TVRSJ Vol.7, No.2, 2002

応用論文

2001 年 MR 空間の旅
複合現実感技術の映像制作分野への応用

大島 登志一　黒木 剛　小林 俊広　山本 裕之　田村 秀行

2001: An MR-Space Odyssey
Applying Mixed Reality Technology to VFX in Filmmaking

Toshikazu OHSHIMA, Tsuyoshi KUROKI, Toshihiro KOBAYASHI
Hiroyuki YAMAMOTO, Hideyuki TAMURA

Abstract Visual effects (VFX), which composite computer-generated imagery (CGI) onto live-action scenes in a feature film, usually require a sequence of images that is manually generated in the post-production process. In an alternative approach, mixed reality (MR) merges the real and virtual worlds to achieve real-time interaction between users and MR space. In this sense, MR creates real-time VFX seen from an observer's viewpoint. These two fields, which used to be considered independent, will rapidly affect one another. The VFX techniques, especially photometric registration, are useful in MR systems. On the other hand, MR technology can be utilized in film production. This paper introduces the first MR system that is specially implemented for a rehearsal stage in filmmaking.

Key words Mixed Reality, MR, Visual Effects, VFX, Filmmaking, Depth-Keying

1. はじめに

昨今制作される映画には必ずといっていいほど，CG（Computer Graphics）などのディジタル処理による VFX（Visual Effects）が施されており，カメラ撮影による実写映像だけではコスト的あるいは技術的に実現が困難な映像表現を行っている．このような映画制作における実写と CG の精緻な合成は，ポストプロダクションで一コマづつ時間をかけて達成されるものである．まず実写素材をコンピュータに取り込み，その画質やパースペクティブに合わせて CG を制作し，正確に位置を合わせて合成を行う．そして，合成された画像のシーケンスは，編集作業ののちフィルムに焼きこまれる．観客はフィルムからスクリーンに投影された映像を鑑賞するが，それは撮影時のカメラからの視界であって，観察者が任意に変更することはできない．

一方，現実空間と仮想空間を融合する複合現実感（Mixed Reality: MR）[1,2]は，前記のような映画制作における実写と CG の合成とは異なり，主観視点かつ実時間の対話操作性を主要な特徴とする．これら二つの技術分野は，従来独立した領域として発展してきたが，実写と CG を合成するという点で MR と映画の VFX は共通の技術要素を含んでおり，相互に影響を与えつつある．特に，画質的に整合性の高い合成映像を実現する VFX 技術は，MR においても有用性の高いものである．また，映像制作現場では，作業効率の向上を図るために，合成映像をリアルタイムに確認しようとする動向がみられる[3]．すなわち，MR 技術は映像制作分野に大きなメリットをもたらす可能性を持っていると考えられる．

本論文では，MR 技術を映像制作の現場に持ち込む一つの足がかりとして，撮影リハーサルという状況を想定してコンテンツを実装した技術デモンストレーションシステムを紹介する．第２章では，本企画で訴求しようとするコンセプトについて述べ，第３章で，システムの概要について説明する．第４章では，従来手法との比較を試みる．

2. 開発コンセプト

ポストプロダクションによる VFX では，実写素材を先に撮影して，それに位置と画質を合わせる形式で CG を制作し合成するのが一般的である．したがって，実写素材の撮影時には，VFX が適切に施されるように，綿密なプランに基づいた演技やカメラワークが要求され，試行錯誤の柔軟性に欠けていた．

（株）エム・アール・システム研究所
Mixed Reality Systems Laboratory Inc.

本企画では，このような現状を鑑み，MR 技術を援用することによって，撮影現場で演技者と監督，およびカメラマンが同時に，VFX をリアルタイムにプレビューすることを可能にし，下記のように柔軟性のあるリハーサル環境が実現できることを，デモによる疑似体験を通じて見学者に訴求する（図 1）．

2.1 カメラマン：自由なカメラワーク

従来の撮影現場では，セットの中に CG が見えないわけであるから，カメラのフレーミングが難しかった．一方，本システムでは，カメラマンは，CG が合成された映像をファインダで確認しながら，自由にカメラワークをテストすることができる．

2.2 監督：総合的な演出

監督は，本システムによって実写と CG の全ての素材がそろった合成映像をモニタで見ながら，カメラワーク・演技・CG に対する指示を総合的にリアルタイムに与えることができ，合成結果の整合性が高い映像をディレクションすることが可能になる．

2.3 演技者：主観視点のリアルタイム VFX を体験

従来，CG キャラクタとの共演シーンを演じるためには，想像力に頼った一人芝居をしなければならず，監督と具体的なイメージを共有するためのプロセスに時間をかける必要があった．本システムでは，ビデオシースルーHMD を装着することで，MR 空間に展開される VFX を主観視点でリアルタイムに体験できるので，CG キャラクタの位置や動作，タイミングを直接視認しながら演技することが可能になり，リハーサルを効果的に行える．

2.4 CG キャラクタ：現場で調整

実写素材は簡単に撮り直しができないため，その撮影時には VFX との整合性を配慮することが重要となる．本システムでは，CG キャラクタの配置や動作を実際の演技者と合わせながら現場でリアルタイムに調整することができ，ポストプロダクションでの作業効率が大幅に向上する．

2.5 デプスキー合成：ブルーバック不要

CG キャラクタと実際の演技者を合成する方法として，一般にクロマキー合成が用いられている．この方法では，ブルーあるいはグリーンのスクリーンを背景として演技者を撮影する必要があり，撮影環境としては大きな制約条件である．また，演技者は何もないブルーの空間で演技することを強いられ，自然な演技をする上で負担となっている．本システムでは，デプスキー合成を採用することで，ブルーバックが不要な撮影環境を実現する．さらにクロマキー合成では，ブルーの領域が常に背景として処理され，前後関係を固定した合成しか行うことができない．一方，デプスキー合成では，CG キャラクタと演技者の前後関係が動的に変化する場合でも，正確に空間的な整合性のとれた合成を行うことができる．



図 1 MR を用いたリアルタイム VFX

Fig.1 Concept of On-Set VFX using MR

3. システムの概要

前述のコンセプトを具現化するため，本システムでは，下記のような設計・実装を行った．

3.1 ビデオシースルーHMD

本システムでは，役者が CG キャラクタとの間合いを把握しやすいように，パララックスレス型のビデオシースルーHMD “ COASTAR[5] ” を使用している（図 3）．COASTAR には，２台の小型 CCD カメラが装着者の眼球と光学的に共役な位置に配されており，自然な立体感を得られる効果がある．

3.2 ヘッドトラッキング

HMD の位置を精度良く計測する手段として，光学式トラッカである Optotrak（Northern Digital Inc. 社製）を使用した．本装置は，受光部からの距離 6m付近の公称誤差が 2mm であり，また計測範囲に関しても今回の移動範囲として想定する約 3m×4m の領域をほぼ均一な精度でカバーできるため，本システムの用途に適していると判断した．他方，磁気センサ型のトラッカは，コストが低く小型軽量で設置も容易であるが，精度に問題があるため，RV-Border Guards[6]などで使用したような CV（Computer Vision）による補正処理[7]が必要となる．しかしながら，美観上撮影セット内にはフィデューシャルを設置しないといった制約条件があったため，磁気センサと CV の併用によるレジストレーションは採用しなかった．

Optotrak は，赤外光を発する LED の位置を最大 256 個，毎秒 3000 ポイントまで計測することができる．一つの LED について位置のみ計測されるので，回転角度を求めるためには，最低３個の LED を計測対象に取り付ける必要がある．さらに，計測対象をあらゆる角度から観測できるようにするには，多数の LED を設置する必要がある．そのため，本システムの HMD（図 3）には，12 個の LED を取り付け，ほぼ 360 ° の見回し範囲をカバーしている．

3.3 カメラトラッキング

撮影用カメラの１台として業務用ハンディカメラを用い，デジタルインタフェースを備えたズームレンズを使用した．フォーカスとズーム情報がリアルタイムに計算機に送られ，実写のパースペクティブと整合のとれた CG が生成される．また，HMD と同様に Optotrak によって位置・姿勢を計測しており，自由なカメラワークが可能である．

3.4 距離情報の取得

本システムでは，リアルタイムに現実空間の距離情報を取得する手段として，多眼カメラ型のレンジファインダを使用している（図 4）．本装置は，５台のカメラによる画像の視差情報をマルチベースラインステレオ法によって解析し，720×486 の解像度で 256 段階の距離情報を D1 映像信号として出力するものである．この距離情報を画像としてコンピュータに取込み，z 値に変換して z バッファに転送する．そして，仮想物体をフレームバッファに重畳して描画すると，z バッファの前後判定によって正確な奥行き関係を表現した画像が合成される．図 5 にこのようなデプスキー合成の例を示す．また，５台のカメラのうち，中央のカメラは撮影用カメラとしても使用する．

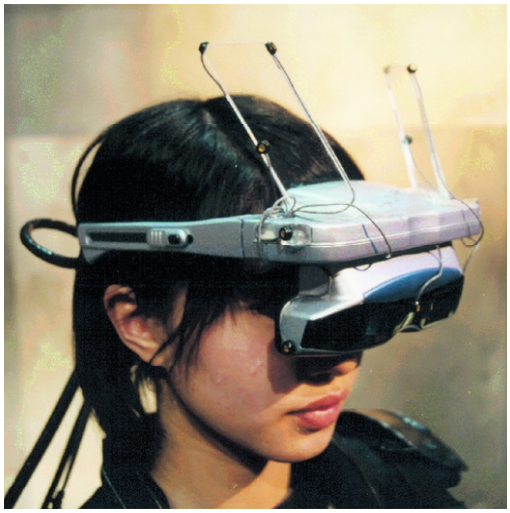


図 3 COASTAR HMD
Fig.3 COASTAR HMD

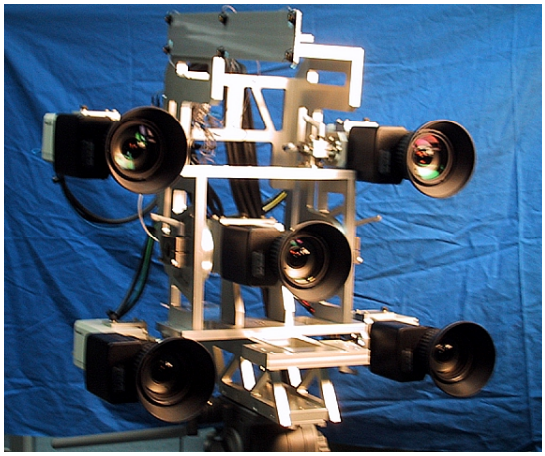


図 4 ステレオレンジファインダ
（Optotrak マーカ付）
Fig.4 Stereo range finder



(a) CG



(b) 実写画像



(c) 距離画像



(d) 合成画像

図 5 デプスキー合成

Fig.5 Depth-keying

3.5 カメラワークに関する制約

本システムでは，撮影用カメラとして２台のカメラを切り替えて使用する．１台は前述の業務用ハンディカメラ，２台目はレンジファインダの中央のカメラである．前者はディジタル I/F 付きレンズで，ズームなどのカメラワークができ，後者はデプスキーを用いた合成映像を撮影できる．このような各カメラの特徴を活かすようにカット割を考慮することとした．一方,Share-Z[8] のように，距離情報を任意の視点に変換する技術を適用すれば，レンジファインダ以外のカメラの映像にも距離情報が使える可能性がある．しかしながら，今回はレンジファインダ視点の映像のみデプスキー合成を行うという割り切りを行った．また同様に，HMD に提示する映像にもデプスキー合成を適用していない．

3.6 システム構成

図 6 にコンピュータと主要機器を示す．SGI 製 GWS（Graphics Work Station）Onyx2×１台と O2 ×５台，および PC×１台を使用している．システム全体は下記に示す６つの機能ブロックから構成される．

3.6.1 カメラ視点映像生成部（Onyx2）

演技者のインタラクションを処理し，カメラ視点の画像を生成する．上演するカットによりハンディカメラとレンジファインダの映像をオンライン制御で適宜切り替えて，レンジファインダ視点の場合のみデプスキー合成処理を行う．

出力映像はノンリニア編集装置に収録され，撮影直後にその場で仮編集することができる．

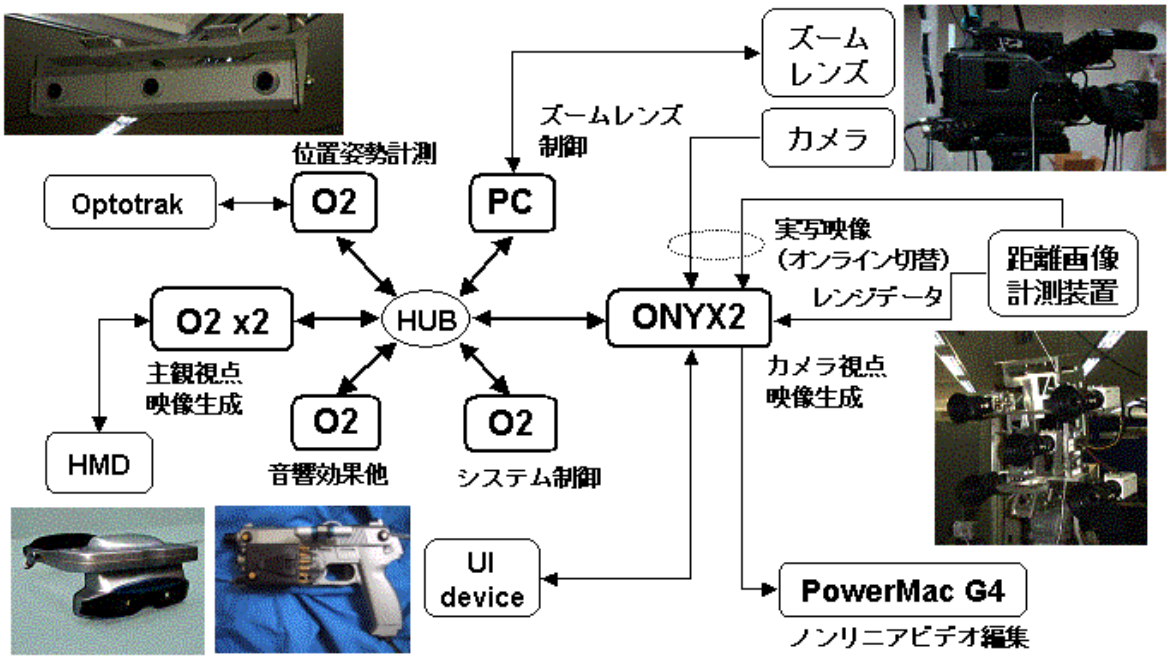


図 6 システム構成図

Fig.6 System configuration

3.6.2 主観視点映像生成部（O2×２台）

HMD のカメラからの映像を入力とし，主観視点画像を左右独立に２台の O2 で生成する．

3.6.3 システム制御部（O2）

オペレータとの対話処理を行い，システム全体を制御する．オペレータの操作により，クリーチャの動作，サイズ，位置および向きが調整される．また，壁や天井，家具などの仮想オブジェクトを任意に配置することができる．

3.6.4 位置姿勢計測部（O2）

Optotrak を制御し，HMD，銃などの UI，ハンディカメラ，レンジファインダの位置を計測する．

3.6.5 特殊効果部（O2）

音響効果・射撃時のストロボ発光などを行う．本機能ブロックの O2 は，他機がダウンした場合のバックアップ機も兼ねている．

3.6.6 ズームレンズ制御部（PC）

ズームレンズから焦点距離・フォーカス情報を取得し，CG 用のカメラパラメータを計算する．

4. 従来手法との比較検証

「2001 年 MR 空間の旅」と題した短編 VFX 映像を題材としてコンテンツの実装を行った．そのストーリーは，荒廃した殖民惑星の基地を舞台に，謎のクリーチャと兵士が戦う，という設定である．脚本とコンテンツの監修，ムービーの制作は，高度な VFX で定評のある映画『ジュブナイル』[4]を監督した山崎貴氏（(株)白組）が行った．

同一のストーリーボードとモデルデータを共有する形で，MR システムの実装と，ポストプロダクションによる VFX を用いたムービーの制作が同時に進められた．すなわち，VFX ムービーは本システムを実際に運用して制作されたものではない．その制作過程を従来例として参照し，本システムの可能性を考察する．

4.1 ポストプロダクションによる合成

天井の穴から襲い掛かってきたクリーチャに兵士が発砲するシーケンスを例にとる．図 7 にポストプロダクションによる実写と CG の合成過程を示す．(d)の合成画像は，下記の３つの素材からなっている．

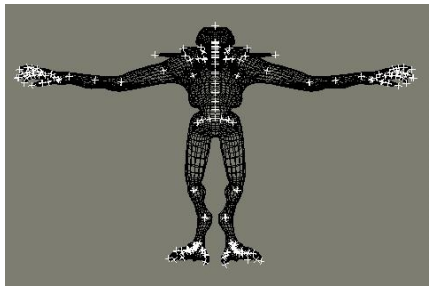
(a) 実際の演技者
(b) ミニチュア模型
(c) CG のクリーチャ



(a) ブルーバックと演技者



(b) ミニチュア模型



(c) クリーチャのモデルデータ



(d) 合成画像

図 7 ポストプロダクションによる合成

Fig.7 Composite by post-production

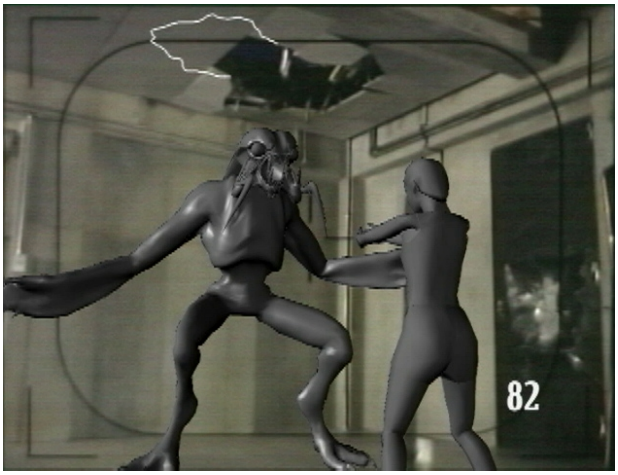


図 8 カメラテスト用簡易レンダリング画像

Fig.8 Test composite image

演技者の撮影においては，クリーチャの立ち位置にマークをつけたポールが立てられており，演技者はこれを目印として演技を行った．この場合，本番の撮影の前に，図 8 に示すようなカメラテスト用の簡易レンダリング映像をモニタで見ながら，クリーチャの動作とタイミングを体得できるまでリハーサルを繰り返す必要があった．さほど複雑な絡みもない十数秒のカットであるが，ＯＫが出るまでに１時間程度を要している．

4.2 MR システムによるリアルタイム VFX

本システムの実演風景を図 9 に示す．

演技者（図 9 中央）は，ビデオシースルーHMD を装着し，現実のセットの中に CG のクリーチャが重畳された MR 空間を体験する．これにより，主観視点でリアルタイムにクリーチャを視認しながら，その動作に合わせて演技を行うことができる．図 10 に演技者の HMD に提示される主観視点の画像を示す．前述のブルーバックでの撮影では，現実の舞台セットも CG のクリーチャもない環境で演技しなければならなかった．一方，本システムでは，セットとクリーチャを眼前に観察できる．前記のムービーにも出演した兵士役の女優は，特にキャラクタのスケール感が分かりやすいとコメントし，位置関係や動作のタイミングを把握するのが容易であり，自律的に演技の変更を試みることも可能であるとの主観的評価を得た．

現状では，デプスキー合成の精度やシステムの完成度の問題から，本番ではクロマキーセットで撮影を行う必要が生じるが，デプスキーの利用により，クロマキーセットでのリハーサル時間を短縮できる可能性を示すことができたと考えられる．

一方，監督（図 9 右下）は，ズーム操作やカメラ移動に追従した合成映像（図 11）をリアルタイムにモニタ上で確認し，カメラワークの指示や演技指導を行うことができる．距離画像情報を使用して，CG キャラクタと演技者および背景の前後関係を判断し，正しい奥行き関係で映像を合成することを実現している．本番ではクロマキーを用いるにしても，現場で仮想と現実の全ての造形が揃った状態でリアルタイムにプレビューできるのは，カメラワークや演出の検討に利用できそうであると，監修の山崎氏から感想をいただいた．

5. まとめ

本論文では，ＭＲ技術を映像制作分野に適用する試みとして開発したシステムについて述べた．本システムは，VFX を撮影現場でリアルタイムに確認することができる VFX 映像制作支援システムである．

2001 年 3 月の研究成果報告会において公開展示を実施した．映画用の撮影機材を使用していないため，実際の映画制作現場での運用については未検討



図 9 実演風景（右側は山崎貴監督）

Fig.9 Demonstration of the MR system



図 10 主観視点画像

Fig.10 View from an actress

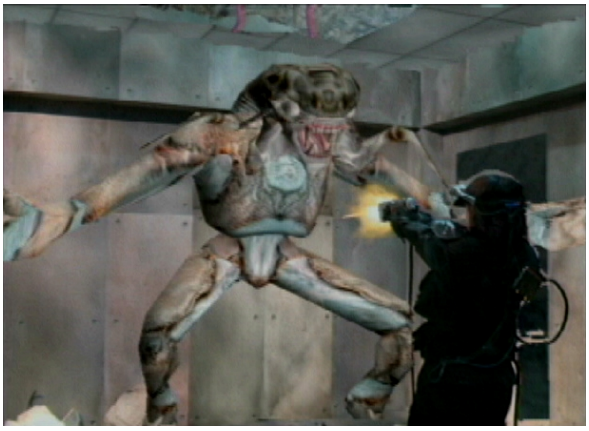


図 11 カメラ視点画像

Fig.11 View from a primary camera

の部分が多々残されているが, 従来方式の VFX ムービーと同じコンテンツの制作過程を本システムで追体験した監督と役者の主観評価は，MR 技術の映像制作現場での実用性を十分に感じさせるものである.

また，展示にあたっては，多数の一般見学者も楽しめるようアトラクション仕立ての演出を行ったが, 国内外アミューズメント業界や TV 局関係者からイベントへの出展に関する問い合わせを受けている. MR 空間で映画の主人公を演じることのできる新しいタイプの映像アトラクションとして，本システムを活用することも期待できるとの感触を得た.

今後，本システムで得た知見を元に，映像制作産業とアミューズメント産業の両面を視野に捕らえ, より実用性の高いシステムの開発を進めたい.

謝辞：本プロジェクトを進めるにあたってご協力をいただいた山崎貴監督ならびに(株)白組 調布スタジオの方々，ムービーとデモ展示の両方で勇敢な兵士を演じた北浦みちえ氏に謝意を表する.

参考文献

[1] Y. Ohta and H. Tamure (eds.), Mixed Reality – Merging Real and Virtual Worlds, Ohm-sha & Springer-Verlag, 1999.

[2] S. Feiner et al., “Mixed reality: Where real and virtual worlds meet,” in SIGGRAPH 99 Conference Abstracts and Applications, pp.156-158, 1999.

[3] S. Rosenthal et al., “Real-time computer graphics for on-set visualization: *A.I.* and *The Mummy Returns*,” in SIGGRAPH 2001 Conference Abstracts and Applications, p.251, 2001.

[4] 山崎貴監督, 映画 “ ジュブナイル, ” 東宝配給, 2000.

[5] A. Takagi, S. Yamazaki, Y. Saito and N. Taniguchi, “Development of a stereo video see-through HMD for AR systems,” Proc. ISAR 2000, pp.68-77, 2000.

[6] 大島登志一，佐藤清秀，山本裕之，田村秀行, “ RV-Border Guards: 複数人参加型複合現実感ゲーム, ” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.4, no.4, pp.699-706, 1999.

[7] 佐藤清秀, 山本裕之, 田村秀行,“ カメラと３次元センサの組み合わせによる現実空間と仮想空間の位置合わせ手法, ” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.4, no.1, pp.295-302, 1999.

[8] Y. Ohta et al, “Share-Z: Client/server depth sensing for see-through head mounted displays,” Proc. ISMR2001, pp.64-72, 2001.

[著者紹介]

大島 登志一 （正会員）



1991 年筑波大学大学院博士課程工学研究科修了. 同年キヤノン(株)入社. 1997 年 2 月から 2001 年 4 月まで(株)MR システム研究所に出向. 現在, キヤノン(株) MR システム開発センター主任研究員. 複合現実感システムの研究開発に従事. 画像情報技能検定 CG1級. 工学博士.

黒木 剛



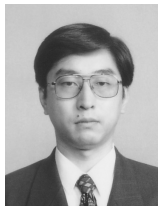
2000 年東京大学大学院修士課程修了, 同年株式会社エム・アール・システム研究所入社. 2001 年キヤノン株式会社入社, 現在に至る. 複合現実感システムの研究開発に従事.

小林 俊広



2000 年, 筑波大学大学院修士課程理工学研究科修了. 同年, キヤノン(株)入社. 現在, 同社 MR システム開発センターに勤務. 主に複合現実感システムの開発に従事.

山本 裕之 （正会員）



1986 年 大阪大学大学院基礎工学研究科修士課程修了. 同年キヤノン(株)入社. 1990 年～1992 年 マクギル大学知能機械研究所客員研究員. 1997 年 2 月より(株)MR システム研究所出向. 2001 年 4 月キヤノン(株)復帰. 現在, MR システム開発センターMR 技術第一研究室室長． 本学会複合現実感研究委員会幹事． 主に複合現実感の研究に従事. 工学博士

田村 秀行 （正会員）



1970 年京都大学工学部電気工学科卒. 電子技術総合研究所主任研究官を経て, 1986 年キヤノン（株）入社. 現在同社 MR システム開発センター所長. 工学博士． 1998 年 より静岡大学情報学部講師。1997 年 1 月より 2001 年 3 月まで 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. 本学会理事及び同複合現実感研究委員会委員長.