艶消電球並に電燈器具の輝度に就て

正會員 工學士 關 重 廣

東京電氣株式會社研究所

On the Brightness of Frosted Lamps and Several Kinds of Luminaires.

By S. Seki, Member.

Tokyo Electric Co. Research Laboratory.

内 容 梗 概

各種光源の輝度に就ては從來發表されて居たが、艶消電球や電燈器具の輝度に就ては餘り測定された結果を見ないので今回之等に關する實驗を行つた、その結果は大體次の如くである。

艶消電球の輝度は電球の燭光の増加と共に増すけれども、同時にバルブも大きくなるから燭光に比例はしない。

半間接ボウル並に乳色外球にあつては輝度は直徑の自乗に逆比例し、電球の球面燭光に正比例する。然し嫦娥外球や磨硝子外球にあつては必ずしも直徑の自乗に逆比例せず少しく狂ひを生ずる。

Synopsis.

The brightness of several light sources has already been given, but we can not obtain any data concerning frosted lamp bulbs and luminaires.

So we measured the brightness of frosted lamp bulbs, globes and semi-indirect bowls, and obtained the following relations:

The brightness of frosted bulb surfaces increases with — not directly proportional to — the increases of the rated capacity of the lamp.

Semi-indirect bowls and opal globes show the clear relation between the size and surface brightness; i. e. the brightness is proportional to the spherical candle power of the lamp and inversely proportional to the square of the diameter. But as to the Alabaster or ordinary frosted glass globes the above relations do not strictly hold.

吾々の肉眼に對して光が刺激を與ふる場合に、その刺激は燭光、コントラスト等に大きな關係を持つものであるけれども最も著しい影響を與ふるのは輝度である。

夫れ故この輝度なる問題は照明學上可成り重大なる事柄であるけれ共從來餘り之に關したデータを見ないのである。尤も太陽であるとか、炭素弧光、瓦斯燈、或は電燈纖條の如きものゝ値は嘗つて米國の雜誌などに掲げられて一般に知られて居るやうであるが艶消電球であるとか或は各種の電燈器具の輝度に就ては殆んど發表されて居らない、甚だしきに至つては艶消電球のバルブの輝度は平方吋當り約6燭

であると云ふやうな不合理な事（この値は電球の燭光其他で變るはづである）が一部に信せられて居るやうな有様なので、今回白熱電燈並に其電燈器具の輝度を測定してこゝに發表する次第である。

この測定は東京電氣會社研究所に於て大正十一年の一月から六月までに行つたもので、實驗に供した器具の大部分及電球は同工場の製作にかゝるものである。従つて電球に於ても能率が違ひ、バルブの大きさも異なる他社製のもの、器具に於ても材料等を異にするものにあつては當然違つた値を取るべきものであることをあらかじめ斷はつておく。

測定方法

輝度を測定する方法は普通三種ある。第一はバイロメーターにて溫度を測り、夫から豫じめ知られて居る關係に依つて輝度を求める方法で、電球の纖條等の輝度を測定するに適して居る。

第二の方法は光度計を以て直接讀む方法でこれは直接輝度を測る式の光度計でない出来ない。

第三は燭光を測定し、それを面積で割る方法で最も簡便であるけれども誤差が生じやすい缺點がある。

吾々の實驗に於ては主として第二の方法を用ひ check として第三法を用ひた。即ちフランツシュミット製の携帯用光度計を以て直接讀みとつたのである。それで先

第一圖

づ輝度の標準を造り、それを以て光度計の目盛りと輝度との關係を求めておき、これを以て測るべき目的物を直接讀んだのである。輝度の標準は次の如くして造つた。

先づ酸化亞鉛の撒光性白色表面を作り、その撒光反射率を測定する。（ウルブリヒト球を應用せる反射率測定器により）次に

反射光線の配光曲線を作る、然る時は第一圖の如き曲線を得る、A は 100 % の反射率を有する完全撒光性反射面の假想配光曲線で B は酸化亞鉛のである。A の場合にはその照度と輝度との關係は次の如くなる。

O に於ける照度 (呎燭) の値 $\times 1.076 =$ 輝度 (ミリランベルト)

(1 ランベルト $= 2.05 \text{ cp./}\square''$)

然らば B の場合も O に於ける照度がわかれば任意の方向例へば OP の方向の輝度は直ちに求められる。

次に面積で燭光を割る方法は先づ燭光を測定し、その値を同方向への光線の正射影の面積で割るので最も簡単であるけれど、此方法ではその面積内の平均輝度がわかるだけである、故に單に check としか用ひられない。

測定結果

1. 電燈の艶消バルブ及乳白色バルブ

艶消バルブの輝度は艶消の方法、程度、バルブの大きさ、等に依て幾分違ふ、こゝに挙げたのは現在東京電氣會社の工場で作られて居る艶消電燈の内中庸程度のもの數個の平均値である。

測定したのはバルブの中央の最も輝いて見える部分の輝度である。先づ垂直平面内に於ける輝度分布、即ち輝度の配光曲線と云ふやうなものを作つて見た。この場合真空タングステン電球 (以下 B 電球と記す) はその水平配光が殆んど圓となるけれ共瓦斯入電球 (以下 C 電球と記す) にあつては水平配光 (輝度の場合の) が著しく片よつて居て圓にならないので平均値を採用することは餘りに亂暴のやうに思はれた故に、その最大方向と最小の方向とを示す垂直面即ち第二圖に於ける AB 平面内に於ける分布を別々に採用した。其結果の一例として B 50 燭 C 60 ワット 並に乳色電球 (以下 C-4 電球と記す) 50 ワットの結果を示せば第二圖及第一表の如くである。こゝに C-4 電球は中の纖維が赤くすいて見えないもので而もバルブの吸収率が 25% 位のものでその上バルブの厚さが一樣であるものゝみの平均値である。(バルブの厚さが一樣であるか否かはこゝをさねばわからない故に數多く測定しておいて後、こゝをさねて見てその内厚さの一樣のものゝみの値を採つたのである)

第 一 表

垂直平面に於ける輝度分布(平方呎燭光數)					
角	50cp. B	60W. C		50W. White mazda	
		A side	B side	A side	B side
0	4.5	53.0	53.0	5.6	5.6
15	5.6	56.0	47.6	7.7	5.6
30	8.7	56.0	45.0	9.1	6.6
45	11.5	57.5	42.0	10.3	7.2
60	13.5	61.0	39.5	11.5	7.9
75	15.0	63.0	38.0	11.6	9.1
90	16.0	66.0	36.5	11.3	9.0
105	15.5	60.0	29.5	9.7	8.5
120	14.0	55.5	22.5	7.1	7.9

第 二 圖

A' 50 w. C-4 lamp
 B' 50 cp. B lamp
 C' 60 w. C lamp

次に各電球の水平方向即ちバルブの側面の輝度（この場合は前掲の表とちがひ C 電球の場合に於ても普通の配光曲線の場合と同様に各水平方向の平均値を採用した）

を示せば次の如くである。

第 二 表

バ ル ブ の 側 面 の 輝 度					
B 電 球		C 電 球		C-4 電 球	
c.p.	cp/□"	watt	cp/□"	W.	cp/□"
5	2.1	20	13.5	50	9.3
10	3.8	40	38.0		
16	5.4	60	55.0		
24	7.8	100	84.0		
32	9.7	200	110.0		
50	15.0				
100	19.0				

2. 半間接ボウル

半間接器具の材料としては普通乳色硝子 (opal glass) 嫦娥硝子 (Alabaster glass) の二種がある。この輝度も硝子の厚さによつて著しく變化することは明らかであるが、吾々の測定したのは標準材料により標準の厚さに製作されたものを採つたのである。光源の位置も重大なる影響を及ぼす Factor の一つであるが之は配光曲線の測定の際定めたと同じ位置に於て測定した。近日別冊 (或は次號雜誌) として出さるべき配光曲線集を参考されたい。

これに使用した器具は次の如くである。

1. Luminalia Dia. 14 inches
2. Luminalia Dia. 16 inches
3. Luminalia Dia. 20 inches
4. Alba. Dia. 14 inches
5. Alba. Dia. 16 inches
6. Alba. Dia. 18 inches
7. Opal (cased) Dia. 15 inches
8. Opal (cased) Dia. 16 inches

また電球はすべて C 電球 (100 W より 750 W まで) を使用した。

それで一つ一つの bowl に就て艶消バルブの場合と同じく垂直面内の配光を測つ

たのであるが、これを一々掲げることはあまりに繁雜であるが故に、水平線下 40° の角度をなす方向の輝度に就てのみその値をかゝげる。この 40° と云ふ角をとつた理由はこの邊が割合に輝度が大きく、且つ 45° と云ふ方向を測らなかつたから便宜上 45° の代りに 40° を採つたのである。扱この方向の輝度を各種 bowl について比較して見ると、こゝに偶然にも一定の關係が成立するのである。その式は次の如くである。

$$B = \frac{1.2}{D^2} \times C$$

こゝに B は毎平方吋當燭光即ち輝度

D は器具の直徑

C は電球の球面燭光

B が $\frac{C}{D^2}$ に比例することは合理的であるかも知れぬ、然しその比例の常數が、すべての器具に對して 1.2 と云ふ同一の値を取る事は偶然であつて誠に面白い事柄である。即ち「すきがけ乳色硝子」製のものと、嫦娥製のものとでは丁度その輝度が殆んど等しくなるやうに偶然にも厚さが定められてあつたのである。

3. 外 球

外球は前記二種の硝子以外に磨硝子製のものがある。そして嫦娥硝子製のものは半間接 bowl と違ひ乳色硝子と同様な厚さに作られて居るのであるから纖條がすき通つて見える。それ故これを艶消しにしたものを探り、滑面嫦娥については後章に別に述べる事にする。

現今普通に使用せられて居る外球の直徑は 6 吋、8 吋、10 吋、12 吋の四種である。それで三種の硝子による各四種の大さの外球についてその輝度を測定した結果を以て前と同様實驗式を作つて見れば次の如くになつた。

六〇 乳 色 外 球 $B = \frac{0.85}{D^2} \times C.$

磨 硝 子 外 球 $B = (0.01 + \frac{6.8}{D^2}) \times C.$

艶消嫦娥外球 $B = (0.002 + \frac{3.5}{D^2}) \times C \div \frac{3.7}{D^2} \times C.$

(但し D=6吋〜12吋)

こゝに B、C、D、等は前記 (1) 式の場合と同様である。これ等の式は一般に

$$B = (A + \frac{B}{D^2}) \times C.$$

の形によつて表はされて居る。即ち A は光源から直接に餘り擴散されずに來る光を表はし、B は表面に於て擴散さるゝ量を示す。もとより嚴密に言へばかゝる考へは或は不隱當であるかも知れないけれど、嚴密に理論通りの式を作ることは徒らに複雑なものとなり、測定された器具の厚さ等の違ひによる各個の差違を考へるとかかる複雑な式を作るとは結局無意味なのでかく簡單なものとしてしまつたのである。即ち式を作る方針としては「なるべく簡單になし、出來うべくんば暗算で計算出來る位にする、従つて係數等を簡單にするは勿論、乗算は整數とする」と云ふ事にしたのである。

これ等の式から結論さるゝ事柄は次の如くである。

- (1) 半間接 bowl 及乳色外球の輝度は電球の球面燭光に比例し、直徑の自乗に逆比例する。
- (2) 艶消嫦娥外球の輝度は大體直徑の自乗に逆比例し電球の球面燭光に比例する。
- (3) 磨硝子外球の輝度は電球の球面燭光に比例するが直徑の自乗に逆比例はしない。故に外球の直徑を増加する事は輝度低下の目的に對しては他の硝子よりも効果が少ない。

こゝに電球の球面燭光とワットとの關係を示せば第三表の如くである。

第 三 表

C 電球の Watt と球面燭光との關係			
Watt	S. C. P.	Watt	S. C. P.
100	100	400	445
150	150	500	588
200	200	750	938
250	250	1000	1335
300	316	1500	2000

次に同一直徑の例へば 10吋 外球に同一電球を附したる場合の輝度の比をとれば次の如くなる。

輝度（平方吋當燭光）の比

乳色外球	1.
磨硝子外球	9.2
艶消嫦娥外球	4.3

但しこの比は 10 吋外球の場合であつて外球の大きさがちがへばこの値も多少違つて来る。

今更に前掲の式にもどつて考へるに半間接ボウル及乳色外球の場合は比例の常數が大略 1 に近い。それから球面燭光とワット數とも大體同じやうな値である。故に極く大體の所を求めやうとするには次の如くでいゝと思ふ。これならば平常暗記して居ることが出来る。

(1) 半間接ボウル及乳色外球の輝度(平方吋當り燭光數)は電球のワット數を器具の直徑の自乗で割れば得られる、例へば 16 吋の乳色外球に 400 ワット C 電球を附した場合の輝度は $400 \div 16^2 = 1.56$ である。

(2) 艶消嫦娥外球の場合はその値を約四倍し、磨硝子外球の場合は約八倍すればよろしい。

4. 乳色外球と磨硝子外球との撒光性の比較

乳色外球は殆んど完全な撒光性を有し磨硝子は然らず。故に前者は殆んど全部一樣の輝度に見ゆるけれども、後者は中央部分が著しく明るくみえる。これ前記の如く後者の輝度が大である理由である。然らば兩者に於て中央部分と周邊との輝度の差はどの位であるか。

之をしらべて見た所第四表及第三圖の如くなつた。これは 12 吋外球に 500W. C 電球を附し第三圖に示す如く同一方向に對する輝度を中央から順次に半吋づゝ測定したものであつて乳色外球に於ては中央も周邊も殆んど變らず完全に近い撒光性をもつて居るが、磨硝子外球に於ては非常に違ひ中央部分は周邊の廿倍位に達して居る。

第 四 表

同一方向に對する輝度の分布			
電球 500W. C. 外球の直径 12 吋			
中央よりの距離 (吋)	第三圖に依る附 號	乳 色 外 球	磨 硝 子
0	a	3.5	33.0
0.5	—	3.5	32.5
1.0	b	3.5	29.0
1.5	—	3.5	15.0
2.0	c	3.5	8.5
2.5	—	3.5	6.0
3.0	d	3.4	4.1
3.5	—	3.4	3.0
4.0	e	3.4	2.5
4.5	—	3.4	2.1
5.0	f	3.3	1.8
5.5	—	3.3	1.6

第 三 圖

5. 嫦娥外球

嫦娥外球の輝度の値を測定することは如何なる部分の輝度を測定すべきかと云ふ問題に困難を感じる。何となればこの外球にあつては中の織條が透視出来るのであるから理論上はこの透視される織條の輝度を測定するのが當然であるがこの部分の輝度は外球の直径にも亦電球の球面燭光にも無關係で唯電球の能率によつて幾分變るだけであり、亦實際上かゝる小部分の輝度

は街燈等にあつては露出光源の如く甚だしき高輝度にならざる限りあまり問題にならざる故に、かゝる部分の輝度を測定するのは無意味のやうに思はれる。

次に織條の部分を除きたる中央部分の輝度であるが、これは一寸實際上適當のやうに思はれて然らず、この輝度は擴散によつてのみ輝く部分で擴散度大きい程輝度高く、反對に例へば透明硝子の如きものにあつては輝度は殆んど零である。それ故矢張りこの部分を測定することも不適當である。

このやうなわけで實際問題として如何なる部分を測定したら適當であるかと云ふ事が定めにくく、結局便宜上中心附近適當な面積(一平方吋)の平均輝度を求めたが、

これは實際上には最も適當であるとは思ふけれどあまり便宜的のもので1平方吋と云ふ面積を定めた根據も薄弱であるから、こゝに掲ぐる事は遠慮する。

6. 外國のデータとの比較

1822年の Trans. Illum. E. S. 十二月號に電燈器具の輝度に関するデータが與へられた。もとより之はいかにして測定したものか或は單に理論的に計算したものであるかはわからない、とにかくそのデータを次に掲げれば第五表のやうである。

第 五 表

Brightness and Size of enclosing globes of good diffusing glass		
Source	Dia. of globe	Brightness (av. cp. /□")
100 W. gas filled.	5	4.5
	6	3.1
	7	2.3
	8	1.8
	9	1.4
	10	1.1
	12	0.8
	14	0.6

この結果は大體に於て吾々の得た結果より約20%位高いことが認められる。然しこの硝子は good diffusing glass で85%の能率であると云ふから吾々の實驗に供した乳色外球の70%の能率のものに比べてその位多いのは當然であると思はれる。

また50 watt opal glass bulb 即ち C-4 lamp の輝度として

は 8.3 cp/□" と與へられてある。吾々の結果たる 9.3 と比べて少ないがこれは或はバルブ全體の平均値であるかも知らない。

附 記

以上の結果についてくりかへして念入りに御斷りすることはこの結果は東京電氣會社の標準製品にのみあてはまるもので厚さがちがへば結果も亦異なると云ふことである。三種の硝子の比較についても磨硝子は厚さの變化に無關係であるし乳色硝子は少しの變化に對して非常にちがつて來る。故に厚さが厚くなるに従つて三種の硝子の輝度の比も亦大きくなつて來ることを注意していただきたい。

最後にこの實驗を主として行つて下さつた北村品三君に厚く感謝の意を表する。

(終り)