

知っておきたいキーワード

ホログラムプリンタ

山口 健†

† 日本大学

"Hologram Printer" by Takeshi Yamaguchi (Nihon University, Chiba)

キーワード：ホログラム，計算機合成ホログラム，空間光変調器，平面型，体積型，画素ピッチ

まえがき

ホログラム*1は、究極の3次元ディスプレイと言われています。これは、人間が立体視をする上で必要な両眼視差・焦点調節・輻輳・運動視差をすべて満たすためであり、ホログラムによって再生*2された光は物体がそこに在るときと同じ光となります。しかし、今現在写真などを印刷するプリンタのような、ホログラムを簡単に出力できる装置はありません。ホログラムは、物体の光を参照光*3との干渉縞として記録*4するため、 μm オーダー～サブ μm オーダーの空間分解能が必要となります。空間分解能の高さはホログラムで回折する角度を大きくする要因となるため、再生される像の位置がホログラム面よりも奥にあるフレネル型のホログラムでは、再生像(視野*5)を大きくすることができます。また、再生される像はホログラムを通してしか見ることができないため、十分な視域*6を確保するためにはホログラムの大きさも重要になってきます。これに

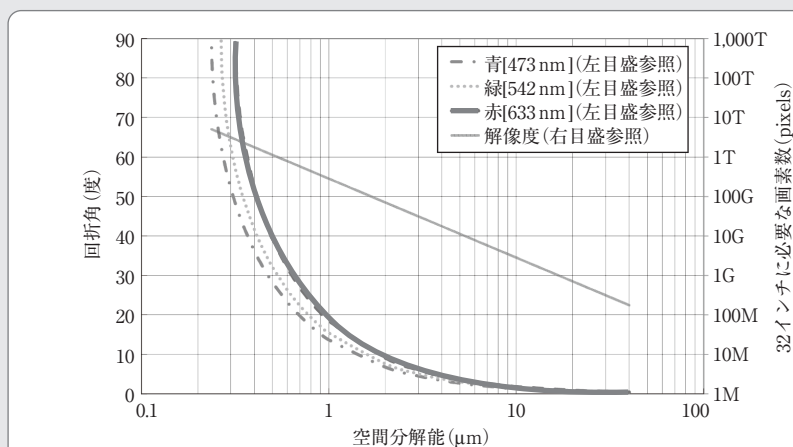


図1 ホログラムの空間分解能と回折角，32インチに必要な画素数の関係

対して、ホログラムの種類としてよく見られる再生像がホログラム面上付近にあるイメージ型ホログラムでは、フレネル型のホログラムとは反対に空間分解能が視域を主に決定し、ホログラムの大きさが再生像の大きさを決定します。このように、ホログラムでは空間分解能と解像度(画素数)が重要な要素となります。図1にホログラムの空間分解能と回折角，32インチの16:9のディスプレイを作った際の画素数のグ

ラフを示します。グラフに示すように、十分な回折角を有するホログラムを作ろうと思うと、画素数が非常に多くなることがわかんと思います。もう少し小さなホログラムでも、 $1\mu\text{m}$ の空間分解能、 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ の大きさすると10 Gpixelsの画素数が必用となります。現状の空間光変調器ではこのような性能を有する物はないため、ホログラフィ*7を用いた動画の再生は困難なことになります。そのため、

*1 ホログラム：ホログラフィ技術によって記録されたもの。

*2 再生：記録したホログラムに照明光を当てて記録された物体光を再生すること。

*3 参照光：ホログラム記録時に物体光と干渉させるために用いる既知の光。

*4 記録：物体光をホログラム記録感材に干渉縞という形で保存すること。

*5 視野：ホログラムを通して像を観察できる範囲。再生可能な像の大きさを決定する。

*6 視域：再生像を観察できる範囲。

*7 ホログラフィ：光の波面の記録と再生が行える技術。

細かいピッチで干渉縞を記録することができる機材を利用すること^{1)~3)}

や光学システムを独自に構築すること^{4)~6)}で、静止画のホログラムを出

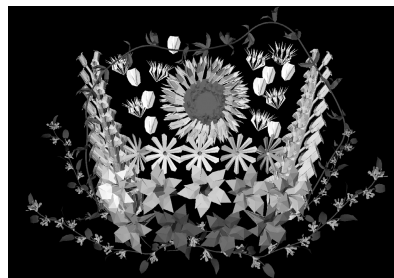
力するホログラムプリンタの研究が行われています。

計算機合成ホログラムの作成手順

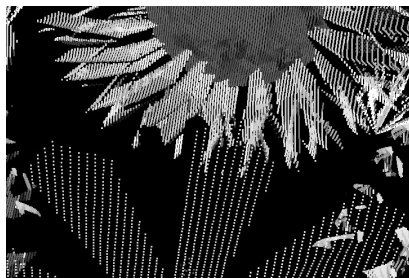
計算機合成ホログラムは、計算した干渉縞を高精細なディスプレイで表示したものです。その作成手順は、主に仮想物体（CGデータ）などの形状デー

タから物体光^{*8}を計算し、参照光と数値的に干渉計算させることで、出力する干渉縞画像が得られます（図2）。ポリゴンデータを直接利用して物体光を計算する方法もありますが、多くの場合仮想物体を細かな点の集まりと仮定し、各点からの光波伝搬を計算してい

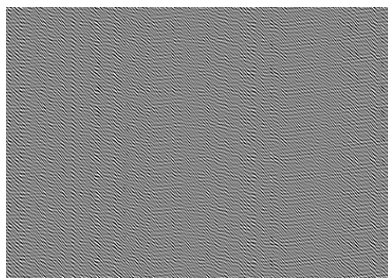
ます。近年の高解像度・高分解能のプリンタでは視域がある程度確保できるため、異なる視点からのデータを利用して視点が変わった場合にも正しく隠面処理された3次元像を再生できるようにする工夫が必要となります。



(a) CGデータ



(b) 点光源データの一部



(c) 計算された干渉縞の一部

図2 CGデータから干渉縞データへの計算

フリンジプリンタ

私の研究室では高解像度なCGH^{*9}を出力する方式として、フリンジプリンタ⁴⁾と呼ばれるホログラムプリンタシステムを研究しています（図3）。フリンジプリンタは計算された干渉縞を空間光変調器（液晶パネル）に表示し、液晶パネルからの反射光をレンズを用いて光学的に縮小することで、ホログラムの再生に適した空間分解能を実現しています。この際、フリンジプリンタは一度に液晶パネルの画素数分の干渉縞を記録することができるため、高速に出力することが可能になります。ここで紹介したフリンジプリンタのような計算した干渉縞を直接出力する装置では、干渉縞さえ計算できてしまえばさまざまなCGHを出力することが

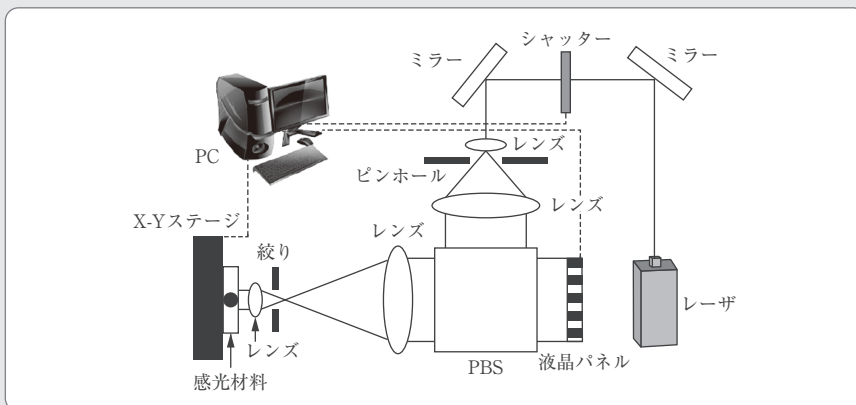


図3 フリンジプリンタの光学系

可能となります。さらに、記録材料にフィルムを用いることでホログラムの形状も自由にすることが可能となります。これまでの研究では、レインボウホログラムやイメージホログラム、形状が円筒な円筒ホログラム、形状が半

円形のアルコーブホログラムなどいろいろなCGHの出力に成功しています。フリンジプリンタで出力できるような、干渉縞が面上に形成されるホログラムは平面ホログラム（薄いホログラム）と呼ばれます。

体積型ホログラムプリンタ

フリンジプリンタで出力したCGHは平面ホログラムであるため、記録時と異なる波長の照明光^{*10}で再生すると、

像が記録時とは異なる位置に異なる倍率で再生されてしまいます。さらに、白色光で再生すると白色光に含まれる波長成分によって像がにじんで見えてしまいます。これに対して、干渉縞が

記録材料の厚み方向に形成される体積ホログラム（厚いホログラム）は、波長選択性が優れているため白色光で再生しても記録波長の像を再生することが可能となります。しかし、

*8 物体光：記録する物に光を当てて反射・散乱した光。

*9 CGH：計算機合成ホログラム（Computer-Generated Hologram）。

*10 照明光：ホログラムを再生する際にホログラムに当てる光（多くの場合参照光と同一な光）。

体積ホログラムを作るには干渉縞を記録材料の厚み方向に形成させなくてはならず、直接体積ホログラムを作るとは困難です。フリンジプリンタで出力したCGHから像を再生させ、参照光と干渉させることで体積ホログラムを作ることは可能ですが、元にするCGHに合わせた転写を行う光学系を組む必要があります。そこで、部分ごとに光学転写を行いながら体積ホログラムを出力するような、装置の研究が行われています⁵⁾。図4は私の研究室で研究を行っている体積ホログラム用のプリンタです。空間光変調器（液晶パネル）に表示した干渉縞から再生した像の一部を参照光と干渉させることで、体積ホログラムを出力するシステムです。文献⁷⁾では液晶パネルに表示する画像を多数の2次元画像から生成

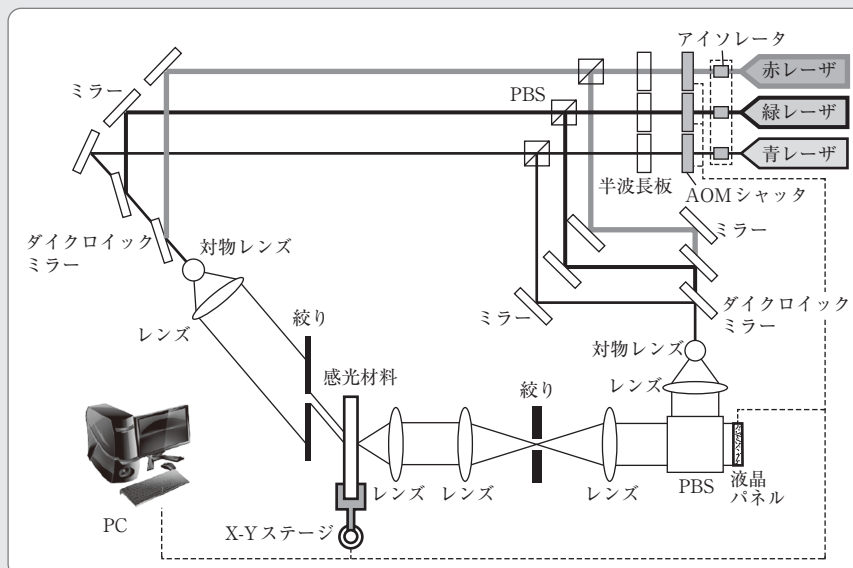


図4 体積型ホログラムプリンタの光学系

される光線画像とすることで、同様の光学系でフルカラーのホログラフィッ

クステレオグラムを出力するシステムも提案されています。

今後の期待

ホログラムから再生された光は、物体からの光を正確に再現できるため質感なども正確に把握することができます。このため、近年一般的になってきた3Dプリンタとは違った3次元表示手法として確立することが期待されて

います。現在でも関西大学の松島教授を中心としたグループによる「関大デジタルホロスタジオ」が、干渉縞をレーザーリソグラフィと呼ばれる装置を用いて描画するサービスを提供⁸⁾しており、CGHの普及への取組みが盛んになってきています。また、これまで少なかった再生像の質感に関する研

究も、近年の高精細な出力装置の研究により増加傾向にあります。現在われわれの出力装置で作製したCGHの再生像を図5～図7に示します。今後も継続的にホログラムプリンタ、CGHの研究が進み、CGHが一般的になることを期待したいです。

(2017年9月23日受付)

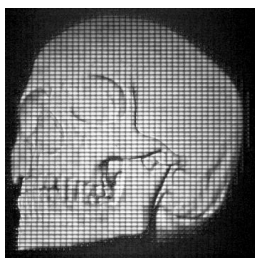


図5 体積ホログラムの再生像

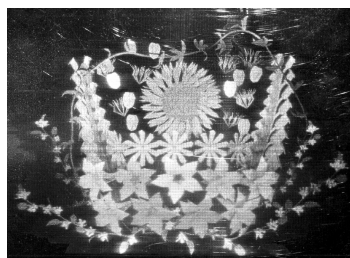


図6 レインボウホログラムの再生像



図7 円筒ホログラムの再生像

参考文献

- 1) Y. Sakamoto, M. Morishima and A. Usui: "Computer-generated holograms on a CD-R disk", in Practical Holography XVII, Proc. SPIE 5290, pp.5290-02 (2004)
- 2) 中辻, 松島, 伊藤, 下馬場: "点光源法とGPUで計算した全方向視差高解像度CGHの再生像", HODIC Circular, 36, 3, pp.15-18 (2016)
- 3) T. Hamano and M. Kitamura: "Computer-generated holograms for reconstructing multi 3-D images by space division recording method", SPIE Proceedings of Practical Holography XXII, 3956, pp.23-32 (2000)
- 4) 岩本, 山口, 吉川: "縮小光学系のレンズ変更によるフリンジプリンタの高精細化", HODIC Circular, 37, 3, pp.14-17 (2017)
- 5) 廣橋・山口・吉川: "波面再生型フルカラー体積ホログラムプリンタの作製", HODIC Circular, 37, 3, pp.18-21 (2017)
- 6) 小林, 松島, 宮内: "ドット描画式ドラム型フリンジプリンタ", HODIC Circular, 25, 3, pp.2-7 (2005)
- 7) 宇津木, 山口: "ホログラフィック・3Dプリンタにおける背景ノイズの低減", 第58回応用物理学会関係連合講演会, 58, 27A-BJ-7 (2011)
- 8) 関西デジタルホロスタジオ, <http://holography.ordist.kansai-u.ac.jp/digitalholostudio/>



山口 健

2004年、日本大学理工学部電子工学科卒業。2006年、同大学大学院理工学研究科博士前期課程情報電子工学専

攻修了。同年、同大学副手。2007年、同大学助手。2012年、同大学助教。2014年、同大学同僚部応用情報工学科助教。計算機合成ホログラムの研究に従事。博士(工学)。