光電式遮光筒型輝度計の諸特性

正会員 坊

博* 専門会員 竹 山 説 三*

The Characteristics of a Photo-Electric Baffle Tube Type Brightness Meter

by Hiroshi Bō (Member) and Setsuzo Takeyama (Fellow Member)

(Faculty of Engineering, Ōsaka University)

ABSTRACT

The characteristics of a brightness meter having a baffle tube, i.e., directional sensitivity and scanning field angle, have been investigated theoretically and experimentally. Especially, the design of the baffle tube has been treated theoretically and the characteristics of the directional sensitivity, compared with the experimental results.

The relation between the source size and the aperture scanning angle of the instrument has been considered with the directional sensitivity and also the accuracy of this instrument has been discussed.

緒 言

光電式輝度計を大別すれば、レンズ系を用いるものと遮光筒を用いるものとの2つの型に分類できる。前者の型については既に商品化されているものもあり、後者の型については既にその試作報告があるが⁽¹⁾、この場合の遮光筒の諸性質については未だ十分検討されていないので、ここではこれらの点に検討を加え遮光筒型輝度計の諸特性を理論的ならびに実験的に明らかにした。

1 遮光筒型輝度計の構造

オ1図のような面Sの θ 方向の輝度を一様な輝度Bとすれば、p点における法線照度 E_n は

$$E_n = B \cos \theta / l^2 = B \omega \dots \dots \dots (1)$$

ただし l は P 点と面との距離

S は光源の面積

となり、照度 E_n は立体角 ω を一定とすれば輝度 B に比例する。したがって、一定の立体角をオ2図のような遮光筒により規制して

オ1図 輝度計の原理

オ2図

受光器に取付ければ、その振れは輝度Bに比例することになる。しかし、実際には受光面は点ではなくある面積をもつから、遮光筒で立体角を制限しても、受光面上の各点では立体角は少し異なる。また、オ3図のように遮光筒の軸に対し、 θ なる角で入射した平行光線は受光面へは全光量が到達できず、例えば、開口部、受光部が同一直径の円形であるとすれば、オ3図の斜線の部分のみが入射することになるため、入射方向により感度が異なることになる。したがって、遮光筒を用いる輝度計においてはかかる方向感度特性があるとともに、その他遮光筒内部の反射光にもとずく誤差も考えねばならない。

オ3図 遮光筒の光入射量

2 遮光筒の設計

2.1 開口角（見込角）の定義

オ2図において受光面の中心P点が開口面を見込む立体角は

$$\omega = 2\pi(1 - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2)$$

ただし α は平面角

であたえられる。しかし、実際に受光面に入ってくる光

*大阪大学工学部

線は、第2図の平面角で 2γ 内のものであるため、ここでは開口角としてこの γ を用いることにする。すなわち、**図 2** のような開口部の直径 $2a$ 、受光部の直径 $2b$ なる場合の遮光筒の開口角としては

$$\gamma = \tan^{-1}(a+b)/L \quad (3)$$

となる。

いま $a=b$ とすれば

$$\gamma = \tan^{-1}2a/L \quad (4)$$

となる。

2.2 遮光筒の設計

図 4 のように、開口角 γ 外の光源 B からの光が遮光筒内面壁で反射して受光面に到達するから、筒の内壁は十分に低反射率になるように注意しなければならない。しかし、低反射率になるよう注意しても十分な結果が得られない場合が多いので、普通筒の中間に baffle を挿入してこの影響を除く。

次に baffle 1 枚を筒の中央に設けて使用する場合、遮光筒の各部の寸法を検討する。

簡単のため **図 5** のように開口部と受光部の直径を等しく $2a$ 、baffle の穴の直径を $2c$ とする。始めに開口角 γ が与えられたとすれば、筒の長さ L は(4)式より

$$L = 2a \tan \gamma \quad (5)$$

となる。また、遮光筒の直径を $2d$ とし、**図 5** の A B および A' B' 面よりの受光部に入射しないようにす

るためには、baffle の直径 $2c$ は

$$d \geq a + c \quad (6)$$

なる関係式を満足しなければならないことがわかる。いま、簡単のため $c = ka$ (ただし $k \geq 1$ とす) とすれば

$$d \geq a(1+k) \quad (7)$$

となり、筒の半径 d 、開口部の半径 a 、baffle の半径 c との間の関係式が得られる。例えば、 $k=2$ とすれば

$$d \geq 3a$$

なる関係が成立すればよいことになる。

同様な方法で baffle が n 枚ある場合も d と a との関係が得られるが、ここでは省略する。

試作遮光筒例

開口角 $\gamma = 6^\circ$

開口の直径 $2a = 3\text{mm}$

baffle の直径 $k=2$ として $2c = 6\text{mm}$

筒の長さ $L = 28.6\text{mm}$

筒の直径 $2d = 20\text{mm}$

の遮光筒を視感度補正した2次電子増加管に**図 6**のように構成して付した。この場合の遮光筒の特性を次に述べる。

図 6

3 遮光筒の方向感度特性

遮光筒の中心軸を含む面上で輝度計との距離を一定に

保って点光源を移動させ、その筒の中心軸と角 θ をなす場合の光電流 i_θ を測定し、 $\theta=0$ のときとの比、すなわち $i_\theta/i_0 = k(\theta)$ を**図 7**に示す。

図 7 方向感度特性

この感度の方向特性を理論的に求めると、今平行線が遮光筒の軸と θ をなして入射する場合光束は次のようになる。**図 8** のように開口部受光部の半径をそれぞれ a, b とすれば光の入射する斜線の面積は

$$S = a^2\alpha + b^2\beta - \frac{1}{2}a^2\sin 2\alpha - \frac{1}{2}b^2\sin 2\beta \quad (8)$$

となる。一方

$$\alpha = \cos^{-1}(R^2 + a^2 - b^2/2aR) \quad (9)$$

$$\beta = \cos^{-1}(R^2 - a^2 + b^2/2bR) \quad (10)$$

$$R = (a+b)\tan\theta/\tan\gamma \quad (11)$$

であるから、光束 $L(\theta)$ はその面積 S に比例するから

$$\begin{aligned} L(\theta) \propto & \left\{ a^2 \cos^{-1} \frac{1}{2a} \left\{ (a+b)\tan\theta/\tan\gamma + (a-b)\tan\gamma/\tan\theta \right\} \right. \\ & + b^2 \cos^{-1} \frac{1}{2b} \left\{ (a+b)\tan\theta/\tan\gamma - (a-b)\tan\gamma/\tan\theta \right\} \\ & - \frac{1}{2} a^2 \sin 2 \cos^{-1} \frac{1}{2a} \left\{ (a+b)\tan\theta/\tan\gamma + (a-b)\tan\gamma/\tan\theta \right\} \\ & - \frac{1}{2} b^2 \sin 2 \cos^{-1} \frac{1}{2b} \left\{ (a+b)\tan\theta/\tan\gamma \right. \\ & \left. \left. - (a-b)\tan\gamma/\tan\theta \right\} \cos \theta \right\} \quad (12) \end{aligned}$$

となる。今 $a=b$ とすれば

$$L(\theta) \propto 2a^2 \{ \cos^{-1}(\tan\theta/\tan\gamma) \}$$

$$- \frac{1}{2} \sin 2 \cos^{-1}(\tan\theta/\tan\gamma) \} \cos \theta \quad (13)$$

したがって、方向係数 $k(\theta) = L(\theta)/L(\theta)$ は

$$k(\theta) = \frac{2}{\pi} \{ \cos^{-1}(\tan \theta / \tan \gamma) - \frac{1}{2} \sin 2\gamma \cdot \cos^{-1}(\tan \theta / \tan \gamma) \} \cos \theta \dots\dots (14)$$

※7図 は $\gamma = 6^\circ$ の場合の $k(\theta)$ と θ との関係を示す。

4 遮光筒の視野角

※9図のように開口角 γ なる遮光筒をもつ輝度計が円形の等輝度拡散板 D より距離 R_1 , R_2 にあるとすれば、 R_1 の位置では円形拡散板の一部のみを見込むことになるが、距離が遠くなるにしたがい、その見

※9図

込む部分が増加し、遂には距離 R_2 の位置のように、拡散円板以外の部分を見込むことになり、輝度計の振れは減少することになる。いま、実験で輝度一様な直径 3 cm の拡散性円板よりの距離を変化

※10図

させた場合の輝度計の振れの相対値を※10図に示す。すなわち、ある一定の距離までは振れは一定であるが、それ以上になれば次第に減少する。いま、この関係を理論的に検討し

※11図

て見ると、※11図のような関係位置で、光源たる円板が p 点にはる角 2θ が輝度計の開口角 2γ より小なる場合と、 2θ が 2γ に等しい場合との比 $p(\theta)$ をとれば

$$p(\theta) = \int_0^\theta k(\theta) \sin \theta \cdot d\theta / \int_0^\gamma k(\theta) \sin \theta \cdot d\theta \dots\dots (15)$$

ただし、 $k(\theta)$ は遮光筒の方向感度係数となる。

いま、 $\gamma = 6^\circ$ として、(15)式より計算した $p(\theta)$ を※10図の (b) 曲線に示す。また、第7図の実験曲線より求めた $p(\theta)$ を※10図の (c) 曲線に示す。大体、これらの理論計算値と実測値は一致しているが少し異なっている。これは実験上の誤差であろうが、正確に開口角が設計通りになっ

ていないことによる影響も多大にあると考えられる。

5 受光部の構成および特性

受光部は前述の通り、2次電子増倍管を使用したもので、これに視感度補正のためのフィルタを使用している。※12図にこの分光感度を示している。また、光電流増幅回路は※13図のような差動直流増幅器を用いて行ない、その輝度と振れと関係は、※14図のような直線関係が得られている。

※12図

※13図 回路図

※14図 光源の輝度と振れとの関係

6 実際使用上の注意

遮光筒型輝度計は上述のような諸特性を有していることが理論的、ならびに実験的にも判明した。したがって、これら特性を十分理解して使用せねば測定に誤差を生ずることになる。

まず誤差の原因として

1. 輝度計自身にもとづくもの

- (a) 分光感度の視感度補正が十分精確に行なわれておらず、その誤差にもとづくもの。
- (b) 電子管の不安定、および劣化にもとづくもの。
- (c) 受光面における cosine law よりはずれにもとづくもの。

2. 使用上にもとづくもの

- (a) 輝度計の開口角より被測定面がはる角の方が小さくなるためにおこる誤差
 - (b) 被測定面を正確に輝度計が見込まないことによるもの
 - (c) 被測定面の輝度が一様でない場合によるもの
- 掃が考えられる。この中(1)によるものは輝度計作製時に

注意すれば除きうるものであるか、(2)のものは先に視野角のところで述べた理由によるもので、十分注意せねばならない。これは特に距離の違いにあるものを測定する場合注意せねばならない。したがって、遮光筒輝度計は近距離で使用する場合、または光源面の大なるものの一部分の等輝度面を測定するようなときには、正確に測定できることになるが、遠距離小面積の光源の測定は注意を要することになる。

結 言

遮光筒を用いた輝度計の諸特性、すなわち方向感度特性、および視野角の特性を理論的、ならびに実験的に求めるとともに、遮光筒の寸法決定法を明らかにすることができた。すなわち、筒の径 d と開口部の径 a 、baffle の径 c 間には

$$d \geq a + 2c$$

を満足せねばならないことが見出された。

また、遮光筒の開口角の定義を明らかにして、それと各種特性との関係式も導き出したが、実験的にはこの開口角は正確には決定できないこと、および視野角の特性より使用上注意しなければ誤差の原因となる点を明らかにするとともに、近距離ではかかる誤差は比較的小さい等その使用上の誤差等についても検討した。

最後に本研究に当り、協力して頂いた岡田浩雄君をはじめ研究室の諸兄に感謝する次第である。

(受付、35-10-10)

文 献

- (1) Y. G. Hurd : I. E. 41 (1946) 306
C. A. Horton : I. E. 45 (1950) 458
竹山, 坊, 喜多村 : 電気三学会才26回園連大7.
13(昭27.5)

新製品紹介

耐圧防爆型水銀灯器具

1. 名称 ZH 型耐圧防爆型水銀灯器具
2. 特長

- (i) 本器具は労働省産業安全研究所工場電気設備防爆指針に合致すると同時に同研究所の爆発試験に合格したものである。
- (ii) 灯具の構造は防滴構造で、内部の熱が全表面より均一に放散するようになっている。
- (iii) 灯具材料には耐蝕性が良好で、機械的強度が優

れ、その上重量の軽い
ヒドロナリウム合金
を使用している。

- (iv) グローブは硬質ガラスを使用、内部の爆発と外部の機械的強度に十分耐え得る厚みを有している。
- (v) ソケットは耐震構造のものを使用、ソケット支持金具は光源の大きさに応じ上下に移動できる。
- (vi) ランプの交換は硝子グローブを緩めることなく、その保持締付ボルトを緩めるだけで蝶番式にて簡単に行なうことができる。

ZR-400(400W用)

ZH-400(400W用)

ZHI-100(100W用)

3. 使用場所 防爆指針の第1種危険場所
4. 製作者名 星和電機株式会社
5. 価格 ZHI-100 (100ワット用) 47,000. —
ZH-400 (ZR-400を含む) 67,500. —
何れもランプバラスト込の価格である。

250 ワットの場合	64,000. —
300 〃	65,500. —