

映画制作における複合現実感技術の利用とその効果

○ 柴田史久, 田村秀行

○ Fumihisa SHIBATA and Hideyuki TAMURA

立命館大学情報理工学部, fshibata@is.ritsumeai.ac.jp

我々は、2005年度から5年余りにわたって、CREST/MR-PreVizプロジェクトを推進してきた。MR-PreVizとは、近年注目を集めつつある複合現実感（MR）技術を映画制作のプリプロダクション段階で積極的に活用したものであり、オープンセットやロケ地等の実背景にCG映像を実時間で重畳・合成することによって、フルCGによるPreVizの威力を強化したものである。本稿では、本プロジェクトの最終段階での研究成果とその利用の実態について紹介する。

<キーワード> 複合現実感, PreViz, 映画制作, 幾何位置合わせ, 再照明付与

1. はじめに

潜在的にまだ大いなる発展の余地があり、広汎な応用分野を有するAR（拡張現実感）／MR（複合現実感）技術にとっても、映画制作への利用は厳しい挑戦分野である。同じビジュアル・エンターテインメントでも、MR空間を利用した体感型ゲームがビデオゲームの未来像を予感させるのに対して、確立した制作スタイルをもつ映画業界からは、最高水準の映像品質と厳しい工程管理意識を求められるからである。本稿では、それを承知の上で筆者らが推進してきたCREST/MR-PreVizプロジェクトに関して概観し、その中で遭遇した実問題に関して述べる。

MR研究の黎明期の頃、現実と仮想を融合するMRという概念は、映画における視覚効果(Visual Effects; VFX)としばしば混同された。既に『ターミネーター2』(91)や『ジュラシック・パーク』(93)といったCG製のロボットや恐竜が登場する大作映画が公開され、実写とCGの合成が大成功を収めていたからである。実際、MR技術における「幾何学的整合性」「光学的整合性」という二大要素技術は、映画のVFXにおいても必ず達成すべき要件であったから、「実時間対話性」という制約条件を課せられたMR分野にとって、先行する映画のVFXは学ぶに足る対象であった。

これを逆手にとり、MR技術のもつ「実時間対話性」を武器として、映画制作への応用を試みた研究

事例は[1]である。2001年開発のこのシステムは、撮影現場でHMDをかけた俳優がCGキャラクタを視認しながら演技でき、監督が予めCG合成結果をモニター上で確認できるものであった。同システムが試作例に留まったのは、映画撮影の主流はまだフィルムカメラであり、HMDをかけたままの俳優の演技は、本番撮影に利用できなかったからである。映画撮影用デジタルHDカメラが普及し、俳優の顔は簡単にCGで置き換えられるようになった今日、同システムの機能は映画撮影本番で利用可能である。

本稿で紹介するMR-PreVizは、映画制作過程をもう一歩前に進め、プリプロダクション段階でのPre-visualization（事前可視化）にMR技術を積極利用しようというものである。以下、2005年度から5年余りにわたるこのプロジェクトの最終段階での研究成果とその利用の実態について紹介する。

2. CREST/MR-PreViz プロジェクト

2.1 PreVizとMR技術の関係

映画の本番撮影はProductionと呼び、それに先立つ企画、脚本執筆、キャスティング、ロケハン等の準備をPre-production（プリプロ）、フィルムからのデジタル化、色調調整、音入れ、編集等の後処理をPost-production（ポスプロ）という。VFXはポスプロに属する作業であるが、CGの発展により、映画制作での重要な役割を占めるようになった。

これに対して、プリプロ段階でのCG利用として

注目を集めつつあるのが、PreViz (PreVis, pre-visとも書く) である。監督の意図をキャストやスタッフに伝えるため描かれていた「絵コンテ」をフルCGアニメ化したものが使われ始め、(CG)アニメティクスとも呼ばれてきた。当初は、後でVFX加工する重要なシーンのみが対象であったが、意思伝達ツールとして重宝され、最近では映画の大半のシーンをPreViz化する大作映画も珍しくない。ハリウッド界限ではPreViz 専業スタジオも次々と生まれ、米国では業界団体も組織されている。

フルCG中心のPreVizに、MR技術を導入し、映画撮影スタジオ内の大型セット、屋外のオープンセット、ロケ地等の実背景にCG映像を実時間重畳・合成することで、PreVizの威力を強化したものが我々のMR-PreVizであり、以下の特長を有する。

(1) 本番撮影現場での臨場感のあるMR合成であるため、カメラ・リハーサル、セット・シミュレーションを兼ねることもできる。完全主義者の監督には、本番撮影前に様々な試行錯誤が可能で、より創造性を発揮しやすい。

(2) 宇宙人、モンスター等のCGならではのキャラクター以外に、本番で生身の俳優が演技する動作も事前可視化できる。高額ギャラの俳優を起用する場合は、映画総製作費の削減効果もある。

(3) VR分野から見れば、カメラ視点での視覚的MR合成であり、映画制作的には撮影現場での実時間3Dマッシュムーブと解釈できる。カメラワークの取得・記録には、屋外での自然特徴点追跡を基本としているので、MR技術としてはかなり困難な課題に属する。

2.2 MR-PreVizを用いた映画制作

MR-PreVizを用いた映画制作のワークフローを

図1に示す。プロジェクト開始当初は、MR-PreVizを用いた映画制作のワークフローは、プリプロ段階における3フェーズ(図中のPhase 1~3)とプロダクション段階における1フェーズ(Phase 4)に分けて考えていた[2-4]。しかしながら、その後の研究開発やMR-PreVizを用いた実際の映画制作を行う中で、MR-PreViz映像を加工・再調整することにより、監督の意図をより明確に表現できることが分かったことから、最終的にはPhase 3.5を加えた以下の5つに分けて考えるようになった。

Phase 1 : MR-PreViz対象シーンの選択

企画段階において絵コンテだけではイメージや動きを伝えることが難しい場合に、フルCGでのPreVizやMR-PreVizを実行すべきシーンを決める。

Phase 2 : 素材データの準備

対象シーンを決めた後に、MR-PreViz映像撮影の前段階として、CGキャラクターデータの作成、アニメーション設定、アクションデータの作成を行う。

本プロジェクトでは、CASCADESと名付けた専用の編集ツール(後述)を用いて、異なるアクションデータの混在・編集・加工・空間配置の作業を行い、その結果はPhase 3に送られる。

Phase 3 : MR-PreViz映像撮影

オープンセットやロケ地などにおいて、CASCADESの出力結果をMR空間に反映させ、MR-PreViz撮影を行う。「カメラワーク・オーサリングツール」[3]の「カメラワーク・レコーダ」によりMR-PreViz映像の現場での確認・録画・カメラワークの保存を行う。

Phase 3.5 : MR-PreViz映像の加工・再調整

MR-PreViz撮影の結果を、実写映像とカメラワーク情報とに分けて収録することで、HD(High

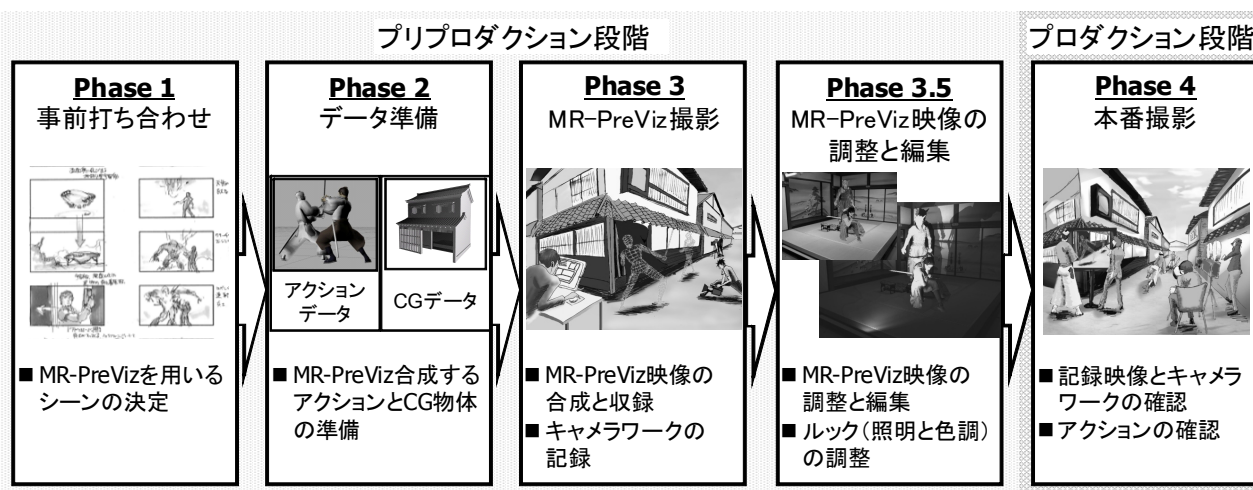


図1 MR-PreVizを用いた映画制作のワークフロー

Definition) 画質の MR-PreViz 映像が生成可能となる。その際、合成する CG を差し替えることもでき、再照明付与を施すことで、光学的外観の変更・調整を行い、監督の完成イメージへと近づける。

Phase 4 : 本番撮影時の支援

MR-PreViz 映像やその他の記録を「MRP ブラウザ」を用いて可視化し、本番撮影現場で確認することにより、当該シーンに対するスタッフ間でのイメージの共有化を図り、効率的に本番撮影を進める。

3. MR-PreViz のための要素技術とシステム

3.1 撮影現場における幾何位置合わせ技術

MR 技術一般において、現実世界と仮想世界の幾何位置合わせは最重要課題である。MR-PreViz においても、この点についてはなんら変わりがなく、これは映画的なカメラワークに追従可能なカメラの実時間位置姿勢推定問題へと帰着される。

映画でのカメラに使い方としては、定点に固定した上で、パン・チルトで撮影対象に「つける」撮り方や、レールの上にセットしたドリーを動かすことで、撮影対象に寄る、撮影対象を追従する、といったものが多い。そこでプロジェクトの初期段階では、ロータリーエンコーダを内蔵した雲台を特注し、空間的にはカメラのパン、チルト量を計測する 2 自由度の実時間追跡から研究を開始した。また試験的に、屋内セットに限定した方式として、超音波センサによる 6 自由度トラッキングシステム

(InterSense 社 IS-900) を利用したシステムを構築し、屋内ではバーチャルスタジオ並みのカメラ移動に耐える MR 合成機能を実現した。

一方、映画撮影用の大きなスタジオや屋外までを対象として考えた場合、物理センサの利用は難しいことから、自然特徴点追跡を利用したビジョンベースの 6 自由度カメラトラッキング法を用いる方針を選択した。映画撮影という事情を考えると、人工的なマーカなどを貼り付けて撮影現場の外観を変化させず、出来るだけ簡便な処理で高精度な位置合わせを可能にする手法が望まれる。

そこで我々は、撮影対象となる現実環境中に存在する自然特徴点周辺の画像情報や 3 次元位置からなるランドマークデータベース (以下, LMDB) を事前に構築することにより、実時間での位置合わせを実現する武富らの手法[5]をベースに MR-PreViz 撮影に向けた改良したリハーサル・パス法(Rehearsal Path Method; RPM)」を提案した[6]。図 2 に示すように、RPM では、「リハーサルフェーズ」において、

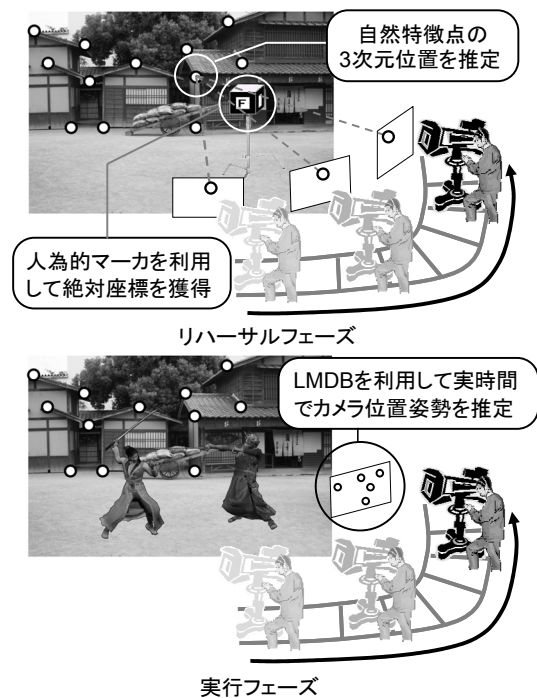


図 2 RPM の 2 つのフェーズ

想定する大まかなカメラパスに沿ってシーンを撮影し、LMDB 構築に登録する情報を自動収集する。この際、人為的マーカを撮影中に映すことで、マーカを原点にした座標系で特徴点の 3 次元位置を推定するが、「実行フェーズ」では、この人為的マーカを取り除きカメラトラッキングを行う。詳しい手法については、文献[6]に譲るがその要諦は以下である。

- (1) LMDB 構築に必要なシーンの基準点の計測作業を、人為的マーカを用いることで完全自動化
- (2) MR トラッキング時にとるカメラパスを事前に想定し、その想定パスに沿って LMDB を構築することで、作業の効率化を達成

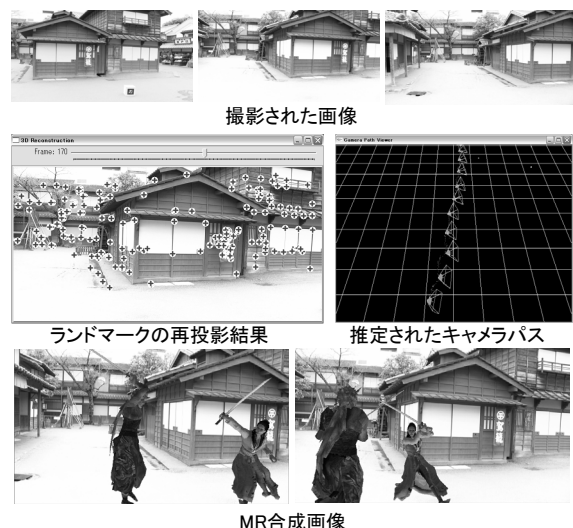


図 3 RPM による MR-PreViz 撮影の結果

- (3) 特徴点のマッチングに SIFT 特徴量を採用し、キーフレーム探索を用いた初期化の自動化とトラッキング破綻からの復帰処理の実現

RPM により実時間でカメラ位置姿勢の推定、MR 合成をおこなった結果を図 3 に示す。

RPM を導入することにより、屋外における 6 自由度 3D マッチムーブの性能は飛躍的に向上したが、それでもなお、MR-PreViz 撮影の現場に臨むと、数々の困難な問題に遭遇した。撮影中の日照条件の変化、想像以上の激しいカメラワークを望む監督の意向、等々である。パラメタの調整等で対処できる場合もあるが、どうしても解決できない場合の大半は、対象とするシーンやその特徴点が、アルゴリズム開発時の想定よりも多様であり、自然特徴を利用するがゆえの問題であった。

問題を整理すると、

- (A) 特徴点が十分な数検出されない場合
(B) 特徴点が追跡できない場合に大別できることが判明した。(A)については、以下の原因によるものである。

- ・ 環境自体に特徴点が少ない (図 4(a))
 - ・ 照明が暗い
 - ・ カメラの移動によるモーションブラー
- 一方、(B)については、以下の原因が考えられる。
- ・ シーン内に同じ模様が繰り返されている
 - ・ 樹木などの不安定な特徴点が多数存在 (図 4(b))
 - ・ カメラの移動速度が速い
 - ・ 想定しないカメラパスでのカメラ移動
- これらの問題については、それぞれの場合につい



(a) 環境自体に特徴点が少ないシーン



(b) 樹木などの不安定な特徴点が存在するシーン
図 4 位置合わせにおいて問題が発生するシーン

ての対処法を検討した[7]。文献[7]で提案した対処法は、対症療法的に見えるかも知れないが、自然特徴のバリエーション、アルゴリズム考案者の想定範囲を超えた環境変化に対処するには、現実的には、手法の使い分けや併用を考えざるを得ない。むしろ、適用範囲が明確であり、状況に応じた使い分けが可能な信頼性の高い手法を積み上げて行くことが肝要と考える。また、そのような積み上げが、MR-PreViz のみならず一般の MR における位置合わせにおいても活用できると考えている。

3.2 再照明付与によるルックの事前可視化技術

前節で述べた幾何学的整合性に続くもう 1 つの要素技術は、現実と仮想の光学的整合性である。既に映画制作において CG による照明効果の付与は行われており、とりわけ有名なものとして Debevec 博士らの Virtual Cinematography[8]がある。これは、予め様々な角度から照明を当てた際に得られる一連の観測映像を蓄積しておき、実際の撮影現場の照明条件に合致した映像を再構成する Image-Based Lighting 技術を基にしている。この技術は、様々な映画において利用されており、『スパイダーマン 2』(04)『アバター』(09)等への技術的貢献により、2010 年に同博士にアカデミー賞が与えられた。

この種の光学的整合がポストプロダクション段階においてオフラインで処理されているのに対し、本プロジェクトでは、照明や色調補正による完成映像のルックをプロダクション段階、すなわち本番撮影時に事前に確認できる可視化技術について検討している。これは言い換えれば、監督や撮影監督が思い描くルックのイメージを事前可視化するために、MR-PreViz 映像に対して再照明付与 (Relighting) を行う試みである。この技術によって、仮想照明による照明効果を実物体・仮想物体双方に対して矛盾なく付与し、MR-PreViz 映像中の照明条件を任意に変更することが可能となる。

Debevec 博士らの手法は、背景に合成される人物像への再照明付与を対象としているが、MR-PreViz では再照明付与の対象は屋内外の背景の情景全体である。そのため Debevec 博士らの手法のように、周りから系統的な照明をあてるアプローチを用いることはできない。また、事前のルック・シミュレーションを目的とした MR-PreViz の再照明付与では、試行錯誤のためのインタラクティブ性も求められる。

そこで本プロジェクトでは、屋内外のシーンの映像に対する再照明付与と処理を考慮して、図 5 に示す手順で、簡便な処理で効率的に再照明付与を実現す



図5 再照明付与処理の手順

る手法[9]を採用した。処理の概要を以下に述べる。

Step1：目立つ影が存在しない実写画像の準備

最初のステップでは、実世界中の陰影と仮想照明効果による陰影の違いによる違和感を防ぐため、照明機材などを用いて、できるだけ目立つ陰影がない映像を準備する。ここでは、画像処理を用いて影を消す手法も有効である。

Step2：色調補正

このステップでは、再照明付与後の色調など環境光の影響を、画像全体に対して適用する色調補正で近似する。例えば、図5では、昼間に撮影した映像の色調を暗くすることで夜のシーンへと変化させている。

Step3：推定した反射特性、幾何形状に基づく照明付与

実世界の反射特性、幾何形状を推定し、それに応じた仮想照明効果を適用する。ここでは、厳密な反射特性ではなく、照明により変化する照度と元画像の明るさをモデル化する照度-RGBモデルを反射特性として採用する。

上記の処理の結果、図5のStep3に示す最終結果が得られ、プロダクション段階ではこの映像を使って撮影スタッフに監督や撮影監督の意図を伝えることになる。図からわかるように、仮想的に設置された照明によって、CGによって描かれた主人公などが効果的に演出できていることがわかる。これらの処理は、WindowsのDirectX9環境の上でHLSL(High Level Shader Language)を用いて実装されており、実時間で照明効果のパラメータを変化させた試行錯誤も可能となっている。

本手法は、映画制作支援を目的として開発された要素技術であるが、一般的なMRアトラクションにおける照明演出法としても利用できると考えている。

3.3 MR-PreViz 基幹システムと支援ツール群

MR-PreVizを実現する上で、最も重要な概念に「カメラワーク・オーサリング」がある。「カメラワーク・オーサリング」とは、本番撮影前に、監督が描く完成映像のイメージ、すなわち、構図、

アクション、カメラの位置・アングル、動き等の撮影方法、カット割り等を、撮影監督（カメラマン）と相談して決定するプロセスを指す。本プロジェクトでは、この作業を効率化するため、MR-PreViz用撮影合成基幹システムとそこで利用する支援ツール群を開発した。

【ハードウェア構成】

図6に撮影合成基幹システムのハードウェア構成を示す。従来のMRシステムでは、実写映像と仮想物体との実時間合成は、表示装置がHMD中心であった関係などもあり、SD(Standard Definition)映像相当の解像度における合成が主流となっていた。一方、映画制作を想定した場合、HD映像を扱えることが必要不可欠な条件と考えられる。そのため、SDによるMR-PreViz映像を実時間で確認しながら、後から再照明付与などの処理を施したHDによるMR-PreViz映像が確認可能なシステムを構築した。また、撮影に利用する機材については、カメラワークや構図等の決定を支援するのが目的であるため、レンズ、照明、その他の機材の使い勝手は、なるべく従来のフィルムカメラでの映画撮影の流儀を踏襲するよう配慮した。

【ソフトウェアツール群】

前述の撮影合成基幹システムにおいて利用するオーサリングツール群として、下記の3つの機能を実現している。

(A) MR-PreViz撮影時に、カメラを操作しながら監督・撮影監督のイメージを可視化し、キャメ

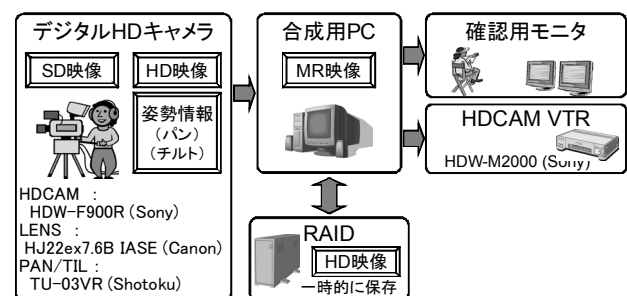


図6 撮影合成基幹システムの構成

ラワークの試行錯誤を実行するためのツール

- (B) 上記の検討結果を CWML 形式に変換記述して記録するソフトウェア
- (C) 記述されたデータを可視化して観るための MRP ブラウザ

上記の 3 機能のうち、(A)と(C)はそれぞれ、図 1 における Phase 3 と Phase 5 で利用するツールである。監督や俳優、撮影スタッフは、本番撮影現場において MRP ブラウザを使用して当該シーンのアクションやカメラワークについて確認する。

一方、図 1 の Phase 2 を支援するツールとして、CASCADES と呼ぶ専用の編集ツールがある(図 7)。これは、アクションデータとして、CG キャラクターの手付けアニメーションや MoCap によるデータ、及び 3 次元ビデオデータ[10]という形式の大きく異なるデータを同時に扱うことができる編集ツールであり、これを用いてアクションデータの編集・加工・空間配置の作業を行う。CASCADES は現在、バージョン 2 の開発がほぼ終了しており、利用を希望する映像制作スタジオにリリースする予定である。

4. むすび

本稿で述べた MR-PreViz プロジェクトの正式名は「映画制作を支援する複合現実型可視化」であり、科学技術振興機構・戦略的創造研究事業 (CREST タイプ) の研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」の 12 の研究課題の 1 つである。他にメディアアート、コンピュータアニメーション、オンラインゲーム、立体造形関連の創造的な研究テーマが並ぶ中で、映画制作支援に特化し、かつ国内外の映像制作業界への技術移転を求められた研究プロジェクトであった。その期待に応えるべく、様々な実証実験を通じて、具体的な映像制作を手がけてきた。劇場公開映画への貢献から CM 映像制作、ゲームムービー制作に至るまでの制作過程を経験し、



図 7 CASCADES V2 の実行画面

実績を上げている。

映画人には様々な流儀があり、監督の多くは个性的かつ我が侘であり、長年培った流儀を崩したくないため、(MR-)PreViz を受け容れない場合もあれば、新技術への期待が大き過ぎて、過大な要求を突きつけて来る場合もある。初めて(MR-)PreViz 技術に接したスタッフ達の感想は概ね好意的であり、彼らの創造力発揮のためには、この実時間対話型の可視化技術がもつ魅力は抗し難いものであるようだ。

本番撮影でなく、事前可視化ゆえに様々な制約を課すことも許される。我々の MR-PreViz 技術は既に、うまく使えば、映画制作現場の要求に十分応えられるレベルに達している。その半面、屋外でのマーカーレスのトラッキングを全く制約なしに用いた場合、結果はまだ惨憺たるものである。これは、我々が採用した方法の限界ではなく、AR/MR 分野の最先端技術を駆使してもなお、結果は大同小異であり、この実問題の大半に対処できないと言って過言ではない。AR/MR 技術が無力だ、未熟だという訳ではなく、まだまだ発展の余地があり、挑戦すべき研究課題は目の前に山積していると言えるだろう。

参考文献

- [1] 大島, 黒木, 小林, 山本, 田村: “2001 年 MR 空間の旅---複合現実感技術の映像製作分野への応用”, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 7, No. 2, pp. 219 - 226 (2002)
- [2] 田村, 柴田: “可視化技術で創造力を高める映画制作支援”, 情報処理, Vol. 48, No. 12, pp. 1365 - 1372 (2007)
- [3] 一刈 他: “映画制作を支援する複合現実型プレビューアライゼーションとカメラワーク・オーサリング”, 日本 VR 学会論文誌, Vol.12, No.3, pp. 343 - 354 (2007)
- [4] R. Ichikari, R. Tenmoku, F. Shibata, T. Ohshima, and H. Tamura: “Mixed reality pre-visualization for filmmaking: On-set camera-work authoring and action rehearsal,” *Int. J. Virtual Reality*, Vol. 7, No. 4, pp. 25 - 32 (2008)
- [5] 武富 他: “拡張現実感のための優先度情報を付加した自然特徴点ランドマークデータベースを用いた実時間カメラ位置・姿勢推定”, 信学論 (D), Vol. J92-D, No. 8, pp. 1440 - 1451 (2009)
- [6] 樋下 他: “ランドマークデータベースに基づくカメラトラッキング法の高速度化と安定化”, 信学技報, Vol. 109, No. 373, PRMU2009-192, pp. 255 - 260 (2010)
- [7] 北村, 井上, 露無, 一刈, 柴田, 田村: “ランドマーク DB を利用するビジョンベース MR トラッキング法の性能向上に向けての諸方策”, 信学技報, Vol. 110, No. 381, PRMU2010-172, pp. 177 - 182 (2010)
- [8] P. Debevec: “Virtual cinematography: Relighting through computation,” *IEEE Computer*, Vol. 39, No. 8, pp. 57 - 65 (2006)
- [9] 一刈, 西沢, 大島, 柴田, 田村: “再照明付与による複合現実空間のルック変更の試み-MR-PreViz 映像への映画的照明演出を例として-”, 日本 VR 学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp. 213 - 220 (2010)
- [10] 松山, 高井, ウ, 延原: “3 次元ビデオ映像の撮影・編集・表示”, 同上, Vol.7, No.4, pp.521 - 532 (2002)