

全天球映像を用いた 球面リアプロジェクションシステムの開発と評価

平尾 修悟¹⁾ (非会員) 井浦 崇²⁾ (非会員) 堀 雅洋²⁾ (非会員) 林 武文²⁾ (正会員)

1) 関西大学大学院総合情報学研究科 2) 関西大学総合情報学部

A Study on a Spherical Rear Projection System Allowing for 360-Degree Panoramic Movies

Shugo Hirao¹⁾ (Nonmember) Takashi Iura²⁾ (Nonmember)

Masahiro Hori²⁾ (Nonmember) Takefumi Hayashi²⁾ (Member)

1) Graduate School of Informatics, Kansai University 2) Faculty of Informatics, Kansai University
sapphi11@gmail.com {iura, horim, haya}@kansai-u.ac.jp

ロブストラクト

本稿は、全天球カメラによって撮影された360°パノラマ動画の効果的な表示が可能な球面リアプロジェクションシステムの提案と、その有効性について述べたものである。本研究では、一般的に入手可能な機材を組み合わせた汎用性の高い球体ディスプレイシステムの構成を検討した。また、センサ入力により映像の視点を変更するインタラクションを実装し、評価実験を通して映像の直感的な操作についての検証を行った。本研究で開発した投影システムを用い、地域の自然や歴史・文化などの魅力を発信するメディアアートコンテンツを構築し、国内外の展示を通して提案したシステムの有効性を確認した。

1 はじめに

近年、民生用ビデオカメラにおける技術の進歩は著しく、中でも RICOH 社の THETA をはじめとした全天球カメラは大きな注目を集めた。これに伴い撮影された映像の表示方法についても様々な手法が開発されている。全天球映像を展示用のコンテンツやデジタルサイネージとして利用する場合には、球体をスクリーンに用いた球面投影が有効であり、球面ディスプレイの研究開発も進められている。プラネタリウムのような鑑賞者を覆う空間にプロジェクションする手法[1]や、周囲から数台のプロジェクタを用いて外部から球体面に投影する手法[2]、Arc Science Simulations 社の「Omni Globe」のように球の内部から特殊なレンズを用いて光を屈折させ、球体面に投影する手法[3][4]などが考案されている。しかし、このような方式によるコンテンツの構築には、規模の大きな会場が求められることや、高額な機材を必要とし、投影パーツが固定された専用機であることから、展示場所や用途に加え映像自体も限定されてしまう。

技術革新と低価格化により、全天球映像の撮影は容易となりつつあるが、その表現手法に関しては必ずしもその高いポテン

シャルを活かされていないのが現状である。

本研究では全天球映像の効果的な表現手法の提案と、新しいデジタルサイネージへの応用の可能性を示すことを目的に、汎用性の高い球体ディスプレイシステムの構築を行った。コンテンツ開発を容易とするため、市販されている素材・機材から検討し、展



図1 本システムの展示

示用のディスプレイシステムとして活用するための条件を明らかにするとともに自然な映像操作が可能なインタラクションについても検討を加えた。また、このシステムを応用したメディアアートコンテンツを国内外で展示し、システムの有効性について検証を行った(図1)。

2 球体ディスプレイシステムの開発

2.1 ディスプレイの構成と投影システム

本研究では、1台のプロジェクタから投射した光束を魚眼レンズによって拡散させて球体内面に投影するリアプロジェクション方式を採用した。同じ方式としては、湯村らによる「Personal Cosmos」[5]や Benko らによる「Sphere」[6]の球体ディスプレイがあり、これらは球体の下面を支援、下方から投影するシステムである。本研究では、ドローンを用いたフライスルー型の空撮映像を効果的に表示することを目的とし、球体の背面を支持し、下方からではなく、側方から内面に投影した。(以下、「背面支持型」とする。)上下に支持の無い球体ディスプレイを空間に突き出した形で設置することで、展示会場で正面から見ると球体が空間に浮遊したように見え、下面を支持するディスプレイにはない視覚的な効果が得られるものとなった(図2)。また、背面支持型のメリットとして、プロジェクタ本体の設置と球体の高さやサイズの変更が容易となったこと、さらに魚眼レンズ付近で生じてしまう投影像の歪みを鑑賞者に感じさせないという点がある。



図2 正距円筒図法の映像と球体へ投影した様子

2.2 全天球映像の制作と投影変換

全天球映像の撮影には RICOH 社の THETA m15 を用いて、解像度 1920×960 の正距円筒図法の映像を撮影した。後述するインタラクションの実装も考慮し、撮影した映像をゲームエンジン Unity3D にて球体オブジェクトにテクスチャとして貼り、再度 Unity 内のカメラから映像を取得した。この手順により、球体の正面中央を起点とした場合、左右 100 度方向までは球面投影における歪みを抑えた投影が可能となった。左右 100 度以降の投影では、歪みが大きくなり、映像が伸びて投影されてしまう。これについては、前述したようにディスプレイを背面支持型とすることで、この歪みを鑑賞者には見えない位置とした(図2)。

2.3 魚眼レンズ

光を球面全体に拡散させるための魚眼レンズは、Raynox 社の DCR-CF 187PRO を使用した。画角が 185°を有し、投影光を光

軸に対し 92.5°の方向まで拡散させられることが選定理由である。球体ディスプレイの開口部となる穴に魚眼レンズを設置すると、1台のプロジェクタから放たれた光を球体全体に投影することが可能になる(図3)。

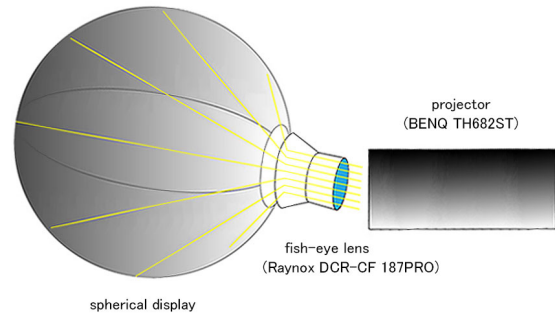


図3 プロジェクタと魚眼レンズの配置関係

2.4 プロジェクタ

プロジェクタの選定条件には、投影する光が漏れなく魚眼レンズを通過し、拡散されることが重要となるため、レンズのカメラ接続部の直径と、プロジェクタ投光部の直径が近いことが挙げられる。また、球面投影することで平面投影と比べ1画素の投影面積が大きくなるため、高解像度のプロジェクタであることも重要となる。本研究では、魚眼レンズ (DCR-CF 187PRO) のカメラ接続部 (57.6mm) とプロジェクタ投射口 (58.7mm) がほぼ同サイズであり、中でも短焦点プロジェクタで、比較的高解像度(1920×1080)であった BENQ 社の TH682ST を使用した。

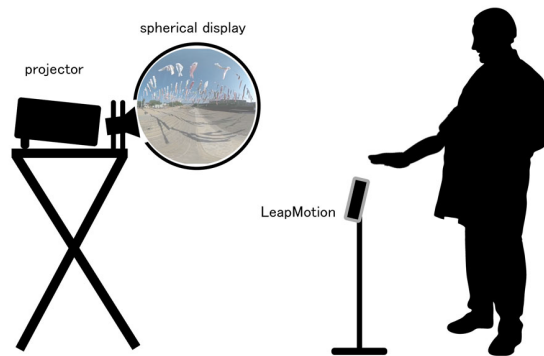


図4 システム全体の配置図

2.5 インタラクション

本研究では、展示会場に応じたディスプレイ素材の可変性や可搬性を考慮し、ディスプレイ自体ではなく外部センサによる入力を採用した。手指動作のセンサ Leap Motion を用い、鑑賞者がセンサ上で手をかざして動かすことにより、球体に投影された映像を操作できるようにした(図4)。具体的には、x 軸、y 軸に対する Swipe (手の上下左右の移動) の動きを検出し、その移動値に合わせて、Unity 上の球体オブジェクトを回転させる。センサによるインタラクションの操作性については、後述する評価実験において、より自然なインタラクションとなるよ

う検証を重ねた。

また後述する評価実験の結果を踏まえて、天地が反転してしまった場合などに、センサ上で手を握る動作をすることにより、球体の傾きを元に戻す機能を追加した。

2.6 ディスプレイの素材

球面ディスプレイの素材については、市販のランプシェード AKARI (株式会社オゼギ製、直径 55cm) を使用した(図 1)。AKARI は和紙と竹ひごで形成されたランプシェードであり、球に近い形で非常に軽量である。また、畳んで持ち運ぶことができるため、可搬性に優れているという利点がある。

また、アクリル製の球体ディスプレイ (直径 30~50cm) についても検討した。紙製のディスプレイよりも明るい投影が可能であるが、球体内部の反射光により、投影面に集光線が出現した(図 5 左)。そこで、内面の反射率を抑える加工を施した淡いグレーのアクリルを使用すると、この集光現象が解消することができた(図 5 右)。

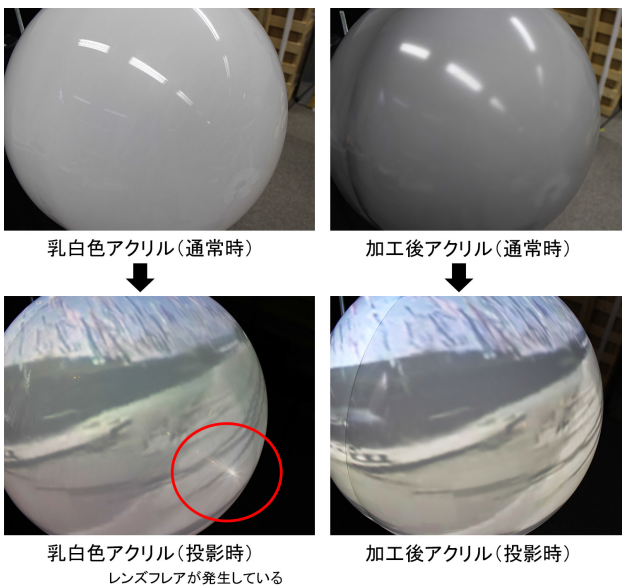


図 5 乳白色アクリルと加工したアクリルの比較

2.7 インタフェースの操作感についての評価実験

開発したシステムにおいて、直感的なインタラクションを実現するため、Leap Motion によるインタフェースの操作感について評価実験を行った。実験の試行内容は以下の通りである。

1. 操作方法を教示せず、被験者の反応を観察する (1 分)。
2. 操作方法を教示し、手本の動作を簡単に示した後、被験者は自由に操作する (1 分)。
3. 手の動きと投射映像の動きを 2. の場合と反転させ、被験者は自由に操作する (1 分)。

試行 1 では、操作方法の解説なしに鑑賞者がどの程度まで操作を理解できるかについて調べた。教示後の試行 2 と 3 で、システムの応答や、直感的な回転方向についての検証を行った。ここでは、被験者から見て手の動きと球面の回転方向が同じ場合を「A パターン」、被験者から見て手の動きとは逆方向へ投射

映像が回転する場合を「B パターン」として、被験者ごとに「A → B」「B → A」と順序を変えて提示を行った。また、被験者には両パターンの違いについて明示せずに実験を行った。

実験終了後にアンケート調査を行った。設問項目は以下の通りである。

- Q1. 〈A パターン〉手と球体の動きが連動しているように感じた (1 そう思わない ~ 5 そう思う) の 5 段階で評価。またその理由について回転の速さを (1 速すぎる ~ 5 遅すぎる) の 5 段階で評価。
- Q2. 〈B パターン〉手と球体の動きが連動しているように感じた (1 そう思わない ~ 5 そう思う) の 5 段階で評価。またその理由について回転の速さを (1 速すぎる ~ 5 遅すぎる) の 5 段階で評価。
- Q3. 投影された映像に対して興味が湧いた (1 そう思わない ~ 5 そう思う) の 5 段階で評価。

2.8 評価実験の結果および考察

男性 9 名、女性 10 名の合計 19 名の大学生 (20 歳から 32 歳 平均 21.2 歳) が被験者として実験に参加した。

総じて、操作方法について教示なしの状態では、「第一印象としてどのようにして見て良いかわからない」という感想が多く、センサの予備知識がないため、球体に触れる、さするなどの行動が多々見られた。

システムの操作性に関するアンケート Q1~Q3 の結果を図 8 に示す。

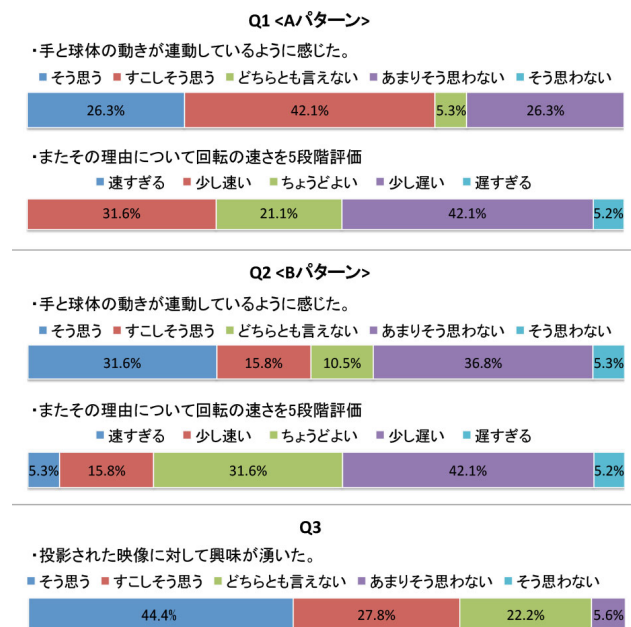


図 8 アンケート Q1~Q3 の結果

今回の評価実験では、A パターン B パターンと分けて実験を行ったが、手の動作と同方向へ球体が回転する A パターンで 7 割近くの被験者 (そう思う 26.3%・すこし思う 42.1%) が連動感を感じていたため、後述する展示には A パターンを採用することにした。この結果は、日常生活で利用するスマートフ

オンやタブレットにおける画面のスイープ操作と同じ動きの A パターンが好まれたと考えられる。回転の速さについては A パターンと B パターンともに「ちょうどよい」「少し速い」「少し遅い」の合計が 9 割近となり、本実験での回転スピードが適正値であることがわかった。

また、被験者が操作をする中で過度のインタラクションにより映像の天地が反転し、困惑している事例が幾つか見られた。これを踏まえ、2.5 節に述べたような、傾きを元に戻すインタラクションを付与した。

4 メディアアートコンテンツの開発と評価

本研究で開発した球体ディスプレイシステムを用い、地域の自然や歴史・文化などの魅力を発信するメディアアートコンテンツを開発した[7][8]。撮影には、ドローンと THETA m15 を用いた。撮影対象地域は、大学キャンパスの所在地である高槻市と堺市であり、地域の公園と自然、古墳等の歴史遺産の風景等の空撮映像とした。

本コンテンツを Ars Electronica Festival 2015 [9] に出展し、様々な視点から風景を鑑賞できる作品として好評価を得た。海外での展示であったため、可搬性に優れた AKARI を使用したが、和紙製のディスプレイがさらに来場者の注目を集める結果となった。

国内における展示としては、2015 年 11 月から約 2 ヶ月半の期間、グランフロント大阪の The Lab にて展示を行い、来場者へ 116 件のインタビュー調査を行った[8]。この内 60%以上が肯定的なコメント・新規アイデア等であり、会場の常駐スタッフからは「球体自体に浮遊感があるため、見た目に惹かれて足を止める来場者は多い。」といったコメントを得ることができた。以上から、地域の自然や文化などの魅力を発信するメディアアートコンテンツとして有効であることを確認できた。

また 2016 年 3 月に堺市で行われた関西大学主催の AMD 展 [10]では、本システムを用いて、直径約 2 メートルの半球ディスプレイへのフロントプロジェクションも行った。鑑賞者は半球の内側から目前を覆うような形で映像を鑑賞することで、没入感を得ることができるコンテンツとなった。このように様々な形の球面へ投影できる点が、本システムのメリットのひとつであり、デジタルサイネージとしての応用が期待できる。

5 まとめ

本研究では、全天球映像の効果的な表示を可能とする球面リアプロジェクションシステムを開発し、その有効性について検証を行った。開発した球体ディスプレイシステムは、一般に入手可能なプロジェクト、魚眼レンズ、球体ディスプレイ部材を用いて汎用性を高めるとともに、これらを背面支持型として配置した。これにより、フライスルー型の映像を効果的に表示することを可能とし、さらに従来の下面を支持する球体ディスプレイには無い視覚的な効果を得ることもできた。また、Leap Motion による視点変更のインタラクションを付与することに

より自然な映像の操作を可能とした。

本システムを用いて、ドローンによる空撮映像を提示したメディアアートコンテンツを開発し、国内外の展示を通して有効性を検証するとともに、本システムに新しいデジタルサイネージとしての可能性があることも確認した。

謝辞

本研究は、平成 27 年度関西大学教育研究緊急支援経費において、課題「文化資本コンテンツの構築と地域振興に向けた情報発信」として支援経費を受け、その成果を公表するものである。本研究の遂行にあたり、プロジェクトの進捗管理と展示や広報に御尽力くださった株式会社大広、ドローンを用いた撮影においてご指導いただいたブルーイノベーション株式会社、インタラクションの実装にあたってご協力いただいた株式会社トンガルマンの関係者各位と評価実験にご協力いただいた学生の皆さんに深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 林隆伯, 中泉文孝, 矢野博明, 岩田洋夫: 複数プロジェクトを用いた立体視可能な全周球面没入型ディスプレイの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.10, No.2, pp163-171, 2005.
- [2] 松尾高弘: WONDER MOMENTS, <http://www.lucen-design.co.jp/new-wonder-moments/> (2016/5/3 アクセス)
- [3] 株式会社渋谷光学: 球体投影機, <http://www.shibuya-opt.co.jp/projector.html> (2016/4/10 アクセス)
- [4] ARC Science Simulations: Omni Globe, <http://arcscience.com/> (2016/4/10 アクセス)
- [5] 湯村翼, 平田孝広, 木村元紀: 3D.js を用いた地図の球面ディスプレイへの投影, エンターテインメントコンピューティングシンポジウム(EC2014), pp. 252-254, 2014.
- [6] Hrvoje Benko, Andrew D.Wilson, Ravin Balakrishnan: Sphere: multi-touch interactions on a spherical display, UIST '08 Proceedings of the 21st annual ACM symposium on User interface software and technology, pp77-86, 2008.
- [7] 関西大学 総合情報学部: 360 frontier, <http://www2.kansai-u.ac.jp/f360/> (2016/6/30 アクセス)
- [8] 平尾修悟, 井浦崇, 堀雅洋, 林武文: 360° frontier: 地域の魅力を発信する全天球映像コンテンツ, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 11D-06, 2016.
- [9] Kansai University: The Folklore sphere, presented at Ars Electronica Festival 2015, POST CITY -Habitats for the 21st Century (Sept. 3-7, 2015, Linz, Austria). <http://www.aec.at/postcity/en/> (2016/6/1 アクセス)
- [10] 井浦崇研究室: 体感空撮映像 ~空から見る仁徳天皇陵~, AMD 展にて展示発表, (2016/3/5-6 堺市), <http://www.hz.kutc.kansai-u.ac.jp/city.sakai/machiya/amd/e2016.html> (2016/6/1 アクセス)