

高反射率塗装による吸収日射低減効果に関する研究

第1報 屋外での日射反射率測定の精度向上に関する検討

A Study on the Effect due to the Reduction of Absorbed Solar Radiation by Cool Painting
Part.1 Improvement in Estimated Accuracy of Field Solar Reflectivity Measurement村田 泰孝^{*1}
Yasutaka MURATA酒井 孝司^{*2}
Koji SAKAI三木 勝夫^{*3}
Katsuo MIKI石原 修^{*4}
Osamu ISHIHARA

Abstract

Cool roof contribute to improve indoor thermal environment and to save energy for cooling in summer, but have opposite in winter, because of decreased absorbed solar radiation. Therefore, it is necessary to evaluate these effects in year round. Especially, this evaluation is important for a building with folded-plate roof, because of large roof surface and low insulation. The purpose of this study is to evaluate the effect of cool roof on indoor thermal environment and energy consumption for air conditioning. In this paper, measurement condition was examined for enhancement accuracy of the method for estimating solar reflectivity on site. As a result, it was confirmed that estimate error was reduced under the conditions as follows. (1) Solar altitude is 35° or more. (2) Clear sky index is 0.5 or more and its variation range per 20 second is 0.1 or less.

キーワード：高反射率塗料，日射反射率，二点校正法，現場測定，表面光沢

Key Words：cool painting, solar reflectivity, the 2 point correction, field measurement, surface gloss

1. はじめに

ヒートアイランド現象の緩和や冷房負荷低減のために、高反射率塗料（遮熱塗料，高日射反射率塗料，太陽熱高反射塗料，クールペイントなどとも呼ばれる）を屋根に塗装することが一つの方法として考えられる。これは屋根の断熱改修や屋上緑化などと比べ簡易で低コストであるという特徴を持ち，既存建物の改修に向いていると考えられる。

高反射率塗料は可視域の反射率が一般の塗料と同

程度であるが，近赤外域の反射率が高いという特徴がある。そのため，塗装により本当に高反射率化されたのかは目視では確認できない。そこで，塗装現場での評価を行うことがユーザーからの信頼を得るためにも必要と考えられる。また，屋根の高反射率化は夏季の冷房負荷削減や室内温熱環境改善につながるが，冬季には逆効果になると考えられる。

そこで本研究では，高反射率塗装による吸収日射低減の効果を施工現場で定量的に評価し，その長所，短所を明らかにすることを目的とする。高反射率塗装に関する報告は多くの既往の研究がある^{1)～4)}などが，鉄筋コンクリート造建物の報告が多く，冷暖房負荷低減や室内温熱環境改善効果が大きいと考えられる金属折板屋根を持つ建物についての報告は少ない。また，通年での評価は少ないため，本研究では金属折板屋根を持つ建物について次の点を検討する。

^{*1} 崇城大学工学部助教（〒860-0082 熊本市池田4-22-1）
e-mail: ymurata@arch.sojo-u.ac.jp

^{*2} 明治大学理工学部

^{*3} 三木コーティング・デザイン事務所

^{*4} 尚綱大学
(原稿受付 2012 年 1 月 10 日)

・既往の研究⁵⁾で提案した水平面での二点校正法の推定精度向上および折板面への適用に関する検討。

・金属折板屋根を持つ建物での吸収日射低減による室内温熱環境および冷暖房負荷への影響の検討。

本報ではこのうち、水平面での二点校正法の推定精度向上に関する検討結果を報告する。水平面での二点校正法では対象面の日射反射性能 ± 0.05 程度の精度であることが確認されているが、日射の状況により推定誤差が大きくなることもあり、推定誤差を一定の範囲内に収めるための測定条件を明らかにすることが、より複雑な形状に適用する際に必要と考えられるためである。

2. 二点校正法の原理

Fig.1のように、施工面中の測定対象面について、日射計による測定値を用いて日射反射率を算出することを考える。なお、測定対象面外部には測定対象としていない塗装面や塗装面の外部、周辺建物などが含まれる。波長を λ として、全天日射量の分光成分を I_λ 、日射計に到達する地表面反射日射量の分光成分を $I_{R\lambda}$ とすると、全天日射量 I_0 、反射日射量 I_R 、日射反射率 R は次式となる。

$$I_0 = \int I_\lambda d\lambda, I_R = \int I_{R\lambda} d\lambda, R = I_R / I_0 \quad \text{..... (1)}$$

Fig.1のA、B面を完全拡散面と仮定し、各面における日射計からの点対面形態係数 ϕ と分光反射率 ρ_λ を導入すると、A面およびB面からの反射日射量 $I_{R\lambda}$ 、日射反射率 R は、

$$I_{R\lambda} = \phi_A \cdot \rho_{A\lambda} \cdot I_\lambda + \phi_B \cdot \rho_{B\lambda} \cdot I_\lambda \quad \text{..... (2)}$$

$$R = \phi_A \frac{\int \rho_{A\lambda} \cdot I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} + \phi_B \frac{\int \rho_{B\lambda} \cdot I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} \quad \text{..... (3)}$$

となる。上式において、A面およびB面の日射反射率が不明の場合、A面のみの日射反射率を算出することは困難である。そこで、B面の影響を除去することを考える。

分光反射率が既知で、A面と同じ大きさの白・黒塗装板（反射率 ρ_w 、 ρ_b 、以下、標準板という）を、A面上に設置することを考える。標準板も完全拡散面と考え、標準板設置時の入射日射の分光特性は式(3)の評価時と同一と仮定する。白、黒標準板設置時の測定値 I_R^w 、 I_R^b の分光成分は、

$$I_R^w = \phi_A \cdot \rho_{w\lambda} \cdot I_\lambda + \phi_B \cdot \rho_{B\lambda} \cdot I_\lambda \quad \text{..... (4)}$$

$$I_R^b = \phi_A \cdot \rho_{b\lambda} \cdot I_\lambda + \phi_B \cdot \rho_{B\lambda} \cdot I_\lambda \quad \text{..... (5)}$$

となり、全日射に対する R^w 、 R^b は、次式となる。

$$R^w = \phi_A \frac{\int \rho_{w\lambda} \cdot I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} + \phi_B \frac{\int \rho_{B\lambda} \cdot I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} \quad \text{..... (6)}$$

$$R^b = \phi_A \frac{\int \rho_{b\lambda} \cdot I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} + \phi_B \frac{\int \rho_{B\lambda} \cdot I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} \quad \text{..... (7)}$$

式(3)、(6)、(7)で示される R 、 R^w 、 R^b は、日射計により測定可能であるため、これらを連立して解くことによりA面の日射反射率を同定する式として、

$$\rho_A = \frac{R}{R^w - R^b} \left(\frac{\int \rho_{w\lambda} I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} - \frac{\int \rho_{B\lambda} I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} \right) + \frac{1}{R^w - R^b} \left(R^w \frac{\int \rho_{B\lambda} I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} - R^b \frac{\int \rho_{w\lambda} I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} \right) \quad \text{..... (8)}$$

が得られる。式(8)では、白、黒標準板の分光反射率と、測定地点における日射分光特性、日射反射率 R 、 R^w 、 R^b が必要となる。通常の日射計を用いることを考え、式(8)を簡略表記すると次式となる。

$$\rho_A = \frac{R(\rho_w - \rho_b)}{R^w - R^b} + \frac{(R^w \rho_b - R^b \rho_w)}{R^w - R^b} \quad \text{..... (9)}$$

ここに、 ρ は測定地点の日射量の分光特性で重み付けした日射反射率であり、次式となる。

$$\rho = \frac{\int \rho_\lambda \cdot I_\lambda d\lambda}{\int I_\lambda d\lambda} \quad \text{..... (10)}$$

式(9)の概念をFig.2に示す。二点校正法では、白、

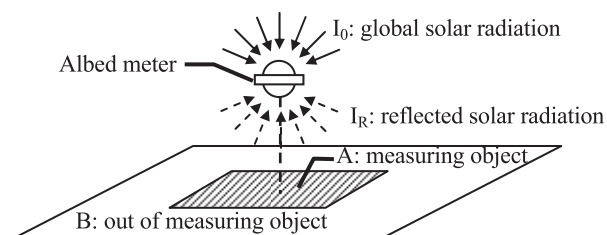


Fig.1 Basic concept of a measuring object

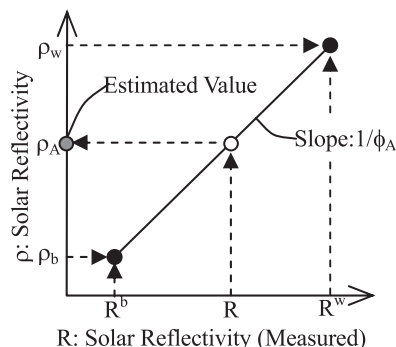


Fig.2 Concept of the 2 point correction

黒標準板の R^w 、 R^b 測定値および ρ_w 、 ρ_b より校正線を引き、測定対象面の R 測定値と校正線の交点より ρ_A を推定することになる。この時、 ρ_w 、 ρ_b として、分光光度計で測定した分光反射率に、日射の分光特性に対応する重係数を乗じて算出した値を用いることを考える。この場合、式 (8) との対応から測定時点の日射分光特性を近似したことに相当する。また、実際の測定では R 、 R^w 、 R^b の同時測定は不可能であるため、一定時間内で日射分光特性の変化が少ないという仮定の下での近似値となる。これらの近似値が誤差要因となりうると考えられる。

3. 日射の分光特性による推定誤差への影響

二点校正法では測定時の日射の分光特性を用いて白、黒標準板の日射反射率を算出する。また、対象面が高反射率塗料のように波長選択性のある材料の場合、日射反射率は日射の分光特性により変化する。そのため、測定時に日射の分光特性を測定することが望ましいが、様々な施工現場で日射反射率を測定することを考えると、測定ごとに日射の分光特性を測定することは難しいと考えられる。そこで、測定時の日射分光特性を予測するモデルを用いる方法や特定の分光特性で近似する方法などが考えられる。

塗装面では分光光度計を用いる方法として JIS K5602⁶⁾ があるので、この中に示されている波長ごとの重係数を用いることを考える。この場合、特定の条件下での分光特性を用いることになるので、現場測定時の日射の状況によっては推定誤差の要因となることが考えられる。そこで、Bird モデル⁷⁾ により春秋分、夏至、冬至の各時刻の分光特性を推定し、日射反射率の変化を確認した。また、JIS K5602 では、37 度傾斜面での分光特性が示されており、水平面の測定に適用すると誤差要因となる可能性が考えられるため水平面と 37 度傾斜面での比較も行った。Table 1 に設定したパラメータを示す。この値は JIS K5602 に示されるものである。なお、JIS K5602 ではエアマス 1.5 の値が採用されている。Fig.3 に検討に用いた試験体の分光反射率を示す。

Fig.4 に Bird モデルによる日射分光特性を用いて算出した日射反射率と太陽高度の関係を示す。高反射率塗料グレー（以下、高反射グレー）および高反射率塗料黒（以下、高反射黒）は太陽高度が低くなると日射反射率が高くなる傾向が見られる。これは、太陽高度が高いと全天日射に占める近赤外域の日射の割合より可視域の割合が高くなり、太陽高度が低くなるにつれて近赤外域の割合が高くなるためであ

る。更に太陽高度が低くなると水平面では反射率が低くなる傾向が見られる。太陽高度が非常に低くなると水平面では可視域の割合の高い天空日射のみが入射するためである。水平面と 37° 傾斜面の比較では、太陽高度が低くなると両者の日射反射率の差が大きくなることがわかる。高反射率塗料では、太陽高度が 35° の時、水平面と 37° 傾斜面で約 0.01 の差となった (Fig.5)。太陽高度が 35° 程度であれば日射反射率の太陽高度による変化も大きくないことから、太陽高度が 35° 以上の場合には JIS K5602 のような特定の日射の分光特性から算出した日射反射率を用いても大きな誤差は生じないと考えられる。

4. 日射反射率の測定値の推定誤差への影響

実太陽光下で測定を行う際には、大気の状態の変化や雲の影響があるため Bird モデルで推定したような安定した条件での測定を行えるとは限らない。そこで、測定値の変化が二点校正法による日射反射率の推定結果に与える影響を検討する。

4.1 測定値の変動と二点校正法における推定誤差の関係

日射反射率の測定値（以下、日射反射率（測定値））の変動が二点校正法による推定値に与える影響を Fig.2 の横軸に日射反射率（測定値）のずれを追記した Fig.6 で考察する。

Table 1 Used Validity for Bird Model

surface pressure	1013hPa
power on angstrom turbidity expression	0.27
the aerosol optical depth at 0.5 microns	1.14atm cm
ozone amount	0.34cm
precipitable water vapor	1.42cm
tilt angle of surface from the horizontal	0°, 37°
ground albedo	0.2

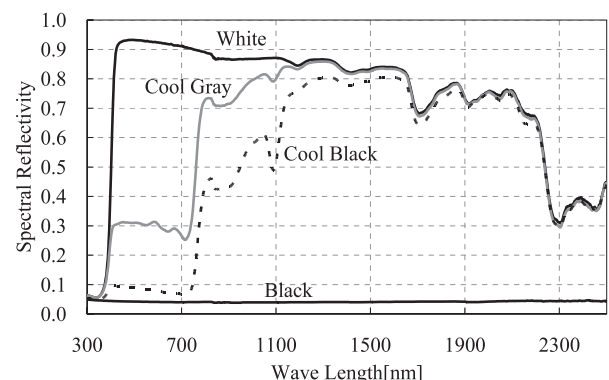


Fig.3 Spectral Reflectivity

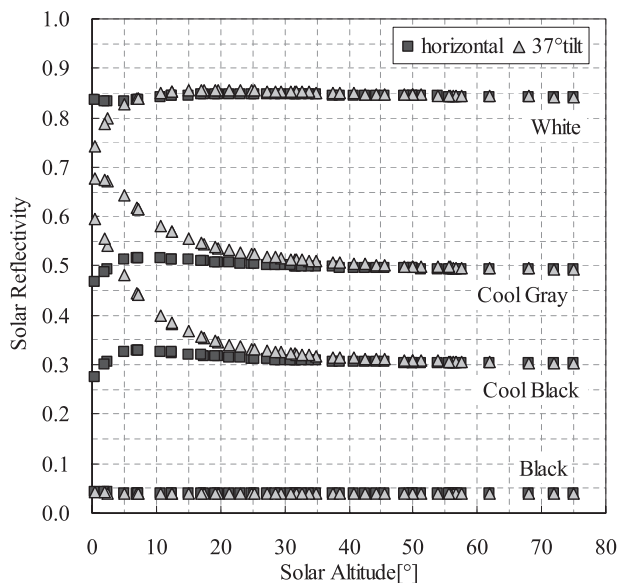


Fig.4 Solar Reflectivity by Bird Model

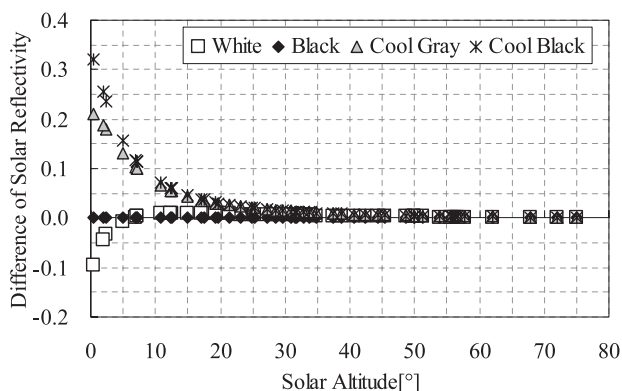


Fig.5 Difference of Solar Reflectivity between Horizontal and 37° tilt

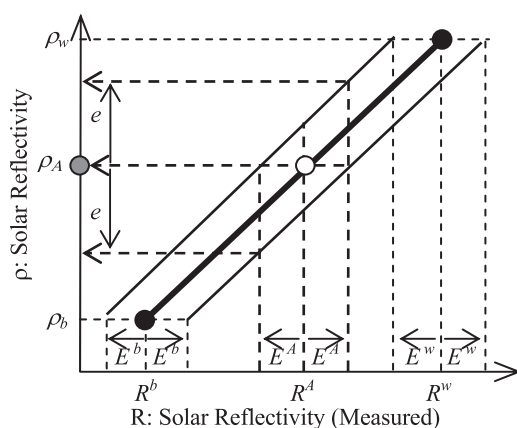


Fig.6 Relationships between measured error and predicted error

図中の太線は推定誤差がないと期待される状態の校正線で、これと平行な2本の線は各測定値が等しくずれた場合の校正線である。白、黒および対象面の測定値が全て同じ方向に等しくずれた場合、推定誤差は生じないが、実際には各測定値がどのように

ずれるかは、測定時の日射の状況による。最大の誤差は白および黒と対象面の日射反射率（測定値）が逆方向にずれた時に生じる。また、校正線の傾きは、形態係数の逆数であるから、1より大きいため、測定値のずれより大きい推定誤差が生じる可能性がある。従って、日射反射率（測定値）が安定していることが推定誤差を小さくするために重要であると考えられる。

4.2 日射反射率（測定値）の変動要因について

推定誤差を小さくするためには日射反射率（測定値）の変動が少ないことが重要であるので、日射反射率（測定値）の変動要因について検討する。

(1) 測定概要 2009年8～9月に崇城大学屋上で測定を行った。対象面には高反射グレー、高反射黒を塗装した試験体を用い、白、黒標準板および試験体は、各3種類の光沢のものを使用した。標準板と対象面の光沢が異なることが推定誤差につながると考えられるため、標準板と対象面の光沢の組合せ9通りの測定を行った。各試験体、標準板の分光反射率およびJIS K5602による日射反射率をFig.7およびTable 2に示す。高反射グレー、白、黒、高反射黒の順に測定し、各試験体設置時の全天日射量、反射日射量をサンプリング間隔20秒で10分間記録した。この手順を1日に4～5回繰り返した。測定

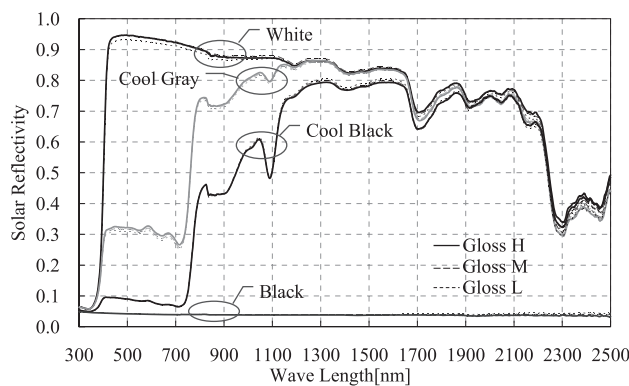


Fig.7 Spectral Reflectivity

Table 2 Gloss and Solar Reflectivity

	Gloss	Solar Reflectivity		
		305-2500nm	305-780nm	800-2500nm
White	H 42	0.854	0.838	0.901
	M 28	0.856	0.841	0.901
	L 13	0.844	0.832	0.888
Cool Gray	H 50	0.508	0.768	0.322
	M 32	0.503	0.766	0.316
	L 20	0.498	0.762	0.310
Cool Black	H 54	0.307	0.593	0.092
	M 37	0.307	0.594	0.092
	L 25	0.308	0.596	0.092
Black	H 54	0.040	0.038	0.041
	M 37	0.041	0.040	0.042
	L 19	0.041	0.040	0.041

器の設置状況を Fig.8 に示す。

(2) 測定値のばらつき状況 測定結果から抽出した代表的な測定値の変動パターンを Fig.9 に示す。A は晴天で日射が安定している例、B は晴天ではあるが少し日射量に変動が見られた例、C は測定中に太陽に雲がかかり大きく日射量に変動した例、D は前半に雲の影響で日射量が少ないが後半に太陽が出て日射量が大きくなった例である。この他、曇で日射量が低い状態が続く場合が考えられるが、今回は晴天日に測定を行ったためデータは得られていない。図中の A は日射反射率（測定値）も安定しており、B についても日射量の変動に合わせて反射率も変動するが、大きな変動とはなっていない。C は日射量が大きく減少した際に反射率も大きく低下し^{注1)}、日射量が大きく増加した際に反射率が上昇する傾向が見られる。また、日射量の増加直後は反射率が晴天安定状態に比べて高めになる傾向が見られる。D では前半の曇の状態では反射率が低くなっており、後半に晴天となった時に反射率が高くなることからわかる。ただし、C と同様に日射量が高くなった直後は高めの反射率となることが伺える。二点校正法を用いる際、10 分間の平均値を用いることを考えると、日射量が少ない時および急激に増減した

場合の測定値を用いると推定誤差につながると考えられ、測定後のデータ精査が必要と考えられる。

(3) 日射変動による日射反射率（測定値）の変動について

日射量が大きく増減した場合の日射反射率（測定値）の変動について検討し、安定した測定値を得るための条件を考察する。その際、全天日射量が太陽高度により変化するので、この影響を最小限にするために晴天指数 K_t を用いて検討を行う。Fig.10 に晴天指数と各試験体、標準板の日射反射率（測定値）の関係を示す。どの試験体、標準板においても晴天指数が低くなると日射反射率（測定値）が低くなる傾向が見られる。また、晴天指数が 0.5 程度までは測定値に大きな変動は見られないため、晴天指数 0.5 以上であれば安定した測定と考えられる。Fig.11 に晴天指数および日射反射率（測定値）の 20 秒間での変化の関係を示す。晴天指数の変化が大きいほど日射反射率（測定値）の変化が大きくなる傾向が見られる。晴天指数の変化が ± 0.1 の範囲では測定値の変化の範囲は ± 0.02 程度であることから、晴天指数の変化が 0.1 以内であれば安定した測定と考えることができる。ただし、晴天指数が急上昇すると、その直後の測定値が高くなりすぎる場合も見られたため、このような測定値は急上昇に含めると、Fig.10, Fig.11 のように「 $K_t < 0.5$, 安定」「 $K_t \geq 0.5$, 安定」「 K_t の急低下」「 K_t の急上昇」の 4 つに分類することができ、「 $K_t \geq 0.5$, 安定」を安定した晴天時の測定結果と見なすことができると考えられる。

(4) 太陽高度の影響に関する検討

前項で検討した安定した晴天時の測定結果のみを用いて、太陽高度と日射反射率（測定値）の関係を検討する (Fig.12)。太陽高度の低い時期の測定は行っていないが、太陽高度 40° 以上では日射反射率（測定値）の大きな変動は見られない。既往の研究⁸⁾では太陽高度が 35° 以下になると日射反射率（測定値）が急激に高くなる傾向が確認されていることから、太陽高度の低くなる季節には測定時刻によっては推定誤差を大きくする要因となると考えられる。また、Fig.4 に示したように太陽高度が 35° より低くなると分光反射率から算出した日射反射率が高めになる傾向や JIS K5602 による値とのずれが大きくなる傾向があることから、測定時の太陽高度は 35° 以上が望ましいと考えられる。

4.3 表面光沢の日射反射率推定誤差への影響

晴天で直達日射が多い時には指向性反射が多くな

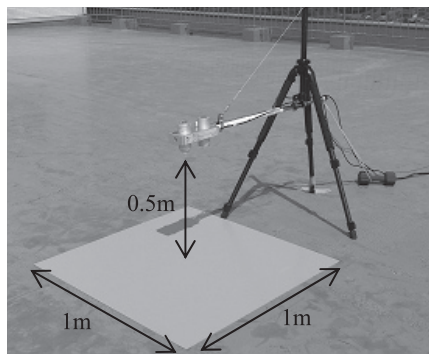


Fig.8 Finder Setting

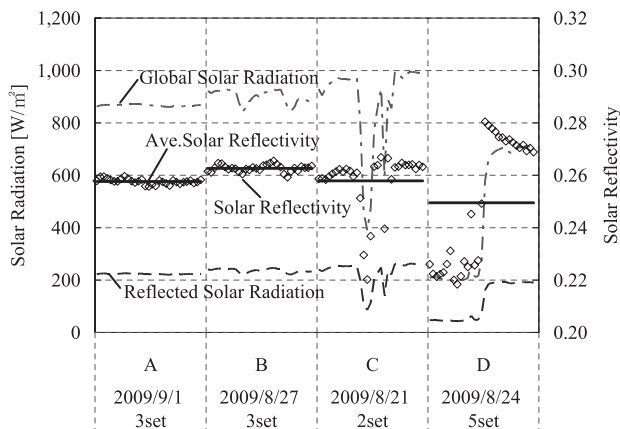


Fig.9 Variations of solar radiation (Cool Black)

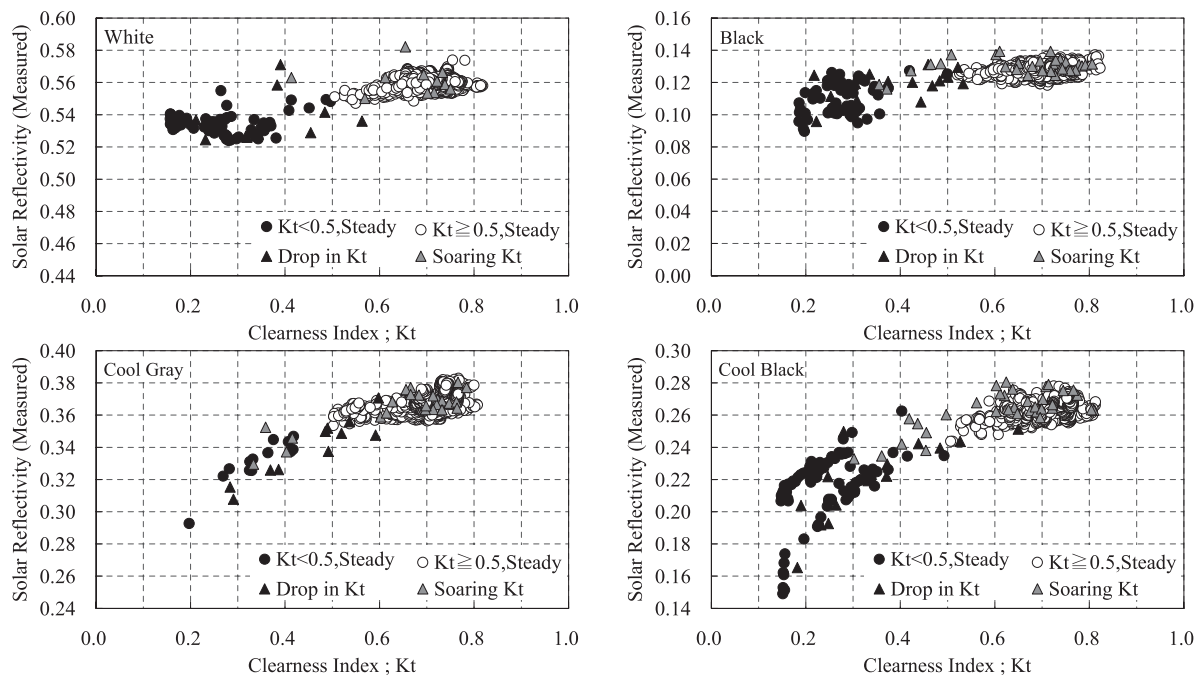


Fig.10 Relationships between Clearness Index and Solar Reflectivity (Measured)

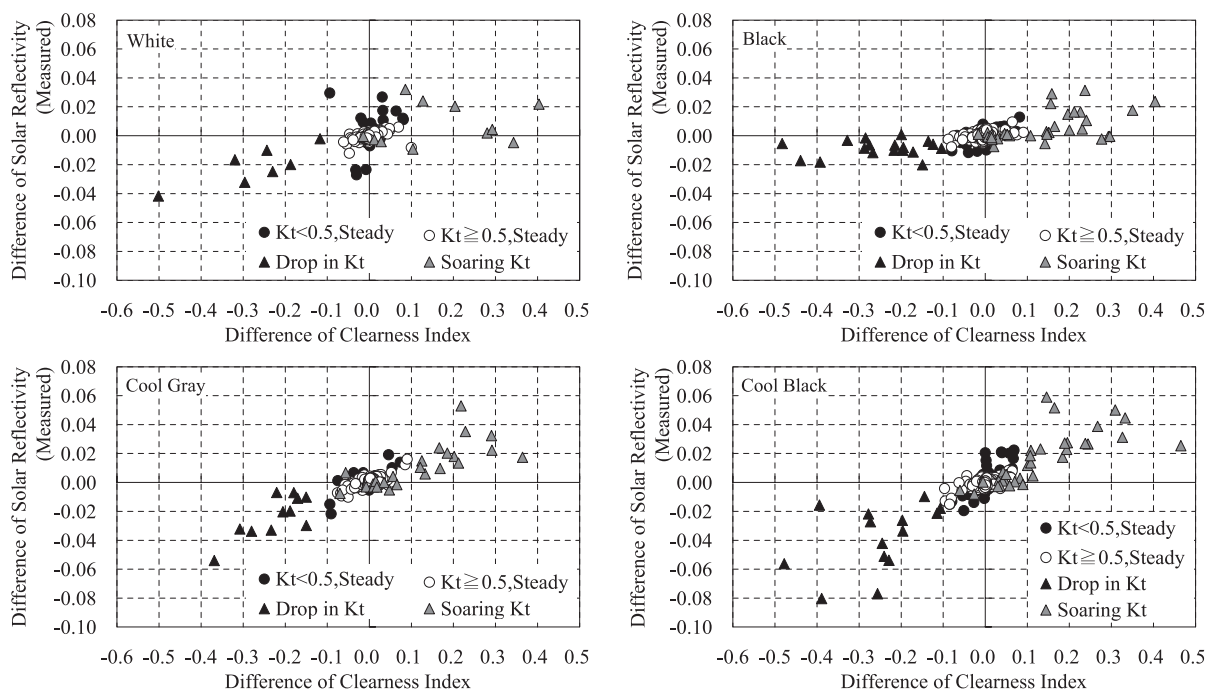


Fig.11 Relationships between Difference of Clearness Index and Solar Reflectivity (Measured)

ると考えられる。指向性反射率は表面光沢によって異なると考えられ、標準板と対象面の表面光沢が異なる場合には二点校正法では推定誤差の要因と考えられる。そこで、安定した晴天時の日射反射率（測定値）を用いて表面光沢度の違いによる推定誤差を検討した。Fig.13 に標準板と試験体の光沢の差と推定誤差の関係を示す。標準板と試験体の光沢の差とは、測定時に使用した標準板の光沢度（白、黒の平均）から試験体の光沢度を引いた値である。光沢度

は Table 2 の値を用いた。日射反射率の推定値は JIS K5602 による日射反射性能より低い値となった。高反射率塗料は近赤外域の反射率が高いため、測定時に近赤外域の日射が多い場合には日射反射性能が高くなる。このような日射条件は大気が澄んでいる直達日射の多い場合に現れると考えられるため、実際の日射条件では日射反射性能が JIS K5602 による値より推定値が低くなると考えられる。日射反射率が低く見積られる度合いは可視域の反射率が低いも

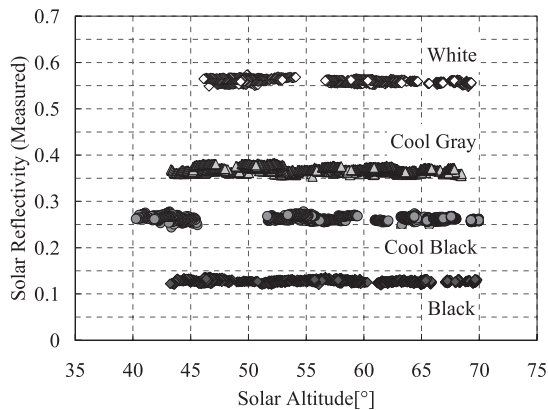


Fig.12 Relationships between Solar Altitude and Solar Reflectivity (Measured)

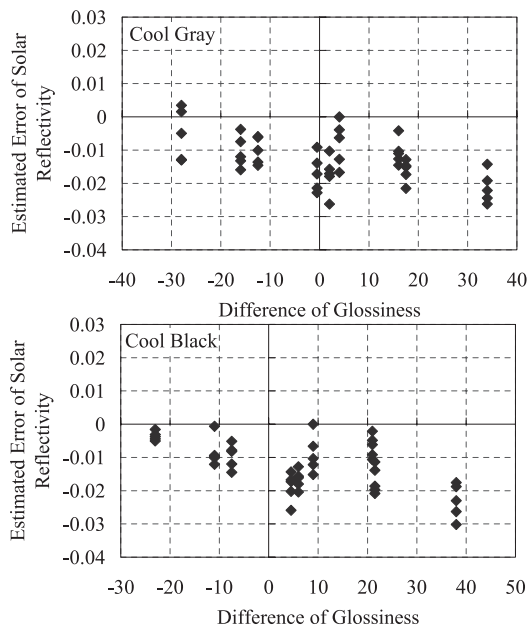


Fig.13 Relationships between Difference of Glossiness and Estimated Error of Solar Reflectivity

の程大きくなると推測される。

光沢との関係を見ると高反射グレー、高反射黒ともに光沢の差が大きくなると推定誤差が大きくなる傾向が見られる。晴天日のみを抽出した結果、今回の測定では日射反射性能の推定誤差は $-0.03 \sim +0.01$ 程度となり、既往の研究⁵⁾における推定誤差である ± 0.05 より精度が高くなることが確認できる。仮に今回の測定条件下での日射反射性能がJIS K5602による値より低いと考えると、試験体と標準板の光沢の差が小さい方が推定誤差は小さくなると考えられる。

5. 結論

本報告では高反射率塗装の日射熱低減効果を定量的に把握する第一歩として、既往の研究で提案した二点校正法の推定精度を向上させるための測定条件

について検討を行った。その結果、次の知見が得られた。

- ・二点校正法に用いる日射反射性能にJIS K5602による値を用いる場合は、太陽高度 35° 以上で測定を行うことが望ましい。
- ・測定時の日射条件として、晴天指数 $K_t \geq 0.5$ 、20秒間での晴天指数の変動が ± 0.1 以内であることが望ましい。ただし、測定前にこれらの条件を予測することは難しいので測定後にデータを精査し、晴天指数 $K_t < 0.5$ 、20秒間での晴天指数の変動の大きさが0.1より大きい測定データおよびその直後のデータを除外することで日射反射率(測定値)のばらつきを小さくできると考えられる。
- ・測定後にデータを精査し、安定した晴天の日射反射率を用いることで、二点校正法による日射反射率の推定誤差は、既往の研究における ± 0.05 より小さい $-0.03 \sim +0.01$ 程度となった。
- ・二点校正法に用いる白、黒標準板の表面光沢は対象面の表面光沢と合わせる事が望ましい。
- ・高反射率塗料の二点校正法による日射反射率の推定値は、JIS K5602による日射反射性能より低くなる可能性がある。低下度合いは可視域の反射率が低いものほど大きくなり、可視域の反射率が高いものでは小さくなると考えられる。

謝辞

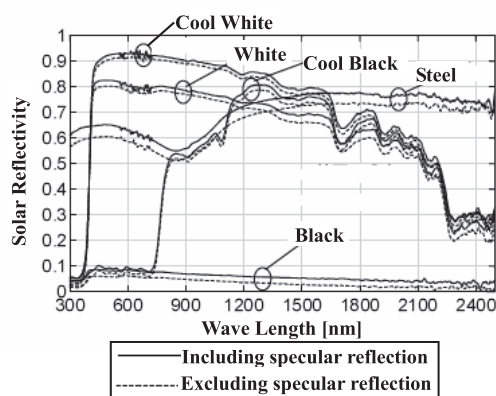
本研究は日本科学技術振興会科学研究費補助金若手研究 (B)「指向性反射を考慮した日射反射率測定法に関する研究 研究代表者：村田泰孝」の助成を得て行ったものである。

注

注1) 日射量が大きく減少した際に日射反射率(測定値)が低下する現象が確認されたが、これは太陽に雲がかかることにより生じている。また、この現象は測定対象面が高反射率塗料の場合のみではなく、白、黒の標準板でも見られた。太陽に雲がかかると日射反射率が晴天時と比べて低くなる要因として次の2つが考えられる。

- ・全天日射に占める拡散日射の割合が高くなり、指向性の反射の影響が小さくなるため。
- ・全天日射に占める拡散日射の割合が高くなることで、可視域の日射の割合が高くなるため。

前者については文献⁹⁾に、分光反射率測定の際に鏡面反射成分を含める場合と鏡面反射成分を含め

Appended Fig.1 Spectral Reflectivity ⁹⁾

ない場合では、鏡面反射成分を含めた方が分光反射率は高いことが報告されている (Appended Fig.1). この結果より、日射反射率は鏡面反射成分が少なくなると低下すると考えられ、太陽に雲がかかると日射反射率 (測定値) が低下すると考えられる。

後者は高反射率塗料における日射反射率低下の要因と考えられる。高反射率塗料は可視域の反射率が低く、近赤外域の反射率が高いため、可視域の波長成分が多い拡散日射の全天日射に占める割合が高くなることで、日射反射率が低下すると考えられる。

参考文献

- 1) 西村, 松尾, 三木, 村瀬: 太陽熱高反射塗装の日射熱防除効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.377-378, 2003.9
- 2) 西村・松尾・三木・村瀬: 太陽熱高反射塗装の日射熱防除効果 (その2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.357-358, 2004.8
- 3) 大木, 近藤, 光本: 実測による高反射率塗料の遮熱性能に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.261-262, 2005.9
- 4) 山田, 中島: 屋上高反射率塗装による建物環境改善効果—保育園における実測評価—, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.643-644, 2007
- 5) 村田, 酒井ほか: 高反射塗料施工面の日射反射率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, Vol.73 No.632, pp.1209-1215, 2008.10
- 6) JIS K5602: 2008: 塗膜の日射反射率の求め方, 日本工業標準調査会, 2008
- 7) R.E.Bird: A Simple, Solar Spectral Model for Direct -Normal and Diffuse Horizontal Irradiance, Solar Energy, Vol.32, No.4, pp.461-471, 1984
- 8) 村田, 酒井ほか: 高反射塗料を施工した水平面の日射反射率測定法に関する研究—二点校正法による日射反射率予測の誤差要因について—, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2008, pp.525-528, 2008.11
- 9) 酒井, 永村, 井川: 分光反射率に基づく建築材料の日射反射率の測定方法—測定条件の妥当性の検討—, 日本建築学会環境系論文集, No.616, pp.31-36, 2007.6
- 10) 村田, 酒井, 松尾, 三木: 高反射塗料を施工した水平面の日射反射率測定法に関する研究—二点校正法における表面光沢の影響について—, 太陽/風力エネルギー講演論文集 2009, pp.355-358, 2009.11