

平成30年6月27日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26790064

研究課題名(和文) 奥行き数メートルを再生できる大型ホログラム記録技術の開発

研究課題名(英文) Large hologram printing technology for wide 3D space reconstruction

研究代表者

涌波 光喜(Wakunami, Koki)

国立研究開発法人情報通信研究機構・電磁波研究所電磁波応用総合研究室・主任研究員

研究者番号：70726140

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)：本研究では、波面印刷に基づくホログラムプリンタ及びその応用に関する研究開発を行った。開発したホログラムプリンタは、最大25cm四方で約4,800億画素のホログラムデータを反射型ホログラムとして記録することができる。また、計算機で設計した反射特性を持つホログラフィック光学素子(HOE)をホログラムプリンタで作製できることに着目し、凹面ミラーアレイや軸外し凹面鏡と同機能を有するHOEを作製した。これらのHOEはライトフィールドディスプレイや投影型ホログラフィックディスプレイ用の光学スクリーンとして利用でき、自由な奥行き3D映像を指定の観察位置に対して提示できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, a holographic printing technique based on wavefront recording has been developed. A holographic printer can fabricate a reflection-type hologram at 25cm of hologram size with 480 billion pixels of computer-generated hologram data. A potential to fabricate holographic optical elements (HOEs) with digitally designed optical function was also focused. A concave-mirror array and off-axis concave-mirror functions were implemented on the fabricated hologram. These HOEs were used as the optical screens for a lightfield 3D display and a projection-type holographic 3D display. The later display system reconstructs the holographic 3D image over 1m away from the HOE screen for reconstruction of deep 3D space.

研究分野：ホログラフィ

キーワード：ホログラフィ 計算機合成ホログラム ホログラフィック光学素子

1. 研究開始当初の背景

ホログラフィ技術を用いて計算機上の 3D モデルを静止画として記録する場合、ホログラフィックステレオグラム(以下 HS)と呼ばれる記録法が主流で、既に海外では商業レベルにまで技術が成熟している。しかし HS は光線再生をベースとしており、ホログラム面から離れるほど光線のサンプリングや回折の影響を受けて再生像がぼけてしまう。

奥行きが深い 3D 空間を再生できる出力を実現するためには、従来の HS ベースの記録法ではなく、3D 空間の光の伝搬を計算し、それを波面再生に基づいて記録・再生する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では奥行きが深い像再生が可能な大型ホログラム記録技術を実現する。再生されたホログラムをのぞくと、あたかも広大な空間が広がっているように見える新しい表現技術を確立する。大きさ 30cm 四方の単色記録を想定し、計算するホログラムはおよそ 1,000 億画素とする。これを実現するために、(1)記録する光波面の生成と記録技術の開発、(2)マルチコアプロセッシングによる光波面計算の高速化を実現する。

3. 研究の方法

図 1 に本研究を通して開発したホログラムプリンタの光学系の概略図を示す[①]。開発したホログラムプリンタは波面印刷技術[②-④]に基づいている。コリメートされたレーザー光を偏光ビームスプリッタ (PBS) で分岐し、一方の光は空間光変調器 (SLM) に表示された計算機合成ホログラム (CGH) を光学再生することで所望の波面を物体光として生成する。もう一方の光はホログラム記録材料の反対側から参照光として入射し、反射型ホログラムを形成する。記録位置を XY ステージで走査しながら記録位置に応じて CGH のデータを切り替えることで、SLM の解像度を超越する大型かつ高画素の光波面の記録が可能になる。

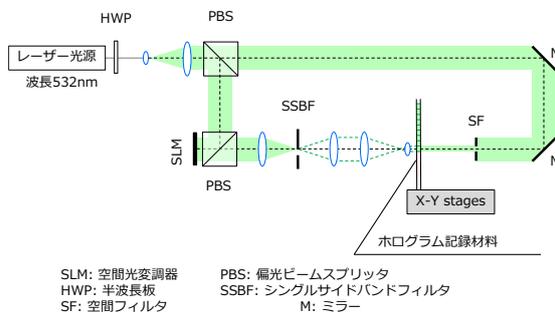


図 1. ホログラムプリンタの光学系

SLM に表示する CGH は、計算機上の 3D データがホログラム面上で作り出す光の複素振幅分布をもとに計算する。対象が実物体の場合は、多視点画像などの光線情報から CGH を計算することができる[図 2]。20cm 四方のホ

ログラムの記録には約 3,000 億画素の CGH を計算する必要がある。本研究では、東京工業大学学術国際情報センターが提供するスーパーコンピュータ TSUBAME[⑤]を用いて 200 並列を超える並列 CGH 計算環境を構築した。ホログラムプリンタは CGH の計算方法を制限しないが、本研究では主に光線サンプリング (RS) 面を用いた CGH 計算法を用いた[⑥]。これにより、RS 面とホログラム面との距離にも大きく依存するが、伝搬距離 0 であればおよそ 1 時間程度で光線データからホログラム面全面の CGH データのエンコードが可能となった。なお、RS 面上の光線データのレンダリングにかかる時間は含めていない。

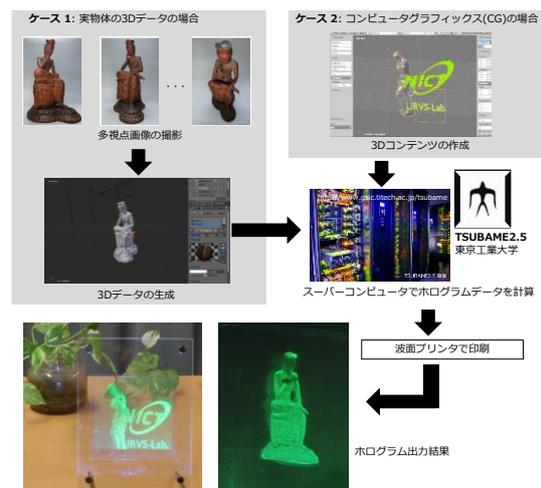


図 2. ホログラム作製の流れ

4. 研究成果

図 3 に本研究を通して開発したホログラムプリンタで作製したホログラムの例を示す。現在のホログラムプリンタでは、最大で約 25cm 四方の大きさのホログラムを作製することができる。ホログラムは反射型で波長選択性を持つため、再生には白色の LED といった一般的な光源でも再生することができる。

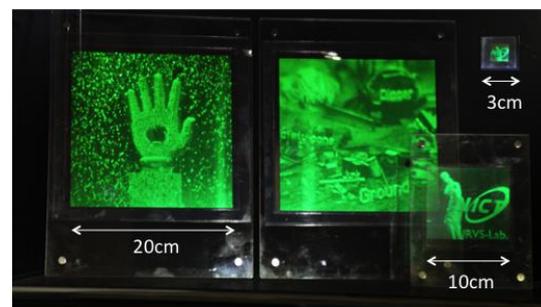


図 3. ホログラムの再生例

ホログラムプリンタで作製されたホログラムから再生される 3D 映像の解像度は、主に(1)CGH で決まる解像度、(2)ホログラムプリンタに起因する波面の劣化、(3)光源に起因するボケの 3 つの要因に左右される。本研究では(2)の要因について、微小ホログラム

間の位相の整合性と人間の視力を考慮したセル構造の視認性に着目し、微小ホログラムをオーバーラップさせながら記録[図4]することで、セル構造がシームレスかつ空間解像度の高いホログラムの記録が可能であることを発表した[①]。

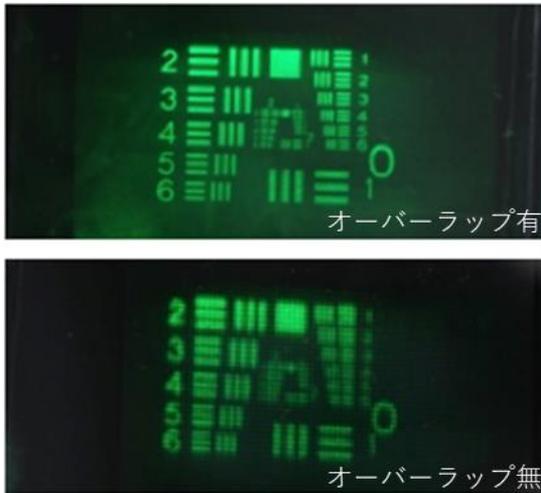


図4. オーバーラップ記録の例

また、本研究では開発項目に掲げていなかったが、最終年度にはホログラムのフルカラー記録にも取り組んだ。図5にフルカラーで記録したホログラムの再生像の例を示す。再生光の色は照明光源のスペクトルに大きく依存するため、今後は照明光に応じた記録条件の最適化を図る必要がある。

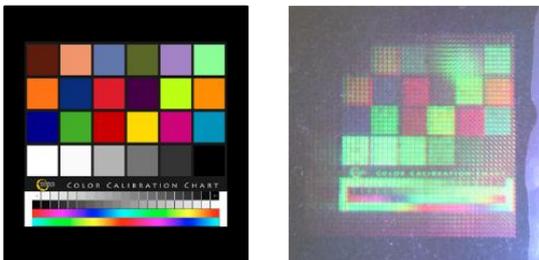


図5. フルカラー記録の再生例

本研究で開発したホログラムプリンタは、3Dデータの記録だけでなく、所望の光学機能を持つホログラフィック光学素子(HOE)の作製にも応用できることが分かった。通常のHOEの作製では、レンズやミラーといった光学素子を用いて物体光を形成する必要があるが、その光学素子が大型で高価な場合が多い。一方、ホログラムプリンタでは、CGHから物体光を生成するため、物体光を形成するための新たな光学素子を必要とせず、CGHから直接HOEの作製が可能となる。図6に凹面ミラーアレイを作製した例を示す。この凹面ミラーアレイと等価なHOEをスクリーンとして、シームレスなライトフィールドディスプレイの開発も行った[⑦]。

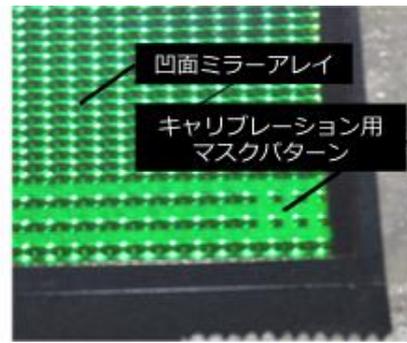


図6. 凹面ミラーアレイの作製例

また、図7に同じくHOEとして軸外しの凹面鏡を作製した例を示す。このHOEを投影されたホログラム映像を所定の観察位置に集光する光学スクリーンとして応用することで、シームレスな投影型ホログラフィック3Dディスプレイの開発も行った[⑧]。図7(下図)は、HOEの奥1mの位置にホログラム映像が結像している例を示している。映像の結像位置はホログラフィックプロジェクタ側で自由に設定できることから、当技術はヘッドアップディスプレイへの応用などが期待できる。

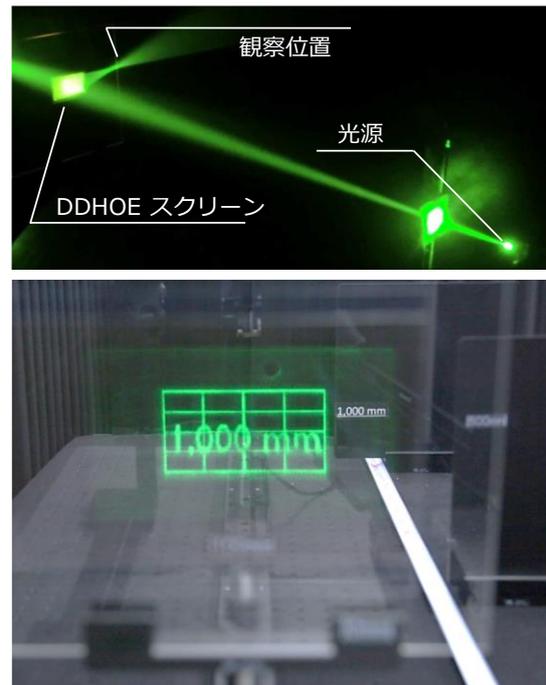


図7. 軸外し凹面鏡の効果(上図)と投影型ホログラフィック3Dディスプレイの再生例

<引用文献>

- ① K. Wakunami, Wavefront printer by using cell overlapping technique, International display manufacturing conference & 3D systems and applications, 2015
- ② T. Yamaguchi, O. Miyamoto, & H. Yoshikawa, Volume hologram printer to record the wavefront of three-dimensional objects, Opt. Eng., Vol.51, No.7, 2012

- ③ Nishi, W & Matsuashima, K., A wavefront printer using phase-only spatial light modulator for producing computer-generated volume holograms, Proc. SPIE, 90061F, 2014
- ④ Kim, Y. et al., Seamless full color holographic printing method based on spatial partitioning of SLM, Optics Express, Vol.23, No.1, 2015
- ⑤ <http://www.gsic.titech.ac.jp/en>
- ⑥ Koki Wakunami, and M. Yamaguchi, Calculation for computer generated hologram using ray-sampling plane, Opt. Exp. Vol.19, No.9086, 2011
- ⑦ Ryutaro Oi, Ping-Yen Chou, Jackin Boaz Jessie, Koki Wakunami, Yasuyuki Ichihashi, Makoto Okui, Yi-Pai Huang and Kenji Yamamoto, Three-dimensional reflection screens fabricated by holographic wavefront printer, Optical Engineering, Vol.57, No.6, 2018
- ⑧ Koki Wakunami, et al., Projection -type see-through holographic three -dimensional display, Nature Communications, 査読有, Vol.7, No. 12954, 2016

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 2 件)

- ① Ryutaro Oi, Ping-Yen Chou, Jackin Boaz Jessie, Koki Wakunami, Yasuyuki Ichihashi, Makoto Okui, Yi-Pai Huang and Kenji Yamamoto, Three-dimensional reflection screens fabricated by holographic wavefront printer, Optical Engineering, 査読有, Vol.57, No.6, 2018, pp.061605-1 – 061605-8, DOI:10.1117/1.OE.57.6.061605
- ② Koki Wakunami, et al., Projection -type see-through holographic three -dimensional display, Nature Communications, 査読有, Vol.7, No. 12954, 2016, pp.1-7, DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms12954>

[学会発表] (計 14 件)

- ① 涌波 光喜, 投影型ホログラフィック 3D ディスプレイ、ホログラフィックディスプレイ研究会、2017
- ② 涌波 光喜, HOPTECH について -波面印刷技術から投影型ホログラフィック 3D 映像技術まで-, 第 42 回光学シンポジウム、2017
- ③ Koki Wakunami, Projection-type holographic 3D display, SID Display week 2017, 2017
- ④ Koki Wakunami, Application of wavefront printer -from static 3D visualization to projection-type holographic display-, OSA Digital holography and 3-D imaging, 2017

- ⑤ Koki Wakunami, Projection-Type Three-Dimensional Displays with Holographic Screen Fabricated by Wavefront Printer, International Display workshop, 2017
- ⑥ 涌波 光喜, NICT における立体映像技術開発について～光線再生型ディスプレイから投影型ホログラフィックディスプレイまで～、応用光学懇談会、2017
- ⑦ Koki Wakunami, et al., Projection-Type Three-Dimensional Displays with Holographic Screen Fabricated by Wavefront Printer, SPIE Defense + Commercial Sensing, 2016
- ⑧ Koki Wakunami, Projection-Type Three-Dimensional Displays with Holographic Screen Fabricated by Wavefront Printer, International Symposium on Optical Memory, 2016
- ⑨ Koki Wakunami, See-through holographic 3D projection technique, Digital holography and information photonics, 2016
- ⑩ Koki Wakunami, et al., Projection-type holographic three-dimensional display, The 8th international conference on 3D systems and applications, 2016
- ⑪ 涌波 光喜, 波面印刷技術とその応用について、映像情報メディア学会立体映像研究会、2016
- ⑫ Koki Wakunami, Wavefront printer by using cell overlapping technique, International display manufacturing conference & 3D systems and applications, 2015
- ⑬ Koki Wakunami, Computational holography based on Ray-Wavefront conversion for a high quality 3D reconstruction, WIO2014, 2014
- ⑭ Koki Wakunami, et al., Computational holography based on ray-wavefront conversion on NICT electronic-holography system, IMID 2014, 2014

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

- ① 名称：ホログラム記録制御装置
発明者：涌波光喜、市橋保之、佐々木久幸、大井隆太郎、妹尾孝憲、山本健詞
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2015-095297
出願年月日：2015 年 5 月 8 日
国内外の別：国内
- ② 名称：ホログラムスクリーン及びその製造方法
発明者：涌波光喜、市橋保之、佐々木久幸、大井隆太郎、妹尾孝憲、山本健詞
権利者：同上

種類：特許
番号：特願 2015-095298
出願年月日：2015年5月8日
国内外の別：国内

- ③ 名称：ホログラムデータ生成装置およびそのプログラム
発明者：涌波光喜、市橋保之、佐々木久幸、大井隆太郎、妹尾孝憲、山本健詞
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2015-209713
出願年月日：2015年10月26日
国内外の別：国内
- ④ 名称：ホログラムデータ生成装置及びそのプログラム
発明者：涌波光喜、市橋保之、佐々木久幸、大井隆太郎、妹尾孝憲、山本健詞
権利者：同上
種類：特許
番号：特願 2015-210488
出願年月日：2015年10月27日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

涌波 光喜 (WAKUNAMI, Koki)
国立研究開発法人情報通信研究機構
電磁波研究所電磁波応用総合研究室・主任
研究員
研究者番号：70726140