

# コンタクトコピーを用いた カラーフィルタ方式 CGH の画質向上

## Improvement of image quality by contact copy of color CGHs using RGB color filters

五十嵐勇祐

Yusuke Igarashi

関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

松島恭治

Kyoji Matsushima

### ABSTRACT

High-definition computer-generated holograms (CGH) using RGB color filters make it possible to reconstruct full-color 3D images. However, the image quality is still low because of wideband spectral property of the color filter. In addition, there is no effective method for mass-production of the full-color CGHs. In this paper, a technique to improve the image quality is proposed using contact copy of the original color CGH to a volume hologram made of photopolymer. Optical reconstruction of the transferred CGH is demonstrated to verify the validity of the proposed technique.

**Keywords:** 計算機合成ホログラム, CGH, フルカラーCGH, 体積ホログラム, 大量生産

### 1. はじめに

近年、大規模コンピュータホログラフィの進歩により、従来問題であった非回折光が全く見えないほどの高解像度計算機合成ホログラム(以下 CGH)が作製できるようになってきた[1]。しかし、レーザーリソグラフィ装置等で二次元画像として干渉縞パターンを描画して作製されたホログラムは「薄い」ホログラムとなり、波長選択性を持たない。そのため、白色光源で再生できず、フルカラー像を再生することもできない[2]。

この問題の解決策として、RGB カラーフィルタを用いて、再生する波長を光の三原色のみに限定するカラーフィルタ方式 CGH が提案されている[3]。しかし、この手法では、(1)RGB の干渉縞を短冊状に分断して組み合わせているため再生像が劣化する問題、(2)干渉縞と RGB カラーフィルタの位置合わせが煩

雑である問題、さらに、(3)RGB カラーフィルタの広帯域スペクトル特性のため再生像にボケが生じて低画質になる問題がある。

そこで、(1)の干渉縞の欠損の問題と(3)のフィルタの広帯域特性の問題を低減する方法として積層体積型フルカラーCGH の手法が提案されている[4]。この手法では、デニシユーク型ホログラムの撮影手法と類似の手法を用いて RGB 三枚の原版 CGH をそれぞれコンタクトコピーし、作製した三枚の RGB 体積ホログラムを重ね合わせる。しかし、この手法にも記録材料の経年劣化により色ずれが生じる可能性や三枚の転写 CGH の位置合わせに時間がかかるといった問題がある。

そこで、光の三原色に相当する三波長のレーザー光を同軸に重ね、それを用いてカラーフィルタ方式 CGH を一枚の記録材料に体積ホログラムとして転写することにより、(2)のカラーフィルタの位置合わせが必要なく、(3)の広帯域フィルタ特性の問題を大幅に緩和できるフルカラー転写 CGH の作製を試みている[5]。しかし、球面波を用いた場合、RGB カラーフィルタに光が斜入射することが原因で再生効率

---

五十嵐勇祐

<igarashi@laser.ee.kansai-u.ac.jp>

関西大学システム理工学部電気電子情報工学科

〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35

TEL 06-6368-1121(内線 5722)

が低いことが分かった。そのため、本研究では、平行光を用いてカラーフィルタ方式 CGH に光を垂直に照射することによって、この問題の解決を試みた。

## 2. カラーフィルタ方式 CGH の原理

カラーフィルタ方式 CGH の原理を Fig.1 に示す。ここで用いる RGB カラーフィルタはカラー液晶パネルに用いられる物と同種のものであり、光の三原色である RGB の透過型フィルタとなっている。この手法では、RGB カラーフィルタをフォトマスクとして描画した金属膜干渉縞に重ね、各色のフィルタに重なる部分の干渉縞をその色に対応する波長で計算しておく。これにより、白色光でこの CGH を照明すると RGB カラーフィルタを透過する波長帯のみで像が再生されそれが混合してフルカラー再生が実現される。

## 3. 体積型への転写による画質向上

### 3.1. フォトポリマーによる波長選択性

Fig.2 にマルチチップ白色 LED を光源として RGB カラーフィルタに透過した時のホログラム照明光の実効スペクトルを示す。一方、Fig.3 に示す反射スペクトルは、Fig.4 に示す二光束干渉光学系を用いてフォトポリマー Bayfol®HX に形成した体積ホログラムの反射スペクトルである。Fig.2 と Fig.3 を比較すると RGB カラーフィルタの実効スペクトルに対して R が 2 分の 1、G が 3.5 分の 1、B が 2 分の 1 ほど狭帯域であることが確認できる。また、Fig.4 の光学系を用いて RGB 各色のレーザーで作製した体積ホログラムの回折効率を測定したところ B の波長で 3.9%、G で 5.0%、R で 7.9% という結果が得られた。

### 3.2. 原版 CGH

本研究では原版 CGH として Fig.5 に示す構造を持つカラーフィルタ方式 CGH を用いた。この CGH では、レーザーリソグラフィ装置を用いてレジスト層の厚さ変化として二値の位相干渉縞パターンを形成している。また、レジスト層の下には金属膜を形成しており、入射光をすべて反射する構造となっている。したがって、この CGH では、照明光が通過する位置によって反射光が通過するレジスト層の厚さが増減して位相変調が生じ、その回折で像が再生される。二値の位相変調であるためホログラムの性質と

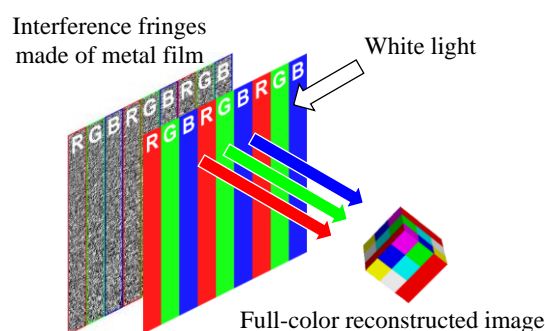


Fig. 1 Principle of full-color reconstruction of high-definition CGHs using RGB color filters [3].

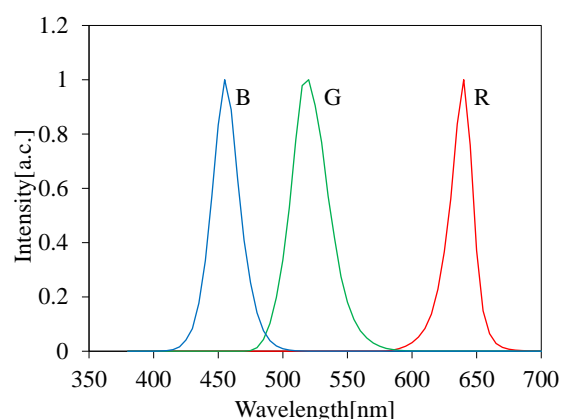


Fig. 2 Effective illumination spectrum in full-color CGHs using RGB filters.

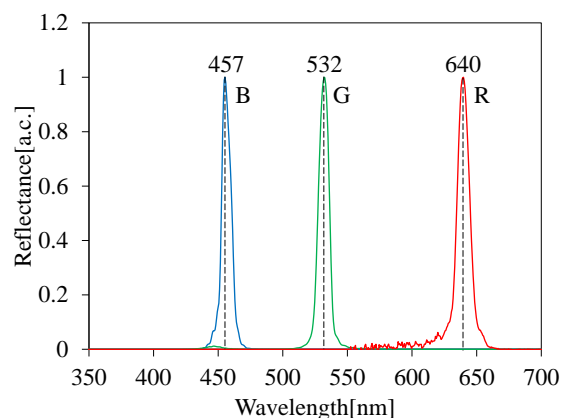


Fig. 3 Spectral reflectance of volume hologram recorded on photopolymer Bayfol®HX.

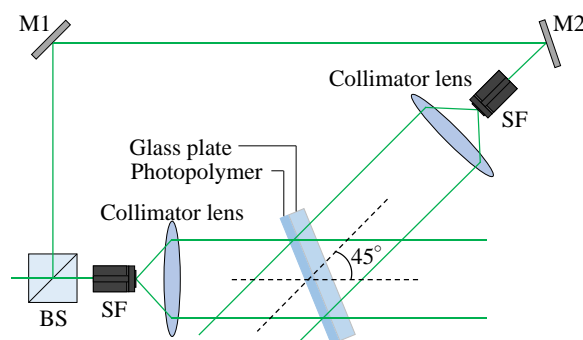


Fig. 4 Recording of volume hologram using two-beam interferometry.

しては振幅変調とほとんど変わらないが、ほぼ全ての変調光が反射されるため振幅変調 CGH と比較して像が明るくなる特徴がある。

### 3.3. 転写の方法

本研究で用いたコンタクトコピーによる転写の原理を Fig.6 に示す。この手法では、反射再生するカラーフィルタ方式 CGH の再生照明光入射側に記録材料を密着させる。この時、RGB カラーフィルタは  $80\mu\text{m}$  幅のストライプ構造であるため、RGB カラーフィルタに対して光を斜入射すると、Fig.7 に示すようにフィルタのエッジでは反射光が入射光とは異なったフィルタを通過してしまい、それによって光波が遮光され再生像の明るさが低下してしまう問題がある。

一方、今回実験に用いたフォトポリマーによる体積ホログラムでは角度選択性があまり働かず、平行光で撮影したホログラムを球面波で再生することが可能であった。そこで、本研究では、Fig.6 に示すように、平行光を用いて原版 CGH をコンタクトコピーした。RGB カラーフィルタを装着した原版 CGH で反射再生された光波が記録材料の背面から記録材料に入射する一方、再生照明光が前面側から入射する。これにより、記録材料内で両者の干渉が生じ、原版 CGH の再生光を記録材料に記録することができる。

### 4. フルカラー体積型転写 CGH の作製

本研究では記録材料として銀塩感材に比べて取り扱いが容易なコベストロ社製のフォトポリマー Bayfol®HX を用いた。

本研究の原版 CGH の転写に用いた光学系を Fig.8 に示す。光の三原色に相当する波長の光源として用いたのは、いずれも狭帯域化した DPSS レーザーである。この光学系では一つのミラーと二つのダイクロミックミラーを用いて三つのレーザー光を同軸に重ねている。そして、同軸に重ねたレーザー光を空間フィルタとコリメータレンズを用いて平行光としている。青色レーザーの光路上にある二つのレンズは青色レーザーのビーム径を拡大するビームエキスパンダーである。

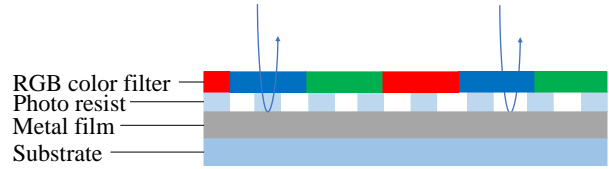


Fig. 5 Structure of the original CGH.

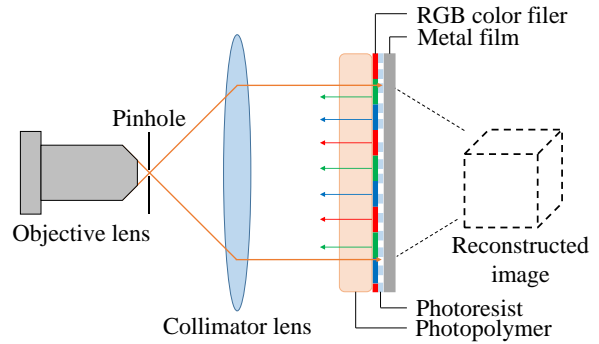


Fig. 6 Contact copy of the original CGH.

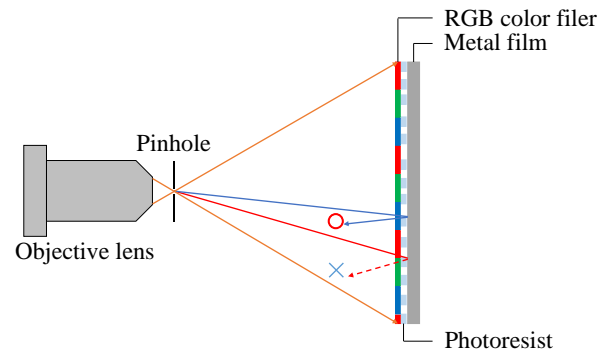


Fig. 7 Problem caused by oblique incidence.

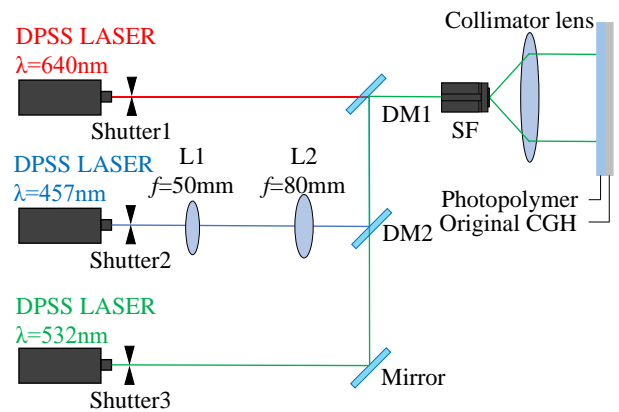


Fig. 8 Experimental setup for transferring the original CGH.

### 5. 転写結果

本実験で用いた原版 CGH の 3D シーンを Fig.9 に示し、そのパラメータを Table 1 に示す。また、転写

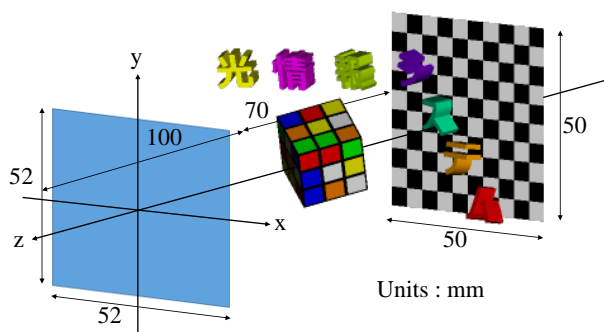


Fig. 9 3D scene of the original CGH.

Table 1 Parameters of the original CGH.

Number of pixels	65,536 × 65,536
Pixel pitch [ $\mu\text{m}$ ]	0.8 × 0.8
Size [mm]	52 × 52
Design wavelength [nm] (R,G,B)	640, 532, 457

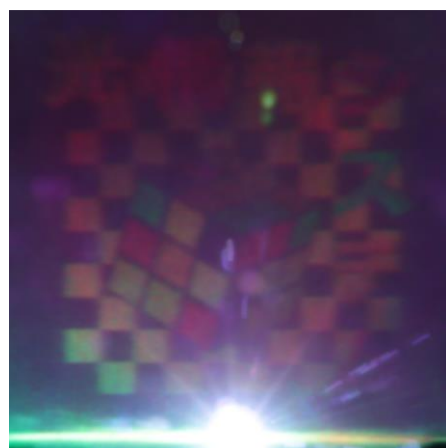
したホログラムの再生像と原版 CGH の再生像をそれぞれ Fig.10(a)と(b)に、転写時のパラメータを Table 2 に示す。このとき、どちらのホログラムも白色 LED を用いて再生している。なお、転写は三波長を順次露光ではなく、同時露光で行っている。実験結果より、再生像のボケは軽減されたが、像の内側がハレーションを起こしていることが確認できた。これは、照射した平行光の強度分布に偏りがあることが原因であると考えられる。

## 6. まとめ

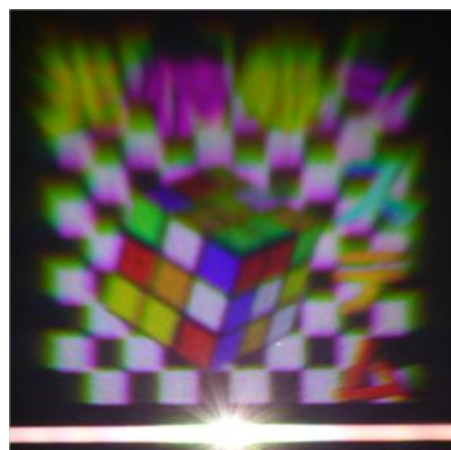
体積ホログラムの波長選択性によるホログラムの画質向上とフルカラーCGHの生産性向上のため、カラーフィルタ方式CGHのフルカラー転写を行った。その結果、再生像の画質自体は原版CGHと比較して向上することが確認できた。しかし、再生像の明るさは原版CGHには及ばず、再生像の内側と外側で若干の差が確認できた。このことから、転写時に用いる平行光の光強度分布を均一化してフォトポリマーを露光し、再生像の内側と外側が同等な明るさになるよう転写する必要があると考えられる。

## 7. 謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 18H03349、文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業(平成 25 年～平成 29 年)、および科学技術振興機構産学連携バリュープログラム VP29117941340 の助成を受けたものである。



(a) Transferred CGH



(b) Original CGH

Fig. 10 Optical reconstruction.

Table 2 Parameters used for transfer.

Color	R	G	B
Wavelength [nm]	640	532	457
Intensity [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]	0.45	0.20	0.25
Exposure [ $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ]	9.0	4.0	5.0

## 参考文献

- [1] 松島恭治, 斎藤智崇, 五十嵐勇祐, 國枝織絵, 橋村直柔, 小西涼太: 関大デジタルホロススタジオにおける大規模 CGH 描画・作成技術, HODIC Circular **38**, No. 1, 2-9 (2018).
- [2] K.Matsushima, S.Nakahara: Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method, Appl. Opt. **48**, H54-H63(2009).
- [3] Y.Tsuchiyama, K.Matsushima: Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters, Opt. Express **25**, 2016-2030 (2017).
- [4] 中尾弘希, 松島恭治: フルカラー高解像度体積型 CGH の作成, 3次元画像コンファレンス 2017, P-10, (2017).
- [5] 五十嵐 勇祐, 松島恭治: カラーフィルタを用いたフルカラー体積型転写 CGH の作製, HODIC Circular **37**, No. 3, 10-13 (2017).