

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00290

研究課題名(和文) 球面ディスプレイ構築キットの開発と検証

研究課題名(英文) Construction kits to support the development of a spherical immersive display

研究代表者

橋本 渉 (Hashimoto, Wataru)

大阪工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：80323278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ユーザがあたかも別の空間に存在するような臨場感を提供できるシステムである、球面没入型ディスプレイの構築を支援するシミュレーション環境を目指している。球面没入型ディスプレイを開発する場合、ドームスクリーン上の特殊な歪み補正を考慮して投影システムの光学設計を行う必要がある。しかし、実際に製造された光学系の精度は、シミュレーションされたときのものであるとは保証されず、ディスプレイを使用する場合には再度微調整が必要となる。本研究では、投影系の光学設計時に光学系の調整と歪み補正を同時に行う投影系シミュレータを開発し、球面ディスプレイ開発を支援する開発キットとして報告する。

研究成果の概要(英文)：This research aims to develop a simulator that supports the construction of a spherical immersive display, which is a system that can provide a realistic presence, as if the user exists in another space. In general, when developing a display, it is necessary to perform optical design of the projection system in considering special distortion correction on the dome screen. However, accuracy of the optical system that is actually manufactured is not guaranteed to be when it is simulated, and fine adjustment is again necessary when the display is used. In this research, we report on the development of a projection simulator that can perform optical system adjustment and distortion correction simultaneously during optical design of the projection system.

研究分野：人工現実感

キーワード：没入型ディスプレイ バーチャルリアリティ 歪み補正

### 1. 研究開始当初の背景

球面ディスプレイはプラネタリウムや映画館などにみられる映像提示装置である。高い臨場感と膨大な情報を提示することが可能であり、没入感の高いバーチャル世界を体験させることができる新しいメディアである。しかしながら、大掛かりな装置になってしまうため、容易に構築することは難しい。また、曲面に映像を投影するという構造上、装置の設計や調整に困難を極め、システムの開発に大きな障害となっている。手軽に球面ディスプレイシステムに活用したいと望む利用者が、容易に利用することはできていないのが現状である。

球面ディスプレイの開発には何が障害となっているのか、開発フローを整理すると図1のようになる。光学設計、製作、調整、コンテンツ生成において試行錯誤を繰り返す必要があり、利用者にとってハードルが高いものとなっている。たとえば光学設計では特殊な光学計算を繰り返すことになるが、順方向の光線追跡では解が収束しないこともある。一方、調整ではスクリーンの形状やプロジェクタとの位置関係を正確に把握し、コンテンツ生成時の歪み補正テーブルを取得しなければならない(図2)。コンテンツ生成では、球面投影時に発生する歪みを補正するため、だまし絵のような映像を生成することになる(図3)。専門的知識や経験がなければ、容易に解決できない問題が山積している。

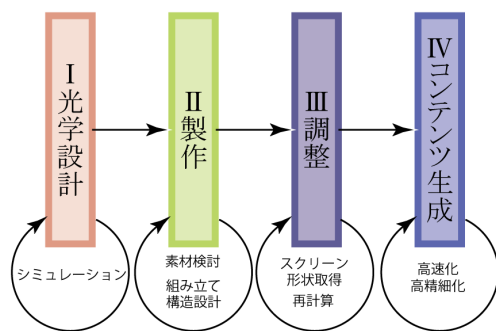


図1. 球面ディスプレイの開発フロー

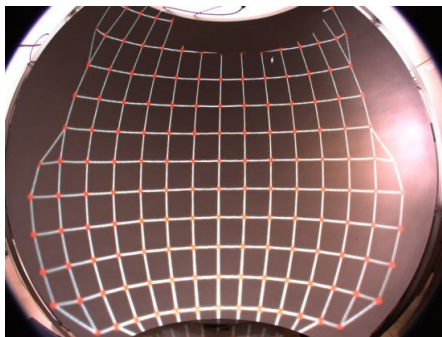


図2. 歪み補正テーブル



図3. 図2に基づいて生成された映像

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、簡単に没入型ディスプレイを設計し、かつ容易に調整やコンテンツ生成ができる開発キットを構築することである。ここでは専門的知識や経験がなくても装置を構築できるようなシミュレータの開発を目指す。

開発フローで述べた通り、で光学設計された装置は、製作や組み立てに伴う誤差によってによる調整作業が不可欠になる。歪み補正テーブルの点の数が増えれば増えるほど、歪み補正の精度が高まるが、点の数に比例して調整に手間がかかる。ディスプレイを頻繁に展示等に持ち出す場合は、毎回この調整作業が必要となる。本研究では、この調整作業を軽減するための工夫として、光学設計と調整を同時に行うことができるシミュレータを提案する。具体的には、調整の段階で配置に関するパラメータを微調整し、歪み補正結果を確認しながらパラメータを絞り込むことを目指す。配置に関するパラメータとは、プロジェクタやスクリーン、反射鏡などの3次元的な位置姿勢などである。つまり、実際に表示されている歪み補正の状態から、誤差を含めた本来のパラメータを推測することを意味する。実際の配置状態が推測できれば、補正テーブルの点を任意に増加させることも容易である。

### 3. 研究の方法

#### ・シミュレータの設計

シミュレータを設計するにあたり、全方位映像の投影における歪み補正について整理しておく。全方位映像の投影には、魚眼レンズの投影範囲をカバーできるドームマスターフォーマット、Ricoh Thetaのような360度画像を世界地図のように引き延ばす正距円筒図法などがあるが、ここではレンダリングが容易で、調整時の結果表示にも活用できるcube-mapを用いることにする。図4に示す通り、cube-mapではユーザの全方位を立方体で覆い隠すことになるので、全6方位の映像をレンダリングし、テクスチャマッピング等を用いて球面状に貼りつければよいことになる。

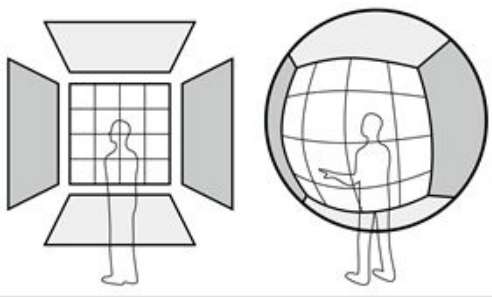


図4 .cube-map による全方位レンダリング

cube-map 映像を球面スクリーンに投影するためには、図4の右図のような歪み補正が必要となる。これを実現するため、図5に示すユーザの理想視点Vからcube-mapの特徴点Mの延長上にあるSと、プロジェクタから投影される光線PIとの関係性を求め、PIとSの関係性の集合に基づいて歪み補正をおこなうことになる。

図5の場合、PIは凸面鏡による反射を経て投影面Sに到達している。凸面鏡の位置や曲率が与えられれば、PからCの反射を経てSを求めることができる。しかしながら、SとPがわかっている状態で、PIとCとの交点を求めるのは簡単ではない。言い換えると、プロジェクタの光線を順方向に追跡するのは容易であるが、逆算するのは困難である、ということである。なお、逆算が困難なのは曲面反射のようなケースであり、単純な平面反射などの光学系であれば、逆算することは不可能ではない。

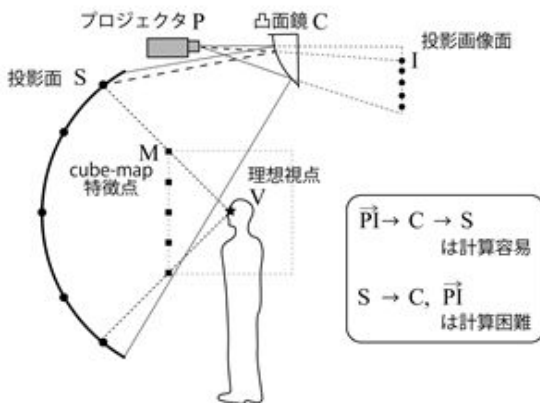


図5 . Cube-map の特徴点に対応するプロジェクタ-投影画像面上の点を算出する

先に述べたように、歪み補正に必要な情報はプロジェクタの投影画像面と、cube-map 等による特徴点の対応関係である。投影シミュレータにおいて、前述のように特徴点から投影画像面が逆算することができればよいが、逆計算できない場合は、別の方法を考えなければならない。

ここでは、投影面に表示される有効な画素すべてを順方向(PI C S)で計算しておき、VMの延長上にある近似点を利用することにした。これらの光線追跡計算はすべて互いに

独立であるため、並列化による処理高速化が容易である。しかし、VMの延長上にあるSの近似点を求めるために、投影面に表示される有効な画素全てから全点探索をおこない、最も近い点を求めると、cube-mapの点が増えた場合に探索回数が増加するため処理時間を要する。投影シミュレータの応答性が悪くなれば、パラメータ調整して即座に補正結果を確認することができず、調整に時間を要してしまう。最も近い点の探索回数を減らすために、探索アルゴリズムとして山登り法を適用し、全点探索を避けることにする。

以上の方法により、光学設計のパラメータを微調整しながら、歪み補正に必要な対応点の探索処理をできるだけ短縮し、補正結果を確認できるシミュレータを実現する。

#### 4. 研究成果

##### (1) シミュレータの実装

作成した投影シミュレータを図6に示す。スクリーンやプロジェクタ、反射鏡の3次元的な位置姿勢に関するパラメータは右上の2つのウィンドウで操作可能である。左上のウィンドウで投影状態を確認し、左下のウィンドウで歪み補正映像をレンダリングする。左下のウィンドウを最大化しプロジェクタから出力することで、パラメータを変更しながら実際の投影状態を確認することが可能となる。また、得られた補正テーブルはOBJ形式により出力し、Unity等のゲームエンジンにおいてコンテンツ生成ができるようにしている。

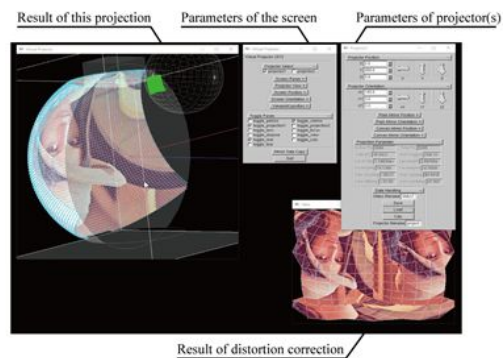


図6 . 作成した投影シミュレータ

##### (2) シミュレータの試用例1

実際に投影シミュレータを球面ディスプレイに試用し、調整による補正を試みた例を示す。図7は直径1000mmの半球アクリルドームスクリーンで、背面から超短焦点プロジェクタ(NEC NP-UM330XJL-N2)により投影している。これらのプロジェクタやスクリーンに関するパラメータを測定し、シミュレータに入力後、20分程度の調整作業によって得られた補正テーブルが図8である。cube-mapによる特徴点の合計数は102点である。実際にスクリーンに投影したものが図9である。キューブマップの左右の面が歪みのない状態で表示されているのが確認できる。

全点の光線追跡と対応関係の探索計算に要する合計時間は全点探索で7.3秒，OpenMPによる最適化された全点探索で6.5秒，山登り法とOpenMPの併用で0.14秒であった．パラメータ変更の0.14秒後に補正テーブルが生成され，補正結果が画面に反映されることになる．ほぼ実時間で結果を反映できていることがわかる．



図7．シミュレータ試用環境1：直径1000mm リア投影ドーム環境(左)と投影状態(右)

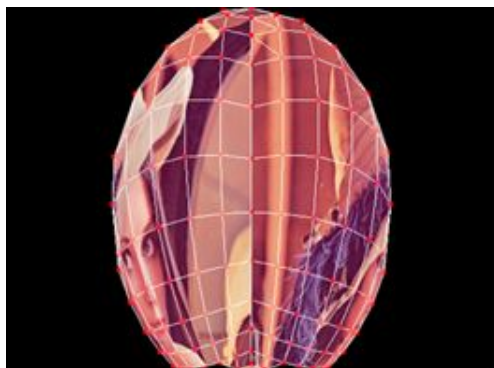


図8．試用環境1において，歪み補正テーブルに基づいて生成された補正画像

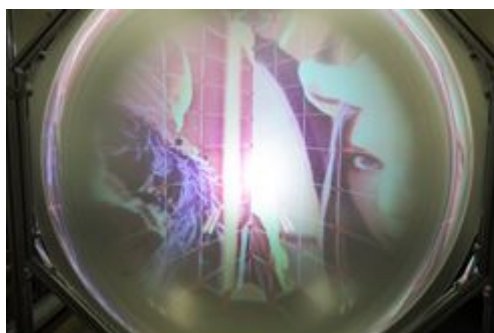


図9．図8の補正画像を実際に投影している様子(理想視点の位置より約1m後方で撮影)

### (3)シミュレータの試用例2

別の球面ディスプレイ環境において，補正を試みた例を示す．図10は直径1800mmの半球上スクリーンで，プロジェクタ映像を凸面鏡によって反射投影させる仕組みのものである．図11は補正結果を観察しながら，微調整して得られた補正テーブルである．探索計算に要する合計時間は7.1秒であるが，山

登り法とOpenMPを併用することにより0.21秒まで短縮することができ，こちらもほぼ実時間で結果を反映できていることが確認された．

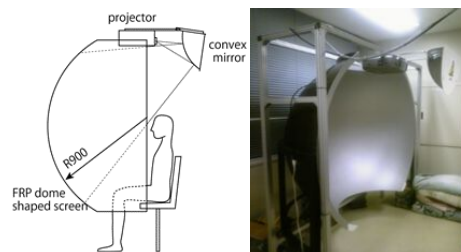


図10．シミュレータ試用環境2：直径1800mm フロント投影ドーム環境



図11．試用環境2の補正画像を実際に投影している様子(理想視点の位置より約2m後方で撮影)

### (4) 第三者による開発キットの適用評価

今回開発されたシミュレータや，開発のための説明資料を含む開発キットが，第三者によって活用され，実際に球面ディスプレイを設計構築することができるか，という評価検証をおこなった．本開発キットの利用者が理系の教諭という想定で，評価者(以下，キット利用者)として教育関係に従事している本学卒業生に依頼した．適用評価は，既存の球面スクリーンに新しいプロジェクタを設置するという方式で，約2か月間(のべ75時間)にわたって実施された．キット利用者は，本研究で定められた構築フローに従って球面ディスプレイ環境を作成する．最初のフローは光学設計で，キット開発者のサポートのもと，開発キットによるシミュレーションを通じ，キット利用者による光学設計が可能であることを確認した．設計されたディスプレイが実際に制作され，次のフローである調整において，実際に投影状態を確認する．歪み映像を実際にスクリーンに表示しながら，パラメータを絞り込んでいく開発キットの調整機能によって，設計時より正確な歪み補正ができることがわかった．最後のフローであるコンテンツ作成では，広く普及しているゲームエンジンを利用し，開発キットで得られた歪みパラメータを取り込んで，歪み映像を生成する．パラメータの受け渡しが容易であるため，キット利用者が手軽に球面ディスプレイ用コンテンツを製作できることが確認

された。画質や描画速度については、使用したゲームエンジン固有の問題があるものの、現行のコンピュータ環境において、インタラクティブなコンテンツを作成するには十分な能力であることがわかった。なお、キット利用者による指摘として、開発キットの操作が難解であること、解像度やアスペクト比の変更が難しいという問題点が挙げられた。これらを修正し、開発キットが誰にでも利用できるようにする。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Wataru Hashimoto, Yasuharu Mizutani, and Satoshi Nishiguchi: "Projection simulator to support design development of spherical immersive display", HCI12017, 査読有, S714, 2017, pp.17-24  
DOI: 10.1007/978-3-319-58753-0\_3

〔学会発表〕(計2件)

橋本 渉, 水谷 泰治, 西口 敏司: "没入球面ディスプレイの設計開発を支援する投影シミュレータ", 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 33C-05, 2016

Wataru Hashimoto, Satoshi Nishiguchi, Yasuharu Mizutani: "A Toolkit to Support a Development of Spherical Immersive Display", International Conference on Artificial Reality and Telexistence Eurographics Symposium on Virtual Environments, D2, 2015

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.oit.ac.jp/is/~whashimo/server/pukiwiki/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 渉 (HASHIMOTO, Wataru)  
大阪工業大学・情報科学部・准教授  
研究者番号: 80323278

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

西口 敏司 (NISHIGUCHI, Satoshi)  
大阪工業大学・情報科学部・准教授  
研究者番号: 80362565

水谷 泰治 (MIZUTANI, Yasuharu)  
大阪工業大学・情報科学部・准教授  
研究者番号: 10411414