

## ポリゴンベース CGH におけるサーフェースレンダリング

## Surface Rendering in Polygon-Based High-Definition CGH

西 寛仁<sup>1</sup> 松島恭治<sup>1</sup> 中原住雄<sup>2</sup>Hirohito Nishi<sup>1</sup> Kyoji Matsushima<sup>1</sup> Sumio Nakahara<sup>2</sup><sup>1</sup>関西大学システム理工学部電気電子情報工学科<sup>1</sup>Department of Electrical and Electronic Eng., Kansai Univ.<sup>2</sup>関西大学システム理工学部機械工学科<sup>2</sup>Department of Mechanical Eng., Kansai Univ.

nishi@laser.ee.kansai-u.ac.jp

## 1. はじめに

計算機合成ホログラム(CGH)は、仮想物体の空間像を3次元的に再生できるため、次世代ディスプレイへの応用が期待されている。我々は、ポリゴン法で数値合成した仮想物体の光波を再生するCGHとして、レーザーリソグラフィ技術により作製したポリゴンベース超解像度CGH(Polygon-Based High-Definition CGH: PBHD-CGH)をすでに報告しており<sup>1</sup>、PBHD-CGHで用いている表面モデル仮想物体のレンダリング技術を総称してウェーブフィールド・レンダリング(Wave-field rendering)と名付けている。

従来、我々はウェーブフィールド・レンダリングにおけるシェーディング(影付け)手法としてフラットシェーディングのみを用いてきた。しかしながら、ウェーブフィールド・レンダリングがCGのそれと親和性が高いため、CGのスムーズシェーディングも応用可能である。そこで本研究では、スムーズシェーディングの一種であるグーローシェーディングをウェーブフィールド・レンダリングに応用したので、その結果を報告する。また、ウェーブフィールド・レンダリングでは、複素関数を用いてポリゴン表面を表現し、その位相分布が光を拡散させるモデルを用いているため拡散位相によってレンダリング結果が変わる。そこで、本報告では拡散位相の改良についても触れる。

## 2. ポリゴン法

CGHにおける物体光波計算にはいくつかの手法があるが、仮想物体表面に点光源を敷き詰めて点

光源からの球面波をホログラム上で重畳する点光源法が最も良く用いられている。点光源法は実装が容易であるが、光源数に比例して計算量が増加してしまい大規模な全方向視差ホログラムの作成が困難であるという問題がある。

そこで、我々は仮想物体表面をポリゴン状の面光源で構成し、その光波を重畳するポリゴン法を提案している<sup>2</sup>。ポリゴン法では伝播計算にFFTを使用でき、また光源数が点光源法に比べて圧倒的に少なくすむため、全方向視差のPBHD-CGHを計算することができる。しかし、点光源法と違いポリゴン法では光源の面積が大きいと、面光源からの光波拡散のための拡散位相を用いる必要がある。そのため、輝度分布に対応する振幅分布と拡散性を与える位相分布から構成される表面関数と呼ぶ複素関数でポリゴン形状の仮想的な面光源を構成する。

## 3. フラットシェーディングとグーローシェーディング

人間が知覚できるのは輝度分布である。そのため、輝度分布 $I(x, y)$ が求めれば、表面関数の振幅分布は、

$$a(x, y) = \sqrt{I(x, y)} \quad (1)$$

となる。フラットシェーディングでは、光源とポリゴンの法線ベクトルよりランバート則に従ってポリゴンの輝度値 $I$ を求め、振幅分布を一定の $\sqrt{I}$ と設定している。この方法は簡単に実装できるが、隣接するポリゴンとの輝度値が不連続になり再生像のポリゴンが目立ってしまう問題点がある。

一方、グーローシェーディングでは、ポリゴンの各

頂点の法線ベクトルを求め、頂点ごとに輝度値を求めてポリゴン内部の輝度を線形補間する。本研究では得られた輝度分布を、(1)式により振幅分布に変換することでウェーブフィールド・レンダリングにおけるグーローシェーディングを行った。

フラットおよびグーローシェーディングを行った球体を2つ含む64K32K規模のホログラムを計算した。そのホログラムを波動光学的シミュレーションによりシミュレーション再生した結果をFig.1に、また用いたパラメータをTable 1に示す。グーローシェーディングでは面の滑らかさが向上していることがわかる。

#### 4. 拡散位相

従来のPBHD-CGHでは、拡散位相にBräuerの位相<sup>3</sup>を使用していた。しかし、この拡散位相は光軸に垂直でホログラムに平行な2次元平面用に研究された拡散位相であり、ホログラム面に対して傾いた多数のポリゴンで立体物を形成するポリゴン法に使用するには拡散性が不十分である。そのため、Fig.1(a)のシミュレーション再生像では、ホログラム面に対して傾きが大きいポリゴンが暗くなってしまう問題が生じている。そこで、本研究では新たに拡散性の高い位相の生成アルゴリズムを開発した。

Bräuerの手法が位相差一定の初期位相の反復フーリエ変換により位相の拡散性を抑制しているのに対し、提案手法では隣接するピクセルの位相差を乱数化することにより、再生像を劣化させる $2\pi$ -circleと呼ばれる特異点がほとんど生じないようにしている。この手法により、光波の不要な伝播を抑制しつつ十分な拡散性を持った位相を生成する事が出来る。提案手法による位相分布をFig.2(b)に示す。

Bräuerの方法と提案手法による再生像を比較するため、それぞれの拡散位相を使用した球体を2つ含む64K32K規模のホログラムのシミュレーション結果をFig.3に示す。用いたパラメータはTable 1と同じである。提案手法を使用した(b)では、大きく傾いたポリゴンが暗くならないことがわかる。

#### 5. まとめ

本研究ではウェーブフィールド・レンダリングがCGのレンダリングと親和性が高いことを利用して、

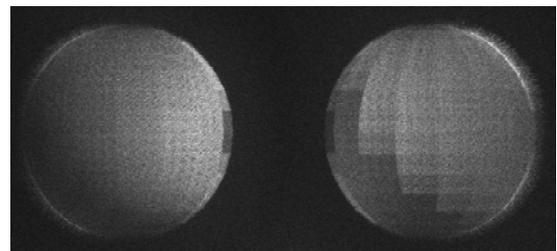
従来のフラットシェーディングに加えてグーローシェーディングを試みた。また、拡散位相を生成する新しい手法を提案し、ホログラムの再生像の改善を行った。

#### 参考文献

- 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) R. Bräuer, F. Wyrowski, and O. Bryngdahl: Diffusers in digital holography, *J. Opt. Soc. Am.* **A8**, 572-578(1991).
- 3) K. Matsushima, Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture, *Appl. Opt.* **44**, 4607-4614 (2005)

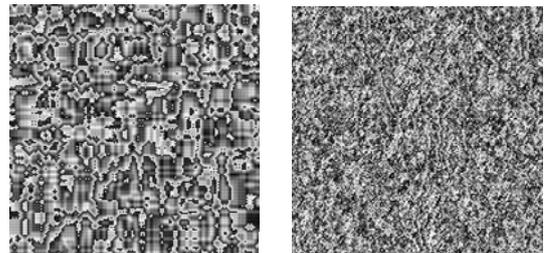
Table 1. Parameters used for simulation

Pixel sizes	65,536x32,768 pixels
Pixel pitches	1 $\mu\text{m}$ x 1 $\mu\text{m}$
No. of polygons	128
Diameter of sphere	23mm



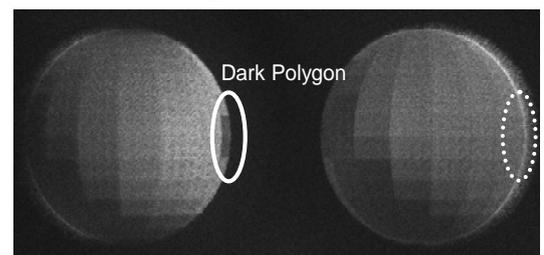
(a) Gouraud Shading (b) Flat Shading

Fig.1. Simulated reconstruction of the CGH



(a) Bräuer Phase (b) This Work

Fig. 2. Diffuser



(a) Bräuer Phase (b) This Work

Fig.3. Simulated reconstruction of the CGH