

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 12 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26540044

研究課題名(和文) 3次元配置した微小領域でのレーザー光拡散を利用した多視点裸眼立体ディスプレイの開発

研究課題名(英文) Omnidirectional and Auto-stereoscopic 3D Display using Diffusion of Laser-light within a Volumetrically Arranged Micro region

研究代表者

石井 裕剛 (Ishii, Hirotake)

京都大学・エネルギー科学研究科・准教授

研究者番号：00324674

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、輻輳調節矛盾を生じない3次元動画映像を同時に多人数で観察可能な多視点裸眼立体ディスプレイを開発した。提案するディスプレイは、クリスタルガラス内に3次元配置した微小領域でのレーザー光拡散を利用している。ディスプレイはクリスタルガラスとその周囲に配置したレーザープロジェクタで構成され、各プロジェクタからの投影像を制御することにより、任意の立体形状を表示する。本研究では、クリスタルガラスの材質や、微小空隙の形状を検討すると共に、映像制御に必要なキャリブレーション手法や、複数のプロジェクタを同時に使用することにより提示映像の解像度やコントラスト比を向上させる手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this study, a new 3 dimensional display which provides omni-directional and auto-stereoscopic views has been developed. The proposed display uses a diffusion of laser-light within a volumetrically arranged micro region processed numerously inside a crystal glass cube. The display consists of a crystal glass cube surrounded by laser projectors on the sides. Each projector emits discrete micro voids by projecting laser lights towards each void. By controlling the projection to the corresponding coordinates it can replicate stereoscopic images and animations. In order to project laser-light to individual micro voids accurately, calibration to adjust the position and the direction of the projection is necessary. In this study, camera based calibration methods have been developed and evaluated. Furthermore, in order to increase resolution and contrast of the stereoscopic images, a technique to utilize multiple projectors simultaneously has also been developed.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：裸眼立体視 3Dディスプレイ 輻輳調節一致 多人数同時 動画表示

### 1. 研究開始当初の背景

これまで、3次元映像を表示する方式として、パララックスバリア方式やプラズマを発生させる方式、多数のプロジェクタを利用する方式など、様々な方式が提案・実装されてきた。しかし、特殊な眼鏡を装着する必要がある、観察可能な領域が狭い、同時観察可能な人数が少ない、装置が大掛かりで高価になる、フルカラーの映像を提示することが難しい、輻輳調節矛盾が生じるなどの問題があり、これらの問題をすべて解決したディスプレイは開発されていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、3次元配置した微小空隙でのレーザ光拡散を利用した多視点裸眼立体視ディスプレイを開発することにより、以下の特徴をすべて備えたディスプレイを開発することを目的とした。

- ・ 輻輳と焦点調節が矛盾しないフルカラーの3次元動画像を表示可能
- ・ 1つのディスプレイで複数人が同時に観察可能
- ・ 観察者が何も装着する必要がなく、自由に動き回ることが可能
- ・ 小型・軽量でシステム全体を1人で持ち運び可能

### 3. 研究の方法

本研究で提案するディスプレイの構成を図1に示す。

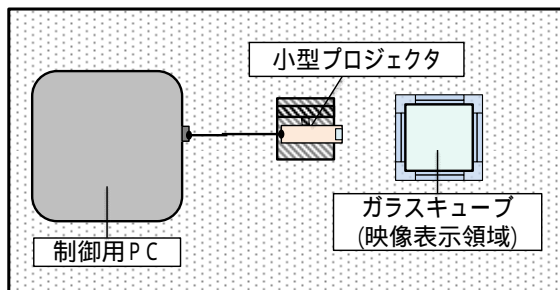


図1 提案する立体視ディスプレイの構成

本立体視ディスプレイは、光透過性素材で制作した直方体（本研究ではクリスタルガラスを使用、以下ガラスキューブと呼ぶ）とレーザ光源小型プロジェクタ、制御用PCで構成される。ガラスキューブ内には、図2に示すように、事前に多数の微小空隙（光を散乱させる傷）を3次元的にほぼランダムに配置する。この空隙は、通常照明下ではあまり目立たず、レーザ光が照射された際にのみ、照射された色に発光しているように見える。この発光は、ほぼ全方向から裸眼で認識可能であるため、個々の微小空隙毎に発光・非発光を制御することにより、周囲のどの位置からでも裸眼で観察できる任意の形状の3次元フルカラー動画を表示できる。この方式では、観察者の視点のトラッキングも不要であ

り、観察者は自由に動きまわることができる。さらに、輻輳角と焦点調節が矛盾しない表示方法のため視覚疲労や酔いを誘発しにくいと期待される。また、レーザ光源プロジェクタや制御用PCはそれぞれ数百グラム程度の軽量の物が利用可能であり、ディスプレイ本体も表示領域を20cm四方程度とすれば、数キロ以内の重量に収めることができるため、ディスプレイ全体でも、一人で容易に移動可能な重量に抑えることができる。

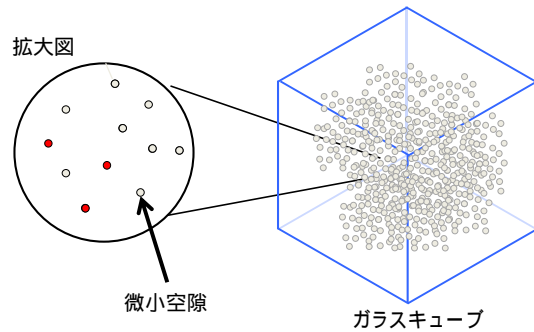


図2 ガラスキューブ内に配置した微小空隙

本研究では、

1. 光透過性直方体の材質の検討
2. 微小空隙のサイズと形状の検討
3. 微小空隙の数と配置の検討（配置アルゴリズムの開発）
4. プロジェクタの各ピクセルと微小空隙の対応を求めるキャリブレーション手法の開発
5. 一般的な3次元形状ファイルフォーマットで格納された3次元モデルを本ディスプレイで提示するための変換アルゴリズムの開発
6. RGB-Dカメラで取得した色付き点群をリアルタイムに本ディスプレイで表示する手法の開発
7. 複数のプロジェクタを用いてディスプレイの解像度やコントラスト比を向上させる手法の開発
8. 被験者実験によるディスプレイの主観的性能評価およびカメラを用いた客観的性能評価を実施した。

### 4. 研究成果

以下では、本研究の主な成果の概要を述べる。

#### (1) 光透過性直方体の材質の検討

本研究の当初の計画では、光透過性直方体は3Dプリンタで出力し、微小空隙も出力の際に同時に配置することを想定していた。しかし、安価に入手可能な透明材料では、光透過性が十分ではなかったため、クリスタルガラスの中から適切なものを選定し、ガラス内部マーキング法によって空隙を配置した。

### (2) 微小空隙のサイズと形状の検討

微小空隙の形状に関しては、図 3 に示す様々な形状の微小空隙を用いた場合の表示性能を検討した。その結果、空隙を大きくした場合でも、中空よりも最大に充填した球の方がコントラスト比が高くなることが判明した。また、加工の方向によって光の散乱に指向性があり、これを利用すると、プロジェクタから見て他の空隙の影になる箇所にも別の空隙を配置してレーザ光を照射できる可能性があることが分かった。

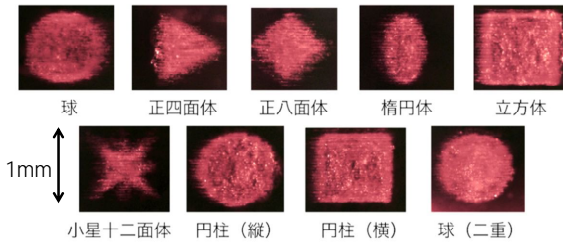


図 3 微小空隙として検討した形状の顕微鏡写真

### (3) キャリブレーション手法の開発

本ディスプレイを用いて意図したとおりの3次元映像を表示するためには、レーザ光源プロジェクタのどのピクセルを光らせば、ガラスキューブ内のどの微小空隙が発光するかを事前に知る必要がある。本研究で使ったガラス内部マーキング法では、微小空隙をガラスキューブ内に配置する際に、3次元位置に誤差が生じる。また、ガラスキューブとレーザ光源プロジェクタを台に固定する際にも、設計通りに正確にこれらを固定することは難しい。そのため、設計情報のみから対応関係を求めることは難しく、ガラスキューブとレーザ光源プロジェクタを固定した後に、これらの対応関係を求めるキャリブレーションを実行する必要がある。

本研究では、プロジェクタからレーザ光を照射したときのディスプレイ本体の様子をカメラで撮影し、画像処理で発光した空隙を検出することで、キャリブレーションを自動的に実行する手法を開発した。このときプロジェクタから照射するレーザ光のパターンは様々なものが考えられるが、1ピクセルずつ順番に照射し対応関係を調べる方法 (Pixel-Scan 法) が最も精度良くキャリブレーションできる。しかし、Pixel-Scan 法は精度が良い反面、プロジェクタのピクセル数に比例した処理時間を要する。そこで高速化を目指した手法として、縦もしくは横1ラインのピクセルを順次発光させた際に発光する空隙の様子を撮影した複数の画像から、模擬的に1ピクセルのみを発光させた際に得られる画像を生成することにより取得する必要がある画像の枚数を減らした手法 (Line-Scan 法)、Line-Scan 法で縦もしくは横1ラインで発光させる代わりに格子模様で発光させることにより更に取得する必要

がある画像の枚数を減らした手法 (Structured-Light 法) を開発した。各手法で得られたキャリブレーション結果を用いて実際に映像を提示し、その性能を被験者実験により評価した結果、キャリブレーションの所要時間と提示映像の性能のバランスを考えると Line-Scan 法が実用化に向けて適していることが分かった。

### (4) 複数のプロジェクタを用いた解像度とコントラスト比の向上

ガラス内部マーキング法により生成した微小空隙は、プロジェクタからのレーザ光をすべては散乱させず、一部を透過させる。そのため、プロジェクタから見て同一直線上に複数の空隙を配置することができず、このことが本ディスプレイの解像度を上げるにあたり障害となる。そこで、図 4 に示すように、複数のプロジェクタを用いて異なる位置からレーザ光を照射することにより、解像度を上げる試みを行った。また、本方式では、図 5 に示すように同じ微小空隙に複数のプロジェクタから同時にレーザ光を照射することにより、輝度を向上させることができる。これにより、提示映像の最大輝度やコントラスト比をプロジェクタ1台のみを用いた場合より向上させることができる。本研究では、図 6 に示すように、4台のプロジェクタを用いることにより、1,000Lux 程度の環境であっても視認可能な映像を提示することができるようになった。

図 7 に本研究で開発したディスプレイを用いて様々な形状を表示した例を示す。

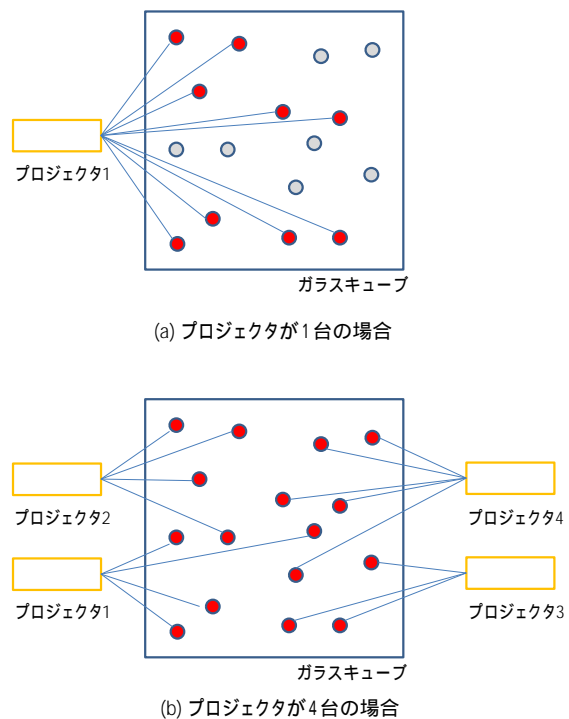


図 4 複数のプロジェクタを用いた解像度の向上

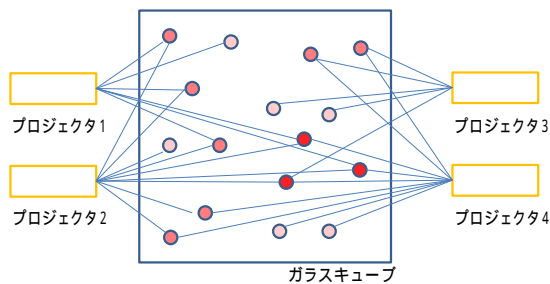


図 5 複数のプロジェクタを用いた最大輝度とコントラスト比の向上

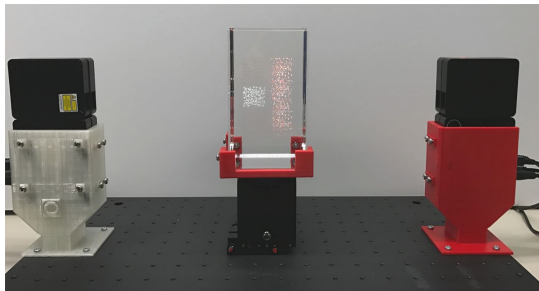


図 6 明環境下での表示例

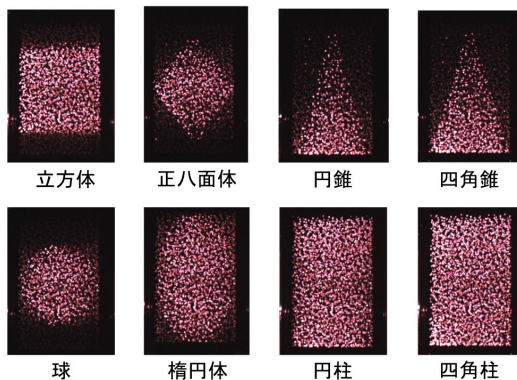


図 7 映像表示例

本研究により、通常の居室やオフィス環境において、輻輳調節矛盾が生じない立体映像を複数人が同時に裸眼で観察可能なディスプレイが実現された。このディスプレイは、設計支援、教育支援、デジタルサイネージ、インテリアなどに応用可能であると期待される。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 5 件)

Yoshiki Ohashi, Takuya Fujii, Ryuta Endo, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda, Development and Evaluation of Calibration Methods for an Autoscopic 3D Display using Light Diffusion within Micro Regions, The 16th

International Meeting on Information Display, 2016 年 8 月 25 日, Jeju(Korea).

大橋 由暉, 遠藤 竜太, 藤井 巧哉, 石井 裕剛, 下田 宏, 微小領域での光拡散を利用した裸眼立体視ディスプレイのキャリブレーション手法の開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016, 2016 年 9 月 8 日, 東京農工大学(東京都・小金井市). (優秀プレゼンテーション賞受賞)

遠藤 竜太, 大橋 由暉, 藤井 巧哉, 石井 裕剛, 下田 宏, 多視点裸眼立体視ディスプレイ LuminantCube の開発と評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016, 2016 年 9 月 8 日, 東京農工大学(東京都・小金井市). (学術奨励賞受賞)

Takuya Fujii, Hirotake Ishii, Hiroshi Shimoda, Omnidirectional and Auto-stereoscopic 3D Display using Diffusion of Laser-light within a Micro Region, Proceedings of the International Symposium on Socially and Technically Symbiotic Systems, 2015 年 8 月 28 日, 京都大学(京都府・京都市).

藤井 巧哉, 遠藤 竜太, 大橋 由暉, 石井 裕剛, 下田 宏, 3次元配置した微小領域でのレーザ光拡散を利用した多視点裸眼立体視ディスプレイの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム, 2015 年 9 月 2 日, 公立はこだて未来大学(北海道・函館市). (優秀プレゼンテーション賞受賞)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石井 裕剛 (ISHII, Hirotake)

京都大学大学院・エネルギー科学研究科・准教授

研究者番号：00324674