

## 曲面多色像ホログラムの開発

奈良工業高等専門学校 電子制御工学科 ○佐藤 優志 ◎西田 茂生

近年、立体ディスプレイ等に計算機合成ホログラムが期待されている。しかし、曲面上に多色像を再生する計算機合成ホログラムはまだ実用化されていない。本研究では、フレネル回折の特徴を応用した多重ホログラムと加法混色を用いて、曲面上へ多色像を再生することのできる計算機合成ホログラムの設計手法を提案した。さらに、空間光変調器を用いた評価実験を行い、球面上に最大9色の像を再生できることを確認した。また、再生像の視認性を向上させる手法の提案も行い、その有用性を確認した。

### 1. 緒言

現在、空中に3D立体イメージを表示する3D TV やBlu-ray3D などの製品が実用化されている。これらの製品は、右目・左目にずれた映像を送り込むことで、実際には平面である映像を立体的に見せている。しかし、これを実現するには専用眼鏡を装着する必要がある、裸眼では立体イメージを見ることが出来ない。他方、ホログラフィ技術では、めがねなしで視差、ふくそう、焦点などの人間の立体認識を満足することができる<sup>[1]</sup>。また、ホログラムには様々な種類があるが、このうち、物体光と参照光の干渉を計算機で計算する計算機合成ホログラム(CGH : Computer Generated Hologram) では、実際の物体だけでなくCGデータなどの仮想物体をホログラム化することが可能<sup>[2]</sup>、ホログラムの製作時間を大幅に短縮できる等の特徴があり、3D立体ディスプレイなどへの実用化に非常に期待されている。一方、CGHを立体ディスプレイとして使用する場合カラー画像表示と立体イメージ表示が重要となるが、現状、曲面上に多色像を再生するCGHは実用化には至っていない<sup>[3]</sup>。

本研究は、曲面上に多色像を再生することのできる計算機合成フレネルホログラム(CGFH : Computer Generated Fresnel Hologram)の開発を目指す。曲面上への再生はフレネルホログラムの特徴を応用した多重ホログラムを用いる。また、多色像の再生は光の3原色である赤、緑、青の3つの光源の組み合わせにより表現する。さらに、本研究では設計したCGFHの評価に空間光変調器(SLM : Spatial Light Modulator)を用いて、実際にスクリーン上に像を再生するが、先行研究では再生像の視認性が悪いという問題がある。本研究では、再生像の視認性を向上させる手法の提案も同時に目指す。

### 2. 提案手法

#### 2. 1. 曲面上に像を再生する手法

本研究では、再生像の結像距離をフレネル回折領域に限定して設計を行う。フレネル回折は距離や波長によって回折波が変化するという特徴がある。本研究ではこの特徴を利用して曲面上へ像の再生を実現する。曲面上に像を再生するCGFHの設計法をFig.1に示す。立体設計像を結像距離一定間隔ごとにわけ、それぞれの結像距離ごとにCGFHを設計し、最後にそれぞれのCGFHの複素振幅を足し合わせて1つのCGFHにまとめる。この1つにまとめられたCGFHを多重ホログラム(Multiple Hologram)と呼ぶ。多重ホログラムは、距離ごとに異なる再生像を得ることができるが、足し合わせるCGFHの枚数を多くするほど視認性が悪くなることが先行研究より確認されている。

#### 2. 2. 多色像を再生する手法

本研究では、カラー設計像を再生する場合、設計像を赤、緑、青成分に分け、成分ごとにCGFHを設計し、スクリーン上で各成分の再生像を重ね合わせてカラー像を再生する。黄や橙のような中間色を2色以上同時再生する場合、スクリーン上の光の強度を場所ごとに変化させる必要がある。これを実現するためには、設計像の各成分の値をグレースケールで表現できればよいが、本研究では、設計像として、実際にホログラムを作製する場合を考慮し2値画像を用いている。そのため、Fig.2に示すように黒部分の割合を変えることによって疑似的にグレースケールを表現する手法を提案する。

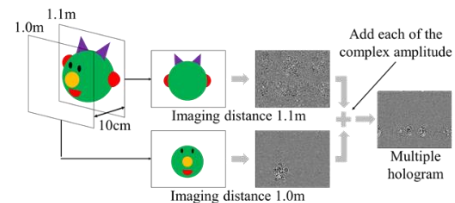


Fig.1 曲面上に像を再生する手法

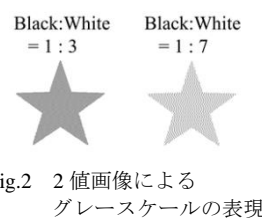


Fig.2 2値画像によるグレースケールの表現

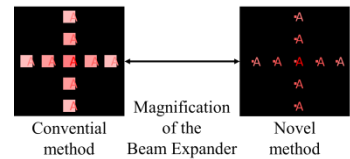


Fig.3 再生像の視認性を向上させる手法

### 2. 3. 再生像の視認性を向上させる手法

ビームエキスパンダの倍率を変化させると回折像の矩形模様の変化が変化する。本研究ではこの性質を利用し、Fig.3に示すように矩形模様を縮めて再生像から除くことで視認性を向上させる手法を提案する。なお、本研究では視認性を定量的に評価するパラメータとして、次で定義する視認率を用いる。

$$\text{視認率} = \frac{\text{像の色合値}}{\text{全体の色合値}} \times 100[\%]$$

$$\left( \text{色合値} = \sqrt{\text{赤成分}^2 + \text{緑成分}^2 + \text{青成分}^2} \right)$$

### 3. 実験方法

#### 3. 1. ホログラム設計

カラー立体設計像を、結像距離5mm間隔ごとに赤、緑、青成分にわけ、それぞれの成分ごとに多重ホログラムを設計する。ホログラムの干渉縞パターンは反復法<sup>[4]</sup>を用いて求める。Fig.4に実験で使用する光学系を示す。なお、3つ光源を用いる場合、SLMが2個しかないため2枚のCGFHを1枚のCGFHにまとめる必要がある。本研究では、赤と緑のCGFHを1枚にまとめるが、ここで赤と緑のCGFHを多重ホログラムにより1枚にまとめると、赤で設計した像が緑でも再生されてしまう。そこで、左半分が赤のCGFH、右半分が緑のCGFHのCGFHを作成し、SLMの左半分に赤色レーザーを、右半分に緑色レーザーを照射して再生像を得る。この方法を用いれば、赤で設計した像が緑でも再生されてしまう問題点を防ぐことが可能となる。

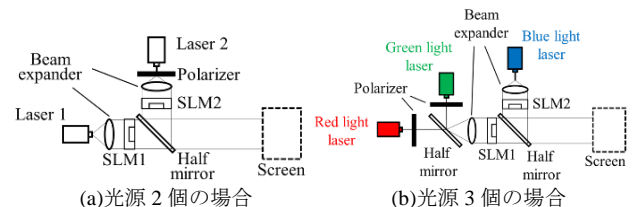
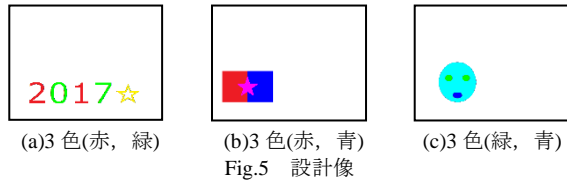


Fig.4 実験光学系

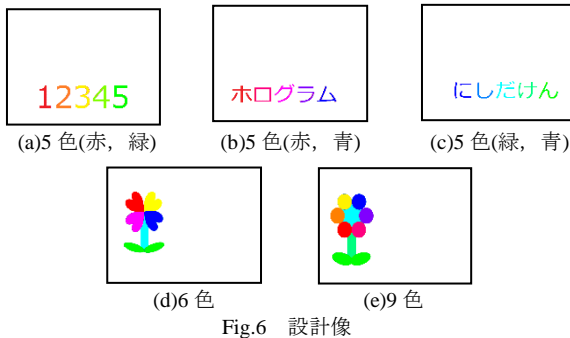
### 3. 2. 視認性向上手法の有用性確認実験

光学系の2個のSLMから75cm離れた平面スクリーンに赤, 緑成分で構成された3色設計画像(Fig.5(a))を再生するCGFHを, 視認性向上手法を①用いる②用いない, の2種類の場合でそれぞれ設計, 再生して視認率を求める. 赤, 青成分, 緑, 青成分で構成された2種類の3色設計画像(Fig.5(b), (c))についても同様の操作を行う.



### 3. 3. 曲面多色像再生実験

75cm離れた場所に設置した直径12mmの球面上に, 赤, 緑成分で構成された5色設計画像(Fig.6(b))を再生するCGFHを多重ホログラムで設計, 再生して視認率を求める. 赤, 青成分, 緑, 青成分で構成された2種類の5色設計画像(Fig.6(b), (c)), 赤, 緑, 青全ての成分で構成された6色設計画像(Fig.6(d))と9色設計画像(Fig.6(c))においても同様の操作を行う.



## 4. 実験結果

### 4. 1. 視認性向上手法の有用性確認実験

提案手法を用いた場合の再生像の写真を Fig.7(a)~(c)に, 従来手法を用いた場合の再生像の写真を Fig.8(a)~(c)に示す. さらに, これらの再生像の視認率をまとめたものを Table 1 に示す.

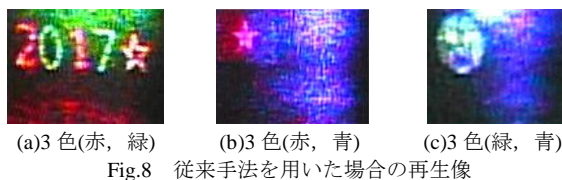
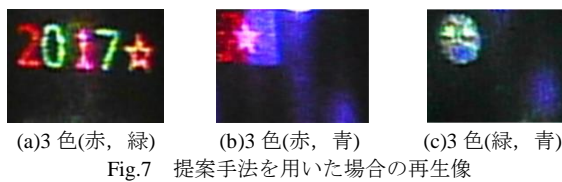


Table 1 再生像の視認率

	Red,Green	Red,Blue	Green,Blue
Novel method	49.4%	49.2%	39.0%
Conventional method	34.4%	23.1%	25.9%

Table 1より全ての場合において提案手法を用いたほうが従来手法を用いた場合より視認率が15%程高くなっていることが確認できる. また, Fig.8では像の周りのノイズが目立つが, Fig.7ではこのノイズがほとんど取り除かれており, 写真からも視認性の向上が確認できる.

### 4. 2. 曲面多色像再生実験

再生像の写真を Fig.9(a)~(e)に示す. また, Fig.9(e)を1~9の部分に分け, 各部分の赤, 緑, 青成分の平均値を求めてグラフにまとめたものを Fig.10 に示す.

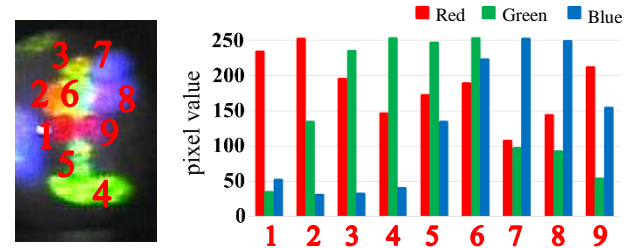
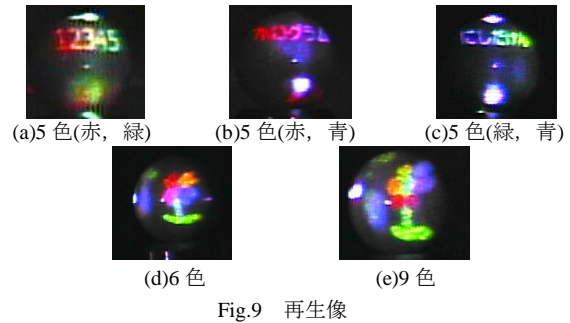
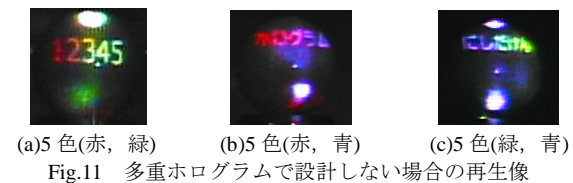


Fig.9(a)~(e)より, 全ての場合において, 多少不明瞭さはあるが, 球面上に多色像を結像できていることがわかる. また9色再生像で, 設計像に赤成分が含まれていない4, 5, 6で赤成分が大きくなっているが, それを除けばほとんど設計像通りの色の比率になっていることが Fig.10より確認できる. なお, 4, 5, 6で赤成分が高くなっている原因としては, 緑色のレーザーの出力が他の色のレーザーに比べ大きく, 写真では光の強度が強い場所ほど白色(全成分 255)に近づくためであると考えられる. また, Fig.9(a)~(d)の再生像でも同様の結果が得られた.

一方, 球面上への再生に関しては, SLMのピッチ間隔が $32\mu\text{m}$ であるため結像距離75cmでは像の大きさが15mm角程と小さく, Fig.11に示すように多重ホログラムで設計しなくても球面上に再生することが可能であった.



## 5. 結言

視認性向上手法の提案を行い, その有用性を確認した. また, 球面上に多色像を再生する手法の提案を行い, 球面上に最大9色までの多色像を再生することが確認できた. ただし, 球面像に関しては多重ホログラムが機能しているかどうかを, より大きな像とスクリーンを用いて確認する必要がある.

## 参考文献

- [1]坂本雄児, 青木由直: 計算機合成ホログラムを用いたボリュウムデータの立体画像化, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-D-II, No.2, pp.302-309, (2003)
- [2]藤田治良, 山口健, 吉川浩: ホログラムの白色光再生シミュレーション, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.10, pp.1481~1485, (2007)
- [3]木下健治: フレネル CGH のカラー画像再生シミュレーション, ITE Technical Report, Vol.33, No.16, pp.49~52, (2009)
- [4]R.W.Gerchberg and W.O.Saxton: A Practical Algorithm for the Determination of the Phase from Image and Diffraction Plane Pictures, Optik 35, (1972)