X 線管の加熱特性について

About a Heatercharacter of Filament

久保田 芳男* 吉野 純男* 日野 昭民*
Yoshio KUBOTA, Sumio YOSHINO, Terumi HINO

小池 利門* 一 杉 猛*
Rimon KOIKE Takeshi HITOSUGI

緒 言

X 線管の特性に関し、現在でもまだ充分明らかにされていない点が多々あるが、我々はフィラメントの加熱特性について、フィラメントの温度と加熱電圧及び加熱電流との関係を検討した所、実験と理論が極めて良く一致して一定の関係を有する事を明らかにし得たのでここに報告する。

実験と理論

図1は X 線管の加熱回路を簡単に図式化したものである。V は電圧計を A は電流計を示す。実際に種々の X 線管について、加熱電圧 E_f 加熱電流 I_f を求め、 I_f を縦軸に、 E_f を横軸にとつて図示したものが図2である。

図2から X 線管によりそれぞれの曲線の傾向は相当

図 1

図 2

互に異つて居る事が知られた。此の実験に基いて、加熱特性を理論的に追究して見た。

先づ、加熱されたフィラメントの熱エネルギーはどの様にして失われて行くか即ち熱損の問題を考察した。X 線管内部は高度の真空であるから、対流による熱損は考えられず、又伝導による熱エネルギーの損失は極めて僅であり、その大部分は輻射により失われるものと考えられる。因に、伝導により熱損を検討すべく行つた実験の結果を図3に示す。

図 3

図の横軸上にフィラメントの中心からの距離を取り、縦軸の O の部にフィラメントの最高温度を取つて、その下に温度の低下を取つた。図3から見られる様に、フィラメントの温度の分布状態は大体同一であり、両端のアンカーに運ばれる熱量は極めて少く、両端より熱放射は甚だ僅であつて、平等に加熱されて居る部分だけを問題にすればよい事が知られた。以上から、輻射以外の甚だ僅な、エネルギーの損失は省略し得るとして理論をたてゝ見た。即ち、フィラメントの面積を F 、 $t^{\circ}K$ に於けるタングステンの放熱系数を At 、絶対温度を $T^{\circ}K$ とすると、Stefon-Boltzmann の法則²⁾に従つて

$$\text{熱損} = FAtT^4 \dots\dots\dots (1)$$

が成り立つ。

尚 (2) タングステンの放熱系数は、絶対黒体のそれの様に一定のものでなく、表1に示す様に温度の極数として変化するものである。

* 順天堂大学医学部放射線医学教室

1960年8月19日受付

表 1

T°K	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
放熱係数 At	0.187	0.218	0.245	0.267	0.286	0.301	0.316	0.327

よつて、この関係を実験式を以つて示せば

$$At = A_0 T^{0.8} \dots\dots\dots (2)$$

こゝに A_0 は常温に於ける放熱系数とする。

以上の関係を、(1) 式に代入すれば

$$\text{熱損} = FA_0 T^{4.8} \dots\dots\dots (3)$$

を得る。次に入力は I_f , E_f の積であるが、 $t^{\circ}k$ に於ける、フィラメントの抵抗を R_t とすると

$$\text{入力} = Rt I_f^2 \dots\dots\dots (4)$$

を得る。

(1) タングステンの 2000°K 乃至 3000°K に於る固有抵抗は表 2 の通りであり、一定値ではない⁵⁾。

表 2

絶対温度 T°K	2000°K	2500°K	3000°K
固有抵抗 $R_t \mu\Omega\text{cm}$	50.10	77.25	95.2

これ等の数値から、温度 T に対応する固有抵抗は、温度 T の 1.2 乗にほぼ比例することがわかる。依つてこの範囲に於ては

$$R_t = R_0 T^{1.2} \dots\dots\dots (5)$$

が成り立つから、これを (4) 式に代入して

$$\text{入力} = R_0 T^{1.2} I_f^2 \dots\dots\dots (6)$$

を得る。入力と熱損は釣り合っているため、(3) 式と (6) 式は等しい。即ち

$$FA_0 T^{4.8} = R_0 T^{1.2} I_f^2$$

となる。この式より

$$T^{3.6} = \left(\frac{R_0}{FA_0} \right) I_f^2 \dots\dots\dots (7)$$

が導かれる。次で加熱電圧の関係を導入し、オームの法則より

$$I_f R_f = E_f \dots\dots\dots (8)$$

を得る。(8) 式に (5) 式を代入すると

$$I_f R_0 T^{1.2} = E_f \dots\dots\dots (9)$$

が得られる。これから T を出すと

$$T = \left[\frac{E_f}{I_f} \left(\frac{1}{R_0} \right) \right]^{\frac{1}{1.2}} \dots\dots\dots (10)$$

となる。これを (7) 式に代入すると

$$\left[\frac{E_f}{I_f} \left(\frac{1}{R_0} \right) \right]^3 = \left(\frac{R_0}{FA_0} \right) I_f^2$$

$$\frac{E_f}{I_f^3} \left(\frac{1}{R_0} \right)^3 = \left(\frac{R_0}{FA_0} \right) I_f^2$$

$$E_f^3 = \frac{R_0^4}{FA_0} I_f^5$$

$$\text{故に、} E_f = \left(\frac{R_0^4}{FA_0} \right)^{\frac{1}{3}} I_f^{\frac{5}{3}}$$

尚、カッコ内の F , A_0 , R_0 は何れも常数であるから、 K とおきかえると、

$$E_f = (K) I_f^{1.6} \dots\dots\dots (11)$$

となる。従つて E_f と I_f の関係は両方を対数目盛でとつて図示すれば直線となり、且、其の勾配は 1.6 になる。図 2 に示した実験結果を両対数目盛にとつて、実験結果を図示すると、図 4 に示す様に勾配が概ね 1.6 の直線となり、此処に理論値と実験値が極めてよく一致している事が見られる。

図 4

資料の吟味

次で、更に実験資料の正確を期するために資料の吟味を行った。

別 表		3.5	4.0	4.5	4.75	5.0
T°k	I	2250	2400	2580	2680	2775
	II	2800	2450	2640	2740	2840

図 4 の内で I, II の番号を附した X 線管のフィラメント温度及びフィラメント加熱電流を測定した結果は別表に示す通りである。

図 4 より、その加熱電流に対する加熱電圧を求め、

図 5

縦軸に $\frac{E_f}{I_f}$ を、横軸に T をとり、両方を対数目盛で図示すると図5の如き直線となり、その勾配は概ね1.2で $I_f R_0 T^{1.2} = E_f$ なる(9)式に一致し資料の正確なる事を確認した。更に同一の実験から熱損 $= F A_0 T^{4.8}$ なる(3)式の吟味を行つた。(3)式の熱損は入力即ち I_f と E_f の積と釣合うため、 $I_f E_f = F A_0 T^{4.8}$ なる式を導き、 F 及び A_0 は定数なるため、縦軸に $I_f E_f$ を横軸に T を夫々対数目盛でとると図6に示す様な直線となり、勾配は概ね4.8で資料を吟味し得た。

結 語

我々は、X線のフィラメントの温度と、フィラメントの加熱電圧及び加熱電流との関係を実験的及び理論的に追究した所、その関係を明らかにする事が出来た。

フィラメントの熱電子放射は、フィラメントの温度に関係する為、今後、此の関係を熱電子放射の状況を研究する際の足がかりになり得るものと思う。

本論文の要旨は第69回順天堂医学会例会に報告した。

稿を終るにあたり、御指導、御校閲を戴いた土屋教授、及び水木先生に心より感謝を致します。又御

図 6

協力頂いた教室員各位に謝意を表します。

文 献

- 1) Forsythe, & Worthing: Astro Physicol, J. 61, 146, (1925)
- 2) W. Coblentz: Internal Citcal Table 5, p. 243.
- 3) 本多光太郎: 物理学本論, 341.
- 4) Schmidt, E.: Wärmestrahlung technischer Oberflächen bei Gewöhnlicher Temperatur Beihefte Ges Ing, Reihe I, Heft 20 R Odenburg (1927)
- 5) 江藤秀雄: 放射線医学, 4, (1954)

Summary

Studying the relation between the temperature of R-ray tube filament and the heatervoltage or the heatercurrent experimentally and theoretically.

We find the fact that emission of election from filament depend upon the temperature of filament, perhaps we shall be able to make use of this relationship when we study the appearance of emission hereafter.

Department of Radiology, Juntendo University, School of Medicine.