

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月25日現在

機関番号：16101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500122

研究課題名（和文）高度なコミュニケーションを実現するための空間への自然な 3D 表示技術の研究

研究課題名（英文）3D display technology for floating and fatigueless 3D images to realize realistic communications

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

研究成果の概要（和文）：本研究では、人が自由に 3D 像に身近に接近でき、高い臨場感を感じられるように、空間へ自然で疲れない 3D 像を提示するため、その基盤技術の確立を目指した。焦点距離を高速に変化できる可変焦点レンズを用いることにより、このような空間に浮遊した 3D 像の結像が可能となる。本研究により、可変焦点レンズに対する当初の 3 つの課題をほぼ解決でき、かつ DFD（Depth-fused 3-D）表示技術との融合により 3D 像の提示に必要な情報量の削減が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：In order to realize a floating and fatigueless 3D image to which you can easily approach and contact, we have solved the main problems about the key-device of the high-speed varifocal lens. Moreover, by using DFD (Depth-fused 3-D) display technology, we can successfully deduce the number of 2D images needed for 3D image reconstruction in space.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：光学デバイスおよび 3 次元入出力システムの研究

科研費の分科・細目：情報学 メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ、立体表示、3D 表示、可変焦点、液晶レンズ、DFD 表示、空間像、高臨場感

1. 研究開始当初の背景

高臨場感を実現するために多くの 3D 表示技術が研究開発されてきたが、現状では空間に自然で疲れない 3D 像を適切な情報量で提供できている表示方法はない。

従来、最も盛んに研究開発されてきた方式は、両眼に異なる画像を提示する二眼式／多眼式であり、実用化に最も近い。しかし、この方式では長時間での観察時に疲労感をも

たらず懸念があり、普及には至っていない。これを解決するために、超多眼方式が提案されている。この方式は、人の瞳の中に 2 個以上の画像を入れることで上記した疲労感を低減できると考えられている。しかし、100 個以上と膨大な数の 2D 画像が必要となり、かつ表示面から離れると解像度が劣化し、かつ疲労感の低減効果もなくなっていくため、空間への表示は困難な欠点がある。

これに対して、空間への表示を行う方法として、スピーカーを利用した可変焦点光学系による方式が提案されている。この方式は、直接的に空間に 3D 像を描画できる点は優れているが、このキーデバイスに音や振動の発生、信頼性への懸念といった根本的な問題を抱えている。また、膨大な情報量増加の問題に対する解決策は示されていない。

そこで、本研究では、空間へ 3D 表示を行う方法として、(A) 上記したキーデバイスに対する懸念を払拭することを目指し、情報量の増加を抑制するため、(B) 3D 表示に必要な 2D 画像の枚数を大幅に低減することを目指す。

2. 研究の目的

本研究では、(A) 上記キーデバイスに対する懸念を払拭するため、(A-1) 焦点距離変化の詳細の把握による駆動法の確立、(A-2) 空中像の歪みなどの低減、および(A-3) 高速に 2D 画像を提供できるシステムの構築により、一般的なカラー 3D 像を提供できる段階まで発展させることを目指す。

次に、(B) 3D 表示に必要な 2D 画像枚数を低減するため、2D 画像の面間を大きくしても奥行きを連続的に表現可能な DFD (Depth-fused 3-D) 表示技術との融合を図る。この DFD 表示技術との融合で予想される課題として、(B-1) 2 面間距離の制限、(B-2) 観察者の位置の制限、(B-3) 2 重像の発生を解決することを目指し、情報量増加の抑制へと結び付けていく。

3. 研究の方法

- (A-1) 焦点距離変化は、ストロボ法と三角測量法を用いて把握し、駆動法には新たな共振回路を工夫していく。
- (A-2) 空中像の歪みに関しては、格子点を指標に用いて描画位置に応じて計測し、入力画像の修正によりその改善を目指す。
- (A-3) 高速に 2D 画像を提供できるシステムは、主に小型 LED プロジェクタをアレイ状に並べることで構築していく。
- (B-1) 2 面間距離の制限、(B-2) 観察者の位置の制限、(B-3) 2 重像の発生に対しては、静止画を多数枚積層した評価システムを構築するとともに、DFD 表示技術を各 2D 画像に適用した場合について心理評価を行うことで良好な条件を見出していく。

4. 研究成果

(A-1) (1) 焦点距離変化の詳細の把握

可変焦点レンズへの印加電圧の大きさを変化させ、焦点距離の変化特性を把握した。

その結果、印加電圧の大きさが増大するのに伴って、結像位置の変化が急峻になることが分かった (図 A-1-1 参照)。このため、結像

位置の変化しない領域が、電圧が大きくなるにしたがって増大する。そこで、3D 表示を行う上で、結像位置の変化しない領域を少なくすべきという立場に立てば、電圧は大きければよいということではなく、最適な電圧があることが分かった。また、描画する周波数を上げたい場合には、電圧を増大することにより可能となることが実証できた。

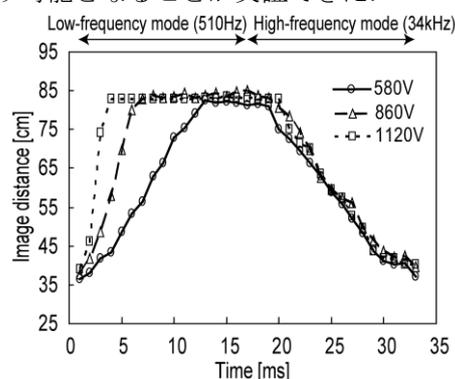


図 A-1-1 空中像の結像位置の変化特性

(A-1) (2) 駆動法の確立

可変焦点レンズの駆動法の改良を試みた。可変焦点レンズは、その駆動に低周波電圧と高周波電圧を必要とする。しかしながら、可変焦点レンズは電気的にはキャパシタ構造であるため、高周波電圧印加時に大きな無効電流が流れ、駆動装置の限界を越えることが危惧された。また、低周波電圧も交互に印加されるため、単純な共振回路では対応できないことが判明した。

そこで、低周波電圧と高周波電圧が交互に印加される場合でも駆動できる新たな共振回路を提案し、これを用いることで、低周波電圧印加時も高周波電圧印加時も可変焦点レンズを十分に駆動できることを明らかにした (図 A-1-2 参照)。

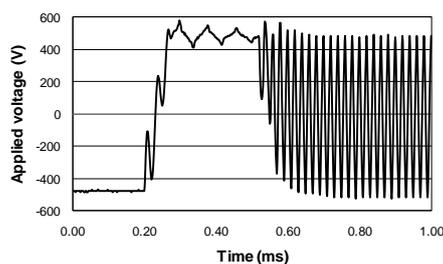


図 A-1-2 新提案の共振回路による駆動波形

(A-2) 空中像の歪みの把握と低減

空中像への結像特性として、可変焦点レンズによる歪曲収差を把握した。

その結果、結像位置によらず、樽型の歪曲収差が発生していることが分かった (図 A-2-1 参照)。また、可変焦点レンズによる歪曲収差は比較的小さいことが明らかとなった。ここで、通常レンズの歪曲収差と異なり、

可変焦点レンズの歪曲収差は、光軸に対して必ずしも回転対称ではないことから、可変焦点レンズにおける液晶の配向方向が影響を与えていることが考えられる。

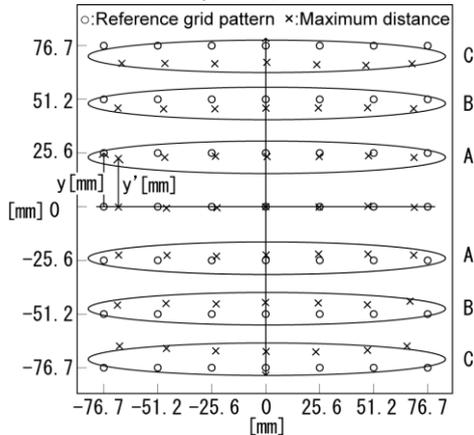


図 A-2-1 可変焦点レンズの歪曲収差
(○: 基準格子点, ×: 測定点)

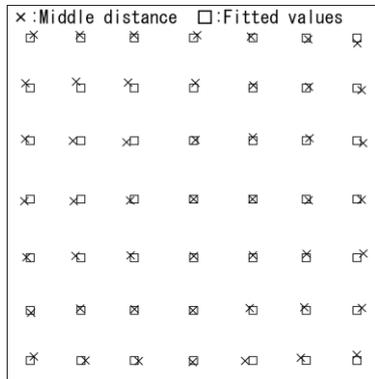


図 A-2-2 計測結果と定式化との比較
(□: 基準格子点, ×: 測定点)

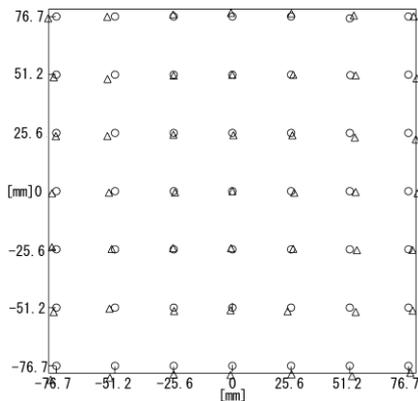


図 A-2-3 歪曲収差の改善
(○: 基準格子点, △: 測定点)

上記計測結果を用いて可変焦点レンズの歪みの定式化を行った。その結果、可変焦点レンズによる樽型歪みの中心からの距離の2次式で定式化可能になったことが分かった。但し、可変焦点レンズの歪曲収差は光軸に対して回転対称ではないことから、水平、垂直方向に分けて行うことにより、良好な定式化がで

ることが分かった。また、定式化の結果は測定結果と良好な一致をみた(図 A-2-2 参照)。

定式化の結果を用いて液晶可変焦点レンズの歪みの改善方法の提案と検証を行った。その結果、定式化により得られた歪み曲線の逆関数を2D表示側に適用することにより、液晶可変焦点レンズによる樽型歪みを大幅に改善できることを明らかにした(図 A-2-3 参照)。

(A-3) 高速2D画像表示システムの構築

高速2D表示装置として、ハイパワーLEDを光源に用いた小型LEDプロジェクタのアレイによるシステム構築を目指した。LEDを光源にすることにより、プロジェクタ光学系のコンパクト化と切り替え速度の高速化を達成できると予想される。

まず、小型LEDプロジェクタを設計・製作した(図 A-3-1 参照)。LED光源を用いることで、プロジェクタを小型化できていることが分かる。

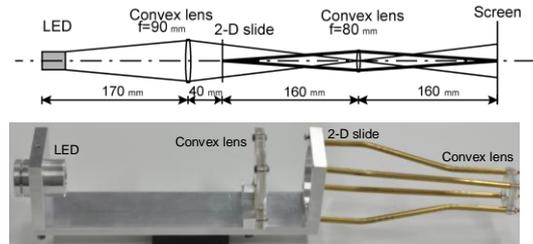


図 A-3-1 小型LEDプロジェクタ

次に、これを多数並べたアレイ構成とすることにより、高速2D表示装置を構築した(図 A-3-2)。LEDの高速性を活かすことにより、十分な高速描画性能が得られ、高速に2D表示できることを明らかにした。



図 A-3-2 LEDプロジェクタアレイ

(B-1) 2面間距離の制限

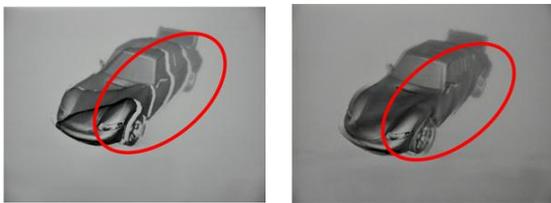
DFD表示技術においては、2面間が離れすぎると前後像が融合せず奥行き表現ができなくなる危惧がある。しかしながら、(B-2)において示すように、観察範囲が十分な広さを有する2D画像の枚数は実際には10枚程度

であり、その際の2面間の距離は小さく、十分に融合できる範囲であることが明らかとなった。

(B-2) 観察者の位置の制限

観察位置の制限に関して、静止画を多数枚積層した心理評価実験系を構築し、積層枚数と観察位置の制限範囲の把握に関する検討を行った。

まず、DFD表示を適用せず、輝度やテクスチャのブレンドを行わない場合には、観察位置に対する制限が強すぎて現実的ではないのに対して(図B-2-1(a)参照)、DFD表示を適用することにより、積層枚数が少ない場合であっても、きれいな画像で十分な奥行き表現が可能となった(図B-2-1(b)参照)。



(a) 未適用 (b) 適用
図 B-2-1 DFD 表示の適用による相違例

次に、輝度やテクスチャのブレンドを行った場合に、観察位置の制限に関して、積層枚数に対する指針を得ることを目指した。その結果、DFD表示技術を適用することにより、少ない積層枚数で適度な視域角を得られ、かつ視域角が飽和特性を示すことから積層枚数の指針への見通しを得た(図B-2-2参照)。

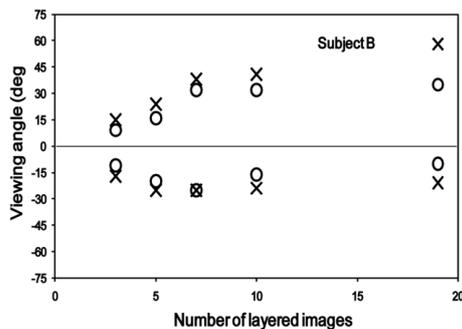


図 B-2-2 DFD 表示を適用した視域角の例
(○：検出限界，×：許容限界)

(B-3) 2重像の発生

DFD表示技術においては、2面間が離れるにしたがって、2重像が大きくなり、画像が劣化する危惧がある。しかしながら、(B-2)に示したように、観察範囲が十分な広さを有する2D画像の枚数は10枚程度であり、その際の2面間の距離は小さく、かつ奥行きがなだらかに変わっているため、被験者へのヒアリングの結果、視域角が小さい場合には許容

範囲内であることが明らかとなった。

以上、本研究では、空間へ3D表示を行うために当初予定した上記(A-1)~(A-3)および(B-1)~(B-3)の目的をほぼ達成でき、高臨場感環境を実現するために予定した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

(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22件)

1. Yamamoto H., Bando H., Kujime R. and Suyama S., Design of crossed-mirror array to form floating 3D LED signs, Stereoscopic Displays and Applications XXIII, 査読なし, Vol. 8288, 2012, 828820.
2. 陶山史朗, 液晶可変焦点レンズを利用した体積型三次元表示, 光学, 査読あり, 40, 2011, pp. 616-621.
3. Bando H., Suyama S. and Yamamoto H., Floating Display of LED Signage by Use of Crossed Mirrors, Proc. IDW '11, 査読なし, Vol. 2, 2011, pp. 935-938.
4. Maeda C., Toyama S., Saka N., Yamamoto H. and Suyama S., Active Liquid-Crystal Device for Arc 3D Display, Proc. IDW '11, 査読なし, Vol. 1, 2011, pp. 279-282.
5. Sonobe H., Sadakuni K., Yamamoto H. and Suyama S., Perceived depth change in protruding DFD (Depth-fused 3D) display, Proc. IDW '11, 査読なし, Vol. 1, 2011, pp. 303-306.
6. 板東宏記, 陶山史朗, 山本裕紹, LEDパネルの空中結像に向けた高い開口比を有するRMGAの検討, 映像情報メディア学会技術報告, 査読なし, Vol. 35, No. 22, 2011, pp. 3DIT2011-55 - IDY2011-21.
7. 園部博史, 定國溪, 山本裕紹, 陶山史朗, DFD(Depth-fused 3-D)表示の飛び出し知覚の評価 - 面間の距離による飛び出し知覚の変化 -, 映像情報メディア学会技術報告, 査読なし, Vol. 35, No. 22, 2011, pp. 3DIT2011-55 - IDY2011-22.
8. Sonoda T., Yamamoto H. and Suyama S., A new volumetric 3-D display using multi-varifocal lens and high-speed 2-D display, Stereoscopic Displays and Applications XXII, 査読なし, Vol. 7863, 2011, 786322.
9. Yamamoto H., Tsutsumi M., Yamamoto R., Kajimoto K. and Suyama S., Development of high-frame-rate LED panel and its applications for stereoscopic 3D display, Stereoscopic Displays and Applications XXII, 査読なし, Vol. 7956, 2011, 79560R.

10. Sadakuni K., Inoue T., Yamamoto H. and Suyama S., Perceived depth change between real objects with different visual acuities of both eyes, Proc. IDW'10, 査読なし, Vol. 2, 2010, pp. 1289-1292.
 11. Yamamoto H., Kimura T., Matsumoto S. and Suyama S., Viewing-Zone Control of Light-Emitting Diode Panel for Stereoscopic Display and Multiple Viewing Distances, Journal of Display Technology, 査読あり, Vol. 6, No.9, 2010, p. 359-366.
 12. Kaneko N., Suyama S. and Yamamoto H., Analysis of depth-of-field of stereoscopic cameras in lens-tilt configurations, Stereoscopic Displays and Applications XXI, 査読なし, Vol. 7524, 2010, pp. 75241I-1-75241I-10.
 13. Kikuchi K., Inoue T., Yamamoto H. and Suyama S., Distortion in Liquid-Crystal Varifocal Lens for Volumetric Three-Dimensional Display, Proc. IDW '09, 査読なし, Vol. 2, 2009, pp. 1161-1164.
 14. Kaneko N., Suyama S. and Yamamoto H., Continuous Control of Depth of Field Using Stereoscopic Lens-Tilt Imaging, Proc. IDW '09, 査読なし, Vol. 2, 2009, pp. 1165-1168.
 15. Inoue T., Yamamoto H. and Suyama S., Perceived Depth Change by Decreasing Visual Acuity in a Dominant Eye on Binocular Stereoscopic Imaging, Proc. IDW '09, 査読なし, Vol. 2, 2009, pp. 1189-1190.
 16. Yamamoto H., Nishimura H., Uchida K., Ono K., Hayasaki Y. and Suyama S., Depth Perception for Moving Pictures Shown on a Large LED Display with an Aperture Grille, Journal of the Society for Information Display, 査読あり, Vol. 17, No.12, 2009, pp. 1031-1036.
 17. 陶山史朗, 立体映像表示に関する概要および最近の動向 - 3D シネマの盛況を起爆剤に市場形成が進む理想的な 3D 表示技術の実用化に期待がかかる -, Semiconductor FPD World, 査読なし, Vol. 28, No.12, 2009, pp. 24-28.
 18. 井上卓也, 小林義征, 定國溪, 山本裕紹, 陶山史朗, 立体表示において片眼画像をぼかした場合に知覚される奥行きの変化 -二眼式立体表示における奥行き変化-, 映像情報メディア学会技術報告, 査読なし, Vol. 33, No.42, 2009, pp. 41-44.
 19. Yamaguchi K., Nitta M., Hayasaki Y., Suyama S. and Yamamoto H., Adjustment of Depth of Field of Binocular Cameras to Reproducible Depth with Stereoscopic LED Display, Japanese Journal of Applied Physics, 査読あり, Vol. 48, No.9, 2009, pp. 09LC01-1-09LC01-7.
 20. Imagawa T., Suyama S. and Yamamoto H., Construction of Visual Cryptography by Use of Polarization-Modulation Films, Japanese Journal of Applied Physics, 査読あり, Vol. 48, No.9, 2009, pp. 09LC02-1-09LC02-5.
- [学会発表] (計 79 件)
1. 久次米亮介, 双方向空中 LED 表示のための直交片面ミラーアレイの配置, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012.3.16, 早稲田大学 (東京都).
 2. 岡田裕也, 多焦点レンズを用いた体積型 3D 像におけるゴースト改善への一検討, 動的画像処理実用化ワークショップ 2012, 2012.3.9, 公立ほこだて未来大学 (函館市).
 3. 久次米亮介, 片面ミラーにより構成される直交ミラーアレイによる LED の空中像の角度依存性, レーザー学会学術講演会, 2012.2.1, T K P 仙台カンファレンスセンター (仙台市).
 4. 岡田裕也, 多焦点レンズ型 3D 表示方式のキーデバイスである偏光切替器のコントラスト改善, 2011 年映像情報メディア学会冬季大会, 2011.12.22, 芝浦工業大学 (東京都).
 5. 元木伸, パララックスバリア式立体ディスプレイを観察時の目の調節応答, 2011 年映像情報メディア学会冬季大会, 2011.12.22, 芝浦工業大学 (東京都).
 6. 山田直樹, アーク 3D 表示における立体像の奥行き知覚, 2011 年映像情報メディア学会冬季大会, 2011.12.22, 芝浦工業大学 (東京都).
 7. 山本裕紹 (招待講演), 二眼式と DFD 表示における通常と異なる奥行き知覚, 応用光学懇談会, 2011.12.13, 神戸大学 (神戸市).
 8. 瀧花周一郎, フルカラー LED パネルを用いたパララックスバリア式 3D 表示観察時の調節応答, 日本光学会年次学術講演会, 2011.11.28, 大阪大学 (吹田市).
 9. 多田慎司, 印刷型 DFD (Depth-fused 3-D) 表示における印刷濃度と知覚される奥行き, 日本光学会年次学術講演会, 2011.11.28, 大阪大学 (吹田市).
 10. 板東宏記, 直交ミラーアレイを用いた LED パネルの空中結像の角度依存性, 日本光学会年次学術講演会, 2011.11.28, 大阪大学 (吹田市).
 11. 外山智史, 二倍波振動型液晶プリズムの厚さと印加電界に対する偏向角特性, 日本光学会年次学術講演会, 2011.11.28, 大阪大学 (吹田市).
 12. 園部博史, 飛び出し DFD 表示方式の知覚される奥行き量の変化, 日本光学会年次学術講演会, 2011.11.28, 大阪大学 (吹田

- 市) .
13. 今井浩介, DFD 表示の奥行き知覚に対する絵画的要因の影響評価, 日本光学会年次学術講演会, 2011.11.28, 大阪大学 (吹田市) .
 14. Imai K., 3-D Viewer with Conversion of Side-by-side Images into Stacked Virtual Images, DHIP2011, 2011.11.10, Seoul National University (Seoul).
 15. Sonoda T., Floating volumetric 3-D display using multi-varifocal lens and high-speed 2-D display, DHIP2011, 2011.11.10, Seoul National University (Seoul).
 16. 陶山史朗 (招待講演), 立体ディスプレイ: 視覚系とデバイス技術, SID サマーセミナー, 2011.9.15, カリアック (浜松市) .
 17. Takibana S., Accommodation responses for a stereoscopic LED display when viewing at a long distance, ECVF2011, 2011.8.31, Centre des Congrès Pierre Baudis (Toulouse).
 18. 定國溪, DFD(Depth-fused 3-D)表示における片眼視力抑制下で知覚される奥行きの測定, 第 55 回システム制御情報学会 研究発表講演会, 2011.5.31, 大阪大学コンベンションセンター (吹田市) .
 19. 坂直紀, アーク 3D 表示により形成される立体像の奥行き知覚, 第 58 回応用物理学関係連合講演会, 2011.3.25, 神奈川工科大学 (厚木市) .
 20. 園田貴紀, 多焦点レンズと高速 2D 表示を用いた新たな体積型 3D 表示方式の提案, 動的画像処理実用化ワークショップ 2011, 2011.3.3, 四国大学交流プラザ (徳島市) .
 21. 前田主悦, DFD(Depth-fused-3-D)表示と二眼式表示を可能とする簡易型ビューアー, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 2010.12.15, 工学院大学 (東京都) .
 22. 大開弓梨子, 液晶可変焦点レンズにおける体積型立体表示法による収差の補正, 2010 年映像情報メディア学会冬季大会, 2010.12.15, 工学院大学 (東京都) .
 23. 大矢俊介, DFD(Depth-fused 3-D)現象を利用した体積型 3D 表示における視野角の評価, 日本光学会年次学術講演会, 2010.11.10, 中央大学 (東京都) .
 24. Yamamoto H., Perceived depth change by decreasing visual acuity in a dominant eye on binocular stereoscopic imaging, ECVF2010, 2010.8.26, École Polytechnique Fédérale (Lausanne).
 25. Sadakuni K., Estimation of perceived depth with different visual acuities for 3-D display using two fingers, ECVF2010, 2010.8.26, École Polytechnique Fédérale (Lausanne).
 26. 山本琢也, 異なる離型剤における液晶光偏向素子の散乱特性, 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 2010.3.18, 東海大学 (平塚市) .
 27. 井上卓也, 二眼式立体表示において片眼画像をぼかした場合に知覚される奥行きの変化, 日本光学会年次学術講演会, 2009.11.26, 朱鷺メッセ (新潟市) .
 28. 小林義征, DFD (Depth-Fused 3-D) 表示における視力差付与による奥行き知覚の変化, 日本光学会年次学術講演会, 2009.11.26, 朱鷺メッセ (新潟市) .
 29. 陶山史朗 (招待講演), 液晶可変焦点レンズ型 3D 表示システム, 日本光学会年次学術講演会, 2009.11.25, 朱鷺メッセ (新潟市) .
 30. Yamamoto H., Viewing-zone control of large full-color LED display for 3-D and digital signage, Proc. 2009 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2009.10.7, Hyatt Regency Houston (Houston).
 31. 脇田祥太, 高速な液晶光偏向素子における実効屈折率の時間依存性, 第 70 回応用物理学学会学術講演会, 2009.9.10, 富山大学 (富山市) .
 32. Kobayashi Y., Depth perception in depth-fused 3-D (DFD) display when both eyes have different visual acuity, ECVF2009, 2009.8.25, University of Regensburg (Germany).
 33. 陶山史朗 (招待講演), 立体ディスプレイ - 視覚系&光デバイス技術 -, SID サマーセミナー, 2009.8.3, ウエルシティ湯河原 (熱海市) .
 34. 陶山史朗 (招待講演), 3D 表示装置の最近の進展について - 光学的&視覚的アプローチの間 -, 第 1 回光情報技術研究会, 2009.7.17, 大阪科学技術センター (大阪市) .
 35. 菊池 華奈子, 液晶可変焦点レンズを用いた体積型 3D 表示における収差, 3 次元画像コンファレンス 2009, 2009.7.10, 東京大学 (東京都) .
- [図書] (計 1 件)
1. 陶山史朗, オーム社, 超臨場感システム (原島博監修), 2010, pp. 104-110 (第 4 章 4.2.2 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
 - (2) 研究分担者
 - (3) 連携研究者