



# 螺旋状回転スクリーンを用いた体積型立体表示方式の 受光面半透明化による可視領域拡大

Improvement of Visible Region by Using Translucent Screen for Volumetric 3D Display Rotating a Helical Screen

若月花梨<sup>1)</sup>, 藤川知栄美<sup>1)</sup>, 面谷信<sup>1,2)</sup>

Karin WAKATSUKI, Chiemi FUJIKAWA, and Makoto OMODANI

1) 東海大学大学院 工学研究科 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1, lceim058@mail.u-tokai.ac.jp)

2) 東京電機大学 理工学部 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂, omodani@mail.dendai.ac.jp)

**概要** : 近年実用化されている 3 次元表示装置の大半は二眼ステレオ式である。高速回転する螺旋状スクリーンに断面画像をプロジェクタから順次照射し、残像効果により立体像を表示する体積型立体表示方式は、裸眼で全方位から立体像を観察可能であるが、回転する螺旋状スクリーンにより立体像表示空間に不可視領域が生じる課題がある。本検討では螺旋スクリーンを透明化することで不可視領域が大幅に減少する検討結果を光線計算と試作により得た。

**キーワード** : 透明, 可視領域, 螺旋スクリーン

## 1. 序論

近年実用的な 3 次元表示装置の大半は 2 眼ステレオ式である[1, 2]。しかし、この方式は立体視できる角度が制限されている。また、特殊なメガネを装着する必要がある場合が多い。一方、3 次元空間に光点を配置する体積型立体表示方式は、特殊なメガネを使用せず全方位からの観察が可能である[3, 4]。著者らは、多層の断面画像を高速回転中の螺旋スクリーンに同期させてプロジェクタから投影する体積型立体表示方式に着目しているが [5]、本方式では回転する螺旋スクリーンによって、立体像表示空間内に不可視領域が生じる課題がある。

本報告では、可視領域を拡大するために螺旋スクリーンを透過型とすることを検討した。

## 2. 表示原理

本方式の立体像表示システムを図 1 に示す。本表示システムは DMD(Digital Mirror Device)プロジェクタ(ViALUX: STAR-07 RGB, Throw ratio = 1.8, 明るさ = 1100 lm)と図 2 に示す螺旋スクリーンで構成されている。螺旋スクリーンは 3D プリンタを用いて作製した。使用した 3D プリンタの仕様を表 1 に示す。高速回転中(1800 rpm)の螺旋スクリーンに対し、その奥行位置に対応する断面画像を同期させ DMD プロジェクタから投影する。螺旋スクリーン上に形成した多数の断面像(本研究で試作した装置では最大 128 枚)の集積効果によって立体像を形成する。実際に投影さ

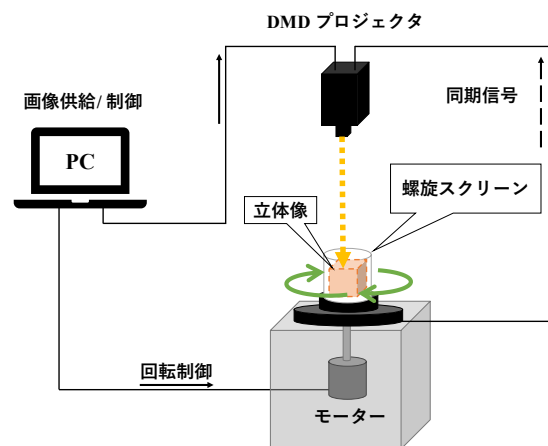


図 1: 螺旋状回転スクリーンを用いた立体像表示システム

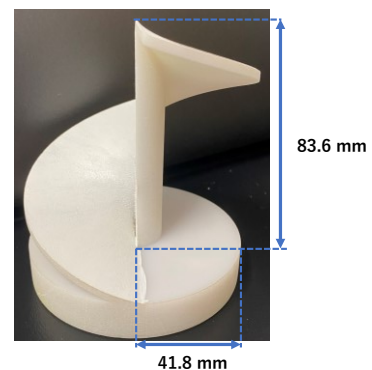
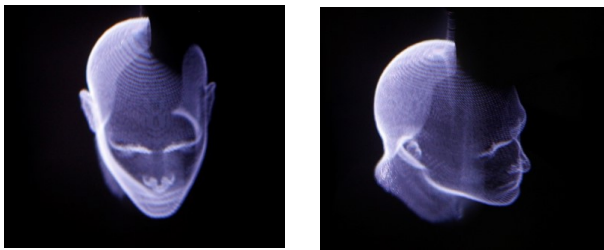


図 2: 螺旋スクリーン

れた立体像の画像を図3に示す. 図3に示すように, 人の頭部の投影像を全方位から立体的に視認することが可能である. しかし, 観察角度によって, 立体像の一部が欠損して見える現象が生じる. 不可視領域が生じる原因は二つ考えられる. 一つ目は螺旋スクリーン本体が, その回転位置によっては螺旋面から視点までの光路を遮るためである. 二つ目は視点位置が低い場合は螺旋スクリーンを裏側から見ることとなり, 投影面を見ることができないためである.

表 1: 3D プリンタの仕様

作製装置	ProJet MJP 5500X
造形方式	材料噴射法(インクジェット式)
造形樹脂	VisiJet CR-WT 200
積層ピッチ	16 $\mu$ m



(a) Front view (b) Left view

図 3: 投影された立体像

3. 不透明スクリーンの可視領域算出

可視領域を光線追跡法により算出した. 視点位置に光源を置いた場合, 螺旋面上において光源からの光が到達する領域はその視点位置から視認可能な領域となる. 本研究では視点位置に仮に光源を置いた時, 光源からの光が螺旋面(上面)に到達し, 螺旋スクリーン上方のプロジェクタ設置位置から見えることを判定条件として可視領域を算出した[6]. 水平面に対する視点位置の角度を $\theta$ とし(図4), 視点位置に置いた光源からの光が到達する螺旋面の領域を回転角毎に求めた. スクリーン回転角は360度を64分割した5.625度刻みに,  $\theta$ は10度から80度まで10度刻みに計算を行った.  $\theta$ 毎の視認可能面積率の平均値を円筒形の表示領域中の視認可能体積率として算出した.

図5に螺旋面を直交座標の4象限に分割した際の, 各象限毎の視認可能体積率を, 図6に螺旋面を半径で4分割したドーナツ形状領域毎の視認可能体積率を示す. 横軸は水平面に対する視点位置の角度 $\theta$ , 縦軸は視認可能体積率である. 図5,6より特に右側の領域では観察角度が小さいほど, 視認可能体積率が小さくなっていることが分かる. これは前述したように, 視点位置が低いときは螺旋面ではなく, 螺旋面の裏側を見ている場合(回転角)が多いからと考えられる.

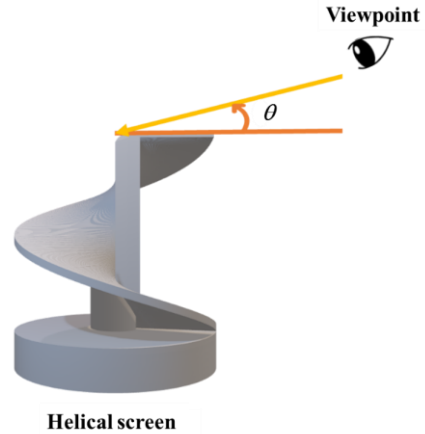


図 4: 観察角度の定義

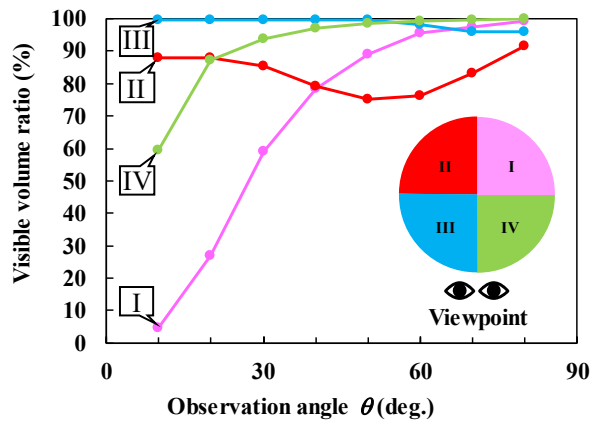


図 5: 4 象限に分割した際の視認可能体積率

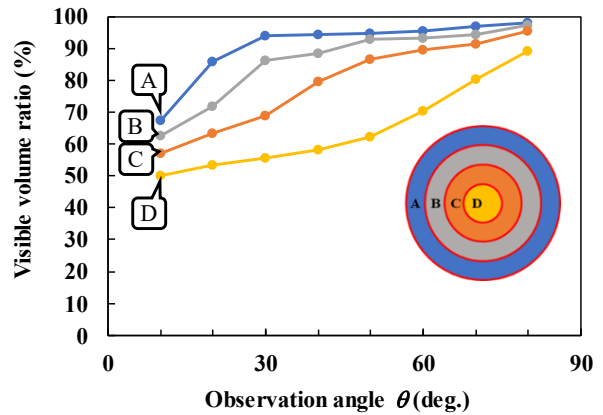


図 6: 半径で 4 分割した際の視認可能体積率

4. 透明スクリーンの可視領域算出

螺旋スクリーン材質の透明化により, 不可視領域の低減が期待できる. スクリーンを透明にした場合, 螺旋面の裏側からも投射光を視認可能となるためである.

透明スクリーンの優位性を検証するため, 前述と同様に, 視認可能領域をシミュレーションにより算出した. 不透明スクリーンの場合は, 螺旋面の上面(表側)の光が当たる場所のみ視認可能領域としていたが, 透明スクリーンでは螺

旋面の裏側に光が当たる場所も視認可能領域とした。ただし、シミュレーションでは視点から視認可能である領域を算出しており、実投影環境においてスクリーンで反射・透過され目に届く光の光量は考慮していない。

図7に透明スクリーンにおいて、螺旋面を直交座標の4象限に分割した際の、各象限毎の視認可能体積率を、図8に螺旋面を半径で4分割したドーナツ形状領域毎の視認可能体積率を示す。

各スクリーン領域別に、透明スクリーンの視認可能領域を不透明スクリーンと比較した増加率を算出した。結果を図9, 10に示す。図9より、主に視点位置が低い場合、領域I, IVで視認可能領域が増加している。また、図10より領域D以外の領域A, B, Cでは視認可能領域が増加していることが分かった。領域Dには螺旋スクリーンを支えるための支柱が螺旋面の裏側に存在するため、裏側からの光は遮断され視認可能領域は増加しなかったと考えられる。

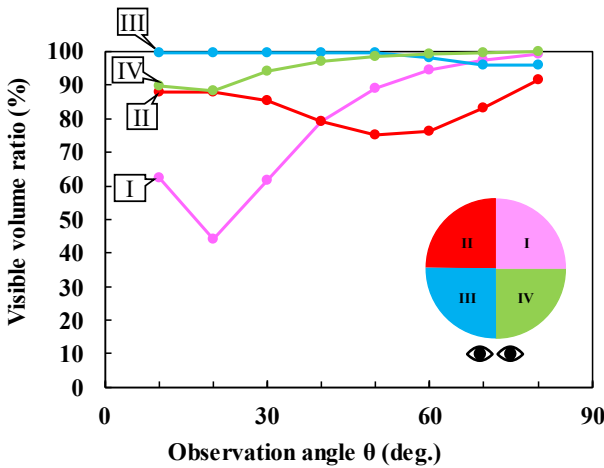


図7: 4象限に分割した際の視認可能体積率 (透明スクリーンの場合)

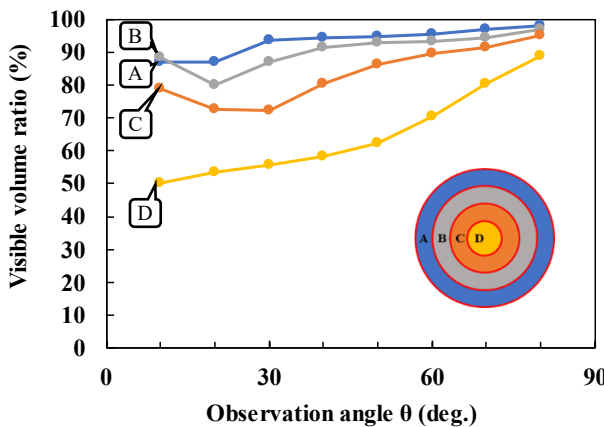


図8: 半径で4分割した際の視認可能体積率 (透明スクリーンの場合)

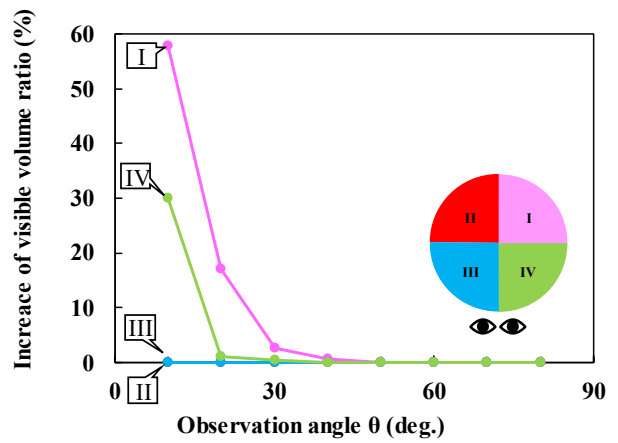


図9: 4象限に分割した際の視認可能体積率の増加率

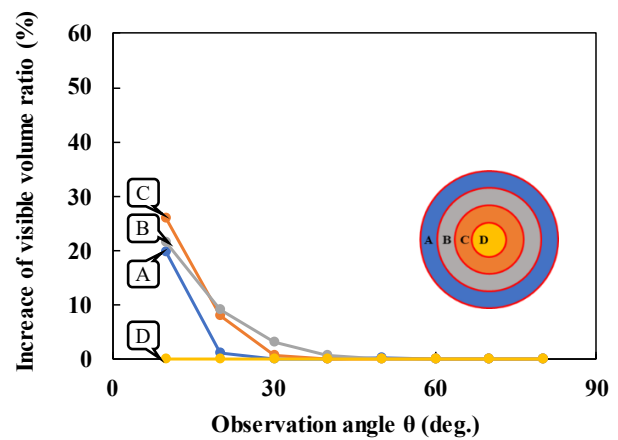


図10: 半径で4分割した際の視認可能体積率の増加率

5. 透明螺旋スクリーンの作製・投影結果

透明樹脂を用いて螺旋スクリーンの作製を行った。螺旋スクリーンの作製に用いた3Dプリンタの仕様を表2に示す。また、図11に作製したスクリーンの外観写真を示す。螺旋面の裏側を見ることができる高い透明度で作製することができた。

作製した透明スクリーンを使用して立体像を投影した場合、像の視認性は著しく低下した(図12(a))。原因は散乱光の低下と考えられるので、スクリーンの螺旋面に散乱体を塗布し、散乱光の増加を図った。顔面用白粉を塗布した螺旋スクリーンを用いて立体像の表示を行った。不透明スクリーンでの投影結果との比較を図12(b), (c)に示す。不透明スクリーンでは投影像の右側が見えないのに対し、透明スクリーンでは投影像の全体が視認可能となり、可視領域の大幅な拡大を確認できたが、不透明スクリーンと比較

表2: 3Dプリンタの仕様(透明体作製用)

作製装置	ACCULAS® BA-85S
造形方式	液槽光重合(光造形式)
造形樹脂	SCR786
積層ピッチ	100 μm

して、透明スクリーンでは投影像全体が暗い。視認性は照射光と環境光の明るさにも依存するので、スクリーンの透過性の最適化が必要と考えられる。また、透明スクリーンにおいても、中心部分に不可視領域が存在する。この領域は螺旋スクリーンの構造上必要な支柱部分であるが、この支柱が螺旋面からの透過光を遮り、不可視領域を残存させたと考えられるため、スクリーン構造の最適化も別途必要である。

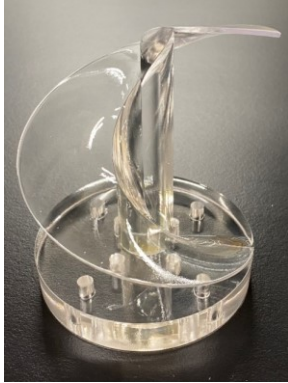
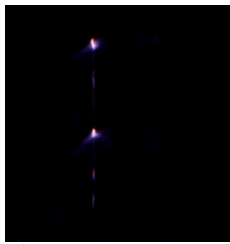
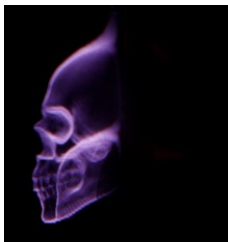


図 11: 透明螺旋スクリーン



(a) 透明スクリーン



(b) 不透明スクリーン



(c) 透明スクリーン  
(散乱体塗布)

図 12: 螺旋スクリーンの各材質における投影像

## 6. 結論

螺旋スクリーンを用いた立体表示方式の課題である不可視領域の解消について、計算と試作により以下の検討結果を得た。

- (1) 螺旋スクリーンの透明化による特に水平方向観察時の可視領域増加を光線シミュレーションにより確認した。
- (2) 透明樹脂を用いて作製した螺旋スクリーンでは、投影像の明るさは大幅に低下し、立体像の視認は困難であった。
- (3) 作製した透明スクリーン表面に散乱材料を塗布し半透過面とすることで、シミュレーションで示された可視領域の大幅な拡大を実観察により確認した。
- (4) スクリーンの半透明化時に確認された立体像の明るさ低下が課題として残存する。

本方式での立体像の視認性はプロジェクタと観察環境の明るさにも依存するので、スクリーン透過性は環境条件を勘案して最適化が必要と考えられる。

## 参考文献

- [1] Jason Geng, “Three-dimensional display technologies”, *Adv Opt. Photonics* **5** [4], 456, 2013.
- [2] Edirisinghe E. A. and Jiang J., “Stereo Imaging, an Emerging Technology”, *Proc. SSGRR L’Aquila*, 2000.
- [3] Oliver S. Cossairt, Joshua Napoli, Samuel L. Hill, Rick K. Dorval and Gregg E. Favalora, “Occlusion-capable Multiview volumetric three-dimensional display”, *Appl. Opt.* **46**, 1244, 2007.
- [4] Daisuke Miyazaki, Takeshi Honda, Keisuke Ohno and Takaaki Mukai, “Volumetric Display System Using a Digital Micromirror Device Based on Inclined-Plane Scanning”, *J. Disp. Technol.*, **6**, 548, 2010.
- [5] Karin Wakatsuki, Chiemi Fujikawa and Makoto Omodani, “Evaluation of visible region in volumetric 3D display using a rotating helical screen”, *Japanese Journal of Applied Physics*, Volume 61, Number 6, 2022
- [6] Karin Wakatsuki, Chiemi Fujikawa and Makoto Omodani, “Improvement of Performance of Volumetric 3D Display using a Rotating Spiral Screen – Enlargement of the Visible Region -”, *Proceeding of International Conference on Advanced Imaging 2021*, pp. 132-135, 2021.