

A 4. コントロール・ボールと超高精度ブラウン管 による図形入力

後藤英一, 相馬 嵩, 小野厚夫, 山田作衛(理研)

I はじめに

現在理研で光源として新しく開発した超高精度ブラウン管を用い, それをボール・コントロールで制御して写真解析を行なうシステムを製作中であるので, 主にこのシステムについて述べたい。

写真計測は映像の定量的な解析手段として適用範囲が広く, 宇宙科学, 原子核物理学, 生物, 医学等の領域で実績をあげている。しかも, これらの分野ではますます高速, 高精度でデータを処理する必要性が高まり, フィルム像の自動解析法の開発が望まれている。現在用いられている自動解析装置には, 機械的に光点を走査させる方式と, 光源としてブラウン管を用いる方式の二種類がある。前者は位置精度をあげるためには適しているが, 連続した走査機構であり, 走査速度も機械的な運動速度で限定される。それに比べて電子ビームで走査するブラウン管は, 偏向駆動が容易である上, ランダム走査も可能で, 解析速度は速くできるが, 現状では位置精度が大きな障害になっている。

計算機に直結した高速図形処理システムの要請が高まっている現在, 両方式の長所を併せ持つ, 高速, 高精度の写真計測システムの開発が極めて重要であると考えられる。そのためには写真計測システムを電子化しなければならないが, 電子化のためにはブラウン管の位置精度の向上がどうしても必要となる。

ところで我々は新しい原理の超高精度ブラウン管を開発し, すでに $2,000 \times 2,000$ の位置精度と分解能をもつ電子レンズ系の設計を行ない, かつそれに基づいた直径5インチの管球を試作し, その原理の実用性を確認した。この管がもつ精度の高さと, 製作の容易さからみて, このブラウン管が上述の写真解析装置の光源として極めて画期的な役割りを果たすものと期待される。

そこで我々はこのブラウン管を光源に用いて写真解析装置の製作にとりかかることにした。現在その第一段階として, まず人間の判断の助けをかりる半自動解析装置を試作中であり, これを用いて放電箱写真の原子核反応の解析に使用する予定である。

さらに次の段階としてこの装置を小型電子計算機とオンラインで結び, さらに大型電子計算機と結んで完全自動解析化の研究をおし進めていきたい。

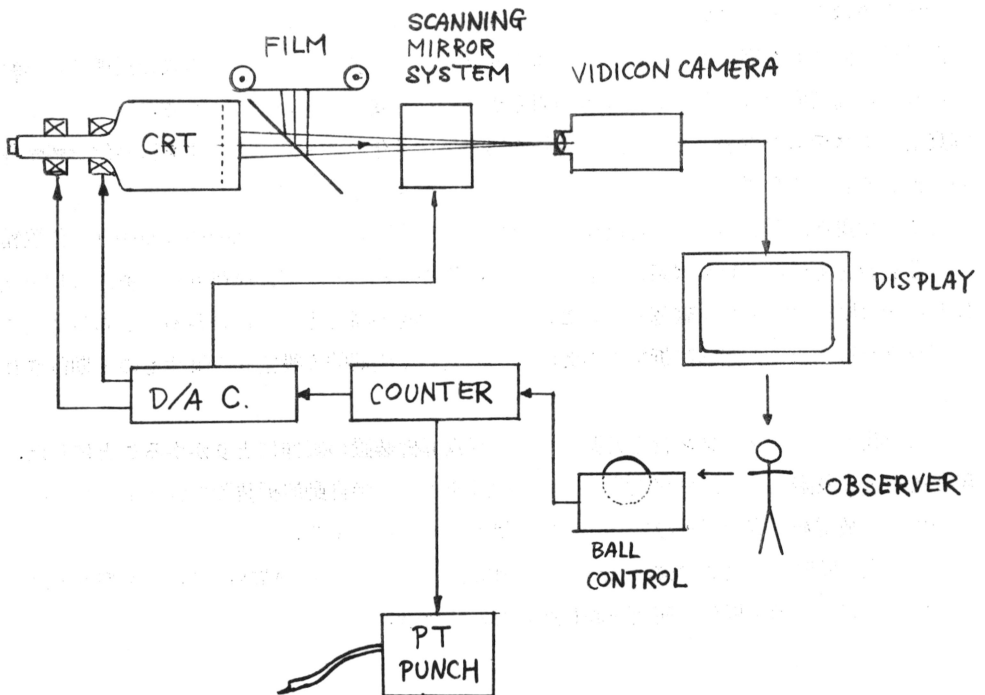
II システムの構成

システムの構成図を第1図に示す。システムは大別して光源として用いるブラウン管とその駆動装置、光点を移動させる制御装置、フィルム像と光点の表示装置、および測定置の出力装置から成っている。

光点はブラウン管に十字線で表示され、その光点とフィルム像の一部がズーム・レンズについたビジコン・カメラによってモニタ用TVに映し出される。このさい常にモニタ表示装置に光点の十字線が映るようブラウン管とカメラの間に鏡をおき、それを光点と同期して動かす。測定者はモニタを見ながらフィルム上の測定したい点に十字線の交点が一致するまで十字線を移動させる。この光点移動制御のためにボール・コントロールが採用された。

ボールの回転はX, Y方向にベクトルの的に分解され、それぞれの成分に比例した量がX, Yそれぞれのカウンタに計数される。このさい回転方向も考慮してカウンタの内容を増減する。移動距離が大きいと、何回か連続してボールに回転を与えなければならなくなるが、この繁雑さを減らすために回転速度に応じて計数率を上げるような操作をほどこしてある。

X, Yカウンタにはそれぞれ12ビットで、 $4,096 \times 4,096$ 点を区別し、この計数値が螢光面上の光点の座標を与え、また測定データとして紙テープに出力される。



第 1 図

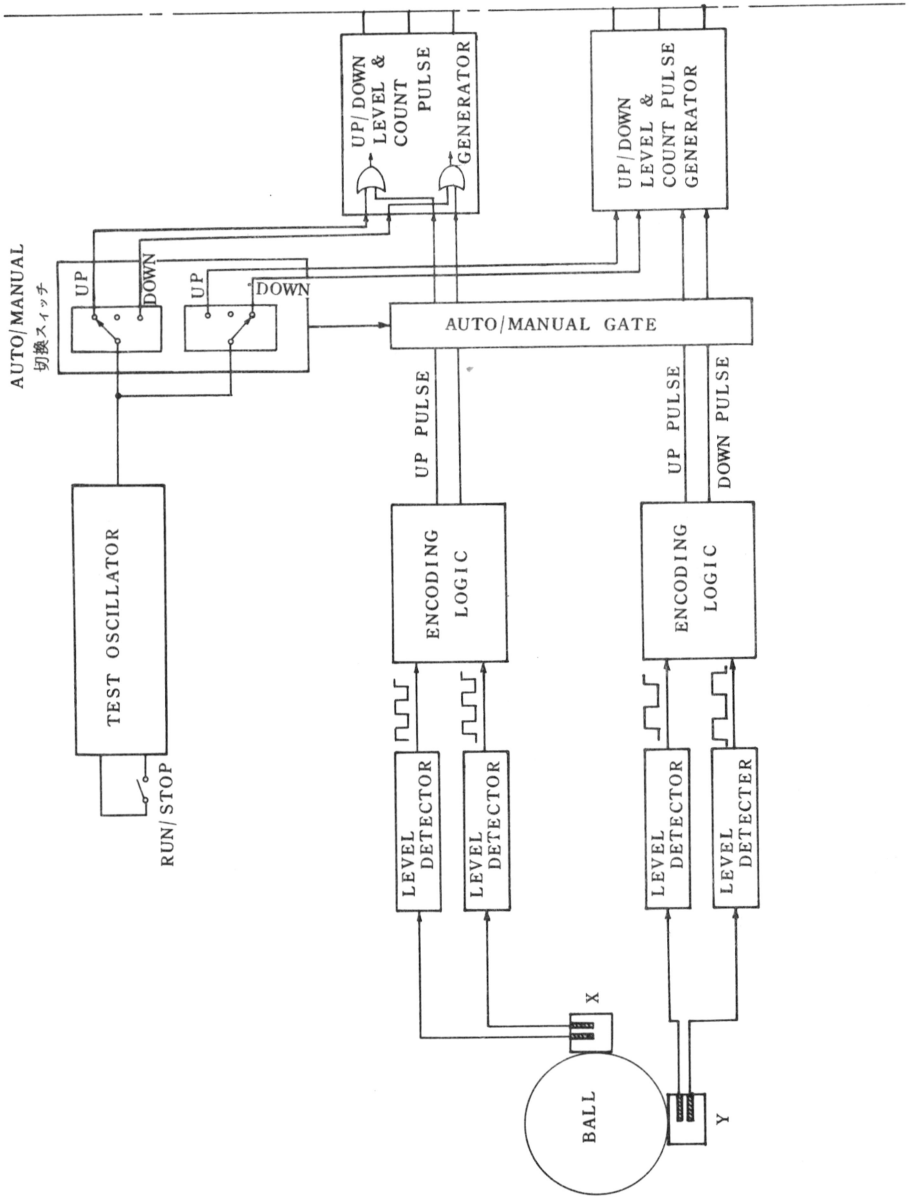
5 インチのブラウン管の有効面は 64 mm 平方に設計されているので、4096 分割すると 1 カウントでほぼ 15 μm 光点が移動することになる。現在ある試作管では加速電圧 2 kV で光点の直径は約 40 μm あるが、後段加速をかけることにより光点の径はさらに小さくなるはずである。

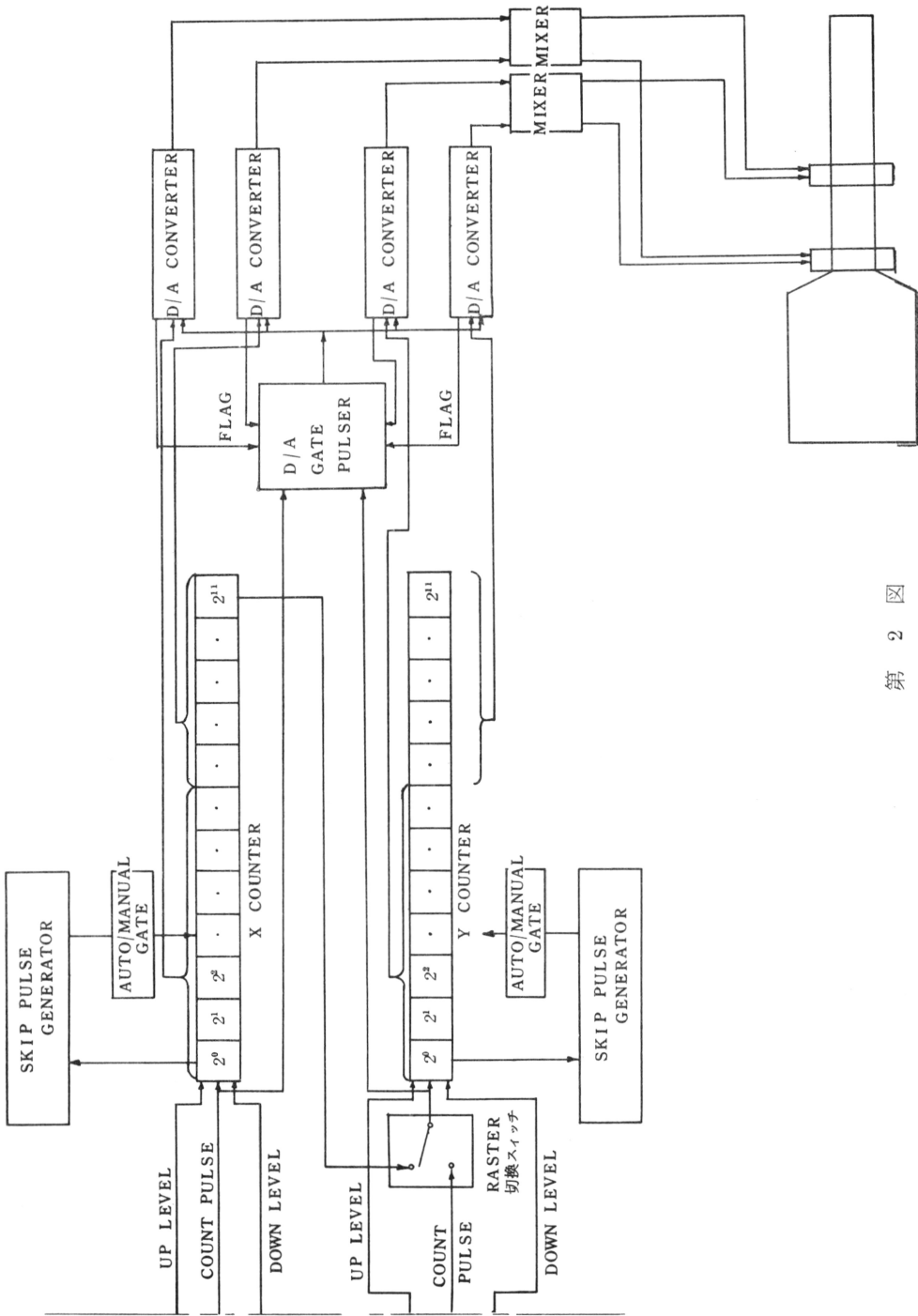
ブラウン管の偏向駆動は従来の管球とまったく異った偏向方式を採用しているため、独特の方法が用いられる。その原理については後で詳しく述べるが、光点の座標はスクリーン直前におかれた複眼電子レンズに入る電子ビームの入射位置と、入射方向とで定まる。そこでカウンタの上位 5 ビットをレンズの選択に用い、下位 7 ビットを入射方向の選択にあてる。偏向は X, Y それぞれの方向にたいして主、副二つの偏向コイルが用意されており、それぞれにカウンタの二分したデジタル量を D/A 変換してえられる電流を適当に混合して流す。

本装置の論理回路は、インターフェイス以外すべて DTL Silicon IC (三菱モロクトロン) を用いた。第 2 図にコントロール系のブロックダイアグラムを、第 3 図に UP/DOWN COUNTER の回路図を示す。この COUNTER は master-slave J-K Flip-Flop を用いた ripple counter に UP/DOWN の切替回路をつけたもので、論理の段数と遅れの順序関係が、1:1 に対応するという仮定の下に完全な asynchronous 回路になっている。この回路への入力は、UP/DOWN を示す LEVEL と count pulse であるので、その前に 'UP/DOWN LEVEL and COUNTER PULSE GENERATOR' において、COUNTER への入力とした。この回路は、入力が UP-PULSE と DOWN PULSE の 2 つで、その各々に従って UP または DOWN の LEVEL を SET した上、COUNTER PULSE を出す。AUTO/MANUAL の切替 switch をつけるため、ENCODING LOGIC から直接 COUNTER へ入力させずに、間にこの回路を置いた。(回路図は第 4 図に示す。) ENCODING LOGIC 等については、次章で述べる。

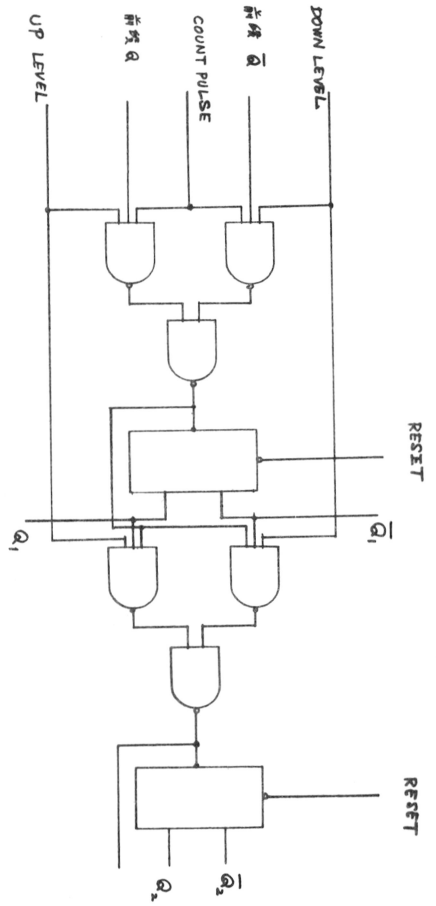
III Display

Display に関しては現在、digitizer の光源としての高精度 CRT の試験をおこなっている段階で、直接顕微鏡で spot を見ながら測定している。ITV を使ったシステムは検討中のものであり、結果が得られ次第報告する予定である。

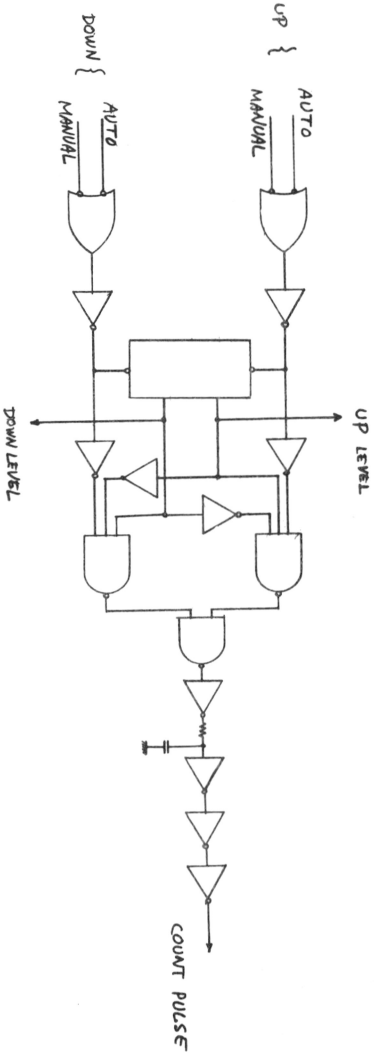




第 2 図



第 3 图 UP/DOWN COUNTER 2 BIT分



第 4 图 UP/DOWN LEVEL & COUNT PULSE GENERATOR

IV コントロール

人間工学的考察

Displayと同様コントロールは、man-machine systemにおける重要な部分である。従来二次元のコントロールには、joystickが広く用いられている。これには、入力“力”のもの“位置”のものとの二種類がある。Light-pen, Rand tablet等の入力装置は後者に属することになる。それぞれ特長があり、どちらを用いるかは、フィードバックとしてのdisplayに、力又は位置のどちらが表示されるかによると考えられる。一方回転ハンドルのようなコントロールにおいては、inertiaとか、viscous dampingが、制御性をよくすることが知られている。又コントロールのとりつけ位置、ハンドルの形、手の動きとdisplayの動きの関係なども重要な要因となる。

人間の手による制御の場合、手の出力としての力とか位置の精度とrangeには、おのずから制限がある。そこでrangeが大きく、しかも精度の高い制御をおこなうために、vernier control, gain adjust controlとか、derivative controlなどの方法が知られている。このことはdisplayにも同様にあてはまることである。

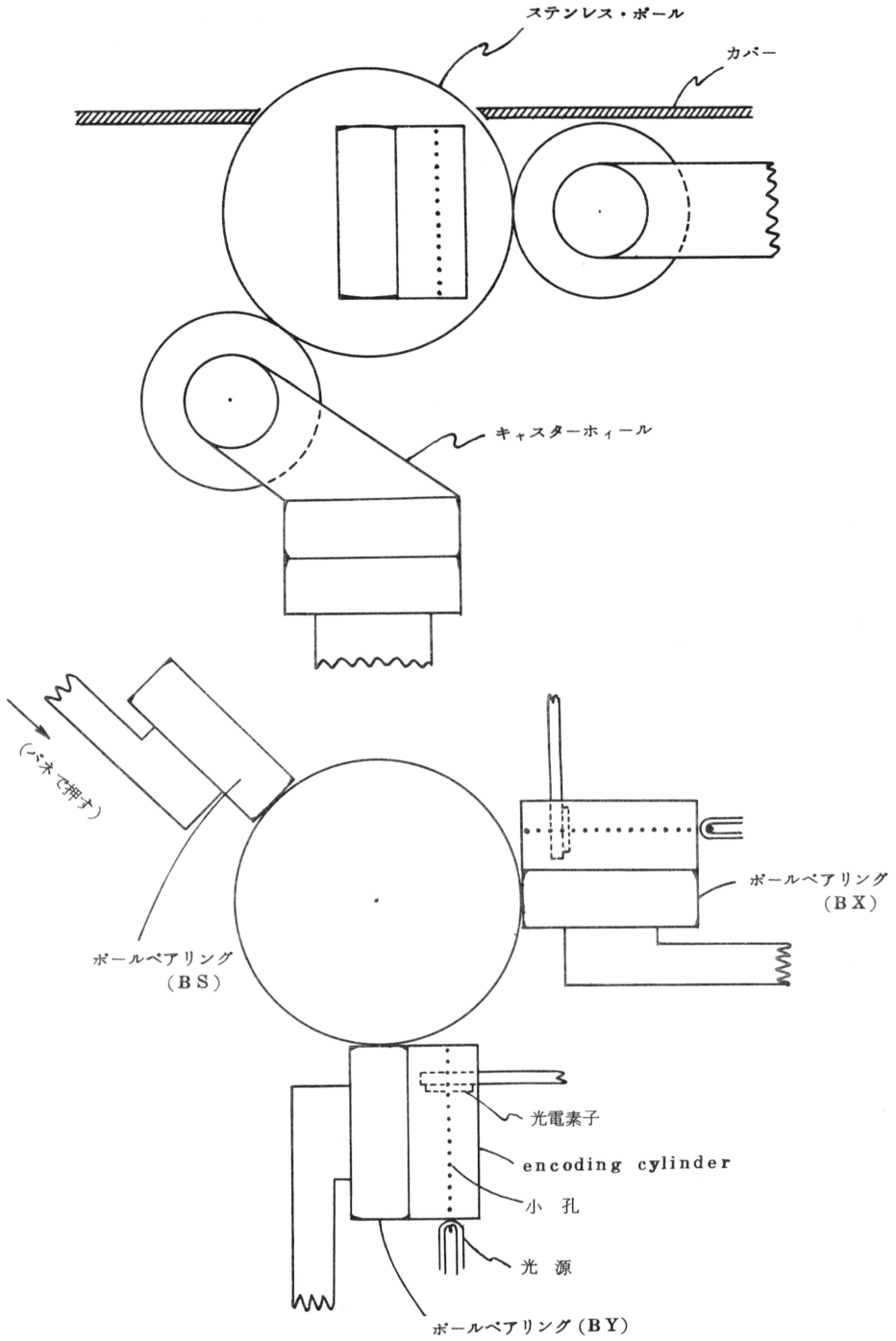
以上のような諸問題を検討した結果、我々の目的には、ボール・コントロールが、従来の方法に比べて非常にすぐれているという予想から実験を試みてみたわけである。

実験の結果、静止した点にクロスを合わせる操作は、手のひらでボールをまわすことによりスムーズにおこなえることがわかった。

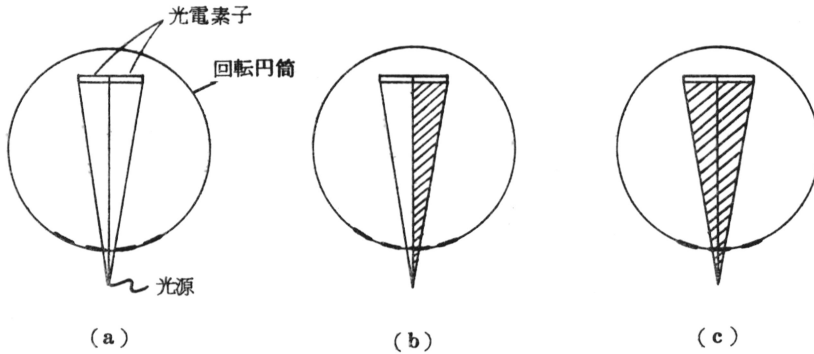
Trackingとか、図形入力に適しているかどうかは、現在実験中である。

ボール・コントロールの構造

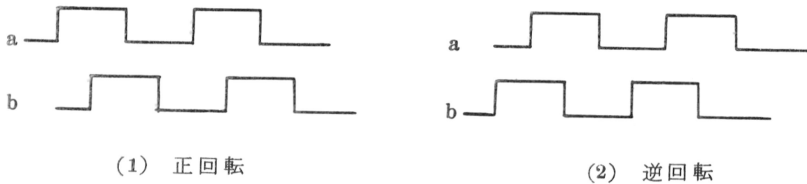
第5図は試作したボール・コントロールの構造を示す。鉛直軸のまわりに回転できるキャスト・ホイールの上に、中心が、その軸を通るようにボールをのせ、それを支えるために、キャスト・ホイールの軸に垂直な大円上で三つのボール・ベアリングが接している。これにより、ボールは任意の子午面内で回転することができ、その回転が、ボール・ベアリングにつたえられる。ボール・ベアリングBX, BYの接点とボールの中心とのなす角は直角になるように固定されていて、それぞれ、ボールの回転のX, Y成分をとりだすようになっている。ボール・ベアリングBSはバネでボールを押し、ボールの回転が、すべりなく、BX, BYにつたわるようにしている。(この機構はHenrici-Coradiの調和解析器と同じである。) BX, BYの回転を電気信号に変換するために、孔のあいたcoding cylinderがボール・ベアリングにとりつけてあり、二つの光電素子を第6図のように配置することにより、第7図のような2チャンネルの信号をとりだす。ボールには、錆ないこと、適当なinertiaがあるということで、ステンレスを用いた。このようにして、我々の試作したボール・コントロールは、2-axis isotonic control with inertia (慣性付二軸位置制御)ということ



第 5 図



第 6 図



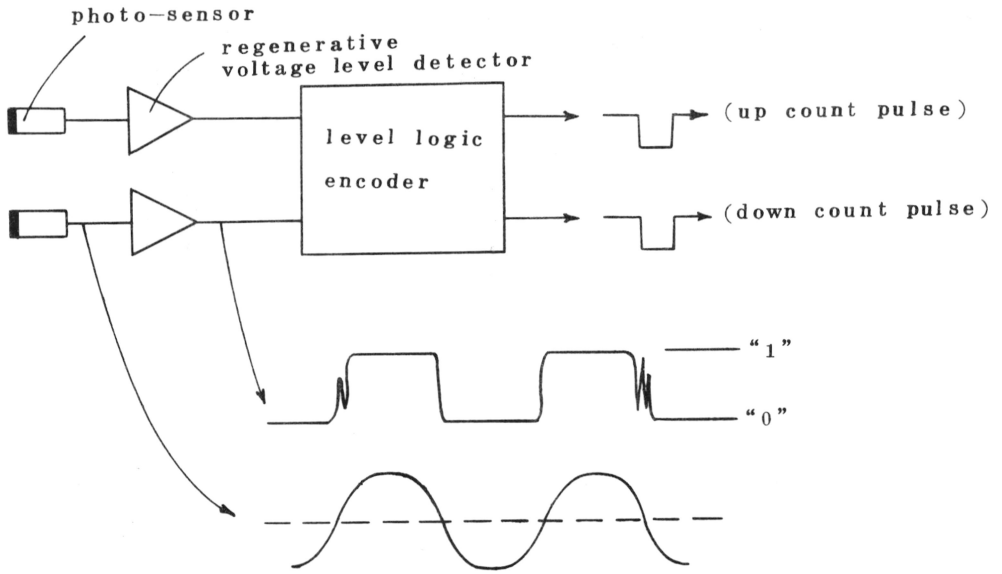
第 7 図

になる。Joystickにより trackingをおこなう場合, inertia, viscous damping, spring centeringの影響を, 人間工学的にしらべた研究はすでにあるが, ボール・コントロールについて, 同様の実験をおこなうことは興味があると思う。

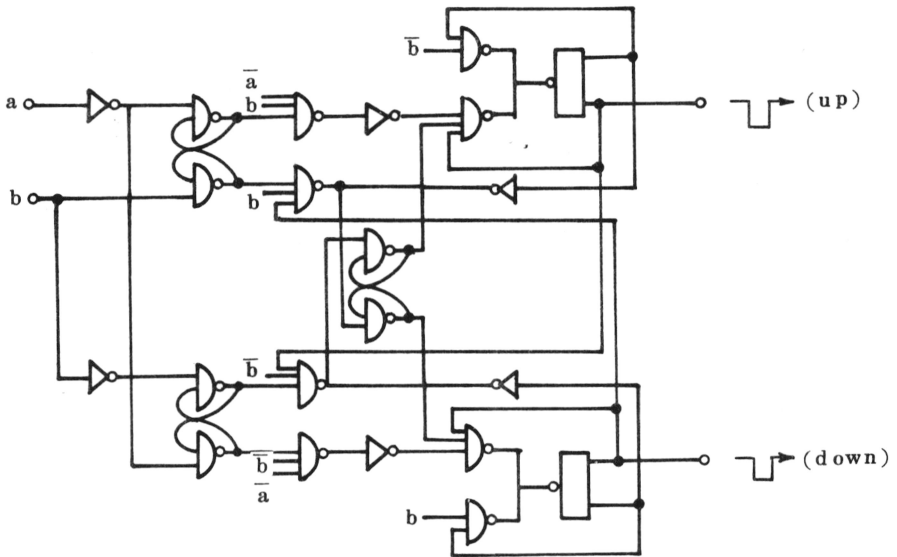
Incremental Shaft Encoder

Incremental shaft encoderはボールの回転のX, Y成分を電気信号としてとるためにもちられるもので, 軸の回転をpulse信号に変換する一種のA/D変換器である。回転速度に比例して, pulse rateが変る出力の他に, 回転の方向を示す信号を出すものである。入力としては第7図に示すような, a, b 2-チャンネルの信号をもちいる場合が多い。設計に際して, 注意すべき点は, 手動によるボールの回転というような準静的で非同期的な入力信号を, 一定時間内にdigital信号に変換するときの, 不確定の起る確率を十分小さくしなければならないことである。そのためにも光電素子の出力信号の増巾には regenerative voltage level detectorをもちい, 信号のvarietyに, ノイズのために生ずるスパイクの頻度を下げ, 又encodingのための論理回路には, asynchronous level logicをもちいている(第8図参照)。これによって, 誤動作の確率は

程度となり, 実用上差支えないことになる。勿論, ボールの回転に対してstopperをもうけ, 完全なspeed-independentなsystemにすることも可能ではあるが, 上の考察からその必要はないと思われる。



第 8 図



第 9 図

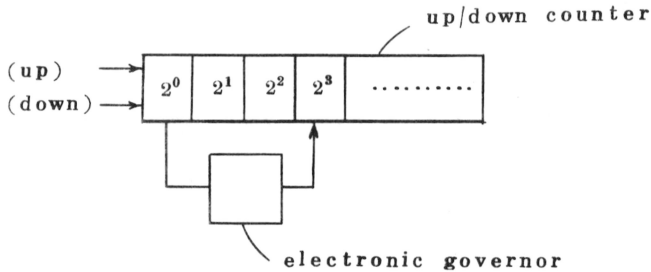
もう一つの shaft encoder を設計する際に注意すべき点は、isotonic control としてのボール・コントロールが、局所的には absolute encoder としてはたかなければならないということである。即ち、指先をボールにのせたまま、任意の位置にボール

を動かし、又もとに戻した時、CRT上のスポットのずれがあまり不自然に感じないようにすることである。それには、ボールとボール・ベアリングの直径の比、encoding cylinderの直径、孔のピッチを適当にする他に、encoding logicもバック・ラッシュが、1サイクル以内におさまるような回路にすることが望ましい。第9図にその回路を示す。

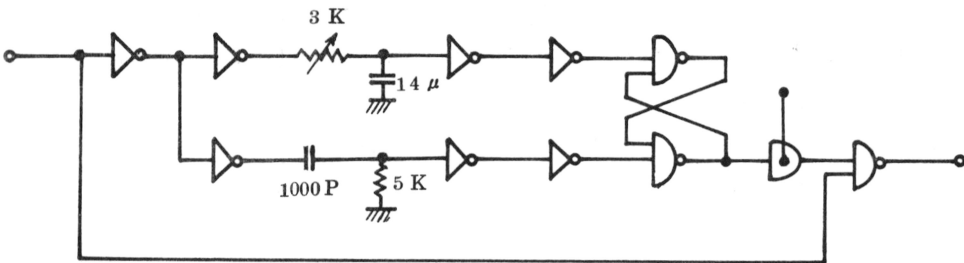
試作の装置では、ボールの直径50mm、ボール・ベアリング、encoding cylinderの直径が30mm、孔の数が37ケで、CRT上のスポットが $40\mu\text{m}\phi$ 、1step当りの移動距離 $15\mu\text{m}$ で、不自然には感じなかった。

Electronic Governor Switch

1 pulse当り15mmの移動でボール一回転当り74パルスのボール・コントロールを使って、 $64 \times 64\text{mm}$ の画面の任意の点にスポットを移動させるには、可成りの努力がいる。そのためにはボールのinertiaも利用するわけであるが、それだけでは不十分なので、第10図に示すように、pulse rateがある値以上になると、count pulseを上位の桁へ入れるような、一種のgovernor switch回路をもうけた。その回路図を第11図に示す。これにより、1つのコントロールで、精度を下げずに、rangeの大きな制御が可能になるわけである。



第 10 図



第 11 図

V 高精度陰極線管

表示装置などに広く利用されているブラウン管の性能を高位置精度，高分解能管に改善する目的で集束，偏向系の改良が行なわれた。

高分解能管でまず問題になるのは，スポットの寸法であろう。螢光スクリーン上に現われるスポットは，集束系によって集束された電子銃のいわゆるクロス・オーバの像であり，集束系をスクリーンへ近づけるほどスポットの寸法は小さくなる。しかし集束系とスクリーンの間に偏向系が存在するためいろいろと制限が生じる。

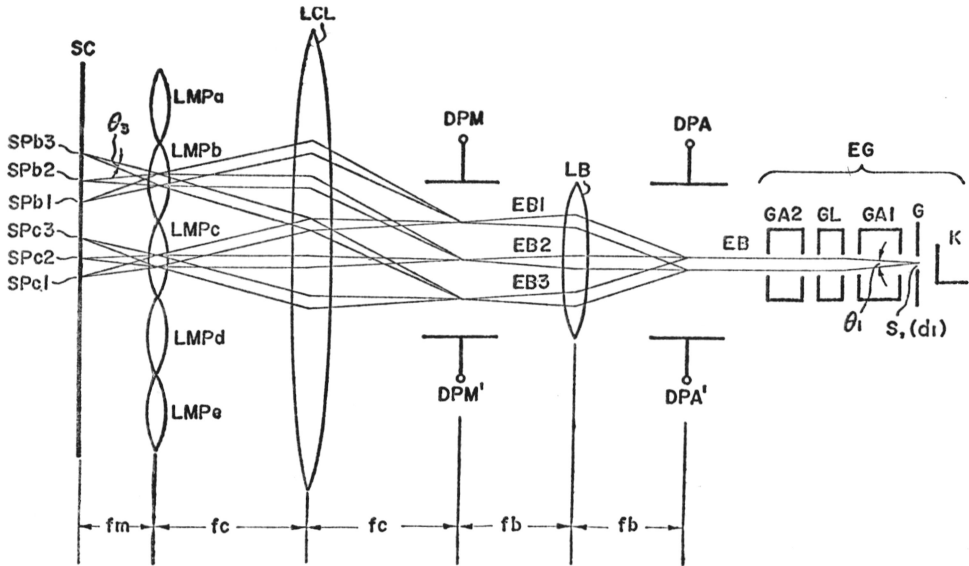
現在市場にあるブラウン管で，高分解能のものほとんどは，偏向系と干渉し合うぎりぎりのところまで集束系をスクリーンへ近づけているが，それでも結像倍率はせいぜい2程度であり，一般にクロス・オーバは拡大されてスクリーンへ現われていることになる。また近づけた場合には，通常の管球と同じスクリーン面積を走査するためには，偏向角度を大きくとらねばならず，したがって偏向力，直線性，**defocusing** の点で問題が生じる。それをさける目的で銃からスクリーンまでの距離を長くすれば，電子ビーム自身の拡りでビームの収差が大きくなる。一般に管の寸法が大きいほどビームが太いのはこの理由による。

一方スポットの位置精度は偏向系電源の精度できまってしまう。もし $1,000 \times 1,000$ の位置精度が必要であれば，安全係数 $K=2$ として X, Y 偏向電源の精度を $\pm 0.05\%$ 以内には保たねばならず，これ以上の精度をしかも再現性よく実現することは技術的にかなり困難になってくる。補助手段として光学格子などを用いたフィード・バックによる位置決めの方法もあるが，応答速度に難点がある。

ところで我々はスクリーンの近傍に短焦点距離の固定した複眼対物電子レンズを形成させ，二重の偏向系を用いてこの短焦点レンズに入射する電子ビームの位置と方向を制御することによって，従来の管球よりもはるかに容易で経済的に高位置精度のえられる高分解能管を開発することができた。

第12図にその原理図を示す。説明の便宜上偏向は一次元の方角だけを考える。LB, LCL, $LMP_a \sim LMP_e$ は電磁場で形成された電子レンズで，光学の凸レンズに相当している。DPM, DPM' およびDPA, DPA' は静電偏向を仮定した場合の偏向板である。LMP_a ~ LMP_e は短焦点レンズ群で，スクリーンの前方にその焦点距離 f_m だけ離しておかれる。LCLはコリメータ・レンズでその焦点距離は f_c であり，このレンズから偏向板DPMの偏向中心までの距離および短焦点レンズ群LMP_a ~ LMP_eまでの距離が共に f_c になるように配置を行なう。またLBは焦点距離 f_b の集束レンズでLBから両偏向板DPMおよびDPAのそれぞれの偏向中心までの距離を共に f_b に保つよう配置する。

いま電子銃から出た電子ビームが平行で偏向板DPAに入射するものとする。DPAで偏向されたビームは偏向電圧によりEB₁, EB₂またはEB₃のように進行方向が変化する。もしDPMに偏向電圧がなければ，短焦点レンズLMP_eを通してスクリーン上に集束され，それぞ



第 12 図

れスポット SP_{c1} , SP_{c2} , SP_{c3} を形成する。このさい偏向板 DPA はレンズ LMP_c への入射位置の移動には寄与せず、入射角度の変化を与えているにすぎない。

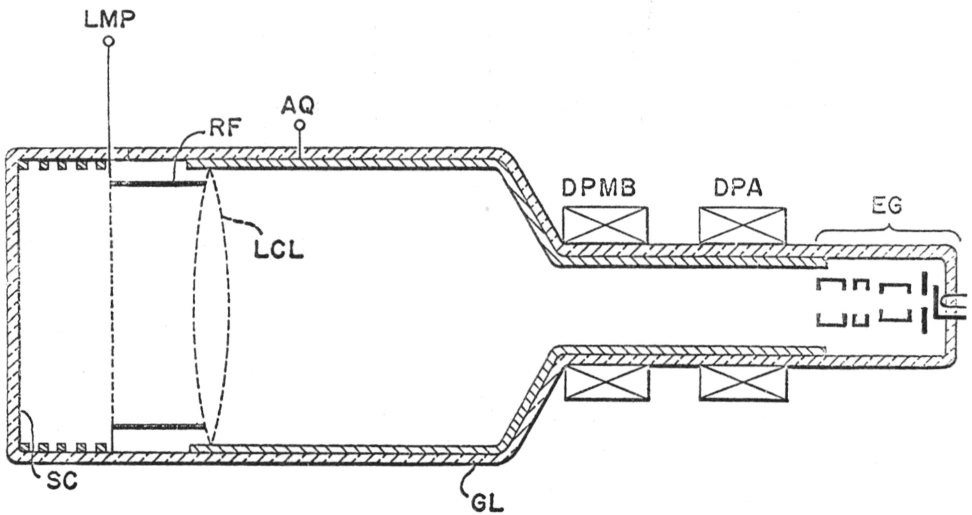
次に偏向板 DPM , DPM' の間に偏向電圧があったときにはビームは LMP_c 以外のレンズ、例えば LMP_b へ入射することになる。この場合にもやはり偏向系 DPA の偏向電圧によってレンズ LMP_b への入射角がきまり、ビームは EB_1 , EB_2 または EB_3 に対応してそれぞれスポット SP_{b1} , SP_{b2} , SP_{b3} へ集束する。レンズ系の配置から、電子ビームが短焦点レンズを通過する位置をきめているのが偏向系 DPM であることは明らかであろう。それ故適当に偏向電圧をかけることによって希望する短焦点レンズへ電子ビームを導くことができる。

電子ビームはスクリーン面直前で短焦点の電子レンズを通過するので、スクリーン面の照射角度 θ_3 が大きく、スクリーン面上で結像するスポットの寸法は通常の集束偏向法と比較していちじるしく小さくなる。

位置精度については、短焦点レンズは位置を固定して使用するので、高い精度で製作することが可能である。またレンズの性質から電子ビームは希望するどれか一つの短焦点レンズに一定の入射角で入りさえすれば、多小レンズの中心からはずれていてもスクリーン上の同じ位置に像を結ぶ。もし入射角が $\Delta\alpha$ ラジアンずれても焦点距離 f_m が短いので、スクリーン上の集束位置のずれ $f_m \Delta\alpha$ は小さく、したがって偏向系 DPM および DPA のそれぞれの偏向精度は通常管にくらべてそれほどきついものにはならない。しかもスポットの位置精度が二つの偏向系に分配されたことによって前例の 1.000×1.000 の位置精度をうるためにわずかに $\pm 100 / K \sqrt{1000} = \pm 1.6\%$ 程度の偏向電源の精度で済むことになり、従来の管球よりも高い位置精度を容易にうることができる。

短焦点のレンズ群に対する電子ビームの入射位置および入射方向を独立にかえる方法として、他に集束レンズLBの代りにもう一組の偏向系DPBをDPMとDPAの間に設けてもよい。またこの場合のDPMとDPBの動作を一組の偏向板で共有することも可能である。この場合にはDPAに方向偏向電圧 V_D を、また共用の偏向板DPMBには位置偏向電圧 V_P から V_D を差引いた電圧を印加すればよい。この方法は構造が簡単であるが、共用偏向板の印加電圧 $V_P - V_D$ の所要精度は約2倍になる。

実際に作成中の5インチの電磁偏向ブラウン管の断面図を第13図に示す。偏向系は上述の共用偏向板の方式で、DPMBとDPAがそれに対応した偏向コイルになっている。共にX、Y両方向に偏向がなされる。



第 13 図

LMPは1.2 mm ϕ の小円孔を2 mm間隔で $32 \times 32 = 1,024$ 個正方向列状にあげた板で、これに円筒電極RFが接着してある。この電極RFを電極AQに対して正電位にとることによって静電的にコリメータ・レンズを形成させる。このレンズの入射点が光軸からかなり離れたところまで有効に使用するためにはRFに印加する電圧とRFの長さを適切に選ぶ必要がある。我々はこうした電子光学系の設計を電子計算機を用いたシミュレーションで行ない、こうしたパラメータを決定した。RFの長さは半径の0.4~1.0倍、電圧はAQの2~3倍にとるのが良い。

けい光面SCはメタルバック形を用い、電極LMP(RF)の電位の9倍の正電圧を印加し、静電的にLMPにあげられている孔に短焦点レンズの効果をもたせると同時に電子の加速を行ない、スクリーンでの輝度をあげる。この後段加速によって、偏向力が小さいまま、スポット寸法の小さい、明るい画像をえることができる。

すでに作成した試作管で実験した結果，2kVの加速電圧で40 μ mのスポット寸法が2,000 \times 2,000の位置精度で得られた．これに後段加速(約18kV)が加われればさらに光点は小さくなるものと期待している．

また静電偏向管についても検討を行ない，現在試作管を製作中である．

最後に高精度ブラウン管の製作にあたり，東芝ブラウン管技術部の方々にいろいろと御配慮をいただいた．ここに改めて感謝の意を表したい．

文 献

- Kelley, C. R. Manual and Automatic Control (1968)
- Hoeschele, D. F. Analog-to-Digital/Digital-to-Analog Conversion Technique (1968)
- Birmingham, H. P. and F. V. Taylor
A design philosophy for man-machine control system. Proc. IRE 1954, 42, 1748-1758.

本 PDF ファイルは 1970 年発行の「第 11 回プログラミング・シンポジウム報告集」をスキャンし、項目ごとに整理して、情報処理学会電子図書館「情報学広場」に掲載するものです。

この出版物は情報処理学会への著作権譲渡がなされていませんが、情報処理学会公式 Web サイトに、下記「過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について」を掲載し、権利者の検索をおこないました。そのうえで同意をいただいたもの、お申し出のなかったものを掲載しています。

https://www.ipsj.or.jp/topics/Past_reports.html

過去のプログラミング・シンポジウム報告集の利用許諾について

情報処理学会発行の出版物著作権は平成 12 年から情報処理学会著作権規程に従い、学会に帰属することになっています。

プログラミング・シンポジウムの報告集は、情報処理学会と設立の事情が異なるため、この改訂がシンポジウム内部で徹底しておらず、情報処理学会の他の出版物が情報学広場 (=情報処理学会電子図書館) で公開されているにも拘らず、古い報告集には公開されていないものが少からずありました。

プログラミング・シンポジウムは昭和 59 年に情報処理学会の一部門になりましたが、それ以前の報告集も含め、この度学会の他の出版物と同様の扱いにしたいと考えます。過去のすべての報告集の論文について、著作権者 (論文を執筆された故人の相続人) を探し出して利用許諾に関する同意を頂くことは困難ですので、一定期間の権利者搜索の努力をしたうえで、著作権者が見つからない場合も論文を情報学広場に掲載させていただきたいと思えます。その後、著作権者が発見され、情報学広場への掲載の継続に同意が得られなかった場合には、当該論文については、掲載を停止致します。

この措置にご意見のある方は、プログラミング・シンポジウムの辻尚史運営委員長 (tsuji@math.s.chiba-u.ac.jp) までお申し出ください。

加えて、著作権者について情報をお持ちの方は事務局まで情報をお寄せくださいますようお願い申し上げます。

期間：2020 年 12 月 18 日 ~ 2021 年 3 月 19 日

掲載日：2020 年 12 月 18 日

プログラミング・シンポジウム委員会

情報処理学会著作権規程

<https://www.ipsj.or.jp/copyright/ronbun/copyright.html>