

投影型 AR-3D ディスプレイにおける 3 次元空中像の観察領域の拡大 Expanding the viewing area of reconstructed images on a projection-type AR-3D display

菅野 朋輝^{†,‡} 市橋 保之[‡] 角江 崇[†] 下馬場 朋禄[†] 伊藤 智義[†]
Tomoki Kanno Yasuyuki Ichihashi Takashi Kakue Tomoyoshi Shimobaba Tomoyoshi Ito

1. はじめに

電子ホログラフィを用いた 3D ディスプレイでは、再生像のサイズや観察時の視野が空間光変調器(SLM: Spatial Light Modulator)の性能によって制限されており、実用化がまだ難しい。そこで像のサイズと観察時の視野の両方を拡大する手法として、軸外し凹面鏡の位相分布を持つ透明なホログラフィック光学素子(HOE: Holographic Optical Element)を用いたスクリーンと電子ホログラフィを組み合わせさせた投影型 AR-3D ディスプレイが提案されている[1-2]。本研究ではこの投影型 AR-3D ディスプレイの課題でもある観察領域の拡大を目的とする[3]。HOE スクリーンに対して複数のオフ軸再生光も組み合わせることで、時分割方式により再生像の観察領域を拡大するシステムの構築に成功したので報告する。

2. 投影型 AR-3D ディスプレイ

投影型 AR-3D ディスプレイは、3 次元像を空中投影する次世代の AR ディスプレイとして、車載ディスプレイ等への応用が期待されている。このディスプレイは軸外し凹面鏡の位相分布を持つ HOE スクリーンと投影レンズにより構成されており、投影レンズで像のサイズ、HOE スクリーンで視野を拡大させることができる。しかし HOE スクリーンの変調作用により、観察領域が制限されてしまう。

本研究では観察領域の拡大に向けて、角度を傾けて入射させるオフ軸再生光を用いた手法を提案する。図 1 に投影型 AR-3D ディスプレイにおける観察領域の様子を示す。なお図 1 のホログラム投影光学系は、再生光源とホログラム表示用の SLM、投影レンズを含んだ構成になっている。HOE スクリーンに対して垂直に入射させるインライン再生光に加えて、オフ軸再生光を投影することで観察領域を拡大することができる。図 1 では、インライン再生のみの場合には観察領域が②のみであるが、オフ軸再生を追加することにより、観察領域が①、②、③に

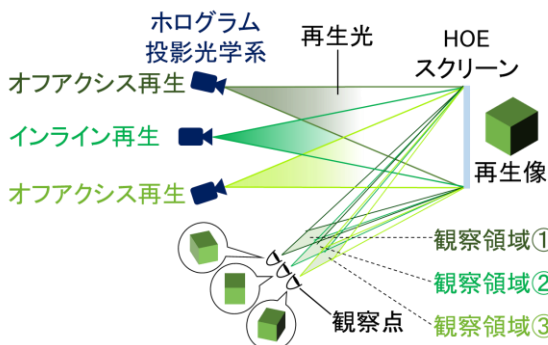


図 1: 観察領域拡大手法

[†] 千葉大学大学院工学研究院

Graduate School of Engineering, Chiba University

[‡] 国立研究開発法人情報通信研究機構

National Institute of Information and Communications Technology

まで拡大する。本研究では、図 1 の 3 種類の再生光の生成方法を、1 つの SLM で行う時分割方式により実現した。

3. 再生光生成用同期制御システム

図 2 に再生光学系と制御システムの概要図を示す。再生照明光用レーザからの再生照明光と SLM により再生光が生成され、投影レンズを通過した後に HOE スクリーンに再生像が投影される。

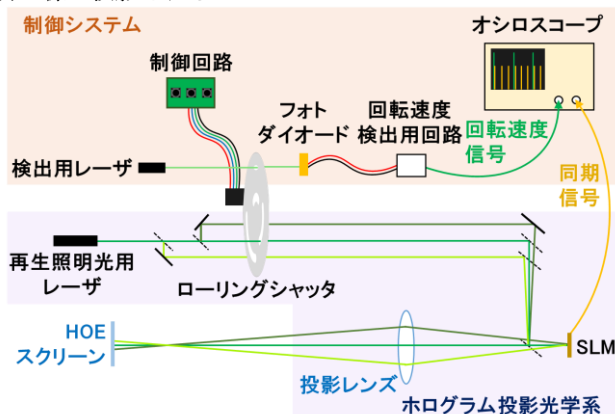


図 2: 制御システムと再生光学系の概要図

時分割方式による 3 種類の再生光の生成は、図 3 に示すように、表示するホログラムに対して適切な再生照明光を同期させることで行っている。表示するホログラムと再生照明光の同期は、図 2 に示す制御システムの構築により解決した。ローリングシャッタはステッピングモータを使用することで再生照明光を高速度かつ高精度に切り替えることができる。ローリングシャッタの構造は図 3 に示すように、3 種類のレーザ光が中心から異なる半径の円周上を通過し、それぞれが重ならないような配置となる穴をあけている。図 4 に実際の同期制御の流れを示す。

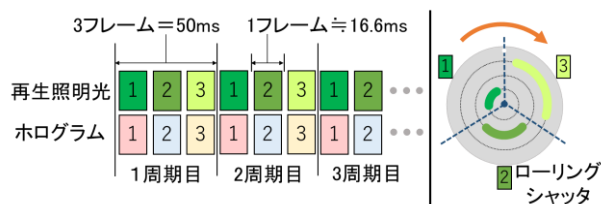


図 3: 再生照明光とホログラムの同期

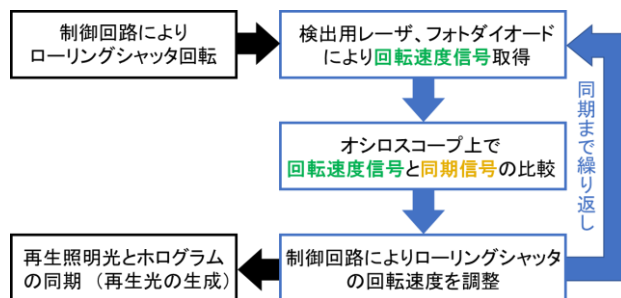


図 4: 同期制御の流れ

4. 実験結果

観察領域の拡大を検証するにあたり、初めに構築した制御システムの動作確認を行った。図 3 のように再生照明光とホログラムが同期し、正しい再生光が生成されることを確認した上で、その制御システムを用いた観察領域拡大の結果を取得した。

4.1 再生照明光とホログラムの同期確認

3 種類の再生照明光に対してそれぞれ別のホログラムを割り当てることで、再生照明光とホログラムが適切に同期しているかを確認した。具体的には、再生照明光ごとに SLM への照射範囲を限定する空間フィルタを設置し、ホログラムの表示が同期した場合のみ再生像が観察可能になるようにした。図 5 に制御システムを用いて切り替え周期 50ms(20Hz)で同期させた結果を示す。(a)~(c)は 3 種類の再生光による再生像であり、(d)が実際に目視で観察することができる再生像のイメージである。再生照明光とホログラムを同期させ、高速な周期での再生光が生成可能となった。



図 5：同期確認の再生結果

4.2 観察領域の拡大

制御システムを用いることで実際に観察領域が拡大するかを検証した。表 1 に再生光学系の仕様を示し、図 6 に投影する点群モデルを示す。観察点をシフトさせたとき、点群モデルは図 6 の再生像の形状のように観察することができる。本研究では、オフ軸再生光の入射角度を 3°として実験を行った。図 7 にインライン再生光のみの場合(上段)と制御システムを用いた 3 種類の再生光の場合(下段)を比較した結果を示す。

表 1：再生光学系の仕様

レーザ波長		532[nm]
SLM	画素数	3840 × 2160[pixel]
	画素ピッチ	3.74[μm]
	フレームレート	60[Hz]
HOEスクリーンサイズ		3.30 × 1.88[cm ²]
投影レンズ拡大倍率		2.0[倍]

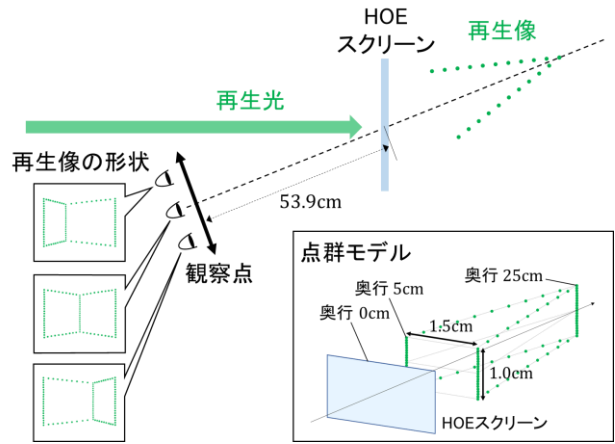


図 6：点群モデルと再生像の形状

本研究ではフレームレート 60Hz のビデオカメラを用いて結果を取得しており、図 7 の画像は動画から切り取った静止画である。図 7 の②はインライン再生光、①、③はオフ軸再生光による観察領域である。3 本の再生光の場合は 3 種類の観察領域で再生像が投影されており、インライン再生光のみの場合と比べて、観察領域が拡大していることが確認できる。観察領域の径は 3.8cm から 6.1cm と約 1.6 倍に拡大した。再生光学系の調整次第では、さらなる観察領域の拡大が可能である。

5. おわりに

本研究では、投影型 AR-3D ディスプレイに複数の再生光を時分割で投影する制御システムを実装し、3 次元空中像の観察領域を拡大することに成功した。今後はインタラクティブに再生像を操作できるシステムの導入や、再生像のサイズ・観察領域をさらに拡大する光学系のシミュレーション、実装を行う。

謝辞

研究の一部は JSPS 科研費 19H01097 の支援を受けたものです。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] K. Wakunami, et al., *Nat. Commun.* **7**, 12954 (2016).
- [2] H. Amano, et al., *Opt. Express*, **28**, 5692-5705 (2020).
- [3] 菅野 他, 第 17 回関東学生研究論文講演会, P2-5 (2023.3.9).

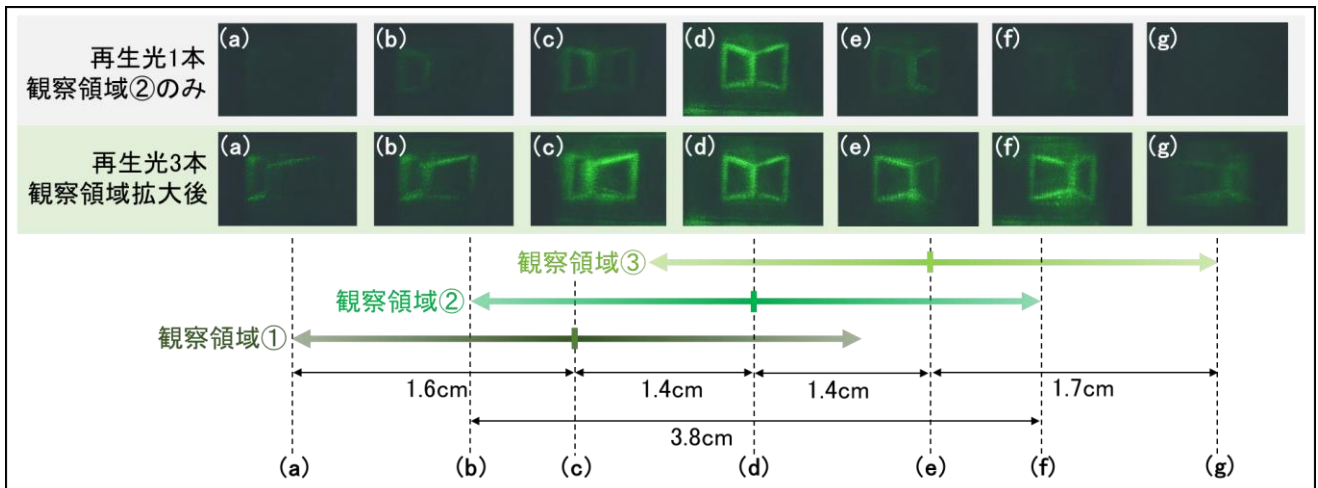


図 7：観察領域拡大の再生結果