

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00153

研究課題名(和文) 時分割表示方式電子ホログラフィの実時間3次元動画像再生とソフトウェア調整の研究

研究課題名(英文) Real-time electroholography using time-division multiplexing method, and software development for gradation representation

研究代表者

高田 直樹 (Takada, Naoki)

高知大学・教育研究部自然科学系理学部門・教授

研究者番号：50290713

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：電子ホログラフィは究極の三次元テレビになるものと期待されている。しかし、電子ホログラフィは、計算機合成ホログラムの計算量が膨大であり、未だ実用化に至っていない。13枚のGPUボードを搭載したマルチGPUクラスシステムを構築した。本システムに時空間分割法を実装し、約47万点からなる三次元物体のリアルタイム再生を実現した。さらに、本システムを用いて時分割表示カラー電子ホログラフィに1色あたり約21,000点からなる三次元物体を20fpsで再生することに成功した。また、時分割電子ホログラフィを応用して、階調表現の向上と膨大な物体点からなる三次元物体の再生像の高精細化を実現した。

研究成果の概要(英文)：Electroholography using computer-generated hologram (CGH) is considered to potentially realize the ultimate three-dimensional (3D) television. However, the practical use of real-time electroholography is limited by the complexity of CGH calculations and requires high-performance computational power. I developed the multi-GPU cluster system with 13 GPU boards and InfiniBand network. I implemented spatiotemporal division multiplexing electroholography to the developed system, and succeeded to display reconstructed 3-D movie consisting of 477,511 object points at 31 fps. Furthermore, fast time-division color electroholography at 20 fps is realized for a three-dimensional object comprising 21,000 points per color by using the developed multi-GPU cluster system. By applying time-division multiplexing method, I realized an easy-handling gradation representation of the reconstructed 3D object, and improved the image quality of the reconstructed 3D object comprising about 900,000 points.

研究分野：ホログラフィ

キーワード：電子ホログラフィ 三次元動画像再生 計算機合成ホログラム GPU 時分割表示 リアルタイム処理
高性能計算 並列分散計算

1. 研究開始当初の背景

ホログラムによる立体像は、自然な現象を再現しており、様々な角度から眺めることが可能で、視覚疲労も生じない。このことから、コンピュータによって作られたホログラム(計算機合成ホログラム(CGH))を用いて電子化した立体映像技術(電子ホログラフィ)は、「究極の三次元映像技術」になるものと期待されている。

しかし、CGHの計算量が膨大であること、画素ピッチが $1\mu\text{m}$ 以下の高精細な画像出力装置が存在しないことが、大きな問題となり未だ実用化されていない。

電子ホログラフィによる三次元テレビを実現するには、リアルタイム再生、および、カラー再生が必要不可欠である。また、実用化のためには、コストパフォーマンスに優れた汎用的なシステムで実現することが望ましい。再生像の高精細化、表現性、そして、取り扱いが容易な色調整など、解決しなければならない重要な課題が残っている。

2. 研究の目的

コストパフォーマンスに優れた時分割表示方式電子ホログラフィのリアルタイム再生を中心に扱う。GPUクラスタシステムによる計算高速化にとどまらず、時分割表示による残像効果を利用した時空間分割法により、さらなる高速化を実現させる。また、時分割表示方式のリアルタイムカラー再生は単色よりも3倍高速である必要があり容易ではない。高速なネットワークとGPUクラスタシステムを用いてリアルタイム再生を実現する。さらに、ソフトウェアによる再生像の色調整技術を確認し、多色化を目指す。

3. 研究の方法

次の(1)~(4)のリアルタイム三次元動画再生を行なう。また、(5)時空間分割表示による再生像の高精細化についても検討した。

(1)マルチGPUクラスタシステム

本研究では汎用的な電子ホログラフィ用マルチGPUクラスタシステムを構築した(図1)。GPU(NVIDIA GeForce GTX TITAN)を13枚搭載し、ネットワークにInfiniBand QDRを用いた。CGH計算を行なうCGH計算ノードは4ノードからなり、各ノードに3枚のGPUを搭載する。CGH計算ノードで計算されたCGHはCGH表示ノードに転送され、CGH表示ノードは受信したCGHを空間光位相変調器(SLM)上に表示し、空中に三次元動画を再生する。

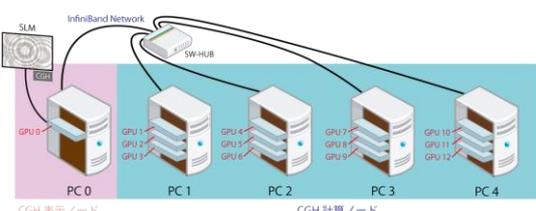


図1 マルチGPUクラスタシステム

(2)時空間分割電子ホログラフィ

図2のように、動画の各フレームにおいて、三次元物体の物体点データをいくつかに分割する。分割された物体点データの中で1つを選び、選ばれた物体データのみを用いてCGHを計算する。計算されたCGHを次々と切り替えて表示することで、残像効果により補間され、元の物体点数の多い三次元物体が再生される。図1のマルチGPUクラスタシステムに実装することで、さらに分割数倍の高速化が可能となる。

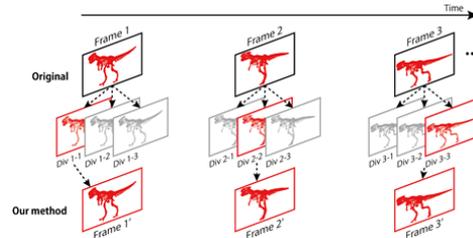


図2 時空間分割電子ホログラフィ

(3)時分割表示方式カラー電子ホログラフィ

CGHは波長に依存するため、三次元画像のカラー再生には、赤、青、緑のCGHが必要となる。3枚のSLMに、それぞれ、赤、青、緑のCGHを表示すれば良い。しかし、SLMは高額であり、光学系も大規模となる。そこで、図3のように、1つのSLMに赤、青、緑のCGHを時分割表示し、残像効果によりカラー再生を実現する。ここで、SLMに表示されたCGHとレーザー光の色が一致していなければならない。CGH表示ノードからUSB経由で液晶シャッターをコントロールし、SLMのCGH表示と液晶シャッターを同期させる。

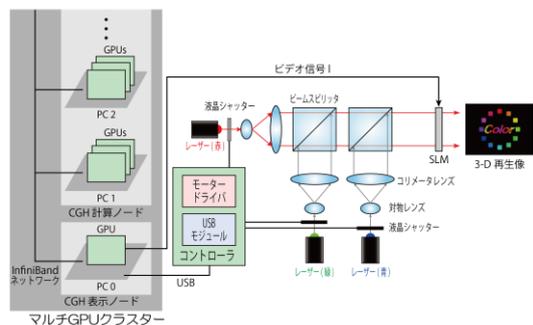


図3 カラー電子ホログラフィシステム

(4)重み付きバイナリCGHによる階調表現

重み付きバイナリCGH(BW-CGH)とは、白と黒で描かれたバイナリCGHにおいて、白い部分を灰色で描いたCGHである。灰色にすることで再生光を弱めることができ、灰色の階調値を変えることで再生像の明るさを自在に調節することが可能となる。ビットプレーン B^n によって再生される物体点の輝度が 2^n に比例するように、あらかじめ実験により光源に合わせてBW-CGHの灰色の階調値を準備しておく。BW-CGHによって構成されたビットプレーンを時分割表示することで、様々な輝度値 I を持つ物体点が再生される(図4)。

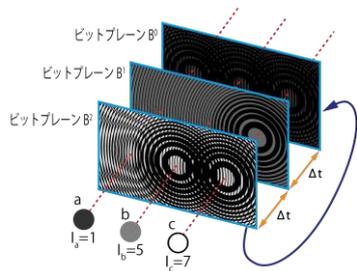


図4 BW-CGHによる階調表現

(5) 時空間分割表示による高精細化

時空間分割法を図5に示す. 三次元物体を空間に対して複数に分割する. 高精細化の場合, 分割された物体すべてについてCGHを作成する. 分割により1枚に記録される物体点数は減少し, CGHの劣化は低減される. 作成したCGHを次々と切り替えて空間光位相変調器(SLM)に表示する. 残像効果を利用することで, 物体点が補間され, 元の三次元物体を再生することが可能となる.

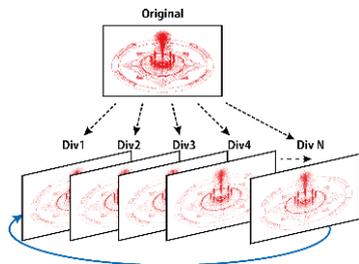


図5 時空間分割法による高精細化

4. 研究成果

(1) マルチGPUクラスタシステム

約10万点からなる三次元物体の動画を1秒間に約30フレームの速度で再生することに成功した. 実効速度は約40TFLOPSを達成し, CPU(Intel Core i7 4770)に対して約3千倍の高速化を実現した.

(2) 時空間分割電子ホログラフィ

図1のシステムを用いて, 図2の時空間分割電子ホログラフィにより, 三次元物体の動画再生を行なった. その結果, 約47万点からなる三次元物体「噴水」(6分割)の動画を, 毎秒31フレームの速度でリアルタイム再生することに成功した(図6).

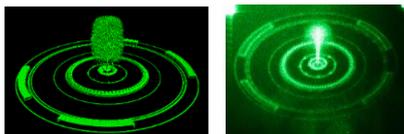


図6 再生像(477,511点)

(3) 時分割表示方式カラー電子ホログラフィ

図3のシステムを用いて, 時分割表示方式カラー電子ホログラフィによるカラー再生を行なった. その結果, 1色あたり21,000点からなる三次元物体の動画を毎秒20フレームの速度で再生することに成功した(図7).

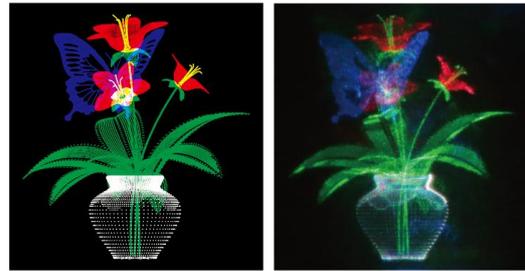


図7 時分割表示方式カラー電子ホログラフィによる再生像

(4) 重み付きバイナリCGHによる階調表現

3枚のBW-CGHをビットプレーン B^0 , B^1 , B^2 として用いて8階調を持つ三次元物体をDMDで再生した. また, 3枚のビットプレーン B^0 , B^1 , B^2 であるBW-CGHの灰色の階調値を, 35, 65, 110の場合, 60, 110, 170の場合, 90, 150, 255の場合としたときの再生像を図8(a), (b), (c)に示す. 光源の明るさを調整せず, BW-CGHの灰色の階調値を調整することにより, 階調を持つ三次元物体の再生像の明るさを自在に調整できることがわかる. なお, ビットプレーン B^0 , B^1 , B^2 の物体点数は, 7,419点, 7,020点, 7,020点である.

次に, BW-CGHをカラー再生に適用した. その再生像を図9に示す. 階調を持つカラー再生を実現している. 赤, 緑, 青のCGH計算プログラムにおいて, BW-CGHの灰色の階調値を調整することで, 再生像の色合いを調整することに成功している.

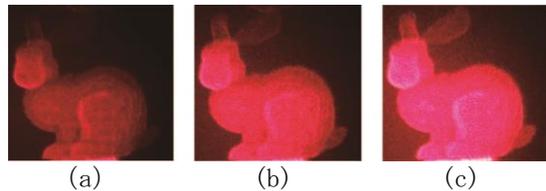


図8 BW-CGHによる再生像

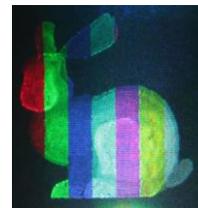


図9 BW-CGHによるカラー再生像

(5) 時空間分割表示による再生像の高精細化

約90万点からなる三次元物体「噴水」の静止画を, 時空間分割法により再生した結果を図10に示す. SLMとして, プロジェクタ(EPSON EMP-TW1000)に搭載されたLCDパネルを用いた. 図10(a)は元の三次元像である. 図10(b)は分割なしの再生像であり, 画質が劣化している. 図10(c), (d)は, 4, 8分割のときの再生像である. 8分割のとき, 高精細な再生像が得られていることがわかる.

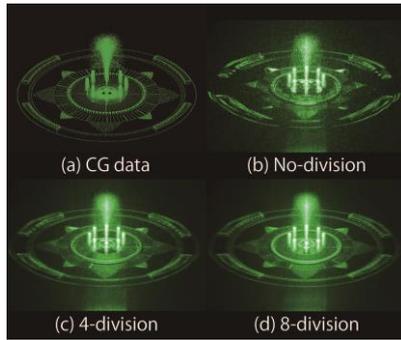


図 10 時空間分割表示による高精細化

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 19 件)

- ①H. Araki, N. Takada, S. Ikawa, H. Niwase, Y. Maeda, M. Fujiwara, H. Nakayama, M. Oikawa, T. Kakue, T. Shimobaba, and T. Ito, "Fast time-division color electroholography using a multiple-graphics processing unit cluster system with a single spatial light modulator", *Chinese Optics Letters*, 査読有, Vol. 15 Issue 12, pp. 120902- (2017). DOI:10.3788/COL201715.120902
- ②N. Takada, M. Tao, H. Sannomiya, T. Sakaguchi, Y. Maeda, H. Nakayama, M. Oikawa, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "High-Speed and High-Definition 3-D Holographic Movie Playback Using SSD and DMD without the Use of Cache Memory," *Proc. of the International Display Workshops (IDW'17)*, 査読有, vol.24, pp.915-917, (2017).
- ③T. Sakaguchi, N. Takada, H. Sannomiya, H. Ito, M. Fujiwara, Y. Maeda, M. Oikawa, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Electroholography of 3D-Gradation Movie Using Bit Planes Based on Binary-Weighted Computer-Generated Holograms and Multiple GPU Cluster System," *Proc. of the International Display Workshops (IDW'17)*, 査読有, vol.24, pp.918-919 (2017).
- ④M. Oikawa, N. Takada, H. Sannomiya, T. Sakaguchi, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Spatiotemporal Division Multiplexing Electroholography Using a GPU Cluster," *Proc. of the International Display Workshops (IDW'17)*, 査読有, vol.24, 3Dp1-18L, pp.920-921(2017).
- ⑤H. Sannomiya, N. Takada, T. Sakaguchi, Y. Maeda, H. Nakayama, M. Oikawa, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Electroholography Using Multiple GPU Cluster System with a Single Spatial Light Modulator and Gigabit Ethernet Network," *Proc. of the International Display Workshops (IDW'17)*, 査読有, vol.24, 3Dp1-19L, pp.922-923 (2017).
- ⑥(Invite) N. Takada, M. Fujiwara, C. W. Ooi, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "High-speed 3-D electro-holographic movie playback using a digital micromirror device", *IEICE Trans. Electron.*, 査読有, vol. E100-C, no.11, pp.978-983 (2017). DOI: 10.1587/transele.E100.C.978
- ⑦T. Shimobaba, N. Kuwata, M. Honma, T. Takahashi, Y. Nagahama, M. Sano, S. Hasegawa, R. Hirayama, T. Kakue, A. Shiraki, N. Takada, T. Ito, "Convolutional neural network-based data page classification for holographic memory.", *Applied Optics*, 査読有, vol. 56, pp.7327-7330 (2017). DOI: 10.1364/AO.56.007327
- ⑧M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, C. W. Ooi, S. Ikawa, Y. Maeda, H. Niwase, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Gradation representation method using binary-weighted computer-generated hologram based on pulse width modulation", *Chinese Optics Letters*, 査読有, Vol. 15, Issue 6, pp. 060901- (2017). DOI: 10.3788/COL201715.060901
- ⑨M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, S. Ikawa, H. Niwase, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Gradation representation method using binary-weighted computer-generated hologram", *Optical Engineering*, 査読有, Vol. 56, Issue 2, 023105 (2017). DOI: 10.1117/1.OE.56.2.023105
- ⑩T. Shimobaba, Y. Endo, R. Hirayama, Y. Nagahama, T. Takahashi, T. Nishitsuji, T. Kakue, A. Shiraki, N. Takada, N. Masuda, T. Ito, "Autoencoder-based holographic image restoration", *Applied Optics*, 査読有, Vol.56, Issue 13, pp. F27-F30 (2017). DOI:10.1364/AO.56.000F27
- ⑪M. Fujiwara, N. Takada, C.W. Ooi, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "High Definition Spatiotemporal Division Multiplexing Electroholography Using DMD," *Proc. of the 23rd International Display Workshops (IDW'16)*, 査読有, pp.1665-1666 (2016).
- ⑫H. Niwase, N. Takada, H. Araki, Y. Maeda, M. Fujiwara, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time electroholography using a multiple-graphics processing unit cluster system with a single spatial light modulator and the InfiniBand network," *Optical Engineering*, 査読有, Vol. 55, Issue 9, 093108 (2016). DOI: 10.1117/1.OE.55.9.093108

- ⑬T. Shimobaba, M. Makowski, Y. Nagahama, Y. Endo, R. Hirayama, D. Hiya, S. Hasegawa, M. Sano, T. Kakue, M. Oikawa, T. Sugie, N. Takada, and T. Ito, "Color computer-generated hologram generation using the random phase-free method and color space conversion," *Applied Optics*, 査読有, Vol.55, Issue 15, pp.4159-4165 (2016). DOI: 10.1364/AO.55.004159
- ⑭M. Fujiwara, N. Takada, H. Araki, H. Niwase, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Gradation Expression of Time-Division Color Electroholography using LCD Panels," *Proc. of the International Display Workshops (IDW'15)*, 査読有, pp.906-907 (2015).
- ⑮Y. Maeda, N. Takada, H. Niwase, H. Araki, M. Fujiwara, S. Ikawa, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Image Quality Improvement of Electroholography by Using Spatiotemporal Division Method," *Proc. of the 22nd International Display Workshops (IDW'15)*, 査読有, pp.908-909, Japan (2015).
- ⑯N. Takada, H. Niwase, H. Araki, Y. Maeda, M. Fujiwara, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-Time Electrography Using Multi-GPU Cluster System with a Single Spatial Light Modulator and Infiniband Network," *Proc. of the 22nd International Display Workshops (IDW'15)*, 査読有, pp.904-905 (2015).
- ⑰H. Araki, N. Takada, H. Niwase, S. Ikawa, M. Fujiwara, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time time-division color electroholography using a single GPU and a USB module for synchronizing reference light," *Applied Optics*, 査読有, Vol.54, Issue 34, pp.10029-10034 (2015). DOI: 10.1364/AO.54.010029
- ⑱庭瀬裕章, 藤原将人, 荒木啓充, 前田祐貴, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 高田直樹, "シングル空間光位相変調器用マルチGPUクラスタシステムによる計算機合成ホログラムの計算高速化," 第14回情報科学技術フォーラム (FIT2015), 査読有, 第1分冊, pp.41-44 (2015).
- ⑲(Invited) N. Takada, H. Niwase, H. Araki, M. Fujiwara, Y. Maeda, H. Nakayama, T. Kakue, T. Shimobaba, T. Ito, "Real-time spatiotemporal division multiplexing electroholography utilizing movie features," 2015 Collaborative Conference on 3D & Materials Research (CC3DMR), pp. 331-334 (2015).

[学会発表] (計 15 件)

- ①(招待講演) 高田直樹, 老川稔, 三宮廣海, 前田祐貴, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄,

伊藤智義, "汎用的なネットワークを用いた GPU クラスタシステムによるリアルタイム電子ホログラフィの検討," *ホログラフィックディスプレイ研究会会報 (HODIC)*, 金沢大学, 2017年11月17日, 金沢(2017).

②三宮廣海, 前田祐貴, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 高田直樹, "ギガビット・イーサネットを搭載したGPUクラスタシステムによるリアルタイム電子ホログラフィ," 3次元画像コンファレンス2017, P-8, 2017年7月7日, 千葉(2017).

③高田直樹, 伊藤弘紀, 坂口朋哉, 藤原将人, OOI CHUN WEI, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "重み付きバイナリ計算機合成ホログラムを用いた階調を持つ三次元物体の動画再生," 3次元画像コンファレンス2017, P-9, 2017年7月7日, 千葉(2017).

④(招待講演) 高田直樹, "GPUを用いた電子ホログラフィによる三次元動画再生," レーザー学会学術講演会 第37回年大会, H. 光情報処理3 ディスプレイ, H307pVIII06 徳島大学, 2017年1月7日(2017)

⑤(招待講演) 高田直樹, 荒木啓充, 庭瀬裕章, 猪川翔平, 前田祐貴, 藤原将人, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "GPUクラスタシステムによるリアルタイムカラー電子ホログラフィ," *ホログラフィックディスプレイ研究会会報 (HODIC)*, 高知大学, 2016年12月2日, 高知(2016).

⑥高田直樹, 荒木啓充, 猪川翔平, 庭瀬裕章, 藤原将人, 前田祐貴, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "レーザー光源を用いたGPUクラスタシステムによるリアルタイムカラー電子ホログラフィ," 3次元画像コンファレンス2016, P-5, 2016年7月14日, 大阪(2016).

⑦OOI CHUN WEI, 猪川翔平, 前田祐貴, 藤原将人, 荒木啓充, 庭瀬裕章, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 高田直樹, "DMDを用いた時空間分割表示方式電子ホログラフィによる再生像の高精細化," 3次元画像コンファレンス2016, P-6, 2016年7月14日, 大阪(2016).

⑧藤原将人, 前田祐貴, 荒木啓充, 猪川翔平, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 高田直樹, "DMDを用いた階調表現可能な時分割表示方式電子ホログラフィ," 3次元画像コンファレンス2016, P-7, 2016年7月14日, 大阪(2016).

⑨前田祐貴, 藤原将人, 庭瀬裕章, 荒木啓充, 猪川翔平, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 高田直樹, "バイナリ計算機合成ホログラムのデータ圧縮," 3次元画像コンファレンス2016, P-8, 2016年7月14日, 大阪(2016).

⑩藤原将人, 荒木啓充, 庭瀬裕章, 前田祐貴, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義,

高田直樹, "時分割表示方式電子ホログラフィによる階調を持つ像の再生," 第 14 回情報科学技術フォーラム (FIT2015), I-039, 2015 年 9 月 16 日, 愛媛大学 (2015).

⑪(招待講演) 高田直樹, 庭瀬裕章, 荒木啓充, 藤原将人, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "GPU クラスタシステムを用いた電子ホログラフィ," 第 16 回情報フォトニクス研究グループ研究会 (秋合宿), 千葉県御宿町, 2015 年 9 月 10 日 (2015).

⑫前田祐貴, 高田直樹, 庭瀬裕章, 荒木啓充, 藤原将人, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "時分割表示方式電子ホログラフィによる再生像の高精細化," 3 次元画像コンファレンス 2015, P-6, 2015 年 7 月 10, 横浜 (2015).

⑬藤原将人, 高田直樹, 庭瀬裕章, 荒木啓充, 前田祐貴, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "透過型 LCD パネルを用いた階調表現可能な時分割表示方式電子ホログラフィ," 3 次元画像コンファレンス 2015, P-5 2015 年 7 月 10, 横浜 (2015).

⑭庭瀬裕章, 高田直樹, 荒木啓充, 藤原将人, 前田祐貴, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "マルチ GPU クラスタシステムを用いた時空間分割多重化法によるリアルタイム電子ホログラフィ," 3 次元画像コンファレンス 2015, P-4, 2015 年 7 月 10, 横浜 (2015).

⑮荒木啓充, 庭瀬裕章, 藤原将人, 前田祐貴, 高田直樹, 中山弘敬, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, "マルチ GPU クラスタシステムを用いた時分割表示方式によるリアルタイムカラー電子ホログラフィ," 3 次元画像コンファレンス 2015, P-3, 2015 年 7 月 10, 横浜 (2015).

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 情報処理装置, 立体像表示装置およびプログラム

発明者: 高田直樹, 前田祐貴, 伊藤智義

権利者: 高知大学, 千葉大学

種類: 特許

番号: 2016-167590

出願年月日: 2016 年 8 月 30 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://whale.is.kochi-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 直樹 (TAKADA NAOKI)

高知大学・教育研究部自然科学系・教授

研究者番号: 50290713

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号:

(4) 研究協力者

()