

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560596  
 研究課題名（和文）建築仕上材の分光日射反射特性および放射率の測定とデータベース化  
 研究課題名（英文）Measurement and Data-Base of Building Materials on Spectrum  
 Solar Reflectance and Emissivity  
 研究代表者  
 林 徹夫（HAYASHI TETSUO）  
 九州大学・大学院総合理工学研究院・教授  
 研究者番号：40150502

研究成果の概要：自記分光光度計（日立 U-3500、試料入射角は 10 度、測定波長範囲 240～2600nm、60 積分球を付設）を用いて建築仕上材の分光反射率測定を行った。試料はセメント系アクリル塗装外装材 155 個、タイル 4 種類（光沢有：21 個、光沢無：37 個、磁器系：10 個、プラスチック系：12 個）計 82 個、レンガおよび防火レンガ 8 個、ブリック 9 個、石材（御影石）6 個の外装材、基礎資料として色見本帳（日本塗料工業会発行：塗料用標準色 D 版）632 個、アクリル塗料 4 色（赤、黄、青、白）を 6 種の下地（ボール紙、トタン、桧、モルタル、プラスターボード、繊維混入セメント板）に塗布したもの、ボール紙に塗布した合成樹脂成分（計 5 種）の異なる 5 色（赤、黄、青、白、黒）の塗料である。分光光度計による測定結果から、JIS R3106-1998 に準拠した全波長、可視域、近赤外域の日射反射率を求めデータベース化した。合わせて、全天日射計（英弘精機 MS-402）および波長域 350～1050nm の分光日射の測定が可能な回折格子型分光放射計（英弘精機 MS-700）による日射量測定を行い、全波長日射量と可視域および近赤外域日射量の天候別の特性を整理した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：日射反射率，分光反射特性，分光光度計，JIS-R-3160，  
可視域，近赤外域，色見本，マンセル値

## 1. 研究開始当初の背景

建築仕上材の日射反射特性は室内の居住環境形成や空調負荷に起因する省エネルギーに重要である。屋外に露出した建築仕上材の日射反射（吸収）特性と壁体の構成により、壁体の貫流熱取得が規定されるためである。特に夏季において、貫流熱取得の増大は、室内の

高温化による居住環境の劣悪化、冷房負荷の増加に伴うエネルギー消費量の増加をもたらす結果となる。

従来、材料の日射反射（吸収）特性は日射反射率、日射吸収率、透過性の材料については日射透過率を含めて整理されてきた。日射は表面温度約6000Kの太陽からの電磁波であり、

分光強度のピークを480nm付近にもつ300nm以下の放射（実用的には300～2100nmの波長域）である。この広範囲の波長域に対する放射特性を灰色体として取り扱い、日射反射率などの単一指標で処理している。日射の波長域中、380～780nmは人間の可視域であり、日射のエネルギー量の約半分を占める。従って灰色体であれば、日射反射率は人間の目による感覚とほぼ一致する。即ち、白いものは日射反射率が大きく、黒いものは小さい。しかし、灰色体の定義は解析の簡便のために導入された概念であり、厳密に言えば灰色体は存在しない。

近年、日射の我々の目では感知しえない近赤外域での放射特性を利用した建築材料の開発が盛んである。日射遮蔽塗料、断熱添加剤などが開発されており、近赤外域での反射率が大きくなる特徴がある。日射遮蔽塗料の分光日射反射特性は、一般塗料に比べ近赤外域での分光反射率に大きな差が出ることが指摘されている。また、建材の分光反射特性については、分光日射反射特性が無視できないこと、さらなるデータの蓄積が重要なことを指摘している。このような状況に鑑み、塗料を含めた建築仕上材の分光日射反射特性のデータベース化が必要と考えた。

## 2. 研究の目的

建物の居住環境形成や省エネルギーに大きな役割を占める建築材料の分光日射反射特性を測定し、その結果をデータベース化する。分光日射反射特性の測定試料は市販の塗料および建築仕上材とし、日射遮熱塗料を含む塗装系で約100種、コンクリート、煉瓦、木材などの素材系で同じく約100種を目標とする。測定データは資料写真、分光反射率、JIS R3106-1998に準拠した日射反射率で構成されるデータベースを作成する。

その際、測定試料の可視域日射反射率(吸収率)および近赤外域日射反射率(吸収率)のデータも整備する。一方、入射日射量についても天候および季節により可視域と近赤外域の比率が変わることが予想されるため、波長別日射計による測定結果を用いた可視および近赤外域日射量の特性を検討する。

## 3. 研究の方法

自記分光光度計(日立 U-3500、試料入射角は10度、測定波長範囲240～2600nm、60積分球を付設)を用いて、建築仕上材の波長300～2500nm(10nm 間隔)での分光反射率測定を行う。測定結果から JIS R 3106 「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」に準拠した、基準太陽光モデルの日射分光分布と測定した試料の分光反射率の加重平均として反射率を算出する。全波長日射反射率は波長範囲 300～2500nm までの加重平均値であるが、可視域日射反射率は波長範囲 380～780nm、近赤外域日射反射率は波長範囲 780～2500nm の加重平均として算出する。



図-1 分光光度計(左)および同測定部(右)

測定対象は平成 19 年度ではアクリル塗装セメント系外装材(繊維混入軽量セメント押出成形板、繊維混入セメント押出成形板、パルプ混入セメントケイ酸カルシウム板、繊維混入セメント板)155 個、平成 20 年度ではタイル 4 種類(光沢有:21 個、光沢無:37 個、磁器系:10 個、プラスチック系:12 個)計 82 個、レンガおよび防火レンガ 8 個、ブリック 9 個、石材(御影石)6 個である。さらに、平成 20 年度では塗料の分光反射率測定を行った。基礎資料として色見本帳(日本塗料工業会発行:塗料用標準色 D 版)に記載された 632 色、アクリル塗料 4 色(赤、黄、青、白)を 6 種の下地(ボール紙、トタン、桧、モルタル、石膏ボード、繊維混入セメント板)に塗布したもの、ボール紙に塗布した合成樹脂成分(計 5 種)の異なる 5 色(赤、黄、青、白、黒)の塗料の測定をおこなった。さらに、塗料の色は数種の基本色の混合により調合されるため、塗料の日射反射率は混合される基本色(赤、黄、青、白、黒の 5 色)の分光反射特性の質量比から推定可能であると考え、基本色に黒を含む場合と含まない場合にわけて種々の混合比の調合塗料の分光反射率を測定した。

JIS-R3106 で規定される日射量モデルは晴天時を対象としている。しかし、晴天は年間 20%程度であり、天候の変化に応じた波長別日射量モデルの整備が必要と考え、全天日射量および天候から、近赤外域を含めた波長別日射量を推定する手法を検討する。波長域 350～1050nm の分光日射の測定が可能な回折格子型分光放射計(英弘精機 MS-700)および全天日射計(英弘精機 MS-402)による日射量測定を平成 19 年 9 月 21 日から 12 月 21 日まで、1 日の測定時間を午前 9 時 30 分から午後 5 時までの 7 時間 30 分間、15 分間隔の瞬

時を測定した。



図-2 分光放射計(上段・左) 全天日射計(上段・右) 温湿度計と制御用 PC(下段)

その結果から、全天日射量の無次元数である晴天指数をパラメーターとした、任意の日時・天候における可視および近赤外域日射量の推定式(領域別日射量の推定式)を作成した。

#### 4. 研究成果

図-3 に平成 19 年度に実施した、アクリル塗装セメント系外装材 155 個の JIS-R3106 に準拠した全波長、可視域および近赤外域の日射反射率の測定を示す。

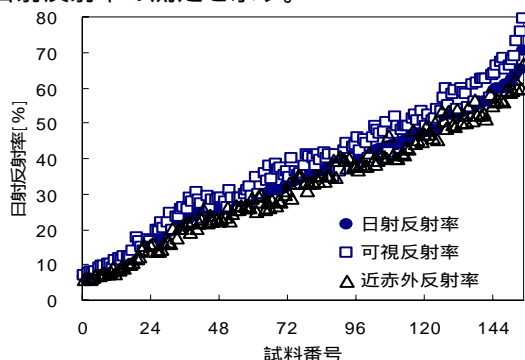


図-3 アクリル塗装セメント系外装材の日射反射率

ここで、試料番号とは 4 色に分類した試料を色毎に日射反射率が小さい順に並び替え、黒・灰に 1~39、茶(濃)に 40~79、茶(淡)に 80~119、白に 120~155 の識別番号を割り当てたものである。アクリル塗装セメント系外装材の場合、(全波長)日射反射率に対して可視域日射反射率は大きく、近赤外域日射反射率は小さい。また、当然のことながら、試料番号が大きくなると、すなわち試料の色が明るくなるに従い、日射反射率は高くなる。

分光日射量(波長別日射量)のデータとして汎用されるものには、JIS-R3106 の他に JIS-C8911 の太陽光モデルがある。入射する日射による日射反射率の差を図-4 に示す。試料番号が大きくなるにつれ両者の差は大きくなる。この傾向は可視域日射反射率で顕著であり、近赤外域での違いは少ない。

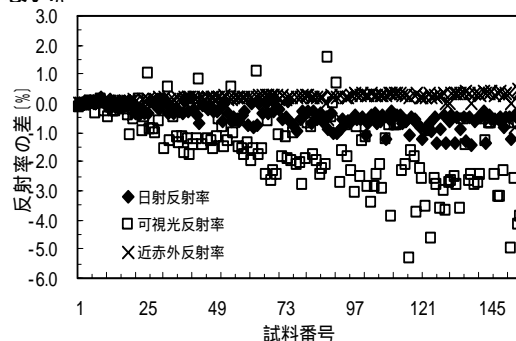


図-4 太陽光モデルによる日射反射率の差( JIS-R3106 に対する JIS-C8911 の比)

図-5 に平成 19 年 9 月 21 日 ~ 12 月 21 日まで、1 日の測定時間を 9 時 30 分から 17 時 7 時間 30 分間、15 分間隔で測定した波長別日射量を可視域と近赤外域に区分し、晴天指標  $Kt$  で整理した結果を示す。ここに

$$Kt = I_G / I_0 \cdot \sinh$$

$I_0$ : 太陽定数  $1353 \text{ W/m}^2$ ,  $h$ : 太陽高度 [deg.]

である。同図には参考のため、JIS-R3106 および JIS-C8911 の太陽光モデルの値も記載している。

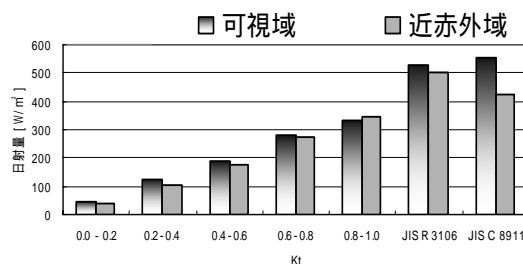


図-5 天候別の可視域日射量、近赤外域日射量

晴天日( $Kt$  が 1 に近い)には可視域と近赤外域の日射量は等しく、雨天や曇天時( $Kt$  が 0 に近づく)に両者の差は大きくなる。JIS-R3106 は夏期晴天時を想定していると思われるが、JIS-C8911 は絶対値は大きいものの可視域の日射量が多い。以上の平成 19 年度の結果から、

- ・色が明るい試料は、日射分光分布によって可視光反射率に差が生じる。

- ・実際の日射には天空成分も含まれるため、JIS C8911の全天日射モデルが実態に近い。
- ・市販の一般的外装材の全波長域での日射熱取得の算定は、従来通り波長帯を区分する必要はなく簡易的に扱ってよい。
- ・波長別（可視および近赤外）の熱取得は、日射熱取得総量からは算出できない。波長別の日射データおよび材料の吸収率（反射率）が必要である。

等の成果をえた。

平成20年度では、分光反射率測定の結果としてタイル4種類（光沢有：21資料、光沢無：37資料、磁器：10資料、プラスチック：12資料）計82資料、レンガおよび防火レンガ8資料、ブリック9資料、石材（御影石）6資料の測定を行った。タイル系ではプラスチックタイル以外は近赤外域の反射率が可視域のそれよりも大きく、2500nm付近で最大値を示す。また、マンセル値の色相がG、B、Pを含む窯業系タイルでは1500nm付近の反射率が小さくなっていた。プラスチックタイルは他の3種のタイルとは分光反射波形が異なっており、700nm前後にピーク、近赤外域ではなだらかに減衰、1700nmと2300nm付近で反射率が低くなる。レンガは近赤外域の反射率が大きく、2500nm付近で最大値を示す。また、可視域日射反射率と近赤外域反射率の差が非常に大きい。一方、ブリックは近赤外域の反射率がレンガに比して小さい。レンガとブリックでは成分や焼成温度が違い、結晶構造が異なることが原因と考えられる。御影石は近赤外域の分光反射波形の変化に乏しく、水平に近い形である。また、表面の研磨状況により日射反射率に10%程度の差を生じる。

基礎資料として色見本帳（日本塗料工業会発行：塗料用標準色D版）に印刷された632色の分光反射率および日射反射率の測定を行った。さらに、塗装面の分光反射率を詳細に検討した。まず、アクリル塗料4色（赤、黄、青、白）を6種の下地（ボール紙、トタン、桧、モルタル、プラスターボード、繊維混入セメント板）に塗布し、分光反射率を測定した。刷毛塗り2回であれば、下地材の影響はない。

次に合成樹脂成分の影響を検討した。5色（赤、黄、青、白、黒）の塗料について、製造会社2社（N社、H社）合成樹脂（N社はグロス（アクリル）、アクリルシリコン、ウレタン、4Fセラミックの4種、H社ではアクリル、アクリルシリコンの2種）をボール紙に塗布して分光反射率を測定した。その結果、合成樹脂成分の違いによる分光反射特性の相違は小さく、顔料の違いにより近赤外域の分光反射特性が大きく異なる。

塗料は通常、赤、黄、青、白、黒の5色を混合し、種々の色を作成している。この基本5色の質量混合比から種々の色分光反射特性が推定可能かを検討した。黒を含む場合と含まない場合で推定式の形はことなるが、質量混合比から種々の色分光反射特性が推定可能であることを混合塗料の分光反射特性測定から明らかにした。

以上、2年間の各種試料の分光反射特性測定結果は研究室ホームページにて公開する。

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計3件）

ディップ キムサン, 林 徹夫: 建築材料の放射特性に関する研究 その1 外装塗料の分光反射特性, 日本建築学会九州支部研究報告 第47号・2, pp.181-184, 2008, 査読無し

林徹夫, 渡邊大祐, 伊藤一秀, 野村幸司: 建築仕上材の分光反射特性の測定及び解析 その1 硬質建材の測定結果と塗装下地材の影響, 日本建築学会九州支部研究報告 第48号・2, pp.169-172, 2009, 査読無し

渡邊大祐, 林徹夫, 伊藤一秀, 野村幸司: 建築仕上材の分光反射特性の測定及び解析 その2 塗料の種類と質量混合比の影響, 日本建築学会九州支部研究報告 第48号・2, pp.173-176, 2009, 査読無し

〔学会発表〕（計2件）

渡邊大祐, 松隈れい, 林徹夫, 伊藤一秀, 野村幸司: 建築仕上材の分光日射反射特性に関する研究 その1 天候別の可視及び近赤外域の日射量の測定, 平成20年度 空気調和・衛生工学会大会(大津), 2009

松隈れい, 渡邊大祐, 林徹夫, 伊藤一秀, 野村幸司: 建築仕上材の分光日射反射特性に関する研究 その2 セメント系外装材の日射反射率と日射熱取得量, 平成20年度 空気調和・衛生工学会大会(大津), 2009

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

出願状況（計0件）

取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.eee.kyushu-u.ac.jp/hlabo/>

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

林 徹夫 (HAYASHI TETSUO)  
九州大学・大学院総合理工学研究院・教授  
研究者番号：40150502

### (2)研究分担者

野村 幸司 (NOMURA KOUJI)  
九州大学・大学院総合理工学研究院・助教  
研究者番号：20311855  
伊藤 一秀 (ITO KAZUHIDE)  
九州大学・大学院総合理工学研究院・  
准教授  
研究者番号：20329220

### (3)連携研究者 なし