

# 全方位映像呈示技術

岩 田 洋 夫<sup>†</sup>

全方位映像を呈示する没入型ディスプレイは最近のバーチャルリアリティの中心的課題の1つである。著者は“Ensphered Vision”と名づけた、凸面鏡を用いて球体内部のほとんどすべての領域に映像を映すことを可能にする技術を開発した。球面スクリーンとして最もよく知られているのは、プラネタリウムのような半球面に映像を投影する装置であろう。しかし、この場合投影する半球内に人が入ると影を作ってしまうため、半球の外から見なければならない。そのため劇場としては使えても、人間の周囲を覆い尽くす没入型ディスプレイには適さない。Ensphered Visionは通常のプロジェクタの光を平面鏡と凸面鏡の組合せで拡散させることによって、球面スクリーンの全周面に映像を投影する。この方式の最大の特徴は、球体の中心部以外から全周面に投影することが可能であることであり、その結果非常に小型のスクリーンでも中心部から映像を見ることができる。また、市販のプロジェクタがそのまま使えるため、低コストでシステムが構築できる。本論文はこのEnsphered Visionの着想に至った経緯と、最近の研究成果を報告するものである。

## Full-surround Image Display Technology

HIROO IWATA<sup>†</sup>

Visual immersion plays an important roll in virtual environment. Ensphered Vision is an image display system for wide-angle spherical screen. Sphere is an ideal shape of a screen that covers human visual field. Distance between eyes and screen should be constant while a viewer rotates the head. We use single projector and a convex mirror in order to display seamless image. The optical system employs two mirrors: a plain mirror and a spherical convex mirror. The spherical convex mirror scatters the light from the projector in the spherical screen. The plain mirror provides the viewer to the sweet spot where he/she can see the image from the center of the sphere. This optical configuration enables seamless wide-angle image in a very limited space. This paper presents history and current research activities of the Ensphered Vision.

### 1. はじめに

バーチャルリアリティにおける映像呈示装置として、現在最もよく知られているのはゴーグル型のHMD(頭部搭載型ディスプレイ)である。最近ではアミューズメントを中心にHMDは本格的な実用化の時期にさしかかっており、バーチャルリアリティというとゴーグルを被ることを連想する人は多い。しかしながら、HMDの実用化が進むにつれて、様々な欠点が指摘されるようになってきた。典型的なものとしては、脱着が煩雑であることと複数の人が同時に使えないことがある。また、技術的には視野角の広い光学系を作ることが困難であることが問題である。通常HMDの提供する視野は最大でも水平視野角が120度程度である。

一方人間の目は水平で200度、垂直に120度程度の視野を持っており、特に左右両側の周辺視野が没入感に大きく影響することが知られている。HMDでこの視野角をカバーするのは困難がともなう。

最近ではこれとまったく異なる映像呈示装置として注目を集めているものに、大型のスクリーンで人間を覆う没入型ディスプレイがある<sup>1)</sup>。この方式はHMDより広い視野角が提供でき、複数の人間が同じ映像空間を共有できるといった利点がある。自動車のデザイン作業には没入型ディスプレイがすでに導入されており、開発期間を大幅に短縮したという事例が報告されている。

著者は従来より様々な没入型ディスプレイの構築方法の研究を進めてきた。本論文ではその経緯と最近の成果を紹介する。

<sup>†</sup> 筑波大学機能工学系

Institute of Engineering Mechanics and Systems, University of Tsukuba

## 2. 全方位映像呈示装置の技術課題

### 2.1 多面体スクリーンと球面スクリーン

映像が人間を覆う立体角が大きくなると、一般には複数のプロジェクタを使う多面体のスクリーンを構築することになる。最もよく知られた多面体型の没入型ディスプレイはイリノイ大学で開発された CAVE である<sup>2)</sup>。CAVE は正方形スクリーンを 4 枚使って立方体状の映像の部屋を作る。正方形スクリーンを 5 枚に拡張した CABIN や、さらに 6 面にした COSMOS も開発されている<sup>3)</sup>。

このような多面体スクリーンにおいては、スクリーンの間の継ぎ目をうまく合わせる必要が生じる。平面スクリーンを多面体状に組み合わせる場合、視点位置からのパースペクティブを各スクリーンに正確に描画しないと直線が折れ曲がって見えてしまう。そのため、多面体型ディスプレイは位置センサで観察者の頭部を追跡する。このことは複数の観察者には折れ曲がりのない映像を提供することはきわめて困難であることを意味する。この画像の折れ曲がり問題はビデオカメラで記録した映像を呈示する際に深刻な問題になる。CG を実時間で描画している分には観察者の視点位置に応じて最適な画を描けばよいが、すでに録画されたものからそれを行うのは困難がともなう。カメラの取得した画像にイメージベーストレンダリングを施し、視点位置に応じた描画を行えばこの問題は解決できるが、任意の動画に対して完全なイメージベーストレンダリングを行うのは、きわめて難しい。

人間を覆うスクリーンの形状としては、目から投影映像までの距離が一定な球形が理想的である。目からスクリーンまでの距離は頭を動かしてもなるべく一定であるのが望ましい。球面スクリーンに映像を投影する場合、曲率が連続であるためにこのような折れ曲がり問題は原理的に発生しない。歪補正を行っておけば、複数の観察者に破綻のない映像を提供することが可能である。

### 2.2 前面投射と背面投射

没入型ディスプレイを構築する際に実用上最も障害になる問題は、非常に大きな設置スペースが必要になることである。その主たる理由はスクリーンに背面投射を行うことにある。通常の前面投射を行った場合は、人がスクリーンに近づくと自分の体が投影光を遮るといった問題が出てくるため、スクリーンで観察者の周囲を覆うような構成には適さない。

この遮蔽問題を解決するために、スクリーンの背面から映像を投影することになり、その結果、大きなパツ

クヤードが必要になる。特に、上下の視野角を大きくとるようなスクリーン構成を実現するような場合には、2 階建ての吹き抜けのような空間が必要になり設置場所が限られる。

球面スクリーンとして最もよく知られているのは、プラネタリウムのような半球状のドームに映像を投影する装置であろう。最近では 1 人用の小型ドームが製品化されており、たとえば elumens 社は VISION-STATION という 1.5 m くらいのハーフドームを販売している。しかし、これらのドームは前面投射であるため、投影する半球内に人が入ると影を作ってしまう。したがって、必ず半球の外から見なければならず、原理的に  $2\pi$  以上の立体角で観察者を囲むことができなくなる。そのため劇場としては使えても、人間の周囲を覆い尽くす没入型ディスプレイとして用いるには限界がある。

## 3. 背面投射球面スクリーン

前述のように人間を覆うスクリーンの形状としては球形が理想的であるが、球面を使って没入型ディスプレイを実現するには大きな問題がある。スクリーンに囲まれた空間の中に入ってインタラクションを行うためには前述の遮蔽問題から、映像を背面投射しなければならない。そこで著者は球面スクリーンに背面投射を行う没入型ディスプレイの開発を行った<sup>4)</sup>。このスクリーンの設計を行ったのは 1994 年のことであったが、大きな問題があった。一般に市販されているプロジェクタでは球面の外から投射を行うのは困難がともなう。内側から投射する場合の調整機能を持ったものは多いが、その逆は限界がある。そこで、著者は単眼式のプロジェクタを使って焦点深度の範囲で逆曲率を持つスクリーンに投影することを試みた。単眼式であればスクリーンが曲がっていても色ずれは起きない。解像度の低いローコストの液晶プロジェクタは焦点深度が深いのでどんな曲面にも投影できるが、ワークステーションの高解像度の画像を表示できるものは焦点深度が薄いので、曲率があまり大きくできない。さらに悪いことに、ステレオ視ができるものは三管式のものばかりであるため、著者はすでに生産中止になった単眼式の高解像度プロジェクタ (ELECTROHOME 社の ECP Graphics) をオーバホールして使った。

試作したスクリーンは曲率 1400 mm の球面形状を持つ幅 2.5 m 高さ 1.3 m の大きさもので、中央で 2 分割して 2 台のプロジェクタでステレオ映像を投影するものである (図 1)。中央部に立つと左右 180 度、上下 90 度程度の視野角が得られる。これは周辺視野も

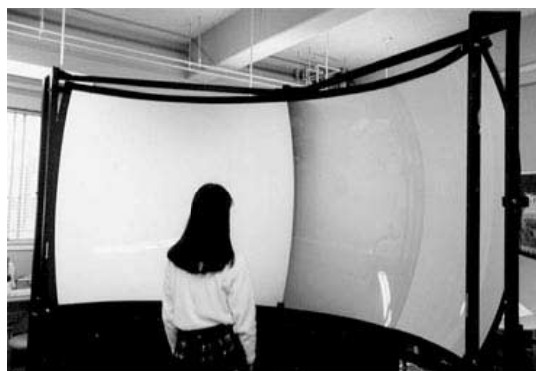


図1 背面投射球面スクリーン  
Fig. 1 Rear projection spherical screen.

含む人間のほとんどの視野をカバーする．球面に投影すると映像に歪みができるため，表示画像全体を球面にテクスチャマッピングする技法で補正している．あらかじめ球面歪みを与えておいて投影したときにもとにもどるようにするわけである．

#### 4. 菱形12面体を用いた全立体角ディスプレイ

前章で述べたように背面投射球面スクリーンは問題が多いため，全方位の没入型ディスプレイに拡張することは困難である．そこで，通常のスペックのプロジェクタとスクリーンを使って実装するという条件を付けると，球面をいくつかの平面多角形に分割しなければならなくなり，ディスプレイ全体は多面体の構成をとることになる．背面投射を行うときは2章で述べたようにバックヤードが必要になり，大きなスペースを占めることにある．したがって，設置容積に対して映像で囲まれるスペースが最大になるような設計を行う必要がある．多面体には数多くの種類が存在するが，どの多面体が全方位の没入型ディスプレイに最も適しているかを見いだすことが必要である．

最適形状を決定するために，著者はピクセル効率と容積効率という2つのクライテリアを設定している<sup>5)</sup>．まずピクセル効率とは，4:3のアスペクト比を持つディスプレイチャンネルのピクセルを各多角形がどのくらい有効に表示できるかという比率である．それを計算すると，多面体を構成する多角形の候補として正方形，菱形，6角形があがってくる．次に，これらの多角形にプロジェクタで映像を投影するために必要なバックヤードの容積を計算する．それをもとに容積効率，すなわち映像で囲まれる容積とバックヤードにとられる容積の比をとると最も効率の良い多面体が見つけれられる．実装上の現実性を考慮して面数を20未満とすると，最適解は菱形12面体になる．

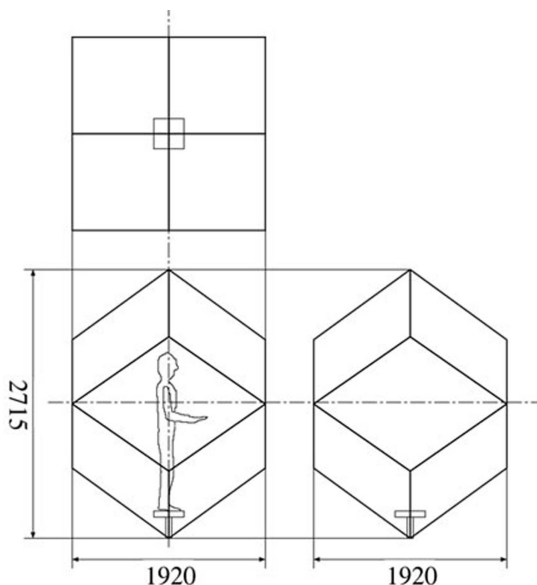


図2 菱形12面体ディスプレイの構造  
Fig. 2 Structure of the Garnet Vision.

CAVEを拡張した立方体スクリーンに比べると，この菱形12面体スクリーンはいくつかの長所を持っている．まず，最大の違いは容積効率であり，前述の容積効率の計算結果は1.7倍の値になっている．次にユーザから見た各頂点の角度がゆるいことである．頂角が鋭いと映像の連続性が損なわれる．立方体スクリーンの各頂角はユーザが中心に立った場合78度になるが，菱形12面体スクリーンの頂角は小さいところでも90度で大きいところだと120度である．

前述の結果に基づき，菱形12面体を用いた全立体角ディスプレイの試作を行った．図2はその3面図を示しており，図3は全景である．通常の部屋の設置できる条件から，スクリーン部の外寸は272cm(H) × 192cm(W) × 192cm(D)に設定している．この12面体は24本のアルミ合金製のフレームで構成され，各菱形スクリーンの対角線の長さは75インチである．このフレームにトレーシングペーパーをはりつけることによってスクリーンにしている．12基の液晶プロジェクタを各スクリーンの垂直方向に設置した．プロジェクタにはカシオのFV600を用いている．このプロジェクタの画素数は250,000で投射距離は90cmである．プロジェクタの架台まで含めたシステム全体の外寸は270cm(H) × 260cm(W) × 260cm(D)である．このディスプレイのユーザは12面体の中に入り，40cm四方の透明アクリルボードの上に立つ．表示画像は1台のSGIのワークステーションのCRT上に，12個のビューポートに分割されて表示される．各ウィ

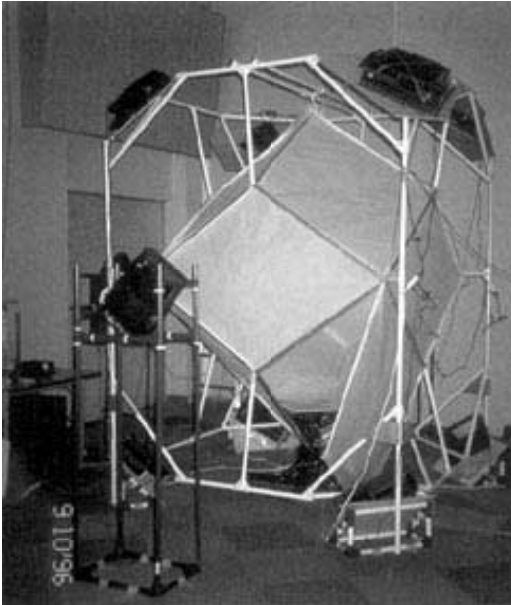


図3 菱形12面体ディスプレイの外観  
Fig. 3 Overall view of the Garnet Vision.

ンドウはビデオカメラで撮影することにより NTSC 変換され、プロジェクタに供給される。各スクリーンの解像度を NTSC に限定すればこのようにきわめて簡単なシステム構成にすることができる。本システムは 1996 年に開発されており、すべての方向を映像で覆ったディスプレイとしては世界初のはずである。

### 5. Ensphered Vision の基本原理

菱形 12 面体スクリーンは多面体であるため、前述の画像の折れ曲がり問題が発生する。著者は 12 面体の法線方向に 12 台のカメラを取り付け、12 チャンネルの映像を取得し再生する装置を開発したが、呈示された映像は不自然なものであった。そこで、著者は 2 章で述べたような没入ディスプレイの諸問題をすべて解決する方法として、Ensphered Vision と名づけた凸面鏡を用いて球面スクリーンに投影方式を開発した。この方式の本質は前面投射を用いながらも観察者の体による映像の遮蔽問題が発生しないことである。

Ensphered Vision の基本構成は以下のような考察に基づいて考案された。まず理論的な最適状態を求めるため、すべての方向に投影光が送り出されるような投影装置を仮定する。制約条件としては、光は直進しかできないので、投影装置は必ず球の内側になければならない。むろん人も球の内部にいないなければならない。このとき、投影装置はすべての方向に光を出すので、必ず人の影が球のどこかに映る。そして、人から見た

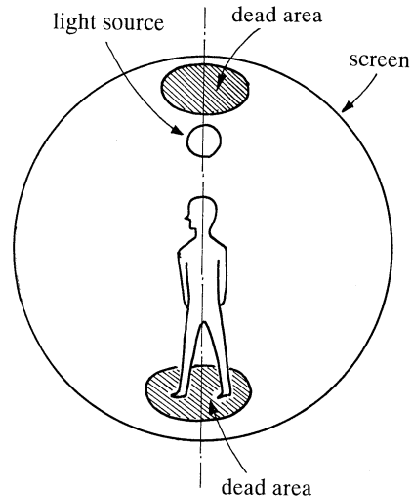


図4 理想的な光源配置  
Fig. 4 Ideal position of the light source.

場合、投影装置の反対側にある映像は見る事ができない。すなわち、人間と投影装置の作る死角の部分は原理的に映像を映すことができないことになる。したがって、これら 2 つの死角をいかに小さくし、さらに応用上損失の少ない位置にもっていくかが設計のポイントになる。まず、人間の作る影の面積が最も小さくなるのは光源が真上にあるときである。そして、投影装置の作る死角を小さくするためには、人から見たときの装置の立体角を極力小さくすることである。以上の考察から得られる、最適な投影装置と人の配置は図 4 のようになる。人間が外界を観察する場合に最もよく使う運動は首を左右にふったり、体を回転させたりすることである。図 4 の構成はこの運動に対して視野を完全に覆うことができる。頭の直上と足元直下のシーンを見ることはあまり多くはないであろう。図 4 の構成において上を見たいときには、立ち位置を少し前にずらして見上げれば上方の映像を見ることができる。足元直下の映像は映すことができないが、どうしてもそれが必要なときは、背面投射の床映像を別途作ればよいだろう。

### 6. 凸面鏡を用いた投影装置

前章では投影装置がすべての方向に光を出していることを前提にしたが、図 4 の構成を実装するためには図中の球面スクリーン全面に映像を投影することができる光学系が必要になる。魚眼レンズを用いて光を拡散させるのは立体角で  $2\pi$  程度であり、図 4 のような  $4\pi$  に近い立体角をカバーするレンズを作るのは事

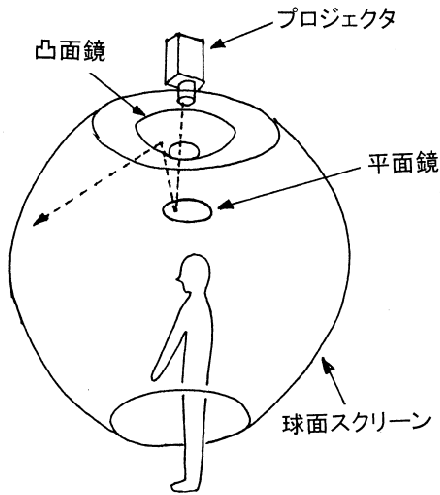


図5 Ensphered Visionの原理  
Fig. 5 Principle of the Ensphered Vision.

実上不可能である。レンズは収差があるので大きな立体角をカバーする拡散系は構造上無理がある。そこで Ensphered Vision では凸面鏡を用いてプロジェクタの光を拡散させるという方式を用いた。プロジェクタからの投射光が本来のスクリーンに結像する直前に球面凸面鏡を置くと、 $4\pi$ に近い非常に大きな立体角に光を拡散させることができる。

この凸面鏡に直接投射するとプロジェクタと凸面鏡の組合せが大きなスペースを占めてしまう。そこで、Ensphered Vision では鏡をもう1枚使って投射光を途中で折りたたみ、プロジェクタを反対側にもっていくことを行った。このような反射鏡の組合せによって、観察者の邪魔にならない位置に全周投影装置を配置することが可能になる。図5はこの原理を表した略図である。凸面鏡の中央に穴を空けプロジェクタの投射光を通し、円形の平面鏡で反射させた後で凸面鏡に当て、球面スクリーン全周に向かって拡散される。この構成ならば、図4に示したものにほぼ等しいディスプレイが実現できる。また、この構成はプロジェクタを1系統しか使わないので投影される映像は継ぎ目がまったくないという利点がある。

ただし、この場合の凸面鏡は球面でなければならない。もしそうでないとすると、プロジェクタから出た光がサジタル面と子午線面（直交する2つの面）で同時に交点を持つことができなくなり、スクリーン上で結像できなくなってしまう。拡散系ではこの結像条件を満たすように設計することが重要である。撮像系は鏡に写るものは何でも撮り込むことができるが、投影するときはそれと同じわけにはいかない。

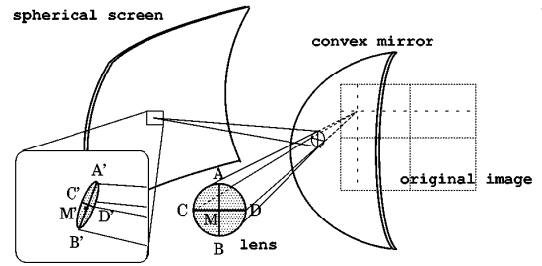


図6 結像シミュレーションの光線追跡  
Fig. 6 Ray tracing for focusing simulation.



図7 試作 Ensphered Vision の概観  
Fig. 7 Prototype Ensphered Vision.

このように、凸面鏡の曲率や平面鏡との位置関係等は、スクリーンの形状に合わせて厳密に設計する必要がある。それを行うために著者は光線追跡を行うシミュレーションプログラムを開発した<sup>6)</sup>。図6はプロジェクタのレンズを出た光がスクリーン上に結像する様子を示したものである。理想的にはスクリーン上で点になるのが望ましいが凸面鏡の拡散によって若干ひしゃげた形になる。これが各ピクセルのボケと歪みになるので、極力これが点に近くなるように反射鏡の曲率や設置位置を選ぶ必要がある。

レンズ等の光学機器は一般に高価であるが、球面鏡はプラスチックにアルミを蒸着したものがきわめて低コストで製造でき、その性能も使用に耐えるものが手に入る。また、プロジェクタも市販のものがそのまま使えるため、Ensphered Vision は低コストで没入型ディスプレイのソリューションが提供できる。

図7は試作機の概観である。これは、撮影のために球面スクリーンの一部をはずして内部が見えるようにしたもので、2つの反射鏡が観察者の上方に置かれているのが分かる。このディスプレイは水平に360度、上方に60度、下方に70度の視野を提供する。本システムではSXGA(1280×1024)の解像度を持つプロ

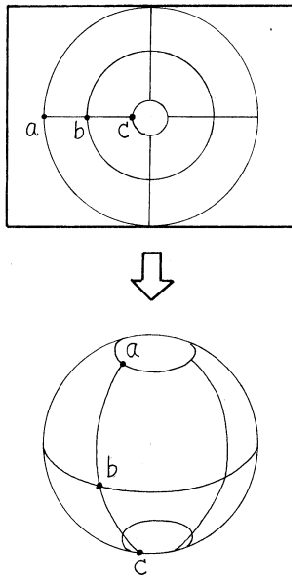


図 8 歪み補正

Fig. 8 Distortion correction.

ジェクタを用いているが、スクリーンの経線上の画素数は 410 pixel で赤道には 1970 pixel という解像度特性になる。また、図 6 に示した結像精度は、十字線の長さの平均が最も短くなるように各パラメータを設定した結果、その長さは 5.4 mm であった。

## 7. 球面歪みの補正

球面スクリーンに映像を投影した場合、プロジェクタの元の画像には歪みが発生する。そこで、投影する画像にあらかじめ歪みを与えておき、スクリーンに投影したときに観察者から見て歪みのないようにする必要がある。図 5 の投影装置では、プロジェクタの矩形映像のうち、図 8 に示すようなドーナツ状の円形領域が実際にスクリーンの上に現れる。図 8 の外側の円が球面スクリーンの上端に対応し、内側の円が下端に対応する。投影する画像を CG で作る場合には、まず観察者が球面スクリーン中央から見るべきシーンをレンダリングする。できた画像をテクスチャマッピングによって球面にはりつけると、図 8 に示すような歪みが与えられる。この処理を実時間で行うアルゴリズムは、筆者が背面投射球面ディスプレイの開発を行ったときのものとほぼ同じである<sup>4),6)</sup>。

実写画像を投影する場合には、凸面鏡に写った画をカメラで撮影すれば上記の歪み補正と同じ効果が得られる。前述のような全周球面スクリーンに投影する実写画像を得るためには、楕円体の形をした凸面鏡の下にカメラを置くと、歪みの与えられた全周映像が取得



図 9 全方位カメラヘッド

Fig. 9 Omni-directional camera head.

できる(図 9)。楕円体の焦点の位置を適切に選ぶと、前述の球面ディスプレイの中心から見たときに歪みのない映像が投影される。しかし、非球面の凸面鏡は一般に製造が難しいので、球面凸面鏡に全周映像を写して撮影し、投影するときにテクスチャマッピングを用いたデジタル処理を加え調整を行う方が実用的である。

## 8. 小型 Ensphered Vision

### 8.1 着座型 Ensphered Vision

Ensphered Vision は球の中心部を観察者のためのスペースとして提供できるので、非常に小型(たとえば直径 1 m 程度以下)の球面スクリーンが構築できる。

着座状態で見る場合は頭の真後ろの映像は必ずしも必要なく、上下方向の寸法も抑えられるので、装置全体が小型になる。著者が試作したものはスクリーンの直径が 1.3 m で、視野角が上下に 100 度、左右に 220 度のものである<sup>7)</sup>。図 10 はこの装置の投影系の構成を、図 11 は装置の外観を示している。このスクリーンは音の反射問題を解決するために布で作っている。この試作ディスプレイは SIGGRAPH 99 でデモを行った。このような実装形態は一般家庭における個人用の未来型テレビとして利用可能であろう。

### 8.2 ウェアラブルドーム

究極の小型没入ディスプレイとして、ウェアラブルなドームを開発した。これは球面スクリーンと投影装置をすべて装着するものである。図 12 は試作ディス

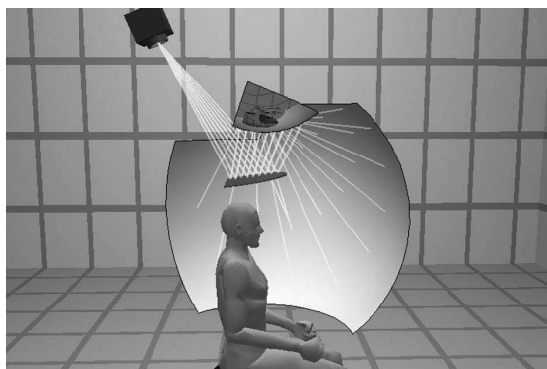


図 10 着座型 Ensphered Vision の構造

Fig. 10 Structure of the cockpit-type Ensphered Vision.



図 12 ウェアラブルドームの構造

Fig. 12 Structure of the wearable dome.



図 11 着座型 Ensphered Vision の外観

Fig. 11 Overall view of the cockpit-type Ensphered Vision.

プレイの構造を，図 13 は装着者の外観を示している。

この装置では半径 280 mm のスクリーンに曲率半径 165 mm の凸面鏡を用いて拡散投影している．現状では装置全体の重量は 12 kg であり，やや重めのバックパックを背負って歩くような状態になる．ウェアラブルにすることのメリットは映像を見ながら歩くことが自由にできることである．著者の研究室では VR 空間における歩行感覚を呈示するための様々な装置を開発してきたが，そのような装置における視覚情報呈示装

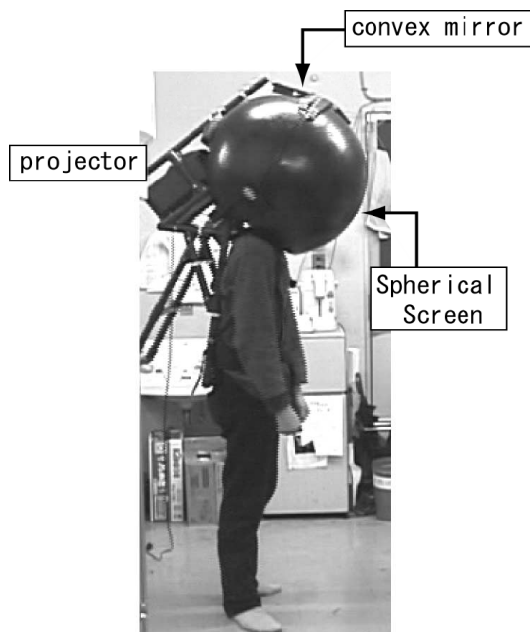


図 13 装着者

Fig. 13 Viewer of the wearable dome.

置としては従来 HMD を用いてきた．しかし，HMD の視野角は限られているため，歩行移動の際に不都合が多かった．本装置は装着者の視野すべてを映像で覆うために高い没入感があるとともに，歩行の際の周辺状況が把握しやすくなる．さらにこのディスプレイと飛行船に付けた全方位映像撮影装置を組み合わせると，メディアアート作品 “Floatig Eye” の製作も行った（図 14）．飛行船に付けた撮影装置は球面鏡に写った風景をトランスミッタ付きのビデオカメラで撮るものである．ディスプレイ装着者は飛行船から見下ろした広視野映像を見ることができる．このシステムによって目だけが体から分離して空中を浮かぶという体験が



図 14 “Floating Eye”の全景

Fig. 14 Overall view of the “Floating Eye”.

可能になる。

## 9. 今後の課題

球面ディスプレイを実際に行った結果問題になったのは、球殻内部の光と音の反射である。全周型の場合における固有の問題として、球面の内側に当たった光がバウンドして反対側の球面に集まってしまう。その結果画像の一部に明るい部分があると全体が白っぽくなり、コントラストが低下する。この現象の対策として図 8 の全周球面ディスプレイではスクリーンゲインを 0.47 に抑えている。ゲインが低すぎても画質が低下するので、コントラストを確保するためには微妙なチューニングが必要である。光の反射と同じ原理で音が反射するのも大きな問題である。自分が話した声が周りじゅうからはね返ってくるため耳が痛くなってしまう。スクリーンを多孔質の材料で作って、音が外に抜けるような工夫が必要である。

また、別の課題として表示映像のステレオ化がある。本方式では単眼式プロジェクタでなければならないため、バーチャルリアリティのシステムでよく用いられる時分割式にステレオ映像表示を行う三管式のものに適さない。現在市販されている単眼式プロジェクタは時分割式ステレオ視に対応する仕様のものがないので、2 台のプロジェクタを用いて、偏光を行うか、機械式のシャッターで時分割を行うかのいずれかになる。偏光の場合は凸面鏡で反射させるので円偏光フィルタを用いなければならない。また、本方式はシームレスな全周映像を作ることを主たる目標にしているため、解像度の点で不利になり、人間の平均的な視力に対して遠

く及ばないという限界がある。プロジェクタの解像度が高ければこの問題は解決するが、現実問題としては十分な解像度を持つものはない。したがって、次善の策として球面スクリーンをいくつかの領域に分けて複数のプロジェクタで投影するということが考えられる。

これまでに述べてきたように Ensphered Vision には解決すべき問題が多いが、きわめて限られた空間において低コストで没入型ディスプレイが実現できるという利点は、この技術が広く普及するポテンシャルを持っていると考えられる。

## 参考文献

- 1) 澤田一哉：多様化する高臨場感没入型視覚ディスプレイ，映像情報メディア学会誌，Vol.53, No.7 (1999).
- 2) Cruz-Neira, C., et. al.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality, *Proc. SIGGRAPH '93* (1993).
- 3) 廣瀬通孝：CABIN システム，映情学誌，Vol.52, No.7 (1998).
- 4) 岩田洋夫，橋本 渉：背面投射球面ディスプレイ，*Human Interface N&R*, Vol.12, No.2 (1997).
- 5) 岩田洋夫：菱形 12 面体を用いた全立体角ディスプレイ，日本バーチャルリアリティ大会論文集，Vol.1 (1996).
- 6) 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 (1999).
- 7) Iwata, H.: Ensphered Vision, *SIGGRAPH '99 Conference Abstracts and Applications* (1999).

(平成 13 年 5 月 8 日受付)

(平成 13 年 9 月 12 日採録)

(担当編集委員 八木 康史)



岩田 洋夫 (正会員)

昭和 32 年生。昭和 61 年東京大学大学院工学系研究科修了。同年筑波大学構造工学系助手。現在同大学機能工学系助教授。人工現実感、特にハプティックインタフェースの研究に従事。工学博士。平成 10 年東京テクノフォーラム 21 ゴールドメダル賞。日本バーチャルリアリティ学会、ヒューマンインタフェース学会会員。