

令和元年6月5日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02739

研究課題名(和文) 人への負担が少なく自然な立体感を実現できる空間浮遊3D表示技術の研究

研究課題名(英文) Layered multi-view DFD display for natural and smooth motion parallax of 3D images

研究代表者

陶山 史朗 (SUYAMA, Shiro)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授

研究者番号：70457331

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人への負担の少ない自然な立体感のために、人の動きに連続的に対応できる3D像の「自然で滑らかな動き」を表現できることを目指した。

(1)複数の多眼表示の積層による微小視差の実現と、DFD表示方式により、従来方式に比べて、少ない視差数でも、3D像の滑らかな動きと単眼奥行き知覚を大幅に改善でき、自然な立体感を実現できる見通しを得た。(2)この構成法として、多くの焦点位置を切替え可能な多焦点レンズ方式により、多眼表示を積層可能なことを明らかにした。

次に、研究遂行中の新提案として、(3)アーク3D表示をバックライトとすることにより、複数の多眼表示を簡単に積層可能とできる見通しを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高度なコミュニケーション環境、仮想的な協同作業や遠隔操作などを構築する際に、高度な臨場感が必要であり、この要素技術として3D表示技術は必須である。この3D表示技術としては、人に負担をかけずに疲労感が少なく自然な立体感を表現できることが重要である。自然な立体感では、人の動きに連続的に即応できる3D像の「自然で滑らかな動き」を表現することが重要な鍵となる。

本研究では、積層した複数の多眼表示による新たな微小視差再現方式とDFD表示方式を利用することにより、「自然で滑らかな動き」を、従来法に比べて、大幅に改善できることを明らかにし、自然な立体感を有する3D表示の実現への見通しを得た。

研究成果の概要(英文)： Smooth motion parallax, composed of monocular depth perception and continuous motion of 3D image, in accordance with human motion can be successfully obtained for natural 3D perception.

(1) By using layered multi-view display and DFD (Depth-fused 3D) display, continuous motion and monocular depth perception of 3D image can be widely improved as compared to conventional multi-view display, even at small number of views. (2) Multi-varifocal lens system can be achieved for constructing this layered multi-view DFD display.

Next, a new method for this construction of layered multi-view display has been proposed as follows. (3) Arc 3D display as adaptive backlight has been proposed and developed for easily constructing layered multi-view display because these adaptive backlights for layered displays have little interference each other.

研究分野：3D表示技術

キーワード：3D表示 積層多眼 DFD表示 滑らかな運動視差 微小視差 フラクショナルビュー パーチャルリアリティ アーク3D表示

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高度なコミュニケーション環境、仮想的な協同作業や遠隔操作などを構築する際に、高度な臨場感が必要であり、この実現のための要素技術として 3D 表示技術は必須である。この 3D 表示技術としては、人に負担をかけずに疲労感が少なく自然な立体感を表現できることが重要である。自然な立体感では、人の動きに連続的に即応できる 3D 像の「自然で滑らかな動き」を表現することが重要な鍵となる。また、作業のしやすさを考えると何もない空間への浮遊 3D 表示が必要となる。本研究では、多数の焦点距離を切替え可能な多焦点レンズ方式により空間への 3D 像の結像を実現しかつ疲労感の低減を図り、DFD 表示方式と微小視差再現方式により自然で滑らかな動きを大幅に補強することで、人への負担の少ない自然な立体感を有する空間浮遊 3D 像の実現を目指す。

2. 研究の目的

本研究においては、人への負担の少ない自然な立体感を有する空間浮遊 3D 像の実現を図るため、人の動きに連続的に対応できる 3D 像の「自然で滑らかな動き」を表現できることを目的とする。

このため、研究項目としては、(1) 多眼表示の距離を離れた積層により、実物に近い微小視差を再現し、これにより、運動視差の滑らかな動きを大幅に補強するとともに、大きな運動視差も表現可能とすることを目指す。さらに、DFD (Depth-fused 3D) 表示方式により、情報量の低減を図るとともに、滑らかな動きを補強することで、実物と同様な自然な立体感の実現を目指す。次に、(2) 上記の積層構造を構成するため、多数の焦点距離を切替え可能な偏光多焦点レンズ方式を用いて、3D 像を空間に直接的に結像させることにより、多眼表示を積層可能とすることを目指す。

さらに、新たに研究遂行中に見出した方法として、(3) アーク 3D 表示を適応的なバックライトとすることにより、複数の多眼表示を、簡便に積層可能とすることを目指す。

3. 研究の方法

研究項目(1)： ハーフミラーなどを用いて、複数の多眼表示装置を、面間を離して配置した評価用の積層多眼 DFD 表示システムを構築し、面間と視点数を変化させた場合において、単眼運動知覚、および像の滑らかな動きに関して評価を行い、本方式の有効性の明確化を目指した。

研究項目(2)： 多数の焦点距離を切替え可能な偏光多焦点レンズ方式を用いた場合において、時分割での高速な偏光切り替え特性について評価し、その改善を図ることにより、多眼画像を良好に積層できることを目指した。

研究項目(3) (新提案)： 多眼表示に対する適応的なバックライトとして有効で、かつその積層時にも、レンチキュラレンズやパララックスバリアと異なり、他に影響を与えにくい方式として、アーク 3D 表示による適応的なバックライトを利用することを新たに提案するとともに、その有効性を検証した。

4. 研究成果

本研究のキーポイントとなる積層多眼 DFD 表示方式の構成と原理(2 枚積層の例)を、図 1(b)に示す。本方式は複数の多眼表示を大きな間隔で積層した構成となっている。各々の多眼画像は、DFD 表示と同様に奥行きに応じて輝度比を変化させた前面画像と後面画像に分割し、これらを大きな間隔で積層した 2 枚の多眼表示装置に提示する。

本方式は次の 3 つの原理により、良好な単眼奥行き知覚と運動視差の滑らかな動きを得る。一つ目は、多眼表示を積層することで簡便に視点数を増加可能な点である。二つ目は、多眼表示の間隔を大きくとることにより、視差成分を実物に近い形で混合でき、実効的に微小視差を再現できる点である。すなわち、積層することで、隣り合う視点同士で一部の情報が共有され、かつ視点を不規則な間隔で配置できるようになることで、3D 像を滑らかに切り替えることができる。三つ目は、DFD 表示と同様な輝度分配により、狭い範囲ではあるが連続的な運動視差を得ることができるため、滑らかな動きをさらに補強できる点である。以上の 3 点より、本方式は、良好な単眼奥行き知覚と運動視差の滑らかな動きを実現できると考える。

<研究項目(1)>

従来の多眼表示(図 1(a))に比べて、積層多眼 DFD 表示(図 1(b))とすることにより、単眼奥行き知覚と 3D 像の動きの滑らかさを大きく改善できることを明らかにした。まず、積層間隔が異なる場合の単眼奥行き知覚の評価結果から、面間が 60 mm~80 mm と離れている場合に、上記の改善効果が大きいことが分かった。

次に、積層枚数を変化させたときの 3D 画像の手前と奥の単眼奥行き知覚を図 2 に示す。図 2(a)のように、積層枚数が 1 枚のとき、つまり、従来の多眼表示方式の場合では、視点数が 10 視点以下と少なくなっていくと、知覚される単眼奥行きが小さくなり、理論値と大きく異なってくる事が分かる。

これに対して、積層枚数が 2 枚の場合(図 2(b))には、

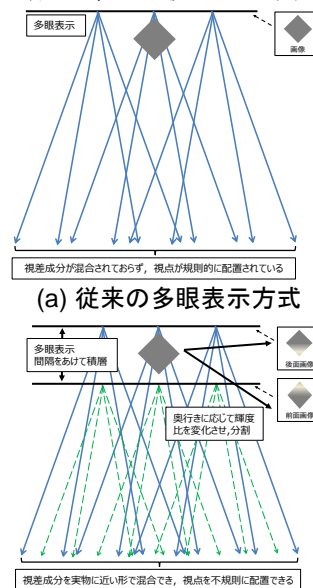


図1 積層多眼DFD表示方式の構成と原理

積層枚数:1枚の場合と比べて、微小視差再現の効果により、理論値に近く良好な単眼奥行き知覚が得られる。しかし、5 視点になると表示画像が 2 枚に分離している。これは視点数が少なくなりすぎたため、前後像のずれが大きくなり、一つの奥行きに融合できなくなったためと考える。

さらに、積層枚数が 3 枚の場合(図 2(c))には、5 視点になったときでも 3D 像が分離せず一つの奥行きに知覚されており、かつその奥行きは理論値どおりの値を得られることを明らかにした。このように、積層多眼 DFD 表示方式により、少ない視点数でも、微小視差再現の効果により、良好な単眼奥行き知覚が得られることを明らかにした。

図 3 に、積層枚数を変化させたときの画像切り替え時の 3D 像の動きの滑らかさを示す。縦軸は滑らかさの度合いを示す。まず、積層枚数が 2 枚の場合でも、従来の多眼表示(1 枚)に比べて改善が見られることが分かる。さらに、積層枚数が 3 枚の場合には、視点数の減少による滑らかさの劣化をほぼ完全に改善

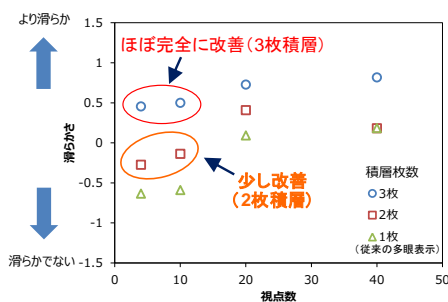


図3 積層多眼DFD表示による動きの滑らかさの改善

ようになるためと考えられる。このように、積層多眼 DFD 表示方式により、単眼奥行き知覚をほぼ完全に近い形で改善でき、滑らかな 3D 像の動きを実現できることが明らかとなった。

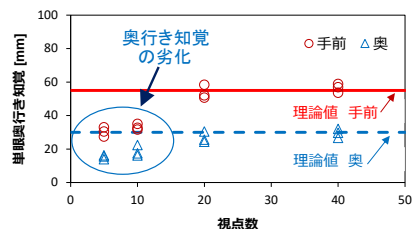
以上、積層多眼 DFD 表示方式により、良好な単眼奥行き知覚と像の滑らかな動きを、少ない視点数であっても、微小視差再現の効果により、実現できることを明らかにした。

<研究項目(2)>

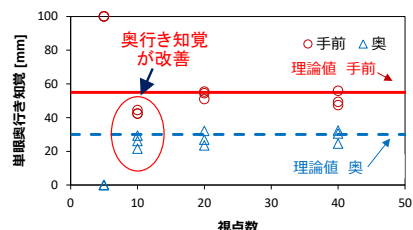
図 1 に示したような複数の積層した表示を実現するための偏光多焦点レンズ方式の原理を図 4 に示す。構成は、高速な偏光切替器と偏光二焦点レンズが N 組と、高速な表示装置から成る。偏光二焦点レンズは、2 つの直交する偏光方向で異なる焦点距離を有するレンズであり、偏光切替器で偏光方向を高速に切り替えることにより、 2^N 個の焦点距離を高速に変化できる。例えば、高速な多眼表示装置と 2 組の偏光切替器と偏光二焦点レンズを用いることにより、多眼表示が 4 面積層された積層多眼 DFD 表示を実現できる。

しかしながら、この偏光多焦点レンズ系では、不適切な奥行き位置にゴースト像が発生する課題があった。これは、高速な偏光切り替えを実現するために採用した強誘電性液晶デバイスに原因があると考え、その偏光切替特性の評価を行った。図 5 に、Switching 時(偏光方向を変える場合)、Non-Switching 時(偏光方向を変えない場合)のコントラストを示す。Non-Switching 時の場合、最大コントラストは 25 と高いコントラストが得られるが、Switching 時の場合には最大コントラストが 3 程度と、低いコントラストしか得られない。すなわち、ゴースト像は、強誘電性液晶デバイスの Switching 時の低いコントラストによるものであることを明らかにした。

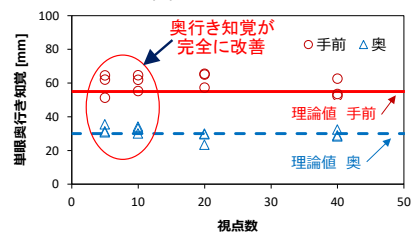
そこで、これを改善するために、入射光の偏光方向の最適化と、半波長板の挿入を行った場合のコントラストを図 6 に示す。まず、入射光の偏光を 22.5°だけ、偏光切替器の主軸に対して傾けると(黒線)、コントラストは 80°と 150°付近で最大になり、コントラストを 10 以上まで改善できることが分かった。しかし、偏光切替器は偏光方向の 90°の



(a) 積層枚数1枚 (従来の多眼表示)



(b) 積層枚数2枚



(c) 積層枚数3枚

図2 積層多眼DFD表示による単眼奥行き知覚の改善

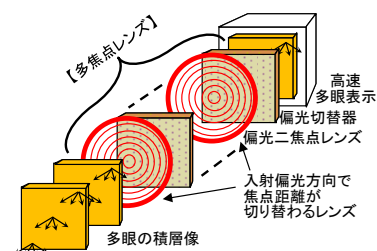


図4 偏光多焦点レンズ方式の原理

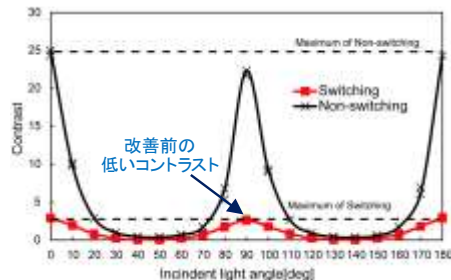


図5 入射光の偏光角度に対する偏光切替器の出射光のコントラスト

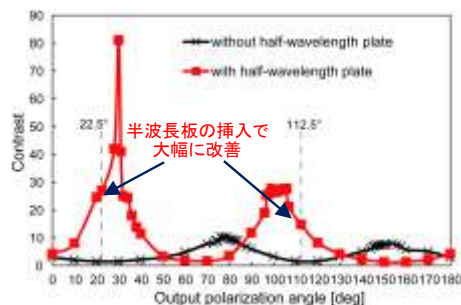


図6 半波長板の挿入による改善後の偏光切替器の出射光のコントラスト

回転を目的としているため、出射光の最大コントラストの偏光方向の角度が不適切である。

そこで、出射光の偏光方向を改善するために、偏光切替器の後方に半波長板を挿入し、改善を行った(赤線)。半波長板の挿入により、出射光の偏光方向が半波長板の主軸に対称に移動するため、22.5°でコントラストが 25、112.5°でコントラストが 15 となり、90°回転した角度の双方で高いコントラストを実現できることを明らかにした。

以上、偏光多焦点レンズ系における偏光切り替え特性を、大幅に改善することにより、積層多眼 DFD 表示方式の構成を実現できる見通しを得た。

<新たな研究項目(3)>

簡便に、図 1 に示したような複数の多眼表示の積層を実現するために、アーク 3D 表示を適応的なバックライトとする方法を、研究遂行中に新たに提案し、その可能性を評価した。図 7 にその原理を示す。まず、アーク 3D 表示では、図 7(a) 右に示すように、視点の変化に応じて輝点が連続的に移動する。したがって、左右眼では、異なった位置の輝点对応することになる。そこで、図 7(a)左に示すように、アーク 3D 表示を、多眼画像を表示した透過型 LCD のバックライトとすると、アーク 3D 表示の輝点によって、右眼用の画像と左眼用の画像を自動的に別々に照明することが可能になる。

図 7(b)は、アーク 3D 表示を適応的なバックライトとする積層多眼方式の原理を示す。適応的なバックライトである 2 つのアーク 3D 表示は、相互干渉が少なく、例えば、前面のバックライトであるアーク 3D 表示が後面画像に対する影響が少ないため、ハーフミラーなどを用いることなくコンパクトに積層することが可能となると考える。

図 8 に、実際にアーク 3D 表示を面間：100 mm と離して積層した場合に、視点を変えて撮影した写真を示す。どの視点においても、前面のアーク 3D 表示と後面のアーク 3D 表示のどちらにも、相互干渉している様子は見られず、本方式の妥当性が検証できたと考える。

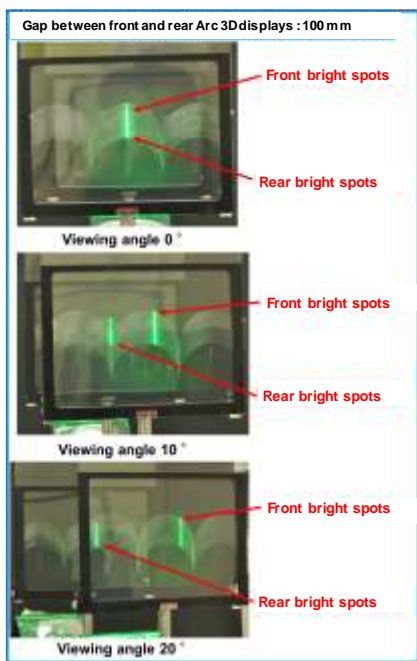
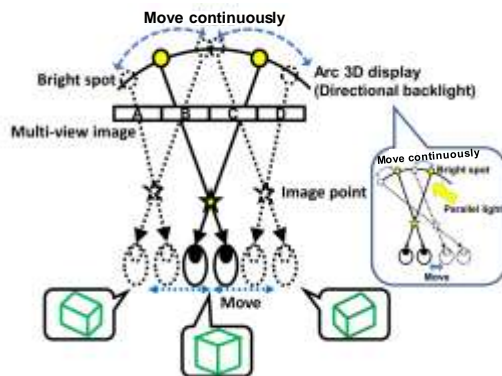
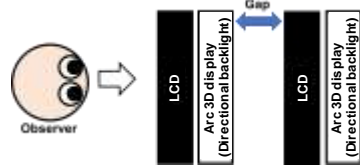


図8 アーク3D表示によるバックライトを積層にした場合の影響のなさ



(a) アーク3D表示を利用した適応的な多眼表示用バックライト



(b) アーク3D表示によるバックライトを利用した積層多眼表示

図7 アーク3D表示によるバックライトを適用した積層多眼表示の原理

このように、新たに提案した方式として、アーク 3D 表示を適応的なバックライトとして利用することで、簡便に積層多眼表示の構成を実現できる見通しを得た。

以上、本研究では、上記したように、当初の予定した研究項目(1)、(2)の目標をほぼ達成できただけでなく、新たな研究項目(3)を提案・検証できており、積層多眼 DFD 表示方式の実現に向けて、その基盤技術を作り上げることができたと考える。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8件)

- ① Yoshiki Terashima, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Aerial depth-fused 3D image formed with aerial imaging by retro-reflection (AIRR), Optical Review, 査読有, Vol. 25, 2018, pp. 1-8, DOI: 10.1007/s10043-018-0473-9.
- ② Hirotsugu Yamamoto, Kazuki Kawai, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Forming aerial 3D images with smooth motion parallax in combination of arc 3D display with AIRR, Proc. SPIE, 査読なし(審査あり), Vol. 10666, 2018, p. 106660I, DOI: 10.1117/12.2309903, 招待有.
- ③ Shusei Ito, Keitaro Uchida, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Aerial Secure Display by Use of Polarization-Processing Display with Retarder Film and Retro-Reflector, Proc. SPIE, 査読なし(審査あり), Vol. 10126, 2017, p. 101260O, DOI: 10.1117/12.2251789.
- ④ Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Enlargement of continuous perceived depth region in

- Depth-fused 3D display, IEEE Transactions on Industry Applications, 査読有, Vol. 52, 2016, pp. 5226-5230, DOI: 10.1109/TIA.2016.2595492, 招待有.
- ⑤ Toyotaro Tokimoto, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, 4320-Hz LED Display With Pulse-Width Modulation by Use of a Nonlinear Clock, IEEE/OSA Journal of Display Technology, 査読有, Vol. 12, 2016, pp. 1581-1587, DOI: 10.1109/JDT.2016.2635939.
 - ⑥ Ryousuke Kujime, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Different aerial image formation into two directions by crossed-mirror array, Optical Review, 査読有, Vol. 22, 2015, pp. 862-867, DOI: 10.1007/s10043-015-0132-3.
 - ⑦ Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Recent developments in DFD (depth-fused 3D) display and arc 3D display, Proc. SPIE, 査読なし(審査あり), Vol. 9495, 2015, p. 949507, DOI: 10.1117/12.2179853, 招待有.
 - ⑧ Hidetsugu Suginoara, Sakamoto Hirota, Yamanaka Satoshi, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Multi-layer 3D imaging using multiple viewpoint images and depth map, Proc. SPIE, 査読なし(審査あり), Vol. 9391, 2015, p. 939117, DOI: 10.1117/12.2076238.

[学会発表](計43件)

1. (招待)水科 晴樹, 栗田 陽光, 金山 一平, 増田 裕樹, 陶山 史朗, 運動視差を用いた効果的な3D表示方式に関する研究, 画像電子学会研究会, 2019.
2. Yoshiki Terashima, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Perceived Depth of Aerial Protruding Depth-Fused 3D Display, IDW'18, 2018.
3. Kyohei Okamoto, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Very Small Disparity Required for Large Depth Perception by Monocular Motion Parallax in DFD Display, IDW '18, 2018.
4. Asuka Nogami, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Fast Response Time for Image Depth Fusion in DFD Display, IDW '18, 2018.
5. Yuki Masuda, Ippei Kanayama, Shiro Suyama, Haruki Mizushina, Changing Direction of Stimulus Motion, Not Temporal Stopping, Improves Depth Perception from Monocular Motion Parallax, IDW'18, 2018.
6. Seishiroh Mukaeyama, Shiro Suyama, Haruki Mizushina, Depth Perception Difference by Changing Short Display Time from Long Viewing Distance in Non-overlapped DFD (Depth-Fused 3D) Display, IDW '18, 2018.
7. Yuuki Abiko, Shiro Suyama, Haruki Mizushina, Increasing For Depth Perception by Using Far Stimuli Display in Head Mounted Display, IDW '18, 2018.
8. Yoshiki Terashima, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Protruding Aerial DFD Display in Combination of a Flat-Panel Display and AIRR, JSAP-OSA Joint Symposium 2018, 2018.
9. Asuka Nogami, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Viewing Zone Expansion by High-Speed Horizontal-Position Change of Front and Rear Images in DFD Display, IMID2018, 2018.
10. Yuki Masuda, Ippei Kanayama, Shiro Suyama, Haruki Mizushina, Influence of Changing Motion Direction on Depth Perception from Motion Parallax, IMID2018, 2018.
11. Seishiroh Mukaeyama, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Depth Perception at Short Display Time from Long Viewing Distance in Non-overlapped DFD (Depth-fused 3D) Display, IMID2018, 2018.
12. Kyohei Okamoto, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Large Depth Perception by Monocular Motion Parallax in DFD Display, IMID2018, 2018.
13. Yoshiki Terashima, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, DFD Display by Aerial Image Formed on 2D Display Surface, IMID2018, 2018.
14. Yuuki Abiko, Shiro Suyama, Haruki Mizushina, Increasing far depth perception by putting far real object in Head Mounted Display, 3DSA2018, 2018.
15. Yoshiki Terashima, Fujii Kengo, Hirotsugu Yamamoto, Masaki Yasugi, Shiro Suyama, Takeda Yukihiko, Aerial 3D/2D Composite Display: Depth-Fused 3D for the Central User and 2D for Surrounding Audiences, SIGGRAPH ASIA 2018, 2018.
16. (招待)陶山 史朗, 水科 晴樹, 3D表示・空中表示の最新技術について, 電気三学会関西支部専門講習会, 2018.
17. Yoshiki Terashima, Ryousuke Kujime, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Aerial Protruding DFD Display with AIRR, LDC 2018, 2018.
18. (招待)Shiro Suyama, Haruki Mizushina, 3D Display Technologies in Our Laboratories, 4th International Forum on Advanced Technologies, 2018.
19. Yoshiki Terashima, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Aerial DFD Display with AIRR, IDW'17, 2017.
20. Ryo Sasaki, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Pseudo-Focus Position Change in Bifocal Liquid-Crystal Lens by Changing Polarization Angle, IDW '17, 2017.
21. Youkou Awata, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Influence of Decreasing Motion Parallax Widths in Arc 3D Display on Perceived Depth Degradation by Decreasing Visual Acuity of One Eye, IDW '17, 2017.
22. Wataru Kinoshita, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Large Viewing Zone of Multi-View Fresnel

- Arc DFD Display, IDW '17, 2017.
23. Ipppei Kanayama, Shiro Suyama, Haruki Mizushina, Manipulating Perceived Depth on Kinetic Depth Effect by Image Switching, IDW'17, 2017.
 24. Shota Koyama, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Compact Layered Multi-View Display Using Arc 3D Display as Directional Backlight, IDW '17, 2017.
 25. Yusuke Nagao, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Enlarging viewing distance and 3D image depth at large Edge-based DFD display by blurring edge parts, IDW'17, 2017.
 26. (招待) 山本 裕紹, 久次米 亮介, 陶山 史朗, 光と熱のマルチモーダル空中ディスプレイ, VISION, 2017.
 27. (招待) 陶山 史朗, 山本 裕紹, 水科 晴樹, 奥行き知覚への連続的な運動視差, 視差画像の混合の効果, VISION, 2017.
 28. (招待) Hirotsugu Yamamoto, Tomoyuki Okamoto, Hitomi Horie, Ryousuke Kujime, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Takaho Itoigawa, Forming an aerial heater and its application for aerial information display, SPIE DCS, 2017.
 29. Yusuke Nagao, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Large and Deep Edge-based DFD Display by Blurring Edge Parts, IDW/AD'16, 2016.
 30. Zijian Fan, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, New Method for Luminance Addition/Subtraction System by Using Polarization Operation in Layered TN-LCDs, IDW/AD'16, 2016.
 31. Tatsuhiko Eguchi, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Layered Multi-View DFD (Depth-Fused 3D) Display for Improving Perceived Depth and Image Shift Smoothness even at Small Number of Multi-View, IDW/AD'16, 2016.
 32. Ryosuke Ozaki, Hirotsugu Yamamoto, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, New Directional Backlight of Arc 3D Display for Stereoscopic Display with All Surrounding Viewpoints, IDW/AD'16, 2016.
 33. Tomohiro Yamamoto, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Viewing Zone Expansion by Blurring Edge -based DFD(Depth-fused 3D) Display, IDW/AD'16, 2016.
 34. Rui Takano, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Depth Perception Difference by only two light sources with various distance in Non-overlapped DFD, IDW/AD'16, 2016.
 35. Koki Sakamaki, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Perception of Many Transparent Layered Images in the Depth-Fused 3D Display, IDW/AD'16, 2016.
 36. Ryosuke Ozaki, Hirotsugu Yamamoto, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Stereoscopic display by using a new radial parallax barrier for all surrounding viewpoints, IDW'15, 2015.
 37. Ryosuke Kujime, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, How to converge long wave-length sound by small-aperture crossed-mirror array, IDW'15, 2015.
 38. Shingo Nishiyama, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Multi-Image Arc 3D Display with Narrow Scratches by Using Non-Overlapping Method at Cross Points, IDW'15, 2015.
 39. Kazuya Oko, Shintaro Yamada, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Depth Evaluation from Monocular Motion Parallax by Passive Head Movement with Different Amplitudes, IDW'15, 2015.
 40. Kazuki Yoshioka, Shingo Nishiyama, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Wide Vertical Viewing Zone in Arc DFD (Depth-Fused 3D) Display, IDW'15, 2015.
 41. Teppei Kobayashi, Akinori Tsuji, Haruki Mizushina, Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Development of High-speed LED Display System on FPGA, IDW'15, 2015.
 42. (招待) 陶山 史朗, 3D 表示技術の概要, IDW チュートリアル講演, 2015.
 43. (招待) Shiro Suyama, Hirotsugu Yamamoto, Enlargement of Continuous Perceived Depth Region in Depth-fused 3D Display, Proc. of 2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2015.

[図書](計 1件)

1. 陶山 史朗, 水科 晴樹, 株式会社 シーエムシー出版, 空中ディスプレイの開発と応用展開, 2018 年, 総 267 ページ, 執筆担当部分: 第 I 編第 1 章 空中ディスプレイが拓く空間インタフェースの展望, pp. 3-13.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 山本 裕紹

ローマ字氏名: YAMAMOTO, Hirotsugu

所属研究機関名: 宇都宮大学

部局名: 工学部

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 00284315

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。