

解説



コンピュータグラフィックス用入出力装置†

井越昌紀†

1. はじめに

コンピュータグラフィックス (CG) の入出力装置は、コンピュータ内部の図形を含む形状・画像データを人に理解できる「陽」な形状・画像として表示して見せる手段である出力装置と、形状・画像データを生成・変更するために、外部の情報を取り込むための入力装置とに分けられる。CG の扱うコンピュータ内部データは、直線、円、曲面といった幾何形状を始めとする抽象化されたデータである形状モデルと、画素あるいはピクセルと呼ばれる画像データである。

CG で扱う対象の存在する空間の次元は、2次元、および3次元である。図面やペインティングなどは基本的に2次元である。3次元形状の表示は、光の物理的性質や経験から養成される心理や知識を利用することにより、2次元表示装置に3次元の形状を表示し、3次元形状であると認識することができる。しかし、3次元形状は、3次元を知覚する人間の生理をできるだけ利用することが、自然で間違いの少ない認識につながる。ここでは、3次元形状を両眼で見ることのできる3次元映像の表示装置についても扱う。

入力装置は位置座標の取り込みだけでなく、操作をしている人の関心がどこにあるかを、表示装置にフィードバックして確認するための処理や、実世界から画像を取り込み、画像処理を行ってコンピュータ内部のモデルに至る処理まで行う装置、出力装置は内部のモデルから画像データに変換し、表示に至るまでの処理を行う装置を指す場合が多い。しかし、本論では主として、出力装置は画像データから表示まで、入力装置は実世界から位置や画像データを得るまでに限定し、モデルと入力指示点や画像データの間にある各種変換処理までは含まない入出力機器に焦点を当てて解説する。

2. CG 用入出力装置

CG 用入出力装置は利用分野によって、対話手法、要求処理速度、保存可否性、要求画質などが異なる。単独の技術としてはいずれもかなりの水準に達しているが、実際に使われるためには、それぞれの分野に最も適した機能の組み合わせとなり、すべての要求を同時に満足する機器や装置は存在しない。

2.1 出力装置

出力装置は出力機器と制御部からなる。出力機器は、画像を容易に画いたり消したりできる対話的な利用を目的としたソフトコピーである表示装置と、シートの上に画かれ一種の製品とみなされるハードコピーとに分けられる。

ソフトコピー機器としては、CRT (Cathode Ray Tube) が広く用いられているが、しばらくはその優位性は崩れそうもない。これは、表示機器としての必要条件である画質、表示速度、カラー表示能力、中間色表示、表示面積、コストなどで総合的にバランスが取れているからである。

これに対して、液晶 (LCD) などのフラットパネルディスプレイ機器の機能向上による追い上げが目覚ましい。パーソナルコンピュータ (パソコン)、ワードプロセッサ (ワープロ) に代表されるように、装置が徐々に個人指向で軽薄短小化しつつある中で、CRT では実現が難しい利用分野が広がっているが、これらに広範囲に利用されてきている。

逆に、多くの人が参加する会議や、自動車などの製品開発、あるいは、建築物の設計などでは大画面表示が望まれる。このような要求に対しては投写型表示機器が種々製品化されてきている。

通常のCG用表示装置は、一つの画面に単眼で見る画像を表示して両眼で見る単眼視表示装置である。画像は、プリント基盤 (PCB) のような2次元の図形もあれば、建物の透視図のような3次元形状もある。いずれも、単眼視表示装置に表示することができるが、

† Input and Output Devices for Computer Graphics by Masanori IGOSHI (T. R. I. Japan Society for the Promotion of Machine Industry).

†† (財)機械振興協会技術研究所

3次元形状の表示は単純な構成では表示に極めて時間がかかる。そこで、3次元形状の表示を高速に行うために、時間のかかる処理をハードウェア化した表示装置がある。これは、通称3次元ディスプレイ装置と呼ばれる。3次元形状を単眼視によって認識することができるのは、3次元空間での光学上の物理現象である遠近透視現象、近くの不透明物体が遠くの物体を隠す現象、光の反射や透過などの現象があるからであり、3次元ディスプレイ装置ではこれら現象を模擬する処理を行ったり、表示対象を回転させたり、近付けたり遠ざける動的な処理を行うことにより奥行き感を出す。これを奥行き効果処理と呼び、心理的な効果と経験による知識などと併せて人に形状を3次元として知覚させる。

一方、CGの世界では、コンピュータモデルの世界の中に入り込むための人工的现实 (Artificial reality) 世界¹⁾を得る環境が望まれている。ここでは、リアルな表示と同時に、3次元映像が必要とされる。3次元映像は、人の生理的な立体知覚要因である両眼視差、両眼輻輳、水晶体調節を利用するものである。一枚の面上に両眼視差に対応する画像を表示させたり、視野を少しずつ変化させたときの画像を多量に配置することによって得られる3次元映像は、知覚要因では両眼視差、輻輳のみを利用するものである。なかでも2枚の両眼視差画像による2眼式立体視表示装置は、CG用として実用化されつつある。図-1に3次元表示の方式の分類を示す。

ソフトコピーに対して、ハードコピーは対話環境の中では用いられないが、解像度が良いこと、安価に複製できること、持ち運びや保存が容易などの点で、オフラインの用途に広く使われた。

2.2 入力装置

CGの入力は、コンピュータの内部に図形や形状のモデルを作り上げたり、画像データを取り込んだりすることである。入力の過程には形状モデルまでの近さに応じたレベル分けがある²⁾。

最も容易な第1のレベルのモデル入力手法は、モデルの構成要素や処理に名前を付け、名前で参照するものである。この入力手法はシンボル入力とも言えよう。コマンドをキーボードからストリングで入れたたり、ファンクションキーに割り当てられたメニューをヒットする。第2のレベルは表示された画面を見ながら、画面上のカーソルを2次元の入力装置で動かし直接図形をヒットする。カーソルと図形要素の対応は、

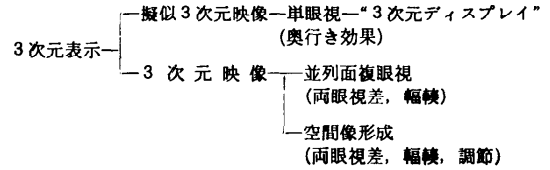
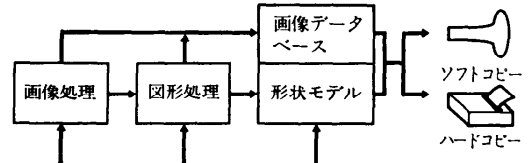


図-1 3次元表示



スキャナ デジタルタイザ、マウス etc. キーボード、ファンクションキー etc. “スキャナ入力” “カーソル入力” “シンボル入力”

図-2 入力のレベル

位置をキーとして検索される。必要な処理は、画面上のメニューをやはりグラフィックカーソルでヒットし、対応する処理プログラムを動かせる。さらに、カーソルの位置や軌跡をデータとして取り込み、図形処理を行うことにより新しい図形や形状を創成できる。表示装置と入力装置が一体になったものでは、カーソルは指示器そのものとみなせる。これらは全体としてカーソル入力とも言えよう。第3のレベルは、モデルをオンラインで操作するのではなく、入力データを画像として取り込み、画像そのもの、あるいは、画像処理を行ってモデルに必要なベクトルなどのデータを抽出することにより、モデルとの関連を付ける入力手法である。これはスキャナ入力と呼ばれる。図-2に入力のレベルの関係を示す。

2次元の入力に対し、3次元形状を入力するための3次元入力装置がある。3次元も2次元と同様シンボル入力、カーソル入力、スキャナ入力が考えられるが対話的に処理するためには、3次元映像を見ながら操作する必要がある。

3. 単眼視ディスプレイ

3.1 3次元ディスプレイ装置³⁾

3次元ディスプレイ装置は、グラフィック制御部と表示機器とに分かれる。グラフィック制御部の標準的な構成を図-3に示す。ホストコンピュータとのデータのやりとりは通信制御部で行われ、データはセグメントバッファに格納される。データ構造は、モデルの作成にも耐えられるように、PHIGSのような階層化

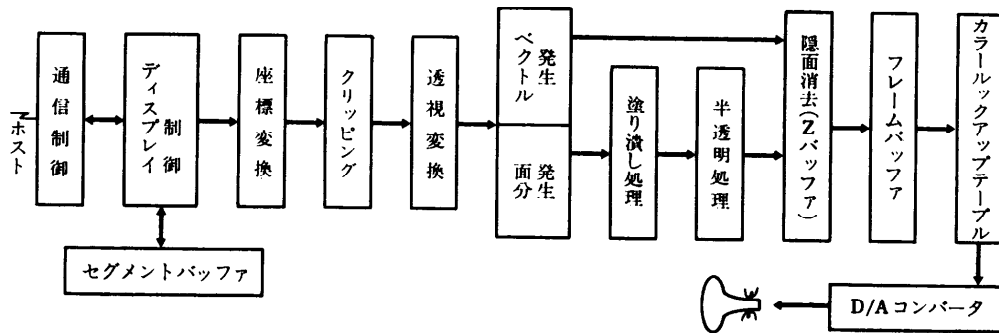


図-3 3次元ディスプレイ装置の構成例

構造を取るものが多い。ホストと頻りにデータが交換できる場合には、GKSのようなグラフィックス専用の標準が使われる。処理の制御はディスプレイ制御部で行われる。

形状データはまず座標変換器に送られ、回転・移動・スケールが行われ、クリッピングのウィンドウ処理が行われる。さらに、透視変換処理が行われた後3次元のピクセルデータの発生器へと進む。3次元データの中で、線分はベクトル発生器に送られ、面分はポリゴン発生器に送られる。この場合のポリゴンは、凸4角形であったり、3角形であったりする。ポリゴン内部の塗り潰しは、平坦、グーロー (Gouraud) あるいは、フォン (Phong) のアルゴリズムがファームウェア化またはハードウェア化されて実装されている。面の場合にはさらに塗り潰しパターンとの積が取られ、必要であれば半透明パターン処理が行われる。このようにしてできたピクセル化された画像情報は、Zバッファのある場合は、陰面消去処理がされて新たにZバッファに深さ情報が、フレームバッファにはカラーや輝度の画像情報が格納される。ベクトル情報は発生速度が速いのでZバッファには書き込まずに動的表示の道具として使うことが多い。

フレームバッファに書き込まれた画像情報は、ラスタ走査による読み出しにより、各種の表示機器に送られて表示をする。

CRT表示機器は、従来は、ランダムスキャン、直視蓄積型などがあったが、最近では一部で利用されているものの、CGではほとんどラスタ型になっている。高解像度と呼ばれるものの平均は1280×1024であるが、最近では、解像度が2048×2048、60 Hz・ノンインタレースというカラーのCRTモニターが実用化され

た(ソニー、日立)。また、白黒では4096×3300の超解像度のものが実用化されている(Mega Scan Technology)が、CRTにおいては、解像度があがればあがるほど、D/Aコンバータやビデオアンプの設計や実装が難しくなる。ちなみに、1280×1024で100 MHzのビデオ帯域は、2048×2048のモニタの場合300 MHzほどになり、4096×3300のものでは1.5 GHzのビデオアンプが用意されている。このような高速な処理を避ける方法として、複数の電子ビームを用いる方法が開発されている(Azuray Inc.)。8本のものではビデオの帯域を1/8に減らすことができるとしている。

3.2 フラットパネルディスプレイ^{4),5)}

CRTに代わるものとしてフラットパネルディスプレイの技術的進歩が著しい。これらには実用的に4種類の方法がある。液晶ディスプレイ(LCD)、プラズマディスプレイパネル(PDP)、エレクトロルミネッセントディスプレイ(ELD)および蛍光表示管(VFD)である。いずれも、大画面、フルカラーへ向かっての力を削っている。ここでも、周辺回路のIC化、マトリクスアクティブ化などの半導体技術が実用化へ向けての要となっている。

LCDは液晶の光の遮断の度合い、PDPはガス放電、ELDは高電界による蛍光体の発光、VFDはCRTと同じ電子ビーム衝突による蛍光体の発光を原理とする。ここでは、電力消費がわずかで投写表示にも向くLCDを中心に述べる。

LCDの代表的な表示モードはTN(Twisted Nematic)モードである。ネマチック状に配向するよう処理された液晶は、液晶を挟む電極に電圧をかけない無電界時は入射光を90度回転する旋光性をもつ。両電極側に液晶の旋光と同じ方向に90度位相をずらせた偏

光板を置くことにより、入射光は直線偏光を受けて90度回転し同位相の反対の偏光板から出ていく。2~5V程度の電圧をかけると、液晶の旋光性がなくなり直線偏光を受けた入射光は反対側の偏光板で遮られて出ていなくなる(図-4参照)。

表示装置として構成するには、X、Yの短冊状の電極を液晶を挟んで90度ずらせて配し、X、Yをラスタ状に走査することにより点を選択する。このようなマトリクスを単純マトリクス型という。CRTのラスタに相当する電極の数が多いとコントラスト比が取れなくなるので、電極を分割して同時に走査することも行われる。コントラストの比を大きくするためにいくつかの方法が利用されている。液晶の表示モードをTNからSTN(Super TN)に替えることによりコントラスト比を数倍上げることができる。さらに積極的な手法として、マトリクスの要素一つずつにダイオードやトランジスタを集積し、要素ごとに電圧を制御できるようにしたアクティブマトリクス方式が、これからの技術を担うものとして積極的に開発されている。この手法のポイントは、歩どまり良く低コストで生産できる製造法の確立であるといわれる。モノカラーではSTNの単純マトリクスで、640×400程度のもがすでにワープロに採用されているが、カラーではポケットテレビに実用化されている。この場合には370×250程度のマトリクスをRGBに分けて表示するから分解能としては良くないが、コントラストも十分に小型のテレビとしては実用上問題ない。最近カラーで640×480の14インチのアクティブマトリクスのLCDが発表になった(シャープ)から、LCDがCGに使われるのも時間の問題であろう。

PDPは発光型であり、実用的にも液晶より早くから使われていた。PDPの発光は、電極をもった2枚のガラス板を0.1mmほど空けて向かい合わせ、その間にNeやArの放電ガスを封入し、電極に放電電圧以上の電圧をかけることにより選択点を放電させ発光させるものである。応答性が良く、視野角が広いなどの特徴がある。

3.3 投写型ディスプレイ⁶⁾

表示画面が大きいことは、視野が広がり表示内容に没頭できる度合いが大きくなるから、一体感の深まりや、作業効率の向上につながる。投写型は比較的古くから使われている手法であるが、過去のもの画面が暗く室内で使うには無理があったり、装置自体が大きかり移動が難しかったりしたため、容易に使えるも

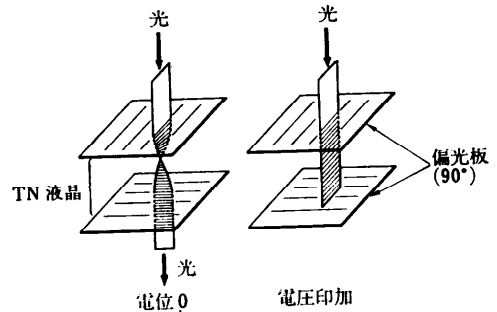


図-4 液晶による光の遮断

のではなかった。最近では技術の向上により、種々の製品が出始めた。レーザを用いる方法も単色では製品化され、カラーでも試作がされたが実的に使われていない。現在では、投写型CRTディスプレイ、ライトバルブ型液晶ディスプレイが製品として出ている。さらに今後は、透過投写型液晶ディスプレイ装置が種々出てくるものと思われる。

投写の方式は、前面投写と背面投写に分けられる。前面投写型は大画面のスクリーンが利用できること、スクリーンの後ろに空間が必要なく壁でよいことなどが特徴である。背面投写型は、明るい画像を得るためにはスクリーンにフレネルレンズやレンチキュラーレンズを使うために、高価であり、あまり大きなものは望めないが、箱の中に入れて一体化できること、視角が広いことなどがあげられる。

投写型CRTディスプレイ装置は、テレビの大型化にもなって家庭にも登場しはじめた。業務用もRGBそれぞれの単色カラー管の投写型CRTの改良が進み、3管3レンズ投写式では650ルーメンの光量のあるものが実用化されている(Electrohome)。この光量になると対角線300インチ(約7.5m)の大型スクリーンも利用できる。3管3レンズ式はスクリーンに対し色と焦点合わせが難しい。この欠点を解決するために、クロスしたハーフミラーを用いて赤と青を中央の緑の位置で合成し、1レンズの焦点合わせで良くしたものもあり、スライド映写機を使う感覚で、スクリーンと投写装置を容易に移動可能である。

液晶ライトバルブを用いる方式は、画像の書き込み方により熱、光、電子ビームなどの方式がある。熱書き込みはスメクチック状液晶板にArやYAGレーザで書き込んだ後、キセノンランプのような強力な光源でスライド映写機のように照射する。光学系の構成

例を図-5に示す。原理的には熱により分子状態が散乱状態になることを利用するもので消去は電圧を印加することによって行う。熱方式は書き込みに時間がかかるので動的な画像は期待できない。大きな投影面をもっているものとしては、 $30 \times 30 \text{ mm}^2$ の液晶板を用い 3000×3000 の解像度で、 $2.4 \times 2.4 \text{ m}^2$ のスクリーンに背面投影し 100 ft-Lの輝度を得ている(日本電気)。最近の製品では40インチの背面投影型で、 2200×3400 の解像度、4096色のカラーパレットをもつ液晶ライトバルブディスプレイ装置も出てきた(セイコー電子)。

透過投影型液晶ディスプレイ装置は、通常のマトリクス型液晶ディスプレイ板を光源ランプで照射するもので容易に大型表示ができる。現在のところ熱対策が難しく、液晶ディスプレイ板の解像度が良くないため投写された映像の画質はいま一步であるが、オーバヘッドプロジェクタとともに用い、プレゼンテーションに用いる利用法が有望視されている。すでに、液晶ディスプレイ装置を対象にしたプロジェクタなども出現している。

3.4 ハードコピー装置

ハードコピー装置としてはXYプロッタがストローク方式で、あとはラスタ方式である。ストローク方式は面画の出力ができないが、鉛筆書きや、印刷用版下面画などの精密製図、シートのカットなど独自の用途にも利用される。ラスタ方式は、面画が表示できることが特徴で、中間調表示も画質がきわめて良くなってきた。この方式はソフトコピーと方式が一致していることもあり、親和性がよい。ハードコピーは解像度が高いので、画像メモリの容量がきわめて大きくなり書き込みに時間がかかる。しかし、簡易的な場合、ソフトのフレームバッファとハードコピー用画像メモリの解像度を同じにして用いるのでカラーロックアップテーブルの内容を入れ替えるだけでよく、特別な処理を必要としない。

ラスタ型ハードコピー装置には、静電式、感熱式、熱転写式、インクジェット式がある。いずれの方式もすでに成熟期に入りつつあり、用途による適正画質、初期投資額、ランニングコストなどを考慮し、多くの中から選択できる。

4. 3次元映像表示装置⁷⁾

3次元映像表示は、単眼視表示装置による疑似3次元映像ではなく、生理的な立体知覚要因である両眼視

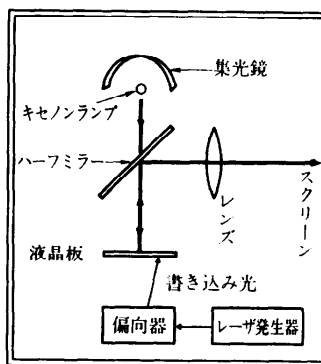


図-5 液晶ライトバルブディスプレイ構成例

差、両眼幅輻、水晶体調節を働かせてより自然な立体感覚を得る表示方法である。3次元映像は、両眼視差と幅輻を利用する並列面複眼視と、さらに水晶体調節まで利用した空間像形成に分けられる。並列面複眼視はいわゆるステレオ視とか立体視と呼ばれる2眼式と、多眼式に分けられる。空間像形成はホログラフィ、空間標本式、空間走査式に分けられる(表-1参照)。いずれも、CGの出力装置として利用されるが、とくにオンラインで実用的に使われそうな装置を中心に述べる。

4.1 2眼式ディスプレイ装置

両眼にどのように区別して両眼視差の画像をいれるかにより、種々の方法がある。アナグリフは左右の画像をそれぞれ赤と青で表示し青と赤の眼鏡で見る方法、合成偏光は光の性質を利用し異なった偏光の像を同時に発生させ偏光板を使って見る方法、時分割は左右の像を時間的に交互に表示し、像に同期したシャッター眼鏡で見る方法、時分割偏光は像の発生を時分割で行うと同時に左右異なった偏光をもたせ偏光板で見る方法、ステレオビューは顔の動きとともに動く小型の2台の表示装置に左右の像を分離して見せるものである。この中で、偏光を利用した時分割偏光と合成偏光方式は、眼鏡方式であっても左右異なった薄い偏光板を装着するだけであり、抵抗感がわりに少ない。これらの方法が改めて見直されているのは、偏光方式の新しい性質が採用されているからである。これは、従来の偏光が直線偏光と呼ばれ、表示装置から出た光の位相が偏光板を通ったあとと変化しないものであった。この性質を利用し、左右の像の位相を90度ずらせることにより、偏光眼鏡で左右の像を分離して受け取るこ

表-1 3次元映像の分類

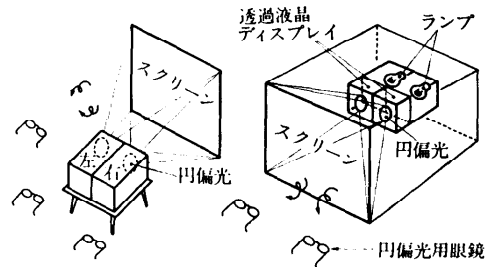
並列面複眼視	二眼式	アナグリフ, 合成偏光, 時分割, 時分割偏光, ステレオビュア
	多眼式	レンティキュラ, インテグラルフォトグラフィ, マルチプレックスホログラム
空間像形成	ホログラフィ	イメージホログラム, レインボーホログラム, リップマンホログラム
	空間標本式	ミラーシャッタ, スクリーンシャッタ, 液晶積層
	空間走査式	バリフォーカルミラー, 移動・回転スクリーン, 表示器移動

とができる。しかし、この偏光法の欠点は、頭の位置をほぼ正確に偏光の軸に一致させないと、左右像の分離度が悪くなり立体視にならなくなる。これに対し、直線偏光を受けた光にさらに空間的に1/4位相をずらせる偏光板を重ねることにより、光の位相を回転させることができる。これが円偏光法であり、直線偏光で90度ずれた偏光を利用し、左右の回転が得られることになる。この回転する偏光を、表示装置と逆に1/4位相板で受けたあと90度位相の異なる直線偏光板を通すと左右の像を分離して見ることができる(図-6参照)。



図-6 円偏光

時分割偏光による方法は直視型 CRT の管面に 120 Hz 程度で 90 度位相を切り替える偏光板シャッタを付ける方法が実用化されている (Tectronix, Stereo Graphics)。120 Hz で画像を切り替えることは、フレームバッファからの読み出し、D/A 変換、およびビデオアンプに高度な技術を必要とする。この方法に対し合成偏光による方法は同一面に左右の偏光をかけた像を同時に表示するもので、ハーフミラーによる合成法などが知られている。合成偏光法に組み合わせて良く調和する表示方法は投写型表示装置であろう。2組の表示装置が必要であるが、新しい技術を必要とせず円偏光と合わせて種々の投写型立体視装置が考えられる。



(a) 前面投写立体視 (b) 背面投写立体視

図-7 合成偏光による立体視例

図-7 に装置の例の概念図を示す。

もう一つの CG にとって有望な 2 眼式立体視手法はステレオビュア方式の一つであるヘッドまたはヘルメットマウントディスプレイである。3次元のセンサをヘルメットに付け、頭の付置をコンピュータに知らせると、その位置から見えるはずのコンピュータのモデルを表示する。この方法は、実環境を直接見ることのできるものとできないものがある。後者の例として NASA で開発されたものは、周りの環境を完全に遮断し、ステレオスピーカとステレオビュアを内蔵したヘルメットを被ることにより、あたかもコンピ

ュータの作り出す人工的な世界に浸ることができる。

4.2 その他の3次元映像表示装置

多眼式は、目が水平方向に並んでいる性質を利用して、少しずつ異なった角度から見たときの像を短冊状の面に表示し、一つ一つの面にかまぼこ型のレンズを付けたレンティキュラレンズ板を通して見る方法、異なった像を上下にまで広げたマトリクス状のはえの目レンズを通して見るインテグラルフォトグラフィ、さらには、ホログラムを用いるマルチプレックスホログラムなどがある。

ホログラフィは感光板(ホログラム)に光の干渉を利用して振幅と位相を記録し、参照光を与えることにより生理的な三つの立体知覚要因を満足する映像を得

ることができるが、コンピュータの内部モデルを出力できる計算機ホログラムはまだ研究段階である。

空間標本式は空間に複数の面を置いて、面の上に形状断面を表示する。ミラーシャッタ方式は電気ミラーを奥行き方向に複数配置し、CRTの像を時分割で反射表示する。スクリーンシャッタ方式は、複数の液晶板を時分割で透明から混濁状態に変化するスクリーンにつきつぎに映像を投写する。液晶積層は名のとおり液晶表示板を複数積み重ねて断面を表示する。

空間走査式は、空間軸に沿って物理的にスクリーンやミラーあるいは表示板そのものを動かすもので、奥行き方向に連続した映像が得られる。

5. 入力装置⁸⁾

2次元の入力装置には、タブレットディジタイザ、タッチパネル、マウス、ジョイスティック、ライトペン、トラックボール、ダイヤル、ファンクションキー、スキャナなどがある。いずれもかなり成熟した技術の装置である。また、フラットパネルディスプレイに透明ディジタイザを一体化した入出力一体化装置なども電子面板として面白く、音声やアイカメラなども入力機器としてCGに用いられる。

ここでは、CG向きであり最近でも技術の進歩がみられるタブレットディジタイザ、スキャナと3次元入力装置について述べる。

5.1 タブレットディジタイザ

タブレットディジタイザには機械式、磁歪式、静電式、電磁式、電磁授受式、感圧式、超音波式が実用的に使われている。

機械式は、ドラフタ状の機械でX、Yの腕の動きをエンコーダによって数値化するもので、技術的には容易であるが操作性が良くないため、徐々にほかの方法に取って替わられている。磁歪式は、遅延線を音速で伝播する磁気歪みをカーソルやスタイラスペンの指示器のコイルによってセンスするもので、タブレット利用の先駆けを作った。静電式はタブレット上のマトリクス電極と指示器の間のできる静電容量の変化を、マトリクス電極をスイッチで走査することにより測定するものであるが静電気に弱い。電磁式はタブレット上に張られたマトリクスのセンス線に指示器からの電磁波を受け取るようにしたものと、逆に、マトリクスの線に交流電流を流し、指示器でセンスするものがある。これら電磁式は精度がよく安定しているため、小型から大型まで幅広く利用されている。この電磁式の

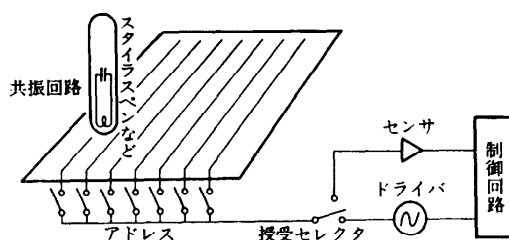


図-8 電磁授受式

弱点とはいえば、指示器にコードがついていることである。この弱点を解消した方法が電磁授受式と名付けられた手法である(ワコム)。

これは、タブレット上のマトリクス線に交流電流を流し、指示器にあるコイルによって電磁誘導の電力を吸収し、つぎの瞬間今度はタブレットの線はセンサに変わって指示器の共振回路による発振機能で作られる電磁波をセンスする。交流電流を流すところに指示器がなければこの授受は行われぬ(図-8参照)。この方法のもう一つの特徴は、共振回路の共振周波数を変えることにより、指示器に種々の機能を盛り込むことができることで、カーソルとスタイラスペンの違い、複数のボタンのオンオフ、さらにはペンの筆圧の変化までコードレスで可能にしている。感圧式はコードレスの比較的安価な装置であるが、ペン先を押さなければならず、シート上の図をトレースする入力の場合はシートの厚さ、原稿のトレース痕跡に注意がいる。超音波式は指示器から火花放電による超音波をマイクロフォンで受けたときの音の伝播時間で距離を算出する。マイクロフォンは棒状のものと、点状のものとがあり、棒状のものは音源からの最短距離がそのまま求まるが、点状のものは三角測量法で計算を行って距離を算出する。音がうるさいこと、精度が出にくいことなどの点で他の方法に取って替わられつつある。

5.2 スキャナ⁹⁾

スキャナは画像の入力であって、直接コンピュータの中のCGのモデルを扱うものではないが、図面読み取りや、文字読み取りの機能を付加して製品化が進んでいる。

スキャナの読み取り機構には、手動型、ローラ移動型、複写機型、カメラ型、回転ドラム型がある。読み取り精度は8~16ドット/mm(200~400dpi)であり簡易型も高級型もあまり違いがない。読み取り階調は2~256まであり、カラー化が盛んである。大きさは機

構によってさまざまである。

手動型は、パソコンやワープロの画像入力に使われる小型のもので、読み取り幅はたかだか 100mm 程度であるから、大きな文書の場合は分割して入れなければならないが、安価で手軽に利用できる。ローラ移動型は、原稿をローラに挟み込んで移動させるから原稿はシート状に限定されるが、大きな図面を読み込める。光学系を簡単にするために 0.1mm 径の光ファイバを 1 万本並べて図面を読み取り、ファイバを束ねて 100×100 のマトリクスを作り、2次元のアレイセンサに集光して電気信号に変える方法もある (Skantek)。複写機型は原稿を裏返す必要があるが、本などの厚いものも読み込め、最も機種が多いタイプである。デジタル複写機のスキャナ部が、そのまま使えるものもある。カメラ型は 2次元アレイセンサを使うタイプと、1次元リニアセンサを使うタイプとがある。2次元アレイセンサの場合は、機械的に動く部分がないからコンパクトで読み取り速度も速い。しかし、TV 映像用であり精度が悪い。最近 200 万画素の CCD アレイセンサが出た (日本電気、東芝) が、これも 1920×1035 程度とハイビジョン (HDTV) カメラを対象としている。スキャナとしての他の方法に対抗できるものは、1次元アレイセンサと機械走査を合わせたもので、4096 の CCD センサを使い、機械方向に 5200 の分離能をもったものもある (Eikonix)。回転ドラム型は精度が良くかつての主演であったが、装置が大がかりであり、特殊な用途に限られて使われよう。

5.3 3次元入力装置

ここでは主として、3次元映像を見ながら対話的に 3次元の位置姿勢を入力する装置について述べる。3次元入力装置としては、機械式、超音波式、電磁式、ワイヤ式、カメラ式などがある。

機械式は精度の良いものでは直交型の 3次元測定器があり精密形状入力に用いる。ロボットのような回転軸を用いた関節型では、関節に付けられたエンコーダからの角度を読み取って計算により位置姿勢を出す。超音波式は、2次元と同様マイクロフォンが点状のものと棒状のものがある。点状のものは X, Y, Z 直交軸上と原点に置き、棒状のものは 3軸が直交するように配置される。音源は 1カ所だけでなく 3カ所以上にすることにより、音源がある物体の位置姿勢が求まる。電磁式は、X, Y, Z の直交するコイルから発せられる磁界を、同様に直交するコイルによりセンスするもので、コイルを装着した物体の位置姿勢を計測できる。

超音波と異なり、木やプラスチックなどの非金属物体であれば、形状に係わらず安定した精度で測定できる (McDonnell Douglas)。ワイヤ式は実験的には使われても、操作性の点で実用的でない。カメラ式はロボットの目の研究に多く利用される。点またはスリット光源で物体を照射し、TV カメラまたはイメージディセクタで取り込まれる光点の位置と光源の角度から、三角測量の原理を用いて距離を求める。複数の点の位置が高速で求められる。

6. おわりに

CG に用いられる入出力装置はますます多様化しつつある。これは、CG が特定の分野にのみ使われるのではなく、コンピュータと情報を交換するほとんどの分野で図形や画像を利用するようになってきたからである。このような背景の下では、CG の入出力に対しても、対話の質の点でより自然で親しみやすい、ヒューマンフレンドリな環境が望まれてきている。人との対話に関して入出力をメディアとして捉え、システムティックに研究している例として、MIT のメディアラボの行き方は興味深い¹⁰⁾。

これからのインタフェースとしての入出力装置のあり方としては、人を拘束しない状態で、人工的現実の世界を 3次元映像として多くの人と共有でき、身体のある部分から表現される人の意思をコンピュータが取り込み、解釈できる高度な入出力システムの研究が望まれる。このようなシステムでは、目的とする対象のモデル化が重要であり、その中で入出力装置は単に表示機器や入力機器に留まらず、システムとして必要な入出力処理を高速に行う制御部を機器の中に組み入れた、高機能な入出力装置として構成する必要があるだろう。

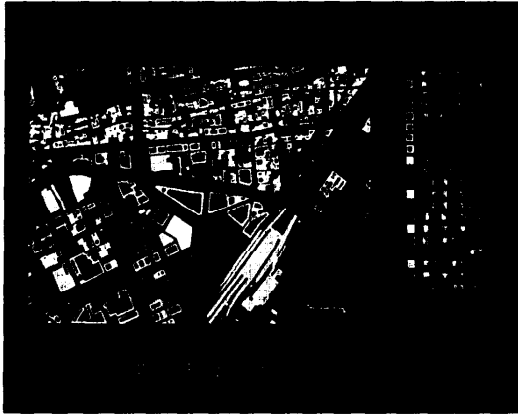
本論においては、多種多様な CG 用入出力装置をわずかな紙面で網羅的に扱ったために、説明が十分でなかったが、多少なりとも、現状とこれからの技術の一視点をみていただければ幸いである。

参考文献

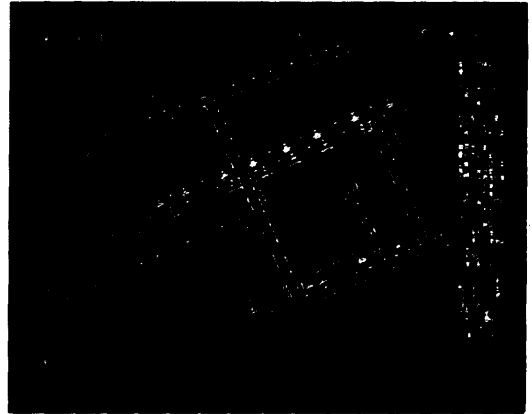
- 1) Krueger, M. W.: Artificial Reality, Addison Wesley (1983).
- 2) 井越昌紀: コンピュータグラフィックス, 精機誌, Vol. 47, No. 11, pp. 29-35 (1981).
- 3) Voley, J. D. and Van Dam, A.: Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison Wesley (1982).

- 4) 小林駿介：高性能フラットディスプレイ最新技術，トリケップス (1988).
- 5) 松本正一編：電子ディスプレイデバイス，オーム社 (1984).
- 6) 新居宏壬，倉橋浩一郎：液晶や CRT を並べた平面型が出始めた大画面ディスプレイ，日経エレクトロニクス，Vol. 333, pp. 131-150 (1984).
- 7) 井越昌紀：三次元表示技術の展望，精密工学会誌，Vol. 54, pp. 1-6, 2 (1988).
- 8) Sherr, S.: Input Devices, Academic Press (1988).
- 9) 石橋謙三，岡部力也：簡易画像編集・処理の立場から需要が立ち上がるイメージスキャナ，日経エレクトロニクス，Vol. 351, pp. 161-194 (1984).
- 10) Bolt, R. A.: The Human Interface, Lifetime Learning Publications (1984).

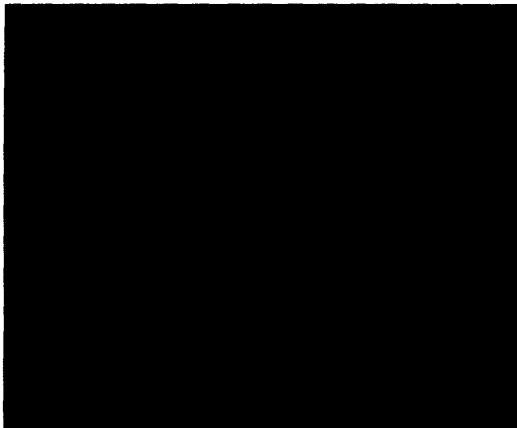
(昭和 63 年 8 月 30 日受付)



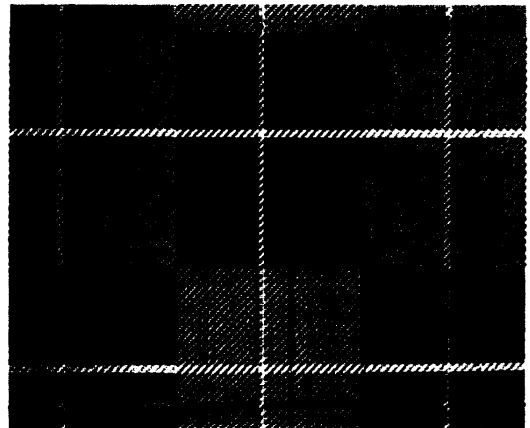
4.2 (山川) 図-8 GIS システムの出力例 (本文 1159 頁)



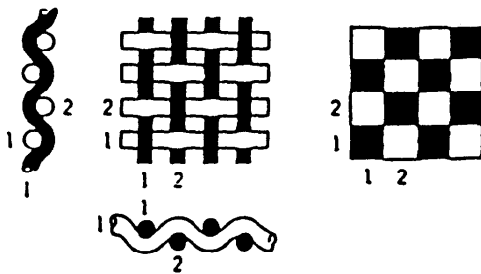
4.2 (山川) 図-9 FM システムの出力例 (本文 1159 頁)



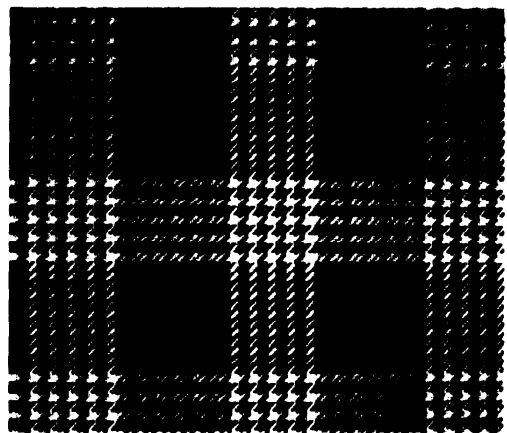
4.3 (加藤, 近藤) 図-3 プリントの例 (ペーザリー) (本文 1162 頁)



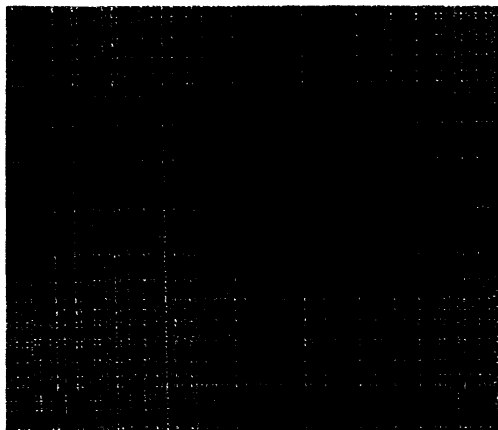
4.3 (加藤, 近藤) 図-4 先染め織物例 (斜文織) (本文 1162 頁)



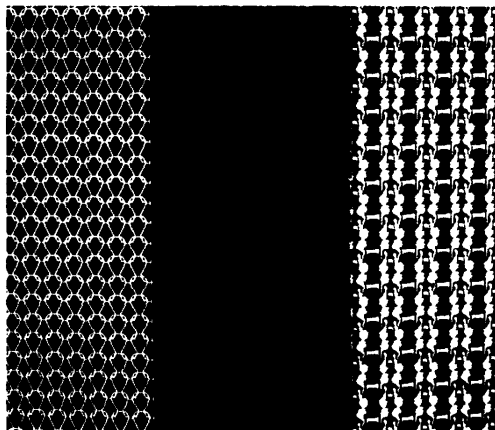
4.3 (加藤, 近藤) 図-5 (a) 平織組織図 (本文 1162 頁)



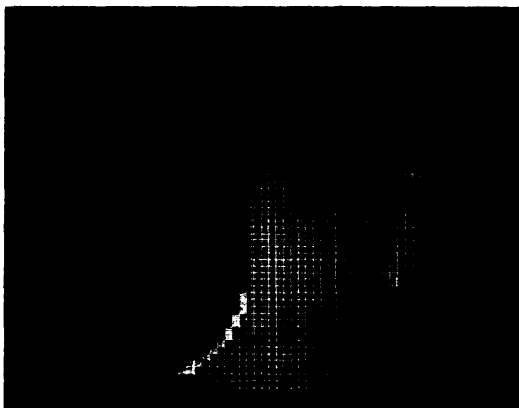
4.3 (加藤, 近藤) 図-5 (b) 平織組織による織上りの検討例 (本文 1162 頁)



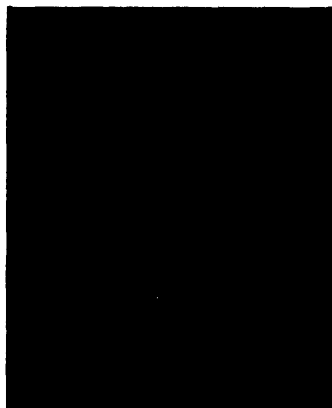
4.3 (加藤, 近藤) 図-6 縦上りの予想例 (流ぼかし)
(本文 1163 頁)



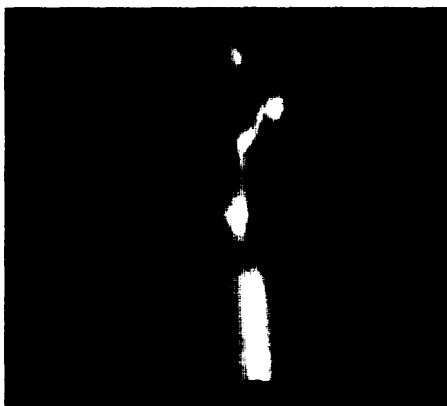
4.3 (加藤, 近藤) 図-7 編目の表現 (平編)
(本文 1163 頁)



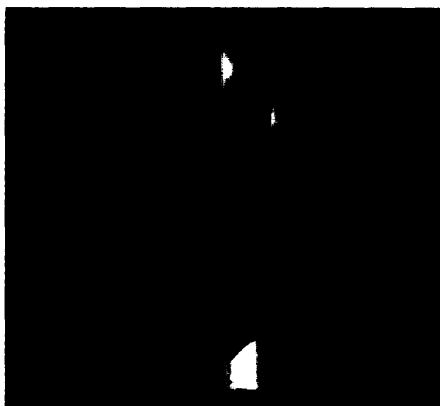
4.3 (加藤, 近藤) 図-8 フルファッション (編成と柄)
(本文 1163 頁)



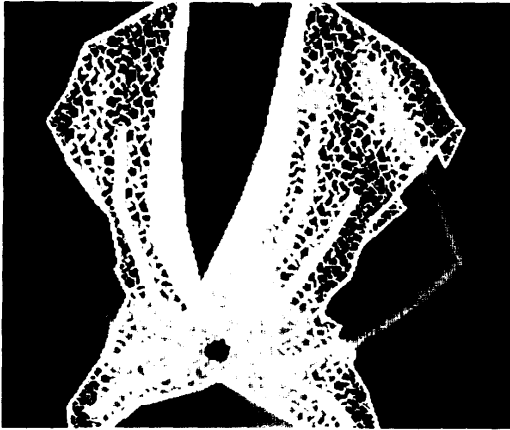
4.3 (加藤, 近藤) 図-9
編物の完成予想例 (本文 1163 頁)



4.3 (加藤, 近藤) 図-10 人体基本モデル
(本文 1163 頁)



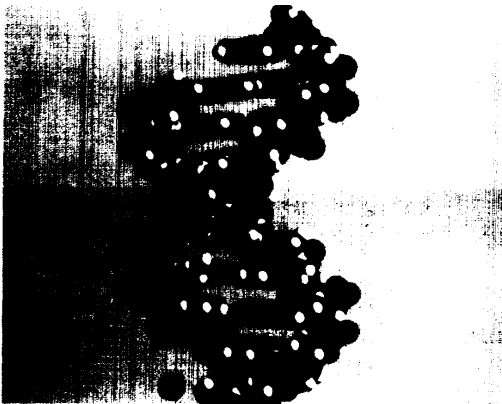
4.3 (加藤, 近藤) 図-11 水着の表現
(本文 1163 頁)



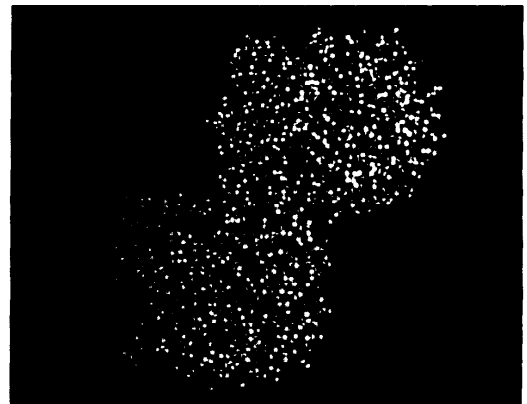
4.3 (加藤, 近藤) 図-12 透孔編みの表現 (本文 1163 頁)



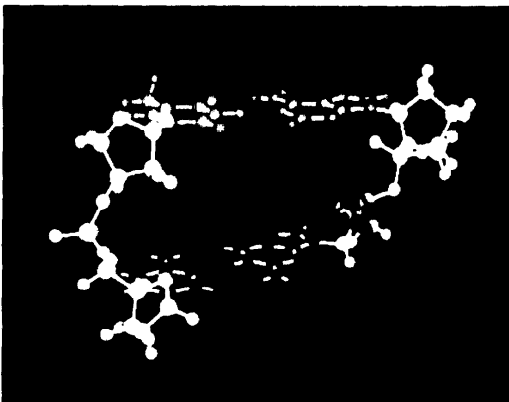
4.3 (加藤, 近藤) 図-13 ドレープの表現 (本文 1163 頁)



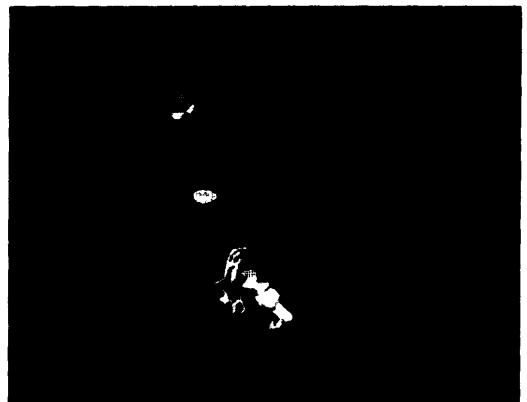
4.4 (鈴木, 神沼) 図-1 B-DNA 2重らせん (本文 1166 頁)



4.4 (鈴木, 神沼) 図-2 ヘモグロビン (本文 1166 頁)



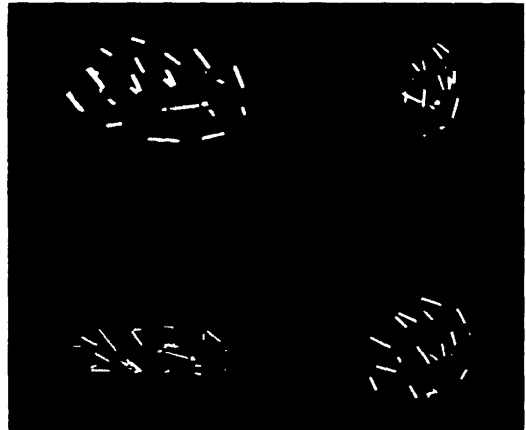
4.4 (鈴木, 神沼) 図-3 DNA と薬物のインタカレーション (本文 1166 頁)



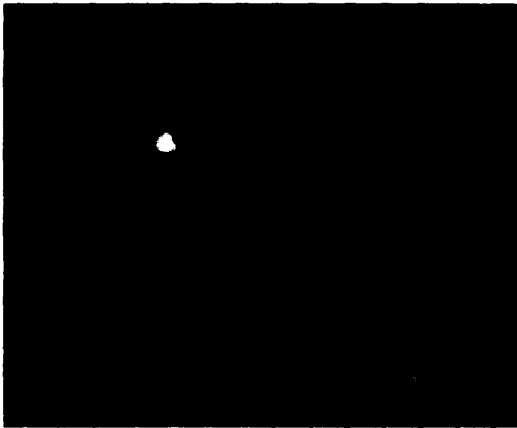
4.4 (鈴木, 神沼) 図-4 白血病の白血球 (本文 1166 頁)



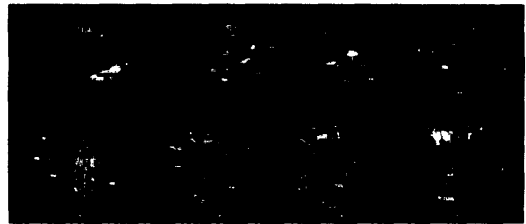
4.4 (鈴木, 神沼) 図-5 ステレオペア (本文 1167 頁)



4.4 (鈴木, 神沼) 図-6 胚発生四面図, 孳細胞同士を白い棒で結んでいる (本文 1167 頁)



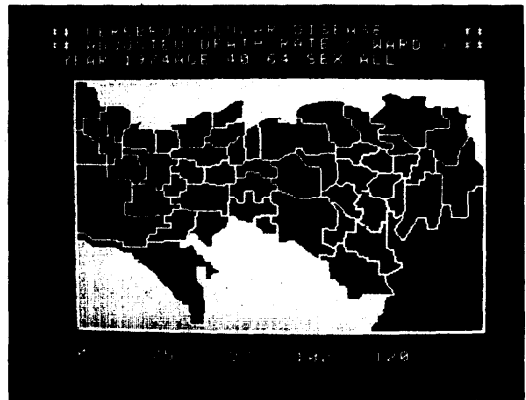
4.4 (鈴木, 神沼) 図-7 胚発生 87 細胞期 (本文 1167 頁)



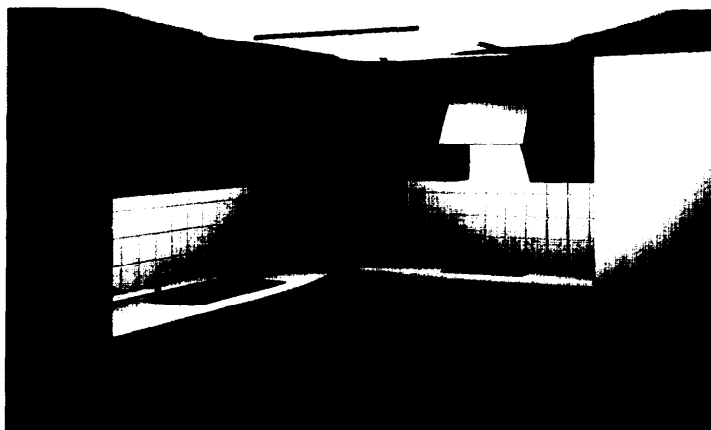
4.4 (鈴木, 神沼) 図-9 腹部臓器の回転図 (本文 1167 頁)



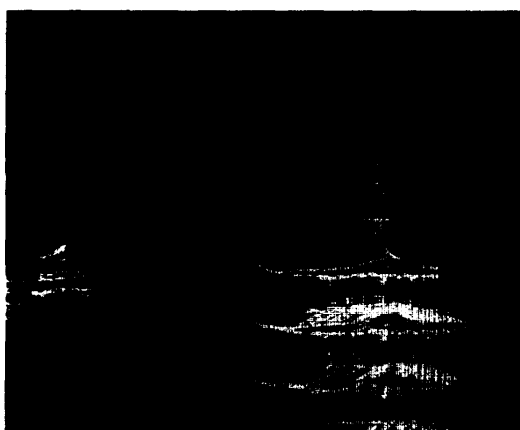
4.4 (鈴木, 神沼) 図-10 女性全身を右上から見た図 (本文 1167 頁)



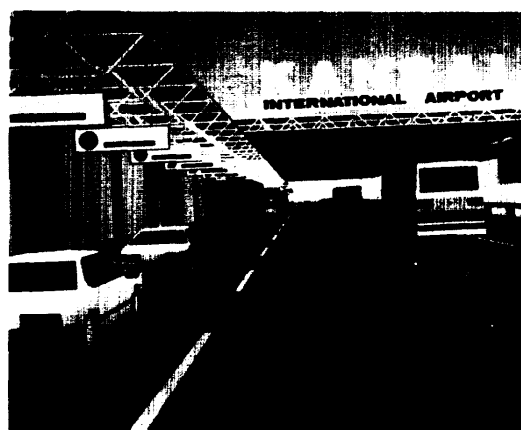
4.4 (鈴木, 神沼) 図-11 東京都健康地図 (本文 1168 頁)



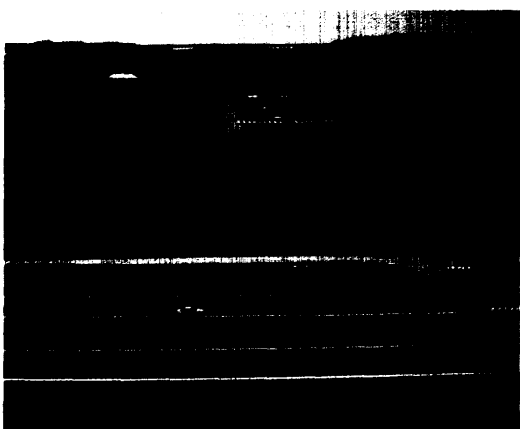
4.5 (藤田, 東) 図-9 意匠設計システムによる室内デザイン例 (本文 1175 頁)



4.6 (笹田) 図-1 京都 東山 (本文 1179 頁)



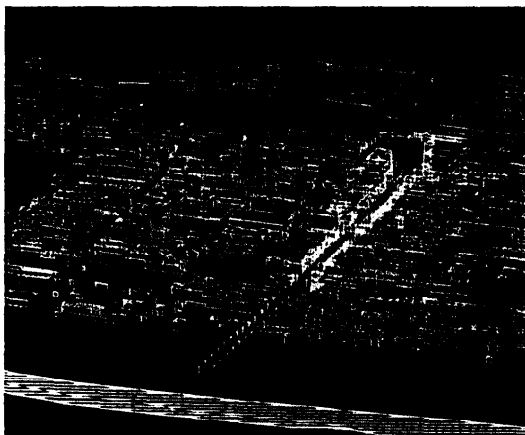
4.6 (笹田) 図-2 関西新空港 (本文 1180 頁)



4.6 (笹田) 図-3 関西新空港 (本文 1180 頁)



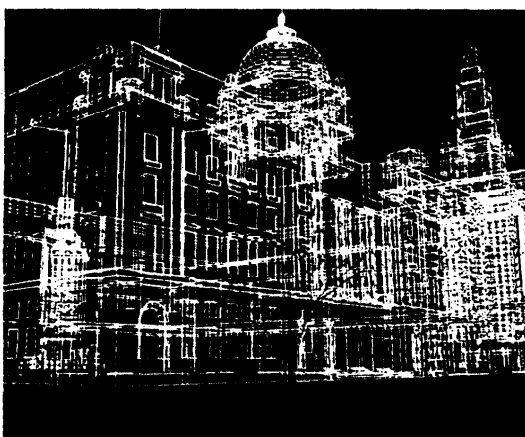
4.6 (笹田) 図-4 関西新空港 (本文 1180 頁)



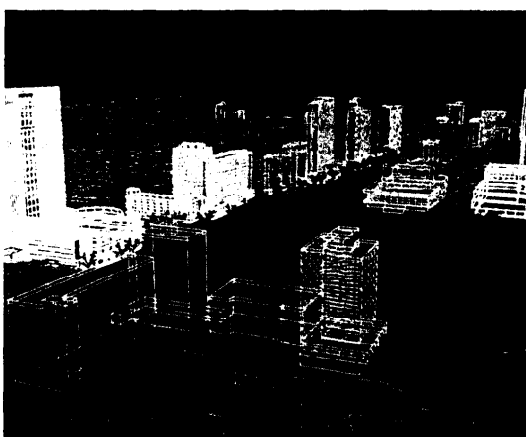
4.6 (笹田) 図-5 三田駅前再開発 (本文 1180 頁)



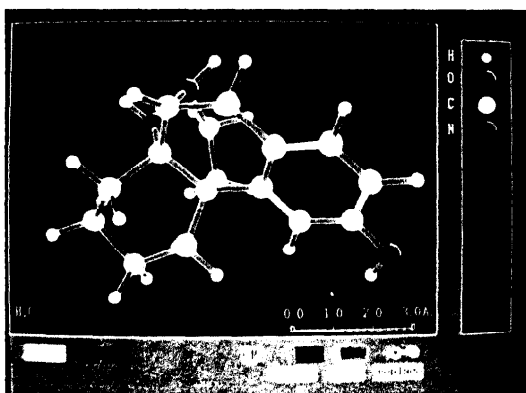
4.6 (笹田) 図-6 上海外灘 (本文 1181 頁)



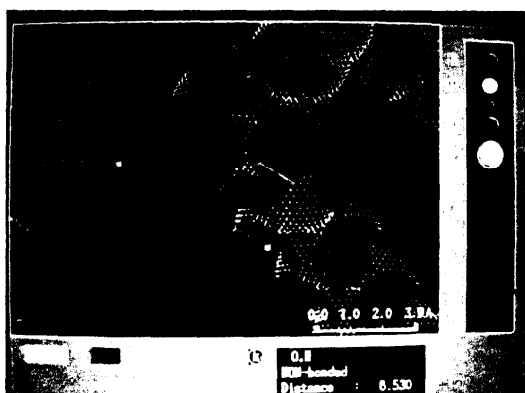
4.6 (笹田) 図-7 上海外灘 (本文 1181 頁)



4.6 (笹田) 図-8 杭州西湖 (本文 1181 頁)



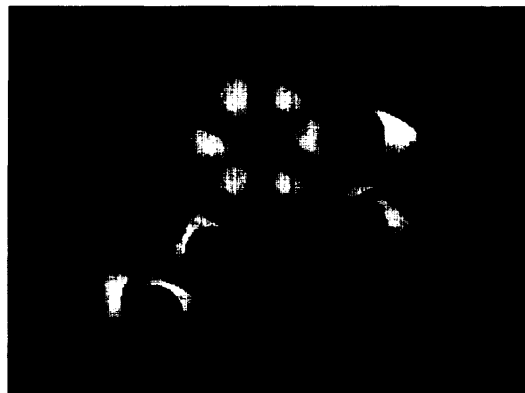
4.7 (小出) 図-5 IBM PS/55 上の 3 次元分子構造作成加工のための表示—拮抗薬 (本文 1184 頁)



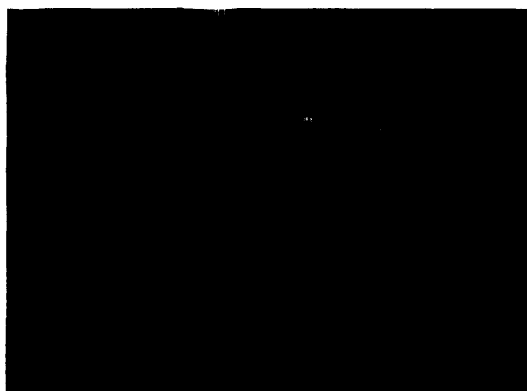
4.7 (小出) 図-7 IBM PS/55 上のファンデルワールス面のドット表示—脂肪分子の頭の部分 (本文 1185 頁)



4.7 (小出) 図-8 IBM 5080 上での等電子密度面の陰影表示
ブドウ糖の三層の等密度面を半透明の属性で表示 (本文 1185 頁)



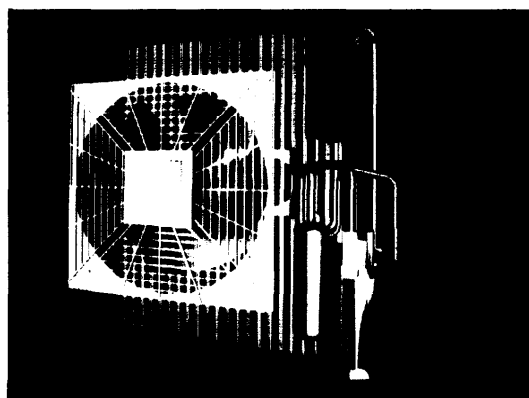
4.7 (小出) 図-9 IBM 7350 画像処理システムを用いたリアルタイム分子陰影表示—ドパーミンの誘導体 (本文 1185 頁)



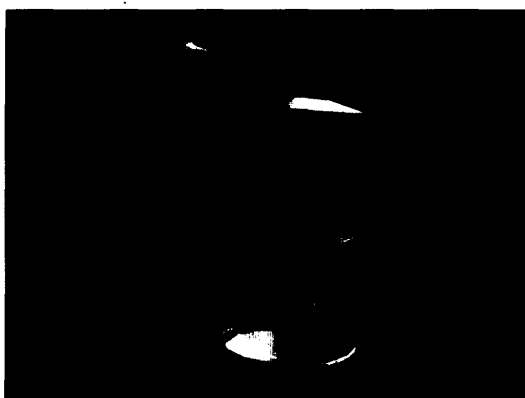
4.7 (小出) 図-12 IBM 5080 上での分子軌道の陰影表示
ジェン (C_6H_6) の分子軌道 HOMO (黄色とだいたい色) と全電子密度 (薄紫色) を表示 (本文 1186 頁)



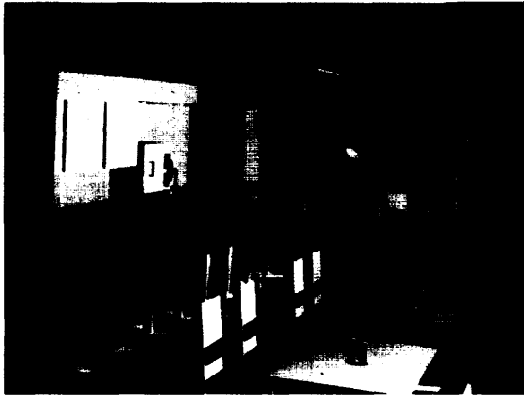
4.7 (小出) 図-13 IBM 5080 上での分子軌道のドット表示
ジェンの HOMO と亜硫酸 (SO_3) の LUMO とをダイヤルを使って重ね合わせ、反応の 3 次元形状を推定中 (本文 1186 頁)



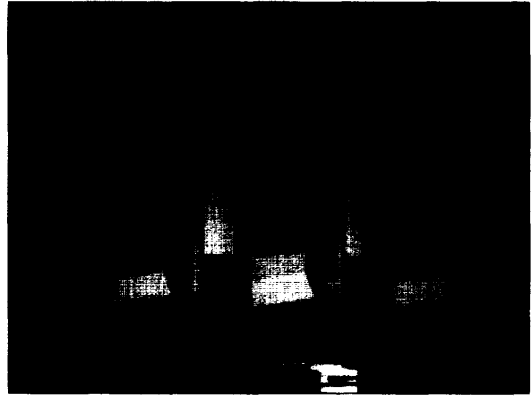
4.8 (平野) 図-2 空調機室外機のソリッド・モデル
(本文 1191 頁)



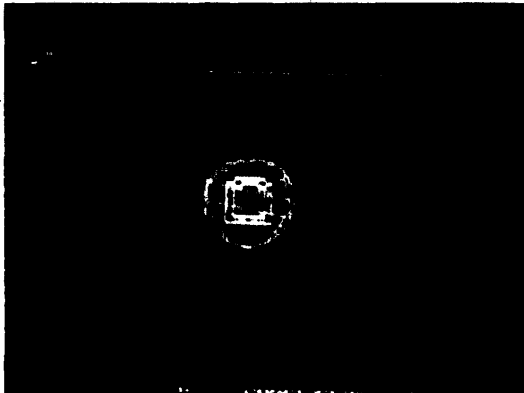
4.8 (平野) 図-3 圧縮機のソリッド・モデル (本文 1191 頁)



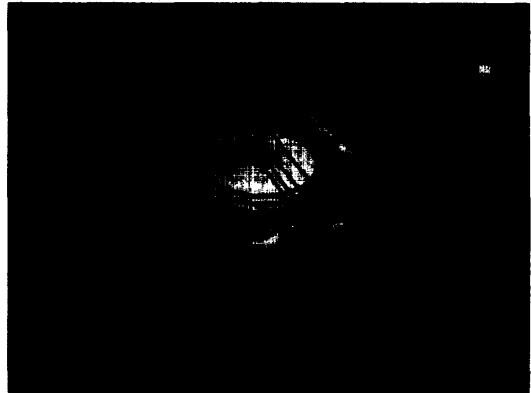
4.8 (平野) 図-4 喫茶店インテリアの CG 表示
(本文 1191 頁)



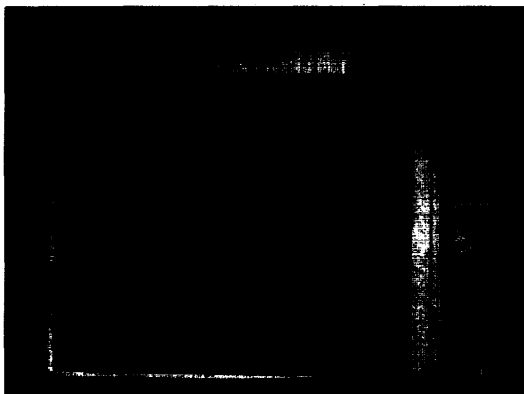
4.8 (平野) 図-5 セラミック・ヒータのカラー・シミュレーション (本文 1191 頁)



4.8 (平野) 図-6 プリント基板の解析格子生成^{11),12)}
(本文 1192 頁)



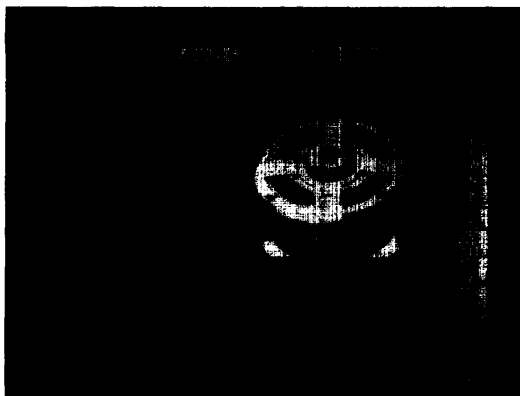
4.8 (平野) 図-7 プリント基板の強制空冷解析結果^{11),12)}
(本文 1192 頁)



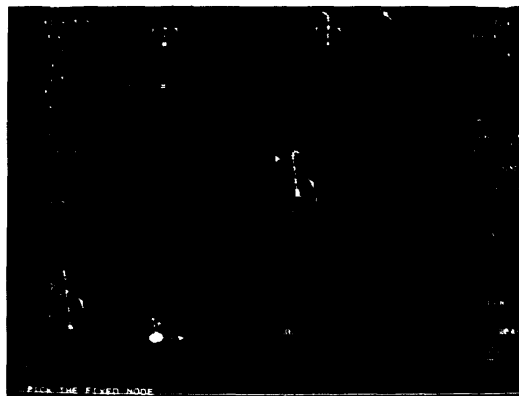
4.8 (平野) 図-9 3次元等温度コンタ面表示 (本文 1192 頁)



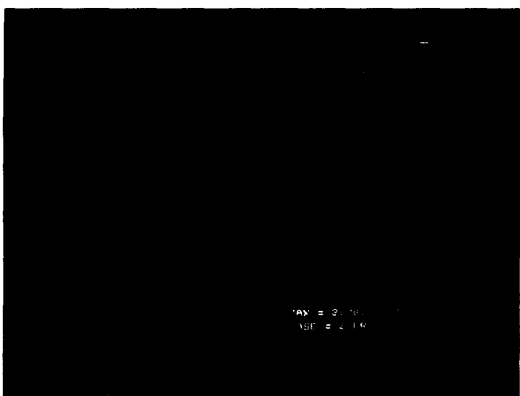
4.8 (平野) 図-10 垂直断面温度分布表示 (本文 1192 頁)



4.8 (平野) 図-11 振動モード・アニメーション
ワイヤフレーム図: 実験データ
シェーディング図: FEM 解析データ (本文 1193 頁)



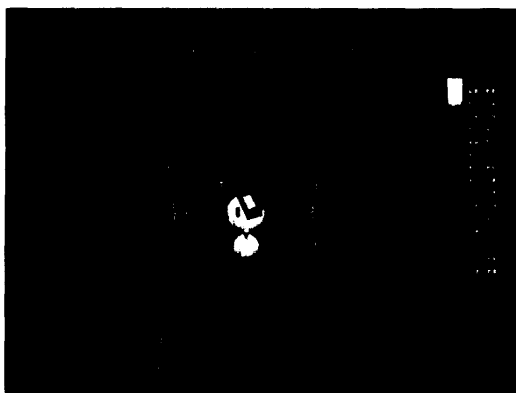
4.8 (平野) 図-12 3次元配管設計・解析システム¹⁷⁾
(本文 1193 頁)



4.8 (平野) 図-13 曲管部応力分布カラー・フリンジ表示
(本文 1193 頁)



4.8 (平野) 図-14 アキュムレータの空洞共鳴モード音圧分布¹⁷⁾
第3次モード: 4,155Hz (本文 1193 頁)



4.8 (平野) 図-15 音響放射の3次元 CG 表示¹⁷⁾
(本文 1193 頁)



(a) 初期状態



(b) 加工途中



(c) 加工終了

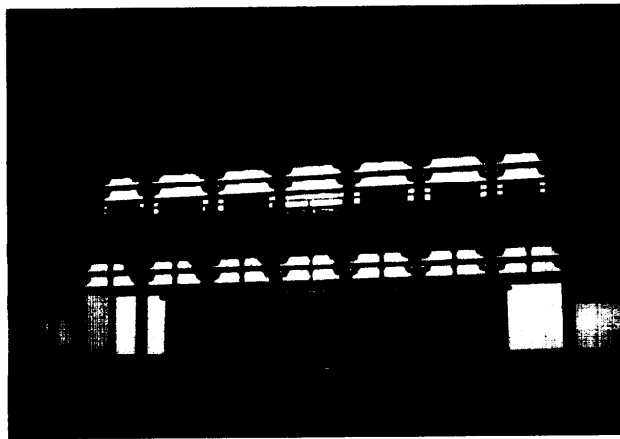
4.8 (平野) 図-16 拡管加工シミュレーション (本文 1194 頁)



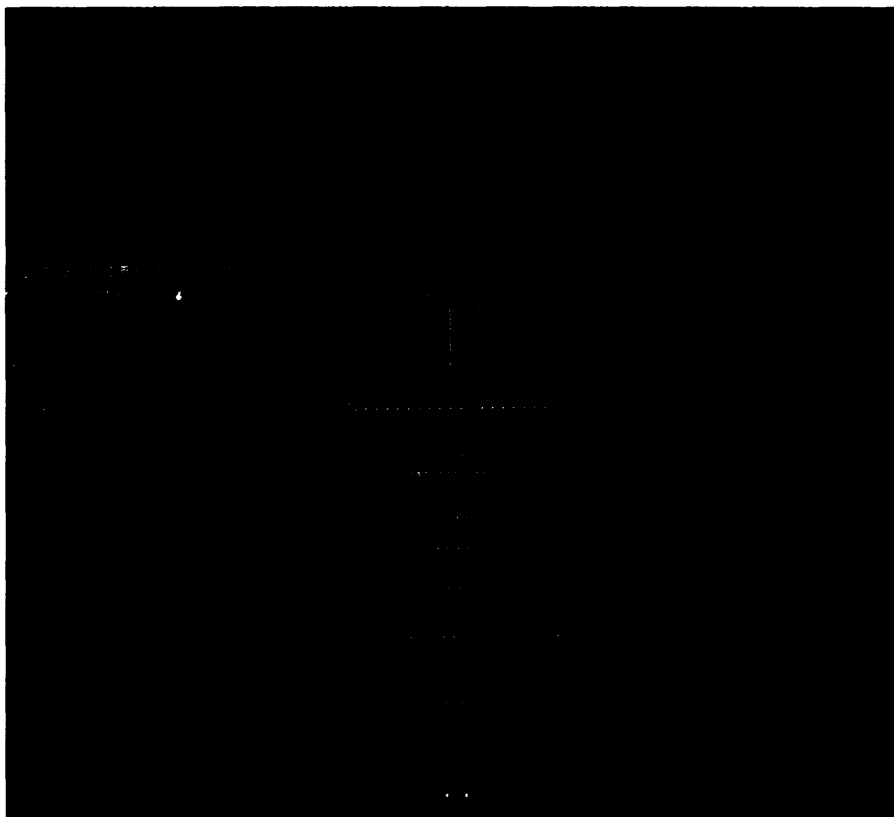
4.9 (町田) 図-3 レイトレーシングによるレンダリングの例—ソムニウム ((株)リンクス提供) (本文1198頁)



4.9 (町田) 図-4 レイトレーシングによるレンダリングの例—アキラ ビーナス ((株)リンクス提供) (本文1198頁)



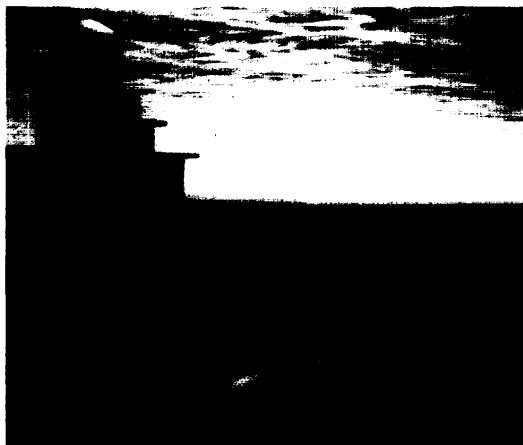
4.9 (町田) 図-5 ポリゴンによる精細な形状モデルの例—羅城門 (NHK 提供) (本文1199頁)



4.10 (楓原) 図-3 夜間映像用の CGI 方式ビジュアルシステムの出力映像例 (本文 1203 頁)

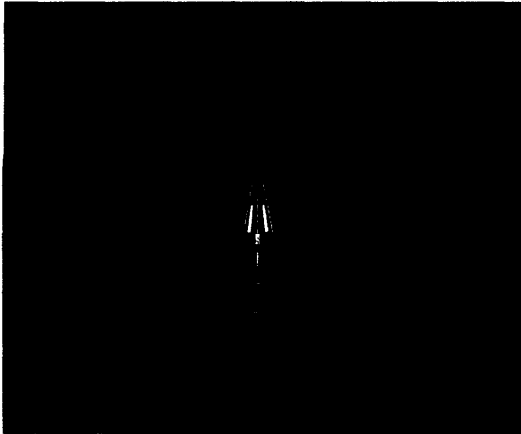


(a)



(b)

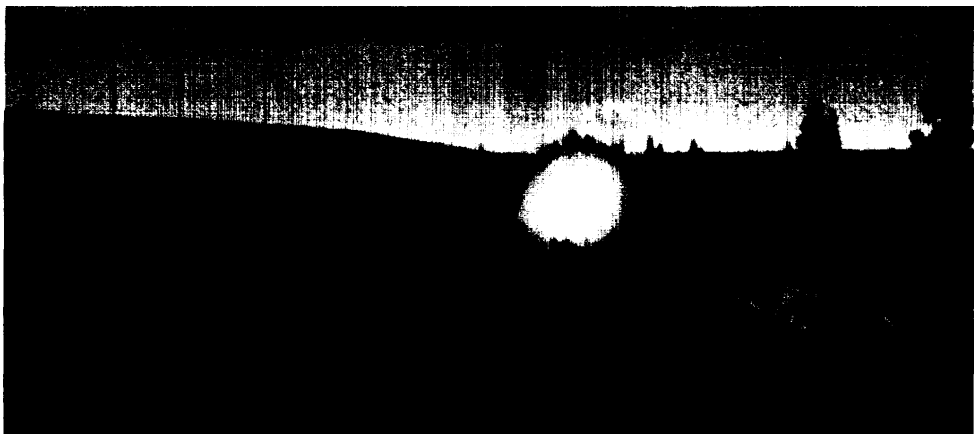
4.10 (楓原) 図-5 三菱ビジュアルシステムの出力映像例 (本文 1204 頁)



4.10 (複製) 図-8 IMAGE 重T の出力映像例 (本文 1205 頁)



4.10 (複製) 図-9 ATACDIG の出力映像例 (本文 1206 頁)



4.10 (複製) 図-11 進歩した CGI 方式ビジュアルシステムの映像例 (本文 1206 頁)



4.10 (複製) 図-12 進歩した CGI 方式ビジュアルシステムの赤外線映像例 (本文 1206 頁)