

3次元表示技術：眼鏡無し立体表示

鉄谷 信二

A T R 通信システム研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町光台2-2

1. まえがき

立体表示は、立体映画、CAD、立体ビデオディスク、医療等の分野で広く普及する傾向にある。さらに、最近、脚光を浴びているVR（バーチャルリアリティ）でも、HMD（ヘッド・マウンティッド・ディスプレイ）を用いた立体表示が使用されている。これらに用いられる立体表示として、現実の世界と映像の世界を観察者が全く区別できないまでにリアルに再現されることが望まれる。静止画のホログラフィにおいては、それに近いものまで再現されている作品があるが¹⁾、やはり、動きが伴わない点で問題がある。立体表示技術に必要とされる技術としては、主に、(1)大画面、(2)高精細表示、(3)動画像、(4)視点移動が挙げられる。現状の立体表示は、上記項目のいずれかを犠牲にして実現されている。

しかし、特定の分野では、立体表示の有効性は明らかであり、積極的に利用されている。

本論文では、3次元表示技術の比較を述べるとともに、観察者がより自然な状態で立体像を観察できる眼鏡無し立体表示方法について詳細に述べる。

2. 3次元表示技術

立体ディスプレイには各種の方法があり、それらの各特徴を表1に示す。表1では

3次元ディスプレイを大きく2種類に分けてある²⁾。

(a) 2眼式立体表示……英語のStereoscopic Display に対応する言葉で、左右の眼に視差を持つ画像を与えて、立体感を与える。

(b) 3次元画像……任意の視点から立体像を観察できる。

アナグリフ式は、赤青眼鏡で左眼と右眼の画像を分離して行われる。ディスプレイに右画像を赤、左画像を青で表示するだけで行われるため、比較的容易に立体表示が実現できる。しかし、カラー化および左右画像の分離が十分でないという問題点がある。偏向式は、偏向フィルタを用いた眼鏡で左右画像を分離する。これらの方式は、映画館等の多人数で大画面で観察するのに非常に適している。同じ眼鏡式で、左右

表1 各種立体ディスプレイの特徴

| 3次元表示の種類 | | 眼鏡 | カラー化 | 動画像 | 大画面化 | 多人数観察 | 視域の広さ | 視点移動 |
|-------------|-----------|----|------|-----|------|-------|-------|------|
| 2眼式 立体表示 | アナグリフ | 要 | × | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | 偏光式 | 要 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | × |
| | 時分割式 | 要 | ○ | ○ | ○ | △~○ | ○ | × |
| | 2眼式ワイドカラー | 不要 | ○ | ○ | △ | × | × | × |
| 3次元 画像 | 追尾式立体表示 | × | ○ | ○ | △ | × | ○ | ○ |
| | 多眼式ワイドカラー | 不要 | ○ | ○ | △ | × | △ | △ |
| | 奥行き標本式 | 不要 | ○ | △ | × | △ | ○ | ○ |
| | ホログラフィ | 不要 | × | × | × | △ | ○ | ◎ |

画像の分離をシャッタ眼鏡で時分割で行う方式がある。ディスプレイが右画像を表示している時に左眼を覆い、左画像を表示している時に右眼を覆う。シャッタ眼鏡は、液晶素子を用いた電子式のもの主流である。家庭用のテレビとの整合が良く、VHDを用いた立体装置が市販された³⁾。多人数でも見れるように、赤外線を用いてワイヤレスにシャッタ眼鏡と映像とを同期させる方法も実用化されている⁴⁾。レンティキュラ式は、空間的に左右画像を分離する方法で、立体用眼鏡を装着しない利点がある。しかし、観察者の人数が制限されること、観察できる範囲が狭いという問題がある。

上記の2眼式立体表示に対して、観察者の視点に対応した画像が見れる追尾式立体表示では、HMDを用いたものがある。観察者の位置を磁気センサーを用いて検出し、コンピュータグラフィックで位置に応じた画像を提示する。2眼式レンティキュラシート方式も同様に行われる。多眼式立体表示は、多数方向の画像を同時提示して、視点に応じた位置で立体像を観察できる。奥行き標本式およびホログラフィは、実像を再生することにより、実現している。

眼鏡装着式立体ディスプレイの技術は、ほぼ成熟したと思われ、映像ソフトの提供が重要となってきた。一方、より自然な状態で観察できる眼鏡無し立体ディスプレイは、研究段階であり、各表示方式において改良がなされている。本報告では、現状として眼鏡不要・動画像・大画面化の可能性の高いレンティキュラ式を中心に他の眼鏡無し立体ディスプレイを紹介する。

3. 眼鏡無し3次元表示

3.1 レンティキュラ方式

レンティキュラシートはかまぼこ状の円柱レンズから構成されている。表示される画像の位置は円柱レンズの焦点距離に拡散層（投影器を使用時）または画像が配置される。レンティキュラシートの性質としては、入射光線の方角を焦点面の位置に光強度と位置情報を記録・再

生することを特色としている⁵⁾。レンティキュラシート材料として、アクリル樹脂または塩化ビニルが用いられる。レンティキュラ方式の画像の水平解像度はレンズピッチに対応する（垂直解像度は画像の持つ解像度となる）。図1は絵はがきで利用されている場合の原理図を示す。4方向から撮影された視差の異なる画像を円柱レンズの1ピッチに縦長のストライプ状の画像として配置する。ストライプ状の画像は円柱レンズを通して拡大され、適当な観察距離で空間的に画像が分離され、左右の目に異なる画像が提示されることにより立体像を観察できる。

レンティキュラシートを用いた立体表示は、当初は静止画によるものであったが、表示装置の進歩とともに動画像の立体表示が可能となってきた。ここでは、動画像表示で実現されたレンティキュラ立体表示装置について、直視型・投影型に分けて最近の報告を紹介する。

3.1.1 直視型レンティキュラ立体表示

レンティキュラシートの背面に表示装置を配置する直視型立体表示装置として、CRTディスプレイを用いた装置が開発されている⁶⁾。従来のCRTではレンティキュラシートのレンズピッチに表示画素を対応させることが困難なた

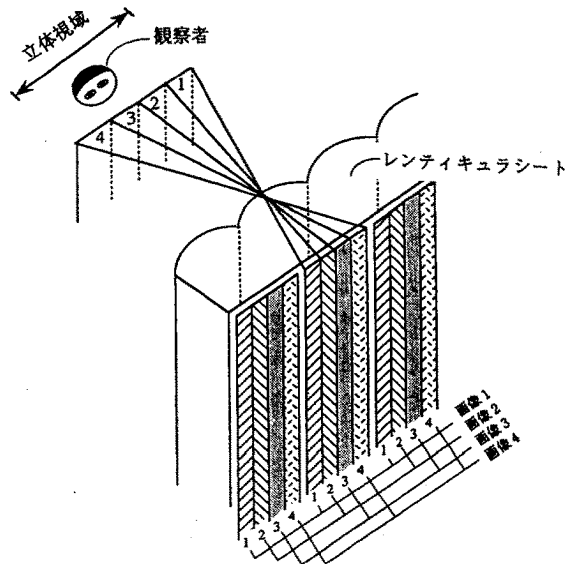


図1 レンティキュラシートを用いた立体絵はがき

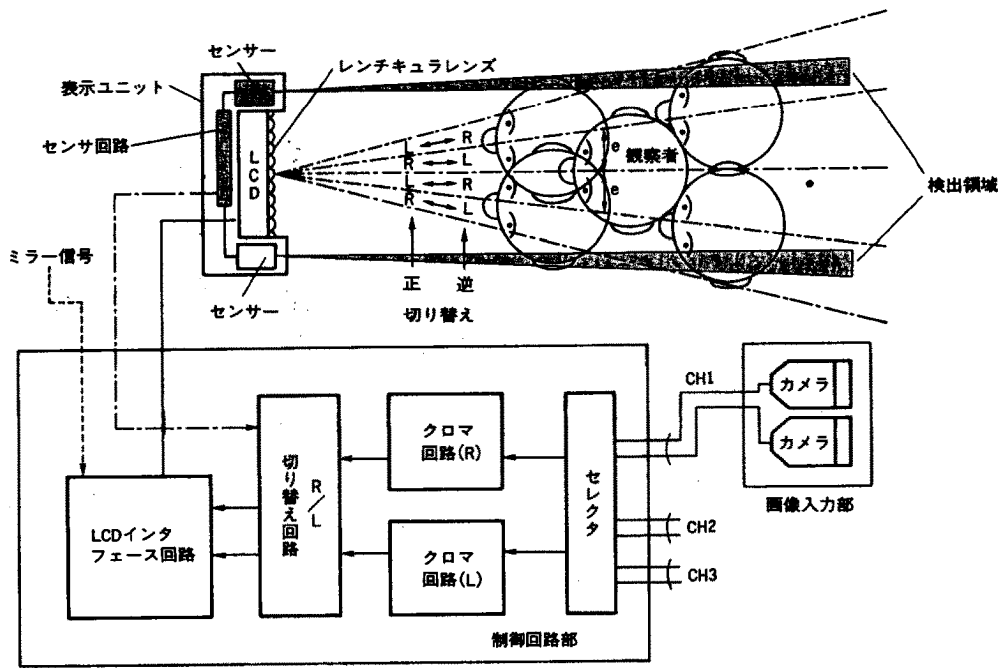


図2 左右画像切り換え式の視域拡大の原理図

め、位置精度を高める指標付高解像力ブラウン管装置を開発している。また、ブラウン管全面のガラスが厚みを持っているため、レンチキュラシートの焦点面に画像を配置することができない。そのために、リレーレンズ、遮光マスクおよびレンチキュラシートから構成される複合レンズ板を使用している。主要諸元としては、表示サイズ約13インチ、立体視域約300mm、視距離0.7~1.5m、8眼式、モノクロ表示である。

フラットパネルディスプレイとして、液晶ディスプレイ (LCD)、プラズマディスプレイ (PDP)、エレクトロルミネセント (EL) ディスプレイの進歩が目ざましく、それらを利用した立体表示が開発されている。フラットパネルディスプレイは、表示画素の配置精度が極めて高く、レンチキュラシートとの位置合わせが容易となる。PDPを用いて開発された立体表示装置の主要諸元としては、表示サイズ12インチ、4眼式、モノクロ表示である。

ELを用いて開発された立体表示装置では、表示サイズ9インチ、5眼式、モノクロ2値表示である。LCDを用いた2眼式立体表示装置

も開発されている。2眼式の視域の狭さを解消するために、頭部の位置を赤外線センサーを用い、頭部の位置に合わせて左右画像を切り換える⁸⁹⁾。原理図を図2に示す。主要諸元としては、表示サイズ6インチおよび7インチ、立体視域約200mm、視距離60cm、2眼式、フルカラー表示である。さらに、将来に向けての立体テレビ電話用装置が試作されている。顔画像をほぼ等倍で表示できる15インチのフルカラーLCDを用い、2台の対向でハンズフリーの会話ができる¹⁰⁾。

3.1.2 投影型レンチキュラ立体表示

投影型は、直視型に比べて大画面に立体表示を行うことができる。この特徴を生かして投影型立体表示が開発されている。筑波における科学万博で、背面投射型の多眼式カラー立体テレビジョンが展示された¹¹⁾。5台のVTRにより同期再生され、ハーフミラーを用いて等価的に5台の投影器が横に並ぶように設定されている。投影距離を短くするために、フレネルレンズを使用している。表示サイズ14インチ、視距離75~150cm、5眼式、フルカラー表示である。前面投影型で9眼式の装置が開発されてい

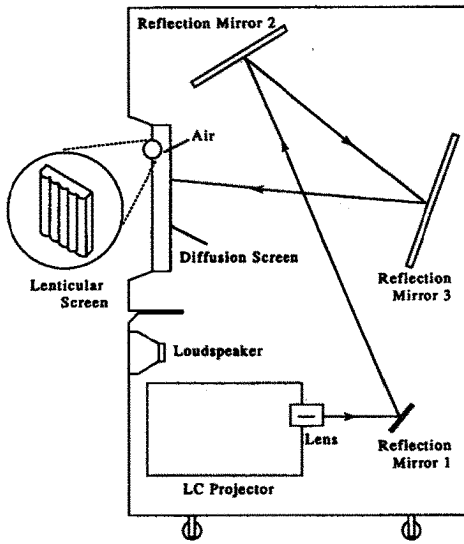


図3 投影型レンチキュラ式立体表示装置

る¹²⁾。この装置では、レンチキュラシートを湾曲させて、スクリーン周辺の光量の低下を防いで品質を挙げている。単純に湾曲させるとサイドロープによる立体視ができないため、レンチキュラシートの中心付近で厚みを薄くし、周辺で厚くすることでサイドロープの立体像を確保している。表示サイズは100インチ、モノクロ表示である。

1台の投影器で2眼式立体像を構成する装置が開発されている。原理的には、直視型立体ディスプレイと同様のストライプ像をレンチキュラシートの焦点面に投影することにより実現している¹³⁾。フラットディスプレイの大型化がある程度以上期待できない現状では、投影器

の特徴を生かした技術である。開発された立体ディスプレイは、表示サイズが40インチと大型になっている。また、単純に従来の投影器を用いると解像度が1/2になるので、EDTV仕様の高解像度の液晶投影器を使用している。レンチキュラシートを中空構造にして軽量化を図るとともに、左右画像の水平位相を可変することにより、立体映像の奥行き感を調整できる工夫もなされている。視距離は約4mである。本装置構成を図3に示す。背面投影型で、ミラー使用することによりコンパクトな装置になっている。さらに、4眼式に拡張した50インチの装置が開発されている¹⁴⁾。1台の投影器で多眼式にしても解像度を劣化させないように、HDTV用の液晶投影器を使用している。4眼式の採用により、左右の視域を20cm、奥行き方向に±60cm(視距離5mで)と観察視域を大幅に改善している。

2眼式で立体視域を広げる方法として、観察者の視点位置を磁気センサーを用いて、左右像を切り換えて立体視域を広げる装置が開発されている¹⁵⁾。立体視域は左右方向に約60cm、表示サイズ約40インチ、視距離12m、前面投射型である。この方法は観察者の移動時の切り換えが不自然という問題があり、連続的に視点位置に左右画像を提示する方法が開発されている¹⁶⁾。立体表示方法は、上記の1台による2眼式投影と同じ構成を用いて、投影像を拡大・縮小により前後方向の視点移動に、左右に移動させるこ

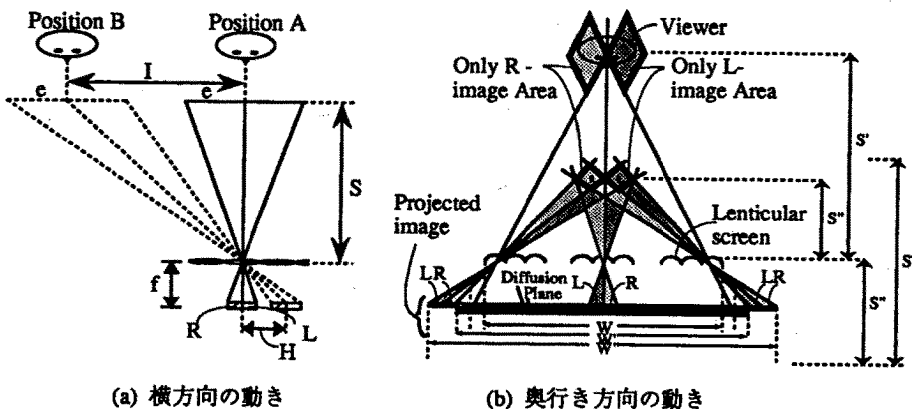


図4 連続視点移動に対応した視域拡大の原理図

とで左右の視点移動に追尾する。原理説明図を
図4に示す。立体視領域として、前後に1.5m～
3m, 左右方向に±50 cm, 表示サイズは40イン
チである。

3.2 奥行き標本式

奥行き標本式の原理は、輝点集合体の移動に
よって奥行き表現を行い、3次元物体の各位置
における2次元の切断面画像情報と同期させて
輝点集合体を光らせ、眼の残像現象を利用して
空間に画像を浮かび上がらす。原理図を図5に
示す。レーザービームの水平・垂直走査により
2次元画像をつくり、スクリーンの移動に応じて
画像を更新していく。スクリーンの移動方法
としては、回転ベルトに3枚の平面スクリーンを
配置した方法が開発されている¹⁷⁾。表示サイ
ズは一辺が80 mmの立方体内、解像度は64
(横)×64(縦)×72(奥行き)ドット、画
像更新レートは5画像/秒である。螺旋系のド
ラムを回転させた方法も開発されている¹⁸⁾。ま
た、LEDをマトリックスに配列したパネルを
回転または奥行き移動させて立体表示させる方
法も研究されている^{19,20)}。

本方式の問題点としては、精細表示および
ファントムイメージ(半透明像)が挙げられる
が、特定の分野については有効である。例え
ば、(1)CG画像の3次元表示、(2)CTスキャ
ン像の3次元表示等の医療の分野、(3)分子構
造の直観的理解の支援等の教育の分野、(4)航
空管制塔で航空機の位置の空間的判断等に応用
される。

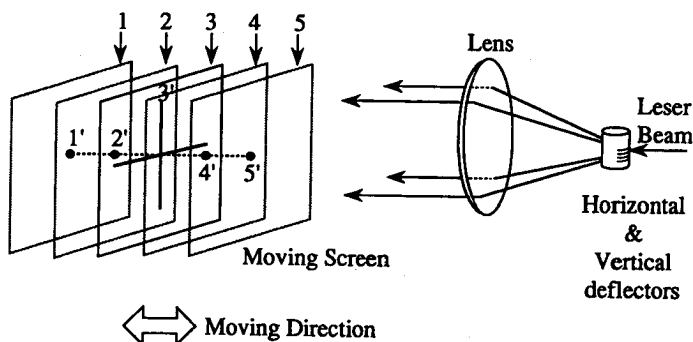


図5 奥行き標本
式立体非の原理図

3.3 ホログラフィ

ホログラフィの基本原則としては、レーザー光
を物体に照射し、その物体光とレーザー光(参照
光)との干渉縞をホログラム記録材(感光材)
に記録する。記録されたホログラム記録材に
レーザー光を照射すると、干渉縞により光が特定
の方向に回折する。この回折光が物体光として
働き、実像を再生することができる。ホログラ
フィの特長としては、実像を再現するため、両
眼視差方式と異なり眼のピント調節と輻輳を一
致して見ることができ、さらに、視点に応じた
画像を見ることができ、静止画像としては、
優れた立体表示であるが、これを再現する干渉
縞は数ミクロンのオーダで記録され、莫大な情
報量を持つため、動画像表示することは極めて
困難である。しかし、このホログラフィを動画
像化する試みが最近活発になってきている。以
下に、それらの技術を紹介する。

3.3.1 音響光学変調器を用いた方式²¹⁾

音響光学変調器は超音波を伝える音響媒質
と、この媒質中に超音波を励起するための超音
波振動子と、この振動子を駆動するために使う
高周波電源とでできている。超音波は圧力波で
あるから、媒質中に超音波を励起すると、圧力
によって媒質の屈折率が変化し、屈折率の縞模
様ができて、これが回折格子と同じ働きをす
る。この原理を用いて、ホログラフィを実現し
ている。

MITで行われている装置構成を図6に示す。
音響光学素子に画像信号から計算して得られる

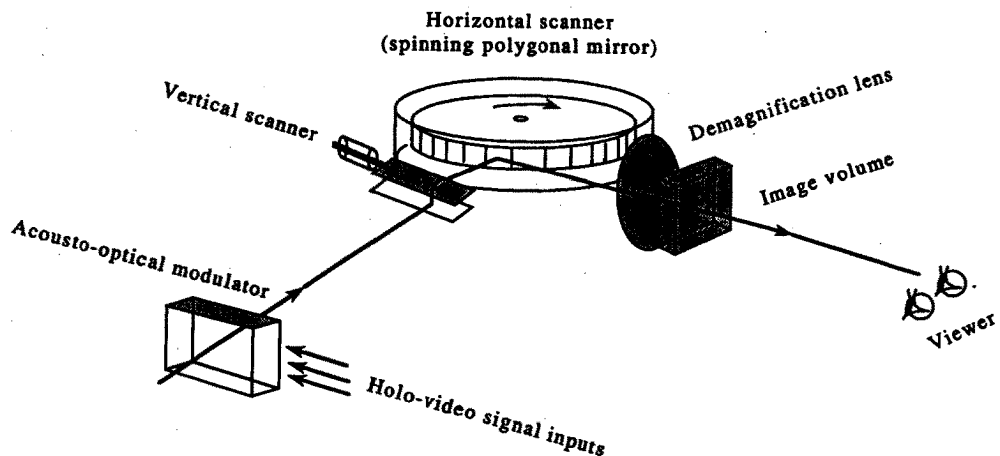


図6 音響光学変調器を用いた動画ホログラフィ

位相情報を与え、レーザー光を変調する。図中の音響光学素子は1次元走査なので、垂直走査のためにミラーを回転させて行う。音響光学素子上の画像を静止させるために、ポリゴンミラーを用いている。画像のソースとしては、CG像を対象としている。この方法の特徴は、ホログラフィに必要とする莫大な情報量をいかに削減するかがポイントである。情報の削減方法として、(1) 視差の制限（水平視差のみ）、(2) 視差の標本点の削減（奥行きを制限された光景）、(3) 解像度の制限を用い、動画像化を図っている。情報量の削減は、計算機の処理量を減らすことが主な理由である。現状の表示装置は、表示サイズが3 cm程度で、視野角約11度、書換え速度が1秒以下で単純な画像に限られている

3.3.2 液晶パネルを用いた方法²⁹⁾

液晶パネルを空間光変調器として用いて、実時間動画ホログラフィを実現している。光を偏光させる方法として、位相を制御することで行っている。記録方法は、通常ホログラフィの記録方法と同じであり、参照光と物体光の干渉縞を写真乾板の代わりにCCD撮像素子を用い、干渉縞を記録する。液晶空間光変調器に、撮像されたホログラフィ干渉縞がビデオ信号により電気的に書き込まれる。液晶パネルは通常のテレビで用いている偏光板が取り除かれているので、ビデオ信号が位相パターンに変換され

ている。従って、位相ホログラフィとして表示される。本方法の問題点としては、液晶のサイズ、解像度に依存するため、今後、より高精度、大画面の液晶パネルの開発を待つ必要がある。

3.4 バラックスバリヤ方式

バラックスバリヤ方式は、基本的にはレンティキュラ方式と同様の原理に基づいている。レンティキュラ方式は、レンズの効果により画像を分離するが、バラックスバリヤ方式はレンズをピンボールに置き換えたもので、スリットにより画像を分離する。この方式の新しい試みとして、映像用とスリットバリヤ用の2枚の液晶パネルを使用する方法が提案されている²⁹⁾。構成図を図7に示す。この特長としては、スリットを電子的に作りだすことができるため、スリットをなくし透明にした場合、2次元表示することができ、スリットを用いると立体表示行うことができる。また、スリットを自由に作りだせるので、2次元像と立体像の混在も可能となっている。表示サイズは9.6インチ、解像度は640(H)×400(V)、白黒表示である。

4. まとめ

眼鏡を必要とする立体表示は、ほぼ完成された状況にあるが、眼鏡無しでの3次元表示は、改良すべき点はまだかなり残されている。原理的

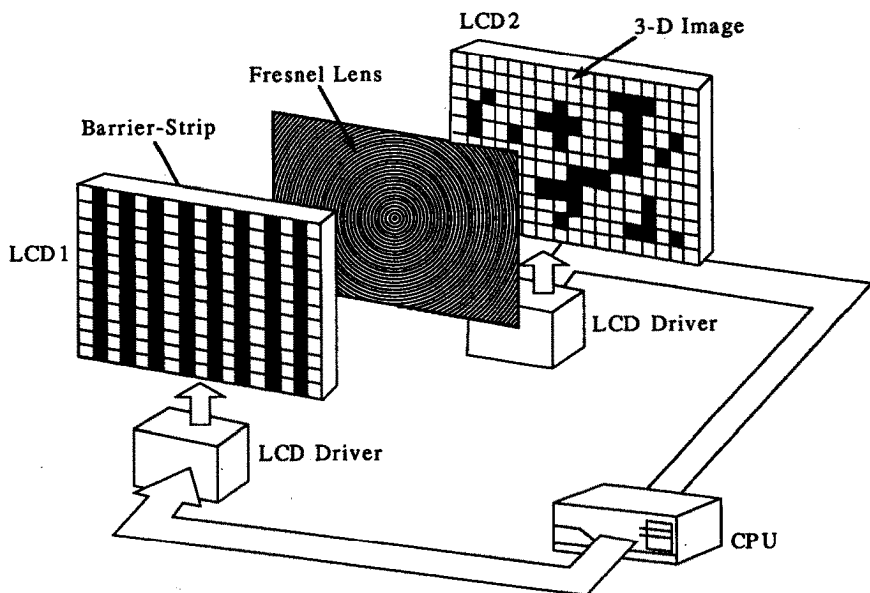


図7 液晶パネルを使用したパララックスバリア方式

には、ホログラフィの立体表示が優れるが、大画面、動画像化を考えると、ここ暫くレンチキュラを用いた方式が実用性において高いと思われる。また、現行のテレビ放送が立体テレビに置き変わるには、解決すべき問題がある。利用者のテレビのサイズに合わせた視差補正を行わないと立体像が融合できない点、大画面で人物のアップを映し出した場合、立体像がリアルであればあるほど、巨人の顔を見ることになり、違和感が生じる。現行のテレビに比べて制限された映像描写になると思われる。一方、3次元表示は、利用分野の応じては極めて有効であり、利用分野に応じた立体ディスプレイを開発していくことが寛容であろう。

文献

- 1) 久保田敏弘：カラーホログラム—童女。3D映像，3(4)，52-53，1989。
- 2) 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，41，610-618，1987。
- 3) 鈴木清明：立体ビデオディスクについて。テレビジョン学会技術報告，VR87-2，7-12，1987。
- 4) 角文雄：全天周立体フルカラーCG映像。3D映像，4(2)，40-45，1990。
- 5) 大越孝敬：三次元画像工学。産業図書，1972。

- 6) 濱崎襄二：多眼式3次元映像表示。テレビジョン学会誌，43，768-775，1989。
- 7) 磯野春雄，安田稔，日下秀夫，森田寿哉：メガネなし3Dフラットパネルディスプレイの試作。テレビジョン学会誌，44，591-597，1990。
- 8) 一之瀬進，鉄谷信二，石橋守人：直視形頭部追跡立体画像表示技術の検討。電子情報通信学会論文誌，J73-C-II，218-225，1990。
- 9) 石橋守人，鉄谷信二，秋山健二，一之瀬進：頭部追跡を用いた立体画像表示の検討。NTT R & D，40(3)，385-392，1991。
- 10) 一之瀬進，鉄谷信二，小松忠彦，秋山健二：直視型15インチ立体ディスプレイの開発。3D映像，5(4)，25-32，1991。
- 11) 村上弘規，野添敏郎，米田賢治：多眼式カラー立体テレビジョン。テレビジョン学会技術報告，VVI69-3，33-38，1969。
- 12) R. Borner: Autostereoscopic photography and video projection of parallax-stereopanoramagrams onto large lenticular screen. *Proceeding of Japan Display '89*, 40-43, 1989.
- 13) 磯野春雄，安田稔，三輪幸司，金山秀行，山田千彦：40インチ液晶投射型メガネなし立体TVディスプレイ。テレビジョン学会誌，46，1472-1474，1992。
- 14) 磯野春雄，安田稔，竹森大祐，金山秀行，山田千彦，千葉和夫：50インチ多眼式メガネなし

- 3次元テレビジョン. テレビジョン学会誌, 45, 1472-1474, 1991.
- 15) 一之瀬進, 鉄谷信二, 志和新一, 田中知明, 石橋守人: 頭部追跡立体画像投射表示技術の検討. テレビジョン学会誌, 44, 1027-1033, 1990.
 - 16) 鉄谷信二, 岸野文郎, 永嶋美雄: 視点追跡形広視域立体表示装置の試作. 1992年電子情報通信学会秋季全国大会, D-249, 6-251, 1992.
 - 17) H. Yamada, H. Sumita, K. Muraoka and K. Miyaji: Linear moving screen type 3D display. *Proceeding of Japan Display '92*, 307-310, 1992.
 - 18) 山田博明, 角田弘明, 宮地杭一: 移動スクリーン式3次元ディスプレイ. 3D映像, 6 (1), 36-41, 1992.
 - 19) 松本三千緒: スペクトラムビジョンの開発. 3D映像, 4 (4), 12-15, 1990.
 - 20) 亀山研一, 大富浩一: 体積走査型3次元ディスプレイの開発とその応用. 3D映像, 6 (2), 7-13, 1992.
 - 21) S. A. Benton: Experimentals in holographic video imaging. 3D映像, 5 (2), 36, 1991.
 - 22) 橋本信幸: 新技術を用いた動画ホログラフィー. 画像ラボ, 2 (12), 58-62, 1991.
 - 23) H. Isono, M. Yasuda and H. Sasazawa: Autostereoscopic 3D LCD display using LCD-generated parallax barrier. *Proceeding of Japan Display '92*, 303-306, 1992.