

連続視域型のレンズ板三次元テレビジョン ——ブラウン管直接表示方式の実験——

Autostereoscopic Three Dimensional Television Directly Seen on a Lens Plate

濱崎 襄 二*・岡田 三 男*・宇都宮 昇 平*
Joji HAMASAKI, Mitsuo OKADA and Shohei UTSUNOMIYA

連続視域型の三次元映像では、眼鏡等の補助器具なしで、しかも、見る方向にしたがってその角度からの映像が見える。このような映像を実時間で記録・表示できるのは、レンズ板を用いる方式である。本文では、指標付高解像力ブラウン管面上に付けられたレンズ板の上に三次元像を表示する方式の、三次元テレビジョンの試作実験装置と実験結果とを解説する。そして、この方式に関連して、連続視域型の三次元映像の実時間記録とその表示において遭遇する諸問題と、その解決方針を述べる。

1. 序 論

任意の方向から自由に見られる動的三次元像(3D像と略称する)は、観察者に迅速正確に、膨大な量の情報を伝えることができる。認識される3D像は、眼から受け入れた動的画像データと矛盾しないように、脳内で創り出された3D像である。3D像の表示では、脳内で迅速に、あいまいさのない3D像を創り出すのに十分な画像データを、供給することが必要である。

人間の眼は網膜にモザイク構造の視細胞(錐体)配列を持ち、両眼輻輳と水晶体調節とが連動し、絶えず動いている。視細胞配列は角膜と水晶体との複合レンズによって物体上に投射され、それによって、視空間は絶えず体積走査されている。このような眼の構造と機能に対応して、3D像の実時間表示でも、レンズ板による投影法と¹⁾、可変焦点鏡による体積走査法が試みられてきた²⁾。近い将来には、両者の複合方式が重要となると考えられる。

連続視域型の3Dテレビジョンでは、撮像素子と表示素子の双方において、高解像性、高階調性、高色調性、高速性、位置合わせ精度が要求される。撮像では高感度が要求され、表示では大面積性と明るさが要求される。最近の電子装置の発達は著しいものであるが、視野と視域が広く、精緻で明るい3Dテレビジョンの実現のためには、さらに高度の性能が必要となっている。

レンズ板方式の3Dテレビジョンの表示方式には、直接表示方式と投射表示方式とがある。卓上等で一人または数人が観察する場合には前者が適当であり、広視野の映像を多人数で観察する場合には後者が適当である。

直接表示では、視域の広さと要求解像力で決まる精細な画像データを、レンズ板と位置合わせできる精度で、

高速表示しなければならない。表示装置は従来のテレビジョンと同様に、単一の機器となることが特色である。

投射表示では、光学的投射空間を必要とし、要求解像力を満たす投射レンズを、視域の広さに必要な数だけ、位置合わせして用いなければならない。後焦点面に拡散性反射膜を持つレンズ板(反射性レンズ・スクリーン)上に、多数の投影像を投射し、このスクリーンの作用によって、3D像を再生表示する。レンズ板との位置合わせが投射と拡散反射の過程で自動的に行われることと、広視野の大画面映像が得やすいことが特色である³⁾。

本文では、レンズ板を用いた直接表示方式の中で、ブラウン管直接表示3Dテレビジョンの試作装置と実験結果について説明する。現在入手可能な電子装置性能に制約があるため、本実験では視差は水平方向に限られ、8眼式白黒方式テレビジョンである。なお、本試作実験は、連続視域3D像の実用化を目指して、千葉大学付属病院植松貞夫博士、ソニー株式会社竹内修氏、同神林宏二氏、同島田聡氏との協力により進めたものである⁴⁾。

表示装置では指標付高解像力ブラウン管に“位置同期読み出し方式”を適用して、レンズ板と位置合わせできる表示位置精度を達成し、“縦格子中継レンズ板”を組み込んだ複合レンズ板によって、広視域の3D像を表示する。撮像装置では、CCD撮像素子と固定焦点撮像レンズとの組(8組)を並列して用い、この前に変換光学系としてフレネル・レンズ一枚を置いて、ピント調節と輻輳とを行っている。取得された投影像群は表示装置における瞬時的表示位置にしたがって、電子回路によって高速編集される。

また本文では、この表示装置と画像記憶とを用いて、標準方式テープ・レコーダーに録画された多数の視差像から、3D像を表示する実験についても説明する。

撮像装置および表示装置の設計、および、被写体を撮

*東京大学生産技術研究所 第3部

像・表示するときの光学系定数値の選択において、その基礎となる3D像の幾何学的性質については、本小特集の解説⁹⁾を参照されたい。

2. 試作実験装置の概要

本実験では、一台の複合撮像装置によって、8枚の視差像を同時に取得し、電子装置によって、広帯域3Dビデオ信号に編集・表示している。視差像の数と3D像表示用のレンズ板のピッチ(1mm)とは、ブラウン管の解像力と裸眼観察性との、妥協によって決められている。テレビジョン同期系は、視差像がフレーム単位で扱われている点を除いては、標準テレビジョン同期系と同じである。

2.1 連続視差テレビジョン表示装置

2.1.1 表示系の電子回路^{7),9),12)}

図1は連続視差3Dテレビジョン表示装置の簡略化構成図である。HRBTは、指標(ビーム・インデックスIPS)つきの高解像力ブラウン管である。IPSは、幅 $50\mu\text{m}$ 、ピッチ1mmの蛍光線条であって、画像表示蛍光膜(IDP)の裏面にあるアルミ薄膜電極(AFE)の上に印刷されている。ビーム径約 $70\mu\text{m}$ を持ち、加速電圧20kVで動集束(ダイナミック・フォーカス)された電子流がIPSに衝突すると、IPSは薄緑色の蛍光(指標光パルス)を発生する。この光パルスは、ブラウン管外囲器後方の窓を通して、4本の光電子増倍管で受光され、指標(電気)信号(INDEX.IN約5.6MHz)となる。この信号はIAS(帯域幅2MHz)により増幅成形されて、撮像系電子回路に送り出される。撮像系電子回路では、この信号に同期して視差像を編集し、3Dビデオ信号を作り出している。

電子流の偏向と集束は、共に開ループ制御である。IDP上に配置される画素の位置精度は、2.2.2節で説明するように、すべて電子的に制御されている。この方法を“位置同期読み出し方式”と呼ぶ。DCG回路は、撮像系電子回路より標準(水平、垂直)同期信号(NTSC.SYNC)を受け取り、偏向コイル(HDCとVDC)に供給する電流波形を作る。DFC回路は、DCGの波形から電子流の静電的動集束用の電圧波形(約4.7kV)を作る。VAは帯域幅

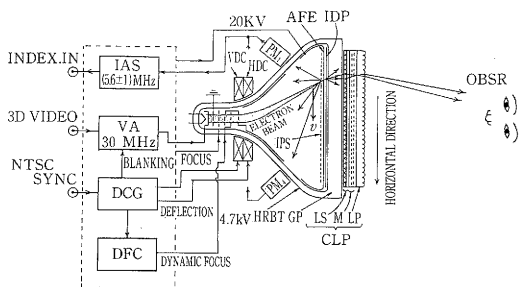


図1 表示系電子回路のブロック図(ブラウン管直接表示方式)

30MHz以上の増幅器であって、撮像系電子回路から受けた3Dビデオ信号(3D VIDEO)を増幅し、ブランキング・パルスを挿入し、得られた信号を、インターレース水平走査により毎秒60個の3D像(1/60秒ごとに525/2本の水平走査)の割合で、HRBTの陰極に印加する。

2.1.2 表示光学系^{8),10),11)}

図1においてCLPは複合レンズ板であって、それは“縦格子中継レンズ板”(LSとMの組み合わせ)とレンズ板(LP)とで構成されている。3D像はLP上に表示される。この光学系で用いるレンズ板は、すべて、レンチキュラー・シート(円柱面レンズの一次元配列)である。

ブラウン管の表面ガラス板(GP)は広い視域を確保するためのレンズ板厚さよりはるかに厚い。そのため、IDP上の画像は、少なくとも水平方向に関しては、LPの後焦点面上に中継移動されなければならない。

図2はCLPの構造を示す。LSはもう一つのレンズ板(焦点距離約4.3mm)であり、Mは7枚1組の遮光板である。Mのそれぞれは、70%の開口効率を持ち、厚さ0.15mmの垂直格子である。LSとMとはIPSと同一のピッチ(1mm)を持ち、IPSと位置合わせされる。IDP上の画素から発した光線はLSにより水平方向に集束される。この光線は、LPの後焦点面では、ピッチ当り8本の線状断面の光ビームに変換される。人間の眼の非点収差許容量は相当に広いので、水平焦点面上で垂直方向について焦点を結ぶ必要はない^{8),11)}。IDP面からLP後焦点面へ中継する際に、光ビームの水平方向の並び順序が逆転する。

LPは面積 $280\text{mm} \times 220\text{mm}$ 、焦点距離2.25mm、ピッチ0.997mmを持っている。LPのピッチとLP後焦点面上の線状断面光ビームのピッチとの差は、LPと基準視域までの距離(約750mm)を決定する。LP後焦点面の線状断面

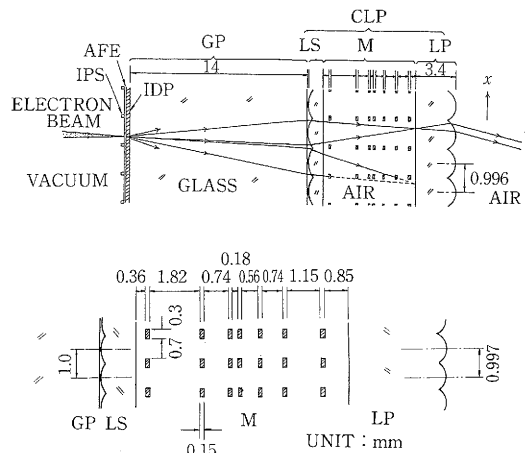


図2 表示装置の光学系(縦格子中継レンズ板を用いた複合レンズ板の構造)

光ビームは、LPによって8つの扇状光ビームに変換され、同時に、その並び順序も逆転される。LPによる並び順序の逆転と、LSによる逆転とがあるため、IDP上の画像データの並び順序は、表示に直接用いられる扇状光ビームの並び順序と同じにしておく必要がある。

扇状ビームの相互離角はIDP上の画素間隔(0.125mm)、中継レンズ板による縮小率(0.9)、および、LPの焦点距離により定まる。一つの視差像に属する多数(LPの素レンズ総数)の扇状ビームは、基準視域上において、幅35~40mmの帯状領域に集まる。

全体の扇状ビームは、基準視域上において、少しずつ重なった8つの帯状領域を形成する。LP前方の観察者は、(瞬時的には)任意の二つの視差像に属する扇状ビームを同時に選択する。観察者は、自然視のとくと同様に、両眼から得られた視差像データを短時間蓄積処理することによって、実時間で3D映像を認識する。

2.2 連続視差テレビジョン撮像装置

2.2.1 撮像光学系^{12),13)}

図3は、テレビジョン撮像装置の光学系の説明図である。Rは記録面であって、8個のCCD撮像素子(CCD一つの有効面積は8.8mm×6.6mmで384×491画素)の一次元配列で構成されている。撮像素子は小型、高感度で、かつ、画素位置精度が高いことが要求される。L1~L8は、焦点距離 f (約25mm)を持つレンズの一次元配列である。レンズ中心は等間隔(間隔48mm)であり、レンズ光軸は全光学系の光軸と平行である。Rはこのレンズ配列の焦点面に固定されている。L1~L8の中の一つのレンズとその後方(R上にある)CCD素子との組み合わせが、一つの視差像を撮像する要素カメラとなっている。

Lは大口径を持つ変換光学系のレンズであり、実験では一枚のフレネル・レンズ(焦点距離約1000mm)を用いている。基準視野面AはLの焦点面である。L1~L8とLによって得られるA面中心点の像点は、それぞれ、L1~L8の光軸上にある。カメラ・アングル(各要素カメラの視線方向)の調節(輻輳)とピント調節は、Lによって同時に実行される。面A以外の面上の物点から発する光線はR上ではボケを生ずる。このボケの大きさは、基準視野面の近傍では、レンズL1~L8の開口径と、その物点と面Aとの距離とに比例している。

良好な3D像を得るためには、撮像系と表示系の光学的構成が整合していなければならない。文献5)の用語を用いるならば、変換光学系Lを通して見えるレンズL1~L8の中心の像が、撮像系の“相点”である。L1~L8の後方のR面上にあるCCD素子は、固定された画素を持っている。CCDが相互に位置合わせされているならば、L1~L8の一つLnとLによってA面上に生じたところの、個々の画素中心点の像は、A面上では、各要素カメラに共通な二次元配列上の点となる。このA面上の点配列のそれ

ぞれが、撮像系の“録点”である。“特徴光線”は一つの録点と一つの相点とを通る光線である。この撮像系で記録される3D像は、主に特徴光線群で記述される性質のものであるから、この像は“多眼レンズ板3D像”の一つである。

図1の表示光学系では、LPの素レンズ中心(垂直)線上に“録点”がある。表示光学系の“相点”は、一つの視差像に属する扇状光ビームで形成された基準視域上の帯状領域の中心(垂直)線上にある。本文の撮像系では表示系録点数のほうが撮像系録点数より少なく、また撮像系CCDからアナログ量の画像データが得られるので、表示系の録点数によって全体の解像力が決まっている。

本実験の撮像装置では8台のCCDカメラ(ソニーXC-38)の一次元配列を用い、それらのレンズとLとの間隔は数センチメートルである。したがって、撮像系の相点間隔は約50mmである。表示系の相点間隔は約37mmである。これらのピッチは文献5)の適切間隔(30mm以下)より大きい。視差像の数と視域幅との妥協点として選ばれている。LSの焦点距離とピッチとを適切に選ぶならば、表示空間相点間隔を30mm以下にすることも可能である。また、変換レンズLの位置を適切に選び、あるいは、二枚レンズ系とすることによって、相点間隔と録点間隔が適当となるように、光学的に変換することも可能である(文献5)付録を参照)。

2.2.2 撮像系の電子回路¹²⁾

図4はテレビジョン撮像装置の電子回路の説明図である。8個のCCDカメラで同時に記録された8つの視差像の瞬時的アナログ・データは、それぞれA/D変換されて

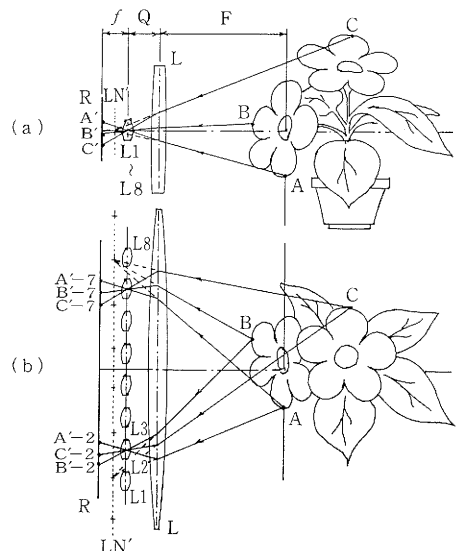


図3 撮像装置の光学系(レンズ配列による多眼記録方式)

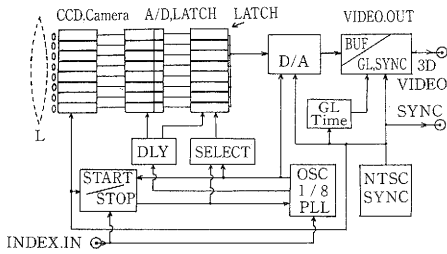


図4 撮像系電子回路のブロック図 (指標信号による3Dビデオ編集)

デジタル信号となる。8個のCCD素子の位置的同一画素から同時に得られた8画素分一組のデータは、ラッチ回路によって短時間(178ns以下)記憶保存される。走査基準となる撮像同期信号はNTSC. SYNC回路で発生され、INDEX. INは表示装置から受け取られる。

図4において、START/STOP回路はNTSC. SYNCとINDEX. INの両方の信号で制御され、一つの水平走査における画素読み出しの、開始時刻と終了時刻とを決定する。OSC. 1/8. PLL回路は分周位相同期ループであり、安定化された指標信号 (INDEX. OUT) と内挿信号 (TIMING. SIG約45MHz) とを発生する。水平走査中の電子流は、蛍光面 (IDP) 上を約1mm/178nsで走査しており、INDEX. OUTはこの電子流の位置と同期している。A/D変換器とラッチ回路はINDEX. OUTと同期している。

TIMING. SIGはINDEX. OUTの第8高調波と位相同期しており、SELECT回路において、8画素分一組のデジタル・データの1画素データを読み出す時刻を決定する。すなわち、8画素分一組のデジタル・データのそれぞれは、178ns中に等時間間隔(22nsごと)で順次に読み出され、高速D/A変換器によってアナログ・パルスに変換され、3Dビデオ信号(3D VIDEO)となる。

図4において、DLYは各CCD素子のタイミングのズレを補償する。各水平走査の初期部分において、IPSから発生される指標光パルスの振幅を安定化するため、GL. TIME回路では、3D VIDEOに挿入すべき灰色レベル信号(GL)の発生時刻と継続時間とを決定する。BUF/GL. SYNC回路では、NTSC. SYNC信号とGL(さらに必要に応じて、第4節で説明する補助短パルス)を3D VIDEOに挿入し、さらにまた、3D VIDEOの電圧とインピーダンスとのレベルを調整する。NTSC. SYNCと3D VIDEOとは表示装置に送り出される。

2.3 電子回路の詳細説明^{9),12)}

図5は、図4の位相同期ループ(PLL)の説明図である。電圧制御発振器(VCO, 約45MHz)の出力(TIMING. SIG)はカウンターに送られ、そこで1/8に分周されてINDEX. OUTとなる。INDEX. OUTはアナログ位相検

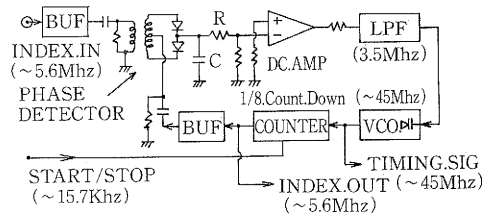


図5 分周位相同期ループ

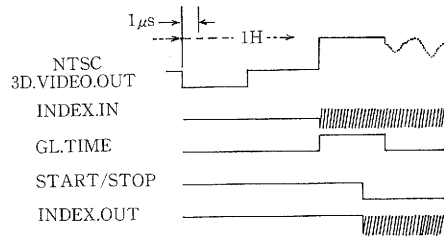


図6 水平走査開始部のタイム・チャート

波回路に送られ、INDEX. INと位相比較される。位相誤差はVCOに帰還され、ループが形成される。カウンターの始動、停止はSTART/STOPで制御されている。ループ帯域幅は約3MHzである。

指標光パルスの位相を保存するためには、図1のIASと、PLLの帯域幅が適切でなければならない。この帯域幅は、水平走査速度の非一様性と3Dビデオ信号の振幅変化によって生じる指標光パルスの周期変動と振幅変動の、両方を考慮して定める必要がある。指標光パルスの急激な振幅変動による過渡現象を抑圧するために、IASの増幅器中心周波数は指標信号平均周波数より若干低く選ばれている。

図6は水平走査初期のタイミングチャートを示す。GLが続いている期間内は、振幅一定の指標光パルスが得られるので、安定なINDEX. INが得られる。このINDEX. INを用いて、START/STOPにおいて適切なIPSが選択される。このIPSを発した信号が到達した時刻が、PLLのカウンターの始動時刻となる。

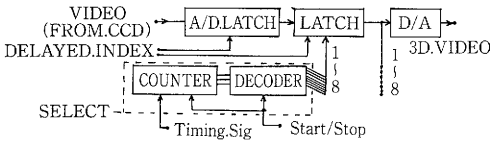
図7(a)は図4における3Dビデオ信号の編集回路部のブロック図である。同図(b)は編集タイム・チャートである。すべてのCCDの共通位置画素から得られた8画素分のデジタル・データは、同時にラッチされる。カウンターとデコーダで構成されたSELECT回路はSTART/STOPとTIMING. SIGで制御されており、TIMING. SIGの周期ごとの時刻に、順次にラッチを開放してデータを高速D/A変換器に送り込む。

2.4 連続視域3D像表示のための画像記憶⁸⁾

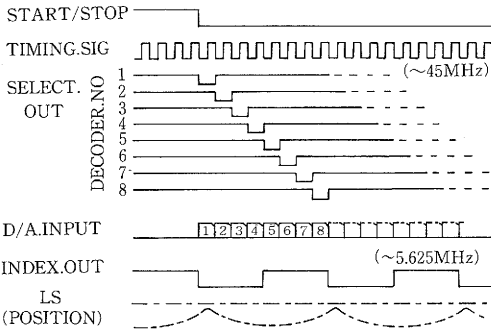
医用画像や計算機画像のような応用分野では、視差像は順次に、標準的なレコーダーに記録されている場合が

多い。3D像形式で表示するためには、少なくとも短時間の間、すべての方向からの視差像を記憶しておき、走査中の電子流の位置に同期して高速で読み出すための、画像記憶装置が必要である。

図8(a)は、本試作実験における、視差像群のデータ量を示す。各視差像は8ビット階調の256×256画素を持ち、画素番号は図示のとおりとする。図8(b)は実験で用いた8視差像分の画像記憶の構造を示す。この記憶装置は128×256×8=256キロビットを1組とした16組の記憶素子群で構成されている。書き込みの際には、一つの視差像のデータは上下2組の記憶素子に書き込まれる。すなわち、一行の中の奇数列に属するデータと偶数列に属するデータとは別々に扱われている。奇数列に属するデータは順次に上段の一つに書き込まれ、その次の偶数

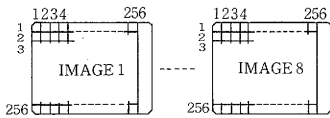


(a) 編集回路のブロック図

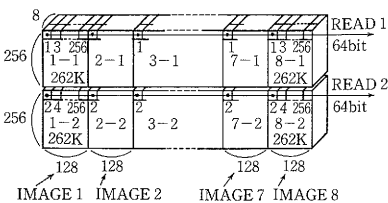


(b) 編集のタイム・チャート

図7 同時撮像された視差像をデータとした3Dビデオの編集



(a) 記憶されるべき視差像



(b) 画像記憶の構成

図8 画像記憶の構成

列に属するデータは下段の一つに書き込まれる。読み出しの際には、奇数列に属する8画素分の64ビットのデータが、INDEX.OUT (READ1, 約2.8MHz) の到来時刻に、上側の全組から一斉に読み出される。次のINDEX.OUT (READ2, 約2.8MHz) の到来時刻には、その次の偶数列に属する8画素分データが、下段の全組から一斉に読み出される。

図9は3Dビデオ信号の編集法を示す。INDEX.OUTの2周期分の期間に、記憶装置から読み出された並列形のデジタル・データは、TIMING.SIGの半分の繰り返し時間で並べられた(約22.5MHz)直列形のデータに変換される。上下2段の記憶素子から交互に得られた2つの直列形デジタル・データは、TIMING.SIG(約45MHz)の周期で交互に高速D/A変換器に送られる。その出力が3Dビデオ信号である。図10は3Dビデオの各標本が、どの段のどの記憶素子にあらかじめ保存されていたかという対応関係を示す。

このような記憶回路は、画素数が増加しTIMING.SIGの周波数が高くなったとき、安定な3Dビデオを得るために有効である。

3. 試作実験結果の概要

本節では試作実験の概要を述べる。経過および結果の詳細については、文献7)~12)を参照されたい。

3.1 光学系¹²⁾

図11はカメラ・ヘッドの写真を示す。同図(a)にはフ

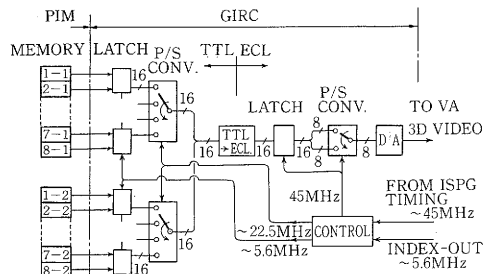


図9 画像記憶に蓄えられた視差像をデータとした3Dビデオ編集

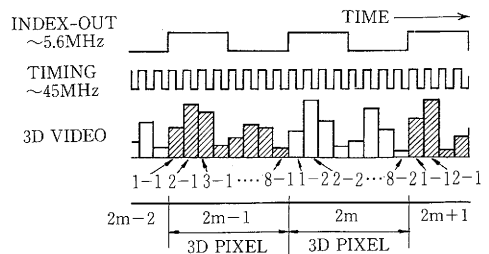


図10 3Dビデオ編集のタイム・チャート

レネル・レンズ付きの状態を、同図(b)にはフレネル・レンズなしの状態を示す。図12は複合レンズ板CLPの詳細構造の写真を示す。遮光板の数と位置は、最少枚数で最大開口率が得られるように定められている。7枚の遮光板は、写真製版と化学エッチングで加工されたステンレス板である。写真製版用のマスクは、使用すべきLSを平行光で照らす方法によって写真法で作られている。遮光板には三本の水平支柱となる線が残されている。

図13は、はるか後方からCLPを照らしたときの光分布を示す写真である。同図(a)はCLPに近い前方から広角レンズで撮った写真であり、同図(b)は離れた前方から撮ったものである。同図(a)の暗いサイド・ローブは、本来通過すべきLS素レンズの近隣の素レンズから漏れてきた光によるものである。そのメイン・ローブ幅はCLPの受光角の2倍に相当する。同図(b)ではメイン・ローブが全面積を覆っている。

3.2 電子回路¹³⁾

図14は指標同期の際の電圧波形を示す写真である。同図(a)は、水平同期パルスH. SYNCと灰色パルスGLの波形を示し、同図(b)は、GL挿入後の3Dビデオ信号とSTART/STOPの開始部波形を示す写真である。

図15は、3Dビデオ編集における電圧波形を示す写真である。同図(a)には3つの視差像の波形と3Dビデオ信号が示され、同図(b)には3つのSELECTパルスとそれによる3Dビデオ信号が示されている。図16は一水平走査期

間全体について、INDEX. IN, PLL誤差電圧, 3Dビデオ信号を示す写真である。PLLの最大誤差電圧の大きさは、1%を越える電子流走査速度変動に相当する。

図17は、IPSの1ピッチに4点の明るい画素あるいは暗い画素を表示した場合について、IDP上に表示された画像を拡大して示した写真である。写真上の測定から、直線性のズレは約40 μ mであり、この値は等価的に0.02%以下の水平走査直線性に相当する。この写真では、暗い画素像を記録するために、IDP上のスポットは、常態より大きくなっている。

図18は、高解像力の通常モニター上に3Dビデオ信号を表示した時の写真である。フレネル・レンズの焦点面から離れた面上の物点は、スクリーン上では順次にズレて

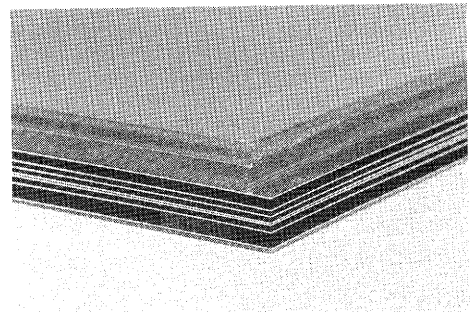
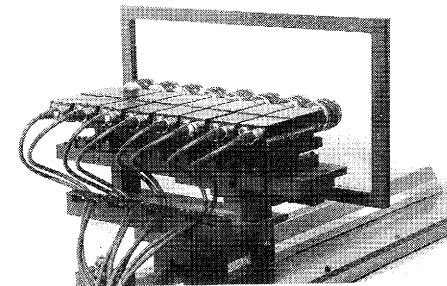
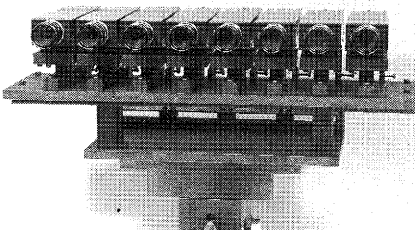


図12 複合レンズ板の構成

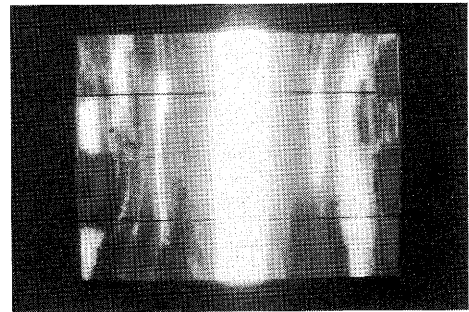


(a) フレネル・レンズ付き

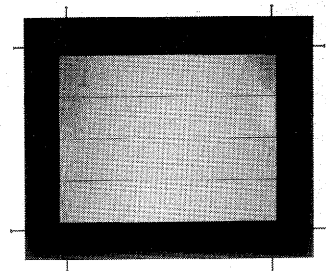


(b) フレネル・レンズなし

図11 撮像ヘッド部



(a) 近前方から撮影



(b) 遠前方から撮影

図13 遠後方から照明された複合レンズ板の透過光分布

表示されているので、写真上ではボケたように見えている。

3.3 テレビジョン実験^{11),12)}

図19はCLPを装着したHRBTの写真である。実験は静的、動的被写体について行った。本試作実験装置では、縦横方向解像力、相点間隔、相点数、像の明るさの、いずれにおいても十分とは言い難い条件下であった。しかし、3D像に慣れていない観察者であっても、若干暗い環境では、数秒以内に3D像を認識することができた。動的被写体については、瞬時に、3D像を認めることができた。

図20はブラウン管上に表示された3D像を、二つの方向から撮ったステレオ・ペア写真を示す。LPの前方1000mmの位置において、水平方向300mmの視域、垂直方向約1000mmの観察域から、3D像が観察された。視距離は600mmから2000mm以上まで許容された。本実験では中継の際の画像拡大率が1に近いいため、視域幅は、CLPの遮光板の開口率で制限されている。被写体の奥行は約200mmである。フレネル・レンズ焦点面から100mm離れた物点については像の跳びが観察されている。

図21はブラウン管上に表示された、別実験の3D像のステレオ・ペア写真を示す。この例では、回転テーブルの上に置かれた被写体の視差像が、一台のCCDカメラで撮像され、標準的なテープ・レコーダで記録されている。表示の際には、前述の画像記憶を用いている。

高速（8秒間で360度）で回転するX線撮像装置で記録された生体器官のX線視差像についても、同一の表示装置と画像記憶とを用いることによって、3D像の形式で表示される。

両方の実験において、記録の際の物空間と、表示の際の像空間との間の幾何学的関係については、理論と良好な一致を示している。

4. 考察と今後の改良

本実験では、3D像の解像力は主として次の2項目で制限されている。(1)ブラウン管の解像力。この因子は他のすべての光学素子、電子素子、および、それらの配置の選択において、整合されるべき基準量となる。(2)位置合わせ精度。この因子は指標光パルスの位相保存精度

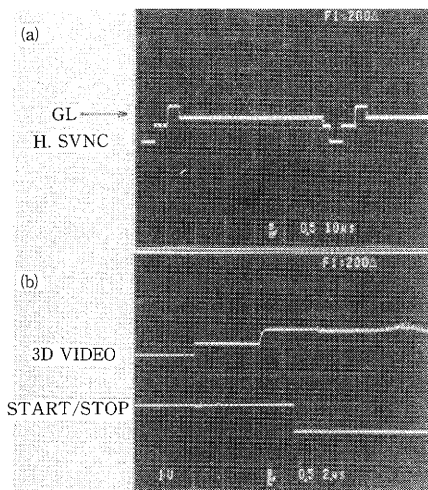


図14 指標同期のための電圧波形

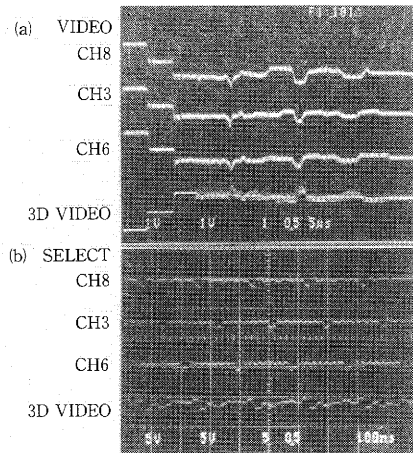


図15 3Dビデオ編集における電圧波形

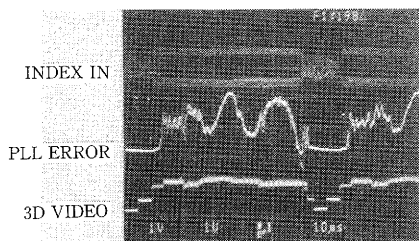


図16 一水平走査期間におけるINDEX. IN, PLL誤差, 3Dビデオの各電圧波形

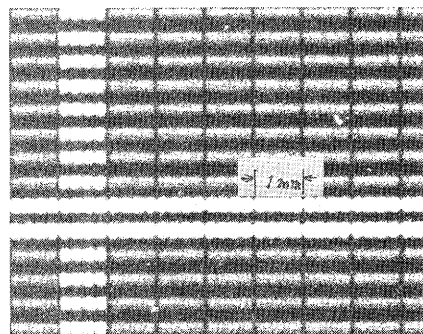


図17 IDP上の画像データの拡大写真(位置同期の精度を示す)

によって決まる。3Dビデオ信号によって強烈に変調されている光パルス振幅を安定化するためには、3Dビデオ信号に、ちょうど指標蛍光線条IPSと衝突する位相で補助短パルス（幅約22ns）を挿入する方法が有効である。この方法は、実験的にも、確認されている¹⁴⁾。

本実験の3D像の明るさとコントラストとは、次の二つの因子で制限されている。(1)CLPは相当大きな光損失を持つ。(2)指標信号を取り出すため、表示すべき像の明暗にかかわらず、電子流は鋭く集束されている必要がある。そのために、IDP上に走査している電子流の電流変化量に制約がある。

本実験で得られた3D像については、電子技術的方法に

よる相当な改善余地がある。3D像を表示するレンズ板をブラウン管外囲器内に収蔵し、電子流加速電圧を増すならば、高解像力で明るい3D像が得られる。また、PLL誤差を偏向電流に帰還する方法により、水平走査直線性を向上するならば、指標信号の増幅器および位相同期ループの帯域幅は狭くできる。それによって、コントラストの高い像についても指標信号が安定になり、また、補助短パルスも一層有効となる。これらの改良は現在進行中である。

将来において、単一のブラウン管上に彩色3D動画像を表示するときには、三原色のカラー・トリプレットは、



図18 高解像力モニター・スクリーン上に表示された3Dビデオ

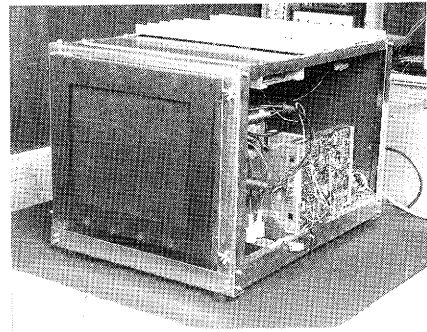


図19 複合レンズ板を装備したブラウン管

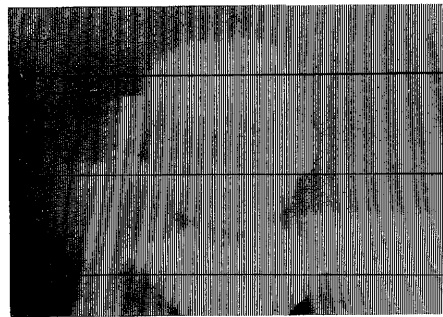
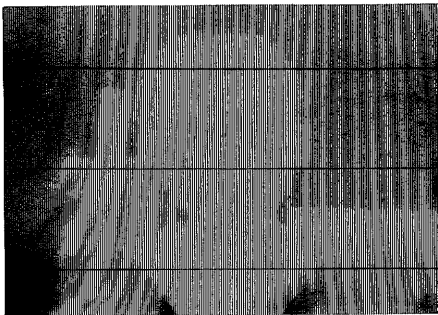


図20 連続視域3D像のステレオ・ペア写真（実時間撮像の視差像より再生）

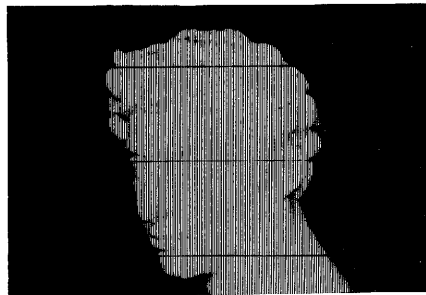
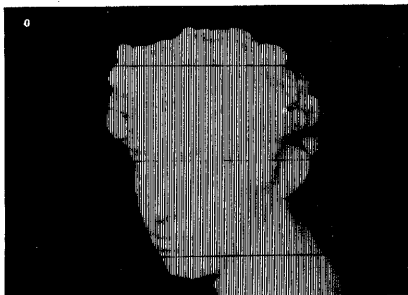


図21 連続視域3D像のステレオ・ペア写真（データ・レコーダに蓄えられた視差像より再生）

スクリーン面上で水平方向線状でなければならない。集束性の優れたトリプレット形電子銃の開発は、彩色3Dビデオ信号の表示装置内における周波数帯域圧縮のために重要であるので、その開発が望まれる。さらに、垂直方向の表示位置精度改善のためには、水平方向あるいは斜め方向の指標蛍光線条を備えたブラウン管の開発が必要となる。

ブラウン管直接表示形の3Dテレビジョンのほかに、序論で述べたとおり、反射性レンズ・スクリーンを用いた投射表示の3Dテレビジョンも、将来性の高い方式である。この方式では、投射器には高輝度、高階調性、さらに、高精度の光学的位置合わせが要求される。その電子装置としては、液晶画像表示素子、高輝度蛍光表示管、陰極線管等が有力な候補となるであろう。

また、実用性の高い3Dテレビジョン撮像装置、および、表示装置の開発においては、小口径レンズ配列の性能改善と、フレネルレンズあるいは球面鏡を用いた大口徑光学素子の性能改善とが、重要な課題である。

さらに、連続視差3Dテレビジョン情報の記録および伝送においては、多数の(動的・静的な被写体の)視差像情報を圧縮する方法の研究開発が本質的な課題である。

5. 結 論

本文では、ブラウン管直接表示方式の三次元テレビジョンについて、試作装置と実験結果の概要を述べ、連続視域型の三次元テレビジョンの開発において遭遇する問題とその解決策について解説した。

本実験は、従来不可能と考えられていたブラウン管表示画像とレンズ板との位置合わせが、比較的単純な電子回路の方法で実現できることを、実証したものである。

視野と視域が広く、高解像力で高輝度の、動的三次元映像は、新しい疑似体験をもたらすニュー・メディアである。このメディアの実用化のためには、人間の視覚の理解と、材料・光学・電子・情報の広い分野の技術と、新しい応用分野との、協力的な発展が望まれる。

本文の実験は千葉大学付属病院放射線部長植松貞夫博士、ソニー株式会社竹内修氏、神林宏二氏、島田聡氏との協力により実施したものである。終わりに臨み、筆者らの三次元映像技術の研究について、長年にわたって、ご理解とご援助とご協力を賜った、本所内外の方々に対して、心からお礼を申し上げる。(1989年8月9日受理)

参 考 文 献

1) H. Higuchi and J. Hamasaki: "Real-time transmis-

sion of 3-D images formed by parallax panorama-gram", *Applied Optics*, vol. 17, no. 24, pp. 3895-3901, (1978)

- 2) H. Higuchi, J. Hamasaki, M. Okada; "Real-time optical sectioning having high SNR by using frequency interleaving", *Applied Optics*, vol. 16, no. 7, pp. 1777-1779, (1977)
- 3) R. Boerner: "3DTV without glasses", The 4th Japan-German Forum for Information Technology, New Media, 3D television without glasses, Stuttgart, Germany, (1987)
- 4) J. Hamasaki, M. Okada, S. Utsunomiya, S. Uematsu, O. Takeuchi, K. Kambayashi, S. Shimada; "Recent experiments on an autostereoscopic 3D television directly seen on Braun tube by the naked eye(invited paper)", The 1989 International Conference on Three Dimensional Media Technology, Montreal, (1989)
- 5) 濱崎, 深沢; "連続視域レンズ板三次元像の幾何学的性質—多眼式レンズ板三次元像—", 生産研究, 41巻, 11号, pp.815-823, (1989)
- 6) R. S. Hammond, P. P. Schmidt; "A random dot E stereogram for the vision screening of children", *Arch. Ophthalmol.*, vol. 104, pp. 54-60, (1986)
- 7) 岡田, 濱崎, 宇都宮, 竹内, 神林, 植松; "位置同期読み出し方式による表示位置精度の極めて高い実時間ブラウン管表示装置", テレビ学会技術報告, vol. 10, no. 54, pp. 13-18, ED' 87-15, ID' 87-22, (1987)
- 8) 濱崎, 岡田, 宇都宮, 植松, 竹内, 神林; "指標付高解像力ブラウン管を用いた実時間三次元映像直接表示装置", テレビ学会技術報告, vol. 10, no. 54, pp. 19-24, ED' 87-16, ID' 87-23, (1987)
- 9) 濱崎, 岡田, 宇都宮; "指標付高解像力ブラウン管を用いた実時間三次元映像直接表示装置の性能改善—指標抽出用電子回路の解析と実験—", テレビ学会技術報告, vol. 11, no. 3, pp. 1-6, VVI' 87-15, (1987)
- 10) 宇都宮, 濱崎, 岡田; "像面位置変換用の薄型中継レンズ板—試作実験と遮光板配置—", 電子情報通信学会技術報告, EID87-18, pp. 13-18, (1987)
- 11) 濱崎, 岡田, 宇都宮, 島田; "縦格子中継レンズ板の提案と試作実験—連続視域型三次元テレビジョンの表示光学系の改善—", テレビ学会技術報告, vol. 12, no. 11, pp. 25-30, VVI' 88-19, (1988)
- 12) 岡田, 濱崎, 宇都宮; "多眼式三次元映像実時間撮像装置の試作実験", テレビ学会技術報告, vol. 13, no. 11, pp. 25-30, TEBS' 89-5, ED' 89-9, (1989)
- 13) 濱崎; "連続視域三次元テレビジョン", 光学, 17巻, 7号, pp.341-346, (1988)
- 14) 濱崎; "三次元映像によるディスプレイ", 電気学会誌, 109巻, 3号, pp. 223-226, (1989)
- 15) 濱崎; "多眼式3次元映像表示", テレビジョン学会誌, 43巻, 8号, pp.768-775, (1989)