

ブラウン管の静電的偏向拡大方法の検討

Electrostatic Magnification of Deflection in CRT

宮田 嘉彦* 山崎 映一*
Yoshihiko Miyata Eiichi Yamazaki

内 容 梗 概

電磁偏向形のブラウン管ではその偏向に要する電力が大きいので偏向電力の少なくすむブラウン管が要求されている。その一方法として凹レンズを偏向部とけい光面の途中におくことを検討した。メッシュを使うことにより凹レンズを作ることができ、その結果偏向拡大が行なわれることが認められた。しかし同時にまたスポット径の拡大も行なわれ解像度ははなはだしく低下するほか、メッシュによる明るさの低下、メッシュからの二次電子によるコントラストの低下などの欠点も多く現状のものではテレビ用ブラウン管への実用の見込みが少ない。

1. 緒 言

テレビジョン用受像機においてブラウン管の偏向電力は大きな割合を占めている。特に受像機をトランジスタ化する場合大きな問題となり偏向電力の少なくすむブラウン管が要求される。この偏向電力減少のために今まで次のような方法が試みられている。

- (1) 陽極電圧を下げる： 電磁偏向の場合（以下特にことわらない場合はすべて電磁偏向を意味する）陽極電圧の平方根に反比例して偏向感度が良くなる。しかしけい光面の明るさが陽極電圧の約2乗に比例して暗くなる。
- (2) ネック径を小さくする： ネック径を小さくすることにより偏向ヨークコアが小さくできれば、コア内径に比例して偏向電力が少なくなる。しかしコア内径とネック外径の間にコイルを巻くための空間が必要なのでネック径が小さくなった割にコア内径が小さくならず、偏向電力はあまり少なくならない。またブラウン管の機械的強度も減少する。
- (3) ネック内に磁極片を入れる： 磁極の近くを電子が通過するためひずみが大きく使えない。
- (4) バルブの偏向角を小さくする： 偏向角の3乗に比例して偏向電力が少なくなるが奥行が長くなるため採用されていない。

以上のものとは考えを変えた方法として、少しの角度だけ偏向しこれを拡大してけい光面に投影することが考えられる。この一方法として静磁界を使う方法⁽¹⁾も発表されているが、付属装置が大きくなるので静電的方法について検討した。この場合偏向中心とけい光面の途中に凸レンズを設置しラスタを反転投影することもできるが、偏向中心と凸レンズの距離を大きくしないと偏向感度が悪い。またレンズ電極が電子流進路の障害となり、偏向域が大きくとれない。もう一つの方法として偏向中心とけい光面の途中に静電的電子凹レンズをおき、電子流の偏向角を拡大する方法が考えられる。筆者らはこの凹レンズの使用法、凹レンズによる偏向拡大度および凹レンズを入れたことによる解像度の低下などにつき検討したので報告する。

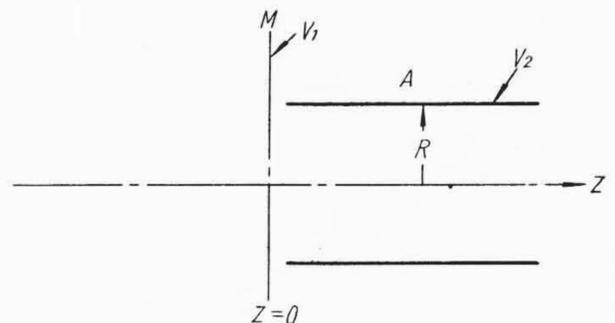
2. 凹レンズの検討

2.1 凹レンズのできる理由

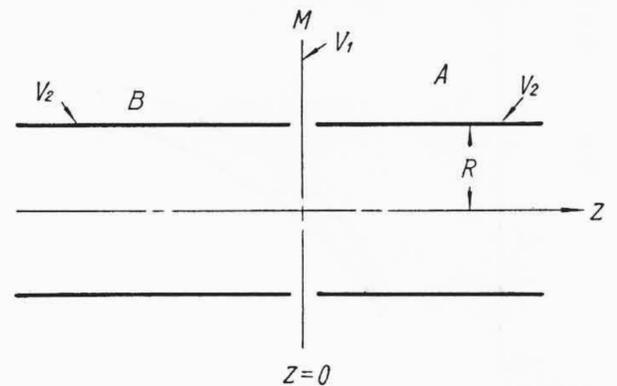
従来一般に使われている電子レンズは（円筒やアパーチャの組み合わせの場合）必ず凸レンズである。しかし第1図のように平板Mと円筒Aの組み合わせ、または第2図のように二つの円筒A、Bおよび平板Mの組み合わせの場合は凹レンズとすることもできる。

すなわち第1図の場合平板Mの電位を V_1 、円筒Aの電位を V_2 として Laplace の方程式を近似的に解くことにより軸上電位分布 ϕ_0

* 日立製作所茂原工場



第1図 平板と円筒を組み合わせた電極系



第2図 平板と二つの円筒を組み合わせた電極系

として次式が導かれる⁽²⁾⁽³⁾。

$$\phi_0 = V_1 \{1 + (h-1) \tanh \omega z\} \dots\dots\dots (1)$$

ただし $z \geq 0$, $h = V_2/V_1$, $\omega = 1.32/R$

(1)式より

$$\phi_0' = \frac{d\phi_0}{dz} = V_1 (h-1) \omega \operatorname{sech}^2 \omega z \dots\dots\dots (2)$$

$$\phi_0'' = \frac{d^2\phi_0}{dz^2} = -2V_1 (h-1) \omega^2 \operatorname{sech}^2 \omega z \tanh \omega z \dots\dots\dots (3)$$

が導かれる。また近軸の場合

$$\frac{\partial \phi}{\partial r} = -\frac{r}{2} \cdot \frac{d^2\phi_0}{dz^2} \dots\dots\dots (4)$$

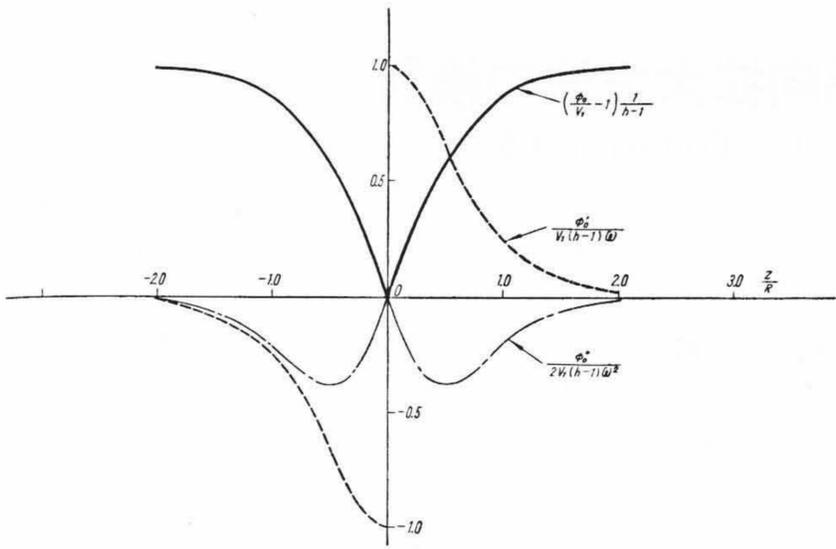
が成立するから(3), (4)式より $h = V_2/V_1 > 1$ の場合は $z \geq 0$ において $\partial \phi / \partial r \geq 0$ となる。すなわち $z=0$ より出た電子は常に軸から離れる向きの力を受けることになりこの電極系は凹レンズとなる。

また第2図の場合 $z \geq 0$ の範囲に対しては上記と同じであり $z \leq 0$ の範囲では軸上電位分布として次式が成立する。

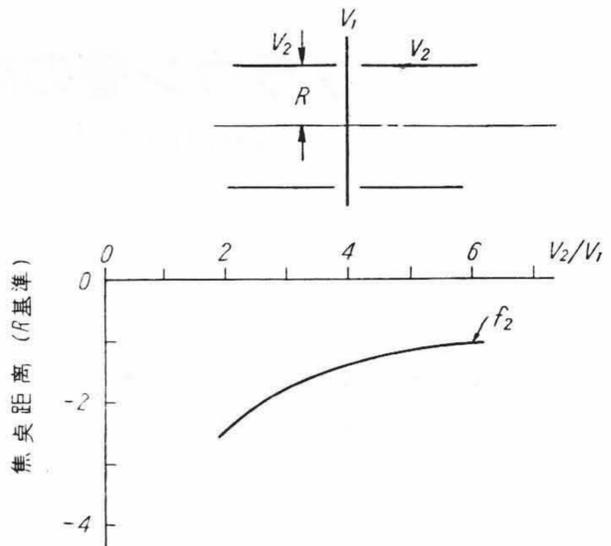
$$\phi_0 = V_1 \{1 - (h-1) \tanh \omega z\} \dots\dots\dots (5)$$

ゆえに第1図の場合と同じく $h > 1$ の場合は $\partial \phi / \partial r \geq 0$ となり、やはり凹レンズ作用があることになる。以下第1図の場合を Bi-potential 形、第2図の場合を Uni-potential 形凹レンズと呼ぶことにする。

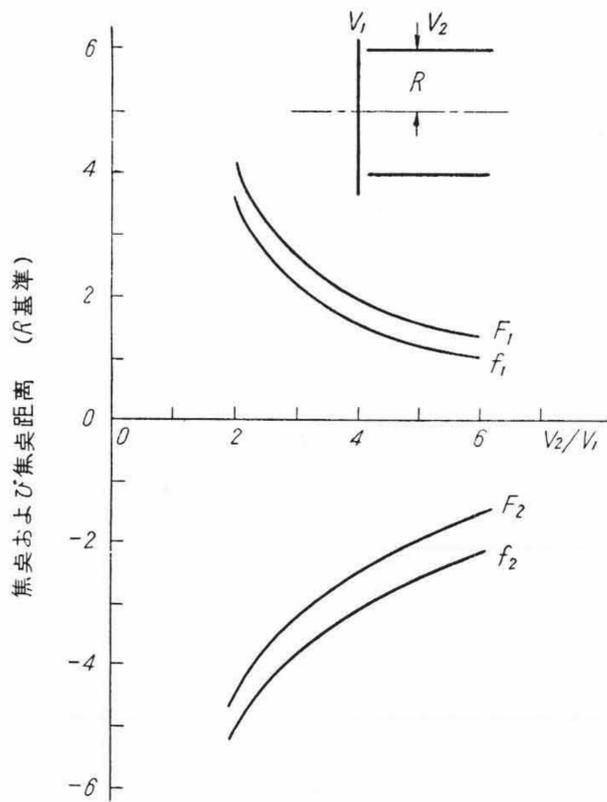
なお電子レンズとして使う場合平板Mとしては普通の金属板ではなく、電子の通過できる金属はくとかメッシュにしなければならない。



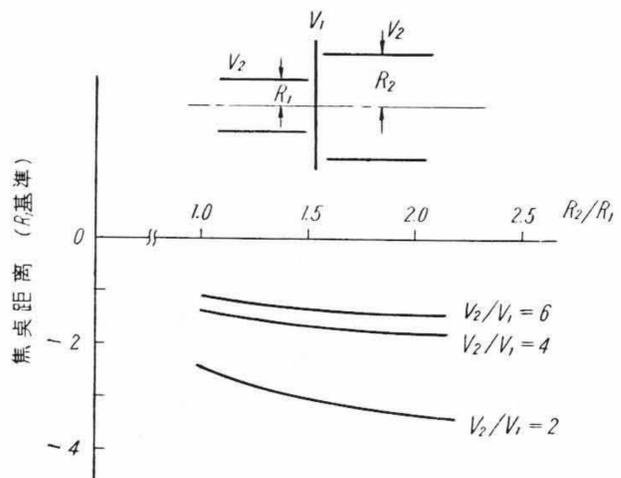
第3図 正規化された軸上電位分布



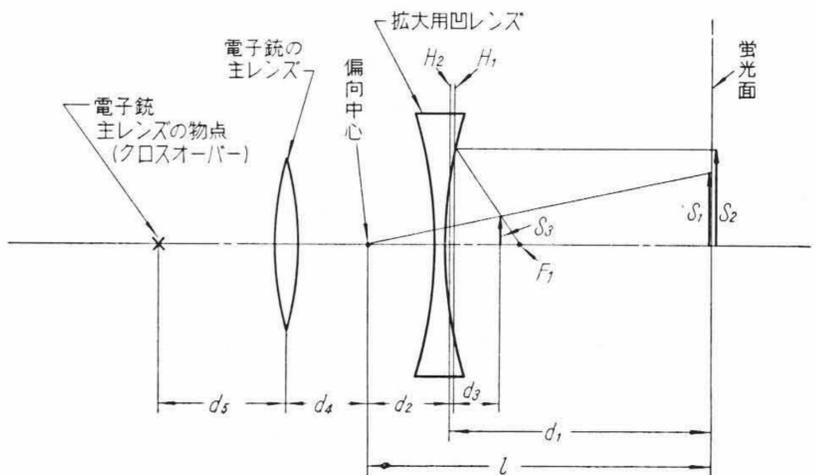
第5図 Uni-potential 形凹レンズの焦点距離



第4図 Bi-potential 形凹レンズの焦点距離



第6図 二つの円筒直径比と焦点距離



第7図 凹レンズの位置関係

2.2 メッシュを使った凹レンズのメッシュ孔の効果

第1図または第2図においてMをメッシュとし、かつ $V_1 < V_2$ とすればこの電極系は全体としては凹レンズとなる。しかしメッシュの穴それぞれについてはアパーチャレンズと考えられる。一般にはアパーチャレンズの焦点距離は近似的に

$$f_a = \frac{4V_1}{\phi_{0'+} - \phi_{0'-}} \dots\dots\dots (6)$$

ただし $\phi_{0'-}$, $\phi_{0'+}$ はメッシュの左右の電界で表わされ凸レンズとなる。ゆえにこのメッシュを使った電極系は大きな凹レンズと無数の微小凸レンズを組み合わせたものと考えられる。

2.3 凹レンズの集点距離

Bi-potential 形および Uni-potential 形凹レンズの焦点距離を Gans の多角形近似法により概算した。なお Uni-potential 形では両側の円筒電極径の異なる場合についても計算した。Gans の方法を適用するにあたって $z=0$ 付近の取扱に注意を要す。いま (1), (2), (3), (5)式などより ϕ_0 , ϕ_0' , ϕ_0'' を求めてみると第3図のようになる (ただし Bi-potential 形においては $z < 0$ の範囲では ϕ_0 , ϕ_0' , $\phi_0'' = 0$ となる)。 $\phi_0''(0) = 0$ であるから $\partial\phi/\partial r = 0$ ゆえに電子が $z=0$ を通過する際 r 方向の力を受けない。 ϕ_0 が $z=0$ において連続、 $\phi_0''(0) = 0$ の条件のもとに電子の軌道方程式を解いても $z=0$ において入射角と出射角は等しくなる。このことを考慮して求めた焦点距離を第4~6図に示す。

3. 偏向拡大度および解像度の計算

ブラウン管の偏向部とけい光面の間凹レンズをおいた場合の拡大度および解像度を計算してみる。凹レンズとしては第1図の Bi-potential 形と第2図の Uni-potential 形を使った場合についてそれぞれ調べてみる。いずれも平板Mとしてはメッシュを使うものとする。第1図および第2図において円筒Aはけい光面につながり陽極電圧 V_b を印加しメッシュMに電圧 V_m を印加する。すなわち $V_1 = V_m$, $V_2 = V_b$ とする。また凹レンズとブラウン管の位置関係を第7図のように定める。

3.1 拡大度の計算

レンズの結像条件より

$$f_1 \cdot f_2 = (-d_3 - f_1)(d_1 - f_2) \dots\dots\dots (7)$$

レンズ系の倍率より

$$S_2/S_3 = M = -f_1/(-d_3 - f_1) \dots\dots\dots (8)$$

第7図より

$$S_3/S_1 = (d_2 + d_3)/l \dots\dots\dots (9)$$

(1) Bi-potential形ときの拡大度

凹レンズによる拡大度 $g = S_2/S_1$ は(7), (8), (9)式および Bi-potential形では $f_2/f_1 = \sqrt{V_b/V_m}$ であることより

$$g = \frac{d_1 d_2}{-f_1 l} \sqrt{\frac{V_m}{V_b}} + \frac{d_1}{l} \sqrt{\frac{V_m}{V_b}} + \frac{d_2}{l} \dots (10)$$

(10)式は凹レンズそのものによる拡大度を示している。感度として考える場合は偏向部の電位が V_m になっているので電磁偏向では $\sqrt{V_b/V_m}$, 静電偏向では V_b/V_m だけ感度が良くなることを考慮する必要がある (V_b を一定として)。ゆえに電磁偏向の場合の全体の拡大度(利得) G_M は

$$G_M = \frac{d_1 d_2}{-f_1 l} + \frac{d_1}{l} + \frac{d_2}{l} \sqrt{\frac{V_b}{V_m}} \dots (11)$$

また静電偏向の場合の全体の拡大度(利得) G_S は次式で示される。

$$G_S = \frac{d_1 d_2}{-f_1 l} \sqrt{\frac{V_b}{V_m}} + \frac{d_1}{l} \sqrt{\frac{V_b}{V_m}} + \frac{d_2}{l} \cdot \frac{V_b}{V_m} \dots (12)$$

(2) Uni-potential形ときの拡大度

Uni-potential形では偏向部の電位は V_b のままとなるから偏向方式の静電または電磁偏向には関係なく, レンズによる拡大 $g = S_2/S_1$ が全体の拡大度(利得) G_u となる。ゆえに(7), (8), (9)式および Uni-potential形では $f_1 = f_2$, また二つの主面がほぼ一致し, $d_1 + d_2 = l$ なることより次式が得られる。

$$G_u = \frac{d_1 d_2}{-f_1 l} + 1 \dots (13)$$

3.2 解像度の計算

解像度はスポット径に反比例するものとして凹レンズを入れたことによるスポット倍率を計算してみる。

凹レンズがない場合クロスオーバのけい光面への倍率 m_1 は

$$m_1 = (l + d_4)/d_5 \dots (14)$$

凹レンズを入れた場合のクロスオーバの倍率 m_2 は S_3 の像が S_2 に結像するから主レンズはクロスオーバを S_3 の位置に結像し, これが凹レンズによりけい光面に $M = f_1/(d_3 + f_1)$ 倍されるから

$$m_2 = \frac{d_2 + d_3 + d_4}{d_5} \cdot \frac{f_1}{d_3 + f_1} \dots (15)$$

ゆえに Bi-potential形凹レンズを入れたことによるスポット倍率 M_b は(14), (15)および(7), (10)式より

$$M_b = \frac{m_2}{m_1} = \frac{g l (d_2 + d_4) - d_1 d_4 \sqrt{V_m/V_b}}{(l + d_4) d_2} \dots (16)$$

また Uni-potential形ときのスポット倍率 M_u は(14), (15), (7), (13)式より

$$M_u = \frac{G_u l (d_2 + d_4) - d_1 d_4}{(l + d_4) d_2} \dots (17)$$

次にメッシュを使った場合にはメッシュ孔によるスポット径の増加分を考える必要がある。簡単に考えると第8図よりメッシュ孔 d_a のけい光面への倍率 m_3 はメッシュ孔によるアパーチャレンズの焦点距離を f_a として

$$m_3 = (d_6 - f_a)/f_a \dots (18)$$

ゆえにメッシュ孔によるスポット径の増加 ΔD_s は

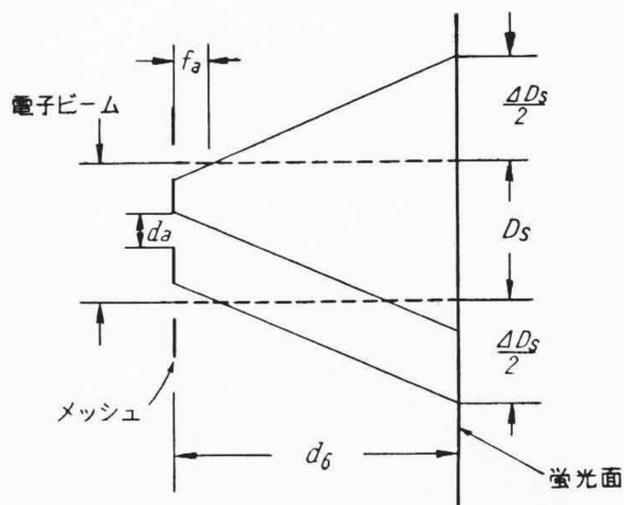
$$\Delta D_s = \frac{d_6 - f_a}{f_a} \cdot d_a \dots (19)$$

なお f_a は(6)式および(2), (5)式より求められる。すなわち Bi-potential形では

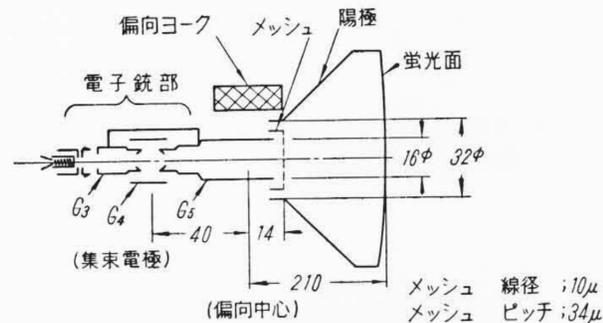
$$f_a = 3 R_2 (V_b/V_m - 1) \dots (20)$$

Uni-potential形では

$$f_a = \frac{3}{V_b/V_m - 1} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \dots (21)$$



第8図 メッシュによるスポット径の増大



第9図 実験球の概略構造 (単位: mm)

ただし R_1, R_2 は凹レンズ系のメッシュの左および右の円筒半径

全体のスポット径は(16)あるいは(17)式で示されるスポット拡大分と(19)式で示されるメッシュによるボケの和によるものと思われる。

4. 実験結果および考察

4.1 実験および結果

実験球の概略構造を第9図に示す。ガラスバルブおよび電子銃は電磁偏向の14WP4のものを使用した。 G_5 の端に図に示すようにメッシュ電極Mをおく。Mを G_5 に接続し電圧 V_m を印加したときは Bi-potential形となり, G_5 を陽極に接続しMに別の電圧 V_m を印加したときは Uni-potential形となるようにした。使用したメッシュは銅の750メッシュである。

第10, 11図に拡大度および解像度に関し実験結果と(11), (13), (16), (17), (19)式および2章で求めた焦点距離を使って計算した値を示す(解像度はスポット径の逆数に比例するものとして計算してある)。 Bi-potential形では計算値と実測値はかなり一致した。しかし Uni-potential形では拡大度が(13)式で求めた値より実測値がかなりはずれている。これは第9図のように偏向磁界内にメッシュ付近の低電位部がはいっており, このため感度がよくなったものと思われる。感度が電位の平方根に反比例するものとして計算すると第11図鎖線となり実測値と一致してくる。

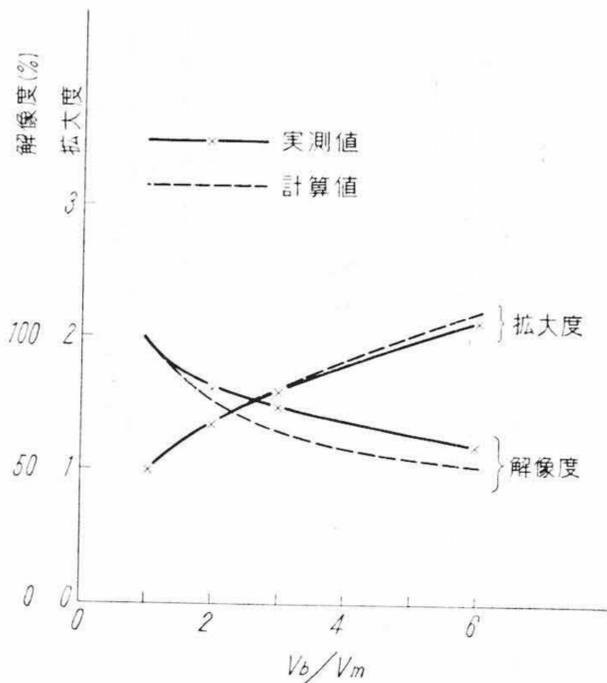
以上のように計算と実測とはほぼ一致し偏向拡大が行なわれることがわかる。ただしスポット径も拡大され解像度の低下がみられる。

4.2 拡大度および解像度の検討

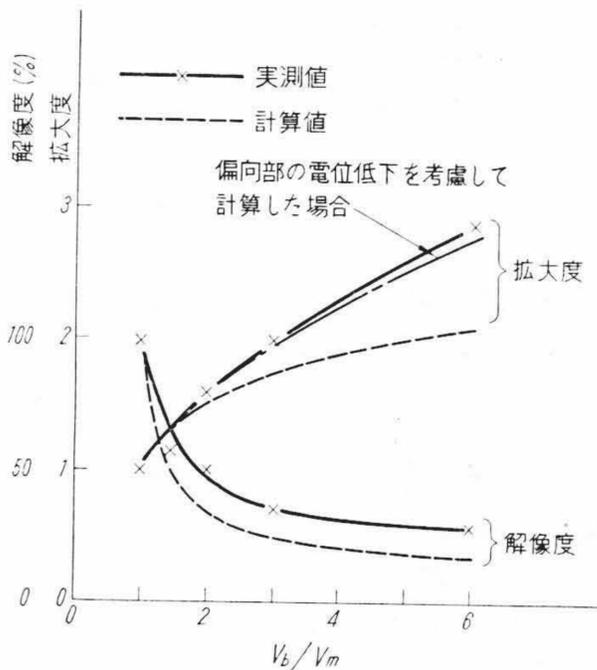
次にこの拡大度を大きくする方法について式の上で調べてみる。まず凹レンズの二つの主面は2.3よりほぼ一致するから(11)~(13)式で $d_1 = l - d_2$ として取り扱う。以上の式より

- (1) 凹レンズの焦点距離一定の場合 $d_2 = l/2$ において拡大度は最大となる。
- (2) 電圧比は一定としてシャドウが出ないようにレンズ電極半径 R を定めた場合

焦点距離 f は R に比例するから R を小さくすると f が短くなり拡大度が大きくなる。しかし電極が電子通路の障害となりシャド



第 10 図 Bi-potential 形凹レンズによる
偏向拡大球の特性



第 11 図 Uni-potential 形凹レンズによる
偏向拡大球の特性

ウを生ずる。シャドウが出ないためにはレンズによる g なる拡大が行なわれることを考慮して次式を満足する必要がある。

$$2R \geq d_2' S_e / l g \quad (22)$$

ただし d_2' : 偏向中心とレンズ中心(電子の防害となる部分)との距離

S_e : ブラウン管有効径

$d_2' \doteq d_2$, $f = kR$ (k は電圧比によって決まる負の常数) であるから d_2 を小さくすれば拡大度は大きくなる。

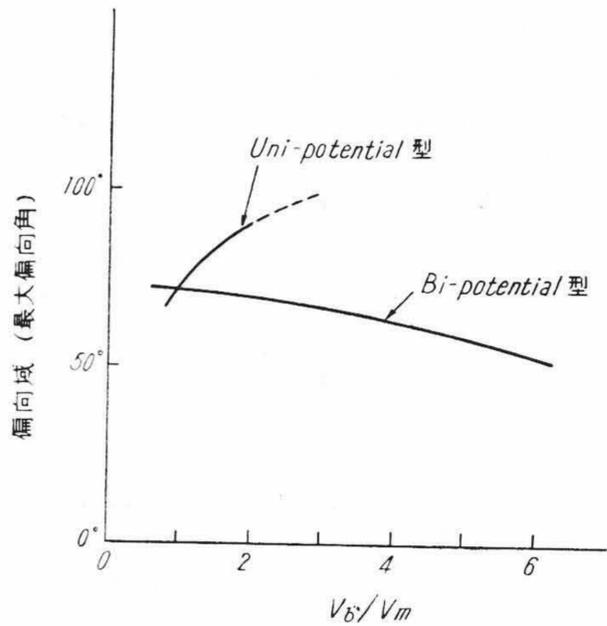
また解像度の低下(スポット径の増加)を少なくするためには(16)~(19)式より d_2 を大きく d_4 を小さくすることがよい。また当然のことであるが拡大度およびメッシュ孔径を小さくすると解像度の低下は少なくなる。しかし実験球ではメッシュ孔径によるスポット増大よりも偏向拡大による分のほうが大きいので、メッシュ孔を極端に小さくしても効果は少ない。なお最良条件としてメッシュ孔径を 0, および $d_2 = l$ または $d_4 = 0$ としても解像度は拡大度に反比例することが(16)~(19)式よりわかる。

4.3 偏向域について

この実験球の偏向域を調べてみると第 12 図のようになり Uni-potential 形のほうが偏向域を大きくとりやすい。

4.4 明るさの検討

次にメッシュレンズを使って偏向拡大を行なう場合、メッシュの透過率により明るさが低下する。今この明るさの低下分に相当する



第 12 図 実験球の偏向域

だけ普通のブラウン管で陽極電圧を低くしたとするとどれだけ偏向感度が良くなるか検討してみる。

普通のブラウン管を陽極電圧を V_{b1} としたときの明るさを B_1 とすると、メッシュを使った偏向拡大球での明るさ B_2 は(陽極電圧は V_{b1} として)

$$B_2 = \alpha B_1 \quad (23)$$

ただし α : メッシュの透過度

また普通のブラウン管で明るさが B_2 になるような陽極電圧を V_{b2} とすると

$$B_2 / B_1 = (V_{b2} / V_{b1})^n \quad (24)$$

ただし n : 常数 (一般には $n \doteq 2$)

(23), (24) 式より V_{b2} として次式が得られる。

$$V_{b2} = \alpha^{1/n} V_{b1} \quad (25)$$

偏向感度は陽極電圧の平方根に反比例するからこのときの拡大度 G_b は

$$G_b = \alpha^{-1/2n} \quad (27)$$

となる。すなわち明るさが普通の α 倍に低下してもよいならば $\alpha^{-1/2n}$ の偏向拡大ができる。ゆえにメッシュレンズにより拡大を行なう場合には拡大度を $\alpha^{-1/2n}$ 以上にしなければメッシュレンズを使った利益はない。実験球ではメッシュの透過率 50% であるから 1.2 倍以上の拡大をすればよいことになる。

5. 結 言

メッシュレンズを使うことにより偏向拡大が行なわれることがわかった。しかし偏向拡大を行なえばスポット径の拡大も行なわれ解像度が低下する。この解像度の低下は Bi-potential 形よりも Uni-potential 形レンズを使ったほうが大である。しかし Bi-potential 形では偏向域が大きくとりにくいのでテレビジョン用としては Uni-potential 形にしたほうが良いと思われる。観測用ブラウン管のように偏向角が割合小さく、かつ静電偏向の場合は Bi-potential 形にしたほうが有利となる。実際には解像度の低下だけでなくメッシュからの二次電子によるコントラストの低下や、メッシュ透過率による明るさの低下などの欠点もある。

終りにメッシュレンズについてご検討を賜った中央研究所森戸主任研究員に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) Bryan R. Overton: Journal of the Television Society, 8, 11, 458~462
- (2) Alexander A. Rusterholz: Electronenoptik I, 55~56(1950 Verlag Birkhäuser Basel)
- (3) S. Bertram: Proc. of the I.R.E. 28, 420 (Sept. 1940)