ガス放電表示用蛍光体の測定

NHK 総合技術研究所 小池 純郎・坂井 徹男
村上 宏・大石 巖

ガス放電型表示装置でカラーの画像表示を行う場合に、用いる蛍光体に要求される特性について述べ、各種の CRT、蛍光灯用の蛍光体について 58.4~300 nm の領域での励起スペクトルと、実装した状態での総合発光効率などを測定し、この結果と発光色度などから、ガス放電表示用としてすぐれた特性を有する数種の蛍光体を見出した。

1. ま え が き

最近、CRT に代わるべき表示装置として、各種のガス放電型カラー表示パネルの開発、可能性追求が内外で盛んになりつつあるが^{1)~5)}、カラー化の手段としては、たとえば Xe, Kr のような可視発光が弱く紫外放射の強いガス放電を利用して 3 原色蛍光体を励起させる方法が有力と考えられる。

このような希ガス中の放電では波長 200 nm 以下のいわゆる真空紫外領域に強い放射を示すが、蛍光体のこの領域での特性についての報告は数少ない⁶⁾⁷⁾。そこで、まず第 1 段階として大日本塗料 K. K. の協力を得て、各種 CRT 用、蛍光ランプ用として作られている各種蛍光体につき 58.4~300 nm の波長領域での励起スペクトルを測定し、この結果をもとに実験用放電セルに組込んでその総合発光効率などを測定し、一般的な特性と合わせて検討した。

2. 蛍光体に要求される特性

ガス放電表示パネルと蛍光体を組合せてカラー表示を行う場合、蛍光体にはつぎのような特性が要求される。

- (1) 真空紫外領域で高い励起スペクトルを有すること。
- (2) 同一放電電流時に 3 原色蛍光体の発光の加法混色によりほぼ基準白色を得ることが望ましい。これは基準白色として選ぶ色度、3 原色蛍光体の発光スペクトルにもよるが、エネルギー効率* にして RGB の比がだいたい 0.5~1:1:1.2~2.0

程度になる。

- (3) 3 原色の発光はそれぞれ充分な彩度と色相を有すること。
- (4) 短い紫外線およびイオン衝撃に対して劣化の少ないこと。
- (5) 表示パネル製作工程の塗布、熱処理に対して化学的に安定なこと。
- (6) 放電セル動作状態の温度で発光効率の低下が少ないこと。
- (7) 残光が短いこと。CRT の実績からみて、だいたい 10% 残光** 5 ms 以下が許容限と考えられる。

などがあげられる。ここでは(1)~(3)、(7)について測定し、その特性を明らかにするが、他については一般的な特性として、(4)のイオン衝撃に対しては硫化物、弗化物蛍光体が弱いとされ、また(5)に対しては酸化物⁸⁾、(6)に対しては希土類蛍光体がすぐれている⁹⁾。

3. 励起スペクトル測定

真空紫外分光器を用いて各種の蛍光体の励起スペクトルを測定した。測定した蛍光体 35 種と、大日本塗料で測定した発光スペクトルから計算した発光色度を表 1 に

* 色度がそれぞれ $R(x_R, y_R)$, $G(x_G, y_G)$, $B(x_B, y_B)$ の 3 原色を用いて白色 (x_w, y_w) を作る時、各原色が受持つ明るさの割合 (ルーメン分配比) $f_R : f_G : f_B$ は加色混合の原理により

$$\sum_{i=R,G,B} (x_i - x_w) \frac{f_i}{y_i} = 0$$

$$\sum_{i=R,G,B} (y_i - y_w) \frac{f_i}{y_i} = 0$$

の関係から求められる。ここで各原色のルーメン当量 (lm/W, 放射束 1 W 当りのルーメン数) を L_i とすると $f_R/L_R : f_G/L_G : f_B/L_B$ はエネルギー単位の発光出力比であり、同一入力 (同一放電電流) の場合には、エネルギー効率の比となる。

** 比輝度 10% 減衰点までの時間。

"Measurement of Several Properties of Phosphors for Use in Gas Discharge Display" by Junro Koike, Tetsuo Sakai, Hiroshi Murakami and Iwao Ohishi (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo).

図 1 真空紫外分光器の構成
Arrangement of vacuum spectroscope.

表 1 蛍光体の色度
Chromaticities of phosphors.

蛍光体組成	色 度		蛍光体組成	色 度	
	x	y		x	y
NTSC Blue	.14	.08	BaSiO ₄ : Eu	.171	.551
ZnS: Ag(c)	.145	.055	Ba ₂ Al ₂ SiO ₇ : Eu	.163	.559
ZnS: Ag(h)	.152	.036	Ba ₂ Ga ₂ SiO ₇ : Eu	.163	.559
CaWO ₄	.169	.119	NTSC Red	.67	.33
Y ₂ SiO ₅ : Ce	.153	.083	Sr ₃ (PO ₄) ₂ : Sn	.556	.422
Ba ₃ (PO ₄) ₂ : Eu	.165	.012	Zn ₃ (PO ₄) ₂ : Mn	.674	.326
Sr ₃ (PO ₄) ₂ : Eu	.163	.014	Cd ₃ B ₂ O ₅ : Mn	.636	.363
NTSC Green	.21	.71	CaSiO ₃ : Pb: Mn	.566	.419
Zn ₂ SiO ₄ : Mn	.224	.705	(MgO) _x (As ₂ O ₃) _y : Mn	.686	.314
(Mg, Zn)Ga ₂ O ₄ : Mn	.085	.689	(MgO) _x (MgF ₂) _y (GeO ₂) _z : Mn	.655	.311
Y ₂ O ₂ S: Tb	.253	.541	Y ₂ O ₂ S: Eu	.639	.360
La ₂ O ₂ S: Tb	.347	.595	YVO ₄ : Eu	.662	.338
(Zn, Cd)S: Ag	.313	.598	Y ₂ O ₃ : Eu	.631	.368
(Zn, Cd)S: Cu: Al	.425	.511	Y(V, P) ₂ O ₄ : Eu	.658	.342
(Zn, Cd)S: Cu: Al	.298	.612	GdVO ₄ : Eu	.671	.329
ZnS: Cu: Al	.253	.600	Gd ₂ O ₃ : Eu	.643	.343
ZnS: Cu: Cl(c)	.259	.527	ZnO: Zn	.239	.422
ZnS: Cu: Cl(h)	.185	.467	3Ca ₃ (PO ₄) ₂ ·Ca(F, Cl) ₂ : Sb: Mn	.344	.370
SrGa ₂ S ₄ : Eu	.267	.693			
SrAl ₂ O ₄ : Eu	.359	.509			

示す。発光色度をみると、青では ZnS: Ag, Y₂SiO₅: Ce, 緑は Zn₂SiO₄: Mn, SrGa₂S₄: Eu, 赤では Zn₃(PO₄)₂: Mn, YVO₄: Eu, GdVO₄: Eu などが NTSC 原点に近く、色再現範囲の広い蛍光体といえる。なお測定は3原色蛍光体を中心に行ったが、一例として白色の 3Ca₃(PO₄)₂·Ca(F, Cl)₂: Sb: Mn, ZnO: Zn についても行った。

3.1 励起スペクトル測定法

真空紫外分光器は図1の構成で、曲率半径 500 mm, 1200 本/mm, 150 nm プレーズの回折格子を瀬谷-波岡式¹⁰⁾に置いた分散系をもち、光源は水冷の水素放電管で窓材は使用していない。主な測定条件を表2に示す。測定は入射光をチョッパーで参照用のサリチル酸ソーダ膜と試料に交互に当て、波長変換された入射光と蛍光をそ

表 2 真空紫外分光器の測定条件
Experimental conditions of vacuum spectroscope.

水 素 放 電 管	圧 力	0.7 Torr
	電 圧	600 V
分 光 器 内 真 空 度	電 流	200 mA
		3×10 ⁻⁵ Torr
スリット幅 (波長換算)	入 射	0.29 Å
	出 射	15 Å

れぞれのフォトマルチプライヤーで受光して行う。蛍光体の励起スペクトルは、試料部に置いたサリチル酸ソーダ粉末により規格化され、付録の(付・1)~(付・5)式を用いて異なる蛍光体間で直接比較し得る相対エネルギー効率に変換される。なお、水素放電管には He も導入可能としたので、100 nm 以下の励起光源として He の 58.4 nm を使用した。

3.2 励起スペクトル測定結果

表1のうち、測定波長域で発光の認められた 25 種について、その励起スペクトルを図2~図6に示す。図の縦軸はエネルギー単位で、サリチル酸ソーダの量子効率を 0.6 とすれば(付録参照)、1.0 がエネルギー効率で 30% となる*。

図2は青色蛍光体の励起スペクトルで、200 nm 以下の励起に対し Y₂SiO₅: Ce, 150 nm 以下で Sr₃(PO₄)₂: Eu, Ba₃(PO₄)₂: Eu が高い効率を示している。図3, 図4の緑色蛍光体の 200 nm 以下の領域では Zn₂SiO₄: Mn が最も良く、他は波長が短くなるとともに効率が減少していく傾向を示した。

なお、白色蛍光体の例として測定した図3の ZnO: Zn は、波長に対しほぼ平坦な効率を示し、また 3Ca₃(PO₄)₂·Ca(F, Cl)₂: Sb: Mn は、蛍光灯で知られているように 250 nm 付近でかなり高い効率を示すが、真空紫

図 2 青色蛍光体の励起スペクトル
Excitation spectra of blue emitting phosphors.

* 図の縦軸は、付録(付・3)式でサリチル酸ソーダの量子効率を1.0として得られる値を図上2倍している。したがってサリチル酸ソーダの量子効率を1.0とすると、縦軸1.0がエネルギー効率50%に対応する。

図 3 緑色蛍光体の励起スペクトル (1)

Excitation spectra of green and white emitting phosphors (1).

図 4 緑色蛍光体の励起スペクトル (2)

Excitation spectra of green emitting phosphors (2).

図 5 赤色蛍光体の励起スペクトル (1)

Excitation spectra of red emitting phosphors (1).

外域とくに 150 nm 以下では急激に低下する。図 5, 図 6 の赤色蛍光体の励起スペクトルでは, 200 nm 以下で Eu 付活の蛍光体の効率が他に比較して良い。

YVO₄:Eu については, この他にも外国各社製の試料について報告¹¹⁾したが, 有意な差は認められなかった。

ここで, エネルギー効率の絶対値の一例として, 253.7

図 6 赤色蛍光体の励起スペクトル (2)

Excitation spectra of red emitting phosphors (2).

nm 励起で CaWO₄ が 41%¹²⁾, YVO₄:Eu が 37% (反射率 2%)¹³⁾ が報告されている。これは NBS 標準蛍光体についての測定結果ではあるが, 図 2 の CaWO₄, 図 5 の YVO₄:Eu と比較してみると, 縦軸 1.0 をエネルギー効率 30% とするのはほぼ妥当といえる。

4. 実験用放電セルによる測定

バロース社の SSPD™ を模擬した図 7 の断面構造を持つセルに, 200 nm 以下の励起スペクトルが比較的良好な蛍光体をそれぞれ塗布し, その総合発光効率, 残光特性を測定した。使用した混合ガスは紫外放射が強く可視発光が少ない組合せとして He-Kr であるが, この他にも各種希ガスをを用いて実験を行った¹⁴⁾。

4.1 発光効率の測定

発光効率は, 放電セルの発光部分に近接して置いた感度を校正* したヘッドオン型のフォトマルチプライヤー (S-10, ダイノード 3 段使用, -500 V 印加) に, ガス可視発光を排除するための 3 原色フィルター** を組合せて光電流を測定し, 求めた発光出力の絶対値を電気入力

図 7 放電セルの構造

Construction of experimental discharge cell.

* 標準 A 光源と定エネルギー分光器¹⁵⁾により求めた絶対値。

** R, G, B それぞれラッテンゼラチンフィルター # 25, # 58, # 47

表 3 各種蛍光体の相対発光効率
Relative energy efficiency of several phosphors.

Blue	η^*	Green	η	Red	η
$\text{Y}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$	1.0	$\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$	0.52	$\text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$	0.41
$\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$	1.0	$\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Tb}$	0.21	$\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$	0.34
$\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$	0.51	$\text{SrGa}_2\text{S}_4 : \text{Eu}$	0.20	$\text{Cd}_3\text{B}_2\text{O}_5 : \text{Mn}$	0.29
CaWO_4	0.20	$\text{La}_2\text{O}_3 : \text{Tb}$	0.17	$\text{GdVO}_4 : \text{Eu}$	0.28
		(Mg, Zn) $\text{Ga}_2\text{O}_4 : \text{Mn}$	0.092	$\text{Y}(\text{V}, \text{P})\text{O}_4 : \text{Eu}$	0.28
				$\text{YVO}_4 : \text{Eu}$	0.27
				$\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$	0.27
				$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Mn}$	0.26

* η : 相対エネルギー効率 ($\text{Y}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$ の値で規格化)

で除して得られる。測定結果を表 3 に示す。

青色蛍光体については、 $\text{Y}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$ 、 $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$ が CaWO_4 の 5 倍、 $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$ が 2.5 倍の発光効率を示し、励起スペクトル測定結果とよく一致している。緑色蛍光体では、 $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$ が他の 2.5 倍以上の効率で、 $\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Tb}$ 、 $\text{SrGa}_2\text{S}_4 : \text{Eu}$ がこれについている。赤色蛍光体は $\text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$ が最も良く、ついで $\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$ 、その他の 6 種はほぼ同程度の効率を示した。

なお、表 3 の値は相対値であるが、 $\text{Y}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$ の絶対値が 0.3% (W/W) 程度である。したがって、励起スペクトル測定結果と考え合わせてみると、この場合のガス放電による紫外変換効率 (蛍光体の紫外光利用率、ガスによる自己吸収を含む) はほぼ 1% 程度であると考えられる。

4.2 残光特性の測定

図 7 の放電セルをパルス発光させて蛍光体の残光時間を測定した。放電の遅れが $1\mu\text{s}$ 程度と考えられ、 $\text{Y}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$ のように短残光の蛍光体は測定できないので、

表 4 各種蛍光体の残光時間
1/e decay time of several phosphors.

蛍 光 体	1/e 残光時間 (ms)
$\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$	12
$\text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$	1.3
$\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$	1.3
$\text{YVO}_4 : \text{Eu}$	0.7
$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Mn}$	15

写真 1 残光時間の測定例

Synchroscope trace of decay curve.

1/e 残光時間が 1 ms 程度以上の主な蛍光体について測定した。結果を表 4 に、測定例を写真 1 に示す。 $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$ (緑)、 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Mn}$ (赤) は 10% 残光に換算すると、それぞれ 27 ms, 35 ms となり、動画表示をする場合に問題が生じられると思われるが、他の蛍光体についてはまず許容限以下であるといえる。

5. 測定結果の検討

測定結果から得られた主な点を整理すると次のとおりである。

(1) 253.7 nm 励起で高い放射効率を示す蛍光体の多くは、真空紫外領域では波長が短くなるとともに効率が低下する。しかし 100 nm 付近より再び上昇の傾向を示すものがある。これは蛍光体内部で 2 次的な励起が起っているため¹⁶⁾と思われる。

(2) 253.7 nm 付近の励起では効率がきわめて低いが、真空紫外域で、また実際に放電セルと組合せた場合に高い効率を示すいくつかの蛍光体が見出された。とくに青では $\text{Y}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$ が 200 nm 以下で、 $\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$ 、 $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Eu}$ が 150 nm 以下の励起に対し、従来この種の実験に多く用いられた CaWO_4 にくらべかなり高い効率を示し、発光色の点でも彩度が高くすぐれていることがわかった。

(3) 緑では $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$ が励起スペクトル、発光効率、発光色ともすぐれていて、 $\text{ZnO} : \text{Zn}$ (緑白色) などとともに真空紫外域まで比較的平坦な励起スペクトルを示す。

(4) 赤では Eu 付活蛍光体がすぐれていて、発光効率は $\text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$ が最も良い。

(5) 残光は $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$ (緑) や $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 : \text{Mn}$ (赤) は動画表示の面で問題があるが、他の蛍光体はまず問題がないといえる。

以上の結果を総合して 3 原色蛍光体を選ぶとすれば、赤は真空紫外領域で励起スペクトルが低下してはいるが実装した場合の発光効率が最も良い点で $\text{Gd}_2\text{O}_3 : \text{Eu}$ 、緑は残光の点で問題はあるが他にくらべ得る発光効率の高い蛍光体がないことから $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 : \text{Mn}$ 、青ではほぼ要求を満たすものとして $\text{Y}_2\text{SiO}_5 : \text{Ce}$ があげられる。

これらの発光を 3 原色に選んだ場合、同一放電電流で白色 (たとえば D75) を得るにはルーメン分配比より赤、緑、青の蛍光体のエネルギー効率の比が 0.77 : 1 : 1.5 でなければならない。放電セルに封入する希ガスの組成や圧力などによって紫外線の放射スペクトルは異なるが、測定結果からみると赤、緑の効率が青に比べて若干不足と考えられる。

6. む す び

各種蛍光体について 58.4~300 nm の波長領域でエネルギー効率として直接比較し得る励起スペクトルと、実装した状態での総合発光効率などを測定し、今後の気体放電表示装置カラー化の研究に有力なデータを得ることができた。とくに青の $\text{Y}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ はガス放電表示用蛍光体としてすぐれた特性をもち、各種のガス放電表示パネルへの応用が期待される。

以上、蛍光体について述べたが、将来家庭用の大画面高精度テレビなど広い用途¹⁷⁾に実用化されるためには、消費電力の小さいことが節電、パネルの発熱などの面からきわめて重要で、 1 m^2 オーダーの表示パネルとして考えた場合、50 fL の白色を得ようとすると光出力に換算して約 2 W になるため、エネルギー効率は少なくとも 1% 以上 (消費電力 200 W 以下) は必要と考えられる。

これを達成するには、蛍光体の真空紫外域での効率とともに、放電素子の構造やガス組成の適正化を追求して 4.1 節で述べたガス放電の紫外変換効率を向上させることが、当面の大きな課題であると考えられる。

なおこの論文は、すでに報告した^{18),19)}ものをまとめたものである。

終りに、蛍光体試料および発光スペクトルに関するデータを提供していただいた大日本塗料 K. K. の鳥生液晶事業部長ならびに第二研究部の方々、測定にあたって御指導、御協力いただいた放送科学基礎研究所物性研究室森田、志賀両職員、日頃御指導いただいている総合技術研究所映像管班 二宮部長、渡辺主管、小島主任研究員をはじめ、放電型ディスプレイ研究担当の諸氏に深く謝意を表します。

(昭和49年5月8日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 福島, 村山, 品田, 住岡, 及川, 谷水: プラズマカラーパネル, テレビ学会画像表示研資, 7-15 (1974)
- 2) 天野, 有沢, 小沢, 坂西, 塩野谷, 中山, 政時: 放電パネル・カラーテレビ受像装置, テレビ学会画像表示研資 7-17 (1974)
- 3) J. Forman: Phosphor Color in Gas Discharge Panel Displays, Proc. S. I. D., 13/1, First Quarter (1972) 14
- 4) Z. van Gelder and M. M. M. P. Mattheij: Principles and Techniques in Multicolor DC Gas Discharge Displays, Proc. IEEE, 61, 7 (1973) 1019
- 5) H. J. Hoehn and R. A. Martel: Recent Developments in Three Color Plasma Display Panels, IEEE Conf. Rec. of '72 Conf. on Display Devices (1972) 11
- 6) D. H. Thurnau: Quantum Efficiency Measurements on Several Phosphors under Excitation in the Extreme Ultraviolet, JOSA, 46, 5 (1956) 346

- 7) R. L. Conklin: Behavior of Several Phosphors upon Irradiation in the Vacuum Ultraviolet, JOSA, 49, 7 (1959) 669
- 8) F. H. Brown and M. T. Zayac: A Multicolor Gas-Discharge Display Panel, Proc. S. I. D., 13/1, First Quarter (1972) 52
- 9) G. Blasse and A. Bril: Characteristic Luminescence, Philips Tech. Rev., 31 (1970) 304
- 10) T. Namioka: Theory of the Concave Grating. III. Seya-Namioka Monochromator, JOSA, 49, 10 (1959) 951
- 11) 村上, 小池, 大石: 気体放電表示用けい光体の励起スペクトル, テレビ全大予, 12-6 (1973)
- 12) A. Bril and W. Hoekstra: Properties of the Fluorescence of Some NBS Standard Phosphors, Philips Res. Rep., 19 (1964) 296
- 13) G. W. Ludwig and J. D. Kingsley: The Efficiency of Cathode-Ray Phosphors, J. Electrochem. Soc., 117, 3 (1970) 348
- 14) 坂井, 小池, 小島: 気体放電表示装置に用いる気体とけい光体の組合せ実験, テレビ全大予, 12-7 (1973)
- 15) 吉川, 小島: 定エネルギー出力分光器, NHK 月報, 13, 10 (1970) 480
- 16) H. W. Leverenz: An Introduction to Luminescence of Solids, John Wiley & Sons, Inc., New York (1950) 318
- 17) 大石, 伊吹: テレビディスプレイの将来と問題点, 電学誌, 92, 8 (1972) 9
- 18) 小池, 村上, 大石: 各種蛍光体の真空紫外域励起スペクトル測定結果, 第150会蛍光体同学会 (1973) 23
- 19) 小池, 坂井, 村上, 大石: ガス放電表示用けい光体の測定評価, 画像工学コンファレンス, 5-4 (1973)
- 20) K. Watanabe and E. C. Y. Inn: Intensity Measurements in the Vacuum Ultraviolet, JOSA, 43, 1 (1953) 32
- 21) J. A. R. Samson: Absolute Intensity Measurements in the Vacuum Ultraviolet, JOSA, 54, 1 (1964) 6
- 22) J. A. R. Samson: Techniques of Vacuum Ultraviolet Spectroscopy, John Wiley & Sons, Inc., New York (1967) 216

〈付 録〉

サリチル酸ソーダ粉末と蛍光体試料のエネルギー効率をそれぞれ $\eta_s(\lambda)$, $\eta(\lambda)$ とすると,

$$\frac{1-r(\lambda)}{1-r_s(\lambda)} \cdot \frac{\eta(\lambda)}{\eta_s(\lambda)} = K \cdot \frac{I(\lambda)}{I_s(\lambda)} \quad (\text{付} \cdot 1)$$

ここで

$$K = \frac{\int P(\lambda_0) d\lambda_0}{\int P(\lambda_0) M(\lambda_0) d\lambda_0} \bigg/ \frac{\int P_s(\lambda_0) d\lambda_0}{\int P_s(\lambda_0) M(\lambda_0) d\lambda_0} \quad (\text{付} \cdot 2)$$

ただし

λ, λ_0 : 入射光, 蛍光の波長

$r(\lambda)$: 蛍光体試料の反射率

$r_s(\lambda)$: サリチル酸ソーダ粉末の反射率

$P(\lambda_0)$: 蛍光体の発光スペクトル

$P_s(\lambda_0)$: サリチル酸ソーダの発光スペクトル

$M(\lambda_0)$: フォトマルチ (試料用) のエネルギー分
光感度 (UV カットフィルターの分光透
過特性を含む)

$I(\lambda)$: 試料として蛍光体を置いた場合の入射
光, 蛍光の出力比

$I_s(\lambda)$: 試料としてサリチル酸ソーダ粉末を置い
た場合の入射光, 蛍光の出力比

(付・1) 式より入射光の各波長について $I(\lambda), I_s(\lambda)$ を
測定すれば, サリチル酸ソーダ粉末との相対値として蛍
光体の励起スペクトルを知ることができる. 一方, サリ
チル酸ソーダの量子効率²⁰⁾²¹⁾は測定波長域ではほぼ一定であ
る. この値を η_{qs} とすると,

$$\{1-r(\lambda)\} \cdot \eta(\lambda) = \{1-r_s(\lambda)\} \cdot \eta_{qs} \cdot K \cdot \frac{\lambda}{\lambda_s} \cdot \frac{I(\lambda)}{I_s(\lambda)} \quad (\text{付} \cdot 3)$$

ここで,

$$\lambda_s = \int \lambda_0 P_s(\lambda_0) d\lambda_0 / \int P_s(\lambda_0) d\lambda_0 \quad (\text{付} \cdot 4)$$

(付・3)式より $\{1-r_s(\lambda)\} \cdot \eta_{qs}$ がわかれば, 各蛍光体
試料の分光エネルギー効率(反射率の波長依存性を含む)
の絶対値を知ることができる. $\{1-r_s(\lambda)\} \cdot \eta_{qs}$ は 0.6
程度とされているが²²⁾, 使用したサリチル酸ソーダにつ
いては明らかではない. そこで $\{1-r_s(\lambda)\} \cdot \eta_{qs} / \lambda_s$ をま
とめて使用したサリチル酸ソーダに関する定数として a
とおけば,

$$\{1-r(\lambda)\} \cdot \eta(\lambda) = a \cdot K \cdot \lambda \cdot \frac{I(\lambda)}{I_s(\lambda)} \quad (\text{付} \cdot 5)$$

となり, (付・5)式に測定値を代入すれば, 各蛍光体間
でエネルギー効率を直接比較し得る励起スペクトルが求
められる.