

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25730121

研究課題名(和文) フォグディスプレイを用いた立体像提示によるテレプレゼンスシステム

研究課題名(英文) Telexistence system with three-dimensional fog display

## 研究代表者

井村 誠孝 (Imura, Masataka)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：50343273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、円筒型に整形されたフォグに対し、プロジェクタを複数配置して異なる角度から異なる映像を投影することにより、単一のフォグスクリーンにもかかわらず、観測者の位置を反映した映像が提示できるディスプレイを開発した。カメラ群により多方向からの人物頭部映像をリアルタイムに取得することと併用することにより、周囲からの見回しが可能で臨場感のある空間像の提示を可能とした。フォグが固定された表面を持たないことを利用して、フォグスクリーン内に手をさしのべて対象に触れることにより、視覚と体性感覚による距離感が一致したインタラクションを実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have been developing a novel fog display system that enables users to observe a virtual object from multiple viewpoints. The proposed display consists of one cylindrical fog screen and multiple surrounding projectors. User's head movement around the cylindrical fog screen arises motion parallax that helps 3D recognition of a shape of the virtual object. Projection of images captured by multiple surrounding cameras enforces presence of the virtual object. This immaterial display has another advantage that the display enables direct touching operation to the virtual objects by users' hands. Consistency of visual and somatic sensation increases the reality of the virtual object.

研究分野：バーチャルリアリティ

キーワード：バーチャルリアリティ ヒューマンコンピュータインタラクション ディスプレイ マルチモーダル  
プロジェクション

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 遠隔地の情報を提示し臨場感を創出するトレイグジスタンスにおいては、高品質なディスプレイの開発が必須課題である。遠隔地のバーチャルな情報と、実空間の情報が、シームレスにつながる事が望まれる。映像メディア、コンピュータグラフィクス、バーチャリアリティ等の分野における映像提示では、ステレオディスプレイやヘッドマウントディスプレイ等を用いることで、実空間とバーチャル空間の視覚的な融合提示が行われてきた。しかしながら、これらの映像提示機器を装着すること自体は、逆に実空間とバーチャル空間との境界を作り出し、両空間の融合を妨げるという皮肉な結果になっている。

(2) 実-バーチャル空間の分断問題を解決する方法として、スクリーンの存在が認知されない、もしくは希薄に感じられる空間映像技術の検討がなされている。その一例にフォグ(霧)を利用したスクリーンがある。従来のフォグスクリーンシステムは、平面のフォグスクリーンに一方向から映像を投影するため、観察される映像は平面的なものに留まっている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、理想の3次元ディスプレイシステムに要求される(i) 裸眼立体視可能であること、および(ii) 実空間とバーチャル空間がシームレスに融合していること、の二つの条件を満たすフォグディスプレイを開発し、臨場感のある遠隔地コミュニケーション可能なトレイグジスタンスを実現することである。本研究で構築するフォグディスプレイは、複数人が特殊な眼鏡なしに全方位からの立体視が可能であり、また対象物に手などを直接差し入れての操作が可能であるという、他の映像提示装置には無い特長を持つ。本フォグディスプレイは空中に映像が浮遊しているかのように見えるため、観察者に強い印象を与えることができる一方で、フォグ特有のゆらぎは映像を親しみやすいものにする。本特性を生かして、臨場感のある人対人の遠隔地コミュニケーションシステムを構築する。

## 3. 研究の方法

(1) 映像を投影するスクリーンには円筒状に整流したフォグを使用する。一般的にプロジェクタ等によりスクリーンに投影された映像は、スクリーン表面において等方的に散乱し、観察者の目に届く。一方、フォグは微細な水滴からなる。粒子による光の散乱の機序は、光の波長とそれを散乱させる粒子の大きさの比によって決まる。フォグを構成する水

滴の大きさは可視光の波長よりも一桁大きい。この場合、波長依存性は少ないが、強い指向性を前方に持った Mie 散乱が発生する。本研究では、このフォグ特有の可視光散乱の指向性に注目する。適切な大きさの水滴が適切な濃度で分布したフォグスクリーンに対して、プロジェクタによって映像を投影した場合、プロジェクタの真正面でもっとも鮮明な映像が観察でき、真正面とその周辺以外はほとんど映像が見られない。本研究では、円筒型に整形されたフォグに対し、プロジェクタを複数配置して異なる角度から異なる映像を投影することにより、単一のフォグスクリーンにもかかわらず、観測者の位置を反映した映像が提示できるディスプレイを実現する。

(2) フォグは固形の表面を持たないため、提示されているバーチャル物体の中に手を差し入れることができる。視覚と体性感覚の不一致が生じないため、ユーザがディスプレイシステムの都合に合わせることなく、実空間の物体へ手を伸ばすのと同じ感覚で直感的に触れることや操作することが可能である。このインタラクションシステムの実現には、ユーザの動きを検出することが必要である。本研究では赤外線光源とカメラによるセンシングで、ユーザに何も装着することなしに動作計測を実現する。

## 4. 研究成果

### (1) フォグスクリーンの開発

本研究で提案するフォグディスプレイシステムにおいて、映像の臨場感を向上させるためには、周囲のディスプレイの構造物を可能な限り排除し、映像のみが提示できることが望ましい。従来のフォグ生成では安定性を考慮して上方から気流を噴出することが一般的であった。これに対して本研究では、下から上への空気流を生成すること、流路の改良により実現し、より浮遊感のある映像提示を実現した(図1)。

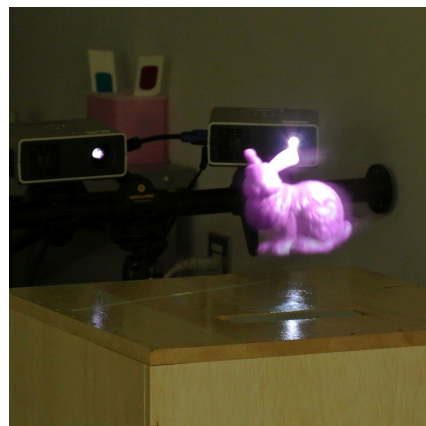


図1 下方からのフォグ生成による空中像

本ディスプレイ装置において、フォグによる光の前方散乱の角度依存性の制御は重要である。Mie 散乱の角度依存性は波長と粒子径との比率により定まるため、本研究では、超音波による水の霧化と、噴流の衝突による水の霧化という、複数の手法によるフォグスクリーンの生成手法を試行し、粒径の異なるフォグの生成を実現した。

## (2) 投影映像の品質向上

フォグスクリーンは非平面であり、またプロジェクタの光軸とスクリーンが直交していないため、スクリーンへの投影に際しての映像補正を行う必要がある。提示したい物体をレンダリングした画像を、フォグスクリーンの形状に対して逆投影した映像をコンピュータグラフィクスで生成して投影する双対レンダリングにより、スクリーン形状に合わせた歪みのない画像提示を実現した。

提示情報生成技術として、従来までのコンピュータグラフィクスに加えて、実世界のユーザの人物頭部映像を複数カメラにより周囲から撮影することにより、周囲からの見回しが可能で臨場感のある空間像の提示を可能とした。

投影された映像はフォグの持つ散乱によりぼけが生じる。ぼけの広がり方を推定するために、プロジェクタから1ピクセル幅の垂直線を投影し、スクリーン面から約1mの位置から、デジタルカメラでフォグスクリーンに投影された像を観測し、垂直線の中央から外側に向かう輝度値の変化から、垂直線のぼけを測定した。測定結果に基づいて作成された点拡がり関数の逆フィルタを事前に投影像に適用することで、映像の鮮明化を行った(図2)。

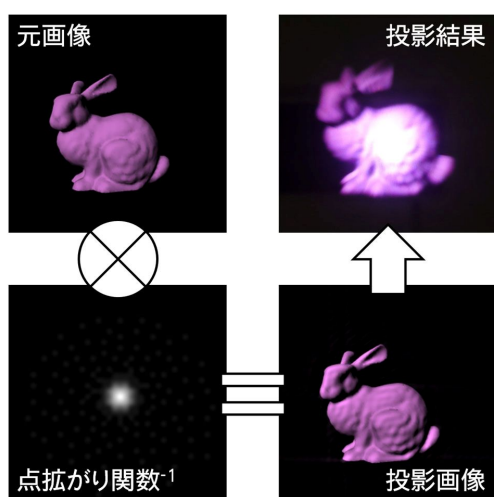


図2 ぼけの推定による映像の鮮明化

より高品質な映像提示を実現するための基礎的研究として、フォグの形状計測を試みた。複数方向からライトフィールドカメラによる計測を行い、撮像結果に対してコンピュータショナルフォトグラフィ技術を適用することにより、フォグの形状推定が一定程度可能となったが、リアルタイム性の向上が今後の課題である。

## (3) 投影像とのインタラクション

ユーザの動作を計測するために、赤外線カメラを利用し、赤外光を照射し、その反射光をカメラで観測することで、マーカなしに観察者の手や腕の位置および姿勢を測定することを実現した。対象物に対して、触る、回転させるといった、手による直接的な操作を可能とした。

ユーザとのインタラクション部においては画像からの対象の抽出が必要である。本処理の高速化のために、GPGPU 技術を用いた高速画像処理の並列化に関する基礎的研究を実施した。

より高品質なインタラクションとテレレイグジスタンスを実現するためには、観察者の位置計測や、手の形状計測の精度向上が重要である。従来用いられてきた技術と異なるモダリティである電波や皮膚接触抵抗などを用いる新たな計測手法の確立に向けて、基礎的技術の検討を行った。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

井村 誠孝, 円筒型フォグスクリーンへのプロジェクションによる多視点表示, 光学, 査読無し, Vol. 43, No. 10, 2014, pp. 464-474

〔学会発表〕(計7件)

古澤 大樹, 井村 誠孝, 吉元 俊輔, 大城理, 人物位置同定に向けた遮蔽物による電波強度変化の検証, 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会若手研究発表会講演論文集, pp.172-174, 2015/1/15, 大阪.

川口 純輝, 吉元 俊輔, 井村 誠孝, 大城理, 皮膚と電極の接触抵抗による手姿勢計測の基礎検討, 電気関係学会関西支部連合大会, pp.50-51, 2014/11/23, 生駒.

Yuta Ideguchi, Yuki Uranishi, Shunsuke Yoshimoto, Masataka Imura, Osamu Oshiro, Reconstruction of Spatial Density of Smoke based on Light Field Consistency, 画像の認識・理解シンポジウム, 2014/7/28, 岡山.

井手口 裕太, 浦西 友樹, 吉元 俊輔, 井村 誠孝, 大城 理, ボクセル空間における煙霧のボケ除去の GPU を用いた高速化, システム制御情報学会研究発表講演会論文集, 335-3, 2014/5/21, 京都.

井村 誠孝, 浦西 友樹, 黒田 嘉宏, 大城 理, 多視点観察可能なフォグディスプレイにおける画質向上手法, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.509-510, 2013/9/20, 大阪.

Masataka Imura, Yuki Uranishi, Yoshihiro Kuroda, Osamu Oshiro, Connected Component Labeling on GPU based on Raster Segment Pair Approach, 画像の認識・理解シンポジウム, 2013/8/1, 東京.

井村 誠孝, 浦西 友樹, 黒田 嘉宏, 大城 理: 画像連結領域ラベリングの CUDA による並列化, 第7回新画像システム・情報フォトニクス研究討論会予稿集, pp.44-45, 2013/6/10, 東京.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井村 誠孝 (IMURA, Masataka)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号: 50343273