

# テレビジョン用ブラウン管の電子銃について

## On The Electron Gun of The TV Picture Tube

山崎 映一\* 小泉 喜八郎\*  
 Eiichi Yamazaki Kihachiro Koizumi

### 内容梗概

最近のテレビジョンのめざましい発展に伴い、ブラウン管も長足の進歩をとげたが、本報告はこのテレビジョン用ブラウン管の諸特性改善に関し、主として電極関係のものをまとめてみたものである。集束電圧、解像度、耐電圧などに関し種々実験、検討の結果、ほぼ満足すべきものが得られ、現在の新型電子銃が完成した。

### 〔I〕 緒 言

わが国における最近のテレビジョンの発展ぶりはめざましいものがあるが、その受像機に使用されるブラウン管についてもたえず改良が行われ、最近では非常に高性能のものが製作されるようになった。すなわち

- (i) 静電集束型ブラウン管
- (ii) メタルバックブラウン管
- (iii) 広角度偏向ブラウン管

などがその主なるもので、明るく小型でしかも使用が簡便であるということが最近のブラウン管の傾向である。この上さらにセットメーカーなどブラウン管使用者側からの要望事項としては、

- (i) 解像度が良好であること。
- (ii) 集束電圧、カットオフ電圧などのバラツキが少なく品質均一であること。
- (iii) 集束電圧カソード電流特性が良好であること。
- (iv) 耐電圧が良好であること。
- (v) イオントラップ作用が十分でイオン焼けなど起さず長寿命であること。

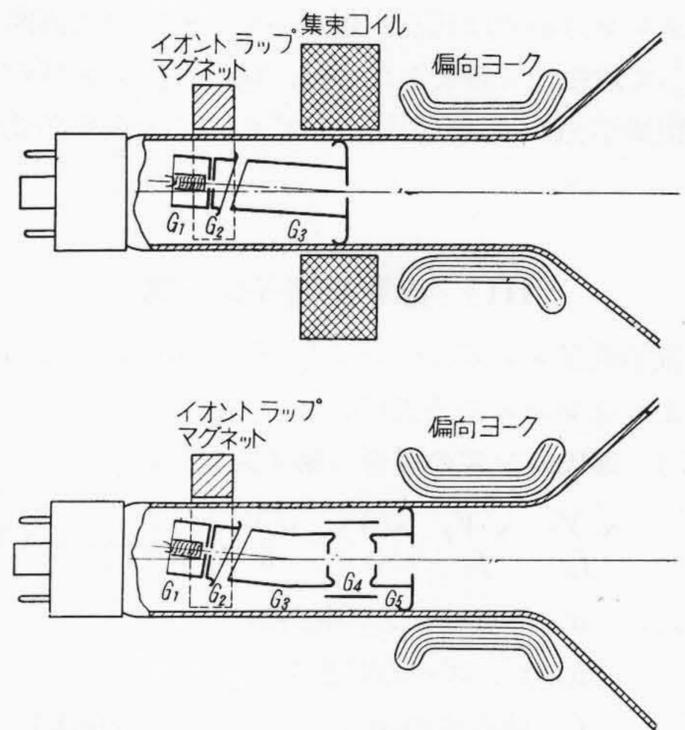
などがあげられ、漸次これらの要求を満足する方向に向いつつある。以下はこれら諸特性改善のうち主として電極関係のものをまとめたものである。

### 〔II〕 静電型電子銃の構造および動作

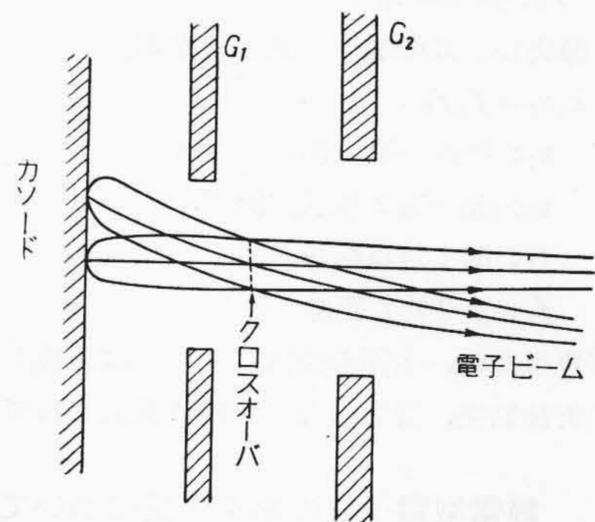
第1図に電磁型電子銃と静電型電子銃の概略の構造を示す。

両者ともカソードより放射される電子の量は  $G_1$  (第1グリッド、以下  $G_2$ ,  $G_3$  なども同様に第2, 第3グリッドなどを示す) の電位により制御されるが、電子流は第2図のように  $G_1$  および  $G_2$  の電界によりビームを形成する。このビームは図に示すように途中でもつとも細くなる部分を生ずるが、これをクロスオーバと称し、後に蛍光面上に得られるスポットの物点となるものである。 $G_1$ ,  $G_2$  の電位を変化すれば勿論ビームの太さ、形状は変化し、これに伴ってクロスオーバの位置も前後に移

\* 日立製作所茂原工場



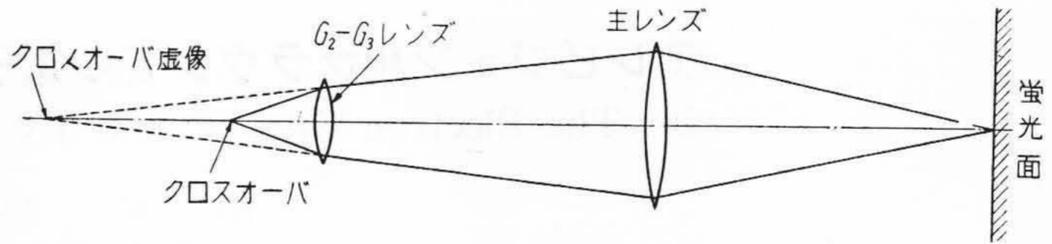
第1図 電磁型電子銃(上)と静電型電子銃(下)の構造



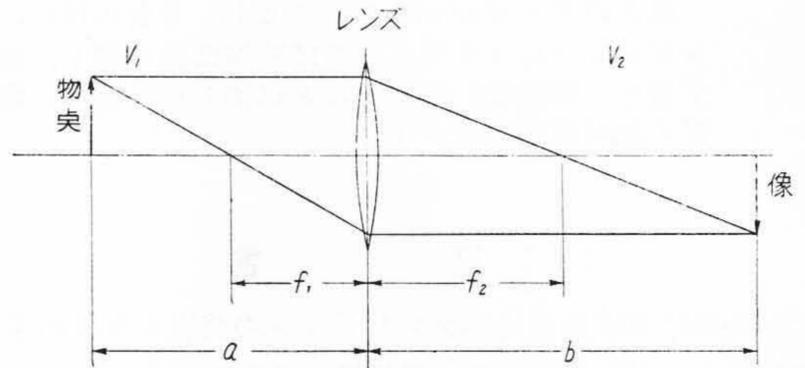
第2図 クロスオーバの形成

動するが一般にはほぼ  $G_1$ ,  $G_2$  の中間にあると考えられる。クロスオーバより発散するビームは  $G_2$  により加速され、 $G_2$ - $G_3$  レンズに入る。 $G_2$ ,  $G_3$  の対向面は約10度の傾斜をもっているが、これは周知のようにイオントラップで電子および負イオンを一旦方向を曲げ、電子流のみをイオントラップ磁界により元の電極軸に引戻し、ビーム中より有害な負イオンを取除くようにした

ものである。またイオントラップ作用のほかに  $G_2-G_3$  レンズは集束作用をもち、電子ビームはここでやや集束される。最後に主レンズによりビームは集束されて蛍光面上にスポットを作る。この主レンズは電磁型ブラウン管の場合には管外に設けられた電磁コイルによつては、静電型ブラウン管の場合には管内の  $G_3, G_4, G_5$  の静電界によつて集束作用が行われる。今これらの関係を光学レンズ系に置換えてみると第 3 図のごとくなる。第 3 図は便宜上イオントラップ作用は省略してある。両レンズのうち、主レンズの方は焦点距離がかなり長いので薄肉レンズとして取扱つて差支えないが、 $G_2-G_3$  レンズの方は焦点距離が短いので厚肉レンズとして取扱う必要がある。



第 3 図 光学レンズに置換えた電子レンズ系



第 4 図 薄肉レンズ

〔III〕 静電型電子レンズ

静電型電子レンズについても一般光学レンズと同様に次のようなレンズの公式が成立つ。

(1) 薄肉レンズの場合 (第 4 図参照)

$$\frac{\sqrt{V_1}}{f_1} = \frac{\sqrt{V_2}}{f_2} = \frac{\sqrt{V_1}}{a} + \frac{\sqrt{V_2}}{b} \dots\dots\dots (1)$$

ここに a: 物点—レンズ間距離

b: レンズ—像間距離

f<sub>1</sub>: 物点側の焦点距離 (第 1 焦点距離)

f<sub>2</sub>: 像側の焦点距離 (第 2 焦点距離)

V<sub>1</sub>: 物点側の電位

V<sub>2</sub>: 像側の電位

(2) 厚肉レンズの場合 (第 5 図参照)

$$x_1 x_2 = f_1 f_2$$

ここに x<sub>1</sub>: 物点—第 1 焦点間距離

x<sub>2</sub>: 像—第 2 焦点間距離

f<sub>1</sub>: 第 1 焦点距離

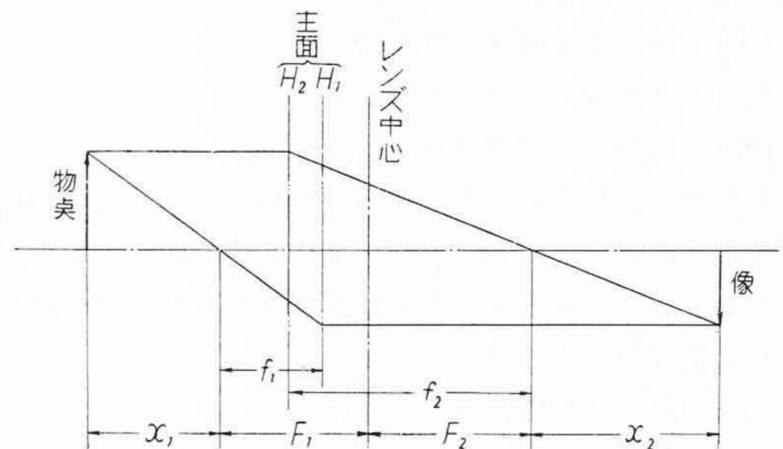
f<sub>2</sub>: 第 2 焦点距離

これら焦点距離、主面の位置については各種レンズについての実験結果、計算値などが種々発表されている。

〔IV〕 静電型電子銃の集束電圧について

(1) 集束電圧のバラツキ

上述のように静電型ブラウン管の電子ビーム集束作用は管内電子レンズによつて行われるが、このレンズを構成する各電極の寸法が集束作用に非常にクリティカルに影響することが知られている。そこで集束電圧  $Ec_4$  を一定の値 (たとえば 14 HP 4 で陽極電圧 12 kV, ビーム電流 100  $\mu$ A で集束電圧は -48 ~ +264 V の範囲内になければならぬ) に保つためには電極寸法をかなり厳密におさえる必要があり、そのためには各電極寸法と集束電



第 5 図 厚肉レンズ

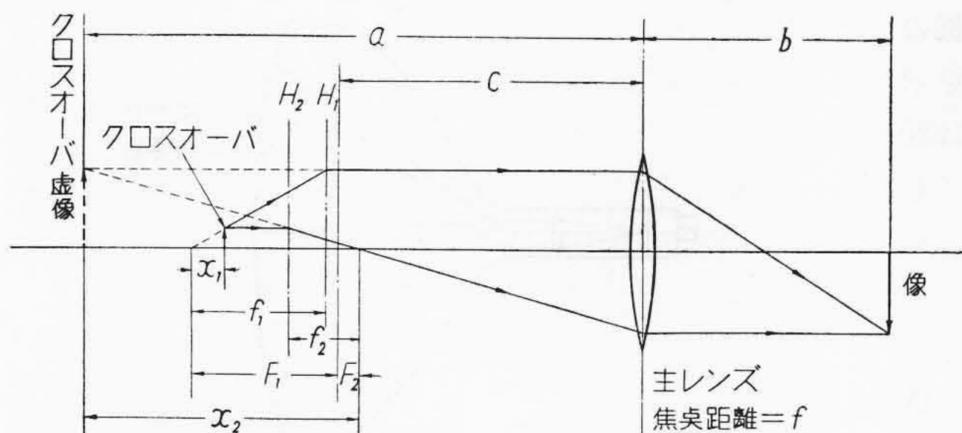
第 1 表 各電極寸法変化に対する集束電圧の変動 (単位: V/mm)

	実測値	Bentley などの実験	水槽実験
クロスオーバー—レンズ間距離	100	83	73
レンズ—蛍光面間距離	3.7	2.3	2.7
G <sub>3</sub> —G <sub>5</sub> 間隔	1,700	1,700	1,510
G <sub>4</sub> 内径	—	-950	-883

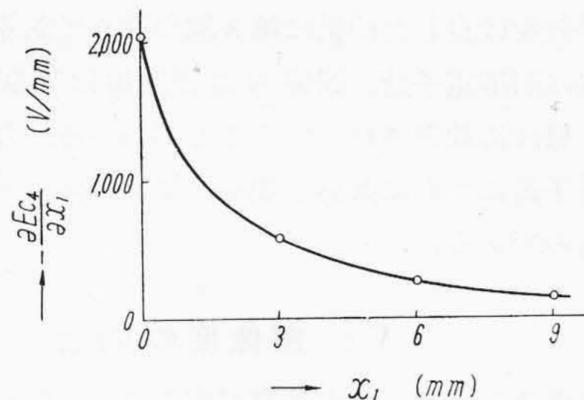
圧との関係を知る必要がある。

以下文献および実験によりこれらの関係を求めてみた。実験および計算の過程は省略し、結果を第 1 表に示す。第 1 表最左列は筆者などが実際の電子銃について実験した値であり、中央の列は現用の電子銃とほとんど同一の電極について Bentley 氏らが行つた実験によるもの<sup>(1)</sup>である。最後の列は日立製作所中央研究所で、約 10 倍の大きさの電極模型を使用した水槽実験を行い、そのマッピングの結果より計算した値である<sup>(2)</sup>。いずれの結果も大略の一致を見せており、ほぼ正しい値であることが確認できる。結局第 3 式のごとき実験式がえられる。

$$\Delta Ec_4 = 100 \Delta a + 3 \Delta b + 1,700 \Delta l - 1,000 \Delta D \dots\dots\dots (3)$$



第6図 G<sub>2</sub>-G<sub>3</sub> レンズおよび主レンズによる結像



第7図 クロスオーバの位置と集束電圧変動率の関係

ここで  $\Delta Ec_4$ : 集束電圧の変動

$\Delta a$  : 主レンズ—クロスオーバ間距離の変動

$\Delta b$  : 主レンズ—蛍光面間距離の変動

$\Delta l$  : G<sub>3</sub>-G<sub>5</sub> 間隔の変動

$\Delta D$  : G<sub>4</sub> 内径の変動

(2) 集束電圧カソード電流特性

集束電圧  $Ec_4$  は単にバラツキが少ないばかりでなく、1個のブラウン管についていえばカソード電流  $Ik$  すなわち明るさを変えたときに焦点の崩れが少ない ( $Ec_4$  の変化が少い) ことが望ましい。

カソード電流  $Ik$  を変えたときの集束電圧の変動は主としてクロスオーバの位置の移動に基くものである。したがって  $Ec_4-Ik$  特性を改善するためには

(i) クロスオーバが移動してもフォーカスにあまり影響を与えないような電極構造にすること。

(ii) クロスオーバの移動自身を小さくすること。

が必要となる。以下この二つについて検討してみよう。

(A) クロスオーバの移動と集束電圧の関係

静電集束型電子銃のレンズ系は第3図に示した通りで2個のレンズの内 G<sub>2</sub>-G<sub>3</sub> レンズは焦点距離が小さく厚肉レンズとして取扱う必要がある。クロスオーバはこのとき G<sub>2</sub>-G<sub>3</sub> レンズの焦点より内側に入ってしまうので第6図のごとくなる。第1式、第2式および第6図より

$$x_1 x_2 = f_1 f_2$$

$$a = c - F_2 + x_2 = c - F_2 + \left( \frac{f_1 f_2}{x_1} \right) \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{c - F_2 + \left( \frac{f_1 f_2}{x_1} \right)} + \frac{1}{b} \dots \dots \dots (5)$$

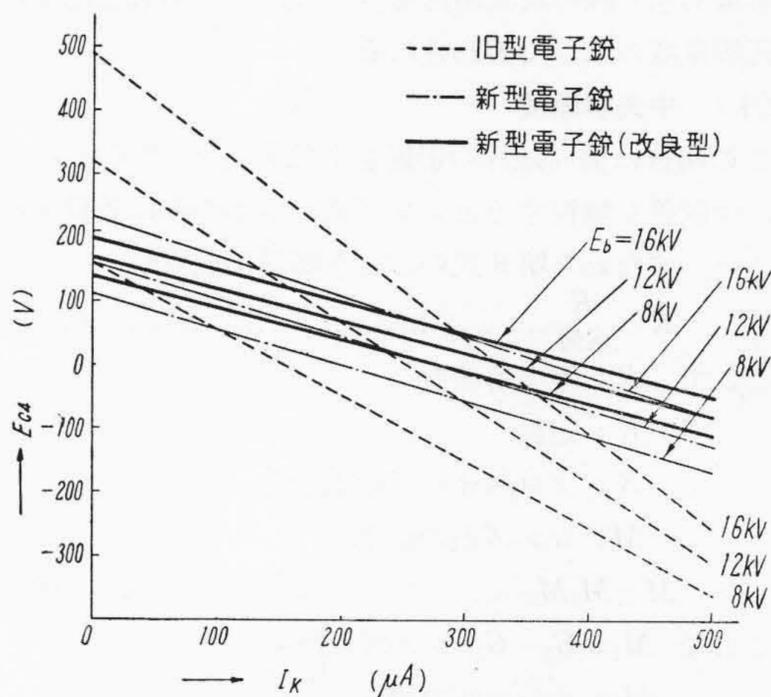
ただし  $f$  は主レンズの焦点距離を示す。また

$$\frac{\partial \left( \frac{1}{f} \right)}{\partial x_1} = \frac{1}{f_1 f_2 \left\{ 1 + \left( \frac{c - F_2}{f_1 f_2} \right) x_1 \right\}^2} \dots \dots \dots (6)$$

となる。ところで Bentley 氏らの実験によると

$$\frac{\partial Ec_4}{\partial \left( \frac{1}{f} \right)} = -2.34 \times 10^5 \text{ (V} \cdot \text{mm)} \dots \dots \dots (7)$$

という値が得られている。したがって



第8図 集束電圧—カソード電流特性

$$\begin{aligned} \frac{\partial Ec_4}{\partial x_1} &= \frac{\partial Ec_4}{\partial \left( \frac{1}{f} \right)} \cdot \frac{\partial \left( \frac{1}{f} \right)}{\partial x_1} \\ &= -2.34 \times 10^5 \cdot \frac{1}{\left\{ 1 + \left( \frac{c - F_2}{f_1 f_2} \right) x_1 \right\}^2 f_1 f_2} \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

となり、以下実際の数値を代入し  $\frac{\partial Ec_4}{\partial x_1}$  と  $x_1$  の関係を求めると第7図のごとくなる。すなわち  $x_1$  を大きくすると  $Ec_4-Ik$  特性が非常に改善されることがうかがわれる。

(B) クロスオーバの移動を小さくすること

次にカソード電流の変動によるクロスオーバの移動を小さくすることを考えてみよう。

クロスオーバは前述のごとくカソード、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> の電界により形成されるものであるから、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub> の孔径およびそれらの間隔を小さくすることによりクロスオーバ自身も小さくなり、 $Ik$  変動によるクロスオーバの移動も小さくすることができる筈である。クロスオーバを小さくすることは後に述べるように解像度の改善に対しても有効である。

さて以上 (A) (B) に述べたごとき方法により実際に

電子銃を改良した結果は第 8 図の通りである。第 8 図の破線は旧型電子銃、鎖線および実線は新型電子銃を示し、格段に改善されていることがわかる。なお実線は新型電子銃にさらに改良を加え、クロスオーバを小さくしたものである。

〔V〕 解像度の向上

最近テレビジョンの品質が向上するに伴いブラウン管の品質、特に解像度のよいものが要求されるようになってきた。ブラウン管の解像度は一般にパターン内において解像できる線の最大値をもつて表わし、中央解像度、周辺解像度の二つで表わされる。

(1) 中央解像度

この場合は偏向磁界の影響を全然考えなくてよいので、今収差を無視するとレンズ系の倍率のみに着目すればよい。すなわち第 9 式のごとき関係が成立つ。

$$R = \frac{K}{SM} \dots\dots\dots (9)$$

ここで R: 中央解像度

K: 定数

S: クロスオーバの大きさ

M: レンズ系の倍率

$$M = M_1 M_2 \dots\dots\dots (10)$$

ここで M<sub>1</sub>: G<sub>2</sub>—G<sub>3</sub> レンズの倍率

M<sub>2</sub>: 主レンズの倍率

第 6 図より

$$M_1 = \frac{f_1}{x_1} \dots\dots\dots (11)$$

$$M_2 = \frac{b}{c - F_2 + x_2} = \frac{bx_1}{f_1 f_2 + (c - F_2) x_1} \dots\dots (12)$$

$$\therefore R = K \left\{ \frac{f_2 + \left( \frac{c - F_2}{f_1} \right) x_1}{Sb} \right\} = \frac{K}{Sb} \left( f_2 + \frac{c - F_2}{M_1} \right) \dots\dots\dots (13)$$

となる。ところで今 G<sub>2</sub>—G<sub>3</sub> レンズの強さをその電圧比を変えて変化する場合を考え、便宜上主面の位置は動かないものと仮定すると（電圧変化により f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub> のみが変わると考える） f<sub>1</sub>—x<sub>1</sub> は一定となる筈であるからこれを l と置くと

$$l = f_1 - x_1 \dots\dots\dots (14)$$

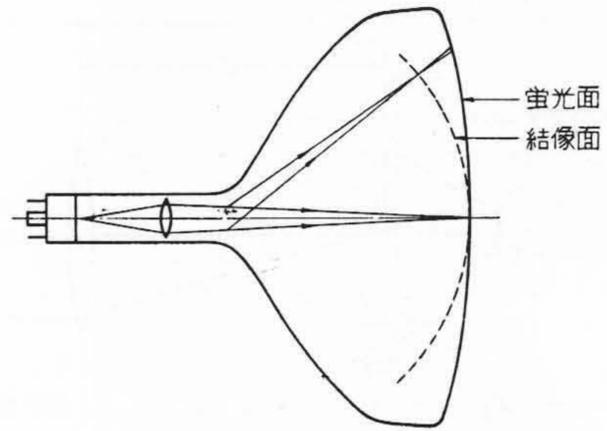
$$M_1 = \frac{1}{1 - \frac{l}{f_1}} \dots\dots\dots (15)$$

これを第 13 式に代入すると

$$R = \frac{K}{Sb} \left\{ f_2 + (c - F_2) \left( 1 - \frac{l}{f_1} \right) \right\} \dots\dots\dots (16)$$

となり、結局中央解像度を良くするには S, b, l を小とし、c, f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub> を大としてやればよいことになる。すなわち

- (i) クロスオーバの大きさを小さくする。
- (ii) 主レンズ—蛍光面間の距離を小さくする（広角度偏向とする）。



第 9 図 結像面と蛍光面のずれに基づく焦点ボケ

- (iii) クロスオーバ—G<sub>2</sub>—G<sub>3</sub> レンズ間の距離を小さくする。
- (iv) G<sub>2</sub>—G<sub>3</sub> レンズ—主レンズ間の距離を大きくする。
- (v) f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub> を大きくする。すなわち G<sub>2</sub>—G<sub>3</sub> レンズの強さを弱くする。

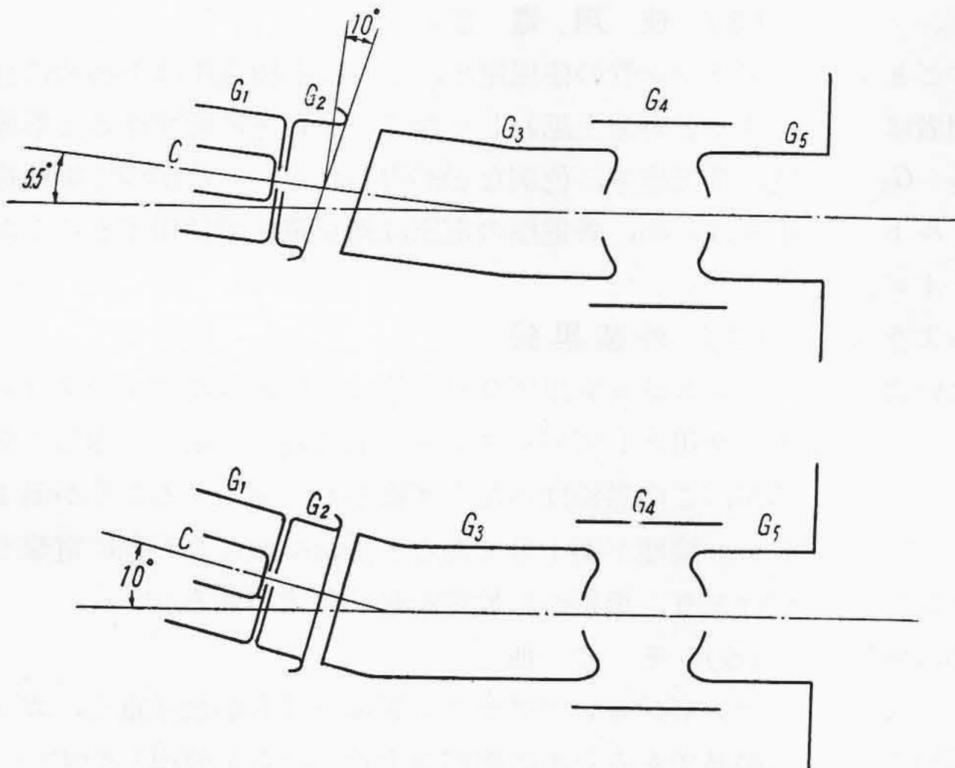
などのことを行えばよい。このうちクロスオーバを小さくするために G<sub>1</sub> の孔径を小さくすることについては、カソード電流密度を大きくすることになって、寿命にも関係する問題であり、またカットオフ電圧を一定に保つためにはほかの寸法も小さくする必要があつて製作上も難かしくなるので、むやみに小さくすることは好ましくない。

(2) 周辺解像度

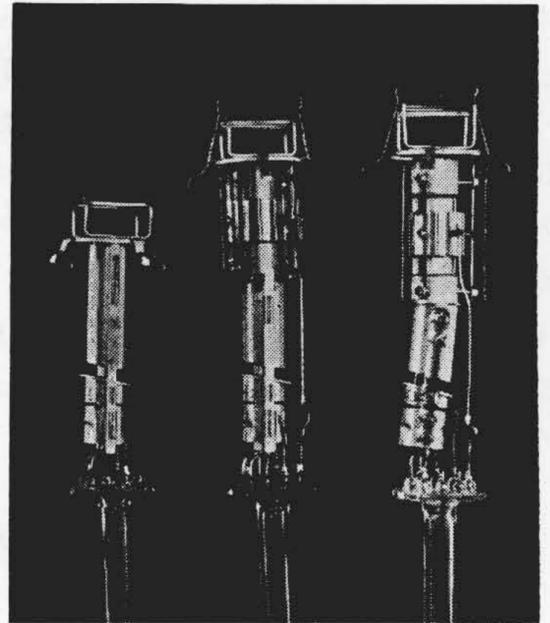
周辺解像度は上記中央解像度のほかに偏向磁界による偏向歪および第 9 図に示すような結像面と蛍光面とのずれによる焦点ボケなどが加わるのでかなり複雑な問題である。

これらの問題についてここでは詳細を省略するが、偏向歪、焦点ボケはいずれも電子ビームが太くなる程、また偏向角度を大きくする程悪くなる性質のものである。このうち偏向角度は品種により決つてしまうので、ビームを細くすることが残された手段であり、次のような方法が考えられる。

- (i) クロスオーバからのビームの発散角を小さくする。——ビームの発散角は G<sub>1</sub> の孔径を小さくする程、また G<sub>1</sub>—G<sub>2</sub> の間隔を広くする程小さくなる性質があるが、カットオフ電圧を一定に保つためには一方を小さくすれば他方も小さくせねばならず、ほかの特性との関連もありかなり難しい問題である。
- (ii) G<sub>2</sub>—G<sub>3</sub> レンズの集束作用を強くする。——G<sub>2</sub>—G<sub>3</sub> レンズによりビームを強力に集束してやれば主レンズにおけるビームの太さは細くなるが、これは前述の Ec<sub>4</sub>—Ik 特性および中央解像度を悪くする結果となり適当なところで妥協しなければならない。最近欧州系のブラウン管では G<sub>2</sub> と G<sub>3</sub> の間に



第10図 テイルトガン (上) とベントガン (下)



第11図 電磁型電子銃 (左), 静電型電子銃—旧型 (中央) および新型 (右)

もう一つの電極を追加し、このレンズの強さを加減してフォーカスの状態を変えられるようにしたものも見受けられる。しかし一般には最適状態にて固定してあつた方が取扱いは便利なようである。

(iii) マスキングアパーチャによりビームを絞る方法——光学系と同様に絞りを入れればビームを細くすることができるが、蛍光面へとどく電子は少くなり画面

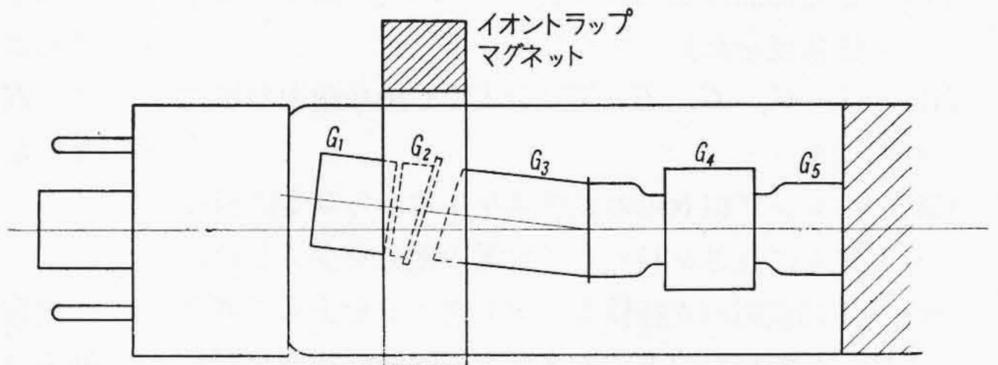
が暗くなるので好ましくない上、マスクの入れ場所が悪いとかえつて収差を増大するおそれがある。

以上は収差について論じなかつたが球面収差、非点収差なども解像度に大きく影響する。球面収差はレンズの形状で決まるので、できるだけ大きなレンズ構造とし無理な電界がかからないようにすべきである。非点収差については各電極を完全に回転対称とし、偏心のないように組立てねばならない。

ところで現在のテレビジョンの送像方式は走査線 525 本周波数帯域 4 Mc で送られているので、ブラウン管の解像度を必要以上に上げて無意味であるばかりでなく走査線が粗く見えたりハイライトが飽和してコントラストを悪くするようなことになる。したがつてテレビジョン用ブラウン管の解像度はむやみにこれを上げることよりは蛍光面全面にわたつて一様なフォーカスが得られることが望ましい。

### 〔VI〕 耐電圧の改善

ブラウン管がしだいに蛍光面の大きなものが使用されるようになるとともにその使用電圧も高くなり、27吋級になると 20 kV 程度の高圧が陽極にかけられ各電極間



第12図 イオントラップマグネットの正しい装着方向

の耐電圧が問題となつてくる。

耐電圧不良には2種類あつて、一つはいわゆる耐圧不良であり、ほかはストレーエミッションと呼ばれるものである。前者は一般の放電による絶縁破壊であり、後者は一種のコールドエミッションであつてカソード以外の電極より強電界によりエミッションがでるもので、はなはだしい場合には画面のコントラストを損うことになる。いずれにしても電界の集中をさげ、電界強度をできるだけ弱くすることが必要である。耐電圧を向上する手段としては次のようなことが考えられる。

- (i) 高電圧がかかる部分の電極間隔を広くする。
- (ii) 電極部品に尖鋭な端面を作らぬようにする。
- (iii) 電極部品の表面を極力滑らかにする。
- (iv) 高圧部分の絶縁材料として耐電圧のよいものを用いる。同時に絶縁物の数を少くして放電の機会を少くする。

このほか、製作上の問題としては電極の汚れやほこりを極力さけることが必要である。

### 〔VII〕 イオントラップ

現在のテレビジョン用ブラウン管にはイオン焼を防止

するためにすべてイオントラップが設けられている。

イオントラップ電子銃の形式には第 10 図に示すごとくベントガンとティルトガンの 2 種類がある。前者は  $G_3$  の下部を一定角度曲げたものであり、後者は  $G_2-G_3$  の対向面を斜に切断したものである。一般にはティルトガンの方が構造が簡単で組立精度をだしやすく、イオントラップ作用も十分であるためよく用いられているようである。スポットの形状についても両者とも大差ないようである。

### 〔VIII〕 新型、旧型電子銃の比較

第 11 図により旧型電子銃と新型電子銃の比較を試みよう。第 11 図左端は電磁型電子銃で参考のために掲げた。電磁型であるため静電電子レンズがついていない。第 11 図中央が静電型電子銃の旧型、右端が新型である。主なる改良点をあげてみると、

- (i) 電極部品は全部絞り型とし、以前の張合せ型より寸法精度をだしやすくした。
- (ii)  $G_3-G_4$ ,  $G_4-G_5$  間隔を広くし絶縁耐力の増大を図つた。
- (iii) 主レンズ組立用のガラスを 4 本から 3 本に減らすとともに長さを長くして放電の機会を少くした。
- (iv) 下部電極の支持棒もステアタイトを止めてガラス棒とし絶縁を向上するとともに機械的強度を増した。
- (v) そのほか各電極寸法に小変更を加え、解像度、 $Ec_4-Ik$  特性などの向上を計つた（これら特性の比較は前に掲げた通り）。

などである。

### 〔IX〕 ブラウン管使用上の諸注意

上述のごとくブラウン管は細心の注意をもつて設計製作されているが、これらの諸性能を最高度に発揮するためには、ブラウン管使用上次のような注意が必要である。

#### (1) イオントラップマグネット

磁界の強さが適当で磁界分布が均一なものを使用しないと著しく画面の解像度を害うことがある。また同じマグネットでも装着方向により解像度が変化するので注意を要する。第 12 図にティルトガンの正しいイオントラップマグネット装着方向を示す。

#### (2) 偏向ヨーク

偏向ヨークも解像度、偏向歪に大きな影響をもっている。やはり磁界分布の均一な良質のものを使用しなければならない。また偏向ヨークの有効長が長いとネックシャドウを起しやすいので、有効長はできるだけ短く、しかも能率のよいヨークを用いることが望ましい。

#### (3) 使用電圧

ブラウン管の使用電圧、とくに陽極電圧は不必要に高くすると寿命上思わしくなく、また逆に低すぎると解像度、発光能率、色調などが害われる。したがって陽極電圧をはじめ、各電極の電圧は適正電圧で使用することが望ましい。

#### (4) 外装黒鉛

テレビジョン用ブラウン管は高圧電源のフィルタコンデンサ用としてバルブコーン部に外装黒鉛が塗布してあるが、この黒鉛はかならず接地して使用することが望ましい。接地が不十分であると黒鉛に触れたときに電撃を受けたり、黒鉛から放電を起す危険がある。

#### (5) その他

テレビジョン用ブラウン管は重量もかなり重く、ガラス製品であるために無理な力かけると破損しやすい。したがってその取扱いおよびセットへの装着には細心の注意を要し、絶対に無理な力や衝撃を与えぬようにしなければならない。また蛍光面はとくに疵がつきやすいので、直接固い物の上などには置かぬよう注意しなければならない。

## 〔X〕 結 言

静電型電子銃の諸特性改善について実験検討を行つた結果ほぼ満足すべきものを得ることができた。

テレビジョン用ブラウン管は現在日進月歩の状態で次々に新しいものが発表されている。欧米ではすでにメタルバック蛍光面にストレートガンを用いてイオントラップを不要としたものが発表されており、また 110 度偏向の非常に全長の短いものも試作が進んでいるように聞いている。また解像度などに関しても単なる解像度ではなく、最近ではシャープネスというようなことが問題となりはじめている。われわれもさらにこのような方面の研究を進める必要がある。

最後に本実験に際し終始御援助を頂いた日立製作所中央研究所森戸研究員および茂原工場ブラウン管課石塚課員をはじめ、関係各位にあつく御礼申上げる次第である。

### 参 考 文 献

- (1) Bentley, Hoagland, Grossbohl: Self-Focusing Picture Tube, Electronics June 1952, Vol. 25 No. 6 P. 107.
- (2) 森戸, 山崎: (未発表)
- (3) Spangenberg: Vacuum Tubes. Mc Graw-Hill.
- (4) Soller, Starr, Valley: Cathode Ray Tube Displays. Mc Graw-Hill.