

# 空中映像投影技術を応用した 奥行き感のある舞台向け映像投影手法

杉本 登彦<sup>1</sup> 福地 健太郎<sup>1,a)</sup>

**概要：**再帰性反射を利用した AIRR (Aerial Imaging by Retro-Refraction) 方式によって、ハーフミラーと再帰性反射板を組み合わせ、大型化や投影面の前後移動が容易な舞台向けの空中映像技術が開発されてきた。半透明な投影像を前面と後面の双方に映し出し、DFD (Depth-fused 3D) 効果を利用して前後の像を融合させることで疑似立体映像を生み出す試みも行われたが、斜めから観た際に立体感が損なわれる問題がある。そこで本研究では、中間に立体感を生じさせるのではなく、前後の映像を行き来させる動きに着目し、透視投影による大きさの計算や予備動作を組み合わせることで、あたかも舞台奥から手前へと像が移動してくるような錯視効果を狙った。これにより、あくまで平面映像でありながら、観客に強い奥行きや運動感を演出できる可能性を示している。

## 1. はじめに

音楽コンサートや演劇などでの舞台において、立体映像を舞台上に投影したいという要望は強い。こうした用途においては、観客に眼鏡やヘッドマウントディスプレイなどの装着を要求しない、裸眼での立体視が可能なのが望ましいが、多くの手法は大型化が困難であったり、費用面から導入が難しい。

我々はこれまでに、再帰性反射を応用した Aerial Imaging by Retro-Refraction (AIRR) と呼ばれる空中映像投影手法 [4] を利用し、舞台の前面に映像を投影する手法を開発してきた [2]。同技術は、ハーフミラーと再帰性反射板からなるため、比較的大型化が容易であるという利点がある。同様に舞台前面に映像を投影する手法として半透明スクリーンを利用することが広く用いられているが、これは観客の目にもスクリーンの存在が、わずかではあるが感じられてしまう。また、スクリーンで反射せずに透過した光の処理に課題があった。また、我々の手法は投影面を前後方向に動かすことが可能という利点がある。

また我々は、空中投影映像が半透明であることを利用し、舞台の背景面（後面）にも同時に映像を投影することで、簡易的な疑似立体映像の投影を試みている [2]。これは、前後の映像が融合するように見せ、さらにそれぞれの映像の輝度を調整することで中間に映像が投影されているかのような錯覚を生じさせる、Depth-fused 3D (DFD) と呼ばれる

効果 [1] を利用することを狙ったものである。一般に DFD 効果は前面と後面との間隔を 10~20mm 程度にするが [3]、予備実験において、その間隔を広くとっても同種の効果が生じることがわかっている。しかしながら斜めから見たときに前後の像が融合せず、立体感が損われるのは避けがたい。舞台に応用した場合にこの欠点は致命的である。

そこで今回の研究では、DFD 効果による中間の奥行き表現を目指す代わりに、前面と後面との間で映像が往き来しているかのような表現を用いることで、像の前後方向の運動を錯覚させることを試みた。具体的には、前面および後面に投影すべき映像の大きさを透視投影の原理に基いて計算した上で、前後方向の運動開始時に予備動作 (anticipation) をとらせ、観客に運動方向を予測させ、滑らかな運動を偽装した。前面・後面のそれぞれに投影される映像は依然として平面であるため疑似立体映像ですらないが、CG キャラクターが舞台後方から前方に走り出てきたように見せかけたり、映像効果が勢いよく飛び出して見えるかのように見せかける、などの応用が考えられる。

## 2. 実験装置

図 1 に、本研究で用いた実験装置の概要を示す。舞台の大きさは、能舞台で一般的な約 6m 四方を想定し、それを 225mm 四方の大きさに縮小した模型を実験装置として作成した。舞台の背景面および左袖側には FullHD 解像度の液晶ディスプレイ (JAPANNEXT JN-MD-IPS105FHDPR) をそれぞれ設置した。高さはディスプレイ画面の高さに合わせ、150mm とした。

<sup>1</sup> 明治大学

<sup>a)</sup> kentaro@fukuchi.org

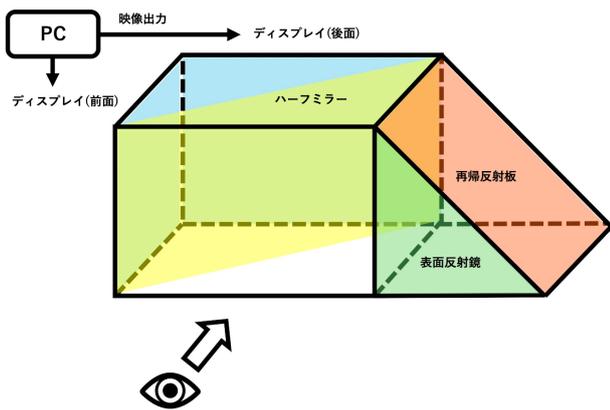


図 1 実験装置（舞台模型）の概念図

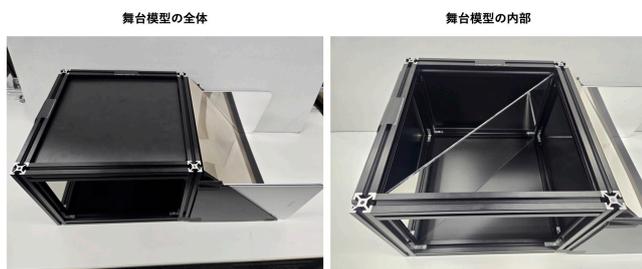


図 2 実験装置の写真

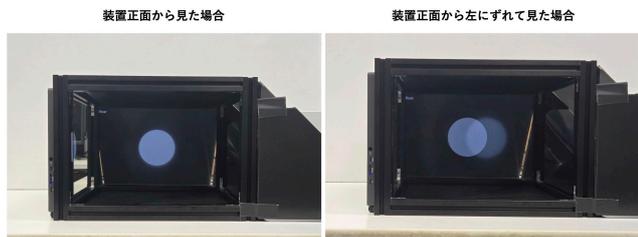


図 3 DFD 表示をした際の見え方。左：装置正面から見た場合。右：正面から左にずれて見た場合。

舞台部分の対角線上にはハーフミラーを設置した。また、舞台右袖側には再帰反射板として日本カーバイド工業製 RF-Ax をそれぞれ設置した。このとき、再帰反射板を鉛直面に設置すると、液晶ディスプレイからの光が再帰反射板表面で鏡面反射し、それがハーフミラーによって観客席側に反射して像が二重に見えてしまう問題が生じたため、図に示すように再帰反射板は斜め下方向に向けて設置した。再帰反射板の両脇には表面反射鏡を設置し、見かけの再帰反射板の大きさを拡大し、空中像が広い視野から見えるようにした。

左袖側のディスプレイからの光のうち、ハーフミラーを通過した光は対面に設置された再帰反射板によって再帰反射したのち、再びハーフミラーによって今度は観客席側に反射され、舞台前面で結像する。図 2 に、実際に構築した実験装置の写真を示す。

本装置を用いて DFD 表示を試験した際の見え方を図 3

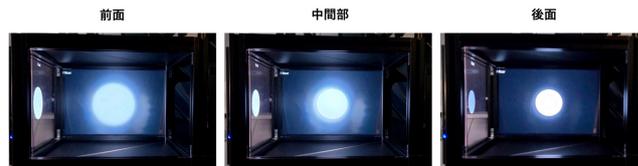


図 4 同じ CG オブジェクトの、前面および後面での見え方。中央図は DFD を利用して中間位置に見えるように配置した際の見え方。

に示す。装置正面から観察した場合は、前面と後面の映像が融合しており、裸眼でも立体感が得られるが、斜めから観察した場合には前面と後面の映像が融合せず、そもそも一つの像として知覚できず、また立体感も得られない。

### 3. 提示アニメーション

本研究では、前面と後面との間で映像を往き来させる動きを作り出すことを狙った。そのためにもまず、前面と後面とに表示される映像の見かけの大きさを、投影面間の距離を反映したものにする必要がある。すなわち、前面に映像が移動したときは大きく、後面に移動したときは小さく見えるようにする必要がある。このために、透視投影の原理に基づいて、前面および後面に投影すべき映像の大きさを計算した。今回は試験的に、前面から視点までの距離を 500mm と設定した。これは実寸では 13.3m に相当する。図 4 に、設定した視点位置からの見え方の例を示す。

前後移動のアニメーションにおいて、面から面へと映像が移動する際に予備動作を行わせ、観客に運動方向を予測させることで、滑らかな運動であるかのように錯覚させることを試みた。例えば後面から前面に移動する際は、後面で 0.1 秒間の予備動作期間を設け、加速的に前面へと移動するかのよう映像の大きさを変化させ、ついで前面にて 0.1 秒間かけ、映像が減速しながら前面に近付いているかのように映像の大きさを変化させることで、あたかも後面から前面に映像が瞬時に移動したかのように見せかけることができる。この予備動作がないと、後面と前面にそれぞれ提示された映像が同一のもので、それが移動したかのように見えにくい。現在までにはこの錯覚は著者らが観察した範囲では達成できているが、その効果量については検証が必要である。

ここでは、本手法を応用した演出例を 2 つ示す。まず、図 5 に示すように、後面から前面へと映像が単独で飛んでいく演出が考えられる。

次に、図 6 に示すように、後面に主体となる映像を残したまま、映像効果のみを前面へと移動させる演出が考えられる。これは後面の映像と前面の映像効果との対比があり、奥行き感をより強力に得られる可能性がある。また、後面に置くのは映像に限らず、舞台上の実際の役者や小道具を用いても構わないため、例えば役者が大声を上げたり、

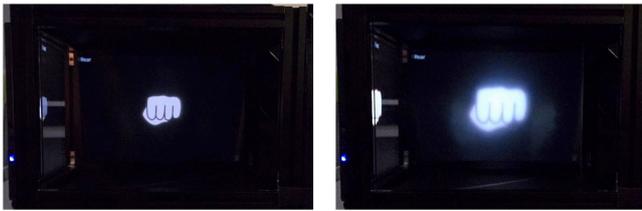


図 5 サンプルその 1。後面から背面へと拳が飛んでいくイメージ。

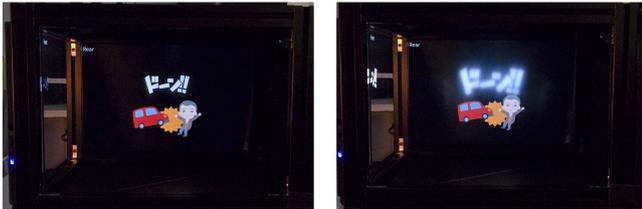


図 6 サンプルその 2。「ドーン!!」という効果音を表す文字のみ前面へと運動していく。ここでは便宜的にキャラクタも CG で表示しているが、これは舞台上の実際の役者や小道具であっても構わない。

大きなアクションをとった際の映像効果を本手法で見せることで強い視覚的インパクトを与えることができると考えられる。

#### 参考文献

- [1] Suyama, S., Ohtsuka, S., Takada, H., Uehira, K. and Sakai, S.: Apparent 3-D image perceived from luminance-modulated two 2-D images displayed at different depths, *Vision Research*, Vol. 44, No. 8, pp. 785–793, DOI: 10.1016/j.visres.2003.10.023 (2004).
- [2] 小川真智子: 可動スクリーンと空中映像投影技術を利用した舞台演出手法の研究, 修士論文, 明治大学大学院先端数理科学研究科 (2023).
- [3] 園部博史, 定國 溪, 山本裕紹, 陶山史朗: DFD (Depth-fused 3-D) 表示の飛び出し知覚の評価: 面間の距離による飛び出し知覚の変化 (立体映像技術一般), 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 35.22, pp. 21–24, DOI: 10.11485/itetr.35.22.0\_21 (2011).
- [4] 山本裕紹: 再帰反射による空中結像 (AIRR) による空中ディスプレイ, 日本画像学会誌, Vol. 56, No. 4, pp. 341–351 (2017).