

# 全周パノラマステレオ画像とCGモデルの合成による 複合現実環境の構築

## Construction of a Mixed Environment Using Panoramic Stereo Images and Computer Graphics Models

島村 潤<sup>†</sup>, 山澤 一誠<sup>†</sup>, 正会員 竹村 治雄<sup>†</sup>, 正会員 横矢 直和<sup>†</sup>

Jun Shimamura<sup>†</sup>, Kazumasa Yamazawa<sup>†</sup>, Haruo Takemura<sup>†</sup> and Naokazu Yokoya<sup>†</sup>

**Abstract** Recently virtual reality (VR) systems have been incorporating rich information available in the real world into VR environments in order to improve their reality. This stream has created the field of mixed reality which seamlessly integrates real and virtual worlds. This paper describes a novel approach to the construction of a mixed environment. The approach is based on capturing the dynamic real world by using a video-rate omnidirectional stereo image sensor. The mixed environment is constructed of two different types of models: (1) texture-mapped cylindrical model of dynamic real scenes and (2) computer graphics (CG) model. The cylindrical scene model is generated from full panoramic stereo images obtained by the omnidirectional sensor. A prototype system has been developed to confirm the feasibility of the proposed method, in which panoramic binocular stereo images of the mixed environment are projected on a cylindrical immersive display depending on user's viewpoint in real time.

キーワード：複合現実環境，ウォークスルー，奥行き隠蔽関係，仮想物体操作，全周実環境モデル，高分解能全方位ステレオ画像センサ

### 1. ま え が き

近年，複合現実感技術<sup>1)2)</sup>により，現実環境の情報を用いて写実性の高い仮想環境の構築がなされつつある<sup>3)-7)</sup>．その中でも，都市や自然環境など広域かつ複雑な現実環境を対象として仮想環境の構築を行なうことは，都市景観の評価や環境設計など様々な応用が考えられる．このような目的を実現するためには構築される複合現実環境では(1)任意視点からの情景を観察(ウォークスルー)可能であること(2)仮想物体の合成を正確に行なうため現実環境の奥行き隠蔽関係が再現されていることが重要となる．また，現実環境が忠実に再現されるには，現実環境内で数多く発生する動的なイベントが仮想環境内で表現されることが必要となる．

実写画像に基づき仮想環境の構築を行うにはイメージベーストレンダリング手法が利用されることが多く，利用者に任意視点の映像を提供することが可能である．しかし都市や自然環境など，広域かつ複雑な現実環境の構築を行うには膨大な画像枚数が必要となり，その実現は本質的に

不可能となる．そこで多視点で撮像した実写画像を利用し，近似的に三次元空間を表現する様々な手法が提案されている．

実写画像に基づき利用者の全周方向を取り囲む仮想環境の構築を実現した手法としてChenらによるQuickTime VR<sup>3)</sup>が挙げられる．この手法ではあらかじめ円筒パノラマ画像を作成しておき，利用者の視線方向に合わせて平面透視投影画像を生成することによって，上下・左右任意の方向の見回しを可能としている．しかし，円筒パノラマ画像はカメラを回転して撮影した複数のスチル写真の繋ぎ合わせで構成されるため，現実環境の奥行き隠蔽関係の再現や動的な現実環境を表現することは困難である．

広域でかつ動的な現実環境を対象として仮想環境の構築を行った手法としては，回転カメラを用いたVirtualDome<sup>4)</sup>や双曲面ミラーを用いた全方位画像センサの利用による実時間テレプレゼンスシステム<sup>5)</sup>が挙げられる．これらの手法では利用者を取り囲む任意方向に関して現実環境内の動的なイベントの表現が可能であるが，VirtualDomeでは画像の更新レートが遅いことが，双曲面ミラーを用いた全方位画像センサを利用する手法では，現実環境内の奥行き隠蔽関係の再現が困難であることや利用者への提示画像の解像度の低さが問題となる．

以上の問題に対して本論文では，広域でかつ動的な現実

<sup>†</sup> 奈良先端科学技術大学院大学  
(奈良県生駒市高山町 8916-5)

<sup>†</sup> Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology  
(8916-5 Takayama, Ikoma, Nara 633-0101, Japan)

環境を対象としてステレオ撮像が可能な全方位画像センサで撮像・蓄積した全周パノラマ動画像から、動的なイベントの表現と任意視点映像の生成、現実環境の奥行き隠蔽関係の再現が可能な複合現実環境の構築手法を提案する。提案手法では、12台のカメラと六角錐ミラーを用いた高分解能全周ステレオ画像センサ<sup>6)</sup>により得られる全周パノラマステレオ動画像から、奥行き情報を保持した全周実環境モデルの構築を行うため、現実環境との奥行き隠蔽関係を考慮した仮想物体の合成が容易であり、構築される複合現実環境内で利用者は視点移動に伴う運動視差の効果や両眼立体視の知覚が可能である。また、動画像系列から静止環境画像と動的なイベントの発生個所を示す動物体領域の抽出を行い、これらを別々に三次元モデル化することによって動的な現実環境の表現が可能となるといった特徴を持つ。

同様の目的を持つ研究としてはKanadeらのVirtualized Room<sup>6)</sup>やHiroseらによる方法<sup>7)</sup>が挙げられるが、Virtualized Roomでは動的なイベントをカメラで取り囲むことによってその三次元モデル化を図っているため、対象環境が屋内に制限されるといった問題がある。また、Hiroseらの方法ではオプティカルフローによる奥行き推定を行うため動的なイベントが存在する現実環境への対応が困難であった。これに対して提案手法では全周ステレオ画像センサを使用することにより広域な環境の表現を可能とし、ステレオ撮像を行うことによって現実環境内での動的なイベントの表現を実現した。

以下、2章では本研究で現実環境の情報を取得するために用いた高分解能全周ステレオ画像センサの紹介を、3章では2章で得られる全周パノラマステレオ動画像からの2.5次元全周実環境モデルの作成手法について述べ、実際に屋外環境で撮像した全周パノラマステレオ動画像を用いたモデル生成の実験と結果について示す。4章では構築した複合現実環境と、その提示のため実際に試作したプロトタイプシステムについて述べる。最後に5章で本手法の特徴と有用性について述べ、本論文のまとめを行う。

## 2. 全周パノラマステレオ画像の取得

本研究では写実性の高い全周実環境モデルを生成するために、画像センサを用いて撮像された現実環境の画像からの情報を用いる。この目的のために使用される画像センサには以下のような要求があげられる。

(1) 同一視点からの全周画像が得られること。

全周実環境モデルは利用者の全周を取り囲むデータとして生成される必要がある。このため、入力用の画像センサも視点回りの全周の情報を獲得できる必要がある。

(2) ステレオ撮像が可能であること。

全周実環境モデルの生成のためには、奥行き情報を獲得する必要がある。このため画像センサはステレオ撮像が可能であることが望ましい。

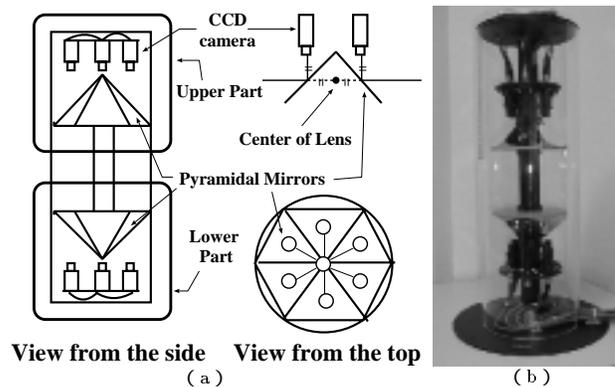


図1 高分解能全周ステレオ画像センサの構成(a)と概観(b)  
Geometry (a) and exterior (b) of omnidirectional stereo imaging sensor.

(3) 高分解能な撮像が可能であること。

全周実環境モデルの写実性はテクスチャ画像の分解能に大きく依存する。このため入力用の画像センサは高解像度の画像を撮像できる必要がある。

全周の画像を取り込む方法としては、複数の撮像画像を組み合わせる全周画像を生成する方法と一台のカメラで全周の画像を一度に取り込む方法に分類される。前者の入力センサには回転カメラやスチル写真が挙げられ、後者には魚眼レンズやミラーの反射像を用いて1つのCCDカメラから全周画像を取得するセンサが挙げられる。しかし前者の入力センサでは画像の更新レートの点で問題があり、後者ではセンサの分解能に制限があった。

そこで本研究では現実環境の取得センサとして上記の3つの要求を満たし、かつビデオレートでの撮像が可能な高分解能全周ステレオ画像センサ<sup>8)</sup>を使用する。本研究で用いる全周ステレオ画像センサは全周画像を取得するために、上部構造では鉛直上向きの六角錐ミラーとその上に鉛直下向きに配置した6台のNTSC CCDカメラで構成されている。六角錐ミラーは底面が正六角形、側面が合同な二等辺三角形である。また、底面と側面は角度が45度になるように設計されている。6台のCCDカメラは六角錐ミラーの各側面に映った外界の鏡像を撮像できるように配置する。各カメラの位置は、同一視点での透視投影画像を得るためにカメラのレンズ中心の虚像が一点に重なる必要がある。またステレオ撮像を行なうために上下対称に装置が設置されている。図1に高分解能全周ステレオ画像センサの構成と外観を示す。全12台のカメラによる撮像画像は時間的な同期を取って12台のビデオデッキに並列的に記録される。

高分解能全周ステレオ画像センサにより得られる各々のカメラからの映像は広角レンズに特有の大きな樽型歪みが生じるため、Tsaiのキャリブレーション法<sup>11)</sup>を用い幾何学的歪み補正を行なう。次に同時刻の上下各6枚の画像をつなぎ合わせ、円筒面に再投影することにより縦の視差を持つ全周パノラマステレオ動画像を生成する(詳細につい



図 2 全周パノラマステレオ画像  
A pair of computed panoramic stereo images.



図 3 全周パノラマステレオ静止環境画像  
A pair of panoramic stereo images of a static scene without moving objects.



図 4 全周パノラマステレオ画像内での動物体の領域  
Extracted moving object regions in the upper panoramic image.

ては文献<sup>9)10)</sup>参照)。図2に全周ステレオ画像センサを車両に搭載して平城宮跡地に復元された朱雀門前(奈良市)で取得したカメラ画像に対して幾何学的歪み補正後に合成した全周パノラマステレオ動画のうち、ある時刻における上下の全周パノラマステレオ画像を示す。なお、生成された各々の全周パノラマ画像のサイズは3006×330(画素)であった。

### 3. 全周実環境モデルの構築

画像センサから得た実写画像を背景画像として仮想環境内にテクスチャマッピングすることにより、写実性の高い仮想環境を構築することができる。しかし、仮想環境内の背景として平面もしくは円筒面にテクスチャマッピングを行った場合、仮想環境内での運動視差や物体同士の奥行き隠蔽関係の再現が困難となるといった問題がある。本章では高分解能全周ステレオ画像センサにより得られる全周パノラマステレオ動画から、現実環境内での動的なイベントと奥行き隠蔽関係を表現可能な全周実環境モデルの作成法について述べる。

#### 3.1 動的環境の表現

提案手法では動的な現実環境を、静的なモデルと動的な

モデルといった異なる二種類の三次元モデルを、レイヤ構造として配置することにより仮想環境内での表現を行う。全周パノラマ動画からの静止環境画像の生成と動物体領域の抽出はそれぞれ以下の手法により実現する。

#### ・静止環境画像の生成

カメラ固定で撮像された動画において、全ての画素に対して時系列の画素値のヒストグラムを作成すると、そのピーク値はそれぞれ現実環境での背景値を示すこととなる。これを上下のパノラマステレオ動画にそれぞれ適用することによって静止環境画像のステレオペアの生成を行う。

図3に動的なイベントを含む現実環境を撮像した全周パノラマ動画系列(図2を含む)から作成した全周パノラマステレオ静止環境画像を示す。全周パノラマ静止環境画像上に図2で存在していた歩行人物と移動車両の領域を白い枠で囲った。これから生成された全周パノラマ静止環境画像では、現実環境内での動的なイベントが除去されていることが確認される。

#### ・動物体領域の抽出

撮像された画像からの動物体領域の抽出には画像同士の

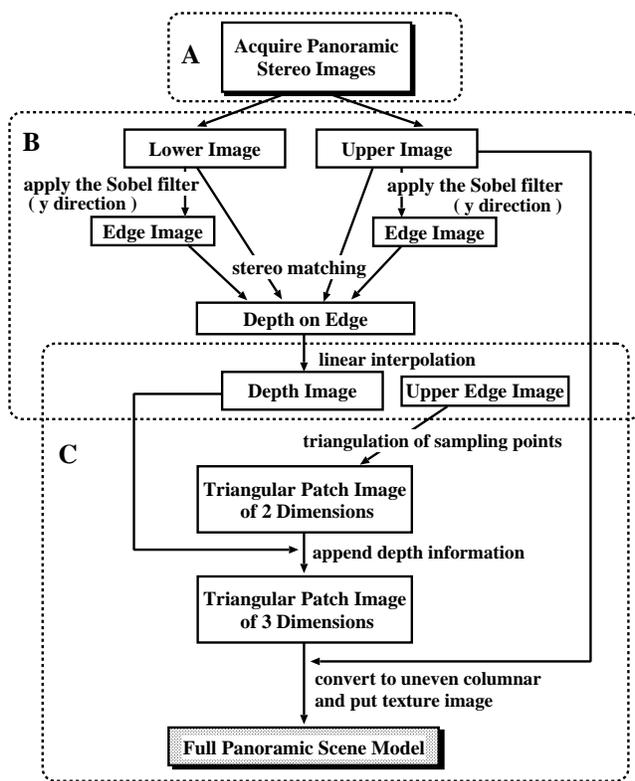


図5 全周実環境モデル構築の処理手順  
Flow diagram of constructing a 2.5-D scene model

差分を行うことにより実現する。この際、屋外環境下での微小な照明条件の変化によるノイズの発生を避けるため、背景差分ではなくフレーム間差分を採用する。

図4に図2で示した上部のパノラマ画像から動物体の領域を抽出した2値画像を示す。これより動きのある人物や車両領域では領域の抽出が正確に行えていることがわかる。しかし遠方に存在する電車領域に関しては正確な抽出が行えていない。これは電車領域内での階調値が一定であることに起因する。より正確な動物体領域の抽出は、背景差分との併用や、動的輪郭モデルSnakes<sup>12)</sup>等の利用により実現されると考えられる。

上述の手法により生成した静止環境画像と動物体領域から、それぞれ三次元モデルを作成しレイヤ構造として配置することにより奥行き隠蔽関係の再現がなされ、かつ動的な現実環境の表現が可能な全周実環境モデルの構築が行える。静止環境画像から作成する全周実環境モデル構築の処理手順を図5に示す。まず、撮像された全周パノラマステレオ動画から静止環境画像と動物体領域の抽出を行っておき(図5A)、取得した上下のステレオ画像対から、全周実環境モデルに奥行き情報を持たせるための全周パノラマ距離画像を作成する(図5B)。最後に作成した全周パノラマ距離画像から全周実環境モデルを生成し、これにテクスチャ画像をマッピングする(図5C)。動物体領域に関しても同様の処理手順である。以降、距離画像の生成、全

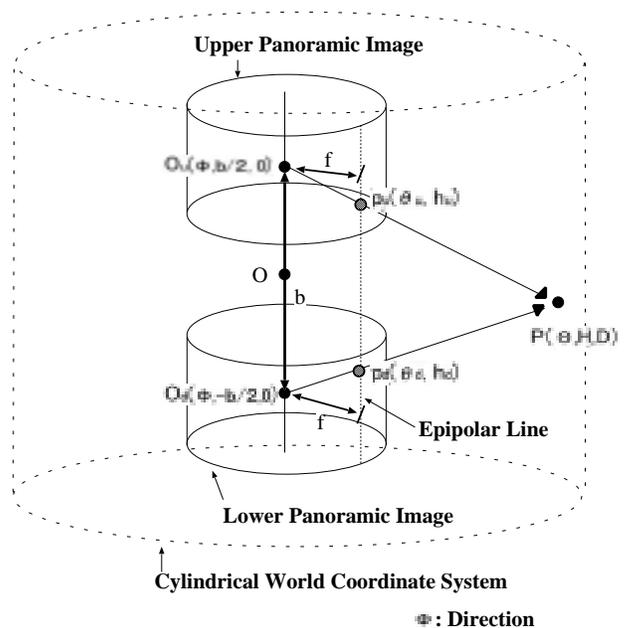


図6 パノラマステレオ画像におけるステレオ投影系  
Stereo geometry of cylindrical panoramic images.

周実環境モデル構築の詳細について述べる。

### 3.2 全周パノラマステレオ画像からの距離画像生成

本節では前節で得た静止環境画像、動物体領域から三次元モデル生成の際に利用する距離画像の作成手法について述べる。以下ではまず、全周パノラマステレオ画像におけるステレオ撮像系について述べ、次に本手法における奥行き推定処理について述べる。

#### (1) ステレオ投影系

高分解能全周ステレオ画像センサから得られる上下の全周ステレオ画像上の点を図6のような縦方向の基線を持ったステレオ座標系で表現する。また、各々の全周画像上の点は円筒面画像座標系で、実世界はワールド円筒座標系でそれぞれ表現する。

ここで仮想カメラの焦点距離を  $f$ 、基線長を  $b$  とし、ワールド円筒座標系の点  $P(\Theta, H, D)$  が上下の円筒面画像座標系の座標  $p_u(\theta_u, h_u)$ 、 $p_d(\theta_d, h_d)$  にそれぞれ現れたとするとエピポーラ拘束により

$$\theta_u = \theta_d \quad (1)$$

が成立し、点  $P(\Theta, H, D)$  の座標は画像座標を用いてそれぞれ次のように表すことができる。

$$\Theta = \theta_u = \theta_d \quad (2)$$

$$H = \frac{b \cdot (h_u + h_d)}{2(h_d - h_u)} \quad (3)$$

$$D = \frac{b \cdot f}{h_d - h_u} \quad (4)$$

式(4)より、 $f, b$  が固定であれば奥行きは視差  $d \equiv h_d - h_u$  にのみ依存することがわかる。すなわち、視差  $d$  が

推定されたならば実世界中の点  $P$  の三次元位置  $(\Theta, H, D)$  が一意に決まる。

## (2) 奥行き推定処理

現実環境の奥行き推定のための視差推定を行う際、パノラマ画像全体について視差を求めると、画像上のノイズなどの影響のため誤対応が生じ、三次元モデルを構築した際にノイズが多く、利用者に違和感を与えてしまう。そこで本研究では、ノイズの少ない三次元モデル構築のため、対応点の決定が容易かつ信頼性の高いエッジ部分についてのみ視差の推定を行い、他の領域は得られるエッジ部分の視差情報から補間する方法をとる。

ステレオ視において一般的に、エピポーラ線に直交するエッジ上では対応点の決定が容易であり、かつマッチングの信頼性が高いことが知られている。そこで本手法ではまず、上下両方の全周パノラマ画像に  $y$  方向の Sobel フィルタを適用し、縦のエピポーラ線に交差するエッジ部分のみを抽出し、二値化を行なう。続いて上部パノラマ画像を基準画像とし、基準画像上のエッジ点が下部の全周パノラマ画像上のどのエッジ部分に対応するかを、画像の輝度値を特徴量としたテンプレートマッチング法により求める。その際、マッチングの評価尺度には正規化相互相関を用いる。本手法では正規化相互相関値にしきい値を設け、類似性評価の高い対応画素のみを採用することとした。以上の手順により上部パノラマ画像内でのエッジ上での注目画素に対する下部パノラマ画像の対応画素を探索することにより、視差  $d$  を求めることができる。同様に下部パノラマ画像を基準画像として上部パノラマ画像とのマッチングを行ない、上部画像から下部画像への対応と下部画像からの上部画像への対応が一致しない場合、誤対応として取り除く。

以上のようにして得た上部エッジ画像上での視差画像は、正規化相互相関値にしきい値を設けることにより対応点の相関値が大きく、また、上部・下部画像双方のマッチングをとることにより誤対応の可能性が低い、信頼性の高いものが得られる。しかしその反面、しきい値以下の相関値の場合は視差画像に含めないため上部エッジ画像上で視差が求まらない点が多く存在する。

そこで、エピポーラ線に直交するエッジ上では決定された対応点の信頼性が高いことを考慮し、本来エッジである部分に横長のメディアンフィルタをかけることにより視差情報の欠落している点を近傍の視差の中央値で埋める処理を施す。続いて得られた上部エッジ画像上での視差画像を  $y$  方向に線形補間することにより密な視差画像を作成する。線形補間の際、大半の屋外画像の上部領域には空が写っている性質を利用し、 $y$  方向のスキャンライン上で最初に出現した視差情報から線形補間を行うこととする。

最後に得られた各々の画素の視差情報を式 (4) に代入することにより距離画像を得る。

図7に図3で示した全周パノラマステレオ静止環境画像から作成される全周パノラマ視差画像を示す。図7は視差

を画素値として表現したものであり、奥行きが小さいほど明るく、大きいほど暗く表現されている。視差画像生成の際、ステレオマッチングのウィンドウサイズは  $9 \times 9$  (画素)、正規化相互相関のしきい値には 0.9 を、メディアンフィルタのウィンドウサイズには  $5 \times 3$  (画素) をそれぞれ設定した。また、探索領域の  $x$  方向の範囲は高分解能全周ステレオ画像センサの各カメラの位置づれを考慮し、左右3画素広く設定した。

## 3.3 現実環境の三次元モデル化

3.2節により得られる距離画像は、補間された視差から作成したものであるため精度の高い距離情報こそ持ち得ないが、物体形状や視点からの奥行き関係を表現するには十分な情報を保持している。本手法では距離画像の情報を利用し、実環境モデルに奥行き情報を付加することにより利用者の視点移動による運動視差の効果や物体同士の奥行き隠蔽関係を近似的に表現する。

以下に3.2節で得られた距離画像から静的なモデルと動的なモデルを含む全周実環境モデルを生成する際の各段階でのアルゴリズムを示す。

- (1) 上部画像に Sobel フィルタを適用することにより得るエッジ画像を一定画素ごとにサンプリングする。
- (2) 構築される三次元モデルの歪みを軽減するため、距離画像を  $x, y$  軸方向にそれぞれ一定画素ごとにサンプリングし、これらの点とステップ 1. で抽出した点を Delaunay の三角形分割法<sup>13)</sup>を用いて接続する。
- (3) ステップ 2. で生成された三角形の頂点の奥行き値を距離画像から読み込み、三次元三角形パッチモデルを作成する。
- (4) ステップ 3. で得られた三次元三角形パッチモデルをワールド円筒座標系へと変換する。
- (5) 最後に三次元座標値を持つ三角形パッチモデルの各頂点に、上部画像をテクスチャ画像としてマッピングする。

以上の処理を静止環境画像と、撮像した全フレームにおいて抽出された動物体領域に施すことにより三次元のモデルをそれぞれ生成する。現実環境内での動的なイベントの表現には、静止環境画像から構築される静的なモデルに対して動物体領域から構築される動的なモデルをレイヤ配置することにより実現される。図8に図7を利用して構築した静的な三次元モデルに、図3の上部画像をテクスチャマッピングした全周実環境モデルの鳥瞰図を示す。現実環境の三次元モデル化の際には、エッジ画像のサンプリング間隔を2画素、距離画像のサンプリング間隔を31画素とし、この時のポリゴン数は13400ポリゴンであった。

## 4. 複合現実環境の構築と提示

本章では3章で構築した全周実環境モデルを利用した複合現実環境と、その提示のため実際に試作したプロトタイプ



図 7 全周パノラマ視差画像

Panoramic depth map generated from panoramic stereo images.

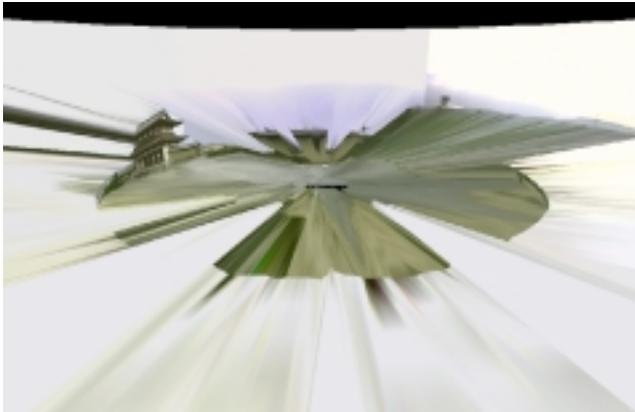


図 8 全周実環境モデルの鳥瞰図

Bird's-eye view of texture-mapped full panoramic scene model.

ブシステムについて述べる。

#### 4.1 全周実環境モデルへのCGモデルの合成による複合現実環境の構築

全周実環境モデルは奥行き情報を保持しているため、CGモデルで表現される仮想物体の合成は現実環境との奥行き隠蔽関係を考慮して正確に行うことが可能である。

奥行き情報を保持する全周実環境モデルに対して、CG作成ツール (Alias/WaveFront) を用いて作成した三次元形状を持つ樹木のCGモデルを合成することにより構築した複合現実環境の様子を図9に示す。また、図9は複合現実環境内でウォークスルーを行なった様子 (視線方向は不変) を示しており、利用者の視点移動に伴って車両と建築物などの画像上での位置関係から運動視差の効果が表現されていることが確認される。また、図10は静的な全周実環境モデルに対して異なる時刻での動的なイベントをレイヤ構造として配置した様子を、視点位置が撮像位置と一致している時の画像 (上図) と新しい視点位置での画像 (下図) の両方について示したものである。

#### 4.2 複合現実環境提示システムの構築

構築した複合現実環境内で、利用者に高い臨場感と操作性を与えることを目的として実際に試作した複合現実環境提示システムについて述べる。複合現実環境提示システムの構成を図11に示す。全周実環境モデルの構築にはSGI Onyx2 (InfiniteReality2×2, 8CPUs MIPS R10000, 250MHz) を使用し、仮想物体の作成にはCG作成ツール (Alias/WaveFront) を用いた。複合現実環境の提示デバイスには直径6m、高さ2.4m、視野角330°の映像を6台

のプロジェクタにより投影する大型円筒面スクリーンCYLINDRA\*を使用した。プロトタイプシステムでは構築した複合現実環境から人間が立体視することのできる横方向視差を有する両眼ステレオ画像を生成しており、これを液晶シャッタ眼鏡 (SB300/Solidray) を通して観察することによって、利用者は視点移動に伴う運動視差に加えて環境の三次元的な知覚が可能となっている。また、複合現実環境内での視点移動、視線方向の変更はジョイスティック (SideWinder Precision Pro/Microsoft) を用いることにより実現している。

複合現実環境提示システムにおける提示画像の更新速度は、6144×768 (画素) の画像サイズの両眼ステレオ画像を2CPUを用いて描画した際、約13frame/secであった。また、静的な複合現実環境全体のポリゴン数は54740ポリゴン (全周実環境モデル: 13400ポリゴン, CGモデル: 41340ポリゴン) であった。構築した複合現実環境をCYLINDRAへ表示し、利用者がウォークスルーを行っている様子を図12に示す。

実験により、提案手法を適用して構築した複合現実環境内では利用者は高い臨場感のもとで実時間性の高いウォークスルーが行えることが確認された。構築した複合現実環境内においては、現実環境との奥行き隠蔽関係を考慮した仮想物体の操作が可能であり、また、視点移動に伴う運動視差の効果や両眼立体視の知覚が可能であることが確認された。

## 5. おわりに

本論文では、都市や自然環境など広域な現実環境の仮想環境内での表現を目的として、高分解能全周ステレオ画像センサから得られる全周パノラマステレオ動画からの奥行き情報を保持する全周実環境モデルとCGモデルを合成する複合現実環境の構築について述べた。全周実環境モデル構築の際には、現実環境内での奥行き関係を再現するため、全周パノラマステレオ動画から静止環境画像と動的なイベントの抽出を行い、それぞれに対して距離画像の生成を行う。これらをもとに奥行き情報の記述された全周実環境モデルを構築する方法を提案した。

提案手法の適用により構築される複合現実環境内では、(1) 任意視点からの情景を観察 (ウォークスルー) 可能で

\* Cylindrical Yard with Large, Immersive and Novel Display for Reality Applications.

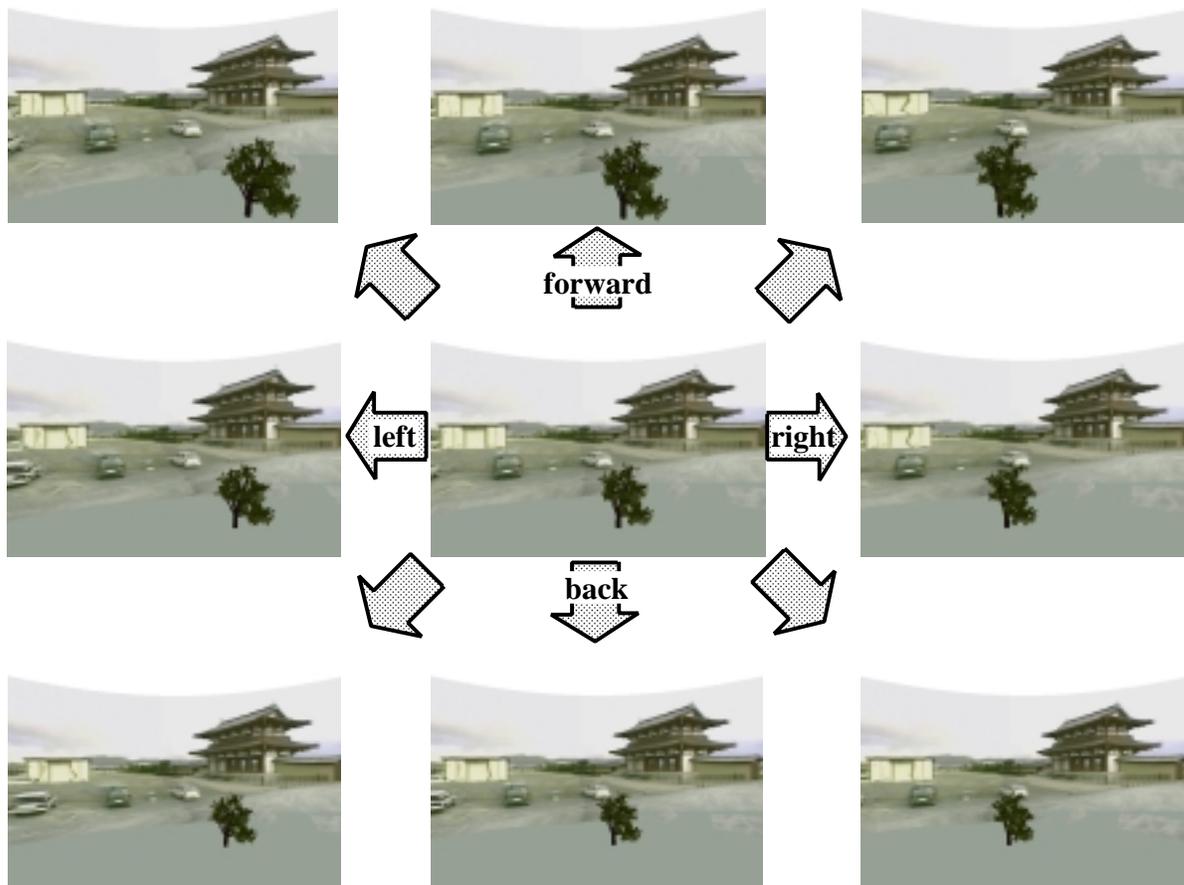


図 9 任意視点からの複合現実環境の様子 (中央: 撮像地点からの様子)  
Mixed environment observed from different viewpoints (center: original viewpoint of sensor).



図 10 静的な全周実環境モデルへ動物体領域を配置した様子 (上: 撮像地点からの様子, 下: 異なる視点からの様子)  
Superimposing dynamic event layers onto a static scene layer with virtual objects (top: original viewpoint;  
bottom: new higher viewpoint).

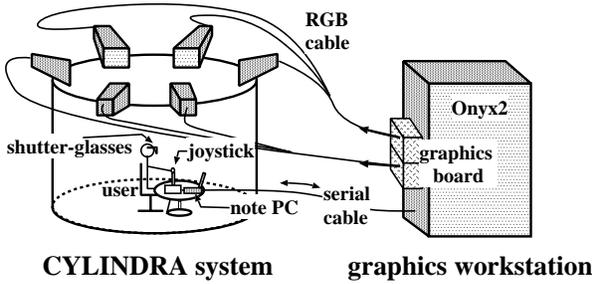


図 11 複合現実環境提示システムの構成  
Hardware configuration of immersive mixed reality system.

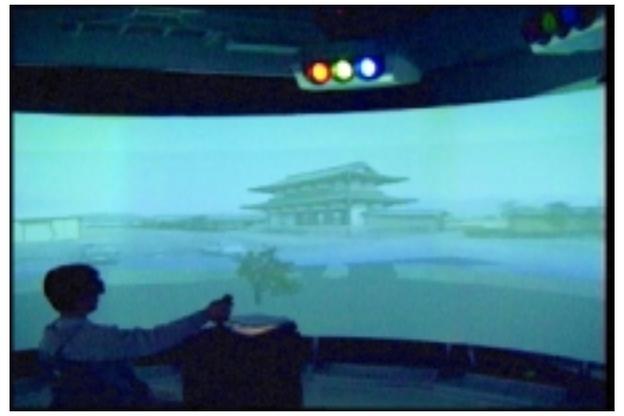


図 12 CYLINDRA への複合現実環境の提示  
User's appearance in mixed environment using CYLINDRA system.

あること (2) 仮想物体の合成を正確に行なうため現実環境の奥行き隠蔽関係が再現されていることと (3) 現実環境内での動的なイベントが表現されていることが確認された。また、試作した複合現実環境提示システムを用いた実験を行い、実時間性の高いウォークスルーが可能であること、及び利用者の視点移動に伴う運動視差の効果や両眼立体視の知覚が可能であることが確認され、結果的に構築した複合現実環境で利用者は高い臨場感を得ることを示した。提案手法・システムの利用により、現実環境との対応を考慮した都市景観評価や環境設計など様々な応用が可能になると期待される。

提案手法により構築される複合現実環境では、撮像地点位置近傍でのウォークスルーは違和感なく行えるが、視点位置が撮像地点から大きく離れると三次元情報・テクスチャ情報を持たない部分が目立ち違和感が生じることがあった。今後の課題として、複数の全周パノラマステレオ画像を利用し、構築される複数の全周実環境モデルにおいて利用者の視点の変化した時に滑らかにモデルを切替える手法への拡張が必要であると考えられる。

本研究の一部は通信・放送機構からの受託研究「実環境と仮想環境を融合した協調作業通信環境に関する研究」の補助による。

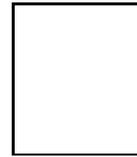
#### 〔文 献〕

- 1) P. Milgram and F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual display", *IEICE Trans. on Information and Systems*, E77-D, 12, pp. 1321-1329 (1995).
- 2) Y. Ohta and H. Tamura, Eds. *Mixed Reality — Merging real and virtual worlds.*, Ohmsha & Springer-Verlag, Tokyo (1999).
- 3) S. E. Chen, "QuickTime VR — An image-based approach to virtual environment navigation", *Proc. SIGGRAPH'95*, pp. 29-38, 1995.
- 4) 廣瀬, 佐藤, "人工現実感技術を用いた臨場感の合成とその伝達", 第9回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 111-116, 1993.
- 5) Y. Onoe, K. Yamazawa, H. Takemura, and N. Yokoya, "Telepresence by real-time view-dependent image generation from omnidirectional video stereams", *Computer Vision and Image Understanding*, 71, 2, pp. 154-165 (1998).
- 6) T. Kanade, P. Rander, and P. J. Narayanan, "Virtualized reality: Constructing virtual worlds from real scenes", *IEEE MultiMedia*, 4, 1, pp. 34-47 (1997).
- 7) M. Hirose, S. Watanabe, and T. Endo, "Generation of wide-range

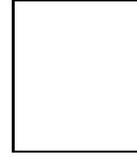
- virtual spaces using photographic images", *Proc. VRAIS'99*, pp. 234-241 (1998).
- 8) 山澤, 岩佐, 竹村, 横矢, "ピラミッド型ミラーを用いた高分解能全方位ステレオ画像センサ", 信学総大, D-12-146 (1997).
- 9) 川西, 山澤, 岩佐, 竹村, 横矢, "六角錘ミラーを用いた全方位ステレオ画像センサによる高解像度ステレオパノラマ動画の作成", 信学技報, PRMU97-118 (1997).
- 10) T. Kawanishi, K. Yamazawa, H. Iwasa, H. Takemura, and N. Yokoya, "Generation of high-resolution stereo panoramic images by omnidirectional imaging sensor using hexagonal pyramidal mirrors", *Proc. 14th IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition*, 1, pp. 485-489 (1998).
- 11) R. Y. Tsai, "A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf tv cameras and lenses", *IEEE Journal of Robotics and Automation*, RA-3, 4, pp. 323-344 (1987).
- 12) M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos "SNAKES: Active contour models", *Proc. of 1st ICCV*, pp. 259-268 (1987).
- 13) P. Heckbert, Eds. *Graphics Gems IV*. Academic Press Professional, Boston (1994).



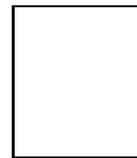
しまむら じゅん  
**島村 潤** 平10 阪大・工・情報システム卒。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程入学, 現在に至る。画像処理, コンピュータビジョンの研究に従事。電子情報通信学会会員。



やまざわ かずまさ  
**山澤 一誠** 平4 阪大・基礎工・情報卒。平6 同大学院基礎工学研究科制御工学博士前期課程了。平8 同大博士後期課程中退。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手, 現在に至る。ロボットビジョン, 仮想現実の研究に従事。工博。日本ロボット学会, 日本VR学会, 電子情報通信学会各会員。



たけむら ひろお  
**竹村 治雄** 昭57 阪大・基礎工・情報卒。昭62 同大学院基礎工学研究科博士後期課程単位取得退学。同年(株)ATR入社。3次元ユーザインタフェース, CSCW, 仮想現実などの研究に従事。平6 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科助教授, 現在に至る。平10-11 カナダ・トロント大・客員助教授。工博。IEEE, ACM, HFES, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本VR学会, 電子情報通信学会各会員。



よこや なおかず  
**横矢 直和** 昭49 阪大・基礎工・情報卒。昭54 同大学院基礎工学研究科博士後期課程了。同年電子技術総合研究所入所。以来, 画像処理ソフトウェア, 画像データベース, コンピュータビジョンの研究に従事。昭61-62 カナダ・マギル大・知能機械研究センター客員教授。平4 奈良先端科学技術大学院大学・情報科学センター教授。現在, 同大情報科学研究科教授。平1 情報処理学会論文賞受賞。工博。IEEE, 情報処理学会, 人工知能学会, 日本認知科学会, 日本VR学会, 電子情報通信学会各会員。