定値は概ね一致する結果が得られ、Perezの斜面日射モデルの有効性が確認された。

日射熱取得率の測定値を求めるためには、昼間の開口部を通過する熱量から試験体内外温度差によって生じる貫流熱量を差し引かなければならない。そのため、試験体の組合せごとの熱貫流率を測定する必要がある。図2.6に一例として内付ブラインド+45°の熱貫流率の測定結果を示す。表2.1に温度と熱流が最も安定した夜明け前の4時から5時の各試験体の組合せでの平均熱貫流率の測定結果一覧を示す。日射遮蔽物がない透明複層ガラス単体での測定は、西面と南面でそれぞれ行ったが熱貫流率がそれぞれ1.8 W/(m²·K)、3.4 W/(m²·K)と乖離を生じた。これは、西面での測定時の室内外温度差が4.5 Kと非常に小さかったことと他の測定と異なり熱流方向が屋外側から室内側であったことが原因と考えられる。ブラインドを設置した場合には、スラット角の密閉性に応じて付加断熱の効果に差がみられた。

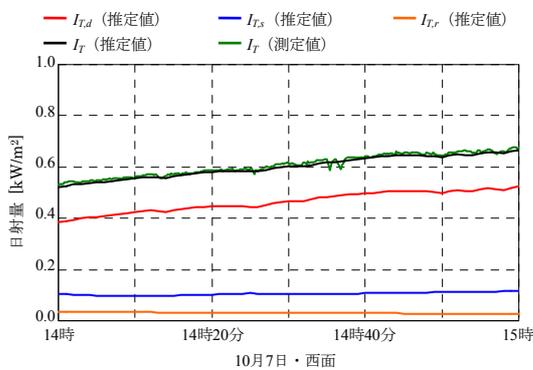


図2.5 開口面日射量

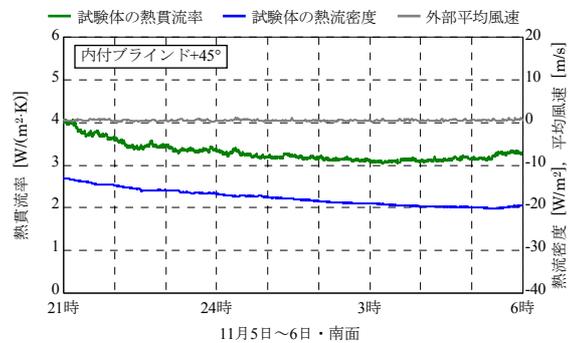


図2.6 熱貫流率の測定結果

表2.1 熱貫流率の測定結果一覧

試験体 (ガラスは、透明複層ガラス)	測定日	開口 方位	外気温 (°C)	箱内平均 空気温度 (°C)	室内外 温度差 (K)	熱流密度 (W/m ²)	熱貫流率 [W/(m ² ·K)]
日射遮蔽物なし	2016/10/7	西	24.7	20.2	4.5	8.2	1.8
日射遮蔽物なし	2016/11/12	南	10.2	18.2	8.1	27.1	3.4
内付ロールスクリーン	2016/10/30	西	14.4	18.7	4.3	13.6	3.2
内付ブラインド+75°	2016/11/4	南	8.2	17.5	9.3	26.2	2.8
内付ブラインド+45°	2016/11/6	南	11.8	18.1	6.3	19.7	3.1
内付ブラインド±0°	2016/11/5	南	10.2	18.1	7.9	24.1	3.0
内付ブラインド-45°	2016/12/7	南	4.7	17.3	12.6	36.7	2.9
内付ブラインド-75°	2016/12/9	南	7.5	17.5	10	26.4	2.6

図2.7に一例として内付ブラインド+45°の日射熱取得率の測定結果、図2.8にそのときの日射量等の測定結果を示す。表2.2に各試験体の組合せでの日射熱取得率の測定結果と計算結果を示す。日射熱取得率の計算値と測定値の差は、-0.03~+0.10程度であり概ね計算値よりも測定値のほうが小さい傾向だった。特に内付ロールスクリーンや内付ブラインドのスラット角+75°や-75°の場合に測定値と計算値の差が大きくなる傾向があった。計算におけるスクリーンの斜め入射特性の考慮や測定における取付枠見込での影または反射の影響についての詳細な検討が今後の課題のひとつと考えられる。表2.3に各試験体の組合せでの温度測定結果を示す。日射遮蔽物なしや内付ブラインドのスラット角-45°のような冷却パネルに直接透過日射が多く当たる場合や明色系の日射遮蔽物の場合には、計測箱内の空気温度の上昇を低く抑え

られたが、日射吸収率が大きな日射遮蔽物の場合に最大52.9℃まで上昇する結果となった。今回の測定では、上面の冷却パネルの故障によって上面からの熱流が制御できなかったことや計測箱内を自然対流で測定していたこと、冷却パネルが平面であり計測箱内の空気を冷却するためのアブソーバ表面積が充分でなかったことなどがその原因であると考えられる。そのため、上面の冷却パネルを復旧して再度測定してみることはもちろん、ファンなどの気流攪拌のシステムを計測箱内に導入することやフィンなどより効率的な冷却機構を持った冷却パネルを開発することが今後の課題であると考えられる。

本研究によって斜め入射を考慮した屋外の自然太陽光下における日射熱取得率の測定値と計算値の整合性がある程度確認できた。今後は、熱量測定装置の改良や計算法の改良を進め、日射熱取得率の測定値と計算値の差をより小さくすることが課題である。また、レースカーテンや網戸などの計算が困難な複雑な形状をした日射遮蔽物を有する窓やフレームを考慮した開口部における斜め入射での日射熱取得率を実験的に明らかにすることが課題である。

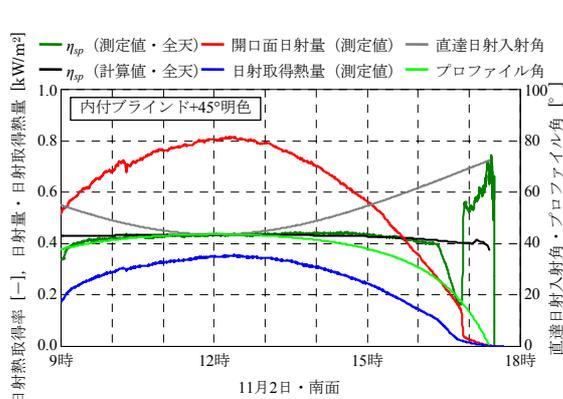


図2.7 日射熱取得率の測定結果

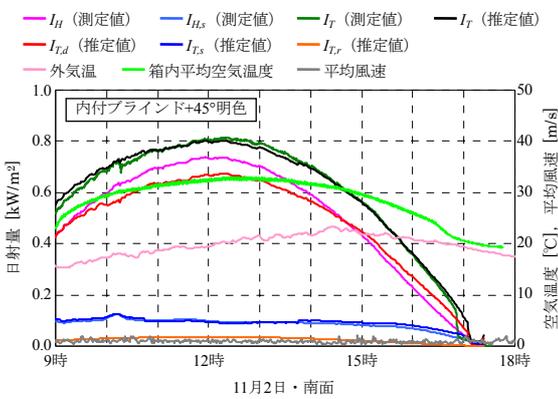


図2.8 日射量等の測定結果

表2.2 日射熱取得率の測定結果と計算結果一覧

試験体 (ガラスは、透明複層ガラス)	測定日時	開口 方位	日射熱取得率 の測定値	日射熱取得率 の計算値	日射熱取得率の差 (計算-測定)
日射遮蔽物なし	2016/10/07	西	0.60~0.71	0.64~0.75	0.04~0.06
内付ロールスクリーン明色	2016/10/30	西	0.19~0.37	0.25~0.39	0.02~0.09
内付ロールスクリーン中間色	2016/10/24	西	0.32~0.43	0.42~0.46	0.03~0.09
内付ロールスクリーン暗色	2016/10/29	西	0.26~0.54	0.34~0.57	0.03~0.10
日射遮蔽物なし	2016/11/13	南	0.64~0.72	0.67~0.75	0.01~0.04
内付ブラインド+75° 明色	2016/11/03	南	0.31~0.32	0.35~0.36	0.03~0.05
内付ブラインド+45° 明色	2016/11/02	南	0.39~0.44	0.41~0.43	-0.01~0.02
内付ブラインド±0° 明色	2016/11/04	南	0.55~0.58	0.57~0.58	0.00~0.03
内付ブラインド-45° 明色	2016/12/10	南	0.62~0.66	0.66~0.68	0.02~0.05
内付ブラインド-75° 明色	2016/12/19	南	0.38~0.43	0.42~0.45	0.01~0.04
内付ブラインド+75° 中間色	2016/11/07	南	0.39~0.45	0.42~0.45	0.01~0.03
内付ブラインド+45° 中間色	2016/11/06	南	0.48~0.53	0.48~0.52	-0.01~0.02
内付ブラインド±0° 中間色	2016/11/09	南	0.61~0.63	0.64~0.64	0.01~0.03
内付ブラインド-45° 中間色	2016/12/24	南	0.63~0.70	0.64~0.71	-0.02~0.06
内付ブラインド-75° 中間色	2017/01/16	南	0.46~0.52	0.49~0.54	0.00~0.06
内付ブラインド+75° 暗色	2016/11/25	南	0.61~0.66	0.64~0.71	0.03~0.07
内付ブラインド+45° 暗色	2016/11/16	南	0.66~0.70	0.64~0.71	-0.03~0.04
内付ブラインド±0° 暗色	2016/12/02	南	0.68~0.72	0.73~0.74	0.02~0.05
内付ブラインド-45° 暗色	2016/12/06	南	0.64~0.71	0.68~0.74	0.03~0.05
内付ブラインド-75° 暗色	2016/12/07	南	0.61~0.68	0.67~0.74	0.06~0.08

表2.3 温度測定結果一覧

試験体 (ガラスは、透明複層ガラス)	測定日時	開口 方位	箱内空気 最大温度 上部 (°C)	箱内空気 最大温度 下部 (°C)	箱内空気 最大温度 差 上下 (°C)	遮蔽物 表面 最大温度 中央 (°C)	ガラス 箱内表面 最大温度 中央 (°C)
日射遮蔽物なし	2016/10/07	西	28.8	25.9	3.9	—	30.7
内付ロールスクリーン明色	2016/10/30	西	28.8	23.7	5.8	30.1	35.7
内付ロールスクリーン中間色	2016/10/24	西	33.7	26.1	8.6	38.7	39.4
内付ロールスクリーン暗色	2016/10/29	西	40.3	28.2	12.8	55.8	45.0
日射遮蔽物なし	2016/11/13	南	27.5	25.8	3.5	—	30.9
内付ブラインド+75° 明色	2016/11/03	南	36.3	28.1	9.2	41.6	39.7
内付ブラインド+45° 明色	2016/11/02	南	37.2	29.1	9.6	40.4	37.8
内付ブラインド±0° 明色	2016/11/04	南	39.6	30.4	10.4	42.5	36.5
内付ブラインド-45° 明色	2016/12/10	南	31.8	27.2	5.8	33.1	31.4
内付ブラインド-75° 明色	2016/12/19	南	36.4	28.9	9.0	44.1	40.3
内付ブラインド+75° 中間色	2016/11/07	南	41.4	30.8	12.1	48.0	44.2
内付ブラインド+45° 中間色	2016/11/06	南	43.7	32.0	13.2	46.4	42.9
内付ブラインド±0° 中間色	2016/11/09	南	46.2	33.5	14.0	47.7	39.9
内付ブラインド-45° 中間色	2016/12/24	南	34.1	28.3	6.9	37.1	32.2
内付ブラインド-75° 中間色	2017/01/16	南	40.8	30.5	11.6	51.2	39.9
内付ブラインド+75° 暗色	2016/11/25	南	50.5	34.4	17.5	59.2	48.1
内付ブラインド+45° 暗色	2016/11/16	南	51.5	36.7	16.2	64.9	46.9
内付ブラインド±0° 暗色	2016/12/02	南	47.9	34.5	15.0	53.1	40.3
内付ブラインド-45° 暗色	2016/12/06	南	37.2	29.6	8.4	45.1	34.7
内付ブラインド-75° 暗色	2016/12/07	南	52.9	35.4	18.8	68.4	48.9

第 3 章 日射遮蔽物を有する窓の日射熱取得簡易計算法

JIS A 2103では、ガラス、スクリーンやブラインドなどの日射遮蔽物やサッシフレームを含む窓全体での日射熱取得率を詳細に計算することができる。しかし、この計算法は、光学特性の多重反射計算と、面材間の温度と熱抵抗の反復収束計算をする必要があり、理論的には可能であるが熱負荷計算で実行することは現実的ではない。国内の熱負荷計算プログラムにおける窓の日射熱取得の計算では、3 mm透明ガラスの入射角特性を表す入射角の関数を用いて垂直入射時の日射熱取得を斜め入射時の日射熱取得に変換している。また、省エネルギー基準においては、ガラスの入射角特性は考慮されているが、ブラインドなどの日射遮蔽物の入射角特性は考慮されていない。本章では、詳細計算法であるJIS A 2103による日射熱取得率の計算結果を用いてガラスや日射遮蔽物の斜め入射時の日射熱取得の簡易計算法を検討した。

時刻 t における詳細計算による窓の総合日射熱取得は、式(3.1)によって算出することができる。透過日射熱取得の場合は、式(3.1)の η を τ に置き換えて同様に計算することができる。

$$G_{\eta,w}(t) = (I_{w,d}(t) \cdot \eta_{w,d}(t) + I_{w,s}(t) \cdot \eta_{w,s} + I_{w,r}(t) \cdot \eta_{w,r}) \cdot A_w \quad (3.1)$$

ここに、 $G_{\eta,w}(t)$ ：時刻 t における詳細計算による窓の総合日射熱取得 (Wh)、 $I_{w,d}(t)$ ：時刻 t における窓面受照直達日射量 (Wh/m²)、 $I_{w,s}(t)$ ：時刻 t における窓面受照天空日射量 (Wh/m²)、 $I_{w,r}(t)$ ：時刻 t における窓面受照地表面反射日射量 (Wh/m²)、 $\eta_{w,d}(t)$ ：時刻 t における窓の直達日射熱取得率 (-)、 $\eta_{w,s}$ ：窓の天空日射熱取得率 (-)、 $\eta_{w,r}$ ：窓の地表面反射日射熱取得率 (-)、 A_w ：窓面積 (m²)

表3.1に示す代表的な28種類の一層ガラス～三層複層ガラスでの日射の入射角 i における斜め入射時の日射熱取得率、日射透過率を垂直入射時の日射熱取得率、日射透過率で規準化した値をそれぞれ日射の入射角 i における日射遮蔽物がない窓の遮蔽効果係数 $f_{\eta,wg,d}(i)$ 、 $f_{\tau,wg,d}(i)$ とすると入射角と $f_{\eta,wg,d}(i)$ 、 $f_{\tau,wg,d}(i)$ の関係は、それぞれ図3.1、

図3.2のようになる。この結果から、日射遮蔽物がない窓の日射熱取得率算出用、日射透過率算出用の遮蔽効果係数は、余弦の5次式で整理することができ、透明系・Low-E系、日射吸収系の場合にはそれぞれガラス層数毎にひとつの遮蔽効果係数のモデルで整理することができる。また、入射角に対する日射遮蔽物がない窓の日射熱取得率算出用、日射透過率算出用の遮蔽効果係数の弧は、図3.1、図3.2のように板ガラスの種類が同系のガラス品種であれば、一層→複層→三層複層の順で緩やかになる。

表3.1 ガラスの種類

No.	ガラスの種類(屋外側 — 室内側)	$\eta_{w,g,d}(0)$	$\tau_{w,g,d}(0)$
1	透明3mm	0.88	0.86
2	透明6mm	0.85	0.81
3	熱線吸収6mm	0.65	0.47
4	熱線反射6mm	0.69	0.63
5	高性能熱線反射(SGY32) 6mm	0.50	0.29
6	高性能熱線反射(SS8) 6mm	0.22	0.06
7	透明3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.79	0.74
8	透明6mm + 空気12mm + 透明6mm	0.74	0.65
9	熱線吸収6mm + 空気12mm + 透明6mm	0.52	0.38
10	熱線反射6mm + 空気12mm + 透明6mm	0.60	0.51
11	高性能熱線反射(SGY32) 6mm + 空気12mm + 透明6mm	0.39	0.24
12	高性能熱線反射(SS8) 6mm + 空気12mm + 透明6mm	0.16	0.05
13	Low-E(H) 3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.67	0.61
14	Low-E(M) 3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.59	0.53
15	Low-E(L) 3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.40	0.35
16	透明3mm + 空気12mm + Low-E(H) 3mm	0.74	0.61
17	透明3mm + 空気12mm + Low-E(M) 3mm	0.64	0.53
18	透明3mm + 空気12mm + Low-E(L) 3mm	0.49	0.35
19	透明3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.72	0.64
20	Low-E(H) 3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.61	0.53
21	Low-E(M) 3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.54	0.47
22	Low-E(L) 3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + 透明3mm	0.37	0.31
23	透明3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + Low-E(H) 3mm	0.67	0.53
24	透明3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + Low-E(M) 3mm	0.59	0.47
25	透明3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + Low-E(L) 3mm	0.46	0.31
26	Low-E(H)3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + Low-E(H) 3mm	0.57	0.44
27	Low-E(M) 3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + Low-E(M) 3mm	0.46	0.35
28	Low-E(L) 3mm + 空気12mm + 透明3mm + 空気12mm + Low-E(L) 3mm	0.27	0.17

注記：(H)，(M)，(L)は、それぞれ日射取得型、日射中庸型、日射遮蔽型を表す。

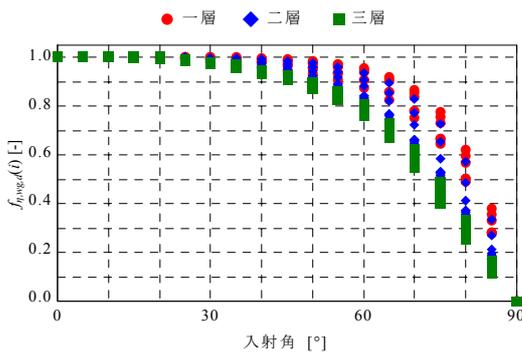


図3.1 入射角と $f_{\eta,w,g,d}(i)$ の関係

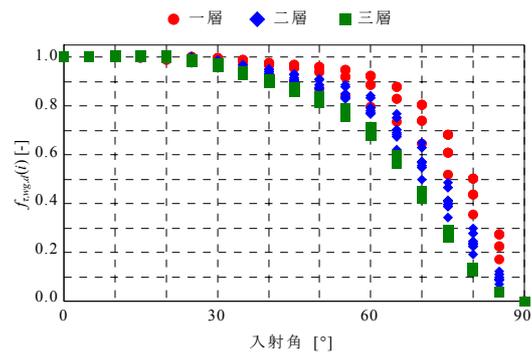


図3.2 入射角と $f_{\tau,w,g,d}(i)$ の関係

ここで、時刻 t における簡易計算による日射遮蔽物がない窓の総合日射熱取得を式(3.2)によって算出し、式(3.1)から算出される詳細計算による日射遮蔽物がない窓の総合日射熱取得の結果と比較する。透過日射熱取得の場合は、式(3.2)の η を τ に置き換えて同様に計算する。

$$G'_{\eta,w,g}(t) = (I_{w,d}(t) \cdot f_{\eta,w,g,d}(t) + I_{w,s}(t) \cdot f_{\eta,w,g,s} + I_{w,r}(t) \cdot f_{\eta,w,g,r}) \cdot \eta_{w,g,d}(0) \cdot A_w \quad (3.2)$$

ここに、 $G'_{\eta, wg}(t)$ ：時刻 t における斜め入射に対するガラスの遮蔽効果を考慮した簡易計算による日射遮蔽物がない窓の総合日射熱取得 (Wh), $f_{\eta, wg, d}(t)$ ：時刻 t における日射遮蔽物がない窓の遮蔽効果係数 (η 用) (-), $f_{\eta, wg, s}$ ：天空日射での日射遮蔽物がない窓の遮蔽効果係数 (η 用) (-), $f_{\eta, wg, r}$ ：地表面反射日射での日射遮蔽物がない窓の遮蔽効果係数 (η 用) (-), $\eta_{wg, d}(0)$ ：垂直入射時の日射遮蔽物がない窓の日射熱取得率 (-)

図3.3に式(3.1)の詳細計算と式(3.2)の簡易計算での日射遮蔽物がない窓の時刻別の総合日射熱取得の関係を、図3.4に同様に計算した詳細計算と簡易計算での日射遮蔽物がない窓の時刻別の透過日射熱取得の関係をそれぞれ示す。計算には、EA気象データ⁴²⁾の標準年・東京を用いた。グラフ中の標本数は、28ガラス × 8方位 × 4386時間 (昼間) の合計982464であり、どちらも良好な結果が得られた。したがって、日射遮蔽物がない窓の日射熱取得率算出用、日射透過率算出用の遮蔽効果係数に日射遮蔽物がない窓の垂直入射時の日射熱取得率を乗じることで簡易に時刻別の総合/透過日射熱取得を計算することができることが分かった。

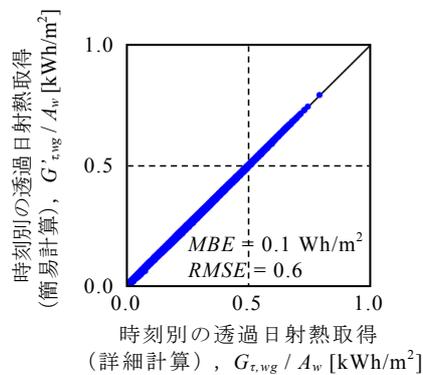
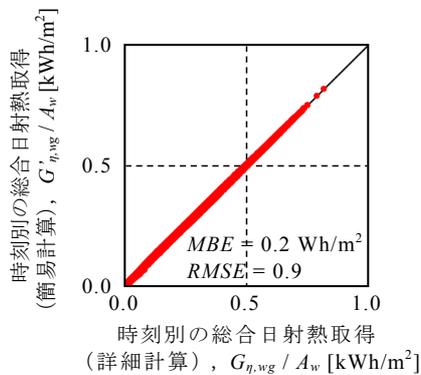


図3.3 時刻別の総合日射熱取得の比較 図3.4 時刻別の透過日射熱取得の比較

次に、表3.1の代表的な28種類のガラスと表3.2の日射遮蔽物を組み合わせ、日射遮蔽物がない窓と日射遮蔽物がある窓の日射熱取得率、日射透過率の関係から時刻別や期間積算での窓の日射熱取得の簡易計算法を検討した。

表3.2 日射遮蔽物の種類

No.	日射遮蔽物の種類	日射特性
1	外付ロールスクリーン	入射角 (i): 0° から $+90^\circ$ まで 5° 間隔 日射透過率 (τ_{sh}): 0.0 から 1.0 まで 0.05 間隔 日射反射率 (ρ_{sh}): 0.0 から 1.0 まで 0.05 間隔 ただし, $\tau_{sh} + \rho_{sh} \leq 1.0$
2	内付ロールスクリーン	入射角 (i): 0° から $+90^\circ$ まで 5° 間隔 日射透過率 (τ_{sh}): 0.0 から 1.0 まで 0.05 間隔 日射反射率 (ρ_{sh}): 0.0 から 1.0 まで 0.05 間隔 ただし, $\tau_{sh} + \rho_{sh} \leq 1.0$
3	外付ブラインド	プロファイル角 (ϕ): -90° から $+90^\circ$ まで 5° 間隔 方位角 (γ): -90° から $+90^\circ$ まで 5° 間隔 スラット角 (ψ): $-75^\circ, -45^\circ, \pm 0^\circ, +45^\circ, +75^\circ$ スラット幅: 25mm スラット材の日射反射率 (ρ_{sh}): 0.0 から 1.0 まで 0.05 間隔 スラット材の鏡面反射率比: 0.0 から 0.2 まで 0.05 間隔
4	内付ブラインド	プロファイル角 (ϕ): -90° から $+90^\circ$ まで 5° 間隔 方位角 (γ): -90° から $+90^\circ$ まで 5° 間隔 スラット角 (ψ): $-75^\circ, -45^\circ, \pm 0^\circ, +45^\circ, +75^\circ$ スラット幅: 25mm スラット材の日射反射率 (ρ_{sh}): 0.0 から 1.0 まで 0.05 間隔 スラット材の鏡面反射率比: 0.0 から 0.2 まで 0.05 間隔

図3.5に一例として日射遮蔽物がない窓と外付ブラインド（スラット角+45°）がある窓の日射熱取得率の関係を示す。図のように日射遮蔽物がない窓とある窓の日射熱取得率は、ガラス種、入射角によらず式(3.3)のように原点を通る二次曲線に近似できる。また、日射遮蔽物による遮蔽効果係数（ η 用）を、日射遮蔽物がない窓の日射熱取得率に対する日射遮蔽物がある窓の日射熱取得率の比と定義すると、式(3.4)のように表すことができる。得られた遮蔽効果係数を用いて式(3.5)の簡易計算式から総合日射熱取得を算出する。透過日射熱取得の場合は、式(3.3)～式(3.5)の η を τ に置き換えて同様に計算する。

$$\eta_{ws} = a_{\eta} \cdot \eta_{wg} + b_{\eta} \cdot \eta_{wg}^2 \quad (3.3)$$

$$f_{\eta,ws} = \frac{\eta_{ws}}{\eta_{wg}} = a_{\eta} + b_{\eta} \cdot \eta_{wg} \quad (3.4)$$

$$G''_{\eta,w}(t) = (I_{w,d}(t) \cdot f_{\eta,wg,d}(t) \cdot f_{\eta,ws,d}(t) + I_{w,s}(t) \cdot f_{\eta,wg,s} \cdot f_{\eta,ws,s} + I_{w,r}(t) \cdot f_{\eta,wg,r} \cdot f_{\eta,ws,r}) \cdot \eta_{wg,d}(0) \cdot A_w \quad (3.5)$$

ここに、 η_{ws} ：日射遮蔽物がある窓の日射熱取得率（－）、 $f_{\eta,ws}$ ：日射遮蔽物がある窓の遮蔽効果係数（ η 用）（－）、 a_{η} 、 b_{η} ：係数（ η 用）（－）、 $G''_{\eta,w}(t)$ ：時刻 t における斜め入射に対するガラスと日射遮蔽物の遮蔽効果を考慮した簡易計算による窓の総合日射熱取得（Wh）

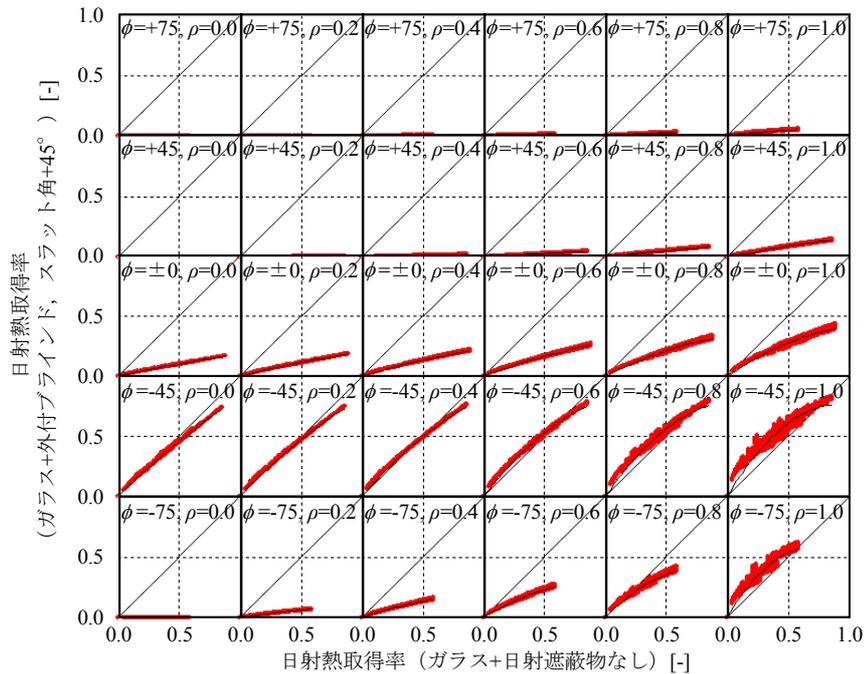


図3.5 日射熱取得率の比較（外付ブラインド，スラット角+45°）

ここで、ロールスクリーンの生地の日射透過率、日射反射率やブラインドスラット材の日射反射率を説明変数に係数 a_{η} 、 b_{η} を多変量解析すると外付ロールスクリーンの場合には、式(3.6)、式(3.7)で整理することができる。

$$a_{\eta} = \tau_{sh} \cdot \sum_{k=0}^2 (\alpha_{\eta,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.6)$$

$$b_{\eta} = \tau_{sh} \cdot \sum_{k=0}^2 (\beta_{\eta,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.7)$$

ここに、 τ_{sh} ：ロールスクリーン生地やブラインドスラット材の日射透過率（－）、 ρ_{sh} ：ロールスクリーン生地やブラインドスラット材の日射反射率（－）

内付ロールスクリーンや外付／内付ブラインドの場合には、式(3.8)、式(3.9)で整理することができる。

$$a_{\eta} = \sum_{k=0}^2 (\alpha_{\eta,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.8) \quad b_{\eta} = \sum_{k=0}^2 (\beta_{\eta,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.9)$$

同様に、係数 a_{τ} 、 b_{τ} を多変量解析すると外付／内付ロールスクリーンの場合には、式(3.10)、式(3.11)で整理することができる。

$$a_{\tau} = \tau_{sh} \cdot \sum_{k=0}^2 (\alpha_{\tau,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.10) \quad b_{\tau} = \tau_{sh} \cdot \sum_{k=0}^2 (\beta_{\tau,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.11)$$

外付／内付ブラインドの場合には、式(3.12)、式(3.13)で整理することができる。

$$a_{\tau} = \sum_{k=0}^2 (\alpha_{\tau,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.12) \quad b_{\tau} = \sum_{k=0}^2 (\beta_{\tau,k} \cdot \rho_{sh}^k) \quad (3.13)$$

図3.6に一例として式(3.1)の詳細計算と式(3.5)の簡易計算での外付ブラインドがある窓の時刻別の総合日射熱取得の関係を示す。計算には、EA気象データ⁴²⁾の標準年・東京を用いた。グラフ中の標本数は、28ガラス × 8方位 × 4386時間（昼間） × 5鏡面反射率比の合計4912320である。図のように全ての日射遮蔽物において総合／透過日射熱取得にかかわらず良好な結果が得られた。したがって、日射遮蔽物がある窓の時刻別の総合／透過日射熱取得は、日射遮蔽物がない窓の日射熱取得率／日射透過率やロールスクリーン生地の日射透過率、日射反射率、ブラインドスラット材の日射反射率を説明変数として簡易に計算することができることが分かった。

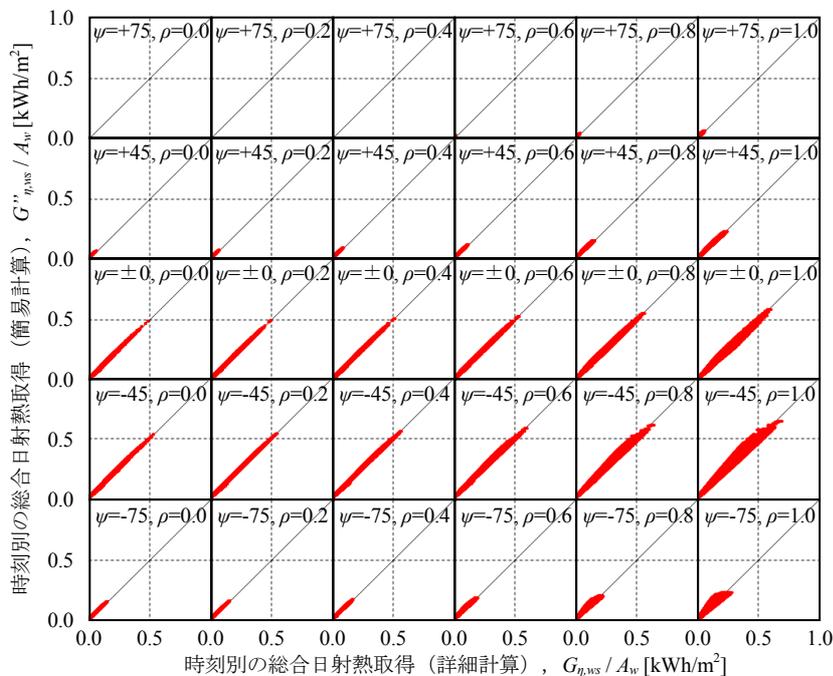


図3.6 時刻別の総合日射熱取得の比較（外付ブラインド）

また、省エネルギー基準等の評価で必要とされる期間積算の総合日射熱取得の簡易計算法について検討した。計算には、EA気象データ⁴²⁾の標準年・札幌、東京、鹿児島、那覇の4地点を用いて日積算の総合日射熱取得を詳細計算した。図3.7、図3.8に一例として時刻別の場合と同様に日射遮蔽物がない窓と外付ブラインド、内付ブラインドがある窓の日平均日射熱取得率の関係を示す。図の個々のグラフ中の標本数は、28ガラス × 4地点 × 8方位 × 365日 × 5鏡面反射率比の合計1635200である。図より外付ブラインドの場合は、スラット角+75°を除いてプロットのバラつきが大きい。これは、ブラインド層での直接透過日射がプロファイル角によって大きく異なり、かつ吸収日射が室内側へ流入しないためと考えられる。内付ブラインドの場合は、日射反射率1.0でプロットのバラつきが多少大きい。しかしながら、日射遮蔽物がある窓の期間平均日射熱取得率は、時刻別の場合と同様に原点を通る二次曲線に近似することができ、式(3.14)～式(3.16)で整理することができる。

$$\eta_{ws,T} = a_{\eta} \cdot \eta_{wg,T} + b_{\eta} \cdot \eta_{wg,T}^2 \quad (3.14)$$

$$f_{\eta,ws,T} = \frac{\eta_{ws,T}}{\eta_{wg,T}} = a_{\eta} + b_{\eta} \cdot \eta_{wg,T} \quad (3.15)$$

$$G''_{\eta,w,T} = I_{w,T} \cdot f_{\eta,wg,T} \cdot f_{\eta,ws,T} \cdot \eta_{wg,d}(0) \cdot A_w \quad (3.16)$$

ここに、 $\eta_{ws,T}$ ：日射遮蔽物がある窓の期間平均日射熱取得率（－）、 $\eta_{wg,T}$ ：日射遮蔽物がない窓の期間平均日射熱取得率（－）、 $f_{\eta,ws,T}$ ：日射遮蔽物がある窓の期間平均の遮蔽効果係数（ η 用）（－）、 $f_{\eta,wg,T}$ ：日射遮蔽物がない窓の期間平均の遮蔽効果係数（ η 用）（－）、 a_{η} 、 b_{η} ：係数（ η 用）（－）、 $G''_{\eta,w,T}$ ：斜め入射に対するガラスと日射遮蔽物の遮蔽効果を考慮した簡易計算による窓の期間積算の総合日射熱取得（Wh）

図3.9、図3.10に外付ブラインド、内付ブラインドがある窓の詳細計算での日積算の総合日射熱取得と式(3.16)の簡易計算での日積算の総合日射熱取得の関係を示す。図の個々のグラフ中の標本数は、28ガラス × 4地点 × 8方位 × 365日 × 5鏡面反射率比の合計1635200である。外付ブラインドは、直接透過日射が多いスラット角で比較結果のバラつきが大きい。これは、ブラインド層での直接透過日射がプロファイル角によって大きく異なり、かつ吸収日射が室内側へ流入しないためであり、計算モデルの改良が必要である。しかし、通常使用時は直接透過日射を遮ることが多いので、スラット角+75°や+45°のモデルで簡易に日射熱取得を計算できると考えられる。その他のモデルは、 $MBE = \pm 0.02 \text{ kWh/m}^2$ 以下、 $RMSE = 0.05 \text{ kWh/m}^2$ 以下となり良好な結果が得られた。したがって、外付ブラインドの直接透過日射が多いモデルを除いて日射遮蔽物がある窓の期間積算の総合日射熱取得は、日射遮蔽物がない窓の日射熱取得率やロールスクリーン生地の日射透過率、日射反射率、ブラインドスラット材の日射反射率を説明変数として簡易に計算することができることが分かった。

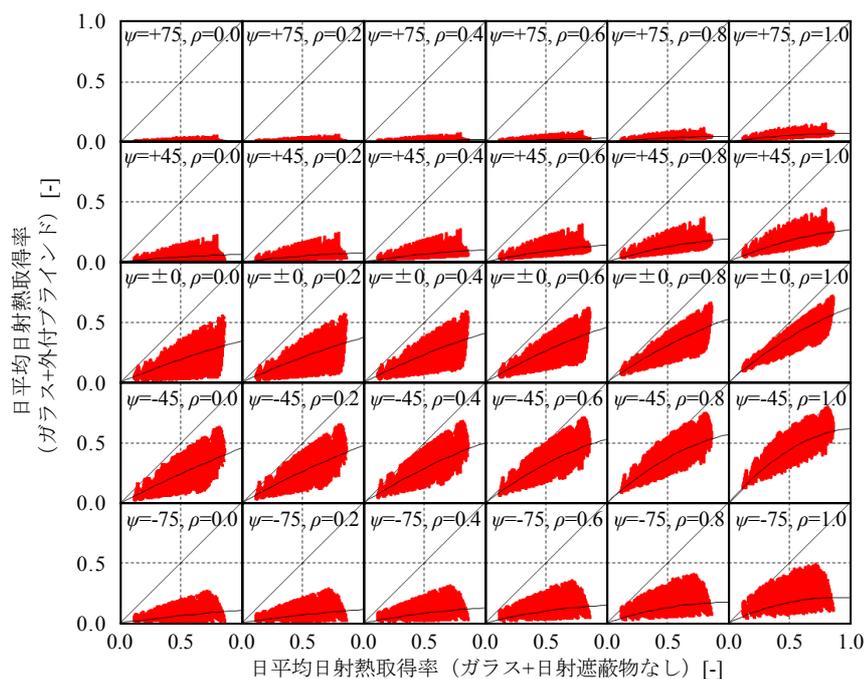


図3.7 日平均日射熱取得率の比較 (外付ブラインド)

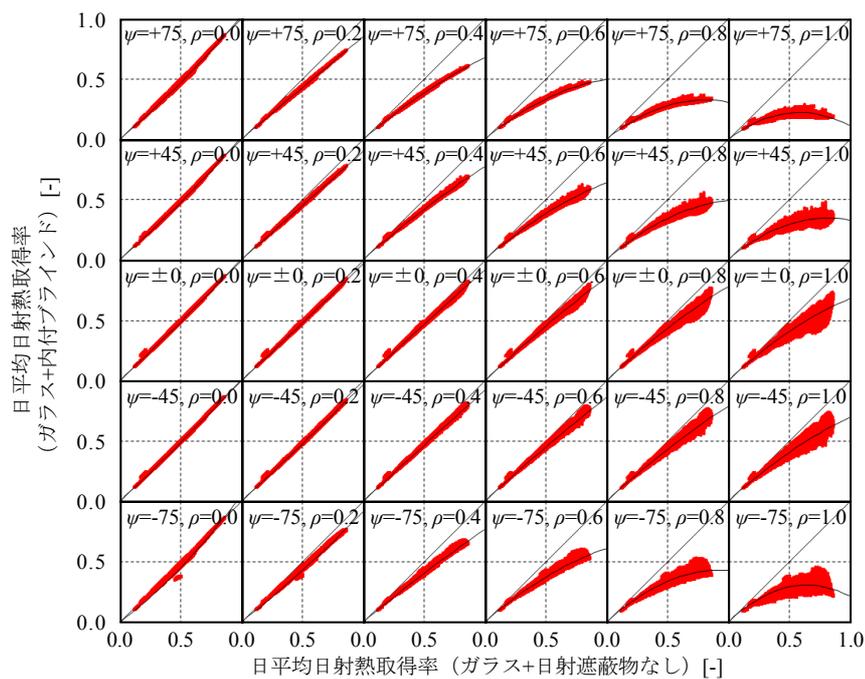


図3.8 日平均日射熱取得率の比較 (内付ブラインド)

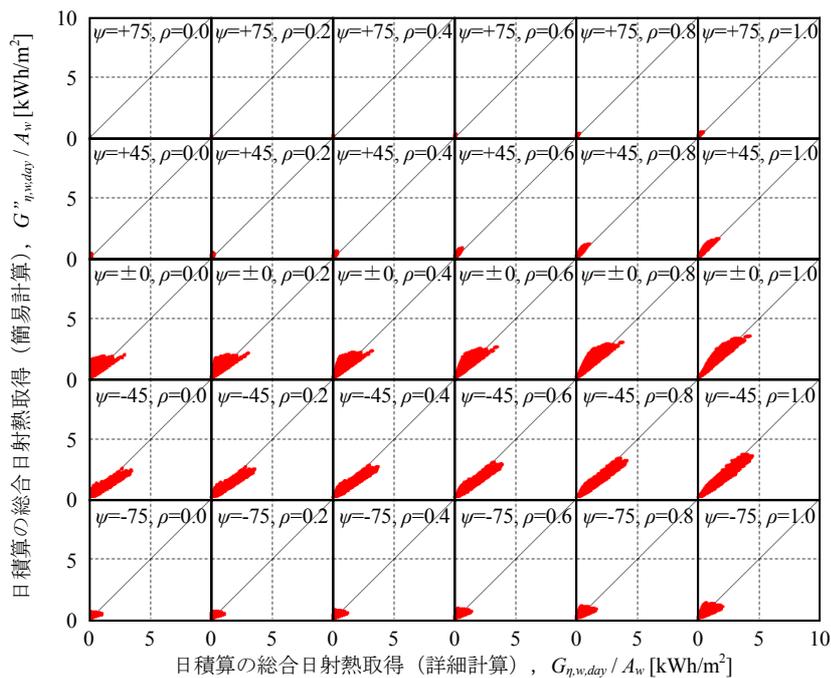


図3.9 日積算の総合日射熱取得の比較（外付ブラインド）

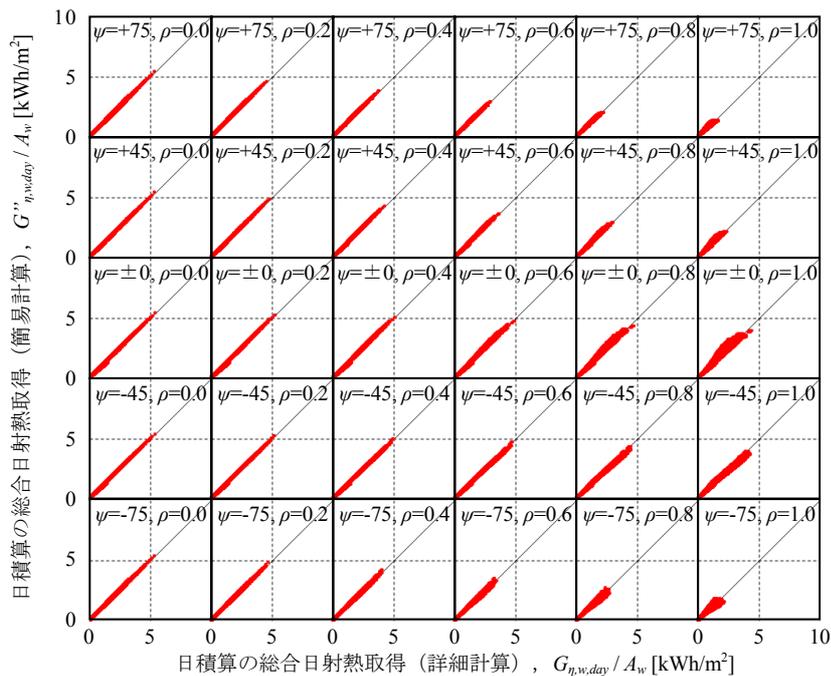


図3.10 日積算の総合日射熱取得の比較（内付ブラインド）

第4章 熱負荷計算における斜め入射効果の試算

第4章では、斜め入射による日射遮蔽効果を詳細に計算できるAE-Sim/Heatをカスタマイズした熱負荷計算プログラム²³⁾に第3章で提案した時刻別の日射熱取得率や日射透過率の簡易計算法によって算出した開口面に対して任意の太陽高度角と太陽方位角における日射熱取得率と日射透過率を入力条件として与えることで得られる期間積算熱負荷や月平均時刻別熱負荷と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した従来ケ

ースでの期間積算熱負荷や月平均時刻別熱負荷を比較し、ガラスや日射遮蔽物の斜め入射による日射遮蔽効果が建物の熱負荷計算に与える影響について検討した。

日射遮蔽物がない窓については、透明単板～Low-E三層複層までの断熱性能、日射遮蔽性能が異なる計8種類の窓を想定し、3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した従来ケースと各ガラスの入射角特性を考慮したケースでの戸建住宅の国内4地点(札幌、東京、鹿児島、那覇)における暖/冷房負荷を算出した。図4.1に各ガラスの入射角特性を考慮した場合と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した場合の日射遮蔽物がない窓の年間暖/冷房負荷の比較を示す。図より、各ガラスの入射角特性を考慮した場合と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した場合での年間暖/冷房負荷の差は、最大±0.4 MWh/yr程度であった。相対的には、暖房負荷で最大5 %程度増加し、冷房負荷で最大5 %程度減少する結果となった。また、鹿児島や那覇のように冷房負荷が多い地点では、透明三層複層やLow-E三層複層（日射取得型）のような日射熱取得率が比較的大きくより多層なガラスを用いた場合に結果が乖離する傾向があった。

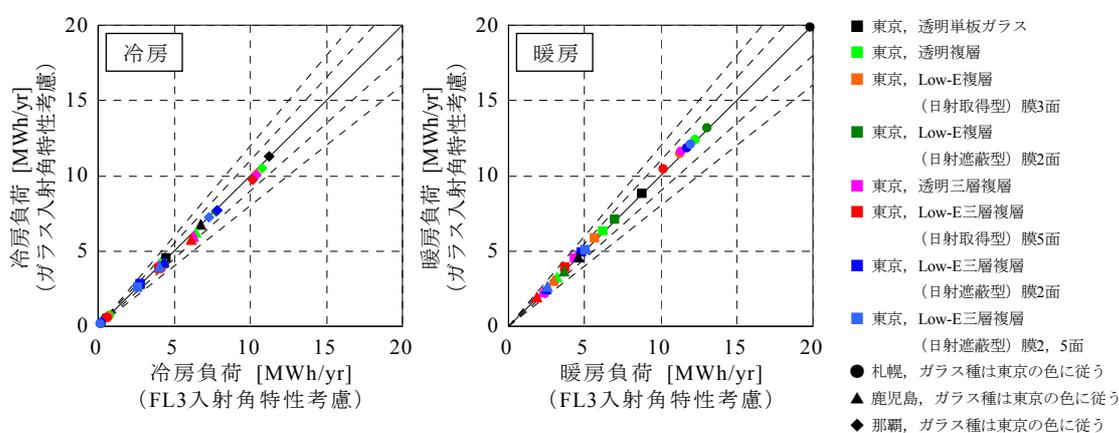


図4.1 年間暖/冷房負荷の比較（日射遮蔽物がない窓）

日射遮蔽物がある窓については、透明複層ガラスにロールスクリーンやブラインドなどを組み合わせた計25種類の窓を想定し、3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した従来ケース、各ガラスの入射角特性を考慮したケース、各ガラス及び日射遮蔽物の入射角特性を考慮したケースでの戸建住宅の国内4地点(札幌、東京、鹿児島、那覇)における暖/冷房負荷を算出した。図4.2に各ガラスの入射角特性を考慮した場合と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した場合の日射遮蔽物がある窓の年間暖/冷房負荷の比較を示す。同様に図4.3に各ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を考慮した場合と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した場合の日射遮蔽物がある窓の年間暖/冷房負荷の比較を示す。各ガラスの入射角特性を考慮した場合と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した場合での年間暖/冷房負荷の差は、最大±0.2 MWh/yr程度であった。一方、各ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を考慮した場合と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した場合での年間暖/冷房負荷の差は、生地の入射角特性を考慮していないロールスクリーンでは最大±0.2 MWh/yrであったが、プロファイル角に依存して日射熱取得率が変化するブラインドで乖離するケースが数多くみられた。例えば、外付ブラインド±0° 明色では、札幌（暖房負荷1.5 MWh/yr増、冷房負荷0.4 MWh/yr減）、東京（暖房負荷1.2 MWh/yr増、冷房負荷1.0 MWh/yr減）、鹿児島（暖房負荷0.7 MWh/yr増、冷房負荷1.4 MWh/yr減）、那覇（冷房負荷2.0 MWh/yr減）の差が生じた。また、外付ブラインド±0° 暗色では、札幌（暖房負荷2.1 MWh/yr増、冷房負荷0.4 MWh/yr減）、東京（暖房負荷1.7 MWh/yr増、冷房負荷1.2 MWh/yr減）、鹿児島（暖

房負荷1.0 MWh/yr増, 冷房負荷1.7 MWh/yr減), 那覇(冷房負荷2.5 MWh/yr減)の差が生じた。総じて外付ブラインド±0°の場合には, 暖房負荷は増加傾向(12~29%程度), 冷房負荷は減少傾向(19~31%程度)を示した。これは, 開口面に対して斜め方向からの入射日射(特に直達日射)の場合にスラットが水平状態(±0°)であることによって得られる日射遮蔽の効果がガラスの入射角特性に見込まれていないことが影響している。これは, 内付ブラインド±0° 明色(暖房負荷0.2~0.4 MWh/yr増, 冷房負荷0.2~0.6 MWh/yr減), 外付ブラインド+45°(暖房負荷0.3~0.6 MWh/yr増, 冷房負荷0.0~0.2 MWh/yr減), 内付ブラインド+45° 明色(暖房負荷0.1~0.3 MWh/yr増, 冷房負荷0.0~0.2 MWh/yr減)でも同様の傾向がみられた。反対に外付ブラインド-45° 明色では, 札幌(暖房負荷1.0 MWh/yr減, 冷房負荷0.1 MWh/yr増), 東京(暖房負荷1.0 MWh/yr減, 冷房負荷0.2 MWh/yr増), 鹿児島(暖房負荷0.5 MWh/yr減, 冷房負荷0.4 MWh/yr増), 那覇(冷房負荷0.6 MWh/yr増)の差が生じた。また, 外付ブラインド-45° 暗色では, 札幌(暖房負荷1.1 MWh/yr減, 冷房負荷増減なし), 東京(暖房負荷1.1 MWh/yr減, 冷房負荷0.1 MWh/yr増), 鹿児島(暖房負荷0.6 MWh/yr減, 冷房負荷0.3 MWh/yr増), 那覇(冷房負荷0.5 MWh/yr増)の差が生じた。総じて外付ブラインド-45°の場合には, 暖房負荷は減少傾向(7~13%程度), 冷房負荷は増加傾向(6~10%程度)を示した。これは, 開口面に対して斜め方向からの入射日射(特に直達日射)の場合にスラットが採光角(-45°)であることによって得られる日射取得の効果がガラスの入射角特性に見込まれていないことが影響している。

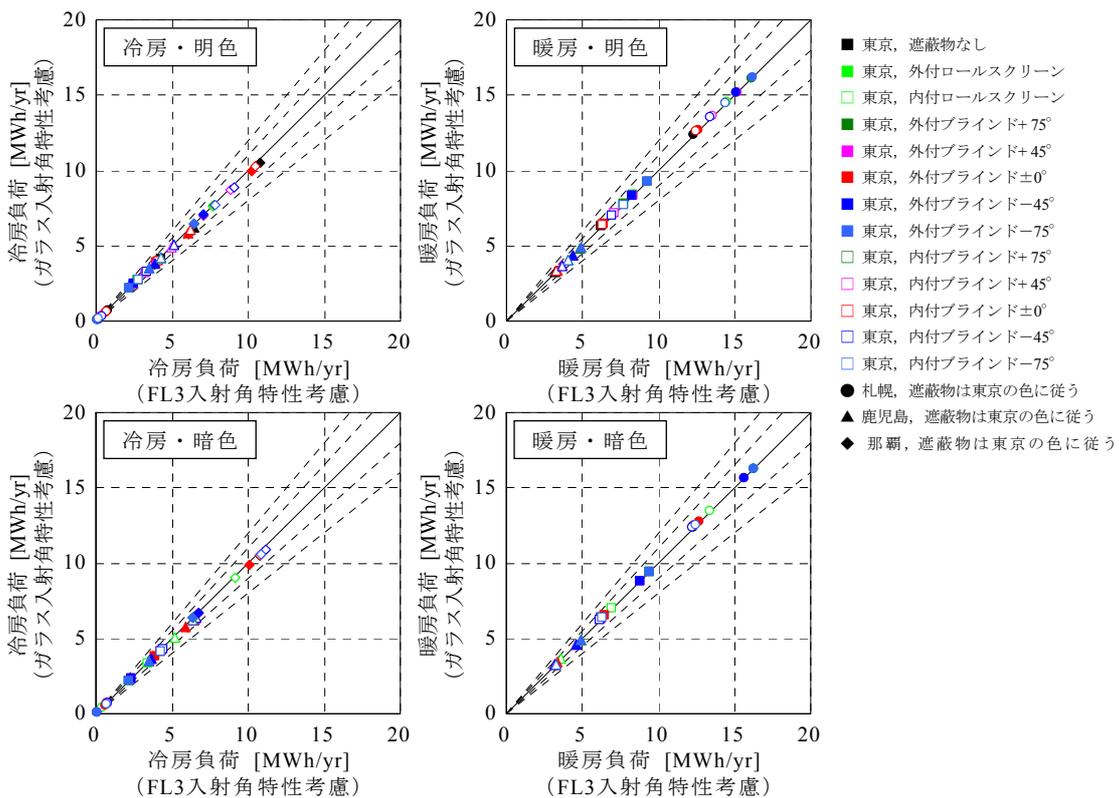


図4.2 年間暖／冷房負荷の比較(日射遮蔽物がある窓, ガラス vs. FL3)

各ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を考慮した場合での日射遮蔽物の違いによる年間暖／冷房負荷の大きさに着目すると, 内付ブラインド暗色の場合には, スラット角の違いによってその差はほとんどみられなかった。これは, ブラインドスラット材の日射吸収率が非常に大きい($\alpha = 0.95$)ため, ブラインド層での透過日射熱取得に

なるか吸収日射熱取得になるかの違いはあるもの室内での総合日射熱取得はほとんど変わらないことを意味している。日射遮蔽物がない窓との負荷の差が少ないことから冬期にブラインドのスラット角の調整で調光やグレアの制御をしつつ暖房負荷の削減を行う手段のひとつとして有効であると考えられる。

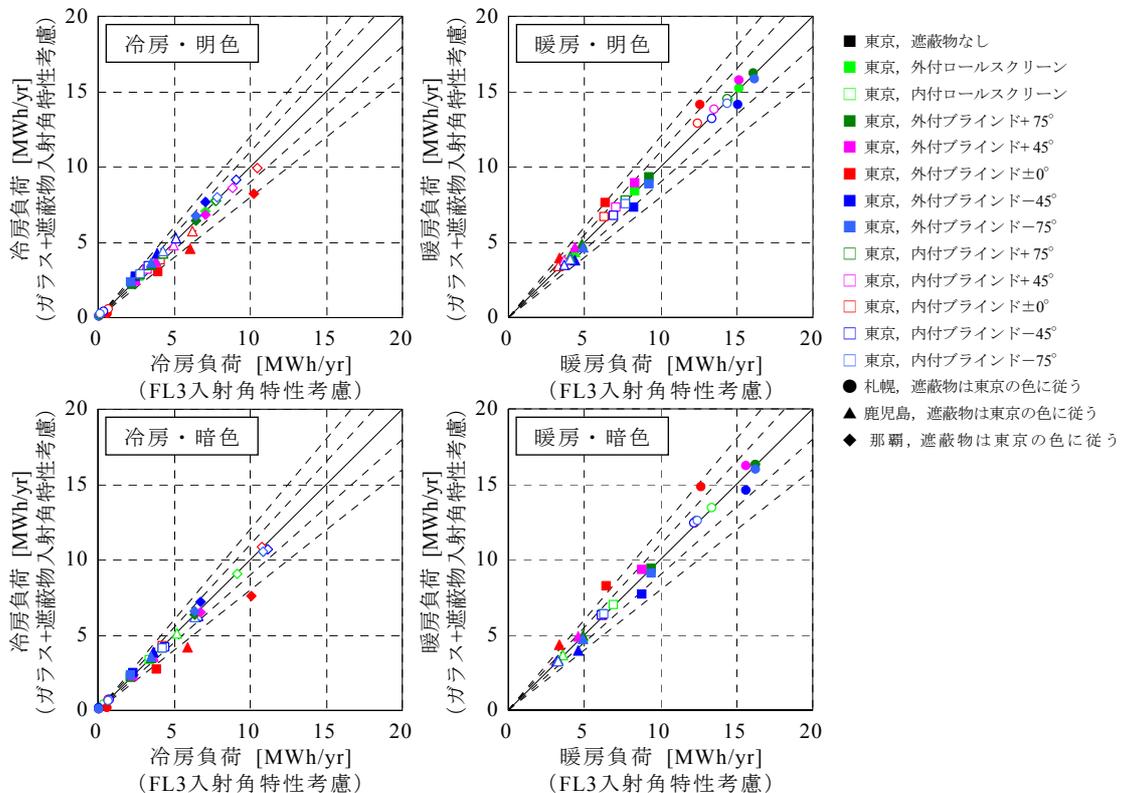


図4.3 年間暖／冷房負荷の比較（日射遮蔽物がある窓，ガラス + 遮蔽物 vs. FL3）

また，ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を考慮した場合と3 mm透明ガラスの入射角特性を考慮した場合の年間暖／冷房負荷の差が大きい外付ブラインド±0° 明色と外付ブラインド−45° 明色について月平均時刻別熱負荷の比較を地点毎，暖／冷房負荷別に行った。外付ブラインド±0° 明色の月平均時刻別熱負荷は，ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を考慮することによって昼間の暖房負荷が大幅に増加し夕方～夜間の暖房負荷も増加する傾向を示した。一方，昼間の冷房負荷は9月～10月頃に大幅に減少する傾向を示した。これらの結果から，スラット角±0° の場合にはガラスの入射角特性だけを考慮した場合に窓からの日射熱取得を過大評価する可能性があるため，ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を適切に考慮する必要があることが分かった。外付ブラインド−45° 明色の月平均時刻別熱負荷は，ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を考慮することによって昼間の暖房負荷が大幅に減少し夕方～夜間の暖房負荷も減少する傾向を示した。一方，昼間の冷房負荷は10月頃に増加しているもののその差はスラット角±0° の場合と比べて小さかった。これらの結果から，スラット角−45° の場合にはガラスの入射角特性だけを考慮した場合に窓からの日射熱取得を過少評価する可能性があるため，ガラス+日射遮蔽物の入射角特性を適切に考慮する必要があることが分かった。

第 5 章 結論

第5章では，結論として本研究で得られた検討結果および知見をまとめた。さらに

今後の研究によって解決すべき課題を整理し、展望を述べた。

参考文献

- 1) United Nations: Paris Agreement, Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015, 2016.1, <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>
- 2) Submission of Japan's Intended Nationally Determined Contribution, 2015.7, http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/Published%20Documents/Japan/1/20150717_Japan's%20INDC.pdf
- 3) 国立環境研究所温室効果ガスインベントリオフィスウェブサイト, 日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2014年度) 確報値, 2016.4, http://www-gio.nies.go.jp/aboutghg/data/2016/L5-7gas_2016-gioweb_J1.0.xlsx
- 4) エネルギーの使用の合理化に関する法律(昭和54年法律第49号, 最終改正:平成27年法律第65号)
- 5) 経済産業省, 国土交通省, 環境省:「低炭素社会に向けた住まいと住まい方」の推進方策についての中とりまとめ, 2012.7, <http://www.mlit.go.jp/common/000216966.pdf>
- 6) 建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律(平成27年法律第53号)
- 7) 建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令における算出方法等に係る事項等(平成28年国土交通省告示第265号)
- 8) 住宅部分の外壁、窓等を通しての熱の損失の防止に関する基準及び一次エネルギー消費量に関する基準(平成28年国土交通省告示第266号)
- 9) S. J. Harrison, S. J. van Wonderen: SF-98-8-1 -- Evaluation of Solar Heat Gain Coefficient for Solar-Control Glazings and Shading Devices, *ASHRAE Transactions*, Vol. 104, Pt. 1, pp.1051-1062, San Francisco, 1998.1
- 10) G. Alvarez, M.J. Palacios, J.J. Flores: A test method to evaluate the thermal performance of window glazings, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 20, No. 9, pp.803-812, 2000.7
- 11) Tilmann E. Kuhn: Calorimetric determination of the solar heat gain coefficient g with steady-state laboratory measurements, *Energy and Buildings*, Vol 84, pp.388-402, 2014.12
- 12) Norbert Sack, Tilmann. Kuhn, Andreas Beck: Development of a reference method for calorimetric g-value measurements of transparent and translucent building components, *Final report of the German national research project REGES*, i.f.t. Rosenheim, Fraunhofer ISE and ZAE Bayern, 2001.9
- 13) Fangzhi Chen, Stephen K. Wittkopf, Poh Khai Ng, Hui Du: Solar heat gain coefficient measurement of semi-transparent photovoltaic modules with indoor calorimetric hot box and solar simulator, *Energy and Buildings*, Vol 53, pp.74-84, 2012.10
- 14) Jae-sik Kang, Tae-Jung Kim, Gyeong-seok Choi, Seung-Eon Lee: Development and evaluation of SHGC measurement system for cooling energy saving in buildings, *Advanced Materials Research*, Vol 689, pp.176-179, 2013.5
- 15) C. W. Pennington, W. A. Smith, Erich Farber, J. C. Reed, Experimental Analysis of Solar Heat-Gain Through Insulating Glass with Indoor Shading, *ASHRAE Transactions*, Vol. 70, 1964; *ASHRAE Journal*, Vol. 6, No. 2, pp.27-37, 1964
- 16) J. H. Klems: Measurement of Fenestration Net Energy Performance: Considerations Leading to Development of the Mobile Window Thermal Test (MoWitt) Facility, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 110, No. 3, pp.208-216, 1988
- 17) M.R. Collins, S.J. Harrison: SE-99-15-2 -- Calorimetric Measurement of the Inward-Flowing Fraction of Absorbed Solar Radiation in Venetian Blinds, *ASHRAE Transactions*, Vol. 105, Pt. 2, pp.1022-1030, Seattle, 1999.6
- 18) Hans Simmler, Bruno Binder, Roger Vonbank: Wärmelasten transparenter Bauteile und Sonnenschutzsysteme, *Final report of Research Program "Rational Use of Energy in Buildings"*, EMPA/BFE, 2000.12
- 19) David B. Tait: QC-06-013 -- Solar Heat Gain Coefficients for High-Mass Glazing Blocks, *ASHRAE Transactions*, Vol. 112, Pt. 2, pp.142-150, Quebec City, 2006.6
- 20) Deivis L. Marinowski, Saulo Güths, Roberto Lamberts: Development of a calorimeter for determination of the solar factor of architectural glass and fenestrations, *Building and Environment*, Vol 47, pp.232-242, 2012.1
- 21) Architectural Testing: SHGC Testing, *Building Informational Bulletin #27*, 2006.12
- 22) 倉山千春: 開口部の日射熱取得率測定法に関する研究 開口部の断熱・遮熱性能 その1, 日本建築学会環境系論文集, No. 604, pp.15-22, 2006.6
- 23) 倉山千春, 澤地孝男, 桑沢保夫, 宮田征門, 赤嶺嘉彦, 二宮秀典, 伊丹清, 上乘正信, 佐久間英二, 木下泰斗, 伊藤春雄, 齊藤孝一郎, 児島輝樹, 田代達一郎, 宮澤千頭: 開口部の日射熱取得性能および断熱性能の評価方法, 建築研究資料, No.161, 2014.7
- 24) 藤本哲夫, 黒木勝一: 人工太陽を用いた日射遮蔽性能の測定に関する実験的研究(その1) 測定装置及び測定例, 日本建築学会学術講演梗概集(東北) D-2, pp.149-150, 2000.9
- 25) 建設省建築研究所: 省エネルギー住宅システムの開発報告書 建設省総合技術開発プロジェクト, 財団法人

- 人住宅・建築省エネルギー機構, 1983.3
- 26) M. Shukuya, K. Kimura: 3056 -- Passive method to determine shading coefficient using two naturally ventilated and transparent boxes, ASHRAE Transactions, Vol. 93 , Pt. 2, pp.23-41, Nashville, 1987.6
 - 27) 稲沼實, 石野久彌: 屋内用横型ブラインドの日射遮蔽係数に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文集, No. 523, pp.85-91, 1999.9
 - 28) 一ノ瀬雅之, 井上隆, 齊藤寛: 高性能窓システムの熱・光性能の現場測定法, 日本建築学会環境系論文集, No. 641, pp.845-851, 2009.7
 - 29) 一般財団法人日本規格協会: JIS A 1493, 窓及びドアの熱性能—日射熱取得率の測定, 2014.4
 - 30) International Organization for Standardization: ISO/FDIS 19467, Thermal performance of windows and doors -- Determination of solar heat gain coefficient using solar simulator, 2016.10
 - 31) International Organization for Standardization: ISO 15099, Thermal performance of windows, doors and shading devices -- Detailed calculations, 2003.11
 - 32) 一般財団法人日本規格協会: JIS A 2103, 窓及びドアの熱性能—日射熱取得率の計算, 2014.4
 - 33) 木下泰斗, 赤坂裕, 二宮秀與: ベネシャンブラインドの光学特性の計算法, 日本建築学会環境系論文集, No. 617, pp.1-8, 2007.7
 - 34) 木下泰斗, 赤坂裕, 二宮秀與: 板ガラスとベネシャンブラインドとを組み合わせた光学特性の計算法, 日本建築学会環境系論文集, No. 639, pp.569-577, 2009.5
 - 35) 田代達一郎, 倉山千春, 二宮秀與, 伊丹清, 木下泰斗, 宮澤千頭: 開口部の日射熱取得性能 その 10 遮蔽物無し条件での測定と計算の比較, 日本建築学会学術講演梗概集 (北海道) 環境工学 II, pp.185-186, 2013.8
 - 36) 田代達一郎, 木下泰斗, 倉山千春, 佐久間英二, 二宮秀與, 上乘正信, 児島輝樹: 開口部の日射熱取得性能 その 11 遮蔽物付き条件での計算と測定の比較, 日本建築学会学術講演梗概集 (近畿) 環境工学 II, pp.177-178, 2014.9
 - 37) 株式会社建築環境ソリューションズ: AE-Sim/Heat 操作マニュアル, 2010.7
 - 38) 株式会社建築環境ソリューションズ: AE-CAD Ver. 3 操作マニュアル, 2010.7
 - 39) 一般財団法人日本規格協会: JIS A 4710, 建具の断熱性試験方法, 2015.3
 - 40) International Organization for Standardization: ISO 12567-1, Thermal performance of windows and doors -- Determination of thermal transmittance by the hot-box method -- Part 1: Complete windows and doors, 2010.6
 - 41) Richard Perez, Pierre Ineichen, Robert Seals, Joseph Michalsky, Ronald Stewart: Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance, *Solar Energy*, Vol. 44, No.5, pp.271-289, 1990
 - 42) 赤坂裕, 荒井良延, 井川憲男, 石野久彌, 永村悦子, 永村一雄, 郡公子, 曾我和弘, 西岡真稔, 二宮秀與, 松本真一: 拡張アメダス気象データ 1981-2000, 日本建築学会, 2005.8