

資 料

瓦用釉薬の日射反射率の測定

河村 進*・大畑 敬*

1. 目 的

近年、地球温暖化の防止、また都市部におけるヒートアイランド現象の低減の一手法として、高反射率の屋根材利用が注目されている。地上における太陽放射には波長300～400nmの目に見えない紫外線、波長約400～700nmの目に見える可視光線、そして波長約700～2500nmまでの目に見えない近赤外線等の電磁波が含まれている¹⁾が、そのエネルギー分布は480nmを最大とし、可視光線と近赤外線が約50%ずつを占めている。したがって可視光線、近赤外線いずれの反射率も高い物体は、太陽放射エネルギーをよく反射するといえる。

色材やデザイン分野では目に見える可視光線に対する分光反射特性の研究がされ、白、すなわち明るい色の物体であるほど可視光線の反射率は向上することが分かっている。また可視光線に対する反射率が高い色材の中には、例えば酸化チタンや硫酸バリウムのように近赤外線に対する反射率も比較的高いものが知られており、このような分光反射特性をもつ白い色材を利用すれば日射反射率の高い屋根材料を開発できる。

ところで、広い地域で暗色系の瓦屋根が定着している日本では、可視光線の反射率が高い明るい色の需要は限定的である。そのため屋根の色を大幅に変えることなく、日射反射率のみを向上させたいという要求がある。そこで、見た目には従来製品と似たような暗い色であっても、近赤外線に対する反射率を選択的に向上させ、日射反射率を改善した塗料が市販されるようになっている²⁾。粘土瓦に用いられる釉薬でも同様の方法が可能かどうかを検討するため、我々は現在使われている瓦用釉薬の日射反射率の測定を試みたのでその結果を報告する。

2. 方 法

試験に用いたのは県内釉薬メーカーから提供された試験体、およびその他市販の瓦や屋根材から採取した試験体など計204個である。試験体の色は全国的に瓦の色として知られている灰色の瓦(銀黒色など)、および島根県産瓦(石州瓦)独特の色として知られている茶色系のもの(来待色な

ど)が大多数であった。ここではJIS Z8722³⁾に準拠し、分光光度計(日本分光製V-550)を用いて測定した色の値($L^*a^*b^*$)より、試験体を L^* (見た目の明るさ)で3段階(Bright, Middle, Dark)、および色合い別に3種類、すなわちN(無彩色)、S(茶色系)、O(その他の有彩色)に便宜上分類した。分類したそれぞれの試験体の名称と数を表1に示す。この分類では、一般的な銀黒色の瓦はMNに、石州瓦の色として知られる茶色系の瓦は主としてMS(色合いが若干異なるものについてはMOやBO)に分類される。また銀黒色より暗い黒色釉の試験体の一部やスレート瓦、アスファルトシングルなどはDNに分類される。

今回行った日射反射率の測定方法を、日射反射率の測定に関する各種規格と比較して表2に示す。規格によって細部は異なるが、積分球を持った分光光度計を利用し、太陽の光に含まれる、300～2500nmまでの波長の光を連続的に試験体に当て、それぞれの波長に対する試験体の反射率を測定する。次に、測定した分光反射率と、太陽光の分光放射エネルギー強度分布を掛け合わせると、反射光の分光エネルギー強度分布が計算できる。日射反射率は、太陽放射エネルギーの総和に対する、反射光全波長の反射エネルギー総和の比から求められる。なお、積分球とは一方向の光エネルギーを散乱光として試験体に入射したり、または散乱反射する光エネルギーをすべて集めるために作られた、高反射率の球面を持った装置である。この装置を用いれば、試験体表面の平滑性の違いによる誤差を減らすことができる。

積分球が付属していない装置によっては、試料に対して直角に入射した光の散乱成分を45°方向で受光する、すなわちJIS Z8722で規定される幾何条件「0°:45°c」に相当する測定系が用いられることがあるが、この方法では平滑性の大きく異なる試験体相互の厳密な評価は難しい。また積分

表1 試験体名称一覧

見た目の 明るさ L^*	無彩色※ [N]	有彩色	
		茶色※[S]	茶色以外[O]
65以上[B]	BN(3)		BO(4)
30～65[M]	MN(102)	MS(57)	MO(19)
30未満[D]	DN(19)		

注: ()内は試験体の数を示す。

※) 本報告では、無彩色とはCIEDE2000⁴⁾に基づくabクロマの絶対値が3未満のものと定義した。また、茶色とは a^*b^* 平面上でのメトリック色相角が0.45～1rad.の範囲のものと定義した。

*材料技術グループ

表2 日射反射率の求め方の比較

波長範囲(nm)		入射・受光条件	重係数の設定波長幅	
JIS A5759※ 建築窓ガラス用 フィルム ⁵⁾	300～2500	(ISO9050による) 積分球使用, 入射光10度以内, 正反射光含む受光	300～400nm:	5nm
			400～800nm:	10nm
			800～2500nm:	50nm
JIS K5602 塗膜 ⁶⁾	300～780, 780～2500, 300～2500の各波長 範囲に対する反射率 を計算	積分球使用, 入射角15度以内, 正反射光含む受光	5～90nm	
JIS R3106 板ガラス類 ⁷⁾	300～2100 (または300～2500)	積分球使用, 入射角15度以内, 正反射光含む受光	300～380nm:	5nm
			380～780nm:	10nm
			780～800nm:	20nm
			800～2500nm:	50nm
JSTM(建材試験 センター規格) H6105 建築材料 ⁸⁾	350～2100	(JIS Z8722およびK7105による) 積分球使用, 入射角5～10度, 正反射光含む受光	50nm	
今回行った方法	300～2500	300～870nm ϕ 60mm 積分球使用, 入射角10 度, 正反射光含む受光	1nm	
		870～2500nm 積分球なし, 入射角0度, 正反射 光含まない45度受光	2nm	

※) この規格では, 日射反射率計を用いて, 日射反射率の値を直読する方法も規定されている。

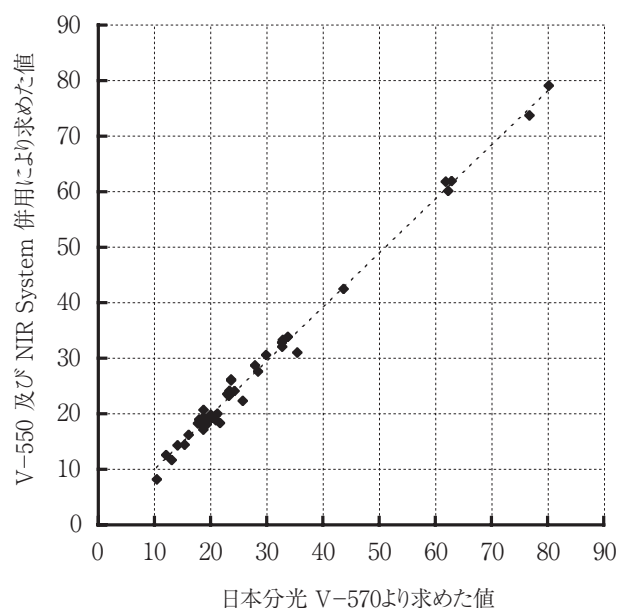
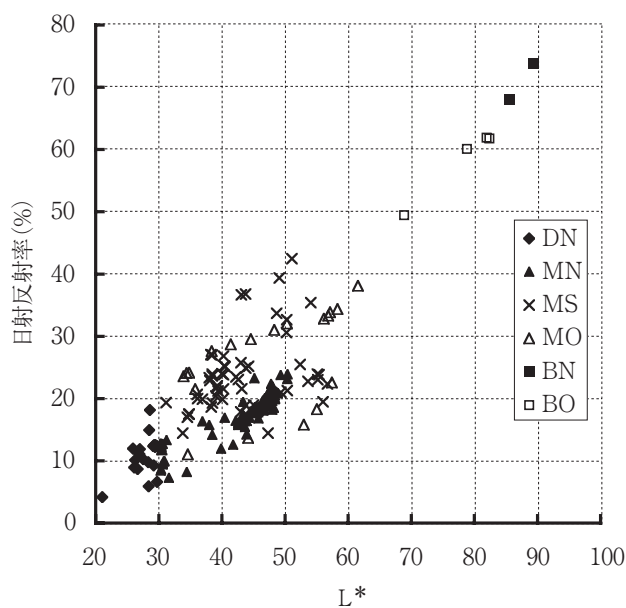


図1 日射反射率の測定データの比較

球を使用した装置であっても, 寸法が小さな積分球では開口部からの散乱光の漏れが無視できなくなり, 実際には正反射光を含むすべての反射エネルギーの受光は困難である。しかし今回は全波長範囲にわたって測定可能な大型の積分球付属の装置が調達できなかったため, 日本分光製 V-550 (波長範囲 190～900nm, ϕ 60mm 積分球使用), および Nireco 製 NIR System (波長範囲 400～2500nm, 積分球なし) による計測結果を併用して, 870nm より短い波長範囲では V-550 を, また 870nm 以上の波長では NIR System を用いて日射反射率を計算した。

この方法で求めた日射反射率の精度を確認するため, 試

図2 試験体の L^* と日射反射率の関係

験体47個について日本分光製 V-570 (波長範囲 190～2500nm, ϕ 60mm 積分球使用) を用いた結果と照合したところ, 図1に示すように我々が行った手法によっても, V-570 により全波長を積分球によって求めた日射反射率ともある程度一致するのを確認できた。

以下, この方法で計測したデータを日射反射率として記す。

3. 結 果

試験体の日射反射率と, L^* の関係を図2に示す。多くの試験体では, 日射反射率が40%以下の範囲にあった。全体

的に L^* と日射反射率には正の相関があり、見た目に明るい試験体ほど日射反射率が高い結果となったが、MN、MSとを比較すると、MSの方が同じ L^* でも日射反射率が高くなる傾向が見られた。

一例として、特徴的な試験体6種を選び、試験体の色および日射反射率を表3に、また可視光線、および全波長に対する分光反射率曲線を図3～8に示す。

図3、4はBO-03の結果である。この試験体は黄色を呈しており、可視光線、近赤外線いずれの反射率も高かった。特に、550nm以上の波長における分光反射率は70%以上を示し、日射反射率は60%を越える高い値であった。

図5、6は、MN-49(銀黒色)、DN-10(黒色の試験体)での

分光反射率である。いずれの試験体も、可視光線での分光反射率はほぼ一定であり、見た目が暗い、すなわち平均反射率が低い黒色の試験体では紫外線から近赤外線までのすべての波長にわたって分光反射率が50%を越えることはなかった。

表3 試験体の色、日射反射率の測定例

	L^*	a^*	b^*	日射反射率
BO-03	83.2	-7.87	54.28	62.9
MN-49	43.4	0.98	-0.98	19.9
DN-10	29.5	0.48	1.05	12.1
MS-36	51.0	19.8	25.93	29.9
MS-35	52.1	21.2	34.40	43.7
MO-12	48.6	1.90	12.34	35.4

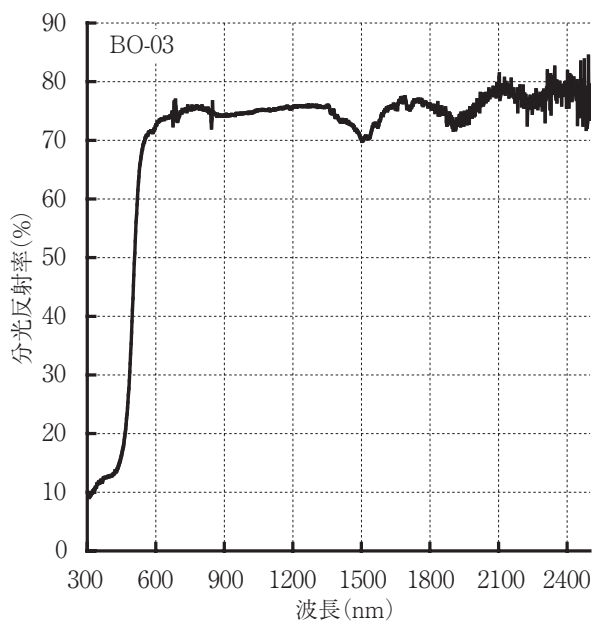


図3 試験体の分光反射率(BO-03/全波長域)

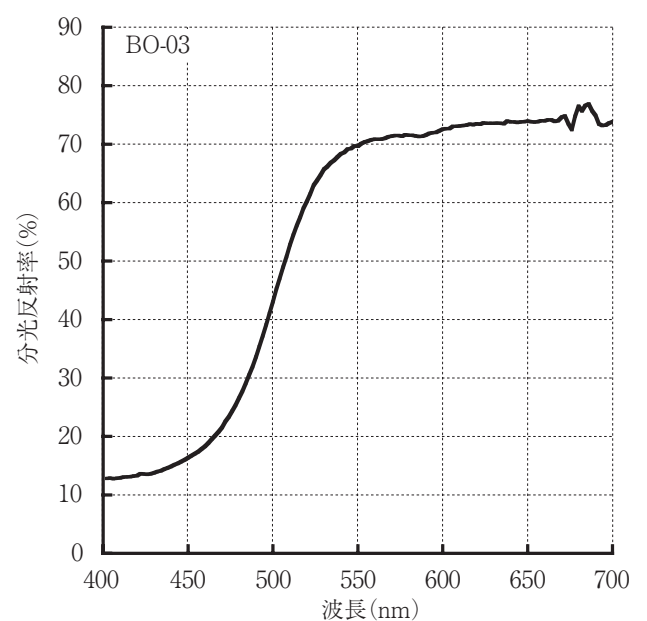


図4 試験体の分光反射率(BO-03/可視光域)

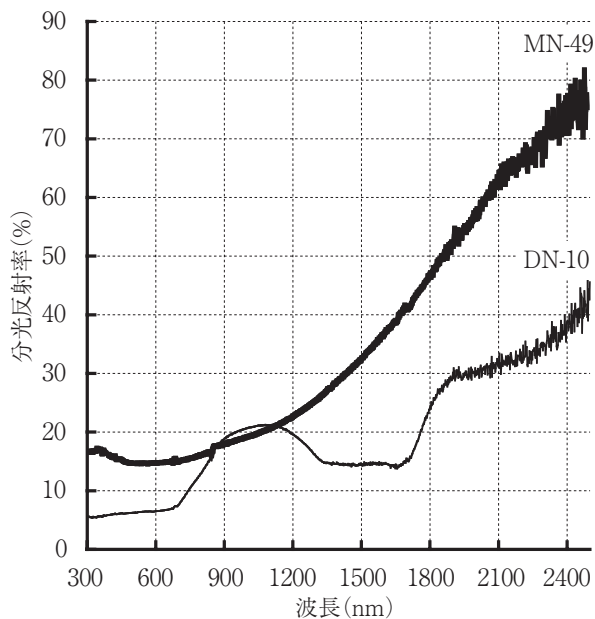


図5 試験体の分光反射率(MN-49, DN-10/全波長域)

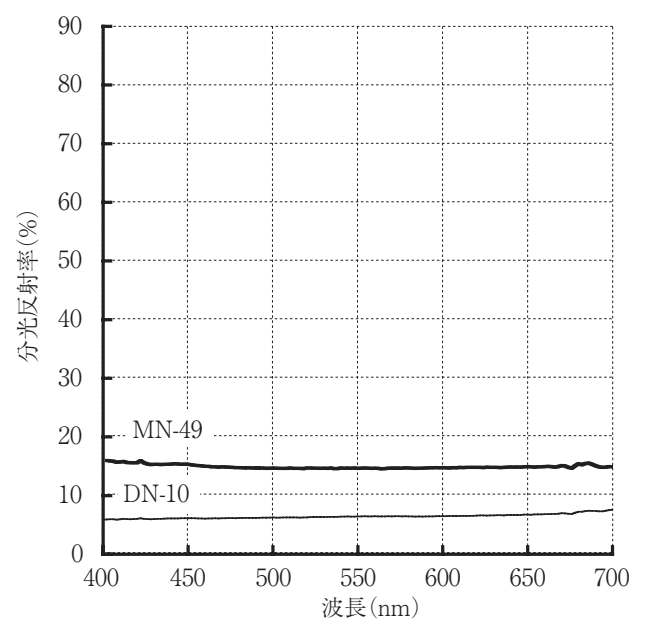


図6 試験体の分光反射率(MN-49, DN-10/可視光域)

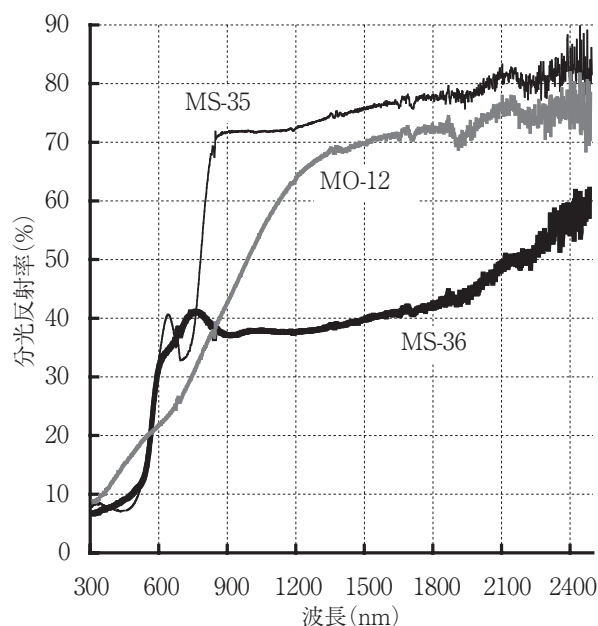


図7 試験体の分光反射率(MO-12, MS-35, MS-36/全波長域)

先に述べたように、太陽光は波長約480nm付近のエネルギー量が最も大きく、波長が長くなるほどエネルギー量は減少する分布となっている。これに対して銀黒色の釉薬では波長が長くなるほど分光反射率が高くなり、MN-49で見られるように1900nm以上の波長では50%を越えているが、太陽光にはこのような波長の長い近赤外線はあまり含まれておらず、日射反射率を高めることには寄与しないといえる。

図7, 8は、MS-36, MS-35, MO-12の日射反射率を比較したものである。MO-12では可視光線の分光反射率がかなり平坦であることから彩度が低い褐色に見えるのに対し、MS-35, MS-36では650nmの分光反射率が特に高く、比較的鮮やかなオレンジ色を示す試験体である。L*はいずれも50前後であり、特にMS-35, MS-36の色差は $\Delta E_{2000}=3.8$ 程度であるが、MS-35で最も高い日射反射率を示した。MS-35では、700nm～900nm付近で分光反射率が急激に変化していることで、日射反射率が高められると考えられる。このように、MS-35とMS-36は、色差が小さく見かけ上同一色であるにもかかわらず日射反射率は大きく異なっていた。このことから、釉薬の成分によっては色をあまり変化させ

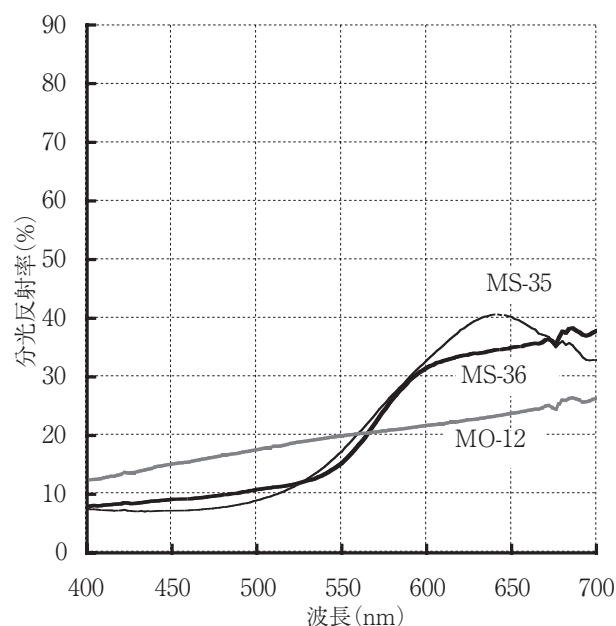


図8 試験体の分光反射率(MO-12, MS-35, MS-36/可視光域)

ることなく日射反射率を高める可能性が示されたといえる。

謝 辞

この報告は石州瓦工業組合からの受託研究として行った内容を主体としている。また日本分光製V-570を用いた分光反射率の測定には愛媛県紙産業技術センターの協力をいただいた。お礼申し上げます。

文 献

- 1) 例えば、JIS C0118:1999. 環境条件の分類-自然環境の条件-日射及び温度。
- 2) 例えば、藤本哲夫, 岡田朋和, 近藤靖史. 高反射率塗料の日射反射性能に関する研究. 日本建築学会環境系論文集, 601, 日本建築学会, 35-41(2006-3)。
- 3) JIS Z8722:2009. 色の測定方法-反射及び透過物体色。
- 4) JIS Z8730:2009. 色の表示方法-物体色の色差。
- 5) JIS A5759:2008. 建築窓ガラス用フィルム。
- 6) JIS K5602:2008. 塗膜の日射反射率の求め方。
- 7) JIS R3106:1998. 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。
- 8) JSTM H6105:2003. 分光測光器による建築材料の太陽放射反射率及び透過率測定方法。