

ブラウン管 (CRT) (2)

CRT の高解像度化・フラット化

芦谷 良介

ソニー株式会社 〒141 品川区大崎 2-10-14

(1988年3月22日受理)

CRT-High Resolution and Flatness

Ryosuke ASHIYA

Sony Corporation
2-10-14, Osaki, Shinagawa-ku, Tokyo 141

(Received March 22, 1988)

There are several problems to be resolved to improve resolution and flatness of the CRT.

A larger caliber lens and/or a multiplex lens are introduced in an electron gun to achieve smaller and sharper beam spot size. Corrections by quadrupole and/or DY (Deflection Yoke) with reactors are applied to improve beam distortion.

There are also difficult problems in negatives, materials, and accuracy in etching processes for mask fabrication.

Decreasing power loss, improving response in transient, convergence, and raster distortion are other objects associated with DY.

This paper describes the current status for above items and some approaches to resolve and overcome them.

マン-マシンインターフェイスとしてのディスプレイデバイスは、近年急速に進歩を遂げており、その中でもカラー CRT を使用したラスタスキャン型ディスプレイは、高解像度化という点で常に主流を占めている。

ラスタスキャン型ディスプレイは、その用途により、種々のサイズ、解像度のものが用意されている。例えばパーソナルコンピュータ用では 13 V" で 640 ドット×400 ライン表示のものが主流となっており、一方 CAD/CAM 用及び EWS ディスプレイとしては 16 V", 19 V" で 1280 ドット×1024 表示が標準となっている。

また、超大型のカラーディスプレイとして注目を集めている 20 V"×20 V" のモニターでは 2048 ドット×2048 ラインの解像度を持つに至っている。

これらの表示を可能ならしめたカラー CRT の高解像度化、フラット化に関し、技術上の問題点及び問題克服の為のアプローチ方法について解説する。

1. 解 像 度

CRT の画面上における解像度は、CRT のマスクピッチと電子ビームのスポットサイズによって決定される。CRT の総合的な空間周波数特性 MTF を $R(u)$ とすると、それは近似的に次式で表される。

$$R(u) = R_1(u) \times R_2(u) \quad (1)$$

ここで u は画面上の空間周波数、 $R_1(u)$ はマスクにより電子ビームがサンプリングされる事による MTF、 $R_2(u)$ は電子ビームが有限の大きさを持つ事による MTF を表す。

$R_1(u)$ については大石によって解析されており¹⁾、画面巾 W 内に表示されるドット数 N は、マスクピッチを P とすると、

$$N = 2 \times 0.4 / P \times W = 0.8 W / P \quad (2)$$

で表される。

$R_2(u)$ は電子ビームスポットの輝度分布をフーリエ変換する事で求められる。

一般に、カラー CRT の総合解像度は $R(u)$ が 0.25 (−12 dB) となる点を限界として表わされている。顕微鏡で観察されるスポット直径 (ピーク輝度の約 5% の部分での直径) を D とすると、マスクピッチとスポットサイズの関係は、正弦波入力信号の場合は上述の関係により、 $D \leq 2.5P$ で表される。

2. 電子銃

CRT 画面上のビームスポットサイズは、画面中心でのそれと、偏向された状態である画面周辺でのものとに分類される。

2.1 画面中心でのスポットサイズ

画面中心でのビームスポットサイズは、ほぼ電子銃の特性のみによって決定される。ビームスポットを小さく絞る為に次の様な技術が用いられる。

1) 大口径メインレンズ

電子ビームを収束させる為のレンズは、その口径が大きいほど球面収差が小さくなり、ビームスポットを小さく出来る。従来インライン電子銃は、CRT ネック内において 3 本のビームに対しそれぞれ独立したメインレンズが必要である為、レンズ口径を大きくする事が出来なかった。しかし近年、レンズ中心軸を通らない 2 本のサイドビームが受ける非点収差等の影響をレンズ電極形状によってキャンセルしつつ、3 本のビームに共有の大口径レンズを用いる方法が実現され、よりシャープなスポットが得られる様になっている^{2,3)}。

トリニトロン電子銃は当初より大口径レンズを採用し 3 本のビームを円形の大口径メインレンズの中心で交差させる事により、3 本のビームとも収差の影響を最小限度に抑え、非常にシャープなビームスポットを実現している。

この交差した 3 本のビームはメインレンズ通過後、離反していく為、静電コンバーゼンスプリズムによって画面上で集中する様にしている。(Fig. 1)

2) 複合レンズ

球面収差を小さくする手段としては大口径レンズを用いる方法の他に、収束レンズを重ね合わせる方法がある。Fig. 2 にその実例を示す。これは従来のユニポテンシャルレンズの前に、3 本のビームそれぞれに独立したバイポテンシャルレンズを設置し、球面収差を約半分には押さえる事に成功している⁴⁾。

以上 2 点の他に有効な手段としては、i) メインレンズの像倍率を小さくする、ii) プレフォーカスレンズの改善、等が上げられる。

2.2 画面周辺でのスポットサイズ

通常、画面周辺でのスポットサイズは画面センターの

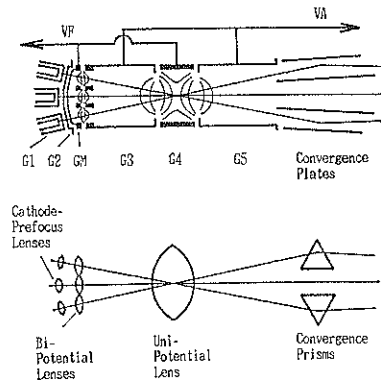


Fig. 1 The configuration of the conventional Trinitron gun.

VF : Focus voltage, VA : Anode high voltage,
G1~G5: Grid number 1~5 electrode

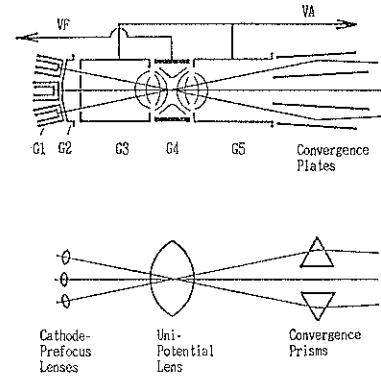


Fig. 2 The configuration of the newly developed complex lens Trinitron gun.

それより劣化する。主な理由として次の 3 つが上げられる。

- i) 画面中心よりも周辺の方が電子ビームの到達距離が長い為、オーバーフォーカスになる。
- ii) 偏向磁界によりビームスポットが劣化する。
- iii) 画面をフラット化する事で、画面周辺ではビームが画面に対しななめに入射する。

以上 3 つの中でビームスポットを大きく劣化させているのは i), ii) であり、これらを補正する手段としてはダイナミックフォーカス、ダイナミック 4 重極補正等がある。

1) ダイナミックフォーカス

電子ビームの収束レンズの強度を画面中心と周辺に到達するビームに応じて可変する事で、画面周辺でのオーバーフォーカスを解決する事が出来る。具体的には、偏向に同期させて、メインレンズに供給するフォーカス電

圧にバラバラ波形を重畳する方法がとられる。

2) ダイナミック 4 重極補正

セルフコンバージング偏向ヨークの場合、偏向によるスポットの歪は大きくなる。この偏向歪を 4 重極によってキャンセルする事で、画面周辺でも画面中心並の丸いスポットを得る事が可能である。トリニトロンを例にとる。3本のビームが交差しているメインレンズの中心に 4 重極コイルを置き、そのコイルにバラバラ波形をかける事で、コンバーゼンスに影響を与えず画面全体でシャープなスポットを得る事が出来る。また、前述の 20 V" × 20 V" のトリニトロン CRT の場合、互いに直交する 2つの独立した 4 重極成分を持つダイナミックダブル 4 重極を用いて 2048 ドット × 2048 ラインの解像度を実現している⁵⁾。

最近では、電子銃自体に静電方式の 4 重極機構を装備し、ダイナミックフォーカスと同時に 4 重極補正を行う技術も開発されている⁶⁻⁸⁾。

2.3 カソード容量

ディスプレイが高解像度になり、水平偏向周波数が高くなるほど、ビデオ帯域も広くなり、CRT は低容量である事が要求される。高解像度 CRT のカソード容量は 4.0 pF ~ 2.6 pF に押さえられ、100 MHz ~ 300 MHz のビデオ帯域を実現させている。低容量カソードの実現の為に取られている主な方法として i) ~ iv) が上げられる。

- i) カソードスリーブ径を小さくする。
- ii) カソードスリーブ長を短くする。
- iii) ヒーターの体積を小さくする。
- iv) カップ状 G1 の深さを浅くする。

3. 色選別機構

色選別用マスクは、一般に薄い軟鉄シートにフォトリソグラフィにより開口を作る事で作製される。一般管用マスクは、すでに高い完成度を示しているが、より高精細度の要求に対してはいまだ次の様な技術的困難が残されている。

- i) マスクの原版となるガラスパターンの作成精度
- ii) 素材シートのエッチング安定性
- iii) マスク欠点の増加

これらについて簡単に解説する。

1) パターン作製精度

マスクの原版となるガラスパターンを描画する際、マスクの開口に相当するガラスパターンの開口は、マスクのそれよりも小さく描画しなければならない。したがって高精細度化が進めば進むほど、フォトリソグラフィーの解像度そのものの厳しい制限を受ける事になる。

2) エッチング安定性

高精細度化に伴い、マスクのピッチ、したがって開口部を小さくする必要が生じてくる。現在のエッチング技術では板厚 t と、開口部の幅 B との関係は、 $B \geq 0.5 \sim 0.6 t$ 程度であり、ピッチが細くなると十分な強度を保ったままの板厚では、必要な開口幅を確保出来なくなってしまう。したがって現時点では、多少マスクの強度を犠牲にしても薄い素材が選ばれている。

3) 欠点の増加

マスク開口幅が狭くなり、かつ開口数が増える事で、マスク欠点の発生する確率が高くなる。原因は主に素材に含まれる介在物であり、高精細度管用のマスク材料には連続鋳造された良質の物が使用されている。

4. 偏向ヨーク

高精細度化、フラット化が進むに伴い、偏向ヨークにも次の様な問題が生じる。

- i) 走査線本数の増加に起因する電力損失と過渡応答現象
- ii) ミスコンバーゼンス及びラスタ歪
- iii) 電子ビームスポットの偏向歪

4.1 電力損失と過渡応答現象

走査線本数の増加に伴い、偏向周波数は当然高周波化される。一般の TV 放送における水平偏向周波数 f_H が約 16 KHz であるのに対し、高精細度ディスプレイでは 24 KHz から 64 KHz の物が標準的に使用されている。前述の 2048 ドット × 2048 ラインの解像度をもつディスプレイに至っては、127 KHz と一般の TV 放送の 8 倍の水平偏向周波数となっている。

ところで偏向電流は鋸歯状波である為、 f_H の数倍から数十倍の高周波を含み、 f_H が増加すれば高周波損失の影響が顕著に現れてくる。

偏向ヨークの高周波損失としては、コアロスといわれる磁氣的損失と渦電流、表皮効果による電氣的損失がある。磁氣的損失はコアの材料を慎重に選ぶ事で、ある程度軽減する事が出来る。コア材料にはフェライトが用いられており、特に Mn-Zn 系、Ni-Zn 系、Mg-Zn 系を使用するのが一般的である。Mn-Zn 系は磁気特性に優れており高周波特性も良いが、電気抵抗が数 $10 \Omega \text{cm}$ と Ni-Zn 系、Mg-Zn 系 ($10^6 \sim 10^7 \Omega \text{cm}$) に比べ極端に低く、リンギングと呼ばれる過渡応答現象が発生しやすい⁹⁾。現在では、高抵抗材である Ni-Zn 系、Mg-Zn 系で高周波特性の良い材料が開発されつつある^{10, 11)}。

渦電流の軽減には、線材の表面積を大きくする事が一番効果があり、リッツ線といわれる細い銅線を撚り合わせたものを使用する事が多い。しかし、リッツ線を使用

すると線材の絶縁破膜の占める割合及び線材間の空隙の占める割合が大きくなり、導体の占める割合が相対的に減少してくる。それに伴い電気抵抗は増加し、その分直流抵抗損が増大する。よって線材の表面積増加による交流損の減少と直流損の増大、 f_H による交流損、直流損等を勘案して、線材の種類は決定される (Fig. 3 参照)。

インダクタンスを含む回路にはリングングと呼ばれる過渡応答現象が必ず生じるが、偏向ヨークも例外ではない。偏向ヨークのリングングは画面上で次の様な症状として現われる。

i) 画面左端に濃淡縞が数本発生する場合

ii) ミスコンバーゼンスのうねりとして発生する場合

濃淡縞は偏向電流が過渡応答によって振動し、輝度が速度変調される為に起こる。ミスコンバーゼンスは、偏向ヨークの内部の特定の部分で分布容量を介して電流が振動し、偏向磁界が部分的に寄生振動する事で磁界歪が発生する為に起こる。リングングの対策としては、抵抗やコンデンサを用いて振動電流をダンピングする方法、偏向ヨークの分布容量を中和する方法、偏向ヨークの分布容量を少なくする方法等が考えられている。

4.2 ミスコンバーゼンス及びラスト歪

カラー CRT では原理的にミスコンバーゼンスとラスト歪が発生する。Fig. 4 から明らかな様に、画面が

フラットになればなる程、ミスコンバーゼンスもラスト歪も増加する。斉一な磁界をもつ偏向ヨークでは、これらの補正は回路で行われる。回路の簡略化の為に、コンバーゼンスを自身で補正する偏向ヨークでは、3本のビームが全画面で一致する様偏向磁界の歪が最適に調整さ

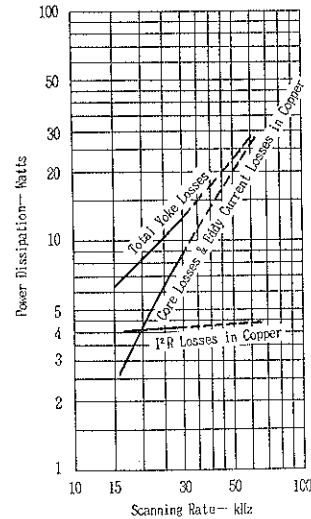


Fig. 3 Deflection yoke losses as a function of horizontal scanning rate.

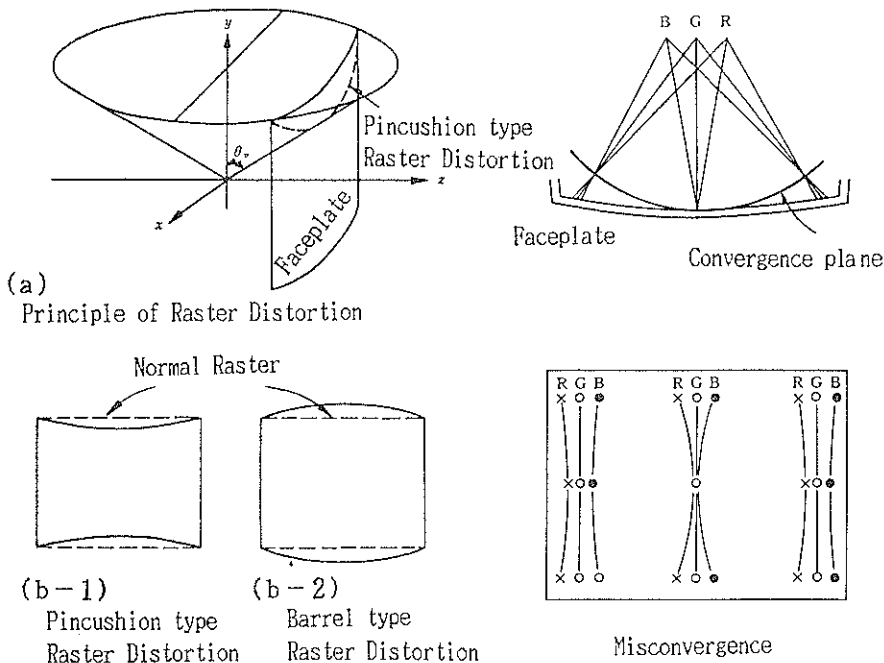


Fig. 4 Raster distortion and misconvergence.

れている。

偏向磁界の歪とミスコンバーゼンス、ラスト歪の関係は3次収差理論の近似で、次の様に表される^{12,13)}。

$$\text{APH} = 2xS' \left[\int_{Z_0}^{Z_s} \frac{3}{2} x'^2 dZ - 2\mu_0 k \int_{Z_0}^{Z_s} H_2 \{x(Z_s - Z)^2\} dZ \right] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{PV} = & \frac{1}{2} \int_{Z_0}^{Z_s} x' y'^2 dZ + \mu_0 k \int_{Z_0}^{Z_s} \{ (H_0 y + V_0 x) y' \\ & - (H_2 y^2 + V_0 x' y' + 2V_2 x y) (Z_s - Z) \} dZ \\ & - \mu_0^2 k^2 \int_{Z_0}^{Z_s} V_0^2 x (Z_s - Z) dZ \end{aligned} \quad (4)$$

APH, PV はそれぞれミスコンバーゼンス、ラスト歪の一種を表す。

ここで xS' : 画面中心でのコンバーゼンス角度

μ_0 : 真空の透磁率 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

k : $(e/2mUs)^{1/2}$

e : 電子の電荷

m : 電子の質量

Us : 加速電圧

x, y : 斉一磁界におけるビーム軌道

x', y' : x, y の Z 微分 (Z は管軸方向を表す)

Z_0 : 磁場のスタートポイント

Z_s : 画面の Z 座標

$H_0 = (Hy)x = y = 0$

$V_0 = (Vx)x = y = 0$

$$H_2 = \left(\frac{\partial^2 Hy}{\partial x^2} \right) x = y = 0 \quad (5)$$

$$V_2 = \left(\frac{\partial^2 Vx}{\partial y^2} \right) x = y = 0 \quad (6)$$

H, V : 水平コイル, 垂直コイルによって発生する磁界

H_0 は主偏向磁界 (斉一磁界) を表し, H_2 は磁界の歪を表すパラメータである。ミスコンバーゼンス, ラスタ歪の補正量が大きくなるという事は, H_2 の量及び H_2 の変化量 (偏向空間での磁界歪の変化量) を大きくしなければならぬという事を意味する。高精度のミスコンバーゼンス, ラスタ歪補正を偏向ヨーク自身で行う為, 高度の巻線技術, 磁性体技術, 磁気回路技術を駆使し, コンピュータシミュレーションも応用して, 偏向ヨークの高精度化を行っている。

4.3 電子ビームスポットの偏向歪

電子銃の章でも述べた様に, 偏向される事で電子ビームスポットは歪みを受ける。磁界歪の強いセルフコンバージング偏向ヨークの方が, 当然ビーム形状の歪みが激しくなる。次にセルフコンバージング偏向ヨークであり

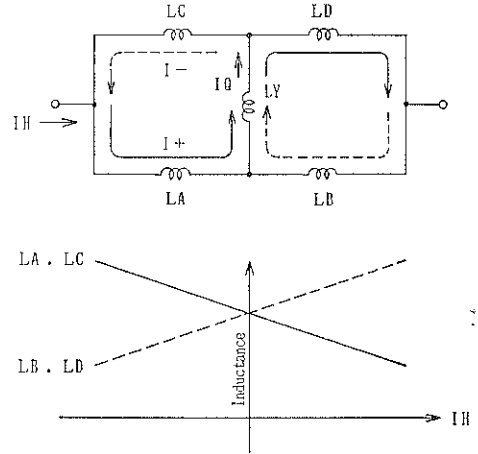


Fig. 5 Reactor characteristics.

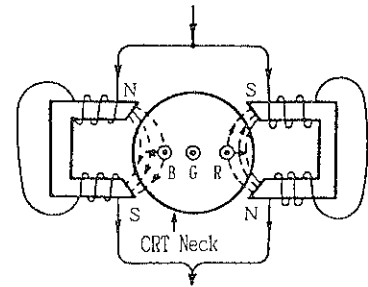


Fig. 6 Convergence correction coil.

ながら, 偏向歪の改善にも成功している例について説明する。

これは, 垂直偏向磁界のみをセルフコンバージング磁界とし, 水平偏向磁界には斉一磁界を採用している。そして, 残ったミスコンバーゼンスを偏向ヨークに装着された磁気回路で補正する方式である。Fig. 5 の LA, LB, LC, LD は過飽和リアクタであり, そのインダクタンスは流れる電流によって変化する様, 結線されている。

偏向電流 I_H が正方向の場合には LA, LC が LB, LD より小さく, 電流 I_Q は I^+ の様に流れる。同様に I_H が負方向の場合には, LB, LD が LA, LC より小さく, I_Q は I^- の様に流れる。その結果, 電流 I_Q はパラボラ波形に近い電流波形となる。 I_Q は偏向ヨークの電子銃側に置かれるコイルに流れ, Fig. 6 の様な 4 重極磁界を発生する。この磁界はサイドビーム間の間隔を拡げ, Fig. 4 のミスコンバーゼンスを補正する。このように鋸歯状波からパラボラ電流を偏向ヨークのみで発生する事により, ビーム形状の歪の少ないセルフコンバージング偏向ヨークが可能となっている。

文 献

- 1) 大石 蔵: “モザイク形画像装置の空間周波数特性” TV 学会固体画像変換装置研究資料, No. 47 (1970).
- 2) K. Hosokoshi, S. Ashizaki and H. Suzuki: “Improved OLF In-Line Gun System”, Proceedings of the SID, Vol. 25/3 (1984) p. 165.
- 3) S. Shirai, H. Takano, M. Fukushima, M. Yamachi and Y. Iidaka: “A Rotationally Asymmetric Electron Lens with Elliptical Apertures in Color Picture Tubes”, Proceedings of the SID, Vol. 25/3 (1984) p. 171.
- 4) K. Ichida, Y. Nakayama and H. Inoue: “A Complex Lens Trinitron Gun for a High-Resolution Color Tube”, Proceedings Euro Display, p. 204.
- 5) M. Sudo, R. Ashiya, T. Uba, A. Murata and Y. Amano: “High-Resolution 20 V" $\times$ 20 V" Trinitron and Monochrome CRT”, SID 86 Digest, p. 338.
- 6) R. Ishida, H. Yamane, M. Toshiyasu, S. Okuda and H. Nakanishi: “Dynamic Beam Shaping of In-Line Color CRTs by Quadrupolar Lenses”, SID 86 Digest, p. 327.
- 7) S. Shirai and M. Fukushima: “Quadrupole Lens for Dynamic Focus and Astigmatism Control in an Elliptical Aperture Lens Gun”, SID 87 Digest, p. 162.
- 8) S. Ashizaki, H. Suzuki and K. Sugawara: “In-Line Gun with Dynamic Astigmatism and Focus Correction”, JAPAN DISPLAY '86, p. 44.
- 9) 竹内 宏, 臼井秀明: “ディスプレイ用偏向ヨークフェライトにおけるリングング改善の一考察”, テレビジョン学会 (1986) p. 19.
- 10) 前田丈夫, 森川剛光: “高速走査用偏向ヨークコアの発熱についての考察と材料開発”, テレビジョン学会 (1986) p. 51.
- 11) 菅原 喬, 田中香澄, 小笠道夫, 山根久和: “超高解像度用ディスプレイ用 CRT—20 インチ 90 KHz 走査型”, テレビジョン学会 (1987) p. 37.
- 12) J. Kaashoek: “A Study of Magnetic-Deflection Errors”, Philips Research Reports Supplements (1968).
- 13) Y. Nakamura, K. Ichida, Y. Sugii and T. Saito: “Application of Aberration Theory to Color Picture Tube Deflection Yoke Design”, 1982 SID Digest, p. 64.