

眼鏡の要らない3次元映像技術の研究開発

Research and Development on Glasses Free 3D Image Technologies

研究代表者 榎並和雅 独立行政法人情報通信研究機構

研究期間 平成21年度～平成21年度

(タイトル) 次世代・究極3次元映像技術

(本文)

本研究開発では、特殊なメガネをかけることなく（裸眼で）立体映像を見ることができる3次元映像表示技術の研究開発を実施する。立体映像を表示する原理として種々知られているが、まず、裸眼で立体視する場合、最も実用化に近いと考えられている多眼方式と呼ばれる立体映像表示原理に基づいて、3次元映像表示技術の研究開発を実施する。しかし、これらの立体映像表示原理は、目の調節（ピント）が立体映像の表示位置に一致しない可能性や、なめらかな運動視差が再現できない可能性が指摘されており、人が立体像を知覚する生理的要因の全てを再現できないと考えられている。一方、これらの生理的要因を全て満たすと考えられる立体映像表示原理としてホログラフィが知られており、究極の立体映像表示方式と呼ばれている。そこで、本研究開発では、ホログラフィ原理に基づく3次元映像表示技術についても研究開発を実施する。

【Abstract】

Display systems to see 3D images without special glasses are studied in this research. Although there are some kinds of principles for displaying glasses free 3D images, in this research, multi-viewpoint 3D display systems are developed because these displays are considered to be put into practical use in the near future. However, in the multi-viewpoint system, it is considered that the focused point of observers doesn't correspond to the convergence point on 3D images, and also that viewpoint transition causes flipping and image distortion. For these reasons, observers may feel uncomfortable. In this research, the technologies which overcome these drawbacks, generate high quality 3D images and enhance the reality of objects are tackled. However, in spite of these technologies, multi-viewpoint 3D display system cannot reproduce all of physiological factors for perceiving 3D objects. On the other hand, holography is known as the ultimate 3D display technology because it can reproduce all of physiological factors in principle. In this research, 3D display system based on holography is also studied as well as multi-viewpoint 3D display systems.

1 研究体制

- **研究代表者** 榎並和雅 ((独) 情報通信研究機構)
- **研究分担者** 井ノ上直己 † ((独) 情報通信研究機構 ユニバーサルメディア研究センター †)
佐藤正人 † † (JVC ケンウッドホールディングス株式会社 総合技術戦略推進部 † †)
斎藤栄 † † † (シャープ株式会社 研究開発本部 † † †)

平山雄三†††† (株式会社東芝 研究開発センター††††)

裏敏彦††††† (東芝モバイルディスプレイ株式会社 事業統括部†††††)

○ **研究期間** 平成 21 年度～平成 21 年度

○ **研究予算** 総額 569 百万円

(内訳)

平成 21 年度
569 百万円

2 研究課題の目的および意義

3次元映像技術は、この1、2年において急速に立ち上がりつつあり、将来的にはテレビ放送、テレワーク、遠隔医療等、通信・放送分野を中心に、様々な分野においても実用化が進むポテンシャルが極めて高い。しかしながら、現行の3次元映像市場では、コンテンツ制作を主導するハリウッド映画界の後押しもあり、米国発の専用眼鏡を用いた方式がほぼ全シェアを獲得している。

その一方、専用眼鏡方式は、眼鏡を装着する手間があることや、一つの視点から見た3次元映像しか表示できないという限界がある。従って、視聴者のニーズや技術を応用できる範囲の広さを勘案すれば、特別な眼鏡が不要で、視点を変えると異なるアングルの3次元映像が見られる次世代の3次元映像方式にいずれ移行することが必然である。

このため、本研究開発では、次世代の3次元映像（裸眼大画面）及び究極の3次元映像（ホログラフィ方式）を実現するための技術の研究開発を行うとともに、次世代3次元映像について日本発の技術による事実上の世界標準を獲得し、広い分野へ普及させるとともに、究極3次元映像についてもまずは企業ユース向けからの導入を目指す。

3 研究成果

3. 1 200インチ級超大画面裸眼3次元映像表示技術に関する研究開発

200インチ級の画面サイズ、50度以上の視域、ハイビジョン級の画質、水平方向200視点以上、裸眼視聴可能な3次元動画映像を表示することを目標に、そのために必要なシステム構成の検討をする。さらに、映像投射技術、ディスプレイ技術を確立するとともに、それらの技術を構成するプロジェクタ、透過型大画面スクリーン等を試作する。

3. 1. 1 超大画面裸眼立体映像表示システム構成に関する研究開発

本研究開発で開発するプロジェクタやスクリーンを用いた200インチ級裸眼立体ディスプレイは図1に示す構成となる。また、立体映像生成原理として、実用化が比較的近いと考えられることから、多眼式による映像生成を採用することとした。ここで、裸眼立体ディスプレイの大きな特徴の一つとして、運動視差の再現がある。つまり、眼鏡ありの立体ディスプレイでは、頭を移動しても見える映像は同じであるが、裸眼立体ディスプレイでは違った映像が見える。しかし、自然な立体視のためには、頭を移動するのに伴って映像が滑らかに変化することが望まれる。そのため、滑らかな運動視差を感じる視点間隔を実験により確かめることとした。その結果は、(1)滑らかな運動視差を実現する視線間隔の評価、

の項で示す。さらに、多数のプロジェクタを利用しているため、これらのプロジェクタから出力される映像が同期していることが必要となる。そこで、汎用的な装置を用いても実現できるかを検証するため、映像表示の時間的なばらつきを計測した。その結果を、(2)汎用的な映像処理装置とイーサネット構成による同期配信の検証、の項で示す。

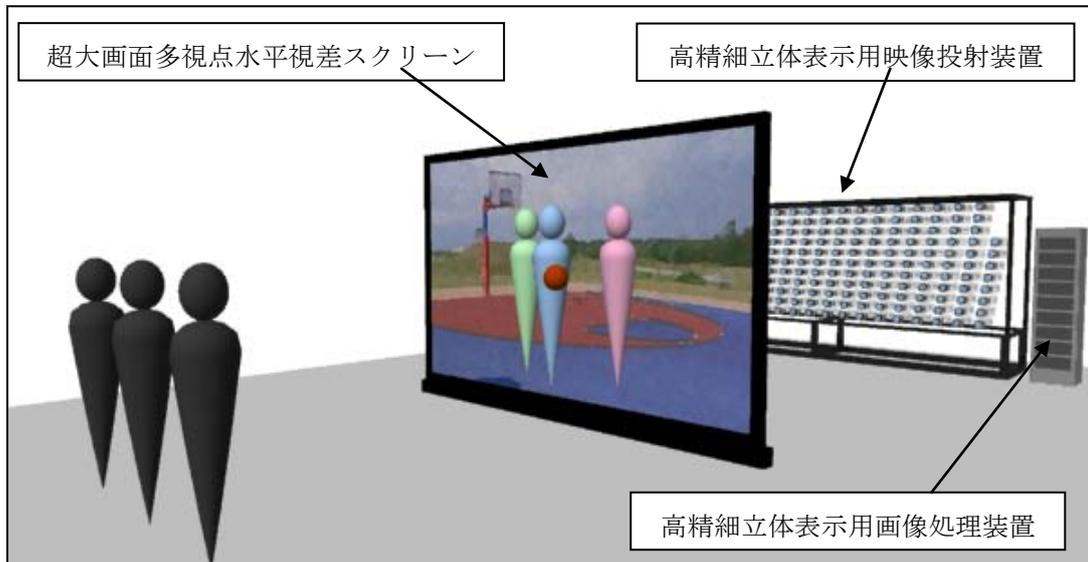


図1 超大画面裸眼立体映像表示システム構成

(1) 滑らかな運動視差を実現する視線間隔の評価

人が滑らかな運動視差を感じる視点間隔を明らかにする目的で、図2に示す実験システムを構築し、評価実験を実施した。この実験システムは、頭の位置を検出してその位置に応じた映像を2台のプロジェクタで立体映像を投影するシステムである。ここで、頭の位置は1mm間隔の精度で検出可能である。実験では、頭の位置が1mm、2mm、4mm、8mm、16mm、32mm変化する毎に映像を切り替えることとした。また、実験に利用した映像を図3に示すが、この映像をカメラの光軸を平行にして撮影する平行法と、光軸を交差させて撮影する交差法の2通りの方法で撮影し、撮影法による違いも合わせて評価した。実験結果を図4に示す。実験の結果、人が「なめらか」と感じるか否かを5段階で主観評価して、3~4mmの視線間隔であれば画像の変化がスムーズであると知覚されることがわかった。また、今回の実験では、平行法の方が高い評価を得られた。しかし、今回の実験では「視線間隔」をパラメータとして人が感じる「なめらかさ」に対する影響を評価したが、人が感じる「なめらかさ」を評価するには、さらに頭部の移動速度や映像の視差量なども影響すると考えられる。これらをパラメータとした実験は、今後引き続いて実施していく予定である。

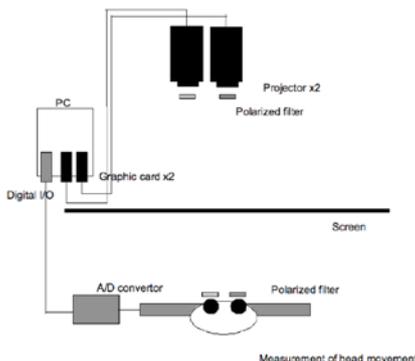


図2 実験システム構成

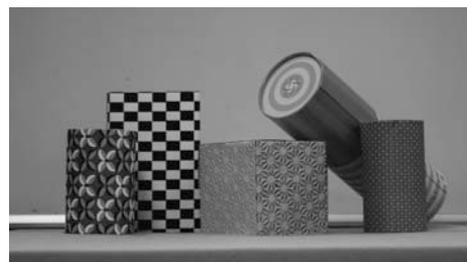


図3 実験で用いた画像

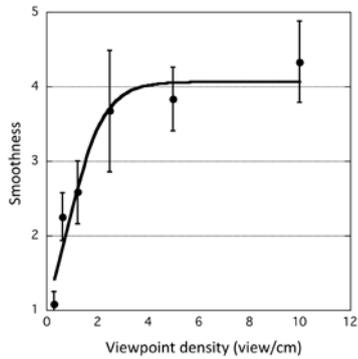


図 4(a) 交差法による結果

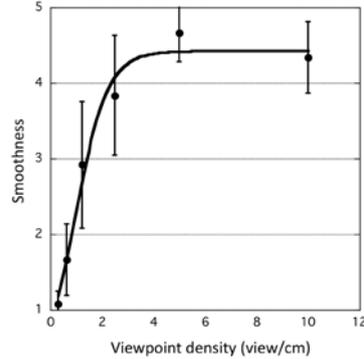


図 4(b) 平行法による結果

(2) 汎用的な映像処理装置とイーサネット構成による同期配信の検証

本研究開発では、200 インチ裸眼立体ディスプレイに立体映像を表示するために、各プロジェクタで表示する映像を、同期表示する必要がある。しかし、大画面になればなるほど、このような同期機能を実装したシステムは非常に高価となる。そこで、同期機能の無い汎用的な PC クラスタと 1 台のマスター PC 構成で実現できるか否かを検証した。なお、今回の実験では、いきなり大規模な構成とする前に、PC クラスタとして 7 台の PC を用いて実験することとした。実験では、マスター PC から PC クラスタへの信号伝送時間と PC クラスタ内の映像表示チャンネル間の表示タイミングのずれを計測した。図 5 に信号伝送時間の分布を、図 6 に表示タイミングの分布を示す。その結果、信号伝送時間と表示タイミングのずれを併せてもほとんどの場合、1ms 以内であること、また、最大 4ms 程度であることが示された。これは、ほとんど人が気づかない範囲であると想定されるが、今回の実験は 1 台のマスター PC と 7 台の PC クラスタからなる規模な構成である。200 インチ裸眼立体ディスプレイ用の全プロジェクタに映像を表示できる大規模な構成での評価は今後の課題である。

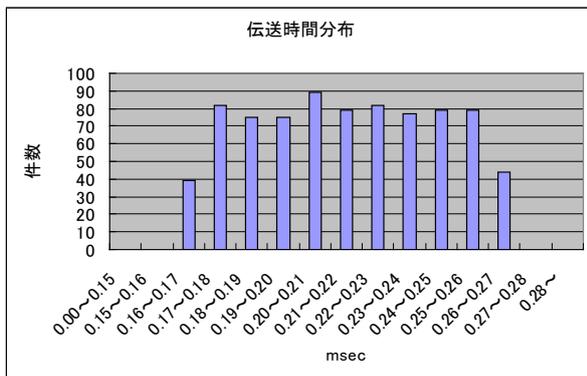


図 5 伝送時間の分布

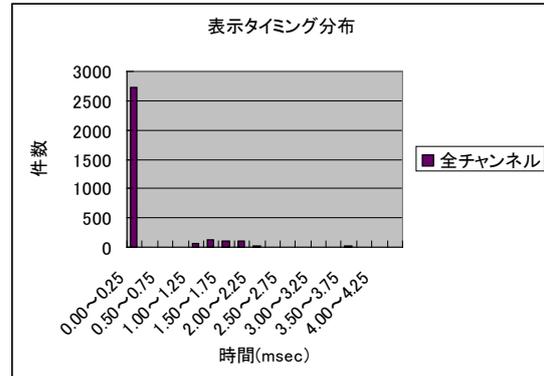


図 6 表示タイミングの分布

3. 1. 2 高精細立体表示用映像投射装置に関する研究開発

本研究開発では、比較的安価に入手可能な D-ILA 方式の三板プロジェクタの量産機をベースに、200 視点立体映像投射表示技術に関する調査研究を行うと共に、環境に配慮された高精細立体映像投射装置（コンポーネント）の試作開発を実施した。具体的には、多数のプロジェクタを用いた立体映像投射で課題となる投射位置の違いによる映像劣化要因を明確化するとともに、その解決手法として、画像変換による収差補正などの実現可能性について検討した。またプロジェクタの並列運転で大きな課題となる消費電力に関し、プロジェクタ光源および光学系の高効率化を行うと共に、プロジェクタ映像処理にお

ける立体映像表示機能・回路構成の最適化を実施し、試作開発を行うプロジェクタ単体での低消費電力化を実現した。

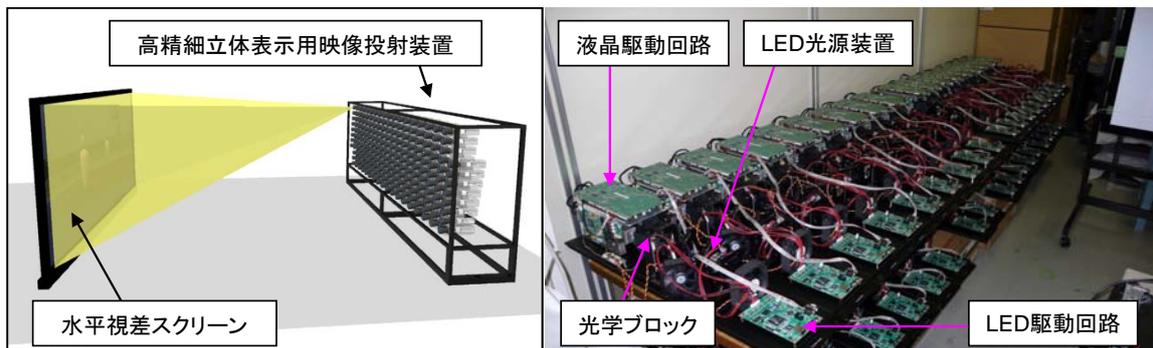


図 7 主要構成と高精細立体表示用映像投射装置

図 7 に本研究開発の主要構成と開発した高精細立体表示用映像投射装置を示す。また本研究開発の詳細について以下に述べる。

(1) 映像劣化要因および解決手法の検討

多数のプロジェクタを並列運用した際の課題である投射映像の画像劣化に関し、その要因特定と解決手法の検討を実施した。

- ① 投射実験：試作開発した高精細立体映像表示用投射装置を用いて映像投射実験を実施し、投射位置の違いやレンズ収差による映像劣化要因を確認した。
- ② 収差補正アルゴリズム検討：投射エリア分割と各エリアの画像補正による画像劣化の解決手法を策定した。更には、その実現手法の検証を行い、収差補正機能を搭載した立体表示装置の構築方法を明確化した。

(2) 高精細立体表示用映像投射装置の試作開発

本装置は、HD750 光学ブロック、LED 光源装置、LED 駆動回路、液晶駆動回路より構成されている。以下に開発した各機能ブロックについて詳細に述べる。

- ① HD750 光学ブロック：200 インチ・200 視差の高精細な立体映像を実現するためには視差分の高精細プロジェクタをアレイ化し、個別あるいは一括での調整・制御が必須である。そこで、本研究開発では、比較的安価にて入手可能な量産プロジェクタ（日本ビクター（株）製）DLA-HD750 の光学ブロックをベースに立体用映像投射装置を構築した。HD750 光学ブロックは、投射光学系、液晶表示素子（3 個：R、G、B）、分光光学系（プリズム等）の基本機能に加え、モータ駆動可能なフォーカス、ズーム、レンズシフト機構を備え、200 インチスクリーン投射に耐えうる画質（フル HD）と、システム構築時の自動調整および運用保守の簡易化を実現した。
- ② LED 光源装置：多数のプロジェクタを用いる本システムでは、各プロジェクタの輝度・色のばらつきと、消費電力が課題となる。そこで、本研究開発では、プロジェクタ光源として、RGB の各色を個別に調整可能な RGB 単色 LED を採用した。更には、低消費電力化の目的で、HD750 インテグレート光学系および HD750 分光光学系に最適化した高 NA・大口径非球面光学系と、混色用ダイクロイックミラーを新たに開発した。開発した LED 光源装置では、70 インチシステムにおける単色 LED 光源に対し、単位輝度あたりの消費電力として約 50% の削減を実現した。

- ③ LED 駆動回路：本システムの課題である各プロジェクタの輝度・色のばらつきを、RGB-LED の個別調整で低減するとともに、液晶駆動回路のプロジェクタ調整機能をネットワーク経由で制御可能とした。
- ④ 液晶駆動回路：プロジェクタ基本機能であるデジタルビデオインタフェース（HDMI）による映像入力と、HD750 光学ブロックに搭載されている反射型液晶デバイス（D-ILA）の駆動を行う。更には、多数のプロジェクタを並列運用した際の課題であるプロジェクタ毎の基本特性の差異や投射映像のずれを、各調整機能（フォーカス、ズーム、上下・左右レンズシフト機能等）のネットワーク制御により調整・低減可能とした。
- ⑤ 高精細立体映像装置の調整：①～④の機能を有する投射装置 220 台の試作開発を実施した。更には全ての投射装置を、色温度 6500°K、明るさ 20 l m（±10%）に調整を行った。

以上、本研究開発では、200 インチ級超大画面裸眼 3 次元映像表示を実現する映像投射手法の確立と高精細立体表示用映像投射装置（コンポーネント）の試作開発を実施した。表 1 に開発した高精細立体表示用映像投射装置の基本仕様を示す。

表 1 高精細立体表示用映像投射装置の基本仕様

表示素子／解像度	0.7 型フルハイビジョン D-ILA デバイス×3 / 1920×1080
レンズ	2 倍電動ズーム・フォーカスレンズ／f=21.4mm～42.8mm、F=3.2～4
レンズシフト	上下 80%、左右 34%（電動）
投射サイズ	60 インチ～200 インチ
映像入力	HDMI（HDCP 対応）×2 1080／60Hz
光源調節機能	RGB 独立に出力調整可
消費電力	150W
ネットワーク対応	フォーカス、ズーム、レンズシフト、光源調整、歪み補正等

3. 1. 3 超大画面多視点水平視差スクリーンに関する研究開発

本研究開発では、2008 年度に試作開発した立体映像表示用スクリーンをベースに、200 インチ級の超大画面立体表示に最適な立体映像表示方式およびスクリーン光学系の調査研究を行うと共に、実用性も考慮した 200 インチ水平視差スクリーン（コンポーネント）の試作開発を実施した。具体的には、なめらかな水平視差立体視の実現で課題となる隣り合う視差映像の分離のための水平微拡散手法について調査研究を行った。また、裸眼立体表示において課題となる立体視可能な領域（視域）の拡大のためのスクリーン光学系として、フレネルレンズ等の収束光学系の 200 インチスクリーンへの適用可能性について調査研究を行った。更には、これらの結果に基づき、(1)水平方向の微拡散と垂直方向の広角拡散を実現する 200 インチスクリーンと、(2)映像投射装置から投射された視差映像を観察エリアに収束・結像する 200 インチフレネルレンズの試作開発を実施した。図 8 に本スクリーンの基本構成を示す。また本研究開発の詳細について以下に述べる。

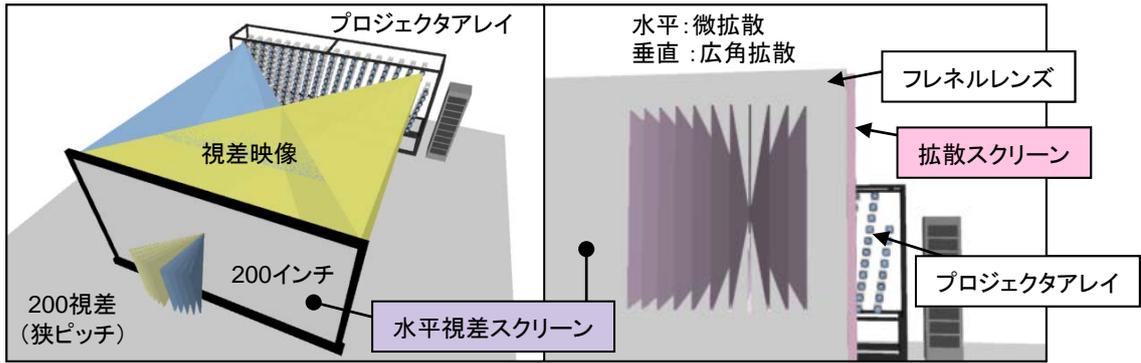


図 8 水平視差スクリーンの基本構成

(1) 200 インチスクリーン

200 インチスクリーンは、異なる水平位置に配置された複数の映像投射装置から投射された視差映像を、本スクリーンにて水平方向の微拡散と垂直方向の広角拡散を行い、それぞれの水平視差映像を観察者側に提示する。具体的には、水平微拡散により隣り合う視差映像が完全に分離することなく、適度な重なり度合いにてなめらかな水平視差が得られるような最適な水平微拡散を実現する。更には、異なる垂直位置にて観察した場合においても、水平視差映像が途切れることなく観察可能であるように、垂直広角拡散を実現する。

本研究開発では、200 インチの大画面でなめらかかつ広い視域の水平立体視を実現するための課題である拡散角 0.45 度以下を実現するために、すでに製造限界にある従来の拡散手法（ホログラム拡散シート、0.86 度）に対して、フッ素樹脂を薄膜コートすることで拡散面のわずかな平滑化を行い、水平拡散角 0.44 度を実現した。

更には、映像投射用の 200 インチスクリーンとして必要な基本機能・性能について調査研究をおこない、i) 水平微拡散・垂直広角拡散のための拡散シート、ii) コントラスト確保のためのグレーフィルム、iii) 反射防止のための AR フィルム、の各機能シート・フィルムの 200 インチ貼合技術開発を経て、200 インチスクリーン（コンポーネント）の試作開発を行った。

図 9 に、ホログラム拡散シート従来品、改良品それぞれの諸特性と試作開発した 200 インチスクリーンを示す。

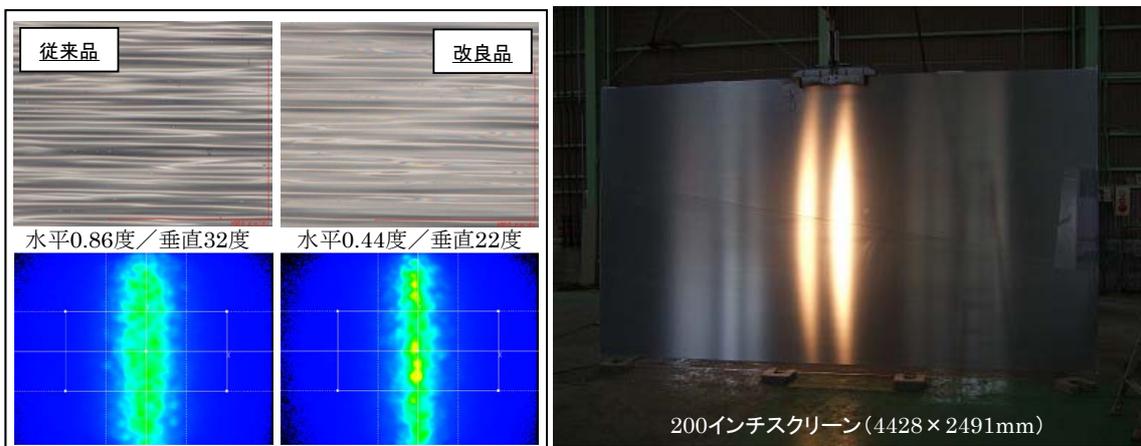


図 9 ホログラム拡散シートの諸特性と開発した 200 インチスクリーン

(2) 200 インチフレネルレンズ

異なる水平位置に配置された複数の映像投射装置から投射された視差映像を、本フレネルレンズに

より観察エリア内に収束・結像することで、広い視域と、なめらかな水平視差立体映像を実現する。具体的には、それぞれの映像投射装置から 200 インチスクリーンに投射された拡がりを持つ視差映像を、各投射光軸に沿って収束し、焦点距離を含む観察エリア内の所望の視点位置に視差映像を結像する。

本研究開発では、フレネルレンズへの投射角の違いに起因する観察エリア端（視域端）での映像劣化を低減するため、観察エリア中心（視域中心）と観察エリア端（視域端）のレンズ収差量のバランスをとり、フレネルレンズにより収束・結像した視差映像が観察エリア全域で破綻なく観察できるよう、フレネルレンズの非球面形状を最適化した。更には、投射映像の画素ピッチとフレネルレンズピッチによる干渉（モアレ）や非レンズ面での反射に起因するゴースト（二重像）の低減について検証を進め、立体表示用 200 インチフレネルレンズの試作開発を行った。

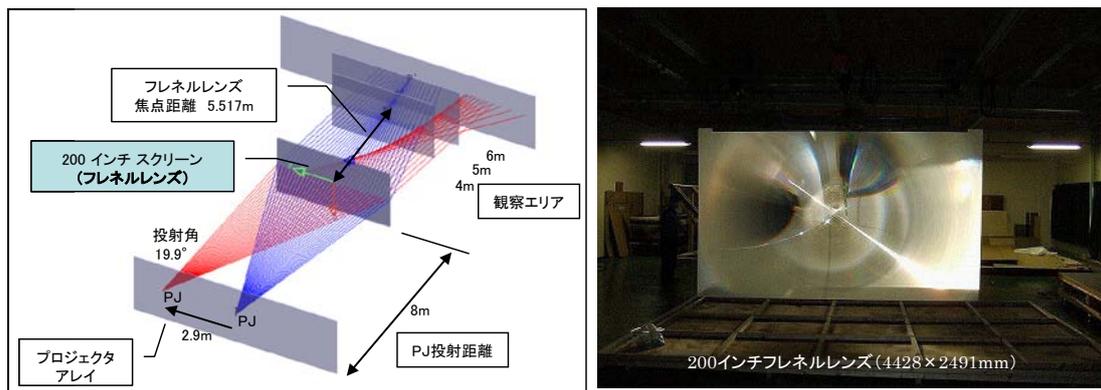


図 10 立体表示用フレネルレンズの概要と開発した 200 インチフレネルレンズ

3. 2 マルチスクリーン型高画質裸眼 3 次元映像表示技術に関する研究開発

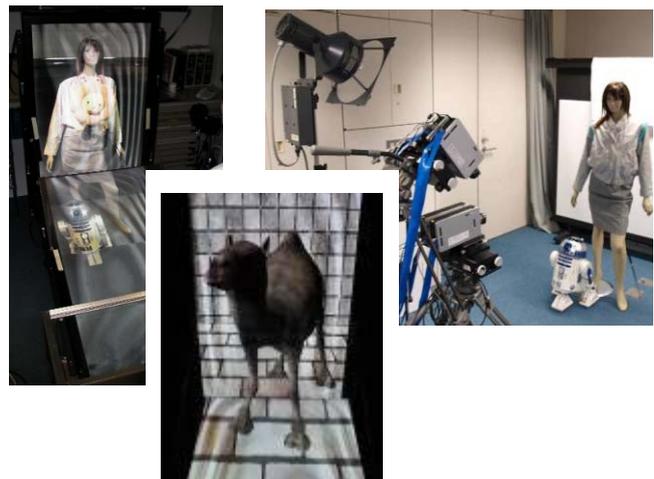
眼鏡なしで高画質、かつ臨場感の高い 3 次元映像を視聴可能とする技術について研究開発を行い、実物と同等の 3 次元映像を実現する。そのための撮像から表示までのシステム開発と必要な要素技術の確立を目指す。

床面、背面を含む複数 (2 面以上) のスクリーンを配置・接続し、それらのスクリーンにより高画質な背景映像及び等身大の被写体 3 次元映像を表示することにより、映像表示空間と視聴者側の空間とを違和感なく一体的に感じさせつつ、臨場感の高い 3 次元動画映像の視聴を可能にする技術の研究開発を推進した。

具体的には、①人間を等身大表示可能な画面サイズ、4096×2160 の空間解像度、6 以上の視差数のスクリーンを複数面 (床面・背面を含む 2 面以上) 接続・配置したマルチスクリーン型ディスプレイ、②視聴者が異なるアングルから見ても違和感なく、あたかも同一空間に存在するかに感じさせる 3 次元動画映像を表示させるための信号処理と表示技術、③マルチスクリーン型ディスプレイに表示する 3 次元映像を撮影するための 4096×2160 の画素数、毎秒 60 フレーム級の時間解像度を確保した多眼撮像技術の確立を図り、①から④の技術を実装したシステムを完成させた。

これまで空間解像度、ならびに時間解像度が高い複数映像を、撮影から表示まで同期制御をかけてリアルタイムで実現したシステム例は少ない。今回のシステムでは、複数のカメラ全てを外部から同一クロックと制御信号で駆動することにより、各カメラ間の露光開始と掃き出しタイミングのズレを最大で 142nS 以下に抑えることができた。これにより上記課題をクリアしている。しかも研究期間が短期間であったため、映像処理基盤の完成前に、簡易な映像処理基盤の事前評価システムを構築し、マルチスクリーン型ディスプレイとの統合実験を実施したり、既存の 2 次元ディスプレイと CG を使って、トラッキングシステムの構築を図ったりするなど、立体視がなくても可能な機能の実装等を計画的に行うことにより、効率向上を図った。

(マルチ・ディスプレイ) (多眼撮影システム)



(表示システムに CG 表示)

本研究開発において、(1)3D 方式または解像度の異なる 3 種類のマルチスクリーン型ディスプレイ、(2)映像処理信号基盤を含む多眼カメラシステム、(3)トラッキングシステムといった複数のシステム開発を進めた。最終的にはこれらを複合することで、撮像から表示までを行うことができる統合システム環境を整備するとともに、本システムの動作検証を進めることで、臨場感の要因についての検討も同時に行っている。以上の理由により、高い費用対効果を実現できたものと判断する。

(1) マルチスクリーン型ディスプレイ

基本システムとして、画面サイズが 64 型、空間解像度が 4096×2160 画素、視点数が 2 視点のレンチキュラレンズによる裸眼式の 3D ディスプレイを 2 台用いて、正面と床面に並べたマルチスクリーン型立体ディスプレイを開発した。また、技術検討システムとして、ほぼ同サイズ (65 型) で空間解像度が 1920×1080 画素のマルチスクリーン型立体ディスプレイを開発した。さらに、リファレンスシステムとして、画面サイズが 65 型、空間解像度が 1920×1080 画素、視点数が 2 視点、の眼鏡方式の 3D ディスプ

レイを2台用いて、正面と床面に並べたマルチスクリーン型立体ディスプレイを開発した。また各方式において、2台のディスプレイ接続部の枠を光学的に不可視とするための光学的接続素子の試作を行った。なお上記システム実現のために準備した各ディスプレイを全て社内実費調達することで大幅な費用削減を図った。

(2) 多眼カメラシステム

空間解像度が4096×2160画素、時間解像度が60fpsの映像を出力すると同時に、基線長や輻輳角が調整可能なステレオカメラ2式からなるカメラモジュールを開発した。ステレオカメラの出力する映像の明るさや色の調整、ならびに各カメラ間の同期を行うと同時に、リアルタイムでステレオ映像合成を行い、マルチスクリーン型立体ディスプレイ向けのフォーマットに変換、出力するための映像処理モジュールを開発した。また過去において、同期ズレの許容範囲を評価した取組事例も少ない。そのため同期のとれた正面/床面のステレオ映像の保存や、逆に保存した映像の正面/床面映像の同期を故意にズラした再生実験ができるような専用の映像記録モジュールを開発した。

(3) トラッキングシステム

観察者の三次元位置検出が可能なトラッキングユニットを用いて観察者の視点位置を検出し、観察者の視点に応じたコンピュータグラフィックのステレオ映像をリアルタイムでレンダリングし、マルチスクリーン型立体ディスプレイ向けのフォーマットに変換し、出力することにより、6視差以上の提示が可能なトラッキングシステムを開発し各種評価を実施した。

(4) 臨場感の要因についての検討

これまでジェームズ・ギブソンの地面説や、等身大表示等の画面の大きさによる臨場感の違い、画面枠への貼りつき効果による立体感の阻害など多くの要因が、臨場感に影響を及ぼす要因としてあげられているが、これらの要因が、直視型の裸眼式3Dディスプレイに対してどのような効果を発揮するかが不明確であるという課題が存在している。この課題を解決するために、本システムを用い、明室条件と暗室条件のそれぞれにおいて、マルチスクリーン表示の有無、及び接続光学系の有無の場合に、観察者が感じる臨場感について主観評価実験を実施することで、簡易ではあるが、その要因についての検討を行っている。

(ア) マルチスクリーン表示有無に関する評価実験

正面のみの表示と、正面/地面の両方を表示したマルチスクリーン表示で、立体映像を表示した際の臨場感についての主観評価実験を行い、マルチスクリーン表示は、正面のみの表示よりも高い臨場感を得ることができるという結果となった。



評価実験① マルチスクリーン表示

(イ) 接続光学系有無に関する評価実験

接続光学系のある場合と、ない場合での臨場感についての主観評価実験を行い、接続光学系のある場合は、ない場合よりも高い臨場感を得ることができるという結果となった。



評価実験② 接続光学系

尚、上記①、②は、それぞれ明室条件と暗室条件で実験を行っており、両実験においても、暗室条件の方が、より高い臨場感を得るという結果となった。

上記評価実験の結果に基づいて検討を行った結果、臨場感の要因として、次の4つの項目が重要であるという知見が得られている。

- ・ 地面の提示
- ・ 枠の非表示
- ・ 現実空間との境界面の表示
- ・ マルチスクリーンのつなぎ目の非表示

今後は、他の要因の探索も視野に入れた、更なる実験データの蓄積とその分析が必要となる。

3. 3 全方向多視差高画質裸眼 3次元映像表示技術

水平方向 10 視差程度および垂直方向は映像処理による滑らかな視差、4000×2000 級の 2D パネル解像度による 1280×800(WXGA)級の画質 3次元映像を裸眼視聴可能とする 3次元ディスプレイ技術、映像信号処理技術を確立する。また、それらの技術を用いた 3次元ディスプレイシステムを試作する。

3. 3. 1 上下左右から連続的に観察できる表示技術に関する研究開発（東芝）

立体映像を上下左右から連続的に観察できるのみならず、通常の 2D ディスプレイと比較してもほとんど遜色のない高画質表示が可能な、眼鏡の要らない 3次元映像技術を確立することを目的に研究開発を推進した。その結果、水平方向はレンチキュラーシートにより 9 視差を生成し、垂直方向には 3次元ディスプレイシステムに内蔵したジャイロセンサー信号に応じた映像処理により連続的な視差画像を生成する技術を開発した。図 11 にジャイロセンサーからの信号の流れを、図 12 にシステムの全体構成を示す。さらに、センサー信号としてタッチセンサーからの信号を利用して 3次元映像を直接的にインタラクティブ操作できるシステムを構築した。コンテンツとしては地図および医用画像を用いて動作を検証した。画素数 4000×2000 級ディスプレイを利用しているため、あらゆる方向からの 3次元映像をリアルタイム表示することは計算負荷が相当高かったが、計算アルゴリズムを工夫することなどで実現できた。これにより、高画質映像と上下左右からの連続的 3次元表示を両立させることが可能となった。図 13 に各方向から見た立体映像の写真を示す。このように当初の目標、目的を達成した。

研究の進め方としては、新規に 4K2K パネルを駆動する回路を短期間で試作しなければならなかったが、周到に仕様を作成した結果、一度の試作で所望の性能を得ることが出来、効率的に進めることが出来た。

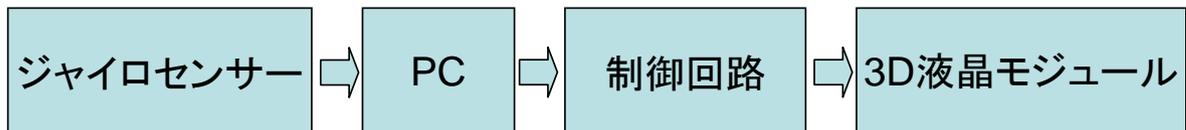


図 11 ジャイロセンサーからの信号の流れ

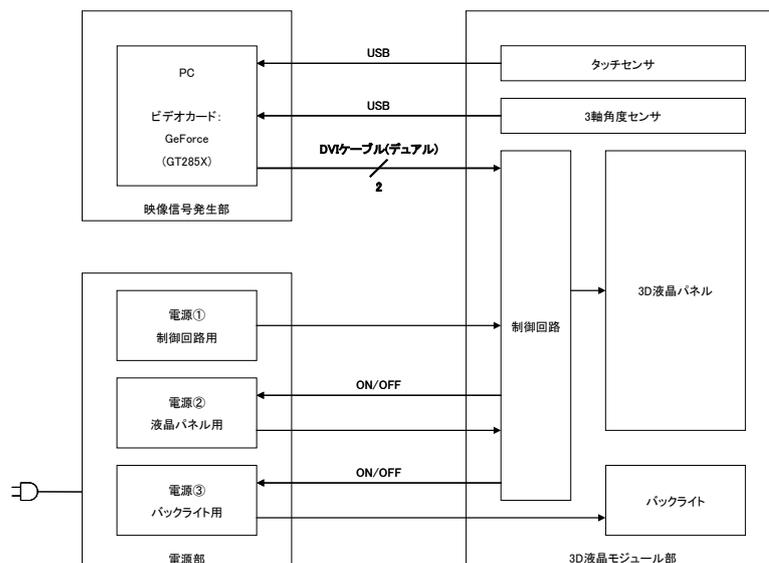


図 12 システム全体構成

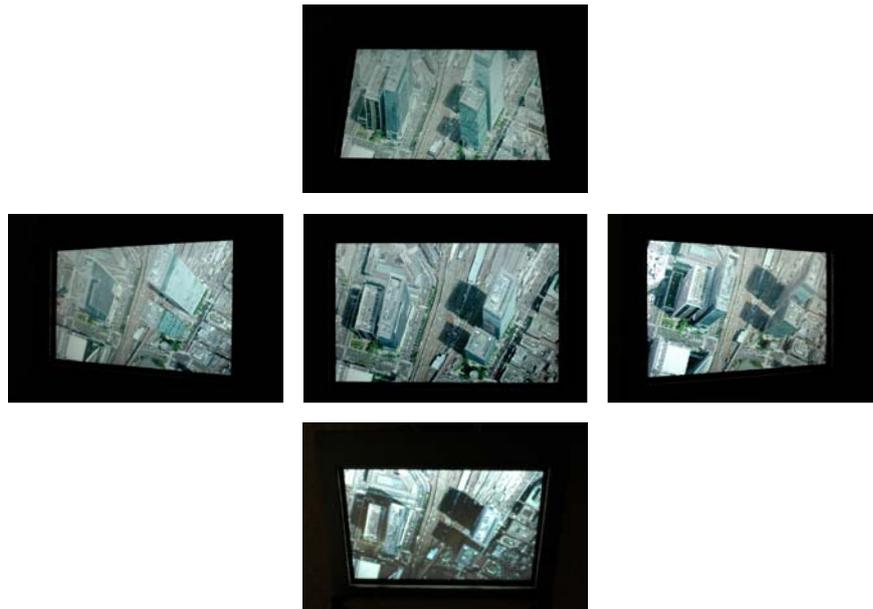


図 13 各方向から見た立体映像

3. 3. 2 高画質 3次元映像表示技術に関する研究開発 (TMD)

今まで 4000×2000 パネルを用いた 3 次元ディスプレイの試作例はあるが、モアレがあったり、斜めレンチキュラー方式のために精細度の対称性が悪い、左右方向 3 次元表示観察領域の対称性が悪いなど画質に課題があった。この課題を解決する方策は東芝グループにおいて SXGA+級の画素数を有するパネルでは実績があったが、4000×2000 級パネルに適用した場合、新たな課題として高精細パネル用大型レンズユニット製造、パネルの開口率の低下などが考えられ、これをクリアする必要があった。本研究開発では、これらの課題をクリアして、3 次元ディスプレイ用にカスタマイズした画素数 3840×2400 のパネルおよびレンチキュラーシートを設計した。図 14 にパネルの構造を示す。また、この設計に基づいて実際に 21 インチの 3840×2400 パネルを試作した。図 15 に試作したパネルの外観を示す。さらに視差のオーバーラップ量など、3 次元表示性能に影響を与えるメトリクス測定を行った。これにより、モアレがなく精細度や観察領域の対称性もよい高画質の 3 次元ディスプレイが実現できた。このように当初の目標、目的を達成した。

研究の進め方としては、1 度目のパネル試作の評価結果をすばやく 2 度目の試作にフィードバックすることにより、所望の性能のパネルを短期間で無駄なく制作出来、効率的に進めることが出来た。

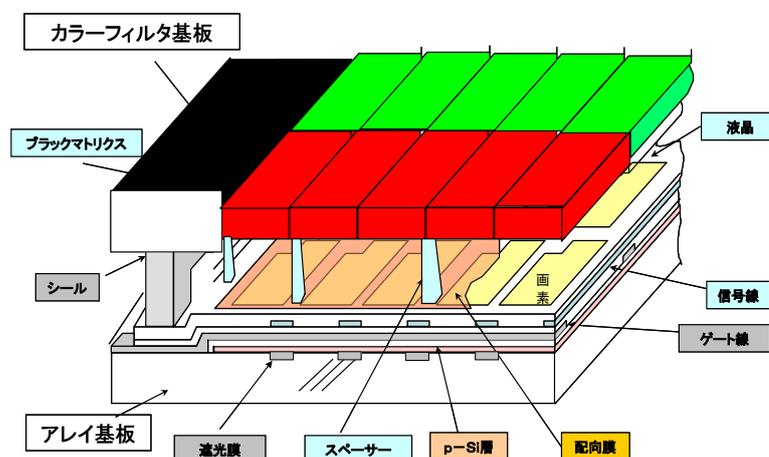


図 14 パネルの構造



図 15 試作パネルの外観

3. 4 超高画質カラーホログラフィ表示用光波面再生技術に関する研究開発

3200 万画素以上の液晶デバイスを利用して、ホログラフィを対角 4 cm の表示面にカラーで表示し、共役光による妨害を除去した像再生をおこない、カラー再生像が観察できる視域角が 5°以上の性能達成を目指す。さらに、デバイスの駆動装置の構成においては 30 fps 以上の動画像信号源からの駆動に対して動画で表示する能力を実現するものとし、実際にホログラフィの動画再生像の表示を目指す。

上記の目標を達成するためには、従来 (800 万画素) よりもさらに高精細かつ多画素の表示デバイスを用いて表示システムを構築する必要がある。このため、3300 万画素の超高精細反射型液晶パネルを用いてホログラフィ用液晶表示装置を試作した。仕様を表 1 に示す。ホログラフィの視域角はホログラム表示面の画素ピッチで決まり、視域角 Ω と画素ピッチ p の関係は、光の波長を λ とすると、 $\Omega = 2 \cdot \sin^{-1}(\lambda/2p)$ である。したがって、用いたパネルの画素ピッチは 4.8 μm であるので、視域角は 5.6 度 ($\lambda=473 \text{ nm}$ において) となる。また、表示面サイズは、水平 36.8 mm×垂直 20.7 mm (対角 42.2 mm) である。

表示装置への信号入力インターフェースには標準規格の DVI を採用した。表示映像を HD 解像度(1920 画素×1080 画素)で 16 領域に分割し、それぞれを HD 信号として別々の DVI(合計 16 本)で入力する。

動作可能な毎秒フレーム数 (fps) は 60 fps である。以上より、表 2 の表示装置を用い

表 2 試作したホログラフィ用液晶表示装置の仕様

表示解像度 (水平×垂直)	7680×4320 画素
液晶パネル画素ピッチ	4.8 μm (水平、垂直とも)
信号入力インターフェース	DVI×16 本
動画表示 (毎秒フレーム数:fps)	60

るホログラフィ表示システムの予定期間は、目標性能 (視域角 5°以上、表示面サイズ対角 4 cm、30 fps 以上の動画表示) を満足する。

次に、ホログラフィの高画質化においては、表示デバイスの性能だけではなく、再生光学系も重要な要素である。このため、上記の表示装置に対応して高画質なホログラフィ像再生を可能とする光学系を新たに開発した。ホログラフィの本質的な問題として、物体光以外の不要な光 (共役光、透過光など) の発生が挙げられる。不要光による妨害を除去するため、ホログラムの記録、再生それぞれにおいて空間周波数成分の半分を遮断する手法を適用して妨害光除去光学系を試作した。本手法の原理を図 16 に示す。ここでは、参照光をホログラム面に垂直に入射する平面波としている。図 16(a)に示す記録では、被写体で拡散される光のうち、水平面から片側 (図では下方) に拡散する物体光のみでホログラムを作成する。このホログラムから再生される光を、図 16(b)に示すようにレンズに通すと、物体光、共役光それぞれの焦平面における通過範囲が、光軸を中心に下側と上側に分離する。透過光はそれぞれの通過範囲

の境界（光軸位置）に集光する。したがって、ホログラム作成時に光を制限した側の半平面（図では上方）を遮断するような空間フィルタ（遮光板）を焦平面に設置することで、不要光が遮光され、物体光へ重なる妨害が低減できる。また、ホログラム面が画素構造をもつ場合、高次の回折光が発生し、これも不要な光である。高次回折光の除去には、空間フィルタを所望の物体光だけを通過させる開口にする。図 17 に本手法による妨害光の除去効果を示す。

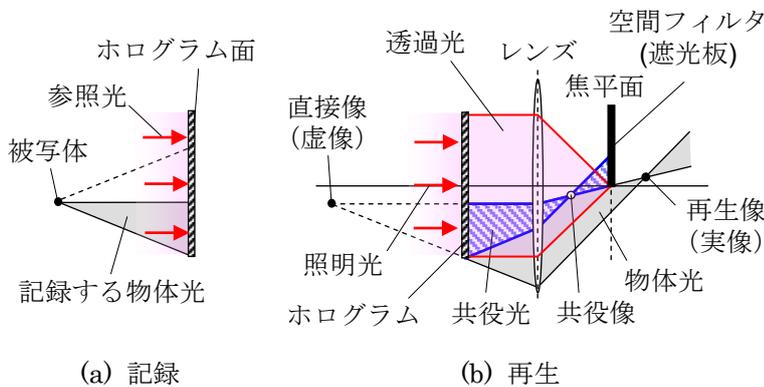


図16 妨害光除去の原理

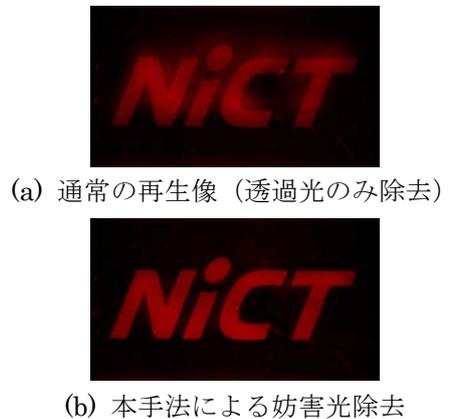


図 17 除去効果

電子ホログラフィのカラー化には、3 原色（R、G、B）それぞれの物体光を別々のホログラムから再生し、合成する必要がある。各色の再生に、前述した妨害光除去手法を適用する。光の合成にはハーフミラーが用いられるが、拡散光を合成する場合、拡散光のハーフミラーへの入射角が水平方向と垂直方向で異なるために、ハーフミラー通過後、拡散光の水平成分と垂直成分で結像位置が異なる現象（非点収差）が生じる。この発生メカニズムと補正法を検討した。図 18 に、ハーフミラーの厚さをパラメータとして、入射光の拡散角と非点隔差（水平成分と垂直成分の結像位置のずれ量）の関係を示す。図より、非点隔差は拡散角が大きいほど減少し、また、ハーフミラーの厚さに比例することがわかる。非点収差の補正に関して、被写体を構成する各点光源に対して逆の非点収差を組み込む手法を開発した。図 19 に点光源に対する補正効果を示す。非点収差でぼけていた点像が、本手法で点像に補正されている。

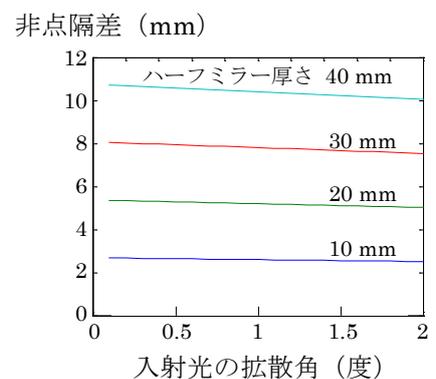


図 18 拡散角と非点隔差

前述した液晶表示装置に上記の光学系を適用し、カラーホログラフィ表示システムを構築した。図 20 に構成を示す。3 枚の液晶パネルに RGB それぞれのホログラムを表示し、妨害光除去光学系を通して再生された 3 原色の物体光を合成してカラー立体像を再生する。合成には厚さは 3 mm のハーフミラーを 2 枚使い、非点隔差を 1.6 mm 以内に抑えた。

ホログラフィ表示実験を行い、妨害光、非点収差等の低減されたカラー立体像（図 21）が再生できることを確認した。本システムの性能は、実測で視域角 5.6°以上、再生像サイズ対角 4 cm 以上であり、さらに、60 fps での動画表示（図 22）も実現でき、目標性能を達成した。

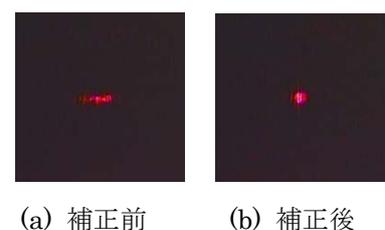


図 19 非点収差の補正

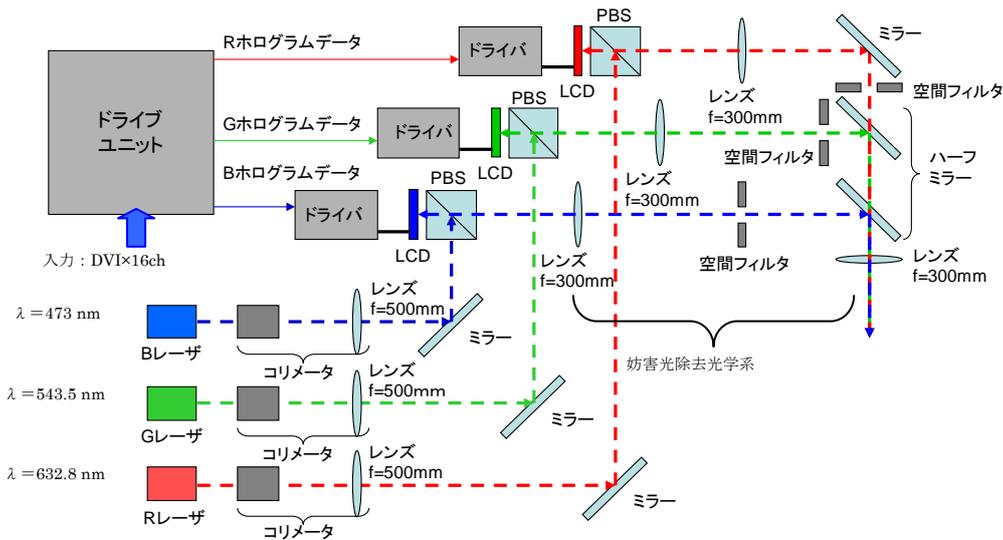


図 20 カラーホログラフィシステム



(a) 手前の文字に焦点



(b) 40 mm 奥の文字に焦点

図 21 立体再生の確認 (通常のカメラで再撮)



図 22 動画再生像の一例

3. 5 その他の研究実績

3.1 節で示した 200 インチ級超大画面裸眼 3 次元映像表示技術に関する研究開発では、滑らかな運動視差を実現する視点間隔の評価実験を実施した。さらに条件を詰めて研究を進めることで、視聴環境に関する規格化に寄与できると考えられ、ITU 等での標準化が期待できる。

3.2 節で示したマルチスクリーン型高画質裸眼 3 次元映像表示技術の研究開発では、現在、マルチパネルに表示する大容量動画像データの符号化に応用可能な、高圧縮な符号化方式について、ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG1(MPEG)へ提案検討中である。

4 研究成果の更なる展開に向けて

200 インチ級超大画面裸眼 3 次元映像表示技術で開発したプロジェクタおよびスクリーンを用いて、200 インチ裸眼立体ディスプレイのシステム化を行う。特に、プロジェクタは数百台におよぶ映像投射装置を容易に調整できるよう、LED 輝度調整を含む映像投射装置の各機能をネットワーク経由で一括または個別に調整制御可能としている。今後はこれら調整機能の自動化を行うとともに、画像歪みに対する補正技術についても継続検討し、高精細かつなめらかな運動視差を実現する 200 インチ裸眼立体システムを構築し、実用化を目指す。

マルチスクリーン型高画質裸眼 3 次元映像表示技術の研究開発で抽出した臨場感をさらに向上させるための臨場感向上技術や、3D コンテンツを生成するための高度 3 次元映像処理技術 (圧縮や、デプス

マップの取り扱い等を含む、映像システムと表示システムの技術を最適化する3次元映像処理)、生体影響等を含んだ、3次元映像の臨場感を客観的に評価する技術等の研究開発が今後必要となる。また、標準化については、マルチスクリーン型ディスプレイを取り扱うための画像フォーマットや、メタデータ、記録・伝送フォーマットの標準化が必要となる。製品化については、まずは小型なものから検討し、大型化へ発展させていく。本技術の予測される波及効果として、マルチスクリーン型ディスプレイは、2枚以上のパネルを使用するため、パネル需要の大幅な増加が予測される。

全方向多視差高画質裸眼3次元映像表示技術で開発した3Dパネルや3Dシステムについては今後、適切な用途や市場を明確化することが重要である。そのために実験計画を策定し用途研究や市場探索を行っていく。具体的には様々な潜在顧客へのデモなどを行い、顧客の声を収集していく。今回得られた全方向多視差高画質裸眼3次元映像表示の成果はゲームやサイネージなどの他、将来の遠隔医療や遠隔コミュニケーションなどにも幅広く応用展開可能であり、国際的競争力のある新規市場を創出するという波及効果があるものと期待される。

超高画質カラーホログラフィ表示用光波面再生技術では、次の研究開発のステップとして検討しているのは視域角のさらなる拡大である。電子ホログラフィでは一般に視域角が狭く、両眼で立体視することが困難という問題がある。我々は以前から画素間隔に依存しない視域拡大方法について検討を進めており、この方法を今回開発した実験システムに適用することで、視域角を約3倍の16度程度に拡大できる可能性がある。従って、今後の直近の研究開発として、本開発システムに視域拡大技術の適用を検討していく予定である。

5 査読付き誌上発表リスト

なし。

6 その他の誌上発表リスト

[1]井ノ上直己、根岸一平、矢野澄男、“立体映像の評価における運動視差の解像度の影響”、電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会(MVE)技術研究報告 Vol.109 No.466 pp3-8 (2010.03.12) :

[2]三科智之、妹尾孝憲、山本健詞、大井隆太郎、栗田泰市郎、“超高精細液晶パネルを用いた電子ホログラフィによる立体カラー映像再生”、ホログラフィック・ディスプレイ研究会(東京)(2010.05.27 予定) :

7 口頭発表リスト

[1]井ノ上直己、“超臨場感を演出する3D技術はここまで来た”、未踏科学技術協会特別講演会(東京)(2010.03.10)

8 出願特許リスト

[1]妹尾孝憲、山本健詞、大井隆太郎、三科智之、栗田泰市郎、ホログラム生成装置およびその方法、プログラム、日本、平成22年3月5日

9 取得特許リスト

なし。

10 国際標準提案リスト

なし。

11 参加国際標準会議リスト

なし。

12 受賞リスト

なし。

13 報道発表リスト

[1] “3D映像9方向に TMD 新型液晶を開発”、日経産業新聞、2010年4月27日

研究開発による成果数

	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年
査読付き誌上発表数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
その他の誌上発表数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
口 頭 発 表 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
特 許 出 願 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
特 許 取 得 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
国際標準提案数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
国際標準獲得数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
受 賞 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
報 道 発 表 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)

	平成20年度	平成21年度	合計	(参考) 提案時目標数
査読付き誌上発表数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	4件 (3件)
その他の誌上発表数	件 (件)	1件 (件)	1件 (件)	件 (件)
口 頭 発 表 数	件 (件)	1件 (件)	1件 (件)	14件 (4件)
特 許 出 願 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	18件 (2件)
特 許 取 得 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	18件 (2件)
国際標準提案数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
国際標準獲得数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
受 賞 数	件 (件)	件 (件)	件 (件)	件 (件)
報 道 発 表 数	件 (件)	1件 (件)	1件 (件)	2件 (件)

注1：（括弧）内は、海外分を再掲。

注2：「査読付き誌上発表数」には、論文誌や学会誌等、査読のある出版物に掲載された論文等を計上する。学会の大会や研究会、国際会議等の講演資料集、アブストラクト集、ダイジェスト集等、口頭発表のための資料集に掲載された論文等は、下記「口頭発表数」に分類する。

注3：「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等を計上する。