円環光源の測光に関する研究 (その3)

(円環型けい光灯の近似配光について)

正 会 員 納 谷 嘉 信*

On the Photometry of Toroidal Light Source (Part 3)

(The Approximate Light Distribution of the Toroidal Fluorescent Lamp)

Yoshinobu Nayatani (Member, Osaka Branch of Electrotechnical Laboratory)

ABSTRACT

The effects of the thickness of toroidal light source and interreflection in its cavity have already been written in a treatise in this Journal.

To discuss the light distribution of the toroidal fluorescent lamps in the market, the following three factors must be still more considered; i. e. the deviation from the perfect diffusion characteristics of light emission from the surface element of the source, the incomplete toroidal form of the lamps and the finite photometric distance.

In this report, these factors are discussed separately. And the method to obtain the approximate theoretical equation of light distribution of the toroidal fluorescent lamp is discussed, and the equation is obtained by synthesizing the five effects mentioned above. The calculated results of approximate light distribution and the results of experiments have coincided as far as 20 Watt and 40 Watt lamps are concerned.

From the above facts, the parameter b representing the deviation from the perfect diffusion characteristics and the parameter φ representing the effective defect angle can be well estimated.

1. は し が き

太さを考慮しない理想的な円環光源の配光を基準として、太さを考慮した場合の影響および円環内面の相互反射の影響およびその計算原理等についてはすでに本紙上に詳細な報告をした¹⁾²⁾³⁾。

市販されている円環型けい光灯の配光を論ずるためには、さらに光源面上の発光状態が完全拡散特性からずれていることの影響、欠け目の影響、および測光距離等の影響を考慮することが必要である。

本報ではまず 2. において、該光源に対する近似配光を計算するための方針を述べ、3. ではすでに山内教授によって計算された理想的円環光源に関する精細な研究結果⁴⁾を用い太さを考慮しない理想的円環光源の配光を基準として、発光状態の完全拡散からのずれ、欠け目、および測光距離をそれぞれ単独に考慮した場合の配光に

及ぼす影響を考察する。さらに 4. では前報¹⁾³⁾および 3. で述べた影響を考慮して、2. の方針に従い各方向について円環型けい光灯の近似配光を与える式を求める。最後に 5. では近似配光の数値計算結果と、20 W サークラインけい光灯および 40 W サークラインけい光灯の配光測定の結果を比較し、光源面の輝きの完全拡散性からのずれを示すパラメータおよび円環型けい光灯の実効欠け目角の推定について若干述べて見たいと思う。

なお統報では、円環面に垂直な方向の光度と全光束の関係(単一照度法)、直線型けい光灯の測光における三照度法⁵⁾⁶⁾に準ずる実用的配光測定法、およびそれらとともに詳細な実験結果との比較について報告する。

2. 円環型けい光灯の近似配光を求める手法

円環型けい光灯の配光を求めるために、前節でのべた 5 つの要因を代表するパラメータをそれぞれ次のように示すこととする。

a) 円環の太さをあらわすパラメータ。(t): 第2.1図

* 電気試験所大阪支所

において円環の太さを $2a$, 内外半径の平均を r としたとき, 円環の太さを示すパラメータとしては $t=a/r$ を用いることが適当である. このようなパラメータを用いると, 太さを考慮しない円環に対しては $t=0$, 円環

第 2・1 図

の太さが次第に大きくなって内側の空間が全然消失した状態では $t=1$ で表わされ, 任意の大きさの円環が, $0 \leq t \leq 1$ の大きさで表示されることが判る.

b) 円環光源面上の発光状態が完全拡散からずれていることを示すパラメータ (b): けい光灯面の発光状態は完全拡散性とはやや異なった輝きの方向性を示すことはすでに古くから報告されている⁷⁾⁸⁾⁹⁾. このような輝きの方向性を示すパラメータとして, H. D. Einhorn および J. D. Sauermann 両氏は b という値を用いて表わし⁵⁾, 黒沢・伊東・堀氏等⁶⁾ は b と等価な k というパラメータを用いてそれぞれ直線型けい光灯の配光および簡易測光法に関する研究結果を報告されている.

筆者は一応それらに従い, 第2・2図に示すように面に垂直な方向の輝きを B_0 , 垂直な方向から角度 θ をなす方向の輝きを B_θ とし, B_θ をパラメータ b を用いて次のように表わすこととした.

第 2・2 図

$$B_\theta = B_0 \{ (1-b) + b \cos \theta \} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 1)$$

このような表示を用いると, 完全拡散面素片については $b=0$ となり, $b=1$ の場合は $B_\theta = B_0 \cos \theta$ を示す. 市販のけい光灯面の輝きの方向性は実用的な測光距離では $b=0.4 \sim 0.5$ の程度であるといわれている⁵⁾⁶⁾.

c) 円環内面の相互反射を示すパラメータ (α): 内面相互反射による輝きの最大増加を $B_{\max}$, 初期輝き B_0 とし, 相互反射の影響を示すパラメータとして次のような最大輝きの増加率を用いることとした.

$$\alpha = (B_{\max} - B_0) / B_0 \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 2)$$

すなわち相互反射の認められない場合は $\alpha=0$ となることが判明する.

d) 欠け目を示すパラメータ (φ): 円環型けい光灯の欠け目角度 2φ をパラメータとする. しかしながら欠け目角としては実際の欠け目角度をそのまま用いず, Einhorn-Sauermann両氏が管長方向の輝き分布を考慮し

て導入した実効長の考え方に基礎を置いて, 実効欠け目角度を用いることが適当と思われる. この場合欠け目角度が零の場合は, $\varphi=0$ で表わされる.

e) 測光距離を示すパラメータ (p): 円環光源の内外半径の平均を r , 円環の中心 O より被照点 P 迄の距離を h とし, 測光距離をあらわすパラメータとして次のような値を用いることとする.

$$p = r/h \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 3)$$

測光距離が無限大の場合は, $p=0$ で表わされることが判る.

以上のような表示を用いると, すべての要因を考慮しない理想的円環光源の配光は, 各パラメータの値をすべて零とすればよいことが判明し, 第2・1図のように欠け目中心方向からの偏角 ψ の方向を含む NOR 面内の配光は (2・4) 式のように表わすことができる. (ψ を固定してあるので, ψ に対する表示は省略したが, 各 ψ の値に対して (2・4) 式が一つ対応することが判明する. 以下必要のある時は ψ について区別する.)

$$I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p) \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 4)$$

(2・4)式と同様な表示を用いれば, 上記の5つの要因をすべて考慮した場合の光度の分布は円環面に垂直な方向 ($\theta=0$) の光度を単位化した場合, 次式で表わされる.

$$\frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \quad \dots\dots\dots (2 \cdot 5)$$

(2・5)式を理想的円環光源の配光 (2・4) を基準として, Taylor 展開しその第1項近似を求めると, (2・6)式のように表わされる.

$$\begin{aligned} & \frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \\ &= \frac{I(\theta; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)}{I(\theta=0; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)} \\ &\cong \sum_s \left\{ \frac{\partial}{\partial s} \left\{ \frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \right\} \right\}_{(t=b=\alpha=\varphi=p=0)} \cdot s \\ &\quad \dots\dots\dots (2 \cdot 6) \end{aligned}$$

ただし $s=t, b, \alpha, \varphi, p$

$$\text{ここに } \left\{ \frac{\partial}{\partial s} \left\{ \frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \right\} \right\}_{(t=b=\alpha=\varphi=p=0)}$$

$$\text{の第1項 } \left\{ \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \right\} \right\}_{(t=b=\alpha=\varphi=p=0)}$$

の値は b, α, φ, p をそれぞれ零に保った時の, $t=0$ での $\{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p) / I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)\}$ の t に関する偏微係数を示す. すなわちすべての要因を考慮しない理想的円環光源において太さの影響のみを考慮した値であり, これはすでに第1報¹⁾ (30) (31) (32) 式等より容易に求められる値である. 他の変数についても同様であるから, 円環型けい光灯の配光は近似的に ($I(\theta; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0) / I(\theta=0; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)$) を基準として, それぞれの変数が独立に変化した場合の影響を合成するとよいことが判る. なお

(2・6)式の右辺第一項は t の充分小さい値では近似的に次式で表わすことができる。

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \right\} \right\}_{(t=b=\alpha=\varphi=p=0)} \cdot t$$

$$= \left\{ \frac{I(\theta; t, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)}{I(\theta=0, t, b=0, \varphi=0, p=0)} \right\} - \left\{ \frac{I(\theta; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)}{I(\theta=0; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)} \right\} \dots (2 \cdot 7)$$

ここで簡単のため次のような表示を用いることとする。

$$\left. \begin{aligned} \left\{ \frac{I(\theta; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)}{I(\theta=0; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)} \right\} &= \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \\ \left\{ \frac{I(\theta; t, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)}{I(\theta=0; t, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p=0)} \right\} &= \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t \\ \left\{ \frac{I(\theta; t=0, b, \alpha=0, \varphi=0, p=0)}{I(\theta=0; t=0, b, \alpha=0, \varphi=0, p=0)} \right\} &= \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_b \\ \left\{ \frac{I(\theta; t=0, b=0, \alpha, \varphi=0, p=0)}{I(\theta=0; t=0, b=0, \alpha, \varphi=0, p=0)} \right\} &= \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\alpha \\ \left\{ \frac{I(\theta; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi, p=0)}{I(\theta=0; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi, p=0)} \right\} &= \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\varphi \\ \left\{ \frac{I(\theta; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p)}{I(\theta=0; t=0, b=0, \alpha=0, \varphi=0, p)} \right\} &= \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_p \end{aligned} \right\} \dots (2 \cdot 8)$$

(2・8)式を用いると、(2・6)式の表示は次のように表わされることとなる。

$$\frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0, t, b, \alpha, \varphi, p)} \cong \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 + \sum_s \left[\frac{\partial}{\partial s} \left\{ \frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \right\} \right]_{(t=b=\alpha=\varphi=p=0)} \cdot s$$

$$\cong \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 + \sum_s \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_s - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\} \dots (2 \cdot 9)$$

ただし s は t, b, α, φ, p を示す。すなわち (2・9) 式にそれぞれ対応する要因の効果を代入すれば、円環型(けい)光灯に関する近似配光をうることができる。その詳細および実験結果との比較については後述する。

3. 発光状態の拡散性からのずれ、欠け目、および測光距離が配光におよぼす影響

3.1. 理想的円環光源の配光および照度の分布

理想的な円環光源の配光および照度の分布についてはすでに山内二郎博士により詳細な検討が加えられており、欠け目および測光距離の影響をそれぞれ考慮した問題もすでに特定の方角については、数値解が与えられている⁴⁾。

筆者は山内教授の計算結果を拝借し第3・1図のような太さを考慮しない理想的円環光源(半径 r 、単位長当りの輝きを B) において円環中心 O から距離 h なる点 P において動径 $\overline{OP}$ に垂直な被照面上の照度を求めて見た。さて P 点における照明ベクトルの三成分は次式で表わされる⁴⁾。

$$\left. \begin{aligned} E_r &= \int \frac{Br \cdot d\beta (r_0 - a \cos \phi) \{z_0^2 + (r_0 \cos \beta - a)^2\}^{1/2}}{l^4} \\ E_\beta &= \int \frac{-Br \cdot d\phi \cdot r \sin \beta \cdot \{z_0^2 + (r_0 \cos \beta - a)^2\}^{1/2}}{l^4} \\ E_z &= \int \frac{Br z_0 \cdot d\beta \{z_0^2 + (r_0 \cos \beta - r)^2\}^{1/2}}{l^4} \end{aligned} \right\} \dots (3 \cdot 1)$$

欠け目のない円環では $E_\beta = 0$ であり、 E_r, E_z の積分限界は $-\pi < \beta < \pi$ となる。さらに積分限界を $0 \leq \beta \leq \pi$ とすれば、それぞれの式の右辺を2倍すればよい。

(3・1)式および、 $\theta = \tan^{-1}(r_0/z_0)$ の関係を用い簡単な演算を経て、照度 $E_p(\theta)$ は(3・2)式で表わされる。

$$E_p(\theta) = E_r \sin \theta + E_z \cos \theta$$

$$= 2r \int_0^\pi \frac{B \{ (h \sin \theta \cos \beta - r)^2 + h^2 \cos^2 \theta \}^{1/2} (h - r \sin \theta \cos \beta)}{(h^2 + r^2 - 2hr \sin \theta \cos \beta)^2} d\beta \dots (3 \cdot 2)$$

$$\text{ただし} \quad l^2 = z_0^2 + r_0^2 + r^2 - 2rr_0 \cos \beta = h^2 + r^2 - 2hr \sin \theta \cos \beta \dots (3 \cdot 3)$$

である。また $\overline{TS} = r_0 \cos \beta - r$ と $\overline{TR} = z_0$ より

$$\overline{RS} = \{z_0^2 + (r_0 \cos \beta - r)^2\}^{1/2} \dots (3 \cdot 4)$$

となる。

第3・1図

$$\text{故に} \quad \cos(\angle PRS) = \cos \delta = \frac{\overline{RS}}{l} = \frac{\{h^2 \cos^2 \theta + (h \sin \theta \cos \beta - r)^2\}^{1/2}}{(h^2 + r^2 - 2hr \sin \theta \cos \beta)^{1/2}} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 5)$$

で表わされる。(3・5) 式は後述の輝きの高次拡散成分による照度を求める時に用いられる。

さらに円環内面相互反射に基因する配光の式(第 2 報³⁾(4・10) 式)に必要な角度 $\phi = \angle ORS$ については

$$\phi = \tan^{-1} \left(-\frac{z_0}{r_0 \cos \beta - r} \right) = \tan^{-1} \left(-\frac{h \cos \theta}{h \sin \theta \cos \beta - r} \right) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 6)$$

で表わされる。

光度の分布は(3・2) 式より、 $h = \infty$ の極限において

$$\begin{aligned} I(\theta) &= \lim_{h \rightarrow \infty} h^2 E_p(\theta) \\ &= 4r \int_0^{\pi/2} B \sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \beta} \cdot d\beta \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 7) \end{aligned}$$

の周知の式を得る。

3.2. 光源面上の発光状態が完全拡散特性からずれた場合の配光の変化

3.1. では光源線素の発光状態が完全拡散の場合の照度分布の式を求めた。実際の光源面の輝きが完全拡散特性からずれて、例えば(2・1) 式のように表わされるものとする。この場合線素に垂直な方向の輝きを B_0 とすれば、第 3・1 図 R 点における線素の $\overline{RP}$ 方向($\angle PRS = \delta$) の輝きは

$$B_{RP} = B_0 \{(1-b) + b \cos \delta\} \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 8)$$

で表わされる。ただし $\cos \delta$ の値は(3・5) 式を用いて表わすことができる。

(3・2) 式の B に(3・8) 式および(3・5) 式を代入すると、照度 $B_p(\theta)$ として次のような式が得られる。

$$\begin{aligned} E_p(\theta) &= 2r \int_0^{\pi} B_0 \frac{(h-r \sin \theta \cos \beta) \{(h \sin \theta \cos \beta - r)^2 + h^2 \cos^2 \theta\}^{1/2}}{(h^2 + r^2 - 2hr \sin \theta \cos \beta)^{5/2}} \\ &\quad \times \{(1-b)(h^2 + r^2 - 2hr \sin \theta \cos \beta)^{1/2} + b\{(h \sin \theta \cos \beta - r)^2 + h^2 \cos^2 \theta\}\} d\beta \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 9) \end{aligned}$$

光度は同様に(3・10) 式で表わされる。

$$[I(\theta)]_b = 4rB_0 \int_0^{\pi/2} [(1-b)\sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \beta} + b(\sin^2 \theta \cos^2 \beta + \cos^2 \theta)] d\beta \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 10)$$

(3・10) 式は容易に積分可能であって、

$$[I(\theta)]_b = 4rB_0(1-b)E(\pi/2, \sin \theta) + \pi rB_0b(1 + \cos^2 \theta) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 11)$$

ここで $E(\pi/2, \sin \theta)$ は第 1 種完全楕円積分である。 $\theta = 0$ すなわち円環面に垂直な方向では、

$$[I(\theta=0)] = 2\pi rB_0 \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 12)$$

を用いて、次式で表わされる。

$$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_b = \frac{2}{\pi} (1-b) E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) + \frac{1}{2} b(1 + \cos^2 \theta) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 13)$$

一方理想的円環光源の相対配光は

$$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 = \frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 14)$$

であるから、

$$\partial \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_b = \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_b - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 = -b \left[\frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) - \frac{1}{2}(1 + \cos^2 \theta) \right] \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 15)$$

である。(3・15) 式は $\theta = 90^\circ$ の方向では、太さを考慮していないので理想的円環光源については、 $[I(\theta=90^\circ)]_0 = 4rB_0$ で与えられる。この場合 $\theta = 90^\circ$ の方向で円環の測光側のみを考慮すれば $[I(\theta=90^\circ)]_0 = 2rB_0$ と半分になる。同様に $[I(\theta=90^\circ)]_b$ についても全体を考慮した場合と測光側のみ考慮した場合はそれぞれ 2 : 1 の比となる。

故に $\theta = 90^\circ$ においては(3・15) 式より、全体を考慮した場合は

$$\left\{ \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_b - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 \right\} = -b \left[\frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin 90^\circ\right) - \frac{1}{2}(1 + \cos^2 90^\circ) \right] = -b \left(\frac{2}{\pi} - \frac{1}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 16)$$

となり、測光側のみを考慮すればその 1/2 となる。

$$\left\{ \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_b - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 \right\} = -\frac{b}{2} \left(\frac{2}{\pi} - \frac{1}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (3 \cdot 17)$$

第3.2図 パラメータ b の配光に及ぼす影響

$b=0.2$ および 0.4 について、配光の変化を求めてみると第3.2図のように表わされる。ただし $\theta=90^\circ$ において不連続的に置点された点は、測光側のみ考慮した場合を示す。

3.3. 欠け目の配光におよぼす影響

太さを考慮しない理想的円環光源において、欠け目のある場合の配光を考えよう。欠け目が任意の位置にある場合の配光を求めることも必要であるが、一般には第4・3図(a), (b), (c)の3つの場合の計算で充分である。

第3.3図

図の(a)は $\phi=\pi/2$ の場合、図の(c)は $\phi=0$ の場合、図の(b)は $\pi/2-\phi>\phi>\phi$ の場合である。ただし ϕ は欠け目角度 2ϕ の半分を示す。この他 $\pi/2>\phi>\pi/2-\phi$, $\phi>\phi>0$ の位置における配光も考えられるが、(a)(b)(c)の場合と同様に計算できるから本報では述べない。

i) $\phi=\pi/2$ の場合の配光 第3.1図において、動径OLより $\angle\beta$ をなす方向Rにおける光源線素による方向 θ における光度は、単位長当りの輝きを B とすると(3.18)式で表わされる。

$$dI(\theta) = Brd\beta(1 - \sin^2\theta \sin^2\beta)^{1/2} \quad \dots\dots(3.18)$$

故に第3.3図(a)の円環については、

$$\begin{aligned} [I(\theta)]_{\phi(\phi=\pi/2)} &= rB \left[\int_0^{\pi/2-\phi} \Delta^{1/2} d\beta + \int_{\pi/2+\phi}^{\pi} \Delta^{1/2} d\beta + \int_0^{\pi} \Delta^{1/2} d\beta \right] \\ &\quad \dots\dots(3.19) \end{aligned}$$

であるから、

$$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\phi(\phi=0)} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right] = \frac{1}{\pi-\phi} \left[2E\left(\frac{\pi}{2}, \sin\theta\right) - E(\phi, \sin\theta) \right] - \frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin\theta\right)$$

で表わされる。 $\theta=90^\circ$ では、

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\phi(\phi=0)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 = \frac{2-\sin\phi}{\pi-\phi} - \frac{2}{\pi} \quad \dots\dots(3.30)$$

であり、測光側のみを考慮すれば測光側に欠け目のある場合と無い場合について、それぞれ次式で表わされる。

測光側に欠け目のある場合

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\phi(\phi=0)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 = \frac{1-\sin\phi}{\pi-\phi} - \frac{1}{\pi} \quad \dots\dots(3.31)$$

$$\text{ただし } \Delta = 1 - \sin^2\theta \sin^2\beta \quad \dots\dots(3.20)$$

で表わされる。(3.19)式の積分結果は第1種完全楕円積分を用いて次式で表わされる。

$$[I(\theta)]_{\phi(\phi=\pi/2)}$$

$$= 2rB \left[E\left(\frac{\pi}{2} - \phi, \sin\theta\right) + E\left(\frac{\pi}{2}, \sin\theta\right) \right] \quad \dots\dots(3.21)$$

(3.21)式より、理想的円環に対する配光の変化は(3.22)式で表わされる。

$$\begin{aligned} &\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\phi(\phi=\pi/2)} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \\ &= \frac{1}{\pi-\phi} \left\{ E\left(\frac{\pi}{2} - \phi, \sin\theta\right) + E\left(\frac{\pi}{2}, \sin\theta\right) \right\} \\ &\quad - \frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin\theta\right) \quad \dots\dots(3.22) \end{aligned}$$

(3.22)式は $\theta=90^\circ$ においては次式で表わされる。

$$\begin{aligned} &\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\phi(\phi=\pi/2)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 \\ &= \frac{1}{\pi-\phi} (1 + \cos\phi) - \frac{2}{\pi} \quad \dots\dots(3.23) \end{aligned}$$

(3.23)式は、 $\theta=90^\circ$ において円環の測光側と反射光側の双方共考慮した値である。もし $\theta=90^\circ$ において測光側のみを考慮すると、

$$\begin{aligned} &\left[\frac{I(\theta=0^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\phi(\phi=\pi/2)} = 2(\pi-\phi)rB \\ &\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\phi(\phi=\pi/2)} = (1 + \cos\phi)rB \quad \dots\dots(3.24) \end{aligned}$$

を用いて

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\phi(\phi=\pi/2)} = \frac{(1 + \cos\phi)}{2(\pi-\phi)} \quad \dots\dots(3.25)$$

で表わされる。一方

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 = \frac{1}{\pi} \quad \dots\dots(3.26)$$

であるから、測光側のみを考慮すれば

$$\begin{aligned} &\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\phi(\phi=\pi/2)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 \\ &= \frac{1 + \cos\phi}{2(\pi-\phi)} - \frac{1}{\pi} \quad \dots\dots(3.27) \end{aligned}$$

で表わされ、(3.23)式の丁度半分となる。

ii) $\phi=0$ の場合の配光 途中の計算過程は省略するが、

$$\begin{aligned} &[I(\theta)]_{\phi(\phi=0)} \\ &= 2rB [2E(\pi/2, \sin\theta) - E(\phi, \sin\theta)] \quad \dots\dots(3.28) \end{aligned}$$

測光側に欠け目の無い場合

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\varphi(\psi=0)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 = \frac{1}{\pi - \varphi} - \frac{1}{\pi} \dots\dots\dots (3 \cdot 32)$$

iii) $\pi/2 - \varphi > \psi > \varphi$ の場合 配光を示す式は

$$[I(\theta)]_{\varphi(\psi)} = rB[4E(\pi/2, \sin \theta) - \{E(\psi + \varphi, \sin \theta) - E(\psi - \varphi, \sin \theta)\}] \dots\dots\dots (3 \cdot 33)$$

すなわち $\psi = \pi/4$ の場合は (3・34) 式となる。

$$[I(\theta)]_{\varphi(\psi=\pi/4)} = rB[4E(\pi/2, \sin \theta) - \{E(\pi/4 + \varphi, \sin \theta) - E(\pi/4 - \varphi, \sin \theta)\}] \dots\dots\dots (3 \cdot 34)$$

さらに理想的円環からの配光のずれは、

$$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi(\psi=\pi/4)} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 = \frac{1}{2(\pi - \varphi)} \left\{ 4E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) - \left\{ E\left(\frac{\pi}{4} + \varphi, \sin \theta\right) - E\left(\frac{\pi}{4} - \varphi, \sin \theta\right) \right\} \right\} - \frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) \dots\dots\dots (3 \cdot 35)$$

となる。 $\theta = 90^\circ$ で円環の全体を考慮した場合

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\varphi(\psi=\pi/4)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 = \frac{1}{2(\pi - \varphi)} \left\{ 4 - \left\{ \sin\left(\frac{\pi}{4} + \varphi\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} - \varphi\right) \right\} \right\} - \frac{2}{\pi} \dots\dots\dots (3 \cdot 36)$$

である。次に円環の測光側のみを考慮すれば次式のようになる。

欠け目が測光側にある場合

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\varphi(\psi=\pi/4)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 = \frac{1}{2(\pi - \varphi)} \left\{ 2 - \sin\left(\frac{\pi}{4} + \varphi\right) + \sin\left(\frac{\pi}{4} - \varphi\right) \right\} - \frac{1}{\pi} \dots\dots\dots (3 \cdot 37)$$

欠け目が測光側に無い場合

$$\left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_{\varphi(\psi=\pi/4)} - \left[\frac{I(\theta=90^\circ)}{I(\theta=0^\circ)} \right]_0 = \frac{1}{\pi - \varphi} - \frac{1}{\pi} \dots\dots\dots (3 \cdot 38)$$

すなわち、欠け目のある場合の配光のずれは、それぞれ、(3・22) 式・(3・29) 式・(3・35) 式に従って変化し、それぞれの式において、 $\theta = 90^\circ$ とおいた値 (3・23) 式・(3・30) 式・(3・36) 式に漸近する。この時 $\theta = 90^\circ$ において円環の測光方向のみを考慮すれば、この点でそれぞれ (3・27) 式・(3・31) 式・(3・32) 式・(3・37) 式・(3・38) 式への飛躍を示すことが判る。

$\varphi = 13^\circ$ および 30° について、配光の変化を求めてみると、第 3・4 図で表わされる。図より興味のあることは、欠け目角が変化した場合 $\psi = 0^\circ$ 、 $\psi = 90^\circ$ の方向では大きく変化するが、 $\psi = 45^\circ$ の方向では欠け目角の変化の影響をほとんどうけず、さらに基準配光からの偏差はかなり小さい。なお $\psi = 0^\circ$ 、 45° 、 90° の 3 方向での偏差の平均値は欠け目角を示すパラメータ φ にはほとんど影響されず、かつ基準配光にかなり近いことがわかる。なお第 3・4 図で $\theta = 90^\circ$ の方向の測光方向のみ考慮した場合の値はすべて左右の平均値を用いることとした。

3.4. 測光距離の配光に及ぼす影響

理想的円環光源の照度分布については、すでに山内教授の精細な研究があり、特定の方向については逆二乗法則からのずれの補正値も計算されている⁴⁾。筆者はこれに対し、被積分関数を級数展開しこれを項別積分することによって任意の方向に対する逆二乗法則からの補正項を計算する式を求めた。

(3・2) 式において、 h を積分記号外へ取り出し、 $r/h = p$ と表わすと、(3・39) 式のようになる。

$$E_p(\theta) = \frac{2rB}{h^2} \int_0^\pi \frac{(1 - p \sin \theta \cos \beta) \Delta^{1/2} \{1 - (2p \sin \theta \cos \beta - p^2) \Delta^{-1}\}^{1/2}}{(1 - (2p \sin \theta \cos \beta - p^2))^2} d\beta \dots\dots\dots (3 \cdot 39)$$

ただし $\Delta = 1 - \sin^2 \theta \sin^2 \beta$

(3・39) 式の p に関する収斂域を求めるため、まず (3・39) 式を次の様に 2 部分に分解する。

$$E_p(\theta) = \frac{2rB}{h^2} \left[\int_0^{\pi/2} f(p, \theta, \beta) d\beta + \int_{\pi/2}^\pi f(p, \theta, \beta) d\beta \right] \dots\dots\dots (3 \cdot 40)$$

第 3・4 図 欠け目のある場合の配光に及ぼす影響

$$\text{ただし} \quad f(p, \theta, \beta) = \frac{(1 - p \sin \theta \cos \beta) D^{1/2} \{1 - (2p \sin \theta \cos \beta - p^2) D^{-1}\}^{1/2}}{\{1 - (2p \sin \theta \cos \beta - p^2)\}^2}$$

さらに (3・40) の右辺第2項の積分範囲を次のように変更する。

$$\pi - \beta = \beta' \dots\dots\dots (3 \cdot 41)$$

このようにすると、 $\pi/2 \leq \beta \leq \pi$ に対し、 $\pi/2 \geq \beta' \geq 0$ となり、かつ $\cos \beta = -\cos \beta'$ 、 $\sin \beta = \sin \beta'$ 、 $d\beta = -d\beta'$ となる。

この結果 (3・40) 式の第1項は β に関する積分、第2項は β' に関する積分で夫々 $0 \rightarrow \pi/2$ 、 $\pi/2 \rightarrow 0$ の積分限界である。 β 、 β' なる積分変数を β に統合し、一積分記号内にまとめると次のようになる。

$$E_p(\theta) = \frac{2rB}{h^2} \int_0^{\pi/2} \left[\frac{(1 - p \sin \theta \cos \beta) D^{1/2} \{1 - (2p \sin \theta \cos \beta - p^2) D^{-1}\}^{1/2}}{\{1 - (2p \sin \theta \cos \beta - p^2)\}^2} + \frac{(1 + p \sin \theta \cos \beta) D^{1/2} \{1 + (2p \sin \theta \cos \beta + p^2) D^{-1}\}^{1/2}}{\{1 + (2p \sin \theta \cos \beta + p^2)\}^2} \right] d\beta \dots\dots\dots (3 \cdot 42)$$

ただし $D = 1 - \sin^2 \theta \sin^2 \beta$ である。

(3・42) 式積分記号内の各項の収斂域を決定するには

$$\frac{2p \sin \theta \cos \beta + p^2}{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \beta} < 1 \dots\dots\dots (3 \cdot 43)$$

の成立する範囲を求めるとよい。 $0 \leq \beta \leq \pi/2$ の範囲で上式が成立するためには

$$0 \leq p = r/h \leq \cos \theta / \sqrt{2} = p_u \dots\dots\dots (3 \cdot 44)$$

の関係が成立すればよいことが判る。(3・44) 式の成立する範囲を $0^\circ \leq \theta \leq 89^\circ$ の範囲で求めると第3・1表のようになる。表より $0^\circ \leq \theta \leq 80^\circ$ の範囲では測光距離が管の直径の5倍以上であれば収斂することが判り、 θ が 90° に接近すると共に収斂が急速に悪くなることが判る。

第3・1表の収斂域内では各級数は一様収斂であり、項別積分が可能となる。(3・42) 式を p の冪級数に展開すると、 p の奇数冪の項はそれぞれ符号が反対で零となり、 p の偶数冪のみ残る。結果を p の昇冪の順に整頓すると (3・45) 式の結果が得られる。

$$E_p(\theta) = \frac{2rB}{h^2} \int_0^{\pi/2} \left\{ D^{1/2} + p^2 \left\{ 8 \sin^2 \theta \sin^2 \beta D^{1/2} - 2 D^{1/2} + \frac{1}{2} D^{-1/2} - 3 \sin^2 \theta \cos^2 \beta D^{-1/2} - \frac{1}{2} \sin^2 \theta \cos^2 \beta D^{-3/2} \right\} + p^4 \left\{ (48 \sin^4 \theta \cos^4 \beta - 36 \sin^2 \theta \cos^2 \beta + 3) D^{1/2} + (-20 \sin^4 \theta \cos^4 \beta + 14 \sin^2 \theta \cos^2 \beta - 1) D^{-1/2} + (-4 \sin^4 \theta \cos^4 \beta + \frac{5}{2} \sin^2 \theta \cos^2 \beta - \frac{1}{8}) D^{-3/2} + \left(-\frac{3}{2} \sin^4 \theta \cos^4 \beta + \frac{3}{4} \sin^2 \theta \cos^2 \beta \right) D^{-5/2} - \frac{5}{8} \sin^4 \theta \cos^4 \beta D^{-7/2} \right\} \right\} d\beta \dots\dots\dots (3 \cdot 45)$$

(3・45) 式を項別に積分することはかなり繁雑であるが幸い部分的には Bierens De Hann の定積分表¹⁰⁾があり、表に無い $\cos^4 \beta \cdot D^{-7/2}$ の積分については漸化式を用いて D のさらに低次の冪に変換して積分を行った。

その結果は (3・46) 式のように表わすことができる。

$$E_p(\theta) = \frac{4rB}{h^2} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) \left[1 + p^2 \cdot A_2(\theta) + p^4 \cdot A_4(\theta) \right] \dots\dots\dots (3 \cdot 46)$$

$$\left. \begin{aligned} A_2(\theta) &= A_{21}(\theta) + A_{22}(\theta) \frac{F\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right)}{E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right)}, \quad A_4(\theta) = A_{41}(\theta) + A_{42}(\theta) \frac{F\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right)}{E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right)} \\ A_{21}(\theta) &= \left(-\frac{11}{6} + \frac{8}{3} \sin \theta \right), \quad A_{22}(\theta) = \frac{1}{3} \cos^2 \theta \\ A_{41}(\theta) &= \left(2.4333 - 11.2667 \sin^2 \theta + 9.6000 \sin^4 \theta + \frac{-0.2917 + 0.6250 \sin^2 \theta - 0.3333 \sin^4 \theta}{\cos^2 \theta} \right) \\ A_{42}(\theta) &= (-0.2666 + 1.0666 \sin^2 \theta - 0.8000 \sin^4 \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3 \cdot 47)$$

である。故に方向 θ における見掛けの光度 $[I(\theta)]_p$ は次式で表わされる。

第3・1表

θ (度)	p_u	$(h/2r)_u^*$
0	1.414	0.71
10	1.436	0.72
20	1.505	0.75
30	1.633	0.82
40	1.846	0.92
50	2.200	1.10
60	2.828	1.41
70	4.135	2.07
80	8.144	4.07
85	16.226	8.11
89	81.033	40.52

* 測光距離を円環光源直径を単位として表した値

$$[I(\theta)]_p = h^2 E_p(\theta)$$

$$= 4rBE\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right)\{1 + p^2 \cdot A_2(\theta) + p^4 \cdot A_4(\theta)\} \dots\dots\dots (3 \cdot 48)$$

(3・48) 式より有限測光距離における逆二乗法則からの偏差は次式で表わされる。

$$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)}\right]_p - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)}\right]_0 = p^2 \frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) \frac{\{A_2(\theta) - A_2(\theta=0)\} + \{A_4(\theta) - A_4(\theta=0)\}}{1 + p^2 A_2(\theta=0) + p^4 A_4(\theta=0)} \dots\dots\dots (3 \cdot 49)$$

(3・49) 式の収斂速度等についてはさらに細かい吟味が必要であるが、(3・49) 式より計算した結果と、(3・39) 式を Gauss-Moors の方法で数値積分し (3・49) 式に相当する値を求めた結果は $p=r/h < 0.10$ の範囲ではかなり良好な一致を示した。

$\theta=90^\circ$ すなわち円環面の照度の値は、すでに山内教授によって計算されており⁴⁾、次式で表わされる。

$$E_p(\theta=90^\circ) = \frac{B}{h} \left[\frac{2p}{(1-p^2)^{1/2}} + 2 \left(\frac{1+p^2}{1-p^2} \right) \tan^{-1} \sqrt{\frac{1+p}{1-p}} - \cos^{-1} p - \frac{\pi p^2}{1-p^2} \right] \dots\dots\dots (3 \cdot 50)$$

ここに (3・50) 式は太さを考慮しない円環の式であって、実けい光灯で蔭になる部分も含まれている。このため測光側に対応する光源部分のみによる照度を求めると (3・51) 式で表わされる。

$$E_p(\theta=90^\circ) = \frac{B}{2h} \left[\frac{2p}{(1-p^2)^{1/2}} + 2 \left(\frac{1+p^2}{1-p^2} \right) \tan^{-1} \sqrt{\frac{1+p}{1-p}} - \cos^{-1} p \right] \dots\dots\dots (3 \cdot 51)$$

(3・50)、(3・51) 式より、(3・49) 式で求められない $\theta=90^\circ$ の方向の配光の差が求められる。(3・49) 式の値を $p=r/h=0.1$ ($h/2r=5$)、 $p=r/h=0.05$ ($h/2r=10$)

の場合

について計算した結果をそれぞれ

第 3・5 図 有限測光距離の配光に及ぼす影響 第 3・5 図に示す。

3.5. 各要因による配光のずれの理想的円環光源からの偏差

本節では b , φ , p の 3 つの影響について詳述した。太さ t , 相互反射 α の影響についてはすでに第 1 報および第 2 報において詳述してある。

本節では各要因について

$$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_s = \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_s - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right] \dots\dots\dots (3 \cdot 52)$$

ただし $s=t, b, \alpha, \varphi, p$

の値を数値計算した結果を報告する。計算結果は t, α については NEC 20 W ($r=85.5$ mm, $a=14.5$ mm, $t=0.1696$) NEC 22 W および T 社 20 W ($r=89.0$ mm, $a=16.0$ mm, $t=0.1798$), 30 W ($r=99.0$ mm, $a=16.0$ mm, $t=0.1616$), 32 W ($r=136.5$ mm, $a=16.0$ mm, $t=0.1172$), 40 W ($r=174.0$ mm, $a=16.0$ mm, $t=0.0920$) の 5 種類について示した。 b については $b=0.1 \sim 0.5$ の範囲でそれぞれ 0.05 の間隔で示す。 φ についてはそれぞれ $6^\circ, 13^\circ, 20^\circ, 26^\circ, 30^\circ, 40^\circ, \varphi=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の各値について偏差を計算した。測光距離の

影響については $A_2(\theta)$ および $A_4(\theta)$ の値および $p=r/h=0.10$ および $p=r/h=0.05$ すなわち測光距離が円環光源の太さの 5 倍および 10 倍に相当する場合についてそれぞれ計算した。

それぞれの結果を第 3・2 表～第 3・7 表に示す。なお表中 90° の位置に 2 つずつ偏差の値が示してあるが、既述のように円環の全体を考慮した場合および測光側のみを考慮した場合の偏差の値を示す。

第 3・2 表 $\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t = \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}$

$t=a/r$	(NEC22W) (東芝 20W) $t=0.1798$	(NEC20W) $t=0.1696$	(30W) $t=0.1616$	(32W) $t=0.1172$	(40W) $t=0.0920$
θ (度)					
0					
10					
20					
30					
40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50					
60					
70	-0.0114	-0.0002	-0.0001		
75	-0.0201	-0.0040	-0.0031	-0.0005	-0.0001
80	-0.0447	-0.0338	-0.0221	-0.0087	-0.0035
85	-0.1562	-0.1515	-0.1471	-0.1072	-0.0624
90	-0.2733	-0.2759	-0.2779	-0.2890	-0.2953
90※	0.0450	0.0424	0.0404	0.0293	0.0230

4.1. 円環光源の近似配光および実験結果との比較

4.1. 円環光源の近似配光の方程式

以上前報および前節迄に理想的円環光源において種々の要因を考慮した場合の影響を考察した。本節ではそれらおよび 2. で詳述した事項を考慮して、円環型けい光灯に対する近似配光の方程式を求めてみる。

すべての要因を考慮した配合の配光は、 $\theta=0$ の方向

第3・3表 $\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\alpha} = \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\alpha} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}$

θ (度) \ α (°)	NEC22W $t=0.1798$	(NEC) 20W $t=0.1696$	(30W) $t=0.1616$	(32W) $t=0.1172$	(40W) $t=0.0920$
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001
20	0.0010	0.0009	0.0009	0.0006	0.0005
30	0.0021	0.0019	0.0018	0.0013	0.0011
40	0.0034	0.0032	0.0030	0.0022	0.0017
50	0.0049	0.0046	0.0044	0.0032	0.0025
60	0.0065	0.0061	0.0058	0.0042	0.0033
70	0.0080	0.0075	0.0071	0.0051	0.0040
75	0.0086	0.0080	0.0076	0.0055	0.0043
80	0.0091	0.0086	0.0081	0.0059	0.0046
85	0.0095	0.0089	0.0084	0.0061	0.0048
90	0.0097	0.0091	0.0086	0.0063	0.0049
90※	-0.0065	-0.0061	-0.0057	-0.0042	-0.0033

第3・4表 $\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_b = \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_b - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}$

θ (度) \ b (°)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.0008	-0.0011	-0.0015	-0.0019	-0.0023	-0.0026	-0.0030	-0.0034	-0.0038
20	-0.0029	-0.0043	-0.0057	-0.0072	-0.0086	-0.0100	-0.0114	-0.0129	-0.0143
30	-0.0059	-0.0089	-0.0118	-0.0148	-0.0178	-0.0207	-0.0237	-0.0266	-0.0296
40	-0.0093	-0.0140	-0.0186	-0.0233	-0.0280	-0.0326	-0.0373	-0.0419	-0.0466
50	-0.0125	-0.0187	-0.0250	-0.0312	-0.0374	-0.0437	-0.0499	-0.0562	-0.0624
60	-0.0146	-0.0219	-0.0292	-0.0365	-0.0438	-0.0511	-0.0584	-0.0657	-0.0730
70	-0.0154	-0.0230	-0.0307	-0.0384	-0.0461	-0.0537	-0.0614	-0.0691	-0.0768
75	-0.0152	-0.0228	-0.0304	-0.0380	-0.0455	-0.0531	-0.0607	-0.0683	-0.0759
80	-0.0147	-0.0221	-0.0294	-0.0368	-0.0441	-0.0515	-0.0588	-0.0662	-0.0736
85	-0.0141	-0.0211	-0.0282	-0.0352	-0.0423	-0.0493	-0.0564	-0.0634	-0.0705
90	-0.0137	-0.0205	-0.0273	-0.0342	-0.0410	-0.0478	-0.0546	-0.0615	-0.0683
90※	-0.0068	-0.0103	-0.0137	-0.0171	-0.0205	0.0239	-0.0273	-0.0308	-0.0342

第3・5表 (a) $\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi}(\psi=0)$

$$= \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}_{\psi=0}$$

θ (度) \ φ (度)	6	13	20	26	30	40
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.0002	-0.0006	-0.0009	-0.0011	-0.0012	-0.0015
20	-0.0010	-0.0023	-0.0035	-0.0044	-0.0050	-0.0061
30	-0.0022	-0.0049	-0.0076	-0.0097	-0.0110	-0.0134
40	-0.0039	-0.0085	-0.0131	-0.0168	-0.0190	-0.0234
50	-0.0058	-0.0127	-0.0196	-0.0252	-0.0285	-0.0354
60	-0.0079	-0.0173	-0.0268	-0.0344	-0.0391	-0.0488
70	-0.0099	-0.0219	-0.0338	-0.0436	-0.0497	-0.0625
75	-0.0108	-0.0239	-0.0370	-0.0478	-0.0546	-0.0689
80	-0.0116	-0.0257	-0.0398	-0.0516	-0.0589	-0.0747
85	-0.0122	-0.0270	-0.0419	-0.0543	-0.0621	-0.0791
90	-0.0124	-0.0276	-0.0429	-0.0556	-0.0636	-0.0812
90※	-0.0062	-0.0138	-0.0215	-0.0278	-0.0318	-0.0406

第3・5表 (b) $\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi}(\psi=\pi/4)$

$$= \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}_{\psi=\pi/4}$$

θ (度) \ φ (度)	6	13	20	26	30	40
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.0000	-0.0001	-0.0001	-0.0001	-0.0001	0.0000
40	-0.0001	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0003	-0.0001
50	-0.0003	-0.0006	-0.0008	-0.0008	-0.0008	-0.0003
60	-0.0007	-0.0014	-0.0018	-0.0019	-0.0017	-0.0007
70	-0.0012	-0.0025	-0.0033	-0.0035	-0.0033	-0.0014
75	-0.0016	-0.0032	-0.0043	-0.0046	-0.0043	-0.0020
80	-0.0019	-0.0039	-0.0054	-0.0059	-0.0056	-0.0026
85	-0.0022	-0.0040	-0.0064	-0.0071	-0.0069	-0.0034
90	-0.0024	-0.0050	-0.0070	-0.0078	-0.0077	-0.0041
90※	-0.0012	-0.0025	-0.0035	-0.0039	-0.0039	-0.0021

第3・5表 (c) $\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi}(\psi=\pi/2)$

$$= \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}_{\psi=\pi/2}$$

θ (度) \ φ (度)	6	13	20	26	30	40
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.0003	0.0006	0.0009	0.0011	0.0013	0.0016
20	0.0010	0.0023	0.0035	0.0044	0.0050	0.0061
30	0.0023	0.0051	0.0078	0.0100	0.0112	0.0136
40	0.0041	0.0090	0.0138	0.0174	0.0196	0.0236
50	0.0065	0.0141	0.0214	0.0269	0.0302	0.0361
60	0.0092	0.0201	0.0303	0.0380	0.0424	0.0502
70	0.0124	0.0272	0.0405	0.0503	0.0557	0.0650
75	0.0144	0.0310	0.0458	0.0565	0.0623	0.0721
80	0.0165	0.0349	0.0510	0.0623	0.0685	0.0785
85	0.0186	0.0386	0.0555	0.0673	0.0736	0.0836
90	0.0202	0.0408	0.0580	0.0699	0.0762	0.0862
90※	0.0101	0.0204	0.0290	0.0350	0.0381	0.0431

第3・6表 $A_2(\theta)$, $A_4(\theta)$, および

$$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_p = \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_p - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}$$

θ (度)	$A_2(\theta)$	$A_4(\theta)$	$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_p$	
			$p=0.05$	$p=0.10$
10	-1.500	1.875	0.0000	0.0000
20	-1.425	1.582	0.0002	0.0007
30	-1.208	0.831	0.0007	0.0027
40	-0.879	-0.049	0.0014	0.0057
50	-0.481	-0.689	0.0022	0.0089
60	-0.064	-0.845	0.0030	0.0119
70	0.315	-0.510	0.0035	0.0140
75	0.604	0.082	0.0037	0.0151
80	0.712	0.380	0.0037	0.0152
85	0.783	0.614	0.0037	0.0152
90	0.823	0.764	0.0037	0.0151
90※			0.0144	0.0330

を基準として近似的に次式で表わされる。

$$\left[\frac{I(\theta; t, b, \alpha, \varphi, p)}{I(\theta=0; t, b, \alpha, \varphi, p)} \right]_{\psi} = \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 + \left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \right\}$$

$$\begin{aligned}
& + \left\{ \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\}_b - \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\} \right\} + \left\{ \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\}_\alpha - \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\}_\alpha \right\} \\
& + \left\{ \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\}_\varphi - \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\}_\varphi \right\} + \left\{ \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\}_\rho - \left\{ \frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right\}_\rho \right\} \\
& = \frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) + \delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t \\
& \quad - b \left[\frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) - \frac{1 + \cos^2 \theta}{2} \right] \\
& \quad + \alpha \cdot \frac{2}{\pi} \frac{1}{\left(1 + \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{\pi}\right)} \left[\left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\right) E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) \right. \\
& \quad \left. + \frac{1}{\pi} \int_{-\pi/4}^{\pi/4} (\phi_{F, p=0} + \cos \phi_{F, p=0} - \sin \phi_{F, p=0}) \sqrt{1 - \sin^2 \theta \sin^2 \left(\phi + \frac{\pi}{2}\right)} d\phi \right] \\
& \quad + \delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi(\phi)} + p^2 \cdot \frac{2}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) \cdot D(\theta) \dots\dots\dots (4 \cdot 1)
\end{aligned}$$

$$\text{ここに} \quad \delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t = \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0 \dots\dots\dots (4 \cdot 2)$$

は文献(1)より次式によって表わされる。

$$[\text{i}] \quad 0 \leq \theta \leq \cos^{-1} \sqrt{a/r} \quad \delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t = 0 \dots\dots\dots (4 \cdot 3)$$

$$\begin{aligned}
[\text{ii}] \quad \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{r}} \leq \theta \leq \cos^{-1} \frac{a}{r}, \quad \varphi_0 = \frac{\pi}{2}, \quad \varphi_t = \sin^{-1} \frac{\sqrt{r^2 \cos^2 \theta - a^2}}{r \sin \theta \cos \theta} \\
\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t = \frac{r \cos \theta}{4 \pi a} (\pi - 2 \varphi_t + \sin 2 \varphi_t) + \frac{1}{\pi} \left\{ -E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) + E(\varphi_t, \sin \theta) \right\} \\
+ \frac{a}{4 \pi r} \left\{ \pi - 2 \tan^{-1}(\cos \theta \tan \varphi_t) \right\} + \frac{a \sin 2 \varphi_t \cos \theta}{4 \pi r (1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi_t)} - \frac{1}{2 \pi} \frac{\sin 2 \varphi_t}{(1 - \sin^2 \theta \sin^2 \varphi_t)^{1/2}} \dots\dots\dots (4 \cdot 4)
\end{aligned}$$

$$[\text{iii}] \quad \cos^{-1} \frac{a}{r} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \quad \delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t = \frac{r \cos \theta}{4 a} - \frac{1}{\pi} E\left(\frac{\pi}{2}, \sin \theta\right) + \frac{a}{4 r} \dots\dots\dots (4 \cdot 5)$$

次に $\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\varphi(\phi)}$ については、 ϕ の代表的な 3 つの方向すなわち、 $\phi=0$, $\phi=\pi/4$, $\phi=\pi/2$ についてはそれぞれ (3・29), (3・35), (3・22) 式で表わされる。

第 4 項の相互反射の項については、文献(2)第 (4・19) 式より求めることができ、(4・1) 式第 5 項 p^2 の項の $D(\theta)$ は (3・49) 式を参照して次式で表わすことができる。

$$D(\theta) = \frac{\{A_2(\theta) - A_2(\theta=0)\} + \{A_4(\theta) - A_4(\theta=0)\}}{1 + p^2 A_2(\theta=0) + p^2 A_4(\theta=0)} \dots\dots\dots (4 \cdot 6)$$

(4・1) 式の詳細な数値計算結果および実験値との比較は 4・2 において述べる。

4.2. 円環型けい光灯の配光の実験結果および計算値との比較

詳細な実験結果および三照度法等に関する検討等については、垂直光度と全光束の関係を求める係数の算定と共に続報において述べる。

本報では取敢えず 4・1 で述べた理論的な近似配光が実験結果と可成り一致することについてその一例を述べ、更にパラメータ b および φ の推定の方法について検討してみたい。

第 4・1 図はサークラインけい光灯の配光試験装置に

同けい光灯を取付けている状況であって、図のようにソケット部において完全に保持し、保持装置あるいは配光試験装置が、光源から受光器へ入る光を全然遮蔽しないような構造とした。

T 社 20 W サークラインけい光灯 ($t=a/r=0.1798$) について、 $\phi=\pi/2$, $\phi=\pi/4$, $\phi=0$ の三方向で測光距離は管の太さの 10 倍 ($p=r/h=0.05$) に保ち配光の測定を行った。

測定結果は第 4・1 表に示す。 $\phi=\pi/2$ の場合については左右の配光は可成り良好な一致を示すが、その他の方向 ($\phi=\pi/4$, $\phi=0$) では左右の配光は可成り異なり、測光器側にソケット部が対向する方向では他方よりかなり低い配光値を示すことが判る。4.1. で述べた近似配光の式は配光の非対称性については全然考慮していないため、実験値と理論値との比較は全て左右配光測定値の平均値を用いて行った。なお実際のサークラインけい光灯は各メーカによって、ソケット部の構造の異なるものがあるが、すべてソケット部の方向から見た時測光側と反対側の円環内面が見えないようにして測定し、すでに理論計算も同様な場合の計算を行ってある。第 4・2 図には第 4・1 表の実験値より求めた配光の左右平均値を示す。

実験値と対比するための近似配光理論値の計算は次のようにして求める。その一例を第4・2表に示す。表は $b=0.2$, $\varphi=30^\circ$, $\psi=\pi/2$ の計算方法を示す。表中

$$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t, \delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\alpha$$

$$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\beta, \delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\varphi$$

$$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\psi$$

等はそれぞれ第3・2表～第3・6表より直接にあるいは図式内挿によって求められる。この結果実験値と理論値の差

は同表最終欄 diff の列に示すようになる。すなわち $\psi=0$, $\psi=\pi/4$, $\psi=\pi/2$ の各方向について, $b=0.2$, $\varphi=30^\circ$, $p=0.05$ として計算し, 同様な偏差を図表化して見ると, 第4・3図(b)のようになる。ここでパラメータ b の影響を検討するため, $b=0.4$ および $b=0.0$ (完全拡散) の場合, 実験値と理論値の偏差を同様に求めると第4・3図(a)および(c)のようになる。

第4・2図 T社20Wサークラインけい光灯の左右配光の平均値(実験値)

第4・2表 T社20W $\psi=90^\circ$ ($b=0.2$, $\varphi=30^\circ$)

θ (度)	$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_t$	$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\alpha$	$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\beta$	$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\varphi$	$\delta \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\psi$	(1)	(2)	$\frac{(1)+(2)}{=(3)}$	(4)	(4)-(3)
						$\Sigma \delta_i$	$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_0$	$\left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_\psi$	実験値	diff
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000	1.000	0.000
10	0.0000	0.0003	-0.0015	0.0013	0.0002	0.0003	0.9924	0.9927	0.994	0.001
20	0.0000	0.0010	-0.0057	0.0050	0.0007	0.0010	0.9701	0.9711	0.971	0.000
30	0.0000	0.0021	-0.0118	0.0112	0.0014	0.0029	0.9342	0.9371	0.940	0.003
40	0.0000	0.0034	-0.0186	0.0196	0.0022	0.0066	0.8869	0.8935	0.899	0.005
50	0.0000	0.0049	-0.0250	0.0302	0.0030	0.0131	0.8311	0.8442	0.852	0.008
60	0.0000	0.0065	-0.0292	0.0424	0.0035	0.0232	0.7710	0.7942	0.801	0.007
70	-0.0114	0.0080	-0.0307	0.0557	0.0037	0.0253	0.7120	0.7373	0.754	0.017
75	-0.0201	0.0086	-0.0304	0.0623	0.0037	0.0241	0.6853	0.7094	0.732	0.013
80	-0.0447	0.0091	-0.0294	0.0685	0.0037	0.0072	0.6622	0.6694	0.674	0.005
85	-0.1562	0.0095	-0.0282	0.0736	0.0037	-0.0976	0.6447	0.5471	0.533	-0.014
90	-0.2733	0.0097	-0.0273	0.0762	0.0037	-0.2110	0.6366	0.4256	0.433	0.007
90※	0.0450	-0.0065	-0.0137	0.0381	0.0144	0.0773	0.3183	0.3956	0.433	0.037

(注) ※ $\theta=90^\circ$ で光源の測光方向のみを考慮した場合

※※ 第4・1表より転載。※※※ $\left\{ \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\exp} - \left[\frac{I(\theta)}{I(\theta=0)} \right]_{\text{theo}} \right\}$ の値。

第4・1図 サークラインけい光灯の配光測定装置

すなわち完全拡散の場合は, 理論配光値が $b=0.2$ の場合より $0^\circ < \theta < 90^\circ$ において大きい。ため, 同一実験値に対しては, 第4・3図(c)に示すように負の偏差を持ち, 同様な理由により $b=0.4$ の場合は正の偏差を持つことが判る。すなわちパラメータ b の変化によっては,

第4・3図 T社20Wサークラインけい光灯の平均配光実験値の理論値からの偏差

第4・1表 T社20Wサークラインけい光灯の配光測定データ

($p=0.05$)

θ (度)	$\psi=0$			$\psi=\pi/4$			$\psi=\pi/2$		
	I	II	平均	I	II	平均	I	II	平均
0	100.00	100.00	100.0	100.00	100.00	100.0	100.00	100.00	100.0
10	99.95	98.88	99.2	99.84	98.33	99.1	99.36	99.52	99.4
20	96.85	95.22	96.0	97.69	94.53	96.1	97.26	97.03	97.1
30	92.65	90.32	91.5	94.65	89.68	92.2	94.29	93.73	94.0
40	86.85	83.32	85.1	89.75	83.28	86.5	90.45	89.37	89.9
45	83.71	79.83	81.8	86.76	79.78	83.3	88.00	86.89	87.5
50	80.31	76.26	78.3	83.78	76.36	80.1	85.80	84.56	85.2
60	73.43	68.68	71.1	77.68	69.71	73.7	80.81	79.31	80.1
70	67.30	61.39	64.4	71.59	63.25	67.4	76.32	74.50	75.4
75	64.07	58.02	61.1	68.84	60.21	64.5	73.97	72.42	73.2
80	58.28	51.54	54.9	64.44	51.98	58.2	66.23	68.55	67.4
85	50.45	36.00	43.2	54.37	36.49	45.4	51.52	55.04	53.3
90	46.36	21.89	34.1	47.14	26.45	36.8	44.02	42.56	43.3

注 I, II はそれぞれ左右配光を示す

第4・4図 T社20Wサークラインけい光灯の平均配光実験値の理論値からの偏差

目角度を示すパラメータ φ を 30° から 13° に変化すると、 $\varphi=90^\circ$ の方向では偏差は更に正に大となり、 $\varphi=0^\circ$ の方向では負の方向に大きく変化する。また $\varphi=30^\circ$ から 40° に変化すると、逆に $\varphi=90^\circ$ の方向では偏差は減少し、 $\varphi=0^\circ$ の方向で正の方向に増大する。第4・4図から見られる興味ある事柄は、欠け目角度を示すパラメータ φ の変化によって、偏差の相対関係は大きく変化する。しかし3つの方向 ($\psi=0, \pi/4, \pi/2$) に対する偏差の平均値は b の値が一定である限りほとんど変化をしない。とくに $\psi=\pi/4$ の方向では欠け目角のパラメータ φ の変化に対してはほとんど影響をうけないことがうかがわれる。

すなわち以上の検討から、 b の値としては3方向 ($\psi=0, \pi/4, \pi/2$) での配光に関する実験値と理論値の差の平均値が主要部においてほとんど零になるように定めるとよく、また φ の値としては $\psi=0, \pi/2$ の二方向における配光の実験値と理論値の偏差ができるだけ一致するような角度 φ を定めるとよい。このような b または φ の決定には統計的な手法を用いて厳密に求めることも必要であるが、一応第4・3図、第4・4図等を考慮すれば、 $b=0.2$ 、 $\varphi=30^\circ$ に可成り近い所に最良点があるように思われる。

ここに b は光源表面の輝きの方向特性を示す係数であるが、黒沢博士等は直線型けい光灯について各方向毎の配光測定値から b (同氏等の論文の k に対応) に対する値をもとめられた⁹⁾。この値は予想とは反して、各方向で必ずしも一定とならず、かなり大きく変化することを述べておられるが、結論的には Einhorn-Sauerermann 両氏の仮定、すなわち完全拡散と2次拡散の重みつき平均でけい光放電管の配光を示すことはかなり良い近似であると述べておられる。けい光灯表面の輝きの方向特性につ

正又は負の方向にずれることが判る。

次に欠け目角度 φ の影響をみるため、 $b=0.2$ 、 $\varphi=30^\circ$ を基準とし、 $b=0.2$ を一定に保ちながら $\varphi=13^\circ$ または 40° に変化した場合の実験値と理論値の偏差を各方向について求めてみると、第4・4図のようにな

る。すなわち欠け

いてはさらに実験的に詳細な調査が必要であるが、以上の点も考慮して b の値を、ここでは一応サークライン配光の実験値を理論値に調整するための調整用パラメータと考えることも許せるであろう。

次に欠け目角を表わすパラメータ φ について考える。筆者の測定したT社20Wでは実際の欠け目角(全然発光しない部分を円弧とする中心角)は $2\varphi=19^\circ 17'$ ($\varphi=9^\circ 39'$) 程度である。これに対して Einhorn-Sauerermann 氏等は管端における輝き低下を考慮して実効長の考えを導入した。けい光灯の実際の長さを L 、実効長を L_e とすると実験結果を考慮して $L_e=0.92L$ とすると実験結果とよく一致することを述べた。サークラインけい光灯について同様に実効長を $0.92L$ と考えると実効欠け目角度 $2\varphi=46^\circ 32'$ ($\varphi=23^\circ 16'$) となりかなり $\varphi=30^\circ$ に近くなることが判る。 $\varphi=30^\circ$ に対して実効欠け目角を φ とすると実効係数を求めると0.88の程度となる。すなわちサークラインけい光灯に対しても、直線型けい光灯の実効長に相当する実効欠け目角を考慮することが必要であることが判る。

なお各方向に対する配光測定値と理論値を比較した結果を、第4・5図にルーズ線図で示す。図より判明するように、実験値と理論値の一致はかなり良好であり、太さを考慮しない理想的な円環光源の配光に比べて、本報でのべた近似配光の式は実験誤差および光源の構造の不整等を考慮するとき、かなりよい近似であることが判る。

第4・5図 T社20Wサークラインけい光灯の近似配光の理論値と実験値の比較
注 1) 閉点は実験値を示す
2) * $\theta=90^\circ$ で測光側のみ考慮した理論値

第4・3図および第4・4図それぞれ(b)の曲線を詳細に眺めて見ると、配光の実験値と理論値の差は 70° 以上の所でややくせのある曲った特性を示すようである。これは太さの影響と他の要因の組合わせの効果がこの附近で表われるためであり、(2・6)式で省略した高次の項に対応するものと思われる。さらに $\theta=90^\circ$ の方向においては円環の全体を考慮した場合に加うるに、測光側のみ

第4・3表 NEC 40 W サークラインけい光灯
の配光実験値と理論値

θ (度)	$\phi=0$		$\phi=\pi/4$		$\phi=\pi/2$	
	実験値	理論値	実験値	理論値	実験値	理論値
0	1.000	1.0000	1.000	1.0000	1.000	1.0000
10	0.993	0.9908	0.991	0.9917	0.985	0.9926
20	0.967	0.9641	0.969	0.9676	0.970	0.9711
30	0.929	0.9216	0.935	0.9291	0.937	0.9370
40	0.869	0.8658	0.887	0.8786	0.892	0.8927
50	0.803	0.8009	0.827	0.8197	0.841	0.8419
60	0.733	0.7323	0.764	0.7573	0.788	0.7894
70	0.665	0.6666	0.703	0.6971	0.733	0.7409
75	0.643	0.6373	0.679	0.6700	0.711	0.7201
80	0.610	0.6093	0.655	0.6437	0.688	0.7001
85	0.531	0.5321	0.575	0.5676	0.615	0.6295
90		0.2908		0.3267		0.3917
90※		0.3358		0.3538		0.3863

ただし (1) $t=0.0920$ $p=0.10$ $b=0.20$ $\varphi=20^\circ$
(2) 実験値は左右配光の平均値

を考慮した場合の計算値を同図上に独立して置点してみたが、後者の方がやや良好な一致を示すようである。

なおパラメータ t , b , α , φ 等の値がさらに小さくなる 40 W サークラインに対しては、(2・6) 式で省略した高次の項の影響が小さくなり理論との一致がさらに良好となることが予想され、筆者の実験結果もこのことを証明した。NEC 社 40 W サークラインけい光灯について、 $\phi=0, \pi/4, \pi/2$ の3つの方向について配光の測定を 20 W の場合と同様に行った。配光測定の実験結果および理論配光計算値は第 4・3 表に示す。理論配光値の計算のもととなった $t=a/r=0.0920$ の値は構造より定まり、測光距離は円環の大きさの 5 倍が選ばれたので、パラメータ $p=r/h=0.10$ に相当する表が用いられた。定められた t および p の値より円環の太さの配光に及ぼす影響、相互反射の配光におよぼす影響、測光距離の配光に及ぼす影響等がそれぞれ第 3・2 表、第 3・3 表および第 3・6 表より定められる。

次にパラメータ b については、 ϕ の 3つの方向についての実験値と理論値それぞれの平均値の一致から、ほぼ $b=0.2$ と定められ、実効欠け目角 2φ の値は実効長を $0.92L$ (L はランプ長) として約 $2\varphi=40^\circ$ と選定された。第 4・6 図は ϕ の 3つの方向における近似理論配光の値をルーズ図に示す。第 4・7 図には配光実験値(左右配光の平均値)の理論値からの偏差を示す。図より判明するように約 85° 迄ほとんど $\pm 1\%$ 以内の偏差におさまることがうかがわれ、20 W の場合よりさらに良好な一致が認められる。

なお本けい光灯はソケット部に空間的な欠け目の認められる構造であり、欠け目方向から規定した場合対面の円環内面が認められる構造であるが、測定はソケット部を黒色ホルダおよび布でおおい、欠け目方向から円環内

面を規定できないようにして行った。

次に測光距離について検討してみよう。第 4・8 図の

第4・6図 NEC 40Wサークラインけい光灯の近似配光理論値 (* 測光側のみ考慮した場合)

ように長さ L の直線型けい光灯と、半径 r なる円環光源との測光距離の比較を行ってみる。今両光源の長さを等しくする。

$$L=2\pi r \cdots (4.7)$$

測光距離 h を両光源に対して等しくした場合の、各光源最大寸法を単位とする測光距離の値は、それぞれ

直線型けい光灯に対しては h/L

円環光源に対しては

$$h/2r=1/(2p)$$

で表わされ、 h/L の 1,

2, 3, 5, 7, 10に対する $h/2r$ の値は第 4・4 表に示される。

筆者等は円環型けい光灯に対する測光距離として、40 W に対しては $h/2r \geq 5$, 20 W に対しては $h/2r \geq 10$ 程度の値を推奨したいと考えているが、これは第 4・4 表より直線型けい光灯に対しては、それぞれ $1.6L$ および $3.2L$ の程度であることが判る。すなわち直線型けい光灯で測光距離を 5 倍または 10 倍とするような照度の減少はなく、測定に好適であることが判明する。

このような配光実験値と理論値の偏差に関する情報をさらに集積して、理論配光より計算した全光束値に対す

第4・7図 NEC 40Wサークラインけい光灯の配光実験値の理論値よりの偏差

第4・8図

第 4・4 表 直線光源と円環光源の測光距離の関係
(ただし $L=2\pi r$ とする)

直線光源について h/L	円環光源について $h/2r$	直線光源について h/L	円環光源について $h/2r$
1	3.14	0.32	1
2	6.28	1.59	5
3	9.42	3.18	10
5	15.70	4.77	15
7	21.98	6.37	20
10	31.40	9.55	30

る補正係数のような値を求めることも残された一つの問題であるが、第 4・5 図を考慮すれば (4・1) 式で示す円環型けい光灯に対する近似配光の式は実用測光の目的にもかなり使用できるものと思われる。従来この種のけい光灯を配光測光するには光が角 φ の変化と共に甚だしく変化するため測光方向を極めて多数選ぶ必要があったが、このような目的に対する一つのより所とすることができる。またこの種のけい光灯と、電球または直線型けい光灯とを球形光束計内において比較して光束値を求めるにも、配光、色、塗料および塗装等種々な問題があり、精密に測定することはかなり複雑な問題である。本報で述べたような配光法でえられた光束値 (精密には理論と実験の偏差も補正する必要があるが) と球形光束計法の比較も今後に残された問題であろう。

5. 結 言

以上本報で述べたことを要約すると次のようである。

- (1) 光源面の輝きの方向特性が完全拡散からずれるときの配光の変化、円環光源の欠け目角が配光に及ぼす影響、有限測光距離で試験する時の配光に対する補正等について、太さを考慮しない理想的円環光源の配光を基準として論じた。
- (2) 円環型けい光灯の配光を与える近似式を求めるための手順を述べ、円環の太さ・円環内面の相互反射・および本報で述べた他の 3 つの要因のすべてを考慮した配光の近似式を求めた。さらにそれらの数値を求めるための詳細な表を与えた。
- (3) 円環型けい光灯に関する左右配光実験値の平均値

と理論式とはかなり適合することが認められた。なお要因効果を示すパラメータのうち、 t (太さ)、 α (相互反射)、 p (測光距離)等は測定条件とサークラインけい光灯の寸法によって定まり、 b (拡散性)、 φ (欠け目)は配光実験値と理論値の適合性から推定されることを述べた。

今後このような実験を各方面で多数実施して、本報で述べたサークラインけい光灯の近似配光理論式の適用性および b , φ , 等の値を求めることが期待される。

6. 謝 辞

本研究の遂行に終始御懇切な御指導御鞭撻を賜わる当所支所長岡田喜義博士に厚く御礼申し上げる。なお本報告の執筆に際しては末尾記載の文献を種々参照させて頂いたが、特に山内二郎教授ならびに黒沢博士等の御報告からは多数の引用をさせて頂きまた啓発される所極めて多かった。ここに謹んで厚く御礼申し述べたいと思う。

なお部内にあっては当支所研究課長佐土根範次博士、高温輻射研究室主任石川真澄技官には内容の検討ならびに研究推進上の便宜を頂き、僚友栗岡豊技官よりは繁雑な計算ならびに実験に終始真摯な協力を得た。さらに配光試験装置の工作を担当された工務係長菊本実技官ならびに原稿の浄書について便宜を得た阪上みよ技官に対しても併せて謝意を表する次第である。(昭 34.7.6 受付)

参 考 文 献

- (1) 納谷嘉信：照学誌 41 (昭32) 484
- (2) 納谷嘉信：照学誌 42 (昭33) 480
- (3) 納谷嘉信：照学誌 43 (昭34) 132
- (4) 山内二郎：電試研報 No. 148 (1924年)
- (5) H. D. Einhorn and J. D. Sauermann: Jor. Ins. Elec. Eng. 95 (1948) 319
- (6) 黒沢, 伊東, 堀：照学誌 38 (昭29) 192
- (7) 関 重広：照学誌 28 (昭19) 51
- (8) 池田進三：東芝技報 22 (昭18) 217
- (9) E. A. Lindsay: Illum. Eng. 39 (1944) 23
- (10) D. Bierens De Haan: 定積分表 (1953) 技報堂発行