

陰極線管の多段後段加速電極系について

On the Multi-Stage Post-Accelerator Systems for CR Tube

小 泉 喜 八 郎*
Kihachirō Koizumi

内 容 梗 概

後段加速ブラウン管の多段加速電極系について考察した。これらの電極系は一種の電子レンズなので、Gansの法により電子軌道が求められ、その性質を知ることができる。5 XP 形および 5 BHP 形ブラウン管の後段加速電極系について軸上電位分布を計算し、電子軌道を求めて、偏向率倍率を実測値と比較した。Y 軸については両者はいずれもよい一致を示した。X 軸については計算値と実測値が若干不一致をみるがこれは X 偏向系に加速電界が重畳するものと思われる。

1. 緒 言

筆者らはさきに観測用ブラウン管の後段加速電極系として 1 段加速のものについて考察し、

- (1) 偏向率や集束電圧に及ぼす影響⁽¹⁾
- (2) 球面収差によって生ずる輝線曲り⁽²⁾

について報告した。

われわれは現在さらに加速段数を増した 5 XP 形ブラウン管やヘリカル後段加速方式のブラウン管をも製作している。これらの加速方式はいずれも偏向率を良くして、かつ最終加速電圧/第 2 陽極電圧を大きくとることができ、しかも輝線曲りのような欠点が少ないので高級なオシロスコープに使用されている。

これらの多段加速方式の電極系の取扱と偏向率との関係につき考察し、かつ実測値と比較してよい一致をみたので、これらについて述べる。

2. 多段加速電極系の軸上電位分布の計算

ブラウン管の後段加速電極系は、一種の多段加速の電子レンズを成形しているので、この電極内の電子の運動を取扱うためには、その電極系内の電界の状況を明らかにする必要がある。回転対称の電子レンズの場合には、その軸上電位分布を知れば、そのレンズ内の電界を求めることができ、かつその電界内における電子の運動についても明らかにすることができるので、まず多段加速電極系の軸上電位分布について考察する。

2.1 一般的な多段加速電極系について

まず最初に一般的な場合として、第 1 図に示すように二つの半無限円筒の間に、 n 個の同径の円筒を同軸上に配列し、そのピッチ S が異なる場合についてその軸上電位分布を計算する。各電極にはそれぞれ $V_0, V_1, V_2, \dots, V_{n+1}$ の電位を与えるものとする。

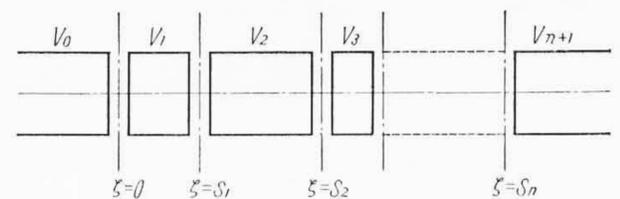
このような電極系についての軸上電位分布を求めるには S. Bertram の法⁽³⁾を用いると、軸上の任意の点 z における電位 $V(o, z)$ は次のように求められる。

$$V(o, z) = \frac{\omega}{2} \int_{-\infty}^0 V_0 \operatorname{sech}^2 \omega \xi d\xi + \frac{\omega}{2} \int_0^{S_1} V_1 \operatorname{sech}^2 \omega \xi d\xi + \frac{\omega}{2} \int_{S_1}^{S_2} V_2 \operatorname{sech}^2 \omega \xi d\xi + \dots + \frac{\omega}{2} \int_{S_n}^{+\infty} V_{n+1} \operatorname{sech}^2 \omega \xi d\xi \quad (1)$$

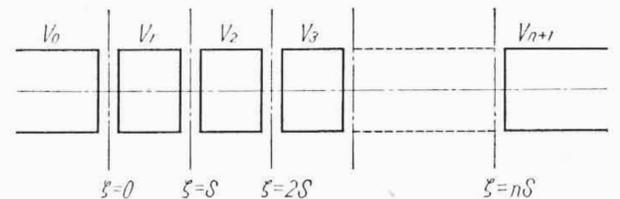
ここに $\xi = z - \zeta$ および $d\xi = -d\zeta$ なるゆえ (1) 式にこの関係を入れて、整理すると

$$V(o, z) = \frac{V_0}{2} + (V_1 - V_0) \tanh \omega z + \frac{1}{2} (V_2 - V_1) \tanh \omega (z - S_1)$$

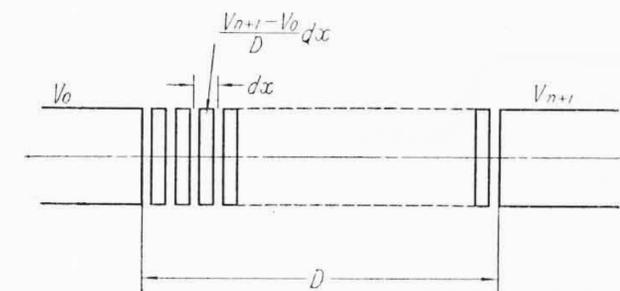
* 日立製作所茂原工場



第 1 図 多段加速電極系例 (1)



第 2 図 多段加速電極系例 (2)



第 3 図 多段加速電極系例 (3)

$$+ \dots + \frac{1}{2} (V_{m+1} - V_m) \tanh \omega (z - S_m) + \dots + \frac{V_{n+1}}{2} = \frac{V_0 - V_{n+1}}{2} + \sum_{m=0}^{m=n} \frac{1}{2} (V_{m+1} - V_m) \tanh \omega (z - S_m) \dots (2)$$

ただし $\omega = 1.32$ (半径を単位として表わした場合)

または $\omega = 2.64$ (直径を単位とした場合)

となる。

2.2 ピッチ S が等しい場合

(2) 式において特に

$$S_m = mS \dots \dots \dots (3)$$

とすれば、これはピッチ S が等しい場合になる(第 2 図参照)、したがって(2)式から

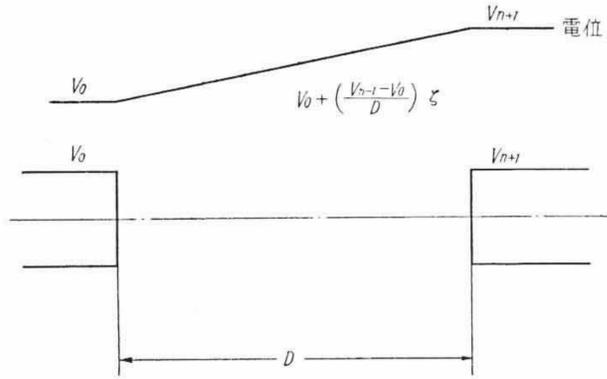
$$V(o, z) = \frac{V_0 + V_{n+1}}{2} + \sum_{m=0}^{m=n} \frac{1}{2} (V_{m+1} - V_m) \tanh \omega (z - mS) \dots \dots \dots (4)$$

が得られる。

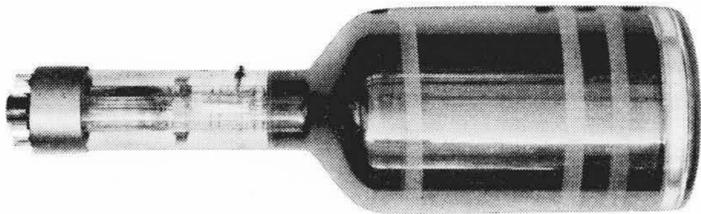
2.3 ピッチが等しく、かつ n が非常に大きくなった場合

次に第 3 図に示すようにピッチが等しく、かつ n が非常に大きくなったような場合について考える。

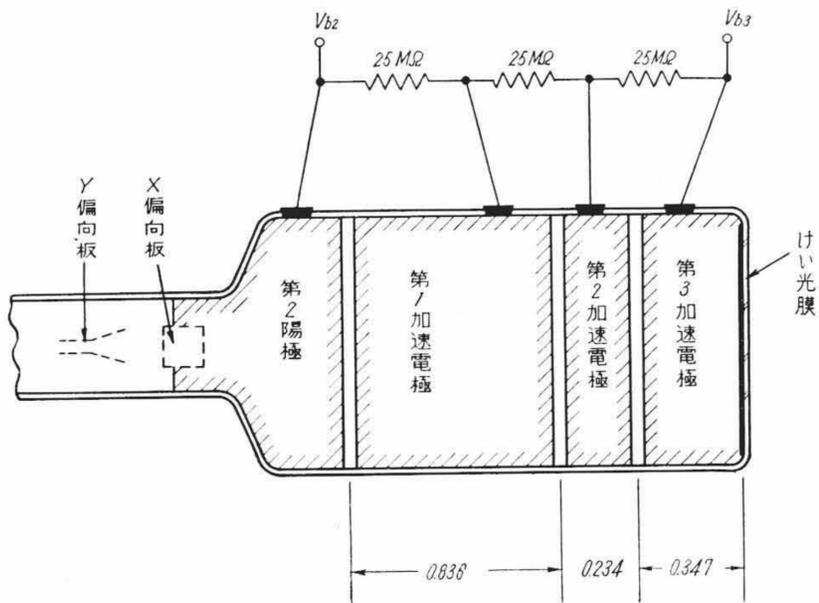
第 3 図においてピッチを dx とし、隣接する電極間の電位差が等しくなるように各電極に給電されるものとする。そのような場合に



第4図 二つの半無限円筒の場合



第5図 日立5XP形ブラウン管外観



第6図 5XP形ブラウン管の後段加速電極系

は(4)式の $V_{m+1} - V_m$ は

$$V_{m+1} - V_m = \frac{V_{n+1} - V_0}{n} = \frac{V_{n+1} - V_0}{D} dx \dots\dots (5)$$

ただし $n = \frac{D}{dx}$

となる。また mS の代りに $mdx = x$ とおけば(4)式より

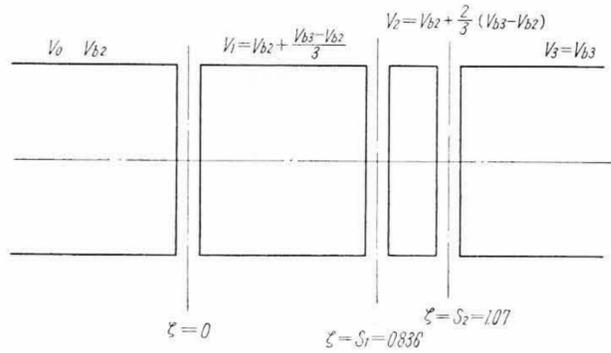
$$V(0, z) = \frac{V_0 + V_{n+1}}{2} + \int_0^D \frac{1}{2} \frac{V_{n+1} - V_0}{D} \tanh \omega(z-x) dx$$

$$= \frac{V_0 + V_{n+1}}{2} + \frac{V_{n+1} - V_0}{2\omega D} \log \frac{\cosh \omega z}{\cosh \omega(z-D)} \dots\dots (6)$$

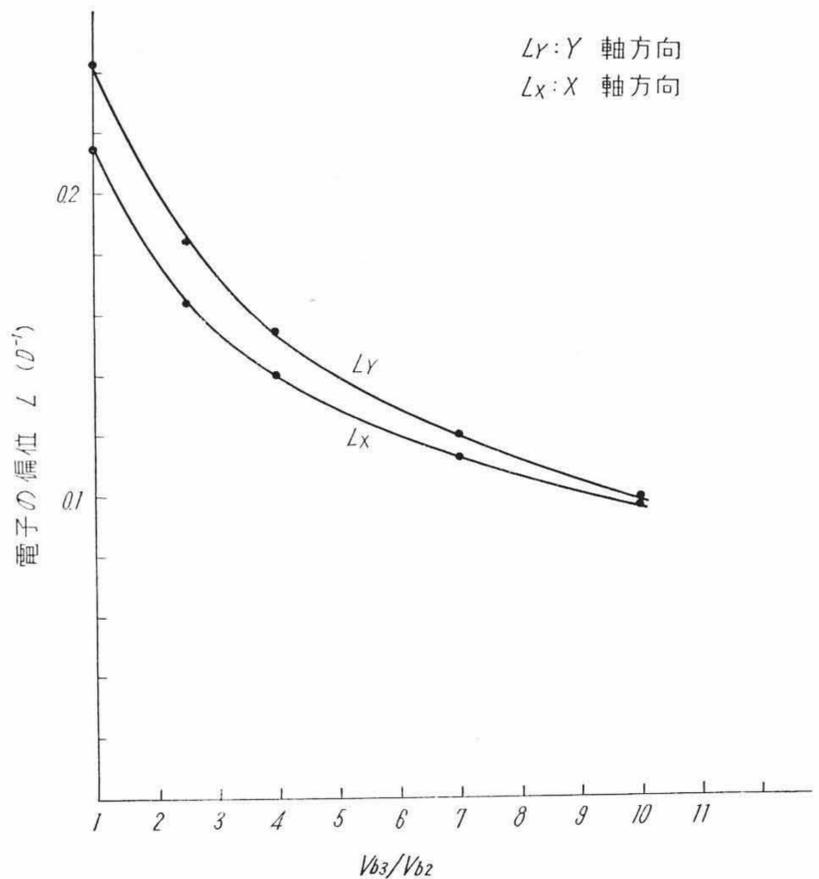
となる。この(6)式は二つの半無限円筒を同軸上におき、その間隔を D として、かつそれぞれの電極に V_0, V_{n+1} を与え、両電極間の境界条件として $V(R, z) = V_0 + \left(\frac{V_{n+1} - V_0}{D}\right)z$ を与えたときの軸上電位分布に等しい。(ここに R は円筒の半径)(第4図参照)

3. 3段加速電極系の性質

3段加速電極系を使用している後段加速ブラウン管としては、5RP形や5XP形がある。これらはいずれも最終加速電圧 V_{b3} と第2陽極電圧 V_{b2} との比を10倍までとることができるので、 V_{b3} として最高25kV程度まで上げることができる。第5図は日立5XP形ブラウン管の外観を示した。



第7図 5XP形の後段加速電極系を理想化した場合



第8図 5XP形の後段加速電圧比 V_{b3}/V_{b2} と電子の蛍光面における偏位 L (計算)

3段加速電極系として5XP形を例にとると、その電極配置は第6図のとおりである。使用に際しては V_{b2} と V_{b3} との間に $25 \text{ M}\Omega$ の抵抗を3個直列にして接続し、その各接続点からそれぞれ第1、第2および第3加速電極に電圧を与える。したがって、これらの電極に与えられる電圧は $V_{b3} - V_{b2}$ を等分したものである。

第6図の加速電極系を取扱いやすくするために第7図のように置きかえると、これは第1図において $z = S_2$ までとった電極系に等しい。ゆえに(2)式を用い軸上電位分布を求めれば

$$V(0, z) = \frac{V_{b2} + V_{b3}}{2} + \frac{V_{b3} - V_{b2}}{6} \left\{ \tanh \omega z + \tanh \omega(z - 0.836) + \tanh \omega(z - 1.07) \right\} \dots\dots (7)$$

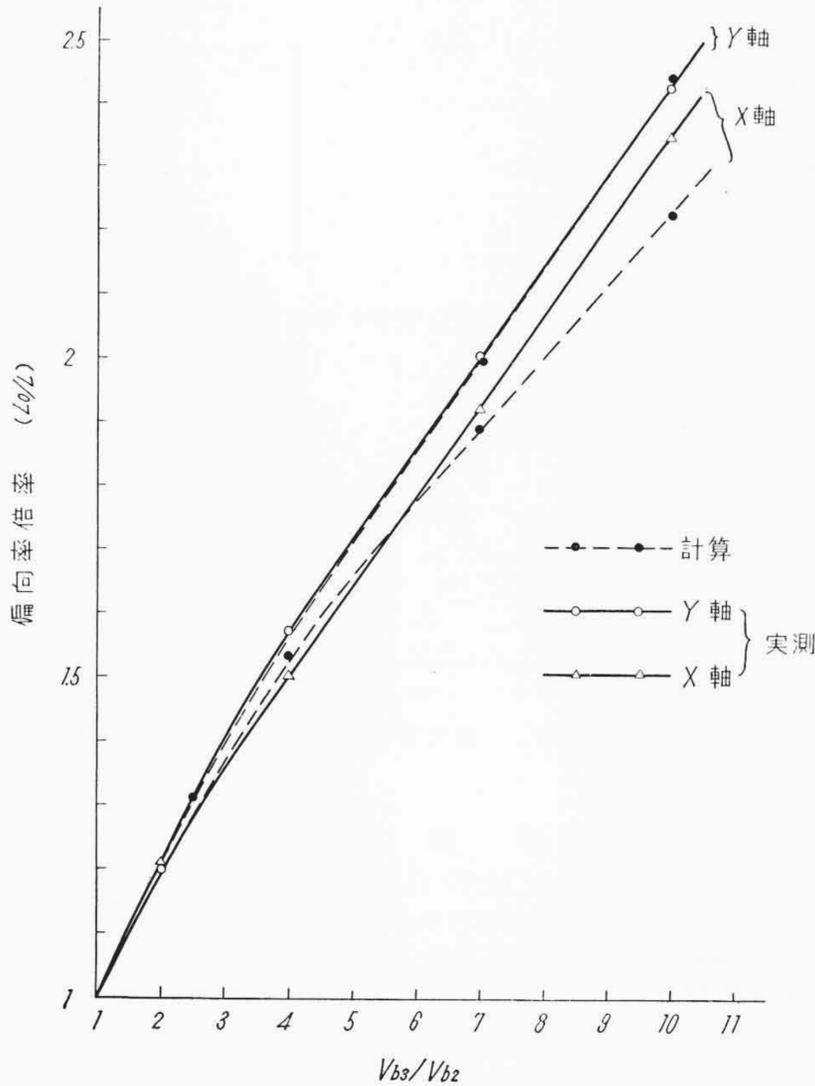
が得られる。

電子軌道の計算には Gans の多角形法を用いるが⁽⁴⁾、計算に際しては、電子は軸上 X (或は Y) 偏向系の偏向中心より角度 0.1 rad で出発するものと仮定する。すなわち X (あるいは Y) 偏向系の偏向中心においては

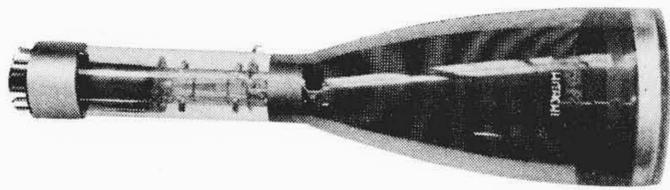
$$\left. \begin{array}{l} \text{電子の軸からの距離 } r = 0 \\ \text{電子の入射角 } \frac{dr}{dz} = r' = 0.1 \end{array} \right\} \dots\dots (8)$$

と仮定する。そうしてから、Gans の近似計算を用いて蛍光膜面における電子の軸からの偏位 L を求める。第8図は V_{b3}/V_{b2} をいろいろに変えた場合の蛍光面における L の変化を示した。

いま V_{b2} を一定とし



第9図 V_{b3}/V_{b2} と偏向率倍率 L_0/L



第10図 日立5BHP形ブラウン管外観

(任意の V_{b3}/V_{b2} の偏向率) / ($V_{b3}/V_{b2} = 1$ のときの偏向率) を偏向率倍率を定義すると,

$$\text{偏向率倍率} = \frac{V_{b3}/V_{b2} = 1 \text{ のときの } L_0}{\text{任意の } V_{b3}/V_{b2} \text{ の } L} \dots\dots\dots (9)$$

に等しくなる。第9図は第8図から計算した偏向率倍率と V_{b3}/V_{b2} との関係を示した。同図には実際の5XP1Aについて測定した値を示したが、両者はよい一致を示している。

4. ヘリカル後段加速の性質

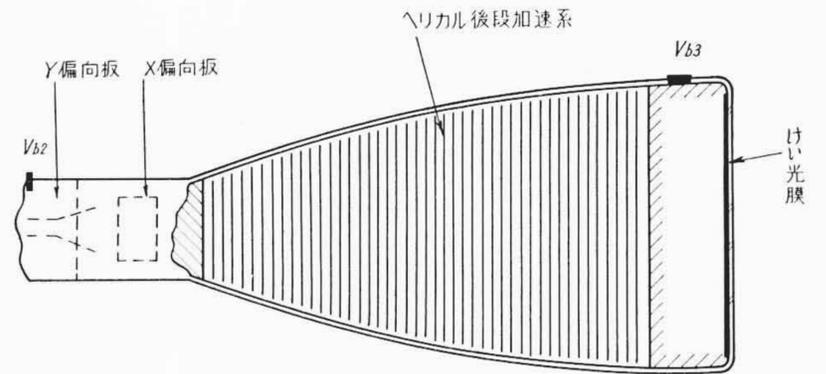
最近ではヘリカル方式の後段加速形ブラウン管が盛んに使用されるようになってきたが、この方式は電圧の供給が割合簡単であること、ひずみのないきれいな輝線が得られることが大きな特長となっている。第10図にヘリカル後段加速形ブラウン管の例として日立5BHP形ブラウン管を示した。ヘリカル方式のブラウン管は各種のものが使われているが、一般には5BHP形が多いので、この形についてその後段加速電極系の性質を考察する。

5BHP形ブラウン管の配置は第11図に示すようにブラウン管のバルブの内壁に幅約1mm、ピッチ2mmの抵抗帯をヘリカルに塗布したもので、両端の抵抗値は200~1,000 MΩになっている。後段加速の電圧はこの抵抗の両端に与えればよい。

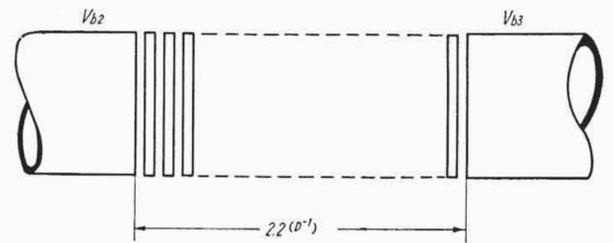
5BHP形のヘリカル電極系のままでは形が複雑なので、そのヘリカル電極系の両端の径の平均値を直径とする第12図のような理想化されたヘリカル後段加速系について考えることにする。このよう

第1表 α と R_e および X軸偏向率倍率の比較(5BHP形)

| α | R_e | X軸偏向率倍率(計算) | X軸偏向率倍率(実測) |
|----------|-------|-------------|-------------|
| 1 | 1.000 | 1.00 | 1.00 |
| 2 | 0.954 | 1.30 | 1.23 |
| 4 | 0.910 | 1.72 | 1.67 |
| 6 | 0.872 | 2.10 | 2.07 |
| 8 | 0.836 | 2.45 | 2.45 |
| 10 | 0.806 | 2.76 | |



第11図 5BHP形の構造



第12図 理想化されたヘリカル後段加速系

にすると、これは第3図で示した多段加速電極系とまったく同様に考えてもよいから、(6)式において

$$V_0 = V_{b2}, \quad V_{n+1} = V_{b3}, \quad D = 2.2$$

とにおいて

$$V(o, z) = \frac{V_{b2} + V_{b3}}{2} + \frac{V_{b3} - V_{b2}}{2\omega \cdot 2.2} \log \frac{\cosh \omega z}{\cosh \omega(z - 2.2)} \dots\dots\dots (10)$$

が得られる。

3段加速電極系の場合と同様にX(あるいはY)偏向系の偏向中心から

$$r = 0$$

$$\frac{dr}{dz} = r' = 0.1$$

で出発する電子をGansの法を用いて計算すると、第13図および第14図のような V_{b3}/V_{b2} と偏向率倍率との関係が求められる。

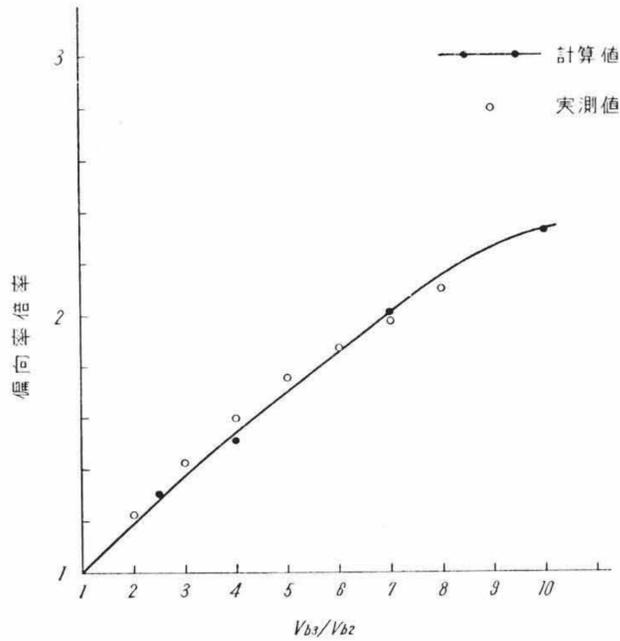
第13図においては実測値と計算値とはよい一致を示しているが、第14図では実測値のほうが高くでている。これについてはX偏向系には加速電極系の一部の電界が入って実効的な偏向率倍率を高くするのではないかと考えられる。また第14図において付記[1]に示すような近似式

$$L = 2r_A' - D \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha+1}} + \frac{z_D - z_C}{2D\sqrt{\alpha}} \right) \dots\dots\dots (11)$$

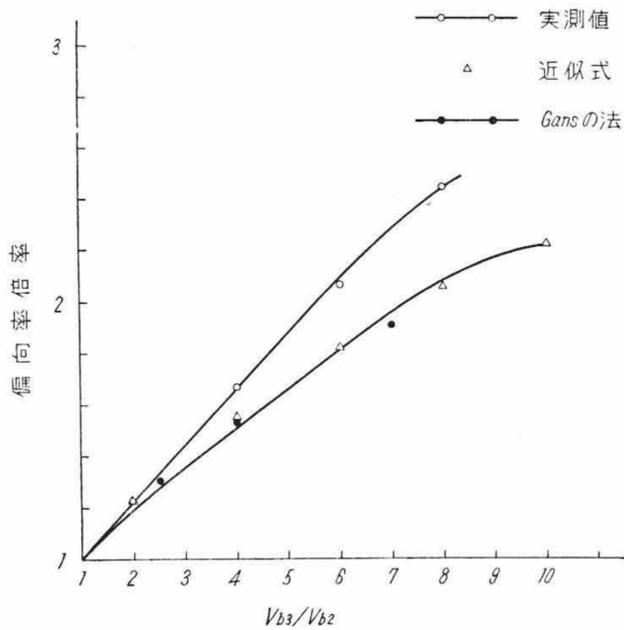
を用いて偏向率倍率を計算した結果とGansの法より求めた結果とはよい一致を示している。

次に第14図の計算値と実測値の相違については非常に簡単な仮定として

$$E = \frac{V_{b3} - V_{b2}}{D} \dots\dots\dots (12)$$



第13図 Y軸偏向率倍率(5 BHP形)



第14図 X軸偏向率倍率(5 BHP形)

なる一定電界がX偏向系に重畳していると仮定して、 V_{b3}/V_{b2} の変化に対して(11)式の r'_{A-} の変化を補正すると

$$L_x = 2r'_{A-} R_l D \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha+1}} + \frac{z_D - z_C}{2D\sqrt{\alpha}} \right) \dots\dots\dots (13)$$

ここに $R_l = \frac{2D}{S} \frac{1}{\alpha-1} \left(\sqrt{1+(\alpha-1)\frac{S}{D}} - 1 \right) \dots\dots\dots (14)$

ただし S: 偏向板の長さ
 $\alpha: V_{b3}/V_{b2}$

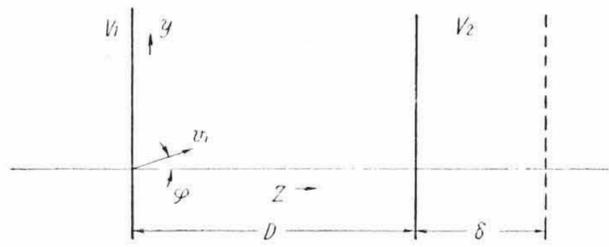
となり、これより偏向率倍率を求めると、第1表に示すようによい一致を示した。

5. 結 言

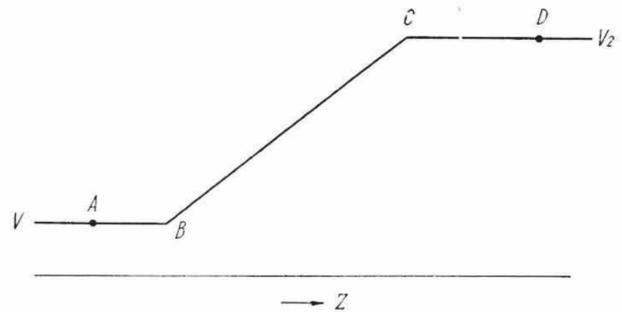
多段加速方式の後段加速ブラウン管については Bertram の方法を用いると、後段加速電極系の軸上電位分布を求めることができ、これを基にして Gans の法により電子軌道を計算すれば、 V_{b3}/V_{b2} に対する偏向率の変化などを知ることができる。一般にY軸の計算値と実測値とはよい一致を示すが、X軸は若干相違がある。特に5 BHP形ではこの相違が大きい。これについてはX偏向系に後段加速電界が入るためであると思われる。

本報告は後段加速電極系の取扱いとその性質について述べたが、さらに球面収差などについても考慮する必要があると思われる。

終りにあたり、茂原工場関係各位のご協力を深謝する次第である。



第15図 一様な電界と仮定した場合



第16図 一様な電界の軸上電位分布

参 考 文 献

- (1) 小泉: 日立評論 38, 77 (昭31-5)
- (2) 小泉: 昭和34年電気四学会連合大会予稿 865
- (3) S. Bertram: Proc. I. R. E8 28, 41. ~420 (1940)
- (4) R. Gans: Z tech Physik 18, 41~48 (1937)

付 記

[1] ヘリカル後段加速系を一様な電界と仮定して取扱う場合
 1.1 電子の運動方程式より求める方法

いま、第15図のように $E = \frac{V_2 - V_1}{D}$ なる一様な電界内に v_1 なる速度で入射した電子について考えると

$$\left. \begin{aligned} v_y &= v_1 \sin \varphi \\ v_z &= v_1 \cos \varphi (\approx v_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

(ただし φ は入射角で $\cos \varphi \approx 1$ が成立する程度に小さいと仮定する)なる初期条件を有する一様な電界内の電子の運動方程式を解き、 $z=D$ におけるy方向の電子の偏位 Y_2 を求めると

$$Y_2 = v_1 \sin \varphi \cdot t_2 \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{ただし } t_2 = -\frac{v_1 \cos \varphi \cdot m D e}{(V_2 - V_1)} + \sqrt{\left\{ \frac{v_1 \cos \varphi m D}{e(V_2 - V_1)} \right\}^2 + \frac{2 m D^2}{e(V_2 - V_1)}} \dots\dots\dots (17)$$

(16)および(17)式において $v_1 \cos \varphi \approx v_1 = \sqrt{\frac{2e}{m} V_1}$ を入れて整理すると、

$$Y_2 = \frac{2 D \sin \varphi}{\sqrt{\alpha+1}} \dots\dots\dots (18)$$

ただし $\alpha = V_2/V_1$ (19)
 となる。つぎに一様な電界を出た電子は、 δ 内で v_2 なる電子の速度を有するから δ 内を走る時間 t_{δ} は

$$t_{\delta} = \frac{\delta}{v_2} = \frac{\delta}{\sqrt{2 \frac{e}{m} V_2}} \dots\dots\dots (19)$$

したがって、蛍光面における電子の偏位 L は

$$L = Y_2 + Y_{\delta} = 2 D \sin \varphi \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha+1}} + \frac{\delta}{2 D \alpha} \right) \dots\dots\dots (20)$$

をうる。

1.2 Gans の法

第15図のような一様な電界を有する電子レンズについて Gans の法を適用する。いまこれを第16図のように表わし、z軸上のA点から r'_{A-} なる角度でレンズに入射する電子について計算すると、D点(蛍光面)における偏位YはもしA-B間が接近している場合(5 BHP形のX偏向板のように)には

$$r_B \approx 0$$

と考えられるから

$$r'_{B+} \approx r'_{A-}$$

(各点の左側に(-), 右側に(+))の記号をつける)

となって、結局

$$L = r_D \approx \frac{2V_B^{\frac{1}{2}} r'_A}{V_C^{\frac{1}{2}}} (V_C^{\frac{1}{2}} - V_B^{\frac{1}{2}}) + \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^{\frac{1}{2}} r'_A (z_D - z_C)$$

$$= 2r'_A D \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha+1}} + \frac{z_D - z_C}{2D\sqrt{\alpha}} \right) \dots (21)$$

が得られる。これはまったく(20)式と同一結果となる。

[2] 偏向系に加速電界が入った場合の取扱

後段加速形ブラウン管のX偏向系のように、加速電極系に近いものには加速電界がこれに重畳されると考えられる。いま、取扱を簡単にするため、第17図のように

$$E = \frac{\partial V}{\partial z} = \text{const} \dots (22)$$

のような様な電界が偏向板に入ったとする。そのような場合には、電子の運動方程式より、y方向の速度成分 v_y は

$$v_y = -\frac{e}{m} E_d t \dots (23)$$

ただし $E_d = -\frac{V_d}{d}$

ここに $V_d =$ 偏向板電圧

$d =$ 偏向板間隔

また z 方向の運動方程式から

$$z = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} E t^2 + C_2 t + C_3 \dots (24)$$

ただし $C_2 = \sqrt{2 \frac{e}{m} V_2}$ (25)

また $t=0$ のとき $z=0$ とすると $C_3=0$ となり

$$z = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} E t^2 + C_2 t \dots (26)$$

となる。(26)式より $z=S$ における電子の走行時間 $t=t_s$ を求めると、

$$t_s = \frac{\sqrt{C_2^2 + 4AS} - C_2}{2A} \dots (27)$$

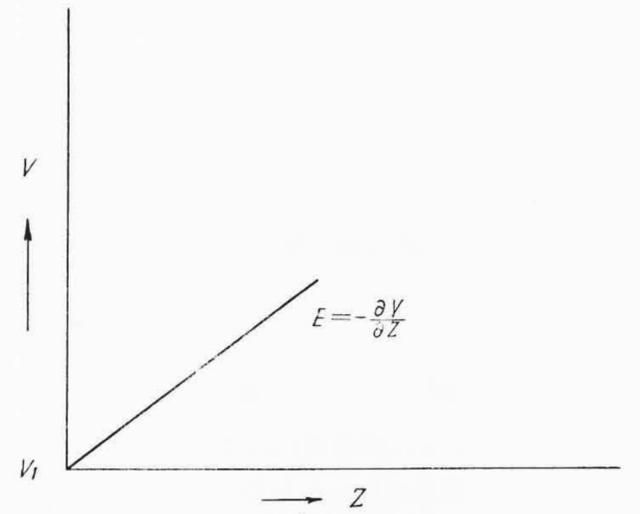
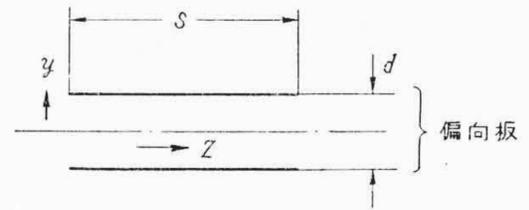
ただし $A = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} E$

この t_s を(23)式に代入して

$$v_{ys} = -\frac{e}{m} E_d t_s$$

$$= \frac{e}{m} \frac{V_d}{d} \frac{\sqrt{C_2^2 + 4AS} - C_2}{2A} \dots (28)$$

一方、 $E=0$ における電子の走行時間 t_{s0} は(26)式より



第17図 偏向板と加速電界との関係

$$t_{s0} = \frac{S}{C_2} \dots (29)$$

ゆえに $v_{y0} = \frac{e}{m} \frac{V_d}{d} \frac{S}{C_2}$ (30)

(28)と(30)式との比をとり、これを R_v とすると

$$R_v = \frac{v_{ys}}{v_{y0}} = \frac{C_2}{S} \frac{\sqrt{C_2^2 + 4AS} - C_2}{2A}$$

$$= -\frac{2V_2}{ES} \left(\sqrt{1 - \frac{ES}{V_2}} - 1 \right) \dots (31)$$

いま、5BHP形を例にとって

$$E = \frac{V_2 - V_1}{D}$$

とおけば

$$R_v = \frac{2D}{S} \frac{1}{(\alpha-1)} \left(\sqrt{1 + (\alpha-1) \frac{S}{D}} - 1 \right) \dots (32)$$

となる。



特許と新案



最近登録された日立製作所の特許

(80頁より続く)

| 登録番号 | 名 称 | 氏 名 | 登録年月日 | 登録番号 | 名 称 | 氏 名 | 登録年月日 |
|--------|-------------------------------------|-------|-----------|--------|---------------------|-------|-----------|
| 270607 | 蓄冷器の自動制御方法 | 平山省一 | 36. 1. 23 | 270692 | 自動鋳型取付装置 | 関村谷愛三 | 36. 1. 23 |
| 270700 | スチームタービン | 松本嘉力 | " | 270703 | 自動鋳造装置 | 関村谷愛三 | " |
| 270773 | 電気集液装置 | 加藤正敏 | " | 270630 | 洗濯機 | 関村谷愛三 | " |
| 270838 | 原子炉用燃料要素 | 橋本清隆 | 36. 1. 30 | 270645 | 電気パルス数記憶装置 | 関村谷愛三 | " |
| 270858 | ドラフトチューブ給気法 | 渡辺孝次郎 | " | 270832 | 電気量の積に応動する継電器 | 古益市光三 | " |
| 270903 | セレクターバルブ装置 | 江原良三 | " | 270848 | ボールミル用球 | 石澤三重樹 | " |
| 270659 | 並設エレベータの相互位置表示装置 | 大末新彦 | 36. 1. 23 | 270608 | 多重通話方式 | 石田朝雄 | 36. 1. 30 |
| 270768 | 単相全波整流回路の電圧調整装置 | 森山真平 | " | 270618 | 複接統形負性インピーダンス両方向増巾器 | 高田昇 | 36. 1. 23 |
| 270849 | 金属薄板曲げ部の角出し法 | 酒井昌吉 | " | 270624 | 圧縮伸長器 | 高田昇 | " |
| 270859 | 直線切形断路器 | 通田吉陸 | 36. 1. 30 | 270639 | 差動形直流増幅装置 | 阿部善右 | " |
| 270885 | 電気車輛用空気遮断器 | 加坊藤次明 | " | 270729 | アナログ計算機積分器用演算増幅器 | 阿部善右 | " |
| 270902 | 電車の制御装置 | 額田啓三 | " | 270741 | コンデンサの吸収現象を補償した積分器 | 阿部善右 | " |
| 270736 | 燃料制御と制動とを兼用した操作ハンドルによるディーゼル機関車の制御機構 | 赤竹伸一 | 36. 1. 23 | 270810 | 信号受信方式 | 朝比奈隆 | 36. 1. 30 |
| 269860 | クレーンの油圧式ジブ引込装置 | 原田俊彦 | 36. 1. 10 | 270811 | 信号方式 | 増村逸夫 | " |
| 270742 | コイルカッターエン用ピックボックス | 川勝康 | 36. 1. 23 | 270627 | 電子管グリッド物 | 朝比奈隆 | 36. 1. 23 |
| 270757 | 往復動ピストン装置 | 盛武賢 | " | 270676 | 合成樹脂組成物 | 北野憲真 | " |
| 270807 | 俯仰けた付ロープトロリ式クレーン | 田中春雄 | 36. 1. 30 | 270677 | 合成樹脂セメント | 高野憲真 | " |
| 270836 | クレーンのスクリュウ装置 | 早川敏雄 | " | 270684 | 合成樹脂組成物 | 高野憲真 | " |
| 270866 | クレーンの油圧式ジブ引込装置 | 村田敏雄 | 36. 1. 30 | | | 高野憲真 | " |
| 270878 | 逆止弁装置 | 山崎憲男 | 36. 1. 30 | | | 高野憲真 | " |
| 270691 | 自動中子取付装置 | 川勝康 | 36. 1. 23 | | | 高野憲真 | " |