

# 電子ホログラフィ技術を用いた立体映像システムに関する研究開発（092102002）

Development of three-dimensional display system using electro-holography

## 研究代表者

下馬場 朋禄 千葉大学大学院工学研究科

Tomoyoshi Shimobaba Graduate School of Engineering, Chiba University

## 研究分担者

なし

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

## 概要

本研究は電子ホログラフィを用いた立体映像システムの要素技術の開発及びこれらの要素技術を組み合わせたシステムの開発を行う。本システムはホログラム高速計算システムと光学システムから構成される。高速計算システムは、 $10^5 \sim 10^6$  点で構成された 3 次元像データから 2400 万画素ホログラムをリアルタイム生成し、そのホログラムを光学システム内の表示素子に表示する。光学システムはそのホログラムからカラー 3 次元像を空間に再生する。像サイズが  $50\text{mm} \times 25\text{mm} \times 50\text{mm}$ 、視域  $20^\circ$ 、カラーを再生できることを目標とする。

## Abstract

In this study, we developed a three-dimensional (3D) display system using electro-holography. The system consists of two parts: the first part is a high speed computational system for holography and the second part is an optical system for reconstructing a 3D object from the calculated hologram from the first part. The first part calculates a hologram with about 24-mega pixels from a complex 3D object with  $10^5 \sim 10^6$  points.

## 1. まえがき

立体映像表示技術の一つに電子ホログラフィがある。電子ホログラフィはコンピュータ上で生成したホログラム（Computer generated Hologram: CGH）を液晶ディスプレイ（LCD）などに表示し 3 次元像を再生する。本研究は電子ホログラフィを応用したカラー 3 次元像を再生可能な立体映像システムの研究・開発を目的とする。従来の電子ホログラフィ技術でボトルネックとなっていたホログラム計算に要する膨大な時間と 3 次元像品質の問題を解決するため、ホログラム高速計算システムの開発と、鮮明なカラー立体像を再生可能な光学システムを検証する。

## 2. 研究内容及び成果

本研究で開発したシステムの概略図を図 1 に示す。本システムは CGH 高速計算システムと、計算された CGH から立体像を再生する光学系から構成される。この図は 1200 万画素 CGH を表示するユニットとなっており、本研究ではこのユニットを 2 セット用意することで 2400 万画素 CGH を表示している。このシステムのために下記の 4 つの要素技術を開発した。

- (1) CGH 高速計算アルゴリズム（波面記録法）
- (2) 波面記録法の GPU への効率的な実装方法
- (3) 2400 万画素 CGH 用の光学系
- (4) カラー再生手法

CGH 計算には、様々な計算手法が提案されているがそのひとつに多数の点光源の集合で表現した 3 次元物体から CGH を計算する手法がある。点光源数を増やせば複雑な 3 次元物体の CGH を計算することができるが、計算量

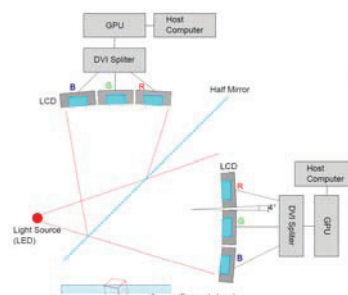


図 1 本研究で開発したシステムの概略図

が増加するため、リアルタイムでの CGH 生成が困難になる。本研究ではまず CGH 高速計算アルゴリズム（波面記録法）の開発を行った[1,2]。

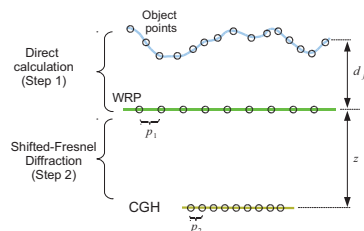


図 2 波面記録法

図 2 に本手法の概略を示す。本手法では、物体データとホログラム面の間に、仮想的な面（波面記録面：WRP）を用意する。まずステップ 1 として、物体データのある点光源から出る光波の振幅と位相情報を複素振幅場として波面記録面に記録する。この時、物体近傍にこの面を配置すれば、点光源から出た光がこの面を通過する断面積半径は小さくなる。物体と波面記録面間の計算はこの微小な断面積に対して行うので計算量は微小なものとなる。ステップ 2 として、波面記録面から CGH への光波伝播計算を行う。波面記録面には、物体データから出た光の振幅と位相



情報が記録されるため、波面記録面から CGH までの回折計算を行えば、ホログラム面上での物体データの光伝搬を計算したことに相当する

このアルゴリズムは高速に CGH 生成できるが更に高速化を行うために本アルゴリズムを GPU 上に効率的に実装できる手法もあわせて開発した。図 1 中の GPU には、波面記録法が実装されており、 $10^5$  点程度で構成された 3 次元物体から 2400 万画素 CGH を秒間 20 枚生成できる。

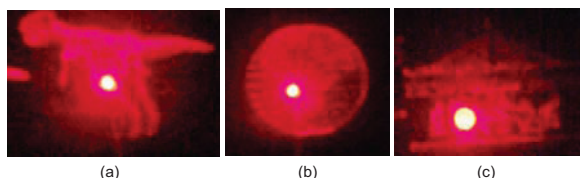


図 3 GPU に実装した波面記録法によるリアルタイム再生像例

この CGH から 3 次元像を再生するための光学系を構築した。本光学システムは、位相変調型 LCD、ハイパワー RGB-LED、ハーフミラー、スクリーン（フレネルレンズ）、4 台のコンピュータ（1 台の GPU を搭載）、DVI スプリッタで構成される。ハーフミラーは、LCD の保護枠により生じるギャップ部分に他方の LCD を光学的に転写することで、ギャップのない連続した 2400 万画素 CGH を表示することができる。1 つの GPU が DVI スプリッタを介し、3 枚の LCD をコントロールするため、ノードの GPU は 3 枚の CGH を作成する。参照光は LED にピンホールを通して点光源とし、ハーフミラーによって 6 枚の全ての LCD に照射される。6 枚の LCD から再生される像は実像であり、スクリーン上に結像する。図 4 に光学系の外観とこの光学系の下に配置された GPU クラスタの外観を示す。

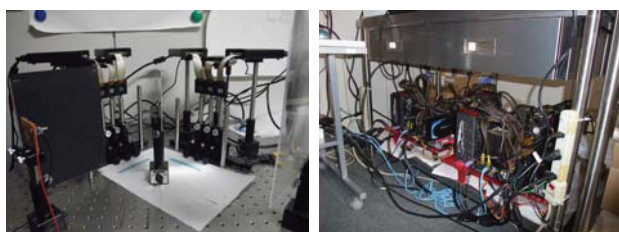


図 4 光学系の外観（左）、GPU クラスタの外観（右）

図 5 はこの光学系からの再生像となっており、左上から右下にかけて視点の移動に伴い連続的に再生像の見え方が変化していることがわかる。視域角は約  $14^\circ$  となっている。



図 5 視点移動に伴う再生像の変化

本研究で採用した時分割法によるカラー再生の概略図を図 6 に示す。このシステムはフルカラー RGB-LED がマイコンで作成された同期制御装置を介して接続された構成となっている。同期制御装置と PC は USB 通信によっ

て接続されており、PC 上でソフトウェアによって CGH のビデオ出力と LED の点滅制御を行っている。点灯する光源の色に対応した CGH を LCD に表示することでカラー電子ホログラフィ再生を実現している。図 7 にこの方式によるカラー再生像を示す。ハイパワー RGB-LED として OPTOSUPPLY 社の OSTCXBC1C1S を採用した。この LED はハイパワー 3W タイプで 350mA の電流を流すことができる。

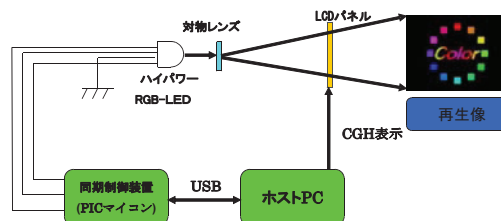


図 6 時分割法によるカラー再生

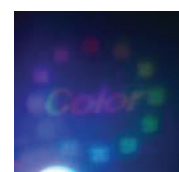


図 7 カラー再生像

また、本研究を通して波動光学計算用オープンソースライブラリ [3] を開発することができた。このライブラリはホログラム計算はもとより光学全般、X 線、電子線、超音波計測などで幅広く使うことができる。波動光学計算は用途に応じて各種の計算方法が提案されており、このライブラリには定番の計算から独自に考案した計算などが実装されており、これらを容易に CPU や GPU 上で高速計算できる仕様になっている。本ライブラリは既にインターネット上で公開している。

### 3. むすび

2400 万画素 CGH を表示可能な光学システムの構築と、その CGH をリアルタイム生成する GPU クラスタの開発、及びハイパワー RGB-LED と時分割法によるカラー再生を行った。

#### 【誌上発表リスト】

- [1] T. Shimobaba, N. Masuda and T. Ito, "Simple and fast calculation algorithm for computer-generated hologram with wavefront recording plane", Optics Letters, 34, 20, 3133-3135 (2009)
- [2] T. Shimobaba, H. Nakayama, N. Masuda and T. Ito, "Rapid calculation of Fresnel computer generated hologram using look up table and wavefront recording plane methods for three dimensional display", Optics Express, 18, 19, 19504-19509 (2010)
- [3] T. Shimobaba, J. Weng, T. Sakurai, N. Okada, T. Nishitsuji, N. Takada, A. Shiraki, N. Masuda and T. Ito, "Computational wave optics library for C++: CWO++ library", Computer Physics Communications, 183, 1124-1138 (2012)

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://brains.te.chiba-u.jp/~shimo/cwo/>