

# 蛍光ランプの全光束測定について

## Measurement of Total Flux of Fluorescent Lamps

日野西 義輝\* 町田 充作\*\* 渡辺 靖\*\*  
Yoshiteru Hinonishi Jusaku Machida Yasushi Watanabe

### 内 容 梗 概

蛍光ランプの光束値そのものはすでに JIS そのほかで定められ一般取引の重要なファクタとなつているにもかかわらず、その測定に関しては国際的な決定版というべきものがまだない。これは白熱タングステン測光標準電球に比べてエネルギー分布が非常に異なるのが特に大きな原因となつているものと考えられる。この報告は明るさおよび色の知られた三つの色光を適当に混光し、蛍光ランプと色合せしたもので、蛍光ランプの配光を測定し、それより全光束を算出する方法について述べた。そしてこの方法によれば商用誤差内に十分入る値が得られることを示すものである。

### 〔I〕 緒 言

現在蛍光ランプは非常に普及しその品質も著しく向上し品種も多くなつたが、その品質の一つを代表する全光束の測定値はいまだ各測定者間でかなりのバラツキがある<sup>(1)</sup>。これは管状蛍光ランプが測光標準用白熱タングステン電球に比べて形が長大であるために配光が違いまた光色が違うことによりいろいろと困難な問題を含んでいるので、各種の測定方法が採られている。したがつてその間の系統的誤差によつてバラつた値が得られるものと考えられる。

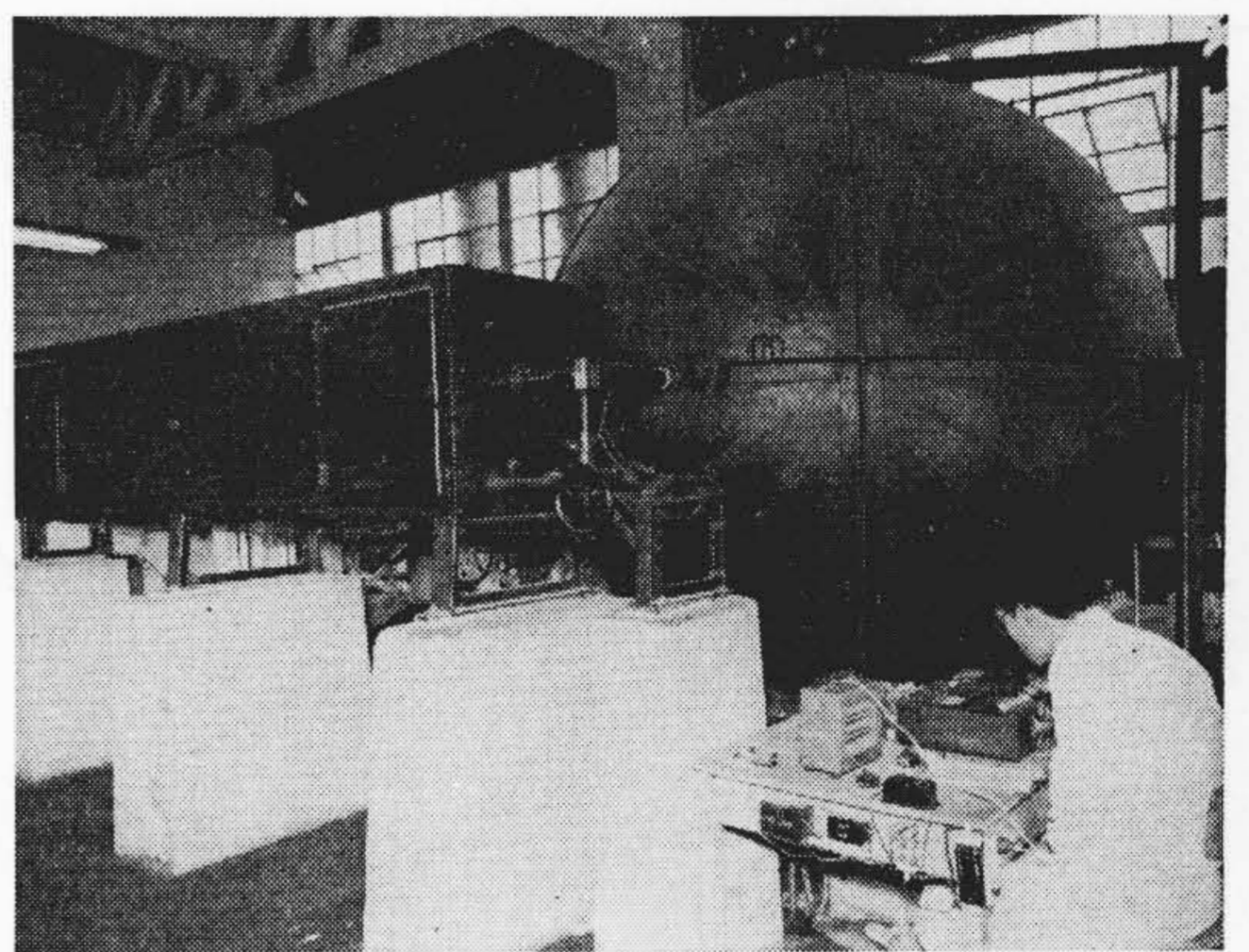
筆者らはかねてから蛍光ランプの全光束測定方法についていろいろ検討や実験を行つた。その方法は積分球による方法と配光測定法とに大別できる。

#### (1) 積分球による方法

蛍光ランプの形が長大であるため十分大きな積分球を用いなければならぬ、筆者らは第1図のごとき直径2.5mの積分球を用いている。しかし互に異なつた配光をもつたランプを比較するにはまだ十分な精度を持つていないものと思われぬ。そのため配光の異なるランプごとにほかの方法により補正をしなければならない。さらにまた分光エネルギー分布の異なるランプを比較するには球内面の分光反射率、測光窓の分光透過率、受光器の分光感度などをすべて考慮し加うるに標準比視感度補正をしなければならない。以上のごとき理由から、筆者らは積分球による蛍光ランプの全光束測定にはまだ不明瞭な誤差が多く入るものとする。

#### (2) 配光法

管状蛍光ランプは白熱タングステン電球の場合より一様な配光を持つていたので配光法の簡易化がなされる。しかしこの場合の照度測定においてその形の長大であることにより逆2乗則からの偏倚による誤差を生じるが、これを少なくする方法は容易に考えられるし、またその誤



第1図 蛍光灯全光束測定用球形光度計

差の評価も積分球法の場合と比較してずつと単純に行える。

分光エネルギー分布の違いに関しては積分球法と同様な悩みがあるわけだが積分法の場合の球内塗装面の分光反射率のごとき不明瞭な要素が入らない。

以上の理由により筆者らは管状蛍光ランプの全光束測定に配光法を用いることにした。一方受光器の問題であるが、ここでの測光はすべて異色測光であり、物理測光器は現在まだ十分標準比視感度に合つたものを得ることができなかつたので、筆者らは岡松氏<sup>(2)</sup>発案の混色色合せ法による視感測光を採用することにした。

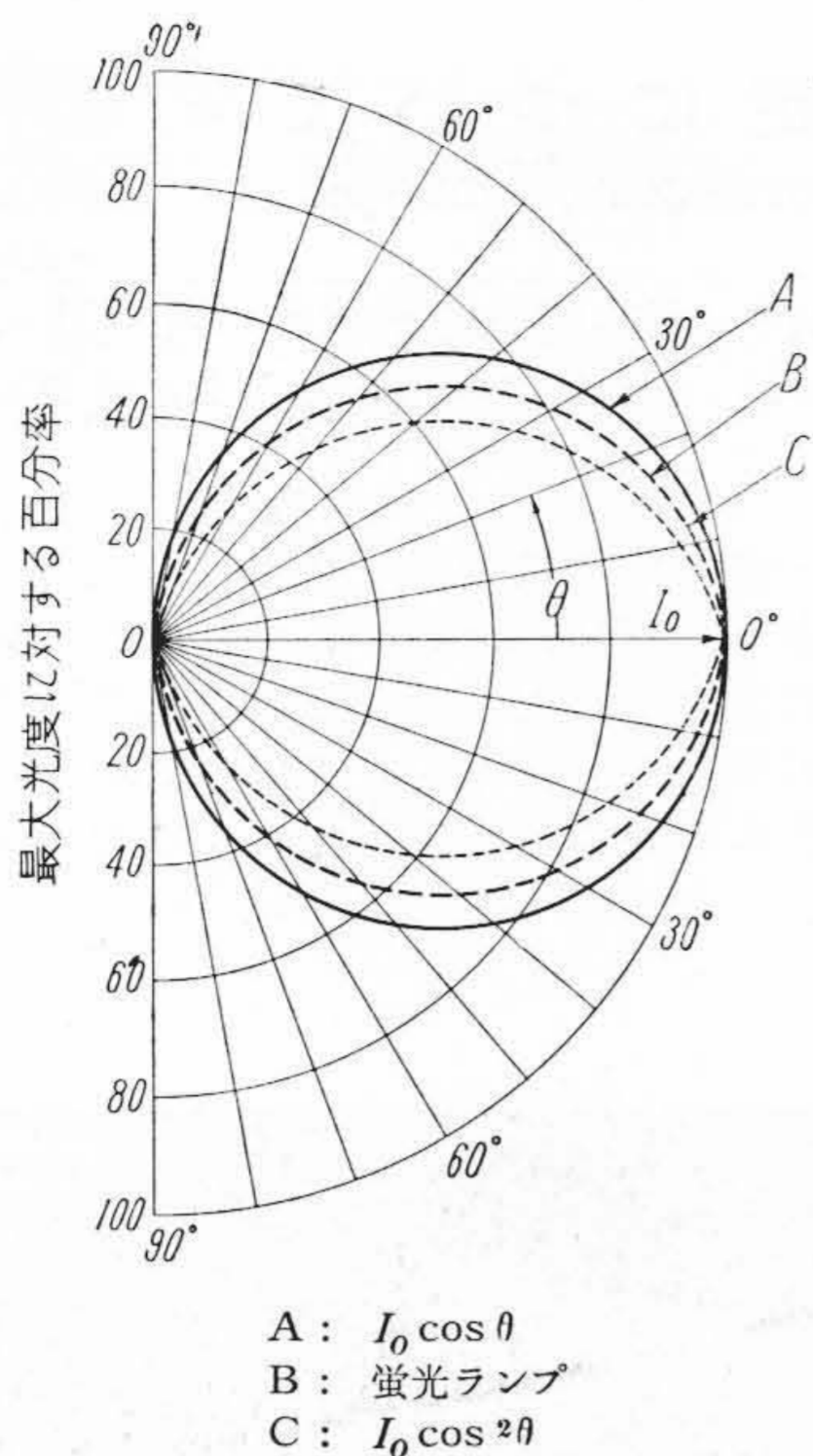
### 〔II〕 蛍光ランプ測光の場合の配光法

蛍光ランプの配光に関しては Einhorn, Sauermann,<sup>(3)(4)</sup>黒沢, 伊東, 堀<sup>(5)</sup>各氏によりほとんど十分な研究がなされているのであえてここに詳細に論ずる必要はないのでごく簡単に概略のみを述べることにする。

配光法は一般には光源の配光を測定し、球帯係数法によつて全光束を算出するのであるが、蛍光ランプの場合その配光の対称性と平滑さにより、ずつと簡易化される。すなわち管軸に直角な面での配光は管軸にほぼ対称

\* 日立ランプ株式会社工博

\*\* 日立ランプ株式会社



第 2 図 鉛 直 面 配 光 曲 線

といえるので鉛直配光の各方向の光度を  $I_\theta$  とすれば全光束は次式で算出される。

$$F = 2\pi \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} I_\theta \cos \theta d\theta \dots\dots\dots (1)$$

実際の蛍光ランプの  $I_\theta$  は第 2 図に示されるごとく、一次拡散と二次拡散との混和によりかなりよく近似されるといわれている。すなわち

$$I_\theta = I_0 \{ k \cos \theta + (1-k) \cos^2 \theta \} \dots\dots\dots (2)$$

ここに  $k$  は  $k=1$  のとき完全拡散となり  $k=0$  のとき二次拡散となる。(2) を (1) に入れて計算すると

$$F = \{ \pi^2 - 1,492(1-k) \} I_0 \dots\dots\dots (3)$$

ここでもし  $k$  を実験的に定め { } 内の数値を定めれば水平光度  $I_0$  のみ測定すれば全光束が知れる。たとえば米国ではこの係数として測光距離をランプ長の 5 倍として 9.25 を用い、日本では JIS C 7601 (1952) では 3 倍以上の距離で測り 9.3 を用いている。この場合  $k$  の値はほぼ 0.55~0.60 である。

この  $k$  の値はたとえ多くの実験から求めたとしてもランプの配光から定まるので、各ランプごとにまた点灯時間によっても違う。そこで正確に全光束を求めるには一つ一つのランプについて  $k$  を求める必要があるが、これはわずらわしい。一方蛍光ランプの配光はかなり平滑であるところから、水平光度とさらにそれ以外の方向における光度とを測定すべし、(2) 式により  $k$  が算出される。たとえば  $\theta=45$  度を選べば (3) 式は

$$F = 4.775 I_0 + 7.204 I_{45} \dots\dots\dots (4)$$

となる。ここに  $\theta$  は何度でもよいが 45 度はつぎの理由

から妥当な角度だと考えられる。すなわちこの  $\theta$  を定めることは鉛直配光での実際の蛍光ランプの配光曲線とそれに近似なものとした式 (2) の曲線とが一致する  $\theta$  を定めることになる。したがって光度から光束を算出するとき各光度にかかる帯係数は  $\cos \theta$  に比例するので  $\theta$  が小さい時は大きな全光束が得られ、小さい時は小さな全光束値が得られる。

このようなことから  $\theta$  はほぼ 48 度が最適値となるわけだが、この値はさほど角度に関して鋭敏ではない。一方実際の測定においてこの定めた角度からの誤差は光束値においてほぼ 1% 位のかかなり大きな誤差を生ずるので、実際にセットしやすい 45 度を選ぶ方が無難であろう。

さて実際の測定は光度でなく照度であるので、(4) 式に基いて全光束を算出する場合、 $I_0, E_{45}$  の代りにランプの中心よりの距離  $r$  で測られた  $E_0, E_{45}$  を用い次式により全光束を計算する。

$$F = 4.775 r^2 E_0 + 7.204 r^2 E_{45} \dots\dots\dots (5)$$

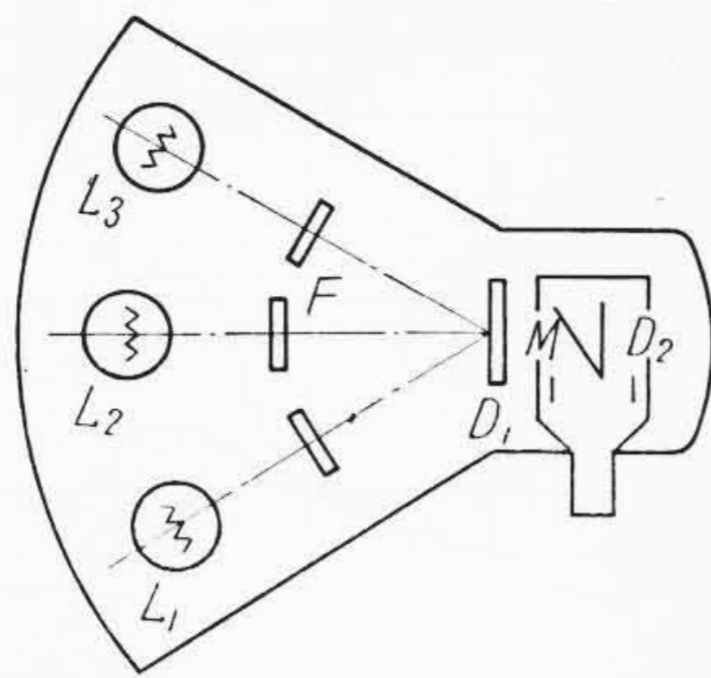
ここにおいて光源を点光源とみなしているが、実際の測定において蛍光ランプを点光源とみなしうる程の距離で測光することは、測光上の問題 (測光器の感度、ほこりによる吸光作用、迷光の影響など) から実際上不可能である。

そこで逆 2 乗則からの偏倚による誤差を評価しておく必要がある。筆者らはここに Einhorn, Sauermann 氏らが (5) 式に相当するものとして理論的に導き出した展開式を用いることにする。すなわち

$$F = 4.775 E_0 r^2 (1 - 0.069 \lambda^2 - 0.128 \lambda^4) + 7.204 E_{45} r^2 (1 + 0.051 \lambda^2 + 0.102 \lambda^4) \dots (6)$$

ただしここに  $\lambda = \frac{L}{r}$ 、 $L$  はランプの有効長さである。(6) 式を (5) 式と比較すれば、括弧内の数列を含んでいる点が違うが、この数列の係数は  $E_0$  と  $E_{45}$  とが反対符号で、かつ等しい大きさなので互に消し合う。したがって  $\lambda$  がある程度小さければ (測光距離がある程度大きければ) (5) 式との差は極くわずかになる。たとえばランプ長の 2 倍の距離でもこの差は 0.5% を超えない。以上により蛍光ランプの全光束は測光距離をある程度大きくとつて  $E_0, E_{45}$  を測り、これを (5) 式に入れば算出される。

Einhorn, Sauermann 氏らはさらに  $E_{-45}$  を測り、 $E_{45}$  との平均を (5) 式における  $E_{45}$  として取り上げている。これは結局  $E, E_{45}, E_{-45}$  の三つの照度を測定するので三照度法 (Three Illumination Readings) と名付けている。 $E_{45}$  と  $E_{-45}$  を測りその平均を用うことは蛍光ランプの蛍光体膜厚がランプの中心に対して長さ方向にしばしば非対称であることから是非行わねばならないであろう。さらに各方向の照度測定に際しランプを



- D<sub>1</sub>: 拡散透過乳白ガラス
- D<sub>2</sub>: 拡散反射乳白ガラス
- M<sub>1</sub>: ミラー
- F: 色フィルタ
- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>: 比較電球

第3図 混色色合せ光度計頭部

管軸を軸として120度ずつ回転してとつた三つの照度の平均値を用うべきであろう。

筆者らは以上の三照度  $E_0$ ,  $E_{45}$ ,  $E_{-45}$  を用い次式より全光束を求めている。

$$F = \{4.78E_0 + 3.60(E_{45} + E_{-45})\} r^2 \dots\dots (7)$$

### 〔III〕 混色色合せ測光法による照度測定

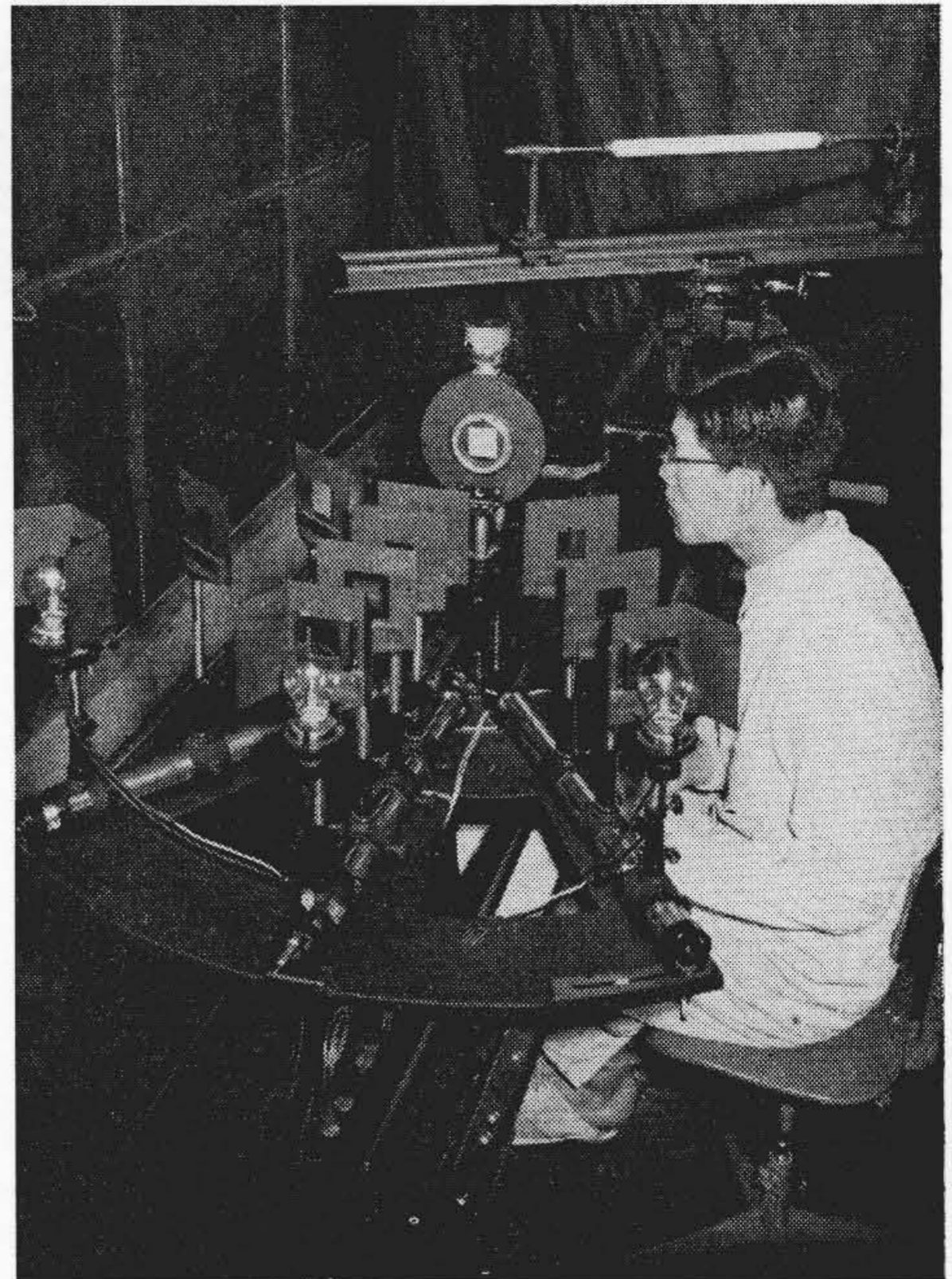
一般に視覚による異色測光は交照法とフィルタ法があるが、交照法は蛍光ランプを交流点灯した場合その光は一定周波数のチラツキをもっているため好ましくない。

フィルタ法は普通一個の比較灯を用い、これにフィルタをかけて測るべきランプの色に合わせるが、これでは満足な色合せはほとんど不可能である。そこで筆者らは岡松氏<sup>(2)</sup>発案による比較灯3個を用い、そのおのおのに色の異なるフィルタをかけその混光比を変えて色合せを行う方法をとつた。この方法によれば色合せははるかに楽になり、適当なフィルタを選べば色のみでなく分光エネルギー分布をもかなり近づけることができる。筆者らの行つている方法について説明する。

第3図のように特別の架台上に比較灯と対比型ルンマージュン光度計を配置し、これを5mのベンチ上で軽く移動させうるようにしてある(第4図参照)。

第3図において  $D_1$  は比較用電球側の拡散透過板でこの面をそれぞれに分光透過率の異なるフィルタをかけた三つの比較灯で照射している。

各比較用電球は光度標準電球と同じ色温度2,700°Kで点灯され、拡散面を中心としてそれぞれ放射状に照射距離が変えられるようになっている。蛍光ランプと色合せを行う際はこれらの距離を変えるかまたは適当な中性フィルタを使用することにより三色光の配合比を変えることができる。この色合せは比較視野の色的一致のみならずできるだけ分光エネルギー分布をも一致させるようにしている。さらに測光精度の上から一つの比較電球によ

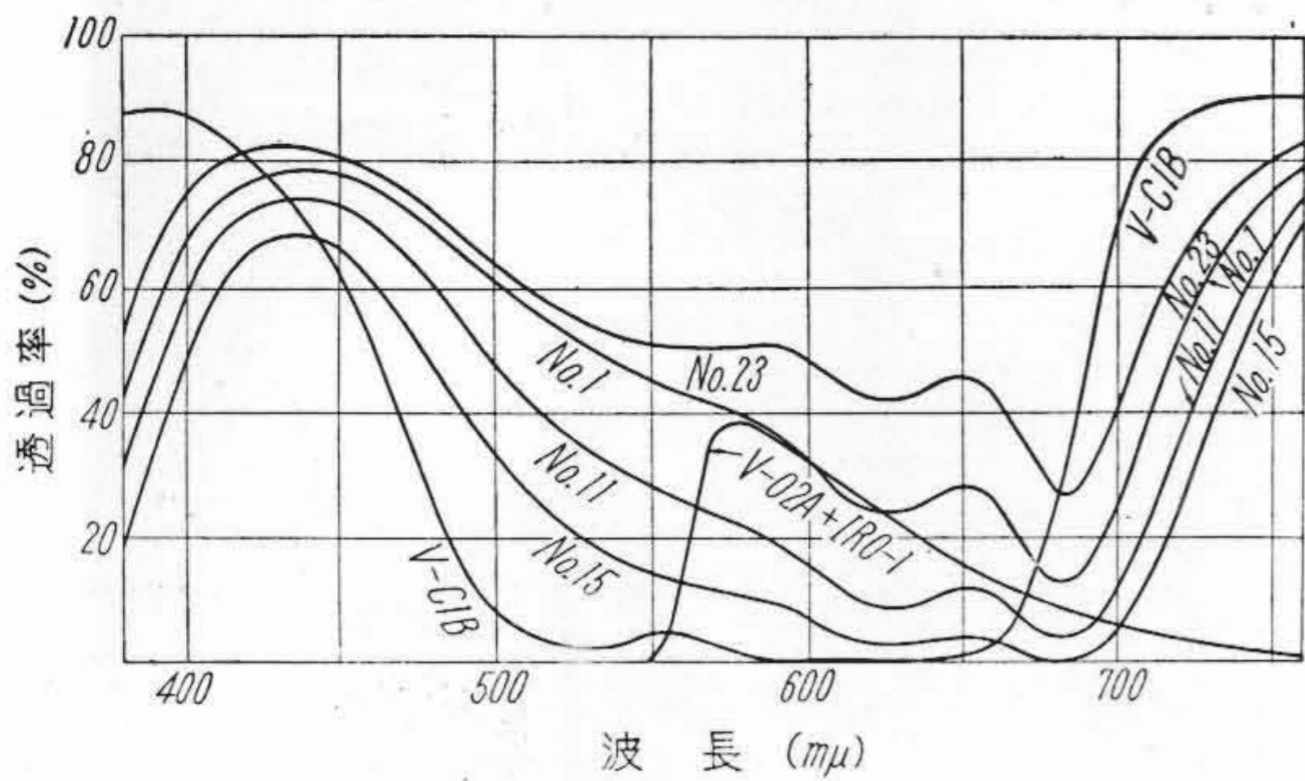


第4図 長型特殊光度計

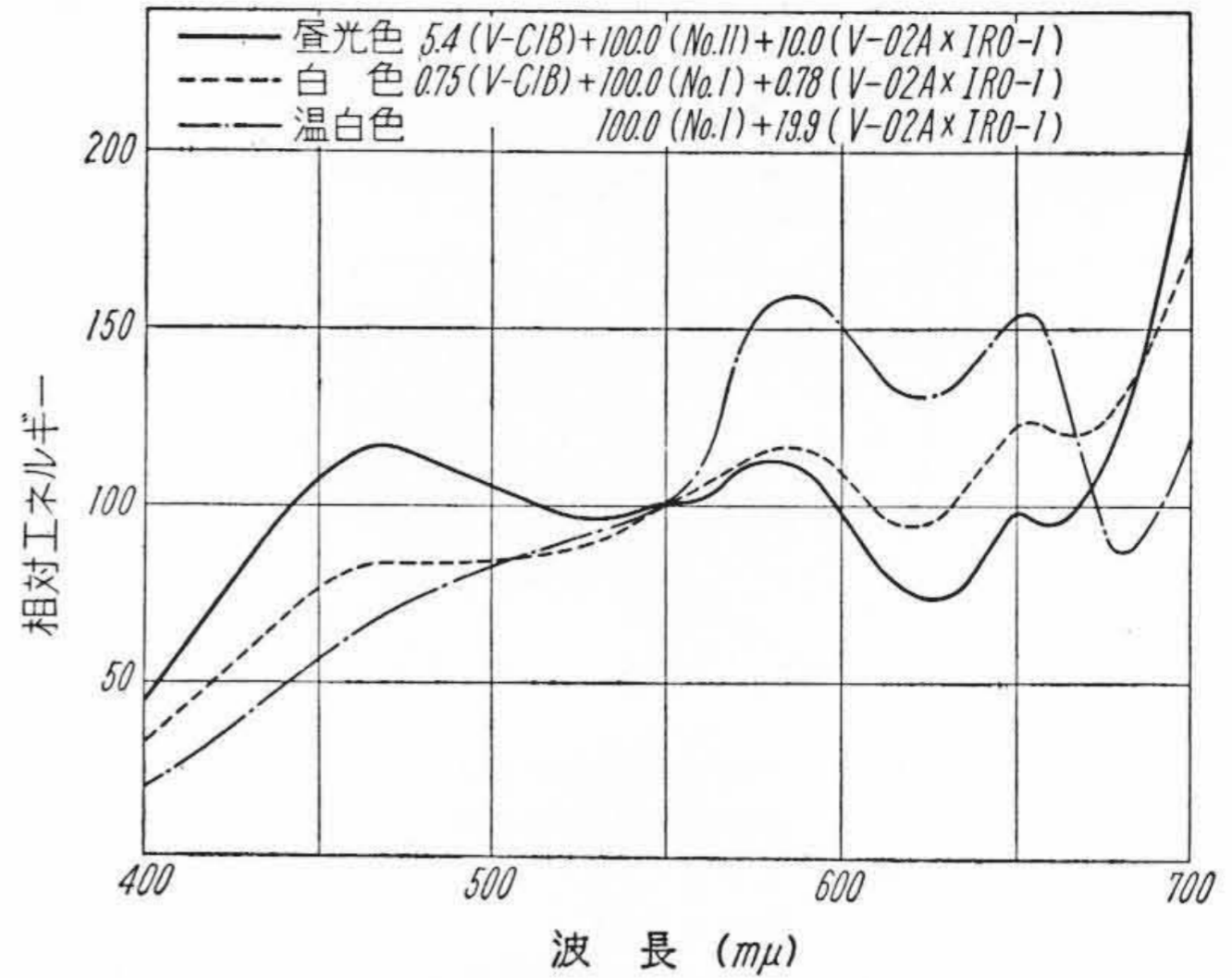
り補うが、この色光はなるべく明るさに寄与しないように光を選んでいる。

筆者らの行つている色合せの一例を第5~7図に示す。すなわち第5図は目的とする色合せを行うのに便利なフィルタの一例である。ただしここでフィルタ名称を番号で示したものは筆者らが便宜上附けたものであり、ほかの二つはマツダガラスフィルタの名称である。第6図は第5図に示したフィルタをそれぞれ2,700°K黒体放射にかけた時得られる光の色度点をC.I.E.色度図上に示したものである。そしてこれらの光を適当に配合すれば各種蛍光ランプと色合せができる。第7図はそれぞれ昼光色、白色、温白色蛍光ランプに色合せをした時の比較電球側の合成エネルギー分布の一例である。各曲線は550m $\mu$ の値を一定値とした比較値を示す。第7図説明記号中括弧内は使用したフィルタ名称を示し、括弧外の数字は各色光の配合照度比を表わしている。なお比較のため、第8図に日立製昼光色、白色、温白色蛍光ランプの分光エネルギー分布を示す。これからわかるように混色したものは600~700m $\mu$ のエネルギーが大きく、むしろ普通の蛍光ランプよりデラックスやスーパーデラックス蛍光ランプによく似ている。これはこの辺の波長でうまく減衰するようなフィルタがほとんどないことによる。

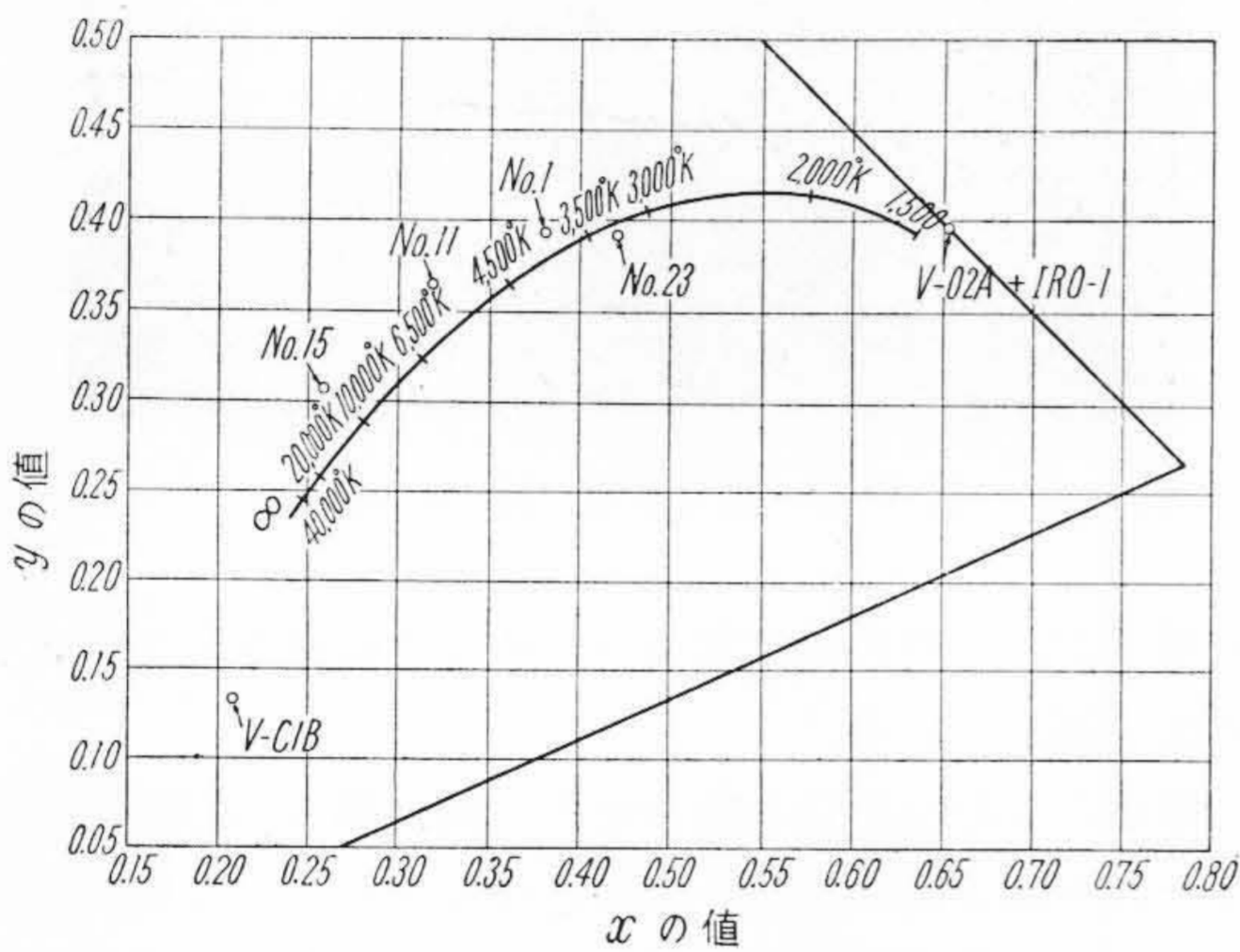
以上のごとく色合せがすみ、各比較用電球およびフィルタをそのまま固定すれば、光度計頭部拡散面の  $D_1$  照度が定まり、これに平衡すべき蛍光ランプによる光度計



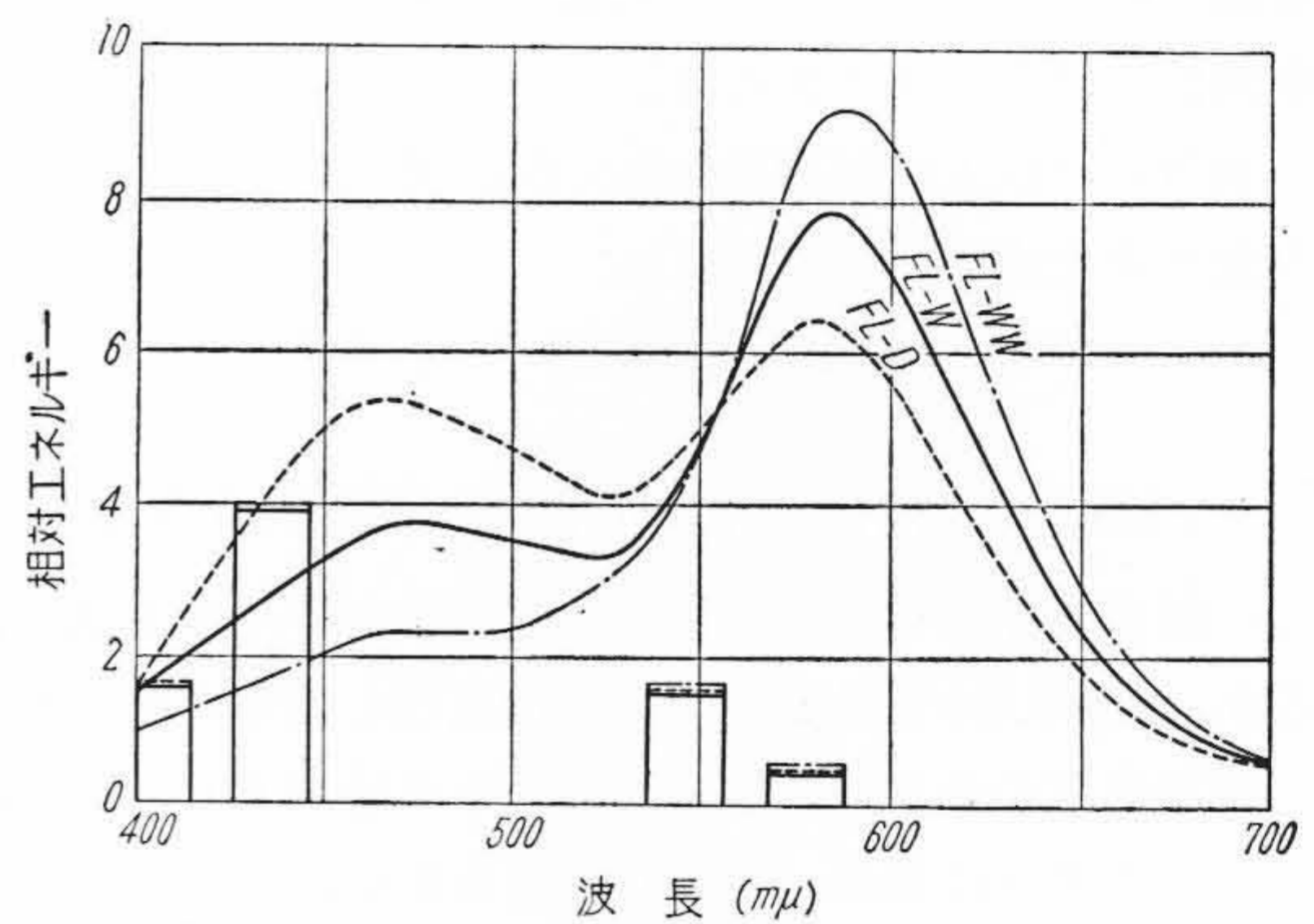
第5図 色合せ用フィルタの分光透過率



第7図 比較灯側の合成エネルギー分布



第6図 各種フィルタを2,700°K黒体にかけた時得られる光の色度



第8図 普通型各種蛍光ランプの分光エネルギー分布

拡散面  $D_2$  の照度が定まる。したがって光度計頭部をベンチ上で移動して測光平衡をとることは蛍光ランプによる拡散面  $D_2$  の照度がこの一定値に等しくなる位置を求めることになる。

ここで三照度法により全光束を求める場合は、各照度をランプから一定距離で計らなければならないが、以上の方法では不可能である。そこで筆者らは  $E_{90}$  のみを上の方法で測定し、その際測光平衡のとれた  $D_2$  の位置に物理眼を置きそれにより  $E_{45}$ 、 $E_{-45}$  を測るようになっている。

色合せがすみ蛍光ランプと測光平衡がとれた時の拡散面  $D_2$  の照度  $E$  はつぎのごとくして求める。すなわち蛍光ランプと光度標準電球とを置き換え光度計頭部の比較灯はそのままの位置に保ちフィルタのみを取り去る。この際比較用電球はあらかじめ光度標準電球と同色温度  $2,700^\circ\text{K}$  に点灯してあるので、そのまま各比較灯個々について光度標準電球と測光平衡をとり、その時の標準電球と光度拡散面  $D_2$  との距離を  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$  とすれば  $E$  は次式より算出される。

$$E = I_s \left( \frac{\tau_1}{r_1^2} + \frac{\tau_2}{r_2^2} + \frac{\tau_3}{r_3^2} \right) \dots \dots \dots (8)$$

ただし  $I_s$  は光度標準電球の光度、 $\tau_1$ 、 $\tau_2$  および  $\tau_3$  は各比較灯に用いたフィルタの  $2,700^\circ\text{K}$  黒体放射に対する全透過率である。

以上の方法により測定された  $E_{90}$ 、 $E_{45}$  および  $E_{-45}$  を (7) 式に入れて蛍光ランプの全光束が得られる。

#### [IV] 照度測定における誤差の検討

以上述べてきた混色色合せ測光法における誤差について検討してみる。

##### (1) ルンマープロジューン光度計拡散板の角特性

ルンマープロジューン光度計の拡散板(第3図  $D_2$ ) は完全拡散でない。そして拡散板の位置でランプの端をのぞむ角は測光距離が管長の2倍のとき約28度であり、3倍のとき約19度である。したがってランプ端部からの光は少なく測られる可能性があるため、これを調べた結果測光距離が管長の2倍のときは真照度の約95%、3倍のときは約98%であつた(一般にルンマープロジューン光

度計は第3図からわかるようにランプの左右の端に対して対称でないので、ここでは小さい方の値をとった)。したがってランプの見掛けの水平光度は測光距離が管長の3倍のときは98から100%の間の値となろう。しかしいろいろな入射角に対する角特性を大ざっぱながら測定して計算すると全体としてほぼ99.5%位である。筆者らは以上のことと3照度法における逆二乗則からの偏倚とを考へ合せて測光距離は少くとも管長の3倍以上取ることにした。一方ルンマールプロジェクション光度計の比較視野の照度は20lx位にするのが最適ということから、測光距離をあまり大きくできない。したがって筆者らは3~3.5倍にしている。

(2) 迷光 (Stray light)

迷光の影響は特に測光距離が大きくなるとしばしば大きな誤差を生ずることがある。これらを防ぐため筆者らは細長い矩形の大きな遮光板を数枚用いている。ただしこのために測るべき光を蹴る恐れがあるのでその配置には細心の注意をはらわなければならない。

(3) 比較灯側の合成エネルギー分布と蛍光ランプ

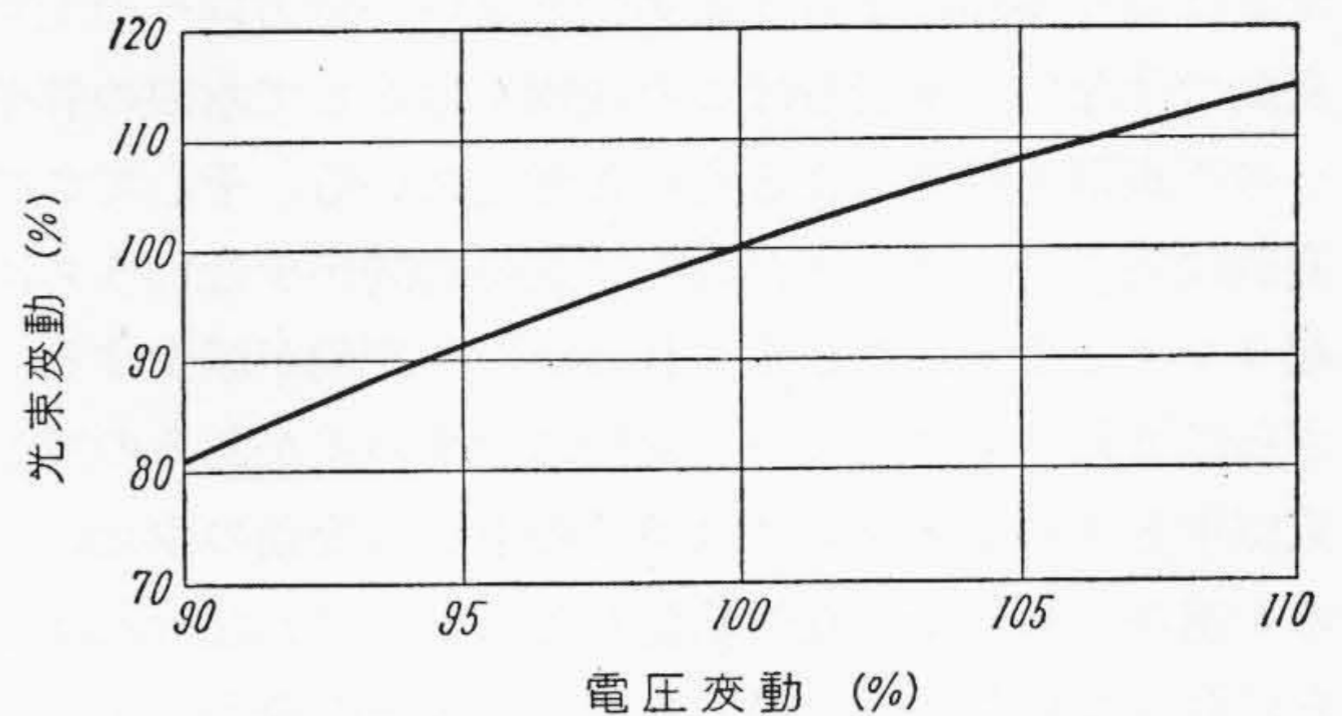
混色色合せ法の場合は第3図のごとくルンマールプロジェクション光度計の比較灯側とランプ側光路を等しくすることができない。筆者らの場合は比較灯側には拡散透過板と鏡を、ランプ側には拡散反射板を置いているため左右の分光透過率が異なる。一方比較灯側の合成エネルギー分布とランプの分光エネルギー分布とを極力近づけるべくフィルタの選択に苦心してもなお完全に等しくすることはできない。そこでこのようなことから起る誤差を調べるため、いろいろなフィルタの組合せで比較灯側の合成エネルギー分布をいろいろと変えて測定をした結果、この差は思ったより少ないことがわかった。さらに三色光の配合比からランプの色度を算出する場合にも同様に差が少なかった。

(4) 測定者の眼の規準比視感度との違い

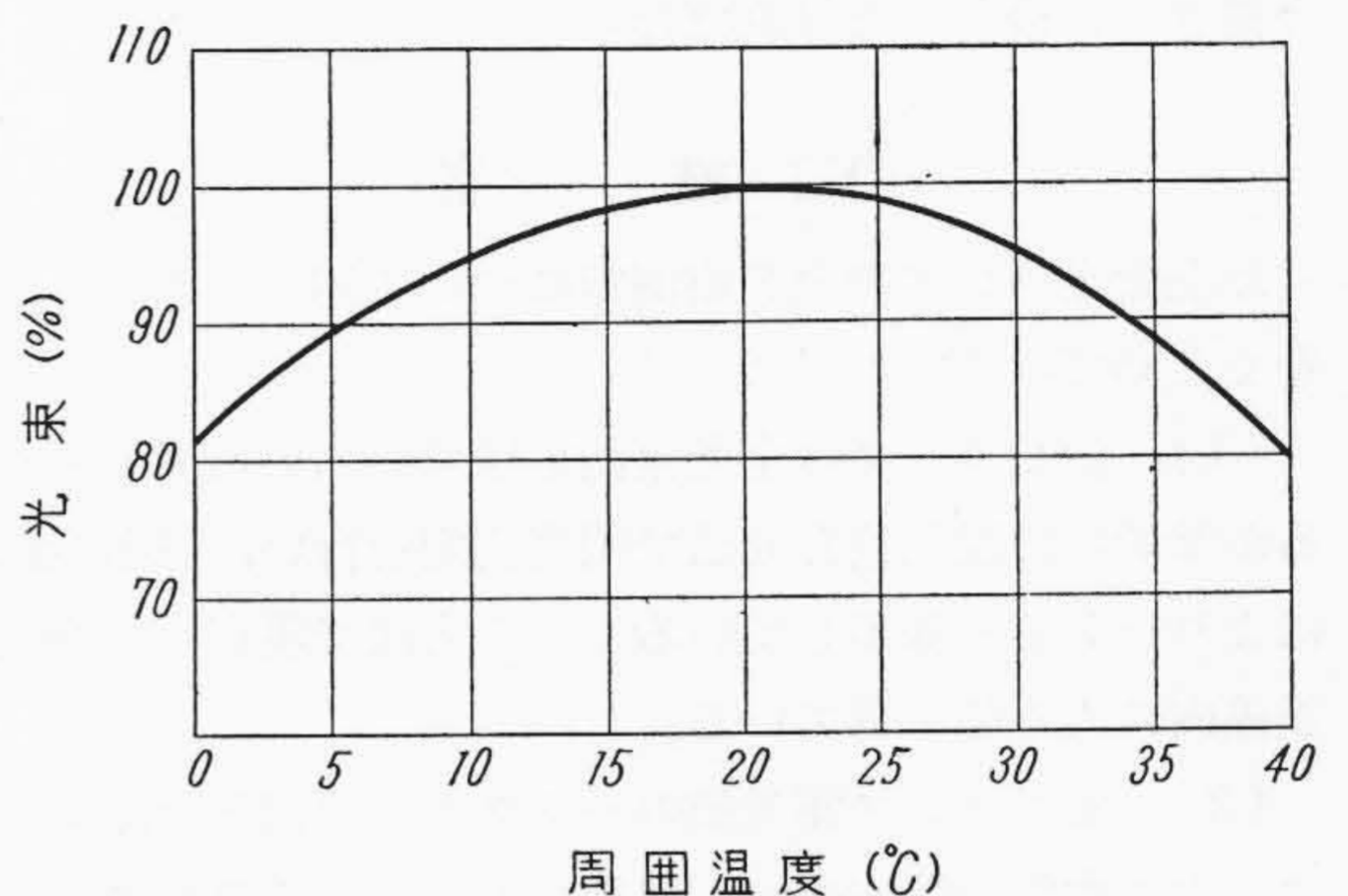
測定者の眼が規準比視感度と違っていれば当然正しい値は得られない。そこでこの誤差を評価する意味で4人(男2人、女2人)の測定者による測定値のバラツキを調べた結果、範囲で2%以内のバラツキであつた。そしてこのバラツキは測定者が測定に慣れるにしたがつて減少する傾向にあることがわかった。また一人の測定者の測定値のバラツキは1%位である。以上の実験は勿論ランプや比較灯の光度の変動を避けるため、これらを点灯したままきわめて短時間の内に行つた。

(5) 蛍光ランプの光束変動

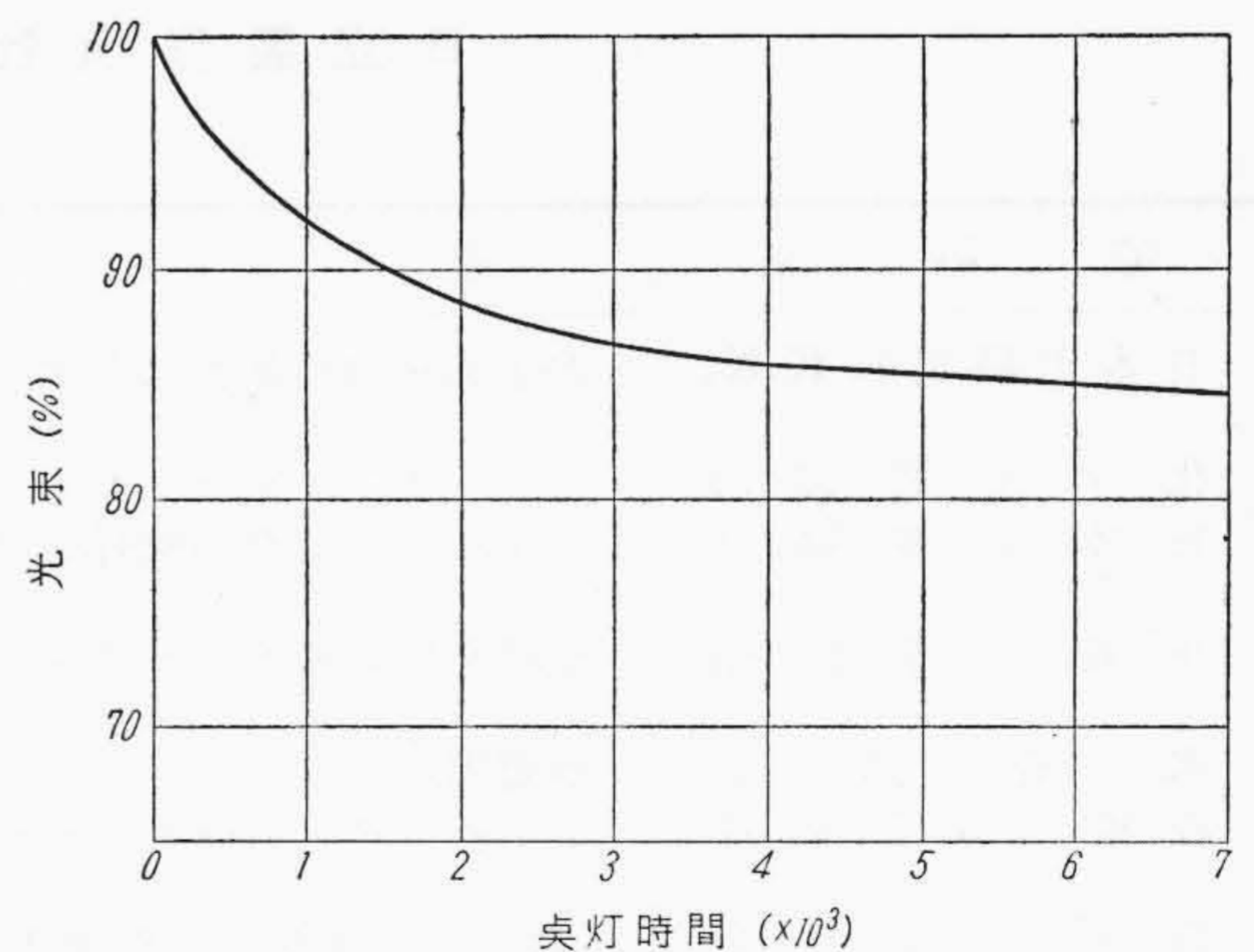
蛍光ランプの光束は電源電圧、周波数および室温により変化する。また点灯時間と共に次第に劣化して行く。それらの模様を第9~11図に示す。電源電圧の1%変動に対する蛍光ランプの光束変動は大體1~2%で白熱電



第9図 電圧対光束変動率



第10図 40W蛍光ランプの周囲温度と光束の関係



第11図 40W蛍光ランプの光束劣化の一例

球の3~5%に比較して少ないが、周波数、室温など変動する要因が白熱電球の場合より多い。したがって蛍光ランプの測光においてはこれらの要因をつねに一定にする必要がある。筆者らの場合室温は20°C一定とし、電源は電動発電機を用いて正弦波に近い一定周波数の交流を用いている。チョークも試験用標準チョークを用い点灯後安定するまで30分待つてから測光する。

以上のような注意をしてもなお光束変動がある。この

変動は点灯時間による光束劣化と違い一定方向への光束変動ではない。筆者らはこの変動を主として水銀の管壁への不規則な附着によるものと考えている。そしてこの変動は特にランプがまだ新しく点灯時間が少ないうちに起りやすく十分点灯枯化すればかなり変動が減少する。さらにまたランプによつて変動に大小の差があるので光束標準とする蛍光ランプは多くの中から変動の少ないものを選びこれを十分点灯枯化したものを使わなければならない。このようにしてもその変動を1%以内に収めることは困難である。このことは蛍光ランプを光束標準とすることの是非に関する大切なことなので、今後さらに検討しなければならない。

〔V〕 結 言

以上蛍光ランプの全光束測定について述べてきたことをまとめてみる。

(1) 蛍光ランプの全光束測定法はいろいろ考えられるが筆者らは混色色合せ法で照度測定を行い、三照度法により全光束を算出している。この方法で現在一応商用誤差内に入る値を得ている。

(2) 蛍光ランプ測光値のバラツキの原因となるものは、主に水銀の管内への不規則な附着によるランプ自体

の光束変動である。これについては今後さらに検討を要す。光束標準とすべきランプは十分枯化点灯をしたものの中から光束変動の少ないものを選び出して用うべきである。

(3) 混色色合せによる照度測定は照度のみでなく、色度をも算出する利点がある。これによつて求めた色度はかなりの精度があるものと考えられる。分光測光の結果と比較しても非常によく合うが常にわずかながら系統的な偏差をもっている。その点についてはさらに検討を加えるつもりである。

終りにのぞみ本研究にあたり有益な御教示をたまわつた電気試験所岡松博士、日立製作所中央研究所角野氏に深甚の謝意を表するとともに終始御指導御助言をいただいた日立ランプ株式会社前原前社長、木村社長、および種々実験に協力された方々に厚く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 日本電球協会報 第40号, 25頁 昭31年5月
- (2) 岡松: 照学誌 38, 176 (昭29)
- (3) H. D. Einhorn, J. D. Sauermann: Jour. I. E. E. 94, part I, 535 (1947)
- (4) H. P. Einhor, J. D. Sauemann: Jour. I. E. E. 94, part II, 319 (1947)
- (5) 黒沢, 伊東, 堀: 照学誌 38, 192 (昭29)



日立製作所社員社外寄稿一覧

(昭和32年4月受付分)

寄 稿 先	題 目	執 筆 者 属	執 筆 者
日本印刷出版 K.K.	高張力鋼の熔接性に関する二、三の考察	亀有工場	横尾尚志 江間一男
化学工業協会	ブレードレスポンプとその応用	亀有工場	寺田進
日本熔接協会	コルモノイ合金の吹付熔接	亀有工場	横尾尚志 江間一男
小峰工業技術	座標を用いるインポリュート歯車の簡単な歯厚決定法	亀有工場	寺本仁史
水道協会	水道用ポンプ	亀有工場	矢島光吉 波多野泰吉
技術情報出版社	インピーダンスのインバータとコンバータについて	戸塚工場	徳永芳雄 古畑武雄
日本物理学会	「最近の研究から」欄強誘電体の表面層	中央研究所	三浦醇二
電気学会	フォトフォーマの誤差に関する検討	中央研究所	斎藤修二
船舶技術協会	日立商船用タービン主機およびボイラーについて	本社	神津修二
産業機械協会	世界最大出力の坑内排水ポンプ	本社	宮尾葆丘
日本電気協会	アメリカのマーケティングを視て	本社	松本
日刊工業新聞	空気調和の実際	本社	長島達夫 小林富也
オーム社	オートメーション計測器	本社	細谷栄次郎
日刊工業新聞	モーターの種類とその選び方	本社	島史朗
電気三学会	BWR型原子炉	本社	村川武雄 若村一又 山津幸夫 山本和夫
工作機械精度向上委員会	機械工場における設備の休止による損失	亀戸工場	