

蛍光表示板の光学特性に関する研究 (ビーズ状サンプル)

A Study on Optical Characteristics of
Fluorescent Sign Panels

小山 智也*¹ 永田 淳*¹ 高橋 清*²
Tomoya KOYAMA Atsushi NAGATA Kiyoshi TAKAHASI

斉藤 茂*³ 谷 辰夫*⁴
Sigeru SAITO Tatsuo TANI

Abstract

A fluorescent dye is a wavelength shifting material that absorbs a broadband spectrum of light and fluorescent by converting into a few specific wavelengths.

In this study, the authors measured the optical characteristics of fluorescent dyes (red, orange and yellow in color) which cover glass beads of diameter ranging from 106 μm to 850 μm . The visibility factor of fluorescent glass beads are compared with that of ordinary samples.

According to the measurement, the visibility factor of fluorescent glass beads was about one half times as much as that of ordinary glass beads.

Key words : fluorescent dye, sign panel, glass beads, visibility factor

1. 序論

人間の目が感じることのできる光の波長は、およそ380~700nmであり、最も強く感じることのできる波長は555nm付近であることが知られている。蛍光染料などの波長変換材料は、幅の広い波長帯域の光を吸収し、これらの光を材料固有の波長に変換して鋭く蛍光する性質がある。そこで、この性質を用いて、より人の目に視感されやすい表示板を製作することができる¹⁾。

本論文は、ガラスビーズ状の蛍光サンプルを透過型蛍光表示板として用いる上での基本的な光学特性を測定し、現在標識表示板に使用されている普通染料を用いたサンプルとの視感度量による比較を行った。また、最も強く視感できるガラスビーズの条件についても論じた。

原稿受付 平成6年4月5日

- *1 東京理科大学工学部 学生
- *2 東京理科大学工学部 大学院生
- *3 東京理科大学工学部 講師
- *4 東京理科大学工学部 教授

2. 測定サンプルと測定装置

使用した染料の色は、交通標識などでよく見かけるレッド、オレンジ、イエローを対象にした。蛍光染料には、ドイツBASF社製 Lumogen Red 300, Orange 240, Yellow 083の三色を、普通染料には、Spirion Red BEH, Orange 2RH, Yellow GRLHの三色を使用した。試料サンプルは、これらの染料をアクリル中に濃度0.02% (200mg/l)で溶かし、路面表示塗料用ガラスビーズの1号に塗布したものである。JISによると1号の粒径範囲は106~850 μm ²⁾。

写真1は、蛍光染料のイエローを用いたビーズ状サンプルである。写真2は、上段は普通染料、下段は蛍光染料を用いたビーズ状サンプルを試料ケースに入れたもの。両写真とも、紫外線を照射するブラックライトを当てて蛍光光を撮影した。写真2の色は、左から、空の試料ケース(下段)、無色のガラスビーズ(上段)、イエロー、オレンジ、レッドである。

測定装置の概略図を図1に、測定系の仕様を表1に、試料ケースを図2に示す。

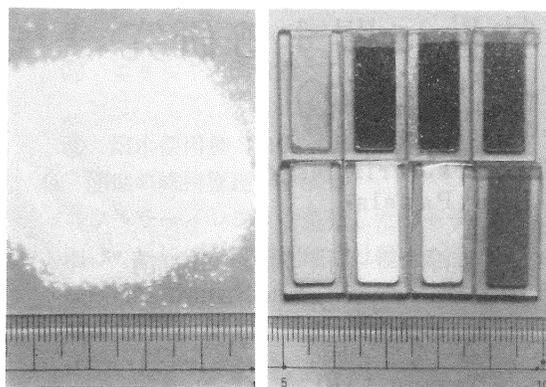


写真 1

写真 2

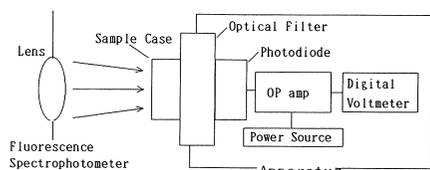


図 1. 測定装置

表 1. 測定系の仕様

Fluorescence Spectrophotometer	HITATI F-2000
Photodiode	HAMAMATU PHOTONICS 1227-1010BS
OP amp	LF-356
Optical Filter	SHIGUMAKOUKI hape Cut Filter SCF-50S=50Y, 580
Power Source	±15V Stabilizing Power Source

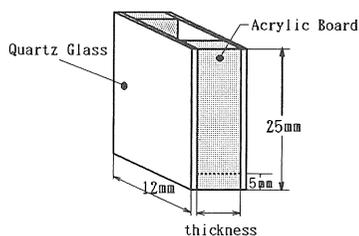


図 2. 試料ケース

測定装置は、蛍光分光光度計（日立製F-2000）から 300～800nmの単色光を試料ケースに入射させ、試料ケースからの出射光をフォトダイオードで電力として測定する。フィルターは、試料ケースを透過した入射光がフォトダイオードに到達するのを防い

で蛍光のみを測定するためのもので、イエローとオレンジには50Y, レッドには580（それぞれ、波長が500nm, 580nm以下の光をカットする）を用いた。

試料ケースは図2に示すように、縦25mm, 横12mm, 厚さ0.5mmの石英ガラス板2枚で、U字型の亚克力板を挟んで構成した。サンプルは、この試料ケースに上述のビーズ状サンプルを充填して作成した。

3. 測定方法と測定結果

3-1. 試料ケースの厚さ

図2のケースを、亚克力板の厚さを1～5mmまで1mmおきに変えて五種類作成し、380nmの単色光をあてて出射光量を測定した。図3の横軸は亚克力板の厚さ、縦軸は出射光量の比率（亚克力板の厚さが1mmの時の出射光量を1とした）である。

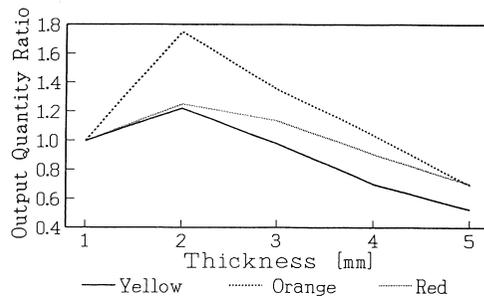
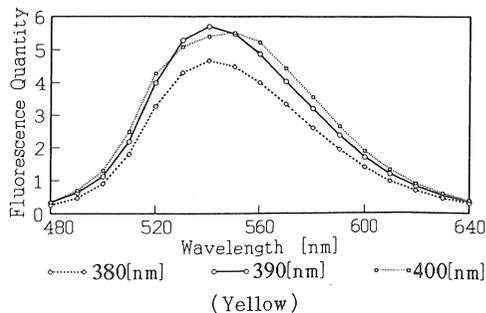


図 3. ケースの厚さによる出射光量の変化

この結果から、本測定装置の条件下では、ケースの厚さは2mmが最も適している。従って、以降の測定では、ケースの厚さは2mmとして研究を進めた。

3-2. 蛍光スペクトルの測定

入射光の波長を10nmおきに変化させながら蛍光分光光度計（日立製 F-2000）で蛍光スペクトルを測定し、最大の蛍光量が得られる入射波長を求めた。結果を図4に示す。



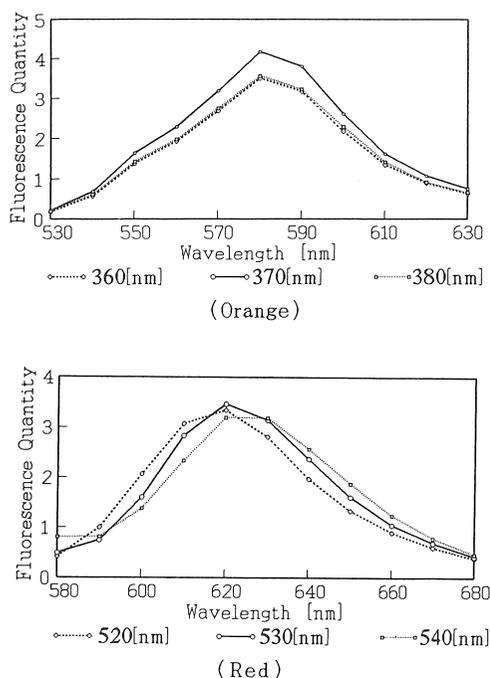


図4. 入射波長別の蛍光スペクトル

この結果から、最大蛍光量が得られる入射光の波長が、イエローでは 390nm、オレンジでは 370nm、レッドでは 530nmであることが分かった。また、蛍光光の頂点の波長は、イエローは 550nm、オレンジは 580nm、レッドは 620nmである。

3-3. 基準日射時における出射光の比較

シミュレーションと普通サンプルとの比較
太陽光の基準スペクトルが蛍光サンプルに入射したときの出射光を、3-2で得られたスペクトル分布をもとに、シミュレーションによって求めた。以下にその手順を示す。ここで、太陽光の基準スペクトルとは、太陽電池セルやモジュールの電気出力または変換効率を決定するとき、CIE, JIS 原案で規定されているものである³⁾。

まず、ビーズ状サンプルの入っていない、空の試料ケースを測定装置にセットし、そこに単波長の光を入射させ、空の試料ケースからの出射光を測定する。これをビーズサンプルに対する入射光とする。入射させる光のスペクトルを $I_0(\lambda)$ 、ケースの吸収率を $\alpha(\lambda)$ とすると、ビーズサンプルに対する入射光 $I(\lambda)$ は、

$$I(\lambda) = \{1 - \alpha\} \cdot I_0(\lambda) \quad \dots (1)$$

次に、試料ケースに蛍光サンプルを入れ、測定装

置からフィルターを外して測定を行う。これをサンプルからの出射光とする。この出射光 E は、蛍光光 K と、入射光の透過光 T という波長の違う二つの光からなっている。つまり、波長 λ の光が入射したときの出射光 $E(\lambda)$ は、

$$E(\lambda) = T(\lambda) + K(\lambda_k) \quad \dots (2)$$

である。 λ_k は蛍光染料固有の、蛍光光の波長である。

測定装置のところで述べたが、蛍光光 $K(\lambda_k)$ は、測定装置にフィルターをセットする事で測定する事が出来る。そこで透過光 $T(\lambda)$ は、出射光 $E(\lambda)$ から蛍光光 $K(\lambda_k)$ を引いたものとする。

$$T(\lambda) = E(\lambda) - K(\lambda_k) \quad \dots (3)$$

この蛍光光 $K(\lambda_k)$ と透過光 $T(\lambda)$ を入射光 $I(\lambda)$ で割る事で、入射波長別の蛍光効率 $k(\lambda)$ 、透過率 $t(\lambda)$ が求められる。

$$k(\lambda) = K(\lambda_k) / I(\lambda) \quad \dots (4)$$

$$t(\lambda) = T(\lambda) / I(\lambda) \quad \dots (5)$$

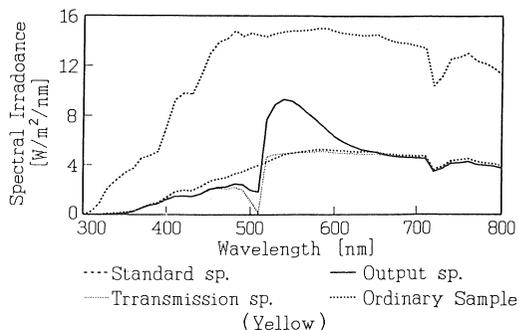
以上の様にして、蛍光効率 $k(\lambda)$ と透過率 $t(\lambda)$ を、入射光の波長を 300~800nm まで 10nm おきに変えて求める。これらをもとに、基準日射時の出射光のシミュレーションを行った。

基準日射が入射したときの出射光スペクトル E_s は、蛍光光スペクトル K_s と透過光スペクトル T_s の合成によって作成する。まず透過光スペクトル T_s は、基準日射のスペクトル I_s に波長別の透過率 $t(\lambda)$ を掛けることで得られる。次に蛍光光スペクトル K_s は、基準日射のスペクトルに蛍光効率 $k(\lambda)$ をかけて得られた入射波長別の蛍光量を合計して蛍光総量 ΣK とし、それを 3-2 で得られた蛍光光のスペクトル分布 $k_x(\lambda)$ にあわせて分配して求めた。この蛍光光スペクトル K_s と透過光スペクトル T_s を合計したものが、基準日射時の出射光のスペクトル E_s である。

以上を式で表すと、出射光のスペクトル $E_s(\lambda)$ は、

$$E_s(\lambda) = T_s(\lambda) + K_s(\lambda) \\ = t(\lambda) \cdot I_s(\lambda) + k_x(\lambda) \cdot \Sigma K \quad \dots (6)$$

シミュレーションの結果を図5に示す。



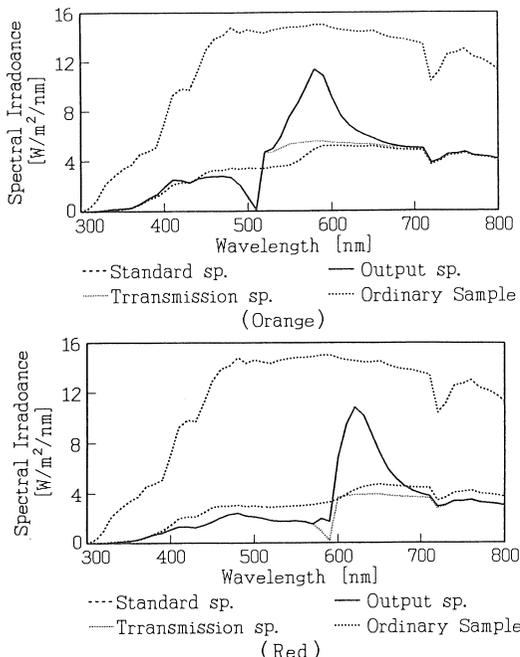


図5. 基準日射時の出射光のシミュレーション

図5から、蛍光サンプルの出射光は普通染料の出射光より、波長が 550nmのあたりで、非常に強い光が得られるのがわかる。なお、イエローとオレンジの 500nm, レッドの 580nm付近で出射光の値が落ちているのは、フィルターの性能の限界によるもので、実際はなめらかに変化している。これ以降は、フィルターなしで測定した光をそのまま透過光とした。これより長い波長では波長変換は行われないので、問題ないと思われる。

3-4. 視感度量による普通サンプルと
蛍光サンプルの比較

人間の視覚機能には波長選択機能があり、視覚の分光感度の相対値が比視感度として与えられている。また、比視感度には明所視と暗所視があることが知られている。これを図6に示す⁴⁾。

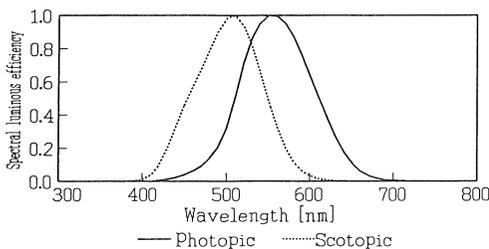


図6. 標準比視感度曲線

3-3で得られたシミュレーションの結果に比視感度を適用し、普通サンプル (Ordinary Sample)と蛍光サンプル (Fluorescent Sample)の、視感度量による比較を行った。結果を表2に示す。なお、このときの蛍光サンプルの出射光スペクトルは、フィルターの限界によって生じた落ち込みを修正したものを用いた。

さらに、レッドの蛍光サンプルの視感度量を1とし、イエローとオレンジの蛍光サンプルの視感度量と比較した結果を表3に示す。

表2. 蛍光サンプルと普通サンプルの視感度量による比較

Color	Photopic		Scotopic	
	Fl Sam	Or Sam	Fl Sam	Or Sma
Yellow	1.52	1.00	1.38	1.00
Orange	1.73	1.00	1.35	1.00
Red	1.12	1.00	0.69	1.00

表3. 蛍光サンプル同士の比較

Color	Photopic	Scotopic
Yellow	2.02	1.47
Orange	1.94	1.29
Red	1.00	1.00

この結果から、使用する場所、入射させる光の種類によって蛍光染料の色を選択すれば、より視感度量の多い表示板が制作できる事が分かった。

太陽光基準スペクトル下では、今回使用した三色の中では、透過型蛍光表示板として用いるのに最も適している色はイエローである。レッドは、ガラスビーズ状にすると透過率が低くなるうえ、蛍光光の波長が比視感度の波長とずれているために、透過型蛍光表示板として利用するためには工夫が必要である。

3-5. 粒径による影響

JISによると、1号は粒径範囲が106~850μmと幅がある(これを混合状態とする)。この粒計の幅が特性に影響を与えていることが考えられるので、考察することにした。

ビーズ状サンプルを、目の粗さが 150, 250, 425, 710μmのふるいを用いて粒径別に四種類に分類し、それぞれについて蛍光量を測定し、混合状態を1として比較した。結果を図7に示す。

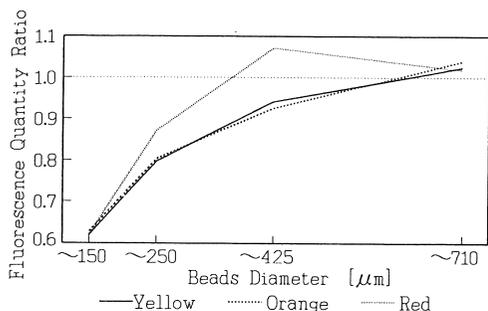


図7. 蛍光量の粒径による特性

3-6. ガラスビーズとの混合

現在、路面表示に用いられている蛍光ガラスビーズは、無色のガラスビーズと混合して用いられている。そこで蛍光サンプルと無色のガラスビーズを混合し、透過型蛍光表示板としての特性が混合比によってどう変化するかを調べた。使用した粒径は、各色で最大の蛍光量が得られた粒径とし、各色で最大の蛍光量が得られた混合比を1とした。その結果を図8に示す。横軸は、蛍光サンプルの比である。

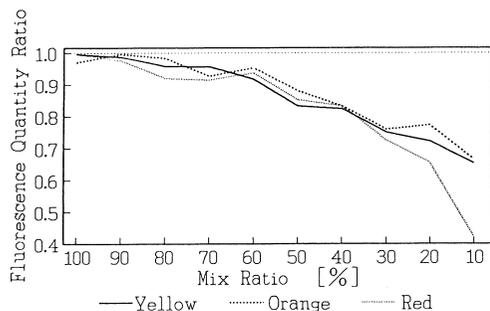


図8. 蛍光量の混合比による特性

4. 結論

以上のことから、

- (a) 透過型蛍光表示板の厚さは、薄すぎると蛍光染料が少なくなり、厚すぎると光が透過し難くなって特性を劣化させる。本論文では 2mm が最も優れた特性を示した。
- (b) 蛍光染料を用いた試料と普通染料を用いた試料とでは、蛍光サンプルの方が最大 1.7倍ほど我々の視覚に強い影響を与えており、蛍光表示板が優れていることを示している。また、蛍光はケースから四方へ発せられているので、実際にはもっと多い蛍光量が得られるはずである。

明所視ではオレンジが最も普通表示板より優れ、暗所視ではイエローが優れている。レッドの蛍光表示板は、暗所視では、普通表示板よりも効果が低いことが分かった。

- (c) ガラスビーズの粒径は、大きいほど蛍光総量が増える傾向にある。しかし、レッドでは粒径が 250~425 μm のときに蛍光量が最大となっており、イエローとオレンジにも、蛍光量が最大となる粒径が、710 μm 以上の範囲にあるものと思われる。
- (d) 図8から、特性が若干ながらカーブを描いていることが分かった。従って、使用目的によって混合率を選択すれば、より高効率、低費用での利用が可能になる。

参考文献：

- 1) 金子宏司ほか、蛍光表示板の光学特性に関する研究、平成5年電気学会全国大会 No.1655(1993)
- 2) 日本規格協会、路面表示塗料用ガラスビーズ JIS R 3301(1987)
- 3) 鈴木良介・谷辰夫、太陽エネルギー Vol.18, No.6, 日本太陽エネルギー学会(1992-11)
- 4) 小瀬輝次ほか編、光工学ハンドブック、p103-104, 朝倉書店(1988)