

EVR用フライングスポット管の開発

Development of Flying Spot Scanner Tube for EVR

村田 良雄* 長 壁 邦 治*
Yoshio Murata Kuniharu Osakabe

Hitachi has developed an electrostatic focus type flying spot scanner tube for use in the EVR player. This novel type of scanner tube uses a uni-potential focus type electron gun and cerium activated yttrium silicate phosphor which ensure easier operation and longer life than the conventional electro-magnetic focus type ones.

1. 緒 言

FSS管 (Flying Spot Scanner Tube) は従来から5形管が放送局用として一部で使用されていたが、EVR (Electronic Video Reproduction System) の出現に伴い、コンパクトな3形管がEVR再生機に用いられるようになった。

このFSS管に要求されるおもな特性は、短残光けい光面、高解像度、高輝度、粒状性が良くけい光面ノイズの少ないこと、長寿命であることなどである。初期の再生機にはP16けい光面をもつ電磁集束形のFSS管が用いられたが⁽¹⁾、再生機の小型軽量化から静電集束化が、またけい光体の長寿命化が要求されていた。筆者らはこの要求にこたえるものとして、今回静電集束形のH8562を開発した。

H8562は3形でUPF (Uni-Potential Focus) 形電子銃をもち、けい光面にはイットリウム・シリケートけい光体を使用しており、従来の電磁形にほぼ匹敵する解像度を有している。けい光面寿命は飛躍的に向上している。また全長においても電磁形よりも約50mm短くなっており、静電集束方式の採用とあいまってEVR再生機の小型軽量化に貢献するものと考えられる。

本稿では、このH8562の設計上の問題点と特性について説明する。

2. 仕様の検討

仕様を決めるうえで大きな問題となるのは、外形、集束方式、陽極電圧であるが、それぞれ下記のように決定した。

(1) 集束方式

高解像度ブラウン管としては、構造が簡単で、高解像度をうるため電磁集束形が多く用いられているが、集束コイル、定電流電源などを必要とし、また周囲温度の磁気回路への影響などEVR再生機での問題も多い。これに比較すると、静電集束形はブラウン管自体としては困難な事項が多いが、再生機全体としては大幅な簡略化が可能である。

静電集束形には、UPF形とBPF (Bi-Potential Focus)形があるが、高輝度で、偏向デフォーカシングの小さいという要求からはUPF形がすぐれている。また再生機での取り扱いも容易であるため、H8562はUPF形の電子銃構造とした。

(2) 陽極電圧

陽極電圧は輝度、解像度の点からは高いことが好ましいが、取り扱いやすさ、X線漏えいの面も考えて、標準15kV、最大18kVとした。

(3) 外形



図1 H8562の外形仕様

表1 H8562の仕様

集束方式	静電
偏向方式	電磁
偏向角	58度
ヒータ電圧	6.3V
ヒータ電流	0.15±10%A
電極間容量	
第1グリッドと他電極 C _{G1-all}	6 PF
カソードと他電極 C _{k-all}	5 PF
陽極と外部導電膜 C _{p-m}	100 PF以上
けい光面	丸形フラット・フェース、メタルバック
けい光面有効径	40×61mm ²
けい光色	青白
残光	0.12μs
使用例	
陽極電圧	15,000V
第4グリッド電圧	0~500V
第2グリッド電圧	500V
第1グリッド輝点消去電圧	-20~-60V
カソード電流 (注1)	20μA以下
水平解像度 (注2)	350TV本にて20%以上
けい光面ノイズ (注2)	6%以下

注 1. 40×61mmラスタで管軸上、管面から100mmの位置で測定される放射エネルギーが15μW/cm²のときの値
 注 2. 36×54(水平×垂直)mm²ラスタで、日本標準TV走査で測定する。カソード電流は20μA、残光補正なし。

* 日立製作所電子管事業部

外形は現在使用されている電磁形に準じて決められ、全長のみ短縮が図られた。

上記も含めH8562の仕様は表1および図1に示すとおりである。

3. 電子銃の設計

H8562の電子銃は図2に示す構造であり、高解像度であると同時に、ビーム利用率（けい光面電流/カソード電流）が大きいことが要求される。電子銃各部の寸法の決定に際しては次のような検討を加えた。

(1) G₁, G₂孔径

G₁, G₂孔径ことにG₁孔径はビームのクロスオーバーの大きさを決定する重要な因子であり、一般的に小さいほど解像度が良くなるが、一方、カソードの電流負荷が大きくなるため、使用するカソードの材質および、カソード電流の最大定格値から下限が決められる。

H8562の場合通常約20μAのカソード電流で使用されるため、0.40φmmとしたが、この場合電子計算機によるシミュレート結果は図3に示すような値であり、カソード電流を100μAとしても約0.6A/cm²であり、通常の酸化陰極カソードでは一応問題のない値である。

またG₂孔径も実験的に小さいほど解像度が良くなることが知られており、G₁孔径と同一の値とした。

(2) プリフォーカス系

G₂-G₃はいわゆるプリフォーカスと呼ばれるレンズ系を形成し、ビーム拡散角やドライブ特性に影響を与える。また解像度に与える影響は主レンズの収差の大小によって異なるが、主レンズ収差が比較的小さい場合は、プリフォーカスレンズが弱いほど解像度

が良くなるため、図2のような同径円筒形とし、G₂長さもレンズ効果とG₂孔付近の収差を考慮して4mmに決定した。この系のシミュレート結果は図4に示すとおりであるが、これによればプリフォーカス系の球面収差は問題とならず、このレンズは拡散角をG₁-G₂系のそれぞれの約1/4にすることに役立っている。また主レンズ側から見た場合、このレンズによるクロスオーバーの虚像は実際の位置から約2.3mmカソード側に寄った位置に形成されることになる。

(3) 主レンズ系

主レンズは、球面収差を少なくするため、管球のネック径は28.6φmmで可能な範囲で、口径を大きくしている。構造的には通常の白黒用受像管と同じである。結像倍率は種々の条件から1.94となっている。

(4) ビーム制限孔

主レンズ入口におけるビームはG₁-G₂-G₃系によって形成されたビームであり、収差の大きなビームを含んでいる。ビーム制限孔は、収差の少ない近軸ビームを利用し、かつ主レンズ内でのビーム径の減少を図って球面収差を小さくし、また偏向デフォーカシングを小さくすることを目的に設けるものである。解像度については径が小さいほど良好な結果をもたらすが、ビーム利用率が低下するので、両者のかねあいから決定することが必要である。実際には実験によって1.2φmmに決めた。なお図2の主レンズの球面収差は図5に示すとおりであり、ビーム制限孔を1.2φmmとしたとき、主レンズの球面収差のみについて考えれば、最外側ビームによる最小錯乱円は30μ程度と推定される。

上記以外の寸法については、表1の仕様を満足するように製作精度も含めて決定した。

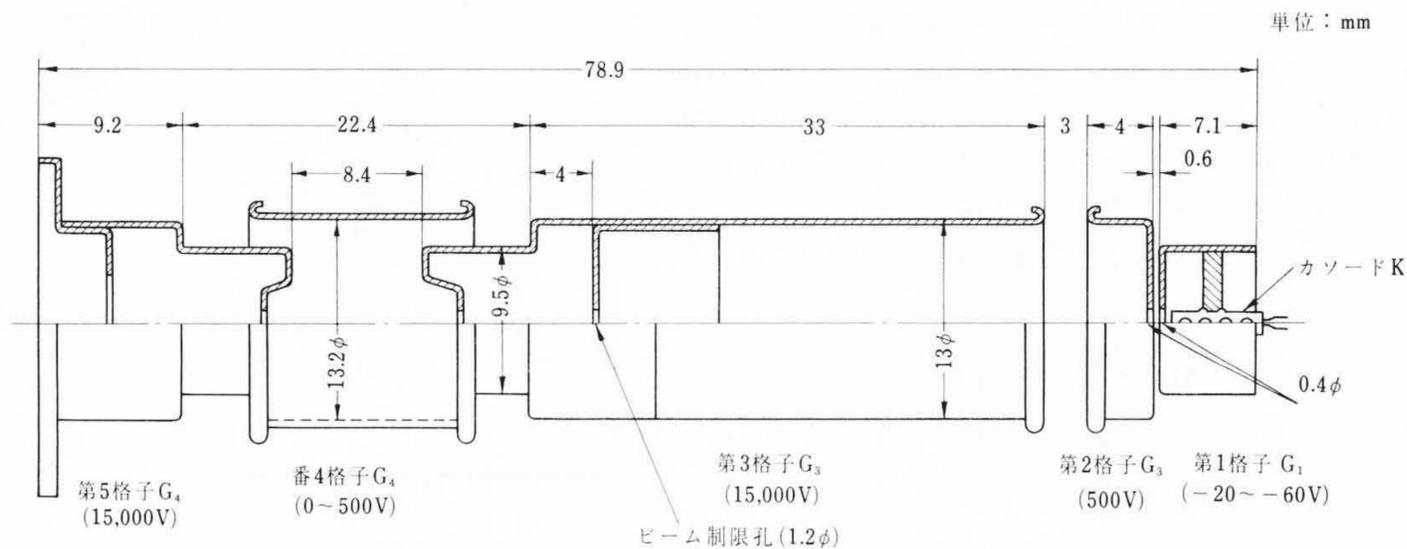


図2 H8562の電子銃の主要寸法

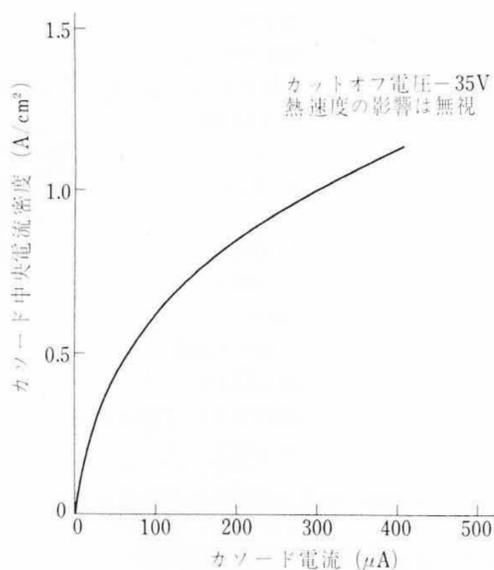


図3 カソード中央電流密度の計算値

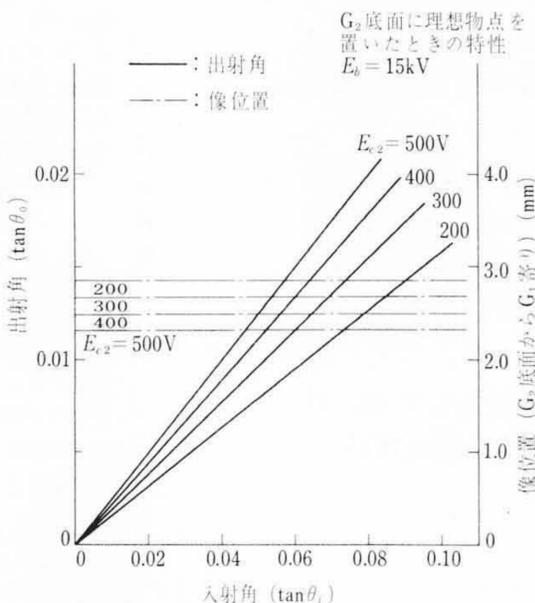


図4 プリフォーカスレンズの特性の計算値

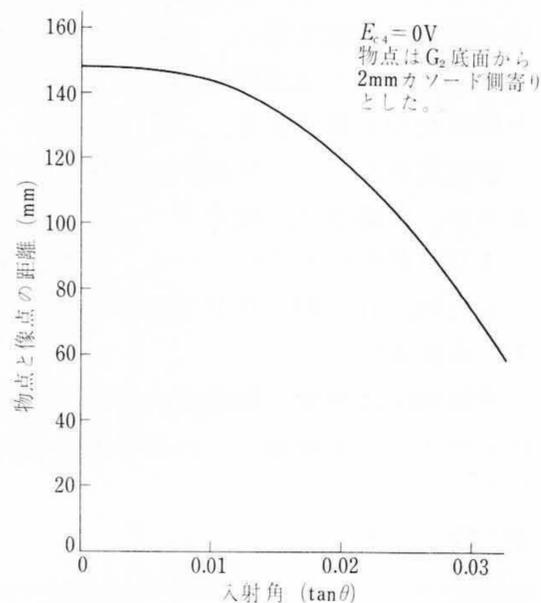


図5 主レンズの球面収差の計算値

4. けい光面

4.1 けい光体

FSS管用短残光けい光体として実用化されているものにはP16, P24, P36, P37けい光体があるが、残光、輝度の点からEVR再生機用としてはP16けい光体が使われていた。しかしP16けい光体は電子ビーム刺激による能率の低下が著しく寿命が短い。

そのため、H8562の開発に際しては、イットリウム・シリケート系のけい光体を新しく開発して使用した。このけい光体は残光はP16と同等であり、能率は2~3倍でかつ劣化は非常に小さい。

実験の結果によると、P16およびこのけい光体の劣化は、刺激電圧が10~20kVの範囲では電圧にほとんど依存せず、単位面積あたりの流入電荷量に依存し、図6のようになる。この結果から、けい光体の発光能率を使用時間の関数として $\eta(t)$ で表わすと、

$$\eta(t) = \eta_0 \{1 - C_1 \log(C_2 \int_0^t J(t) dt + 1)\} \dots\dots(1)$$

ここに、 η_0 : 初期の発光能率
 $J(t)$: けい光面電流密度
 C_1, C_2 : けい光体によって決まる定数

で近似できる。

EVR再生機では、FSS管の輝度が一定になるように自動輝度調整回路を用いて、この能率の低下をカソード電流で補っているから、カソード電流が再生機の許容値を越えるときがFSS管のけい光面寿命時間と考えられる。今、輝度の設定値を B_0 とすれば(1)式から

$$B_0 = \eta_0 \{1 - C_1 \log(C_2 \int_0^t J(t) dt + 1)\} J(t) \dots\dots(2)$$

で与えられ、ここで $Q = \int_0^t J(t) dt$ とおくと(2)式から、

$$t = \frac{\eta_0}{B_0} \left\{ \left(1 - C_1 \log(C_2 Q + 1)\right) + \frac{C_1}{C_2} \left\{ \frac{1}{C_2 Q + 1} - 1 \right\} \right\} \dots\dots(3)$$

$$J(t) = \frac{J_0}{1 - C_1 \log(C_2 Q + 1)} \dots\dots(4)$$

となり、実験によって C_1, C_2, η_0 を求めれば、けい光面寿命の推定が可能である。図7はP16およびイットリウム・シリケートけい光体についての計算例を、また表2は両者の特性を示したものである。

4.2 けい光面粒状性

EVR再生機におけるFSS管は、結果的にはそのラスト画面(約 $36 \times 54 \text{mm}^2$)を、カラー受像機の画面の大きさに拡大した状態で見ることになり、けい光面の粒状性はきわめて良好でなければならない。

この粒状性は、実際にはビーム走査時の輝度のゆらぎとして図11に示すように現われ、通常けい光面ノイズと呼ばれている。このノイズの周波数分析を行なってみると図8のような分布を示しており、ノイズ・スペクトルそのものは空間周波数に対してほぼ一様な分布をしていると考えられるが、光に変換されるときは電子ビームで読み出されるため、結果的に電子ビームの解像レスポンスに比例したスペクトル特性を示すものと考えられる。したがってアパーチャ補正によるS/Nの劣化は光電子増倍管の影響を除けばならないものと考えられる。

今、けい光体の粒子を一樣な大きさとし、電子管のショット雑音と同じモデルでS/Nを考えてみると

$$S/N = 10 \log \frac{1}{2ud_p^2} \text{ (dB)}$$

ここに、 d_p : 粒子直径
 u : 取出す画像の最高空間周波数

となる。ここで $u = 5 \text{lp/mm}$ とすると、 $S/N = 40 \text{dB}$ に対して

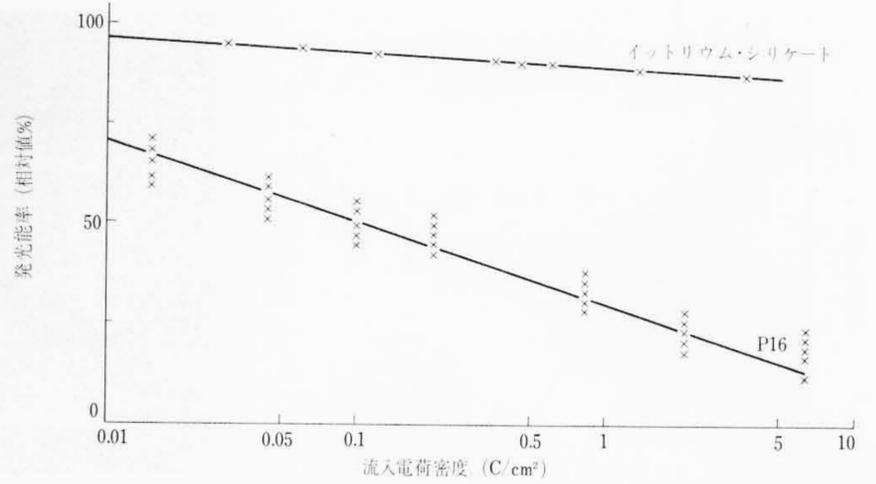


図6 けい光体発光能率のビーム刺激による劣化

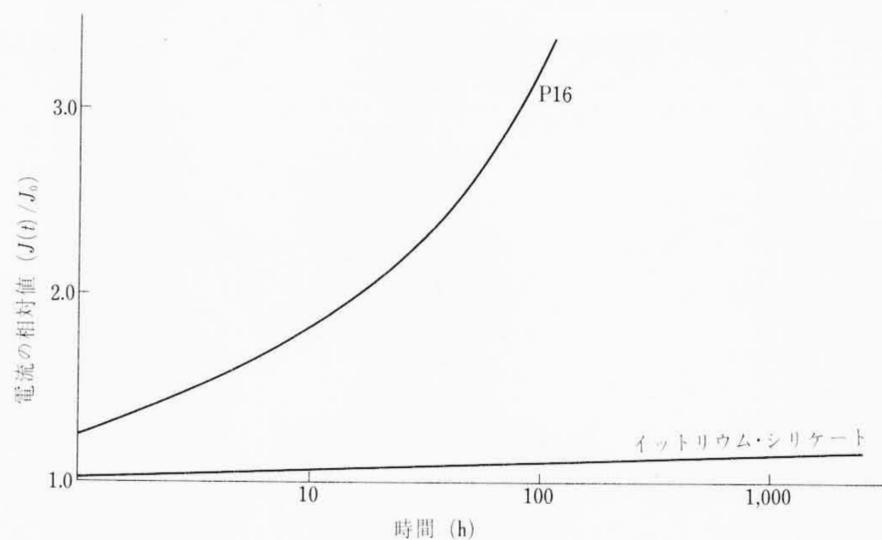


図7 初期刺激電流密度 $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ とした時の所要電流密度の推定値

表2 けい光体の特性

項目	P16	イットリウム・シリケート
残光 (10% decay time)	$0.12 \mu\text{s}$	$0.12 \mu\text{s}$
ピーク波長	$385 \text{m}\mu$	$420 \text{m}\mu^*$
発光色	紫	青色
光出力 (相対値)	100	200~300
電子線刺激による劣化	大	小

注 * 総合エネルギーの大きなピーク波長を示す。

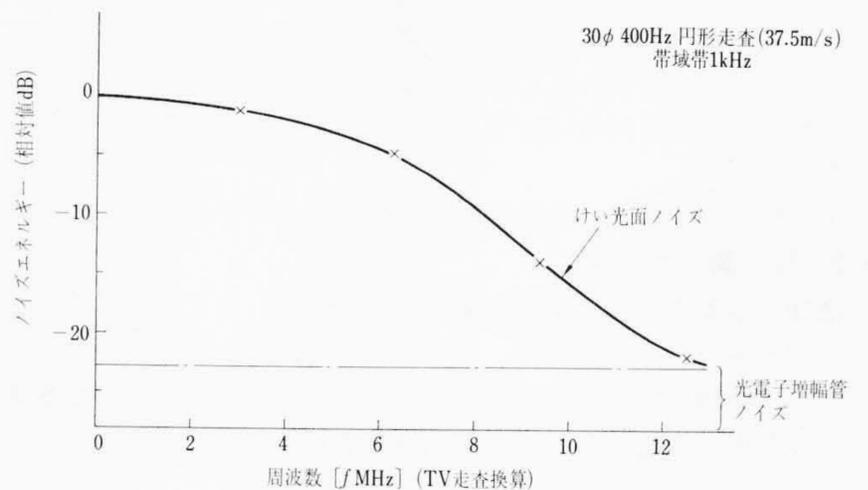


図8 けい光面ノイズの周波数分布の例

$d_p = 3 \mu$ となる。つまりけい光面でのけい光体の実効粒径は 3μ 程度でなければならないということであり、このためH8562においては、微粒子けい光体を均一に塗布する技術を開発し、5% P-P (約41dB)以下のけい光面ノイズを実現した。

4.3 フェースプレートの材質

ガラスは電子線の衝撃により茶色に着色し、光の透過率を下げる。特にFSS管のように電流密度の高い場合は問題となる。こ

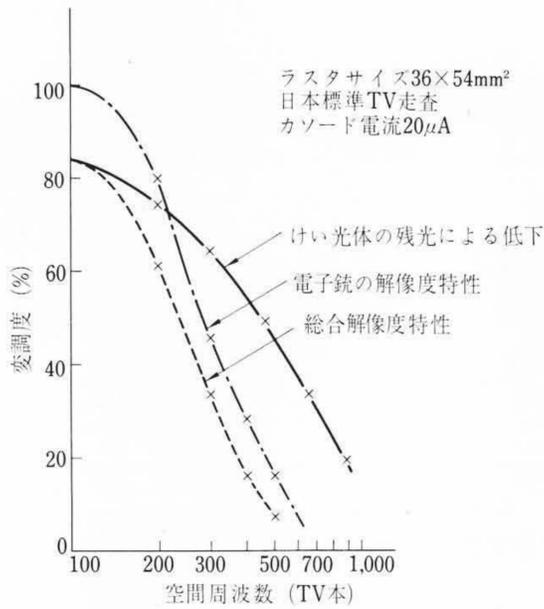


図9 H8592の解像度特性

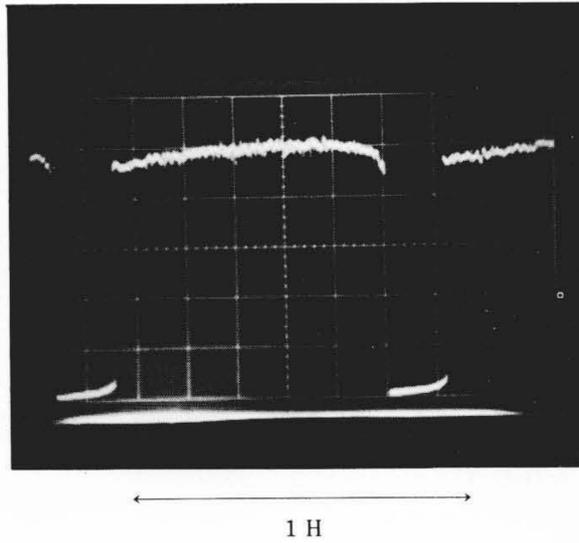


図11 けい光面ノイズの例

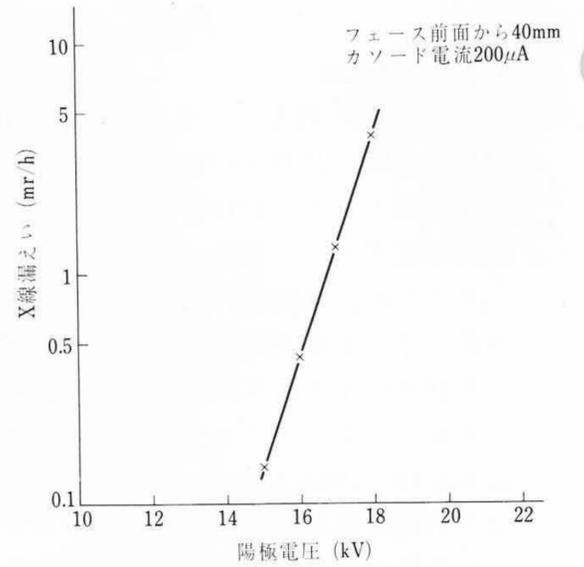


図13 X線放射 (Max curve)

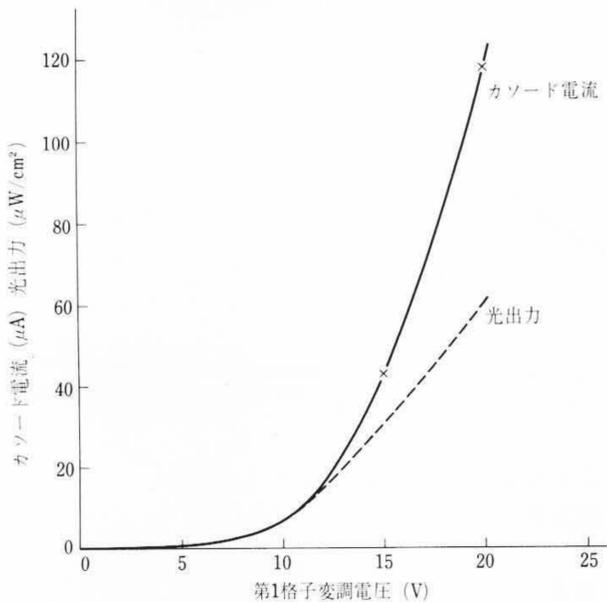


図10 格子変調特性の代表例

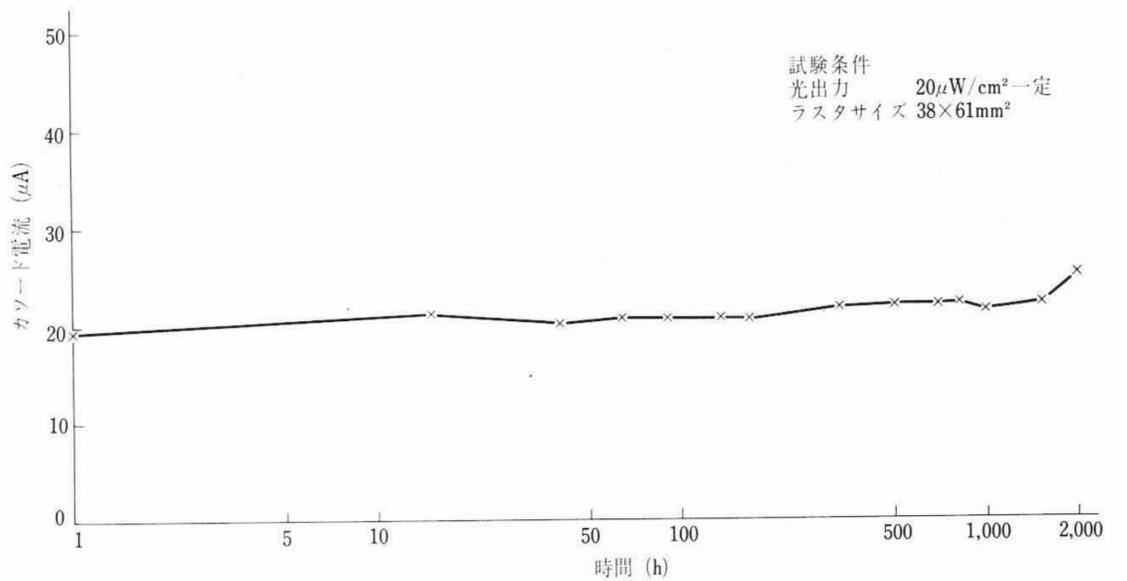


図12 けい光体の劣化によるカソード電流の増加

れの対策としては、コーニングガラスで開発されたTi入り低鉛ガラスが良く⁽²⁾、1,000時間の使用でほとんど変化しない。

5. 特 性

5.1 解 像 度

図9はバーチャートによって測定した空間周波数特性を示したものである。FSS管の解像度は実用的にはけい光体の残光性も含めて考える必要があり、残光の影響のない低速走査と通常のTV走査について示してある。なお、残光によるレスポンスの低下は、けい光体の正弦波刺激に対する応答を空間周波数に変換したものである。

また周辺解像度は中央解像度の約80%となっている。

5.2 変 調 特 性

図10は第1グリッド変調電圧に対する輝度、カソード電流の変化の例を示したものである。カソード電流100μAにおけるビーム利用率は約50%である。なお輝度はエネルギー較正を行なったS4光電面を用い管軸上管面から100mmの位置で測定した値で示してある。

5.3 けい光面ノイズ

けい光面ノイズの例は図11に示すとおりである。オシロスコープによる測定では約5%P-Pであり、この種のノイズのS/N(dB)は、

$$S/N \approx 20 \log \frac{S_{P-P}}{N_{P-P}} + 15 \text{ (dB)}$$

ここに、 N_{P-P} ; ノイズ (P-P)

S_{P-P} ; 信号 (P-P)

で与えられるから、約41dBのS/Nと言えよう。これは、テレビ信号用雑音レベル測定器を用いて測定した値とも良い一致を示している。

5.4 けい光面寿命特性

図12は輝度20μW/cm²一定で動作させたときのカソード電流の変化例を横軸に時間をとって示したものである。これによると、2,000時間後でも約30%の電流の増加に過ぎず、従来のP16に比較して非常に変化が少ない。

5.5 X線漏えい

陽極電圧、電流に対するX線漏えいは図13に示すとおりである。FSS管は通常の受像管のように直視することはないが、調整時には肉眼で見えることもあり、安全上重要な事項であるが、16kV以下では、0.5mr/h以下であり、特に問題とはならない。

6. 結 言

以上、EVR再生機用として開発した静電集束形FSS管について述べたが、要約すると、

- (1) 静電集束形で電子銃を全体にわたり、収差が少なくなるように設計することで、ほぼ電磁集束並みの特性が得られた。
- (2) 新しいけい光体の採用でけい光面寿命の増大を図ることができ、また同時に陽極電圧を下げるのが可能となりX線漏えいの心配がなくなった。

今後の方向としては、よりいっそうの小形化、高解像度化が要求されるものと予想され、けい光面ノイズ、けい光体の残光も含めた検討が必要であろう。

終わりにのぞみ関係各位に深く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) P. C. Goldmark (木村・篠田訳): 「カラーEVRのディテール」電子技術, Vol. 12 No. 7, 9 日刊工業 (昭-45)
- (2) 米国特許 No. 3464932