

全分光放射輝度率合成方法による蛍光物体色測定

Colorimetry of fluorescent objects by adjustment method

一 條 隆

Takashi Ichijo

株式会社 東芝

1. まえがき P. Blaiseが提案し、F. W. Billmeyer, Jr.らが追試を行ったAdjustment Method¹⁾について検討した。なお、この測定法は、当学会作成の「蛍光物体色の測定方法」JIS原案に、全分光放射輝度率合成方法として採用されている。

2. 全分光放射輝度率合成方法

2. 1 概略 白色光照明専用の分光光度計による蛍光物体色の測定において、分光光度計の光源にn種類の色フィルターを順次掛けながら測定した全分光放射輝度率 $\beta_{t,i}(\lambda)$ を合成して、測色用の光の下での蛍光物体色を推定する。

2. 2 フィルターの選択 測定に用いるフィルターは、式(1)で表される合成照明光 $S_a(\lambda)$ が測色用の光 $S_0(\lambda)$ になるべく近似するように、選択する(3. 2参照)。

$$S_a(\lambda) = \sum_{i=0}^n a_i \tau_i(\lambda) S_x(\lambda) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 a_i : 係数、 $i=0 \sim n$ 。 $i=0$ はフィルターなし

$\tau_i(\lambda)$: フィルターの分光透過率 ($\tau_0(\lambda)=1$)

$S_x(\lambda)$: 分光光度計の光源(積分球込み)の相対分光分布

2. 3 全分光放射輝度率 $\beta_{t,i}(\lambda)$ の測定

2. 4 測色用の光の下での全分光放射輝度率の計算 合成照明光 S_a 下の全分光放射輝度率 $\beta_{t,a}(\lambda)$ を、式(2)によって求め、これを測色用の光の下での値 $\beta_{t,0}(\lambda)$ と見なす。

$$\beta_{t,a}(\lambda) = \frac{\sum_{i=0}^n a_i \tau_i(\lambda) \beta_{t,i}(\lambda)}{\sum_{i=0}^n a_i \tau_i(\lambda)} \quad \cdots \cdots (2)$$

3. 模擬測定 この全分光放射輝度率合成方法が、実際に使えるかどうか、その可能性を確かめるために、計算機上で模擬測定を行った。

3. 1 設定条件

(1) 分光光度計の光源 JISキセノン標準白色光源

(2) フィルター 東芝色ガラスフィルタ(東芝硝子機製)のカタログから読み取った、99種類の分光透過率データ

(3) 蛍光性試料 ①MIuv計算用試料²⁾(3種類)と簡易1分光器方法³⁾測定データ(6種類*)、②2分光器方法⁴⁾測定データ(4種類*) *印は、電総研大阪支所の湊氏による。

(4) 測色用の光 標準の光 D_{65}

3. 2 係数 a_i の計算方法 式(1)における係数 a_i の値は、合成照明光 $S_a(\lambda)$ を測色用の光 $S_0(\lambda)$ にどのように近似させるかによって変わる。 $S_a(\lambda)$ を $S_0(\lambda)$ に直接近似させる方法¹⁾があるが、近似の波長範囲などに疑問が残る。ここでは、推定誤差(3. 3参照)を小さくする一つの方法を示す。

S_a 下の光源色と蛍光物体色の三刺激値を、各々 S_0 下の値に近似させる。このときの係数 a_i は、式(3)から求められる。

$$A = (T_x^t T_x)^{-1} T_x^t T_0 \quad \cdots \cdots (3)$$

ここで、 $A = [a_0 \cdots a_n]^t$

$$T_0 = [T_{00} \ T_{01} \ \cdots \ T_{0n}]^t$$

$T_{00} = [X_{00} \ Y_{00} \ Z_{00}]$: S_0 の三刺激値

$T_{0j} = [X_{0j} \ Y_{0j} \ Z_{0j}]$: S_0 下のj番目($j=1 \sim m$)の試料

$T_x = [T_{x0} \ \cdots \ T_{xn}]$ の三刺激値

$T_{xi} = [T_{xi0} \ T_{xi1} \ \cdots \ T_{xin}]^t$: ($i=0 \sim n$)

$T_{xi0} = [X_{xi0} \ Y_{xi0} \ Z_{xi0}]$: i番目のフィルターによる照明光 $\tau_i S_x$ の三刺激値

$T_{xij} = [X_{xij} \ Y_{xij} \ Z_{xij}]$: $\tau_i S_x$ 下のj番目の試料の三刺激値

以上の計算を、9種類の蛍光性試料①について行った。

3. 3 蛍光物体色の推定誤差 $L^*a^*b^*$ 表色系による色差で、 D_{65} 光の下での蛍光物体色の真値と推定値との誤差を表す。推定値(L^*, a^*, b^*)は次の三つの方法で計算した。

方法I: $\phi(\lambda) = S_a(\lambda) \beta_{t,a}(\lambda)$, $S(\lambda) = S_a(\lambda)$

” II: $\phi(\lambda) = S_d(\lambda) \beta_{t,a}(\lambda)$, $S(\lambda) = S_d(\lambda)$

” III: $\phi(\lambda) = S_a(\lambda) \beta_{t,0}(\lambda)$, $S(\lambda) = S_d(\lambda)$

ここで、 $\phi(\lambda)$ は物体色の三刺激値(X, Y, Z)の計算に、 $S(\lambda)$ は光源色の三刺激値(X_0, Y_0, Z_0)の計算にそれぞれ用いる関数とする。

また、方法Iは色再現・色比較における常用光源的な考え方、方法IIはASTM⁵⁾的な考え方にそれぞれ基づいており、

方法Ⅲは刺激値直読観測のとき有効な方法である。

3.4 結果

表2に、2枚のフィルターを用いた場合の模擬測定結果を示す。また、図1に各フィルターの分光透過率を、図2に各フィルターを掛けたときの照明光の相対分光分布を、図3に合成照明光の相対分光分布をそれぞれ示す。表2から、光源がJISキセノン標準白色光源の場合、2枚のフィルターを用いると、約0.5 CIELAB₁₀単位以下の誤差でD₆₅下の蛍光物体色を推定できることがわかる。また方法ⅠⅡⅢの違いに関しては、結果にそれほど大きな差は認められなかった。

この他、Billmeyerらの測定¹⁾のように、合成照明光の相対分光分布 $S_a(\lambda)$ をD₆₅の相対分光分布 $S_D(\lambda)$ に近似させて、 a_i を求めた。この場合、各方法ごとに求められた平均誤差の最小値では、大きな違いはなかったが、同じフィルターの組合せで比較すると、方法によって誤差が4倍以上異なることもある。また、 $S_a(\lambda)$ と $S_D(\lambda)$ の分光分布の近似度(相関係数)と推定誤差が完全には比例しないため、分光分布を近似させる方法は、近似を行う波長範囲(励起波長範囲)などに検討の余地があることなどを確認した。

4. 結論 計算機上での模擬測定の結果、全分光放射輝度率合成方法は十分実用に適する可能性が示された。この方法は、測定に用いるフィルターの選択などが多少厄介だが、最も普及率の高い白色光照明専用の分光光度計だけで蛍光物体色が測定できる。

最後に、蛍光性試料の測定データを提供して下さった電総研大阪支所の湊 秀幸通商産業技官と、様々な助言を頂いた松下電子工業㈱の渡会吉昭部長及び掲記原案作成委員会の皆様に謝意を表す。

参考文献

- (1) F.W. Billmeyer, Jr. and Y. Chen: CRA, 9[3]175-178('84)
- (2) JIS Z 8720-1983
- (3) 森 礼於: 第2回光学四学会連講色彩コンフ(昭60)15~20
- (4) 湊 秀幸: 電総研研究報告 第829号(昭57)
- (5) ASTM E 991-84

表1 フィルターなしの場合の推定誤差

光源: JIS Xe, フィルター: なし (CIELAB ₁₀)										
試料①	W1	W2	W3	R	Y	G	N	YG	PK	平均
方Ⅰ	0.06	1.73	1.92	3.38	1.50	1.51	1.09	0.11	2.35	1.52
方Ⅱ	0.15	1.91	2.16	2.90	3.03	2.78	1.16	1.69	1.43	1.91
法Ⅲ	4.62	5.09	5.18	1.13	3.46	1.87	2.03	4.92	2.73	3.45
試料②				R	Y	G	O			平均
方Ⅰ				3.37	1.22	1.38	3.83			2.45
方Ⅱ				3.20	2.74	2.77	2.83			2.89
法Ⅲ				0.74	3.74	2.21	0.95			1.91

表2 2枚のフィルターを用いた場合の推定誤差

光源: JIS Xe, フィルター: Y-50, B-46 (CIELAB ₁₀)										
試料①	W1	W2	W3	R	Y	G	N	YG	PK	平均
方Ⅰ	1.29	0.07	0.51	0.11	0.09	0.44	0.27	0.11	0.14	0.34
方Ⅱ	1.29	0.10	0.51	0.47	0.33	0.30	0.20	0.19	0.17	0.40
法Ⅲ	1.09	0.29	0.73	0.14	0.20	0.34	0.27	0.18	0.09	0.37
試料②				R	Y	G	O			平均
方Ⅰ				0.26	0.09	0.45	0.15			0.24
方Ⅱ				0.37	0.39	0.32	0.30			0.34
法Ⅲ				0.30	0.18	0.35	0.20			0.26

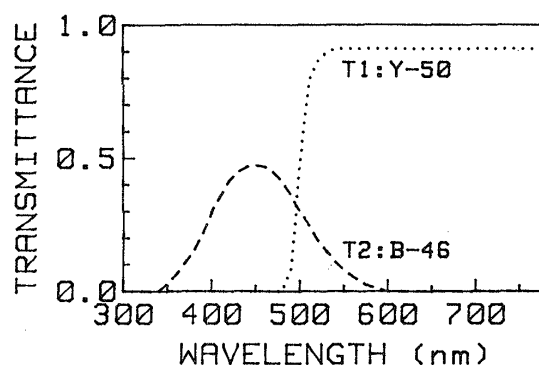


図1 フィルターの分光透過率 $\tau_i(\lambda)$

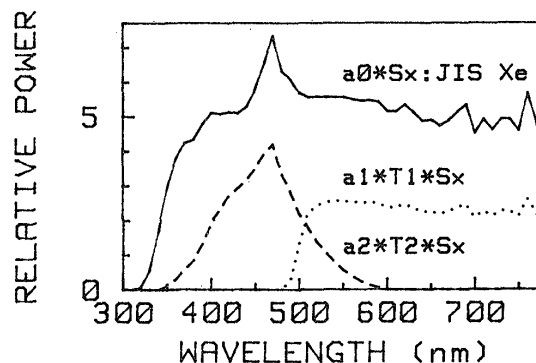


図2 試料面照明光の相対分光分布 $a_i \tau_i(\lambda) S_x(\lambda)$

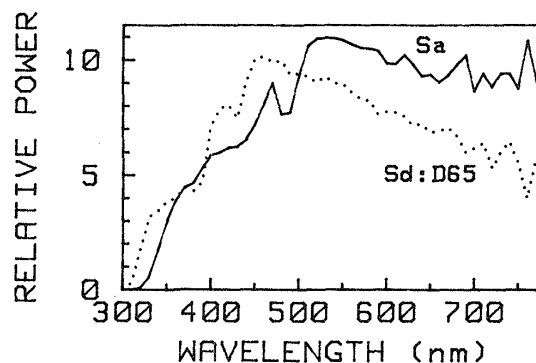


図3 合成照明光 S_a と D_{65} の相対分光分布