

壁面と凸面鏡を用いた可搬型没入ディスプレイ環境

橋本 渉^{*1} 吉田 恭平^{*2}

Carriable Immersive Display Environment by Using a Convex Mirror and Existing Walls

Wataru Hashimoto^{*1} and Kyouhei Yoshida^{*2}

Abstract – Immersive display is the device that can provide an immersive viewing experience by surrounding around user. The typical problem of the display is that the device occupies huge space and it is hard to move the whole environment. This paper proposes an transportable immersive display. Our environment uses existing walls as screen. In order to avoid the focus problem when the projector image displays on non-planer surface, we utilizes a convex mirror to increase the length of the projector's focal depth. In addition, the mirror helps the projector's image to spread the wide area. This paper also reports the distortion correction method of the projected image on the various shapes of the wall.

Keywords : IPT, convex mirror, existing wall

1 はじめに

人間の周囲を大型の映像で覆ってしまう装置は没入型ディスプレイと呼ばれる。この装置は人間が注視している方向だけでなく、周辺の視野に映像を呈示することができるため、通常の映像装置に比べ高い臨場感を表現できることが知られている。また映像が人間を取り囲んでしまうので、同時に表示できる情報量が多いのも特徴のひとつである。

ところで没入型ディスプレイの問題点は、その構造上、装置が大掛かりなものとなることである。一般的な没入型ディスプレイは、スクリーンで人間を取り囲み、プロジェクタなどによってスクリーンに投影する仕掛けである。このとき、人間が囲まれた空間のほかにプロジェクタの光路を確保しなければならないため、装置の占有容積が大きくなり設置場所に大きな制限が生じる。また、大掛かりな装置であるため、装置全体の移動にも制約を受けることになる。

そこで本研究は、通常の壁面に映像を投影することによって、スクリーン自体を装置構成から除いてしまい、常設ではない可搬型の没入映像投影環境を目指す(図1)。このことには投影場所を問わないという利点がある反面、投影面に起伏が大きいと、映像のフォーカスが合わないといった問題を引き起こす。この問題に対しては、映像を凸面鏡で反射させて焦点深度を大きくする手法をとる。凸面鏡の利用によって、狭い空間で広い領域に映像を投影することができるが、このことは装置の占有容積の面で都合である。その反面、球面反射による映像の歪みは避けられない。いずれにしても、起伏のあ

る形状に投影すると歪みが生じることから、球面反射による歪みと、起伏による歪みの両方が生じている状態を観察し、まとめて補正すればよい。

ここでは、上記のような環境を実現するための投影装置を試作したので報告するとともに、歪み補正方法について説明する。

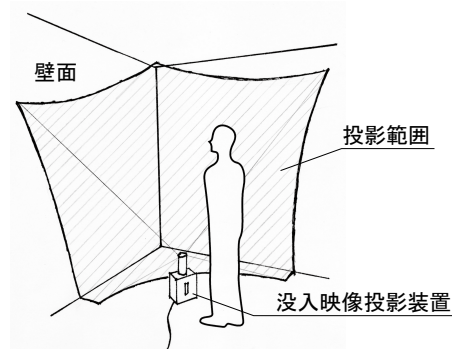


図1 可搬型没入ディスプレイの概念図
Fig.1 The concept of Carriable Immersive Display

2 可搬型没入ディスプレイへのアプローチ

先にも述べたように、没入型ディスプレイは大掛かりな装置であり、設置容積と可搬性の問題を抱えている。

設置容積を小さくするための一つの方法は、プロジェクタの投影距離を短くすることである。最近短焦点距離の投影システムが開発されている [1][2]。これらは非球面のレンズやミラーを駆使し、短距離で単一平面スクリーンに投影できるように光学系が最適化されている。このため、所定の位置から投影面がずれると収差が生じてしまう。これらのシステムは平面スクリーンにしか利用できないが、平面スクリーンで構成された没入型ディ

^{*1}大阪工業大学

^{*2}TDCソフトウェアエンジニアリング(株)

^{*1}Osaka Institute of Technology

^{*2}TDC Software Engineering Inc.

スプレイに応用すると、設置容積を小さくすることができる。

没入型ディスプレイに関する研究では、装置の占有容積が小さい個人用の没入型ディスプレイが開発されている。例えば松下電工の CyberDome[3] や Elumens の VisionStation[4]、筑波大の EnspheredVision[5] などが挙げられる。これらの小型ディスプレイでは、球面の内側から映像を投影しているため、プロジェクタのバックヤードが不要となり、設置容積はそれほど大きくなならない。スクリーンと投影の光学系が固定されており、移動するためにはスクリーンごと移動する。スクリーンが大型になると移動が困難であるが、移動が伴っても光学系が変わらないため、キャリブレーションはほとんど不要だという利点がある。

一方、小型の没入型ディスプレイとは異なり、通常の壁をスクリーンとして、没入ディスプレイと同様の効果を得ようとするものもある。これはノースカロライナ大の "Office of the Future" [6][7] がよく知られている。起伏のある壁面上で、通常のプロジェクタ映像を投影できるよう、観察用のカメラを用いてキャリブレーションする手法がとられている。同じような試みとしては NEC のアクティブプロジェクター [8] や Bimber らの Smart Projector[9] などが挙げられる。壁面の形状をレンジファインダで取得、投影するもの [10] も基本的に同じ原理である。

通常の壁をスクリーンとして投影することを生かし、装置一式の機動性を高めるような試みもおこなわれている。[11] はシステム一式を持ち運ぶことを想定した、複数プロジェクタによる投影環境である。また [12] では立体視を実現するため、通常の壁を使う代わりに折りたたみ式の V 字型スクリーンを利用し、高い機動性と没入感を得ている。

本研究ではスクリーン自体を装置から除いてしまうものとして、通常の壁をスクリーンとして利用する手法に着目する。しかし、[13] でも指摘されているように、普通のプロジェクタを使用すればフォーカスの問題が生じてしまう。壁面がプロジェクタの焦点面から大きく外れるような形状であれば、映像のフォーカスが合わなくなってしまうという問題である。そこで、プロジェクタ映像を凸面鏡で反射させると焦点深度が大きくなるという性質に着目する(図 2)。このことは、映像が空間的に拡散することにもつながり、没入型ディスプレイとして好都合である。次節ではこれを実現するような投影系の設計・試作方法について述べる。

凸面鏡を利用すると、フォーカスの合いやすい映像が出来る反面、投影映像に非線形な歪みをもたらす。正しい画像を得るためには、歪みの補正をする必要がある。いずれにしても壁面の形状に起因する歪みの補正が必要

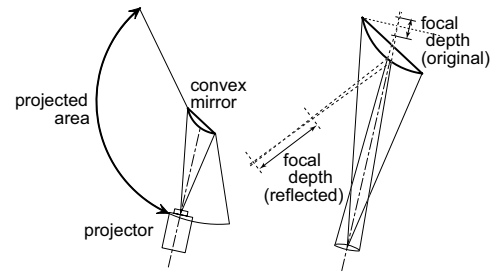


図 2 凸面鏡による反射と焦点深度
Fig.2 Reflection of light with convex mirror and their focal depth

になるので、両方の歪みをまとめて補正すればよい。このことについても後述する。

3 設計と試作

これまで述べてきたような、通常の壁面をスクリーンとして利用し、凸面鏡で拡散投影させるような装置を試作する。手軽に壁面に投影できるという特徴を生かすため、投影系は可能な限り小型軽量であるのが望ましい。この方針に基づいて、以下の手順で試作をおこなっている。

1. プロジェクタの選択

投影系を構成する部品で、最も重量があるのがプロジェクタである。装置の小型軽量化を図るため、ここではモバイルタイプの DLP プロジェクタ (PLUS V-1100) を使用している。プロジェクタの重量は約 1kg で、明るさは 1000ANSI ルーメンである。

2. 焦点距離の短縮

選択したプロジェクタは焦点距離が長く、カタログ値で 120cm、実測値でも 95cm である。凸面鏡を利用した拡散投影系では、焦点面の直前に凸面鏡を配置しなければならない [14] ため、装置の全長が 1メートルにもなってしまう。また、焦点距離が長くなるとそれに比例して投影映像も大きくなり、凸面鏡の大きさも必然的に大きくなる。このことは投影系の小型化をさまたげるので、凸レンズを用いて焦点距離の短縮化を図っている。ここでは有効焦点が 500mm の平凸レンズを配し、焦点距離を 30cm 程度に短くしている。

3. 画角の実測

プロジェクタに平凸レンズを使用した状態でプロジェクタの画角を測定する。まず、プロジェクタの光軸に対して垂直になるようなスクリーンを置く。投影される映像の大きさと焦点距離を測れば画角が求まる。このままでは測定誤差が大きいため、スクリーンを光軸方向に少しずつ移動させて十数回測定する。焦点距離と投影サイズの関係性を直線で近似すると、画角の近似値が得られる。ここで得られた画角は垂直が 5.39~29.12 度、水平が -15.90~15.90 度である。

4. 投影系の設計

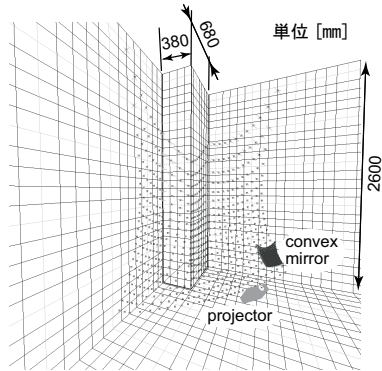


図3 想定する環境でのシミュレーション結果
Fig. 3 Result of ray tracing simulation based on presupposed environment

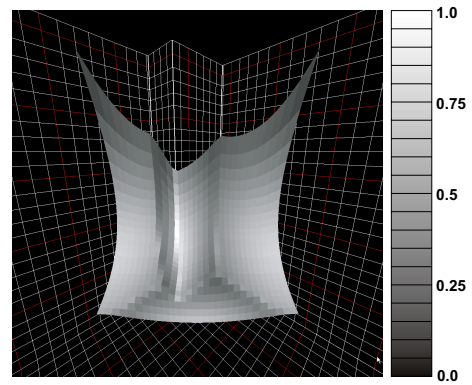


図4 シミュレーションによる明るさの分布
Fig. 4 The distribution of illuminance based on simulation

プロジェクタの焦点距離と画角が決まれば、シミュレーションによって凸面鏡の曲率とプロジェクタの配置を決定する。シミュレーションにはバーチャルプロジェクタ [14] を改良して利用している。このプログラムにプロジェクタの画角や凸面鏡の位置、壁面の形状などを与えると、プロジェクタから投影される光線がどこに反射・結像するかという光線追跡の結果が得られる。シミュレーションに与える壁面の形状はさまざまなものが想定されるが、さしあたって研究室の白い壁をテスト環境として用いている。このテスト環境におけるシミュレーション結果は図3の通りである。ワイヤフレームで表示されているのが研究室の壁面で、壁面上の黒い点が映像の結像している点を表している。観察者は投影系の横あるいは後ろに立つことを想定している。また、投影に要する空間は $1.5 \times 1.5 \times 2.6$ [m] である。

一方、テスト環境における明るさの分布状況についても調査している。結果は図4に示す。これは投影面積による光束の量を求めたものであり、最も明るい部分を1としたときの分布を表している。正面の壁が最も光量が多く、最も少ない部分は投影映像の上方で、明るさに4倍程度の隔りがある。画面の上方部分は相当暗くなることが予想できる。

5. 投影系の試作

投影系の配置が決まれば、それに従って光学系を製作することができる。得られた凸面鏡とプロジェクタの配置関係が図5左で、実際に試作したものが右である。フレームはアルミ製で全長は約60cmである。凸面鏡は曲率半径が約256mmの亚克力製で、全体の重さは2.5kg程度である。

6. 照度分布の実測

試作機の投影性能として、照度分布の測定をおこなった。テスト環境に投影系を配置し、投影範囲の照度を測定するものである。画像の領域を縦10分割、横15分割にして、背景を黒、分割領域のみ白とする画像を投影していく。このとき、白に該当する箇所に照度計 (SANWA: LX2) の

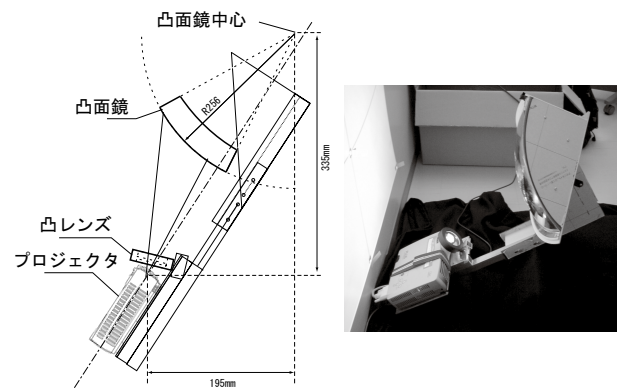


図5 試作した投影系
Fig. 5 Overview of the prototype

センサを置き、センサが光線に対して垂直になるような、照度の最高値を測定している。測定結果は図6に示す。

最も明るい箇所は手前の床の部分で 150 [lx] 程度、暗い場所は映像の上方で 31 [lx] である。投影領域全体を観察するためには、少なくとも部屋の照度を 30 [lx] より暗くすることが必要となる。また、プロジェクタの黒を投影している領域での照度は平均で 1.8 [lx] である。

4. 画像の歪み補正

前述のような試作機で映像を投影する場合、歪みをキャンセルするような補正が必要となる。この歪みは、投影環境に起因するものと、凸面鏡などの光学系に起因するものに大きく分けることができる。ここではこれらの歪みについて整理し、投影状態を実測することによって補正が可能であることを示す。

(A) 投影環境による歪み

投影環境による歪みとは、壁面と投影装置、観察者の位置関係などに依存する歪みである。図7のようにプロジェクタをコーナーに当てた場合には多角形に歪むが、観察者が光源に近づくほど歪みは小さくなる。たとえば [15] のように、プロジェクタの光源が視点と共役な位置にあれば、原理的に歪みは全く生じない。

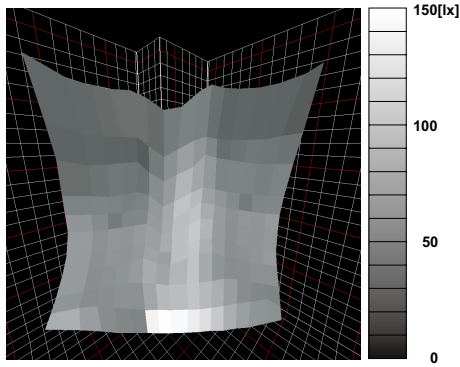


図6 試作機による照度分布

Fig.6 The distribution of illuminance with the prototype

壁面をスクリーンとして利用する場合は、壁面の形状や投影装置の位置、観察者の位置関係をあらかじめ決めておくか、実時間で取得しなければ正しい映像が得られないことになる。本研究のように投影装置を可動式とする場合には、投影装置を移動するたびに投影環境が変わるので、環境の変化に対応させる必要がでてくる。

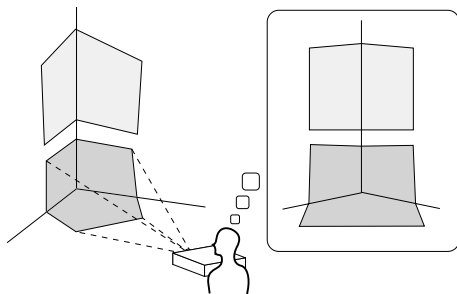


図7 投影環境による歪み

Fig.7 Distortion of the projected image caused by the environment

(B) 投影装置による歪み

この歪みは投影装置の光学系に依存する静的な歪みである。凸面鏡や魚眼レンズを用いて映像を投影すると、非線形な歪みをもった映像が出力される。例えば凸面鏡で映像を反射させると糸巻型のような歪曲が生じる。この歪みは光学系に依存しているため、予め調べておくことが可能である。

試作した装置で得られる歪みは、上記の (A) と (B) による歪みが組み合わさったものである。この歪みを完全に把握するためには、1. 壁面の形状、2. 投影装置の位置姿勢、3. 観察者の位置、そして 4. 投影装置の光学系の全てについて調べる必要がでてくる。ただし、環境が変わるたびに (A) の 1~3 の要素を調べるのは現実的とはいえない。そこで、本研究では投影された状態から観察による歪み補正について考える。

ある壁面に映像を投影した場合、図9の $ABCD$ に投影される環境があるとする。観察者は図の左下のよう

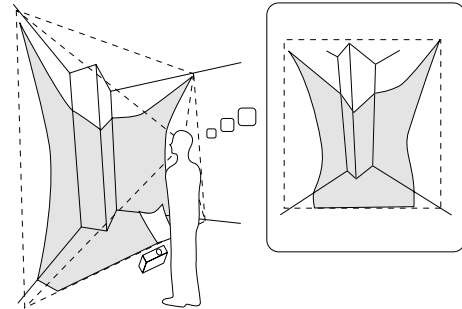


図8 投影環境と投影装置による歪み

Fig.8 Distortion of the projected image caused by both the environment and the projection system

な状態でたっており、ちょうど図の右上のようなパースペクティブで投影映像を見ていることとする。この壁の稜線に沿って模様を描きたい場合、最初に図左上のような映像を用意することになる。プロジェクタの映像は $ABCD$ に変形するわけだから、あらかじめ変形を見越して $A'B'C'D'$ のような映像を作成すればよい。したがって、映像の補正には $A'B'C'D'$ と $ABCD$ との対応関係を把握すれば、歪み補正が可能となる。

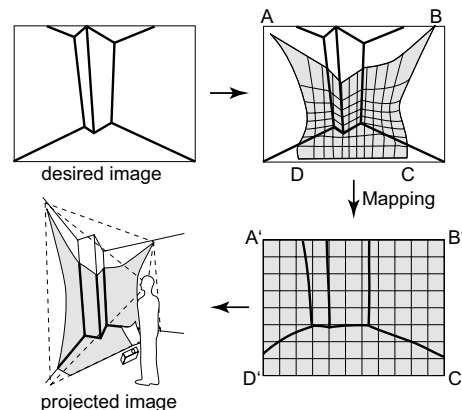


図9 歪みの補正方法

Fig.9 A method of distortion correction

この対応関係をまず実測によって取得し、歪み補正を試みた。実測においては、図10の $A'B'C'D'$ のような 33×25 の格子状に配置された基準点として投影し、壁面上の点の位置を全て測定するというものである。測定された点は3次元で記述されるが、視点の位置や方向が決まると、2次元平面に射影した $ABCD$ が得られる。図10の右側のパターンは、ある視点から得た歪みの形状を表しており、 A' が A に対応していることを意味する。

実測によって得られた対応関係を用いて、格子模様を歪み補正して投影したものが図11である。この写真は、想定しておいた視点の位置から撮影したものである。視点から大きく移動すると正しい見えは得られないが、想定した視点ではおおむね格子模様補正されているのがわかる。壁の起伏の変化部分でやや歪みが生じているが、

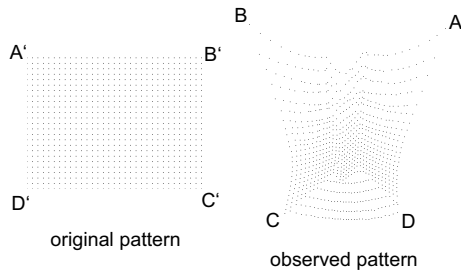


図 10 投影したパターンと観察されたパターン
Fig. 10 Original projected image and observed pattern

これは基準点が壁の起伏にちょうど当たっていないためである。厳密に補正をおこなうには、起伏の特徴箇所基準点をあわせることが望ましい。

実測によるメリットは、視点の位置姿勢が変わっても、元の測定データから射影すれば、補正に必要なデータが求まるということである。つまり、任意の視点からの射影関係を求めることによって、そのつど歪み補正をおこなうことが可能である。ただし、今回のように 800 点程度の位置計測をおこなうのは手間を要する。投影位置などの環境が変わるたびに測定が必要になるため、可搬型としては現実的な方法といえない。カメラなどの観察によって、測定の手間を減らす方法が求められる。

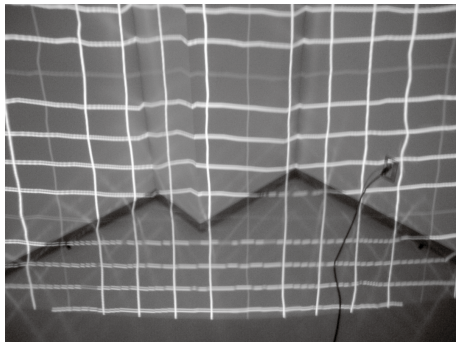


図 11 歪み補正によるテストパターンの投影
Fig. 11 Projection of a test pattern with distortion correction

5 カメラによる歪み補正

実測する代わりに、カメラなどの撮像装置を用いて対応関係を取得することを試みた。プロジェクタによって基準点を表示し、カメラを視点の位置に配置することによって、カメラ画像から基準点を抽出するというものである。この方法は、すでに触れた先行研究でも取り入れられている一般的な手法である。ところが本投影環境の場合、投影範囲が広いので、普通のカメラで取得するには画角の問題が生じる。ここでは回転式の雲台 [16] を利用して投影範囲をカバーすることにしている。なお、この環境での映像投影範囲は、視点の位置からみて水平が

最大で 82 度、垂直が最大で 97 度である。

カメラは USB カメラを利用し、雲台はレンズ主点を基準としてヨー角、ピッチ角に回転できるように、サーボモータによって制御している。図 12 はカメラによってプロジェクタの投影映像を取り込んでいる様子である。対応関係の取得手順は次の通りである。1. カメラのレンズ主点を視点に相当する位置に設置する、2. プロジェクタで 1 点ずつ基準点を表示する、3. 雲台を回転しながらカメラのフレーム内に基準点を収める、4. 雲台の回転角とカメラの画素の位置から、基準点の方向を求める。この手順で全ての点を取得するのは時間を要するが、確実に対応関係を測定することが可能である。現在の手順では、 35×24 の基準点を測定するのにおよそ 1 時間程度要している。

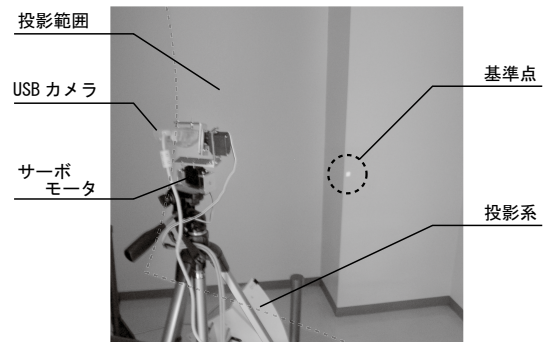


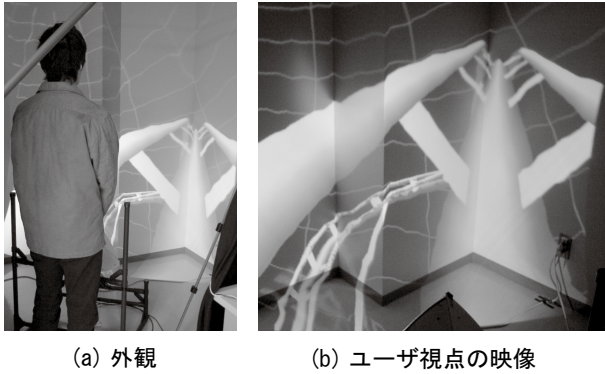
図 12 USB カメラによるキャリブレーション
Fig. 12 Autocalibration with USB camera

得られた対応関係を利用して、本研究の想定した使用例は図 13 である。カメラの主点を置いていた付近が視点のスイートスポットになるが、その位置から 30cm 程度ずれると映像の見えが破綻する。図のような環境の場合では、壁の稜線が縦方向に走っているため、向かって左右方向のずれが見えの破綻を招きやすく、前後方向のずれがもっとも影響が小さい。予備知識のない学生数名に図のコンテンツを示し、見えの正しい位置はどこか探してもらったところ、全員がカメラの主点付近を示していた。このことは、歪み補正後のコンテンツを把握できる程度、歪み補正がおこなわれていることを示している。

6 他の投影環境での歪み補正と可搬性に関する考察

これまでに述べてきた歪み補正が、シミュレーションをおこなった環境以外でも適用可能であり、本システムに可搬性が備わっていることを示すため、他の環境でも投影を試みた。シミュレーションと異なる環境では、補正の基準点の数を減らすため、床面と壁による単純な形状を用いることにした。通常のプロジェクタで床面と壁をまたぐように投影すると歪みが生じるが、本投影環境を用いれば、原理的には歪み補正されるはずである。

図 14 は別の場所における投影の状態を表している。投



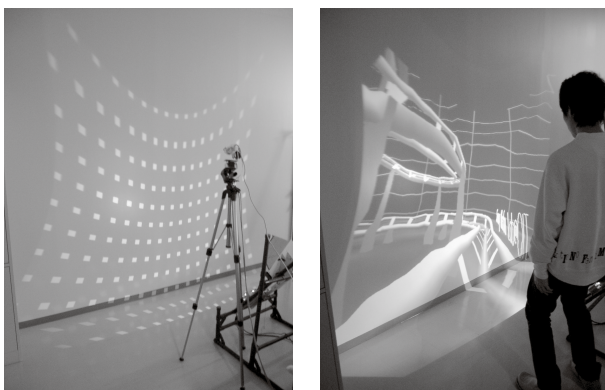
(a) 外観 (b) ユーザ視点の映像

図 13 映像を観察している様子

Fig. 13 Overview and localview of our Auto-calibration with USB camera

影に必要な空間は左右 2.8× 前後 1.4× 上下 1.8[m] で、映像の投影範囲は視点の位置から水平最大 96 度、垂直最大 102 度である。装置一式を持ち込んだ状態から投影開始までの所要時間は 10 分程度であった。また壁の起伏が単純であるため、歪み補正の基準点を 17×12 分割でおこなったところ、およそ 20 分程度で完了した。したがって、図 14 のように基準点が少なくても済む環境であれば、装置の搬入から 30 分程度で映像を投影することができる。

映像の見えに関しては、図 14(a) のカメラの付近がスイートスポットになる。見えの正しい位置はどこか探してもらったところ、図 14(b) の視点で正常に見えることが確認できた。



(a) 基準点 (17x12)

(b) 投影の様子

図 14 他の環境への適用

Fig. 14 Application for another environment

7 おわりに

投影面の形状を問わない、移動可能な投影装置の試作をおこなった。また、現時点では視点の移動に対応していないが、壁面の形状や投影装置の位置姿勢、投影装置の光学系を問わず、投影状態から歪み補正をおこなう方法について述べた。このような装置が持つ問題点と今後の課題は次の通りである。

・照度

凸面鏡で拡散反射させている以上、照度不足の問題は避けられない問題である。照度分布の実測結果が示すとおり、現時点では周辺を相当暗くしないと映像を完全に観察することができない。また、照度分布の偏りが顕著であることも留意しなければならない。この問題を解決する一つの手段は、より明るいプロジェクタを利用して、照度分布の補償をおこなうことである。ただし、一般に強力なプロジェクタほど筐体が大きくなるため、可搬性のある程度犠牲にしなければならないだろう。複数の投影機を同時に使用することも考えられるが、映像の同期生成が複雑となったり、[7] でも述べられている通り、ブレンディングや輝度の補償についても対処が必要になってくる。

・投影面と影

投影装置の位置関係によって、映像が投影されない影の領域が発生する。影の生じない位置を選ぶか、[17]などを参考に、複数の投影装置を用いて影の領域をキャンセルする必要がある。

・壁面の模様と材質

壁面の形状や材質が映像の見え具合に大きく影響する。例えば表面の反射係数が高い材質だと、良好な映像を得られない。また壁面の拡散係数にばらつきがあると、映像の輝度に大きく影響を及ぼす。照度分布の補償とあわせて、輝度の補償も必要であろう。これについては、[18]などで用いられている手法を参考に、壁の模様や反射を打ち消すような補償がどこまで可能か、今後試してみたい。

・補正のアルゴリズム強化

カメラによって補正を効率的におこなう必要がある。現時点では 35×24 の基準点を用いて補正すると 1 時間程度かかってしまう。複雑な形状に投影するには、多くの基準点が必要となるが、補正に時間がかかりすぎると実用的ではなくなる。このため、基準点取得のアルゴリズムを高速化したり、基準点を壁の稜線などの特徴的な箇所にするなどのアルゴリズムが必要である。画像処理分野の先行研究 [19][20] を参考に、補正を効率的に実行できるような手法を検討したい。

今後はこうした問題に対して、人間にとって自然な見えを得られることを模索したい。このような小型没入ディスプレイ環境があれば、搬入が困難であった施設での使用が可能となろう。たとえば病院や介護施設などはそうである。頭部が激しく動くような運動は、映像の見えが破綻するため不向きであるが、運動機能のリハビリや高齢者の心身活性化など、比較的穏やかな運動に利用できる。たとえば、床面と壁面に映像を投影することによって、足をつかたり両手を挙げるような運動を誘発することで、全身の活性化を促すことが期待できる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金（若手 B-No.15700013）の補助を受けた。また、本環境の開発に携わった橋本大作氏に感謝する。

- [21] 橋本渉, 吉田恭平: 凸面鏡を用いた可搬型没入ディスプレイ環境, 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集 CDROM, 2B2, pp.365-368, 2004

(2005年1月16日受付)

[著者紹介]

参考文献

- [1] <http://www.digital-sanyo.com/smsc/sav/product/lcd.html>
[2] <http://www.nevt.co.jp/product/info/wt600j.html>
[3] 柴野伸之, 柏木正徳, 澤田一哉, 竹村治雄: 小型半球面スクリーンを用いた没入型視覚ディスプレイの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集, pp.393-396, 2001
[4] <http://www.elumens.com/products/visionstation.html>
[5] Hiroo Iwata: Ensphered Vision, Siggraph99 Conference Abstracts and Applications, pp.175, 1999
[6] Ramesh Raskar, Greg Welch, Matt Cutts, Adam Lake, Lev Stesin and Henry Fuchs: The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays, Computer Graphics Proceedings, Vol.32, pp.179-188, 1998
[7] Greg Welch, Henry Fuchs, Remash Raskar, Herman Towles, Michael S. Brown: Projected Imagery in Your "Office of the Future", IEEE Computer Graphics and Applications, Jul/Aug 2000, pp.62-67, 2000
[8] 中村暢達, 中尾敏康: アクティブプロジェクター, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 論文集, pp.113-116, 2000
[9] <http://www.uni-weimar.de/~bimber/research.php>
[10] Yasuhisa Tokuda, Shinsuke Iwasaki, Yoichi Sato, Yasuto Nakanishi, Hideki Koike: Ubiquitous display for dynamically changing environment, CHI'03 extended abstracts, pp.976-977, 2003
[11] 豊田滋典, 谷川智洋, 山下淳, 広田光一, 廣瀬通孝: 実空間投影型マルチプロジェクション環境の構築に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集 CDROM, 2B2, pp.361-364, 2004
[12] 竹田仰: 2面屈折型スクリーンの開発, 画像ラボ, Vol.15, No.8, pp.38-42, 2004
[13] Claudio Pinhanez: The Everywhere Displays Projector: A Device to Create Ubiquitous Graphical Interfaces, Proc.UbiComp 2001, pp.315-331, 2001
[14] 橋本渉, 岩田洋夫: 凸面鏡を用いた球面没入型ディスプレイ: Ensphered Vision, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.479-486, 1999
[15] Masahiko Inami, Naoki Kawakami, Dairoku Sekiguchi, Yasuyuki Yanagida, Taro Maeda, Susumu Tachi: Visuo-Haptic Display Using Head-Mounted Projector, Proceedings of IEEE Virtual Reality 2000, pp.233-240, 2000
[16] 橋本渉, 高柳道寛, 岩田洋夫: 全方向球面ディスプレイにおける立体映像の生成, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.4, No.3, pp.91-96, 2002
[17] Rahul Sukthankar, Tat-Jen Cham, Gita Sukthankar: Dynamic Shadow Elimination for Multi-Projector Displays, Proceedings of IEEE Computer Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.151-157, 2001
[18] Oliver Bimber, Andreas Emmerling, Thomas Klemmer: Embedded Entertainment with Smart Projectors, IEEE Computer, Vol.38, No.1, pp.48-55, 2005
[19] Nelson L. Chang: Efficient Dense Correspondences using Temporally Encoded Light Patterns, PRO-CAM2003, 2003
[20] 見市伸裕, 和田俊和, 松山隆司: プロジェクタ・カメラシステムのキャリブレーションに関する研究, 情報処理学会研究報告, CVIM-133, pp.1-8, 2002

橋本 渉 (正会員)



2000年筑波大学工学研究科博士課程修了。同年筑波大学機能工学系助手。2002年大阪工業大学講師, 現在に至る。力覚呈示, 広視野ディスプレイに関する研究に従事。博士(工学)。

吉田恭平



2005年大阪工業大学情報科学部卒業。同年TDCソフトウェアエンジニアリング(株)入社, 現在に至る。