U. D. C. 621・385.1.032.22:621.396.615

平板型空冷送信管陽極の有効輻射面積

沓　掛　光　成*

The Effective Radiation Area of the Radiation Cooled Anode of Transmitting Tubes with Plane Electrodes

By Mitsunari Kutsukake
Mobara Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The radiation cooled anode of transmitting tubes must be designed to have a sufficient radiation area for the maximum anode dissipation as well as to satisfy the electrical characteristics. Being limited by several conditions such as interelectrode capacities, construction, etc., the anode is provided in general with the radiation fins to increase the radiation area, i.e. geometrically calculated area, for the radiation from the each plane is shielded by others. The relationship between the effective radiation area and the geometrical one is represented by the following formula;

$$S_T = \sum S_i k_{iM}$$

where S_T: Effective radiation area

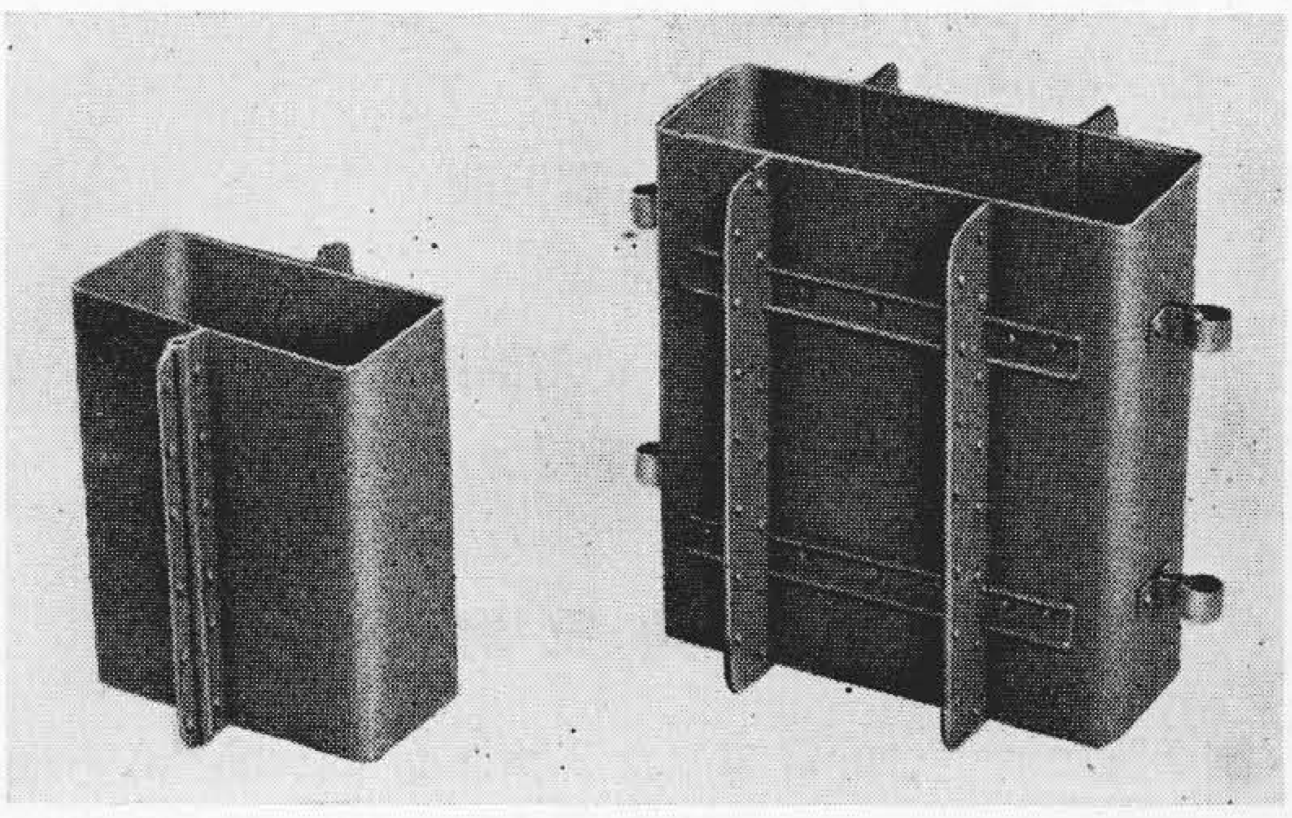
S_i: Geometrical area

k_{iM}: Average radiation coefficient of each plane

The writer calculated k_{iM} by simplified method and gave its summarized chart for the practical use.

〔I〕緒　　言

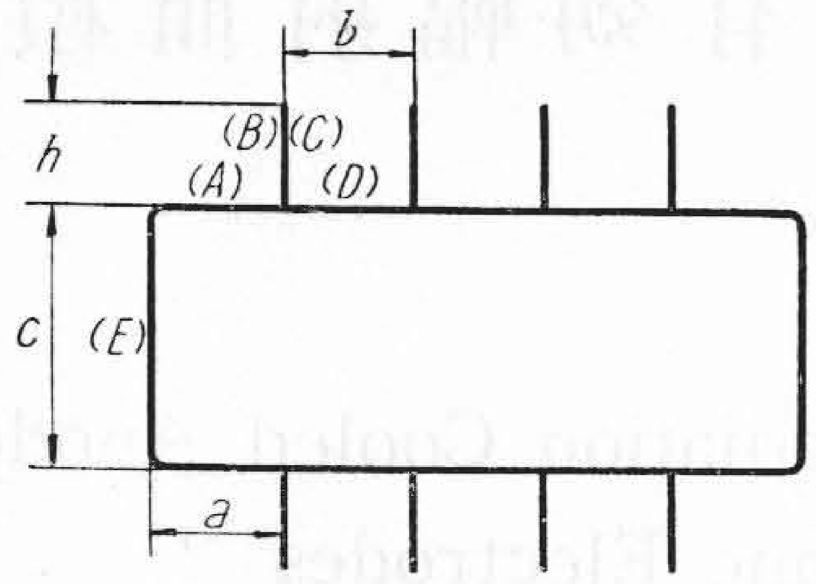
送信管の陽極は、動作中の陽極損失、繊条及び格子からの輻射熱に十分耐えられるように設計されねばならない。空冷式送信管陽極の場合、陽極の全損失は近似的に輻射によつて失われると考える事が出来る。したがつて空冷管陽極の熱的設計に当つては、使用する陽極材料を考慮して、$\dfrac{(\text{最大許容陽極損失})}{\text{有効輻射面積}}$を適当に選ぶ必要がある。特に最近ヂルコニウムを陽極表面に塗布する事が広く行われているが、ヂルコニウムは強いゲッター作用を示す適当な温度範囲が存在するので、動作中十分なゲッター作用を期待するためには、上記の値を適当に選ぶ事が望ましい。陽極形状は、出来うれば放熱翼を設けない形が最も輻射能率よく、製作も容易であるが、短波用送信管では電極間容量の制限をうけるので、放熱翼を設けて輻射面積の不足を補うのが普通である。又中波用送信管でも、電極を小型化するため放熱翼を設ける場合が多い。**第1図**は放熱翼を設けた平板型陽極の例を示す。従来この種陽極の有効輻射面積は、経験的に与えられていたが、筆者は立体角投射の法則を用いて、平板型陽極の有効輻射面積を計算し、両者が比較的よく一致する事を確認した。



第1図　放熱翼を設けた平板型空冷管陽極

Fig. 1. The Radiation Cooled Anode of Transmitting Tube with Radiation Fins

* 日立製作所茂原工場



第2図　放熱翼を設けた平板型陽極の断面図
Fig. 2. Sectional Diagram of the Radiation Cooled Anode with Radiation Fins

〔II〕 平板型陽極の有効輻射面積

第2図に放熱翼を等間隔で両面対称に設けた平板型陽極の断面図を示す。放熱翼数を n, 幅方向の長さを l とすれば、表面積 S は次式で示される。

$$S=l\{2c+4a+2hn+b(n-2)\}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

然るに陽極主体及び放熱翼は互にその輻射を妨げられるため、有効輻射面積 S_T は S より小さく、次式で与えられる。

$$S_T=l\{2ck_{EM}+4ak_{AM}+4hk_{BM}+2h(n-2)k_{CM}+b(n-2)k_{DM}\}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

茲に

k_{AM}: 放熱翼が一方に立つている陽極表面（A）の平均有効輻射面積係数

k_{BM}: 放熱翼の一番外側の面（B）の平均有効輻射面積係数

k_{CM}: 放熱翼の内側の面（C）の平均有効輻射面積係数

k_{DM}: 放熱翼に狭まれた陽極表面（D）の平均有効輻射面積係数

k_{EM}: 放熱翼のない面（E）の平均有効輻射面積係数

したがつて陽極表面からの輻射放熱量は、S_T を用いて次式から求められる。

$$\text{輻射放熱量}\doteqdot e\sigma S_T(T_A{}^4-T_0{}^4)$$

茲に　e: 陽極表面の全輻射能

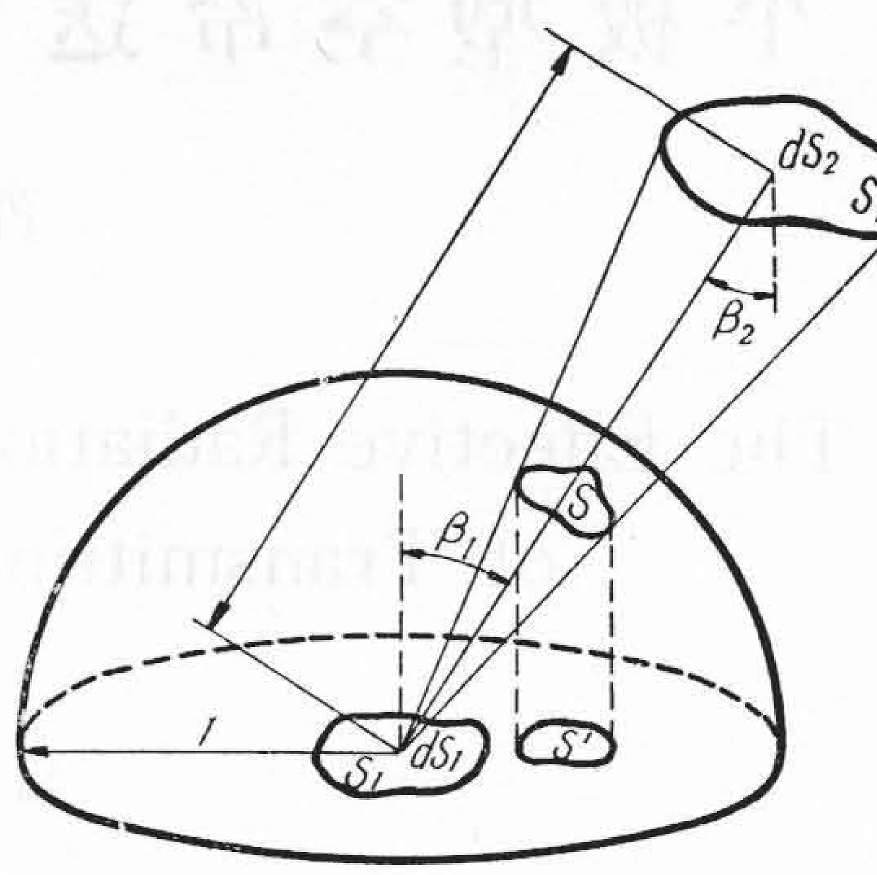
σ: ボルツマン常数

T_A: 陽極温度（絶対温度）

T_0: 周囲温度（絶対温度）

〔III〕 立体角投射の理論

第3図に於て、同質等温な2物体面 S_1, S_2 にそれぞれ微小面積 dS_1 及び dS_2 を考え、輻射がランベルトの法則にしたがうものとすれば、dS_1 面より dS_2 面に入射する輻射勢力 dQ_{12} 及び dS_2 面より dS_1 面に入射する輻射勢力 dQ_{21} は等しく、次式で与えられる。



第3図　立体角投射図
Fig. 3. Illustrating Diagram of Projection of Solid Angle

$$dQ_{12}=dQ_{21}=I\frac{\cos\beta_1\cdot\cos\beta_2}{r^2}dS_1\cdot dS_2\ \cdots\cdots\cdots(3)$$

茲に

I: dS_1 面及び dS_2 面の法線方向の輻射強度

r: dS_1 面と dS_2 面を結ぶ線分の長さ

β_1: 線分 r と dS_1 面に於ける法線とのなす角

β_2: 線分 r と dS_2 面に於ける法線とのなす角

この関係式を更に拡大して考えれば、dS_1 面からの輻射勢力中で S_2 面に入射する分と等しい輻射勢力が、S_2 面から返還され、結局それだけの勢力は S_2 面に遮ぎられて輻射されない事になる。dS_1 面からの輻射勢力中で S_2 面によつて遮ぎられる割合 ϕ は次式で表わされる。

$$\phi=\frac{1}{\pi}\int_{S2}\frac{\cos\beta_1\cdot\cos\beta_2}{r^2}dS_2\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

今 dS_1 面を中心とし単位長さ半径をもつ半球を考える。dS_1 面を頂点とし、S_2 面を含む立体角

$$\int_{S2}\frac{\cos\beta_2 dS_2}{r^2}$$

がこの球面上に切り取る表面積を S, S の S_1 面への正射影を S' とすれば、立体角投射の法則から $\phi=S'/\pi$ となり、図式的に ϕ が求められる。したがつて dS_1 面の有効輻射面積は、$(1-\phi)dS_1$ となる。こゝで $(1-\phi)$ は dS_1 面の有効輻射面積係数を表わす。今 S_1 面からの輻射が S_2 面によつて遮ぎられている時、S_1 面の有効輻射面積を求むるには、S_1 面の各微小面積に就いて以上の方法で $(1-\phi)dS_1$ を求め積分すればよい。

〔IV〕 平均有効輻射面積係数の計算法

第2図に示した陽極表面（A）の平均有効輻射面積係数の計算法を述べる。まづ（A）面上の任意の一点に於ける有効輻射面積係数を求める。**第4図**はO点を座標の原点にとつた場合の立体角投射図及びその作図法を示

す。斜線で示した部分（面積 $uvwqts$）が、放熱翼（B）のため輻射を妨げられる立体角の投射面積である。この斜線で示した面積を囲む曲線 $\widehat{uvw}$ が楕円線になる事は、作図上容易に理解出来る。したがつてO点に於ける有効輻射面積係数 k_A，即ち斜線で示した以外の面積（$uvwqzs$）と円の面積の比は次式で与えられる。

$$k_A=1-\frac{1}{2\pi}\left\{\theta_1+\theta_2-\frac{1}{p}\left(\sin^{-1}\frac{1}{\sqrt{p^2\delta_1{}^2+1}}+\sin^{-1}\frac{1}{\sqrt{p^2\delta_2{}^2+1}}\right)\right\}\quad\cdots\cdots(5)$$

茲に　$\theta_1=\tan^{-1}1/\delta_1$　$\delta_1=x/y$　$p=\sqrt{1+(h/x)^2}$

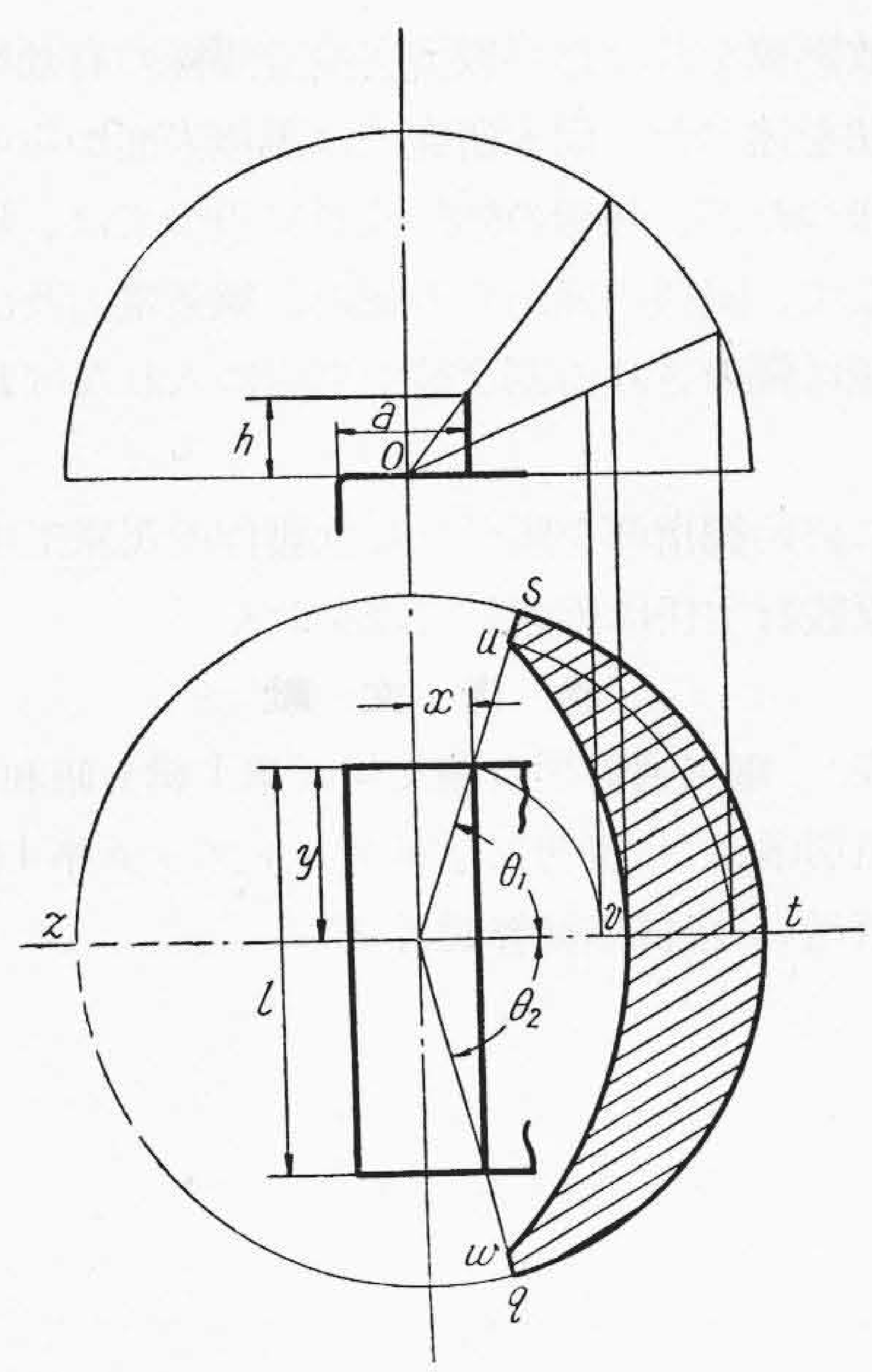
$\theta_2=\tan 1/\delta_2$　$\delta_2=x/(l-y)$

したがつて（A）面の平均有効輻射面積係数 k_{AM} は

$$k_{AM}=\frac{1}{al}\int_0^a\int_0^l k_A\,dxdy=1-\frac{1}{\pi}\left\{\tan^{-1}\frac{1}{\delta}+\alpha\tan^{-1}\frac{1}{\alpha\delta}-\sqrt{1+\alpha^2}\tan^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2}}+\frac{1}{4\delta}\log\frac{1+\alpha^2\delta^2}{(1+\delta^2)(1+\alpha^2\delta^2+\delta^2)}-\frac{\delta}{4}\log\frac{(1+\alpha^2)(1+\delta^2)}{(1+\alpha^2\delta^2+\delta^2)}-\frac{\alpha^2\delta}{4}\log\frac{(1+\alpha^2)(1+\alpha^2\delta^2)}{\alpha^2(1+\delta^2+\alpha^2\delta^2)}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

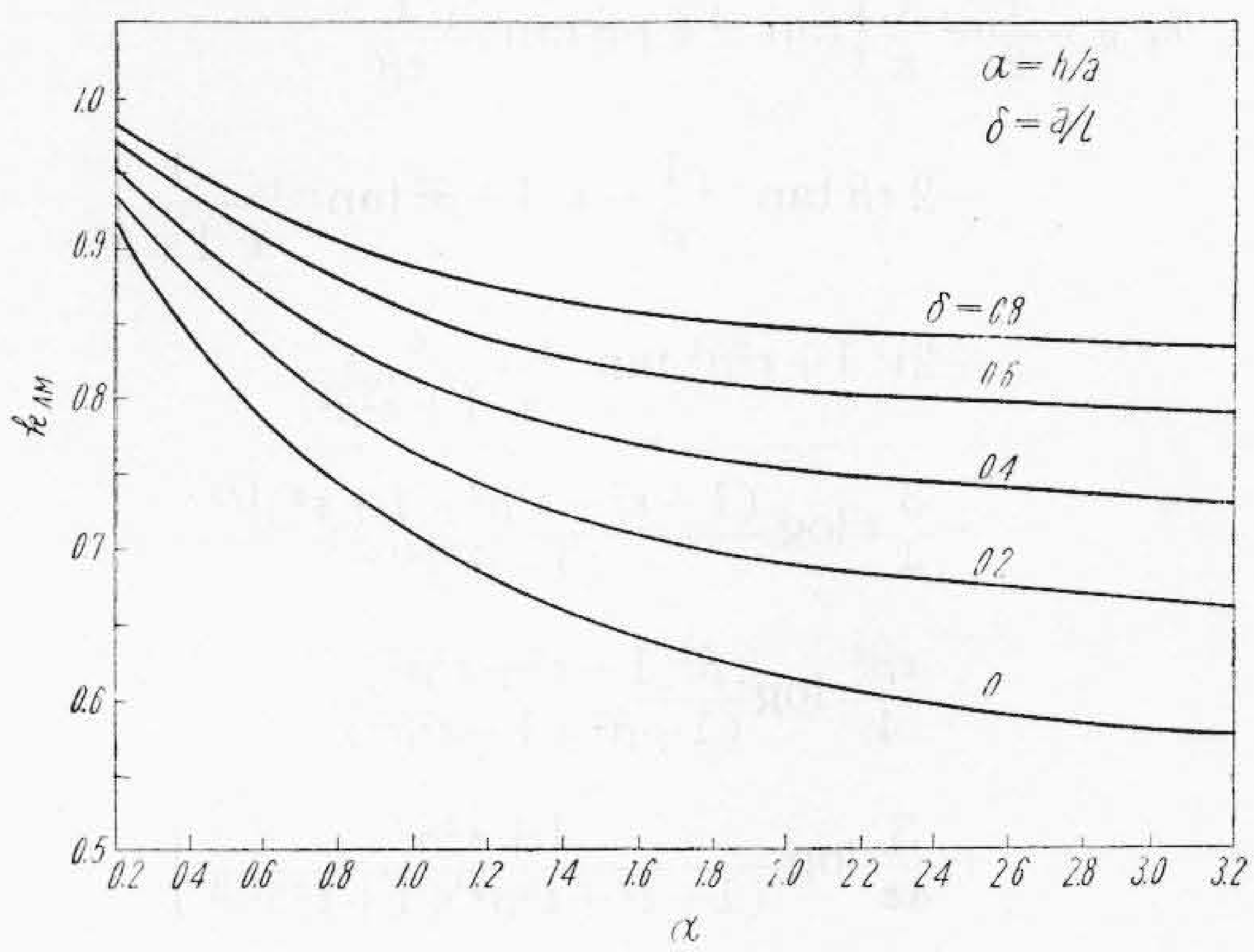
茲に　$\alpha=h/a$　$\delta=a/l$

全く同様な手段により、（B）面及び（C）面の平均有効輻射面積係数 k_{BM} 及び k_{CM} を求めると



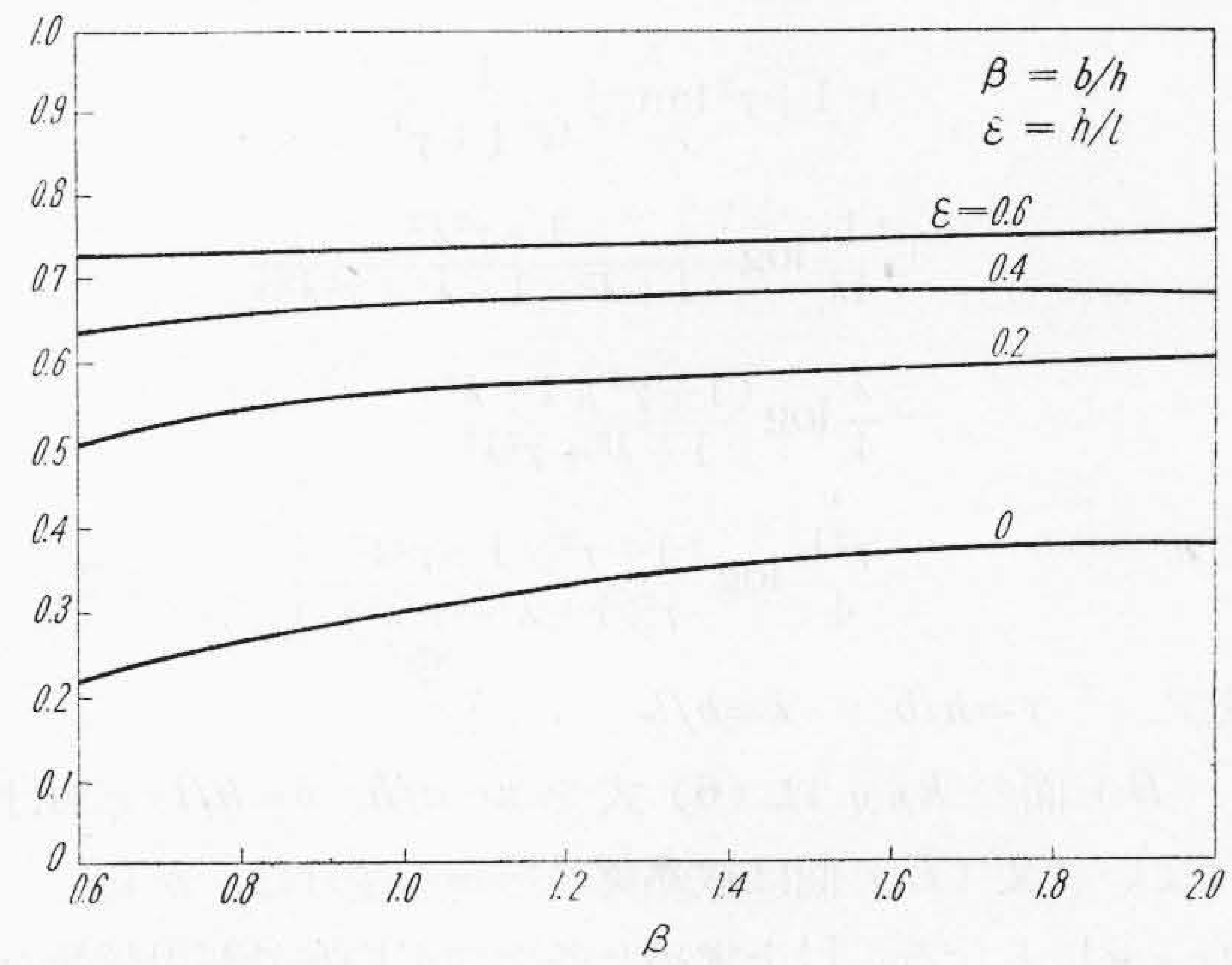
第4図　（A）面上の任意の一点の輻射面積係数を求める作図法

Fig. 4.　Drawing to Obtain the Radiation Coefficient of Given Point on the (A) Plane



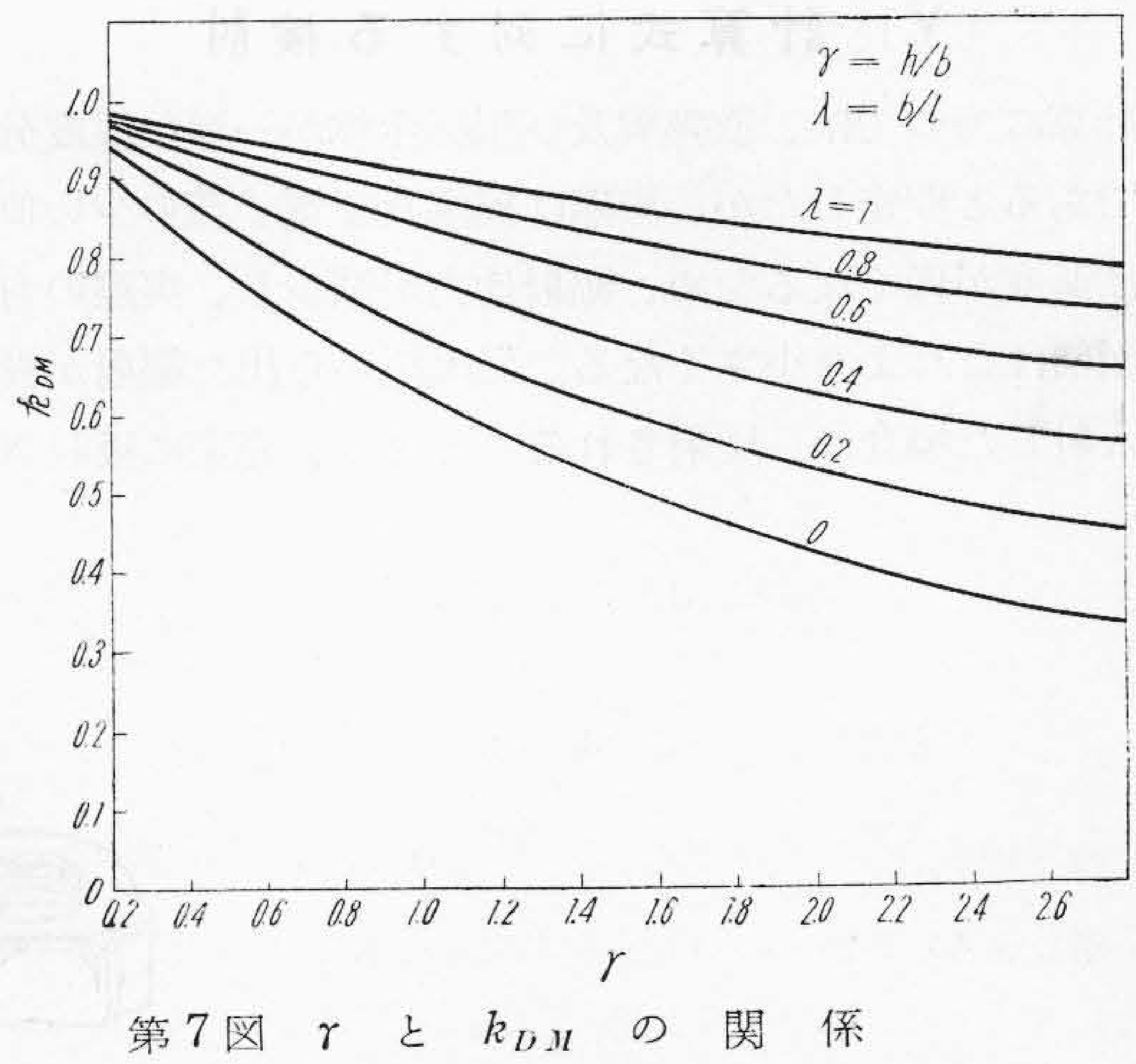
第5図　α と k_{AM} の関係

Fig. 5.　Relation between α and k_{AM}



第6図　β と k_{CM} の関係

Fig. 6.　Relation between β and k_{CM}



第7図　γ と k_{DM} の関係

Fig. 7.　Relation between γ and k_{DM}

$$k_{CM}=\frac{1}{2}+\frac{1}{\pi}\Bigl\{\tan^{-1}\varepsilon+\beta\tan^{-1}\frac{1}{\varepsilon\beta}$$
$$-2\varepsilon\beta\tan^{-1}\frac{1}{\beta}-\sqrt{1+\beta^2}\tan^{-1}\frac{1}{\sqrt{1+\beta^2}}$$
$$+2\sqrt{1+\varepsilon^2\beta^2}\tan^{-1}\frac{\varepsilon}{\sqrt{1+\varepsilon^2\beta^2}}$$
$$+\frac{3}{4}\varepsilon\log\frac{(1+\varepsilon^2+\varepsilon^2\beta^2)(1+\varepsilon^2)^{1/3}}{(1+\beta^2)^{8/3}}$$
$$-\frac{\varepsilon\beta^2}{4}\log\frac{\beta^2(1+\varepsilon^2+\varepsilon^2\beta^2)}{(1+\beta^2)(1+\varepsilon^2\beta^2)}$$
$$+\frac{3}{4\varepsilon}\log\frac{1+\varepsilon^2\beta^2}{(1+\varepsilon^2+\varepsilon^2\beta^2)(1+\varepsilon^2)^{1/3}}\Bigr\} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

玆に　$\varepsilon=h/l$　$\beta=b/h$

$$k_{DM}=1-\frac{2}{\pi}\Bigl\{\tan^{-1}\frac{1}{\lambda}+\gamma\tan^{-1}\frac{1}{\gamma\lambda}$$
$$-\sqrt{1+\gamma^2}\tan^{-1}\frac{1}{\lambda\sqrt{1+\gamma^2}}$$
$$+\frac{1}{4\lambda}\log\frac{1+\gamma^2\lambda^2}{(1+\lambda^2)(1+\lambda^2+\gamma^2\lambda^2)}$$
$$-\frac{\lambda}{4}\log\frac{(1+\gamma^2)(1+\lambda^2)}{1+\lambda^2+\gamma^2\lambda^2}$$
$$-\frac{\gamma^2\lambda}{4}\log\frac{(1+\gamma^2)(1+\gamma^2\lambda^2)}{\gamma^2(1+\lambda^2+\gamma^2\lambda^2)}\Bigr\} \qquad \cdots\cdots(2)$$

玆に　$\gamma=h/b$　$\lambda=b/l$

(*B*) 面の k_{BM} は (6) 式で $\alpha=a/h,\ \delta=h/l$ とおけばよい。又 (*E*) 面は放熱翼の影響を受けないから $k_{EM}=1$ となる。以上求めた各面の平均有効輻射係数を用い (2) 式から陽極の有効輻射面積 S_T を求める事が出来る。k_{AM}, k_{BM} 及び k_{CM} を実用に便利な図表とし、**第 5～7 図** (前頁参照) に示した。

〔V〕 計算式に対する検討

計算に当つては、放熱翼及び陽極主体が一様な温度分布であると仮定したが、実際は翼端及び電子流の少い側面は温度が低くなるため、輻射効力が減少し、実際の有効面積はこれより小さくなる。又陽極から出た輻射が翼に入射した場合に、反射されることなく、完完に吸収されると仮定しているが、実際は一部反射され外部に逸出するため、実際の有効面積は増加したことになる。この二つの仮定は互に打消し合うので、計算の近似を高めると考えてよい。従来陽極の熱的設計の目安として、経験的に陽極面と放射翼の片面とを有効輻射面積とを考えて来た。この場合の有効輻射面積を $S_T{}'$ とし、数種の送信管陽極について、S_T 及び $S_T{}'$ を求めた結果を**第 1 表**に示す。

第 1 表　S_T 及び $S_T{}'$ の値
Table 1.　Calculated Values of S_T and $S_T{}'$

品　　種	出　力 (W)	S_T (cm²)	$S_T{}'$ (cm²)	n (枚)
空冷 5 極管	1,200	245	220	10
空冷 5 極管	500	158	152	4
空冷ビーム 4 極管	260	77	75	2
空冷 5 極管	200	59	58	2
空冷 3 極管	700	187	178	4

S_T と $S_T{}'$ は略々等しく日本電気の森氏が円筒型陽極で計算された結果と一致し、計算式の妥当性が証明される。

〔VI〕 結　　言

以上放熱翼を設けた平板型空冷管陽極の有効輻射面積の計算法を述べた。尚本研究では陽極表面からの輻射のみを取扱つたが、陽極の熱的設計に当つては、陽極の形状に応じて、陽極内面からの輻射、纖条電力及び格子損失の陽極に輻射される割合等を考慮に入れなければならない。

終りに終始御指導を賜つた日立製作所茂原工場橋本博士、中原設計主任に感謝して筆をおく。

参 考 文 献

(1)　森：　電気通信学会論文集 (第 1 輯) 昭和 23 年
(2)　照明学会：　照明工学ポケットブック第 4 編第 4 章
(3)　西尾：　送信三極管設計法