

# 日射が透過する材料を対象とした二点校正法による 透過・反射率の測定に関する研究

吉野 達矢<sup>\*1</sup>  
親川 昭彦<sup>\*2</sup>  
中田 貴之<sup>\*3</sup>  
酒井 孝司<sup>\*4</sup>

## 梗概

建築物の光熱環境評価を行うために、材料の日射・可視光の透過・反射特性の把握が重要となる。この特性を把握するためには、一般的に分光光度計が用いられている。しかしながら、分光光度計では測定が困難であったり、評価が難しい材料がある。

本研究では、高反射率塗料が塗布された材料(日射非透過材料)を対象とした日射反射率現場測定法(二点校正法)拡張し、日射透過材料を対象とした二点校正法を提案し、日射透過率および日射反射率の測定を行い、分光光度計で測定した結果との比較から、測定方法の妥当性を示す。

### 1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象の緩和や省エネに注目される中で、建物外皮に用いられる材料の日射・可視光の透過・反射特性に配慮することが重要となっている。

一般に、膜、ガラス、プラスチックフィルムや板、金属等の日射および可視光反射率、透過率の測定は、JIS K5602<sup>1)</sup>、JIS R3106<sup>2)</sup>、JIS Z 8722<sup>3)</sup>などにに基づき、分光光度計を用いて測定を行っている。しかし、分光光度計の仕様と光の拡散性を考えると、1) 測定可能な厚さには限度があり、2) 光束のサイズに対して、表面の凹凸、色、開口などの特性が均質ではない材料については、測定は可能であるものの、その測定結果の評価が難しい。

一方、高反射率塗料を対象とし、村田、酒井ら<sup>4)</sup>によって、日射反射率現場測定法(以下、二点校正法と呼ぶ、また、図表では2 point correction method より、2-PCMとする)が提案されている。この二点校正法は、測定対象面は完全拡散面を仮定し、屋外で反射率を測定する。ここで、検証されている測定対象は日射非透過材料である。膜材料等は日射透過材料であるため、二点校正法で測定する場合、透過日射の取り扱いが問題となる。

そこで、一般的な分光光度計で測定が困難な材料を対象として、日射透過率および日射反射率を測定することを目的に、日射透過材料を対象とした日射反射率と日射透過率を推定する方法を提案し、その妥当性の検証を行う。具体的な手順としては、

#### 1) 分光光度計にて反射特性が既知な非日射透過材料について

二点校正法を実施し、日射反射率[二点](図表ではR[2-PCM]とする)を求め、分光光度計で測定した日射反射率[分光](図表ではR[spm]とする。ここで、spmはspectrophotometerである)との比較を行い、測定方法の妥当性を確認する。

- 測定対象の裏側に標準板(以下、裏面板と呼ぶ。図表ではreverse board より、RBとする)を設置し、二点校正法に基づいて、総合日射反射率[二点](図表ではIntegrated R[2-PCM]とする)を求め、分光光度計で測定した日射反射率[分光]と日射透過率[分光](図表ではT[spm]とする)から総合日射反射率[分光](図表ではIntegrated R[spm]とする)を求め、比較を行い、妥当性の確認を行う
- 裏面板を変えた2つの総合日射反射率[二点]を用いて、測定対象の日射反射率[推定](図表ではR[E]とする。なお、EはEstimateを示す)と日射透過率[推定](図表ではT[E]とする)を求め、分光光度計で測定した日射反射率[分光]と日射透過率[分光]との比較を行い、提案する方法の妥当性の確認を行う。

ここで、二点校正法概念図をFig. 1に示す。二点校正法の手順(概念)は以下の通りである。

- 標準板A、Bの日射反射率[実測]R(図表:R[measure])と日射反射率[分光] $\rho$ (図表:R[spm])より校正線を引く(校正線の傾きは形態係数 $\phi$ の逆数)
- 測定対象Cの日射反射率[実測] $R^c$ と校正線の交点を求

\*1 太陽工業株式会社 技術研究所

\*2 太陽工業株式会社 マク・ライティング・オフィス

\*3 太陽工業株式会社 ソーラーSE 室

\*4 明治大学 理工学部建築学科

める

- ③ 日射反射率[二点]  $\rho^c$  (図表:R[2-PCM])が推定値となる
- ④ 推定式は次式となる

$$\rho^c = \frac{\rho^B - \rho^A}{R^B - R^A} R^c + \frac{R^B \rho^A - R^A \rho^B}{R^B - R^A} \quad (1)$$

## 2. 標準板(非透過材料)の日射反射率測定

### 2.1. 測定概要

2010年10月6日11:50~14:55に、大阪府枚方市(北緯34.8°, 東経135.7°)にて、測定を行った。Fig. 2に測定概略を、Fig. 3に測定風景を示す。設置場所の違いの影響を減らす

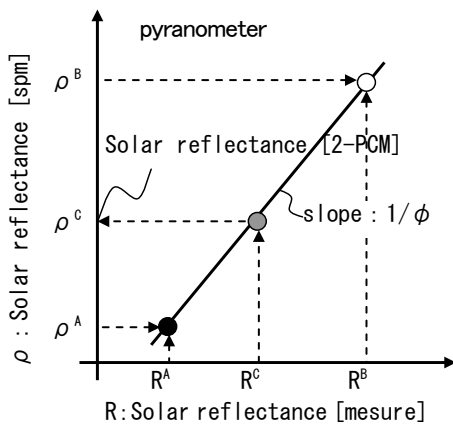


Fig. 1 Conceptual figure of 2 Point Correction Method<sup>4)</sup>

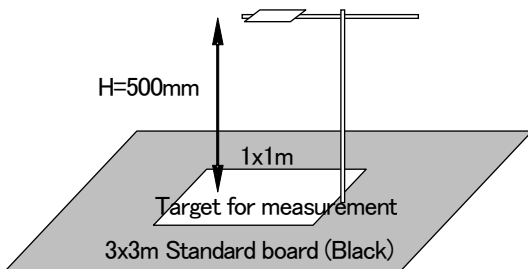


Fig. 2 Outline of measurement



Fig.3 Photograph of measurement

ために 3m 角の標準板(黒) (図表:SB(B); Standard board (Black))を広げ、その中央部に 1m 角の測定対象を設置した。測定対象の中央から 500mm 上部において、下向き水平面日射量の測定を行う。なお、設置場所 K は上向き水平面日射量も同時に測定する。この値を用いて、日射反射率[実測]を求める。日射計は英弘精機社製 MS-601, MS-602 を用いた。

分光光度計にて測定した標準板の日射反射率[分光], 日射透過率[分光]を Fig. 4, Table 1 に示す。なお、重係数は JIS K5602 を、分光光度計は日本分光社製 V-570 を用いた。

### 2.2. 標準板の測定結果

測定は計 5 回に分けて行い、Eqn. (1)に示す算定式を用いて日射反射率[二点]を推定する。測定時間とその時の太陽高度を Table 2 に示す。2 つの標準板の日射反射率[実測]を用いて、残りの1つの標準板(以下、推定対象と呼ぶ)の日射反射率[二点]を推定する。Table 3 に標準板の日射反射率[実測], 形態係数, 推定対象の日射反射率[二点]を示す。Fig. 5 に形態係数と太陽高度と時間の関係を示す。Fig. 6 に日射反射率[二点]を示す。

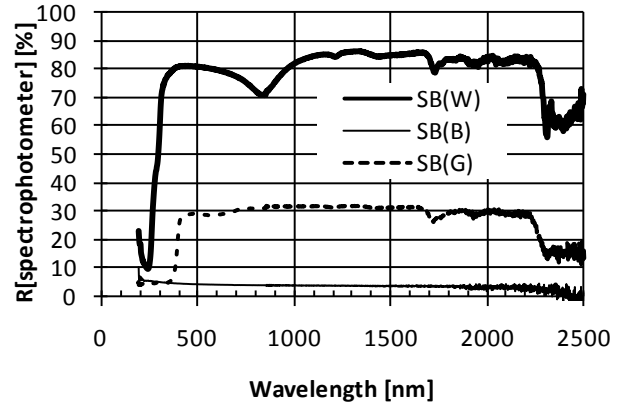


Fig.4 R[sprm] of SB(W), SB(B) and SB(G)

Table 1 R[sprm] and T[sprm] of standard board

Target	R [sprm]	T [sprm]
SB(W)	80.9	0.0
SB(B)	4.1	0.0
SB(G)	29.1	0.0

Table 2 Solar altitude to Measuring time

Group	Time	Solar altitude
A	11:50~12:00	49~50°
B	12:10~12:52	47~49°
C	12:58~13:25	43~46°
D	13:31~13:56	39~43°
E	14:20~14:55	29~37°

Table 3 R[measure], R[2-PCM], Shape factor

Time	Installation site	I			J			K			Mean		
	Estimated target	W	B	G	W	B	G	W	B	G	W	B	G
	Standard board	B, G	G, W	W, B	B, G	G, W	W, B	B, G	G, W	W, B	B, G	G, W	W, B
A	R[measure]	60.0	6.7	22.5	61.6	6.8	24.0	65.0	7.5	26.1	62.2	7.0	24.2
	Shape factor	0.63	0.72	0.69	0.69	0.72	0.71	0.75	0.75	0.75	0.69	0.73	0.72
	R[2-PCM]	88.6	7.3	26.8	83.4	5.3	28.3	81.3	4.3	29.0	84.4	5.6	28.0
	Difference*	7.7	3.2	-2.3	2.5	1.2	-0.8	0.4	0.2	-0.1	3.5	1.5	-1.1
B	R[measure]	56.3	6.7	21.9	61.6	6.3	23.2	57.4	6.9	26.1	58.4	6.6	23.7
	Shape factor	0.61	0.66	0.65	0.67	0.74	0.72	0.77	0.60	0.66	0.68	0.67	0.67
	R[2-PCM]	85.8	6.3	27.6	86.1	6.4	27.5	69.7	-2.8	33.4	80.5	3.3	29.5
	Difference*	4.9	2.2	-1.5	5.2	2.3	-1.6	-11.2	-6.9	4.3	-0.4	-0.8	0.4
C	R[measure]	44.0	6.6	20.8	44.4	5.5	21.6	49.8	6.1	22.2	46.1	6.1	21.5
	Shape factor	0.57	0.45	0.49	0.64	0.44	0.51	0.64	0.53	0.57	0.62	0.47	0.52
	R[2-PCM]	70.3	-2.4	33.1	64.5	-7.4	35.9	72.0	-1.1	32.4	68.9	-3.6	33.8
	Difference*	-10.6	-6.5	4.0	-16.4	-11.5	6.8	-8.9	-5.2	3.3	-12.0	-7.7	4.7
D	R[measure]	36.7	6.0	19.7	35.8	5.2	19.7	49.4	6.6	22.5	40.6	5.9	20.7
	Shape factor	0.55	0.33	0.40	0.58	0.31	0.40	0.64	0.52	0.56	0.59	0.39	0.45
	R[2-PCM]	60.2	-12.5	38.3	56.7	-17.8	40.6	71.2	-1.6	32.7	62.7	-10.7	37.2
	Difference*	-20.7	-16.6	9.2	-24.2	-21.9	11.5	-9.7	-5.7	3.6	-18.2	-14.8	8.1
E	R[measure]	23.0	7.3	20.7	24.8	5.5	21.2	36.0	8.8	23.2	27.9	7.2	21.7
	Shape factor	0.53	0.05	0.20	0.63	0.07	0.25	0.58	0.25	0.35	0.58	0.12	0.27
	R[2-PCM]	33.5	-262	69.3	34.8	-196	66.6	51.4	-29.0	44.7	39.9	-162	60.2
	Difference*	-47.4	-266	40.2	-46.1	-200	37.5	-29.5	-33.1	15.6	-41.0	-166	31.1

Note: Difference\* is (R [2-PCM]- R[measure])

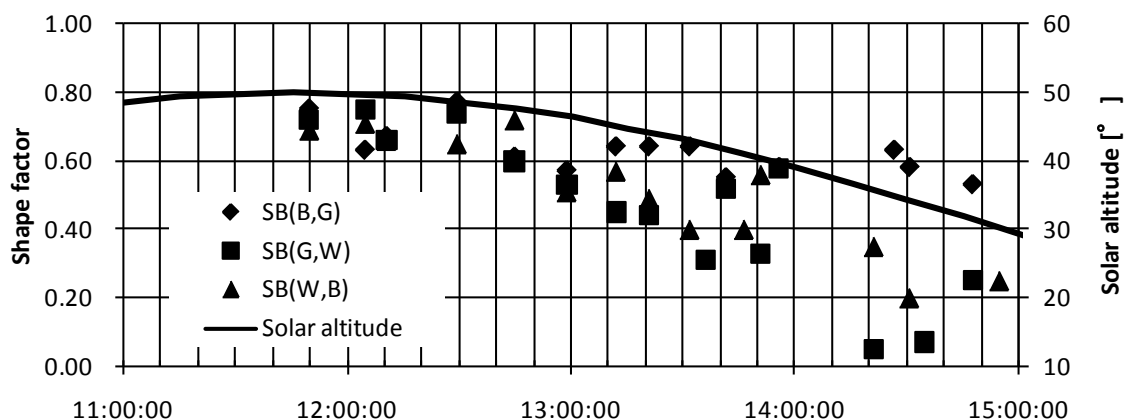


Fig.5 Shape factor and solar altitude

ここで得られた形態係数は測定対象が完全拡散面であると仮定しているが、測定対象は完全拡散面でないことから、指向性が含まれた見かけの形態係数である。見かけの形態係数の最大値は 0.77 であった。太陽高度が小さくなるにつれ、見かけの形態係数の値は小さくなり、かつ、日射反射率[二点]も大きくばらつくことがわかる。これは、下向き日射計が測定対象から 500mm の位置にあり、かつ、測定対象のサイズが 1m 角であるため、45° を下回ると、測定対象の正反射成分を日射計で測定できなくなるためと考える。ただし、標準板の黒は 3×3m と大き

いため、太陽高度が 45° 以下においても、日射反射率[実測]のばらつきは小さい。

日射反射率[二点]と日射反射率[分光]を比較すると、時間帯 A, B の測定である太陽高度約 47° 以上で、3 回(I, J, K)の平均値が 4 ポイント以下の差異であり、十分な精度で推定できていると言える。時間帯 C では、白黒の標準板で灰色を推定した結果の差異が小さい。これは、補間と補外の違いが理由と考えられる。

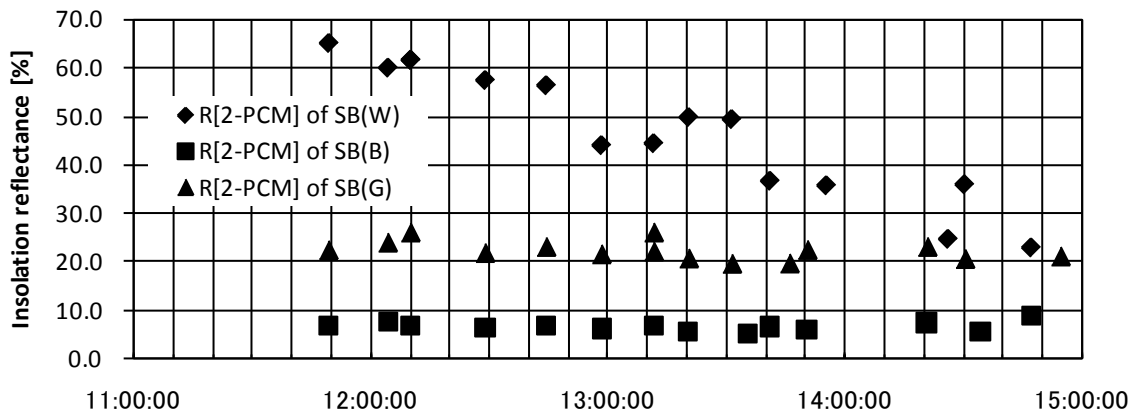


Fig.6 R[2-PCM] of SB(W), SB(B) and SB(G)

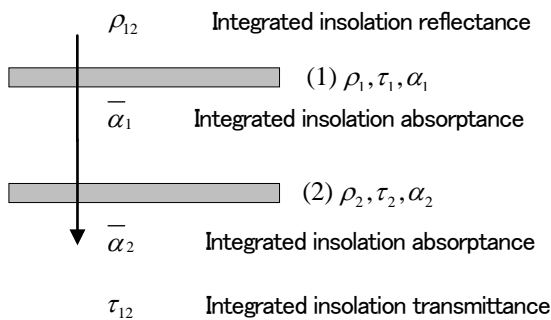


Fig.7 Integrated insolation reflectance of 2 layer insolation transmissivity materials

Table 4 Insolation reflectance and Insolation transmittance by spectrophotometer

Estimated target	R [spm]	T [spm]
SB(W)	80.9	0.0
SB(B)	4.1	0.0
SB(G)	29.1	0.0
Membrane M (W)	72.2	12.4
Membrane A (Beige)	65.2	11.4
Mesh F (W)	69.5	23.6
Film T (transparency)	6.7	91.9
Film S (satin finished surface)	5.7	89.6

### 3. 測定対象の日射反射率, 日射透過率と総合日射反射率

Fig. 1 に示すような2つの透過材料の総合日射反射率<sup>2)</sup>は次式から求めることができる。

$$\rho_{12} = \rho_1 + \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (2)$$

ここで、反射率 $\rho$ 、透過率 $\tau$ 、吸収率 $\alpha$ であり、下添字 1 は測定対象、2 は裏面板を、12 は測定対象と裏面板を合わせた総合を意味する。

### 4. 透過材料の総合日射反射率[二点]から日射透過率の推定

#### 4.1. 測定概要

標準板と測定対象の膜材料およびフィルム材料(以下、膜材料等)と分光光度計で測定した日射反射率[分光]と日射透過率[分光]を Table 4 に示す。

二点校正法に基づいて日射反射率を測定する。ただし、測定対象は日射を透過するため、測定対象の裏面側の材料の反射特性の影響を受ける。ここでは、測定対象の裏面側に標準板の白(W)、黒(B)、灰(G)の3つを配置し、得られる総合日射反射率

[二点]の違いを確認する。

#### 4.2. 測定結果

裏面板付き膜材料等の日射量を測定し、二点校正法に基づいて求めた総合日射反射率[二点]を Table 5 に示す。また、分光光度計で測定した日射反射率[分光]と日射透過率[分光]を Eqn. (1) に代入し、裏面板付き膜材料等の総合日射反射率[分光]<sup>2)</sup>を求めた値を Table 5 に示す。ただし、紙面の都合上、各条件における日射反射率[実測]は省略する。

#### 4.2.1. 裏面板付き膜材料等の総合日射反射率[分光]との比較

Table 5 と Fig. 8 に示す総合日射反射率[分光]と総合日射反射率[二点]の比較を行う。

- 膜材料 M は差異が 3.4 ポイントから 15 ポイントと大きい。
- 膜材料 A は標準板を白と黒または灰と白として推定した場合、差異は 2 ポイント以下で小さいが、標準板を黒と灰とした場合、7~8 ポイントの差異で大きい。
- メッシュ材料 F は膜材料 A と同じ傾向にあるが、差異は大きい。この材料は糸同士の間には穴があいており、通気性がある。そのため、膜材料 A に比べて凹凸が大きく測定値に差異が生じたと思われる。

○ 膜材料 M, A, メッシュ材料 F を比べると、膜材料 M だけ違った傾向を示した。これは、膜材料 M の表面処理方法が他と違うため、指向性に違いがあることが要因と考えられる。

○ フィルム(透明)は、反射率の大きな白を裏面板に用いた場合に差異が大きいが、その他は差異が小さい。

○ フィルム(梨地)は、差異の最大が 20 ポイントを越えているデータもあり、この結果から精度を判断するのは難しい。なお、時間帯 D は標準板の測定結果にバラツキが大きいため、推定値に大きく影響を与えていると考える。以上より、以下の傾向を示していることがわかった。全体的には、白と黒の標準板を用いて校正した値は差異が小さい。また、反射率が大きい場合は、

灰と白の標準板を用いた推定の差異が小さく、反射率の小さい場合は、黒と灰の標準板を用いた推定の差異が小さい。これらは、先に示したように、補間は補外より精度がよいことを示している。

#### 4.2.2. 日射反射率と日射透過率の推定

2組の裏面板付き総合日射反射率[二点]と裏面板の反射率を Eqn. (2)に代入し、繰り返し計算によって、測定対象の日射反射率[推定]と日射透過率[推定]を求める。具体的には、裏面板に白を用いた裏面板付き総合日射反射率[二点]と裏面板白の日射反射率[分光]、裏面板に黒を用いた裏面板付き総合日射反射率[二点]と裏面板黒の日射反射率[分光]の4つの値を使用す

Table 5 R[spm], Integrated R[spm], Integrated R[2-PCM]

Time	Estimated target	R[spm]	RB	IRS	Diff A	SB(W), SB(B)		SB(B), SB(G)		SB(G), SB(W)	
						IR2	Diff B	IR2	Diff B	IR2	Diff B
B	Membrane M (W)	72.2%	W	75.2%	3.0	60.2%	15.0	63.8%	11.4	60.8%	14.4
			B	72.3%	0.1	65.0%	7.3	68.9%	3.4	65.4%	6.9
			G	72.8%	0.6	64.0%	8.8	67.8%	5.0	64.4%	8.4
C	Membrane A (Beige)	65.2%	W	67.4%	2.2	67.0%	0.4	59.7%	7.7	66.1%	1.3
			B	65.3%	0.1	64.4%	0.9	57.4%	7.9	63.3%	2.0
			G	65.7%	0.5	66.0%	-0.3	58.8%	6.9	65.0%	0.7
	Mesh F (W)	69.5%	W	79.8%	10.3	81.8%	-2.0	65.2%	14.6	81.9%	-2.1
			B	69.7%	0.2	75.6%	-5.9	65.2%	4.5	74.8%	-5.1
			G	71.5%	2.0	75.8%	-4.3	60.5%	11.0	75.0%	-3.5
	Film T (transparency)	6.7%	W	78.9%	72.2	73.5%	5.4	63.9%	15.0	72.9%	6.0
			B	10.2%	3.5	8.8%	1.4	8.1%	2.1	2.7%	7.5
			G	31.8%	25.1	32.8%	-1.0	28.8%	3.0	28.8%	3.0
D	Film S (satin finished surface)	5.7%	W	73.8%	68.1	70.4%	3.4	52.5%	21.3	68.1%	5.7
			B	9.0%	3.3	10.7%	-1.7	8.9%	0.1	-4.4%	13.4
			G	29.5%	23.8	37.4%	-7.9	28.5%	1.0	28.0%	1.5

IRS : Integrated R[spm]

Diff A : ( Integrated R[spm] - R[spm] )

IR2 : Integrated R[2-PCM]

Diff B : ( Integrated R[2-PCM] - Integrated R[spm] )

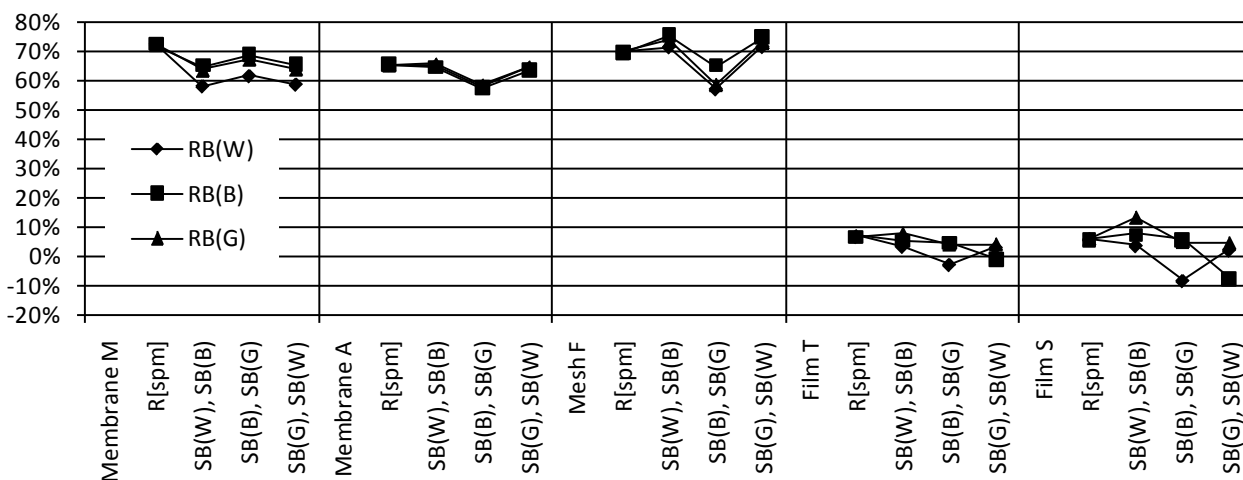


Fig. 8 R[spm] and Integrated R[spm]

Table 6 Estimates of insolation reflectance and insolation transmittance based on 2 correction method

Estimate target	Original		RB(W), RB(B)		RB(B), RB(G)		RB(G), RB(W)	
	R[spm]	R[E]	R[E]	T[E]	R[E]	T[E]	R[E]	T[E]
Membrane M (White)	72.2%	12.4%	-	-	-	-	-	-
	Difference*		-	-	-	-	-	-
Membrane A (Beige)	65.2%	11.2%	64.3%	12.6%	57.3%	12.5%	63.2%	13.2%
	Difference*		-0.9%	1.4%	-7.9%	1.3%	-2.0%	2.0%
Mesh F (W)	69.5%	23.7%	75.5%	17.5%	-	-	74.6%	18.8%
	Difference*		6.0%	-6.2%	-	-	5.2%	-4.8%
Film T (transparency)	6.7%	91.8%	5.5%	89.6%	5.2%	83.3%	-1.1%	96.0%
	Difference*		-1.2%	-2.2%	-1.5%	-8.5%	-7.8%	4.2%
Film S (satin finished surface)	5.7%	89.6%	7.7%	85.2%	6.7%	73.2%	-8.5%	100.6%
	Difference*		2.0%	-4.4%	1.0%	-16.4%	-14.2%	11.0%

Difference\* is  $R[E] - R[spm]$  and  $T[E] - T[spm]$

る。  
同様に裏面板に黒と灰、そして、灰と白の3種類の組み合わせについて求める。ただし、裏面板付き総合日射反射率[二点]は、精度の高い、白と黒の標準板で校正した値を用いた。  
推定した結果を Table 6, Fig. 9 に示す。膜材料 M のすべてとメッシュ材料 F の一部は有意な値を求めることができなかった。

ここに、総合日射反射率[分光]は、裏面板が黒、灰、白の順で大きくなっているのに対して、例えば、膜材料 M の総合日射反射率[二点]は裏面板が黒、灰、白の順で小さくなっている。これが日射反射率[推定]と日射透過率[推定]が求められない原因であり、膜材料 M の表面処理方法に起因する反射の指向性の影響が大きいものと思われる。その他については、メッシュ材料 F の差異が6.2%と大きいものの、日射反射率[推定]、日射透過率[推定]ともに、十分な精度で求められている。

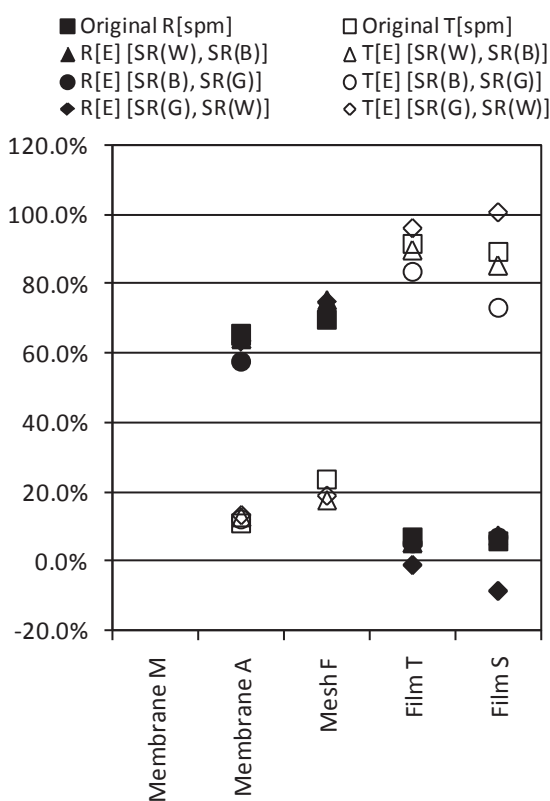


Fig. 9 Estimates of insolation reflectance and insolation transmittance

## 5. まとめ

まず、実施した二点校正法に基づいた日射反射率の測定は妥当であることを確認した。ただし、下向き日射計の地面からの高さ(500mm)に対して、測定対象の辺の長さが2倍(1m角)の場合、太陽高度が45°程度になると、見かけの形態係数が小さくなり、日射反射率[実測]の値が低下するが、6倍(3m角)の場合は太陽高度30°でも3体平均で1ポイント程度の差しかない。

したがって、測定対象を大きくすることによって、太陽高度が低いときにおいても、精度よく測定できることが推測できる。また、測定対象を大きくできない場合は、測定対象の中心に入射した直達日射の鏡面反射成分を測定できる位置に日射計を配置することにより、精度を向上させることが可能であると考えられる。

次に、日射を透過する材料を対象として、裏面板を用いた二点校正法に基づいて総合日射反射率を測定し、測定対象の日射反射率と日射透過率を推定した。その結果、十分な精度で測定対象の日射反射率と日射透過率を推定できることを示した。

本手法で基本としている二点校正法は、測定対象範囲が完全拡散表面であることが前提となっている。しかし、本報告で使用した標準板(白)と膜材料 M は、測定結果にばらつきがあり、指向性の影響を受けているものと考えられる。なお、指向性については、村田、酒井ら<sup>3)</sup>により指摘されている。

そこで、(1) 標準板については、完全拡散が仮定できる材料

を使う。(2) 指向性の強い材料の測定には、別途方法を検討する必要がある。

また、推定精度の向上を目的に、太陽高度を考慮し、標準板と日射計との距離と設置位置関係、標準板の大きさをパラメータとした検討が必要であると考ええる。

#### 参考文献

- 1) 村田泰孝, 酒井孝司他: 高反射率塗料施工面の日射反射現場測定法に関する研究—標準板二点校正法の提案および水平面における精度確認—, 日本建築学会環境系論文集, 第73巻, 第632号, pp.1209-1215, 2008年10月
- 2) 田中俊六, 武田仁, 岩田利枝, 土屋喬雄, 寺尾道仁: 最新建築環境工学[改訂3版], pp.203, 2006年3月
- 3) 村田泰孝, 酒井孝司他: 二点校正法による日射反射率測定
- 4) JIS K 5602:2008: 塗膜の日射反射率の求め方, 日本工業標準調査会, 2008年9月20日
- 5) JIS R 3106:1998: 板ガラス類の透過率・反射率・放射率・日射熱取得率の試験方法, 日本工業標準調査会, 1998年3月20日
- 6) JIS Z 8722:2009: 色の測定方法—反射及び透過物体色, 日本工業標準調査会, 2009年3月20日
- 7) 村田泰孝, 酒井孝司他: 高反射率塗料施工面の日射反射現場測定法に関する研究—標準板二点校正法の提案および水平面における精度確認—, 日本建築学会環境系論文集, 第73巻, 第632号, pp.1209-1215, 2008年10月

### A study on Transmissivity and Reflectivity Measurement of Insolation Transmissivity Material by 2 Point Correction Method

Tatsuya Yoshino <sup>\*1)</sup>  
Akihiko Oyakawa <sup>\*2)</sup>  
Takayuki Nakata <sup>\*3)</sup>  
Koji SAKAI <sup>\*4)</sup>

#### SYNOPSIS

In this study, it was proposed the measurement method for insolation transmissivity and insolation reflectivity of transmissivity material based on 2 point correction method.

First, it was examined that a method of insolation reflectivity of white, black and gray standard board surface whose performance was know, and this relation among standard boards was confirmed. It was found that the performance value was able to be performance value using this method, which predicted more than approximately 45 degree to incident angle of the sun light.

Second, it was performed the integrated insolation reflectivity measurement of transmissivity materials with 3 types of back boards. Using the results of measurements among the 2 back boards, the insolation transmissivity and insolation reflectivity are estimated. And this validity was confirmed. It was found that the performance value using the back board was able to be predicted.

---

\*1) Technical Research Center of R&D Division, Taiyo Kogyo Corporation, Dr. Eng.

\*2) MAK-LIGHTING OFFICE, Taiyo Kogyo Corporation

\*3) PV System Design Division, Taiyo Kogyo Corporation

\*4) Prof., Department of Architecture, Meiji Univ., Dr. Eng.