



可搬全立体角没入ディスプレイ Mobile Large Space の設計手法と実装

DESIGN METHOD AND IMPLEMENTATION OF
TRANSPORTABLE FULL SOLID-ANGLE IMMERSIVE DISPLAY “MOBILE LARGE SPACE”

平岩匡¹⁾, 圓崎祐貴¹⁾, 矢野博明¹⁾, 岩田博夫¹⁾
Masashi HIRAIWA, Yuki ENZAKI, Hiroaki YANO, and Hiroo IWATA

1) 筑波大学 システム情報系 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1, contact@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp)

概要：本研究では、通常オフィス空間での使用を想定した可搬全立体角没入ディスプレイ”Mobile Large Space”の設計指針明確化と実装を行った。設計指針を明確化した結果、通常オフィス空間での使用に適した没入ディスプレイには可搬性、高い体験空間容積率、全立体角投影が必要であると結論付けた。本稿では、設計指針に基づいて行ったハードウェア・ソフトウェア実装ならびに Mobile Large Space の性能評価結果について述べた。本研究の結果、前面投射方式による投影によって、可搬性、全立体角投影、高い空間容積率を実現したが、投影光遮蔽と内部反射問題が明らかになった。

キーワード：没入ディスプレイ、全立体角、可搬

1. 序論

人は周囲の環境や特徴を、五感を通して知覚し認識する。五感の中でも視覚は周囲の環境を認識する上で重要な役割を担っており、人間にとっての本質を再現しようとするバーチャルリアリティの研究分野においても、より高品質な視覚情報を提供する装置の研究開発が盛んに行われてきた。特に体験者の周囲をスクリーンで覆うように映像提示を行う没入ディスプレイは近年でも盛んに研究開発されている。

代表的なバーチャル映像提示装置として、没入ディスプレイの他に HMD(Head Mounted Display)が挙げられる。HMD は自身の眼球周りを画面で覆い左右で異なる映像を提示することで立体視を実現している。しかし、HMD のその特徴によって体験者は自身の身体や他者を直接認識することが困難である。一方、没入ディスプレイは体験者がスクリーン内部にいるため、自身の身体や他者あるいは実空間上の物体を視界に捉えることができる。この特徴によって、体験者はバーチャル空間上のスケール基準を実空間から持ち込むことができ、1/1 スケールの実寸感覚を得ることができる。

上記のような利点のある没入型ディスプレイには多くの装置が開発研究されてきたが、通常オフィス空間での使用において普及されていない。その要因として、すでに建設された建屋に移設することが困難であり、体験可能な領域が設置領域に比べて低いことが考えられる。これまで体験者自身の全周をスクリーンで覆ったシステムの全て

はスクリーン外からの投影による映像提示を行っている[2][3][4]。この手法はバックヤードを大幅に必要とし、体験空間容積率を低下させている。また、全立体角没入ディスプレイは微小なずれによって映像が歪んでしまう特徴や装置が大型かつ大規模であることから可搬性を持たせることに制約が生じる。そこで、本研究の目的は、スクリーン内部から映像投影し、且つ可搬性を持った可搬全立体角没入型ディスプレイ”Mobile Large Space”の開発を行うことである。この装置はすでに建設された建屋に容易に移設することができる汎用性のある没入ディスプレイを目指す。

本稿では、可搬全立体角没入型ディスプレイ”Mobile Large Space”のハードウェア・ソフトウェア実装および装置の性能評価に関して述べる。”Mobile Large Space”の外観は図 1 に示すような装置である



図 1 Mobile Large Space 外観図



図2 Mobile Large Space 内装図

2. ハードウェア実装

本研究では図2に示すようなスクリーンの内部を体験者が自由に動き回り、バーチャル空間投影を行う没入型ディスプレイ Mobile Large Space を実装した。

2.1 スクリーン形状

2.1.1 スクリーンのサイズ

Mobile Large Space は可搬性を持ち、体験者がその中で自由に動き回ることを目的としている。また、この装置は通常のオフィス環境に設置することを想定している。

装置の高さは、スクリーン内部において人が自由に歩行可能、且つ天面にプロジェクタを設置できるようにする必要がある。天面底面投影を行うプロジェクタの数は装置に対称性を持たせるために偶数台である。これらの条件に加え、設置する部屋の大きさ、プロジェクタの投影角度を踏まえスクリーンサイズは図4に示すように5.5×3.5×2.3mとした。これは目的である体験者がその中で自由に動き回ることを可能にした。

2.1.2 スクリーン形状

システムを構築する室内の多くは直方体であるため、体験空間を広く確保することを考えれば、スクリーンの基本形状も直方体に近い方がよい。また床面と壁面の接合部においてなめらかな映像の接続を実現するために、Mobile Large Space では図3に示すような直方体と曲面を組み合わせた連続複合曲面型スクリーンを実装した。

2.2 プロジェクタ配置

2.2.1 投影方式

没入型ディスプレイを開発する際に用いられるプロジェクタの投影方式は主に背面投射方式、前面投射方式の2つである。

CAVEに代表される背面投射方式では投影光が体験者に遮蔽されないという利点がある。また、室内光の影響を受けにくく、スクリーン背面を暗室にすることによって比較的コントラストの高い映像の提示が可能である。

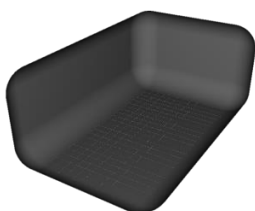


図3 複合曲面型スクリーン

背面投射方式の没入型ディスプレイの中には COSMOS のように6面スクリーンに投影し、全ての面を映像で覆う体験空間を構築できる。[2]しかし、結像のためにプロジェクタとスクリーン間に十分な距離を取る必要があることから、この方式では体験者のいるスクリーン内部に比べ、映像投影のために確保しなければならないバックヤードが非常に大きくなる。Mobile Large Space は通常オフィスでの使用を想定しているためバックヤードは可能な限り小さい方が適している。そのため、投影方式は前面投射式を選択した。しかし、この方式では投影光が体験者に遮蔽されてしまうことが問題となる。また、映像を投影するプロジェクタがスクリーン内部に存在するため体験者の視線に入ってしまうことが空間的な広がりを感じる包囲感を下げる要因となる。没入型ディスプレイにおける映像の欠損は提示する3次元空間の欠損を意味し、包囲感の減少から臨場感低下を招く。

以上から、可搬性を持たせた全立体角提示装置を設計するにあたり前面投射方式が向いているものの、映像の欠損が生じる問題を解決する必要がある。

2.2.2 プロジェクタ配置位置

本システムにおいては、単純にプロジェクタは体験者を避けるかたちで斜めに投影する手法が有効である。先行研究である Large Space では天面スクリーンがなかったため、壁面へ投影するプロジェクタを対面上端に設置することによって映像の台形歪み問題と体験者による投影光遮蔽問題を抑制している。しかし、Mobile Large Space では天面スクリーンが存在するため極力プロジェクタが視界に入らないように工夫する必要がある。また、実装するスクリーンの高さによっては床面中心に立ったとしても投影光を遮蔽してしまう。そこで、本システムでは壁面投影用のプロジェクタを天面中心付近に設置した。ただし、天面に設置されたプロジェクタは視界遮蔽問題を生じさせるため、この問題の改善もしくは抑制が今後の課題となる。天面と床面への投影は対面端から斜めに投影する。このプロジェクタはスクリーン端の曲面に穴を空け、スクリーン付近に設置することによって穴の可能な限りの縮小化と投影光遮蔽問題へのアプローチ、前面投射方式の実現を行う。プロジェクタ全体の配置図は図4に示す。

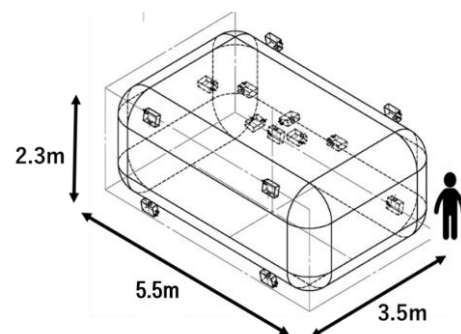


図4 スクリーンサイズ

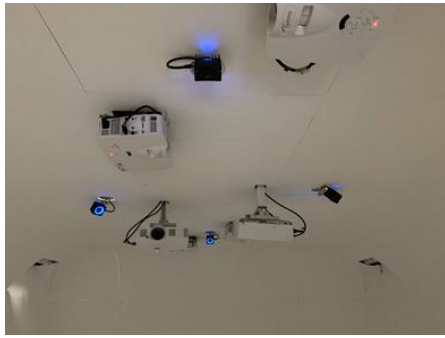


図5 光学式モーションキャプチャカメラ設置図

2.3 視点位置トラッキング

物体の位置と姿勢を計測する主な手法として、慣性計測式、磁気式、光学式があげられる。慣性計測式は理論上計測範囲に制限がないが、計測処理上誤差が蓄積され長時間安定して使用することができない。また、磁気式は計測領域付近に金属や磁場を発生させる機械などが存在すると精度が大きく低下する問題があり、本システムには適さない。

そこで、本システムでは図5に示すような4台の光学式モーションキャプチャカメラ OptiTrackPrime13w を用いて、頭部位置付近の再帰性反射材マーカを計測することで視点位置トラッキングを行った。

3. ソフトウェア実装

3.1 全周画像生成アルゴリズム

全周画像生成には、図6に示すような中川らの手法を用いた[5]。まず、バーチャル空間として展開するコンピュータグラフィックスモデルを用意する。そのバーチャル空間のある一点を視点位置としたとき、そこからの見えをバーチャル空間上に設定し、そこからの周囲の見えを、バーチャル空間上に設定したカメラによって取得する。この際カメラをパン回転することにより、等角刻みで撮影し、360度分並べることで全周画像が生成される。これは水平方向360度について、頭がロール回転しないという制約を設けた場合の全周立体画像の生成方法である。

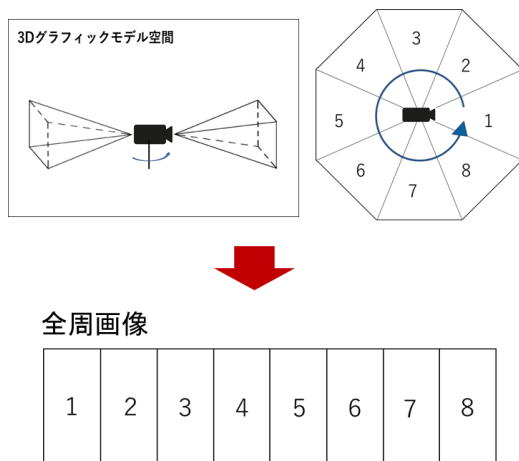


図6 全周画像生成アルゴリズム

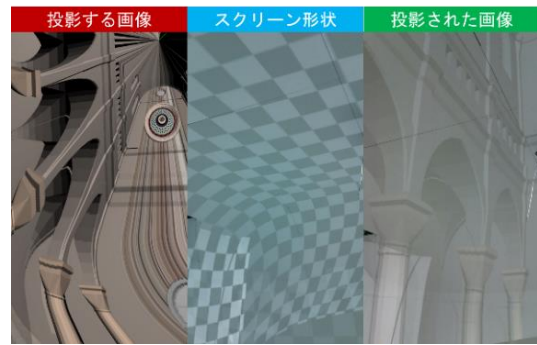


図7 ゆがみ補正投影図

3.2 立体視の実現

プロジェクタ投影による両眼視差立体視を実現させる方法として、偏光眼鏡方式とアクティブシャッター眼鏡方式がある。偏光眼鏡方式では1つの投影範囲に足して2台のプロジェクタが必要になる。本システムではプロジェクタ投影範囲はすべてが重複しているわけではないため使用することができない。そこで、本研究ではアクティブシャッター眼鏡方式を選択した。

また複数のプロジェクタを使用する場合、アクティブシャッター眼鏡と各プロジェクタ間のフレーム動機が必要となる。

3.3 スクリーン幾何形状に伴う歪み補正

一般に、曲面にプロジェクタで映像を投影すると像は歪む。そこで、バーチャル空間上に用意したスクリーンモデルの任意の点と視点位置を結んだ向きについて、全周画像の画素を参照しスクリーンモデル上に画素を割り当てる。これによってバーチャル空間上のモデルに全周画像が投影された状態を再現でき、実空間上に設置したプロジェクタの位置および角度を用いてカメラを設置すると、図7に示すように歪みのない映像投影ができる。

4. 性能評価

4.1 体験空間容積率

体験空間容積率とは、装置全体の体積のうち体験者が利用可能な空間の割合である。本研究の装置は、ビジネス領域において通常オフィス空間での使用を想定しているため、高い体験空間容積率が必要である。本装置とCAVE型、先行研究のLargeSpaceの体験空間容積率を表1にまとめて比較した。その結果、CAVE型に比べて約9倍の体験空間容積率にて没入ディスプレイの実装を行うことができた。また、前面投射方式における全立体角の実現において、体験空間容積率を5面投影のLargeSpace以上の容積率で実現することができた。

表1 体験空間容積率比較

装置名	MLS	CAVE	LargeSpace
装置全体の体積	5.3×10	2.5×10^2	3.6×10^3
スクリーン内体積	4.1×10	2.2×10	2.8×10^3
体験空間容積率[%]	79	8.8	78

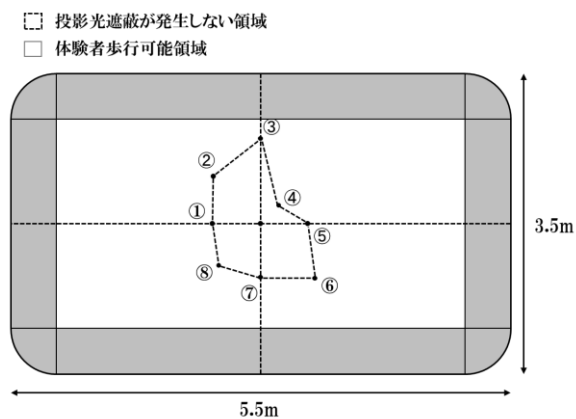


図8 移動可能領域と投影光遮蔽領域図

4.2 投影光遮蔽問題

投影方式の項で述べたように、前面投射方式にはプロジェクタからの投影映像を体験者の身体が遮り映像の欠損を発生させる投影光遮蔽問題が存在する。本装置における投影光遮蔽問題を明らかにするため、スクリーン中央から身長約175cmの人物が8方向に動いた際に、壁面平面部に影が差す位置を測定し、スクリーン内のうち歩行可能な領域と投影光遮蔽が発生しない領域を図8に表した。この結果より、少なくとも中心付近においては全立体角投影の映像遮蔽が発生しないことがわかったが、多くの領域において遮蔽が発生するため使用するアプリケーションに制限が生じることが想定される。

4.3 内部反射

没入ディスプレイ実装後、装置内に投影された映像が白くかすんでいるような状態になっていることがわかった。これは、装置内部に投影された映像が反射を繰り返し他の映像に影響を及ぼしているためである。この現象を内部反射という。本装置における内部反射の影響を調査するため、床面、短手側壁面、長手側壁面を投影するプロジェクタを1台電源を落とした状態でのそれぞれの場所での照度を測定した。この際投影する映像はR:255,G:255,B:255の一色で埋められた画像の明度を0~255まで5刻みで変化させたものとした。また、照度の比較対象として短手側壁面に投影をする1台のプロジェクタのみを投影したときの照度も同様に測定した。

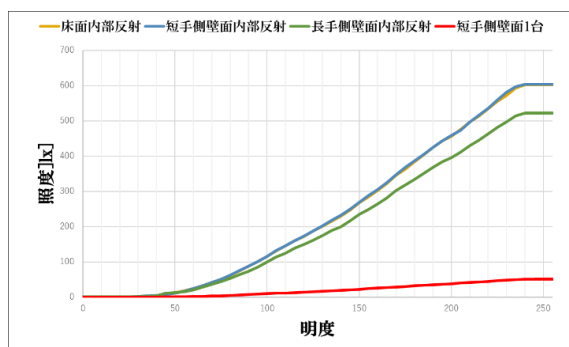


図9 内部反射照度測定特性

その結果を図10に示した。図9より投影される映像に比べて内部反射が約10倍もの照度影響を出していることがわかった。

5. 結論

本稿では、6面スクリーン投影を行うことで体験者の周囲を画素で覆い、なおかつ生成したバーチャル空間内で様々な実験が可能な可搬全立体角没入型ディスプレイ”Mobile Large Space”の実装を行った。その結果、可搬性を持ち且つ高い空間容積率と全立体角投影を実現したが、投影光遮蔽問題と内部反射問題が明らかになった。

今後の研究では両問題への対策を考案し開発していくとともに、ブレンディング処理の自動化などの可搬性向上に向けた開発、応用アプリケーション開発を行っていく。

謝辞 本研究を進めるにあたって、多大なるご指導、ご支援を頂いた、岩田洋夫教授、矢野博明教授、橋本悠希助教授、圓崎祐貴助教授に心より感謝いたします。また研究に関する助言、協力をしていただきました高鳥光先輩をはじめとするバーチャルリアリティ研究室の皆様にも感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 高鳥 光,圓崎 裕貴,矢野 博明,岩田 洋夫:大規模没入型ディスプレイ Large Space の開発,バーチャルリアリティ学会論文誌,Vol.21,No.3,pp.493-502 (2016)
- [2] 山田 俊郎,棚橋 英樹,小木 哲朗,廣瀬 通孝:完全没入型6面ディスプレイ COSMOS の開発と空間ナビゲーションシステムにおける効果,バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4,No.3,pp.531-538 (1999)
- [3] Asai,K.,Osawa,N,sugimoto,Y.:Virtual Environment System on Distance Education; Proc. of EUROMEDIA'99, pp.242-246(1999)
- [4] Ihren,J.,Frisch,K: The Fully Immersive CA-VE: Proc. of 3rd international Immersive Projection Technology Workshop, pp.59-63 (1999)
- [5] 中川 克人,矢野 博明,岩田 洋夫:3D対応超短焦点プロジェクタを用いた背面投射型全周球面ディスプレイ,日本バーチャルリアリティ学会大会論文集,Vol.18,pp.104-107(2013)
- [6] 小木 哲朗:没入型ディスプレイの特徴と応用展開,ヒューマンインターフェース学会論文誌, Vol.1,No.4,pp.44-49 (1999)