U. D. C. 621.385.832 : 621.397.132

カラーテレビ受信機用偏向ヨークのコンバーゼンス特性に関する理論解析

Theoretical Analysis on the Electron Beam Convergence Characteristics of Deflection Yokes Used in Color Television Receivers

田村昌三* 野々垣三郎**
Shôzô Tamura Saburô Nonogaki

要旨

シャドウマスク形カラー受像管を用いたカラーテレビ受信機におけるコンバーゼンス誤差は受信機の画質を左右する重要な要因の一つである。コンバーゼンス誤差と偏向磁界分布との間には密接な関係がある。偏向磁界分布とコンバーゼンス誤差との関係を理論的に解析し，広角偏向のときにも使用できる基本式を導出した。

1. 緒言

シャドウマスク形カラー受像管では，赤，緑，青3色に対応する三つの電子銃から出た3電子ビームが蛍光面を衝撃することによって生ずる3色のビームスポットを画面上のすべての位置において合致させることが必要である。しかしながら3電子ビームが偏向される場合，各電子ビームの初期条件(方向，位置)および各電子ビームが経験する偏向磁界がおのおの異なっているので，全画面上において3色のビームスポットが合致するというわけにはいかず，いわゆるコンバーゼンス誤差を生ずる。このコンバーゼンス誤差は画面の色ずれの原因となり，画質を著しく低下させるから，極力これを除去しなければならない。コンバーゼンス誤差と偏向ヨークの磁界分布との間には密接な関係がある。本報告はこのコンバーゼンス誤差と偏向ヨークの磁界分布との間の関係を理論的に考察したものである。

電磁偏向に関する代表的理論式には K. Schlesinger 氏の理論式[(1)(2)]および R. G. E. Hutter 氏の理論式[(3)]がある。また Hutter 氏の理論式を実際に適用する研究が大石氏[(4)]および J. Haantjes 氏ら[(5)(6)]によってなされている。Schlesinger 氏の理論式において仮定される偏向磁界は現在のカラーテレビ受信機用偏向コイルの磁界とは大きく違っている。また Hutter 氏の理論式の適用範囲は比較的偏向角が狭い範囲に限られる。そこでわれわれは90度偏向の場合にも適用できるようなコンバーゼンス誤差に関する理論式の導出を試みた。

われわれはつぎのような方法によって，コンバーゼンス誤差の解析を行なった。すなわち，まず実際のカラー受像管には存在しないが，仮想的に3電子ビームの中心を走る基準電子ビームを考える。つぎにこの基準電子ビームと実際の3電子ビームとの位置の差に注目する。そしてこの電子ビームの差に関する方程式を導出し，それを解く。こうして基準電子ビームと3電子ビームとの相互位置関係を知り，それを基礎にしてコンバーゼンス誤差を考察する。このような方法を用いて理論解析を行なった。その結果を以下にまとめる。

2. 基本式の導出

真空中の電磁界内を速度 $\boldsymbol{V}$ で動く電子に作用する力 $\boldsymbol{F}$ はつぎのように表わされる。

$$\boldsymbol{F}=m\frac{d\boldsymbol{V}}{dt}=-e(\boldsymbol{E}+\boldsymbol{V}\times\boldsymbol{B}) \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに m は電子の質量，e は電子の電荷，$\boldsymbol{E}$ は電界の強さ，$\boldsymbol{B}$ は

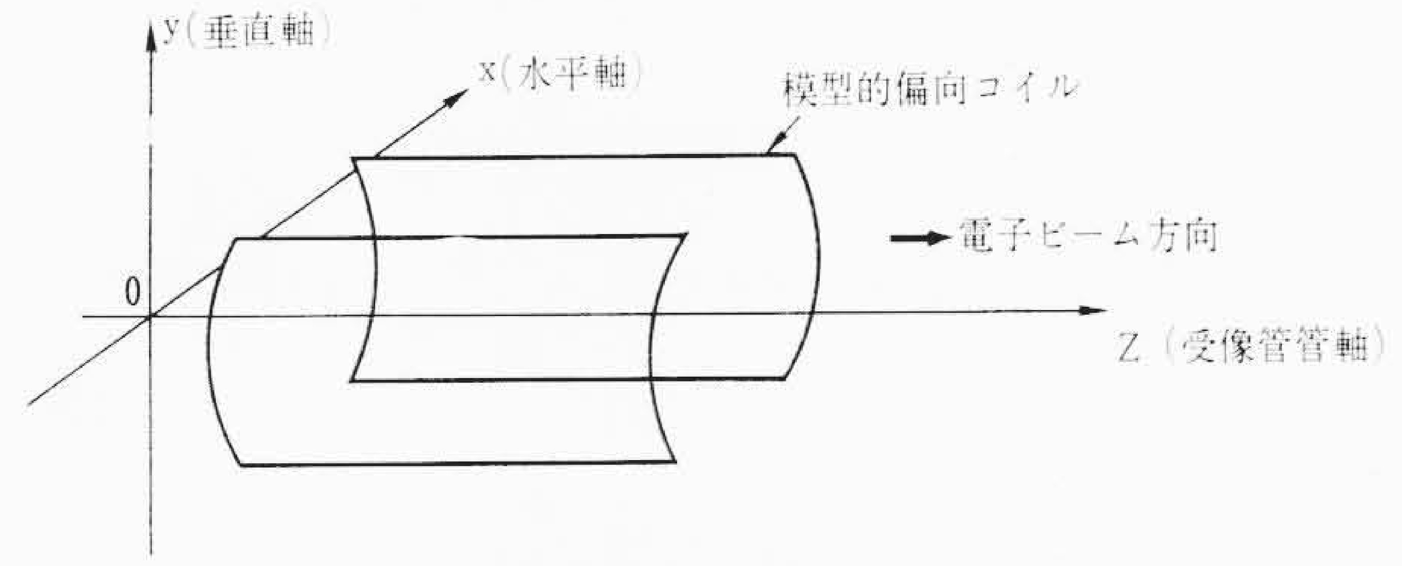

図1 直交座標軸表示図

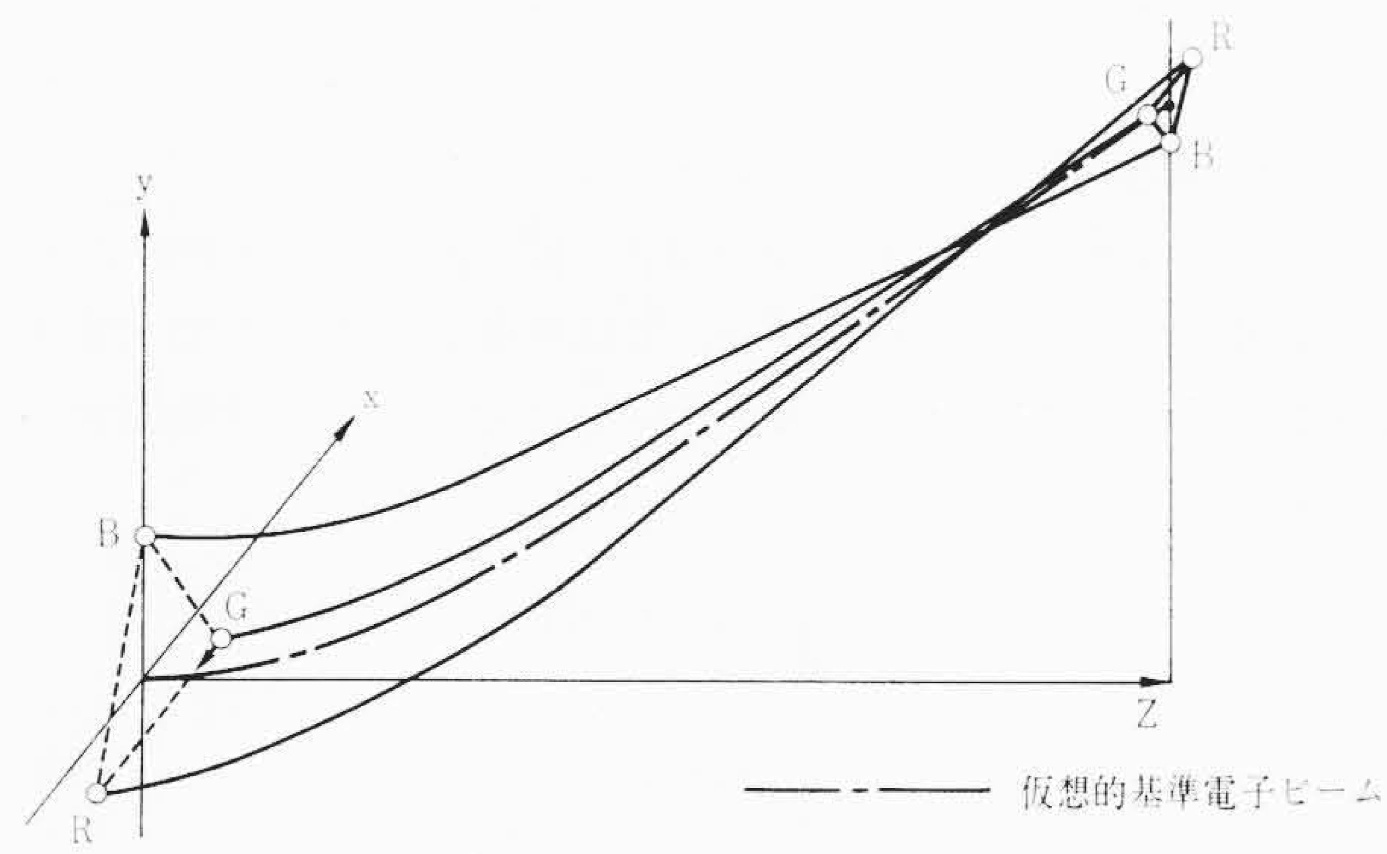

図2 仮想的基準電子ビームおよび R, G, B 電子ビームが偏向されたときの様子を示す

磁束密度である。受像管の内部において，電子ビームが偏向磁界にはいる位置から蛍光面にいたるまでの範囲はほとんど等電位空間とみなすことができるから，$\boldsymbol{E}=0$ となり，(1)式はつぎのようになる。

$$m\frac{d\boldsymbol{V}}{dt}=-e(\boldsymbol{V}\times\boldsymbol{B}) \quad \cdots\cdots(2)$$

図1に示した直交座標 (x, y, z) を用い，(2)式を時間 (t) について1回積分し，

$$\dot{x}=-\frac{e}{m}\int B_z\frac{dy}{dz}dz+\frac{e}{m}\int B_y dz+v_{ox} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\dot{y}=-\frac{e}{m}\int B_x dz+\frac{e}{m}\int B_z\frac{dx}{dz}dz+v_{oy} \quad \cdots\cdots(4)$$

ただし，$\dot{}$ は時間についての微分を表わし，積分は電子の軌道に沿って行なうものとし，dy/dz および dx/dz は電子の軌道についての値すなわち軌道の z 軸に対する y および x 方向こう配であり，v_{ox} および v_{oy} は電子の x および y 方向初速度である。

図2に示したような基準電子ビームと，赤，緑，青に対応する3電子ビーム(それぞれR, G, B電子ビームを略記する)の位置の差を問題とするのであるが，一般的に取り扱える範囲内においては，3電

* 日立製作所中央研究所
** 日立製作所中央研究所 工学博士

子ビームを，基準電子ビームの近傍を走る電子ビーム（近傍電子ビーム）によって代表させる。基準電子ビームは，**図2**に示したように，初期条件 $x=0,\ y=0,\ v_{ox}=0,\ v_{oy}=0$ で z 軸に沿って v なる速さで出発する電子ビームである。

z 軸の向きを電子走行の向きにとるので，

$$\dot{z}=\sqrt{v^2-\dot{x}^2-\dot{y}^2} \quad \cdots\cdots(5)$$

ここに v は電子の速さである。

電子ビームの z 軸に対する x 方向，y 方向のこう配 $dx/dz,\ dy/dz$ はつぎのようになる。

$$\frac{dx}{dz}=\frac{\dot{x}}{\dot{z}}=\frac{\dot{x}}{\sqrt{v^2-\dot{x}^2-\dot{y}^2}} \quad \cdots\cdots(6)$$

$$\frac{dy}{dz}=\frac{\dot{y}}{\dot{z}}=\frac{\dot{y}}{\sqrt{v^2-\dot{x}^2-\dot{y}^2}} \quad \cdots\cdots(7)$$

基準電子ビームおよび近傍電子ビームの，同一 z における位置を $(x_c,\ y_c)$ および $(x_s,\ y_s)$ で表わし，両電子ビームの z 軸に対する x 方向，y 方向こう配の差を求めるとつぎのようになる。

$$\begin{aligned}\frac{d(x_s-x_c)}{dz}&=\frac{\dot{x}_s}{\sqrt{v^2-\dot{x}_s^2-\dot{y}_s^2}}-\frac{\dot{x}_c}{\sqrt{v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2}}\\&\fallingdotseq\frac{v^2-\dot{y}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{x}_s-\dot{x}_c)+\frac{\dot{x}_c\dot{y}_c}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{y}_s-\dot{y}_c)\end{aligned} \quad \cdots\cdots(8)$$

$$\begin{aligned}\frac{d(y_s-y_c)}{dz}&=\frac{\dot{y}_s}{\sqrt{v^2-\dot{x}_s^2-\dot{y}_s^2}}-\frac{\dot{y}_c}{\sqrt{v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2}}\\&\fallingdotseq\frac{v^2-\dot{x}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{y}_s-\dot{y}_c)+\frac{\dot{x}_c\dot{y}_c}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{x}_s-\dot{x}_c)\end{aligned} \quad \cdots\cdots(9)$$

(8)，(9)式を求める途中において，$\dot{x}_c+\dot{x}_s\fallingdotseq 2\dot{x}_c$，$\sqrt{v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2}\sqrt{v^2-\dot{x}_s^2-\dot{y}_s^2}\fallingdotseq v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2$ などとしたが，これは実際の受像管の3電子ビームについては十分許しうる近似である。

軌道差を求める式は(8)，(9)式を z について積分すれば求められる。すなわち次式を得る。

$$\begin{aligned}x_s-x_c=&\int\frac{v^2-\dot{y}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{x}_s-\dot{x}_c)\,dz\\&+\int\frac{\dot{x}_c\dot{y}_c}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{y}_s-\dot{y}_c)\,dz\end{aligned} \quad \cdots\cdots(10)$$

$$\begin{aligned}y_s-y_c=&\int\frac{v^2-\dot{x}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{y}_s-\dot{y}_c)\,dz\\&+\int\frac{\dot{x}_c\dot{y}_c}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}(\dot{x}_s-\dot{x}_c)\,dz\end{aligned} \quad \cdots\cdots(11)$$

(10)，(11) 式は時間的微分の関数形をしているが，これを時間に関係のない式に変形する。まず

$$\frac{v^2-\dot{y}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}},\quad\frac{v^2-\dot{x}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}},\quad\frac{\dot{x}_c\dot{y}_c}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}$$

を変形する。

図3において，電子ビームが $\overrightarrow{\mathrm{OA}}$ 方向に速さ v で走っているものとすると z 方向速度 $\dot{z}_c$ は

$$\dot{z}_c=v\cos\theta_D \quad \cdots\cdots(12)$$

と表わすことができる。ここに θ_D は電子の速度方向と z 軸とがなす角すなわち偏向角である。また $\overrightarrow{KE}$ で示される x 方向速度 $\dot{x}_c$ は

$$\dot{x}_c=\dot{z}_c\tan\theta_H \quad \cdots\cdots(13)$$

ここに θ_H は電子の xz 平面内速度成分と z 軸とのなす角すなわち水平偏向角である。

同様に $\overrightarrow{KG}$ で示される y 方向速度 $\dot{y}_c$ は

$$\dot{y}_c=\dot{z}_c\tan\theta_V \quad \cdots\cdots(14)$$

で表わされる。ここに θ_V は電子の yz 平面内速度成分と z 軸とのなす角すなわち垂直偏向角である。$\dot{x}^2+\dot{y}^2+\dot{z}^2=v^2$ および (13)，(14)

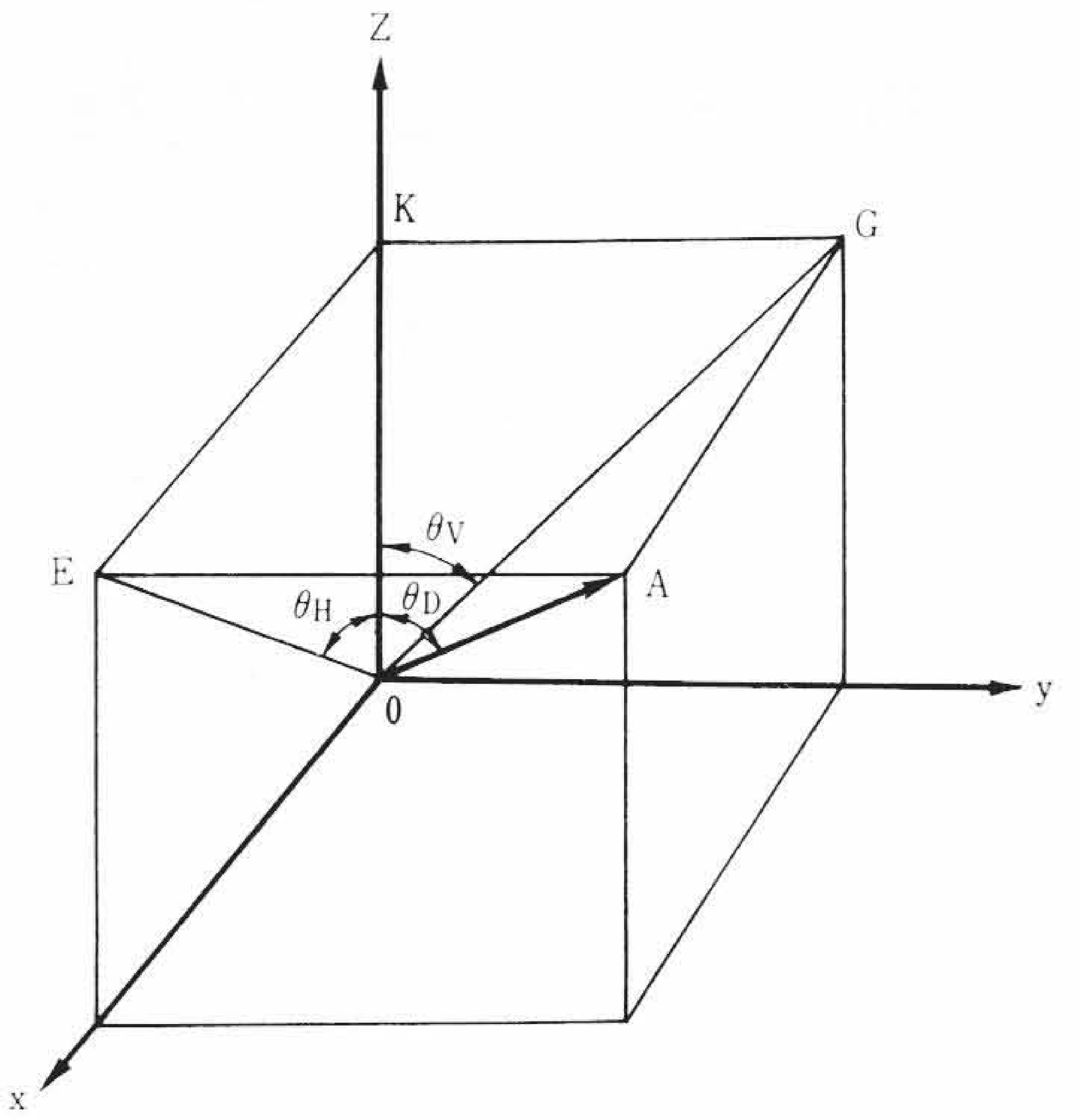

図3　基準電子ビームが x 軸，y 軸および z 軸となす角

式から次式を得る。

$$v^2-\dot{x}_c^2=\dot{z}_c^2\frac{1}{\cos^2\theta_V} \quad \cdots\cdots(15)$$

$$v^2-\dot{y}_c^2=\dot{z}_c^2\frac{1}{\cos^2\theta_H} \quad \cdots\cdots(16)$$

(12)，(13)，(14)，(15)，(16) 式から次式を得る。

$$\frac{v^2-\dot{y}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{v\cos\theta_D\cos^2\theta_H} \quad \cdots\cdots(17)$$

$$\frac{v^2-\dot{x}_c^2}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{v\cos\theta_D\cos^2\theta_V} \quad \cdots\cdots(18)$$

$$\frac{\dot{x}_c\dot{y}_c}{(v^2-\dot{x}_c^2-\dot{y}_c^2)^{\frac{3}{2}}}=\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{v\cos\theta_D} \quad \cdots\cdots(19)$$

つぎに近傍電子ビーム上の磁束密度の x,y,z 成分：B_x,B_y,B_z をそれぞれ B_{xs},B_{ys},B_{zs} とし，基準電子ビーム上のそれらを $B_{xc},\ B_{yc},\ B_{zc}$ とする。近傍電子ビームの dy/dz を $(dy/dz)_s=y_s'$，基準電子ビームの dy/dz を $(dy/dz)_c=y_c'$ とする。さらに近傍電子ビームの x 方向初期速度を v_{oxs} とする。基準電子ビームの x 方向初期速度は0である。それらの表示を用いれば，$\dot{x}_s-\dot{x}_c$ は(3)，(4)式からつぎのように表わされる。

$$\begin{aligned}\dot{x}_s-\dot{x}_c=&-\frac{e}{m}\int(B_{zs}-B_{zc})y_s'\,dz-\frac{e}{m}\int B_{zc}(y_s'-y_c')\,dz\\&+\frac{e}{m}\int(B_{ys}-B_{yc})\,dz+v_{oxs}\end{aligned} \quad \cdots\cdots(20)$$

v_{ox} を v_{oxs} の意味に用いても混乱することはないので以後は v_{oxs} のかわりに v_{os} を用いる。すなわち(20)式はつぎのようになる。

$$\begin{aligned}\dot{x}_s-\dot{x}_c=&-\frac{e}{m}\int(B_{zs}-B_{zc})y_s'\,dz-\frac{e}{m}\int B_{zc}(y_s'-y_c')\,dz\\&+\frac{e}{m}\int(B_{ys}-B_{yc})\,dz+v_{ox}\end{aligned} \quad \cdots\cdots(21)$$

同様にして次式を得る。

$$\begin{aligned}\dot{y}_s-\dot{y}_c=&\frac{e}{m}\int(B_{zs}-B_{zc})x_s'\,dz+\frac{e}{m}\int B_{zc}(x_s'-x_c')\,dz\\&-\frac{e}{m}\int(B_{xs}-B_{xc})\,dz+v_{oy}\end{aligned} \quad \cdots\cdots(22)$$

(17)～(22) 式を (10)，(11) 式に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned}x_s-x_c=&\frac{1}{v}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\left\{-\frac{e}{m}\int(B_{zs}-B_{zc})y_s'\,dz\right.\\&\left.-\frac{e}{m}\int B_{zc}(y_s'-y_c')\,dz+\frac{e}{m}\int(B_{ys}-B_{yc})\,dz+v_{ox}\right\}dz\end{aligned}$$

$$
\begin{aligned}
&+\frac{1}{v}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\left\{\frac{e}{m}\int(B_{zs}-B_{zc})x_s'dz\right.\\
&\left.+\frac{e}{m}\int B_{zc}(x_s'-x_c')dz-\frac{e}{m}\int(B_{xs}-B_{xc})dz+v_{oy}\right\}dz\\
&+x_o \quad \cdots\cdots(23)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
y_s-y_c=&\frac{1}{v}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\left\{\frac{e}{m}\int(B_{zs}-B_{zc})x_s'dz\right.\\
&+\frac{e}{m}\int B_{zc}(x_s'-x_c')dz-\frac{e}{m}\int(B_{xs}-B_{xc})dz\\
&\left.+v_{oy}\right\}dz+\frac{1}{v}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\left\{-\frac{e}{m}\int(B_{zs}-B_{zc})y_s'dz\right.\\
&\left.-\frac{e}{m}\int B_{zc}(y_s'-y_c')dz+\frac{e}{m}\int(B_{ys}-B_{yc})dz+v_{ox}\right\}dz\\
&+y_o \quad \cdots\cdots(24)
\end{aligned}
$$

ここに x_o, y_o は近傍電子ビームの x 方向，y 方向初期位置である。

(23)，(24) 式は軌道差を求めるための基本式である。これを用いてコンバーゼンス誤差を論じるためには，つぎに述べるような磁界の展開や，電子ビームについての近似が必要となる。

3. 磁界の展開

前節で求めた磁界の基本式 (23)，(24) 式には $B_{zs}-B_{zc}$ などのように近傍電子ビーム上の磁界と基準電子ビーム上の磁界との差があらわれている。近傍電子ビームと基準電子ビームとの差はあまり大きくないとすれば，上記磁界の差は基準電子ビーム上の各点を中心として磁界を展開した形式を用いて表わすことができる。すなわち

$$
\begin{aligned}
B_{xs}-B_{xc}=&\frac{\partial B_x}{\partial x}(x_s-x_c)+\frac{\partial B_x}{\partial y}(y_s-y_c)+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 B_x}{\partial x^2}(x_s-x_c)^2\\
&+\frac{\partial^2 B_x}{\partial x\partial y}(x_s-x_c)(y_s-y_c)+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 B_x}{\partial y^2}(y_s-y_c)^2\\
&\cdots\cdots(25)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
B_{ys}-B_{yc}=&\frac{\partial B_y}{\partial x}(x_s-x_c)+\frac{\partial B_y}{\partial y}(y_s-y_c)+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2}(x_s-x_c)^2\\
&+\frac{\partial^2 B_y}{\partial x\partial y}(x_s-x_c)(y_s-y_c)+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 B_y}{\partial y^2}(y_s-y_c)^2\\
&\cdots\cdots(26)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
B_{zs}-B_{zc}=&\frac{\partial B_z}{\partial x}(x_s-x_c)+\frac{\partial B_z}{\partial y}(y_s-y_c)+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}(x_s-x_c)^2\\
&+\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}(x_s-x_c)(y_s-y_c)+\frac{1}{2}\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}(y_s-y_c)^2\\
&\cdots\cdots(27)
\end{aligned}
$$

ここに磁界の微係数 $\partial B_x/\partial x$ などは基準電子ビーム上の点 (x_c, y_c, z_c) におけるそれぞれの値を示すものとする。

4. 基準電子ビームと近傍電子ビームとの軌道差計算

基本式 (23)，(24) 式によって求めたいのは x_s-x_c, y_s-y_c なのであるが，これが基本式の左辺のみならず右辺にも (25)，(26)，(27) 式を通して含まれているので，簡単には求められない。そこで逐次近似法によってこれを求める。すなわち (23)，(24) 式の右辺を，第0次近似軌道および (25)，(26)，(27) 式を用いて計算し，それによって左辺の x_s-x_c, y_s-y_c を求める。これが第1次近似解である。第1次近似解を用いてさらに精度のよい第2次近似解が得られるはずであるが，計算が非常に複雑になるのでこれは行なわない。第0次近似として現実の軌道に近いものを用いておけば第1次近似の精度はあがり，かなり精密な議論が可能になるはずである。われわれは第0次近似として，近傍電子ビームが基準電子ビームと一定間隔を保って平行に走るものとする。これを式で表現すれば，第0次近似の近傍電子ビームは

$$x_s=x_c+x_o \quad \cdots\cdots(28)$$

$$y_s=y_c+y_o \quad \cdots\cdots(29)$$

で表わされるということになる。この第0次近似近傍電子ビームは，偏向角が大きい場合に，偏向磁界の存在範囲内では現実の近傍電子ビームに近いものとなることは理論的にも推定でき，実験的にも確かめることができる。

(28)，(29) 式を (25)，(26)，(27) 式に代入して得た式をさらに (23)，(24) 式に代入して次式を得る。

$$
\begin{aligned}
x_s-x_c=&\frac{e}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial x}-\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_V\right)x_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial y}-\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_V\right)y_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_V\right)x_o^2\,dzdz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_V\right)y_o^2\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x\partial y}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_V\right)x_oy_o\,dzdz\\
&+\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}x_o'\,dz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial x}\right)x_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial y}\right)y_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x^2}\right)x_o^2\,dzdz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial y^2}\right)y_o^2\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x\partial y}\right)x_oy_o\,dzdz\\
&+\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}y_o'\,dz+x_o \quad \cdots\cdots(30)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
y_s-y_c=&\frac{e}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial x}\right)x_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial y}\right)y_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x^2}\right)x_o^2\,dzdz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial y^2}\right)y_o^2\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x\partial y}\right)x_oy_o\,dzdz\\
&+\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}y_o'\,dz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial x}-\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_V\right)x_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial y}-\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_V\right)y_o\,dzdz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_V\right)x_o^2\,dz\\
&+\frac{e}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_V\right)y_o^2\,dzdz\\
&+\frac{e}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x\partial y}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_V\right)x_oy_o\,dzdz\\
&+\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}x_o'\,dz+y_o \quad \cdots\cdots(31)
\end{aligned}
$$

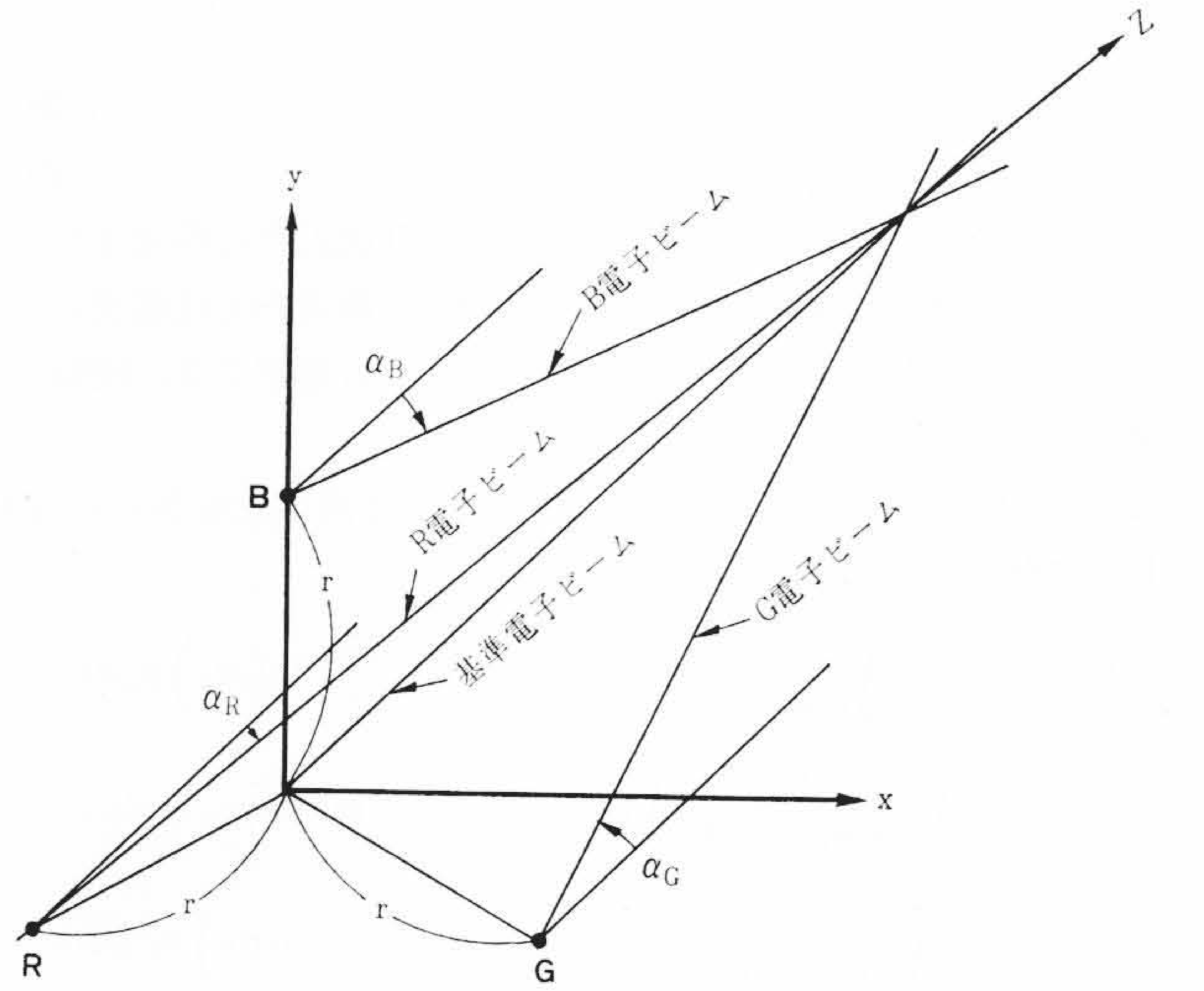

図4　R, G, B 電子ビームの状態図

(30), (31)式が基準電子ビームと近傍電子ビームとの差を与える式である。なお x_o', y_o' は出発点における近傍電子ビームの z 軸に対するこう配の x 方向成分，y 方向成分である。

5.　3電子ビームのコンバーゼンス誤差の一般式

現在のシャドウマスク形カラー受像管の赤，緑，青電子銃の配列は普通正三角形であり，それぞれの電子ビームが蛍光面を衝撃したときの発光色との関係は図4のようになっている。解析を進めるにあたって，図4に示したように座標を定める。基準電子ビームは座標原点から z 軸方向に出発する仮想的電子ビームであることはすでに述べた。

出発点における基準電子ビームから各電子ビームに至る距離を r，赤，緑，青電子ビームの速度ベクトルが出発点において z 軸となす角を，ビームが z 軸に近づく向きを正にとって，$\alpha_R, \alpha_G, \alpha_B$ とすると $\alpha_R, \alpha_G, \alpha_B$ はいずれも微小であるから $\tan\alpha=\sin\alpha=\alpha$ と置いてさしつかえない。各電子ビームの初期条件はつぎのようになる。

$$\text{赤電子ビーム}\left\{\begin{aligned} x_o &= -\frac{\sqrt{3}}{2}r \\ y_o &= -\frac{1}{2}r \\ x_o' &\fallingdotseq \frac{\sqrt{3}}{2}\alpha_R \\ y_o' &\fallingdotseq \frac{1}{2}\alpha_R \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(32)$$

$$\text{緑電子ビーム}\left\{\begin{aligned} x_o &= \frac{\sqrt{3}}{2}r \\ y_o &= -\frac{1}{2}r \\ x_o' &\fallingdotseq -\frac{\sqrt{3}}{2}\alpha_G \\ y_o' &\fallingdotseq \frac{1}{2}\alpha_G \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(33)$$

$$\text{青電子ビーム}\left\{\begin{aligned} x_o &= 0 \\ y_o &= r \\ x_o' &= 0 \\ y_o' &\fallingdotseq -\alpha_B \end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(34)$$

赤，緑，青の電子ビームは偏向されていないときに，画面の中央部で，3色のビームスポットが合致するよう集中していなければならない。この集中(コンバーゼンス)は電子ビームの初速度の方向を永久磁石による磁界によって変化させて調整する。これをスタティックコンバーゼンス調整と呼んでいる。

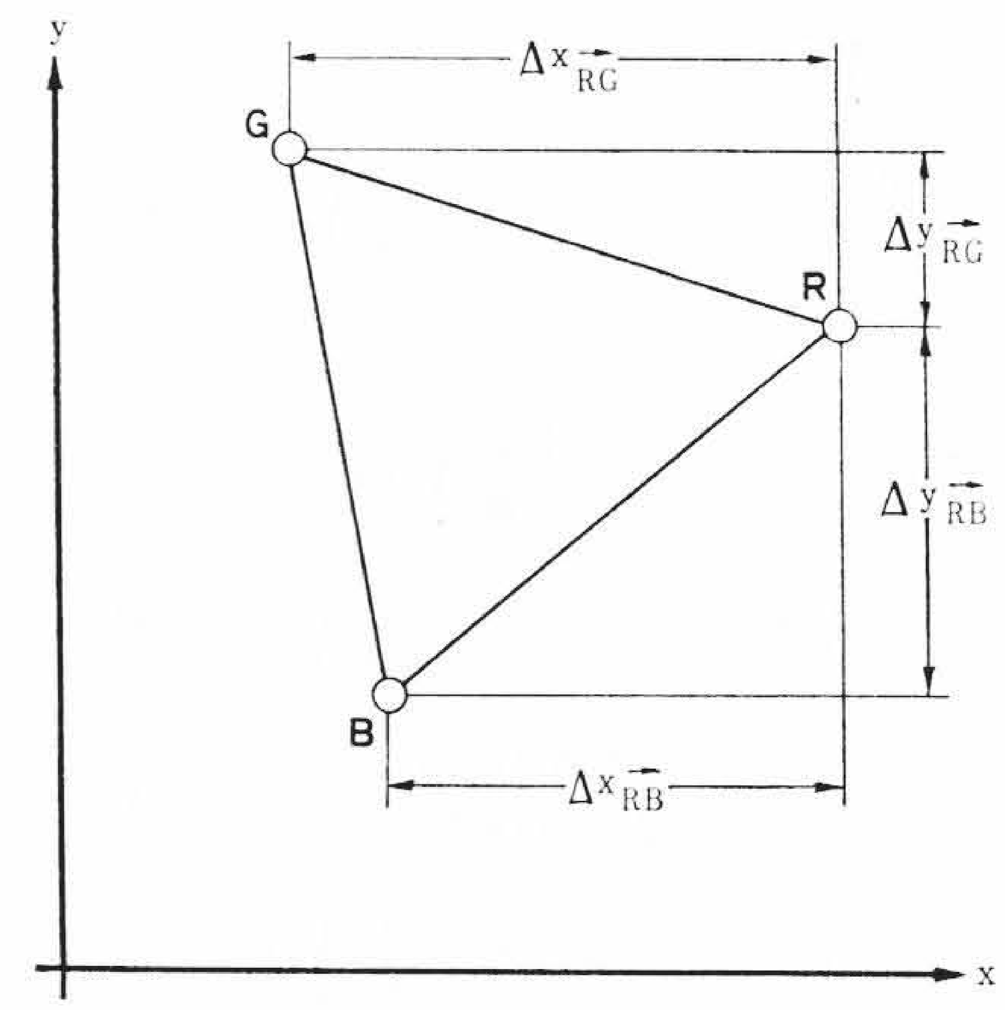

図5　画面上R電子ビームスポットからGおよびB電子ビームスポットに至る水平，垂直距離を示す図

スタティックコンバーゼンス調整を行なった3電子ビームであってもそれを偏向すると，画面上でビームスポットが合致しなくなる。この状態のままでは画像に大きな色ずれを生じてしまうので，実際の受信機においては，偏向量に応じて各電子ビームの初期速度の方向を変えられるように，コンバーゼンスコイルが設けてあり，このコイルに偏向電流に応じて変化する電流を流し，偏向時においても3電子ビームのスポットが画面上で合致するようにしている。これをダイナミックコンバーゼンス調整と呼び，このときコンバーゼンスコイルに流す電流をコンバーゼンス電流と呼んでいる。

画面上での3色のスポットが合致せずにずれている場合，そのずれをコンバーゼンス誤差と呼ぶ。コンバーゼンス誤差を定量的に表わすためには，ある色たとえば赤のスポットから他の色のスポットまでの距離を用いればよい。画面上赤電子ビームスポットから緑電子ビームスポットおよび青電子ビームスポットに至る水平，垂直距離をそれぞれ

$$\Delta x_{\overrightarrow{RG}},\ \Delta y_{\overrightarrow{RG}}\ \text{および}\ \Delta x_{\overrightarrow{RB}},\ \Delta y_{\overrightarrow{RB}}$$

で表わす(図5参照)。3電子ビームの初期条件(32), (33), (34)式を(30), (31)式に代入して $\Delta x_{\overrightarrow{RG}}$ などを求めるとつぎのようになる。

$$\begin{aligned}\Delta x_{\overrightarrow{RG}} =& \frac{\sqrt{3}\,re}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial x}-\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_V\right)dzdz \\ &+\frac{\sqrt{3}\,re}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial x}\right)dzdz \\ &-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x\partial y}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_V\right)dzdz \\ &-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x\partial y}\right)dzdz \\ &-\frac{\sqrt{3}}{2}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}(\alpha_R+\alpha_G)dz \\ &-\frac{1}{2}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}(\alpha_R-\alpha_G)dz+\sqrt{3}\,r \quad\cdots\cdots(35)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta y_{\overrightarrow{RG}} =& \frac{\sqrt{3}\,re}{mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial x}\right)dzdz \\ &+\frac{\sqrt{3}\,re}{mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial x}-\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_V\right)dzdz \\ &-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x\partial y}\right)dzdz \\ &-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x\partial y}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_V\right)dzdz\end{aligned}$$

$$-\frac{1}{2}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}(\alpha_R-\alpha_G)dz$$

$$-\frac{\sqrt{3}}{2}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}(\alpha_R+\alpha_G)dz \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

$$\Delta x_{\overrightarrow{RB}}=\frac{\sqrt{3}\,re}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial x}-\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,re}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial y}-\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$+\frac{\sqrt{3}\,re}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial x}\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,re}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial y}\right)dzdz$$

$$-\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{4mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x\partial y}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$-\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x^2}\right)dzdz$$

$$-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{4mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x\partial y}\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial y^2}\right)dzdz$$

$$-\frac{\sqrt{3}}{2}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_H}\alpha_R dz$$

$$-\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\left(\frac{1}{2}\alpha_R+\alpha_B\right)dz+\frac{\sqrt{3}}{2}r \quad \cdots\cdots\cdots(37)$$

$$\Delta y_{\overrightarrow{RB}}=\frac{\sqrt{3}\,re}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial x}\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,re}{2mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial B_x}{\partial y}\right)dzdz$$

$$+\frac{\sqrt{3}\,re}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial x}-\frac{\partial B_z}{\partial x}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,re}{2mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial B_y}{\partial y}-\frac{\partial B_z}{\partial y}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$-\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x^2}\right)dzdz$$

$$-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{4mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial x\partial y}\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\int\left(\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_H-\frac{\partial^2 B_x}{\partial y^2}\right)dzdz$$

$$-\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x^2}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$-\frac{\sqrt{3}\,r^2e}{4mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial x\partial y}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial x\partial y}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$+\frac{3\,r^2e}{8mv}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\int\left(\frac{\partial^2 B_y}{\partial y^2}-\frac{\partial^2 B_z}{\partial y^2}\tan\theta_V\right)dzdz$$

$$-\int\frac{1}{\cos\theta_D\cos^2\theta_V}\left(\frac{1}{2}\alpha_R+\alpha_B\right)dz$$

$$-\frac{\sqrt{3}}{2}\int\frac{\tan\theta_H\tan\theta_V}{\cos\theta_D}\alpha_R dz+\frac{3}{2}r \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(38)$$

上記の(35)～(38)式がコンバーゼンス誤差を表わす一般式である。

6. 結　　言

シャドウマスク形カラーテレビ受信機におけるコンバーゼンス誤差と偏向ヨークの磁界分布との関係を表わす基本式を導出した。この基本式は精度を極度に落とす仮定がはいっていないので，広角偏向のときのコンバーゼンス誤差の計算に適用することができる。実際にこのコンバーゼンス誤差を計算するには基準電子ビームの軌道計算および基準電子ビーム軌道上の磁界の１次，２次微係数($\partial B_x/\partial y$，$\partial^2 B_x/\partial y^2$……など)を知る必要がある。基準電子ビームの軌道は管軸(z 軸)上の磁界分布を測定すれば近似計算によって求めることができる。また基準電子ビーム軌道上の磁界の微係数は磁界分布を正確に測定して，その結果を微分することによって求めることができる（磁界測定法の一例は文献(４)を参照)。

終わりに臨み本研究にご助言をいただいたNHK総合技術研究所大石氏ならびに理論解析について示唆をいただいた日立製作所戸塚工場二見主任技師，横浜工場額田部長，大槻氏，渡辺(佳)氏，中央研究所宇佐美横浜分室長，成田主任研究員，日比主任研究員，藤島研究員に深く感謝する。

参　考　文　献

(１)　K. Schlesinger: Electronics, 22, 102 (1949)
(２)　D. G. Fink: Television Engineering Handbook. (1957 Mc Graw-Hill)
(３)　R. G. E. Hutter: J. Appl. Phys., 18, 740 (Aug. 1947)
(４)　大石，別所：NHK技術研究，17，367（昭40）
(５)　J. Haantjes, G. J. Lubben: Philips Res. Repts., 12, 46 (1957)
(６)　J. Haantjes, G. J. Lubben: Philips Res. Repts., 14, 65 (1959)