照明施設設計者への助言[†]

専門会員 松田 宗太郎*

1. はじめに

われわれ照明技術関係の者の日常業務の中には、基礎的知識として知ってはいるが、実際的な設計業務の際には、ややもすると詳細を調べる余裕がなく、不明確なまま過ごしてしまうような事柄がかなり多いようである。

この種の事柄のうち、「広い事務室などでは天井を低くしても照度向上、省エネルギーにはたいして役立たない」「意匠上の制約などから、けい光ランプを数多く入れ過ぎた照明器具は、設計どおりの明るさが得られない」などについてさきに本誌で報告¹⁾したが、今回はさらに、照明設計の実務に役立つようないくつかの事柄について述べることにする。

2. けい光ランプ数の密度と明るさ、ランプ電流および110V用安定器の使用について

前報¹⁾の「ランプ数の多すぎるけい光灯具の明るさ」において放熱の不十分なけい光灯具を用いると、設計どおりの照度が得られない（電力は設計どおり消費

しているが）ことがあることを述べた。今回は、このような場合には110V用安定器を用いるほうが、省エネルギーになるということについての実験結果を報告する。

2.1 実験内容と測定結果

照明器具内のけい光ランプが多すぎると、ランプ温度が上昇し、ランプの抵抗が減ってランプ電流が増し、かえって明るさが減ることがあるが、この状態を実験的に作って測定を行なった。

すなわち、40Wけい光ランプ3灯用の乳白パネル付き埋込み標準形器具を用い、3灯のときと、むりに7灯に増したときの明るさ、およびランプ電流の時間的変化の関係を100V用安定器と110V用安定器について測定した。この結果を整理したものを図1(a), (b), (c)に示す。

図1(a), (b)の実線は前回報告¹⁾したものであり、点線は今回測定したランプ電流を示す。

図1(a)では、点灯後時間が経過してもほぼ同じ照度が得られているが、図1(b)のようにむりにランプ数を多くして、放熱が不十分となった照明器具の場合は、点灯後

図1 100V用および110V用安定器のときの明るさ、ランプ電流の時間的変化

- (a) 温度のことも考慮してつくられた照明器具の場合の測定例
- (b) 温度のことも考慮なしに不用意にランプ数を多くした照明器具の場合の測定例（点灯後、数分で明るさが急激に下がり設計どおりの照度が得られない）
- (c) (b)と同じ器具で安定器を110V用に変えて電流を押えた場合の測定例（最初の明るさは(b)よりやや暗いが、数分後にはかえって明るくなる。ただしランプの再起動がしにくいことがある）。

数分経つと急激に照度が下がっている。この原因はランプ温度の上昇によるものであるので、図1(c)のようにランプの発熱量を下げるために110V用安定器に取り換え

[†] Advice for Designer of Lighting Installations.
* 松下電工株式会社 LAB Sotaro Matsuda

ると、点灯直後の照度は下がるが、全体としてはかえって照度は増加する。

この測定値は、照明器具の形状や材質など放熱状態によってかなり異なるので、図1は大体の傾向を示す参考的なものであるとお考えいただきたい。

なお、110 V 用安定器を 100 V で用いた場合は、ランプの種類によっては、高温時での再点灯が困難なことがあるので実用の際には注意が必要である。

2.2 参考実例

上述の考え方は、いろいろな場合に应用できるものであるが、図2(a)、(b)に示すような、密閉された壁面に多数のけい光ランプを密接して並べたスタンドガラスの照明²⁾の場合にも 110 V 用安定器を 100 V で用いている。

図2 けい光ランプを密接して並べたスタンドガラスの照明²⁾ (110 V 用安定器を 100 V で使用)

3. 照明器具の輝度を下げるのに黒色ルーバにこだわらないこと (ブラウン管に天井の照明器具がうつるのを防ぐ)

最近、コンピュータの端末機としてのブラウン管の使用が増加しているが、このブラウン管に天井の照明器具がうつり、ブラウン管の文字などの映像を見にくくしている例が多い。

これを防ぐには照明器具の輝度を低くすればよいが、その方法には一般に黒色ルーバが用いられている。ところが黒色といえども数%の反射率があり、かつルーバ面の照度はランプに近いので、数千ルクスもあるためかなりの輝度があり、ブラウン管にうつるのを完全に消すことが困難である。そしてルーバの深さを深くするなど工夫をすればするほど、照明器具としての効率も極端に悪くなる。

そこで発想を変えて、照明器具の開口部には何も設け

図3(a) 低輝度形器具の原理と効率

図3(b) 反射板を黒くする理由

ず下面開放形とし、ランプの位置を深くして反射板を正反射性の材料を用いて、図3(a)のような形状とすれば効率が高く、きわめて低輝度の照明器具を作ることができる³⁾。

ただし、この方法はブラウン管と照明器具の方向関係が制限されるが、原理が関係者に理解されれば現実にはあまり問題とならないと思われる。

図3(a)は上述した原理と効率を示す図であり、いわゆる下面開放形であるため効率が高く、黒色ルーバ式に比べれば数倍の器具効率を有し、省エネルギー的に優れた方式といえる。

図3(b)は、この方式の場合に反射板を黒くする理由を示している。すなわち、この反射板はランプの光を下方へ正反射さすためのものである。通常、ガラスや金属の鏡のほうが効率が良いが、夏季に白いシャツ姿の人物などが、位置によってはブラウン管にうつることがあるので、鏡面部の反射率を下げるために、黒色つやあり反射板とするのである(下面開放式は器具効率が高く、室内照度がかかなり高くなるので、白いシャツなどの輝度も高くなるため)。

4. 1台のけい光器具の直下照度と連続した場合の照度の倍率

4.1 ラインライトの場合

図4(a)のようなけい光器具の1台の直下照度と、連続ラインライトの場合の直下照度の比は、直線光源による直射照度の計算式、およびその速算図⁴⁾により求め

図 4(a) FL 40 の連続ラインライト

図 4(b) 直線光源の照度計算用図

ることができる。速算図を図 4(b) に示す。

1 台のときと、連続ラインライトのときの直下照度の比は図 4(b) の速算図での K の値の比であるから、図 4(a) において 40 W けい光灯具 1 台のときと、連続ラインライトのときの K をそれぞれ K_1 、 K_∞ とすれば

$$\frac{K_\infty}{K_1} = \frac{0.8}{0.22} \approx 3.6$$

∴

- ・ 1 台のときは $l = 0.6 \text{ m}$ 、 $a = 2.6 \text{ m}$ であるので、

$$\frac{l}{a} = \frac{0.6}{2.6} = 0.23$$

このときの K_1 の値は図 4(b) から $K_1 = 0.22$

- ・ 連続ラインライトのときは、 $l = \infty \text{ m}$ 、 $a = 2.6 \text{ m}$ であるので、

$$\frac{l}{a} = \frac{\infty}{2.6} = \infty$$

このときの K_∞ の値は図 4(b) から $K_\infty = 0.8$

したがって、1 台の直下照度を測ればその約 3.6 倍が連続ラインライトのときの全体の直下照度となる（ただし、ランプの高さが 2.6 m の場合。なお、この計算は直射照度分だけであって、天井、壁、床の相互反射分は含まない。また配光が裸のけい光ランプと異なるような器具、たとえばルーパ付きなどの場合は、この値は変わってくる。）。

なお、図 4(b) において K のカーブが飽和してくる点の

l/a の値は約 1.3 であるので、

$$\frac{l}{a} = 1.3 \quad a = 2.6 \text{ m} \quad \text{であるから}$$

$$l = 1.3 \times 2.6 \text{ m} = 3.4 \text{ m}$$

$l = 3.4 \text{ m}$ は、図 4(a) の P 点から片側だけの長さであるので、 $6.8 \text{ m} (= 3.4 \text{ m} \times 2)$ 以上の連続ラインライトであっても、直下照度は 1 台のときの直下照度値の 3.6 倍以上にはならない。

すなわち、1 台分の長さを 1.2 m とすれば

$$6.8 \text{ m} \div 1.2 \text{ m} = 5.6$$

5.6 台以上の連続ラインライトであっても、直下照度は 1 台の場合の約 3.6 倍以上にはならないことがわかる（ただし、ランプの高さが 2.6 m の場合）。

《参考》 以上述べた倍率は、理論的な計算によるものであるので、参考のため縮尺模型的な実測により倍率を求めてみる。

図 4(a) 1/5 の縮尺として、110 W けい光ランプを図 5(a) のように取り付け、中央直下 0.52 m (2.6 m の 1/5) のところの水平面照度を測定する。次に図 5(b) のようにランプの中央 0.24 m (1.2 m の 1/5) を残して黒紙でランプをおおい、上と同様に照度を測定する。

それぞれの照度は 1,450 lx, 430 lx であったので、照

図 5(a) 図 4(a) を 1/5 に縮小して照度測定を行なっている状況

ランプの中央直下 0.52 m の所の照度は、図下の約 3.4 倍であった。

図 5(b) 図 4(a) を 1/5 に縮小して中央 1 台による照度を測定している状況 (高さ 0.52 m)

度の倍率は約 3.4 倍となる。

この倍率の値は、上述の計算による値と近似しているが、どちらの場合も光源が均一な輝度をもつ連続した線光源の場合であり、実際の照明施設ではけい光ランプのつなぎ目があるので、倍率の値はやや小さいものになるであろう。

4.2 光天井の場合

全面光天井の照度を予測するには、光天井を構成する一部分だけによる照度を実測して、ある倍率を掛けて全体の照度を求める方法がある。

この倍率を求める計算は、面光源による直射照度の計算式およびその速算図⁹⁾により求めることができる。図 6 (a), (b) に速算図、およびその関係符号図を示す（ただし、完全拡散の配光をもつ光源の場合）。

光天井の中央の一部を 40 W けい光ランプ 数灯用の正方形器具とすると、この器具 1 台のときの直下照度と全面光天井のときのそれとの比は、図 5 (a) の K_z の比であるから、照明器具 1 台のときの E_z を E_{z1} 、 K_z を K_{z1} とし、無限に広い光天井の E_z を $E_{z\infty}$ 、 K_z を $K_{z\infty}$ とすれば

$$\frac{E_{z\infty}}{E_{z1}} = \frac{K_{z\infty}}{K_{z1}}$$

ここで

- K_{z1} を求める $z = 3 \text{ m}$ とし器具 1 台の大きさを $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ とすると

$$x = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{ m} \quad y = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{ m} \quad \text{となる}$$

$$\text{ゆえに} \quad \frac{x}{z} = \frac{0.6}{3} = 0.2 \quad \frac{y}{z} = 0.2$$

であるから、図 5 (a) から $K_{z1} \doteq 0.013$ 。

- $K_{z\infty}$ を求める $z = 3 \text{ m}$ とし

$$x = \infty \times \frac{1}{2} \quad y = \infty \times \frac{1}{2} \quad \text{であるから}$$

図 6 (a) 面光源の照度計算用図⁹⁾
(K_z を求める図)

図 6 (b) 長方形面光源 (点 P が光源の頂点直下)

$\frac{x}{z} = \infty, \frac{y}{z} = \infty$ となり、図 5 (a) から $K_{z\infty} \doteq 0.25$ を得る。

$$\text{ゆえに} \quad \frac{K_{z\infty}}{K_{z1}} = \frac{0.25}{0.013} \doteq 19.$$

すなわち、無限に広い光天井の床面直射照度は、天井高さが 3 m のときは、中央の $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ の一部分のものの直下照度の約 19 倍となる。

実際の照明施設では、もっと小さい光天井の場合の照度の予測が必要であるので、 $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 程度の面積の光天井についての倍率を求めてみる。

まず、さきほどと同様に K_z を求める。 $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ の場合の K_z を K_{z6} とすると、

$$z = 3 \text{ m}, \quad x = 6 \text{ m} \times \frac{1}{2} \quad y = 5 \text{ m} \times \frac{1}{2} \quad \text{であるから}$$

$$\frac{x}{z} = \frac{6 \times \frac{1}{2}}{3} = 1, \quad \frac{y}{z} = \frac{5 \times \frac{1}{2}}{3} \doteq 0.83$$

となり、図 5 (a) から $K_{z6} = 0.12$ を得る。

$$\text{ゆえに} \quad \frac{K_{z6}}{K_{z1}} = \frac{0.12}{0.013} \doteq 9.2.$$

したがって $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 、天井高さ 3 m の光天井の床面直射照度は、中央部の $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ の光天井の床面直下照度の約 9 倍強となる。

《参考》

(1) 以上述べた倍率は、理想的な拡散光の光天井のときの理論計算による値であるので、参考のため普通の乳白プラスチック光天井の縮尺模型的な実測による倍率を求めてみる。

$6 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ (高さ) の光天井の室の 1/5 縮尺模型として、 $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ (高さ) の状態を図 7 (a) のように作り、この光天井による中央直下の水平面照度を測定した。

一方、この光天井全面を黒色の不透明板でおおい、その中央に $0.24 \text{ m} \times 0.24 \text{ m}$ ($1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ の 1/5) の穴を開けて、この部分による中央直下 (高さ 0.6 m) の照度を測定した (図 7 (b))。

図 7(a) 6m×6m×3m (高さ) の光天井の室を 1/5 に縮小して照度測定を行なっている状況 (照度は(b)の場合の約 8 倍弱)

図 7(b) (a)の測定照度と比較するため、中央の 0.24m × 0.24 m (1.2 m×1.2 m の 1/5) の発光部による床面照度を測定している状況 (高さ 0.6 m)

図 8(a) 実測実験を行なった室の状況

図 8(b) 実測実験の室のランプ配置図 (FL 40×60本)

この値はそれぞれ 3,160 lx, 410 lx であったので、この倍率は約 8 倍弱 (7.7 倍) であった。

(2) さらに参考として、実際の室で図 8(a) に示すようにけい光ランプを等間隔で均一に並べた場合の、実測による倍率を求めた。図 8(b) は室の寸法とランプの配置を示す図である (ランプ高さは床上 3 m)。

図 8(b) の中央付近のランプ 3 本 (斜線内) を 1 ブロックと考え、これによる床面直下照度が 257 lx であり、全ランプを点灯したときの床面中央直下照度が 1,820 lx であったので、この場合の倍率は約 7 倍となった。

なお、この場合の天井のランプとランプの間は白色厚紙張り、壁、床は黒色暗幕である (この実験測定はルーバ天井の倍率に関するものであって、後日詳細報告の予定)。

(1), (2) の参考実測例による倍率は、前述の理論計算値とわずかに異なるが、実際の照明施設では発光面のつなぎ目などのためにはば参考例(2)に近い値になると思われる (もちろんこの倍率は天井高さによって変わる)。

また、最近の照明施設では、消防法規などの関係から金属ルーバがよく用いられるが、ルーバによる光天井の

場合は、ルーバの寸法、形状、色などにより、乳白パネルとは配光が異なるので、この倍率はかなり変化するものである。

5. む す び

以上、照明施設設計の実務家に役立つと思われるような、そして比較的应用のきく原理的な事柄のいくつかについて述べた。この小資料がご参考となれば幸いである。

おわりに当たり、この実験、測定に協力いただいた松下電工株式会社北沢満勝、株式会社 ABC 商会加藤健二、橋本守正、野崎良治、千葉大学工学部川瀬研究室海宝幸一、山田修の諸氏に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 照明計画の際の常識あれこれ：照学誌 12(昭52) 728
- (2) 照明のデータ・シート No. 541：照学誌 5(昭53)
- (3) 公開特許公報，特開昭52-45372
- (4) 照明学会編：照明ハンドブック (昭53) 286
- (5) 照明学会編：照明ハンドブック (昭53) 295

(受付1978年10月5日)