

機関番号：32665

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760265

研究課題名（和文）

ホログラフィによる像が浮き上がるディスプレイの広視域化

研究課題名（英文）

Wide viewing angle floating image display with computer-generated hologram

研究代表者

山口 健（YAMAGUCHI TAKESHI）

日本大学・理工学部・助手

研究者番号：90434125

研究成果の概要（和文）：本研究では、像の浮き出るディスプレイを計算機合成ホログラムにおいて実現した。初めに、平面形状のホログラムについて、3種類の光学モデルの計算機合成ホログラムを作製し、その再生像を評価した。次により広視域なディスプレイを実現するために、形状を半円筒にしたホログラムの光学モデルを考案した。隠面処理手法を改良することで、約180度の視域でディスプレイ面から飛び出る像が欠けや重なりが生じる事無く観察することができた。

研究成果の概要（英文）：In this research, I have achieved the floating image display with the computer-generated hologram (CGH). At first, I have investigated the 3 types CGHs which display the floating image. Second, to increase the viewing angle, the CGH shape is changed from the flat type to concave semi-cylindrical type. Also, with the modified hidden surface removal, one could observe proper reconstructed image at each viewpoint.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電子デバイス・電子機器

キーワード：ホログラフィ，計算機合成ホログラム，広視域，実像再生，フリンジプリンタ，3次元ディスプレイ，高速計算

1. 研究開始当初の背景

3次元画像表示技術の一つであるホログラフィは、光の干渉・回折を利用して物体の全ての情報を記録再生する技術であり、両眼視差、輻輳、焦点調節などの人が立体視をするときの生理的要因を全て満たすことができる。この光の干渉を計算機により計算をさせてホログラムを作製する技術があり、それにより出力されたものは計算機合成ホログラムと呼ばれている。近年、NICT(情報通信研

究機構)でも計算機合成ホログラムによるディスプレイの研究がされており、3次元ディスプレイの開発が盛んに行われるようになってきている。

この計算機合成ホログラムは高分解能・高解像度の出力装置を必要とするため、大型のものは報告されていない。また、ホログラフィが3次元の像を空間に再生できる技術でありながら、ほとんどの場合ホログラム面よりも奥に像を再生している。この場合観察者

はホログラムを通して像を観察するため、空間に像があることを認識しづらく、ホログラフィの特性を十分に表すことができない。しかし、再生像をホログラム面より手前に表示させようとする、ホログラム面での物体の回折角が大きくなってしまい出力できなくなる。

我々は、計算機合成ホログラムの出力装置として、高分解能のホログラム用のプリンタの開発を行っている。このプリンタは、画素ピッチが $0.61 \mu\text{m}$ 、 1M pixel あたりの描画時間も 0.8 秒と、他の研究されているホログラム用プリンタと比べても抜きん出ている。そこで、このプリンタを用いてディスプレイから浮き上がる像の再生を行おうと考えた。

2. 研究の目的

ディスプレイを感じさせない 3 次元像表示システム実現のため、像をディスプレイの手前の空間に再生させる方式の検討を行う。この実現のため、申請者の有するホログラム用プリンタ、計算機合成ホログラムに関する豊富な経験を駆使する。また、このディスプレイにより再生される像の視域を広げるため、半円筒状のディスプレイ面を持つアルコールホログラム方式を適用する。その目的は大きく以下の 3 つに大別される。

(1) 平面型の計算機合成ホログラムでの飛び出す像の再生

像をホログラム面より前に飛び出させるため、計算機合成ホログラムの光学モデルを変更する。

(2) 半円筒型ディスプレイシステムのための光学モデルの作成

ディスプレイの視域を広げるため、アルコールホログラムと呼ばれる半円筒形状のディスプレイ方式に変更する。

(3) 再生光学システムの開発

アルコールホログラム方式での像再生における、再生用光源のミラーシステム的设计・制作を行う。

3. 研究の方法

(1) 平面型ディスプレイの検討

像がディスプレイ面よりも飛び出る計算機合成ホログラムの検討として、まず平面型のホログラムについて光学モデルを作成する。作成する光学モデルを図 1~3 に示す。

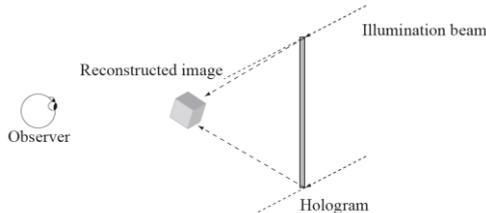


図 1 並行参照光を用いた光学モデル

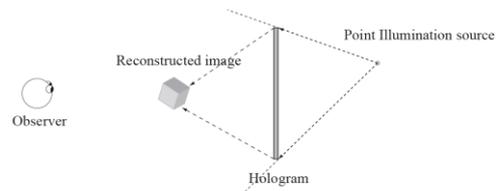


図 2 点光源の参照光を用いた光学モデル

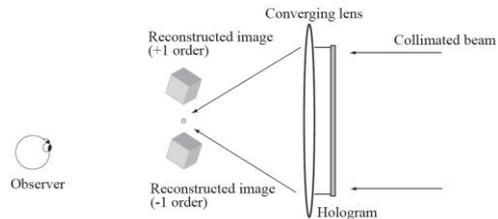


図 3 共役再生による光学モデル

再生される像は 3 次元像であり、視点を動かした際には視点に応じた視差画像が見えなくてはならない。しかし、1 つの視点から隠面処理した 3 次元オブジェクトデータを用いると、視点を動かしたときに像の欠落や重なりが起きてしまう。そこで、像が浮き上がるホログラムに対応した隠面処理を新たに提案する。オブジェクトデータは隠面処理された 2 次元透視図に奥行き情報を加えて行うが、図 4 のようにオブジェクトデータを取得するカメラ平面とホログラム平面が異なる。そこで、干渉縞を計算する際オブジェクトデータを入れ替えることで、正しく隠面処理された像を再生できるようにする。

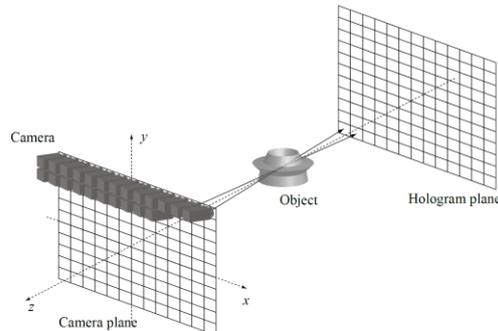


図 4 平面型ホログラムの隠面処理

(2) ホログラム用プリンタの改良

本研究では図 5 に示すホログラフィックプリンタを用いる。このホログラム用プリンタは、 $L3$ と $L4$ レンズにより液晶(LCoS)に表示された画像を縮小結像させ乾板に記録することで、出力するホログラムの高精細化を図っている。現在液晶の解像度はフルHD(1920×1080 pixel)であり、画素ピッチは $7.0 \mu\text{m}$ である。これを、 $L3$ 、 $L4$ レンズを用いて $13/150$ に縮小することで、 $0.61 \mu\text{m}$ ホログラム出力が可能となっている。また、X-Y ステージを用いて分割露光することで大型のホログラムを記録することが可能であり、

現在は最大 200 mm x 200 mm までのホログラムが記録可能である。再生像の大きさを向上させるためには、出力されるホログラムの空間分解能の向上が必要不可欠である。そこで、プリンタの改良も並列して行うことにより、再生像の大きさの向上を図る。

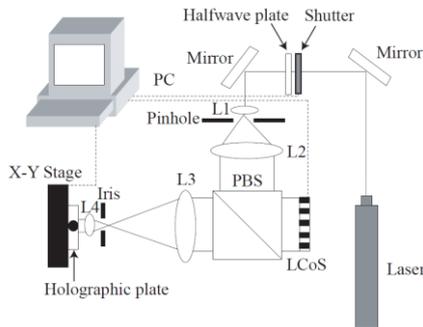


図 5 ホログラム用プリンタの光学系

(3) 半円筒型ホログラムによる視域の拡大

ホログラムを用いて像を観察する際には、観察者の視点と像を結ぶ直線上にホログラムがなくてはならない。このため、平面型のホログラムではホログラムサイズを大きくする必要があるが、計算量や出力時間が増大するため現実的ではない。そこで、図 6 のような半円筒型のホログラム光学モデルを構築する。半円筒形状にすることで、図 7 のように観察者の視点を動かした際にも、視点と再生像の直線上にホログラムが存在するため小さいホログラムで広視域を実現することができる。参照光として点光源を用いた光学モデルを考案し、干渉縞生成のソフトを製作する。

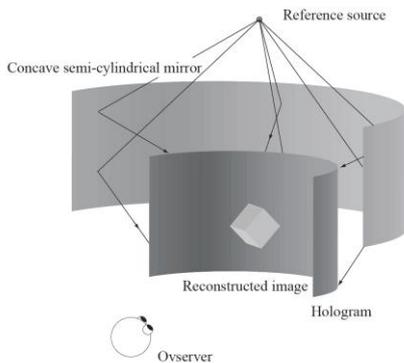


図 6 半円筒型ホログラムの光学モデル

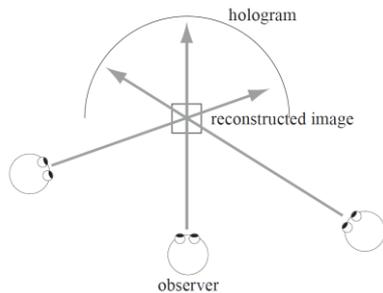


図 7 ホログラムの視域

光学モデルの変更するため、既存の隠面処理手法を用いて干渉縞を生成すると像の欠けや重なりが起きてしまう。そこで、隠面処理手法を半円筒形型に改良することで、180度近い視域のどこから像を見ても欠落や重なりのないようにする。図 8 のようにカメラ面とホログラム面を設定し、オブジェクトを通して対象の位置のオブジェクトデータを干渉縞計算に用いることで隠面処理が正しく行われるようにする。

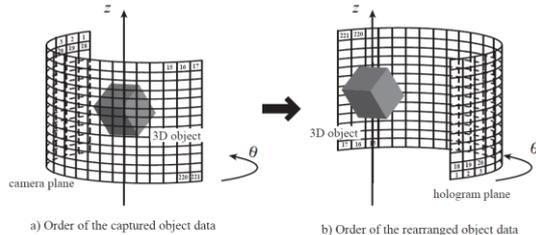


図 8 半円筒型ホログラムの隠面処理

(4) 再生光学系の設計と製作

再生光学系としては、図 6 に示すようにホログラムの外側からそれぞれの面に対して同じ角度で照明光を入射させなくてはならない。そこで、図のようにホログラムの外側に半円筒状のミラーを配置する。光源としては単波長性のよいレーザを用いることで、像のボケを軽減させる。

4. 研究成果

(1) ホログラム用プリンタの改良

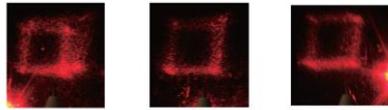
空間分解能の向上のため、L3, L4 レンズを交換した。これにより、縮小倍率が 13/150 から 1/16 に向上させることができた。ホログラム面上での回折角も 32.8 度から 48.6 度 (@660 nm) に向上し、より大きな像を再生可能になった。

(2) 平面型ディスプレイの検討

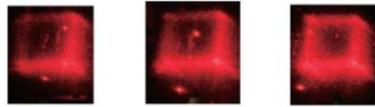
点光源数 600 の立方体を記録オブジェクトとして、図 1~3 の光学モデルの平面型ホログラムを作成した。干渉縞の計算に用いた PC のスペックは、CPU: Intel Core(TM) i7 920, 2.67 GHz, GPU: GeForce GTX 285 である。230,400 x 228,960 pixel の干渉縞をそれぞれ 3.2 時間で計算した。計算には GPU による並列計算を用いて、計算の高速化を図った。また、ホログラム用プリンタを用いた出力にはそれぞれ 11.5 時間を要した。

出力されたホログラムの再生像を図 9~11 に示す。再生された像は、計算時に設定したホログラムからの距離に再生され、視点に応じた視差像を観察することができた。また、それぞれの再生像の視域は、図 1 の光学モデルのホログラムは 17.5 度、図 2 の光学モデルのホログラムは 7.75 度、図 3 の光学モデルのホログラムは 9.80 度となった。ホログラ

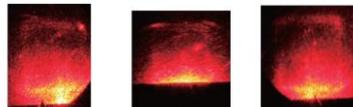
ムのサイズとオブジェクトの大きさから決定される理論値(18.0度)と比較すると、図2, 3のホログラムの視域はかなり狭いものとなった。



a) Left b) Center c) Right
図9 平面型ホログラムの再生像
(参照光点光源)



a) Left b) Center c) Right
図10 平面型ホログラムの再生像
(参照光点光源)



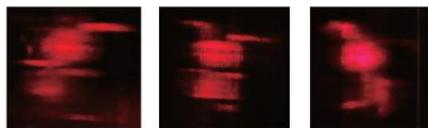
a) Left b) Center c) Right
図11 平面型ホログラムの再生像
(参照光点光源)

(3) 半円筒型ホログラムによる視域の拡大
像が浮かび上がるホログラムの広視域化として、図5に示す光学モデルのホログラムを作成した。干渉縞の計算には、PC (CPU: Intel Core(TM) i7 980X, 3.33 GHz, GPU: GeForce GTX 480) を用いて、記録物体(図12)の点光源数 18,000, 画素数 714,240 x 136,080 pixel の干渉縞を約 45 時間で計算した。ホログラム用のプリンタを用いた出力にかかった時間は、約 37 時間である。

出力されたホログラムの再生像を図13に示す。再生像は約170度の視域を持っており、視点に応じた隠面処理された物体を観察することができた。



a) Left (-65°) b) Center c) Right (65°)
図12 半円筒型ホログラムのオブジェクト



a) Left (-65°) b) Center c) Right (65°)
図13 半円筒型ホログラムの再生像

(4) 再生光学系の設計と製作
半円筒ホログラムの再生装置として、図14,15に示すような装置を作成した。ホログ

ラム全体を照明するため、半円筒ミラーと毎秒 1,800 回転する回転ミラーを用いている。光源のレーザには 660 nm の赤色のダイオードレーザを用いている。この光学系を用いることで、約 170 度の視域を実現することができた。

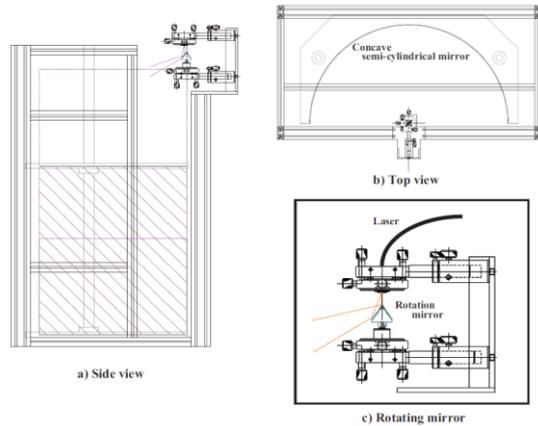


図14 半円筒型ホログラムの再生光学系

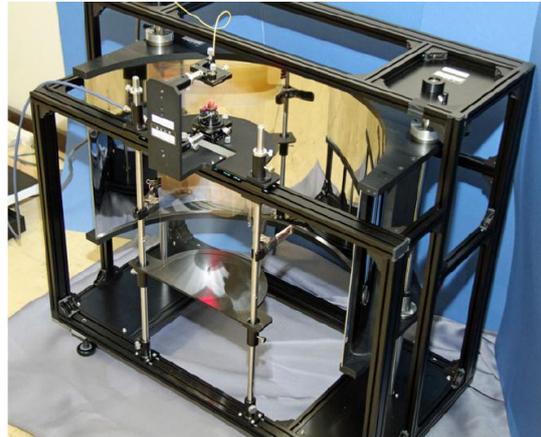


図15 半円筒型ホログラムの再生光学系の外観 (写真)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計1件)

Hiroshi Yoshikawa and YAMAGUCHI TAKESHI, "Computer-generated holograms for 3D display," Chinese Optics Letters, Vol. 7, Issue 12, pp. 1079-1082, 2009 (査読有)

[学会発表] (計7件)

- ① 小澤浩行, 山口健, 吉川浩, “実像再生型半円筒計算機合成ホログラムの作製2～再生像の拡大～”, 映像表現フォーラム May 11 2011 (東京・電機大)
- ② Takeshi Yamaguchi, Hiroyuki Ozawa

- and Hiroshi Yoshikawa,
"Computer-generated "Alcove"
hologram to display floating image
with wide viewing angle," SPIE
Photonics West, Jan. 26 2011 (米国・
サンフランシスコ)
- ③ 小澤浩行, 山口健, 吉川浩, "実像再生型
半円筒計算機合成ホログラムの作製",
ホログラフィックディスプレイ研究会,
Sep. 10 2010 (千葉・日大)
- ④ 小澤浩行, 山口健, 吉川浩, "フリンジプ
リントを用いた実像再生型計算機合成ホ
ログラムの検討", 3次元画像コンファ
レンス 2010, Jul. 9 2010 (東京・東大)
- ⑤ Takeshi Yamaguchi, Tomohisa Ito, and
Hiroshi Yoshikawa, "Floating image
display with high-resolution
computer-generated hologram," SPIE
Photonics West, Jan. 27 2010 (米国・サ
ンフランシスコ)
- ⑥ 伊藤倫久, 山口健, 吉川浩, "高解像度
CGH の実像再生における広視域化", ホ
ログラフィックディスプレイ研究会,
Sep. 4 2009 (千葉・日大)
- ⑦ Takeshi Yamaguchi, Masashi Matuoka,
Tomohiko Fujii and Hiroshi Yoshikawa,
"Development of fringe printer and its
practical applications," 8th
International Symposium on Display
Holography, Jul. 16 2009 (中国・深圳)

[その他]

ホームページ等

<http://panda.ecs.cst.nihon-u.ac.jp/~ty/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 健 (YAMAGUCHI TAKESHI)

日本大学・理工学部・助手

研究者番号：90434125