

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：13302

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11993

研究課題名（和文）超広角投影とスクリーンの物理的・光学的な透過性制御を用いた全周囲ディスプレイ

研究課題名（英文）Integration of omni-directional projection display using ultra-wide angle projection technique and screen physical and optical transparency control

研究代表者

佐藤 俊樹（Sato, Toshiaki）

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授

研究者番号：90619785

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、立体的なスクリーンの全周囲に映像を映し出すプロジェクション式の全周囲ディスプレイ技術において「スクリーンを外から眺める」とおよび「内から眺める」という異なる2つの閲覧手法を「超広角投影」とおよび「透明度可変性」とおよび「物理的開口性」を持たせた特殊な全周囲スクリーン」技術により1つのシステムに統合することを目的に研究を行った。その過程で透過・不透過制御可能なPDLCパネルを用いたスクリーンに着目し環境へのアンビエントな映像提示を可能にした。またシャボン膜を凍結させて透明度を変化させる手法にも着目し凍結シャボン膜を用いた新しい多重投影全周囲スクリーンの可能性を示し、その試作開発も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義として、立体形状への全周囲投影技術において1台の装置により2つの異なる全周囲投影技術の統合を初めて実現したことが挙げられる。これに加え透明エリアと不透明エリアが混在しそれらが動的変化の可能性を持つ新しい多層投影用スクリーンとしての身近な自然現象として広く知られる凍結シャボン膜の可能性を示した点が挙げられ、提案手法は芸術科学教育等において有用なコンテンツの基盤にも応用可能と考える。

研究成果の概要（英文）：In this research, we focused on integrating two different viewing methods in projection mapping displays of three-dimensional shapes into a single system using a special screen technology with ultra-wide angle projection and variable transparency, as well as physical aperture properties.

In the process, we focused on a screen using a PDLC panel with controllable transparency and opacity, which enables ambient video presentation.

We also focused on a method of changing transparency by freezing a soap bubble membrane, and presented the possibility of a new multi-layered projection screen using a frozen soap bubble membrane through the development of a prototype.

研究分野：ヒューマンコンピュータインタラクション

キーワード：プロジェクションマッピング 全周囲ディスプレイ シャボン膜ディスプレイ 多重投影技術 多層投影技術

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

立体的な構造物(立体的なスクリーン)の全周囲にプロジェクタで映像投影を行うことで、イベント等で活用されているプロジェクションマッピング技術のように、ユーザに立体形状と映像を融合させた高い立体感・現実感のある映像提示が可能[1][2]である(図1のスクリーンA)。

一方で、CAVE[3]に代表されるように、部屋の壁・天井・床等の全周囲に映像投影を行い、部屋の中に入ったユーザに対し没入感の高い全周囲映像提示を行う技術[4]もある(図1のスクリーンB)。

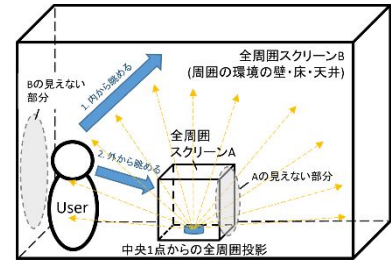


図1. 2種類の全周囲ディスプレイ

この2つの異なる全周囲ディスプレイは、従来はそれぞれ独特の要素を持つ異なる種類のディスプレイであるとみなされてきた(表1)。しかし、ユーザの立ち位置(視点位置)の観点から再考すると、両者の違いは立体的な形状を有するスクリーンを「外から」もしくは「内から」閲覧しているだけの違いであると考えられることもできる。

そこで本研究では、これらの2つの異なる全周囲ディスプレイを1台のシステム上で融合させることで、ユーザが必要に応じて閲覧動作、また俯瞰・没入的な閲覧要素の使い分けを可能にする新しい全周囲ディスプレイの可能性に着目した。

しかし、これらの立体的なスクリーンへの全周囲映像投影は、これまでも複数台のプロジェクタ(およびカメラ)を用いる必要がありシステム構成が複雑になりがちであった。さらに、複数台設置したプロジェクタ・カメラシステム(以下、プロカムと略す)の位置・姿勢合わせ(キャリブレーション)作業は複雑かつ非常に手間がかかるものでもあった。そのため、2つの異なる投影機構をそのまま一つのシステムに落とし込むことはシステム構成のさらなる複雑化をまねく恐れがあり現実的ではない。

表1. 「外」と「内」でのインタラクション要素の違い

	投影規模	マルチユーザ性	ユーザとの関係	閲覧の利点	見えない部分(隠れ面)の存在	隠れ面を「見に行く」動作の違い	従来研究	本研究
外から眺める形式(A)	小・中	大	囲む	目の立体感(手でも触れる)	ユーザは反対側の面が見えない	・歩いて観て回る ・手で掴んで動かす ・上半身での覗き込み	専用システムA	提案システム (AとBを同時体験可能)
内から眺める形式(B)	中・大	より大	囲まれる	高没入感	ユーザ背後が見えない	・歩いて観て回る ・頭を動かして見回す	専用システムB	

2. 研究の目的

そこで本研究では、「(1)1台のプロカムを用いた全周囲投影(撮影)技術」と、「(2)「光学的透過性」および「物理的な開口性」という特殊な性質を持つスクリーン」の組み合わせに着目した新しい全周囲投影技術を提案することで、従来異なるディスプレイであった2つの全周囲ディスプレイを1台のシステム上に統合する試みに着目した(図1)。

(1)の投影機構は、1台の超広角プロカムにより、全周囲スクリーンの中央1点からの全周囲投影・撮影を行うことを可能とし、システム構成の複雑化、およびキャリブレーションの手間を軽減する。また複数プロカムのキャリブレーションが不要になるため、小型・可搬性のあるシステムを構築することも可能になる。

(2)のスクリーンは、(1)の投影機構により、スクリーンの内側からの全周囲投影(リアプロジェクション)がなされることで、ユーザが外から眺める全周囲ディスプレイを構成可能である。このとき、スクリーンに持たせた光学的透過性や物理的な開口性により、スクリーン(の一部)が透明化したり、開口したり(穴があいたり)すると、スクリーンに内側から投影されていた映像はスクリーンを通り抜け、周囲の環境型スクリーン(天井や壁)に到達する。これにより、外側のスクリーンは内側から眺めるCAVE型の全周囲ディスプレイとなる。

上記(1)および(2)の透過制御を動的に行うと、例えば次のようなことが可能になる。

まず、テーブル型ディスプレイのような「どこからでも一望可能」なディスプレイとは異なり全周囲ディスプレイにはユーザの立ち位置・視線方向に応じた「見えない面」が必ず存在する。しかし、壁や天井等の周囲の環境への同時投影も可能になることで、ユーザの立ち位置等に応じた見えない部分への興味を引き立てる映像等を壁に投影し、そこを能動的に「見に行く」動作を誘発させることも可能であると考えた。これはゲーム等のエンタテインメント性を高める応用が期待できる。また、ある部屋の3Dモデルに適用させたいテクスチャ画像を、俯瞰的に閲覧/編集可能にすると同時に、ユーザ周囲への投影による高没入感の閲覧を同時に可能にし、作業効率を高めることも期待できると考えた。

本研究では、これらを可能にする(1)の投影機構および(2)のスクリーン機構をそれぞれ新たに研究開発し、それらを組み合わせたディスプレイシステムを試作開発する。さらに、視野角、視認性等のディスプレイとしての基本的な性能評価を行い、実装方法についての知見を残す。特に(2)の透過制御可能な新しいスクリーン素材については、光学的な透過率及び物理的な開口という2つの異なる視点から様々な材料や機構を検討し、大きさ(設置型・可搬型等)等の異なる複数

のディスプレイシステムを提案する。またそれらを用いた実用的なアプリケーション例を提案しそれらについても試作開発、評価を行う。

3. 研究の方法

本研究では、これまで述べた提案手法の構成要素である次の(1)および(2)の投影機構の実現のために、次のような技術に着目した。

(1) 1組のプロカムを用いた全周囲投影・撮影機構の開発について

本研究では、「1台のプロカムユニットを用いたスクリーン中央からの超広角投影」を行うことで、複数台プロカムを用いた場合の複雑なキャリブレーション手順を省く手法をとった。これを実現するために

は、180度以上の投影・撮影角度を持つプロカムユニットが必要であるが、本研究では、市販の画角180度以上の魚眼レンズを、ビームスプリッタを用いて光軸を一致させた同軸プロカム機構に接続することで、これが可能な装置を安価に試作開発することを目指とした(図2)。

(2) 光学的透過性・物理的開口性を持たせた異なるスクリーン機構の開発について

本研究では、提案要素を持つスクリーン機構を実現するために、次の2つの技術に着目した。

光学的な透過率(透明・不透明)制御が可能なスクリーン

PDLCは電氣的に透過・不透過を切り替え可能な素材である。本研究では、これを立体的に組み合わせることで内側の全周囲スクリーンを構成し、その不透明度をプロジェクタ映像と同期させて切り替えることで、PDLCスクリーン上加え、必要に応じてその周囲の環境(部屋の天井・壁等の外側のスクリーン)にも映像投影可能なスクリーンの実現に着目した。

物理的開口が可能なスクリーン

次に、物理的に開口部を作り出すことで、漏れ出た光を外側のスクリーンに映す機構にも着目した。この手法は物理的な開口部を作り出すことで、映像が透過する点に加え、開口部をユーザが通り抜けられる要素を持つことにも着目した。この機構を実現するために、当初可動式の「すだれ(簾)」機構を用いることを検討して試作を進めていたが、新型コロナウイルス蔓延の影響で電通大と共同で行う計画だった大型の「すだれ」機構部分の試作開発が事実上困難となり、より小規模かつ可動部の少ない新しい開口性を持つスクリーン素材として、透明度の高いシャボン膜を凍結させスクリーン化する手法へ計画変更した。

(3) 試作開発、性能評価およびアプリケーションの開発

本研究では、異なる2つの全周囲ディスプレイを統合する試みの可能性を示すために、上記(1)の投影機構と(2)のそれぞれ異なる性質を持つスクリーン機構を組み合わせた新しいディスプレイシステムを提案し、独自の要素を活かしたインタラクションのデザインを行うこととした。また体験可能な試作筐体の開発を行い、プロトタイプを用いたスクリーンとしての性能評価を行う。またそれぞれのアプリケーションも試作開発し、実際に体験してもらうことでユーザビリティの評価を行うことも目標とした。

4. 研究成果

(1) 全周囲投影・撮影機構の開発

本研究では、まず1組のプロカムを用いた全周囲投影(撮影)技術の開発を行い、2種類の異なるサイズの全周囲プロカムユニットを試作した。実際に開発した機構は、オフィス用のプロジェクタを用いた据え置き型の全周囲プロカム機構(Full HD 解像度 3000lm および 4 K 解像度 4000lm の2種)と、バッテリー式小型(可搬式)全周囲プロカム機構(1280x720 解像度 100lm)の2種類の異なるサイズのユニットである。なお、開発したユニットは、入力動作検出として使用可能な同軸カメラと赤外線光源を用いた Diffused Illumination 方式のタッチ検出機構等の実装も行った[1]。

(2) PDLC を用いた環境へのアンビエント映像が提示可能な全周囲ディスプレイの開発

次に、(1)と PDLC パネル(切り替え遅延が小さい UMU フィルムを選択)5枚を組み合わせることで、立方体形状に構成した動的な透過・不透過が可能なキューブ型スクリーンを試作した。また PDLC の透過不透過切り替えを 120Hz およ

び 240Hz のプロジェクタ映像信号と同期させ、内側と外側のスクリーンに独立した映像を投影する同期投影手法も開発した(図3)。

一方で、この試作機を用いた映像投影を行ってみたところ、使用した PDLC が浅い入射角の映像に対して低透過率(ボケが生じる)であることと、魚眼レンズの周辺減光の影響で(天面を除く)側面4枚のパネルを透過後の映像の解像度・輝度低下の問題が明らかになった。また PDLC パネルは透明時でも完全に透明にはならず、パネル側に外側に投影されるはずの映像が薄く映り、視覚的に邪魔になる問題も明らかになった。この問題に対しては PDLC パネルを立方体ではなく、多面体にする(図3(右))側面パネルに対して深い入射角で投影可能なようにすることや、内側への補色投影により視覚的な影響を軽減する工夫を行い視認性がある程度改善されることを確認した。しかし根本的な解決にはならず、今後より透明度の高い透過制御可能素材を用いることが必要である。

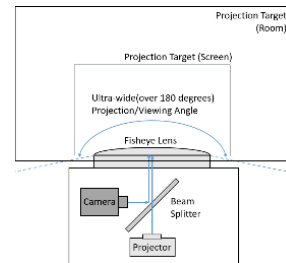


図2. 全周囲投影機構



図3. 立方体型と多面体型試作機

アプリ開発では、以上の PDLC パネルの透明度・視野角性能等の実装上の制限を考慮して、外側のスクリーン(環境)への投影映像を、あえて低解像度な「アンビエントな映像提示」とすることに注力した。この環境へのアンビエントな映像投影は、内側の全周囲スクリーンに映る高解像映像を補完する効果があると考え、内側の全周囲ディスプレイの「死角」部分の変化を外側(環境)に投影した低解像映像でアノテーション可能かどうか、かつどの程度のボケの強さだと視覚的に邪魔にならないかを評価した。

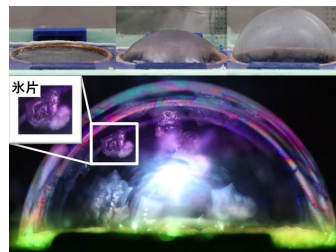


図 4.凍結シャボン膜スクリーン

(3) シャボン膜凍結式全周囲ディスプレイの開発

本研究は様々なスクリーン素材に着目してきたが、透明度が高く不透明化も可能なスクリーン素材として「シャボン膜」に着目するに至った。シャボン膜は薄く透明度が高く映像を透過させるが、低音で凍結させることで膜は不透明化する(図 4(上))。この性質に着目し、円形(ドーム状)に膨らませたシャボン膜を大きさ可変の全周囲スクリーンとし、(全体もしくは一部分)凍結させることでスクリーンとして用いる試みを行った。実際に行ったシャボン膜(一般的な配合のシャボン液を使用)の凍結実験では、凍結温度を下げるにつれ膜の不透明度も下がる(-56 度で 36%まで低下)ことや、膜への霜の付着も不透明度を高める要因になっていることが明らかになった。映像投影実験においては、膜自体の凍結過程が非常に美しい自然現象として鑑賞可能であり、映像が投影されることで様々な表現が可能になることも分かった。また凍結後の膜を指で触る等で部分的に膜を溶かし、穴を開けることで映像を透過させ、環境への投影も可能であることが分かった。さらに空気中を舞う氷の粒が膜に付着するとそれが核となり、様々な美しい模様の氷片(図 4(下))を膜上に形作ったり、これが温度対流で膜上を動き回ったりするなど、将来的に関係する温度条件や外的要因を制御することで、スクリーンの透明・不透明領域を動的に動かすことができる新しい多重投影用スクリーンの実現可能性も明らかになった。現在、視野角や投影時の画像ディテールの再現性等のスクリーンとしての性能評価や凍結手法等の知見を論文としてまとめている段階であり、今後も継続して多重全周囲スクリーンとしてのシャボン膜に着目し、凍結過程も鑑賞可能な美しい対話型スクリーンとして実際に体験可能なデモを制作するなど研究を継続していく。

引用文献

- [1]Pla et al., “Display blocks: a set of cubic displays for tangible, multi-perspective data exploration”. ACM TEI, 2013.
- [2]Kettner et al., “Direct Rotational Interaction with a Spherical Projection”, Creativity & Cognition Symposium on Interaction, 2014.
- [3]Cruz-Neira et al., “Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE”, ACM SIGGRAPH, 1993.
- [4]Jones et al., “RoomAlive: Magical Experiences Enabled by Scalable, Adaptive Projector-camera Units”, ACM UIST, 2014.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 西村晶太郎, 橋本侑樹, 佐藤颯一朗, 宮崎竜輔, 佐藤俊樹
2. 発表標題 周囲の環境への同時投影も可能な全周囲ディスプレイの提案と実装
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 栗田侑弥, 大須琢真, 佐藤俊樹
2. 発表標題 JIZAI-変幻提灯: 提灯形状に着目した動的形状変化全周囲ディスプレイ
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井万里, 千葉桃子, 佐藤俊樹
2. 発表標題 カメラ内蔵ワイングラスを用いた飲む動作の解析
3. 学会等名 第27回一般社団法人情報処理学会シンポジウムInteraction2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Toshikatsu Nakamura, Ryusuke Miyazaki, Kouga Yoshida, Toshiki Sato
2. 発表標題 Omnidirectional display that presents information to the ambient environment with optical transparency
3. 学会等名 ACM SIGGRAPH 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村俊勝, 加藤達也, 伊藤思音, 佐藤俊樹
2. 発表標題 UPLIGHT: 全周囲ディスプレイと携帯型ゲームデバイスの融合
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshikatu Nakamura, Toshiki Sato
2. 発表標題 UPLIGHT: A Novel Portable Game Device with Omnidirectional Projection Display
3. 学会等名 ACM UIST2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ruopeng Xu, Toshiki Sato, Shio Miyafuji, Hideki Koike
2. 発表標題 OmniLantern: Design and Implementations of a Portable and Coaxial Omnidirectional Projector-Camera System
3. 学会等名 Proceedings of the 2022 International Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 橋本侑樹, 西村晶太郎, 寺澤真一郎, 大塚真柊, 佐藤俊樹
2. 発表標題 シャボン膜凍結式全周囲スクリーンの提案
3. 学会等名 第31回日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS2023)
4. 発表年 2023年

1．発表者名 内側からながめる凍結式全周囲シャボン膜スクリーン
2．発表標題 寺澤 真一郎，橋本 侑樹，佐藤 俊樹
3．学会等名 第28回 一般社団法人情報処理学会シンポジウムInteraction2024
4．発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------