論 文

赤外線電球の二三の特性について

正会員 岡田 喜義* 佐土根範次*

1. 緒 言

赤外線電球による加熱乾燥の利用は近時著しく普及せられ、その効果が認められて来ている。この原理、能力、應用に関しては、J.D.Hall 氏の文献⁽¹⁾により紹介せられ、又本誌上にも東莞氏⁽²⁾によつて報告せられている。

筆者等はその基礎的研究の第一歩として、内外の各社赤外線電球の特性について調査する機会を得たので、その結果を報告して一般の御参考に供する。

2. 赤外線電球の種類

赤外線電球を米国製と国内の某 3 社の製品について方向特性の差異による型、電球の色、定格電圧、大きさにより分類すると第 1 表の如くなる。

第 1 表 赤外線電球の種類および効率

メーカー	方向特性による型	電球の色	定格電圧	大きさ W	輻射効率
米国製	集照型	赤 色	110 V	500 W	
		無 色	~	375 W	
		(内面艶消)	130 V	250 W	77%
和 製 X 社	強照型	赤 色	100 V	375 W	76%
				250 W	77%
		無 色	100 V	375 W	84%
				250 W	83.5%
和 製 Y 社	集照型	無 色	100 V	500 W	
				250 W	83.5%
和 製 Z 社	集照型	内面艶消	100 V 110 V	250 W	73%
	(反射笠付)	無 色	100 V 110 V	500 W	
				250 W	

第 1 図は各社の製品の一例であつて、電球のガラス内面にアルミニウムを蒸発鍍金して反射鏡としたものが多い。電球の外部にアルミニウムを電解研磨し

酸化処理した反射笠を取付けたものもあるが、効率は前者より低く反射面の設計如何によつては効果が著しく低下する。

(上)和製X社 250W無色
(下)和製X社 250W赤色
米 国 製 250W赤色
(上)和製Y社 250W無色
(下)和製Z社 250W艶消

第 1 図

表中の効率は次の節で述べるルーソー線図から計算して出したものであつて、赤色電球は紫外部と可視部を赤ガラスが吸収するから効率は無色電球よりも 6~7% 低くなる。その代り照射による化学作用を防ぎ、作業中に虫を呼び寄せることが少い等の利点もある。内面艶消にした電球も輻射を吸収するから無色透明の電球に較べて約 10% 効率を減少するが輻射照度のむらを防止することが出来る利点がある。

3. 赤外線電球の電圧特性

電球の電圧を変化した場合の電流、電力(入力)、輻射エネルギー(出力)および効率の変化を百分率にて示せば第 2 図の如くなる。

此の図は定格電圧を 100 ボルトとして、定格電圧に対

* 工業技術廳電気試験所大阪支所
Some Characters of the Infrared lamp.
by Kiyoshi, Okada. (Electrotechnical Laboratory) and Hanji, Satone. (Electrotechnical Laboratory)

する各々の値を 100 とした時の百分率であつて、米国製、和製各社製品共に殆んど一致した特性を持つてゐるのは繊維温度に格段の相異がないからであらう。電圧降下と共に輻射効率は下るが電圧が 60 % 以下になると能率が急に低下する点に注意せられたい。輻射エネルギー

第2図 電圧特性

は電圧 70 % にて約 2 分の 1 になり、電圧 125 % において約 2 倍になるわけであるから、電球の大きさ、配列、電球からの距離を変えないで、輻射の強さを変化したい場合には電圧を加減するのも一方法である。但し寿命は電圧を上昇すると急に減少し、降下すれば急に上昇する。

4. 赤外線電球の繊維の温度

繊維の温度の概略を求めるためその色温度を測つた。色温度は 8.57 ルーメン/W の真空電球を基にして色温度が 2439°K になる電圧値の判つた真空籠型タングステン電球 (16 cp) を標準とし真空籠型タングステン電球の色温度と電圧の関係を田治米式⁽³⁾によつて求めこれを尺度として測定した。結果は第2表の如くである。

第2表 赤外線電球の繊維温度の測定例

種 類	定格電圧	眞 温 度 *
X 社 250 W	100 V	2380°K
X 社 375 W	100 V	2320°K
Y 社 350 W	100 V	2370°K
Z 社 250 W	110 V	2280°K

* 色温度の測定値に補正を加えて換算した。

5. 赤外線電球の配光特性

電球のフィラメントから放射された輻射を有効に目的物に集中照射するためにガラス内面には反射鏡面を有する。電球の配光特性はこの鏡面の形状と繊維の架識および両者の相互位置によつて定まる。

米国製品と共に各社の電球の資料について配光曲線を測定した結果を第3図に示した。何れも電球を横向に点灯してY軸を灯軸 (中心軸) とし、O点を繊維の中心とした場合の右半分の配光を示すものである。

第3図 配光曲線およびルーソー線図

なおこの配光曲線は電球の灯軸を軸として毎分 100~150 回転せしめつつ測定したから平均垂直配光曲線を示すわけである。この図の単位は単位立体角当りの「ワット」即ち W/steradian で示してあるから半径 1m の半球面の球面における 1 平方 m 当りの「ワット」の値に等しい。

米国製及びY・Z社製のは灯軸の方向に多量の輻射が集中し、X社製のは中心角にして40°、即ち立体角が大なる範囲に輻射を出している。筆者等は便宜上仮りにこの2つの型に対して前者を集照型 (Focusing type) 後者を強照型 (Intensive type) として区別している。

立体角と中心角との間には立体角を ω とし中心角を θ とすれば次式の関係がある。

$$\omega = 2\pi(1 - \cos \theta) \dots \dots (1)$$

即ち中心角小なる時は立体角小さく、中心角が大きくなるにつれて立体角は急に大きくなる。其処で電球から放射する全輻射エネルギーの量を表すためには、同図右側のルーソー線図⁽⁴⁾を画く、両軸と曲線によつて囲まれた面積は全輻射エネルギーの量を表すわけである。これを入力で割れば第1表に示す如くその電球の輻射効率を算出することが出来る。

電球の配光曲線で囲まれた面積は電球から放射する輻射エネルギーの量を表わしていないことに注意すべきである。

6. 電球の半球面換算率

平均半球面輻射強度 (I_m) の灯軸方向の輻射強度 (I_A) に対する比を半球面換算率とすれば、測定によつて求めた灯軸方向の輻射強度に半球面換算率を乗じて平均半球面輻射強度を求め、これに半球面の立体角 2π を乗じて全輻射エネルギーを求めることが出来る。半球面換算率を K とすれば、

$$I_m = KI_A \dots \dots (2)$$

第3表 電球の半球面換算率

電 球 の 種 類			半球面換算率
米 国 製	250 W	赤 色	13 %
和 製 X 社	375 W	赤 色	23 %
〃 〃	250 W	赤 色	32 %
〃 Y 社	250 W	無 色	11 %
〃 Z 社	250 W	艶 消	12 %

半球面換算率は織條の形、硝子球反射鏡面の形、大きさ、織條と反射鏡面との関係位置による方向特性型式によつて著しく違ふものであり、同一型式の電球でも個々には相当の開きを持つものである。各種の供試品について測定計算した結果は第3表の如くなる。集光の著しい型程半球面換算率は低いわけである。

7. 各種電球が一個の場合の輻射照度分布

第4図 垂直面輻射照度曲線図 375 W 赤色

第5図

第6図 各種電球の灯軸上の輻射と距離との関係

375 W, 赤色, 強照型の電球を例にとつて灯軸を含む垂直面における等輻射照度図を作ると第4図の如くなる。これから任意の方向と距離における輻射照度を知ることが出来る。又實際使用される灯軸に直角なる水平面

の輻射照度の一例として、電球から9時の距離における等輻射照度線図を第5図に示した。電球からの距離が近い処では輻射の均一な面は得難く、織條の像が現われる場合もある。この現象は電球を適度の間隔に多数配列することにより、又距離を離すことにより大分防ぐことが出来る。又電球を艶消にすれば不均等を防止する事が出来るが、前節にも述べた如く効率減する。

電球の灯軸上の距離と輻射照度の関係は第6図の如く

なり逆2乗の法則に近いが電球の配列箇数が増加すれば距離による輻射の減衰は少なくなり、無限の配列においては距離による減衰は理論上なくなる筈である。

各社の製品について電球前面から6", 9", 12" の距離で灯軸に直角なる平面上における輻射照度分布を第7図に示した。この結果は電球を回轉せしめつつ測定したもので、平面上で灯軸から等距離な位置に対する分布の平均を示すものである。

第7図 各社電球1個の輻射照度分布

8. 電球を多数配列した場合の輻射照度分布

実際の加熱乾燥には電球を加熱物の種類、大きさに應じて数箇乃至数10箇、場合によつては数100箇を使用し、しかも加熱面において均一なる輻射照度分布が得られる

第8図 1列配列灯軸線上の輻射照度

ように、電球の間隔を適当に調節して配列しなければならぬ。250Wの2つの型の電球について、電球に接近せる距離においても均一なる輻射照度分布を得るには、取扱つた実例の強照型では電球間の間隔を20cmに、集照型は間隔を14cmにするのが適度であつた。

第9図 1列配列灯軸線上の輻射照度

電球から距離が離れるにつれて減少する値である。

第 10 図と第 11 図において無限配列の場合を (3) (4) 式により計算すると、250 W, 強照型, 赤色電球は

$$E_1 = \frac{250 \times 0.77}{0.87 \times 20^2} \times 1 = 0.55 \text{ W/cm}^2$$

250 W, 集照型, 無色電球は

$$E_2 = \frac{250 \times 0.83}{0.87 \times 14^2} \times 1 = 1.22 \text{ W/cm}^2$$

但電球の箇数が有限になれば k が 1 よりも小さくなるから照度はこの値より低くなるわけである。

電球の型によつて均一なる輻射照度の得られる電球の中心間隔は大体定まるが、その間隔を大きくすれば第 12 図に示した如く、電球の軸上のみ輻射が強くなりむらが大きくなるわけである。

第 12 図 電球間隔を広くした場合の輻射照度

10. 赤外線電球を任意に配列した場合の輻射照度の計算

赤外線電球は織條の背後に複雑な曲面を有する反射鏡面があるから、輻射発散は電球から距離と方向によつて複雑な変化を示すので、これを函数的に表示することが容易で、仮りに函数で表示し得たとしても反射鏡面の形状、織條の形状によつて鏡面と織條の位置相互関係が変化すると著しく変化する。規格化された電球個々の輻射分布がよく揃つたものを多数点灯したときの総合効果を成るべく単純化して扱うために、電球の頂部からある定まつた距離を距て灯軸に垂直なる平面上における輻射照度分布曲線を測定によつて求め、これを基にして計算を進めることにした。

第 7 図の曲線は電球の頂部から 6, 9, 12 時の距離にある平面内で灯軸からの距離 r と輻射照度 ΔE の関係を示すものであるから、1 個の電球による輻射照度は ΔE は r の函数として表わされる。

$$\Delta E = f(r) \dots \dots \dots (5)$$

そこで第 13 図のように等間隔 a を距てて M 列の電球列があり、列内の電球の間隔を b として N 個の電球が配列されたものとし、これらの電球の輻射によつて P

第 13 図 正方形の輻射照度計算

点に生ずる総合輻射照度 E を求める。第 1 列第 1 番の電球の位置の坐標が (a, b) となるように原点 O を定め、 P 点の坐標を (ma, nb) とし、第 m 列第 n 番の電球軸と P 点間の距離を r_{mn} とすれば

$$r_{mn} = \sqrt{(ma - a)^2 + (nb - b)^2} \\ = \sqrt{(m-1)^2 a^2 + (n-1)^2 b^2} \dots \dots \dots (6)$$

特に $a=b$ なるときは

$$r_{mn} = a \sqrt{(m-1)^2 + (n-1)^2} \dots \dots \dots (7)$$

となる

第 14 図のように電球が千鳥型に配列されたときは

第 14 図 千鳥形の輻射照度計算

$$\left. \begin{array}{l} m \text{ が奇数のとき} \\ r_{mn} = \sqrt{(m-a)^2 a^2 + (n-\beta)^2 b^2} \\ m \text{ が偶数のとき} \\ r_{mn} = \sqrt{(m-a)^2 a^2 + (n \pm \frac{1}{2} - \beta)^2 b^2} \end{array} \right\} \dots \dots (8)$$

特に正千鳥型にて $a = \frac{\sqrt{3}}{2} b$ なるときは

$$\left. \begin{array}{l} m ; \text{奇数 } r_{mn} = b \sqrt{\frac{3}{4} (m-a)^2 + (n-\beta)^2} \\ m ; \text{偶数 } r_{mn} = b \sqrt{\frac{3}{4} (m-a)^2 + (n \pm \frac{1}{2} - \beta)^2} \end{array} \right\} \dots \dots (9)$$

r_{mn} が判れば $\Delta E_{mn} = f(r_{mn})$ として第 7 図から求めるから

$$E = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \Delta E_{mn} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(r_{mn}) \dots \dots (10)$$

とすれば総合輻射照度が得られる。

受熱面積全体に対する輻射束を求めるには輻射照度を x, y について積分し

$$\mathfrak{B} = \int_x \int_y E \cdot dx \cdot dy = \int_x \int_y \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(r_{mn}) \right] dx \cdot dy \dots \dots (11)$$

受熱面積が第 13 図の $x = \frac{a}{2}, x = (M + \frac{1}{2})a,$

$y = \frac{b}{2}, y = (N + \frac{1}{2})b$ によつて囲まれる時には

$$\mathfrak{B} = \int_{x=\frac{a}{2}}^{(M+\frac{1}{2})a} \int_{y=\frac{b}{2}}^{(N+\frac{1}{2})b} \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(r_{mn}) \right] dx \cdot dy \dots \dots (12)$$

となる。

1 個の電球による全輻射束 Φ はルーソー線図から求められるが第 15 図の如く半径を r とし微分 dr を巾とする円環に入射する輻射束を積分して求めることも出来る。

第 15 図 輻射照度から
全輻射を求むる方法

$$\Phi = \int_{r=0}^{\infty} f(r) 2\pi r \cdot dr \dots \dots (13)$$

故にこの場合の配列係数 k は

$$k = \frac{\mathfrak{B}}{M \cdot N \cdot \Phi} = \frac{\int_{x=\frac{a}{2}}^{(M+\frac{1}{2})a} \int_{y=\frac{b}{2}}^{(N+\frac{1}{2})b} \left[\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(r_{mn}) \right] dx \cdot dy}{M \cdot N \cdot \int_{r=0}^{\infty} f(r) 2\pi r \cdot dr} \dots \dots (14)$$

となり配列係数は電球の配列、受熱面の位置、大きさによつて変化するから、経験又は計算によつて多くの実例を求めて置く必要がある。

11. 結 言

赤外線加熱装置が貴用される理由は

- 赤外線加熱が品質におよぼす効果が良好なこと。
- 加熱効率がよく、電力費を軽減すること。
- 加熱の調節が容易であること。
- 設備が簡便であつて、作業に快適である。
- 設備費が低廉であつて熱源の維持費が少い。

等であつて、赤外線加熱装置として必要な条件は

- 加熱物へ強力な輻射を集中すること。
- 加熱面の輻射照度が作業に必要な値を持つこと。
- 加熱面における輻射照度が一樣なこと。
- 電球の寿命が長いこと。

等である。

従つて赤外線電球の品質および適否を鑑定する要素として

- 配光特性が作業目的に対して適切であること。即ち余り極端な集光型でなく、又余り放漫な散光型でもないこと。これは反射鏡面の曲面の性状と織條の位置の相互関係によつて定まる。
- 電球の光線又は紫外線の照射によつて、加熱物が化学変化を伴うときは赤色ガラスの電球を選び、然らざるときは無色ガラスの電球を選ぶ。
- 適当な間隔で配置することにより一樣な輻射照度を得られる可能性のある配光を持つこと。妥当な間隔に配置すること。
- 輻射能率が高いこと。即ちガラスの熱線透過率がよく、電球の寿命を著しく短縮することがない程度で織條の温度がなるべく高温であること。
- 電球の寿命が長いこと。電球の寿命を支配する要素としては。

1. タングステン織條の材質と織條温度の設計

[2400°K ~ 2500°K]

2. ガラス細工が良好であつて、気密性が劣化しないこと。
3. 反射鏡面が劣化しないこと。
4. 口金部分の温度上昇が少く、口金の接著が堅牢であること。

等を挙ぐべきである。

照明用電球は発光能率を高めるために、寿命の許す限り織條の温度を極度に高くしているが、赤外線電球は必ずしも発光を要しないので寿命を犠牲にしてまで織條の温度を高くする必要はない。照明用瓦斯入電球の織條温度が 2300°K ~ 3000°K あるいは特殊の場合に 3200°K

以上にも設計されるのに比し、赤外線電球は 2400°K~2500°K の程度で差支えないので繊維の寿命は著しく延長され、計算上照明用電球の寿命の 10 倍以上にすることは容易であるが、赤外線電球の寿命は熱的又は機械的な損傷のために 5000 時間乃至 10000 時間と云われている。電球が加熱装置に内蔵されるために設計が悪いと電球の温度が異常に上昇する。このために熱的または機械的な故障を惹き起す特殊の悪条件があるので電球の設計又は電球取付装置設計は特別の注意が必要である。

最後に赤外線電球の色温度測定は当所川上元郎技官が担当した。実験並にデータの整理には松田高之技術員

が協力した。これ等諸氏に対し感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) J.D.Hall; Industrial Application of Infrared.
- (2) 東 堯; 赤外乾燥 (I)
照学誌 第 34 卷 3 号 (昭25)
" ; " (II)
照学誌 第 35 卷 4 号 (昭25)
- (3) 田治米亮三; マツダ研究時報 Vol 12, No.4
- (4) 山内 二郎; 電灯, 晝光, 照明工学, 前編 P.90

文 献 紹 介

2. 照 明 施 設

2-1 維 持 率

Parry Moon and Domina Eberle Spencer:

Maintenance Factors

I. E. 41-3(1946) 211~231

- [1] 緒論 使用状態の下における作業面上平均照度は
- $$E_{av}' = k_u k_m F_L / S \dots \dots \dots (1)$$

である。ここで F_L = ランプからの最初的光束, S = 床面積, k_u = 新しく塗装された室の照明率 = gf , g = 照明器具の最初の能率, f = 最初の相互反射率, k_m = 維持率である。維持率は, (a) ランプの低下による (内部黒化その他) k_{m1} , (b) 照明器具表面における塵による (ランプ表面も含む) k_{m2} , (c) 室表面の低下による k_{m3} , による。前式は, $E_{av}' = k_u' F_L / S$ で $k_u' = g' f' = (g k_m) f'$ である。 k_m はランプを含んだ照明器具の維持率であり, f' は点灯中の平均相互反射率である。

- [2] 維持率の決定 (a) および (b) 両方を含む維持率は, $k_m(t) = F_D(t) / F_D(0)$ であり $k_m(t)$ = 時間 t における照明器具からの光束, $F_D(0)$ = 新らしいランプを有する清潔な照明器具からの光束,

$$k_m(t) = k_{m1}(t) \cdot k_{m2}(t) \dots \dots \dots (2)$$

であり, これら 2 つの維持率は今日非常に詳細に考えられている。

- [3] ランプ 最初に塵のないランプの低下を考える。第 1 図点線はその代表的実験記録であり, 横軸はランプの定格寿命の分数で表わされた時間である。実線は

$$k_{m1}(t) = 0.600 + 0.400 e^{-at/L_0}$$

から得られた実験的近似値であり, ここで a は実験にて

第 1 図

定められる定数である。この平均は

$$k_m = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} \left[0.600 + 0.400 e^{-at/L_0} \right] dt$$

$$= 0.600 + \frac{0.400}{a} \left(\frac{L_0}{t_s} \right) \left(1 - e^{-ats/L_0} \right) \dots \dots (3)$$

であり, t_s = ランプの取換えられる期間, L_0 = 平均寿命である。

- [4] 照明器具表面に集積された塵 塵の厚みが時間 t に比例すると $k_{m2}(t) = \gamma e^{-k't}$ であり, ここに γ は透過率である。もしこの仮定が正しいと第 2 図の各点は

第 2 図

指数関数で表わされるだろう。しかし $t \rightarrow \infty$ で 0 になら