三次元表示技術の展望*

井越 昌紀**

A Survey of 3 Dimensional Representation / Masanori IGOSHI

Key words: 3 dimensional display, stereo display, 3 dimensional image, computer shape model, holography, physical model, LCD

1. はじめに

物体を写真に撮った1枚の画像として見るよりも、目で直接見るように立体的な映像として見る如果能够できれば、人は実在感、臨場感ある環境の中に浸って、楽しみ、想像を豊かにし、新たな創造をすることができる。3次元映像の技術は、従来、立体映画のように娯楽を目的としたものであったが、最近では、医学、工学、教育、各種産業にも広く利用されるようになってきている。高度な画像処理を必要とする人体断層写真の3次元映像化や、まだ存在しない工業用製品等の形状モデル、あるいは、複雑な分子の構造のような理論モデルを3次元的に可視化するために、3次元映像を利用する試みも増えつつある。このような分野では、立体映像を見ることによって、形状の認識をより早くかつ正確に行い、効率よく仕事を進めることができる。さらに、計算機内モデルを実体モデルとして作成し、現実の照明下に置いて、立体として間違いのない認識をさせることも行われるようになってきた。

3次元映像に関しては、立体映画で実用的に使われた。1930年代はアナグリフ方式、1950年代は偏光方式であったが、シネマの取り囲み効果に取って替わられた。また、1930年代始めには電子式テレビジョンが開発され、1950年代には種々の立体テレビ方式が考案されており、1970年代中ごろには電子シャッタによる立体視が行われている。ホログラムの原理は1948年にすでに発見されているが、1969年に白色光再生方式が

開発されると実用化に弾みがつき、さらに、ホログラムの印刷が可能になったため、ホログラフィは一層身近なものになった。一方、実体モデルの計算機援助による作成は、1950年代の数値制御工作機械の開発と共に行われてきたが、モデル加工専用の加工機が現れたのは1970年代に入ってからである。

3次元映像あるいは3次元画像に関しては、今まで多くの解説がなされているが^{1)~4)}、ここでは、計算機モデルの表示と関連付け、3次元表示を3次元映像だけでなく実体モデルの実物視まで含むものと広義に解釈して、それら技術の特徴と動向について展望する。

2. 3次元表示

3次元表示は、表示される画像の出所により、実物を撮影して利用する撮影画像の表示と、実物として存在しない計算機内形状モデルの表示とに分けられる。今までの3次元表示は、この両者が応用分野によって別々に扱われてきたが、遠隔操作における環境の中でのロボット動作の事前確認や、土木・建築における景觀の中への建造物モデルのスーパーインポーズ、あるいは、計算機モデルを製作し実体化した上で、実物環境の一部として使うなど、同じ3次元映像の中に重ね合わせて使われることも考えられるようになってきた。

2.1 立体感を得る生理的要因

3次元表示は物理現象と、立体的な知覚に関与する生理と心理との関係で種々の実現技術が考えられる。視覚情報としての画像を網膜に映して3次元映像として知覚させる生理的要因としては、一般に両眼視差、両眼輻輳、水晶体調節の立体知覚要因が重要である⁵⁾。

両眼視差は、左右両網膜に入る同一物体の映像の差

* 原稿受付 昭和62年12月21日

** 正会員 機械振興協会技術研究所(東久留米市八幡町1-1-12)

S: 両眼視差, θ : 輻輳, D: 調節

図1 立体知覚要因

異で、等価的に、目から一定の距離 D_s の位置に仮想スクリーンを置いたときの、左右の像 (S_L, S_R) の差から立体として知覚させる生理的要因、輻輳は、同一物体を両眼で見たときの視線の成す角 θ が立体知覚に及ぼす要因、調節は、物体を見たときの水晶体の焦点を物体までの距離 D に合わせる時の立体知覚要因である(図1参照)。実物を見るときは、この3つの要因が巧みに関連して、自然な立体感を得る。しかしながら、スクリーンに画像を表示させることによる立体映像は、両眼視差、輻輳は実現できるものの、調節がスクリーンまでの距離 D_s で一定となり、自然の物体視と

は異なる。特に眼球を動かす輻輳と調節は生理的に連携して距離感を得ているとも言われ、知覚要因の一部だけを実現するスクリーン型立体視が疲れやすいのは、自然な物体視による知覚と、人工的な3次元映像とで知覚要因の作用の仕方と作用量との差異が大きいためとも言われている。

一方、両眼を用いずとも、単眼で3次元の知覚を得ることができる。この効果を奥行効果と言い、コンピュータグラフィックスを用いて表示する手法でもある⁹⁾。これは、物理的な現象と、実物視をすることから養成される心理的な効果の両方からなる。これらには、透視、近点優先表示、遠方の輝度減少、シェーディング、影付け、大画面による取り囲み効果、ズーミング・回転(運動視差)などがある。

2.2 3次元表示技術の分類

3次元表示技術は、図2にあるように、1枚の画像から奥行効果によって3次元の知覚をする擬似3次元映像、両眼の生理的要因を利用して立体感を得る3次元映像、および実体モデルを創成することによって得られる実物視とに分けられる。3次元映像は両眼視差と輻輳を利用する並列画像による方法と、両眼視差、輻輳に加え、調節まで利用する空間像形成による方法とがある。並列面方式はさらに2眼式と多眼式に分けら

()内は知覚要因

図2 3次元表示の分類

図3 円偏光を利用した液晶立体表示装置⁸⁾

れ、空間像形成方式は、ホログラフィ、空間標本式、空間走査式とに分けられる。実体モデルは製作法に強く依存するが、形状モデルの種類に対応した作り方がある。

3. 3次元映像

3.1 2眼式

2眼式3次元映像は狭義の立体映像と呼ばれるものである。両眼にどのように区別して両眼視差の画像を入れるかにより数々の方法が考案されている。アナグリフは、赤、青の画像を青、赤の色眼鏡で見る方法、偏光は、光の波の性質を利用する方法、時分割は、左右像を時間的に交互に表示し、像に同期したシャッタ眼鏡で見る方法、光学式は、ミラーの組合せで両眼に左右像を分離表示する方法である。これらの方法は、画像の出所として、従来のブラウン管、液晶等の表示装置を改良して利用できること、計算機モデルの対話的表示も可能、アナグリフを除きカラー表示も容易である等、眼鏡を使うなどの多少の不便さはあるものの、今後実用的な開発が進むものと思われる。詳細は本誌の別の解説に譲るが、ここでは、これから有望と考えられる2,3の方法について簡単に触れる。その一つが偏光を利用した方法である。今までの偏光方式は直交する線偏光で、眼鏡を掛けた顔を斜めにすると、左右の画像が共に見えてしまうという欠点を持っていたが、円偏光の技術が開発されたため、この欠点が無くなった。円偏光をシャッタに利用した装置はすでに商品化されている⁷⁾。図3は、液晶表示装置を2枚重ねてそれぞれ左右の両眼視差像を異なる方向に回転する円偏光に変えて表示し、これを偏光眼鏡で見る装置⁸⁾である。液晶表示装置は偏光技術との親和性が良いから、円偏光技術は今後の発展が期待される。

もう一つの有力な2眼式立体視手法はステレオビューアとも呼ばれるヘッド⁹⁾あるいはヘルメット¹⁰⁾マウンテッドディスプレイ技術である。この手法は、ヘリコプタやフライトシミュレータにも利用されているし、軍の訓練用に開発もされている。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

図4 液晶を利用したステレオビューア¹²⁾

図5 多眼式の表示方式

とステレオビューアを内蔵した重さ5kgのヘルメットを被ることにより、全く人工的な世界に浸ることができる¹¹⁾。ステレオビューアの光学系は数々考案されている。ここでも液晶表示装置が有効に利用できる。図4は、レンズ眼鏡で液晶の像を見る例である¹²⁾。この方式は環境の画像と計算機モデルの画像とを重ね合わせて見ることに向いており、その場合は、ヘルメットの位置姿勢を正確に計測する測定手法がポイントとなる。

3.2 多眼式

平面または円筒面の上に短冊状あるいはマトリクス状に、わずかず視点を変えた多数の像を配すことにより、見る位置を変えればそれに合わせて3次元映像も変化する3次元表示方式をいう(図5参照)。記録される像が実像のものと、ホログラムのものに分類される。

実像で短冊状のものでは古くはパララクスパノラマグラム、近いところでは、絵はがきにも利用される多眼式のレンチキュラシート、多眼式投射型、多眼式立体テレビ¹³⁾(図6参照)、およびレンチキュラ型ブラウン管方式¹⁴⁾がある。マトリクス状の多眼式はインテグラルフォトグラフィまたはハエの眼レンズ方式とも呼ばれ、上下左右方向に視点を変えると任意の方向からの3次元映像が得られる。これもシート状のものと、投射型のものがある。

ホログラフィ方式の多眼式に相当する方法は、マル

図6 多眼式立体テレビジョン¹³⁾

図7 マルチプレックスホログラム

チプレックスホログラム¹⁵⁾で、インテグラルホログラムとも呼ばれる。この方法は、少しずつ平行に移動しながら異なった角度から、実物を大量にカメラ撮りし、この1こまずつを短冊状のホログラムとして記録していく(図7参照)。ホログラムを作る写真画像が水晶体調節に必要な情報をすでに失っているので、このホログラムも調節の機能はない。この方式は、滑らかな動きのある連続した3次元映像が得られるが、その反面、カラー映像が得にくいなどの短所を持つ。

3.3 ホログラフィ

ホログラフィは2次元平面の中に奥行情報まで持ち、実物視に近い3次元の知覚効果がある。これは、コヒーレント光の回折現象と、物体からの光と参照光との干渉現象を利用して感光板に振幅と位相の両方を、干渉じまの明るさと位置とでホログラムとして記

録しているからである。初期のホログラフィでは、再生時に可干渉光を利用しなければならず実用に遠かったが、白色光再生で良くなったことで実用化が大きく進んだ¹⁶⁾。白色光再生向きホログラムとしては、イメージ、レインボウ、リップマン、マルチプレックスの手法が実用的であるが、中でも、リップマンホログラムは、カラー表示に適している。ホログラム作成上の問題点としては、暗闇の中で、振動を極力押さえた状態で行わねばならず、自然光などの非コヒーレント光の下での景色や建造物をそのまま記録できないこと、対話的な計算機モデルの記録ができ難いことなどがある。ホログラムを

工学、医学に利用する方法としては、前述のマルチプレックスホログラムの手法や、断面層多重記録法により3次元映像用のホログラムを作る方法が実用向きに考案されている。断面層多重記録法は、医学における生体のCT (Computer Tomography) 断面画像の3次元表示に向いている。

3.4 空間標本式

空間に複数の面を平行に置いて、面の上に形状断面を表示する。

ミラーシャッタ型は、電気信号のオン・オフにより、ミラーになったり透明になったりする一種の液晶電気ミラーを複数奥行方向に配置し、断面画像をCRTに表示し、ミラーを順に同期させて活性化することにより3次元映像を得る¹⁷⁾(図8参照)。複数のCRTを等価距離が少しずれるように配置することにより、奥行

図8 ミラーシャッタ方式¹⁷⁾

図9 パリフォーカルミラー¹⁹⁾

の分割を細かくすることができる。しかし、ハーフミラーや、電気ミラーの光透過率がよくないのであまり枚数を多くすることはできない。

さらに直接的な方法は、液晶ディスプレイを複数枚奥行方向に重ねて、断面画像を表示する方法が考案されている¹⁸⁾。この方法は構成が簡単であるし、断面の同時表示が可能なので、今後実用的な研究が望まれる。

この方式は、撮影画像および計算機モデルの表示のどちらも可能である。

3.5 空間走査式

空間軸に沿って物理的にスクリーンやミラーを動かすことによって映像を得るもので、奥行方向にも連続した映像が得られる。

パリフォーカルミラー¹⁹⁾は、図9のようにCRTの画像を振動で凹凸に変化するミラーに反射させて奥行情報を得るものであるが、ミラーの動きが時間に対して線形でないこと、凹凸ミラーに反射された像は拡大縮小がかかること、さらにミラーの半径方向の像のひずみなどがあるため、同じ機構で取り込んだ画像を表示する場合は良いが、計算機モデルの表示などは画像の影響を修正するソフト処理が必要である。

回転スクリーン、移動スクリーン²⁰⁾は、レーザ光による像を動くスクリーン上に結像させることにより映像を得るもので、装置が大がかりになるわりには、得られる映像の大きさに実用上の限界がある。また、レーザ光を用いている関係で、撮影画像の表示は難しい。同様な方法として振動ミラー方式も考案されている²¹⁾が、これらの方法はいずれも物理的な動きの部分があり、表示装置としての展開はあまり期待できない。

図10 レーザによるステレオリソグラフィ²⁴⁾

4. 実体モデル

地図に厚みを付けるために等高線の部分を厚紙で切り取り、積み重ねて立体地形図にし、地形に対するだれにでも間違いのない認識を与えたり、工業用製品の場合には、クレイモデル、木型あるいはプラスチックモデルのように、最終製品の評価のために、製品の形状とそっくりに作ることはよくある。この場合、実体モデルは実際の照明を当てられ、実物としての実在感、臨場感を与えるだけでなく、感触、使いやすさ、空間での干渉チェックなど幅広い用途を持っている。3次元形状処理や画像処理技術が進み、計算機モデルが整うと、実体モデルを自動的に生成する装置が必要とされる。

形状モデルの表現と同様、実体モデルの形態もワイヤフレーム、サーフェス、ソリッドと分類される。計算機モデルを針金細工で立体表現することにより形状認識の効果を上げられる²²⁾が、現在のところ自動作成する機械はない。

サーフェスモデルに相当するのは、折り紙、紙細工、板金などである。計算機モデルの多面体や円筒などの可展曲面を展開し、その際、接続する稜線を明確にでき、必要であれば糊代を付けて紙から切り取り、貼り合わせて立体を作ることができる²³⁾。

新しい方法としてはレーザを用いた方法がある²⁴⁾。これは図10にあるように、液体樹脂の液面にレーザ光線を当てることにより、当たった部分を硬化させて立体形状を作る。レーザの幅は0.005" (0.13 mm) と細く、これが10"/sで液面を走査する。次に液面をわずかに上げて同様のことを繰り返すことにより任意の複雑な形状を作ることができる。ほかの例として、ロボットの腕の先端に細いノズルを持たせ、そこからシリコン樹脂を出しながら平面的に腕を制御し、断面形状を積み重ねていくことにより、形状を作る方法も考案されている²⁵⁾。ソリッドモデルを加工する方法としては

地形図作成のような積層法のほかに、3次元フライス盤による加工がある。金属を切削するのでなければ、比較的剛性がなくてもよい。そこで、プラスチックなどの柔らかい材料を計算機モデルから直接切削する模型加工機がある。X, Y, Zの3軸では横、あるいは下から削れない。そこで、3軸の先端に刃先中心の変化しない構造を持った2回転軸を付加し、加工機能を上げたものもある²⁶⁾。

5. お わ り に

表示しようとする原画像の存在する場所が、計算機の内部の形状モデルと、周りの環境画像の両方であり、それらを重ね合わせることが必要な利用分野もますます増えてくると思われる。さらに、より正確な形状の評価は、現実の照明下における実物視であるという観点から、3次元表示技術を、実体モデルまで含んだものとしてとらえ、種々の技術について概観した。

産業用に限って今後の技術を独断で述べれば次のようにいえる。3次元映像の表示装置は計算機と連動し、表示される画像が利用者の意思を反映してダイナミックに変化することが多い。このように、ダイナミックな動きを伴う画像の表示装置に関しては、画像発生部分並びに制御部分が、CRTから徐々に液晶に置き換えられるのであろう。方式について見れば、リフレッシュサイクルが120 Hz程度のノンインタレースのCRTの出現で、時分割の利用が伸びるであろうが、これからは、ステレオビュア方式と、円偏光の液晶方式の実用的な研究開発が望まれる。ダイナミックの観点からみるとホログラフィは、計算機プログラムをレーザーで液晶に書き込む手法などの研究がさらに進められるであろうが、ホログラムの計算時間が問題で実用にはまだ遠い。

実体モデルは、表示と表示以外の機能を合わせ持つており、多くの用途が考えられる以上、種々の方式を開発してみる価値があると思われる。

参 考 文 献

- 1) 大越孝敏：三次元画像工学，産業図書（1972）。

- 2) 安居院 猛，中嶋正之：ステレオグラフィックス & ホログラフィ・ザ 3D，産業報知センター（1985）。
- 3) 平田渥美，鈴木清明：3次元ディスプレイ，テレビジョン学会誌，41，7（1987）610。
- 4) 郵政省：立体映像システムに関する調査研究会報告書（1987）。
- 5) 日下秀夫：立体視の心理・生理特性，テレビジョン学会全国大会予稿集（1987）411。
- 6) J. D. Foley, A. Van Dam（今宮淳美訳）：コンピュータ・グラフィックス，日本コンピュータ協会（1984）。
- 7) R. DeHoff：The Next Generation Computer Graphics in 3 Dimension, Techniques, 10, 1, (1987) 28。
- 8) 宮下哲哉，内田龍男：液晶を用いたフラットパネル立体映像ディスプレイ，テレビジョン学会大会予稿集（1987）97。
- 9) I. E. Sutherland：A Head Mounted Three Dimensional Display, FJCC, (1968) 757。
- 10) P. D. Pratt：A Helmet-Mounted Camera and Display System for Pilot Training, SID, (1973) 136。
- 11) NEWSWEEK：pp 48-50, 1987, 2, 19, (日本語)。
- 12) T. Uchida & T. Miyashita：A Stereoscopic Display, SID 86 Digest, 440。
- 13) 福井清健：多眼式カラー三次元テレビジョン，放送文化基金報告会資料（1987）21。
- 14) 濱崎襄二：連続視域型三次元テレビジョン，放送文化基金報告会資料（1987）15。
- 15) 鈴木正根：実践ホログラフィー技術，オプトロニクス社（1987）。
- 16) 辻内順平：ホログラフィーによる3次元映像ディスプレイ，テレビジョン学会大会予稿集（1987）431。
- 17) T. S. Buzak：A Field-Sequential Discrete-Depth-Plane Three-Dimensional Display, SID 85 Digest, (1985) 345。
- 18) H. S. Cole, D. W. Skelly & C. R. Stein：A Three Dimensional Display for Radar Returns, SID 74, (1974) 52。
- 19) G. S. Suttly：Interactive Generation of 3-Dimensional Computer Graphics, Eurographics 82, (1982) 17。
- 20) 山田博昭，大平 正，久保和俊：切断面表示方式による三次元ディスプレイ，テレビジョン学会技術報告，47(1987) 27。
- 21) G. L. Lazik：A Three Dimensional Display with True Depth and Parallax, SID 76, (1976) 104。
- 22) 近藤邦雄，田嶋太郎：モダングラフィックス，コロナ社（1984）。
- 23) M. Hosaka & F. Kimura：An Interactive Geometric Design System with Handwriting Input, Information Processing, 77, p. 167。
- 24) 3D-systemes：カタログ。
- 25) 松平宏道：直交座標型3軸ロボットアームのユニークな使い方，省力と自動化（1987, 5）。
- 26) 井越昌紀，永堀英雄：3Dプロッターの適用に関する研究，技研所報，13, 2（1977）。