複合現実感技術を利用した投射型立体映像との 3D インタラクションの提示・記録システム

木村 朝子[*1]，片岡 直哉[*2]，鶴田 剛史[*2*3]，柴田 史久[*2]，田村 秀行[*2]

A Presentation and Recording System of 3D Interaction with Projected Stereoscopic Images by Using Mixed Reality Technology

Asako Kimura[*1], Naoya Kataoka[*2], Takeshi Tsuruta[*2*3], Fumihisa Shibata[*2], and Hideyuki Tamura[*2]

Abstract － We have developed a system named "Wide-view electronic working space" using a projection type wide-view stereoscopic image display. In this paper, we propose a system which displays and records both the 3D CG images that the user is looking at and the interaction between the CG and her/him at the same time from Objective Point of View. A camera can be set up in any place of the same coordinate system with the stereoscopic image display. Using the position and posture of the camera, the 3D CG images are drawn on the real world image from the camera. This system is extremely useful for a research tool in human interface (HI) field including 3D interaction, as well as for preparing images and videos for presentation of such a stereoscopic system.

Keywords: Objective Point of View, Projection type Stereoscopic Image Display, 3D Interaction, Mixed Reality

1. はじめに

コンピュータによる電子作業効率の向上，対話型電子作業の多様化とともに，デスクトップ型モニタの限られた画面サイズでは満足できず，自動車産業のデザイン部門や建築・都市計画等の分野では，広い作業を確保できる大型スクリーンや壁面ディスプレイの利用が進行している[1]．電子作業空間をより魅力的なものにするには，その画面の表示は単眼画像に留まらず，両眼立体視を利用した立体映像表示へ発展するのも自然な成り行きとなっている．

大型の立体映像表示システムとしては，バーチャルリアリティ分野で，立方体形状をした壁面に囲まれる CAVE[2]やその変形システム，アーチ状や球面状のスクリーンで広視野をカバーするイマーシブ・ディスプレイの開発・導入が進められてきた．筆者らも，そうした立体映像表示可能な投射型大型画面を利用して「広視野電子作業空間」の研究開発を推進してきた[3]．ここでは，大画面に向かって，利用者がジャスチャ操作で作業することを想定している．

しかしながら，立体映像の体験はそれを利用するデザイナやプレイヤ等にとっては魅力的であっても，その体験の様子を他人に伝えることは容易ではない．立体映像表示装置は一般的ではなく，通常の会議室・講演会場には用意されていないので，企画提案や研究開発結果の発表に不自由な思いをすることがしばしばある．3D 特別セッション等で，偏光方式等のプロジェクタが用意されている場合でも，表示できるのは体験者が眺めたのと同じ画面内の映像だけであって，その映像に対して，体験者がジェスチャ操作等でどのようなインタラクションを行ったかまでは再現できない．ヒューマンインタフェース(HI)研究の立場からは，3D 空間操作を客観的に記録し，提示できることが望まれている．

こうした問題を解決するため，我々は，単眼画像でありながら，スクリーン面から操作対象の 3D 物体が飛び出したかのような印象を与え，かつ体験者の挙動も同時に静止画または動画で記録・提示することが可能なシステムを開発することにした．この方式で記録したビデオ映像は，通常の普及型プロジェクタで表示できるので，プレゼンテーション時の障害はなくなる．

体験者とは別の位置にカメラを配置し，3D 空間を操作する様子を観察するというアイデアは，複合現

[*1] 科学技術振興機構 さきがけ
[*1] PRESTO, Japan Science and Technology Agency
[*2] 立命館大学大学院 理工学研究科
[*2] Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University
[*3] 株式会社 ゲームズアリーナ
[*3] GAMES ARENA CO., Ltd Mobile Development Department SoftWare Section

実感(Mixed Reality; MR)分野で「客観視点映像」と呼ばれ，複合現実感システムの付属機能として開発され，市販されている[4]．また，「客観視点」という言葉は，体験者の「主観視点」「1 人称視点」とは別の視点という意味で，最近ビデオゲーム分野でも頻繁に用いられている．本システムは，この意味で体験者の動作を含む実写映像と操作対象の CG 映像を実時間合成した「客観視点 MR 映像」の記録・提示を目的としている．

実写映像と CG 映像の実時間合成という点では，テレビ局内で利用されている「バーチャルスタジオ」が類似した機能をもつ[5][6]．この場合は，アナウンサや俳優等の出演者は立体映像を観察していないのに対して，我々のシステムでは体験者が立体映像を視認し操作している点が大きく異なり，目的・用途も全く違っている．また，前述の MR システムの場合は，利用者はビデオシースルーHMD を装着して MR 空間を体験するのに対して，我々の場合，体験者はスクリーン面に投影された立体映像を操作している点が異なる．

我々が目指したシステムは，ジェスチャ操作を中心としたヒューマンインタフェース(HI)研究で利用することを主目的としているが，同様な投影型立体映像表示システムでの 3D インタラクション一般の記録・表示にも有用であると考えられるので，我々の開発事例とそこで遭遇した問題解決に関して報告する．

本論文では，2 章でまず HI 分野の研究ツールとして利用する場合に求められる要件をまとめる．3 章では，提案するシステムの構成を述べ，4 章では，所望の要件を満たすためにどのような問題解決を行ったかを述べる．また 5 章では，スクリーン型両眼立体視体験を客観視点映像化する場合に有効な 3D 物体の拡大強調表示機能について述べる．6 章では，本システムを実運用して得た結果に関して考察する．

2. HI 研究ツールとしての客観視点映像に求められる要件

本研究は，大型スクリーンへの投射型立体映像表示装置を利用する場合の，体験者と立体映像の 3D インタラクションを「客観視点映像化」し，それを HI 研究ツールとして利用することを目的としている．具体的には，以下のような用途が想定できる．

(a) 未体験者へのシステムとその操作方法の教示
(b) 体験者の操作方法，内容の確認
(c) 各体験者間での操作方法，内容の違いの分析



図 1　立体映像提示装置のスクリーンをそのままビデオ撮影した様子
Fig.1 Video recorded image of the screen of stereoscopic image display system



図 2　HMD を利用した複合現実感システムにおける客観視点映像（木の幹は実物，枝と花が CG）
Fig.2 Objective point of view image generated by HMD based MR system (trunk: real object, branches and flowers: CG)



図 3　3D 物体の飛び出し感を与える表示（パースを合わせた嵌め込み合成図）
Fig.3 3D CG objects' display giving a stereoscopic impression (composite image that keeps real world and CG objects in perspective)

(d) 体験者自身が自分の動作を記録して確認

立体映像装置のスクリーンを，**図 1** のような視点から単純にビデオ撮りした場合，操作者の挙動を捉えることはできるが，スクリーン内の映像は二重映しになり，記録映像としては何が表示され，何をどのように操作しているのか正確には把握できない．

一方，複数人が複合現実空間を共有できる複合現実感システムの場合，例えば，**図 2** のように体験者を見下ろす位置からの映像を利用することができる[4]．これは，同じ世界座標内に単眼のカメラを設置し，カメラの位置姿勢を与えて，現実世界の画像と仮想世界の画像を実時間で合成しているからである．

この方式にヒントを得て，**図 3** のように操作対象

の 3D 物体がスクリーンから飛び出したかのような印象を与える映像を得る方法を考える．それには，スクリーン位置を世界座標内で表現し，かつ両眼立体視映像を生成するコンピュータから表示すべき映像を取り出して，この世界座標内で単眼映像として配置できるシステムを別途構築する必要がある．

さらに，上記の(a)～(d)のような用途で利用するためには，以下の要件を満たすことが望ましい．

(1) 客観視点位置（カメラ位置）の可変性

体験者の操作風景をじっくり観察することを目的とするのであれば，操作体験中は原則として客観視点カメラを移動させる必要はないと考えられる．しかし，目的によって体験者に近い位置から観察したい場合もあれば，体験者の背後から広角で観察したい場合もある．そこで，客観視点位置（カメラの位置）を容易に変更可能であることが望ましい．

(2) スクリーンに投影された映像の除去

図 2 の方式とは異なり，プロジェクタ投影方式の立体映像装置では，スクリーンにはすでに体験者が両眼立体視を行うための映像が投影されている．よって，客観視点カメラからの映像にそのまま単純に CG を合成すると，スクリーンに投影された映像と，新たに合成した CG の両方が表示されることになる．体験者が見ている映像と同じものを客観視点映像化するためには，まず客観視点カメラの画像からスクリーン上に投影された画像を「消す」作業を行い，その上で CG 合成を行う必要がある．

(3) 立体映像表示装置との映像同期

体験者が立体映像を操作している様子を，リアルタイムで観察するためには，プロジェクタで投影されている映像と，客観視点映像で生成される映像がずれることなく同期して生成される必要がある．

(4) 客観視点映像の録画機能

後で改めて各体験者の操作風景を比較したり，体験者自身が自分の動作を客観的に確認するためには，客観視点映像を静止画や動画で保存する必要がある．

3. システム構成

図 4 に本研究が対象とするシステムと客観視点合成システムの構成を示す．

3.1 対象となるシステム

広視野没入型ディスプレイとしては，高さ 1.8 m，弧長 6.1 mの大型アーチ状スクリーンを用いている．計 3 台のプロジェクタ（CDS 社製の Mirage6000 DLP）を用いることで，アーチ状スクリーンの正面，左，右の部分を投影している．正面，左，右の映像

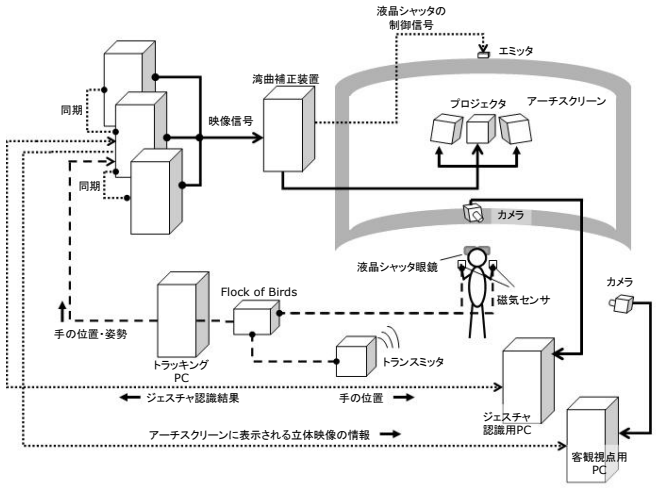


図 4　システム構成
Fig.4 System configuration

が重なる部分は湾曲補正装置を用い，境目をブレンディング処理している．Mirage6000 DLP は時分割立体視に対応しており，このステレオ映像を液晶シャッタ眼鏡（CrystalEYES 社 CrystalEYES3）を通して見ると，赤外線エミッタからの信号に応じて，液晶メガネのシャッタが開閉し，右目と左目用の映像が交互に映し出され，両眼立体視が可能となる．3 台のプロジェクタで出力される映像はそれぞれ右面，正面，左面用のグラフィックス・ワークステーション（HP 社 xw8000，OS：Windows2000 Professional，CPU：Intel Xeon 3.06GHz×2，メモリ：4.0Gbyte，グラフィックボード：3Dlab Wildcat4 7210）で同期を取りながら生成される．

本システムでは立体映像と 3D インタラクションを行う方法として，ジェスチャ入力を採用している．このジェスチャ入力の詳細に関しては，文献[3]を参照されたい．

3.2 客観視点合成システム

客観視点映像の合成用には，DELL の Dimension 8300（OS：Windows XP Professional，CPU：Intel Pentium4 2.60GHz，メモリ：1.0Gbyte，グラフィックボード：NVIDIA GeForce FX 5200）を用いてシステムを構成した．また，客観視点から見た実世界映像の入力には，SONY の Handycam DCR-HC90 を用いた．ビデオカメラと PC は，IEEE1394 ケーブルで接続し，動画像はリアルタイムで PC に入力される．

客観視点映像用 PC と立体映像表示用グラフィックス・ワークステーションは，LAN ケーブルで接続し表示データの同期をとる．客観視点映像用 PC の開発環境は Visual C++で，映像の合成は OpenGL ライブラリを用いて実行する．

4. 客観視点映像の合成

4.1 キャリブレーション

客観視点映像を生成するためには，客観視点カメラから捉えた映像に，立体映像装置に表示する CG データを，幾何学的に変換して重畳する．そのためには，事前に立体映像装置の座標系とカメラ座標系とのキャリブレーションを行うことが必須である．本システムが対象とする 3D 空間体験は「複合現実感」ではないが，本システム自体はある種の複合現実感システムである．**図 5** に本研究で取り扱う座標系を示す．

本研究では客観視点の位置を容易に変更可能とするために，実世界にマーカを配置し，まず世界座標系とマーカ座標系を合わせ，次にカメラ座標系とマーカ座標系を合わることで，カメラ座標系と世界座標系の位置合わせを実現する．

世界座標系は，立体映像表示装置が描画する CG 座標系と原点を一致させ，鉛直上向きを y_w 軸，床面を $x_w z_w$ 平面とする．マーカ座標系は右手系で表現され，マーカの配置に応じて回転・平行移動が可能である．マーカの大きさ，および世界座標系でのマーカの位置は実測により求め，座標系を回転させて世界座標系との位置合わせを行う．

カメラ座標系からマーカ座標系への変換行列は，加藤等の提案する ARToolKit ライブラリ[7]を用いて求める．カメラの入力画像からフレームを静止画として切り出し，ARToolKit のマーカ検出を行う．マーカはカメラ位置が遠い場合でも認識できるように大きめのもの（70cm×70cm）を採用し，スクリーン中央下に配置した．ARToolKit ライブラリでは，まずテンプレート・マッチングで検出したマーカの種類・回転を求め，その後，カメラから見たマーカの位置姿勢を取得し，その逆行列を計算することでマーカから見たカメラの位置姿勢が計算される．そこに世界座標系でのマーカの位置姿勢行列を乗算することで，世界座標系でのカメラの位置姿勢を表わす行列を求めることができる．

一旦このキャリブレーションを実行しておけば，客観視点カメラを固定している間は安定した幾何学的整合が保たれるので，操作体験時にはマーカは必要でない．しかし，カメラ位置をしばしば移動して客観視点映像を得る場合には，このマーカを常置しておくことで，世界座標系とマーカ座標系の関係が一定に保たれ，新しい視点からの静止画をもとにカメラ座標系からマーカ座標系への変換行列のみ新たに求めることで，瞬時に位置合わせを実行できる．

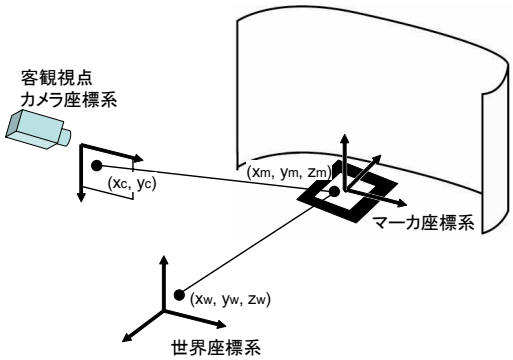


図 5 キャリブレーションで扱う座標系
Fig.5 Coordinate systems for calibration

4.2 スクリーン投射映像の除去処理

こうして得られた変換行列を利用して，体験者が見るスクリーン上の映像と同じ情報をカメラ座標系の 2 次元平面に重畳描画することで，客観視点映像を生成する．しかし，ビデオカメラから取得した映像にそのまま CG 映像を重ね合わせると，**図 6** のようにスクリーンに投影されたステレオ映像がそのまま映ってしまうという不都合が生じる．これは，偏光方式や時分割方式による両眼視差画像対をスクリーン投射するシステムゆえに生じる問題である．この二重投影像がスクリーン上に残ったままでは，我々が目的とする客観視点映像を生成する意味が半減する．

この問題を解決するためには，スクリーン面には何も映っていないかのように投射映像を除去する処理を施す必要がある．我々は，プロジェクタからス

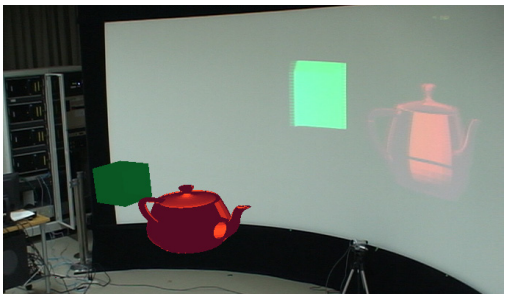


図 6 スクリーンに投射映像が残っている場合
Fig.6 In the case of the projected image remained on the screen

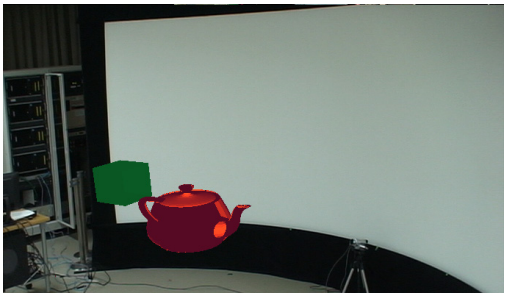


図 7 スクリーン投射映像の除去処理後
Fig.7 After removal process of projected image on the screen

クリーンに何も投影されていない状態のカメラ画像からスクリーン領域を検出・保存し，スクリーン全体を意図的にこの状態に保つ方法を採ることにした．

この処理は，例えば，以下のような簡便な手法で達成することができる．

(1) 事前に，プロジェクタからスクリーンに何も投影されていない状態で客観視点画像を取得する．
(2) (1)の客観視点映像上のスクリーン面に相当する領域内をクリックすることで，クリックされた画素とその 4 近傍の色の平均値を計算する．
(3) (1)の客観視点映像の全画素について，(2)で計算された平均色と差分を取り，それが規定の閾値未満となる画素の座標を保存する．
(4) 雑音処理のため，(3)で保存された画素で構成される領域に対し収縮・膨張演算を施し，連結成分のラベリング処理を実行する．
(5) ラベリング処理で得られた領域中のクリックした点を含む領域をスクリーン領域と見なし，スクリーン領域と識別された画素にフラグを立てる．
(6) 客観視点カメラから新たに映像を更新する際に，(5)の処理でフラグの立っている画素は(1)の映像を残し，フラグの立っていない画素のみ映像更新することで所望の除去処理を達成する（**図 7**）．

以上の処理は，スクリーン面のみを「白抜き」にした効果を与えることに相当する．なお，スクリーンの材質や回りの照明の変化によって，上記の手法では対処できない場合は，もう少しロバスト性の高い手法を導入して対処する必要がある．

4.3 客観視点映像合成の手順

次に，客観視点映像を合成する手順は，以下のようになる．

(1) マーカをスクリーン手前の世界座標系で規定した位置に置く．現システムでは，スクリーンをどの方向から写したときもマーカが捉えられるよう，マーカの中心からスクリーンまでの距離が 85.0 cm の位置に配置している．
(2) 客観視点カメラの映像（動画像）の 1 コマを静止画として記録する．この画像を用いて 4.1 で述べたキャリブレーションを行ない，4.2 で述べたスクリーン投射映像の除去処理を実行する．
(3) この前処理の後は，客観視点位置での映像合成処理が**図 8** のように自動的に反復し実行される．

上記(1)(2)の手順は，カメラの設置またはカメラ位置を変更した時に，1 度だけ行えば十分である．これは，操作体験中は原則として客観視点カメラを移動させないことを前提としていて，キャリブレーションで求めた世界座標系でのカメラの位置姿勢を

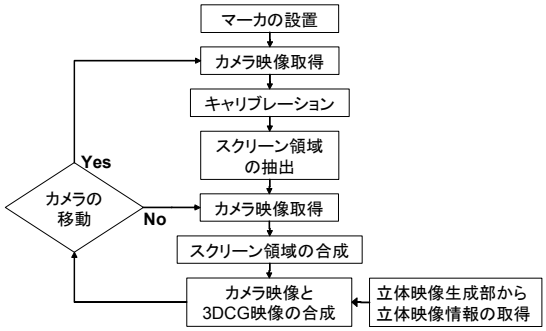


図 8 客観視点映像の合成手順
Fig.8 Composition procedure of objective point of view image

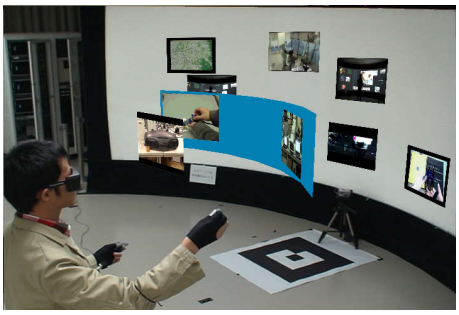


図 9 客観視点映像
Fig.9 Objective point of view image

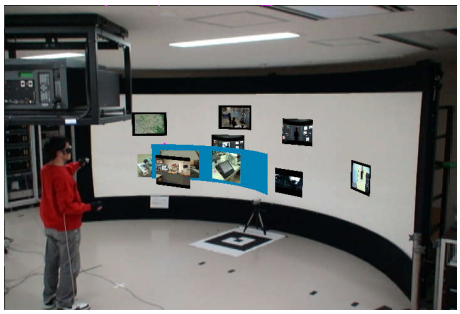


図 10 他の視点からの客観視点映像
Fig.10 Objective point of view image from another point of view

表す行列の更新を行う必要がないからである．カメラの視点位置を変えたい場合は，(2)の手順を繰り返せば良い．体験者の体形には個人差があるので，**図 9** や**図 10** に示すように，ジェスチャ操作やその反応が見やすい位置にカメラを移動することができる．また，これらの手順により合成された客観視点映像は，キーボード操作によりそのまま BMP の静止画 (720×480 pixel) か AVI 形式の動画ファイル (720×480 pixel) として保存することができる．

5. 3D 物体の拡大強調表示

5.1 強調表示の必要性

図 10 の画像は，世界座標系内に 3D 物体（これらの図では，同じ大きさの複数の 2 次元画像が 3 層構造の表示面に貼り付けられている）を正しい透視図

法で描いた結果である．体験者自身は，目の前に 3D 物体が迫って来ると，視野の大半を占めるので遠近感を強く感じる．実際，図 10 の例では，体験者に一番近い 3D 物体は体験者が軽く手を伸ばした位置にあり，体験者にとっては視野の大半を覆う大きさに見えている．しかしながら，図 10 の客観視点映像でその様子を見てもその実感はあまりない．

図 3 のイメージ図と比べれば，その感覚の違いが理解できる．図 3 はパースのみを合わせて，大きさは深く考えず，直観的に嵌め込み合成した画像であるが，一般的にはこうした描き方の方が，飛び出し感を与えることができる．立体ディスプレイの宣伝資料でも同様な手法が採られていることが少なくない．即ち，これは表示物体の大きさを強調して表示した方が，客観視点映像観察者には自然に感じられることを意味している．

これは，ある種の錯視現象であると考えられる．図 2 のような複合現実空間体験の客観視点表示ではこの問題は生じなかったので，本システムのようなスクリーン型両眼立体視体験を客観視する場合に起こる新たな現象かと考えられる．仮説として，「ジェスチャ操作は客観視しているものの，操作対象である 3D 物体は自分が操作している気分で眺めているので, 客観視点映像に占める 3D 物体の視野角もある程度の大きさがないと，不自然に感じる」のではないかと考えられる．

では，どの程度大きさを増した強調処理が行われれば, 客観視点映像として違和感がないのだろうか．何段階か大きさを変化させて試したところ，第２の仮説として,「スクリーン面に投射される二重像がスクリーン上で占める大きさが，そのまま平行移動して描かれる方が，よりリアルな飛び出し感を与える」と考えるに至った．ただし，何を注視するか，どれほどの飛び出し感を望むかはかなり個人差があるので，本システムでは強調処理を適用すべきかどうかは選択でき，適用する場合もパラメータでその程度を調節できるようにした．

5.2 拡大強調表示機能の実現

本システムでは, 3D 物体の重心位置と体験者の両眼中心を結ぶ線上を中心軸として, 3D 物体の拡大強調処理を行ない表示する機能をもたせた．拡大の倍率は，パラメータで調整可能とするが，スクリーン面から体験者方向に飛び出す位置に応じて大きさに矛盾なく，整合性を保つよう，次の条件を満たすよう設定した．

(1) スクリーン上の 3D 物体の倍率は常に 1 倍
(2) 体験者に近い 3D 物体ほど大きく表示

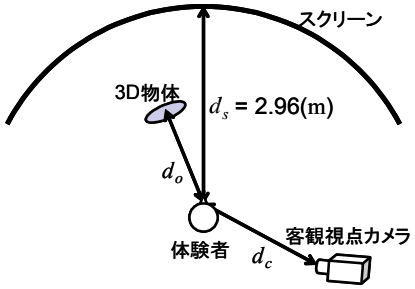


図 11 拡大倍率式の変数定義
Fig.11 Variables definition for scale formula of enlargement

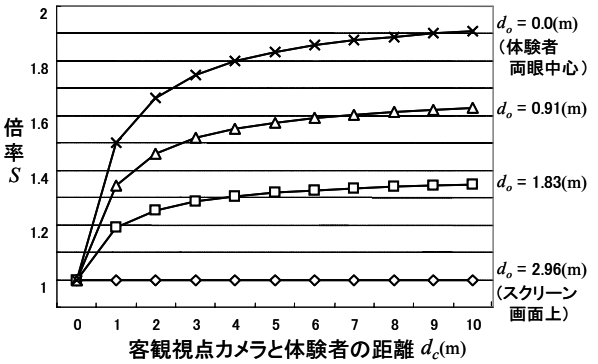


図 12 3D 物体の拡大倍率（$\alpha = 1.0$ の場合）
Fig.12 Scale of enlargement for 3D objects (in the case of α=1.0)

(3) 客観視点カメラが体験者の視線位置と同じ場合は，拡大強調表示の必要はなく，全ての 3D 物体の倍率は 1 倍
(4) 客観視点カメラが体験者から離れるほど，体験者と近い 3D 物体の倍率は大きくなり，ある程度離れるとそれ以上倍率は変化しない
(5) 客観視点カメラはスクリーン面と体験者の間には設置しない

以上の条件を満たす倍率 S の計算式は以下の通り．

$$S = (A \cdot d_c + 1)/(d_c + 1) \quad (1)$$

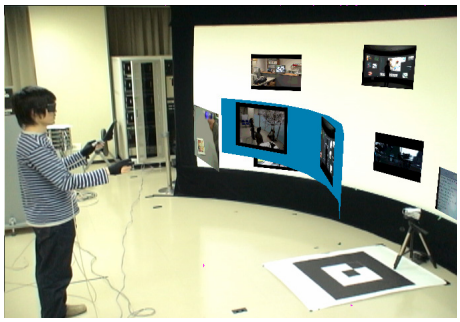
但し，d_c は体験者の両眼中心から客観視点カメラ位置までの距離とする（**図 11**）．また，体験者の両眼中心からスクリーン面までの距離を d_s (=2.96(m)), 3D 物体までの距離を d_o, 強調度を表すパラメータを α（より強調する場合に α を大きく設定）とすると，A は次式で表される．

$$A = 1 + \alpha(1 - d_o/d_s) \quad (2)$$

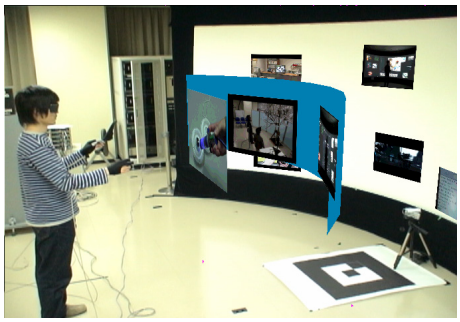
式(1)を利用した 3D 物体の倍率を**図 12** に，強調表示結果を**図 13** に示す．

6. 本システムの運用と考察

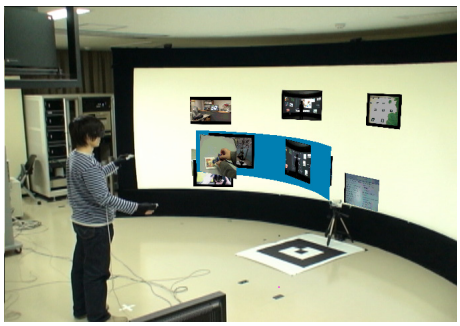
客観視点映像システムは, 約 24fps の動作速度で稼動しており，グラフィックス･ワークステーションと



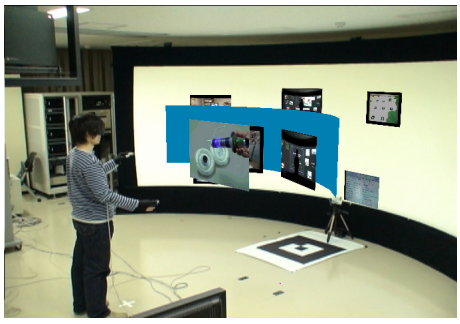
a) 強調表示を行わない場合
(d_c=1.07m, α= 0.0)



b) 強調表示を行った場合
(d_c=1.07m, α= 1.0)



c) 強調表示を行わない場合
(d_c=2.44m, α= 0.0)



d) 強調表示を行った場合
(d_c=2.44m, α= 1.0)

図 13 3D 物体の強調表示
Fig.13 Enlargement display of 3D objects

毎フレーム通信することで，操作者が立体映像を操作している様子をリアルタイムに観察することができることを確認した．

我々が構築した，大画面に向かって利用者がジャスチャ操作で作業する「広視野電子作業空間」システムを，この客観視点映像システムを利用して HI の観点から評価したところ，提案システムの使い勝手に関して以下のような意見が得られた．

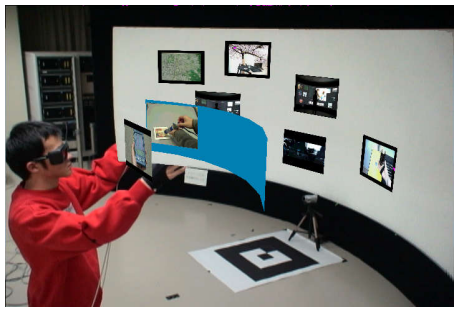


図 14 カメラ位置によって操作者の手が CG に隠蔽される
Fig.14 User's hands are occluded by CG depending on the camera position

・未体験者へのシステムの説明と操作方法の教示に客観視点映像を利用したところ，ジェスチャ操作方法の説明が格段に容易となった．
・被験者の挙動と 3D 物体を同時に映像化できるため，評価者が体験者の 3D インタラクションの様子を視認可能となった．
・被験者の挙動と 3D 物体の動きをムービーとして記録できるため，操作時間や誤操作の回数などを実験後に測定することが可能となった．
・実験後，被験者に自身が操作している様子をムービーで提示し，主観評価やコメントをもらうことが可能となった．
・複数の被験者の挙動を録画したムービーを並べ，操作の様子を比較することが可能となった．

また，従来の複合現実感システムでは，客観視点カメラは定位置で運用されることが多かったが，本システムでは即時キャリブレーションにより簡単に移動できる機能をもたせたことから，被験者の体形に応じてカメラ位置を調整するなど，運用面での利便性が向上した．

ただし，全く任意の位置で客観視点映像を取得して意味がある訳ではない．**図 14** に示すような位置では，白抜きしたスクリーン面に操作者の手の挙動が隠されてしまい，表示物体とも交錯する．これは，オクルージョンの前後判定を行なっておらず，映像合成時に CG 表示が必ず前面描画されるためである．実時間レンジファインダなどを導入すれば，操作者のジェスチャの幾何形状データが得られるので，オクルージョン問題を回避することができるが，コスト的に難がある．カメラ設置位置を上手く選択する方が得策であると考えられる．

また，3D 物体の強調表示機能に関して，「広視野電子作業空間」システムを体験した被験者から，強

調表示を施した場合の方が,実際体験した 3D 物体の飛び出し感と近い印象を受けたという意見を得た．しかし，拡大率(α)を余り大きくすると，3D 物体の位置が本来体験者に表示されている位置と大きくずれるため，ジェスチャを行う際の手の位置にずれが発生する．体験者から離れた位置にある CG 物体をリモートコントロールするシステムであれば，このずれはあまり気にならない．しかし，体験者が目の前で CG 物体に（仮想的に）触れながら操作する場合には，拡大率を大きくしないよう注意が必要である．また，2 章で述べた(a)～(d)の用途の中では，(a)の未体験者へのシステムの教示，(d)の体験者自身が自分の動作を記録して確認する場合など，3D 物体と手のずれがそれほど重要でない場合に拡大強調表示が有効であると考えられる．

同様に，この客観視点映像を撮影している場合は，照明条件に関しても配慮が必要である．投影型のディスプレイでは，画像の視認性だけを考えれば，体験者は暗い環境を好むが，暗い環境では体験者自身も暗く表示されるので，プレゼンテーションや体験者の 3D インタラクションの様子を分析することが目的であれば，ある程度の犠牲は止むを得ない．ただし，3D-CG で描く物体は照明条件に関わらず明るく表示できるので，操作者をスポットライトで局所的に照らすことで，少し暗い環境にすることも可能である．

7. むすび

投射型立体映像ディスプレイを用いた 3D インタラクションを，体験者とは別の位置に設置したカメラによる「客観視点」からの 2D 映像として可視化・記録するシステムに関して報告した．本システムの対象となる立体映像操作体験は，現実と仮想を正確かつ対等に融合する「複合現実感」ではないが，体験者の現実の動作と体験者が操作している仮想物体を合成して表示するという意味では，ある種の「複合現実感システム」とであるとも言える．

本システムは，研究成果の外部でのプレゼンテーション用としてだけでなく，HI 研究のツールとして利用することを目的に開発を行った．ジェスチャ・インタフェースの評価実験時に被験者に手本を教示したり，各体験者の挙動の違いや操作の円滑さを分析するのにも極めて有用である．本報告では，複合現実感技術にヒントを得た開発事例で，ここでは時分割で表示される立体映像を液晶シャッタ眼鏡をかけて眺める方式を採用しているが，偏光方式で投影する立体映像表示スクリーンの場合も基本は同じである．今後，本システムを活用して，「広視野電子作業空間のヒューマンインタフェースに関する研究」を加速させ，新たな知見を得ることで，より良いインタフェースを産み出すことを促進したい．

謝辞

本システムの開発・運用・実験等に関しては，研究室在籍の学生，鬼柳牧子・上野由佳・前野恭平・平沼真吾らの諸君の協力を得た．ここに感謝の意を表します．本研究の一部は，科研費・基盤研究(A)「三感融合型複合現実空間の構成法に関する研究」の支援によるものである．

参考文献

[1] G. Kurtenbach, and G. Fitzmaurice (eds): “Special issue on application of large display,” IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.25, No.4, pp.22 - 65, 2005

[2] 中嶋正之：“CAVE −新しい立体映像空間”，電子情報通信学会誌，Vol.80, No.8, pp.888 - 890, 1997

[3] 木村朝子，柴田史久，鶴田剛史，酒井理生，鬼柳牧子，田村秀行：“ジェスチャ操作を活用する広視野電子作業空間の設計と実装”，情報処理学会論文誌, Vol.47, No.4, pp.1327 - 1339, 2006

[4] 田村秀行，内山晋二：“MR プラットホーム・システム”，日本 VR 学会誌, Vol.8, No.1, 2003

[5] O. Grau, T. Pullen, and G. A. Thomas: “A combined studio production system for 3D capturing of live action and immersive actor feedback, ” IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14, No. 3, pp. 370 - 380, 2004

[6] G. Thomas: “Mixed reality techniques for TV and their application for on-set/pre-visualisation in film production,” International Workshop on Mixed Reality Technology for Filmmaking (DVD), 2006

[7] 加藤博一，M. Billinghurst，浅野浩一，橘啓八郎 : “マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション”，日本 VR 学会論文誌, Vol.4, No.4, pp.607 - 616, 1999

（2007年3月2日受付）

［著者紹介］

木村 朝子　（正会員）



1996 年大阪大学基礎工学部卒．1998 年同 大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同 大学助手，2003 年立命館大学理工学部助教授，2004 年同情報理工学部助教授を経て，2007 年 4 月より科学技術振興機構さきがけ研究員, 立命館大学総合理工学研究機構客員教授．博士（工学）．実世界指向インタフェース，複合現実感，ハプテックインタフェースの研究に従事．2001 年より 2002 年まで Mayo Clinic にて Special Project Associate．電子情報通信学会，情報処理学会，ヒューマンインタフェース学会，ACM，IEEE の会員．2006 年日本 VR 学会学術奨励賞受賞．

片岡直哉　（非会員）



1983 年滋賀県八日市市（現 東近江市）生まれ．2006 年立命館大学理工学部情報学科卒．現在，同 大学院理工学研究科博士前期課程在学中．複合現実感のための位置あわせの研究に従事．

鶴田 剛史　（非会員）



1980 年京都府舞鶴市生まれ．2004 年立命館大学理工学部情報学科卒．2006 年同大学院理工学研究科博士前期課程修了．同年 4 月，（株）ドワンゴ入社．2007 年 2 月（株）ゲームズアリーナへ転籍．現在，同モバイル開発部ソフトウェアセクション所属．

柴田 史久　（正会員）



1996 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．1999 年同 研究科博士後期課程修了．大阪大学産業科学研究所助手を経て，2003 年 4 月より立命館大学理工学部助教授．現在，同 情報理工学部情報コミュニケーション学科准教授．博士（工学）．モバイルコンピューティング，複合現実感等の研究に従事．現在，米国 セントラル・フロリダ大学にて学外研究を行う．IEEE, 電子情報通信学会，日本ロボット学会，情報処理学会等の会員．2004 年日本 VR 学会学術奨励賞受賞．

田村 秀行　（正会員）



1970 年京都大学工学部電気工学科卒．工業技術院電子技術総合研究所，キヤノン（株）等を経て，2003 年 4 月より立命館大学理工学部教授．現在，同 情報理工学部メディア情報学科教授．工学博士．1997 年より 2001 年まで，MR システム研究所にて「複合現実感研究プロジェクト」を率いた．本学会元理事，現在，評議員，複合現実感研究委員会顧問．編著書「Mixed Reality」(Ohmsha & Springer)「コンピュータ画像処理」（オーム社）など．電子情報通信学会フェロー，IEEE, ACM，情報処理学会，人工知能学会，映像情報メディア学会等の会員．情報処理学会論文賞，人工知能学会功労賞等を受賞．