

多視点観察可能なフォグディスプレイ

八木 明日華[†] 井 村 誠 孝[†]
黒 田 嘉 宏[†] 大 城 理[†]

本研究では、フォグによる光の散乱が指向性を持つことを利用し、円筒状のフォグスクリーンに対し、多方向から異なる映像を投影することで、観察者の視点位置に応じた映像を提示できるディスプレイを構築する。提案するフォグディスプレイでは、視点の移動によって物体の見え方が変化する運動視差により、対象物の立体形状を認識することが可能である。

360-Degree Observable Fog Display

ASUKA YAGI,[†] MASATAKA IMURA,[†] YOSHIHIRO KURODA[†]
and OSAMU OSHIRO[†]

We propose a 360-degree fog display which provides different images according to observers' position. The proposed display utilizes directional light scattering of fog and multiple images which are projected from different directions on a cylindrical fog screen can be transmitted to different observers. The fog display brings motion parallax to observers that can recognize the 3D structure of the presented objects.

1. はじめに

近年、空間映像技術の分野が注目されている。空間映像とはスクリーンの存在が認識されない、もしくは希薄に感じられ、空間に映像そのものが見えるような映像システム全般を指す。既存のスクリーンに映像を表示する技術においては、スクリーンは映像と現実世界を隔てており、映像は現実空間に存在するようには感じられない¹⁾。この問題を解決する手段として、スクリーンからの奥行きや飛び出しを感じられる立体視技術がある。最も一般的なものは両眼視差を用いて立体視を実現する技術であるが、立体の表示位置と輻輳の不一致などの問題もある。これに対して空間映像では、二次元画像を表示しても、画枠がないことや奥行き知覚の混乱によって立体と感じることができるという利点がある。

本研究では、円筒状のフォグスクリーンに対し、多方向から異なる映像を投影することで、観察者の視点位置に応じた映像を提示できるディスプレイを構築する。視点の移動によって物体の見え方が変化する運動視差により、対象物の立体形状を認識することができ

る。複数の使用者で立体感を共有しながら作業をすることや、一人で色々な角度から映像を見ることで三次元構造を確認しながら作業をすることを実現する。

2. 関連研究

フォグをスクリーンとして使用する映像投影技術は Rakkolainen らによる研究により実用化が促進された²⁾。近年ではフォグの持つ光の半透過性を利用して立体感を提示する試みがなされている^{3),4)}。

また、視点に応じた映像の提示による立体感の創出は、日立製作所の Transpost⁵⁾ やソニーの RayModeler⁶⁾ により試みられている。本研究の新規性は、フォグを指向性を持つスクリーンと捉えることにより、上記のシステムと同等の映像提示機構を実現するとともに、それらでは不可能な対象物への手による直接的なインタラクションを可能にするところにある。

3. 多視点観察可能なフォグディスプレイ

本節では、フォグによる光の散乱が指向性を持つことを利用し、円筒形のフォグスクリーンに対して複数の方向から映像を投影することによって、多視点観察可能なフォグディスプレイを実現する方法について述べる。

[†] 大阪大学
Osaka University

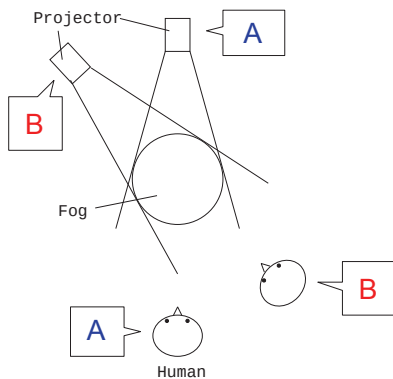


図 1 提案するフォグディスプレイのコンセプト
Fig. 1 Concept of proposed fog display

3.1 フォグによる光の散乱

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。散乱が等方的であることにより、視点が異なっても見られる映像は同じである。

一方、フォグスクリーンは微細な水滴によって構成されている。水滴のサイズは数 μm 以上と可視光の波長よりも大きいため、前方への指向性が強い Mie 散乱が生じる。散乱の指向性は散乱方向の確率密度分布である位相関数 $p(\theta)$ により表すことができる。Mie 散乱の位相関数の近似として Henyey-Greenstein 位相関数がある。

$$p(\theta) = \frac{1}{4\pi} \frac{1 - g^2}{\{1 + g^2 - 2g \cos \theta\}^{3/2}} \quad (1)$$

単一のパラメータ g ($-1 \leq g \leq 1$) で散乱の異方性を表現できるためコンピュータグラフィックスの分野で広く使用されている。

フォグスクリーン特有の指向性により、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。よって円筒形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と、見る位置に応じて異なる映像が観察できる (図 1)。使用者は様々な位置からフォグに映った映像を観察することで、視差を感じ、表示物体がフォグの中にあるように感じられる。

3.2 円筒形フォグスクリーンの生成

フォグはタンクに貯蔵した水を霧化することで発生させる。円筒型のフォグスクリーンを形成するため、発生したフォグをパイプにより導き、送風ファンによって下方に向けて噴出する。噴出口は多数の細いパイプを円筒形に並べて構成され、円筒の中央部分はフォグ

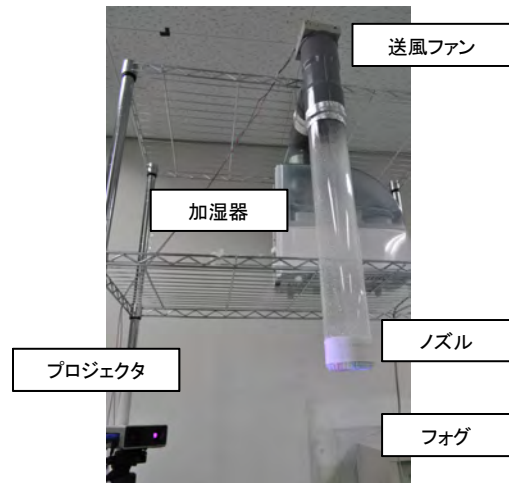


図 2 試作システム
Fig. 2 Prototype system

が流出しないように塞ぐ。細いパイプによりフォグが整流されることで、噴出口下の一定区域における流れが層流となり、安定した形状のスクリーン生成が可能となる。

3.3 映像の投影

フォグスクリーンへの映像の投影は同期した複数のプロジェクタにより行う。プロジェクタは円筒と中心を同じくする円周上の等間隔な位置に、光軸が円筒中心を向くように配置する。

4. 実装と結果

本節では、提案手法に基づいて作成した試作システムの概要と、映像を提示した結果について述べる。

4.1 試作システム構成

試作システムの外観を図 2 に、試作システムを構成する装置の諸元を表 1 にそれぞれ示す。

フォグの発生には、超音波とヒーターのハイブリッド方式による加湿器 (Boneco 製) を使用した。フォグの流路はアクリルパイプおよび塩ビパイプで構成されており、直径は約 80mm である。噴出部には直径約 5mm、長さ約 50mm の細いパイプを同心円状に約 70 本配置した (図 3)。

映像の投影には、LED 光源プロジェクタ LVP-PK20 (三菱電機製) を 3 台使用した。投影する複数映像の生成と同期は、2 枚のグラフィクスボードを搭載した 1 台の Linux PC に 3 台のプロジェクタを接続することで実現した。

4.2 プロジェクタの配置間隔の決定

プロジェクタから投影された映像が、どの範囲の観測者に見えるかにしたがって、プロジェクタの配置間隔を決定することを目的として、散乱光の強度を計測

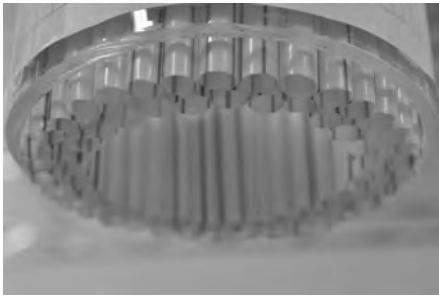


図 3 噴出部

Fig. 3 Close-up of nozzles

表 1 試作システムの諸元

Table 1 Properties of prototype system

フォグ生成	ハイブリッド型加湿器 2300A (Boneco 製)
気化能力	410 ml/h
映像投影	LVP-PK20 (三菱電機製)
表示方式	DLP
画素数	800×600
光源	LED
明るさ	25 lm
画角	42 deg

表 2 光散乱の角度依存性

Table 2 Angle dependency of light scattering

角度 [deg]	0	5	10	15	20
強度 [a.u.]	225.7	41.7	3.92	1.22	0.477
	40	60	80	90	
	0.126	0.0218	0.0077	0.0063	

する実験を行った。

1 台のプロジェクタから、中央に白色の円が描かれた画像を投影し、プロジェクタ光軸と観察者の視線がなす角度を変えながら散乱光の強度を計測した。光強度計測にはデジタルカメラ D5000 (Nikon 製) を用いた。ISO200, 絞り f11.0 に固定した上で、適切な露光となるよう露光時間を変えて計測し、得られた結果から露光時間を 0.01 秒とした場合のバーチャルな強度を算出した。

計測結果を表 2 および図 4 に示す。二乗誤差の最小化により Henyey-Greenstein 位相関数のパラメータ g を推定した結果、 $g = 0.94$ となり、試作システムのフォグスクリーンが強い前方散乱性を示していることが確認された。

4.3 多視点画像の投影結果

前節の実験結果より、プロジェクタ間の角度を約 20 度とすることにより、隣接するプロジェクタの映像の影響がほぼ無くなることがわかった。

単一のプロジェクタから図 5 中央に示す画像を投影した場合、プロジェクタ正面に対して -20 度、-10 度、0 度、10 度、20 度の位置からフォグディスプレ

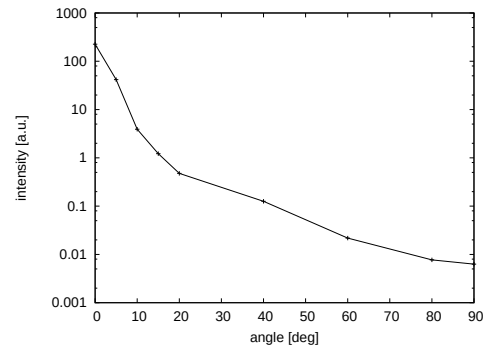


図 4 光散乱の角度依存性

Fig. 4 Angle dependency of light scattering

イを見た場合の映像を図 6 に示す。また、3 台のプロジェクタからそれぞれ図 5 に示す画像を投影した場合の、同じ位置における結果を図 7 に示す。

5. おわりに

本稿では、フォグスクリーンによる光散乱が指向性を持つことに着目し、観察者の位置に応じた多視点映像を提示可能なフォグディスプレイを提案した。構築した試作システムにより、運動視差を利用した立体感提示が可能であることが示された。

参考文献

- 1) 石川 洵:空間映像による映像と現実世界の融合、立体視テクノロジー, NTS, pp.391-398 (2008).
- 2) Rakkolainen, I., DiVerdi, S., Olwal, A., Candussi, N., Hüllerer, T., Laitinen, M., Piirto, M. and Palovuori, K.: The Interactive FogScreen, *ACM SIGGRAPH 2005 Emerging technologies* (2005).
- 3) Lee, C., DiVerdi, S. and Höllerer, T.: Depth-Fused 3D Imagery on an Immaterial Display, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.15, No.1, pp.20-33 (2009).
- 4) 東 佑圭, 橋本直己: 立体感を提示可能な霧ディスプレイの開発, 映像情報メディア学会冬季大会 (2010).
- 5) Otsuka, R., Hoshino, T. and Horry, Y.: Transpost: A Novel Approach to the Display and Transmission of 360 Degrees-Viewable 3D Solid Images, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.12, No.2, pp.178-185 (2006).
- 6) Ito, K., Kikuchi, H., Sakurai, H., Kobayashi, I., Yasunaga, H., Mori, H., Tokuyama, K., Ishikawa, H., Hayasaka, K. and Yanagisawa, H.: 360-Degree Autostereoscopic Display, *ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies* (2010).



図 5 投影する画像
Fig. 5 Projected image



図 6 単一のプロジェクタによる投影結果
Fig. 6 Result of single projector

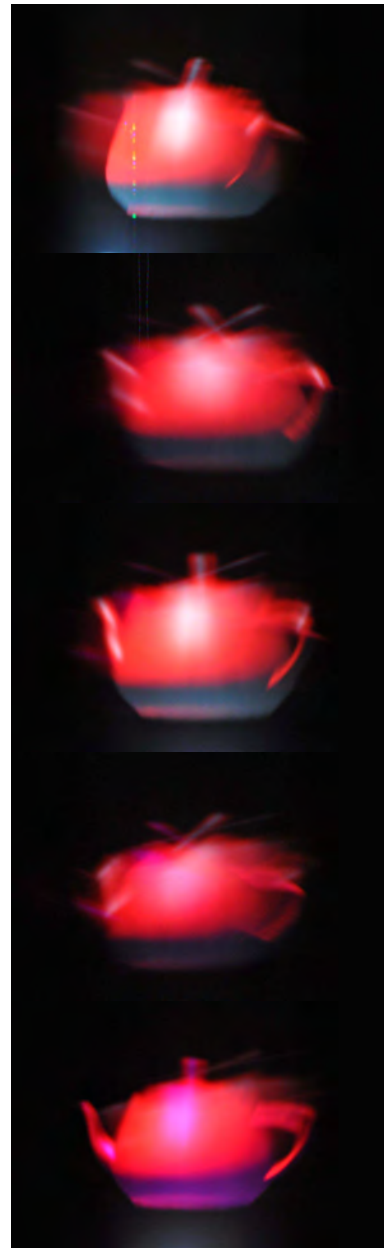


図 7 複数のプロジェクタによる投影結果
Fig. 7 Result of multiple projectors