

再帰反射スクリーンを用いた観察位置が制限されない 裸眼 3D 表示法

高橋義基¹ 小林礼¹ 佐藤圭浩¹ 熊谷 侑樹¹ 包 躍¹

概要:近年、建設業において建設機械の遠隔施工が普及しており、現場映像を裸眼 3D ディスプレイで視聴することで、2D ディスプレイに比べ施工効率が上がることが知られている。しかし、裸眼 3D ディスプレイは最適観察位置が固定され、大型化されたものは運搬が困難な問題がある。本研究では、再帰反射型スクリーンを用いた裸眼立体表示法による大型化の運搬コスト低下と、観察位置の制限をなくす手法を提案する。提案手法を用いた評価実験により、観察者の位置や移動に依存せず立体視が可能で運搬が容易なことを確認できた。

キーワード: 自由位置, 裸眼立体ディスプレイ, 再帰反射スクリーン, レンチキュラレンズ

A retroreflective screen type autostereoscopic 3D display with free position of observation

YOSHIKI TAKAHASHI^{†1} REI KOBAYASHI^{†1} YOSHIHIRO SATO^{†1}
YUKI KUMAGAI^{†1} YUE BAO^{†1}

Abstract: In recent years, remote construction of construction machinery has become general in the construction industry, and it is known that viewing on-site images on a naked-eye 3D display provides higher construction efficiency than on a 2D display. However, traditional naked-eye 3D displays must be viewed only from the optimal observation distance and those with a large screen are very heavy. In this study, we propose a lightweight naked-eye 3D display with a retro-reflective screen. This 3D display also can eliminate the limitation of observation position. Evaluation experiments using the proposed method confirmed that stereoscopic viewing is possible regardless of the observer's position or movement, and that it is easy to transport.

Keywords: Free position, naked-eye 3D display, retro-reflective screen, Lenticular lens

1. はじめに

近年、建設業において建設/土木施工業務の効率化、災害復興時に人の立ち入りが困難な場所での施工を目的とした、建設機械の遠隔施工が普及している[1]。遠隔施工では、重機に設置したカメラの現場映像を遠隔地から確認しながら、重機を遠隔操縦する。遠隔操縦は重機の搭乗操縦に比べ、施工効率は 5 割程度といわれて問題となっている[2][3]。そこで、操縦者に従来法の 2D 映像を提供しての施工と、レンチキュラレンズ方式の裸眼 3D ディスプレイや眼鏡式 3D ディスプレイを用いた 3D 映像を提供しての施工を比較した際に、3D 映像は 2D 映像に比べて奥行き感が感じられることから、施工効率の向上が明らかになった[4]。また、裸眼式は 2D 映像による施工と同等の眼精疲労であるが、眼鏡式は他に比べて著しく高い[5]。そのため、長時間にわたる施工を考慮した際、裸眼式による施工が望ましいと考えられている。しかし、レンチキュラレンズ方式は、装置の大型化は容易であるが、ディスプレイ、レンチキュラレンズ、ガラスから構成されていることから重量がかさみ、詰所や施工

現場への運搬が困難である。また、最適観察距離から視聴する必要はある。そこで、再帰反射板を用いた裸眼式スクリーンによる 3D 表示が提案された[6]。再帰反射板を用いた手法では、プロジェクタを移動させることによってスクリーンとの距離に関係なく観察が可能である。また、再帰反射板自体がディスプレイなどよりも軽量なため運搬が容易である。しかし、プロジェクタの光が集光する位置のみに観察位置が固定されるため観察の自由度が低い問題点がある。

そこで、本研究は運搬が容易である再帰反射板を用いた裸眼式スクリーンの観察位置の制限を排除することを目的とする。

2. 提案手法

再帰(再帰性)反射板とは再帰(再帰性)反射材を敷き詰めたものである。再帰反射材とは図 1 のような、光がどのような方向から入射しても光源に向かって平行に反射するような性質をもつ。

¹ 東京都市大学
Tokyo City University

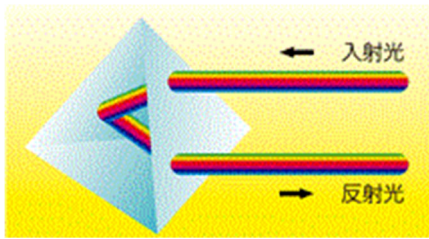


図 1. 再帰反射材[7]

再帰反射板の表面にレンチキュラレンズの細長い凸レンズ水平方向に向くように貼り付けることで、反射光が図 2 のように拡散し光源の鉛直方向に光が反射する。この再帰反射板とレンチキュラレンズを組み合わせたスクリーンを再帰反射スクリーンと呼ぶ。再帰反射スクリーンは厚さ約 1 ミリと薄く軽量に作成可能である。

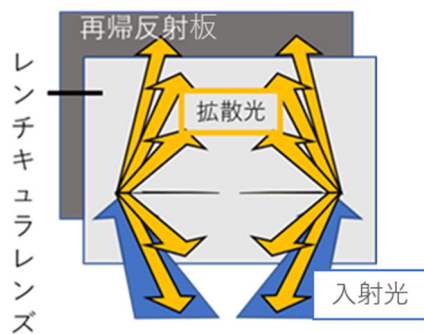


図 2. 反射光の拡散

図 3 に示すように、再帰反射スクリーンに投影したプロジェクタの光は、投射口の垂直線上に光が集光する。よって左右の眼に対応した映像をそれぞれのプロジェクタから投射することにより、投射口の垂直線上にある左右の眼に対し、それぞれの映像を観察させることで裸眼立体視が可能である。

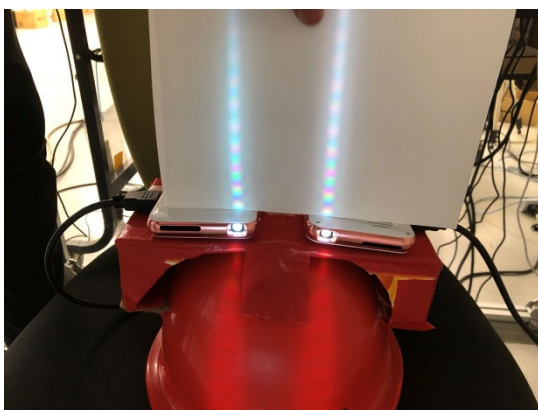


図 3. 光の集光の様子

本提案手法では、2 つの小型プロジェクタを頭部に搭載し、観察者の眼の位置に合わせてプロジェクタの位置を移動させることで観察位置に制限されない裸眼立体視法を提案する。図 4 に提案手法の概要図を示す。投影装置として頭部に 2 台の小型プロジェクタを搭載した装置、再帰反射板とレンチキュラレンズを組み合わせた再帰反射スクリーン

ーンを使用する。頭部に投影装置を装着し再帰反射スクリーンを観察することで裸眼立体視を可能とする。

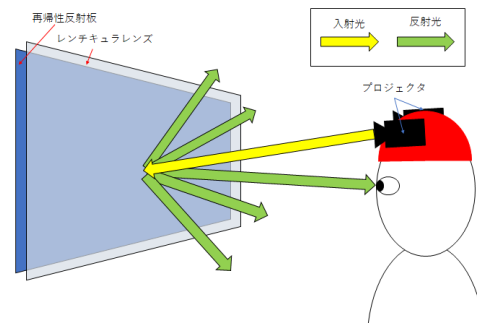


図 4. 提案手法の概要図

3. 実験及び検討

本研究の有効性を示すため、以下の実験を行う。

- 左右の眼に対応するプロジェクタの映像が分光できているか確認を行う。
- 観察者の位置に制限がないか確認するため評価実験を行う。

3.1 試作した装置

頭部搭載型小型プロジェクタを図 5 に、再帰反射スクリーンを図 6 に、プロジェクタの詳細を表 1 に、スクリーンの詳細を表 2 に示す。



図 5. 頭部搭載型小型プロジェクタ



図 6. 再帰反射スクリーン

表 1. プロジェクタの詳細

製品名	KABĒNI
サイズ	145×80×17(mm)
重量	216(g)
解像度	854×480(px)
明るさ	1000(ルーメン)

表 2. 再帰反射スクリーンの詳細

製品名	RF-Ay
縦の長さ	1250(mm)
横の長さ	2000(mm)
レンチキュラレンズ	200LPI

3.2 分光実験

3.2.1 概要

左右で異なる映像をプロジェクタから投影し、それぞれのプロジェクタの投射口の鉛直線上からカメラで撮影した。



図 7. 左眼用映像



図 8. 右眼用映像

3.2.2 実験結果

左右のプロジェクタの投射口の鉛直線上から撮影した結果画像を図 9 と図 10 に示す。結果画像から左右のプロジェクタの光が分光できていることが確認できた。



図 9. 左眼の結果画像



図 10. 右眼の結果画像

3.3 裸眼 3D 観察実験

3.3.1 概要

頭部搭載型小型プロジェクタと再帰反射スクリーンを用いて裸眼 3D 表示の評価実験を行う。評価実験では、表 3 の見え方についての評価項目を参考に 5 段階で評価を行う。また、観察位置に制限がないことを確認するために観察者に自由に移動してもらい、移動後も立体的に見えていたかを表 3 の 5 段階で評価する。実験参加者は成人男女 15 名である。

表 3. 見え方についての評価項目

とてもそう思う
そう思う
少しそう思う
あまりそう思わない
そう思わない

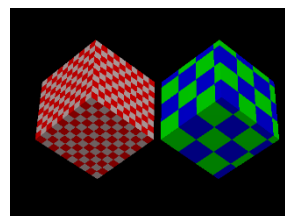


図 11. 左眼用画像

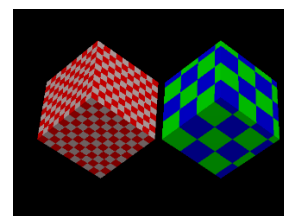


図 12. 右眼用画像

3.3.2 実験結果

左右のプロジェクタの投射口の鉛直線上から撮影した結果を図 13 と図 14 に示す。また、観察者が見た評価を図 15 に示す。このグラフから観察者は、試作した装置を用いることで裸眼 3D 表示が行えたといえる。



図 13. 左眼の結果画像



図 14. 右眼の結果画像

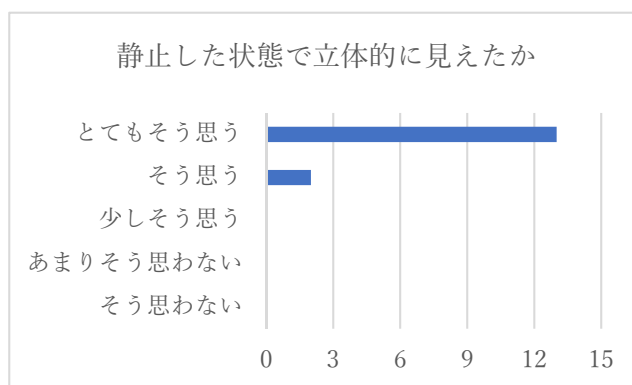


図 15. 静止した状態で立体的に見えたかの評価結果

観察者が頭を前後左右に動かした後も立体的に見えたかの評価結果を図 16 に示す。このグラフから頭を前後左右に動かした後も観察者は立体的に映像を見ることができたという評価が多いため、観察者は観察位置に制限なく裸眼 3D 表示が行えたといえる。

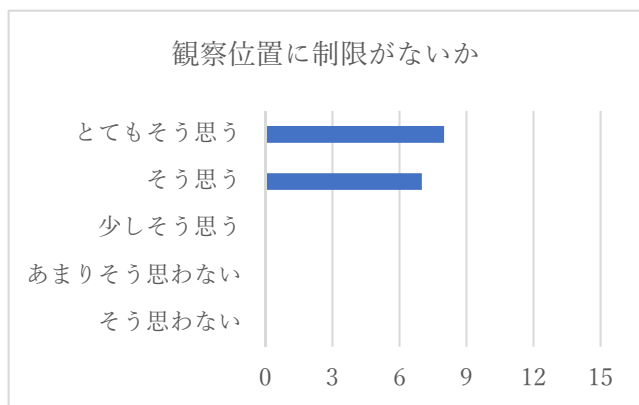


図 16. 観察位置に制限がないかの評価結果

3.3.3 考察

静止した状態で立体的に見えたかという問いの評価では「とてもそう思う」が最も票が多かった。しかし、観察者が頭を前後左右に動かした後に観察した際の評価は、「とてもそう思う」と「そう思う」の票がほぼ同数である。この原因として、立体的に見えたが運動視差が与えられていないため頭を前後左右に動かしても映像が変わらず違和感を覚えてしまったからではないかと考えられる。

4. 結論

近年、建設業において施工業務の効率化や作業員が安全に作業を行うことを目的として、建設機械を用いた遠隔施工が行われている。しかし、裸眼 3D ディスプレイなどの大型機材は、重量があるため詰所や施工現場への運搬が困難である。また、最適観察距離から視聴しなければならない。そこで、本研究では頭部搭載型小型プロジェクタと再帰反射スクリーンによる 3D 表示法を提案した。本手法では、頭部にプロジェクタを搭載することによりスクリーンとの位置に関係なく 3D 映像が観察可能であり、また再帰反射スクリーンは軽量なため運搬が容易であるというメリットがある。本手法の有用性を確認するために実験を行った結果、頭部搭載型小型プロジェクタと再帰反射スクリーンを用いることで裸眼 3D 表示が行えた。また、観察位置の制限がなく観察が行えることも確認できた。

謝辞

本研究開発は、国土交通省令和二年度政策課題解決型技術開発(三次元視覚データを活用したトンネル施工管理の高度化、代表者 包躍)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 新田恭土. 災害復旧に貢献する無人化施工技術. 土木技術. Vol. 67, No. 4, 2012, pp. 16-23.
- [2] 古賀康正. 雲仙普賢岳における砂防工事の無人化施工. 砂防学会誌. Vol. 52, No. 4, pp. 64-68, 1999.
- [3] 萬徳昌昭, 宮元洋, et al.. 砂防における無人化施工技術の発展にむけて—実態調査・アンケート結果に基づく一考察—. 第 62 回平成 25 年度砂防学会研究発表会概要集, 2013, pp.

- B142-B143.
- [4] 伊藤 禎宣, 坂野 雄一 et al... 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 73, No. 1, p15-24, 2017.
 - [5] Yoshihiro Sato, Shohei Yamaguchi, et al... Quantitative Evaluation of Work Efficiency and Eye Strain for Remote Control Construction Equipment Using 2D/3D Displays. Bentham Open. The Open Construction & Building Technology Journal, Vol.14, 2020, pp.133-138
 - [6] Yuki Kumagai, Yoshihiro Sato, et al... Retro-Reflection Autostereoscopic Display Using Laser Projector. International Conference on Advanced Imaging. 2020.
 - [7] “反射板とは”.
<https://jp-respa.com/反射材について/反射材とは/>(参照 2021-03-28)