# ポリゴンベース超高解像度CGHにおけるレンダリング手法 — ウェーブフィールド・レンダリング —

Rendering Techniques in Polygon-Based High-Definition CGH — Wave-Field Rendering —

> 松島恭治<sup>1</sup> 西 寛仁<sup>1</sup> 中原住雄<sup>2</sup> Kyoji Matsushima<sup>1</sup> Hirohito Nishi<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 Engineering, Kansai University <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 Engineering, Kansai University

## ABSTRACT

Novel methods for rendering virtual objects are proposed in polygon-based high-definition CGHs. Since the polygon method, proposed for computing wave-fields emitted from surface objects, is similar to conventional computer graphics, techniques of smooth shading and texture-mapping can be applied to forming object surfaces. A CGH that reconstructs the moon with texture-mapping is demonstrated in this report.

Keywords: CGH, ポリゴン法, テクスチャマッピング, グーローシェーディング

## 1. はじめに

ステレオあるいはマルチビュー方式の立体画像と ホログラムの決定的な違いは,前者が心理物理的な 効果により観察者に立体感を生じさせる手法である のに対して,後者は物理的な光波そのものを発生す ることである.そのため,ホログラムではマルチビュー 方式で生じる視野闘争や立体感の矛盾は原理的に 生じない.また,ホログラムでは物理的な光波そのも のを再生するため,運動視差のある非常に奥行きの 深い空間映像を再生できることも大きな特長である.

ホログラムによる立体映像の一つに仮想物体の光 波を再生する計算機合成ホログラム(CGH)がある. CGH において上述のような深い奥行きのある 3D シーンを再生するためには,全方向視差を再生でき ることが絶対的に必要である.また,両眼視を可能に するための大きなホログラムサイズや,広い視野角を 得るための大きな回折角が必要であり,さらには 3D シーンの後方の物体を前方の物体が適切に遮蔽す ることによるオクルージョンの再生が不可欠となる.

以上のような条件を満たし,展示物としての鑑賞も 可能な美しい空間像を再生する CGH として,我々は ポリゴンベースの超高解像度 CGH(Polygon-Based High-Definition CGH: PBHD-CGH)をすでに報告し ている[1,2]. これはポリゴン法[3]による表面モデル仮 想物体の光波数値合成,またシルエット法[4]による

松島恭治 matsu@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 吹田市山手町 3-3-35 TEL/FAX 06-6368-0933 光波遮蔽を行い, レーザーリソグラフィ技術により作 製する静止画 CGH である. PBHD-CGH の実例とし て, 最初期の"The Venus"や"モアイI"[2]に続き, シフ ト角スペクトル伝搬計算法[5]により 3D シーン構成の 自由度を向上した"モアイ II"[6]やスパースな(疎 な)3D シーンにおける計算時間を短縮する手法を用 いた"アクア I"[7], またその規模を拡大した"アクア II"[8,9]をすでに公開している.

これらの PBHD-CGH はいずれも深い奥行き感の ある美しい空間映像を再生するが、その画像規模が ギガピクセルを超えるため、現状では電子ホログラ フィとしての再生は困難である.しかしながら、表示デ バイス技術が将来この規模に達した暁にはどのような 映像世界が展開するかを予感させるものとなってい る.

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.これ は、これらの技術がすべて波動光学に基づくためで あり、コンピュータグラフィックスにおけるレンダリング 技術と親和性が高いためでもある.

従来,ウェーブフィールド・レンダリングにおける物 体表面レンダリング技術としては,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,CGの手法と類 似していることからその他のレンダリング技術も応用 可能である.そこで本研究では,テクスチャマッピン グと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.



Fig.1. Schematic illustration of the theoretical model of a polygonal surface source of light: (a) Surface object, (b) Spatial distribution of optical intensity, (c) The theoretical model of a surface source.

## 2. ウェーブフィールド・レンダリングの計算モデル と表面関数

CG におけるレンダリング技術をウェーブフィール ド・レンダリングへ適用する手法を述べるために,まず ウェーブフィールド・レンダリングの中核をなすポリゴ ン光源の理論モデルを Fig.1 に示す.(a)に示すよう に,実際の物体の表面は,照明光を散乱/反射してそ の光が見る者に観察される.(b) に示すように,物体 表面がポリゴン形状の平面で構成されているとして一 つのポリゴンに着目すると,それは空間中のある平面 上でポリゴン形状の光強度分布 *I(x,y,z)* が存在する ことを意味する.このようなポリゴン形状の光強度分 布は,(c)に示すように,傾いたポリゴン形状の開口の 背面より光が入射している場合でも生じる.

しかしながら、物体表面を形成するポリゴンは波長 に比べるとかなり大きいため、単純なポリゴン形状開 ロでは入射光は十分に回折しない.また開口の中央 部を通過する光は直進するため、そのままでは面が 発光しているとはみなせない.そこでポリゴン法では、 透過性ではあるが散乱を生じるような散乱板が開口 面にはめ込まれていると考える.

すなわち,いま開口面にそった傾いた平面上の座 標系(x,y)を考えると,ポリゴン光源の光強度分布(輝 度分布)を,複素関数を用いて

$$I(x, y) = |h(x, y)|^2$$
 (1)

で与える.この複素関数を表面関数と呼んでいる. この表面関数をさらに,

 $h(x,y) = a(x,y) \exp[i\phi(x,y)]$  (2) と定義する.  $a(x,y) \geq \phi(x,y)$ はそれぞれ振幅分布 と位相分布であり実数関数である. したがって, ポリゴンの輝度分布は $I(x,y) = a(x,y)^2 \geq x$ り, 振 幅分布a(x,y)により, CG と同様のシェーディン グやテクスチャマッピングが可能になる. 一方, ポリゴン光源の散乱性は位相分布 $\phi(x,y)$ によっ て与えられる.

表面関数は、傾いた平面上での光波複素振幅分 布(Wave-field)とみなすことができ、波動光学的手 法により数値的な伝搬計算を行うことができる.

# 3. フラットシェーディングとグーローシェーディング

観察者に知覚されるのは物体の輝度分布である. 例えば、振幅分布を定数、すなわち a(x,y) ≡ Aとし、 光源とポリゴンとの角度によりランバート則に従って異 なった定数値Aをポリゴン毎に設定すると影付けがで きる. これがフラットシェーディングである.

一方, CG におけるそれと同様に、ポリゴン内の輝度分布 *I(x,y)*を滑らかに変化することによりスムースシェーディングを行うことができる.本研究ではスムースシェーディングの手法としてグーローシェーディングを用いている.よく知られているように、グーロー



Fig.2. Examples of surface functions for flat-shading (a) and Gouraud shading (b) in a sphere object.

シェーディングでは、ポリゴンの各頂点における輝度 を線形補間することにより、ポリゴン内部の輝度分布 を求める.ウェーブフィールド・レンダリングでは、この 手法で求めた輝度分布 *I*(*x*, *y*)から、単に

$$(x, y) = \sqrt{I(x, y)} \tag{3}$$

とすることにより, グーローシェーディングが行 える.

а

Fig.2(a)には 128 ポリゴンの球体をフラット シェーディングした時の CG 画像および対応する

Table 1 Parameters used for the CGH of spheres		
Pixel sizes	65,536 × 32,768 pixels	
Pixel pitches	1 μm × 1 μm	
No. of polygons for a sphere (front-face only)	200	
Diameter of sphere	23 mm	



Fig.3. Simulated reconstruction of the CGH of spheres with Gouraud shading (a) and flat shading (b).



Fig.4. An example of texture-mapping in wave-field rendering. (a) Texture image, (b) orthogonal projection of texture image, and (c) a surface function.

表面関数の例,また(b)には同様にグーローシェー ディングの CG 画像と表面関数の例を示す.(b) では表面関数の振幅分布にグラデーションがか かっていることがわかる.

異なったシェーディングを行った球体を二つ 含む 3D シーンに対して 64K32K 規模のホログラ ムを計算し、それを波動光学的シミュレーション [10]によりシミュレーション再生した結果を Fig.3 に、また用いたパラメータを Table 1 示す.

# 4. テクスチャマッピングした高解像度 CGH とその 光学再生像

マッピングするテクスチャ画像からポリゴン表面の 輝度分布を求めて(3)式を用いることにより, グーロー シェーディングと同様にテクスチャマッピングを行うこ とができる. Fig.4(c)は, (a)のテクスチャ画像を(b)の 様に球体に正投影することによりマッピングした場合 の表面関数の例である.

Table 2. Parameters	used for	or creation	of "The	Moon."

Hologram		
Pixel sizes	131,072 × 65,536 pixels	
Pixel pitches	$0.8 \ \mu m \times 1 \ \mu m$	
Reconstruction wavelength	632.8 nm	
Angles of viewing-zone	$46^{\circ} \times 37^{\circ}$	
Sphere		
Number of polygons	776	
(front-face only)		
Diameter	55 mm	
Background stars		
Number of point sources	300	
Dimensions of stars domain	$300\times180\times150~mm^3$	
$(W \times H \times D)$		

この技術を用い,本格的な PBHD-CGHとして128K64K(~8G Pixel) 規模の"The Moon"を作成した. The Moonの3DシーンをFig.4 に,光学再生 像をFig5 に示し,主なパラメータを Table 2 に示す. このThe Moonでは,月の背後 に 300 個の点光源を配置して星空を創り 出しているため,ポリゴン法と点光源法の ハイブリッド CGH になっている.

## 7. まとめ

ポリゴン法により計算した超高解像度 計算機合成ホログラムでは,そのウェー ブフィールド・レンダリングの手法としてフ ラットシェーディングのみを行っていた.

本研究では、ポリゴン法が CG と親和性が高いことを 利用してグーローシェーディングとテクスチャマッピン グを提案した.テクスチャマッピングを用いて作成し た CGH では従来よりも 3D シーン表現の幅が広がる ことがわかった.

## 謝辞

本研究は日本学術振興会の科研費 (21500114)の助成を受けたものである.

## 参考文献

- K. Matsushima, S. Nakahara: Extremely High-Definition Full-Parallax Computer- Generated Hologram Created by the Polygon-Based Method, Appl. Opt. 48, H54 (2009).
- [2] 松島, 中原: ポリゴン法による大規模な全方向視差 CGH 作成のための分割計算手法,3次元画像コンファレ ンス 2009, 61 (2009).
- [3] K. Matsushima: "Computer-generated holograms for three-dimensional surface objects with shade and texture," Appl. Opt. **44**, 4607(2005).
- [4] 近藤, 松島: シルエット近似を用いた全方向視差 CGH の隠面消去, 信学論 J87-D-II, 1487 (2004).



Fig.4. The 3D scene of "The Moon."

- [5] 松島: 自由空間における光波伝搬シミュレーションのためのシフト角スペクトル法, Optics Photonics Japan 2009, 284 (2009).
- [6] K. Matsushima, S. Nakahara: High-definition full-parallax CGHs created by using the polygon-based method and the shifted angular spectrum method, Practical Holography XXIV, SPIE Proc. #7619, 761913 (2010).
- [7] 中村, 松島, 中原: 全方向視差 CGH における Babinet の原理と部分光波伝搬を用いた隠面消去法, HODIC Circular 29, No. 3, 3 (2009).
- [8] K. Matsushima, M. Nakamura, S. Nakahara: Novel Techniques Introduced into Polygon-Based High -Definition CGHs, OSA Topical Meeting on Digital Holography and Three-Dimensional Imaging 2010, Miami, JMA10(2010).
- [9] 中村, 松島, 中原: スパースな 3D シーンを有する超高 解像度 CGH における隠面消去の高速化, 3 次元画像コ ンファレンス 2010, (2010).
- [10] 村上, 松島: 計算機合成ホログラムの波動光学的再生 シミュレーション, HODIC Circular **29**, No. 3, 7(2009).



Fig.5. Optical reconstruction of "The Moon."