

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

五十嵐 勇祐 松島 恭治

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

E-mail: igarashi@kansai-u.ac.jp

あらまし 現在提案されているカラーフィルタ方式 CGH では、カラーフィルタを高精度に位置合わせする必要があるため大量に作製することが難しく、またカラーフィルタが広帯域であるため再生像にボケが生じるといった問題がある。そこで本研究では、これらの問題を緩和するため、コンタクトコピー技術によりカラーフィルタ方式 CGH を体積ホログラムとしてフォトポリマーに転写し、白色光再生可能なフルカラーホログラムの作製を試みた。

キーワード 計算機合成ホログラム, フルカラーホログラム, フォトポリマー, カラーフィルタ

Full-color transferred volume CGH using RGB color filters

Yusuke IGARASHI Kyoji MATSUSHIMA

Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

Yamate-cho 3-3-35, Suita, Osaka 564-8680, Japan

E-mail: igarashi@kansai-u.ac.jp

Abstract Full-color CGHs using RGB color filters is not suitable for mass production, because it is necessary to align the color filters with the fringe pattern with high precision. Furthermore, the problem of blur occurs in the reconstructed image because of the wideband properties of the color filters. To reduce the problems and create full-color CGHs capable of reconstruction by white light, an original full-color CGH is transferred to photopolymer as the volume hologram using a contact copy technique.

Keyword Computer-generated hologram, full-color hologram, photopolymer, color filter

1. はじめに

近年、大規模コンピュータホログラフィ技術の進歩により、数 10～数 100 億ピクセルの高解像度計算機合成ホログラム(以下 CGH)が発展し、光学ホログラフィに匹敵するほどの再生像が得られるようになってきた。このような高解像度 CGH を作成する一つの手法は、計算機で数値的に合成した干渉縞パターンをレーザーリソグラフィによりクロム等の金属膜の 2 値振幅画像として描画することである [1]。

しかしながら、レーザーリソグラフィを含めて、干渉縞パターンを 2 次元画像として描画する作製方法では、作成されるホログラムがいわゆる「薄い」ホログラムとなってしまう。そのため、このような CGH は、リップマンやデニシューク型の光学ホログラムが有するような波長選択性を持たず、白色光源で再生すると著しい色にじみが生じ、またフルカラー像を再生する

こともできない。この問題の解決策として、ダイクロイックミラーを用いる手法や [2], RGB カラーフィルタを用いる手法を報告している [3,4]。しかし、前者の手法では CGH と同等以上の大きさを持つダイクロイックミラーを用いて像を重ね合わせるため、光学系の規模が大きくなってしまい展示に向かない問題がある。また、後者の手法では、RGB カラーフィルタの広帯域特性のため、再生像にボケが生じるといった問題や、RGB カラーフィルタと干渉縞の正確な位置合わせに非常に手間がかかる問題がある。

このような薄い CGH のフルカラー再生の問題を解決するため、レーザーリソグラフィで描画した金属膜干渉縞が反射再生可能なことを利用して、デニシューク型ホログラムの撮影方法と類似の手法を用いて 3 枚の原版 CGH をコンタクトコピーして 3 枚の RGB 体積ホログラムを作成し、それを重ね合わせる積層型フルカ

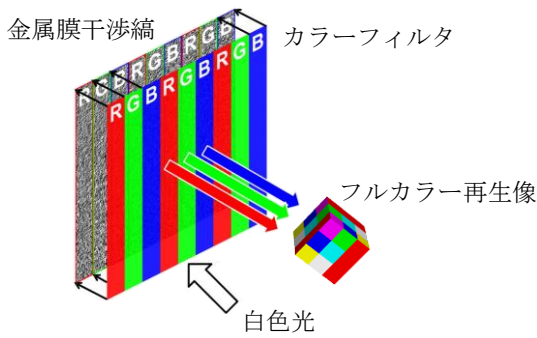


Fig.1 カラーフィルタ方式 CGH の原理[3]

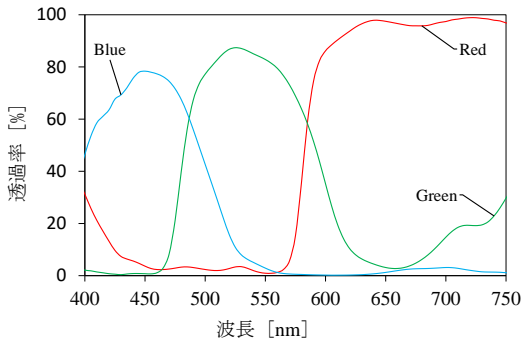


Fig.2 カラーフィルタの透過特性

ラーCGH が提案されている[5,6]. しかし、この手法では、3枚の転写CGHを位置合わせする必要があることや、転写CGHがそれぞれガラス基板を有するため、ガラスの屈折による収差の補正が難しい問題、また当初位置合わせが正確であっても経年変化で記録材料が収縮すると色ずれが生じてしまう可能性があるといった問題がある。

そこで本研究では、個別に転写した3枚のRGB体積ホログラムを積層するのではなく、三波長でカラーフィルタ方式CGHのコンタクトコピーを行い、体積ホログラムの波長選択性によりフルカラー再生が可能となる転写ホログラムの作製を試みた。これによりカラーフィルタ方式CGHでは困難なフルカラーCGHの大量生産も可能になると考えた。

2. カラーフィルタ方式フルカラーCGH

カラーフィルタ方式CGHの原理をFig.1に示す[3]. 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物であり、RGBの3原色の透過型フィルタとなっている。このRGBカラーフィルタを1枚の金属膜干渉縞に重ね、フィルタに重なる干渉縞をその色に対応する波長で計算しておくことによってフルカラー再生が実現される。これは、このCGHを白色光で照明するとRGBカラーフィルタを透過する波長帯のみの光により像が再生されてそれが混合して見えるためである。

しかしながら、Fig.2に示すように、RGBカラーフ

ィルタの透過スペクトルは広い透過帯域を持つ。このフィルタ特性により、この手法によるフルカラーCGHでは再生像にボケや色にじみが生じてしまう問題点がある。また、カラーフィルタ方式CGHでは、本来連続した干渉縞を空間的に分割し、3分の1ずつ抜き取って1枚の干渉縞に合成するため、一つの波長で見ると分断された干渉縞となっており、これにより再生像が劣化してしまうという問題点もある。

3. 転写の原理

本研究では、金属膜干渉縞が反射再生できる特徴を活かし、コンタクトコピーにより転写を行った。その原理をFig.3に示す。この手法では、RGBカラーフィルタを装着したカラーフィルタ方式CGHを反射再生することを前提に、再生照明光の入射側に記録材料を密着させる。このCGHでは予め球面波を参照光として干渉縞を計算してあるため、コヒーレント光源と空間フィルタによって球面波を発生し、その中心(空間フィルタのピンホール)を計算上の球面波参照光の位置と一致させて記録材料を貼り付けた側の面に入射する。これにより、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ため、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。

この手法では原版CGHと記録材料を密着させるコンタクトコピーとなるため、光学ホログラフィの記録に比べて極めて振動に強い。さらに、記録材料に対して参照光(原版CGHの再生照明光)と物体光(原版CGHの再生光)が逆方向から入射するため、転写ホログラムは波長選択性を持つ体積ホログラムとなる。その結果、転写ホログラムはカラーフィルタによるフルカラー再生像よりもボケの少ない像を再生することが期待できる。その反面、参照光と再生光の強度比を任意に調整できないため、最適な露光条件を見出すことが難しくなる。

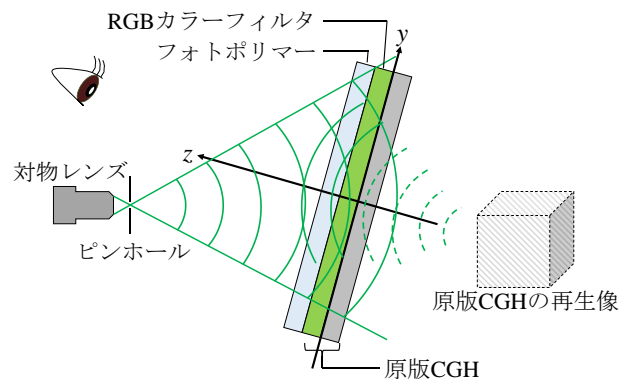


Fig.3 カラーフィルタ方式の原版CGHの転写方法

Table 1 原版 CGH のパラメータ

干渉縞画素数	65,536 × 65,536
干渉縞画素ピッチ	0.8 μm × 0.8 μm
サイズ	5.2 × 5.2 cm ²
設計波長 (R, G, B)	630, 520, 460 nm
フィルタストライプ幅	80 μm
ガードギャップ幅	20 μm

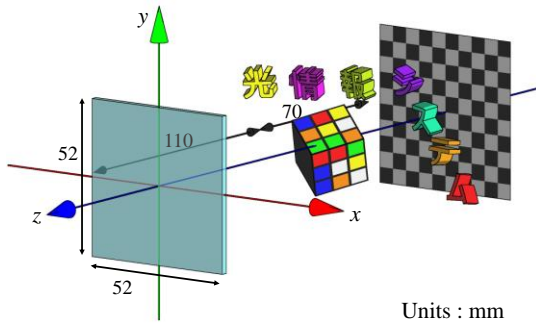


Fig. 4 原版 CGH の 3D シーン

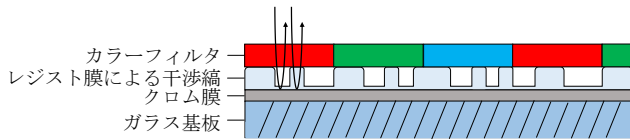


Fig. 5 位相変調型 CGH

4. フルカラー体積型転写 CGH の作製

4.1. 原版 CGH

本研究で転写元として用いた原版 CGH の 3D シーンを Fig.4 に示し、そのパラメータを Table 1 に示す。

この原版 CGH は、我々の従来の高解像度 CGH とは異なり、ガラス基板上のクロム膜で干渉縞パターンを形成したものではない。この CGH では、レーザー直接描画装置でレジスト層に干渉縞パターンを描画し、現像処理によって、Fig.5 に示す通り、レジスト層の厚さ変化として干渉縞パターンを形成している。すなわちこの CGH では、照明光が通過する位置のレジスト層の厚さによって光波の位相が変化する位相変調で像を再生している。2 値の位相変調であるため、ホログラムの性質としては振幅変調とほとんど変わらないが、レジスト層の下に均一なクロム膜があり、変調光はすべてクロム膜で反射される。そのためこの描画方法では像が明るくなる特徴がある。

原版 CGH はこの位相干渉縞に RGB カラーフィルタを装着したものである。

4.2. 記録材料

本研究では記録材料として銀塩感材に比べて取り

扱いが容易なフォトポリマーを用いている。本研究で用いたフォトポリマーはエガリム社製の FIGURA_RGB である。赤橙色に対する感度が低いため暗室内でも赤橙色の照明をつけた状態で作業を行うことができ、理想的な場合の回折効率は RGB それぞれ加熱処理前で 35% とされている。

4.3. 三波長同軸転写光学系

本研究ではカラーフィルタ方式 CGH のフルカラー転写を行うため、光の三原色に相当する波長 457[nm] の青色レーザー、波長 532[nm] の緑色レーザー、波長 640[nm] の赤色レーザーを用いた。いずれのレーザーも狭帯域化した DPSS レーザーである。

本研究の実験で用いた光学系を Fig.6 に示す。この光学系では 1 つのミラーと 2 つのダイクロイ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、その同軸になったレーザー光を空間フィルタに入射させ球面波を発生している。青色レーザーの光路上にある 2 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。

5. 転写結果

5.1. 単一波長での転写

本研究では、三波長で転写を行う前にまず予備実験として RGB それぞれのモノクロホログラムを転写できることを確認した。すなわち、RGB それぞれの単一波長での転写実験を行った。この結果を Fig.7 に示し、実験パラメータを Table 2 に示す。この結果より、RGB それぞれの波長で転写できていることが確認できる。

5.2. フルカラー転写

三波長同軸転写光学系を用いて転写したホログラムの再生像を Fig.8(a) に示し、原版 CGH 自体の再生像を Fig.8(b) に示す。いずれも再生光源はレーザーである。なお、転写は三波長同時ではなく、波長を順次切り換えて行っている。転写パラメータを Table 3 に示す。この結果より、色合いに若干の違いはあるがフルカラー転写ができていることを確認できる。

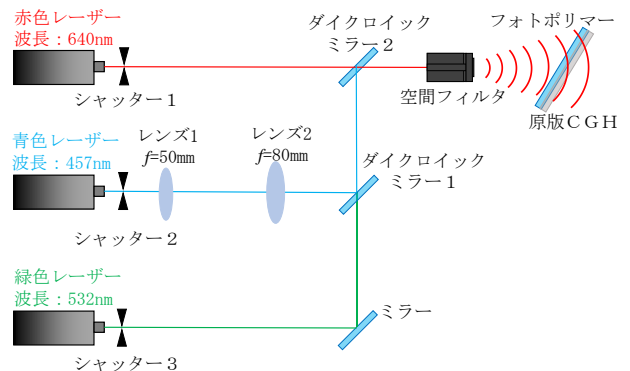


Fig. 6 三波長同軸転写光学系

Table 2 単一波長転写のパラメータ

波長 [nm]	露光強度 [mW/cm ²]	露光時間 [s]	露光量 [mJ/cm ²]
640	2.2	270	594
532	0.5	150	75
457	0.34	480	163

Table 3 三波長転写のパラメータ

波長 [nm]	露光強度 [mW/cm ²]	露光時間 [s]	露光量 [mJ/cm ²]
640	2.0	300	600
532	0.31	50	15.5
457	0.52	300	156

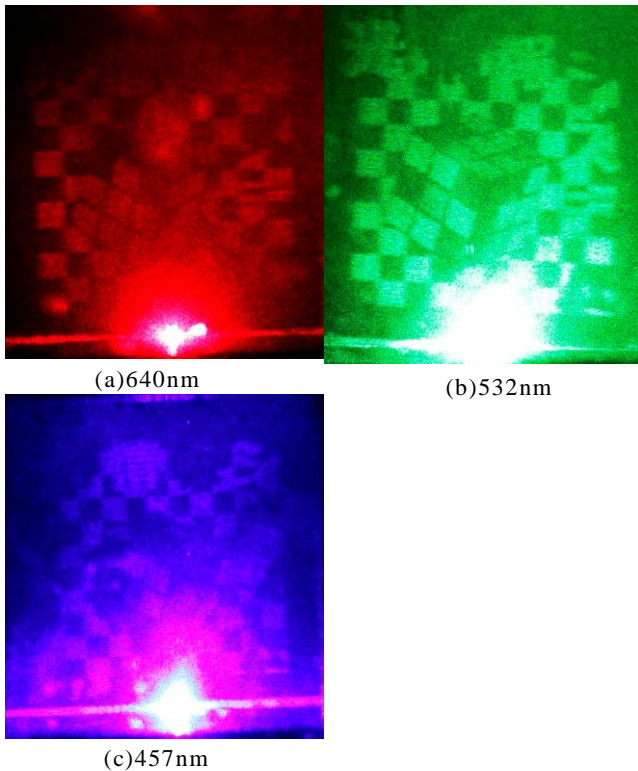


Fig. 7 単一波長での転写結果

しかし、転写ホログラムの再生像に色むらが生じてしまっている。これは、転写光学系において三つのレーザー光が完全に同軸になっていなかった事が原因であると考えられる。また、両者を比べると明らかなように、転写ホログラムの再生像の方が原版 CGH の再生像より暗いことがわかる。これは、おそらくカラーフィルタ方式原版 CGH の再生像が暗いことから、転写で参照光強度に対して物体光強度の値が低すぎる事が原因ではないかと考えられる。

6. まとめ

体積ホログラムの波長選択性による再生像品質の向上とフルカラーCGHの生産性向上のため、フォトポリマー記録材料と三波長同軸転写光学系を用いてフルカラー転写CGHの作成を行った。残念ながら、現時点では原版CGHとの若干の色ずれやむら生じる結果となった。今後は、再生光源の波長スペクトル特性とフォトポリマーの感度特性からより適切な露光強度で均一な露光を行う必要がある。

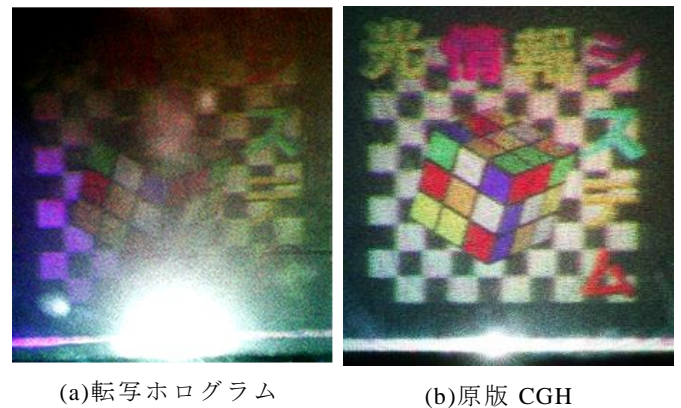


Fig. 8 三波長での転写結果

7. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15K00512, および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)の助成を受けたものである。

文 献

- [1] K.Matsushima, S.Nakahara: "Extremely high-definition full-parallax computer-generated hologram created by the polygon-based method", Appl. Opt. **48**, H54-H63(2009).
- [2] T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara: "Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-definition color computer holography", SPIE Proc. **9386**, 9386N (2015).
- [3] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima: "Full-color large-scaled computer-generated holograms using RGB color filters", Optics Express **25**, 2016-2030 (2017).
- [4] 土山泰裕,松島恭治:"カラーフィルタ方式フルカラー高解像度 CGH とその光学再生像", HODIC Circular **36**, No. 3, pp.11-14 (2016).
- [5] 中尾弘希,松島恭治:"反射型高解像度 CGH のコンタクトコピーによるフルカラー体積型転写 CGH の作成", HODIC Circular **36**, No. 3, pp.19-22 (2016).
- [6] 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 講演論文集, P-10, (2017).