



連続視域三次元テレビジョン

濱崎 襄二

東京大学生産技術研究所 〒106 東京都港区六本木 7-22-1

(1988年4月20日受理)

Autostereoscopic 3-D Television Experiment

Jōji HAMASAKI

Institute of Industrial Science, University of Tokyo,
7-22-1, Roppongi, Minato-ku, Tokyo 106

1. 序 論

連続視域三次元テレビジョンとは、眼鏡等の補助器具なしで、視域内に両瞳を置く限り自由な方向から、表示されている三次元映像が観察できるようなテレビジョンである。三次元物体から発せられる光波の情報量はあまりにも多いため、実時間でそのまま電子回路で取り扱うことはできない。したがって、提供すべき画像情報量を、観察に支障のない範囲内でいかにして圧縮するかが重要な問題である。

人間は、その両眼を経由して取得した“画像”データに基づいて大脳で“映像”を創り出し、これによって三次元物体を視覚的に認識すると考えられる。したがって、三次元映像表示においては、観察者が曖昧さのない三次元映像を、実時間で、大脳内で創り出すのに必要十分な“画像”データを提供できればよいことになる。このように観察者の両眼球レンズと大脳の映像能力を、それぞれ、像再生光学系およびデータ処理系に組み込むことを前提とするならば、物体からくる光波の再生に必要な情報量と比較したとき、三次元“映像”表示に必要な情報量は現状においても 10^{-5} 以下となることが知られている。

上記の考えに基づいた三次元テレビジョンの方式としては、物体のある奥行の断面輪郭像を実時間で抽出しこれを体積走査法で表示する方法と、レンズ板を用いた投影法(パララックス・パノラマグラム法)とが知られている¹⁾。前者では、ファントム像の問題(見る方向を少

し変えたとき、輪郭に近い部分で見えるべき小部分が欠落したり見えてはならぬ小部分が重なって見えてしまう問題)が本質的に避けられないこと、輪郭像抽出のため、やや特殊な照明が必要となること、ちらつきのない映像を表示するためにはテレビジョン系のフィールド周波数を現状の 60 cps と比較して 3~6 倍高くしなければならぬことなどが欠点である。後者では、現状の二次元テレビジョン系との協調性に富んでいることが大きな利点であるが、非常に高性能な二次元“画像”表示装置が必要となる。すなわち、大表示面積、高解像力、高階調性、高輝度が必要とされるうえに、レンズ板と位置合せ可能な程度の高い表示位置精度が要求される。

位置的に固定された微小表示要素の二次元配列、たとえば、微小液晶表示素子、エレクトロルミネッセンスのスポット、プラズマグローのスポット、蛍光スポット、発光ダイオードなどの二次元配列、で構成された表示装置では、レンズ板との位置合せは容易である。しかし、現状では、表示面積、解像力、階調性、輝度のいずれにおいても、高解像力ブラウン管に及ばない。

次章以降では、指標付高解像力ブラウン管とレンズ板(レンチキュラーシート)とを用いた、連続視域三次元テレビジョン表示装置の実験について主に述べる。この実験では、表示位置精度の抜本的改善は“位置同期誘出し方式”の考案と適用によって達成されている²⁾。また、ブラウン管蛍光膜面に描出された細密画像を、厚いブラウン管表面がガラスを通して、レンチキュラーシートの後焦点面上に取り出すには、“縦格子中断レンズ

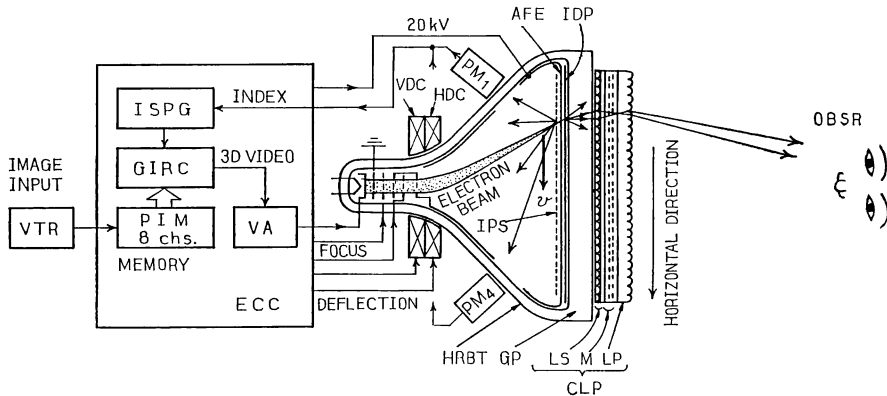


図1 実験装置の概要説明図

板”の考案と実施により実現している⁸⁾。実験装置，検討事項，改良の詳細については末尾の文献を参照されたい。

2. 実 験

図1は，連続視域三次元テレビジョン表示装置の概要説明図である⁹⁾。HRBTは指標（ビームインデックスIPS）付高解像力ブラウン管であって，IPSは画像表示用蛍光膜（IDP）の後面のアルミ薄膜電極（AFE）の上に印刷された，ピッチ1mm，幅50 μ mの垂直方向を向いた蛍光体線条群である。このIPSに加速電圧20kV，スポット直径約70 μ mに動的集束（ダイナミックフォーカス）され水平方向に走査された電子流が衝突するとき，淡緑色の蛍光パルス（指標光パルス）が発生される。この光パルスは，ブラウン管外囲器の後面に設けられた窓を通して4本の光電子増倍管（PM）で受光・光電変換されて指標信号となる。指標信号は増幅・成形され，ISPGにおいて，指標信号と位相同期した約5.6MHzの読出しパルスと，これと位相同期した約45MHz（5.6MHz \times 8）の内挿タイミング信号が発生される。PIMは八つの視差（パララックス）像をそれぞれのチャンネル（1チャンネル当り1フィールド）に格納している画像記憶である。ISPGで発生された二つの出力信号は，GIRCにおいて，八つの視差像のそれぞれから一つずつ，合計8画素を179nsの間にPIMから順次に読み出すための正確な時刻を決定する。このようにして，八つの視差像の各画素はIPSと正確に位置合せされ，三次元映像のビデオ信号が構成される。走査方式は標準のNTSC方式に準じ，ビデオ信号は毎秒60枚，水平走査は525/2のインターレース形式である。ビデオ信号帯域幅は約30MHz（-3dB幅）である。

この“位置同期読出し方式”では，偏向回路は開ループ制御であって2%程度の非直線性は許容されていること，および磁気的な饋還をかけていないことが特色である。このため高速追従性に優れ，地磁気等の磁気的な環境変化に強い。実験装置では \pm 1%強の偏向非直線性が残っているが，表示精度から逆算した実効非直線性は0.02%程度に抑圧されている。

図1において，CLPは複合レンズ板であって，LSとMで構成された縦格子中継レンズ板と三次元像再生用レンティキュラーシートLPとで構成されている。図2はこの複合レンズ板の構成の説明図である。ブラウン管表面ガラス板GPは，広視域三次元像再生に用いるレンティキュラーシートの厚さと比べてはるかに厚いので，GPの上にレンティキュラーシートを重ねたのでは視域が狭い再生映像しか得られない。したがってIDP上の画像はGPの外にある広視域のLPの後面に取り出されなければならない。縦格子中継レンズ板は，焦点距離約4.5mm，ピッチ1mmのレンティキュラーシートLSと，ピッチ1mm，開口率約0.7，の垂直スリット群をもった7枚のマスク板（厚さ0.15mm）Mとで構成され，IPSと位置合せされている。IDP上の8画素/mmの画像はLSのレンズ作用により水平方向についてはLPの後面（後焦点面）に結像される。この結像に伴った画素配列順序の反転（LSの素レンズ当りの反転）は，図1のGIRCにおける読出し過程であらかじめ補正されている。LPはピッチ0.996mm，焦点距離2.25mmのレンティキュラーシートであり，LPの素レンズ当り八つの画素は，垂直方向に拡がり水平方向に並んだ八つの扇状光束群を発生する。LPの前方空間には，LPの全面からこのようにして発生された扇状光束群の場が形成される。LPの前方0.7~1.5mにいる観

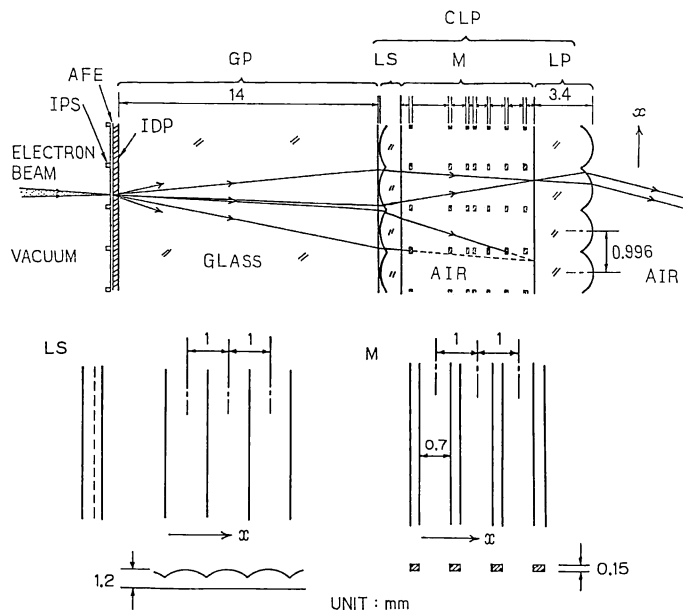


図 2 複合レンズ板の構造

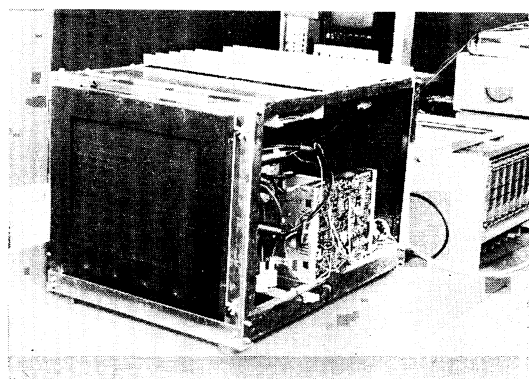


図 3 複合レンズ板を装着したブラウン管の写真

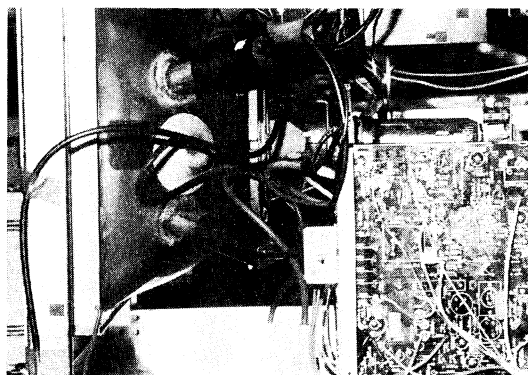


図 4 ブラウン管側面の写真

観察者は、この扇状光束群の場の中において任意の二点を両瞳で選択するとき、その点に到来する光束群の方向分布を感受し、その視差とその時間経過に基づいて三次元映像を認識する。もちろん、観察者は眼鏡を用いることなしに自然な三次元映像を認めることができる。解像力は LP 面上で水平方向 1mm、垂直方向約 0.5mm、奥行方向 10mm 程度であり、視域の広さは LP の前方 1m の位置で水平方向約 300mm、垂直方向約 1m である。表示面積は水平方向 290mm、垂直方向 220mm である。

この CLP に用いた“縦格子中継レンズ板”では、垂直方向については何らの光学的変換を伴わないので、垂直方向の解像力と視域の広さはブラウン管蛍光膜上の画

像のものと変わらない。さらにまた、構造が簡単であるため、光量損失も少ない。

図 3 は、実験に用いた表示装置の外観写真である。前面には複合レンズ板が装着され、上方・側方のカバーは除去されている。図 4 は側方から見た拡大写真であって高圧回路部の一部、ブラウン管外囲器の側面、および指標光信号受信用の光電子増倍管 (図 1 の PM) のケース 2 個が見えている。

図 5 は、人物塑像の再生三次元映像のステレオペア写真である。この映像の“画像”データは、塑像を回転テーブル上に置いて上方から照明し、一台の CCD カメラで撮像した標準ビデオテープに格納されている。図 1 の VTR はビデオ再生装置であって、表示面上で適切な視

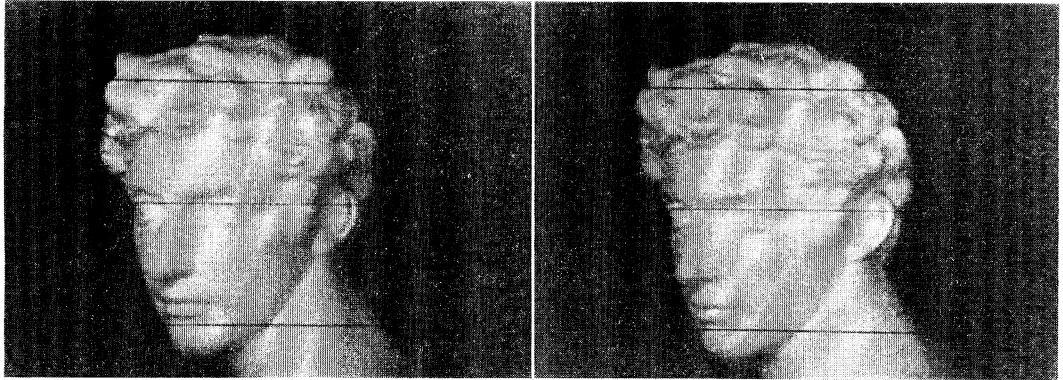


図5 ブラウン管上に再生された三次元映像のステレオペア写真

差を与えるようなフィールドを等間隔で順次に選択して“画像”データとし、PIMの八つのチャンネルに記憶させている。

3. 考 察

3.1 指標光パルスと読出しパルスの安定化^{5,6)}

指標付高解像度ブラウン管によって三次元映像を表示する際には、ビデオ信号が激しい振幅変動を受けている場合でも正確な読出し信号が発生されなければならない。

各水平走査の開始部分では、一般に、電子流集束も偏向直線性もよくないのが普通である。また、最初に電子流が横切るIPSが必ずしも完全な形で印刷されているとは限らないので、これを基準としてその水平走査における画素読出し開始位置を決定できない場合もある。したがって、各水平走査における画素読出し(表示)開始パルスを作り出すには、走査開始に続く期間における偏向直線性のある許容範囲内に調整しておき、さらに、垂直方向全体にわたって欠陥のないIPSを選択してこれを基準とすることが必要となる。

三次元映像のビデオ信号は、とくに奥行信号を含む場合、激しくかつ高速で(変調度90%, 20 nsごと程度に)変動しているので、これに伴って指標光パルスの振幅も変動する。確実に画素読出し開始パルスを得るためには、各水平走査開始時に画素表示に先立ってビデオ信号に定振幅で幅2~5 nsのパルスを乗せ、これによって指標光パルスの安定な受光を確保する。さらにまた、電子流偏向回路は開ループ制御であるため、指標光パルス列は時間的に若干の位相・周波数変動を受けている。このような指標光信号から画素読出しパルス列を確実に発生するためには、図1のISPGにおいて、各水平走査

ごとに広帯域位相同期回路を働かせてその積分制御効果を利用する。また、PMで受光された指標信号の増幅成形回路における位相推移変動および、位相同期回路における位相推移変動を最小とするように電子回路を製作することも必要である。指標光パルスの振幅変動に伴う過渡現象はこれらの位相推移変動の主要な原因の一つである。これを抑圧する手段として、読出しパルスに同期して、ちょうどIPSに電子流が衝突する位相をもった短い(約20 ns)パルスをビデオ信号に重畳する方法が有効である。これらの付帯パルスは図1の映像増幅器VAの後段で重畳される。

3.2 複合レンズ板の構成法⁹⁾

三次元映像表示では、人間の視覚能力を積極的に利用することが必要である。人間の視力特性測定結果によると、眼球レンズの屈折率異常と視力との関係には顕著な特徴が見られる。すなわち、屈折力異常の許容範囲は、近視側で小さく遠視側では大きい、同時に非点収差についても大きい。この特徴によるならば、ある再生像点について、水平方向について眼球レンズの“輻輳”と“調節”を行なったとき、その再生像点で垂直方向に若干の拡がりがあったとしても、視力は低下しない。したがって、視差は十分検知できる。この事実はレンチキュラー画像において暗黙のうちに利用されてきたところであるが、本文の縦格子中継レンズ板ではこの事実を積極的に利用している。すなわち、複合レンズ板を通して再生像点を見たとき、垂直方向については光点はいつもブラウン管蛍光面上にあるが、水平方向については、光点はLPの前方あるいは後方のある奥行の位置に存在する。観察者は、垂直方向の非点収差により視力低下を起さないので、水平方向視差によって奥行を検知して三次元映像を観察する。

3.3 連続視域型テレビジョン撮像装置

二次元テレビジョン撮像素子の解像力は、現状では、高解像力ブラウン管装置のそれに遠く及ばない。このため、必要枚数の視差像を実時間で取得するには、多数の撮像素子を光学的および電子的に調整して使用することが必要となる。この用途には電荷結合型 (CCD) 撮像素子が有力である。その理由は、小型で高感度であり、しかも、固定位置の光電変換要素の二次元配列であるため、各撮像素子の走査均一性が電氣的に確保できるからである。

三次元映像が再生されるような記録を撮像する場合には、各視差像の間に矛盾が少ないことが重要である。そのためには、各視差像が等倍率であり、かつ、垂直方向にズレが起こらないこと、眼の“幅転”および“調節”と調和した鮮明な像であることが必要である。これらの要請は、連続視域三次元写真機の場合と同様であるので、写真機に関する実験と解析の結果を応用しなければならない²⁾。奥行が若干異なっても鮮明な像を得るためには、レンズの瞳は小さくなければならない。垂直方向にズレを起こさないためには、レンズの光軸方向は十分調整されていなくてはならない。幅転・調節と調和させるためには、再生三次元映像の注視点とその近傍における解像力がよいこと、幅転角が適切であることが必要である。しかし、多数の小さなレンズについて、レンズと記録面との間隔調整 (ピント) と同時に、垂直方向ズレを起こさないような視角 (幅転角) 調整を連動して行なうことは容易ではない。写真機においてこの問題は次のようにして解決されている。すなわち、大口径補助レンズ (フレネルレンズでもよい) を用いて、被写体注視点 (普通の場合映像中心部で奥行の浅い部分) を無限遠点に移動し、この移動された被写体像からの光束の (離散的) フーリエ変換像を記録する。この方法では、多数の小さなレンズの光軸が互いに平行となるように調整され、記録面の位置はレンズの後焦点面に固定されていけばよいことになる。ピントと視角調整とは大口径補助レンズが受けもつので、このレンズを交換するか、あるいは、焦点距離が可変となるような組合せレンズ系 (ズームレンズ) を用いることによって、総合的な撮像距離調整を行なうことができる。

図6は、連続視域三次元映像撮像装置の光学系の説明図である。Rは記録面であり、テレビジョンの場合には CCD 撮像素子の一次元配列である。L1~L8は小さな瞳をもったフーリエ変換レンズであり、それらの光軸は互いに平行で等間隔となるように調整されている。L1

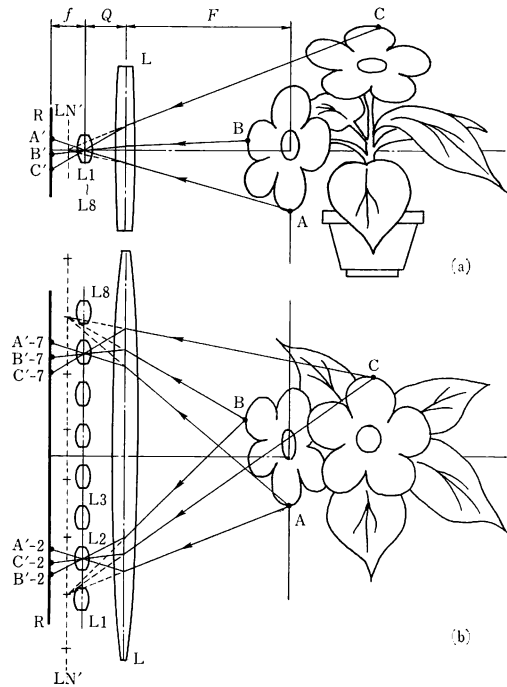


図6 撮像装置の光学系
(a) 立面図, (b) 平面図. L: 大口径フ
レネルレンズ

~L8の焦点距離を f とすると、RはL1~L8に対して間隔 f で固定されている。 F は大口径補助レンズであって、その焦点距離を F とする。被写体注視点 (A) がLから F の距離となるようにLを選ぶならば、前述のとおり、Aを含み光軸に垂直な面上の点から発した光束は最も鮮明に記録される。Aと奥行が異なる点 (B, C) を発した光束は、ボケを生ずる。このボケは連続視域三次元写真機の場合と同様に、L1~L8の瞳径とLの焦点面からのズレに比例する⁹⁾。

実際にはL1~L8とLとの距離 Q があるため、被写体側から見たとき、L1~L8の虚像は拡大されてLN'の面上に見える。すなわち、Lを除いたときこれらの虚像に到達する光束が、R上に記録されることになる。このLによる拡大 (あるいは縮小) を伴うレンズ作用は、連続視域三次元映像の撮像・表示光学系において重要な自由度を与えるものである。

三次元映像の記録・表示においては、常に表示条件 (視野、視域、視距離、拡大率、解像度など) を基準として、総合的に撮像装置の設計と使用方法を決めなければならない。とくに、三次元映像においては二次元画像の場合と異なって、“大きさの恒常性”が成立しないの

で、この点を考慮した表示条件をあらかじめ設定しておくことが重要である。これらの問題の基礎事項については、連続視域三次元写真機の解説を参照されたい⁹⁾。

4. 結 言

連続視域三次元テレビジョン表示装置について、設計に当たっての問題とその解決方向、および、実験装置と実験結果の概要を述べた。本実験によって、指標付高解像力ブラウン管上に、実時間で三次元映像が表示できることが確認された。連続視域テレビジョン撮像装置については、現在試作中のものについてその設計方針を述べた。

連続視域三次元テレビジョンについては多数の未解決な問題が残されている。主要な項目を列挙すると次のとおりである。

- 1) 天然色の連続視域三次元テレビジョンの実現
- 2) 大スクリーン上に映し出される高輝度、高精彩な三次元テレビジョンの実現
- 3) 連続視域三次元映像信号の帯域圧縮
- 4) 記録装置を含めて、二次元テレビジョン系統の諸装置との協調性の確保
- 5) 連続視域三次元テレビジョンシステムの標準化

これらの問題を解決するためには、一方では、三次元映像認識に関する人間の視覚系について、より深い理解とその知識の活用とが必要であり、また一方では、三次元映像応用分野からの要請を積極的に解決してその拡大を図ることが必要である。三次元映像技術の健全な発展のためにも、広い範囲で研究者の協力の輪が広がっていくことを期待したい。

本文に述べた実験成果は、文献に掲げた多数の研究者

の密接な協力によって得られたものである。とくにソニー(株)、凸版印刷(株)の方々には一方ならぬご援助をいただき、放送文化基金のご支援を受けた。ここに深甚の謝意を表わす。

文 献

- 1) J. Hamasaki: "Autostereoscopic 3D television experiments," *AIP Conf. Proc.*, No. 65, Subseries on Opt. Sci. and Eng., No. 1: Optics in Four Dimensions (1981) pp. 531-556.
- 2) J. Hamasaki: "Three-dimensional photography and its applications," *Progress in Image Processing*, (IIS, Univ. of Tokyo, 1984) pp. 149-158.
- 3) 濱崎襄二, 植松貞夫, 竹内 修, 岡田三男, 宇都宮昇平: "三次元映像のテレビジョン表示一位置同期読み出し映像編集方式の提案一", テレビジョン学会技術報告(1985) VVI 72-4, IPA 78-4, IPD 100-4.
- 4) 濱崎襄二, 岡田三男, 宇都宮昇平, 植松貞夫, 竹内 修, 神林宏次: "指標付高解像力ブラウン管による実時間三次元映像直接表示装置", テレビジョン学会技術報告 10, 54 (1987) 19-24 ED '87-16, ID '87-23.
- 5) 岡田三男, 濱崎襄二, 宇都宮昇平, 竹内 修, 神林宏次, 植松貞夫: "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描画装置", テレビジョン学会技術報告, 10, 54 (1987) 13-18, ED '87-15, ID '87-22.
- 6) 濱崎襄二, 岡田三男, 宇都宮昇平: "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一指標抽出用電子回路の解析と実験一", テレビジョン学会技術報告, 11, 3 (1987) 1-6, VVI '87-15.
- 7) 宇都宮昇平, 濱崎襄二, 岡田三男: "像面位置変換用の薄型中継レンズ板一試作実験と遮光板配置", 電子情報通信学会技術報告, EID87-18 (1987).
- 8) 濱崎襄二, 岡田三男, 宇都宮昇平, 島田 聡: "縦格子中継レンズ板の提案と試作実験一連続視域型三次元テレビジョンの表示光学系の改善一", テレビジョン学会技術報告, 12, 11 (1988) 25-30, VVI '88-19.
- 9) 濱崎襄二, 岡田三男, 宇都宮昇平: "正逆視変換光学系を用いたレンズ板三次元写真機一三次元写真機の基礎事項一", 生産研究, 40, 3 (1988) 127-136.