

CRTと振動平面鏡による 真の三次元ディスプレイ装置

豊島 耕一

1. 原理

コンピュータのグラフィック・ディスプレイとして真の三次元イメージが得られたら、とは誰しもが空想することだろう。特に立体物を仕事の対象とする人、たとえば建築家や、体内のガン組織を正確に狙い撃ちしたいと思う放射線治療医などはこの要求を強くもっているにちがいない。

最近、「スペースグラフ」と呼ばれる製品がアメリカのコンピュータ会社から発表され¹⁾、この夢が現実となった。これは、柔かいプラスチック製の鏡を、凸面-平面-凹面鏡となるように変形振動させ、それによるCRTの虚像が前後に振動することを利用したものである。鏡の変形の度合、つまりその球面鏡としての焦点距離の変化に応じてCRTの画像を次々と変えることにより真の三次元の虚像を得ている。会話的に三次元像を操作できる高速コンピュータを備えており、大変すばらしい装置であるが、サイズが1.5m×2mとやや大きく、また高価なためか日本国内ではまだ使われていないようである。また、三次元像の体積も20×25×30cm³と大きいけれども、操作者から像までの距離が70cm程度とやや遠いし、鏡の中の像なのでそれに直接触ることはできない。

筆者はこれとは独立に、振動する平面鏡と半透明鏡との組合せにより同様に三次元イメージをリアルタイムで表示する装置を製作した。鏡を変形させるのでなく平行振動させるという点以外はスペースグラフと原理は同じであるが、この方式は次の2点において優っている。

1) 像と物体とを空間的に重ねることができる。したがって三次元的ライトペンも可能である。

2) 装置が小型にできる。

また、スペースグラフでは鏡の変形に応じて倍率も変わ

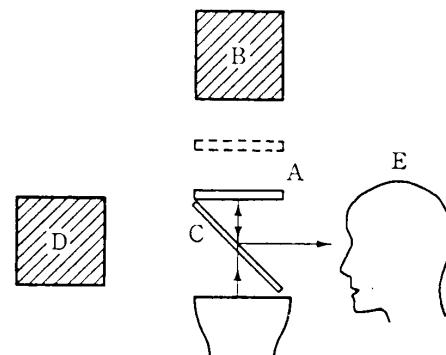


図1 装置の原理

るため、もとのCRT上の画像をこれを打ち消すように補正してやらなければならないが、本方式では無論その必要はない。

図1にこの装置の原理を示す。CRT面に平行に向かい合わせて鏡Aをその面に垂直方向に振動させる。プラウン管面のこの鏡による虚像はBの領域を振動するが、これを中間に45°傾けて置いた半透明鏡CによってDの場所に移してやり、これを右方Eより観察する。プラウン管面の像を振動鏡の位置に応じて変化させる、つまり像の振動方向をZ軸としたとき、各z座標における断面図を次々に表示させることにより、領域Dに任意の三次元像を描くことができる。像のちらつきを感じさせないためには、鏡の振動数は20Hz程度以上あればよい。

この方法の特長は、すでに述べたように、ハーフミラーによる虚像であるため像と像の位置Dに置いた物体とを三次元的に重ね合わせて見られることであり、いわば像に指でさわることができるのである。これは新しい視覚体験といってよいかもしれない。また、振動鏡と半透明鏡は図1の紙面に垂直方向には十分長くできるので、同一の像を広い範囲の異なる角度から、または複数の者が同時に観察できるのである。反面、大きな振幅で速い振動をする鏡というメカニカルなものをもつことはや

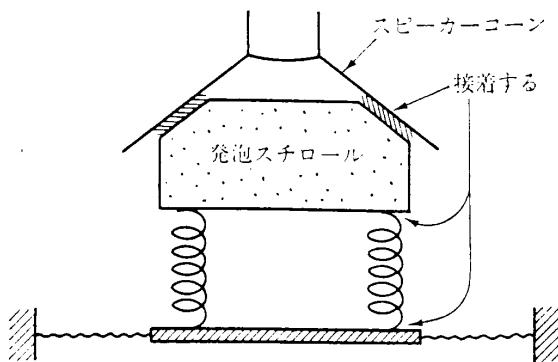


図 2

むを得ない。また、CRT からの光は半透明鏡を 2 度通過するため、見える明るさはもとの 1/4 以下になる。なお、振動鏡を半透明鏡の左に縦に配置することも可能である。ただし、この場合像に「さわれる」ようにするのは難しい。

次に、ディジタル・メモリによって像を得る方法について考えてみる。二次元の場合のビデオディスプレイと同様に、三次元空間の格子点全部にメモリの 1 ビット（または数ビット）を対応させ、これを鏡の往復運動の半サイクルごとに全部読み出すとすれば、大容量のメモリと非常に高速のメモリ読出しを必要とする。たとえば、 256^3 個の格子点に 1 ビットずつ対応させ、1/40 秒ごとに全部を読み出すとすると 16 メガビットが必要であり、しかも 1 ビット読み出すのに 1.5 ns しか許されない。仮にこのようにして混み入った立体像を表示したとしても、この像は「透明」であるため前後の点どうしが重なり合ってきわめて見づらいものになろう。これだけのコストに見合う効果は疑わしい。

もっと経済的な方法は、格子点のうちでプロットする（明るくする）点のみの三次元座標を α 座標の順にメモリに記憶しておく、その x, y 座標の値を CRT の各軸に加えるというようにすればよい。三次元の線画を描くことにすればこれで十分で、メモリは大幅に節約され 1 ドット表示に許される時間も、像の細密さにもよるが数百 ns 程度でも実用的な像が描ける。ここで採用したのはこの方法である。

2. 試作した装置

2.1 振動鏡とその駆動装置

数 cm のストローク、数十 Hz の周波数で振動するメカニズムで身近なものとしては、自動車エンジンのようにクランク軸を使うものがあるが、これはここでの目的のような大きな力を必要としない場合には大げさすぎ、余分な振動も生ずる。そこで機械的な共振を利用する

表 1 ミラードライブ装置の部品

スピーカー	16 cm, 20 W*
バネ	線径 0.8 mm, 卷径 15 mm, 長さ 58 mm, 巻数 16 (ペネ定数 7.6 g/mm) 4 本
ゴムひも	事務用の普通の輪ゴム (オリオンバンド No. 16) を切らずに各 1 個ずつ 4 個使用
ミラー	11 cm × 8 cm, 厚さ 1 mm のアクリル板 にアルミ蒸着

* ストローク 4 cm, 20 Hz ではこの定格一杯のパワーにならるので、もう少し大きいのが良い。

る。図 2 に示すように、厚さ 1 mm のアクリル板にアルミを真空蒸着した鏡と 4 本のコイルバネとで構成されるバネ振り子の縦振動の共振周波数が 20 Hz 程度になるようにし、これを発泡スチロールのブロックを介してオーディオスピーカーで励振させる。しかしこれだけでは大振幅において横ぶれを起こすので、鏡の横方向変位に対するバネ定数を大きくするためゴムひもにより四方から引っぱる。これにより安定で平行度の良い 20 Hz, 4 cm のストロークの振動が得られた。

4 cm のストロークということは三次元像の奥行きは 8 cm になる。鏡の大きさは 8 cm × 11 cm なので、普通のオシロスコープを使うと表示体積 $8 \times 8 \times 10 \text{ cm}^3$ を得ることができる。図 1 からもわかるように、これをきわめて近い距離に作ることができるので十分な実用性をもつであろう。

このミラードライブ装置の部品を表 1 に掲げておく。ゴムひもを金属性のスプリングに換えれば、耐久性のある実用的なものとなろう。

2.2 CRT 表示回路

CRT ドライブ回路の簡略化したブロックダイヤグラムを図 3 に示す。

図形情報は 2 つのメモリに、同じアドレスのデータの組が 1 つの点の x, y 座標であるように記憶しておく。それらのデータは、それを描くべき α 座標の順に並んでいる。アドレスカウンタが 1 つ進むにつれて各メモリに記憶されたデータはそれぞれ DA 変換されて CRT の X 軸、Y 軸に加えられる。これは鏡の位置に応じて出力されなければならないので、発振器の出力を移相器を通じて AD コンバータ、コンパレータ（2 つの入力の大・小関係により 1 か 0 かを出力する回路）に加えて鏡の位置およびそれが上死点や下死点に来たことを知り、それでアドレスカウンタを制御するようしている。

ここで重要なことは、鏡の往復運動の行きと帰りの両方で画像を出すようにすることである。同じ画像を出し

て明るさを増すようにしてもよいし、異なった像を出してその細密化をはかってもよい。ここでは簡単のため前者をとった。そのため鏡の行き／帰りに対応してアドレスも上昇／下降するようになっており、同じミラーの位置では同じデータが outputされる。

メモリ上のデータの形式を図4に示す。 z_i は次に続くデータの z 座標を表わし、 x_{ij} , y_{ij} は各点の x , y 座標である。また⑤は1つの z 座標の断面のデータの終りを示すコード（\$ FEとした）である。鏡が上死点（原点、 $z=0$ ）に達するとアドレスカウンタおよび2個のフリップフロップ（FF）はリセットされ、0番地のデータが出力される。このうちX-メモリのデータ、すなわちプロットすべき点のある最初の z 座標がコンパレータ（デジタル）に加えられており、鏡が z_1 の位置に来るとFF-1がセットされてアドレスが進み次々と x , y 座標データが出力される。FF-1の出力はまたCRTのビームをオンオフするのにも使用する。メモリの出力が断面終了コード（\$ FE）に一致するとFF-1がリセットされ、CRTのビームが消え、クロックによるアドレスカウンタの進行は停止するが、このときアドレスを1だけ進ませて次の z 座標を出力しコンパレータに加えて鏡がこの位置に来るのを待つ。同様のことを繰り返したあと鏡が下死点に達するとFF-2がセットされてアドレスカウンタは下降の方向となり、2つのコンパレータには今度はY-メモリの内容が加えられる。Y-メモリには、図4に示したように z 座標と断面終了コードとがX-メモリとは逆の順序で入れてあり、したがってアドレスカウンタの下降により、上死点から下死点までのプロセスと同様のことが行なわれる。

CRT ドライバ回路の詳細は図5に示している。メモリにマイコンによりデータを書き込むための回路が付加されている。回路はワンショット・マルチ（トリガにより矩形パルスを1つだけ出力する回路）2個によるクロックで同期化されている。 ϕ_1 の幅が 270 ns, ϕ_2 が 120 ns であり、 ϕ_1 によりアドレスをセットし、メモリからの出力データが安定した頃 ϕ_2 によってそれをラッチ SN74100 にロックする。データと断面終了コードとの比較は、ラッチおよびセレクタ SN74157 でのディレ

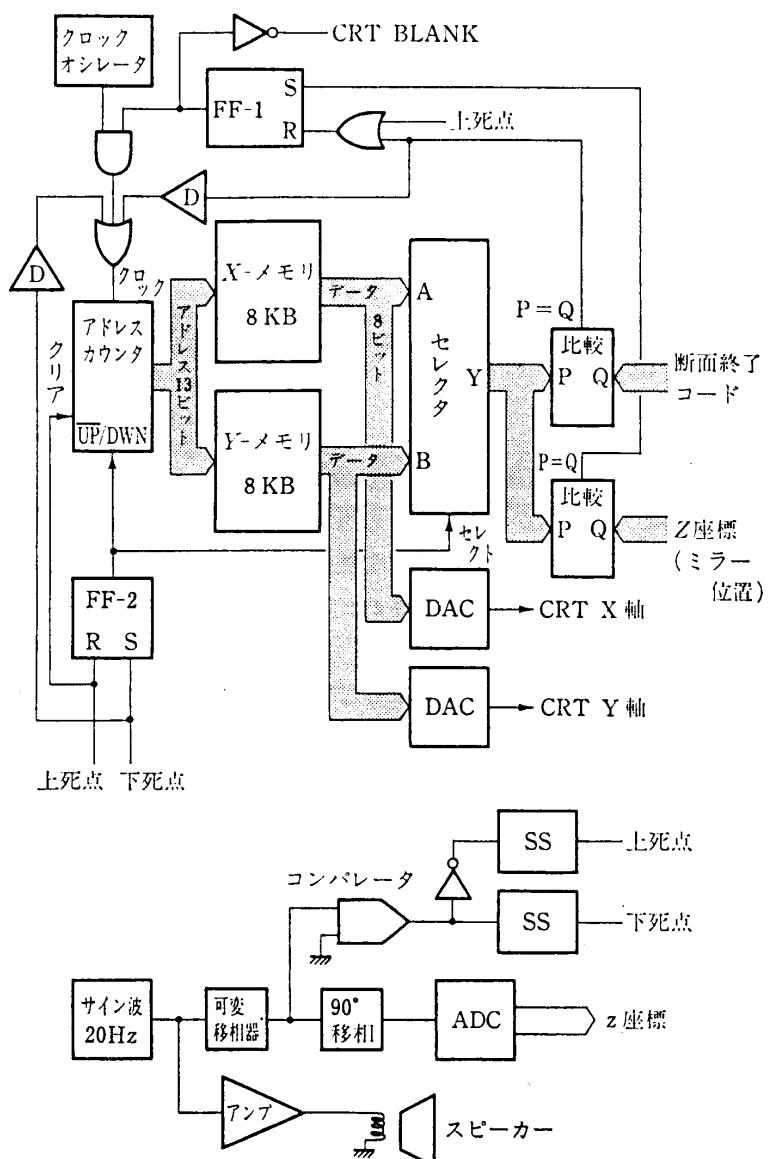


図3 CRT ドライバ回路の簡略化したブロックダイヤグラム

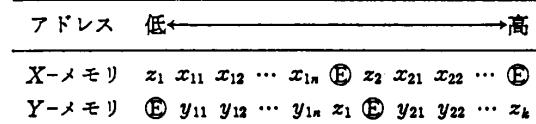


図4 データフォーマット

イを考慮して、 ϕ_2 よりもさらに約 50 ns 遅れた時点で行なう。

データの書き込みに使用したマイコンは、6800を MPU とした日立 MB-6885（ベースックマスター Jr）で、それから見た X-メモリ、Y-メモリのアドレスはそれぞれ \$6000～\$7FFF, \$4000～\$5FFF となっている。マイコン側がこれらのメモリをアクセスしないときは両方のチップともイネイブルされている。

図6には鏡の位置を読み取る AD コンバータの回路を示している。使用した AD コンバータの IC、デバイル 847 は変換時間が 9 μs なので、20 Hz のサイン波の

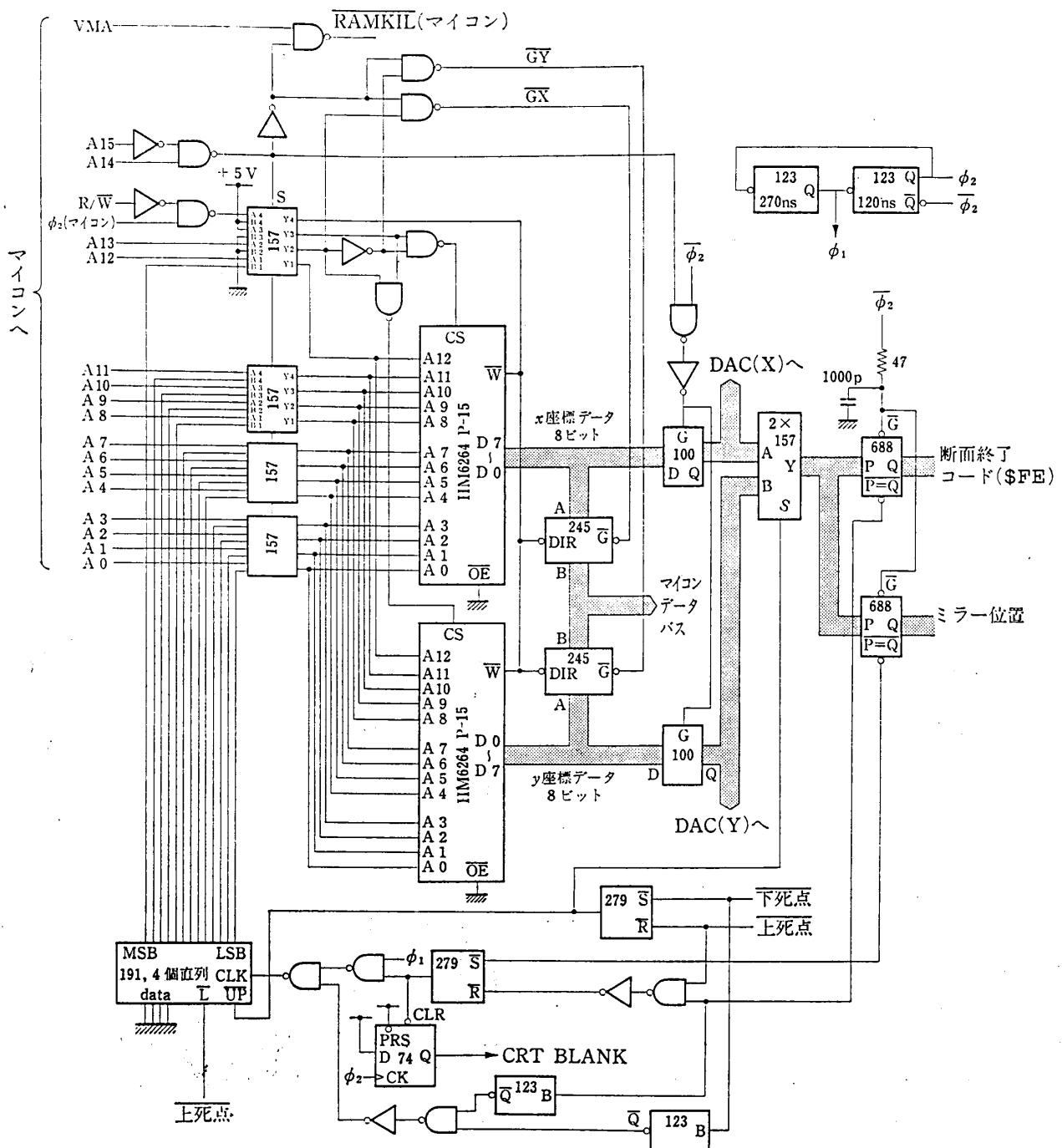


図 5 CRT ドライブ回路、メインボード

ディジタル化はサンプル・ホールド（電圧の瞬時値を読みその値を一定時間保持する回路）なしで十分行なえる。この ADC の制御も CRT ドライブ本体のクロックで同期して行なっている。すなわち、 ϕ_1 の立上がりでデータを読み出してその出力が安定した頃本体のコンバレータ (SN 74688) でメモリのデータとの比較がなされる。そしてこの \overline{RD} パルスの終りのエッジで次の AD 変換を開始するようにしている。図 6 でワンショット・マルチ 4 は、ワンショット 1 のパルスの遅い時期に **BUSY** がハイになる場合の \overline{RD} パルスのトリガを防ぐためである。こうしないと \overline{RD} パルスの立下がりから

データが安定するまで 200 ns 程度必要なので、これが十分安定しないうちに比較が行なわれてしまう恐れがある。

z 座標の決定は鏡の位置を直接測定するのではなく、スピーカーに加える正弦波の位相をずらして ADC に入れているので、スピーカーがきれいな正弦振動をしないと Z 軸方向の直線性が損われたり、鏡の行きと帰りとで像が一致しなかったりする。図 2 の装置ではバネや鏡の重さにより静止状態でのボイスコイルの位置が本来のところからずれてしまうため、歪みを生じる恐れがある。これを避けるためゴムひもをやや上向きに引っぱる

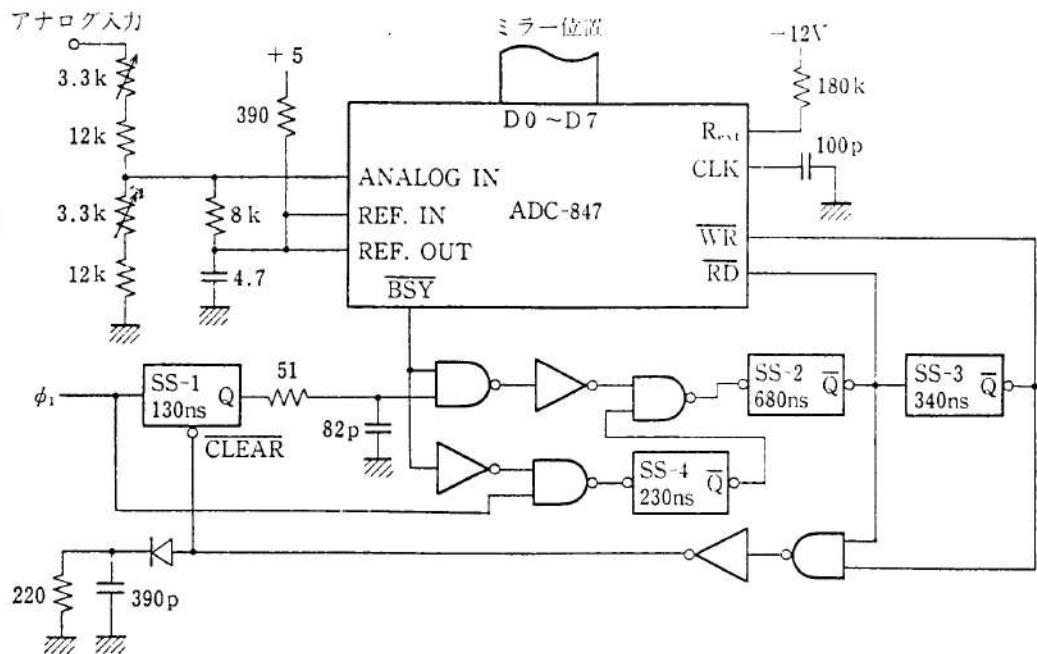


図 6 AD コンバータとそのコントロール

ようにしてそれを戻すようにしている。図 2 の C の部分を弱いバネで少し押し上げてやるようすればもっとよいだろう。

2.3 プロットできる点の数

この装置では x, y, z 各座標とも 8 ビットの精度をもっているので独立な 256^3 個の点を描ける。しかし使用したメモリの読み出し速度によって制限された 2.4 MHz というクロックの速さと、メモリの大きさからくる制限とによって、1 つのフレーム（鏡の 1 往復）において描ける点の数はこの数よりもちろんずっと少ない。前者によって 1 つの z 座標内に描ける点の数が制限されるが、 z 方向の分解能を N 、鏡の振動数を f 、クロック周波数を F とすると、 z 座標の中央付近では、これは

$$\frac{F}{2\pi f N}$$

となる。 $N=256, f=20 \text{ Hz}, F=2.4 \text{ MHz}$ ではこれは約 75 点となり、鏡の行きと帰りとで異なる点を光らせるとしても 150 点である。これをもっと増やしたければメモリを高速化し、CRT もマルチビームのものを用いればよい。

3. 結果および改善すべき点など

この装置によって簡単な家の形の線画を実際に表示したものを見ると図 7 に示す。オシロスコープの上方（の奥）にこの立体图形が見える。振動鏡を横から引っぱるゴムが振動している様子も写っている。このゴムひもは（スプ

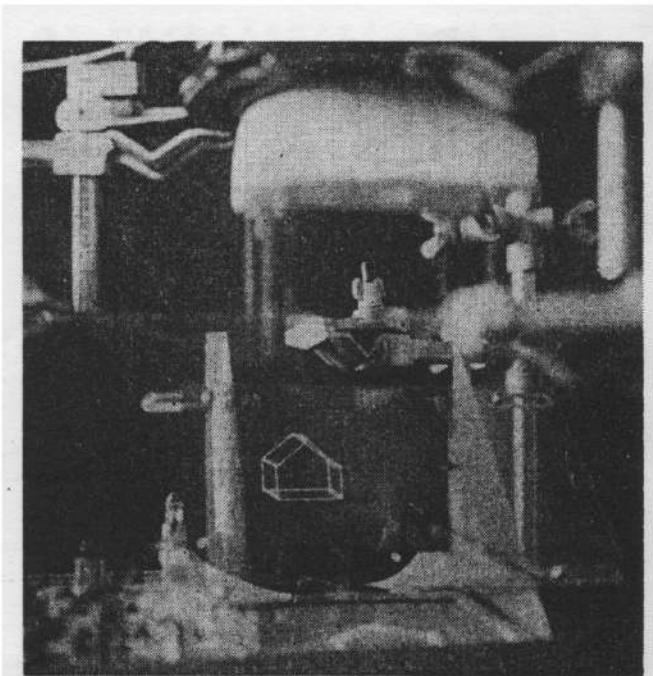


図 7

リングに変えても同じだが）装置の小型化を妨げるし、特にのぞきこむ側につき出したその支持棒のため像に顔を近づけにくくしているので好ましくない。これを解消するには、共振系を構成するバネをコイル状でなく蛇腹状の薄板バネにすればよいと思われる。コイルバネでは横ずれに対するバネ定数がとても小さいのに対して、薄板バネではこれが大きいので、ゴムの支えなしでも横振動に対して十分安定であろうと予想される。

この三次元ディスプレイ装置は、工業化に十分値するものと考えるが、もし高い精度を望まなければだれでも

比較的容易に手づくりすることができる。その際には、スピーカーの中心軸と共振系の軸とをよく合わせることがコツである。そうしないと鏡はきれいな平行振動をせず首振りをしてしまう。小さな首振りでも「光てこ」の原理で像は大きくブレる。特に発泡スチロールのプロックは旋盤加工する必要がある。またオシロスコープは、十分帯域の広いものを（特に水平軸、速いオシロでも水平軸は遅いのが多い）使用する。なお、試作装置では振動鏡が薄いアクリル板であるため大振幅で使用したとき少しづん曲し像に歪みを生ずる。リップを入れるなどして変形に対して強くする必要があろう。

二次元への投影像としてのいわゆる三次元グラフィックの進歩は目ざましく、コンピュータ・アニメーションなどにはまったく見とれてしまう。しかしそれは本当の三次元イメージではない。ここで述べた方法は、振動する鏡を使っているため画面をあまり大きくすることは非現実的だろう。しかし小さな像でもよいかから本当の三次元イメージが欲しいというようなところがあれば、この装置は使いみちを見つけていくだろう。

参考文献

- 1) ヘンリー・S・ストーバー，“3次元画像を作り出すグラフィック端末装置”，日経エレクトロニクス，1981年12月7日号（No. 279）。

（とよしま こういち 佐賀大学）

第17回情報科学若手の会シンポジウムのお知らせ

開催期日：1984年8月9日(木)～11日(土)

開催場所：広島 国民宿舎 宮島ロッジ

定員：40名（先着順）

参加資格：情報科学およびその関連分野で研究・実務に従事している若手研究者・技術者（22～28歳くらいまで）

参加費：13,000円（遠距離の人には、交通費の一部補助を予定）

申込み方法：A4判の用紙に氏名、所属、学年、連絡先、電話番号、発表内容の要旨を記入して送付のこと

申込み締切り：1984年6月末日（必着）

●参加を内諾された先生方は以下のとおりです。

金田悠紀夫（神戸大）、高橋義造（徳島大），
田中 稔（広島大）、和田英一（東大）

（五十音順、敬称略）

申込み・問合せ先：〒724 東広島市西条町下見

広島大学工学部 第2類回路システム

計算機工学研究室内 若手の会事務局（相原）

電話 0824-22-7111（内線 3459）



自然言語処理入門

ハリー・テナント著 森 健一他訳 A5・予価3000円
自然言語による質問応答、機械翻訳、情報検索、マンマシン-インターフェイスの研究が急速に進展しつつある。本書は、意味解析、文脈解析などの豊富な事例研究を含む恰好の入門書。

認知科学の展望

ドナルドA.ノーマン編 佐伯胖監訳 A5・2900円
本書は、米国認知科学会第一回会議における招待講演を収録したもの。新しい認知科学の創設に貢献した計算機科学者、認知心理学者、言語学者、生理学者たちが、認知科学とはどのようなものかを独自の豊かな経験と深い洞察から展望する。

〈コンピューターサイエンス・ライブラリー〉

VLSIコンピュータのCAD

山田 博編 A5・2600円
コンピュータの飛躍的発展の原動力は、半導体技術の向上と、CADにある。本書は、一般に広く知られているVLSIコンピュータの設計、製作に必要なCAD技術を中心に、開発に直接参画した技術者がとりまとめたもの。

Prolog

中島秀之著 A5・1800円
本書は、最近、話題になっている万能言語ともいるべきPrologの入門書。Prologはロジックの式を手続きとして解釈することにより生まれたプログラミング言語で、パターン・マッチング、バックトラック等の機能を備えており、第5世代プロジェクトでも注目されている。

C—言語とプログラミング—

米田信夫編 A5・1900円

デジタル・ハーモニー

—音楽とビジュアル・アートの新しい融合を求めて—

J. ウィットニー著 河原敏文訳 B5変・7500円
本書は、コンピュータ・グラフィックスのパイオニアであるジョン・ウィットニーのライフワークを、彼自身がとりまとめたもの、コンピュータや映像関係者をはじめ、デザイナー、音楽家などのクリエイティブな仕事に携わる人々の必読書。

東京都千代田区飯田橋2-11-3
Tel. 03-261-7821代/ 目録送呈