

G-21

フルカラー体積型ホログラムプリンタの構築

Development of full-color volume hologram printer

○青柳 翔真*, 廣橋 美葵†, 山口 健‡, 吉川 浩‡

Shoma Aoyagi*, Miki Hirohashi†, Takeshi Yamaguchi‡, Hiroshi Yoshikawa‡

Abstract: In our laboratory, research on fringe printers and volume hologram printers are being conducted as output devices of Computer Generated Hologram (CGH). In this research, we construct a system that automatically outputs full color volume holograms to one photosensitive material by using multiple exposure method for RGB colors. And a full color volume hologram is outputted in the constructed system.

1. はじめに

本研究室では計算機合成ホログラム (CGH: Computer-Generated Hologram) を出力する装置として、フリンジプリンタ、体積型ホログラムプリンタの研究が行われている [1]。フリンジプリンタは様々な研究が行われ、高精細、高解像度化を実現している [2]。しかし、構造上波長選択性の弱い透過型ホログラムしか出力できず、全方向視差フルカラーホログラムを実現することが困難である。これに対して体積型ホログラムプリンタは波長選択性が強い体積ホログラムを直接出力でき、白色光で容易にフルカラー再生像を得ることができる。これを活かし前研究では手動制御により、2つの感光材料に赤緑それぞれのホログラムを出力し、感光材料を重ね合わせて再生するマルチカラーホログラムを作製した [3]。

そこで本研究では、RGB3色を多重露光方式を用いて1つの感光材料に露光し、フルカラー体積型ホログラムを自動で出力するシステムを構築する。さらに今回構築したシステムでフルカラー体積型ホログラムを作製する。

2. 原理・方法

2.1. 記録光学系

フルカラー体積型ホログラムプリンタの光学系を Fig. 1 に示す。また、光学系のパラメータを Table 1 に示す。体積型ホログラムを記録するため、LCoS (Liquid Crystal on Silicon) に表示した干渉縞から像を再生する。再生された像と反対方向から参照光を干渉させ記録する。本研究では LCoS に表示させる1つ1つの CGH を要素ホログラムと呼ぶ。要素ホログラムは参照点光源と物体点光源によって作成され、LCoS に照射される照明光によって再生される。参照光の位置はレンズ3の焦点面にあるため、要素ホログラムとレンズ3が接していれば、平行光は記録した参照光と同じ位置に集光し、記録した物体点光源が正しく再生される。しかし、レンズ3の焦点距離が短いことやPBSがあることから、実際の光学系ではレンズ3と要素ホログラムは離れてしまっている。そのため、要素ホログラムの再生光は、記録した物体点光源とは異なる方向に生じてしまい、深い奥行

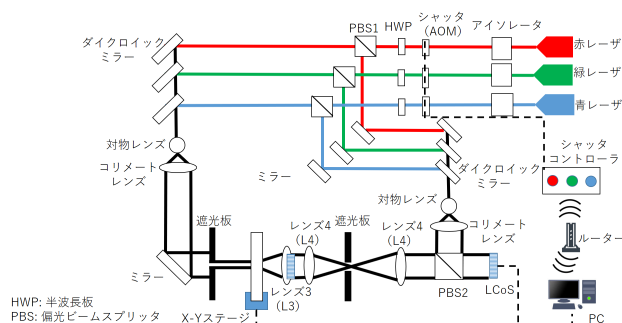


Figure 1 System of the Volume hologram printer

Table 1 Characteristics of Volume hologram

Focal Length (Lens4) [mm]	300
Focal Length (Lens3) [mm]	30
LCoS resolution [pixel]	4,096 x 2,160
LCoS pitch [μm]	4
Wave Length (R,G,B) [nm]	640,532,473
Laser output [mW]	200,300,100

を持つほど、再生像がゆがんでしまう。これを解決するため、 $4f$ 系を用いて LCoS に表示させた要素ホログラムをレンズ3上に等倍結像している。また、以前の体積ホログラムプリンタは単色での出力を前提としていたためホログラムをマルチ、フルカラーで出力するためには撮影を分ける必要があった。そこで今回構築する光学系はRGBのレーザを配置し、ダイクロイックミラーを用いRGB各色の光路を一致させることで、感光材料の同位置に多重露光を自動で行うことができる。

2.2. 自動制御システム

本システムでは従来のプリンタには機械式シャッターを用いていたが、80 mm 角の単色ホログラムを出力する為に、1度に約2,300回の開閉が行われており、機械式シャッターの寿命サイクルは多くても50万回程度であるため130枚程度の出力が限度であった。そこでレーザの増設に伴い、金属疲労のない音響光学素子 (AOM: Acousto Optic Modulator) に変更する。AOMは光を回折させる装置であり Iris を用いて回折光のみを通過させることにより AOM の ON/OFF の切り替えてシャッターと同じ機能となる。これを各色1台ずつ割り当てることにより、シャッター寿命を延ばす。また、物理的

* 日大理工・学部・応用情報 † 日大理工・院(前)・応用情報 ‡ 日大理工・教員・応用情報

な開閉がなくなるため、マイクロ秒オーダでの制御が可能となる。また AOM の制御は Raspberry Pi 3 と PC によってネットワークで制御される。その他にも X-Y ステージ, LCoS も PC で自動制御される。撮影全体の制御フローを Fig. 2 に示す。ステージコントローラによって X-Y ステージの移動量, 移動のタイミングを制御し, BMP ロードによって LCoS に映し出す干渉縞を制御する。撮影前に PC 側でシャッタ時間, セトリング時間を入力することができる。さらに使用するレーザを選択することができるので単色, マルチカラーのホログラム出力にも対応している。

3. 結果

今回構築したホログラムプリンタでフルカラーホログラムを出力した。感光材料は Ultimate-08 を使用した。モデルデータを Fig. 3 に示す。作成したフルカラーホログラムを Fig. 4 に, パラメータを Table 2 に示す。撮影時間が 2 時間 30 分とマルチカラーホログラムの出力と比べ非常に長くなってしまった。大きな原因として, 現在の光学系は以前の光学系と比べ感光材料面での光量が非常に低いことがあげられる。その分シャッタ時間を多く取る必要があったためである。また, 露光する色が 1 つ増えたこと, 感光材料を変更しているため各色の露光量を大きくする必要があったことも撮影時間増加の原因と言える。この問題は光学系の調整をすることで飛躍的な改善が見込める。再生像は緑色の成分は容易に確認できるが, 赤は少し見えずらく, 青はほとんど確認できない結果となった。原因は青成分の露光不足であったこと, 各色の物体光, 参照光の比率が不適切であったこと, 感光材料への露光順が適切でなかったことがあげられる。感光材料は重ねて露光すると適正露光量が大きくなる特性を持つ。撮影時は露光順を RGB と設定したが, レーザの出力の弱い順である BRG が適切であったと考えられる。

4. むすび

本研究では波面再生型フルカラー体積ホログラムプリンタを構築, 自動制御することによりフルカラーホログラムを作成した。今後, 再生像を鮮明なものにし, 撮影時間を最適化するために光学系の再調整, RGB の露光量特性を測定する必要がある。

参考文献

- [1] Takeshi Yamaguchi, Osamu Miyamoto and Hiroshi Yoshikawa: "Volume hologram printer to record the wavefront of three-dimensional objects" Optical Engineering, vol. 51, no. 7, pp. 075802(1-7), (2012).
- [2] 岩本拓己, 山口健, 吉川浩: "縮小光学系のレンズ変更におけるフリッジプリンタの高精細化" HODIC Circular33.3, 14-7, (2017)
- [3] Miki Hirohashi, Takeshi Yamaguchi and Hiroshi Yoshikawa: "Development of color volume hologram printer" IWAIT 2017, OR_54, (2017)

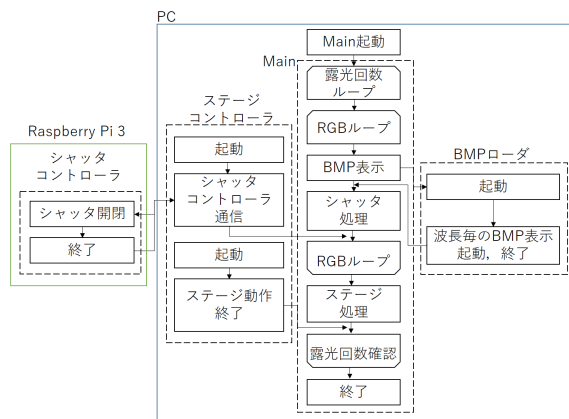


Figure 2 Control flow



Figure 3 CG image of the recorded object

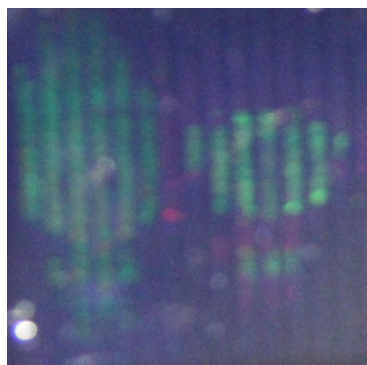


Figure 4 Reconstructed image

Table 2 Recording parameter

Exposure time (R : G : B) [ms]	2,700 : 900 : 6,000
Settling time [ms]	5,000
Hologram size [mm ²]	24 x 23.4
Virtual window size	3.2 x 1.8
Window division	15 x 26
Power ratio (R : G : B)	0.98 : 0.94 : 1.08
Printing time [min]	151