

## 超臨場感ビジュアライゼーションシステム

長原 一† 八木 康史†† 谷内田 正彦†

ヴァーチャルリアリティやマルチメディアなどの応用において、高臨場感を与える刺激呈示が必要とされる。高臨場感とは、現実との差異が人間にとって小さいことを意味し、高い臨場感とは人間の感性を励起したり、スムーズなコミュニケーションにおいても重要な要素である。高い臨場感を与える要素として、高解像度や広視野角など挙げられるが、これらの要素は一般的にセンサやディスプレイハードウェアにより制限される。本論文では、環境モデルの解像度を向上させる超解像度モデリングと広い視野角提示を実現する超広視野角ヘッドマウントディスプレイについて述べる。これらにより、従来の仮想環境呈示においてボトルネックとなっていたモデル解像度やディスプレイ視野角の制限を解消し、臨場感の向上を図ることができる。

## Visualization System with Super Reality

HAJIME NAGAHARA,<sup>†</sup> YASUSHI YAGI<sup>††</sup> and MASAHICO YACHIDA<sup>†</sup>

Many applications in virtual reality and multimedia require to show a realistic virtual environment. A high-resolution and wide field of view are some factors of the reality. However, the factors are usually restricted by limitations of sensor and display hardware. We proposed two techniques; super-resolution modeling and wide field of view catadioptrical head mount display to enhance a reality for such applications. Super-resolution modeling improves a resolution of a model which constructs the virtual view. The wide field of view HMD realizes 180-degree field of view horizontally including human peripheral vision. These methods and new device improve the reality of visualization system for virtual reality applications to overcome the previous limitation of the hardware.

### 1. はじめに

従来より多くのヴァーチャルリアリティやマルチメディアなどの応用において実環境からモデルを構築し、モデルベースレンダリング(MBR)により仮想視点映像を呈示することが行われている。一度、実環境をモデル化してしまえば、自由な視点映像や仮想環境・物体と実環境の融合が容易に可能になる。このような応用において、高臨場感を与える刺激呈示が必要とされる。高臨場感とは、現実との差異が人間にとって小さいことを意味し、高い臨場感とは人間の感性を励起したり、スムーズなコミュニケーションにおいても重要な要素である。高い臨場感を与える要素として、高解像度や広視野角など挙げられるが、これらの要素は一般的にセンサやディスプレイハードウェアにより制限される。

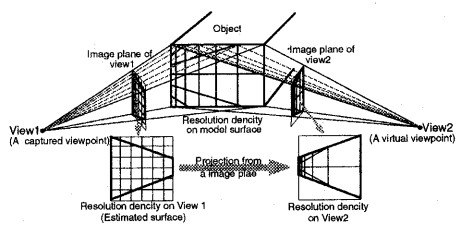
実画像から得られたモデルの解像度は、当然ながら

撮像センサの解像度により制限される。そのため、例えばモデルに接近した視点などテクスチャが撮像時より拡大表示される場合を考えると、すべての視点で必ずしも十分な解像度が得られるとは言い難く、呈示画像の解像度を考慮すると逆に視点の自由度が制限される。また、当然ながら解像度は臨場感に直接影響を与えるため、モデルの解像度はできるだけ高いことが一般的に望まれる。一方、呈示ハードウェアを考えた場合、ヘッドマウントディスプレイがよく用いられるが、市販されているHMDの視野角は大きいもので水平約60度と人の視野角約200度に対して遠く及ばない。人の大きな視野に含まれる周辺視野領域は、人の姿勢制御や没入感に大きな影響を与えることが一般的に知られており、臨場感に大きな影響を与えるものとする。

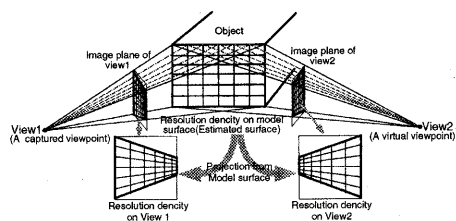
そこで、本論文では、環境モデルの解像度を向上させる超解像モデリングと広い視野角呈示を実現する屈折反射光学系を用いた超広視野角ヘッドマウントディスプレイについて述べる。超解像モデリングは、超解像の原理によりテクスチャモデルの解像度を撮像画像列から推定し、センサ解像度を越える高解像度を実現する手法である。また、特徴として画像空間ではなく、モデル空間で解像度を向上させるため、MBRのための解像度向上手法として適している。一方、超広視野

† 大阪大学基礎工学研究科  
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

†† 大阪大学産業科学研究所  
The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University



(a) Super-resolution imaging



(b) Super-resolution Modeling

図1 超解像イメージングと超解像モデリングにおける仮想視点での解像度分布

Fig.1 Resolution density of virtual image with SR imaging and SR Modeling

角ヘッドマウントディスプレイは、我々が提案する屈折反射光学系により、周辺視野を含む人の視野角をほぼ網羅する水平 180 度、垂直 60 度の広視野角の呈示を可能とする。これらにより、従来の仮想環境呈示においてボトルネックとなっていたモデル解像度やディスプレイ視野角の制限を解消し、臨場感の向上を図ることができる。

## 2. 超解像モデリング

従来より、実画像を用いて三次元環境を復元または近似的にモデリングし、仮想視点画像を提示しようとする試みがある。このアプローチは、任意の視点での視野が忠実に生成でき、さらに画像を三次元モデルから構築するため、少ないデータで広域の再現が可能などの特徴を持つ。実画像から得られたモデルの解像度は、当然ながら撮像センサの解像度により制限される。モデルに接近した視点などテクスチャが撮像時より拡大表示される場合を考えると、すべての視点で必ずしも十分な解像度が得られるとは言い難い。このようなことから、実画像によるモデリングでは、可能な限りの高い解像度のモデルを得ることが望まれる。

従来より、低解像度の複数の画像を用いてセンサの解像度を越える高解像度画像を推定する超解像手法が

数々提案されている<sup>1)~3)</sup>。本研究においても複数画像を用いてテクスチャモデルの解像度を向上する。従来の超解像手法のほとんどは、撮像画像の解像度を向上するもので、対象のテクスチャモデルそのものを推定するものではなかった。これを我々は、超解像イメージングと呼ぶ。超解像イメージングでは、任意の一視点画像を基準に解像度を推定するため、自由な複数仮想視点への変換を考えた場合、変換される画像によっては著しく偏った解像度分布となり MBR に向いていない。本研究では、MBR のように自由な仮想視点へ変換される事を考慮して、モデル平面で高解像度画像を復元する超解像モデリングを提案する。この概念により、モデル空間で均一な解像度分布を得ることができる。

また、超解像モデリングの概念を用いた超解像モデリングシステムを構築し、評価を行った。提案するシステムは、移動を伴う全方位画像列情報より環境の三次元幾何情報を復元する。また、この画像列と幾何情報を用いることで、高解像度のテクスチャモデル推定することにより、センサ解像度を越える高解像度モデルを得ることができる。

### 2.1 超解像イメージングと超解像モデリング

図1に超解像イメージングと超解像モデリングの概念と仮想視点画像の解像度分布を示す。超解像イメージングは、一般的に撮像された画像列中の任意の画像空間において高解像度画像を推定する。たとえば、図1-aのView1視点の画像において高解像度画像を推定する場合、各撮像画像とView1画像間のホモグラフィを計算し、画像列情報を統合して高解像度画像を得る。この方法では、超解像に対象の3次元幾何情報が必要ない。しかしながら、仮想視点View2の画像は、View1視点の高解像度画像から変換されるため、View2では著しく解像度の偏った画像が得られる。すなわち、自由視点画像変換を前提とするMBRには不向きであるといえる。

一方、超解像モデリングでは、図1-bに示すように、対象のモデル平面において高解像度テクスチャを推定する。具体的には、事前に得られた3次元幾何モデルとカメラ視点位置より、各撮像画像と対象平面との射影行列を計算する。計算された射影行列をもとに、撮像画像列情報を超解像手法により統合することで、対象のモデル平面の高解像度テクスチャを推定する。この超解像モデリングにおいては、各モデル平面上で均一化するように高解像度テクスチャが推定されるため、図1-bの様にView1,View2の仮想視点画像を生成した場合、超解像イメージングの様に推定画像視点に依存した不均一な解像度分布を生じない。したがって、MBRに適した超解像手法であるといえる。

### 2.2 全方位視覚センサを用いた超解像モデリングシステム

実際に全方位視覚センサHyperOmni Vision<sup>4)</sup>によ

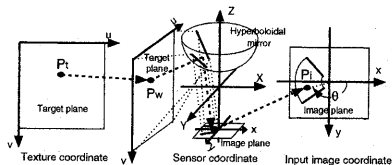


図2 全方位視覚センサの射影

Fig.2 Projection of omnidirectional image sensor

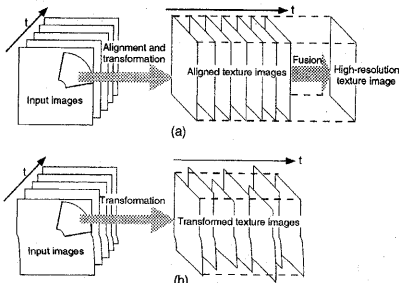


図3 テクスチャ画像の位置合わせ

Fig.3 Alignment of texture images

り撮像された入力画像列を対象とした超解像モデリングシステムを構築し、モデル解像度の向上を図った。この全方位視覚センサは、周囲360度を同時観測できることや透視射影の特徴を持つ。その広視野によりセンサ全周のランドマークを発見・トラッキングできるため、安定に幾何モデルおよびセンサ位置の推定を行うことができる。しかしながら、その解像度の低さが従来問題とされてきた。そこで、超解像モデリングの概念を用いることにより、低解像度問題を改善する。

まず、入力全方位画像列より、環境の幾何モデルとセンサ位置を推定する。本システムでは、浜田らにより提案された全方位視覚センサによるモデリング手法<sup>5)</sup>を用いた。図2に全方位視覚センサ HyperOmni Vision の射影関係を示す。ここで、センサ座標系におけるテクスチャの点  $P_w(X, Y, Z)$  は、式1-3の示す様に一意に画像上の点  $P_i(x, y)$  に射影される。式中の  $a, b, c$  は  $(X^2 + Y^2)/a^2 - Z^2/b^2 = -1$ 、 $c = (a^2 + b^2)^{1/2}$  で表される双曲面のパラメータである。各センサ位置と幾何モデルが求めれば、全方位センサの射影関係から各撮像画像列中のテクスチャ情報をモデル平面に射影することができる。

実際には、図3-bに示すように、幾何モデル推定の誤差により、テクスチャの位置が各撮像フレーム間で正確に合っているわけではない。高解像度テクスチャを撮像画像列から推定するためには、図3-aに示すようにテクスチャの正確な位置合わせを行って、この誤差を補正する必要がある。そのため、本手法では、テンプレートマッチングにより位置合わせを行った。しかしながら、テクスチャの解像度は、センサと対象物体



図4 実験環境

Fig.4 An experimental environment

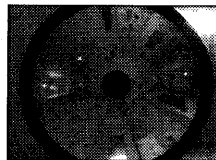


図5 入力画像

Fig.5 An Example of input images

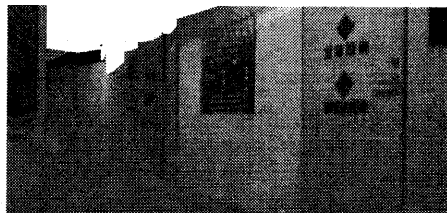


図6 3次元モデルからの仮想視点画像

Fig.6 Virtual view image from result 3D model

の位置の関係により撮像フレームごとに著しく異なる。また、全方位視覚センサはその特殊な射影特性により撮像画像の部分により解像度が異なる。そのため、この解像度の違いにより単純にテンプレートマッチングを行うことができない。本手法では、図2による射影関係から、解像度分布を表す解像度重みテーブルを製作し、これを重みとしてもちいてマッチングを行った。

また、各対象平面はカメラ移動により様々な距離で撮像したことになる。そこで、解像度重みテーブルを比較することで、異なる奥行きで観測された各面のテクスチャ情報から最適な画素を超解像に用いる情報として選択し登録を行う。そして登録された画素情報をもとにバックプロジェクション法<sup>2)</sup>により個々の高解像度テクスチャを推定する。一般的にバックプロジェクションにおいて、前述の様に撮像画像面の一つが推定高解像度画像面として用いられる。それに対して、本手法では超解像モデリングの概念より、対象物体平面を推定画像面として用いることで、MBRに適したモデル空間において均一な高解像画像を得ることができる。

本システム及び処理手法について、詳しくは文献<sup>6)</sup>を参照されたい。

$$\tan \theta = \frac{Y}{X} = \frac{y}{x} \quad (1)$$

$$x = Xf \frac{b^2 - c^2}{(b^2 + c^2)Z - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \quad (2)$$

$$y = Yf \frac{b^2 - c^2}{(b^2 + c^2)Z - 2bc\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} \quad (3)$$

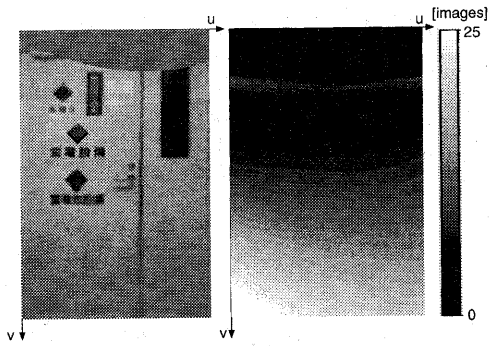


図 7 高解像度テクスチャと推定に用いた画像枚数  
 Fig. 7 A result of high-resolution texture and the number of images for resolution improvement (Left: High-resolution texture with proposed method, right: the number of registered images for resolution improvement)

### 2.3 超解像モデリングシステムの評価

移動ロボット (Nomad200/Nomadic Technologies Inc.) 上に双曲面鏡とビデオカメラ (EVI-310/Sony) で構成される全方位画像センサを搭載したシステムを用いて実験を行った。対象環境は図 4 に示すような、建物内の垂直平面の壁に囲まれた廊下とした。ロボットを廊下沿いに移動させながら撮像した 350 枚 (720 × 486pixel) の多視点画像 (図 5) を入力画像列として用いた。図 6 に結果として得られたモデルから MBR により生成される仮想視点画像を例として示した。また、図 7 に入力画像列中 25 枚の入力画像を用いて本手法により高解像度化したテクスチャ領域の例を、図 8 比較として 1 枚の画像から変換したテクスチャ画像を示す。図 8 右図と同一視角度範囲であるが、図 7 の方が解像度が高く、本手法による高解像度化の効果が確認できる。また、図 7 の右図は高解像度化に用いられた画像枚数を示しており、テクスチャ画像下部のように全方位視覚センサの特性から低解像度である部分は多い入力画像枚数が用いられ、高解像度部分は少ない枚数が用いられている。この様に解像度重みテーブルにより、解像度に応じて情報量が一定になるように画像枚数が選択されていることが分かる。また、対象の近くで撮像された図 8 左図は画像列中で、一番高い解像度を持っているが、視野角が一番小さい。解像度差が分かりやすいように、図 9 に図 7、図 8 の結果の一部を拡大した結果を示す。図 9-a と b を比較すると、提案手法の結果である図 9-a の方が、入力画像中で一番高い解像度のテクスチャ画像 (図 9-b) より解像度が高い。すなわち、超解像により入力画像列中で最大の視野を保ちながら、最大の解像度の入力画像よりも解像度が向上しており、本手法の有効性を確認した。

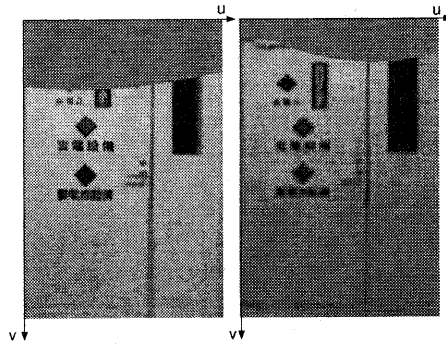
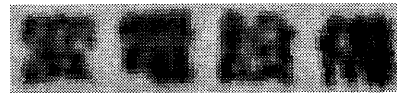


図 8 単一画像から変換されたテクスチャ画像  
 Fig. 8 Texture images transformed from a single image (Left: nearest frame, right: farthest frame)



(a) Proposed method



(b) Single input texture from nearest frame



(c) Single input texture from farthest frame

図 9 テクスチャの拡大拡画像  
 Fig. 9 Magnified image in part of texture

### 3. 超広視野角ヘッドマウントディスプレイ

視覚情報の一呈示方法としてはヘッドマウントディスプレイ (HMD) が利用されることが少なくない。HMD は両眼視差による立体視や頭部運動追従など多くの利点を持っているが、人間の視野角は水平約 200 度であるのに対し、その視野角は一般的に狭い<sup>7)</sup>。そのため、人の周辺視の範囲をカバーしていないため、人に与える臨場感が低いという問題を持っている。周辺視の機

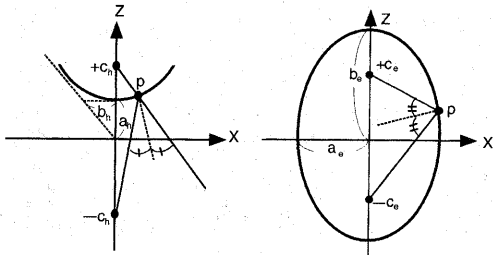


図 10 双曲面と楕円面の特徴

Fig. 10 Characteristics of hyperboloid and ellipsoid

能はこれまでも、人の姿勢制御や空間定位などに大きな影響を与えることが知られている。そのため、従来にも広視野角化を狙った、HMD がいくつか提案されている。奈良は LCD パネル四枚を片眼 100 度、両眼 140 度の水平画角<sup>8)</sup>を、遠藤らは再帰性反射幕を用いて片眼 89 度、両眼 120 度を実現している<sup>9)</sup>。稲見らは、片眼で最大 110 度の水平視野角を球面鏡を利用したマクスウェル光学系を用いて可能とした<sup>10)</sup>。しかし、従来の広視野角化において水平視野角は 140 度程度であり、人間の視野角からすると不十分であると考える。

一般的な HMD の広視野角化の困難として、視野角を拡大するに伴い、収差低減のため光学系が複雑になるという問題が考えられる。複雑な光学系は重量の増大を招き、また幾何学的ひずみの完全な補正を困難にする。さらに、接眼レンズ系をもつ光学系はそのレンズ口径が視野角を制限している。我々は、楕円面と双曲面のミラーを組み合わせた屈折反射光学系を用いることで、周辺視野をカバーすることのできる広視野角ヘッドマウントディスプレイを試作した。この光学系により、両眼で水平 180 度、垂直 60 度の広視野角を無ひずみでの呈示を可能とする<sup>11)</sup>。

### 3.1 広視野角 HMD の構造

提案する HMD では、楕円面鏡と双曲面鏡を用いている。一般に、楕円面および双曲面はそれぞれ 4-5 式で表され、図 10 に示すように、それぞれ 2 つの焦点  $Fe_p(0, 0, c_e)$ ,  $Fe_m(0, 0, -c_e)$  および  $Fh_p(0, 0, c_h)$ ,  $Fh_m(0, 0, -c_h)$  を持つ。

$$\frac{X^2 + Y^2}{a_e^2} + \frac{Z^2}{b_e^2} = 1 \quad (4)$$

$$\frac{X^2 + Y^2}{a_h^2} - \frac{Z^2}{b_h^2} = -1 \quad (5)$$

$$b_e^2 - a_e^2 = c_e^2, \quad a_h^2 + b_h^2 = c_h^2$$

図 10 に示すように、双曲面上の点 P での法線ベクトルは、両焦点と点 P ベクトル  $\vec{Fh_pP}$  と  $\vec{PFh_m}$  がなす角を等分する。同様に楕円面においても、点 P での法線ベクトルは、両焦点と点 P ベクトル  $\vec{Fe_pP}$  と  $\vec{PF_e_m}$  がなす角を等分する。すなわち、曲面を鏡

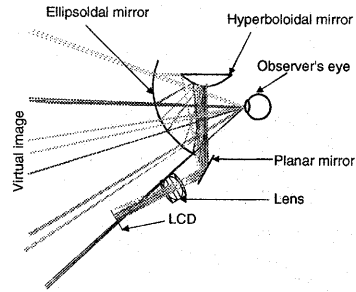


図 11 HMD ユニットの光学系

Fig. 11 Optics of the HMD unit

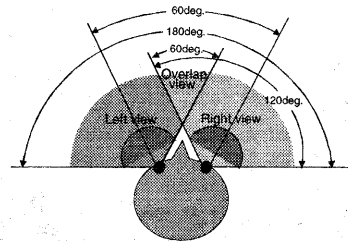


図 12 両眼配置と水平解像度

Fig. 12 Binocular alignment and horizontal field of view

面に、直線を光線に置き換えた場合、一方の焦点から出射した光線は他方の焦点を通る直線として反射されることとなる。この特徴より、光線を広角に投影または集光することが単純な光学系で実現できる。提案する広視野角 HMD の光学系の基本的なアイデアは、双曲面の焦点  $Fh_p$  と  $Fe_m$  を重ね合わせて配置することである。この構造により、双曲面の他方の焦点  $Fh_m$  から出射される小さな画角の光を、楕円面の他方の焦点  $Fe_p$  に広視野角の光線として入射させることができる。この双曲面と楕円面の幾何学的な関係により容易に逆変換画像を作成することができ、これを入力画像に用いることで、光学的に完全に補正された無ひずみでシームレスな画像を装着者に呈示することが可能である。

図 11 に実際に試作した広視野角 HMD の構造を示す。この側面図から分かるように、試作した HMD は LCD、レンズ、平面鏡、双曲面鏡、楕円面鏡により構成される。レンズは双曲面鏡の一方の焦点に置かれており、LCD から出光した光は、レンズを通り双曲面鏡に反射される。装着者の顔と HMD の干渉を避けるため、レンズと双曲面鏡の間に平面鏡を配置して光束を折り曲げている。双曲面鏡からの反射光は、前述の双曲面の特性により双曲面鏡側の焦点から全方位に出射する形となる。そして双曲面鏡の焦点と楕円面鏡の焦点とを一致させることで、双曲面鏡からの反射光は楕円面鏡に反射し、楕円面鏡のもう一方の焦点に向かって入射する。なお、楕円面鏡の焦点は、双曲面鏡によ

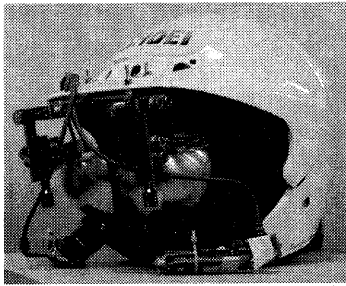


図 13 プロトタイプ HMD  
Fig. 13 Prototype HMD

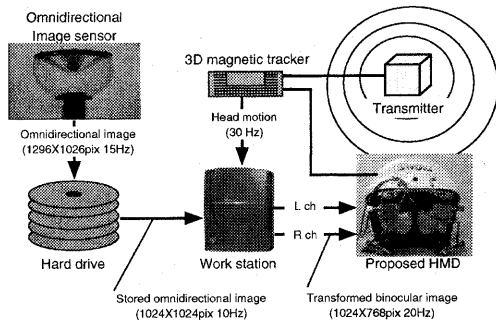


図 14 実験システム  
Fig. 14 Experimental system

り像の観測を妨げられないように水平より 50 度傾けて配置されている。他方の楕円面鏡の焦点に、HMD 装着者の瞳が位置すれば、楕円面鏡からの光が瞳に入射し虚像を観測することができる。この構造により、単純な光学系ながら単眼水平 120 度、垂直 60 度の広視野角画像呈示を行うことができる。図 12 に左右眼 HMD ユニットと装着者の位置関係を示す。図 12 のように両眼 HMD ユニットの鉛直軸周りに 60 度回転して設置することにより、両眼に対して視差映像を呈示可能なオーバーラップ領域が 60 度、周辺視野も含めた両眼水平視野角約 180 度の広視野角画像呈示を行うことができる。

### 3.2 試作 HMD システム

図 13 に今回試作した HMD の外観を示す。本 HMD は観測瞳位置を HMD 楕円鏡面の焦点に合わせる必要がある。したがって、眼間距離など個人差を考慮して HMD 位置を被験者に対して調整する必要がある。そのため、図 13 のように、HMD ユニットの片眼 3 軸合計 6 軸の 19[mm] の調整可能な治具によりヘルメットに固定されている。HMD ユニットに用いた HMD は、LCD(0.5 inch, 1024 × 768pix) は市販の HMD(Glasstron: Sony) のモジュールを流用した。また、頭部運動を計測するために磁気トラッカ(The Flock of Birds: Ascension co.) を HMD に取り付



図 15 両眼変換画像 (180h×60v degree FOV)  
Fig. 15 Binocular transformed image (180h×60v degree FOV)

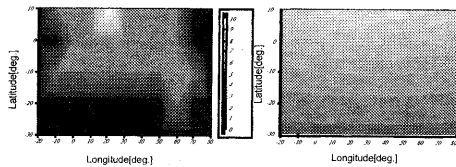
けた。

実環境を撮影したビデオストリームを用いて、試作した HMD の評価を行った。図 14 に、実験に用いた HMD 呈示システムの構成を示す。実験システムは、全方位視覚センサ HyperOmni Vision<sup>4)</sup> により撮像された全方位画像 (1296 × 1026pix, 15fps) を入力画像として用いた。この入力画像はハードディスクに動画として記録蓄積されている。この入力画像をワークステーション (Octain2: SGI) により、左右眼画像 (1024 × 768pix) に変換し (図 15)、それぞれの左右の HMD に呈示した。撮像センサである全方位視覚センサおよび HMD の光学過程をによる歪みを補正するように両眼変換画像を生成することで、無ひずみの画像を装着者に与えることができる。図 15 中の線はそれぞれ球面座標系における緯度経度を表している。また、磁気トラッカにより計測された頭部の運動に対応した視線方位を用いて変換画像を生成することにより、全方位視覚センサにより取り込まれた半球の仮想視野が頭の動きに合わせて呈示可能である。全方位画像を入力画像とすることで、HMD の要求する広視野角画像として利用できるだけでなく、頭部の運動に対応した視野の変化を時間遅れなく呈示できるという利点を持つ。

現システムでは頭部運動に伴う視野は 30Hz で、環境は 10Hz で更新され動画呈示を行うことができる。なお、奈良先端大の山澤ら<sup>12)</sup> により同様のシステムが構築されているが、彼らは市販の通常視野角 (水平約 60 度) の HMD を用いていた。

### 4. 評価実験

図 14 に示したシステムを用いて、試作 HMD の性能を評価した。画質と分解能を調べるために、視力検査に用いられるランドルトチャートを用いて視認による評価を行った。各方位ごとにランダムな方向で配置された画像を HMD の LCD 面に表示させ、チャートの方向を被験者に答えてもらった。画角分解能 1.25, 2.5, 5.0, 10.0[pixels/degrees] に対応する 4 つの異なる大きさのチャートを被験者に呈示し、視認できる限界を調べることで、表示分解能を測定した。図 16-a に



a: Experimental result      b: LCD resolution

図 16 テストチャートによる視認解像評価結果

Fig. 16 Resolution estimation by Landolt chart

表 1 視差画像呈示による奥行き知覚の評価

Table 1 Estimation of depth perception by displaying stereo images

Average [mm]	standard deviation [mm]
22.35	16.149

表 2 眼球運動範囲の評価

Table 2 Estimation of eye movable limit without vignetting

	Average [deg.]	standard deviation [deg.]
Horizontal	± 16.6	5.13
Vertical	± 15.5	4.33

被験者 5 人による結果の平均を示した。また、図 16-b に LCD 解像度から換算される理想的な解像度分布を示す。図 16-a は b の解像度分布と集光特性の両方を含んだ結果となっている。これらの比較から、試作 HMD は中央部分は十分集光していることが分かる。しかしながら、周辺部分は集光が悪く、視認解像度が低くなっていることがわかる。しかしながら、人の周辺視は解像度に対して敏感ではなく主に映像の動きを感じている。そのため、周辺視領域の呈示解像度は、それほど高くなくても被験者には影響ないものと考えられる。

提案試作した HMD は視野中心部分に約 60 度の立体視可能なオーバーラップ部分を持っている。視差映像を呈示することで、立体視による奥行き知覚の評価を行った。自動車運転免許の深視力検査の様に、奥行き 50cm に固定された二本棒の間を前後 ± 20cm 移動する棒を CG で呈示し、移動する棒が他の固定された棒と同じ位置にきたと感じたとき被験者に答えてもらう。このときの奥行き誤差を計ることで、試作 HMD の呈示画像による奥行き知覚の評価を行った。表 1 に被験者 10 人による誤差の平均と分散を示す。図 16-b の理想解像度分布よりおよそオーバーラップ部分の平均呈示解像度はおよそ 7pix/degree であり、視差換算ではおよそ 20mm となる。したがって、十分な奥行き呈示ができることが示された。

試作した HMD は観測瞳径が小さいため、眼球の位置合わせがシビアで、また大きな眼球運動により視野が欠けるけられの問題を持っている。このけられの影

表 3 けられの影響評価

Table 3 Influence of vignetting

Accommodation with head motion	Occurrence of vignetting
Off	6/10
On	1/10

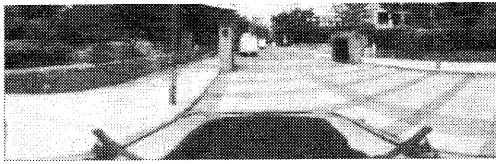
表 4 広視野角化による影響評価

Table 4 Estimation of prototype wide FOV HMD

	Advantage of wide FOV
Extension of FOV	10/10
Immersion	10/10
Feeling of movement	10/10

響を調べるため、けられが起こらない眼球運動範囲を調べ、表 2 にその結果を示す。この結果から、眼球稼働範囲はおおよそ 30 度程度であることが示された。次に、このけられが実際に被験者に影響を与えるか、ビデオテレプレゼンスの応用を想定して評価した。表 3 に被験者 10 人に映像を自由にしている間、けられを感じたかどうかを答えてもらった。実験システムは、頭部運動に追従した動的視野呈示ができるが、これを有効にした場合と無効にした場合で評価を行った。表 3 の結果から、頭部運動追従ができない場合、過半数の被験者がけられを感じ、画像が欠けて見えなくなることや不快だと感じた。しかしながら、頭部運動追従を有効にした場合、ほとんどの被験者はけられを感じなかった。これは、頭部運動できないときは、眼球運動で表示対象を追いかけるのに対して、頭部追従呈示を有効にした場合は、首振りによる視野変更が可能であるため、随意的眼球運動が減った結果であると考えられる。このことから、試作の HMD は、観測瞳径が小さくけられが起こりやすいという問題があるが、頭部運動追従呈示と組み合わせたり、不随意眼球運動の範囲で利用できるアプリケーションにおいては現状においても利用可能であると考えられる。今後、この問題の改善を図っていく予定である。

視野角の違いによる比較を行うために図 17-a に示す広視野角 (180 × 60 度) と図 17-b に示す一般的な HMD を想定した視野角 (60 × 40 度) に制限した画像を呈示し比較を行った。表 4 に被験者 10 人に二種類の視野を呈示した後、各項目の優位性を答えてもらった。この結果より、実際の試作システムによって、水平両眼視野角約 180 度の広視野角映像が観測できることを確認した。また、視野角 (180 × 60 度) と (60 × 40 度) の比較により、広視野角の方が広がり感が強く、没入感がより感じられた。特に走行する自動車から撮像した動画呈示を行った際には、広視野呈示時の方が自分自身が動いている感じが強いという意見が得られた。これらのことから、広視野角が臨場感に寄与しており、本提案 HMD の意義は大きいと考えられる。



(a) Wide view(180h×60h degree FOV)



(b) Narrow view(60h×40h degree FOV)

図 17 HMD 显示画像

Fig. 17 Displayed image on HMD

## 5. まとめ

高い臨場感は人間の感性を励起したり、スムーズなコミュニケーションにおいても重要な要素である。高い臨場感を与える要素として、高解像度解や広視野角など挙げられる。しかしながら、これらの要素は一般的にセンサやディスプレイハードウェアにより制限される。

本論文では、環境モデルの解像度を向上させる超解像モデリングと広い視野角表示を実現する屈折反射光学系を用いた超広視野角ヘッドマウントディスプレイについて提案した。超解像モデリングは、超解像の原理によりテクスチャモデルの解像度を撮像画像列よりセンサ解像度を越えて推定し向上される手法である。また、画像空間ではなく、モデル空間で解像度を向上させるため、MBRのための解像度向上手法として向いている。また、特徴として超広視野角ヘッドマウントディスプレイは、提案する屈折反射光学系により、周辺視野を含む人の視野角をほぼ網羅する水平 180 度、垂直 60 度の広視野角の表示を可能とする。これらにより、従来の仮想環境表示においてボトルネックとなっていたモデル解像度やディスプレイ視野角の制限を緩和することができた。これらの技術は、ヴァーチャルリアリティやメディアの応用における臨場感の向上に貢献できるものと考えられる。

## 謝 辞

本研究の一部は、日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業 (JSPS-RFTF99P01404) による援助を受

けた。

## 参 考 文 献

- 1) R. Y. Tsai and T. S. Hang, "Multiframe image resolution and registration", *Advanced in Computer Vision and Image Processing*, vol. 1, pp.317-339, 1984.
- 2) M. Irani and S. Pelg, "Improving resolution by image registration", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 52, pp.231-239, 1991.
- 3) S. Mann and R. W. Picard, "Virtual bellows: Constructing high quality stills from video", *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, pp.363-367, 1994.
- 4) K. Yamazawa, Y. Yagi, M. Yachida: "New real-time omnidirectional image sensor with hyperboloidal mirror", *Proc. 8th Scandinavian Conf. Image Processing*, Vol. 2, pp.1381-1387, 1993.
- 5) 浜田博昭, 八木康史, Nels Benson, 谷内田正彦, "全方位視覚センサを用いた環境地図とロボットの自己位置, 姿勢の同時推定法", *システム制御情報学会論文誌*, Vol.15, No.2, pp.68-86, 2002.
- 6) 長原一, 八木康史, 谷内田正彦, "全方位視覚センサを用いた高解像度 3D モデリング", *情報処理学会誌*, Vol. 42, No. SIG13(CVIM3), pp. 90-98, 2001.
- 7) "HMD 特集", *日本バーチャルリアリティ学会誌*, Vol.3, No.2, pp.5-41, 1998.
- 8) 奈良弘之, 伊福部達, 井野秀一, 高橋誠, 山本克之: "広視野 HMD による視運動刺激が姿勢制御に与える影響", *JVRSJ Vol. 1 No. 1*, pp.34-39, 1996.
- 9) 遠藤毅, 小林恭, 上田裕昭, 稲見昌彦, 笹すすむ: "小型超広視野ディスプレイ", *日本バーチャルリアリティ学会第 4 回大会論文集*, pp.55-58, 1999.
- 10) 稲見昌彦, 川上直樹, 柳田康幸, 前田太郎, 笹すすむ: "マクスウェル光学系による広視野立体ディスプレイ", *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol. 4, No.1, pp.287-294, 1999.
- 11) 長原一, 八木康史, 谷内田正彦, "屈折反射光学系を用いた広視野角ヘッドマウントディスプレイ", *3次元コンファレンス*, No. 6-4, pp. 185-188, 2002.
- 12) 山澤, 尾上, 横矢, 竹村: "全方位動画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス", *電子情報通信学会論文誌 (D-II)*, Vol.J81-D-II, No.5, pp.880-887, 1998.