

# プレート型高解像度計算機合成ホログラムの 転写による多角柱型ホログラムの作製

## Fabrication of polygonal prismatic hologram by transferring planar high-definition computer-generated hologram

玉置翼

松島恭治

Tsubasa Tamaki

Kyoji Matsushima

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

### ABSTRACT

High-definition CGHs produced by laser lithography are always a hard plate hologram because they have a glass substrate. Accordingly, it is impossible to fabricate CGHs that have a cylindrical surface. In addition, it is not easy to calculate the object field on the cylindrical surface. A technique using photopolymer and the hard plate CGH is proposed to calculate and fabricate arched CGHs having several facets in this report. In this technique, the fringe pattern of an original CGH is transferred to photopolymer using a technique of non-interference contact-copy. A 4-facets arched CGH is demonstrated to verify the proposed technique.

**Keywords:** 計算機合成ホログラム, 転写 CGH

### 1. はじめに

近年、コンピュータホログラフィの進歩により、数 10~1000 億ピクセルの規模で、輻輳調節矛盾が全く起きない全方向視差の高解像度計算機合成ホログラム(以下 CGH)が作製されるようになった [1]. この様な大規模高解像度 CGH を作製する方法として、レーザーリソグラフィ装置を用いてガラス基板上のクロム膜またはレジストによって干渉縞を形成する手法がある. そのため、作製される CGH は基本的にプレート型となる[2]. このような CGH の場合、観察者は再生される物体像のうちホログラム面の方向に向いている一部分しか観察することができない. しかし、ホログラム面を円筒形状にすることにより観察範囲の拡大ができる. そのため、フリンジプリンタでフィルムに干渉縞を描画した円筒形 CGH が報告されている[3]. また、円筒型の光学ホログラムとしてマルチプレックスホログラムがある. しかし、

マルチプレックスホログラムはステレオ立体視の原理に基づいているため、輻輳調節矛盾が起こるとい  
う問題がある[4].

本研究では、レーザーリソグラフィ装置を用いて、輻輳調節矛盾が起きない円筒型 CGH の作製することを最終目標としている. しかし、プレート型の高解像度 CGH をそのまま円筒形状に加工することは不可能である. そのため、原版 CGH の干渉縞パターンを可塑性のある素材に転写し、それを円筒形状にする必要がある. しかし、円筒面上で物体光波を計算することは簡単ではないため、円筒を近似した多角柱型 CGH の作製を試みている. 本論文では、多角柱型 CGH 作製のさらに前段階として作製した、4 枚のわずかに傾いた平面で構成されるアーチ形 CGH を報告する.

### 2. 多角柱型 CGH の作製

#### 2.1. 原版 CGH の計算

多角柱型 CGH の計算に用いる座標系を Fig.1 に示す. 全方向視差高解像度 CGH の物体光波計算に用いられるポリゴン法では、平面上での物体光波が得られ[2], Fig1(a)のように円筒面状の物体光波を計算

---

玉置翼

<tamaki@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)

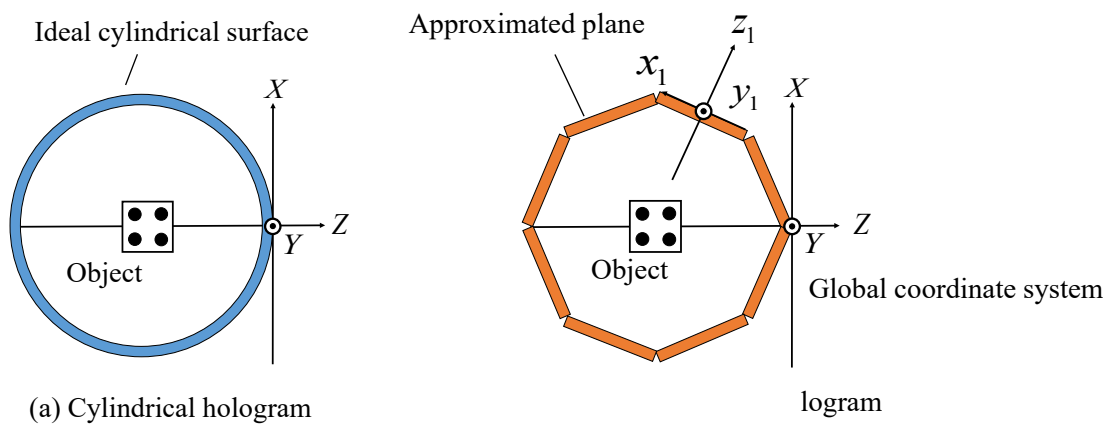


Fig. 1 Approximation of (a) a cylindrical hologram by (b) a polygonal prismatic hologram, and definition of the global and local coordinate systems.

することは困難である．そこで，円筒面を Fig.1(b)のように複数の平面で構成される多角柱で近似し，各平面における CGH(以下，要素 CGH)に対して物体光波を計算する．

いま物体モデルの頂点座標をグローバル座標  $(X, Y, Z)$  で与えると， $n$  番の要素 CGH のローカル座標  $(x_n, y_n, z_n)$  における物体モデルの頂点座標は

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \\ z_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta_n & 0 & -\sin \theta_n \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_n & 0 & \cos \theta_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - \Delta x_n \\ Y - \Delta y_n \\ Z - \Delta z_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

となる．ここで， $(\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n)$  はグローバル座標で表した要素 CGH の原点座標であり， $\theta_n$  はグローバル座標の  $(X, Y, 0)$  平面と要素 CGH のなす角である．これにより，要素 CGH 毎にローカルな物体モデルを求め，物体光波を計算する．次に，各 CGH の干渉縞をコーディングした後，そのパターンデータを展開して結合することで，レーザーリソグラフィ装置で描画可能な 1 枚の CGH の干渉縞が計算できる．このようにして作製された CGH は平面的なホログラムであるが，フォトポリマーのような可塑性のある記録材料に転写して曲げることで多角柱ホログラムの作製が可能となる．

なお，各要素 CGH から見た 3D シーンの広がりがある要素 CGH の物体光波より大きい時，要素 CGH は広視野 CGH となる．そのため，Fig.2 のように物体光波の標本窓を広げて計算を行い，CGH 面で物体光波をトリミングする[5]．これにより，3D シーンを大きくすることが可能である．

## 2.2. 要素 CGH の角度

本研究では，Fig.3 に示すように隣り合った要素

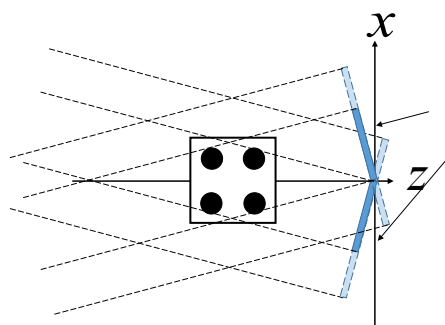


Fig. 2 Expansion of the sampling window.

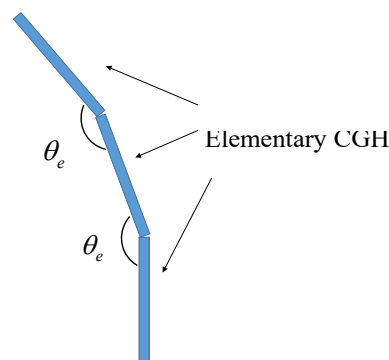


Fig. 3 Definition of the angle of neighboring elementary CGHs.

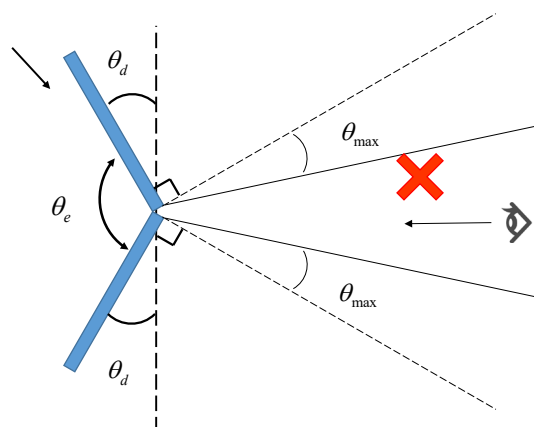


Fig. 4 The blind spot caused in a small angle of  $\theta_e$ .

CGH が為す角度を要素 CGH 角度  $\theta_e$  と呼ぶ。また, Fig.4 に示すように補助線を引いた時, 角度  $\theta_d$  は要素 CGH 角度  $\theta_e$  を用いて

$$\theta_d = \frac{180 - \theta_e}{2} \quad (2)$$

と表される。この角度が作製する CGH の最大回折角  $\theta_{\max}$  を超えた場合, Fig.4 に示すように, 要素 CGH の視域を外れた死角が存在するため, その方向からは再生像が確認できなくなる。そのため, 要素 CGH 角度  $\theta_e$  は,

$$180 - 2\theta_{\max} < \theta_e \quad (3)$$

の範囲でなければならない。

### 2.3. 透過型位相ホログラムの作製

Fig.5 に示す非干渉マスク転写法を用いて, しなやかなフォトリソによるホログラムを作製する。この手法では, レーザリソグラフィによって作製したプレート型原版 CGH とフォトリソを密着して平行光で照明することで原版 CGH の振幅干渉縞パターンと一致した 2 次元屈折率分布を形成するため, 透過型の位相 CGH が作製できる。この転写は光の干渉によるものではないため, 極めて振動に強い特長がある[6]。

## 3. 4面アーチ形 CGH の作製と再生

### 3.1. CGH の設計

本研究では, 多角柱型 CGH 作製の前段階として, 4 枚の要素 CGH から構成されるアーチ形 CGH の作製を試みた。1 枚の要素 CGH の大きさは縦が 52 mm で横が 13 mm の長方形である。また, 要素 CGH 角度を 165 度とした。そのため, 作製する CGH は外角が 15 度の 24 角柱の一部である。なお, 転写後に曲げる作業を容易にするために, 原版 CGH の各干渉縞パターンの中に 1 mm の隙間を設けた。

3D シーンを Fig.6 に, また原版 CGH のパラメータを Table 1 に示す。本 CGH では, CGH の中央の頂点から 50 mm 離れた位置にサイコロのモデルを配置し, 参照球面波の中心を  $(0, -40, -200)$  とした。

### 3.2. シミュレーション再生像

シミュレーション再生像を Fig.7 に示す。Fig. 7(b) の点線が干渉縞の折り曲げ線を示しているが, 中央

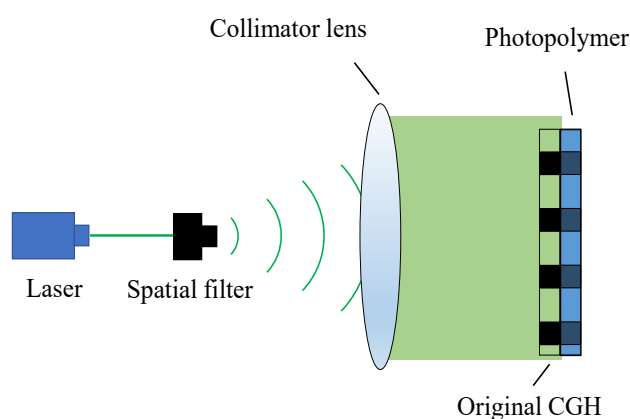


Fig. 5 Transfer of the fringe pattern from the original CGH to photopolymer.

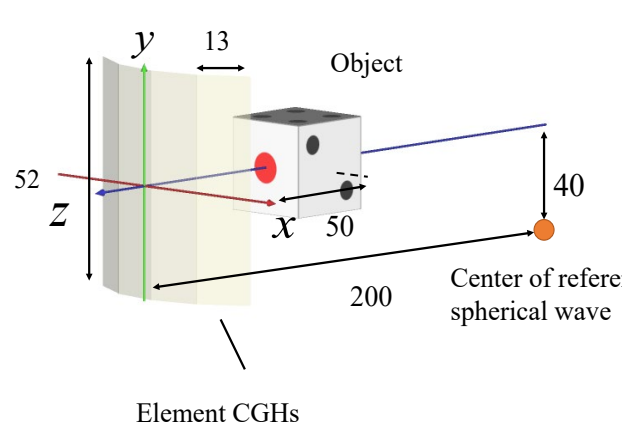


Fig. 6 The 3D scene of the test CGH.

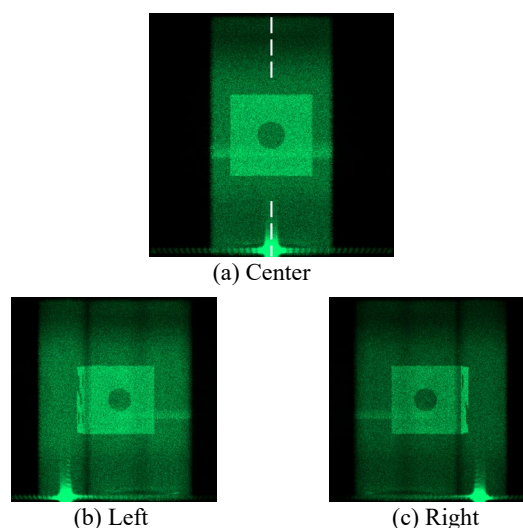


Fig. 7 Simulated reconstruction of the arched CGH with 4 facets.

Table 1 Parameters used for creating the original CGH.

Number of sample points of object field	65,536 × 65,536
Sampling interval of object field [μm]	0.8 × 0.8
Sizes of CGH [cm <sup>2</sup> ]	5.2 × 5.2
Design wavelength [nm]	532

視点では違和感なく再生されていることが分かる。しかし、視点を左右に移動すると、干渉縞データの折り曲げ線に沿った黒い筋が確認できた。また、再生像の両端は黒くなることが確認できた。これは、左右のホログラムの再生光が視点位置で最大回折角を超えているため、再生像が見えなくなったためと考えられる。

### 3.3. 光学再生像

実際に原版 CGH を作製し、フォトポリマーに転写を行なった。記録材料には COVESTRO 社の Bayfol®HX200 を用い、要素 CGH 角度が 165 度になるように曲げた状態で照明して、光学再生像を確認した。実際に作製した 4 面アーチ形 CGH の外観を Fig.8 に示す。また、その光学再生像の写真を Fig. 9 に示す。正面視点ではサイコロの正面部分が再生されているが、左右にエイリアシングと思われる再生像が確認できる。右側視点でも、真の像の左側に不要な像が確認できる。なお、各再生像にある黒い筋は原版 CGH 作製時に設けた 1 mm の隙間である。

視点をさらに大きく移動した場合、左側の視点からは再生像を確認することができたが、右側の視点からは全く再生像を確認することができなかった。また、転写 CGH は全体的に原版 CGH より再生像が暗く、干渉縞の端の部分、特に右側の部分で再生像が暗くなっていた。このことから、転写時の平行光の光強度が均一ではなく、露光量に偏りが生じて不完全な転写になったと考えられる。

### 4. まとめ

多角柱型 CGH 作製の前段階として、非干渉マスク転写法を用いてフォトポリマーで位相 CGH を作成し、4 面アーチ形 CGH を作製した。その結果、再生像を確認することはできたが、エイリアシングによると思われる多重像が確認された。また、転写による再生像の劣化も確認された。これは、転写に用いた平行光の光強度が不均一であったことが原因であると考えられる。今後は、ビーム整形素子などを用いて露光量を均一化して転写を行う必要があると考えられる。

### 謝辞

本研究は、日本学術振興会科研費 18H03349 の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] K. Matsushima: *Introduction to Computer Holography*, (Springer, 2020).
- [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] T. Yamaguchi, T. Fujii, H. Yoshikawa: Fast calculation method for computer-generated cylindrical holograms, *Appl. Opt.* **47**, D63-D70(2008)
- [4] 久保田敏弘: *ホログラフィ入門*, pp.58-59 (朝倉書店, 東京, 2010).
- [5] Y. Nagae, K. Matsushima: Creation of a large-scale urban landscape CGH using the switch-back and polygon-based method, *HODIC in Taiwan 5*, (2018)
- [6] 川淵, 松尾, 横山, 松島: “フォトポリマーを用いた位相変調型計算機合成ホログラムの作成”, 2003 年電子情報通信学会総合大会, D-11-142 (2003).

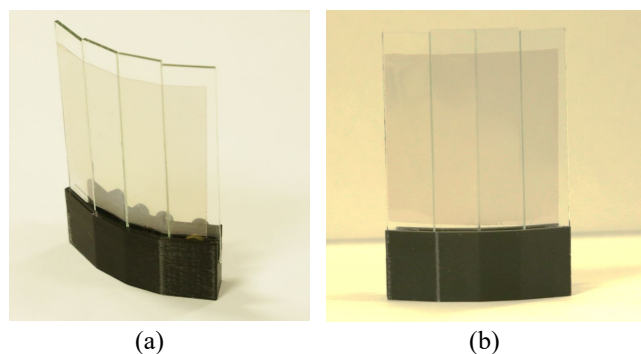


Fig. 8 Appearance of the fabricated 4-facets arched CGH.

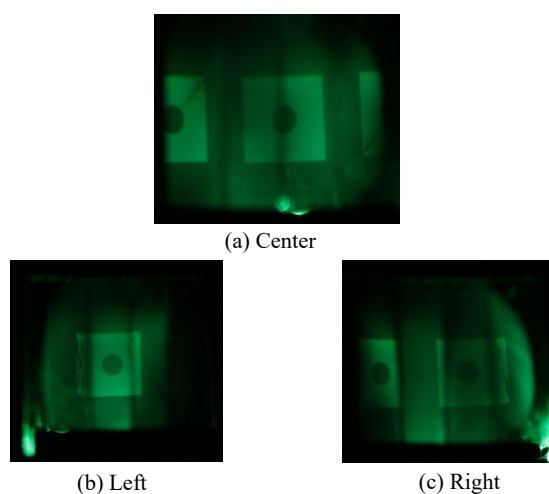


Fig. 9 Optical reconstruction of the 4-facets arched CGH made of photopolymer.