

**ホログラムプリンタによる特殊光学スクリーンを用いた  
投影型ホログラフィック 3D インターフェースの研究開発 (162103005)**  
Projection-type Holographic Three-dimensional Interface  
Based on Optical Functioning Screen Fabricated by Hologram Printer

**研究代表者**

涌波 光喜 国立研究開発法人情報通信研究機構

Koki Wakunami National Institute of Information and Communications Technology (NICT)

**研究期間** 平成 28 年度～平成 30 年度

**概要**

本研究開発では、ホログラムプリンタによって光学的に任意の反射特性を持つホログラフィック光学素子 DDHOE の製造技術を確立し、この DDHOE を特殊光学スクリーンとしてホログラフィックプロジェクション技術と組み合わせることで、画面サイズと視野角を独立に設計可能な実用性の高い投影型ホログラフィック 3D インターフェースの実現を目指した。本研究の主な成果は、市場応用を見越した DDHOE のフルカラー化および光学的な精度向上を目指した回折角度の測定技術・補正技術を確立したこと、最終的にフルカラー-DDHOE を用いたフルカラーホログラフィック 3D インターフェースを開発し、DDHOE スクリーンを介したホログラム映像の動画像表示を実現したことである。ホログラムプリンタで作製した DDHOE はこれまでの光学素子と比較して軽量・薄型、大画面化、デジタル設計による回折機能の実現など利点も多く、今後はディスプレイ産業、光通信産業をはじめとした複数の光産業での応用展開を目指す。

**1. まえがき**

本研究では、提案者がこれまで開発してきたホログラムプリンタによって、光学的に任意の反射特性を持つホログラフィック光学素子 DDHOE: Digitally Designed Holographic Optical Element の製造技術を世界で初めて確立し、この DDHOE を特殊光学スクリーンとしてホログラフィックプロジェクション技術と組み合わせることで、透過型で、かつ画面サイズと視野角に自由度をもつ、実用性の高い投影型ホログラフィック 3D インターフェースの実現を目的とした。

**2. 研究開発内容及び成果**

初年度は単色（緑：波長 532nm）で機能する DDHOE スクリーンを作製し、8K 電子ホログラフィ装置を改良したホログラフィックプロジェクション技術と組み合わせることで、投影型ホログラフィック 3D ディスプレイの原理確認を行った。電子ホログラフィで再生されたホログラム映像を投影レンズで拡大投影し、予め設計した観測位置に投影光が集光する反射分布を持つ DDHOE スクリーンが機能することで、観測位置で拡大投影されたホログラム映像が観察できることを確認した[図 1]。

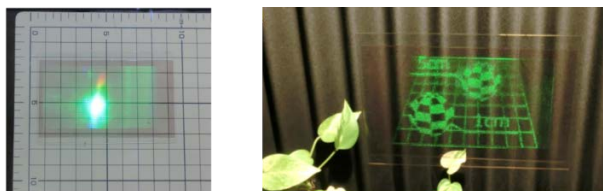


図 1. 提案技術の原理確認

次年度は、DDHOE の機能向上を目的として、DDHOE のフルカラー化と回折精度の測定・補正技術の開発に取り組んだ。3 波長(赤：660nm, 緑：532nm, 青：473nm)で多重記録が可能なホログラムプリンタを新たに開発し、図 4 にあるように白色光入射に対して RGB3 色が混色するフルカラー-DDHOE が作製できることを確認した。また、記録した DDHOE は材料の収縮やホログラムプリンタ自体

が持つ収差、アライメントエラー等の影響で設計した回折角と実際の回折角に誤差が生じる。本研究では、設計した回折角と実際の回折角との誤差を DDHOE 上で複数個所測定し、2 次元的な誤差マップを 3 次スプライン補間で求め、DDHOE の位相分布にフィードバックする技術を開発した。この方法により測定点の平均誤差が X 方向、Y 方向ともに 1 桁～2 桁程度、大幅に改善することを確認した。

最終年度は、投影型ホログラフィック 3D ディスプレイに特化したホログラムコンテンツの計算手法の確立と、前年度に作製したフルカラー-DDHOE を用いた投影型ホログラフィック 3D ディスプレイのフルカラー化を行った。本ディスプレイシステムでは、電子ホログラフィで再生されるホログラム映像は拡大投影され、DDHOE スクリーンが持つ軸外し凹面鏡と同等の反射特性による曲率をもって観測位置に伝達される。この過程で生じる幾何学的な座標変換を数学的に求め、最終的に観測者が観察する 3D 映像が歪みを持たないホログラムデータの計算手法を開発した[図 2]。

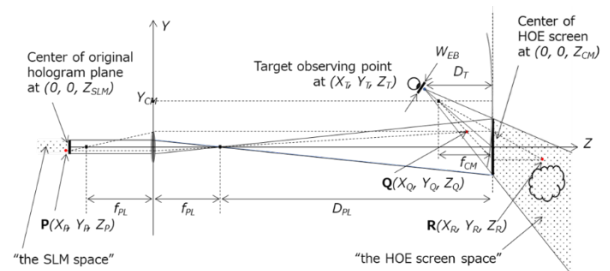


図 2. 幾何学的な座標変換を考慮したホログラムデータの計算

また、ホログラムデータの計算は一般的に光波の波動伝搬を含むため計算量が多い。本研究では将来的にコンテンツのインタラクティブ化を目指しているため、ホログラムデータを光線情報から高速に計算する技術を開発した。この手法では、表示対象の 3 次元空間をある程度のレイヤーに分割し、各レイヤー内の光線情報からホログラムデータを計算することで、通常は奥行き毎に必要なとされる波動伝搬

の計算回数を大幅に削減できる。また、レイヤーからホログラム面までの波動伝搬もオフラインで計算した伝達関数を用いることで、さらに計算量を抑えたホログラム計算環境を構築した。

図5は、実際に複数の奥行きに設けたレイヤーのホログラムを再生した例である。DDHOE スクリーン奥 130mm と 1,060mm の複数の奥行きに同時にホログラム映像を表示できていることが分かる。

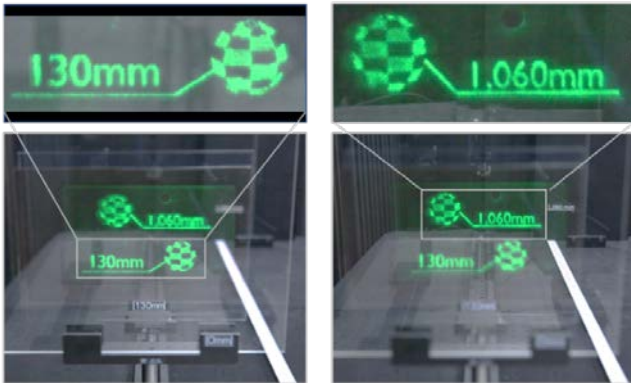


図3. 提案手法で計算したホログラム映像の再生例

また、DDHOE 記録時と同じ 3 波長 660nm、532nm、473nm のレーザーを用いたホログラフィックプロジェクションシステムを開発したことで、フルカラーなホログラム映像が所定の観察位置で観察できることを確認した[図4]。図4では、DDHOE スクリーンの手前と奥に自由にホログラム映像を結像できていることがわかる。



図4. ホログラム映像のフルカラー再生例

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取組

本研究開発の成果により、DDHOE スクリーンの実用化に向けた企業との共同研究を開始している。本共同研究によって、DDHOE の光学素子としての精度を向上することで、実用化に向けた現状の DDHOE 製造技術の課題や他技術と比較した優位性などを明らかにする。また、アプリケーションに特化した評価指標に沿ってホログラムプリント技術の性能を改善することで、より短期間で当技術による光学スクリーンの実用展開を目指す。

また、本研究で開発したフルカラーDDHOE スクリーンの作製技術および光学精度の補正技術は、通常のプロジェクタを用いた投影型ライトフィールド 3D ディスプレイにも応用することができる。通常のリフトフィールドディスプレイでは、レンズアレイ等を用いて背面に設けた液晶パネルの各画素の光の伝搬方向を制御するが、透過型や投影型といった機能を実現することが難しい。これに対して反射型凹面ミラーアレイの機能を持つ DDHOE スクリーンを用いることで、一般的な 2D プロジェクタを用いた投影型かつシースルーなライトフィールド映像表示が可能となる[図5]。本研究に対しても、今後は実用化に向けた取り組みを進める予定である。

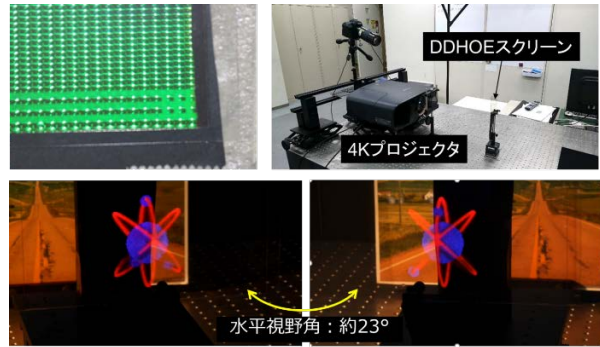


図5. (左上)作製した凹面ミラーアレイ DDHOE、(右上)ライトフィールド 3D ディスプレイの配置図、(下段)再生像の例

### 4. むすび

本研究開発で開発した DDHOE スクリーンの作製技術および投影型ホログラフィック 3D インターフェースの概要を述べた。ホログラムプリンタによる DDHOE の作製技術によって、これまで作製が困難だった機能やサイズを持つ回折光学素子の安定的な製造が可能になれば、近年市場が拡大している Augmented Reality(AR)デバイスのスクリーンやデジタルサイネージ市場といったディスプレイへの応用が期待できるだけでなく、光通信分野をはじめとする幅広い光学機器産業に貢献できる可能性がある。今後も引き続きホログラムプリント技術の精度向上を進める。また、本研究で開発した投影型ホログラフィック 3D インターフェースは、映像を見ることができ視域が限定される等の課題があるが、ホログラム映像の大きさ、見る位置、画角などを柔軟に設計できることを明示した。ホログラフィックプロジェクションに用いる空間光変調器の解像度の制約など、解決すべき課題が多いが、引き続き画質の向上、視域の拡大技術等を進めていく予定である。

#### 【誌上発表リスト】

- [1]K.Wakunami et al., “Projection-type see-through holographic three-dimensional display”, Nature Communications Vol.7 No.12954 (2016年10月3日)
- [2]K.Wakunami et al., “(Invited) Geometric Deformation Analysis of Ray-Sampling Plane Method for Projection-Type Holographic Display”, IEICE Transaction Electronics Vol.E101-C No.11 (2018年11月1日)

#### 【受賞リスト】

- [1]K.Wakunami, Best Paper Awards, “Projection-Type Holographic Three-Dimensional Display”, 2016年12月9日

#### 【報道掲載リスト】

- [1] “シースルーなプロジェクション型ホログラフィック 3D 映像技術を開発～ホログラムプリンタで作製した光学スクリーンによって画面面積と視野角を自在に設計可能～”, 2016年10月13日
- [2] “Projection-type See-through Holographic 3D Display Technology - An optical screen fabricated using a hologram printer and holographic projection technique enables the free design of both display size and visual angle -”, 2016年10月13日