

Title	鉛硝子透過前後の蛍光板ルミネツセンスの分光エネルギーおよび視感度効率の變化について
Author(s)	西川, 邦夫
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1954, 14(4), p. 261-267
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/20623
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

鉛硝子透過前後の螢光板ルミネッセンスの 分光エネルギーおよび視感度効率の變化について

(島津製作所レントゲン工場長 醫學博士 藤本慶治)

島津製作所 西川邦夫

(Energy Loss of the Luminescence and Decrease of the visual Efficiency of
the fluoroscopic Screens by the yellow-colored Glasses.)

Kunio Nishikawa

(昭和29年1月26日受付)

要 旨

防護用鉛硝子の分光透過率および螢光板の透視慣用条件における發光輝度の測定を行い、鉛硝子透過前および後の螢光板のルミネッセンスのエネルギー波長分布の變化と吸収損失とより、間接撮影並びに透視観察における螢光板の發光エネルギー損失および視感度効率の變化を Ellickson 氏の誘導せる計算式により算出して考察した。

I 緒 論

透視用取枠および間接撮影用螢光暗箱に用いられるX線防護用鉛硝子については、脈理、氣泡、その他光學的歪がなく、無色透明であることが最も望ましい。しかし鉛當量が1乃至2mmであることが要求されるので、硝子中の含鉛量も相當増大し、黄色の着色いちじるしいものが、なお現在でも生産されることがあるようである。

著者と渡邊¹⁾はかつて、螢光板のルミネッセンスのX線防護用鉛硝子およびカメラレンズの波長選擇吸収による色調變化を分光測光により検討し、着色甚しい鉛硝子は發光を吸収して能率を低下させることを明らかにした。たゞし當時は戦争の苛烈な時期であつて、測定装置も不備であつたので、従つて測定の数値も粗雑の誹を免れ得ない。その後江藤、足立、筧、氣駕、村井氏²⁾の實驗によつても螢光板の光量の減弱は黄緑色の硝子の場合に比して、紫色に着色せるものゝ場合が著しい

ことが明らかになつている。また藤本、櫻林兩氏も同様の事實を報告されている³⁾。

着色した鉛硝子が製造される場合が今後もあり得ると考えられるので、硝子の着色が透視診断および間接撮影の能率上、どんな影響を及ぼすかについて、また近時解決を要望されるようになって來た間接撮影用フィルムおよび螢光板のセンチメートルにおける標準光源の波長エネルギー特性曲線と關連せる問題として、鉛硝子透過前後の螢光板ルミネッセンスの分光エネルギーの變化、および視感度効率について、明らかにしておくことは重要である。

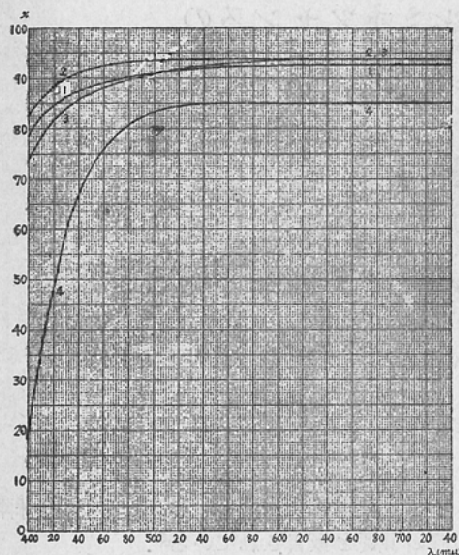
II 鉛硝子の分光透過率

試料として黄色着色度の程度の異なるもの4種を選び出した。そのうちNo.1は殆んど着色していないもの、No.2は着色少なくNo.1と同様に優良品と認められるもの、No.4は甚しく黄色に着色していて不良品と思われるもの、No.3は微黄色に着色していてNo.2とNo.4との中間程度のものである。硝子の厚さはいずれも5mmである。

4種の鉛硝子の分光透過率を自記分光々度計により測定した* 成績は第1圖の如くである。分光

(* 東京工業試験所安達直義氏の好意により同所のG. E. 自記分光々度計によつて最初測定し、最近新しくつくられた島津製作所製自記分光々度計により再度測定したが、測定値は殆んど同等であつた。本報告の値は前者によつて測定された値を用いた)。

第1圖 X線防禦用鉛硝子の分光透過率



々度計が測定記録し得る波長範囲は4000~7000Åであるが、蛍光板ルミネツセンスのスペクトルの波長範囲は大體この範囲にあるので、この実験には好都合であつた。

4種の硝子のうち着色著しい1種を除いて、他は小差をもつて大體同様の分光透過率を有する。肉眼で最も着色少ない透明と思われるNo. 1の5400Å以上の透過率は約92.5%で、僅かに着色しているNo. 2は5200Å以上約94%である。No. 2よりも着色度の大きいNo. 3は6000Åまで分光透過率はNo. 2よりも小さく、4000Åでは10%、5000Åでは3%ほど小さい。6000ÅではNo. 2と同等である。No. 1は摩擦等による表面の荒れがあるので、No. 2およびNo. 3に比して透過率の僅少な低下を見たのではないかと思われる。黄色着色の著しいNo. 4は他の3者に較べて、透過率は著しく低く、ことに5000Å以下4000Åに至る間の透過率の低下は甚だ大である。No. 1, No. 2およびNo. 4の3種が5400Å以下においては分光透過率が急傾斜を描いて低下しているが、5400Å以上の長波長領域では一定の透過率になつているのに對し、No. 3は6000Åから短波長の方向に低減して行き、6000Å以上で一定となつ

ており、透過率の變化が他のものより長波長側に延びているのが相違している。

III 蛍光板のルミネツセンスのエネルギー損失

蛍光板ルミネツセンスのスペクトルは現存するものについて觀ると、ほとんど大部分が5300~5400Åのあたりにpeakを有するようにつくられている。かつて黄色に發光する蛍光板(Liossal)がHeiden 會社から出されたことがあるが、現在ではあまり省みられないようである。また一方暗視(scotopic vision)に適應せるように、透視用蛍光板として5100~5200Åにpeakを有する蛍光板も出されたことがある。

X線で刺戟された蛍光板のルミネツセンスのスペクトルのエネルギー曲線については、射和氏¹⁾らが戦時中に測定された。その後著者ら²⁾、大谷氏³⁾らなども測定し、また最近では高橋氏⁴⁾らの報告があつた。H. Sköldbörn⁵⁾によつて綿密に測定された輝度一波長關係曲線の値を用いることが計算上もつとも好都合であるので、本報告には同氏の測定グラフの値を借用することにした。

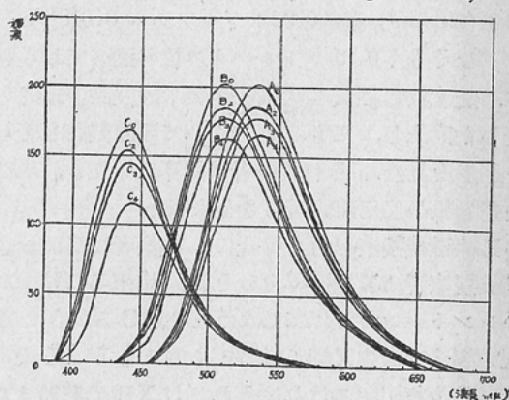
Sköldbörnの測定による蛍光板のルミネツセンスの分光エネルギー分布曲線を方眼紙上に擴大して描き、これに對しNo. 2, No. 3およびNo. 4の各鉛硝子の分光透過率を、波長の各点における輝度の値に掛け合せて、蛍光板のルミネツセンスの鉛硝子透過後のエネルギー波長分布の變化をグラフにする。鉛硝子の分光透過率が4000~5400Å間で著しく小さくなつてゐるから、ZnS・Ag 螢光體を用いる青色發光の螢光板や、暗視に適應させた綠色發光の螢光板では、短い波長の發光エネルギーが鉛硝子によつて阻害される筈である。

實際に合成製造される螢光體の5100Åにpeakを持つ螢光板のルミネツセンスの分光エネルギー分布は、5350Åにpeakのある螢光板のそれと全く同形相似ではあり得ないが、近似的には大體同様であると考えて差支えがないので、暗視適應に向くようにつくられた綠色發光の螢光板のエネルギー分布曲線は、5350Åにpeakがある螢光ス

ルミネッセンスの分光エネルギー曲線を250Å だけ短波長側にずらして、peak を5100Å にもつて来た曲線を用いて計算する。各蛍光板に対して曲線 A₀, A₂, A₃, A₄, B₀, B₂, B₃, B₄ および C₀, C₂, C₃, C₄ が得られる。No. 1 鉛硝子の分光透過率曲線の形は No. 2 のそれと大體相似であるので、この硝子に対する計算は省略した。A₀, B₀ および C₀ は鉛硝子がない場合の蛍光板のルミネッセンスの分光エネルギー分布曲線である。作圖は方眼紙の10mm がそれぞれ100Å および10輝度單位に相當するようにつて行う。第2圖はこのようにしてつくつた曲線群を近似的に表わしたものである。

蛍光板のルミネッセンスの鉛硝子透過後のエネルギー損失を、グラフ上の各曲線の下の面積差か

第2圖 蛍光板のルミネッセンスの分光エネルギー曲線
(輝度の單位: Erg/cm-Steradian-Å per r unit)



使用すると可なりのエネルギー損失があるので、損失分を補償するためにはX線管の電圧または電

第 1 表

螢 光 板	試料鉛硝子番號	分光エネルギー曲線の面積(mm ²)	鉛硝子なき場合に對するエネルギー比(%)	鉛硝子なき場合の各螢光板のエネルギー比(%)
5350Åpeak の螢光板	0	18265	100	100
	2	17341	94.96	
	3	17208	94.2	
	4	15269	83.6	
5100Åpeak の螢光板	0	18253	100	100
	2	17121	93.8	
	3	16660	91.3	
	4	15200	83.4	
4400Åpeak の螢光板	0	11802	100	64.6
	2	10773	91.3	
	3	10071	83.3	
	4	7817	66.2	

ら求めると、第1表の第4欄にみられる如くである。

第1表の結果から、5350Å に peak のある螢光板および5100Å に peak のある螢光板において、鉛硝子の分光透過率は前者よりも後者に對して大きい影響を及ぼすが、豫想していたほど顯著な差異はないことが明らかになつた。各螢光板に對しては着色度の大きい鉛硝子 No. 4 によるエネルギー損失は16~17%にも達して非當に大きい。4400Å に peak のある螢光板に對しては、鉛硝子の影響は大きい。No. 2 硝子では影響がもつとも小さく、No. 3 硝子になるとエネルギー損失は17%、No. 4 硝子では34%にも達する。

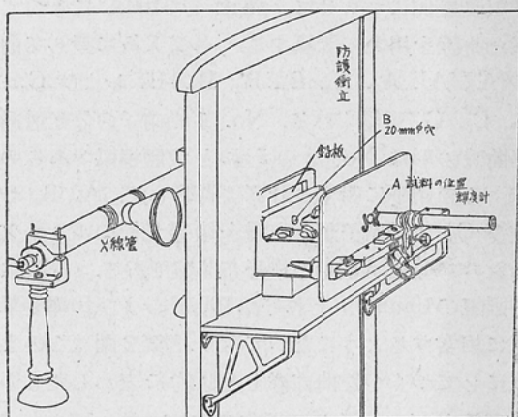
間接撮影の場合には、着色度の大きい鉛硝子を

流を増大せねばならない。また blue sensitive film による間接撮影では、No. 4 硝子のような着色のひどいものは大きいエネルギー損失を與えるので避けなければならない。

IV 螢光板の輝度

視感度は明視の條件では5555Å において、暗調應の場合には5100Å において感度が最もよい⁹⁾。螢光板が使用される條件が、明視、暗視のいずれに適合しているかゞ問題である。透視診断に用いられる螢光板の明るさについては、Wolf & Riehl¹⁰⁾ は1例として0.6 lux の明るさを舉げているが、條件の詳細が不明である。また足立、中島氏¹¹⁾ は55~60KVP, 3mA, 距離85cm の條件で Supersatral 螢光板の明るさは、人體がは入らないとき

第 3 圖



0.57ラドルックス(0.18cp/m²), 人體がは入つたときは胸部の最も明るいところは0.064ラドルックス(0.02cp/m²), 腹部0.03ラドルックス(0.01cp/m²)以下おそらく0.01ラドルックス位と述べておられる。螢光板の品質は大戦終了後米國製品の感度が著しく向上し、これに刺戟されて國産製品も著しい進歩を見た。それ故著者は計算に先立ち、現在の螢光板の使用時の明るさを求めた。

X線透視觀察を行う場合に、觀察者は自己および被觀察者のX線障得をおそれ、出来るだけ少ないレントゲン量を以てしようと心懸けるから、透視の場合の發生X線の條件は個々まちまちである。螢光板が明るければそれだけX線の電壓または電流を少なくして觀察されるが、概括すると距離80cm, 電壓55~65KV, 電流數 mA であるようである。

よつて著者はこれらの條件を参考として、X線管と螢光板との距離80cm, 電壓55KVP および60KVP, 管電流2mA, 3mA の4つの場合に對し、人體胸部の代わりに6mmAl板を用いた場合と用い

ない場合と都合8條件について、現在製産されつゝある螢光板數種について、その明るさを第3圖のような配置で測定した。X線發生装置は全波整流300mA型、輝度測定は島津燐光輝度計である。測定成績は第2表(55KVP)および第3表(60KVP)のようである。

發光輝度は常用の條件でフアントームのない場

第2表 螢光板の輝度(管電壓 55KVP. 距離 80cm)

螢 光 板	輝 度 (cp/m ²)					
	管 電 流 2 mA		管 電 流 3 mA			
	フ ァ ン ト ー ム		フ ァ ン ト ー ム			
	な	し	6 mmAl	な	し	6 mmAl
1 Patterson B-2	0.07		0.018	0.11		0.020
2 Acme S-2	0.14		0.026	0.18		0.027
3 Acme	0.07		0.025	0.11		0.027
4 Acme G-1	0.13		0.021	0.15		0.028
5 Kyokko P-2	0.06		0.011	0.09		0.016
6 Kyokko P-3	0.12		0.022	0.18		0.023
7 Kyokko F-2	0.07		0.020	0.10		0.020
8 Kyokko F-3	0.11		0.020	0.14		0.022

第3表 螢光板の輝度(管電壓 60KVP. 距離 80cm)

螢 光 板	輝 度 (cp/m ²)					
	管 電 流 2 mA		管 電 流 3 mA			
	フ ァ ン ト ー ム		フ ァ ン ト ー ム			
	な	し	6 mmAl	な	し	6 mmAl
1 Patterson B-2	0.10		0.020	0.11		0.021
2 Acme S-2	0.16		0.029	0.25		0.030
3 Acme	0.11		0.035	0.18		0.038
4 Acme G-1	0.18		0.035	0.23		0.036
5 Kyokko P-2	0.09		0.021	0.13		0.021
6 Kyokko P-3	0.16		0.022	0.23		0.024
7 Kyokko F-2	0.10		0.021	0.16		0.025
8 Kyokko F-3	0.14		0.029	0.21		0.035

合に最低0.06cp/m², 最高0.25cp/m², 人體胸部模型のフロントームのある場合, 最低0.011cp/m², 最高0.038cp/m² で, 大多數の螢光板はその中間の輝度を有する. 視感度の極大波長は0.01cp/m² (0.385Photon)で5100Å, 0.25cp/m² (7 Photon)で5350Åにある⁶⁾. この實驗のように6mmAl板透過X線で全面均一に發光するような状態は殆んど實在しない. 透視像の明部および暗部は被寫體の部分部分によつて異なり, 最大の明るさは前記0.25cp/m²に近く, 最暗部は暗黒に近い. このような透視像の明るさが視覚の波長依存性に對しどのように關係づけられるかを決定することはなかなか難しい. 觀察者は相當時間眼を暗調應させてから觀察を開始する故, 上記の螢光板の明るさをも考慮に入れて, 視覚は大體5100Åに極大感度を有するようになるものとして計算を行つた. (*cp/m²とPhotonとの關係は Photon = Brightness(cp/m²) × $\frac{\pi}{4} \times \phi^{2.11}$)によつて求める. ϕ は瞳孔の直徑mmであつて, 0.05cp/m²の場合 $\phi = 7$ mm, 0.25cp/m²の場合 $\phi = 6$ mm¹²⁾として計算する).

V 視感度効率に及ぼす着色鉛硝子の影響

螢光物質の視感度効率は, 螢光物質の放出する光子當りの視覚反應の, 眼の視感度曲線の極大における光子當りの視覚反應に對する比として與えられる. 螢光物質の見掛けの輝度は, (1) 單位面積, 單位時間について放出する光子の數, (2) 放出する光の波長分布, および, (3) 眼の視感度曲線の3つの量によつて決定される. 數學的には

$$B = K \int_0^{\infty} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

で與えられる. $P(\lambda)$ は螢光物質のルミネツセンス波長分布を表わす函数, $V(\lambda)$ は異なる波長に對する眼の相對的な感應を表わす函数, K は單位時間に螢光物質の放出する光子に比例する常數である. R.T. Ellickson¹³⁾は螢光物質のルミネツセンスの分光エネルギー曲線を

$$P(\lambda) = \exp[-\beta(\lambda - \lambda_2)^2] \quad (2)$$

と假定して視感度効率の數式を導いた.

$$A = K \int_0^{\infty} \exp[-\beta(\lambda - \lambda_2)^2] d\lambda = K[\pi/\beta]^{1/2} \quad (3)$$

また(2)式を(1)式に代入すると

$$B = K \int_0^{\infty} \exp[-\alpha(\lambda - \lambda_1)^2 - \beta(\lambda - \lambda_2)^2] d\lambda \\ = K \left[\frac{\pi}{\alpha + \beta} \right]^{1/2} \exp \left[-\frac{\alpha\beta}{\alpha + \beta} (\lambda_2 - \lambda_1)^2 \right] \quad (4)$$

視感度効率は $E = B/A$ の關係があり, また極大エネルギーの1/2の高さにおけるエネルギー曲線の幅の1/2の長さ $\Delta\lambda$ と α および β との間には, $\alpha = 0.693/(\Delta\lambda_1)^2$, $\beta = 0.693/(\Delta\lambda_2)^2$ の關係があるので

$$E = \left[1 + \left(\frac{\Delta\lambda_2}{\Delta\lambda_1} \right)^2 \right]^{-1/2} \exp \left[-\frac{0.693}{\Delta\lambda_1^2 + \Delta\lambda_2^2} (\lambda_2 - \lambda_1)^2 \right] \quad (5)$$

今問題にしているのは螢光板の暗調應における視感度効率であるから, $\Delta\lambda_1 = 430$, $\Delta\lambda_2 = \Delta\lambda$, $\lambda_1 = 5100$, $\lambda_2 = \lambda$ とすれば, 視感度効率 E は次式により計算される.

$$E = \left[1 + \left(\frac{\Delta\lambda}{430} \right)^2 \right]^{-1/2} \times \exp \left[-\frac{3.75 \times 10^6}{1 - (\Delta\lambda/430)^2} (\lambda - 5100)^2 \right] \quad (6)$$

分光エネルギー分布曲線 A_0, A_2, A_3, A_4 および B_0, B_2, B_3, B_4 の各 $\Delta\lambda$ を求めると第4表の如くである.

第 4 表

曲 線	peak	half-maximum における波長幅	half-maximum における波長の half-width
A_0	5350Å	835Å	418Å
A_2	"	800Å	400Å
A_3	"	785Å	398Å
A_4	"	720Å	360Å
B_0	5100Å	830Å	415Å
B_2	"	800Å	400Å
B_3	"	780Å	390Å
B_4	"	715Å	358Å

この $\Delta\lambda$ の値を用いて(6)式により暗調應における視感度効率を計算すると第5表の②欄の如くになり, 鉛硝子を透過せる後のエネルギー比を考慮に入れると更に⑤欄の如くなる. この表の成績についてみると暗調應の視覚で視る場合, 5350Åにpeakのある螢光板に對しては, 硝子の着色度の大小は視覚的には殆んど差異が認め難い. しかし5100Åにpeakのある螢光板に對しては, 硝子の着色の度合に對應して視感度効率が落ちる.

第 5 表

① 曲 線	②比輝度を論外にした場合の視感度効率	③曲線のピークの高さ	④ピークの高さの比	⑤視感度効率	視感度効率比	
					効率比(a)	効率比(b)※
A ₀	0.671	201	100	0.671	100	93.2
A ₂	0.682	188	93.6	0.638	95.0	88.7
A ₃	0.684	186	92.5	0.633	94.4	88.0
A ₄	0.744	171	85.1	0.633	94.4	88.0
B ₀	0.722	201	100	0.720	100	100
B ₂	0.732	188	93.6	0.687	95.5	95.5
B ₃	0.741	184	91.6	0.677	94.0	94.0
B ₄	0.769	169	84.0	0.641	89.2	89.2

※ 視感度効率の比(b)は B₀ 曲線を100として A_n および B_n 曲線の効率比を求めたもの

5100Å peak の蛍光板と 5350Å peak の蛍光板とに対する影響を比較した場合、着色度の最も大きい No. 4 硝子は前者に対しては視感度効率がかかるが、後者に対しては餘り下らないし、かつまた透過率曲線から期待されるほどに 5100Å peak の蛍光板の視感度効率の低下を見ないように思える。

これを約言すれば、暗調應の視覚を以て X 線透視観察を行う場合には、5350Å peak の蛍光板に対しては、鉛硝子の着色度合は視覚的には大きい障碍とならない。しかし 5100Å peak の蛍光板に対しては、鉛硝子の着色度に對應して視感度効率は低下するが、emission band の half-width が狭まる結果、全エネルギーの損失率に比して視感度効率の低下率は稍と小さい。

VI 總 括

X 線防禦用鉛硝子の殆んど無色なるものから着色度著しい黄色のものに至る着色度の異なる 4 種の鉛硝子を選び、これを試料として自記分光々度計により 4000~7000Å の範圍の透過率を測定した。無色に近いものは透過率も良好だが、5200Å 以下において着色度の大きいものほど分光吸収率が增大する。

4400Å, 5100Å および 5350Å にそれぞれ peak を有する蛍光板に対して、これらの蛍光板の發光エネルギーが 4 種の硝子によつて受けるエネルギー損失を算出し、またこれらの鉛硝子を透過せる後の蛍光板のルミネツセンスのエネルギー分布の變化をグラフに書いて示した。

次に、5100Å および 5350Å にそれぞれ peak のある蛍光板に対して、暗調應の視感度による視感

度効率を算出し、この場合にも 4 種の鉛硝子の分光吸収率の差異による蛍光板のルミネツセンスのエネルギー分布曲線の變化から視感度効率の變る度合を算出した結果、視感度効率の低下率は全エネルギー損失の増大率に比して小さいことが明らかになった。ことに暗視においては、5350Å peak の蛍光板に対する鉛硝子の着色度合の影響は僅少である。

上記計算の目的に對し、蛍光板の慣用使用状態における蛍光輝度の大きさを測定し、慣用状態においては暗視と明視との中間の視感度極大波長に相當する明るさを蛍光板が有することを認めた。しかも一方充分な暗調應が 5100Å に最大感度を有するものであるから、5100Å の極大視感度が透視の場合の状態であるものとして上記計算を行った。

今もし 5100Å peak の蛍光板と 5350Å peak の蛍光板とが peak の高さが相等しいものが製造され得るものとすれば、暗視においては 5100Å peak の蛍光板を透視観察に用いることは視感度効率において利することは明らかである。しかし着色著しい鉛硝子を併用すれば、上記利點は消殺され、5350Å peak 蛍光板に優良鉛硝子を共用した場合と視感度効率は變らなくなる。

なお blue sensitive film を用いる場合に使用される 4400Å に peak のある青色發光の蛍光板に対しては、鉛硝子の黄色の着色は非常に大きい阻害作用を與え、蛍光板の發光エネルギーの 30% 以上も低減させる場合がある。

文 獻

- 1) 西川邦夫, 渡邊篤雄: 島津評論, 4, 145(昭和18).
一2) 江藤秀雄, 足立忠, 寛弘毅, 氣駕正己, 村井竹雄: 日本醫學放射線學會誌, 5, 266(昭和19). 一3) 藤本慶治, 櫻林靜男: 日本醫學放射線學會誌, 5, 337(昭和19). 一4) 射和三郎: マツダ研究時報, 17, 545(昭和17). 一5) 大谷信吉, 他3名: 第10回日本醫學放射線學會總會(昭和26, 東京). 一6) 高橋喜久雄: 第12回日本醫學放射線學會總會(昭和28, 熊本). 一7) Holger Sköldbom: Jour. applied Physics, 23, 546(1950).
一8) John W.T. Walsh: "Photometry" p. 65(1926, Constable & Comp., London). 一9) P.M. Wolf u. N. Riehl: Zeits. für techn. physik, 16, 142(1952). 一10) 足立忠, 中島章: 日本醫學放射線學會誌, 9, 1(昭和24). 一11) Walsh: "Photometry" p. 52, L. T. Troland: Frank Inst. J., 182, 112(1916). 一12) Walsh: "Photometry" p. 55, P.Reeves: J. Opt. Soc. Amer. 1, 136(1917). ibid 4, 35(1920). 一13) R.T. Ellickson: J. Opt. Soc. Amer. 36, 261(1946).