

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008~2010

課題番号：20360153

研究課題名(和文) プロジェクション方式とレンチキュラ方式のハイブリッド型  
立体表示に関する研究研究課題名(英文) Hybrid type three-dimensional display combining  
projection type and lenticular type

研究代表者

高木 康博 (TAKAKI YASUHIRO)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50236189

研究成果の概要(和文)：眼精疲労のない人に優しい自然な立体ディスプレイを実現するためには、非常に多くの画像を同時に表示する必要がある。本研究では、レンチキュラ方式とマルチプロジェクション方式の構成方法を組み合わせた新しい立体ディスプレイの構成方法としてハイブリッド型の構成方法を提案した。ハイブリッド型の構成方法を用いて、256枚の画像を表示する立体ディスプレイシステムを試作した。試作システムに対する人間の眼の調節応答を測定し、眼精疲労のない奥行き表示範囲が拡大することを確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize a natural three-dimensional display which is free from visual fatigue, a large number of images have to be displayed simultaneously. This study proposed a new display system which is a hybrid system combining the lenticular display system and the multi-projection display system. The prototype display that generates 256 images was developed. The accommodation responses of humans to the prototype display were measured and we confirmed that the depth range where the visual fatigue does not occur was enlarged.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2009年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
年度			
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：光エレクトロニクス

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：立体ディスプレイ、立体表示、プロジェクタ

1. 研究開始当初の背景

(1) 将来の立体ディスプレイの幅広い普及のためには、人間の視機能に矛盾せず眼精疲労などの問題点がなく長時間利用できる自然な立体表示の実現が不可欠である。

(2) 最近の研究で、50~100以上といった非常に多くの2次元画像を同時に表示することで、自然な立体表示が実現できることがわかってきた。

(3) 従来の研究では、自然な立体表示を実現

するため、表示画像数と同数の表示デバイスを用いて、これらをマルチプロジェクション光学系で多重結像する構成方法が用いられてきた。一方で、簡便な立体ディスプレイの構成方法として、フラットパネルディスプレイにレンチキュラシートと呼ばれるシリンドリカルレンズアレイを組み合わせるレンチキュラ方式が古くから用いられている。

(4) 自然な立体表示の研究は、世界に先駆けて日本で開始された。韓国の ETRI でも、ヘッドマウント型の研究が行われている。研究代表者が試作した 128 指向性 SVGA ディスプレイが世界最高性能を有している。

## 2. 研究の目的

(1) 眼精疲労のない自然な立体表示実現のためには、非常に多数の画像を同時に表示する必要がある。本研究では、マルチプロジェクタ方式とレンチキュラ方式を組み合わせたハイブリッドな構成法を実現する。実際に、16 個の画像表示可能なレンチキュラ方式の立体ディスプレイを 16 台用いて 256 個の画像表示を実現する。

(2) 自然な立体表示は、眼球結像系の被写界深度の拡大により、ディスプレイスクリーン前後で立体像に眼のピント合わせ可能な範囲が拡大すると説明される。本研究では、表示画像数を 256 個に増やすため、被写界深度が大きく拡大し、立体表示できる奥行き範囲が拡大することが期待できる。そこで、拡大された被写界深度範囲を測定する。

## 3. 研究の方法

(1) レンチキュラディスプレイの設計・試作  
本研究で提案するハイブリッドシステムで用いる個々のレンチキュラ方式のディスプレイを設計・試作する。本研究では、研究代表者が以前の研究で開発した斜め色画素配置を有する液晶パネルにレンチキュラレンズを組み合わせて、これを実現する。視点間のクロストークを抑えるように、光学設計ソフトを用いてレンチキュラレンズを設計し、試作する。

(2) マルチプロジェクタシステムの設計・試作

レンチキュラディスプレイを多重結像するマルチプロジェクタシステムを設計・試作する。各レンチキュラディスプレイが発生する複数の視点が、水平方向に不連続性が生じないように並べるために、マルチプロジェクションシステムを構成する複数の結像系を変形 2 次元配置する。また、多重結像は、各プロジェクションレンズのレンズシフトにより実現するので、収差による画像歪みを抑

えるようにプロジェクションレンズを設計する。

(3) 立体画像合成表示用 PC クラスタの開発  
複数のレンチキュラディスプレイを制御するために、PC クラスタを用いる。各レンチキュラディスプレイで複数の画像を表示するためには、複数の表示画像を色画素レベルで並び替えた画像を液晶ディスプレイに表示する必要があるため、これを実行するプログラムを開発する。

(4) ディスプレイシステムの評価

試作したハイブリッド型の立体ディスプレイを評価するために、視点間のクロストークと画像歪みを測定する。

(5) 調節応答測定

本研究で開発したハイブリッド型の立体ディスプレイの表示画像に対して、リフラクトメータを用いて、眼の調節応答を測定し、眼の被写界深度の拡大を確かめる。同時に瞳孔径の測定も行う。

## 4. 研究成果

(1) ハイブリッド型システムの試作

本研究で開発したハイブリッドな構成方法を図 1 に示す。

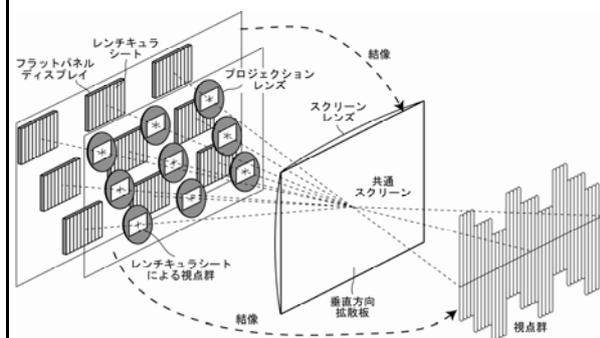


図 1 ハイブリッドなディスプレイの構成方法。

ハイブリッド構成方法では、複数のフラットパネル型ディスプレイで発生した多視点画像を、マルチプロジェクション光学系で多重結像することで視点数を増加させる。各フラットパネル型ディスプレイは、レンチキュラシートにより視点群を対応するプロジェクションレンズの瞳面に発生する。プロジェクションレンズは、レンズシフトにより、すべてのフラットパネル型ディスプレイの表示面を共通スクリーンに多重結像する。スクリーン上に配置したレンズは、プロジェクションレンズの瞳を、立体表示の視点位置に結像する。すべてのプロジェクションレンズは、それらの瞳の開口部分が水平方向に連続になるように、変形 2 次元配置する。これによ

り、立体表示の視点位置に、多数の視点が水平方向に連続的に形成される。スクリーンとして垂直方向拡散板を用いることで、プロジェクションレンズの垂直位置の違いに起因する視点位置での視点的垂直位置の違いを解消する。

各フラットパネル型立体ディスプレイが発生する視点数（表示画像数）を  $M$  として、用いるフラットパネル型立体ディスプレイの数を  $N$  とすると、実現できる視点数（表示画像数）は  $MN$  となる。

試作システムの表示性能を表 1 に示す。試作システムでは、立体表示専用設計された斜め色画素配列を有する液晶ディスプレイを用いた。液晶パネルの解像度は  $1,024 \times 768$  で、専用に設計したレンチキュラレンズを組み合わせて、解像度  $256 \times 192$  の画像を 16 枚表示する。このレンチキュラディスプレイを 16 台用いることで、256 視点の超多眼表示を実現した。

試作した超多眼ディスプレイの光学エンジンの写真を図 2 に示す。16 個のプロジェクションレンズが 3 段で変形 2 次元配置されている。なお、同図に示すように、レンチキュラディスプレイは、プロジェクションレンズアレイ背後に 2 段、ミラーを介して下面に 1 段で配置されている。試作したディスプレイの写真を図 3 に示す。

試作システムは 4 台の PC で構成される PC クラスタで制御した。各 PC は、それぞれ 4 台の液晶パネルを制御し 64 枚の画像表示を行う。

発生した立体像を図 4 に示す。非常に滑らかな運動視差が得られている。また、奥行き方向に広い範囲で立体表示可能である。

表 1 SMV256 の仕様

視点数	256
解像度	$256 \times 192$
スクリーンサイズ	10.4 インチ
視域幅	336 mm
視点スクリーン間隔	800 mm
視点間隔	1.31 mm

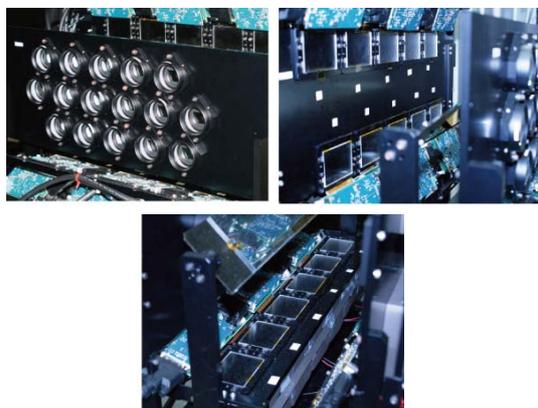


図 2 SMV256 の光学エンジン。



図 3 SMV256 の光学エンジン。

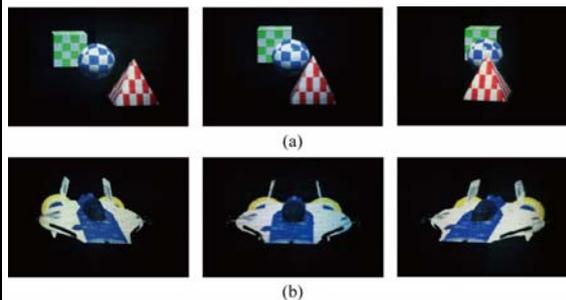


図 4 表示した立体像の写真。

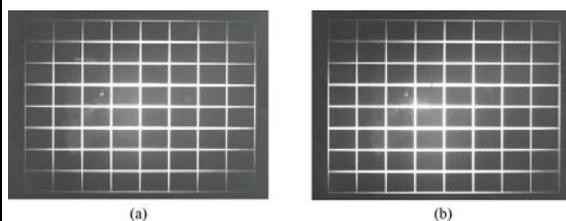


図 5 画像歪みの測定。

## (2) ディスプレイシステムの評価

試作したハイブリッド型ディスプレイの立体像の画像歪みを評価した。各レンチキュラディスプレイにグリッドパターンを表示して、パターンの変形を測定した。図 5 に、例として、変形 2 次元配置の最外部と中心部にあるレンチキュラディスプレイのスクリーンへの投影画像を示す。ほとんど画像歪みが生じていないことがわかる。16 台のレンチキュラディスプレイすべてについて評価した結果、最大画像歪みは 0.6 % であった。

視点間クロストークを測定した。各レンチキュラディスプレイが形成する視点の強度分布を、視点形成位置に冷却 CCD カメラを配置して測定した。図 6 に、例として、変形 2 次元配置の最外部と中心部にあるレンチキュラディスプレイが形成する視点の強度分布を示す。

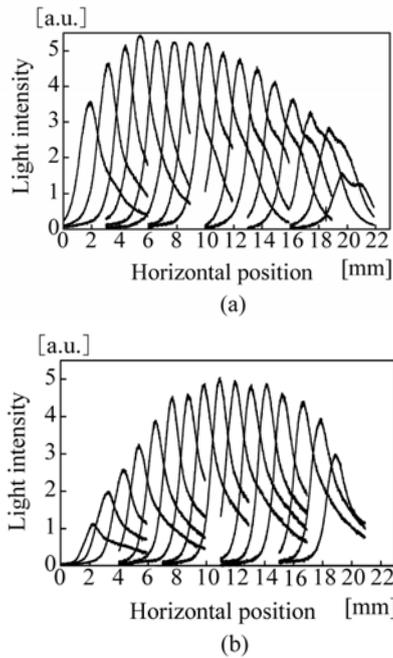


図 6 視点間クロストークの測定.

(3) 調節応答測定

試作したハイブリッド型システムに対する調節応答の測定を行った。

試作システムは、スクリーンから 800 mm 離れた位置に間隔 1.31 mm で 256 視点を発生する。この場合、予想される拡大された被写界深度の範囲は、スクリーン前方 276 mm からスクリーン後方 893 mm の間となる。そこで、予想される拡大された被写界深度を含むスクリーン前方 400 mm から後方 1,000 mm の範囲について調節応答を測定した。

6 名の被験者に対して測定を行った。立体表示する視標としては、視角  $0.058^\circ$  の垂直線を用いた。各視標表示位置で 3 回の測定を行った。測定条件を表 2 にまとめた。

代表例として、被験者 Y.U. に対する測定結果を図 7 に示す。同図 (a) に視標提示位置と、眼の調節応答の関係を示す。同時に、瞳孔径の測定結果も示した。同図 (b) に、比較のために、実視標に対する調節応答を測定した結果を示す。実指標に対しては広い範囲で調節が正しく機能しているのに対して、立体視標に対しては拡大された被写界深度内で調節が正しく機能していることがわかる。

被験者により調節応答に調節ラグ等の個人差があるため、本研究では、立体視標と実視標に対する調節応答の違いを比較して、個人差の影響を除くことを考えた。図 8(a) に、被験者 Y.U. の実視標に対する測定結果を横軸に、立体視標に対する測定結果を縦軸に取ったグラフを示す。他の 5 名の被験者に対する結果を同図 (b) ~ (f) に示す。すべての被験者で、スクリーン遠方の測定点 (500 mm と 750

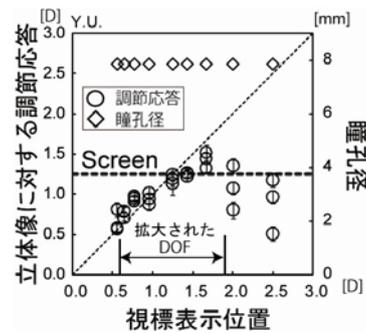
mm) を除き、拡大された被写界深度内で調節が正しく機能していることがわかる。すなわち、実視標と立体視標でほぼ同様な調節応答が得られていることがわかる。瞳孔径を 5 mm として、瞳全体に光線が広がっているとした場合の、通常の眼の被写界深度の範囲はスクリーン前方 97.1 mm から後方 128.3 mm である。これが、従来の立体ディスプレイの被写界深度になる。このことから、眼の被写界深度が拡大していることが確認できる。

スクリーン後方の 2 つの測定点に関しては、立体像の解像度が低く輻輳が機能しなかったため、調節が誘導されなかった可能性が考えられる。また、拡大された被写界深度の範囲外では、立体視標ではなくスクリーン付近に調節が合っている場合が多いことがわかる。

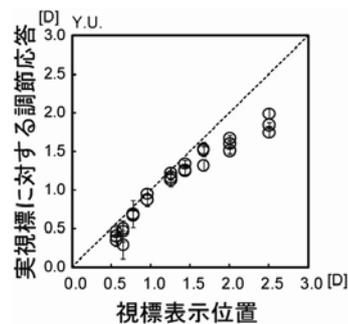
以上から、試作システムに対する調節応答を測定した結果、超多眼表示により拡大された被写界深度内で、スクリーン遠方の測定点を除いて、正しい調節応答が得られていることを確認した。

表 2 調節応答の測定条件

観察距離	800 mm
指標表示距離	400, 300, 200, 100, 0, -250, -500, -750, -1,000 mm
試行回数	3
被験者数	6



(a)



(b)

図 7 調節応答の結果(被験者 Y.U.) : (a)立体視標, (b) 実視標.

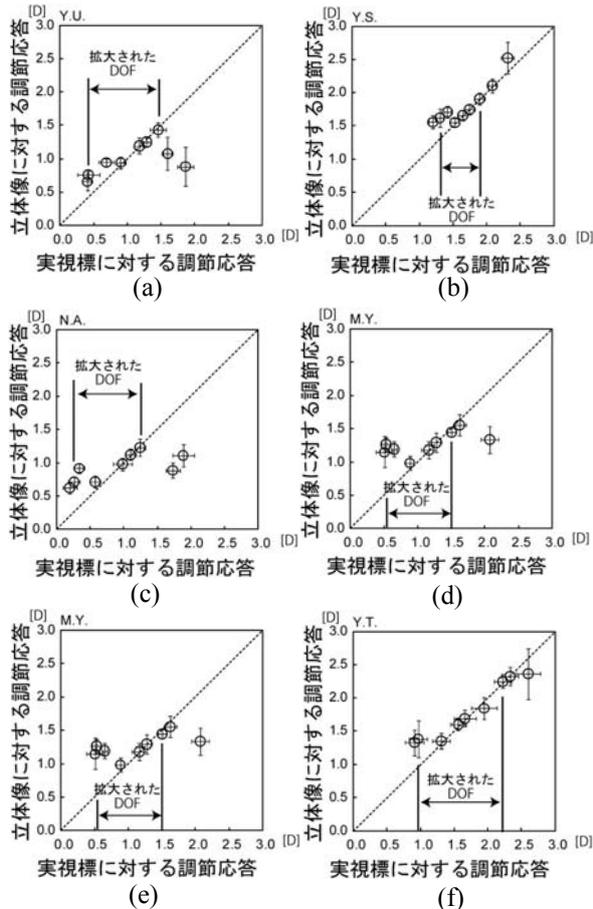


図8 調節応答の測定結果(全被験者)：  
(a)Y.U, (b)Y.S, (c)N.A, (d)M.Y, (e)Y.T,  
(f)Y.K.

(4) 得られた成果の国内外における位置づけ

本研究の成果は、さまざまな国際学会等の発表で、新しい立体ディスプレイの構成方法として紹介されるに至っている。(例えば、IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2011 の Prof. Min の招待講演)また、2010 年度に出版された「5. 主な発表論文等」に記載の雑誌論文③の論文の引用数は既に5件となっている。

(5) 今後の展望

本研究で開発した新しいディスプレイの構成方法を最新のスーパーハイビジョンプロジェクタ(解像度7,680×4,320)に適用すれば、1台のプロジェクタでフルHD解像度(解像度1,920×1,080)の画像を16枚表示でき、プロジェクタを16台用いれば256枚の画像を表示できる。このように、最新のプロジェクタ技術と融合することで、裸眼の大画面、多人数、高精細な立体表示が実現できる。特許出願も行っており、今後は、本研究で開発した技術の実用化を図っていきたいと考えている。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計9件)

- ① J. Nakamura, K. Kozako, and Y. Takaki, “Evaluation of jerkiness of moving three-dimensional images produced by high-density directional display,” J. Soc. Inf. Display, 査読有, vol. 19, no.6, 423-430 (2011).
- ② Y. Takaki, K. Tanaka, and J. Nakamura, “Super multi-view display with a lower resolution flat-panel display,” Opt. Express, 査読有, vol. 19, no.5, 4129-4139 (2011).
- ③ Y. Takaki and N. Nago, “Multi-projection of lenticular displays to construct a 256-view super multi-view display,” Opt. Express, 査読有, vol.18, no. 8, 8824-8825 (2010).
- ④ N. Nago, Y. Shinozaki, and Y. Takaki, “SMV256: super multiview display with 256 viewpoints using multiple projections of lenticular displays,” Proc. SPIE, 査読無, vol. 7524, 75241S1-8 (2010).
- ⑤ 金箱 翼, 高木康博, ”時間多重表示モジュールを用いた高密度指向性立体ディスプレイ”, 映像情報メディア学会誌, 査読有, vol.63, no.8, 1133-1138 (2009).
- ⑥ Y. Takaki and N. Okada, “Hologram generation by horizontal scanning of a high-speed SLM,” Appl. Opt., 査読有, vol. 48, no. 19, 3255-3260 (2009).
- ⑦ Y. Takaki, “Super multi-view display with 128 viewpoints and viewpoint formation,” Proc. SPIE, 査読無, vol. 7237(2009).
- ⑧ 林 勇樹, 高木康博, ”解像度変換光学系を用いたホログラムの共役像除去, 映像情報メディア学会誌”, 査読有, vol.62, no.11, 1852-1857 (2008).
- ⑨ Y. Takaki and Y. Hayashi, ”Increased horizontal viewing zone angle of a hologram by resolution redistribution of a spatial light modulator,” Appl. Opt., 査読有, vol. 47, no 19, D6-D11 (2008).

[学会発表] (計6件)

- ① [KEYNOTE SPEECH] Y. Takaki, “Next-generation and ultimate 3D display,” 10th International Meeting on Information Display, International Display Manufacturing Conference and Asia Display 2010 (IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2010), Seoul, Korea, Oct. 2010.
- ② 篠崎陽平, 名郷日陽, 高木康博, ”256 視

- 点超多眼立体ディスプレイの表示性能の改善”，映像情報メディア学会立体映像技術研究会，東京 NHK 技研，2010 年 10 月.
- ③ 篠崎陽平，名郷日陽，高木康博，”256 視点超多眼ディスプレイに対する調節応答の測定”，3 次元画像コンファレンス 2010，東京，2010 年 7 月.
- ④ Y. Shinozaki, N. Nago, and Y. Takaki, “Ray focusing property of 256-view SMV display,” International Conference on 3D Systems and Applications (3DSA2010), Tokyo Japan, May 2010.
- ⑤ 名郷日陽，金箱 翼，高木康博，”256 視点超多眼立体ディスプレイ SMV256 の開発”，3 次元画像コンファレンス論文集，東京，2009 年 7 月.
- ⑥ 名郷日陽，金箱 翼，高木康博，”ハイブリッド型を用いた超多眼ディスプレイの提案”，映情学技報、vol.33 no.16, p.45-48 (2009). 映像情報メディア学会立体映像技術研究会、東京、2009 年 3 月.

[図書] (計 3 件)

- ① 高木康博，ディスプレイ技術年鑑 表示技術の次を探る 2011, “3D ディスプレイ技術の将来”，114-126, 日経 BP 社，2010 年.
- ② 高木康博，ディスプレイ技術年鑑 表示技術の次を探る 2010, “3D ディスプレイ技術の現状と将来”，122-135, 日経 BP 社，2009 年.
- ③ 高木康博，立体視テクノロジー—次世代立体表示技術の最前線—, 200-221, エヌ・ティー・エス，2008 年.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：立体画像表示装置  
発明者：高木康博  
権利者：東京農工大学  
種類：特許  
番号：特願 2009-122459 号  
出願年月日：2009 年 5 月 20 日  
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等  
<http://www.tuat.ac.jp/~e-takaki/display/display.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高木 康博 (TAKAKI YASUHIRO)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：50236189

(2) 連携研究者

塩田 達俊 (SHIOTA TATSUTOSHI)  
長岡技術科学大学・電気系・准教授  
研究者番号：10376858