低ブルーミング型カラー受像管用電子銃

松下技研株式会社 川 上 秀 彦・石 垣 功
西 田 準・前 田 晴 雄

カラー受像管のハイライト時の画像特性を劣化させる電子ビームのブルーミング現象について、電子計算機による電子ビーム解析と、電子銃実験とにより考察した。そして、必要な最大ビーム電流に対して電子銃のカットオフの選び方、また、電子ビーム電流の増加に対して急激に増大する電子レンズの収差の影響を少なくするようなプリフォーカスレンズの設定についての考え方をまとめた。その結果、従来の4極電子銃に対して5極電子銃とし、第2格子電圧を高く設定することにより、従来の受像管にくらべて、最大ビーム電流時のビームスポット径が従来の約6割で、各電子銃間のフォーカス特性のばらつきの少ないカラー受像管を開発することができた。

1. ま え が き

カラー放送が開始されて以来、放送技術の向上に追随して、カラーテレビ受像機の性能も、次々と新しい技術が開発、工業化されて著しく改善されてきた。とくにカラー受像管についてみると、偏向ヨークやコンバーゼンス方法の改良による広角化や、螢光体材料および塗布法の進歩等による材料面、技術面からの開発によって、輝度、色純度等ほとんど問題がなくなったようにみえる。

しかしながら、年々高輝度化されてきたカラー画像を鮮鋭度、解像度の観点から評価した場合、再現しうる情報密度に対してビームスポットが太すぎると感じることもある。すなわち、カラーブラウン管の解像度は走査線数、シャドウマスキングレスポンス、スポットサイズなどによって決定されるが、まだビームスポットの方が大きすぎる傾向にあり、この問題はとくにホワイトピーク時の明るい画面で顕著に現われ、画面の細部が表現できず、あるいは白文字が太くなったり輪郭が不明瞭となる画のボケが目立つ現象がある。これは電子ビームのスポット径がハイライトの大電流領域では小電流領域より著しく肥大するのが原因で生ずるもので、受像管のブルーミング現象と呼ばれている。

従来から、このブルーミング現象知覚に関しては、大石¹⁾、長岡²⁾らがレスポンス関数表示および主観的鮮鋭度の定量表現により種々検討を行っているが、これを電

子銃自体の問題として検討し、その原因を明確にして電子銃の設計に生かしていくことが是非必要と考えられる。

筆者らは電子銃の電子幾何光学上の問題として分析し、とくに電子銃内の電子軌道を解析し、陰極からの電子放出量を変化させた場合のクロスオーバー点の振舞や、クロスオーバー点から発散していく電子流の傾向を把握して、できるだけ螢光面スクリーン上のスポット点の変化の少ない電子銃設計を試みた。これらの検討は実験管によって確かめ、カラー受像管に応用する電子銃を構成した。その結果について述べる。

一般にテレビ受像管等の電子銃において、螢光面上のビームスポットは電子光学的にみれば、陰極前面の界浸レンズによって集束された電子流の細くなったクロスオーバー点を、次に続く集束レンズ系で螢光面に投影した像であるから、主レンズの動作が一定の場合、電子ビームの輝度変調に対してこのクロスオーバー点の位置、大きさの変化が問題となる。すなわち、第1格子・陰極間に加えられる変調電圧によって陰極レンズが変化し、クロスオーバーの状態が大きく変動することは、それが直接スクリーン上での電子ビームの集束状態を劣化させてしまう。

このクロスオーバー点の電流密度が有限の値をもつのは、①電子のもつ初速度分布、②空間電荷効果、③陰極界浸レンズの収差によるものであるが、①と②については従来からも種々の検討が加えられてきているので、ここでは陰極と第1格子間に加える変調電圧が、第1格子孔によって形成される電子レンズを変化させることに着

"Low-Blooming Electron Gun for Color Picture Tube" by Hidehiko Kawakami, Isao Ishigaki, Jun Nishida and Haruo Maeda (Matsushita Research Institute Tokyo Inc., Kawasaki)

目し、主として③について考察する。

さらに、陰極・第1格子間に変調電圧を加えてビーム電流を増加させると、クロスオーバー点からの電子ビームの発散が大きくなり、主レンズを通過するビーム径が大きくなって、主レンズの球面収差が無視できなくなり、急激にスポット径が増大するようになる。

通常、この効果を制限するために、主レンズに入射する電子ビームを集束するプリフォーカスレンズが設けられているが、一般のカラー受像管などに用いられているバイポテンシャルフォーカス方式では実用上充分でなく、これをさらに強化させる必要がある。また、第2格子電圧の調整により、3本の電子銃のカットオフ電圧を揃えると、このプリフォーカスがばらつく原因となる。

本研究は、電流密度の高いクロスオーバー点の形成と主レンズでの球面収差によるスポット径の増大を抑えることに目的をおいた。

2. 電子軌道解析による3極管部の検討

まず図1に示すような3極電子銃の各寸法を変化させて電子軌道を求めることを試みた。電子銃内部の電位分布の計算は楕円形偏微分方程式の境界値問題を差分法で解いていく。このような電子銃内の電子軌道を求めた例はWeber³⁾や二宮⁴⁾らによってなされている。これらの結果は等電流密度分布を描くなどの方法で表わされているが、ここではビーム変調率 γ (=ドライブ電圧/カッ

図1 電子銃3極部構造

Sketch of 3 electrodes arrangement.

トオフ電圧) に対するクロスオーバー、発散角の変動に注目し、陰極(K)の各点から放出された各電子の走行とプロフィールが簡単に把握できるディスプレイを開発した。

図2(a), (b), (c)に電子ビーム軌道の代表例をそれぞれ $\gamma=0.5, 0.8, 1.0$ の変調率にて示す。これらを整理して得られた発散角の変動、クロスオーバーの大きさと位置の変動を図3(a), (b), (c)に示す。図2, 図3よりビーム変調率 γ が0.8を越すと、発散角、クロスオーバーの大きさ、位置等の特性が急激に変化し、さらに γ が1に近づくにつれてビームプロフィールの最小径の点と最大電流密度点が一致しないこともある。したがって、クロスオーバー点それ自体を定義することが困難になっ

(a) $b=0.1D, t=0.2D, f=D, \gamma=0.5$

(b) $b=0.1D, t=0.2D, f=D, \gamma=0.8$

(c) $b=0.1D, t=0.2D, f=D, \gamma=1.0$

図2 3極管部電子軌道

Electron beam trajectories in a triode.

図 3 (a) ビーム変調度に対する発散角の変動

Variation of beam spread angle vs fractional drive.

図 3 (b) ビーム変調度に対するクロスオーバー径の移動

Variation of crossover size vs fractional drive.

てくるので、このことから $\gamma < 0.8$ で電子銃を駆動することと発散角を抑制する方法を考える必要があることがわかる。 $\gamma < 0.8$ で明るさに必要なビーム電流を得るためには、陰極前面に強い電界を作用させる必要がある。

このように設計することは、陰極の電子放出面積を縮小する効果とクロスオーバー点の電位を高める効果を併せもつと同時に、さらにビームのカットオフ電圧は深くなるが、一方、特性の良いクロスオーバーを形成し易い。このことは高い第2格子電圧 (V_{G2}) を要する。このため、後述するプリフォーカス効果は減少し、また陰極負荷も増大するので注意を要する。

いま電子銃設計例として $f=D$, $b=0.1D$, $t=0.2D$ を選ぶと、最大ビーム電流 3 mA を $\gamma=0.8$ で得るにはカットオフ電圧 $V_{Co} \cong 150$ V, $V_{G2} \cong 730$ V となる⁵⁾。

図 3 (c) ビーム変調度に対するクロスオーバー点の変動

Variation of crossover position vs fractional drive.

3. プリフォーカスレンズ

3.1 4 極電子銃におけるプリフォーカス

まず従来の4極電子銃のプリフォーカスの特性を実験的に検討した。図4はビーム実験管によって実測したビーム発散角の値である。この場合プリフォーカスレンズ電圧比 q_i ($q_i = V_{G2}/V_{G3}$ で定義する) を設計上可能な限り小さくしても、なお発散ビームの集束は充分でなく、主レンズでの最大ビーム径は電極口径の 1/2 以上にも及ぶ。ここで設計上というのは電子銃において最終加速電圧が決まると、主レンズ焦点距離から第3格子電圧 (V_{G3}) のとるべき値の範囲が決定され、一方、第2格子電圧 (V_{G2}) はカットオフ設定からその範囲が決まるため、 q_i はある範囲に制限されてしまうことを意味する。

一般に、球面収差によるスポットのボケは良く知られ

図 4 プリフォーカスレンズ発散角

Beam spread angle from pre-focusing lens.

ているように、主レンズ内でのビーム直径の3乗に比例するから、クロスオーバーから発散する電子ビームを集束して主レンズ主面において、電子ビームの直径を電極口径の1/3程度に保つと、収差によるスポットの増加分は10~50%以下であることが実験的に示されている⁶⁾。このため、この影響を検討しなければならない。

3.2 5 極構成によるプリフォーカスの強化

従来の4極バイポテンシャル集束電子銃では、電極構成ならびに電圧配分の単純さはあるが、前述のように大電流領域ではプリフォーカス効果が充分でなく、そのために主レンズの球面収差によりスポット径が劣化してしまう。したがって、プリフォーカスを強くすることを考えるため、2章で述べた軌道計算の手法をプリフォーカス領域、主レンズ領域まで拡張して検討する。

前述のような陰極近傍では解析すべき領域は小さく、第1格子孔(D)と同等であり、高精度の計算が必要である。一方、電子銃の先の方では電子ビームの拡がりとともに解析すべき領域が非常に大きくなり、電子銃全体を等しく細分化されたメッシュ空間で同時に計算することは不経済である。そこで、陰極(K)、第1格子(G_1)、第2格子(G_2)から成る基本3極管部構造を、まずそれに必要なメッシュサイズで第1格子(G_1)までの軌道を計算し、ついで領域を第1格子(G_1)、第2格子(G_2)、第3格子(G_3)とずらした新たな3極部を考え、第1格子(G_1)、第2格子(G_2)領域を重ね合わせて電位を求め、第2格子までの軌道を計算する。この際、メッシュのスケールリングを行う。以降順次に計算領域を重ね合わせながら漸進的に計算を進めていく。

このようにすれば、各電極による電界の遮蔽効果も加わっているので、実用上問題のない精度で電子銃全体の電子ビーム軌道を求めることができる。たとえば、図6の構造の電子銃の軌道を求める場合、従来方法にくらべて誤差は1%以内で、計算機の容量は1/15、演算時間は1/100以下にすることができた。

そこで、第2格子(G_2)と第3格子(G_3)の間に強い集束型レンズ領域を形成させた場合を検討する。具体的には、第2格子(G_2)電極の第3格子(G_3)電極側に補助格子(G_{2s})を設けた図5に示す構造とした場合の軌道を解析した。

図6(a)は4極電子銃、図6(b)は5極電子銃で、第2格子電圧(V_{G2})1,000V、カットオフ電圧(V_{co}) -150V、第3格子電圧(V_{G3})5,000V、第4格子電圧(V_{G4})25,000Vの同一条件に設定し、それぞれハイライトに近いビーム変調率 $\gamma=0.8$ の場合の電子ビーム軌道を示す。図中、第1格子(G_1)、第2格子(G_2)等の各段で切れているのはこのスケールリングのため、おのおの径方

図5 5極電子銃構造

Sketch of 5 electrodes electron gun arrangement.

向を各段で1/2, 1/2.5に、また、軸方向を各段で1/2, 1/4に縮小している。図より5極電子銃としてプリフォーカスを強くすると発散角の大幅な抑制とスポット特性の改善が予測できるので、この効果についてさらに検討を進めた。

このような電子銃構造では、電子放出条件は第2格子(G_2)の電位によって決定し、第3格子(G_3)に入射するビームの発散角を補助格子(G_{2s})の電位のレンズ効果によって制御することができる。

図7には5極電子銃のプリフォーカスレンズ系の発散角の測定結果を示す。これによると補助格子電圧(V_{G2s})が第2格子電圧(V_{G2})より高い場合は、プリフォーカス効果は弱く発散角の減少効果はないが、低い場合は発散角を大幅に減らすことができ、これによって著しく光学的特性が改善されることがわかり、計算機の結果と一致する。図7の例の場合、 $V_{G2s}=470$ Vの値は主レンズにおいて最小ビーム径となるように調整したときの電圧で、このときビーム電流3mA、 $V_{G3}=6,000$ Vで、主レンズにおけるビーム径は約3.5割となり、前述の条件に近い値が得られる。

この補助格子電圧(V_{G2s})は強いプリフォーカスレンズ効果を得るためのみならず、プリフォーカス系の収差が目立たない範囲内で動作させる必要がある。すなわち、プリフォーカスを強くするために、単に従来の4極電子銃に補助格子を設けただけでは、ビーム電流の変化に対する最適フォーカス電圧変動や、低ビーム電流領域でのスポット特性の不良等が生ずることがある。そこで、補助格子開孔径、補助格子電極と第3格子電極との間隔、第3格子電極長も検討していく必要がある。

電子ビームの変調度の変化に対し最適補助格子電圧の変動を少なくする範囲や、さらに3電子銃のカットオフ特性を揃えるために第2格子電圧が多少ばらついても、プリフォーカス効果をほぼ一定に保つ範囲を求めた。その結果、第2格子開孔径 D_2 に対して、補助格子の開孔径 D_{2s} を $1.5 D_2 \leq D_{2s} \leq 3 D_2$ とし、第3格子電極を従来より長くする方が良い結果を与えることを見出した。

$V_{c0} = -150 \text{ V}$
 $V_{G2} = 1,000 \text{ V}$
 $V_{G3} = 5,000 \text{ V}$
 $V_{G4} = 25,000 \text{ V}$

(a) 4 極型, $\gamma=0.8$
conventional type.

$V_{c0} = -150 \text{ V}$
 $V_{G2} = 1,000 \text{ V}$
 $V_{G2S} = 200 \text{ V}$
 $V_{G3} = 5,000 \text{ V}$
 $V_{G4} = 25,000 \text{ V}$

(b) 5 極型, $\gamma=0.8$
5 electrodes type.

図 6 電子軌道

Electron beam trajectories in a whole gun system calculated by gradual triode method.

図 7 補助格子 G_{2S} を有するプリフォーカスレンズ発散角
Beam spread angle from pre-focusing lens with
auxiliary grid G_{2S} .

4. 5 極電子銃特性

4.1 スポット特性評価

図 6 の結果より、5 極電子銃のハイライト時のスポット特性の優位性が予想されるが、これを確認するために 5 極電子銃を 20 型 110° カラー受像管に適用したときの特性を従来の 4 極電子銃と比較して図 8 に示す。

これからわかるように、5 極電子銃は電流の増加に対してビームスポットの増分が少なく、とくにハイライト時のビーム電流の増した状態でスポットサイズの著しい肥大は見られない。ビーム電流の小電流領域において 5 極電子銃のスポット径の劣化の理由は、強いプリフォーカスレンズの追加による総合像倍率の増大

図 8 5極電子銃スポット特性

Spot size characteristics of 5 electrodes gun in comparison with conventional one.

によるためと考えられ、また大電流時のビームスポット径の改善は主レンズの球面収差の影響が少ないことを表わしている。

このとき、補助格子電圧 (V_{G2S}) を変化した場合も図中に示すように、補助格子電圧 (V_{G2S}) が高いときは等価的に4極電子銃に近くなってスポット径はやや増大する傾向にある。

いま、主レンズでの球面収差によるスポット径の拡がり d_{SP} は、主レンズに入射する電子ビーム進入角を θ_i とすると、次式で与えられる。

$$d_{SP} = 2C_s M \theta_i^3 \quad (1)$$

ここで、 M はバイポテンシャルレンズの像倍率であり、 C_s は球面収差係数で、この値は Read⁷⁾ らにより求められているので、これを用いて d_{SP} を求めることができる。

ビーム電流の増加に対する変化を図9に示す。実際のスポット径を正確に予測するには空間電荷効果等を考慮しなければならないが、収差によるスポット径は4極電子銃の方が急激に増大していく傾向を示しており、5極

図 9 球面収差によるスポット径の拡がり

Increment of spot size due to spherical aberration of main lens.

電子銃では強いプリフォーカスのため、球面収差の影響によるスポット径の劣化が少なく、図8の大電流時におけるスポット特性の改善が説明できる。

4.2 レスポンス特性

受像管のレスポンス特性は、(1)ビーム電流、(2)集束特性、(3)第2格子電圧などによって著しく変化する。

5極電子銃を20型110°カラー受像管に適用して、その緑単色のパターンについての特性を示す。

(1) ビーム電流に対するレスポンス特性の変化

図10はビーム電流300μAで最適フォーカスになる電圧にフォーカス電圧を固定したときのビーム電流に対するレスポンス特性である。これからわかるように、ビーム電流の増加に対して集束特性のずれは少なく、低ブルーミングの電子銃特性をよく表わしている。

(2) 補助格子電圧による集束電圧の変化

図 10 レスポンス特性

Response characteristics.

図 11 補助格子によるレスポンス特性

Response characteristics due to auxiliary grid voltage.

図11に補助格子電圧をパラメーターにした集束特性の一例を示す。これより良好な集束特性の得られる補助格子電圧の範囲が求められる。筆者らの例では、第2格子電圧 $800\text{ V} \leq V_{G2} \leq 1,200\text{ V}$ で、補助格子電圧 $200\text{ V} \leq V_{G2S} \leq 400\text{ V}$ がレスポンス低下も少なく、フォーカス裕度も充分で良好な集束特性が得られた。

5. む す び

従来の受像管電子銃特性の中で、大電流時におけるビームスポットの拡がりの原因となるブルーミング現象について論じ、この主要な要因が、電子ビーム変調度とともに変動するクロスオーバー点の大きさ、位置変動の主レンズ系に対する焦点移動と、発散角の増大による主レンズの球面収差とによって左右されるものであることをシミュレーションによって示唆した。さらに電子ビーム軌道シミュレーションを全領域に拡張して、電子銃の総合的な集束条件を検討し、低ブルーミング型5極電子銃を構成した。

実験結果と合わせて得られた結論は次のとおりである。

(1) 電子銃3極部の軌道解析より、陰極から放出された電子のクロスオーバー点付近の振舞、軌道の発散等が、電子ビームの変調度の増大につれて急激に変化し、クロスオーバーそのものも不明確となり、その密度分布も一様でなくなる。このため、カットオフ電圧を深くした低ビーム変調度で充分明るさのとれる電子銃が必要となる。

(2) 第2格子電圧の高い設定とさらに強いプリフォーカス効果を得るために、補助格子電極を追加した5極構成をとることにより、特性の良いクロスオーバーの形成と主レンズのビームに与える球面収差の影響の大幅な

改善を可能とした。

(3) 電子計算機による電子ビーム軌道追跡シミュレーションと、構造寸法を変えた試作電子銃による実験を繰り返して、最良の電子ビーム集束の得られる電極構造配置の検討を行って試作カラー受像管に適用した。その結果、ハイライト時でのビームスポット特性とフォーカストラッキング特性の大幅な改善が明確にされた。

おわりに、本論文中、電子ビーム軌道シミュレーション解析にあたり、慶応大学 藤田広一教授の御協力をいただき、また、試作カラー受像管レスポンス測定に際しては、松下電器無線研究所 佐々木部長、長岡主任技師の御協力をいただいた。さらに試作カラー受像管の製作に関して、松下電子工業映像管事業部 吉田開発部長の御援助をいただいた。ここに、これらの方々に厚く御礼申し上げる次第である。

(昭和50年2月3日受付、昭和50年4月1日再受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 大石巖ほか：カラー受像管のレスポンス特性とブルーミング、NHK 月報, 1 (1968)
- 2) 長岡良富ほか：カラー受像管のレスポンス特性と主観的鮮鋭度、テレビ誌, 28, 9 (1974) 712-719
- 3) C. Weber: Calculation of Potential Field and Electron Trajectories using an Electronic Computer, Philips Tech. Rev., 24 (1962/63) 138
- 4) 二宮敬虔ほか：デジタル計算機による高パービアンス電子銃の解析、信学会電子装置研資 (1966.5)
- 5) 別所順吉：ブラウン管の3極電子銃について、NHK 技研, 15, 4 (1958) 233-254
- 6) A. Sander: Analysis of Spot Size Formation in Bipotential Electron Guns, J. Electronics Contr., 10 (1961) 245-260
- 7) F.H. Read: Electrostatic Cylinder Lenses I. "Two Element Lenses" J. Soc. Instr., 4 (1970) 625-632