カラーグラフィックディスプレイ

林 隆 也

(広島大学核融合理論研究センター)

(1985年6月13日受理)

Color Graphic Display

Takaya Hayashi

(Received June 13, 1985)

Abstract

Recently computer graphics technology is developing rapidly. In the field of the fusion plasma physics, too, this technology is useful to analyze and clearly show complicated three dimensional processes. In this report, hardware configuration of a color graphic display is summarized.

1. はじめに

コンピュータで図形を処理するコンピュータ・グラフィックスの利用分野がここ2, 3年で急速に広まりつつある。その一つの原因は、グラフィックディスプレイのモニターや、その内部で使われるメモリーの価格が下がってきたからである。また、製造業の分野においてその生産性を向上させるためのCAD/CAMや、OA、アニメーション等の武器として、不可欠な技術になりつつあるからである。さらに、人間がコンピュータと対話するとき、数字だけ使うよりも図形、それも色のついた図形を用いる方がはるかに理解しやすいのは言うまでもない。

プラズマ・核融合の分野においても、3次元的な解析の必要性和コンピュータの進歩により本格的な3次元シミュレーションが行われだした。複雑な3次元的現象の全体像を把握するのに、その2次元断面だけを見ていたのでは理解はとうていおぼつかない。そこで、現在急速に発展しつつあるコンピュータ・グラフィックスの技術を利用しようとするのは当然のなりゆきである。また、この分野は身近にスーパーコンピュータを持っており、コンピュータグラフィックス技術のサイエンスへの応用という観点から考えるとき、全く

新しい表示技術を開発する機会を与えている。

この報告では、グラフィックディスプレイ装置についてその機能の説明をおこなう。ユーザーの立場からの解説であり、導入時の参考にしていただければ幸いである。

グラフィックディスプレイの使い方について最近では随分と多様化して、パソコンを主体としたものやワークステーション形式のものもある。ここでは大型計算機のグラフィック端末として使用するものを考える。

まぎらわしい言葉に、画像処理とコンピュータグラフィックスがある。画像処理とは、リモートセンシングなどにおけるようにカメラ等から入力した画像データについて処理を施して、別の画像を生成することである。すなわち画像を入力して画像を出力する。コンピュータグラフィックスの場合は、入力するのは磁場の強度分布データであったり、物体の色や反射率であったり、多角形的位置データであったり、画像ではなく何かの数値データである。すなわち、(数値)データを入力して画像を生成するのがコンピュータグラフィックスである。ここで対象としているのは、このコンピュータグラフィックス用のディスプレイである。以下に説明するように、従来はホストコンピュータの方でおこなっていた図形生成のための計算のかなりの部分がディスプレイ装置の側でおこなえるようになってきている。

カラーグラフィックディスプレイの業界は揺籃期にあって淘汰が進んでおらず、国内外あわせて20～30社がひしめいている。競争の最も熾烈な業界の一つである。米国のメーカーが先行していたようであるが、ここ2～3年の国産メーカーの進歩はめざましい。年々格段に進歩した新製品が登場するため、導入のための機種選定には悩まされる。メーカーによってはカタログ性能が十分出していないまま製品発表することもあるようなので注意を要する。また、カタログの「できます」に間違いはないのであるが、実際には処理速度が遅すぎて使いものにならない機能も時々ある。

価格は数十万円から数千万円まで種々あるが、ここでは1台400万円～1千万円程度の中・高級機種を対象に考える。

2. 3次元指向型と色彩指向型

中・高級機種では流れが2つある。1つは対話的3次元図形表示機能の充実を指向したもの、1つは豊富な色彩(自然色、すなわち同時表現1670万色)を指向したものである。

勝手な命名であるが、ここでは前者を3次元指向型、後者を色彩指向型と呼ぶことにする。機種選定に当たっては、どちらの機能を優先するかをまずはっきりしておく必要がある。

勿論、より高い価格帯には両者を兼ね備えた製品もある。また、より低い価格帯には数色～256色程度の2次元グラフィックディスプレイが対応する。ここで「2次元」、「3次元」という言葉は次の意味で用いている。一般に立体的物体を画面に表示するためには、物体の位置をあらゆる座標値のある面に投影して、その面上の2次元的図形データに変換しなければならない。この計算処理をホストでおこない、結果の2次元面上座標値を受け取って表示するのが2次元ディスプレイである。一方、もとの立体の位置を

3次元座標値のまま受け取り、ディスプレイ内部のプロセッサによるローカルな投影処理によって画面表示する機能を備えているのが3次元ディスプレイである。ふつう3次元ディスプレイは2次元ディスプレイの機能を兼ねている。

2.1 3次元指向型ディスプレイ

3次元指向型ディスプレイはここ数年次々と新製品が登場しており、後述するような豊富な対話的3次元処理機能を持ち、かつ4096色同時表現が可能な製品があらわれている。当分はますます進化が続くものと思われる、最近のグラフィックディスプレイの主流となっている。次節にてディスプレイの方式の分類をおこなうが、3次元指向型ディスプレイについてはその中の3次元ラスタ型ディスプレイの項目において兼ねて説明する。なお、ランダムスキャン型ディスプレイと呼ばれるタイプもふつう対話的3次元機能を備えており、高精度な表示が可能である。しかし高価なために現状では用途が限定されている。

2.2 色彩指向型ディスプレイ

色彩指向型ディスプレイは画像処理用ディスプレイから派生しており、色の微細な濃淡表現を駆使した極めてリアルな画像の表示をめざしている。また、2次元ディスプレイであることを前提としている。ホストコンピュータからディスプレイへ送るデータは、画素(ピクセルと呼ぶ)毎のカラー濃淡情報(通常24ビット/ピクセル)を直接受け渡す形式を用いるのが主たる使い方である。他のディスプレイにおけるようなコマンド形式による図形データの転送は、このタイプのディスプレイでは副次的な扱いをされているようである。したがって、例えばレイトレーシングアルゴリズムなどによって、ホストの方で1画面分のピクセル毎の色を完全に計算してしまい、その結果のデータをすべてディスプレイに送ることになる。この転送データ量が膨大であるため、色彩指向型ディスプレイの場合、ホストとの接続が高速であることが決定的に重要である。1画面1024×1024ピクセルとするとデータ量は24Mビット/1画面である。これを例えば9600bpsのRS232Cモデム接続をすると、1画面分送るのに少くとも約40分かかってしまうのである。したがってホストが大型計算機の場合にはチャンネル直結(または同等速度の接続)でつなぐことが必然となる。2Mbpsでつなぐとすると、上記の場合1画面当り12秒ということになる。

もっとも、このタイプのディスプレイの用途としては線画ではなく面画の表示を想定しているわけであり、面画の場合には線画に比べて画面分解能はさほど重要ではなく、そのため512×512ピクセル程度の画面でもかなりデリケートなものを美しく表現することができる。この場合には転送すべきデータ量は上記のものより1/4に減るが、いずれにしても高速でホストと接続しなければならないことに変わりはない。ところで、ここで述べたような大型計算機とチャンネル直結による接続を標準サポートしているグラフィックディスプレイ製品は非常に数少ない(報告者の知っている範囲では1メーカーだけである)。米国におけるこれまでのコンピュータグラフィックスの研究は、DEC社のミニコンピュータVAXシリーズを中心にシステム構成されることが多かったらしい。このような歴史的経過から、色彩指向型に限らずグラフィックディスプレイの市場ではVAXをホストとする接続が多く、ほとんどのディスプレイメーカーは高速接続と言えばVAXのユニバスとの接続を第一に考えている。我々としては大型計算機との高速接続がもっと普及することを望みたいと

ころである。

色彩指向型ディスプレイには、ラスタースキャン方式ディスプレイ（次節にて説明する）が用いられる。

3. ディスプレイ方式

現在存在するグラフィックディスプレイはランダムスキャン方式、ストレージ方式、ラスタースキャン方式の3つの方式に分類することができる。これらのうちラスタースキャン方式が今後主流になると考えられるので特にくわしく解説する。

3.1 ランダムスキャン方式ディスプレイ

ランダムスキャン方式ディスプレイは線画（ワイヤフレーム画像と称する）の表示を目的としている。ホストからのディスプレイコマンド群は一旦リフレッシュバッファというメモリに格納される。このコマンド群の内容は表示すべき線画ベクトルの始点、終点の集まりである。リフレッシュコントローラというプロセッサがこのコマンド群を1つずつ取り出して解釈し、画面上につぎつぎと表示する。図形を画面上で静止させておくためにこの表示を1秒間に30回以上繰り返す。この方式では、表示すべき図形要素があまりにも多くなるとこの繰り返し回数が保証されなくなって、画面にちらつきが生じることになる。これをフリッカと呼んでいる。表示の精度は高く、画面上のアドレスサブルポイントの数が 8192×8192 でも可能である。また、斜め線を描いても aliasing というギザギザ現象が全くないという長所をもっている。部分消去は、消去したいディスプレイコマンドを削除あるいはスキップすることにより簡単に実現できる。さらに、30回/秒のリフレッシュをおこなっているため、動的表示が非常に得意である。欠点は、表現色が多くない（1800色の製品があるが高価なためモノクロで使うことが多い）、塗りつぶしができない、高価であることなどである。すなわち、一言で言うと動的な高精度線画は得意だが面画は不得意な高価なディスプレイである。

報告者の経験では、磁力線などを追跡してこの方式のディスプレイに表示してみると、一本一本非常に精細に表現することができてたいへん美しく、幻想的ですらある。また対話型3次元機能を備えている場合が多く、かなり複雑な磁力線構造をスムーズに回転、拡大などすることができる。

3.2 ストレージ方式ディスプレイ

ストレージ方式ディスプレイはランダムスキャン方式ディスプレイのリフレッシュバッファメモリのかわりにテクトロ社が開発した残光特性の長い画面を用いたものである。画面の消去は特別な電気信号により行う。メモリがいらないために表示要素数に制限がなく、フリッカが全くなく、かつ安価であるという長所をもつ。表示精度はランダムスキャン方式ディスプレイと同様に高い。欠点は部分消去が出来ないことのみ、表現可能色がわずか1色か2色であることである。

3.3 ラスタースキャン方式ディスプレイ

図1にラスタースキャン方式ディスプレイの基本構成を示す。この基本部分は、2次元、3次元ディスプレイに共通である。この型のディスプレイは、単なるディスプレイというよりも、それ自体が大容量のメモ

図1. ラスタースキャン方式ディスプレイ基本構成

りを伴ったCRT付小型計算機と呼んだほうがふさわしい。中心となるのはフレームメモリと呼ばれる半導体RAMメモリである。その前後段に、図形を生成してこのメモリに図形データを書き込むプロセッサ部と、このメモリを読み出してCRT上に表示するプロセッサ部がつく。プロセッサとしては16ビットマイクロプロセッサやカスタムLSIが用いられる。

(a) フレームメモリ

フレームメモリは、基本的にはCRTの分解能と同じだけのピクセルをもつメモリである。すなわち、この方式のディスプレイはCRT画面と同じ内容の図形データを図形としていったんメモリー上に作り出すわけである。内容の一部または全部ぬりかえにより、部分消去や動画も可能となっている。カラー表示をするためには、同時に表示する色の数を満たすだけのビット数が各ピクセルごとに必要である。例えば、赤、青、緑それぞれ256段階(8ビットずつ)の色を表現するには1ピクセル当たり $8 \times 3 = 24$ ビットとなる。この場合、もし解像度が 1024×1024 とすると、先程も述べたように実に $1024 \times 1024 \times 24$ (ビット) = 3Mバイトのメモリをフレームメモリとして使用している。すなわち最新の256K・RAMチップを使っても約100個必要となる。これは二昔前の大型計算機の主記憶容量にも匹敵するぐらいの量であり、256K・RAMメモリチップなどの大量生産が、こういう所で活かされているわけである。この例では同時表現可能色が $2^{24} = 1670$ 万色となる。ピクセル毎のビット数を減らしてフレームメモリを節約し、しかも扱える色を維持する手段として、カラーlookupアップテーブルの使用がある。このカラーlookupアップテーブルは外部から内容の書き換えが可能なメモリで、フレームメモリの内容はこのテーブルの入力インデックスとみなされる。テーブルの内容に従ってインデックスを対応する色に変換する。テーブルの1インデックスあたりのビット長が最大表示色数を決める。たとえばフレームメモリが1ピクセル毎に8ビットでカラーテーブルが $2^8 = 256$ のインデックスを持ち、インデックス毎に13ビットであるとすれば、8192色から同時に256色を表示できることになる。テーブルはRAMであり、この内容を書き換えると瞬時に画面の色が変わることになる。カタログではこの最大表示色数の多さが強調されていることが多い。しかし実際の使用にあたっては同時に表示できる色がどれだけあるかが重要であり、同時に表示できない色が何色あってもあまり有難味を感じないことが多い。

(b) 図形表示部

表示プロセッサはフレームメモリから1ピクセル毎のカラー情報を次々と取り出し、カラーlookupテーブルの変換を施したデジタル情報をアナログ信号にD/A変換してRGB(赤緑青)ビデオ信号としてCRTに送る。このような処理を1画面分の全ピクセルに対して1秒間に30回もしくは60回繰り返す。30回のリフレッシュレートの場合にはCRT画面を上から順にスキャンしていくとフリッカがめだってしまう。これを防ぐため、スキャンを1つおきにおこなう方式すなわちインタレース方式が採られている。最近では60回のリフレッシュレートのものが普及し始めており、この場合にはノンインタレース方式となっている。

先程の例で 1024×1024 ピクセルのフレームメモリで1ピクセル24ビットの場合、3Mバイトの容量となる。これを1秒間に例えば30回読み出すには、720Mビット/秒、すなわち1.4 ns/ビットの読み出し速度が必要なわけである。この速さは通常のRAMメモリーのサイクル時間よりも2ケタぐらい速い。さらにまた、フレームメモリには読み出しだけでなく図形情報を書きこむためのアクセス時間も確保しておかなければならない。各メーカーは複数のチップに同時アクセスして見掛けの読み出しアクセス速度を高めたり、書き込みバッファをもうけるなどの様々な工夫をしてフリッカのない画面表示を実現している。

ラスタースキャン方式の場合、リフレッシュ毎に毎回フレームメモリの全内容を表示するという意味では、表示データ量は毎回同じである。この意味で、ランダムスキャン方式ディスプレイの場合と異なり表示図形量に制限はない。

部分消去と動画については、その過程がランダムスキャン方式ディスプレイとかなり異なる。ラスタースキャン方式の部分消去は背景の色でもう一度同じ図形を書くという操作によって実現される。一方ランダムスキャン方式の場合は、単にリフレッシュバッファから対象となるコマンドを取り去れば良い。このため、ランダムスキャン方式の部分消去はそれを実行しても他の図形に全く影響を与えない。しかしラスタースキャン方式の場合は他の図形の一部を消去してしまう可能性がある。したがってラスタースキャン方式の場合、ランダムスキャン方式のような滑らかな動画を得るには非常に高速な処理を必要とし、一般には無理である。

(c) 図形生成部

図形生成プロセッサ部の基本部分はDDA(Digital Differential Analyzer)と呼ばれるプロセッサである。DDAは始点、終点の座標値で与えられたベクトル情報を入力し、その線分上にあるピクセルの点列にカラー情報を与えてフレームメモリー上に実際の図形を書き込む処理をおこなう。ラスタ型グラフィックディスプレイの欠点の1つに、CRT画面上に表示される斜め線がギザギザになる、いわゆるエイリアシング(aliasing)の現象がある。DDAの処理機能の一つには、このようなギザギザが極力目立たないように斜め線上のピクセルの輝度を適当に調節する(anti-aliasing)処理も含まれている。また線分生成を繰り返すことにより、あるポリゴン(多角形)領域内を塗りつぶすことができる。ラスタースキャン方式の基本性能の一つはこのDDAの速度により決まる。現在のラスタースキャン方式ディスプレイの描画速度は1ピクセル当たり数十～数百ナノ秒である。

さらにDDAの前には、セグメントメモリと称するメモリや、ホストとの信号のやりとりの制御およびホス

トからのコマンドの解釈をおこなうための制御用プロセッサがついている。セグメントメモリーは、図形表示のためのベクトル情報を記述したホストからのディスプレイコマンドをいったん格納するためのRAMメモリーである。このようにしてホストからベクトル情報をディスプレイコマンド形式で受け取り、図形に変換してCRTに表示をおこなっている。

なお、色彩指向型ディスプレイなどのようにホストからコマンド形式ではなくピクセル毎のカラーデータを直接受け取る場合には、このDDA（及びその前の処理部分）をバイパスして直接フレームメモリにデータを書きこむことになる。メーカーによってはこのようなバイパスが出来ず、したがってコマンド形式しか受けつけないこともあるので注意を要する。

3.4 3次元ラスタースキャン型ディスプレイ

3次元ラスタースキャン型ディスプレイは図1の基本構成に加えて、図2に示すように3次元的処理をおこなうプロセッサが加わる。また、セグメントメモリの容量が強化されている（256k～10Mバイト）。

セグメントメモリに蓄える立体物体の位置データの座標は3次元のままである。画面表示のための2次元面（スクリーン面と称する）への投影計算は3次元処理プロセッサがおこなう。この際、物体や視点の位置、方向は対話的に入力装置から指示することができる。この入力装置にはジョイスティックなどが用いられる。この対話操作によって、表示図形の回転、平行移動や拡大縮小をリアルタイムでおこなうことができる。3次元処理プロセッサはこのような座標変換計算の他、クリッピング処理をおこなう。クリッピングとは図形を定義した空間の一部を切り取って表示する際、はみ出て見えない不要部分を切り捨てる処理のことである。スクリーン面への投影には平行投影または透視投影がよく用いられる。透視投影の方が計算量が多い。製品によっては透視投影をおこなうと非常に長い処理時間を要するため、対話の応答性が悪くなる例もある。

セグメントメモリに蓄える図形データは基本的には次の三階層構造になっている。最下位レベルは直線群や多角形、円などでこれをプリミティブと称する。これらが集まった単位をセグメントと称し、回転や拡大などの対象となる。さらにセグメントが集まった単位をクラスと称し、クラス単位での回転、拡大も可能である。また、さらに複雑な多階層構造のセグメントを取り扱える製品もある。立体物体の形態をいかに表現するかをモデリングと言うが、これには2つの考え方がある。1つは形態を厚みのない板として考える方向、

図2. 3次元ラスタースキャン方式ディスプレイ構成

1 つはマスとしてとらえる方向である。前者をサーフェイスモデルと言い、ポリゴン（多角形）から成る多数のプリミティブをはり合わせて物体の表面形状を表現する。後者を（狭い意味での）ソリッドモデルと言い、プリミティブ自身が直方体や円柱などの立体形状をしている。そしてその and と or で形態を表現する。ソリッドモデルを扱える製品はまだ価格が高い。

ここで考えている価格帯の製品について、ほんの 3～4 年前にはリアルタイム 3 次元的線画処理のできることが話題になったのであるが、最近ではリアルタイムで 3 次元隠面処理のできることが常識になりつつある。隠面処理は図 2 に示すような Z バッファ（またデプスバッファ）と呼ばれるメモリの使用により実現されている。このメモリは、フレームメモリと同量のピクセル数で Z 方向（奥行）に 1 ピクセル当たりふつう 10～16 ビットの容量である。その内容は Z 値（奥行データ）である。フレームメモリに書き込むときに、1 ピクセルごとにそれまでの Z バッファの内容と書き込むデータの Z 値を比較して、もし書き込むデータの方が視点に近ければ、フレームメモリへの書き込みと Z バッファの更新を行う。この方法は大容量のメモリを必要とするが、アルゴリズムが単純でありハードウェアで高速処理が可能である。

立体図形の面に滑らかな陰影を自動的に付けるため、シェーディング機能の備わっている製品が多い。これは基本的にはポリゴンの各頂点の輝度をポリゴン面上で補間する処理である。Constant Shading, Gouraud Shading, Phong Shading などの種類があり、この順に次々に滑らかになるが計算量も増す。

その他最近の製品はマルチビュー、半透明表示、ワイヤーフレーム画像のデプスキューイング、3 次元カーソル、断面表示などの機能を備えるようになっている。デプスキューイングとは、奥行方向に濃淡をつけて遠近感を出す機能である。

いろいろな機能が増えるということは処理量が増えるということである。使い勝手の観点からは、機能の増大に見合って処理速度が向上していることが重要なポイントである。現状では、少し複雑な物体を表示すると、例えば隠面処理やシェーディングなどは対話処理の場合の応答の遅さが目立つ。

TSS でホストとつなぎ、かつ 3 次元対話機能を使いながらデータ解析をおこなうという使用形態の場合、処理速度のネックとなるのは次の 4 ケ所である。つまりホストの計算時間、ホストからグラフィックスディスプレイへのデータ転送時間、3 次元処理プロセッサの処理時間、そして DDA の時間である。ディスプレイの性能を決めているのは後ろの 3 項目である。導入にあたってはこれらの間のバランスを考えることが重要である。コマンド形式データの場合でもデータ転送時間は重要なポイントであり、これまでの経験では 2400 や 4800 bps の接続では待ち時間が長くてかなりいらいる。

4. その他

その他気の付いたことをいくつか記す。

1. ユーザーの書くアプリケーションプログラムの図形命令をコマンド形式になおしてディスプレイに渡すため、カーネルおよびドライバがメーカーから提供される。これらは一種のプログラムであってホストコ

ンピュータに置かれ、アプリケーションプログラムからのサブルーチンコールによって使用する。逆に言うと、アプリケーションプログラムはカーネルのサブルーチン仕様にあわせて作らねばならない。ここで問題となるのは、カーネル仕様は各メーカーが勝手に独自に定義していることである。したがって異なるメーカーのディスプレイを導入すると、ディスプレイ毎にアプリケーションプログラムを修正するか、変換するためのプログラムを別に作る必要が生じる。我々にとってこれはかなりの負担となっている。

カーネル仕様の国際的標準化を目的として、COREおよびGKSが提案されている。これまではCOREの方が優勢であったようで、事実メーカー提供のカーネルはCORE準拠のものが多かった。ところが最近流れが変わり、GKSが世界の標準になりつつある。GKSは3次元仕様がまだ固まっていないなど話は流動的で、ユーザーは混迷状態である。

2. グラフィックディスプレイは競争の激しい業界で、ベンチャービジネスのメーカーが多く、2～3年後には情勢がどうなっているかわからないほどである。導入に当ってはメーカーの浮沈も読まねばならない。

3. 良い使い勝手のためにはディスプレイの処理速度が極めて重要であるが、カタログ上の性能の比較はなかなかやりにくい。例えば「描画速度ショートベクトル10万本/秒」とあっても、「ショートベクトル」の長さ・向き の定義や、座標変換だけかDDAも含むかなどがはっきりしない。

参 考 文 献

- 1) J. D. Foley and A. Van Dam : *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, Addison-Wesley, 1982.
- 2) グラフィックガイド「PIXEL」誌別冊 No. 4 図形処理情報センター, 1984.
- 3) コンピュータグラフィックス「日経コンピュータ」誌別冊 日経マグローヒル社, 1983.
- 4) 「PIXEL」誌各号 図形処理情報センター
- 5) W. M. Newman and R. F. Sproull : *Principles of Interactive Computer Graphics* (2nd edition), McGraw-Hill, 1979.