論 文

新 閃 光 電 球 に つ い て

正会員 小 瀬 明*

Characteristics of new Photo-Flash Lamp

By Akira Ose, (member)

(Lamp and Tube Mfg. and Sales Dept., Tokyo-Shibaura Electric Co.)

The demand of the photo-flash lamp has been increasing rapidly since the end of the War, and there appear many types of the photo flash lamps in the market. Recently, however the new types are going to be chosen after selection made.

Some of them are quite different from foreign-made. For example, aluminium wire is used as light-generating material for M contact photo-flash lamp, but for F contact lamp foil is also enclosed in addition to primer. We studied the Japanese lamp to find out whether its construction is rational from the point of characteristic.

We experimented on the difference in the light-generating character between aluminum wire and foil, analysed their characteristics.

Further more, assuming curves of light-generating and light-vanishing character which we have been thinking up to this time and assuming that the light-generating characteristic of photo-flash lamp is the difference between them, we proposed general analysing method of characteristic. In addition to the above assumption, we also assumed the existence of flashing range and introduced the relationship between the priming state and the light-generating character.

The characters of the new photo-flash lamp which have been manufactured on trial based on the above assumption are described below.

1. 緒 言

閃光電球の需要は戦後急激に増大して、新しい品種が多数市場にあらわれるようになった。これらは種々雑多であって、やや統一を欠いている。しかし最近になって適当な選定が行われて、一つの型ができようとしている。このうち、ある種のものは諸外国とまったく行き方が異なっているものもある。たとえば M 接点用閃光電球にはアルミニウムワイヤを発光材に用いているが、F 接点用閃光電球には、点火材だけであるものに換えて、発光材として箔を封入したものを用いているのが多くなった。これはもちろん日本のカメラの発展が異なっているためによると考えられるが、筆者は閃光電球の特性上から適当であるかどうかを考えてみた。

そこでアルミニウムワイヤの発光体と箔の発光体の発光特性の差異を実験して、特性の解析を行った。なお進んで従来考えていた発光曲線と光の消滅曲線とを仮想して、発光特性はこの両曲線の差であるという考え方で、特性の一般的取扱方法を提案してみた。また同様方法に更に引火範囲を考えることによって、点火状況と発光特性との関連性を導きだした。これらの基礎的な考え方から得られた新しく試作した閃光電球の特性を最後に付け加えて置いた。

2. 閃光電球の種類

閃光電球は見方によって色々に類別できるが、一般にはカメラについている閃光電球の点火用接点の種類と、シャッタの種類によって分類することが多い。カメラについている接点の種類というのはレンズシャッタの開く幾 ms(ミリ秒)前に接点が導通するかによって分類される。F 接点はこれが数 ms である。これに対してシャッタの開く約 15 ms 前に接点が導通するものを M 接点と称している。このようなものに対して、発光の特性がそれぞれ異なっていて適当でなければならない。

F 接点用閃光電球では、最大閃光値までの時間 T_p (Tims to peak) が 5~10 ms でなければ速いシャッタで撮影すると光が出る前にシャッタが閉じてしまう。また閃光持続時間 D は短い程速いシャッタでも光の利用率が良いことになる。これに対して M 接点用閃光電球は T_p が約 20 ms でないと、シャッタが開いたときに光が利用できなくなる。また D があまり短いと T_p が均一でないとき利用率が非常に変動して明るくなったり暗くなったりして具合が悪い。そこで D は T_p のあり得る分散によって適当に定まるものである。普通これは 10~15 ms が適当とされている。

以上はいずれもレンズシャッタであって、カメラのレンズから入る光は常にフィルム面全面に分散するので、

* 東京芝浦電気株式会社

シャッタを開いている間に入る光量だけ考えれば良い。これに反してフォーカルブレんシャッタは、フィルム面上をスリットが移動するので、面を移動している間中、一様な光を出さないと、露出斑を生ずる。実験の結果によると、この運動時間中フィルム面上に閃光電球からの発光光束が最大と最小で倍以上差があつてはならないといわれている。一方フォーカルブレんシャッタの幕の移動は 20~30 ms かかるから、閃光電球の D は約 40 ms を必要とする。またこの間に発光光束に大きな差がないことが必要である。

3. 閃光電球の特性

閃光電球の特性値の表現は色々あるが、普通の慣例に従つて

T_s = 回路スイッチを入れてから光を出し始めるまでの時間

T_p = 回路スイッチを入れてから最大閃光値までの時間

L_m = 最大の発光光束

$D = L_m/2$ 以上の光束を出している時間

Q = 全発光光量

とする。この各の値の間には見掛け上

$$Q = K \cdot L_m \cdot D \quad (1)$$

ただし $K = 1.1 \sim 1.3$

$$T_p = T_s + D \quad (2)$$

の関係がある。

また発光光量 Q は、発光の時間的特性の変化、発光材の種類（アルミニウムワイヤ、箔）・封入密度に関係なく、封入全アルミニウム量に比例するといわれている。もちろんこれは近似的な話であつて、詳細には差異はある。今このことを最も合理的に説明するには、次のように考えることが良い。すなわち封入のアルミニウム発光材は、閃光を出す最初から終りまで、各部分に亘つて一定の温度放射に相当する放射をすると考える。この場合燃焼から発光に至る機構は温度放射が主体であるか、あるいは高温度のため気体状になって、分子間の衝突による諸現象の発光であるかということは考えないことにする。要は最後に一定の温度放射に相当する放射を出す事実だけを取扱うことにする。以上はいずれでも発光材の燃焼の結果から起るので、最初の発光の原因となる燃焼と最後の結果である放射の光だけを取上げたのである。また燃焼反応も閃光の最後では封入酸素量が低くなるので速度が遅れて、温度放射に相当する温度が低くなるであろうが、2 次的にこれを無視して一定温度と考える。

そこで筆者は、参考文献⁽⁴⁾で燃焼がある一点を中心にある速度で拭つて行くと考え、その範囲内に含まれるア

ルミニウム発光材の量に比例して光束を出して行く発光曲線を考えた。一方ある一定点を考えると、その点ではある一定時間 τ だけ燃焼して発光すると光が消滅するはずである。そこで前に考えた発光曲線と同じ速度で、ちょうど τ 時間だけ遅れて光が消滅して行く曲線を考えた。この結果閃光電球の発光特性は発光曲線から消滅曲線を引いた残りでなければならない。この発光曲線は着火点を中心として体積が増して行くのであるから最初は時間の 3 乗に比例して増して行つて、ガラス球内全部の封入アルミニウムが発光したと仮想したときに一定となるような曲線である。この両曲線を第 1 図に示しておいた。図

第 1 図 発光曲線の解析

中 (1) は発光曲線で、(2') は消滅曲線である。この (1) と (2') は並行であるはずだが、実際には反応速度が遅れるため、段々時間が長くなって (2) のようになるであろう。

図の (2) と (1) が平行として式 (2) が成立するためには

$$D = \tau \quad (3)$$

になることを前に述べた。この場合式 (2) 自身が理論的なものでなくて、ただ偶然にすぎないから式 (3) も偶然な一つの結果である。

ここで筆者は、理論的な取扱方法を得るために次に示

ガラス球：60 mm 箔の厚さ： 5×10^{-4} mm

第 2 図 同一ガラス球に同一アルミニウム箔を増して封入した場合

すような実験を行ってみた。まず同一寸法のガラス球に、同じ発光材を量を変えて封入してみた。その結果は第2図のように、閃光時間 D は殆んど変らないで、封入量に比例して L_m だけが大きくなった。更に同じ発光材を同じ密度で異なったガラス球に封入してみた。その結果は第3図のように、ガラス球が大きくなるにしたがって D が大きくなった。

この二つの現象は式(3)では全く説明できないものである。そこで筆者はこの二つを都合良く説明できそうな仮定を考えてみた。すなわち着火点を中心として燃焼範囲が拡がる速度を c として、 c は発光材の密度には関係がなくて、もちろんガラス球寸法にも関係がないものとした。

アルミニウム箔の場合

第3図 閃光持続時間とガラス球寸法

(a) 同一寸法同一封入密度のアルミニウム発光材と異なったガラス球に封入した場合

(b) 同一寸法アルミニウム発光材を同じガラス球に異なった量封入した場合

第4図

$$c=f(\text{発光材の寸法}) \quad (4)$$

式(4)の仮定で前の結果を発光曲線と消滅曲線を利用して説明を試みよう。

まず第4図(b)のように同じガラス球に、同じ寸法の発光材を異なった量封入した場合を考えてみる。図中

$$\text{発光曲線 } (1') = \alpha_0 \beta_1 = k c^3 t^3 d_1 \quad (5)$$

$$d_1 = \frac{\text{発光材量}}{\text{ガラス球容積}}$$

ただし発光材全部が燃焼したとき一定となるから

$$(1')_{\max} = k R^3 d_1 \quad R = \text{ガラス球半径}$$

である。今この d_1 の量を変えて d_2 にすると

$$(1) = \alpha_0 \beta_2 = k c^3 t^3 d_2 \quad (6)$$

$$(1)_{\max} = k R^3 d_2$$

それ故に

$$\frac{\alpha_0 \alpha_1}{\alpha_0 \alpha_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{(1')}{(1)} \quad (7)$$

$$\alpha_1 \beta_1 = \alpha_2 \beta_2 \quad (8)$$

となる。一方消滅曲線は前記 t を $(t-\tau)$ に置き換えれば良いので結局

$$\gamma_1 \delta_1 = \gamma_2 \delta_2 \quad (9)$$

である。 τ は両方とも同じ発光材であるから同じで

$$\alpha_2 \delta_2 = \alpha_1 \delta_1$$

となる。それ故に両方の発光特性は起点 α_0 と最後の δ_0 が全く同じとなる。すなわち両方の閃光持続時間 D は等しくなると、全く実験結果と一致する。ここでガラス球寸法は球体とした。また(1)曲線から一定値になるところをなだらかな曲線で結んだが、この点については後に述べることにする。

次に同じ発光材を同じ密度で大きさの異なるガラス球に封入したときを考える。このときは前の仮定に従って c は変らない。また d も一定である。そこで第4図(a)のように両者の発光曲線も消滅曲線も一致する。ただ両方でガラス球寸法が異なるので、一方は $k R_1^3 d$ で最大となり一定になるのに対して、 R が大きくて R_2 のものは更に発光曲線が延長して、 $k R_2^3 d$ まで延長される。消滅曲線も τ 時間だけ遅れて同様である。このためにガラス球径の大きなものは、延長しただけ発光特性が長くなる。すなわちガラス球径が大きいほど閃光持続時間は長くなる。このこともよく実験の結果と一致するが、全く一致するかどうか計算で確かめることは困難である。しかし作図で得られた結果は実測とかなり近いということは十分納得できる。以上図面による説明はすべて $R/c > \tau$ の範囲で得たものであるが、前に述べたように τ は多くの実在の閃光電球で D に近いものであるから、この条件は十分満足していると考えられる。

このように一つの仮定ですべての場合を説明できるの

で、仮定が正しいものとして総括的に結論をつけると次のようになる。閃光電球の発光特性は着火点を中心として、 c の速度で拡がる範囲に含まれる発光材の量に比例した光束をだす発光曲線と、 τ 時間遅れて光が消滅して行く曲線の差であらわされる。ここに c と τ は発光材の密度とか、ガラス球には関係がない。その上、多くの場合 τ は閃光持続時間 D に近い値である。ただし以上はすべて第 1 次の近似的関係である。

前の結果から

$$D = f(c, R, \tau) \quad (10)$$

τ も発光剤寸法だけで定る値であるから、式 (4) と併せて考えると $c = F(\tau)$ となる。そこで R を一定にすれば c は D だけの函数である。第 5 図に発光材寸法の変化による D の変化の 1 例を示した。図中発光材の寸

第 5 図

閃光持続時間と発光材寸法との関係

法としてアルミニウムワイヤはワイヤの径をとって、箔は厚さをとった。なおアルミニウムワイヤはその製作工程によって、非常に表面の状態に差異ができるので、寸度と D の関係はこの状態によって左右されることを付け加えて置く。この例でわかるようにアルミニウムの箔は D が非常に短い場合は、箔の厚さに相当差異があっても安定している。これに反して箔が幾分厚くなると、 D が急激に変るようになる。このためアルミニウムの箔では、 D が 10~15 ms で安定した特性の閃光電球を製作することが困難である。しかし箔は圧延によって製作するので誤差は大きいが薄い箔を作ることは容易である。そこで F 接点用閃光電球のように D が 5 ms 程度が必要なものには、箔が好適である。これに反してアルミニウムワイヤは線引によるので、これに適するような細い線を引くことは利益がない。それ故に、もし箔を入れた場合 T_s が短くなれば、 T_p を所期の値にして F 接点用閃光電球を製作することができる。もしこのような

のができれば、アメリカのように点火材だけの発光によって F 接点用閃光電球としているものより遙かに優れている。また国内製カメラがほとんど F 接点を付けていることを考えると、この方法によって F 級用閃光電球を作った方がよい。

これに対してワイヤは線引によって得られるので、寸法の誤差は非常に小さい。そのため第 5 図でわかるように寸法の差による D の変化はほとんど考えられない。実際には他の要因で変ることの方が大きい。そこでワイヤの閃光電球は D が 10~15 ms のものを製作するには安定で都合が良い。このために現在では M 接点用閃光電球はすべてワイヤ、あるいはワイヤ状発光材を用いている。

4. 発光特性と着火点との関係

前の章ではすべて発光の中心がガラス球の中心にあるものと仮定した。しかし実際はほとんど中心から発光し始めるものはないであろう。この着火を起す点火材はウェルズの先端に、一部フィラメントに接触するように塗布してある。そこでフィラメントに電流が流れて温度があがると、点火剤中の金属粒子が酸化反応を起す。これらのため酸化剤は酸素を放出するし、金属粒子は反応熱で附近の金属粒子を引火させながら、放出酸素のため飛散する。この個々の粒子は発光材に 1 個飛着しても、とても引火点まで発光材の温度を上げる熱量はない。このような粒子が次々と飛着して、偶然幾度も同じ場所に衝突した所が遂に引火点に達して発光の中心となると考えられる。このため発光の中心はでたらめに適当な数点になるものと考えられる。今この点を 1, 2, 3, ..., n とするとこの n 個はガラス球内にある範囲に分散している。この範囲を引火範囲と名付けて、今後発光特性との関連性を考えてみよう。考え方を容易にするため、等価的に発光の中心が引火範囲に規則正しく配置されているとする。

第 6 図にある引火範囲に規則正しく発光の中心が分散して、この各を中心として、各 c の速度の発光の範囲を拡げて行く場合 (i) と、完全に中心にただ一つ発光の中心がある場合 (ii) とを比較してみた。

(i) の場合は (ii) に比較して最初発光範囲は n 倍の早さで大きくなるであろう。すなわち発光曲線は $kncd^{3/3}$ である。ところが範囲が 1, 2, 3, とすこし大きくなると、図に示すように A の領域で互に重なり合う。そこで A 領域の重なっただけ $kncd^{3/3}$ の曲線より発光曲線は小さくなるはずである。なお範囲が大きくなると仮想の発光範囲はガラス球より大きくなる。もちろんガラス球外には発光材がないから図の B 範囲は全く打消さなければならない範囲である。このため発光曲線は B 範

第 6 図

第 7 図 アルミニウムワイヤ閃光電球の点火材と発光特性

図ができると急激に t の 3 乗に比例した曲線からはづれてくる。これが発光曲線が t の 3 乗曲線から一定値になだらかに変る主な原因である。このようにして引火範囲をもった場合の発光特性は、発光の中心が真中にあるものと大きな差異ができるようになる。引火範囲が非対称であればもっと変った発光特性となるはずである。第 7 図にアルミニウムワイヤの小型閃光電球で実測した結果を示したが、作図した結果と良く一致していることが納得できると思う。そこで発光特性の形の歪は引火範囲が大きいことと、引火範囲の非対称から起ると考えられる。

次に引火範囲が大きくて、引火点の多いことは当然ながら T_p までの時間を短くすることになる。それ故に F 接点用閃光電球として、アルミニウム箔を用いても可能性を生ずる鍵がここにも一つあると思う。

なおここに引火範囲の大きいとか、小さいとかいうことは、ガラス球寸法に対して相対的に考えなければならないことを附け加えて置く。

5. 重畳の法則

閃光電球のガラス球内に 2 種類の発光材を入れると発光特性はこの各の発光特性の和になるというのが重畳の法則である。これは G. E. 社が考えて特許をとったものである。何故これが都合が良いかというと、これを利用して前に述べたフォーカルブレンジャッター用閃光電球を製作するのである。G. E. 社はこの閃光電球をつくるために、細いワイヤと太いワイヤを適当に組合せて重ね合わせて、丁度フォーカルブレンジャッター用に必要な数十 ms 一定な光束を出す閃光電球を製作した。

これを先程の発光曲線と消滅曲線に当てはめれば、次の通りになる。すなわち細い線の発光曲線を (I_1) 、太い線の発光曲線を (I_2) として、消滅曲線をそれぞれ (2_1) 、 (2_2) とすると

$$\text{発光曲線} = (I_1) + (I_2)$$

$$\text{消滅曲線} = (2_1) + (2_2)$$

となる。もし引火範囲が両線のある場所に亘っておれば同時に発光を開始するであろう。

しかしここで注意しなければならないのは、太い線と細い線との境はガラス球でないで、前章で説明した B 範囲がこの境ではできない。また引火の中心をそれぞれの線を中心と考えると差異がある。そのため当然太い線だけと、細い線だけの発光曲線の和とは相当異なっている。これについて正確な実験を行っていないが、筆者の経験では差異がある方が本当のようである。また両線の発光中心に関しても、両方が同時に発光するときと、細い線から太い線に燃焼が移る場合で異なっている。以上は寸法の異なるワイヤについてであったが、これが箔とワイヤでも同様なことがいえる。国内の閃光電球は殆んどこの種のものである。

6. 新しく試作した閃光電球

以上の基本的な考え方に立って F 接点用閃光電球はアルミニウム箔を用いて試作を行った。また M 接点用閃光電球としては径 42 mm のガラス球にアルミニウムワイヤを封入して、またフォーカルブレン用閃光電球としては太いアルミニウムワイヤと細いアルミニウムワイヤを封入して試作した。その各の特性は第 8 図の写真に示す通りである。

6.1 閃光電球の測定

閃光電球をまずグローブの内に入れて、4 V の蓄電池で 0.8 Ω の直列抵抗を入れて閃光電球を発火させる。閃光電球から出る光を窓を通して取り出して、スリットと

第 8 図 閃光電球の発光特性

視感度に合せるフィルタを通して光電管に入るようにする。光電管で受けた光は光電光となって、真空管で 1 段増幅されブラウン管の縦軸に入っている。そこで十分真空管の増幅が直線的なことが確かであるので、ブラウン管のスポットは発光光束に比例して振れる。横軸はいわゆる単掃引回路であって、閃光電球の回路が入るすこし前にグリッドを短絡してリイatronを通して瞬間にコンデンサに充電する。そしてただちに接点が切れてプレート電圧は 0 になって、同時にグリッドが負電圧になるため充電が止る。そこでこの充電電氣量が真空管を通して緩かに放電する。この端子電圧がブラウン管の横軸に入っているの、ブラウン管面のスポットは横軸を緩かに移動する。この間に光電管に光が入れば第 8 図のような曲線をえがくことができる。しかしこれではスポットが移動している何処で閃光電球にスイッチが入ったかわからないので、回路を入れるスイッチと同時に、その瞬間だけ別なスイッチでブラウン管の縦軸に電圧を加えて、スポットを振らした。

6.2 較 正

光束軸の較正は、スリットをとりさって、増幅率を低くして、グローブに標準電球を入れたときのスポットの振れに前記倍率をかけて求めた。そこでこの光束は視感

度に合せるフィルタを通して標準電球と閃光電球の光束を比較したので、いわゆるホットグラフィックルーメンではない。閃光電球は約 3800°K の色温度に相当する放射エネルギー分布をもつ光を出すので、普通の白熱電球より遙かに短波長のエネルギーが大きい。一方フィルムは短波長に感度が良いので、フィルムに対しては同じルーメン秒の光量でも写真効果が大い。これに対して標準フィルムに写真感度測定用標準電球と同じ写真効果となる閃光電球の光量をホットグラフィックルーメン秒と俗称している。閃光電球の光量発表値はこの単位を用いたものが多いので、ここに説明を加えて置いた。

時間軸の較正は別に 50 ㎐ の電源電圧を光束のかわりにブラウン管縦軸に加えて、単掃引回路を同様繰返して行った。

6.3 測定の結果

以上の測定装置によって、新らしく試作した閃光電球の特性は次表の通りであった。ただしここで全光量は

$$Q = \int L dt$$

によって求めたものである。またこの表に書いた値は第 8 図の写真の測定結果ではなく、試作した平均値を示して置いた。

閃 光 電 球 の 種 類	外 観 寸 法	閃 光 特 性				
		T_s [ms]	T_p [ms]	D [ms]	L_m $\times 10^6$ [lm]	Q [lm・秒]
F 接 点 用 閃 光 電 球	アルミニウム箔入り ガラス球 M-38	—	6.5	5	1.9	12 000
M 接 点 用 閃 光 電 球	アルミニウムワイヤ ガラス球 M-42	—	approx. 19	15	1.1	19 000
F. P. シャッター用閃光電球	アルミニウムワイヤ ガラス球 M-42	5	approx. T_1 12	32	0.7	20 000 24 000

ただし T_1 は回路スイッチを入れてから発光光束が $L_m/2$ に達するまでの時間

参考文献

- (1) W. E. Forsythe and M. A. Easley: Time Intensity Relation and Spectral Distribution of the Relation and Spectral Distribution of the Photo-flash Lamps. J. O. S. A., 24, (1934) 195
- (2) Frank G. Brockman: The Nature of the Light

Emittes in Photo flash Lamps, J. O. S. A., 37, (1947) 652

- (3) G. D. Rieck and L. H. Verbeek: The "Photo-flux" Series of Flashbulbs, Philips Technical Review., 7 (1951) 185
- (4) 小瀬: 閃光電球の特性 東芝レビュー 6, 4, 41