

熱環境システム設計WG

開口部における近赤外域日射の遮蔽による省エネルギー効果

ENERGY CONSERVATION EFFECT OF SHIELDING NEAR INFRARED SOLAR RADIATION AT WINDOW

一ノ瀬 雅之 東京理科大学 理工学部建築学科 助教 博士(工学)  
井上 隆 東京理科大学 理工学部建築学科 教授 工学博士

This paper presents actual performance of solar shielding blinds and films that can be easily installed to not only new-built but also existing building. Reflectivity and transmissivity in the near-infrared region that accounts for a half of total solar radiation are measured, and actual performance of shielding solar radiation, reduction of window surface temperature and color of transmit daylight, that influences thermal and visual environment of the inner space are also investigated. Finally, effect of energy conservation in the office building is verified by annual heat load simulation based on actual measurement.

1. はじめに

近年増大しつつある建築物の開口部は、意匠性や眺望性の要求に応えるものであるが、日射熱取得による空調負荷の増大を抑制するための日射遮蔽が必要不可欠である。また、改正省エネ法により大規模建物のみならず中・小規模建物においても省エネルギー対策が急務である。こうした中、日射遮蔽性能に優れたエアフロー型窓やダブルスキンに加え、波長を選択的に透過、反射する遮熱フィルムや遮熱ブラインドは有効な省エネ手法となりうる。これらの遮熱性部材は、比較的安価で簡易に窓面への適用が可能であるため、遮蔽性能の低い既存建物への導入のほか、執務者要求にあわせた部分的な導入などが挙げられるが、実使用状況下で性能を評価した例は少なく、普及に向けた知見が不足している状況といえる。

本研究は、遮熱ブラインド、遮熱フィルム単体の性能、また、実際に窓面に併用した場合における熱・光性能を明らかにすることを目的とする。

2. 遮熱性部材単体の基本的性能及び測定概要

遮熱性部材の基本的性能を把握するために分光透過率及び反射率の測定を行った。測定に用いた分光放射計、積分球の概要を表1,2に示す。表3に示すように、ブラインドに関しては一般型、遮熱型を3色(6種類)、フィルムに関しては計18種類を測定対象とした。各種ブラインド単体の分光反射率を図1に示す。3色のブラインドにおいて遮熱型は一般型より反射率が高く、特に灰色、黒色に関しては紫外可視光域(UV+V)におけるは反射率は同等であるが、近赤外域(NIR)においては顕著に高いことがわかる。遮熱フィルムに関しては18種類のうち4種類を挙げ、その測定結果を図2に示す。

**表1 分光放射計概要**

開口角	25°, *1°, *180°
センサ	可視光域(350-1000nm) 近赤外線1(1000-1800nm) 近赤外線2(1800-2500nm)
計測間隔	1nm
*アタッチメントにより変更可能	

**表2 積分球概要**

コーティング	硫酸バリウム
直径	6inch
波長範囲	250-2500nm
検出用ポート	0.5inch
ポート	1inch(5箇所)

**表3 測定試験体**

ブラインド	6種類 白色系, 灰色系, 黒色系
計測項目	分光反射率
フィルム	18種類
計測項目	分光透過・反射率
*フィルム単体で計測	

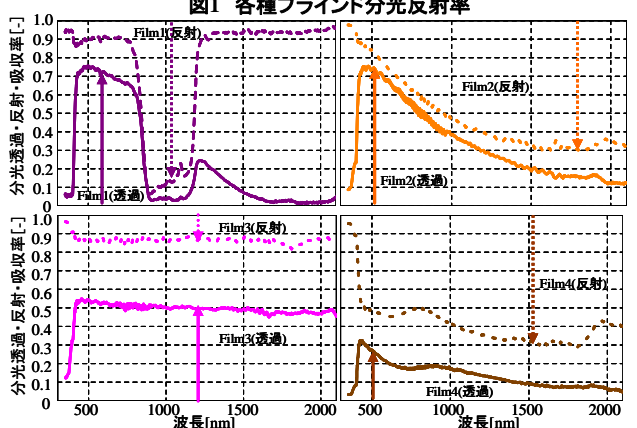
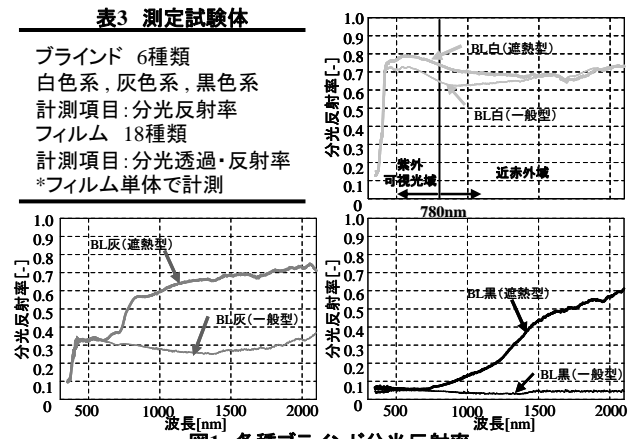


図2 代表的遮熱フィルムの分光透過・反射率

可視光域(380nm~780nm)の透過率が高く、近赤外域の透過率が低い(Film1,2)、全波長域において一様な透過・反射率を有する(Film3)、透過率は低く反射率が高い(Film4)など、製品によって異なる波長特性を持つ。図3に窓ガラス及び遮熱フィルム併用単板透明ガラスの可視光透過率、日射熱取得率を示す。遮熱フィルムには様々な波長特性を有するものが存在し、日射遮蔽に特化した製品が多いが、この中で日光利用及び日射遮蔽性能の向上が期待される Film1 及び Film2 を実際の窓面に適用し、以降の実測を行っていくものとする。

### 3. 遮熱性部材併用窓の測定概要

本学構内の4階西面の部屋において表4に示すように、単板透明ガラス(以下FL)に灰ブラインド(一般型、遮熱型)を、また、FL、FL+Film1、FL+Film2、遮熱型Low-E複層(以下Low-E)に白ブラインドを併用して測定を行った。ブラインド併用窓面の分光透過・反射・吸収率を図4のように測定した。ブラインド併用時の視環境評価を行うため、透過・反射特性の異なるFL、FL+Film1、FL+Film2、Low-Eを対象に二次元色彩輝度計を用いて測定を行った。なお、この二次元色彩輝度計は輝度を画像として捉え、任意の評価領域を選択し、その領域の平均値データを抽出可能である。

### 4. 遮熱ブラインド併用窓の性能評価

**4-1. 分光特性の測定結果** スラット角全閉状態における一般型ブラインド及び遮熱型ブラインド併用窓の分光透過・反射・吸収率を図5に示す。透過率は全波長域において同等であるが、近赤外域における反射率を比較すると遮熱型ブラインドは一般型ブラインドに対して顕著に高くなっているため、結果として遮熱型ブラインドは近赤外域における日射吸収率が約0.2低い結果となった。

**4-2. スラット面温度の比較** 中間期代表日にスラット角を全閉状態にして計測を行った。スラット面及び窓面温度の推移を図6に示す。直達日射の当たらない時間帯では一般型ブラインドと遮熱型ブラインドでは温度差は生じなかった。直達日射が当たり始めると徐々に温度差がつき、日射ピーク時における遮熱型ブラインドのスラット面温度は一般型ブラインドに対して約5K低く抑えられており、近赤外域における反射率が高い遮熱型ブラインドの有効性が示された。

### 4. 実使用状況下における遮熱フィルムの性能評価

**4-1. 遮熱フィルムの分光特性測定結果** FL、Low-E、FL+Film1、FL+Film2の分光透過・反射率を図7に示す。[FL+Film1]、[FL+Film2]は可視光域の透過率を維持しつつも近赤外透過率を低く抑えており、表5で示すように近赤外域における日射透過率は[FL]が約0.8であるのに対して[FL+Film1]は約0.1、[FL+Film2]は約0.3となっている。また、近赤外域における日射反射率は[FL+Film1]、[FL+Film2]において約0.4となっており[FL]に対して日射反射率は0.3ほど高く、遮熱フィル

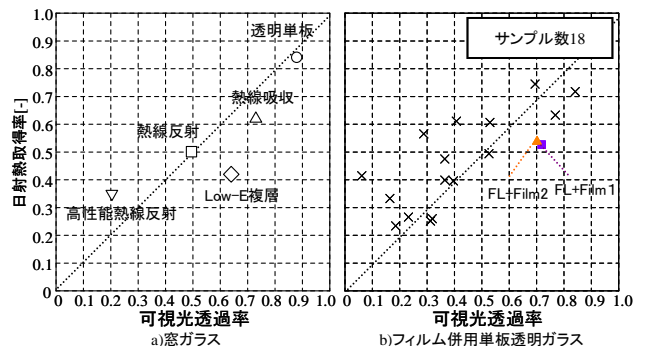


図3 窓ガラスと遮熱フィルムの性能比較

表4 実測対象及び測定項目

窓仕様	ブラインド
FL	灰色(一般型) 灰色(遮熱型)
FL	白色
Film1併用FL	
Film2併用FL	
遮熱型Low-E複層	
測定項目	測定機器
分光透過	分光放射計
分光反射率	分光放射計
窓面輝度	二次元色彩輝度計

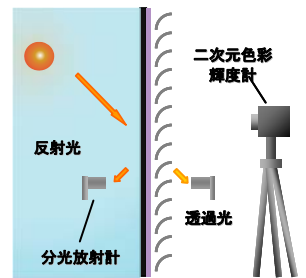
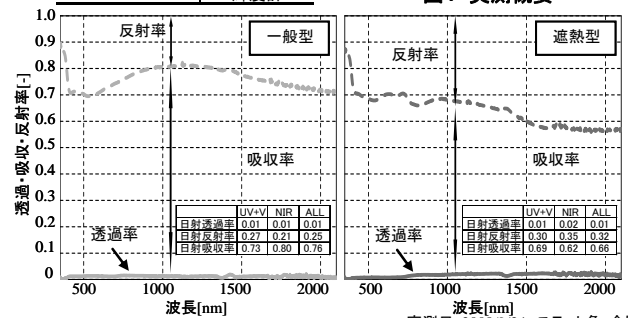


図4 実測概要



実測日:2008/9/24 スラット角:全閉

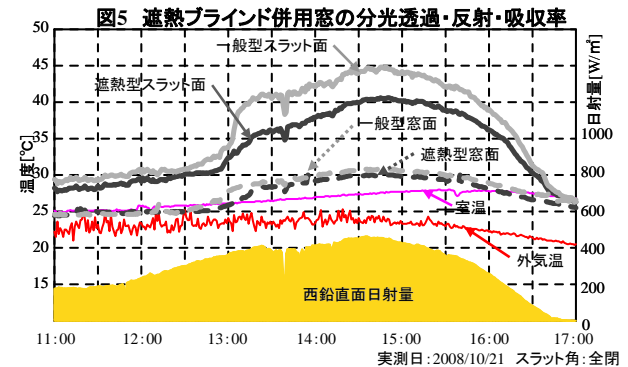
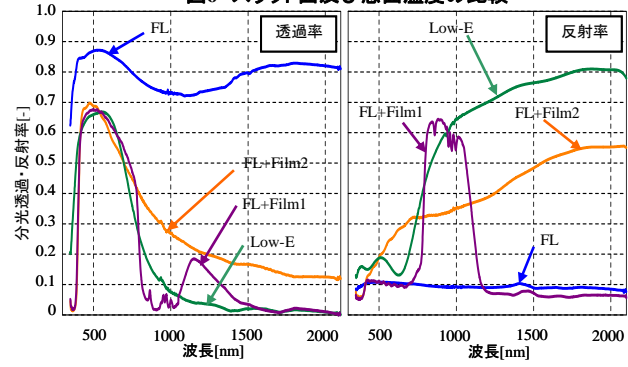


図6 スラット面及び窓面温度の比較



実測日:2009/9/24

図7 遮熱フィルム併用窓の分光透過・反射率

表5 窓仕様別の日射透過・反射・吸収率

	FL			Low-E			FL+Film1			FL+Film2		
	UV+V	NIR	ALL	UV+V	NIR	ALL	UV+V	NIR	ALL	UV+V	NIR	ALL
日射透過率	0.84	0.76	0.81	0.58	0.09	0.36	0.58	0.08	0.35	0.56	0.25	0.42
日射反射率	0.10	0.09	0.10	0.19	0.65	0.39	0.11	0.35	0.21	0.23	0.40	0.30
日射吸収率	0.05	0.15	0.10	0.24	0.26	0.25	0.32	0.57	0.44	0.21	0.35	0.27

ムによる遮蔽性能の向上が確認できる。

**4-2. ブラインド併用時の分光特性測定結果** 白ブラインド併用時における各窓仕様の分光透過・反射率を図8に示す。スラット 30° においても同様に [FL+Film1]、[FL+Film2] の近赤外透過率が低く、フィルムによる効果が発揮されていることがわかる。紫外可視光反射率はいずれの仕様において、表5より窓単体の可視光域における透過率が高いため、白ブラインド併用時の反射率が高くなっている。近赤外反射率は窓単体の反射率及び吸収率に影響されるため、近赤外反射率の高い [Low-E]、[FL+Film1]、[FL+Film2] はほとんど変化が見られなかった。

**4-3. ブラインド併用時のスラット面温度比較** 中間期代表日における窓面及びスラット面温度の推移を図9に示す。日射ピーク時における窓面温度は [FL+Film1] > [FL+Film2] > [FL] > [Low-E]、スラット面温度は、[FL] > [FL+Film1] > [FL+Film2] > [Low-E] となった。[FL+Film1] は近赤外域における日射の吸収により窓面温度が高い結果となったが、スラット面に入射する近赤外域における透過日射量が低いため、スラット面温度は [FL] に対して約 5K 低く抑えられている。[FL+Film2] は近赤外域における日射透過率及び吸収率が低く、約 7K の温度低減効果が見られた。

**4-4. ブラインド併用時の視環境評価** ブラインド併用時の視環境に影響を与える窓面透過光の色味、ブラインドの映り込みについて評価を行った。映り込みは図10に示すように窓面の反射特性に依存し、ブラインド間隙部に発生する。ここで映り込みは、映り込み輝度を映り込み輝度と背景輝度の和で除したものを映り込み輝度比と定義して評価する。今回検討を行った窓面には、背景に輝度が低い地物が存在しており、実際のオフィスにおいても想定される状況下で測定を行った。図11に示す輝度画像において、映り込み輝度は背景輝度(地物)より約 500cd/m<sup>2</sup> 高い値を示している。

**4-4-1. 窓面における色味の評価** ブラインド巻き上げ時における窓面透過光の色度、ブラインド併用時における映り込みの色度を図12に示す。[FL+Film1]、[FL+Film2] は [FL] の色度と同等でありブラインド巻き上げ時ではフィルムによる昼光色への影響は小さいといえる。映り込み部は [FL] に対して [Low-E]、[FL+Film2] それぞれ緑色、黄色の要素が大きくなって一方、[FL+Film1] に関してはやや青色方向に推移しているが影響は比較的小さいことがわかる。

**4-4-2 映り込み輝度比の評価** 各窓仕様に白ブラインドを併用した場合の映り込み輝度比の時刻推移を図13に示す。映り込み輝度比は可視光域における反射率の高い [Low-E]、[FL+Film2] が顕著に高く 0.85 前後で推移している。それに対して可視光反射率の低い [FL]、[FL+Film1] は 0.75 前後で推移しており、可視光反射率の低いフィルムにより映り込みの発生は [FL] と同程度

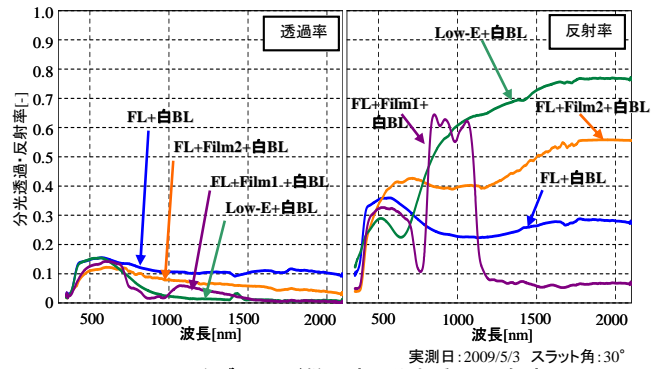


図8 白ブラインド併用時の分光透過・反射率

表6 窓仕様別の日射透過・反射・吸収率(BL併用時)

	FL+白BL			Low-E+白BL			FL+Film1+白BL			FL+Film2+白BL		
	UV+V	NIR	ALL	UV+V	NIR	ALL	UV+V	NIR	ALL	UV+V	NIR	ALL
日射透過率	0.14	0.11	0.12	0.13	0.03	0.08	0.11	0.03	0.07	0.10	0.07	0.09
日射反射率	0.32	0.25	0.29	0.26	0.62	0.42	0.26	0.34	0.30	0.35	0.43	0.38
日射吸収率	0.54	0.65	0.59	0.61	0.35	0.50	0.62	0.64	0.63	0.55	0.49	0.53

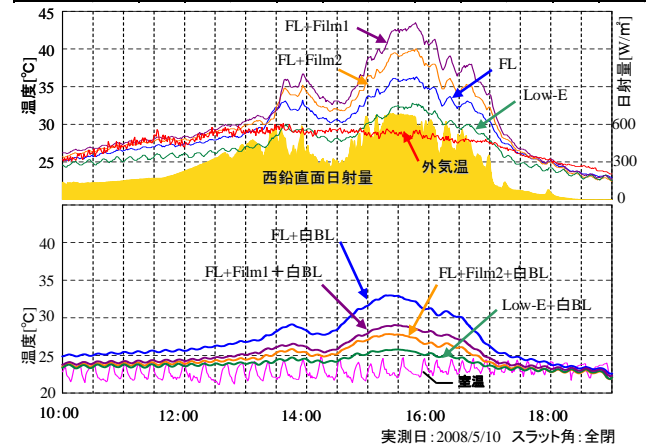


図9 窓面及びスラット面温度の比較

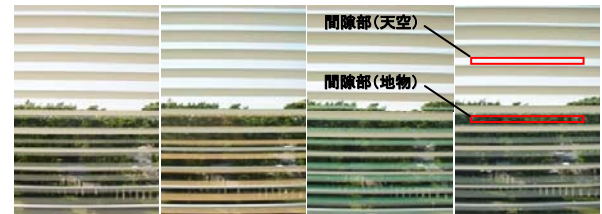


図10 白ブラインド併用時の可視画像(SS1/180:F22)

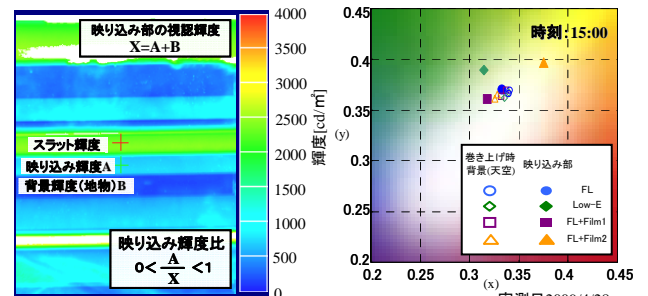


図11 輝度画像

図12 窓面透過光の色度

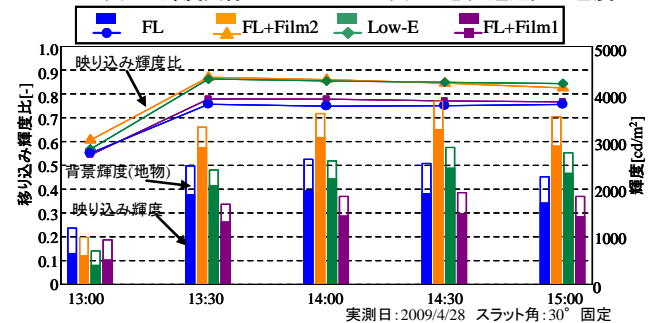


図13 BL併用時における映り込み輝度比の時刻推移



であった。

## 5. シミュレーションによる熱・光性能評価

時々刻々と変動する日射及び窓構成材の波長特性、角度特性を組み込んだシミュレーションを用いて、実測値とシミュレーション値の整合性を検討し、熱・光性能の計算を行った。<sup>1)</sup>

**5-1. 窓面透過光の発光効率** 窓仕様に応じた熱・光性能を、窓面透過光束量を日射熱取得量（透過日射量、対流・放射流入量）で除した発光効率により評価を行った。図14に夏期代表日における発光効率、西鉛直面照度、透過光束量の時刻推移を示す。直達日射のない時間帯においては、窓仕様により発光効率が40～110lm/Wとなっており、直射時間帯ではブラインド制御により直射光が遮断されるため発光効率は減少する。[Low-E+灰BL]、[FL+Film1+灰BL]の発光効率が高い結果となった要因は、近赤外の日射熱を遮断しつつも照度に寄与する可視光を効率的に透過させているためである。

**5-2. 窓面熱量構成の評価** 遮熱性部材を窓面及びAFWに併用した場合における熱量構成の年間変動を図15に示す。[FL+遮熱灰BL]は[FL+灰BL]と比べて近赤外反射により対流・放射流入量を抑え、熱取得を軽減可能である。[FL+Film1+灰BL]は断熱性能向上に寄与しないが、日射熱取得量が大きく減っていることがわかる。AFW[FL+灰BL+FL]は断熱性能、遮蔽性能に優れているがフィルムを併用することにより特に透過日射量を抑制し更なる遮蔽性能向上が期待できる。

**5-3. 室内一次エネルギーの評価** 各窓システムを導入した室内の一次エネルギー消費量を図16に示す。遮熱BLは近赤外反射により冷房負荷を削減できることがわかる。[FL+Film1+灰BL]は照明負荷を増加させることなく冷房負荷を軽減する。AFW [FL+灰BL+FL]に遮熱フィルムを併用することによりAFW[Low-E複層+灰BL+FL]に比較的近い性能が期待でき、コストや簡易に適用ができることを踏まえると効果的な省エネルギー手法といえる。

## 6. まとめ

波長選択性を有する窓システムの性能を実測及びシミュレーションにより総合的に評価し、

- ・ 遮熱ブラインドは、近赤外反射によりスラット面温度を従来のブラインドより低く抑え、熱環境の改善及び室内負荷削減に寄与すること、
- ・ 遮熱フィルムは、ブラインド併用時に映り込みが発生し得る状況下において、視環境を悪化させることなく遮蔽性能を向上可能であること、
- ・ 比較的安価、且つ、施工の容易性を考慮すると、AFWにおいても波長選択的に日射を透過させる遮熱フィルムの適用は効果的であること、

などを示した。

### 【参考文献】

- 1) 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 第641号, 2009年7月(予定)
- 2) 郡公子, 石野久彌: 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 第600号, 2006年2月

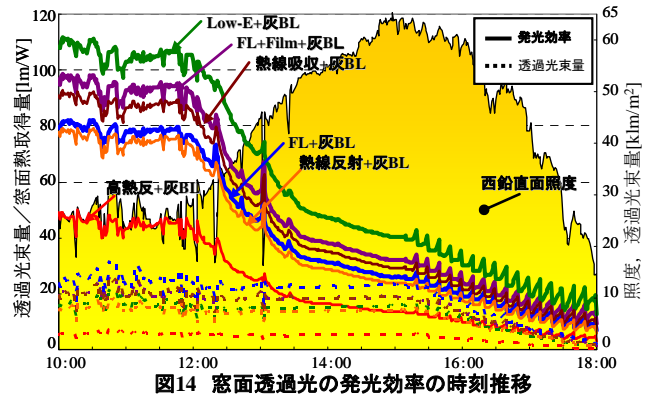


図14 窓面透過光の発光効率の時刻推移

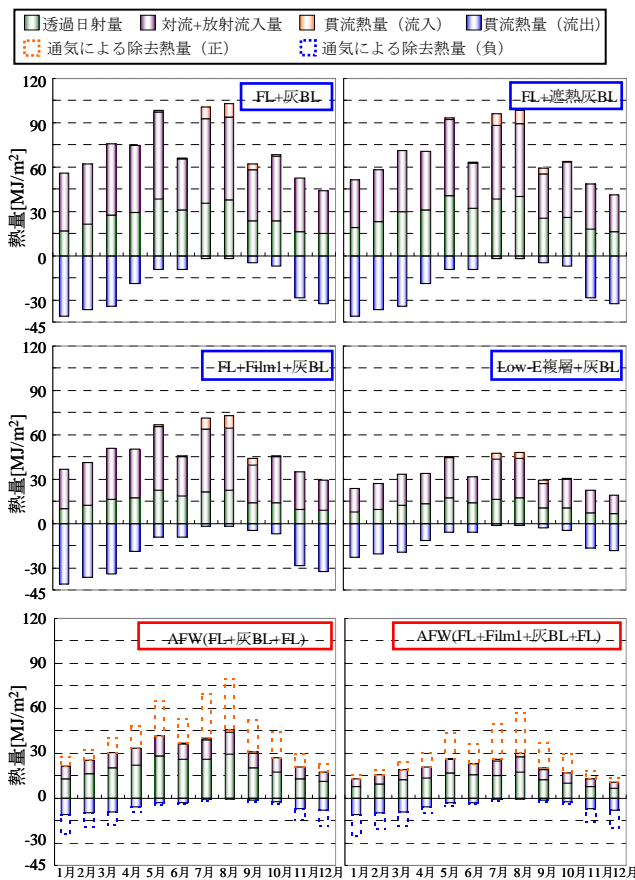


図15 窓仕様別熱量構成および日射熱取得率

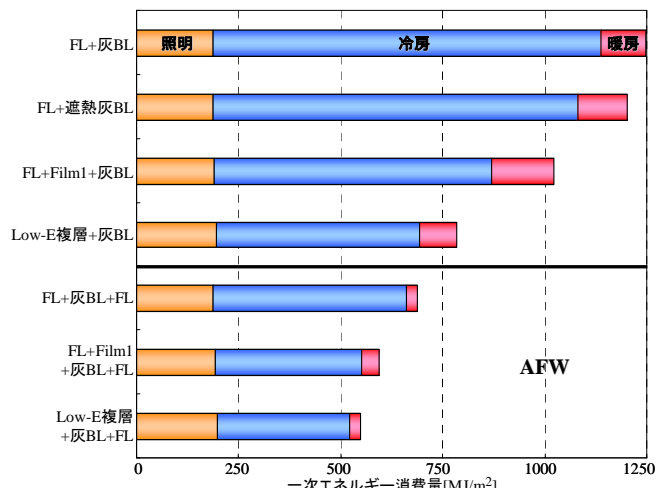


図16 一次エネルギー消費量比較

### 【謝辞】

計測機器の一部は、石野久彌首都大学東京名誉教授の協力を得た。記して謝意を表す。