けい光灯に関する相互反射 (II)

正会員 坊 博* 専門会員 竹 山 説 三*

On the Interflection Concerning Fluorescent Lamp (Part II)

By Hiroshi Bō (Member) and Setsuzō Takeyama (Fellow Member)

(Faculty of Engineering, Osaka University)

ABSTRACT

The interflection in outer surface of a circular fluorescent lamp has been calculated with the approximate method, in which the circular cylindrical toroidal was reduced to the hexagonal cylindrical toroidal and finally to the equivalent circular cylinder.

From the results of calculated luminance ratio between total and initial luminances of the internal surface of the equivalent circular cylinder, the increment of the light intensity along the axis of the symmetry was obtained, and was compared with the experimental data. Good agreement was obtained between calculated and measured results.

論 文 要 旨

サークライン型けい光灯の円環内側における相互反射を円環状六角柱に近似して取扱ひ、その円環状六角柱をさらに等価反射率、寸法をもつ端面のない有限長の円筒に等価的に置換して、その内面の相互反射による平均輝きにつき計算を行い、それより円環状六角柱の各面の相互反射後の平均輝きと、その相互反射なき場合の平均輝きとの比を求めるとともに、円環の中心軸上における相互反射による光度増加率を求めて実験と比較し、両者が良く一致していることが判明した。本計算方法は、非常に簡単な解析および手数で、円環のごとき複雑な形態の光源における相互反射による平均の輝きの変化が求められる特徴をもっている。

1. 緒 言

けい光灯の相互反射に関して、さきに複数個のけい光灯を平行に配列して点灯した場合におけるランプ相互間、あるいは、ランプと反射板との間等の相互反射を、積分方程式の近似解法により求めた結果につき報告した。¹⁾ 今回更にサークライン型けい光灯の円環の内側における相互反射を前報と同様な近似解法で取扱った。

サークライン型けい光灯の円環の内側における相互反射は従来あまり取扱われてなく、したがってどの程度の相互反射が存在し、またそれがサークライン型けい光灯

の配光等いかに影響しているか不明で、その概略値でもと見当をつけるために近似計算を試みた。

2. サークライン型けい光灯における相互反射²⁾

サークライン型けい光灯では、その形状が円環状をなしている。しかもその円環表面はけい光塗料のために相当大きい反射率をもっている。したがって、その円環の内側の互に向い合った面、すなわち第1図のa面は、互に相互反射を行う。その相互反射による円環内側の輝き

第1図 サークライン型けい光灯

増加を、相互反射の積分方程式を直接解かずに、前報¹⁾に説明した分割法により近似的に取扱ひ、その結果より環軸方向の光度増加の近似式を導いて、実験結果との比較検討を容易にした。

2.1 円環状六角柱による近似

サークライン型けい光灯の円環内側における相互反射による輝き増加を求めるために、円環状円筒のランプを円環状六角柱に第2図(a)のごとく置き換える。つきにこの置換された円環状六角柱における相互反射を考え

* 大阪大学工学部

る場合に、第2図(b)のごとき円筒を考え、その内面の相互反射の結果が、円環状六角柱の場合と等価になるごとく円筒の半径および内面の反射率を考え、この等価円筒の内面の相互反射による輝き増加を求めて、サークライン型けい光灯の円環内側の相互反射による平均輝き増加を取扱う方法を考案した。

無限長けい光灯が二本平行に点灯されている場合の相互反射による相対する部分の輝き増加は、前報¹⁾のごとく第3図のように、そのけい光灯に内接する無限長正六

第 2 図 円環の円環状六角柱および円筒への近似

角柱に近似し、その間の相互反射による輝き増加として求めることが判明したので、それと同様にサークライン型けい光灯の場合にも、その円環の内側の相互反射による輝き増加を、このランプを円環状六角柱に近似して考える。

2.2 円環状六角柱の円筒による近似

円環状六角柱の円環の内側の相互反射による平均輝き増加を求めるに際し、これと等価な相互反射による平均輝き増加をもつ円筒を考える。この等価円筒の反射率お

第 3 図 無限長円柱を無限長六角柱に近似

よび直径は次のような仮定より求める。

すなわち、前報と同様に、第3図のごとく置かれた二本の平行な無限長正六角柱において、その相対する面、1, 2 と 1', 2' はそれぞれ相互反射系をなしている。こ

で各面が完全拡散面で、すべて等しい反射率 ρ および初期平均輝き B_0 を有する場合、1 面の平均輝き比 b_1 は、前報¹⁾の(14)式より

$$b_1 = \frac{B_1}{B_0} = \frac{1}{1 - \rho\beta} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし

$$\beta = \frac{1}{2a} (I_3 - I_1) \\ = \frac{1}{2a} \left\{ \sqrt{(d-a)^2 + (\sqrt{3}a)^2} - (d-a) \right\}$$

a : 各面の幅

d : 無限長六角柱間の中心距離

B_1 : 1 面の相互反射後の平均輝き

となる。

また一方、第4図のごとく置かれた同じ幅をもつ二枚の平行な無限長平板において、その相対する面 1, 2 は相互反射系をなしている。ここで各面が完全拡散面で、両面とも等しい反射率 ρ' および初期平均輝き B_0' を有する場合、相互反射後の1面の平均輝きを B_1' とすると、その比 b_1' は

$$b_1' = \frac{B_1'}{B_0'} = \frac{1}{1 - \rho'\beta'} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ただし } \beta' = \frac{1}{2W} (2I_3' - 2I_1')$$

W : 各平板の板幅

I_1' : 平板間の距離

となる。

ここで無限長平板間の場合の平均輝き比 b_1' を、無限

長六角柱間の場合の平均輝き比 b_1 に等しくするようにすると、(1), (2)式における $\rho\beta$ および $\rho'\beta'$ は、それぞ

第 4 図 無限長平板間の相互反射

$$\rho\beta = \frac{\rho}{2a} (I_3 - I_1) \\ = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\rho}{\sqrt{3}a} (2I_3 - 2I_1) \\ \rho'\beta' = \frac{\rho'}{2W} (2I_3' - 2I_1')$$

と表わされるから

$$W = \sqrt{3}a, \quad \rho' = \frac{\sqrt{3}}{2}\rho \equiv \rho_e, \quad I_1' = I_1 = d - a \quad \dots\dots (3)$$

とすればよい。以上の結果を換言すれば、無限長六角柱間の相互反射は、それと等価な反射率および寸法をもつ平行平板間の相互反射に置き換え得る。すなわち、一辺の幅 a 、反射率 ρ 、距離 d なる無限長六角柱間の相互反射による輝き増加は、幅 $\sqrt{3}a$ 、反射率 $\rho_e = \sqrt{3}\rho/2$ 、距

離 $d-a$, なる無限長平行平板間の相互反射による輝き増加と等価である. この反射率 ρ_e を等価反射率ということにする.

いま円環状六角柱の内側の相互反射による平均輝き増加を求めるに際し, 上述の無限長六角柱より平行平板への等価置換が適用し得るものと仮定して, 管径 $2a$, 反射率 ρ , 環径 d なる円環を, 長さ $\sqrt{3}a$, 反射率 $\sqrt{3}\rho/2$ 直径 $d-a$ なる円筒として取扱い, その等価円筒内面の平均輝き増加を以下に求める.

2.3 円筒の内面の相互反射による輝き増加

端面のない有限長円筒の内面が完全拡散面で, 一様な反射率 ρ および一様な初期輝き H_0 を有する場合, この内面の一端から s なる点における相互反射後の輝き $H(s)$ は P. Moon³⁾ によって, 次のように表わされている.

$$H(s) = (B \cosh ks + C \sinh ks + D) H_0 \dots \dots \dots (4)$$

$$B = \frac{-\rho}{1-\rho} \frac{(1-\rho)^{1/2} (\cosh kl + 1) + \sinh kl}{2(1-\rho)^{1/2} \cosh kl + (2-\rho) \sinh kl}$$

$$C = \frac{\rho}{1-\rho} \frac{(\cosh kl - 1) + (1-\rho)^{1/2} \sinh kl}{2(1-\rho)^{1/2} \cosh kl + (2-\rho) \sinh kl}$$

$$D = \frac{1}{1-\rho}$$

$$k = \frac{P}{2S} (1-\rho)^{1/2}$$

ただし P : 円筒の断面の円周,

S : 円筒の断面積,

l : 円筒の長さ.

ゆえに, 円筒の内面の微小面内における輝きが一樣と考えると, 円筒内面の一端より s なる点における相互反射後と前の輝き比は,

$$b(s) = \frac{H(s)}{H_0} \dots \dots \dots (5)$$

となり, さらに円筒の内面の平均輝き比 b は次のごとく表わされる.

$$b = \frac{\int_0^l b(s) ds}{\int_0^l ds} = \frac{1}{kl} [B \sinh kl + C (\cosh kl - 1)] + D \dots \dots \dots (6)$$

したがって, (6)式に等価円筒の諸量を代入して計算すれば, 円環状六角柱, すなわち円環の相互反射後の平均輝きと初期平均輝きとの比が得られる.

2.4 円環の中心軸方向の光度比

円環の中心軸方向の相互反射による光度増加は, 円環を円環状六角柱に近似し, 先に述べた近似法により求めた円環の内側の輝き比 b を用いて求める.

円環の中心軸方向の光度で, 相互反射の有るときと無いときをそれぞれ I, I_0 とし, 光度増加率を ΔI とすると, 光度比は

$$\frac{I}{I_0} = 1 + \Delta I \dots \dots \dots (7)$$

となる. 一方, 円環を第5図のごとき円環状六角柱に近似すると, 1, 2, 3各面の円環の中心軸方向 AA' の光度

第5図 円環状六角柱の円環軸方向の光度の算出は, それぞれ

$$1 \text{ 面 } B \quad S_1 = (1+\sigma) B_0 \pi \left(\frac{da}{2} - \frac{3}{4} a^2 \right)$$

$$2 \text{ 面 } B_0 \quad S_2 = B_0 \pi ad$$

$$3 \text{ 面 } B_0 \quad S_3 = B_0 \pi \left(\frac{da}{2} + \frac{3}{4} a^2 \right)$$

ただし, B_0 : 各面の初期平均輝き

$$\sigma: \text{輝き増加率 } \sigma = \frac{B}{B_0} - 1 \dots \dots \dots (8)$$

B : 各面の相互反射後の平均輝き

S_1, S_2, S_3 : 各面の円環軸方向の正射影面積

となり. 相互反射のあるときと相互反射のないときとの円環の中心軸方向の光度比は

$$\frac{I}{I_0} = 1 + \frac{1}{4} \sigma \left(1 - \frac{3}{2} \frac{a}{d} \right) \dots \dots \dots (9)$$

となり, したがって中心軸方向の光度増加率は

$$\Delta I = \frac{1}{4} \sigma \left(1 - \frac{3}{2} \frac{a}{d} \right) \dots \dots \dots (10)$$

となる. すなわち, サークライン型けい光灯の円環の中心軸方向の, 相互反射による光度増加率は, その円環の内側反射による輝き増加率の $\frac{1}{4} \left(1 - \frac{3}{2} \frac{a}{d} \right)$ に等しいことが近似法により分る.

2.5 計 算

サークライン型けい光灯の相互反射による輝き増加を求めるに際し, その円環が実際には一樣なる初期輝きを有するものでなく, またそのソケットの部分においては初期輝きもなく, 拡散反射率も大いに異なる点を考慮してランプ全体の平均反射率 ρ_m を求めると

$$\rho_m = \alpha \rho_w + \beta \rho_s$$

ただし α : ランプの発光部分のランプ全面積に対する比

β : ランプのソケット部分のランプ全面積に対する比

ρ_w : ランプの発光部分の拡散反射率

ρ_s : ランプのソケット部分の拡散反射率

となる. 計算にはこの平均反射率 ρ_m を用いた.

サークライン型けい光灯の 22W 型および 32W 型について、その円環の内側の相互反射による平均輝き増加率 ρ および円環の中心軸方向の光度増加率 ΔI を(8), (10) 式

第 1 表

32W および 22W サークライン型けい光灯の相互反射の計算値および実測値

種 類			32W	22W
円環	管 径	$2a$	31.4 mm	32.66 mm
	環 径	d	272.5 mm	180.77 mm
	反 射 率	ρ	0.66	0.66
	平均反射率	ρ_m	0.64	0.62
等価円筒	長 さ	$l = \sqrt{3} a$	27.28 mm	28.27 mm
	直 径	$d - a$	256.75 mm	164.44 mm
	等価反射率	$\rho_e = \frac{\sqrt{3}}{2} \rho_m$	0.55	0.53
	k		0.005227	0.008338
	輝 き 比	b	1.0574	1.0887
光度増加率 ΔI	輝き増加率	σ	0.0574	0.0887
	計 算 値		0.0130	0.0191
実 測 値			0.014	0.021

より求め、その結果を第 1 表に示す。ただしランプの反射率は 66% として計算した。

2.6 実 測

サークライン型けい光灯の円環の内側の相互反射による輝き増加を求めるに際し、その円環の中心軸方向の光度増加を実験により求めた。実験方法は、ランプを懸垂し、そのランプの円環の内側の相互反射のある場合となない場合の各々について、ランプの円環の中心軸にて光度を測定し、相互反射のある場合のない場合に対する光度比、光度増加率を求めた。ここで、ランプの円環の内側の相互反射をなくするために、低拡散反射率を有する数

枚の隔壁を円環の内側に挿入し、円環の内側の相対する面間あるいは隣接せる面間の相互反射をなくするようにした。

22W 型, 32W 型, 各サークライン型けい光灯について実験し、その結果を第 1 表に示す。

第 1 表より、実測値と計算値がよく一致していることが分る。したがって、本計算のはじめにおける無限長六角柱より無限長平行平板への等価置換を、この円環の場合に適用しても差支えないことが分り、非常に簡単な計算で、円環の相互反射による平均輝き増加等が計算出来ることが明かとなった。

3. 結 言

サークライン型けい光灯における円環の内側の相互反射を、簡単な円筒における場合に近似し、その結果を用いて、相互反射による円環の中心軸方向の光度増加率を計算にて求めるとともに、32W 型, 22W 型両サークライン型けい光灯につき実測した結果と比較し、両者のよく一致していることが見られた。この計算方法の特徴は、円環光源をそれと等価な寸法、反射率をもつ等価円筒に置き換えて、その平均輝きにつき種々検出出来る点であって、計算がきわめて簡単にできる点および取扱う諸量はすべて平均の値を用いて行うことである。

終に、本研究にあたり、計算ならびに実験にご協力下さった平田順一氏、ならびに研究室諸氏に厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) 坊, 竹山 : 照学誌 41 (昭32) 312
- 2) 竹山, 坊, 平田 : 電気関係学会関西支部連合大会 予稿 (昭32—10) 123
- 3) P. Moon : J. Opt. Soc. Amer. 31 (1941) 223