

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：16101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540087

研究課題名(和文)滑らかな運動視差を実現可能なアーク3D表示用アクティブデバイスの研究

研究課題名(英文)Liquid-crystal active device for Arc 3D display with smooth movement parallax

研究代表者

陶山 史朗(Suyama, Shiro)

徳島大学・ソシオテクノサイエンス研究部・教授

研究者番号：70457331

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、滑らかな運動視差を本質的に有するアーク3D表示を電氣的に制御可能とすることを目指し、アーク3D表示に特有な方向性散乱源の特性把握および電氣的制御を可能とする液晶アクティブデバイスの実現を図った。従来の液晶デバイスの利用法とは異なり、液晶プリズムの尖端の突起部分を方向性散乱源として利用することにより、方向性散乱をON/OFF制御できることを明らかにした。また、液晶プリズムの頂角の違いにより、方向性散乱強度の角度分布を制御できる見通しを得た。以上、本研究では、当初の目標をほぼ達成でき、アーク3D表示用アクティブデバイスの実現のための基盤技術を作り上げることができたと考える。

研究成果の概要(英文)：In order to control the Arc 3D display images with smooth movement parallax by applied voltages, we have estimated the directional scattering characteristics and realized appropriate liquid-crystal active device. In contrast to conventional devices by which continuous slopes are used for deflecting light beams, the tips of prism structures can be utilized for directional scattering in our liquid-crystal device. By using our liquid-crystal device, the directional scattering for Arc 3D display can be successfully switched on/off when applied voltage frequency is changed. Moreover, we found that angle distributions of directional scattering strongly depend on tip angles of prism structures. Thus, basic technologies can be successfully obtained for liquid-crystal active device of Arc 3D display.

研究分野：光デバイスおよび3次元入出力システムの研究

キーワード：バーチャルリアリティ アーク3D表示 液晶デバイス 方向性散乱 液晶レンズ 立体表示 二周波液晶 可変焦点

1. 研究開始当初の背景

デジタルサイネージに代表される情報提示においては、立体表示技術はひと目で注目を集めることができる点で大変魅力的である。現在、立体表示技術としては、二眼式/多眼式が最も実用化が進んでいる。しかしながら、二眼式には運動視差がなく、多眼式においてもスムーズで滑らかな運動視差を表現することは困難である。これに対して、アーク 3D 表示は、多数の円弧状の散乱源(連続的な傷、凹み、突起等)により立体表示を可能にするものであり、簡便な構成にもかかわらず、原理的に滑らかな運動視差を表現できる利点がある。しかしながら、現状ではアーク 3D 表示を電氣的に制御できる既存デバイスはなく、印刷と同様に静止画のみであり書き換え不可である。

そこで、本研究では、液晶の屈折率変化を利用することにより、アーク 3D 表示を電氣的に制御可能な液晶アクティブデバイスを実現することを目指す。従来の液晶デバイスではプリズム等の連続的な傾斜部分での屈折を利用しているのに対して、本研究ではその尖端の突起部分をアーク 3D 表示用液晶デバイスとして活かすことを試みる。これは、これまでにない取り組みであるため、その動作特性に関しては不明な点が多く、これを明らかにすることが本研究の主眼となる。

2. 研究の目的

本研究では、滑らかな運動視差を原理的に有するアーク 3D 表示を電氣的に制御可能とすることを目的とし、方向性散乱源の特性を把握し、アーク 3D 表示の電氣的な制御を可能とするため、液晶を用いたアクティブデバイスの実現を図る。このため、研究項目としては、(1) プリズムの尖端部分における方向性散乱の強度分布と広がりを評価する。次に、(2) 液晶プリズムの尖端部分を利用することでアーク 3D 表示の電氣的な制御の可能性を探るとともに、応答速度の高速化に取り組む。さらに、(3) 方向性散乱における強度分布や方向性の電氣的な制御の可能性を明らかにし、電氣的に制御可能なアーク 3D 表示技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

研究項目(1): プリズム尖端のような突起構造における方向性散乱の強度分布や広がりを、レーザー光を絞って尖端部分に照射することで評価する。また、幾何光学的なアプローチにより、強度分布とその広がりを推定することも試みる。

研究項目(2): 図 3、図 5 (c) にその構造を示す液晶プリズムの尖端や液晶レンズ(図 4) のフレネル構造の尖端を用いて、方向性散乱の電氣的な制御可能性を探る。液晶プリズムの尖端部分にレーザーを照射し、印加電圧の大きさ、周波数等により、方向性散乱の強度を変化できる可能性を探る。

また、その応答速度の高速化にも取り組んでいく。

研究項目(3): プリズム頂角の異なる液晶デバイスを用いて、方向性散乱における強度分布と方向性の制御可能性について探求する。強度分布に関しては、尖端部分の幾何学的な形状により制御できると予想している。これらを幾何光学的なアプローチも交えて探求していく。

4. 研究成果

研究項目(1)に関しては、レーザー光をプリズム尖端部分に照射することで評価するため、図 1 に示すような評価光学系を構築し、評価を行った。その結果、図 2 に示すように、広い角度で強い方向性散乱が得られることが明らかとなった。

また、方向性散乱は尖端形状の影響を強く受けることが予備実験より分かり、レプリカ作製や液晶封入における影響が予想されたため、その後は液晶プリズムの評価を中心とする研究項目(2)、(3)に注力することとした。

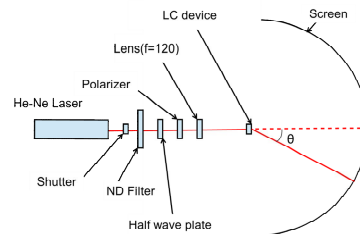


図 1. プリズム尖端における方向性散乱の評価光学系

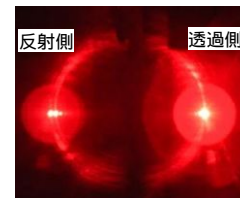
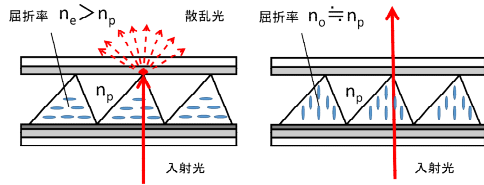


図 2. プリズム尖端による方向性散乱の一例

研究項目(2)、(3)において用いる液晶プリズムの構成と動作を、図 3 に示す。液晶プリズムは、紫外線硬化剤によるレプリカプリズム(屈折率 n_p)と液晶領域(正常屈折率 n_o 、異常屈折率 n_e)を透明導電膜付きガラス基板で挟んだ構成をとる(図 5 (c) 参照)。液晶材料としては、液晶の配向方向の制御が容易で高速化し易いと考えられるため、駆動する周波数で誘電率異方性 $\Delta\epsilon$ の符号を逆転できる二周波液晶を用いた。

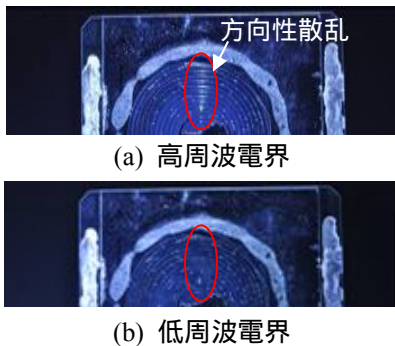
図 3 (a) は、高周波電界を印加した場合であり、 $\Delta\epsilon < 0$ であるため、液晶は電界方向に垂直に配向する。液晶の異常屈折率 n_e はプリズムの屈折率 n_p より大きいいため、入射光はプリズム尖端で方向性散乱を受けることになる。一方、図 3 (b) は、低周波電界を印加した場合であり、 $\Delta\epsilon > 0$ であるため、液晶は電界方向に平行に配向する。ここで、液晶

の正常屈折率 n_o とプリズムの屈折率 n_p はほぼ等しいため、入射光はそのまま直進する。したがって、電界を印加した状態で、周波数のみを変化させることにより、プリズム尖端での方向性散乱の状態を電氣的に制御できることになる。



(a) 高周波電界 (b) 低周波電界
図3. 液晶プリズムの構造と基本動作

研究項目(2) および上記の液晶プリズムの基本動作に関して、図4に多数のプリズム構造を有する液晶フレネルレンズにおける方向性散乱の電氣的制御の一例を示す。液晶フレネルレンズは、半径の異なる円状の液晶プリズムが集まったものと考えられることができる。図4(a)に示すように、高周波電界を印加した場合には、プリズム半径が大きくなるに従って奥側に斜めに傾いて見える、直線状の方向性散乱による像が観察される。一方、図4(b)に示すように、低周波電界を印加した場合には、その部分における方向性散乱を完全に消せていることが分かる。

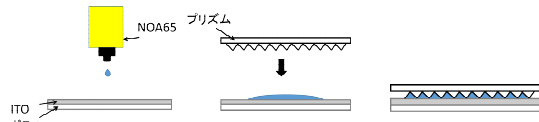


(a) 高周波電界 (b) 低周波電界
図4. プリズム構造を多く有する液晶レンズにおける方向性散乱の制御の一例

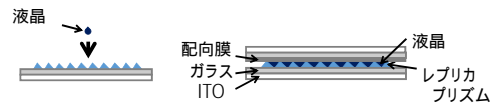
研究項目(2) に関して、図5に示すような液晶プリズムの製作方法を確立した。まず、図5(a)に示すように、透明電極ITO膜上へプリズム構造のレプリカを作製する。これにより、透明電極と液晶領域との間に余分な基材が入って印加電圧が必要以上に高くなることを防げる。次に、図5(b)に示すように、二周波液晶を滴下して、透明電極付対向基板との間に封入することで、液晶プリズムを作製できる。

レプリカ作製工程としては、ITO膜上に紫外線硬化剤NOA65を滴下し、その上から剥離剤を均一に塗布した「型」であるプリズム基材を押しつけることで、NOA65より成るレプリカ構造を作る。これを紫外線で硬化させた後、型であるプリズム基材を剥離すること

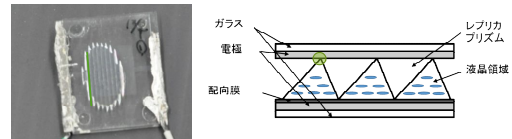
で、薄いレプリカ・プリズムを作製できる。



(a) 透明電極ITO膜上へのプリズム構造のレプリカの作製工程



(b) 液晶の封入工程



(c) 製作した液晶プリズムの一例
図5. 液晶プリズムの製作方法の確立

このレプリカ作製において重要なのが、型となるプリズム基材をレプリカから剥がす際に必要となる剥離剤である。型となるプリズム基材上には十分に薄く均一に塗布可能で、かつレプリカとの剥離性が良好であるという一部相反する性質が求められる。今回、この工程にほぼ最適な剥離剤を見出すことができ、十分な品質のレプリカを作製することが分かった。

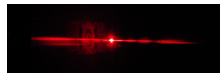
図5(c)に、作製した液晶プリズムの一例を示す。方向性散乱を評価するために十分な領域の直線状のプリズム尖端が作成できているのが分かる。

研究項目(2) に関して、次に、液晶プリズム(プリズム頂角: 約 35° , 92° , 53°) の方向性散乱の電氣的制御の可能性に関して検証した結果を、図6に示す。

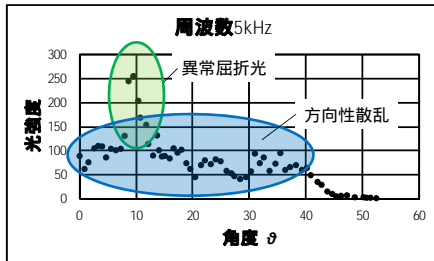
図6(a-1), (a-2)に、高周波電界印加時の散乱光の写真とその強度の角度分布を示す。高周波電界印加時には、液晶は電界方向に垂直に配向し、液晶の異常屈折率 n_e はプリズムの屈折率 n_p より大きいため、入射光はプリズム尖端で方向性散乱を受けることになる。図6(a-1)より、直線状のプリズムの向きに対して、ほぼ垂直に方向性散乱が直線状に広がっていることが分かる。図6(a-2)より、方向性散乱が 40° 付近まで十分に伸びていることが分かる。なお、 10° 付近にみられるピークは異常屈折光によるものである。

図6(b-1), (b-2)に、低周波電界印加時の散乱光の写真とその強度の角度分布を示す。低周波電界印加時には、液晶は電界方向に水平に配向し、液晶の正常屈折率 n_o はプリズムの屈折率 n_p とほぼ等しいため、入射光は散乱を受けずにそのまま直進することに

なる．図 6 (b-1) より，直進した直接光のピークのみが観察され散乱光がないことが分かる．図 6 (b-2) から，0 度付近の直接光のピーク以外には散乱成分はないことから，ほぼ完全に電氣的に方向性散乱を制御できることが明らかとなった．



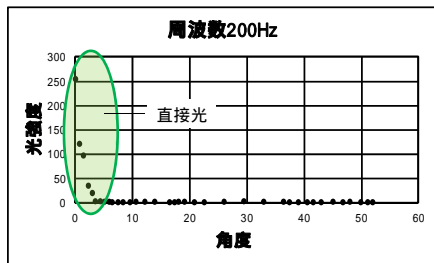
(a-1) 高周波電界印加時の散乱光



(a-2) 高周波電界印加時の散乱光強度の角度分布



(b-1) 低周波電界印加時の散乱光



(b-2) 低周波電界印加時の散乱光強度の角度分布

図 6 . 液晶プリズムにおける方向性散乱の電氣的制御

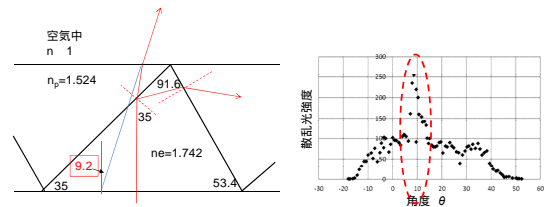
研究項目(3) に関して，頂角の異なる液晶プリズムを用いて，方向性散乱における強度分布と方向性の制御可能性について検討した結果を，図 7 に示す．頂角が異なる 2 種類の液晶プリズムに対して，左図に幾何光学的なアプローチの結果を，右図に高周波電界印加時の方向性散乱強度の角度分布を示す．

頂角の異なる 2 種類の液晶プリズムにおいて，双方ともに，左図の幾何光学的なアプローチの角度とほぼ一致する異常屈折光が見られていることが分かる．

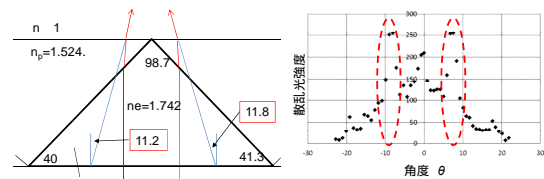
方向性散乱に関しては，図 7 (a) において，その強度の角度分布に，左右で非対称性が見られており，プリズム頂角の非対称性を反映していると考えられる．一方，図 7 (b) においては，プリズム頂角が対称であるため，方向性散乱強度の角度分布もほぼ対称となっていることが分かる．このように，方向性散乱はプリズム頂角のあり方に大きく依存することが明らかとなった．

次に，図 7 (a) と (b) を比較すると，方向

性散乱の伸びている最大角度が，40 度と 20 度と大きく異なっていることが分かる．すなわち，プリズム頂角の違いにより，方向性散乱の伸びる角度範囲が大きく影響を受けることが分かった．



(a) プリズム頂角：約 35°，92°，53°



(b) プリズム頂角：約 40°，99°，41°

図 7 . 頂角の異なる液晶プリズムに対する方向性散乱の相違

ここで，方向性散乱が幾何光学的なアプローチによる角度よりも大きく外側に伸びているのは，プリズム面や尖端において反射した成分が別な場所で屈折しているためと推測される．これに関しては，尖端形状の詳細な評価とともに，今後の研究課題と考える．

以上，本研究では，上記したように，当初予定した研究項目(1)，(2)，(3) の目標をほぼ達成できており，液晶の屈折率変化を利用した電氣的に制御可能なアーク 3D 表示用液晶デバイスの実現に向け，その基盤技術を作り上げることができたと考えられる．

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 21 件)

1. R. Kujime, H. Mizushima, S. Suyama and H. Yamamoto, How to Converge Long Wave-Length Sound by Small-Aperture Crossed-Mirror Array, Proc. IDW'15, 査読なし (審査あり), p. 3Dp1-6, 2015.
2. S. Nishiyama, H. Mizushima and S. Suyama, Multi-Image Arc 3D Display with Narrow Scratches by Using Non-Overlapping Method at Cross Points, Proc. IDW'15, 査読なし (審査あり), pp. 863-866, 2015.
3. K. Oko, S. Yamada, H. Mizushima and S. Suyama, Depth Evaluation from Monocular Motion Parallax by Passive Head Movement with Different Amplitudes, Proc. IDW'15, 査読なし (審査あり), p. 3Dp1-5, 2015.
4. K. Yoshioka, S. Nishiyama, H. Mizushima

- and S. Suyama, Wide Vertical Viewing Zone in Arc DFD (Depth-Fused 3D) Display, Proc. IDW'15, 査読なし (審査あり), p. 133, 2015.
5. S. Suyama and H. Yamamoto, Enlargement of continuous perceived depth region in Depth-fused 3D display, Proc. 2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 招待 (査読なし, 審査あり), pp. 15665468-1 - 15665468-5, 2015. DOI: 10.1109 /IAS.2015. 7356877.
 6. S. Suyama and H. Yamamoto, Recent developments in DFD (depth-fused 3D) display and arc 3D display, Proc. SPIE, Vol. 9495, 招待 (査読なし, 審査あり), p. 949507, 2015. DOI: 10.1117/12.2179853.
 7. H. Yamamoto, A. Tsunakawa, J. Kawakami and S. Suyama, Principle and recent developments on depth-fused 3D (DFD) display, Proc. SPIE DSS, 招待 (査読なし, 審査あり), p. 9117-17, 2014.
 8. H. Yamamoto and S. Suyama, Floating Digital Signage Based on Aerial Imaging Techniques, Proc. IDW'14, 招待 (査読なし, 審査あり), p. 3D2-2, 2014 .
 9. H. Yamamoto, Y. Tomiyama and S. Suyama, Directivity of Floating LED formed with Aerial Imaging by Retro-Reflection (AIRR), Digital Holography and Three-Dimensional Imaging, 査読なし (審査あり), p. DW4B, 2014.
 10. R. Kujime, S. Suyama and H. Yamamoto, Bidirectional Visual and Thermal 3D Information Display by Use Crossed-Mirror Array, Laser Applications to Chemical, Security and Environmental Analysis, 査読なし (審査あり), p. JT4A, 2014.
 11. H. Yamamoto, H. Sonobe, A. Tsunakawa, J. Kawakami and S. Suyama, Stereoscopic model for depth-fused 3D (DFD) display, Proc. SPIE, 査読なし (審査あり), 90111L, 2014.
 12. J. Kawakami, A. Tsunakawa, S. Suyama and H. Yamamoto, Depth-Fused 3D (DFD) Display with Non-Overlapped Pixels Using Layered LED Displays, Proc. IDW'13, 査読なし (審査あり), p. 3Dp - 11, 2013.
 13. K. Tatehata, K. Sato, S. Yamada, S. Suyama, I. Ishii and H. Yamamoto, Influence of Latency on Perceived Depth with a 3D Display Based on Monocular Motion Parallax, Proc. IDW'13, 査読なし (審査あり), p. 3Dp - 24L, 2013.
 14. T. Soumiya, A. Tsunakawa, H. Yamamoto, S. Suyama and H. Kuribayashi, Perceived Depth Change in Edge-Based DFD Display by Shifting Edge Pattern outside from Overlapped Position, Proc. IDW'13, 査読なし (審査あり), p. 3Dp - 26L, 2013.
 15. Y. Yoshida, S. Suyama and H. Yamamoto, Analysis of the Depth of Field by Lens-Tilt Imaging, Proc. IDW'13, 査読なし (審査あり), p. 3Dp - 25L, 2013.
 16. T. Kurokawa, R. Tanimoto, Y. Okada, H. Yamamoto and S. Suyama, Reduction of Ghost 3D Image in the Volumetric 3D Display by Using a Half-Wave Plate to Polarization-Switching Device, Proc. IDW'13, 査読なし (審査あり), p. 3Dp - 14, 2013.
 17. M. Takahashi, H. Yamamoto and S. Suyama, DFD Viewer Composed of Two DFD Images with a Large Gap for Estimating Background Effect on Perceived Depth of 2D/3D Image, Proc. IDW'13, 査読なし (審査あり), p. 3Dp - 12, 2013.
 18. H. Yamamoto and S. Suyama, 3D LED Signage Based on AIRR, Proc. DHIP, 招待 (査読なし, 審査あり), p. 7-1, 2013.
 19. A. Tsunakawa, T. Soumiya, H. Yamamoto and S. Suyama, Perceived depth change of depth-fused 3-D display by changing distance between front and rear plane, IEICE Transactions on Electronics, 査読あり, Vol. E96-C, No. 11, pp. 1378-1383, 2013.
 20. H. Yamamoto and S. Suyama, Aerial Imaging by Retro-Reflection (AIRR), Proc. SID, 査読なし (審査あり), pp. 895-897, 2013.
 21. S. Suyama, H. Sonobe, T. Soumiya, A. Tsunakawa, H. Yamamoto and H. Kuribayashi, Edge-Based Depth-Fused 3D Display, Proc. Digital Holography & 3-D Imaging, 査読なし (審査あり), p. DM2A.3, 2013.
- 〔学会発表〕(計 25 件)
1. 富山裕香, 陶山史朗, 水科晴樹, 山本裕紹, 再帰反射による空中結像(AIRR)により形成された空中像に対する眼の調節反応, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.40, No.2, 113-116 頁, 富山大学 (富山県富山市), 2016 年 1 月 29 日.
 2. 山田晋太郎, 水科晴樹, 陶山史朗, 単眼運動視差による奥行き知覚における刺激運動の離散化とクロストークによる影響, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.40, No.2, 105-108 頁, 富山大学 (富山県富山市), 2016 年 1 月 29 日.
 3. 谷本理沙, 黒川隆文, 水科晴樹, 陶山史朗, 多焦点レンズ系とプロジェクタアレイを用いた浮遊 DFD 表示, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.40, No.2, 45-48 頁, 富山大学 (富山県富山市), 2016 年 1 月 28 日.
 4. (招待講演) 陶山史朗, 3D 表示技術の概要, IDW'15 チュートリアル, 127-146 頁, 大津プリンスホテル (滋賀県大津市), 2015 年 12 月 8 日.
 5. 藤原尚人, 水科晴樹, 陶山史朗, 切替え

- 可能なアーク 3D 表示に向けた液晶デバイス, Optics & Photonics Japan 2015 講演予稿集, 30aB1 頁, 筑波大学(東京都文京区), 2015 年 10 月 30 日.
6. 西山慎悟, 水科晴樹, 陶山史朗, 画像切り替え可能なアーク 3D 表示方式について, Optics & Photonics Japan 2015 講演予稿集, P46 頁, 筑波大学(東京都文京区), 2015 年 10 月 29 日.
 7. 久次米亮介, 水科晴樹, 陶山史朗, 山本裕紹, 直交ミラーアレイによる長波長音波の空間収束のための手法, Optics & Photonics Japan 2015 講演予稿集, 29pE12 頁, 筑波大学(東京都文京区), 2015 年 10 月 29 日.
 8. 西山慎悟, 水科晴樹, 陶山史朗, 新しいアーク 3D 表示方式の提案, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.39, No.36, 5-8 頁, NHK 放送技術研究所(東京都世田谷区), 2015 年 10 月 15 日.
 9. 吉岡一貴, 西山慎悟, 水科晴樹, 陶山史朗, アーク DFD 表示方式における奥行き知覚測定と垂直方向視域に関する研究, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.39, No.36, 9-12 頁, NHK 放送技術研究所(東京都世田谷区), 2015 年 10 月 15 日.
 10. 大古和也, 山田晋太郎, 水科晴樹, 陶山史朗, 頭部の受動的移動とその移動幅による単眼運動視差の奥行き評価, 映像情報メディア学会年次大会 2015 講演予稿集, 34B-3 頁, 東京理科大学(東京都葛飾区), 2015 年 8 月 28 日.
 11. 吉岡一貴, 西山慎悟, 水科晴樹, 陶山史朗, アーク DFD (Depth-fused 3D) 表示方式の提案とその奥行き知覚評価, 映像情報メディア学会年次大会 2015 講演予稿集, 34B-2 頁, 東京理科大学(東京都葛飾区), 2015 年 8 月 28 日.
 12. 尾崎亮介, 山本裕紹, 水科晴樹, 陶山史朗, 放射状パララックスバリアによる立体視の一提案, 映像情報メディア学会年次大会 2015 講演予稿集, 34B-1 頁, 東京理科大学(東京都葛飾区), 2015 年 8 月 28 日.
 13. R. Ozaki, H. Yamamoto and S. Suyama, Stereoscopic Display with Radial Parallax Barrier, IMID2015, p. 52-2, EXCO (Daegu, Korea), 21 Aug. 2015.
 14. S. Nishiyama, H. Mizushina and S. Suyama, New Arc 3D display for changing various 3D images, IMID2015, p. 265, EXCO (Daegu, Korea), 21 Aug. 2015.
 15. N. Fujiwara and S. Suyama, Liquid-crystal device scattering characteristics for switchable arc 3D display, IMID2015, p. 142, EXCO (Daegu, Korea), 21 Aug. 2015.
 16. K. Oko, S. Yamada, H. Mizushina and S. Suyama, Perceived depth by monocular motion parallax in passive head movement, IMID2015, p. 32-5, EXCO (Daegu, Korea), 20 Aug. 2015.
 17. K. Yoshioka, S. Nishiyama, H. Mizushina and S. Suyama, Arc DFD (Depth-fused 3D) Display by fusing Arc DFD Display and DFD Display, IMID2015, p. 74, EXCO (Daegu, Korea), 20 Aug. 2015.
 18. (招待講演) 陶山史朗, 山本裕紹, DFD (Depth-fused 3D) 表示技術などの最近の進展, 2014 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, C9-6, 徳島大学(徳島県徳島市), 2014 年 9 月 25 日.
 19. F. Kimura, T. Yamamoto, H. Yamamoto and S. Suyama, Dynamic Wavefront Changes in High-Speed LC Prism by Using LED Flashing, Proc. IMID, P1-88, EXCO (Daegu, Korea), 28 Aug. 2014.
 20. Y. Tomiyama, H. Yamamoto and S. Suyama, LED Aerial-Image Size Dependence on Floating Distance by Retro-Reflection, Proc. IMID, 6-1, EXCO (Daegu, Korea), 27 Aug. 2014.
 21. R. Kujime, S. Suyama and H. Yamamoto, Crossed-Mirror Array Configuration with One-Side Mirrors for Four-View Aerial LED Signage, Proc. IMID, 6-4, EXCO (Daegu, Korea), 27 Aug. 2014.
 22. S. Yamada, K. Tatehata, I. Ishii, H. Yamamoto and S. Suyama, Motion Direction Dependence of Perceived Depth by Monocular Motion Parallax, Proc. IMID, 10-4, EXCO (Daegu, Korea), 27 Aug. 2014.
 23. R. Tanimoto, T. Kurokawa, H. Yamamoto and S. Suyama, Suppression of Ghost 3-D Image and Luminance Calibration for Multi-Focal-Lens Volumetric 3-D Display, Proc. IMID, 37-4, EXCO (Daegu, Korea), 27 Aug. 2014.
 24. (招待講演) S. Suyama and H. Yamamoto, DFD (Depth-Fused 3D) Display and Our Recent Development, Proc. IMID, 33-1, EXCO (Daegu, Korea), 28 Aug. 2013.
 25. (招待講演) H. Yamamoto and S. Suyama, Development of Glassless 3D Display by Use of Full-Color LED Panel, Proc. IMID, 8-1, EXCO (Daegu, Korea), 27 Aug. 2013.
- 〔図書〕(計 1 件)
1. 陶山史朗, 『光』の制御技術とその応用事例集 (ISBN 978-4861045219), 技術情報協会, pp. 472-479, 2014. (第 5 章 第 6 節「プリズム現象の発生原理」を執筆).
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
 陶山 史朗 (Suyama, Shiro)
 徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・教授
 研究者番号: 70457331