

3-4 眼鏡なし立体画像システム

3-4 *Three-Dimensional Image System without Special Glasses*

河北真宏 岩澤昭一郎 矢野澄男 Roberto Lopez-Gulliver

吉田俊介 Sabri Gurbuz Daniel Moldovan 安藤広志 井ノ上直己

KAWAKITA Masahiro, IWASAWA Shoichiro, YANO Sumio, Roberto Lopez-Gulliver,

YOSHIDA Shunsuke, Sabri Gurbuz, Daniel Moldovan, ANDO Hiroshi, and INOUE Naomi

要旨

我々は、あたかもその場にいるかのような臨場感の高い立体映像を提示することで、人と人とのより豊かなコミュニケーションの実現を目指している。この目標を実現するために、さまざまな用途に応じた眼鏡なし立体画像システムとして、大型立体ディスプレイやテーブルトップ型立体ディスプレイ、箱型立体ディスプレイなどを開発している。同時に、これら立体ディスプレイに適した3次元モデル技術や実写立体像の撮影技術などの研究も進めている。本稿では、当研究グループで進めている眼鏡なし立体画像技術を紹介し、特に「大型眼鏡なし立体ディスプレイ」については基本原理や試作機器の詳細を解説し、最後に今後の展望を述べる。

We are advancing research on an ultra-realistic communication system using three-dimensional (3D) image systems that are able to reproduce 3D images as if the objects were actually there. We are developing the several autostereoscopic displays, such as a large size 3D display using multi projectors, a tabletop 3D display of 360 degrees viewable for tabletop task, and a cubic-type 3D display for hand-held applications. Furthermore the 3D modeling techniques and 3D image capturing method are also studied for these 3D display systems. This paper describes outlines of the 3D communication systems and the details of the large size 3D display using multi projectors, and future works.

[キーワード]

超臨場感コミュニケーション, 立体画像, 眼鏡なし立体像

Ultra-realistic communication, Three-dimensional image, Autostereoscopic image

1 まえがき

臨場感の高いコミュニケーションシステムが実現できれば、遠く離れた人々とあたかもその場にいるかのような感覚で対話したり、貴重な文化財を目の前にあるかのように提示して観賞や学習できたりと、我々の生活はより豊かなものになるであろう。NICTでは、この臨場感あふれるコミュニケーションを実現するために、立体画像や超高精細映像、3次元音場、触覚、臭覚など各種情報を活用した超臨場感システムを研究している。システム開発の技術課題としては、立体画像や超高精細大画面映像技術、没入型空間構築技術、映像に対する

心理的・生理的要因の解析技術などがあげられる。

近年、映画産業をはじめとして2眼立体映像の関連技術や製品の市場動向が盛んとなっている。同時に、立体画像の撮影や表示技術、立体映像の普及を目指した標準化、安全なコンテンツ制作の検討など、国内外の動きが活発である。また、早期実用化をターゲットとした2眼立体方式以外にも、より理想的な立体画像表示を目指し、多くの視差画像や光線群を再現する次世代の眼鏡なし立体画像の研究も進展している。

当研究グループでは自然な立体画像を利用した超臨場感システムを目指し、各種使用形態を想定した3種類の眼鏡なし立体画像システムを開発し

ている[1]。それらは、複数のプロジェクタを用いて数十～数百インチサイズの大画面立体像を表示できる「大型眼鏡なし立体システム」[2]や平坦な机の上に空中に浮いたような立体像を表示するテーブルトップ型立体ディスプレイ「fVisiOn」[3][4]、手に持った箱型ディスプレイの中に立体像を観察できる箱型ディスプレイ「gCubik」[5][6]である。

本稿では、2 において立体画像研究の背景や動向を紹介し、3 では NICT で開発した各種眼鏡なし立体技術の概要を説明する。4 においては、「大型眼鏡なし立体システム」についてその技術詳細を解説し、5 で結論を述べる。

2 立体画像技術の動向

ここ数年、2 眼方式の立体映像が映画産業で普及するとともに、カメラやディスプレイなどの民生機器の製品化も始まり、立体映像が急速に注目されつつある。高品質な立体映像の表示技術に加え、コンテンツ制作技術の進展、映像フォーマットや圧縮符号化、パッケージメディアやインターフェース等の規格化、安全なコンテンツ制作のガイドライン、評価手法の検討など、立体映像の実用化に向けた総合的な取り組みが活発である[7]。

一方、将来の技術とされる眼鏡なし立体映像技術に関しても、着実な進展がみられる。レンチキュラ方式により数点から数十視点の視差画像を再現する方式や、レンチキュラレンズを備えた複数の微小ディスプレイをアレー状に配置し、高密度な光線群を再生する方式などがある[8]。また、空間像再生型の立体方式に分類されるインインテグラル方式については、水平のみならず垂直方向の

視差も有するため将来の家庭用途として開発が進められている[9]。最近では、高精細なフル解像度(3,300 万画素)スーパーハイビジョン映像を使用し、約 10 万画素のインテグラル立体映像の撮影・表示が実現されている[10]。このインテグラル方式では、高画質化のためには、多くの画素数が必要なため、小型プロジェクタを数多く用いて画像を重畳投影する手法が提案され、専用の高精度な調整技術も開発されている[11]。一方、他の方式と原理が異なるホログラフィにおいては、表示デバイスに要求される条件が厳しく、現状では実用レベルには達していないが、究極の理想的な立体表示手法としての期待は大きい。動画像の撮影・表示手法としては、最新の高精細映像デバイスを用いた研究がなされ、カラーの動画像表示が実現されている[12]。2 眼立体映像に関しては、実用化段階を迎えつつあるが、裸眼立体映像に関しては、立体表示方式の検討をはじめ、システム実現に向けた要素技術の開発、高精度な調整や最適な画像処理技術など多くの研究課題がある。

3 立体画像を用いたコミュニケーションシステム

図 1 に示すように、さまざまな立体画像を用いたコミュニケーションの形態が考えられる。その 1 つは、複数の人々が大きな立体像を観察し、3 次元空間や環境も共有できる「大型眼鏡なし立体」(図 1(a))である。人や車など我々の身の回りの物や環境を実物大の大きさで立体的に再現することで、観察者は高い臨場感を感じることができる。我々は、その試作機として、複数のハイビジョン



図 1 立体画像によるコミュニケーションシステム

プロジェクタを用いて、視点の異なる映像を特殊なスクリーン上に重ねて投射する立体ディスプレイを開発している[2]。観察者の位置に応じ、70インチ程度の大画面立体像が観察され、特殊な眼鏡も必要なく自然な立体像が再現できるのが特徴である。従来方式でも、大画面の眼鏡なし立体ディスプレイの開発例はあるものの[13]、ハイビジョンクラスの高精細な立体像の表示を可能としたのは初めてである。表示立体像の解像度や色再現性がハイビジョン画質であるため、その応用の可能も高く、例えば、工業デザインの検証や広告宣伝、文化遺産や美術品などの展示上映などが多くの応用が期待できる。本立体画像システムに関する技術の詳細は、4にて述べる。

図1(b)に示すように、テーブルを取り囲んだ人々が、空中に浮かんだような立体像を全周囲から観察できる「テーブルトップ型立体」もある。平坦なテーブル上に立体像を浮いたように表示する全周囲型の立体ディスプレイである。我々は、テーブル内にマイクロプロジェクターアレーを配置し、特殊な形状と拡散特性を有するスクリーンを開発し組み合わせた「fVisiOn」[3][4]を開発している。原理的には、テーブルの全周囲360度から、その位置に応じた立体像を観察でき、多くの人が同時に立体像を観察できる。従来の全周囲立体画像システム[14]などでは、球形や円筒状の表示部分が必要だった。本方式では、テーブル上は平坦で作業の障害となるような装置が不要なため、実物と立体像を比較しながらのコミュニケー

ションが可能である。本研究内容の詳細は、本特集号の別の記事にて詳細が記述されている[15]。

指や箱の動きに応じインタラクティブに変化する立体像を体験できる「箱型立体」(図1(c))は、小型の立方体状のディスプレイを手に持ちあらゆる方向から、箱の内部の立体像を観察できるものである。NICTでは、インテグラルフォトグラフィを原理とする立体システム「gCubik」を開発している[5][6]。箱内部には、各種センサーが取り付けられており、観察者の動きに応じてインタラクティブに立体像を表示できる。箱型形状のどの面からでも、その方向に応じた立体像が観察できる光学設計がなされ、立体像を手中に持っている感覚が味わえる。本研究内容の詳細は、本特集号の別の記事にて詳細が記述されている[16]。

これらのディスプレイへの表示画像としては、コンピュータグラフィックスや実写映像がある。各種立体ディスプレイに表示するための3次元モデル技術[17][18]や、実写立体像の撮影や画像処理技術などの研究にも取り組んでいる[19][20]。

4 大型眼鏡なし立体システム

4.1 基本原理

本システムは、特殊な眼鏡なしに、同時に複数の人が見る位置に応じた自然な立体像を観察できる大画面立体ディスプレイである(図2)。画像表示装置として、複数の小型プロジェクタ(ここでプロジェクタユニットと呼ぶ)を、水平および垂直方

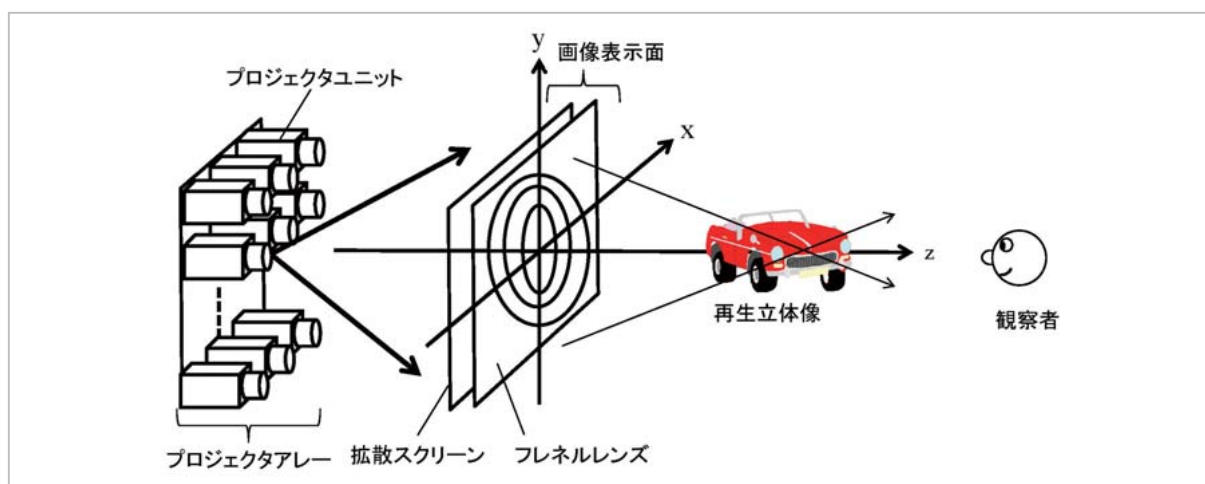


図2 プロジェクタアレーを用いた大型眼鏡なし立体システムの基本構成

向に配列したプロジェクタアレーを用いる。各プロジェクタユニットからは、水平方向に視差の付いた画像(ここでは視差画像と呼ぶ)を、特殊な拡散特性を持つスクリーンとフレネルレンズを組み合わせた画像表示面に重畳投射する。拡散スクリーンは、入射光に対し水平方向には狭い角度の拡散角特性を持ち、垂直方向に広い拡散角を有するリアスクリーンである。この拡散特性により、水平方向のさまざまな角度に異なった画像を出力できるため、観察者は水平位置に応じた視差画像を観察できる。一方、垂直方向には、入射光が大きく拡散するため、垂直方向の投射角度の影響は解消されるため、図2のようにプロジェクタユニットを垂直方向(y軸方向)にも配列でき、ユニット数の増加により水平方向の視差画像数や単位視域角度あたりの画像密度を高くできる。本方式では、プロジェクタアレーや画像表示面の位置関係に応じて、原理的に物体の光線を再現する空間像再生型の立体表示に近づけることができる。視差画像数や単位視域角度あたりの視差画像密度の増加により、滑らかな運動視差と広い視域を有し、解像度の高い高品質な立体像表示が期待できる。

本方式では、プロジェクタアレーの配置や投射方法や、拡散スクリーンやフレネルレンズとの位置関係や光学特性などにより、いわゆる多眼立体から光線再現立体の間で表示形態を変えることができ、立体像の視域や解像度などの各種特性のバランスを調整できる。本稿では、このディスプレ

イシステムの基本性能をわかりやすく説明するため、プロジェクタアレーとフレネルレンズ間の距離をフレネルレンズの焦点距離と同一に配置し、観察者への視差画像の光線はほぼ平行光線とみなした場合について、その基本構成と設計指針の例を説明する。

4.2 システムの基本構成と設計指針

図3に本システムの基本配置の俯瞰図を示す。本構成では、プロジェクタユニット数が水平方向の視差画像数とほぼ同じとなる。そのため、プロジェクタユニット間隔 p は、水平方向の単位角度あたりの視差画像数に応じた値に設定する。プロジェクタアレーとフレネルレンズ間の距離 g とフレネルレンズの焦点距離が同じ場合、 m 番目のプロジェクタユニットからの投射光が、画像表示面を介して観察者側へ向かう光線の角度 θ_m は、

$$\theta_m = \arctan\left(-\frac{mp}{g}\right) \quad (1)$$

となる。ただし、 p はプロジェクタユニット間のピッチ(一定)とし、 m 番目のプロジェクタユニットの水平位置を $x = mp$ ($-N < m < N$, N は自然数、 $2N+1$ はプロジェクタユニットの総数)としている。

また、 m 番目と $m+1$ 番目のプロジェクタユニットからの出射光線の角度差 $\Delta\theta_m$ は、

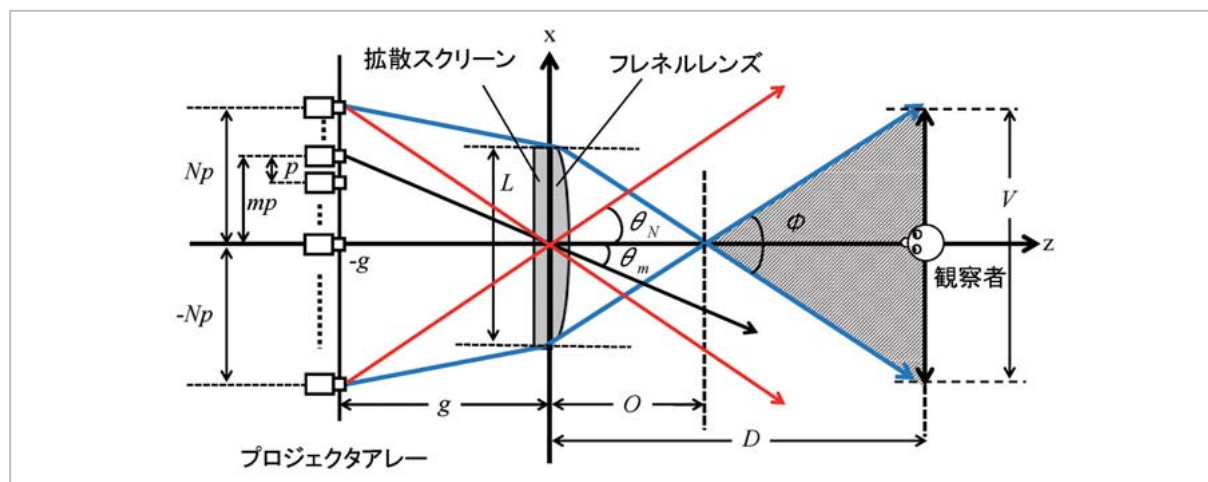


図3 大型眼鏡なし立体システムの基本配置

$$|\Delta\theta_m| = |\theta_{m+1} - \theta_m| \approx \left| \frac{p}{g} \right| \quad (2)$$

となる。一方、画面中心に表示される立体像の視域角 ϕ は、

$$\phi = 2|\theta_N| = 2 \left| \arctan \left(-\frac{Np}{g} \right) \right| \quad (3)$$

となる。この式のように、再生立体像の視域は、プロジェクタアレーの幅 Np とプロジェクタアレーと画像表示面間の距離 (フレネルレンズの焦点距離) g に依存する。

一方、表示画像全体が観察できる領域は、図3の斜線部に限定される。画像表示面からこの観察領域までの距離 O は、

$$O = \frac{L}{2 \tan|\theta_N|} = \frac{Lg}{2Np} \quad (4)$$

である。ただし、 L は表示画像のサイズである。この領域を見込む角度は、(3) 式の視域角 ϕ であり、フレネルレンズと観察者間の距離を D としたとき、視域 V は、

$$V = 2 \left| (D - O) \tan \frac{\phi}{2} \right| = \left| \frac{2DNp}{g} - L \right| \quad (5)$$

となる。

上記 (1) ~ (5) 式により、立体像の要件として、立体像の表示画面サイズ L と視域角 ϕ 、視差画像の角度ピッチ $\Delta\theta$ 、視域 V などをもとに、プロジェクタユニットの数 $2N+1$ や配列ピッチ p 、プロジェクタアレーとフレネルレンズ間の距離 (フレネルレンズの焦点距離) g などのパラメータが検討でき、システム設計の指針にできる。

4.3 プロジェクタユニット配置とスクリーン 拡散特性

本システムのキーデバイスは、前述した特殊な拡散特性をもつスクリーンである。プロジェクタアレーの配列は、個々のユニットの大きさに制限を受け、水平方向のみに密に近接配置することは難しい。そのため、図4に示すように水平方向のみではなく、垂直方向にも2次的に配列した構

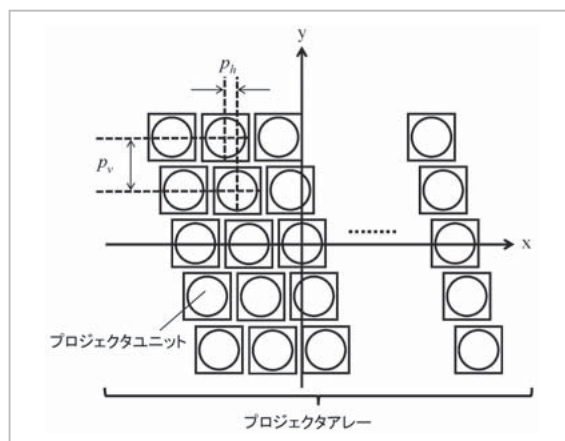


図4 プロジェクタアレーの配列例

成をとる。

各列のプロジェクタユニットは、垂直方向に順に水平ピッチ p_h をもって配列されている。一方、垂直方向の行間は、プロジェクタユニットの大きさの制限により、比較的大きな垂直ピッチ p_v で配列されている。水平方向のピッチ p_h は図3や(2)式で示したプロジェクタユニットのピッチ p に相当する。

拡散スクリーンの水平方向の拡散角は、視差画像の角度ピッチや輝度の均一性や連続性などにより最適化する。図5(a)に示すように、あるプロジェクタユニットからの入射光は、(1)式で示したようにフレネルレンズの光軸に対し角度 θ_m で出射される。ここでは、水平方向の拡散をガウス分布と仮定すると、 m 番目のプロジェクタユニットからの出射光の光分布 i_m は、

$$i_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp \left[-\frac{(\theta - \theta_m)^2}{2\sigma_x^2} \right] \quad (6)$$

となる。ただし、ここで σ_x は光拡散角度分布の標準偏差であり、拡散角度の大きさを表し、本稿では拡散度と呼ぶことにする。プロジェクタユニット群からの入射光は、図5(b)のように重畳して出射され、その光分布 $I(\theta)$ は、

$$I(\theta) = \sum_{m=-N}^N i_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \sum_{m=-N}^N \exp \left[-\frac{(\theta - \theta_m)^2}{2\sigma_x^2} \right] \quad (7)$$

である。各視差画像が合成した立体像において、各視差画像間の輝度分布の平坦性やクロストーク

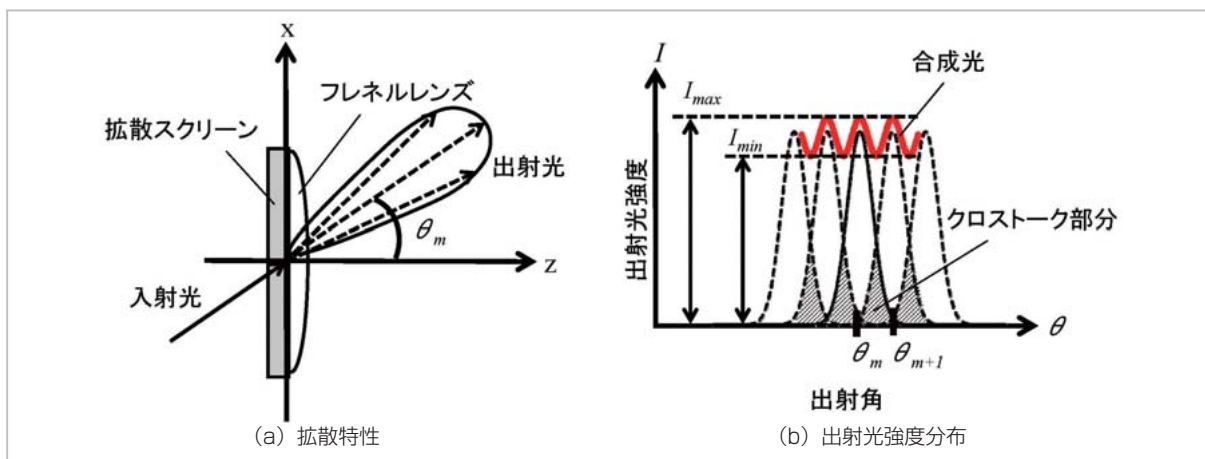


図5 拡散スクリーンの特性

に、スクリーンの水平方向の拡散特性が影響することになる。拡散角度が小さいと、図5(b)に赤線で示した合成光の輝度値において、各視差画像間の輝度が不均一となり、画像の輝度むらの要因となる。一方、拡散角を大きくすると、図5(b)の斜線で示したクロストーク量の割合が大きくなる。

具体的な数値計算例として、視域角40度で視差数を50視差とし、合成光の輝度の変調度を $M = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min}) \times 100 [\%]$ (ただし、図5(b)に示すように I_{max} は輝度の最大値、 I_{min} は最小値) で評価し、クロストーク率を出射光全体に対するクロストーク部分の百分率で見積る。その結果、拡散度 σ_x に対する輝度むらの変調度 $M [\%]$ およびクロストーク率 $R [\%]$ は図6のようになる。

水平方向の拡散度 σ_x が小さい場合は、合成光の変調度 M が大きくなり輝度むらが大きく、逆に σ_x が大きい場合は、視差画像間の出射光のクロストークが大きくなる。図6から輝度むらとクロストークのバランスをとると、拡散度 σ_x が0.25~0.3近辺が適当と予想され、これは光の拡散角度分布の半値角0.5度~0.7度に相当する。これらの関係から、最適な拡散特性を選択するとともに、スクリーンの材質や構造の改善により、光の拡散角分布特性を最適化する方法もある。

一方、垂直方向に関しては、図7に示すように、上下のプロジェクトユニットで拡散スクリーンに入射する光の角度が異なるため、光の拡散方向も上下のプロジェクトユニットで違いが生じる。

図7のように位置 y_0 から観察した場合、観察者

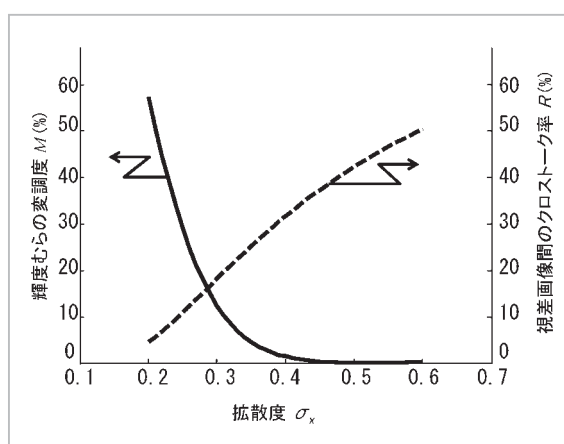


図6 スクリーンの拡散度と表示画像特性

が見る画面の y 軸方向の輝度分布 $I(y)$ は、

$$I(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \sum_{m=-N_v}^{N_v} \exp\left[-\frac{(\theta_{mv} + \theta_o)^2}{2\sigma_y^2}\right] \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \sum_{m=-N_v}^{N_v} \exp\left[-\frac{\left(\frac{mp_v}{g} + \frac{y-y_o}{D}\right)^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (8)$$

となる。ただし、ここで、 $2N_v+1$ は垂直方向のプロジェクトアレーの行数、 θ_{mv} は垂直方向の光の照射角度、 θ_o は図7に示すように各画像位置から観察者への光線の角度、 σ_y は垂直方向の拡散度である。具体的な数値計算の一例として、仮に $N_v=3$ 、 $g=2.5$ [m]、 $p_v=15$ [cm]、 $D=3$ [m]、 $y_0=0$ [m] とした場合、表示画像の y 軸方向の輝度分布は図8のように観察される。

(8) 式のように、画像の位置 y と観察者の位置 y_0 、プロジェクトユニットの位置 mp 、に応じ

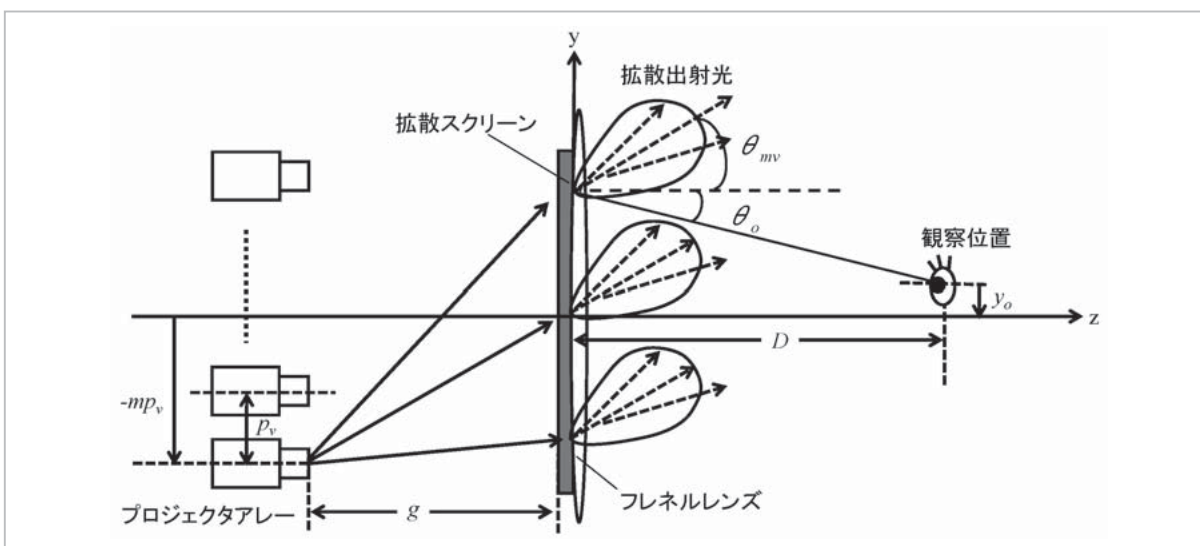


図7 垂直方向の拡散特性

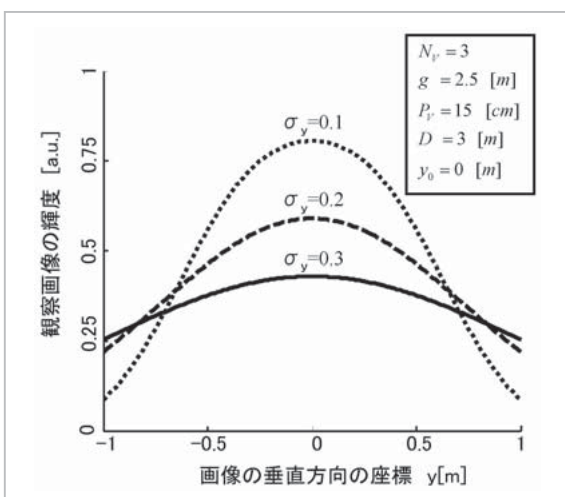


図8 観察画像のy軸方向の輝度分布



図9 試作したプロジェクタアレー

て、画像にシェーディングが生じるため、垂直方向にある程度の均一な輝度分布の画像を得るためには、比較的大きな拡散角特性が必要となる。

4.4 試作システム

図9に試作したプロジェクタアレーを示し、表1に仕様を示す。試作したプロジェクタアレーは、50台以上のハイビジョンプロジェクタユニットを使用した。表示立体像のサイズは70インチで、解像度はスクリーン面上の立体像では水平1920画素×垂直1080画素、フレームレート60 [fps]の動画表示も可能である。拡散スクリーンには、垂直に40度以上の大きな拡散特性を有し、水平方向には数度の狭い拡散特性のものを使

表1 試作機器の仕様

	ユニット数	> 50台
プロジェクタ ユニット	液晶パネル	0.7インチ D-ILA
	パネル解像度	1920×1080
	総画素数	>1億画素
	画像表示サイズ	70インチ (16:9)
再生立体像	解像度(像位置 $z=0$ の場合)	1920(H)×1080(V)
	フレームレート	60 fps
	視域角	約40度 (水平視差)

用した。試作機では、プロジェクタアレーや拡散スクリーン、フレネルレンズの特性など実際の装置に応じて、観察位置で再生立体像の総合画質が良くなるようにプロジェクタアレーや表示コンテ

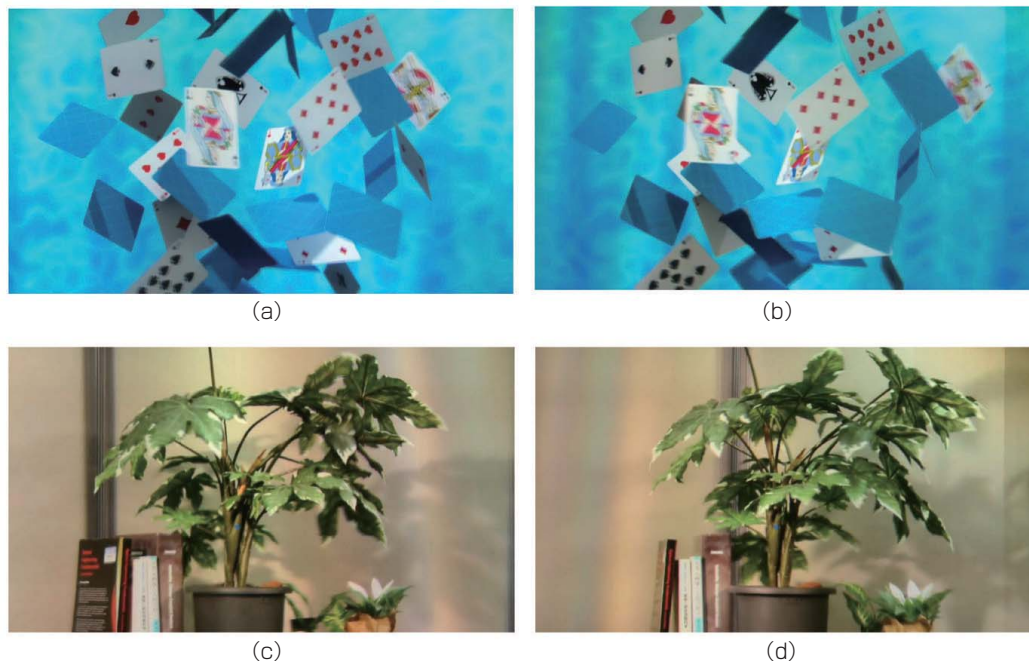


図 10 表示画像例。3次元CGを(a)左から観察した場合と(b)右側から観察した場合、実写画像を(c)左側から観察した場合と(d)右側から観察した場合

ントを調整した。試作機の観察領域は水平方向に約1.5[m]、奥行き方向に2～3[m]の範囲で、5人程度でも観察可能である。

3次元CGの再生像を左側から観察した場合と、右側から観察した場合の画像をそれぞれ、図10(a)および(b)に示す。観察位置に応じて、奥と手前のトランプの位置関係の違いから、視差があることがわかる。また、実写の静止画像を表示した場合を同様に図10(c)と(d)に示す。撮影手法は、1台のステルカメラを自動ステージに搭載し、被写体に対し垂直方向に移動しながら撮影し、視差画像を得た。実写画像の撮影の場合、視差画像ごとにカメラキャリブレーションや画像の輝度や色の補正作業が必要である。今後は、本ディスプレイに適した撮影手法と高度かつ簡易な画像処理技術を開発する必要がある。

5 むすび

本稿では、立体映像を用いた高臨場感コミュニケーションシステムの開発を紹介した。特に、大型眼鏡なし立体ディスプレイに関しては、基本システムの検討と機器の試作により、高精細な立体像表示を可能とした。

今後、各種ディスプレイ方式に関して、画像表示機能の高性能化や表示画像の評価を進める。特に大型眼鏡なし立体に関しては、さらなる大画面化を目指していく。そのための技術課題として、拡散スクリーンの最適化や高精度な画像調整技術の開発、CG制作や実写映像の取得技術などがある。また今後将来は、遠隔地間での画像伝送やインタラクティブ化、ライブ化などの機能開発も視野に入れて研究を推進する。

大型眼鏡なし立体システムの開発は、JVC・ケンウッド・ホールディングス(株)と共同で行いました。

参考文献

- 1 矢野澄男, "視野特性に基づく3次元ディスプレイの研究開発," 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 34, No. 18, ME2010-88, pp. 9-14, 2010.
- 2 岩澤昭一郎, 矢野澄男, 河北真宏, 境雅久, 配野泰行, 佐藤正人, 安藤広志, "プロジェクタアレイ方式裸眼立体ディスプレイ," 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 34, No. 43, pp. 29-32, 2010.
- 3 S. Yoshida, S. Yano, and H. Ando, "Prototyping of Glasses-free Table-style 3D Display for Tabletop Tasks," SID 2010, pp. 211-214, 2010.
- 4 吉田俊介, 矢野澄男, 安藤広志, "全周囲より観察可能なテーブル型裸眼立体ディスプレイ表示原理と初期実装に関する検討," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp. 121-124, 2010.
- 5 R. Lopez-Gulliver, S. Yoshida, S. Yano, and N. Inoue, "gCubik: real-time integral image rendering for a cubic 3d display," in SIGGRAPH '09: ACM SIGGRAPH 2009 Emerging Technologies, ACM, 2009.
- 6 吉田俊介, R. Lopez-Gulliver, 矢野澄男, 安藤広志, 井ノ上直己, "gCubik: 手に取り複数人で観察可能なキューブ型裸眼立体ディスプレイ," 映像情報メディア学会誌, Vol. 64, No. 4, pp. 118-124, 2010.
- 7 高木康博, 本田捷夫, 小池崇文, 河合隆史, 藤井俊彰, 奥井誠人, 氏家弘裕, "映像情報メディア年報 立体映像技術," 映情学誌, Vol. 64, No. 8, pp. 1204-1209, 2010.
- 8 Y. Takaki and N. Nago, "Multi-projection of lenticular displays to construct a 256-view super multi-view display," Optics Express, Vol. 18, pp. 8824-8835, 2010.
- 9 F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," Appl. Opt., 36 (7), 1598-1603, 1997.
- 10 J. Arai, F. Okano, M. Kawakita, M. Okui, Y. Haino, M. Yoshimura, M. Furuya, and M. Sato, "Integral three-dimensional television using a 33-Megapixel Imaging system," Journal of Display Technology, Vol. 6, pp. 422-430, 2010.
- 11 山崎真見, 坂井秀行, 宇津木契, 小池崇文, "重畳投影型裸眼立体視ディスプレイの較正方法," 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 32, No. 32, pp. 13-16, 2008.
- 12 K. Yamamoto, T. Mishina, R. Oi, T. Senoh, and T. Kurita, "Real-time color holography system for live scene using 4K2K video system," Proceedings of SPIE, Vol. 7619, Practical Holography XXIV: Materials and Applications, 761906, 2010.
- 13 <http://www.holografika.com/>
- 14 G. E. Favalora, J. Napoli, D. M. Hall, R. K. Dorval, M. G. Giovinco, M. J. Richmond, and W. S. Chun, "100 Million-voxel volumetric display," in cockpit Displays IX: Displays for defense Applications, Proc. of SPIE Vol. 4712, pp. 300-312, 2002.
- 15 吉田俊介, 矢野澄男, 安藤広志, "fVisiOn: 全周囲より観察可能なテーブル型裸眼立体ディスプレイ," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 3-6, 2010.
- 16 Roberto Lopez-Gulliver, 吉田俊介, 牧野真緒, 矢野澄男, 安藤広志, "gCubik+iによるバーチャル3Dアクアリウム: 手に持てる3Dディスプレイとテーブルトップディスプレイとが連携した自然なインタフェース," 情報通信研究機構季報, 本特集号, 3-5, 2010.
- 17 D. Moldovan and R. Lopez-Gulliver, "Online system for 3D model reconstruction and visualization. A case study for gCubik auto stereoscopic display," 3D system and Applications conference 2010, pp. 310-313, 2010.
- 18 D. Moldovan, S. Yano, and N. Inoue, "Automatic Registration of Multiple Range Views based on Feature Matching and Feature-Depth Correspondences," IEEE Conference on Intelligent Computer Communication and Processing 2009, pp. 169-172, 2009.

- 19 S. Gurbuz, "Application of inverse square law for 3D sensing," Proc. SPIE Vol. 7447, pp. 744706-1-744706-10, 2009.
- 20 S. Gurbuz, S. Iwasawa, S. Yoshida, S. Yano, and N. Inoue, "Multiview imaging for 3D display," 3D system and Applications conference 2009 Wed-P-2-33, pp. 1-3, 2009.



かわきた まこと ひろ
河北真宏

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専門研究員
博士(工学)
立体映像撮像・表示技術



いわさわ しょういち ろう
岩澤昭一郎

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(工学)
立体映像メディアと提示技術



やの すみお
矢野澄男

NHK 放送技術研究所テレビ方式研究
部主任研究員 工学博士
放送方式、視覚情報処理



Roberto Lopez-Gulliver

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(工学)
立体映像メディアと提示技術



よしだ しゅんすけ
吉田俊介

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(学術)
立体映像メディアと提示技術



Sabri Gurbuz

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
博士(工学)
立体映像取得技術



Daniel Moldovan

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループ専攻研究員
立体映像メディアと提示技術



あんどう ひろし
安藤広志

ユニバーサルメディア研究センター
超臨場感システムグループグループ
リーダー 博士(計算神経科学)
認知脳科学、多感覚認知メカニズム、
多感覚インタフェース

いのうえ なおみ
井ノ上直己

ユニバーサルメディア研究センター
研究センター長 博士(工学)
マンマシンインタフェース