論 說

擴散體の試験に關する 2, 3 の注意 *

正會員 黒澤凉之助 杉浦誠之助 根本 秀

(東京電氣株式會社照明課)

1. は し が き

擴散體の試験に適當な觀測方向による逐點法は私共の 1 人が推奨した處である。(1)

その觀測方法であるが、之は擴散性の良いものに於ては直接に輝度を測るがよい。光度として測ると、測光視野が著しく暗くなるし、觀測方向が法線より離れるにつれその暗くなり方も劇しい。こゝに試験實施上の困難が deueni する。

輝度の測定は、照度計で試験板の代りにその標本を見て平衡を求め、讀み取られた値に試験板の恒数を掛けて得るを常とする。(2) この試験板の恒数(透過率又は反射率)は如何して求められるか? 試験板は擴散體だから、之には光束計法か逐點法かが用ひられる。光束計法は適用出來るとしても、その根本に逐點法を要する。逐點法は輝度測定による——かうなると循環論法!

私共はこゝに比輝度(Specific brilliance, Specific brightness)と名づくるものを導き、之を實現することにより、上の困難を除くことが出來た。反射率の絶對測定等誠に容易なものとなつた。尚、逐點法の測定結果を圖示することにつき、工夫もあるので併せて御目にかける次第である。

2. 比 輝 度

ある面が E ph の照度に照られ、その透過側又は反射側の (θ, φ) なる方向に $B(\theta, \varphi)$ c/cm² の輝度を出すとき、 $B(\theta, \varphi)/E$ c/cm²/ph をこの方向に於ける比輝度といふ。

比輝度の測元(Dimensio, Dimension)は 0 である。但し [radian]⁻² とも見られやう。

擴散透過率や擴散反射率の定義式、

$$\tau, \rho = \frac{1}{E} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} B(\theta, \varphi) \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (1)$$

は、比輝度についての式に外ならぬ。擴散體の試験に要する處は輝度よりは寧ろ比輝度である。それで比輝度の標準器とでも云ふべきものが作られれば大變都合良いわけ; 之は次のやうにして作られる。

Blondel も既に同じやうな考で Etalon de brillance を作つてゐるが、少くとも擴散體試験の目的には、私達のそれの方が都合よく思へる。

* Kelke da Notoj pri l'Provo de Difuzajoj, de Rionosuke KUROSAWA, Seinosuke SUGIURA, kaj Hide NEMOTO (Iluminfako de Tokio Elektra K-io).

(1) 照明學會雜誌 15, 1 (特別), p. 50 (1931).

(2) 照明工學ポケットブック 第 6 編第 10 章 1, p. 199.

3. 比輝度の標準器の作成

適當な擴散體をとり、之を或る照度に照らし、その反射面又は透過面につき、輝度を測ればよいのであるが、この輝度は直接に測るわけには行かない。擴散面のうち輝度一様な部分をとりその光度を測り、之をその面積で割つて求める。但し比輝度を求めるのであるから、照度も光度もその眞の値を知るには及ばぬ。唯々その比を求めればよいのである。

實踐の便宜からは、入射光の方向も、測るべき輝度の方向も法線の方角にとるがよい。従つて反射面よりは透過面を用ひることになる。

擴散體より x を隔てゝ光度 I_0 なる光源をおけば、その照度

$$E = \frac{I_0}{x^2}. \quad (2)$$

擴散體の透過面に於ける法線輝度を $B(0,0)$ とし、之がその A なる面積内に一樣に分布してゐるならば、之より y を隔てた測光器に及ぼす照度

$$E_2 = \frac{AB(0,0)}{y^2}, \quad (3)$$

$$\therefore \frac{B(0,0)}{E} = \frac{x^2 y^2 E_2}{AI_0}. \quad (4)$$

光源と測光器との距離を r とし、擴散體を除いて照度測定を行へば I_0 は次のもので置きかへられる：

$$I_0 = E_1 r^2, \quad (5)$$

こゝに E_1 はこの場合の照度の読みである。

$$\therefore \frac{B(0,0)}{E} = \frac{E_2}{E_1} \frac{x^2 y^2}{Ar^2}. \quad (6)$$

光源を動かさずにおけば $r=x+y$ であるが、之では實際、 E_2/E_1 が甚だ小さくなつて測光器の測定範圍を外れたり、外れないまでも確度が悪くなる。で r は $x+y$ よりもずつと大きくし、 E_2/E_1 を 1 に近づける方がよい。

こゝに注意すべきことは、(1) 光源に對し (x, r) に於いて逆 2 乗法則が成立つこと、(2) 擴散面に對し y に於て逆 2 乗法則が成立つこと、(3) 擴散面の A の範圍では輝度分布が一樣であること、(4) はぐれた光 (Vaglum, Stray light) を防ぐことである。(1), (2), (3) は距離や大いさを適當に選んで満足される。(4) は、我々の場合には、光源を先づ黒い箱に入れ、光の通路に遮光板をおいて防いだ。

私共の場合には $I_0=500c$ (約), $r=500cm$, $x=30cm$, $y=35cm$, $A=\pi \times 1.75^2 cm^2$ であつて、測光器は Weber 照度計を用ひ、色合せのためその比較燈に晝光色電球のガラスを當てゝやつた。觀測者は 3 名交代で各 5 回宛觀測 (この各回は 10 個の讀みの平均よりなる) 之を光源の能率 19 lm/w の時と、11 lm/w の時と繰返した。その結果は第 1 表の通り。

第 1 圖 比輝度標準器の校正

第1表 比輝度標準器の校正

Efikeco de la lumfonto	Observistoj			
	1	2	3	Mezo
19 1m/w	0.2510	0.2385	0.2359	
	478	410	378	
	362	413	377	
	214	505	380	
	326	438	258	
		532		
	0.2378 ±36	0.2447 ±16	0.2350 ±16	0.2397 ±22
11 1m/w	0.2428	0.2399	0.2384	
	547	404	282	
	500	385	367	
	204	290	423	
	194	386	270	
	0.2375 ±50	0.2373 ±14	0.2345 ±20	0.2363 ±20
Mezo granda				0.2380 ±12

4. 測定結果の一例

擴散體の種々に關する試験結果は追つて別の機會に述べることにし、こゝではマクベス照度計用反射試験板の反射率を測つたものを掲げる。測定の方は4つの半平面内で3つ宛、即ち $(\frac{m\pi}{8}, \frac{n\pi}{2})$, $m=1, 2, 3$; $n=0, 1, 2, 3$. 入射光は法線方向より。結果は第2表の通り。

第2表 マクベス照度計反射試験板の反射率

0	1	2	X
0.799	0.671	0.642	0.723

0は全くの新品, 1, 2は當課備品で數年前から始終使はれてゐるもの、屢々洗つてはゐるが地垢が積つたのだ。Xはある工場の備品で、丁度この時校正を依頼されたもの、1929年3月22日附、アメリカ・ニューヨークの E. T. L. に於ける試験成績が附いてをり、0.79としてある。

この結果を見ると、この方法の確度と、試験板が使用に伴ひ如何に汚れるものであるかといふことが判る。

5. 比輝度標準器に關する雜論

5.1 注意の條件(2)について

私共の場合には直径3.5cmなる圓板をとつた。yはその10倍に當るから確度0.25%まで逆2乗法則が成立つ。(3)一應之で良いやうだが、之は完全擴散體の場合の話。不完全擴散體の場合はどうなるだらうか？

この場合、圓の中心に於て之に立てた法線上の 1 點に於ける法線照度は

$$E = 2\pi \int_0^{\theta_0} B(\theta) \sin \theta \cos \theta d\theta, \quad (7)$$

こゝに θ_0 は圓の直徑が、考へられてゐる點に張る角。

完全擴散の場合には $B(\theta) = B(0)$; 今の場合には之は成立ないが、 $\theta_0 = 2^\circ 51.7'$ 程で、この範圍では上の式からの外れは問題にならない。

5.2 法線比輝度と他の恒数との關係

$$\text{擴散能 } \sigma = \frac{\int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\frac{\pi}{2}} B(\theta, \varphi) \cos \theta \sin \theta d\theta}{\pi B(0, 0)}, \quad (8)$$

之と (1) とから積分の式を消去すれば、

$$\frac{B(0, 0)}{E} = \frac{\tau, \rho}{\pi \sigma}. \quad (9)$$

簡単な面白い關係ではあるが、驗し位の役にしか立たない。

6. 新ルーソー線圖

輝度分布の圖示法には極座標がよく使はれる。之を光度分布に改めてルーソー線圖にすることも行はれる。前者は擴散性をよく表はし、後者は計算に役立つ。この兩方の目的を同時に得るために、新ルーソー線圖 (Nov-Rousseau-diagram, Renewed Rousseau diagram) を工夫したのである。ルーソー線圖では

$$\left. \begin{aligned} x &= 1 - \cos \theta, \\ y &= I(\theta) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

とするが、その代り

$$\left. \begin{aligned} x &= 1 - \cos \theta, \\ y &= B(\theta) \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

とする。x 軸に平行な直線群の代りに、直線 $[(1, 0), (0, y)]$ の束を作る。網目は之と、y 軸

に平行な直線群とよくなる。輝度分布を之に記入すると、曲線の形はルーソー線圖に於けると全く同じである。唯々記入の際、輝度を光度に換算する要がない。

輝度の代り比輝度を記入すると、面積が直ちに透過率又は反射率を表はす。

網目は (11) 式のものの代りに

$$\left. \begin{aligned} x &= \sin^2 \theta, \\ y &= B(\theta) \end{aligned} \right\}$$

第 2 圖 新ルーソー線圖の網目

を用ひてもよいやうなものの、記入に骨が折れる。90° 附近では $B(\theta)$ の値があいまいになるからである。

7. 等輝度圖

輝度分布の非對稱なものを表はすに圓等輝度圖 (Egal-brileca diagramo cirkla, Circular equi-brightness diagram) とでも云ふべきものを作つた。圓等燭圖⁽⁴⁾では網目の細胞面積は

$$rdr \cdot d\varphi = d\theta \cdot d\varphi \sin \theta$$

となつてゐるが、この右邊に更に $\cos \theta$ なる因數を入れ

$$rdr \cdot d\varphi = d\theta \cdot d\varphi \sin \theta \cos \theta \quad (12)$$

とする。と

$$\left. \begin{array}{l} \varphi = \varphi, \\ r = a \sin \theta, a: \text{圓の半徑} \end{array} \right\} \quad (13)$$

之は丁度、立體角投射圖の網目⁽⁵⁾と同じ。そのことは式 (1) から知られる。

第3圖 圓等輝度圖の網目

圓等燭圖の場合と同じやうな手續きで、透過又は反射の光束をこの圖から求めることが出来る。但し等燭圖では面積が立體角に比例するが、この圖では立體角の射影に比例する。輝度の代りに比輝度で記入すれば、透過率又は反射率が求められる。

8. 法線輝度の近似式

前節で稿を終る積りだつたが、その後更にこんなものを考へついたので補つておく。

法線入射の場合、反射面の法線輝度は全く知る由もない。處が之が擴散能を求めるには必要である。それで之を Lagrange の補間公式⁽⁶⁾を用ひ、測り得る方向の輝度を以て表はした。

(4) 照明工學ポケットブック 第4編第2章 4b, p. 127.

(5) 山内 照明學會雜誌 10, 6, p. 268 (1926).

(6) 照明工學ポケットブック 第19編第1章 4b, p. 570.

3 方向の場合が最も實用的であるから之についてやる.

$$f(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)(x_0-x_3)} \cdot f(x_0) + \frac{(x-x_0)(x-x_2)(x-x_3)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)(x_1-x_3)} \cdot f(x_1) \\ + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_3)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)(x_2-x_3)} \cdot f(x_2) + \frac{(x-x_0)(x-x_1)(x-x_2)}{(x_3-x_0)(x_3-x_1)(x_3-x_2)} \cdot f(x_3). \quad (14)$$

こゝに

$$f(x_i) = I^*(x_i), \\ x_i = 1 - \cos \theta_i, \\ \theta_i = \frac{(i+1)\pi}{8}$$

とおくと

$$x_i - x_j = 2 \sin \frac{\theta_i + \theta_j}{2} \sin \frac{\theta_i - \theta_j}{2}$$

$$\text{略記して} \quad = 2 \overline{ij} \, \underline{ij},$$

$$\therefore I^*(x) = \frac{\overline{*1} \, \overline{*1} \, \overline{*2} \, \overline{*2} \, \overline{*3} \, \overline{*3}}{\underline{01} \, \underline{01} \, \underline{02} \, \underline{02} \, \underline{03} \, \underline{03}} I^*(x_0) + \frac{\overline{*0} \, \overline{*0} \, \overline{*2} \, \overline{*2} \, \overline{*3} \, \overline{*3}}{\underline{10} \, \underline{10} \, \underline{12} \, \underline{12} \, \underline{13} \, \underline{13}} \cdot I^*(x_1) \\ + \frac{\overline{*0} \, \overline{*0} \, \overline{*1} \, \overline{*1} \, \overline{*3} \, \overline{*3}}{\underline{20} \, \underline{20} \, \underline{21} \, \underline{21} \, \underline{23} \, \underline{23}} \cdot I^*(x_2) + \frac{\overline{*0} \, \overline{*0} \, \overline{*1} \, \overline{*1} \, \overline{*2} \, \overline{*2}}{\underline{30} \, \underline{30} \, \underline{31} \, \underline{31} \, \underline{32} \, \underline{32}} \cdot I^*(x_3). \quad (15)$$

$$\text{さて} \quad I(\theta) = B(\theta) \cos \theta$$

である. それで上の式の最後の項は消えてしまふ. 又必要とするのは $B(0)$ である. 依つて上の式の x の代りに 0 とおく. * の代りには -1 を入れる. と

$$B(0) = \frac{B\left(\frac{\pi}{8}\right)}{4 \sin \frac{\pi}{16} \sin \frac{5}{16} \pi} - \frac{\sin \frac{3}{16} \pi}{\sin \frac{5}{16} \pi} B\left(\frac{\pi}{4}\right) \\ + \frac{\sin^2 \frac{\pi}{8} \sin \frac{\pi}{4}}{\sin \frac{5}{16} \pi \sin \frac{7}{16} \pi} B\left(\frac{3\pi}{8}\right) \quad (16)$$

各項の係数を計算すれば, 夫々 1.5412, 0.66318, 0.12699.

$$\therefore B_0 = 1.54B_1 - 0.67B_2 + 0.13B_3, \quad (16.1)$$

$$B_i = B\left(\frac{i\pi}{8}\right);$$

$$\text{尚} \quad \sigma = \frac{B_1 + B_2 + B_3}{4.62B_1 - 2.00B_2 + 0.38B_3}. \quad (17)$$