

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

土山 泰裕[†] 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: matsu@kansai-u.ac.jp

あらまし 数十億ピクセルを超える規模の高解像度 CGH をフルカラー再生する有力な手法の一つは、液晶パネル等と同様のカラーフィルタを用いることである。本稿では、この手法で実際にフルカラー高解像度 CGH を製作するにあたっての問題点を検討し、本研究で用いた解決方法を報告する。また、提案手法を用いて作成した 160 億画素規模の高解像度 CGH を紹介し、その光学再生像を示す。

キーワード 計算機合成ホログラム, カラー画像, 3次元立体画像

Full-color high-definition CGH using color filter and its optical reconstruction

Yasuhiro TSUCHIYAMA[†] Kyoji MATSUSHIMA[†]

[†] Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University

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

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

Abstract One of the best technique to create full-color high-definition CGHs is to utilize a color filter used for making color liquid crystal displays. In this paper, the actual problems for solution are discussed in order to realize full-color reconstruction using the color filter. Then, we report several techniques adopted to solve the problems and create full-color CGHs. In addition an actual full-color CGH composed of 16 billion pixels and its optical reconstruction are presented to verify the proposed techniques.

Keyword Computer-generated hologram, full-color image, 3D image

1. はじめに

全方向視差のカラーホログラムは一般に体積ホログラムとして作成される。これは、体積ホログラムであれば波長選択性を有しているため、白色光源を再生光とすることができ、また波長多重化が可能であるため、記録時の3原色の波長で再生像が得られるためである。体積タイプでない、いわゆる「薄いホログラム」の場合には、レインボーホログラムなどの手法などが知られているが、これは全方向視差ではなく、水平方向視差のみ(Horizontal Parallax Only: HPO)のホログラムとなる。

計算機合成ホログラム(Computer-Generated Hologram: CGH)では、干渉縞がピクセル構造を有すること、また液晶パネル等を用いたホログラフィック・ディスプレイとの関連からカラーフィルタを利用する

アイデアがかなり初期の頃から提案されている[1-3]。これは、簡単に言えば、カラー液晶パネルでホログラム干渉縞を映し出すことに他ならない。この場合、そのままでは一般に空間バンド積(Space-Band Product: SBP)が不十分であり、ホログラフィらしい空間再生像の表示は困難であるが、例えば北大の坂本らのグループが提案するような接眼型のホログラフィック・ディスプレイであれば有効に機能する[4]。また最近では、電子ホログラフィでもう少し SBP の大きな CGH を再生する場合には、その動的な特性を活かして時分割でカラー再生を行う方法が採られることが多い。

一方、我々は従来、ホログラフィらしい空間像が再生可能な数 10~数 100 億規模の巨大な SBP を有する全方向視差高解像度 CGH を発表・展示してきた。このような CGH は静止画であるため、電子ホログラフィ

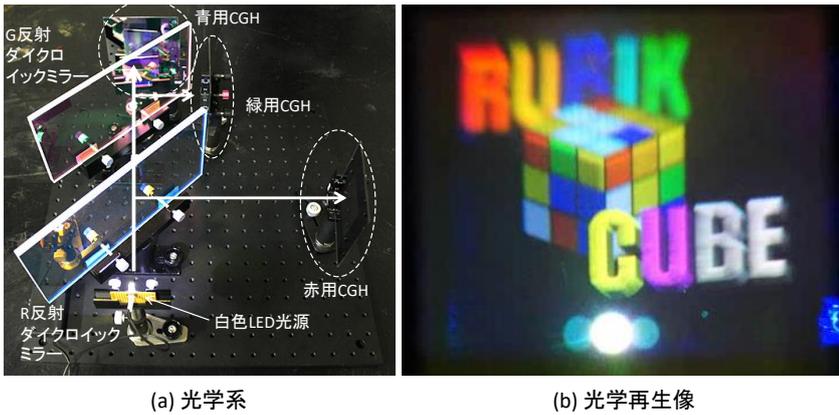


Fig.1 ダイクロイックミラーによるフルカラー再生[10]

のように時分割でカラー再生することは不可能である。そのため、我々はカラーフィルタ方式で高解像度 CGH をフルカラー再生する手法の実現に取り組んできた[5-9]。本稿ではその手法について述べ、実際の再生像を報告する。

2. 高解像度 CGH のフルカラー再生手法

高解像度の静止画 CGH はいわゆる薄いホログラムであるため、そのカラー再生には、本稿で述べるカラーフィルタを用いる方法以外に、ダイクロイックミラーを用いる手法[10]や 2 色性の誘電体多層膜を積層する手法[11]などが考えられる。

ダイクロイックミラーを用いる手法は 3 板方式の液晶プロジェクタと同じ原理であり、3 枚の CGH の再生像をダイクロイックミラーにより合成しフルカラー再生像を得る手法である。原理的には単純であり、実際

に Fig.1(b)に示すような美しい再生像が得られる。しかし、高解像度 CGH は視域が広いので、視域全体をカバーするためには非常に大きなダイクロイックミラーが必要となり、光学系が巨大化する欠点がある。また、実際の展示では、設置後の光軸調整に長い時間を要し、可搬性に欠ける問題がある。

一方後者は、微細加工・成膜技術を用いて特定の波長のみを反射する誘電体多層膜でその波長での干渉縞を作成する。つまり例えば赤の反射膜は赤色光のみを反射再生する干渉縞となっ

ており、その他の波長の光は回折を受けずに透過する。そのため、RGB の干渉縞を積層することができる。これは面白い手法であり高品質な再生像が期待できるが、非常に高度の成膜技術が必要であり、その作成は簡単ではない。そのため、本研究ではカラーフィルタ方式を採用している。

3. カラーフィルタ方式の問題点

カラーフィルタ方式で高品質な再生像を得ようとすると、以下の 3 つの問題点が考えられる。

3.1. カラーフィルタの広帯域な特性

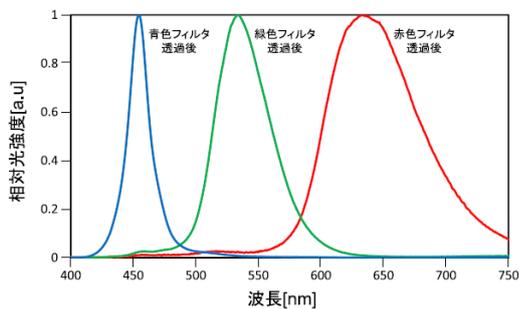
液晶パネルなどで用いられるカラーフィルタは非常に広い帯域を有し、その透過スペクトルはとても単色と呼べるものではない。そのまま CGH の再生光に用いると、大きな色収差が発生してしまう。これが第一の問題点となる。

この解決方法は、実は簡単であり、照明光源のほうに狭帯域なものを用いればよい。具体的にはマルチチップタイプの LED を用いている。よく白色照明として用いられる蛍光体を用いた LED は広帯域であるが、RGB 個別のチップを一つの LED としてパッケージングしたマルチチップタイプ LED であれば、RGB 個々の光は比較的狭帯域である。実際にカラーフィルタ透過後のスペクトルの測定例を Fig.2 に示す。

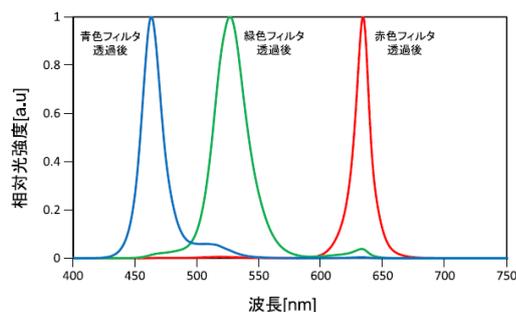
3.2. カラーフィルタの空間的解像度の低さ

CGH の視域は干渉縞の物理解像度で決まるため、我々の高解像度 CGH では、干渉縞の画素ピッチは $1\mu\text{m}$ 以下となっている。液晶プロジェクタ用のカラーフィルタ等ではこのような高解像度のものも作成可能であるが、それを大面積にするのはコスト的に高くなる。

そこで本研究では、干渉縞の画素単位のフィルタリングはあきらめ、画素ブロック毎のフィルタリングとしている。つまり、Fig.3 に示す通り、1 枚の CGH を RGB に対応する波長ごとにブロック化して対応波長での干渉縞を埋め込み、そのブロック単位でフィルタ



(a) 白色LED(蛍光体)



(b) シングルチップ白色LED

Fig.2 カラーフィルタ透過光のスペクトル例

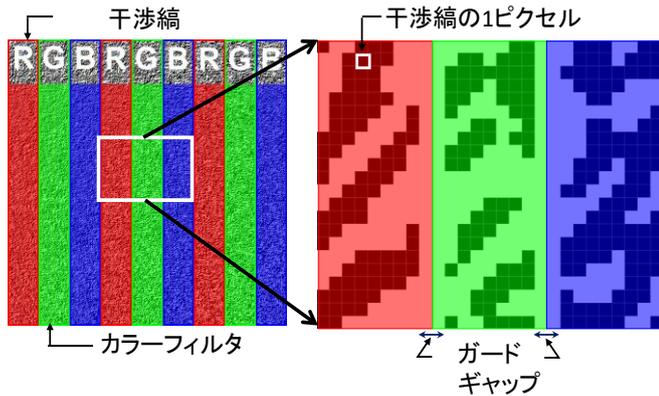


Fig.3 干渉縞とカラーフィルタの関係[8]

リングしている。

3.3. カラーフィルタの位置合わせ精度

前述のとおり、干渉縞画像をサブミクロンオーダーの画素を有するため、カラーフィルタの境界を干渉縞画像の境界と一致するように正確に貼り合わせることは容易ではない。またカラーフィルタの境界で透過特性が混合する問題もある。同様な問題は液晶パネルにもあり、ブラックマトリックス(BM)と呼ばれる非透過領域をカラーフィルタ側に持たせるのが一般的である。

本研究では、そのようなBMの代わりに、Fig.3に示すように干渉縞の側にガードギャップと呼ぶ間隙を設け、位置合わせに対する余裕度を確保している。これによってカラーフィルタの製作コストも削減できる。

4. 再生像シミュレーションによるフィルタ設計

4.1. カラーフィルタの透過特性

本研究では、フォトマスクの技術により高い反射率を有する金属膜干渉縞を描画してCGHを作成している。この手法の最大の利点は薄いホログラムであるにもかかわらず、反射型として再生できることである。しかし、干渉縞の空間解像度が不十分であるため、あまり大きな参照光角度(再生光角度)を持たすことができない。そのため、非回折光(0次光)を再生像から大きく離すことができず、眩しい非回折光が一部目に入ってしまう問題が生じる。

これが研究初期に最も大きな問題となった[5]。白色LEDは駆動電流を増加するとかなり高輝度のできるため、たとえCGHの再生像が暗くても、光源の輝度を上げてやれば明るくなる。しかし、それでは目に入る非回折光も明るくなってしまい、眩くてとても再生像を観察することができなかつた。これはつまり、カラーフィルタを含めたフルカラーCGHの効率が低いことを意味する。しかし、どのようなフィルタ特性であれば高い効率を維持し、快適に再生像を観察できるかが明らかでなかつた。

そこで、実際の金属膜干渉縞の反射率やカラーフィルタの透過特性を反映して再生像をシミュレートでき

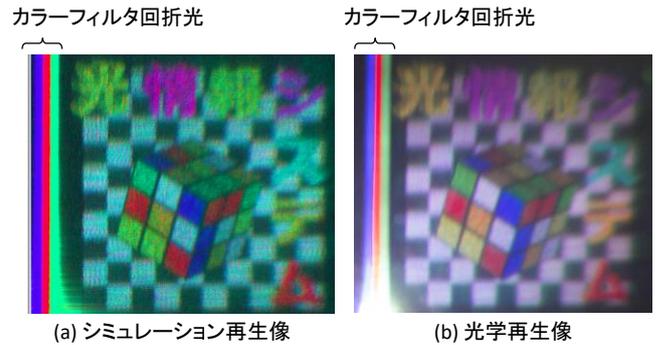


Fig.4 シミュレーション再生の例とカラーフィルタでの回折によって発生する光条

る物理シミュレーションコードを開発した[6-9]。Fig.4にそれを用いたシミュレーション再生像と光学再生像を示す。非回折光がよく再現されていることがわかる。

カラーフィルタの製作は専門企業に依頼した。しかし、どのようなフィルタ特性でも製作できるわけではなく、使える材料やプロセスの制約の範囲で、材料とその厚さを選択する必要がある。本研究では、作成したコードを用いて様々の組み合わせのシミュレーションを行い、もっとも非回折光の輝度が低く、再生像が明るくなるパラメータを選択した。

4.2. カラーフィルタの構造

RGBカラーフィルタの形状と配置には様々な組み合わせが考えられるが、本研究では貼合わせ作業の容易さを考慮して、単純なストライプ構造とした。この場合でも、垂直方向と水平方向のストライプが考えられるが、本研究では垂直ストライプを選択している。これは次の理由による。

Fig.4は、実は水平ストライプの結果である。この図からわかる通り、非回折光はフィルタ自体の回折によりフィルタの縞と直交する方向に光条を発生する。そのためこのケースでは垂直の光条が発生している。再生像が明るくなるように、再生照明光源を像の真下に設定することが多いが、水平ストライプにするとこの光条が再生像とかぶり、像の観察を阻害する。そのため、本研究ではほとんどの場合垂直ストライプを選択している。当然、水平方向には干渉縞が分断するため、

Table 1 作成したフルカラーCGHのパラメータ

干渉縞画素数	131,072 × 131,072
干渉縞画素ピッチ	0.8 μm × 0.8 μm
サイズ	10.5 × 10.5 cm ²
設計波長 (R, G, B)	630, 520, 460 nm
フィルタストライプ幅	60 μm
ガードギャップ幅	20 μm
モデルの総ポリゴン数	128,192

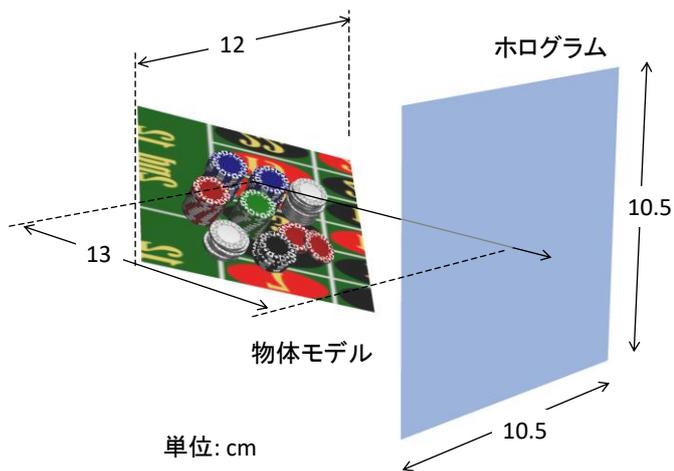


Fig.5 フルカラーCGH “Casino Chips”の 3D シーン

水平方向の像品質や解像度が劣化しているはずである。しかし、元の干渉縞が非常に大きな解像度を有しているため、肉眼ではこの劣化は検知されない。

5. フルカラーCGHの作製とその光学再生像

このような技術を用いて、160億ピクセル(128K×128K)規模のフルカラーCGHを作成した。作成したCGHのパラメータと3DシーンをTable 1とFig.5にそれぞれ示し、光学再生像をFig.6に示す。

6. まとめ

本稿では、カラーフィルタを用いてフルカラー高解像度CGHを作成するための手法を概説した。また、実際に作製した160億画素規模の高解像度CGHを紹介し、その光学再生像を示した。

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] 梶木克則, 岡本正昭, 安藤孝久, 山崎幸治, 志水英二: “計算機合成ホログラムを用いた3次元ディスプレイカラーフィルタを用いたカラー像再生”, 1997年信学会システム・ソサエティ大会, D-11-99(1997).
- [2] 山田, 大島: “ホログラムおよびこれを用いたカラー画像生成方法”, 特開平 8-201630 (1995).
- [3] 岡野, 奥井: “カラーホログラフィ表示装置”, 特開 2008-281774 (2007)
- [4] S. Iwami, Y. Sakamoto: “A study of glasses-type color CGH using a color filter considering reduction of burring,” SPIE Proc. **7233**, 723317 (2009).
- [5] 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児: “カラーフィルタ方式によるフルカラー高解像度計算機合成ホログラムの作成,” 3次元画像コンファレンス 2015, 3-4 (2015)
- [6] 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児: “カラーフィルタ方式フルカラー高解像度計算機合成ホログラムの再生シミュレーション,” Optics & Photonics Japan 2015, PD13 (2015).
- [7] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Sakamoto: “A Simulation technique for selection of color filter used for full-color high-definition CGH,” IWH2015, Th2-4 (2015).
- [8] 土山泰裕, 松島恭治, 中原住雄, 坂本雄児: “フルカラー高解像度 CGH 用カラーフィルタの設計とその光学再生像”, 3次元画像コンファレンス 2016, 2-1 (2016).
- [9] Y. Tsuchiyama, K. Matsushima, S. Nakahara, Y. Sakamoto: “Full-color high-definition CGH using color filter and filter design based on simulation,” OSA Digital Holography & 3-D Imaging, DW51.4 (2016).
- [10] T. Miyaoka, K. Matsushima, S. Nakahara: “Optimization of design-wavelength for unobtrusive chromatic aberration in high-defintion color computer holography”, SPIE Proc. **9386**, 9386N (2015)
- [11] T. Kämpfe, E. Kley, A. Tunnermann, P. Dannberg: “Design and fabrication of stacked CGH for multicolor image generation,” Appl. Opt. **46**, 5482 (2007).

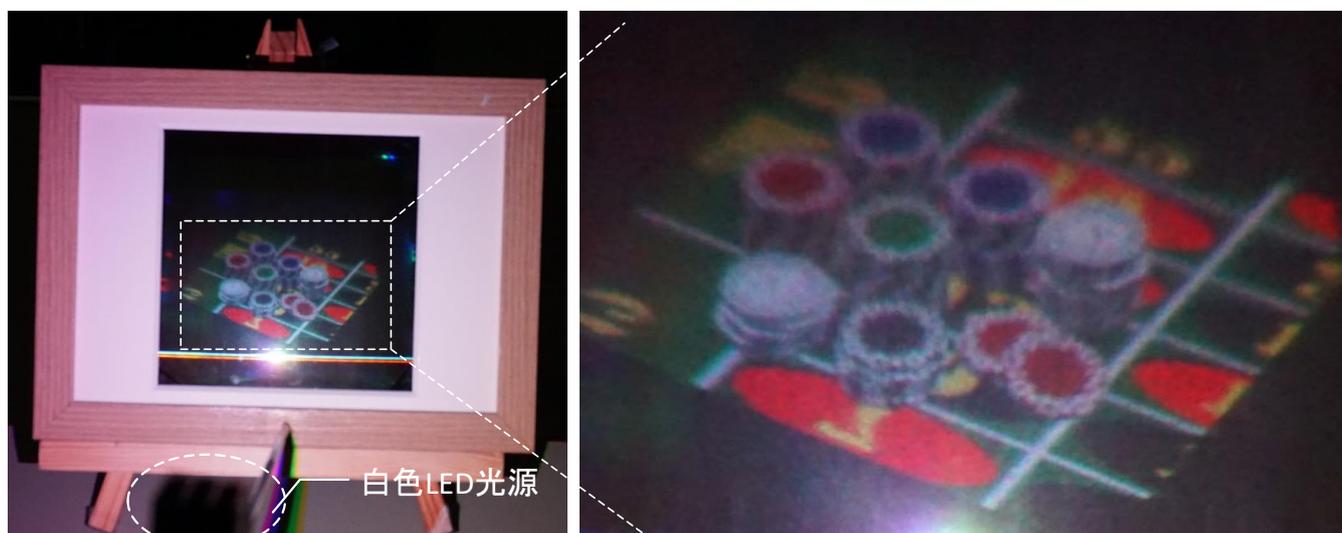


Fig.6 作製したフルカラーCGH “Casino Chips”の光学再生像