

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280070

研究課題名(和文)精緻な作業を可能にする高精細裸眼立体ディスプレイの研究

研究課題名(英文)Development of high definition autostereoscopic displays for precise task execution

## 研究代表者

掛谷 英紀 (Takeya, Hideki)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：70334050

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,500,000円

研究成果の概要(和文)：時分割指向性バックライトに基づくフルハイビジョン裸眼立体ディスプレイを開発し、その有効性を肝臓手術シミュレーションへの応用で評価・確認を行った。時分割パララックスバリアに基づくフルハイビジョン裸眼立体ディスプレイを開発した。サブピクセル構造を利用したバリアの制御手法を提案し、それによる画質の向上を被験者実験により確認した。また、この方式の視域を求める理論を確立し、その妥当性を実機のクロストーク測定実験により確かめた。観察者追従型の多層パネルを用いた裸眼立体表示において、追従の遅れによるパネル間の画像のずれを目立たなくする手法を提案し、その有効性を実機を用いた実験により確かめた。

研究成果の概要(英文)：A full HD autostereoscopic display based on time-division multiplexing directional backlight is developed and its utility for liver surgery simulation is evaluated and confirmed. A full HD autostereoscopic display based on time-division multiplexing parallax barrier is developed. Subpixel control of the barrier is proposed and improvement of image quality is confirmed by subjective experiments. A theory to calculate the viewing zone is established and its validity is confirmed by cross-talk measurement of a prototype system. As for an autostereoscopic display using a layered panels, a method to decrease the effect of image gap between the panels due to the delay of face-tracking is proposed and its effect is confirmed by experiments using a prototype hardware.

研究分野：3次元画像工学

キーワード：裸眼立体視 解像度 クロストーク 視域 画質 手術シミュレーション

### 1. 研究開始当初の背景

研究開始当時、3Dテレビなどの家電製品は多く発売されたものの、商業的な成功に結びついていない状況にあった。その主な理由として、テレビのような受動的なメディアにおいては、立体視は必ずしも必要とされていないことがあった。遠近法、陰影、隠蔽関係など、2次元画像から奥行き感を得るための心理効果は多数あり、人間はそれによって映像中の物体の奥行き情報がある程度得ることは可能である。そのため、両眼立体視による立体感の増強は要求されない状況にあった。

一方、作業シミュレーションや遠隔操作など、映像中の物体の奥行き情報を精緻に把握することを要する分野においては、作業者が正確な奥行き知覚を得るために立体映像を提示することが必要不可欠になる。それまで、立体映像を用いることによる奥行き知覚精度の向上に関する基礎研究は、代表者自身による研究も含め、数多くあった。さらに、そうした知見をもとに、より正確な奥行き知覚を実現する3次元ディスプレイの開発も、代表者自らこれまで行ってきていた。しかしながら、立体映像を用いた作業シミュレータや遠隔操作システムとして、商業ベースに乗って成功しているものは少なかった。その理由として、この分野におけるこれまでの研究開発の多くがニーズからの発想で、ニーズから構想されたものでないことが考えられた。特に、裸眼立体ディスプレイについては、提示できる映像の品質が現場の要求を満たさなかった。

### 2. 研究の目的

本研究プロジェクトの目的は、観察視点を選ばず観賞できるハイビジョンクラスの高解像度裸眼立体ディスプレイを実現することである。作業シミュレータやロボット遠隔操作のようにインタラクティブな作業を伴う用途においては、リアルタイムでの奥行き知覚が要求されるため、立体ディスプレイはその威力を発揮する。本研究においては、医療手術シミュレータのように精緻な奥行き知覚と高精細な映像提示が要求される分野を想定し、そこでの実用に耐えうる高品質の立体映像の提供を可能とするディスプレイシステムを構築することを目的とする。

### 3. 研究の方法

クロストークや逆視の発生を抑制する高精細かつ高品質の立体映像を実現する裸眼立体ディスプレイとして、代表者の研究グループが提案し、基礎実験でその有効性を確認している、観察者位置に追従可能な時分割指向性バックライトを用いる方式、時分割アナグリフを用いた4時分割パララックスバリア方式、の2つを本格的に実装するとともに、それを医療手術シミュレーションのテ

ストベッドに組み込んで操作性を測定することで、提示される立体映像の品質を評価する。さらに、観察者の奥行き知覚精度を向上させる方法として、上記方式に体積表示を導入した拡張システムを製作し、その有効性を検証する。

### 4. 研究成果

(1)時分割指向性バックライトに基づくフルハイビジョン裸眼立体ディスプレイを開発し、その有効性を肝臓手術シミュレーションへの応用で評価・確認を行った。手術シミュレーションに使える画質を達成するため、最初に大口径レンズの追加による画面端部分の収差の解消、レンズアレイの配列の工夫による輝度ムラの低減を行い、プロトタイプシステムとして実装した(図1)。加えて、バックライトの輝度向上による画面の高輝度化、液晶パネルの選択によるクロストークの低減などの改良を積み重ねた。輝度向上とクロストークの低減により、改良前に比べて手術シミュレーションを実施した医学生(図2)によるアンケートの評価が改善するという結果が、統計的有意性をもって示された。

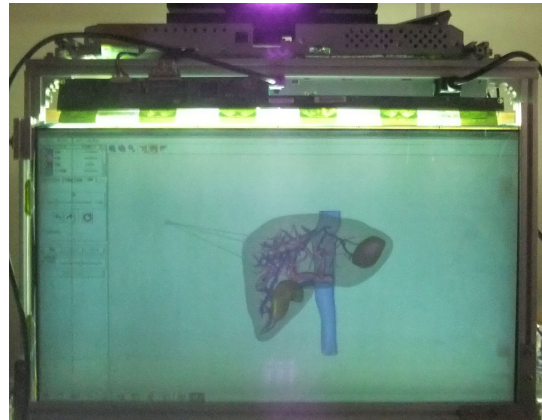


図1 製作したフルハイビジョン裸眼立体表示による肝臓手術シミュレータ

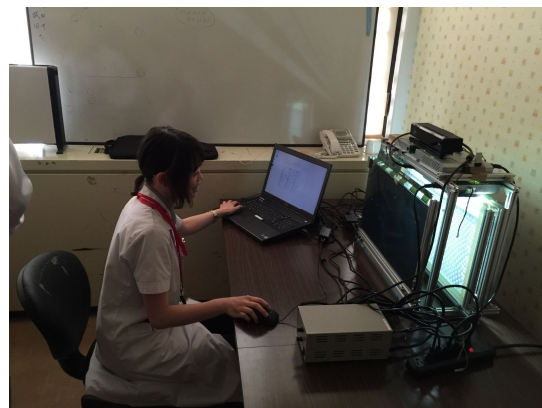


図2 医学生による手術シミュレータ使用の様子。

(2)時分割パララックスバリアに基づくフルハイビジョン裸眼立体ディスプレイを開発した(図3)。サブピクセル構造を利用したバリアの制御手法を提案し、ピクセル単位でのバリア制御に比べ、提示される立体像の画質が向上することを被験者実験により確認した。また、時分割パララックスバリア方式裸眼立体ディスプレイのクロストークがない視域を求める理論を確立し、その妥当性を実機のクロストーク測定実験により確かめた。さらに、プロトタイプシステムに簡単な医療画像を表示する実験を行った。



図3 時分割パララックスバリア式裸眼立体ディスプレイのプロトタイプシステム

(3)観察者追従型の多層パネルを用いた裸眼立体表示において、追従の遅れによるパネル間の画像のずれを目立たなくする手法を提案し、その有効性を実機を用いた実験により確かめた(図4)。具体的には、非負・非正エッジフィルタとそれに対応する平滑化フィルタを用い、エッジ部分のみを奥行きに応じた分割表示をする方法を提案した。提案方式は、パネルの多層化に伴う奥行き感の増強効果を維持しつつ、パネル間の画像ずれの低減できることが確認されたが、観察者の位置検出が十分高速でなければ提示画像の画質劣化が目立つことが分かった。

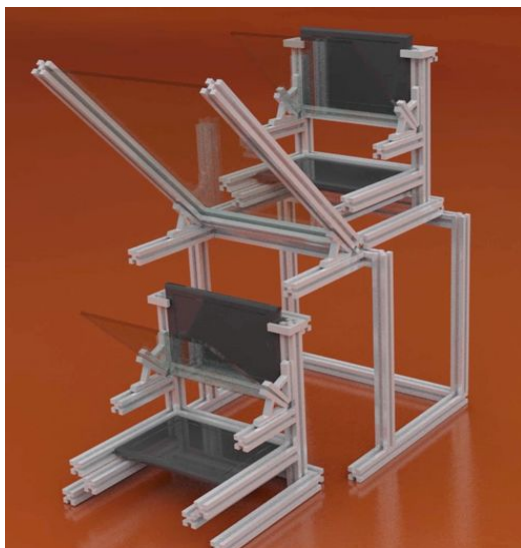


図4 多層パネル型表示評価用の実験装置

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 8 件, 全て査読有り)

1. Zhang, Q. and Takeya, H. (2016): Time-division quadruplexing parallax barrier employing RGB slits, Journal of Display Technology, Vol. 12, No. 6, pp. 626-631.  
<https://www.osapublishing.org/jdt/abstract.cfm?URI=jdt-12-6-626>
2. Takeya, H. and Ishizuka, S. (2015): A high resolution aerial 3D display using a directional backlight, Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 59, No. 6, pp. 060402.1-8.  
 doi: 10.2352/J.ImagingSci.Technol.2015.59.6.060502
3. Takeya, H. and Sawada, S. (2015): Reduction of image discontinuity in coarse integral volumetric imaging, Optics Letters, Vol. 40, No. 23, pp. 5698-5701.  
 doi: 10.1364/OL.40.005698
4. Ishizuka, S., Mukai, T., and Takeya, H. (2015): Multi-Phase Convex Lens Array for Directional Backlights to Improve Luminance Distribution of Autostereoscopic Display, IEICE Trans. Electron., Vol. E98-C, No. 11, pp. 1023-1027.  
 doi: 10.1587/transele.E98.C.1023
5. Sawada, S. Ueda, Y. and Takeya, H. (2014): Reduction of moiré for coarse integral volumetric imaging, Applied Optics, Vol. 53, No. 27, pp. 6268-6273.  
 doi: 10.1364/AO.53.006268
6. Takeya, H. Ishizuka, S. and Sato, Y. (2014): Realization of an aerial 3D image that occludes the background scenery, Optics Express, Vol. 22, No. 20, pp. 24491-24496.  
 doi: 10.1364/OE.22.024491
7. Zhang, Q. and Takeya, H. (2014): A high quality autostereoscopy system based on time-division quadplexing parallax barrier, IEICE Trans. Electron, Vol. E97-C, No. 11, pp. 1074-1080.  
 doi: 10.1587/transele.E97.C.1074
8. Ishizuka, S. Mukai, T. and Takeya, H. (2014): Viewing zone of an autostereoscopic display with a directional backlight using a convex lens array, Journal of Electronic Imaging, Vol. 23, No. 1, pp. 011002.1-6.  
 doi: 10.1117/1.JEI.23.1.011002

〔学会発表〕(計 27 件)

<国際会議>

1. Takeya, H. and Ishizuka, S.: A high

resolution aerial 3D display using a directional backlight, IS&T Electronic Imaging. (2016年2月14-18日, San Francisco, USA)

2. Yu, B. and Takeya, H.: An autostereoscopic display combining parallax barrier and volumetric images using non-negative edge filter, IDW '15. (2015年12月9-11日, 大津プリンスホテル, 滋賀県大津市)

3. Okada, K and Takeya, H.: Autostereoscopic Display System Using Quadruple Time-Division Multiplexing Parallax Barrier with Subpixel Structure, IDMC '15 3DSA. (2015年8月26-27日, 台北, 台湾)

4. Yu, B. and Takeya, H.: A 3D mosaic algorithm using disparity map, SPIE/IS&T Electronic Imaging. (2015年2月8-12日, San Francisco, USA)

5. Mukai, T. and Takeya, H.: Enhancement of viewing angle with homogenized brightness for autostereoscopic display with lens-based directional backlight, SPIE/IS&T Electronic Imaging. (2015年2月8-12日, San Francisco, USA)

6. Ishizuka, S. Mukai, T. and Takeya, H.: Realization of Homogeneous Brightness for Autostereoscopic Displays with Directional Backlights Composed of Convex Lens Arrays, IDW '14. (2014年12月3-5日, 朱鷺メッセ, 新潟県新潟市)

7. Mukai, T. and Takeya, H.: Viewing Zone Expansion for Autostereoscopic Display with Directional Backlight Using Linear Fresnel Lens Array, SID '14. (2014年6月1-6日, San Diego, USA)

8. Luo, Y. and Takeya, H.: Wide-field-of-view image pickup system for multiview volumetric 3D displays using multiple RGB-D cameras, SPIE/IS&T Electronic Imaging. (2014年2月2-6日, San Francisco, USA)

9. Zhang, Q. and Takeya, H.: Time-division multiplexing parallax barrier based on primary colors, SPIE/IS&T Electronic Imaging. (2014年2月2-6日, San Francisco, USA)

10. Ishizuka, S. Mukai, T. and Takeya, H.: Viewing zone of autostereoscopic display with directional backlight using convex lens array, SPIE/IS&T Electronic Imaging. (2014年2月2-6日, San Francisco, USA)

11. Mukai, T. and Takeya, H.: Viewing Zone Expansion for Autostereoscopic Display with Directional Backlight Using Convex Lens Array, IDW '13. (2013年12月4-6日, 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市)

12. Zhang, Q. and Takeya, H.: A

Time-Division Multiplexing Parallax Barrier System with Wider Viewing Zone, IDW '13. (2013年12月4-6日, 札幌コンベンションセンター, 北海道札幌市)

13. Takeya, H. and Ishii, Y.: Real-time image pickup system for multiview volumetric 3D display using RGB-D camera, 3DSA. (2013年6月26-28日, グランドフロント大阪, 大阪府大阪市)

14. Ishizuka, S. and Takeya, H.: Flat Panel Autostereoscopic Display with Wide Viewing Zone Using Time-Division Multiplexing Backlight, SID '13. (2013年5月19-24日, Vancouver, Canada)

#### <その他>

1. 楊斌, 羅原, 掛谷英紀: 複数 RGB-D カメラを用いた広視域裸眼立体表示システムの開発, 映像情報メディア学会冬季大会 (2015年12月15-16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 東京都)

2. 岡田健, 掛谷英紀: サブピクセル構造を利用した4時分割斜めパララックスバリア式裸眼立体表示, 映像情報メディア学会冬季大会 (2015年12月15-16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 東京都)

3. 大島司, 掛谷英紀: 偏光とレンズを用いた指向性バックライト式裸眼立体ディスプレイ, 映像情報メディア学会冬季大会 (2015年12月15-16日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 東京都)

4. 掛谷英紀, 石塚脩太: 高精細空中像を提示する裸眼立体ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会第20回大会 (2015年9月9-11日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス 東京都)

5. 小出海人, 掛谷英紀: 奥行き制御機構を備えた背景付き空中立体像提示, 映像情報メディア学会冬季大会講演 (2014年12月17-18日, 東京理科大学森戸記念館, 東京都)

6. 岡田健, 掛谷英紀: 4時分割パララックスバリアを用いた高精細立体表示システムの改良, 映像情報メディア学会冬季大会 (2014年12月17-18日, 東京理科大学森戸記念館, 東京都)

7. 掛谷英紀, 石塚脩太, 向井拓也.: レンズアレイを用いた裸眼立体ディスプレイ用指向性バックライトの輝度均一化日本バーチャルリアリティ学会第19回大会 (2014年9月17-19日, 名古屋大学東山キャンパス, 愛知県名古屋市)

8. 于博, 掛谷英紀: 立体映像における自然なモザイク処理方法の提案, 3次元画像コンファレンス (2014年7月10-11日, 東京大学武田ホール, 東京都)

9. 張劬, 掛谷英紀: 三原色に基づいた時分割パララックスバリア, 映像情報メディア学会冬季大会 (2013年12月18-19日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 東京都)

10. 羅原, 掛谷英紀: 複数 RGB-D カメラを用いた広視域裸眼立体表示システムの開発, 映像情報メディア学会冬季大会(2013年12月18-19日, 芝浦工業大学豊洲キャンパス, 東京都)

11. 掛谷英紀, 石塚脩太, 向井拓也, 張劬: 高精細裸眼立体ディスプレイを用いたダイレクトマニピュレーション, 日本バーチャルリアリティ学会第18回大会 (2013年9月18-20日, グランドフロント大阪, 大阪府大阪市)

12. 向井拓也, 掛谷英紀: レンズアレイを用いた指向性バックライト式裸眼立体ディスプレイの視域拡大, 3次元画像コンファレンス (2013年7月4-5日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 東京都)

13. 張劬, 掛谷英紀: 時分割アナグリフパララックスバリア立体表示における画質向上, 3次元画像コンファレンス (2013年7月4-5日, 早稲田大学西早稲田キャンパス, 東京都)

〔産業財産権〕

出願状況 (計2件)

名称: 映像表示装置

発明者: 掛谷英紀

権利者: 筑波大学

種類: 特許

番号: 特願 2014-141445

出願年月日: 2014年07月09日

国内外の別: 国内

名称: 映像表示装置

発明者: 掛谷英紀, 張劬

権利者: 筑波大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-271647

出願年月日: 2013年12月27日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ

<http://vmlab.kz.tsukuba.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

掛谷 英紀 (KAKEYA, Hideki)

筑波大学システム情報系准教授

研究者番号: 70334050