

戦略的創造研究推進事業 CREST  
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」  
研究課題「映画制作を支援する複合現実型可視化技術」

## 研究終了報告書

研究期間 平成17年10月～平成23年3月

研究代表者：田村 秀行  
(立命館大学 情報理工学部 教授)

## § 1 研究実施の概要

### 【全体構想と目標】

本研究は、現実と仮想を融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) 技術を活用し、映像コンテンツ制作を支援する新しい事前可視化技術を生み出すことを目的としている。具体的には、MR 技術を駆使することで従来の PreViz (Pre-Visualization) 技術の限界を克服し、スタジオ内セット、オープンセット、ロケ現場等で、予め収録した演技と実背景を自在に合成し可視化する MR-PreViz 機能を達成する。

映像制作の現場にとって、MR-PreViz は全く新しい概念の提唱であるが、こうして得た事前可視化映像や付帯データは、映像クリエイターが創造性の高い映像作品を構想するのを支援するだけでなく、本番撮影のコストを削減することができる。本研究の成果は、映像空間レイアウトやアクション編集ツール、カメラワークのオーサリングツール、MR-PreViz 映像ブラウザの形にまとめて提供し、映画制作の教育過程や商業映像の制作現場で活用される技術体系を構築することを目標とした。

### 【基盤となる技術と研究体制】

本研究の基盤となるのは、MR 技術であり、コンピュータビジョン(CV)技術である。MR 技術は我が国が世界を先導する得意分野であり、ハリウッド映画界もまだ手にしていない先端技術である。本研究の基幹技術開発は、技術開発第 1 グループ(立命館大)が、MR-PreViz を実現する基幹システムおよび要素技術の開発と他グループの研究成果の統合を、技術開発第 2 グループ(京都大)が 3 次元ビデオ技術に関する研究を、技術開発第 3 グループ(奈良先端大)が屋外環境での MR 位置合わせ・画質合わせ問題の解決を、と分担して取り組んだ。いずれも、MR 研究や CV 研究の学術分野で、第一線の研究を推進してきた。

### 【対象とする業界と関連技術】

本研究成果の実用化の対象となるのは、映像制作業界である。映像関連で最高水準の技術が要求される「映画」をターゲットとしたが、TV 番組や CM 映像の制作にも有用であることは言うまでもない。映像制作のプリプロダクション段階で PreViz (PreVis, pre-vis と略す) なる概念は定着しつつあり、CG や VFX (視覚効果) を多用した大作映画での利用は広まりつつあるが、現在、業界内で採用されているのはフル CG の PreViz に留まっている。本研究の MR-PreViz が対象とするのは、実際の美術セットや屋外のロケ現場の光景をバックにした CG 実時間合成(On-site Realtime 3D Matchmove)であり、これが実現することにより PreViz としての価値が一挙に増し、コスト削減効果も大きい。

### 【劇場用映画での実証実験】

本研究の成果の有用性検証は研究室内に留まらず、実証実験として劇場公開級の短編映画『カクレ鬼』を自主製作することを敢行した。作品としての『カクレ鬼』は国内外の著名短編映画賞を受賞し、その制作過程への関心も高まった。この実績から、劇場用商業映画『怪談レストラン』(東映配給。2010 年 8 月 21 日ロードショー公開)の PreViz に採用され、更なる技術検証の場が体験できた。

### 【新ビジネスモデル探索と情報公開】

映像制作業界の関心も高まったことから、MR-PreViz 技術の導入による映画制作、CM 映像制作のワークフローの変化、新たな市場やビジネスモデル創出の可能性検討を業界内の有力企業 2 社に委託し、技術評価・調査・分析を行った。研究プロジェクト終了後、そのレポートや本研究から生まれたソフトウェアツール群の情報公開を予定している。

## § 2 研究構想

### (1) 当初の研究構想

2005 年下期にスタートした本研究の当初計画書では、研究成果の利用形態のイメージ図は図 2-1 であり、参加する 3 大学の研究実施項目は以下のように申請していた。

#### (a) 技術開発第 1 グループの研究実施項目（立命館大学）

現実と仮想を融合する複合現実感（MR）技術を活用して、映画制作を支援する技術基盤を構築する。MR 技術を駆使することで、従来の PreViz（Pre-Visualization）技術の限界を克服し、サウンドステージ内セット、オープンセット、ロケ現場等で、自在に演技と背景を合成する PreViz 機能を達成する。その実現のために必要な各種可視化ツールの設計と実装を行う。

当グループは、本研究プロジェクトの中核をなす MR-PreViz システムや各種オーサリングツールの研究開発を推進すると共に、「技術開発第 2 開発グループ」「技術開発第 3 グループ」の研究成果を統合する役目も担っている。

研究開発計画は、調達できる機材の都合とプロジェクトの中間期までに要素技術を統合して評価するために、中間目標を設定する。まず、カメラワークにパン、チルトの 2 自由度のみを許す場合に限定したシステム開発を先行させ、プロジェクト後半にはこれを画像認識マーカーを利用して 3 以上の多自由度で撮影が可能なシステムへと拡張する。

#### (b) 技術開発第 2 グループの研究実施項目（京都大学）

MR-PreViz システムでは、予め電子的に蓄える俳優の演技の表現形式として、人為的マーカーを利用するモーションキャプチャ方式に加えて、衣裳を着けたまま動きを獲得できる 3 次元ビデオ映像方式を導入する。

本グループは、チーム全体が目標とする「統合アクション・エディタ」の核となる多様なアクション・データを融合し編集する技術を担当する。特に、当グループが長年の経験をもつ「3 次元ビデオデータ」を映画における演技に適用し、これを他のアクション・データと混在して利用することに挑戦する。

#### (c) 技術開発第 3 グループの研究実施項目（奈良先端科学技術大学院大学）

本研究プロジェクトの主眼は、屋外でも利用できる複合現実型可視化システムの実現である。従来の複合現実感システムは、位置姿勢センサの制約から屋内でしか安定利用できなかったため、本研究グループは屋外での利用に耐え得るシステムの基幹技術を担当する。

屋外のオープンセットやロケ現場で MR 型 PreViz 機能を実現するためには、屋外で安定に動作する現実世界と仮想世界の幾何学的・光学的整合法の開発が不可欠である。技術開発第 3 グループでは、以下の研究項目の実施を通して、基本技術を開発するとともに屋外の撮影現場での実証を行う。



最終的に挿入する CG 素材の他に、PreViz 用には事前にライブアクションも一旦データ化しておく。モーションキャプチャ装置は安定した性能が得られるが、マーカーを付けない 3 次元ビデオ方式も有望視されている。

実物セットやロケ地をバックにデータを可視化し、現場ならではの「空気感」の中で演出や構図の詳細を決める。概念を説明するため CG データはワイヤフレーム表示しているが、実際はリアリティ高い「現実と仮想の融合」が望ましい。

PreViz ツールで得たストーリーボード映像（動く絵コンテ）とカメラワークは、撮影現場で活用される。新しい支援ツールの存在が創造的な映像表現と撮影時のコスト削減を生む。

図 2-1 MR-PreViz ツールの利用形態

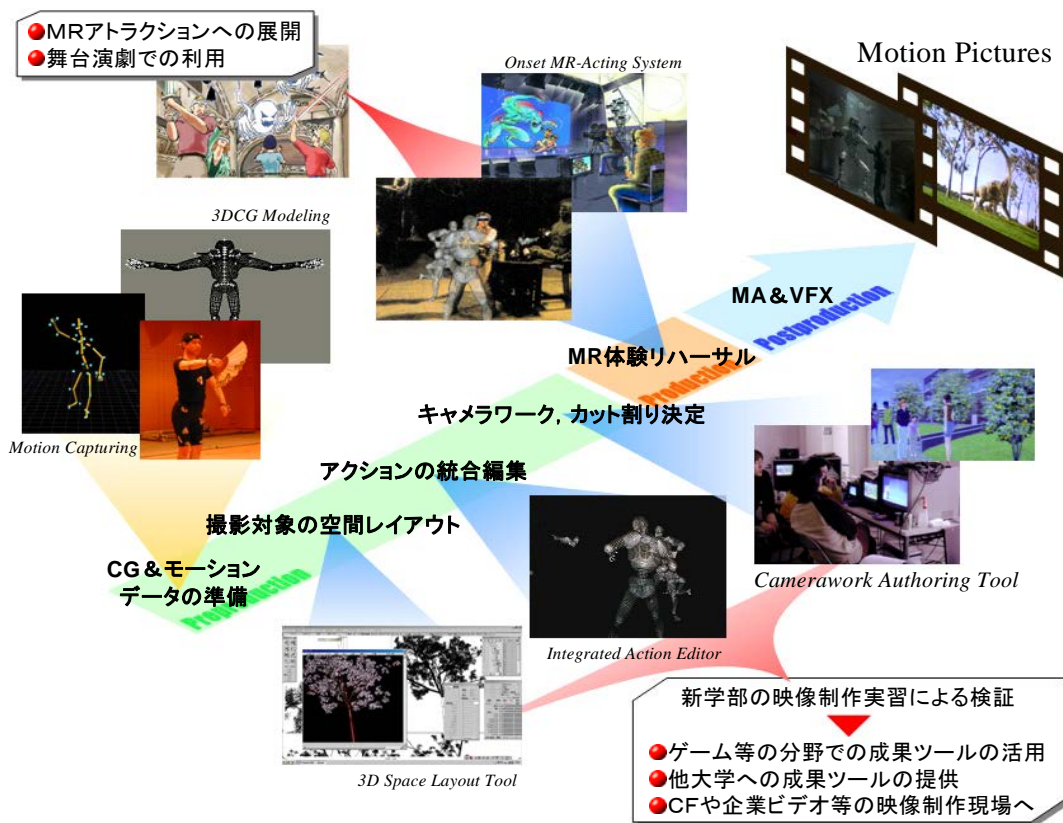


図 2-2 研究構想と成果物の位置づけ

この目標や実現のための方法論は、終了年度の今見てもほとんど狂いがなく、当初目標とした内容通りに研究開発の分業体制を維持できた。また、CREST 応募時には「研究構想と成果物の位置づけ」(図 2-2)を描いていたが、これも実際に確立するワークフロー(後述の図 4-2, 図 4-3)とほぼ同じである。5年半の長期間にわたる研究プロジェクトで、このようにほぼ計画通りに進行するのは、かなり珍しい例であると言える。

## (2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

このようにほぼ計画通りに進行したのは、MR-PreViz という概念が明確で、その用途を当初からきちんと位置づけていたこと、映画撮影機材やデータ作成経費が高価で研究予算のかなりの部分を占めたため、回り道や冒険をする余裕がなかったこと等が上げられる。

ただし、各研究グループ内での問題解決の方法は絶えず別の方法の案出を余儀なくされたし、全体構想を損なわない中で、新たなサブ目標も追加された。例えば、技術開発第 1 グループのテーマ内での再照明付与(Relighting)の導入やアクショントレーニング・システムなる副産物の創出などである。

研究計画全体としての最も大きな変更は、本格的な映画撮影への展開の早期化である。当初は、技術的にも導入は研究期間終了後になると考えていたが、実証実験レベルで劇場公開品質の短編映画『カクレ鬼』の自主製作を敢行し、さらに商業映画『怪談レストラン』(東映配給)の PreViz に採用されるなど、一気に実用化レベルへの展開が加速した。この 2 つの実験イベントを機に、かなりの技術向上、安定化への努力が払われた。

### §3 研究実施体制

#### (1) 技術開発第1グループ

##### ①研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
田村 秀行	立命館大学情報理工学部	教授	H17.10～
田中 覚	立命館大学情報理工学部	教授	H17.10～
大島 登志一	立命館大学映像学部	教授	H18.4～
柴田 史久	立命館大学情報理工学部	准教授	H17.10～
仲田 晋	立命館大学情報理工学部	准教授	H17.10～
木村 朝子	立命館大学情報理工学部	助教授	H17.10～H18.9
天目 隆平	立命館大学総合理工学研究機構	特別研究員	H18.4～H22.3
一刈 良介	立命館大学総合理工学研究機構	ポスドク研究員	H17.10～
種子田 慶介	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H18 年度)	H18.4～H19.3
小川 直昭	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H19 年度)	H18.4～H20.3
川野 圭祐	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H19 年度)	H18.4～H20.3
中村 琢也	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H19 年度)	H18.4～H20.3
別府 大輔	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H19 年度)	H18.4～H20.3
岡本 夏実	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H20 年度)	H19.4～H21.3
西沢 孝浩	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H20 年度)	H19.4～H21.3
百田 裕	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H20 年度)	H19.4～H21.3
樋下 航	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H21 年度)	H20.4～H22.3
中山 昌俊	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H21 年度)	H20.4～H22.3
橋本 孝紀	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H21 年度)	H20.4～H22.3
藤本 純一	立命館大学大学院理工学研究科	M2 (H21 年度)	H20.4～H22.3
菊池 佳保理	立命館大学大学院理工学研究科	M2	H21.4～
露無 将斗	立命館大学大学院理工学研究科	M2	H21.4～
波多野 亮平	立命館大学大学院理工学研究科	M2	H21.4～
井上 敬介	立命館大学大学院理工学研究科	M1	H22.4～
北村 一博	立命館大学大学院理工学研究科	M1	H22.4～
神屋 良多	立命館大学大学院理工学研究科	M1	H22.4～
増川 照道	立命館大学大学院理工学研究科	M1	H22.4～
和田 大輝	立命館大学大学院理工学研究科	M1	H22.4～

##### ②研究項目

映像コンテンツ制作を支援する複合現実型可視化技術を研究開発する。スタジオ内セット、オープンセット、屋外ロケ現場で演技と実背景を合成する MR-PreViz 機能を、共同研究機関の研究成果も含めて、空間レイアウトやカメラワークのオーサリングツール、アクション編集ツール等の形で実現する。

#### (2) 技術開発第2グループ

##### ①研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
松山 隆司	京都大学大学院情報学研究科	教授	H17.10～
高井 勇志	同上	産学官連携研究員 (特任助手)	H18.4～ H21.3
延原 章平	同上	講師	H21.4～

武笠 知幸	同上	D5	H18.4～H21.3 H22.4～
山口 辰久	同上	D4	H21.4～H22.3
小林 亮介	同上	M2	H21.4～
黒田 真央	同上	M2	H21.4～
石 群	同上	M2	H21.4～

#### ②研究項目

人為的マーカを利用するモーションキャプチャ方式に加えて、衣装を着けたまま動きを獲得できる3次元ビデオ映像方式を導入する。「統合アクションエディタ」の核となる複数演技の融合方法、多様なアクションデータを統合編集する方法を開発する。

### (3) 技術開発第3グループ

#### ①研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
横矢 直和	情報科学研究科 情報システム学専攻	教授	H17.10～
神原 誠之	同上	准教授	H17.10～
佐藤 智和	同上	助教	H17.10～
牧田 孝嗣	同上	研究員	H21.4～H22.7
武富 貴史	同上	D1～3	H20.4～
池田 聖	同上	研究員・助教	H18.4～H21.3
奥村 文洋	同上	D2～3	H18.4～H20.3
仁科 勇作	同上	M2	H19.4～H20.3
松田 幸大	同上	M2	H18.4～H19.3

#### ②研究項目

これまでの複合現実感システムは屋内用途を中心に開発されてきたが、屋外のロケ現場等で複合現実型可視化機能を実現するためには、屋外でも安定に動作する現実世界と仮想世界の幾何学的・光学的整合性の開発が不可欠である。本研究項目では、この両整合性問題を解決するための基本技術を開発するとともに、プロトタイプシステムの構築を通して、ロケ現場および模擬環境での実証を行う。

### (4) 技術検証グループ

#### ①研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
八村 広三郎	立命館大学情報理工学部	教授	H17.10～
富田 美香	立命館大学映像学部	准教授	H17.10～
島村 漱	宝塚造形芸術大学映像造形学科	特任教授	H17.10～
北原 聡	立命館大学映像学部	教授	H18.4～

#### ②研究項目

映画撮影、映像作家、モーションキャプチャ・データ獲得等の専門家として、本研究計画全体に関する助言を行うとともに、研究開発されたシステム・ツール等を試用し、その有効性を検証する。

## § 4 研究実施内容及び成果

### 4.0 チーム全体としての研究実施内容及び成果

本研究は、現実と仮想を融合する複合現実感(MR)技術を活用し、映像コンテンツ制作を支援する新しい可視化技術を生み出すことを目的としている。具体的には、MR 技術を駆使することで従来の PreViz (Pre-Visualization)技術の限界を克服し、スタジオ内セット、オープンセット、ロケ現場等で、予め収録した演技と実背景を自在に合成し可視化するMR-PreViz 機能を達成する。

基盤となる技術の開発には、技術開発第1グループ(立命館大)が、MR-PreViz を実現する基幹システムおよびその要素技術の開発と他グループの研究成果のとりまとめを、技術開発第2グループ(京都大)が3次元ビデオ技術に関する研究を、技術開発第3グループ(奈良先端大)が屋外環境でのMR位置合わせ及び画質合わせ問題の解決を行った。単純化して言うなら、技術開発第2グループ、第3グループがコンピュータビジョン研究の視点からの純学術的な先端技術を要素技術として提供し、第1グループがこれをトータルシステムとしてまとめ上げ、映画制作分野に応用し得る形に仕上げるという徹底した分担主義である。映像制作業界との交流や実証実験も、技術開発第1グループが主導権をとって推進した。

MR-PreViz なる概念を実現しようとする類似研究は、国内外に存在しない。複合現実感(MR)技術を映画制作に応用した事例は、研究代表者自身が9年前に発表した「2001年MR空間への旅」が存在するだけである。これは、旧アナログ式のビデオカメラを用いてリハーサル段階での実時間MR映像合成の可能性を示したものであったが、本格的な映画撮影用デジタルHDカメラを採用し、かつプリプロダクション段階におけるPreVizでの利用へと発展させたものが本研究の主テーマである。映像制作業界から見た場合の価値は\$1に記した通りである。

技術開発第2グループが担当する「3次元ビデオ技術」は、「自由視点映像生成」「Video Based Rendering」とも呼ばれ、世界で数グループが研究している。その中で京都大学が採用するシルエット投影方式は、高速化や事後編集に適した方式であり、本研究目的に合致している。方式提案や適した対象への簡単な実験だけでの論文投稿で済ませる研究グループが多い中で、常設の多視点撮影スタジオを設け、実用上遭遇する数々の問題点を解決しようという研究姿勢は高く評価される。同方式は、本研究に参加することにより、剣戟やカンフーアクションといった激しい動きにも適用できることを強いられ、新たな研究課題への数々の挑戦を行った。

技術開発第3グループは、MR研究においては、技術開発第1グループと並んで世界有数の研究グループの1つであり、現実空間と仮想空間の幾何学的整合性・光学的整合性に関して先駆的な研究を行ってきた。幾何学的整合性を保ちながら、撮影中にカメラ位置・姿勢を実時間追跡する技術はMR研究の中でも特に活発に研究されているテーマであるが、奈良先端大が考案したランドマークDB法は、屋外の実世界を対象にした場合に威力を発揮する方法であり、映画撮影のカメラワークという制約条件で性能向上を図る上でも適した方法である。同グループもまた、映画撮影という、映像を対象とした研究では最高水準の厳しい実問題を前にして、かなり挑戦的な研究課題の解決に臨んだ。

### 4.1 技術開発第1グループ(立命館大学)

#### 「映画制作を支援する複合現実型可視化システムの研究開発と機能検証」

##### (1)研究実施内容及び成果

##### ● MR-PreViz 基幹システムの設計と導入

MR-PreViz 基幹システムとは、映画撮影用のカメラと屋内外の背景と事前準備したCGデータを現場でMR実時間合成するシステムの総称である。本目的を達成する市販品は

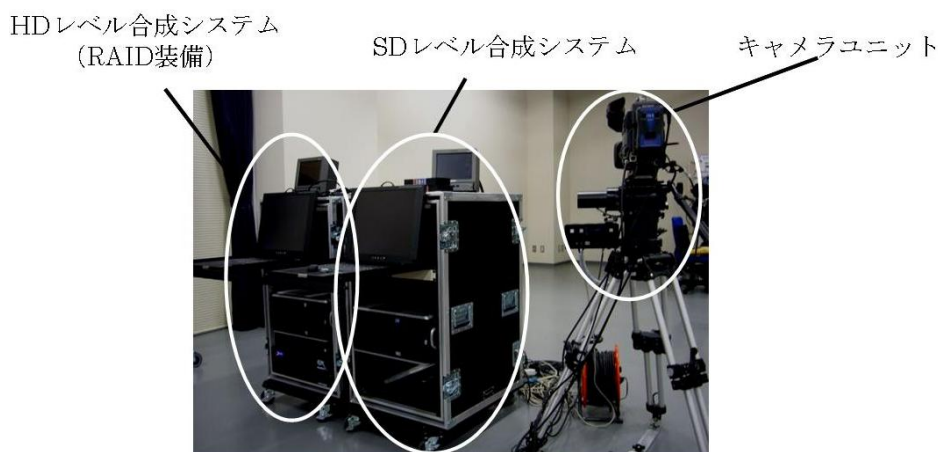


図 4-1 撮影合成基幹システム

存在しないので、本研究目的に相応しいハードウェア機器構成、ソフトウェア・ツールのモジュール構成を考え、それぞれの基本設計（概念設計）を行って、H17 年度、H18 年度前期、H18 年度後期の 3 期に分けて特注システムを製作した(図 4-1)

本システムは、大学等が研究用途で使うだけのものではなく、劇場公開水準の映画を撮影できるプロ仕様での利用を前提としている。また、こうした機材やツールが、映画制作過程のどの段階で誰に用いられるのかを想定し、基本的なユーザインタフェースの機能設計を行った。実時間では SD レベル合成システムを用いて、映画撮影用カメラユニットより送られる映像に対して、コンピュータグラフィックス(CG)を実時間で合成する。この MR 合成には、撮影するカメラの位置姿勢が必要となる。本システムでは、カメラユニットにおけるカメラヘッドに取り付けられたロータリーエンコーダにより、パン・ティルト量、レンズからズーム量、フォーカス量を利用することで、高精度な実写と CG の合成が可能となる。SD 解像度で MR 合成を行うのと同時に、カメラから出力される HD 解像度の実写映像を HD レベルの合成システムに備えた RAID に保存する。SD 解像度での MR 合成時のカメラの位置姿勢情報を記録しておくことで、HD 解像度の実写映像を用いて、オフライン合成により HD 解像度での合成映像が生成可能である。

図 4-2 に示す MR-PreViz ワークフローは、本研究の当初 2 年度の間（1.5 年間）に概念を整理し、確立させたものである。このワークフローに従い、種々のツール群の改良および基幹システムに必要な機能の再設計を行った。

また、これまでに H20 年度に行った短編映画作品『カクレ鬼』の制作による実証実験においては、昼に撮影した MR-PreViz 映像をより監督の持つ最終完成映像のルックのイメージに近づけるために、夜のシーンに見えるように MR-PreViz 映像の加工を試みた。また、MR-PreViz 撮影後に HD 解像度での再レンダリングを行う際に、合成する CG キャラクターモデルの変更や表示位置の微調整も試みた。この実証実験などから、撮影後の編集や調整など MR-PreViz 撮影後の後処理の重要性が確認された。よって、これまでの 4 つの Phase だけでなく Phase3 の MR-PreViz と Phase4 の本番撮影の間に Phase3.5 を入れることとなり、下記のようにワークフローの構成図を図 4-3 のように、改めることとした。また、H20 年度以降は、上記の MR-PreViz 映像に対するルック調整の試行をきっかけとして、MR-PreViz 映像に対して、色調調整や仮想照明の効果を実物体、仮想物体双方に付与する研究として、MR-PreViz 映像に対する再照明付与の研究にも着手した。それらは、後に基幹システムに実装された。



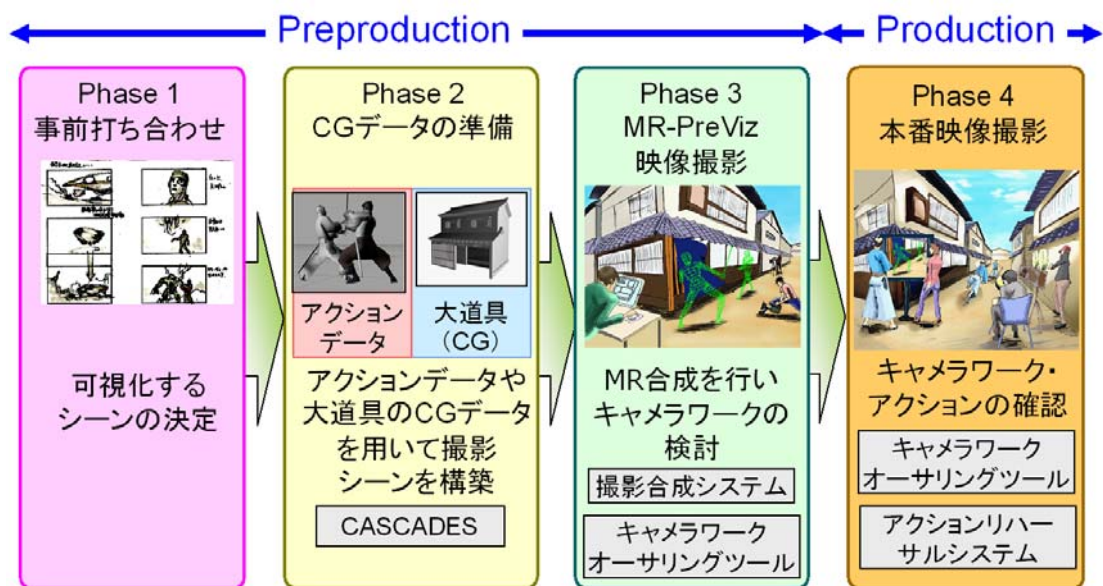


図 4-2 MR-PreViz を利用した映画制作のワークフロー

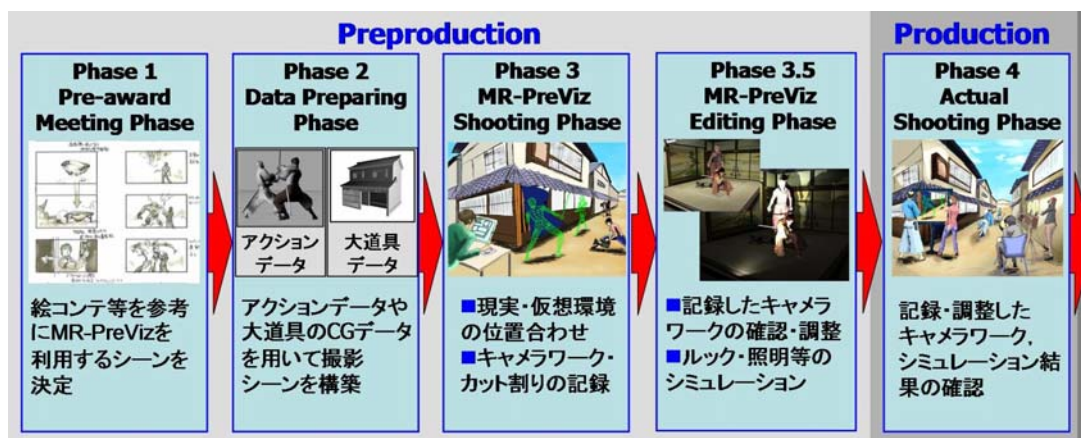


図 4-3 MR-PreViz を利用した映像制作のワークフローの更新

● 可搬型撮影合成システム

本プロジェクトにおいて特注して作成した MR-PreViz 用基幹システムは、カメラの位置姿勢を機械式のロータリーエンコーダにより取得していたため、MR 合成時の自由度はパン、ティルトの 2 自由度のカメラ操作と、ズーム、フォーカスのレンズ操作のみで、カメラ移動量を取得することができなかった。研究室内の実験用撮影スタジオにおいては、超音波センサを用いてカメラ移動量を推定することによって、カメラ移動量を推定することが可能であるが、屋外のロケ地において、このような 6 自由度の合成をおこなうことは、本機材構成では不可能である。そこで、技術開発第 3 グループの開発するランドマーク DB 法によるカメラ映像からカメラ位置姿勢を推定するビジョンベースの手法を撮影合成基幹システムに組み込むことで、屋外での 6 自由度での MR 合成が可能となった。

ビジョンベースのカメラ位置姿勢推定法の導入により、ロータリーエンコーダに頼らない MR 合成が可能になることから、撮影合成基幹システムの機材構成の自由度を増すことが可能となった。カメラ位置姿勢推定をビジョンベースの手法に頼り、映像記録をカメラ本体の映像記録メディアに頼ることで、カメラと PC のみで構成される非常に可搬

性の高いシステムも構成可能となった。図 4-4 に示すような、可搬性と機能に応じて、新たに次に示す 2 タイプのハードウェアシステム(ミッドモデル, ライトモデル)を構築した。  
**ミッドモデル**: 業務用ハンディカメラと 1 台の高性能デスクトップ PC を用いた機能と可搬性を高次元で両立させたシステム。HD 解像度の実写映像をカメラ本体のメディアに収録可能である。このモデルは、小型発電機を持参できる現場での使用を想定している。位置姿勢推定は、ビジョンベースの手法のみを用いる。

**ライトモデル**: ハイアマチュア向け民生用高性能カメラとノート PC を用いた機動性を最大限に追求したシステム。ミッドモデルと同様に、HD 解像度の実写映像をカメラ本体のメディアに収録可能である。バッテリー駆動し、撮影場所を選ばず、安価な機器で構成される。ビジョンベースの手法を用いてカメラ位置姿勢を推定する。



(a)ミッドモデル

(b)ライトモデル

図 4-4 可搬型の MR-PreViz 撮影合成システム

#### ● レイアウト&アクション編集ツール(CASCADES)

当初、「3D 空間レイアウト・ツール」「統合アクションエディタ」と呼んでいた Phase 2 レベルでの 2 つソフトウェア・ツールを統合して、「CASCADES (Computer Aided SCene & Action DEsign System)」と名称を変更した。CG アニメーションデータ、モーションキャプチャ・データと技術開発第 2 グループより提供された 3 次元ビデオデータ等の異種のデータの混在を許し、Phase 3 の MR-PreViz 撮影に臨む前にアクションデータを配置・編集する支援ツールである。まず、1 対 1 のアクションデータを提示・編集可能なシステムを構築することから始め、順次下記の機能を実装し、ツールの機能拡張を図っている。図 4-5 は、その操作実行画面例である。以下に示すのは、CASCADES に実装した機能である。

##### (A) 多種類のアクションデータの共存表示

CASCADES では、FBX 形式の手付けの CG アニメーション、モーションキャプチャでアニメーション付けされたアクションデータ、技術開発第 2 グループの開発する 3 次元ビデオ形式のアクションデータを同一の CG 空間に共存表示すること可能にする。

##### (B) 基本要素の接合による一連のアクションの構築

アクションデータを動作ひとつずつに分解して収録し、これら(基本要素)を時系列的に接合することで自在なアクションシーンの構築を支援する。我々が想定する複数人のアクションの収録とアクションシーンの構築方法は、下記の 3 種類にまとめることができる(図 4-6)。

- ① 複数人のアクションシーンをそのまま収録する。

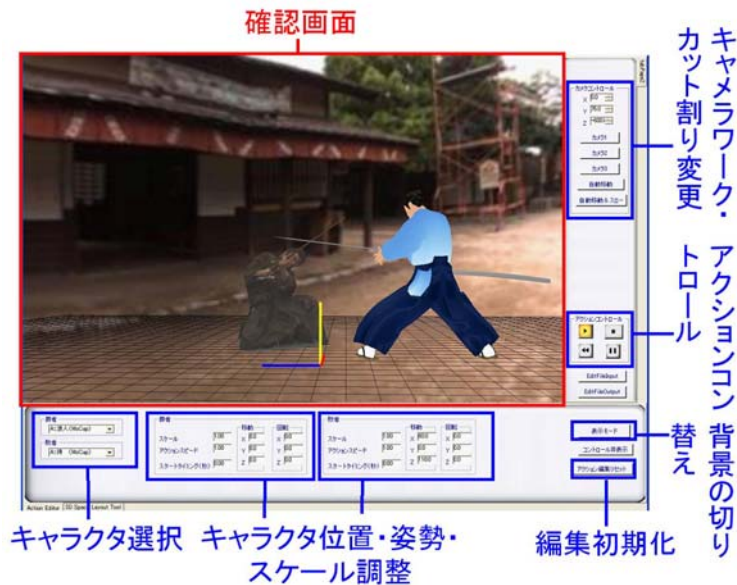


図 4-5 CASCADES の実行画面例

- ② 1人ずつ収録した一連のアクションを組み合わせ、複数人のアクションシーンを構築する。
- ③ アクションを基本要素ごとに収録し、それらを接合してキャラクター1人の一連のアクションを生成する。これらを②と同様に組み合わせ複数人のアクションシーンを構築する。

この中で③が最も難易度は高いが、再構成の自由度も大きい。有限個の基本要素の接合により、自由に発想されたあらゆるアクションの再構築は不可能であるが、「型」に基づいて構築されるアクションでかつ、ある程度アクションに制限を加えれば、③のレベルで有効活用できるものは可能ではないかと考えられる。

アクションに加える制限として、初期に構築したアーカイブでは、剣戟アクションを対象として、すべて八双と呼ばれる構えではじめる、その構えで終わる演技どうしを連続してつなげることを試みた。次に、もっと多彩な剣戟のアクション表現を行うため、図 4-7 に示すようなアクションの状態遷移を考えた。このモデルでは、剣戟アクションは攻撃動作、防御動作、抜刀と終端動作を準備し、それらの繰り返しや、他の状態への移行を表現することができれば剣戟のアクションのモデル化することができる。攻撃動作自身も刀の動きに着目すると図 4-8 のように、基本的な軌道は「米」の字で表すことができる。つまり、①→⑤の垂直に振り下ろす刀の動きなど、考えられる要素をすべて準備しておく。このようにして、各要素において考えるパターンの演技をすべて収録しておき、それをアクションアーカイブとして登録し、それらの組み合わせで任意のアクションを構築できるように



図 4-6 アクションシーンの構築方法



図 4-7 キャラクターの状態遷移図



図 4-8 攻撃動作時の刀の動き

した．アクション要素同士をつなげるには，終了動作の姿勢と開始動作の姿勢が同じものを選び，モーションブレンドや各関節の角度量のスプライン補間などを使用してをつなぎ目が目立たないようにつなげることができる．

### (C) 1対1アクションシーンの時間的・空間的整合の半自動調整

モーションキャプチャや 3 次元ビデオでアクションを収録する場合，一度にすべての役者のアクションを収録できるとは限らない．個別にアクションを収録した場合には，アクションデータのタイミングや位置の調整が不可欠である．個別に収録した 1 対 1 の対戦アクションのモーションデータ間におけるアクションタイミングとキャラクターの位置を半自動的に調整し，整合の取れたアクションシーン構築をサポートする．具体的には，タイミングを合わせる箇所をキーフレーム(KF)として指定し，KF において位置を調整する基準をコンタクトポイント(CP)として設定する．図 4-9 に示すように，KF において，各キャラクターの CP が一致するようにアクションの再生スピードや CG キャラクターのローカル座標の原点を自動的に変動させて調整する．その際，上記の再生スピード，位置の調整を行っても問題ないフレームを Timing Controlable Frame (TCF), Position Controlable Frame (PSF) として設定し，TCF, PCF のフレームのみで上記の調整を行うように制限する．調整処理の有り無しによる比較を図 4-10 に示す．

### (D) 1対多アクションシーンの構築支援

複数の 1 対 1 の対戦アクションデータから 1 人の主人公が複数いる敵と順番に戦うような 1 対多のアクションシーンを構築する．具体的には，それまでに設計された 1 対 1 のアクションシーンが時間をずらして連続して起こるように，一方のキャラクターの動きを調整することで，1 対多のアクションシーンを構築する．

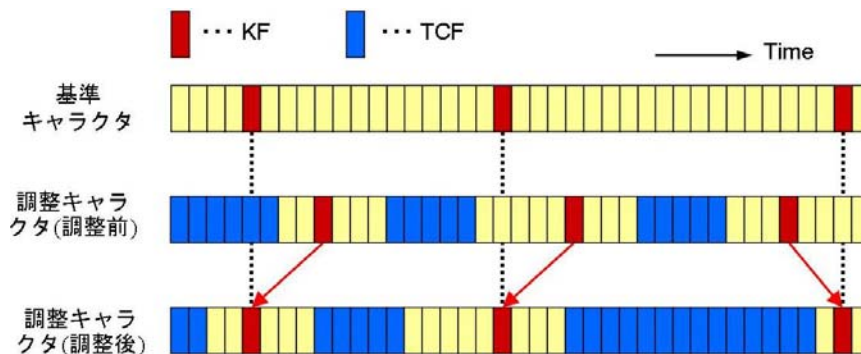


図 4-9 キーフレーム(KF)によるアクションのタイミングの調整例



(a) 位置調整前

(b) 位置調整後

図 4-10 アクション位置の調整結果

### (E) 背景のセットのレイアウト機能

MR-PreViz 撮影を行う際に CG アクションデータとともに表示する背景 CG オブジェクトのレイアウトや大きさを調整する。

### (F) CG-PreViz 機能

MR-PreViz 撮影用に準備したアクションデータ、CG データを用いて、CG 空間内でカメラワーク付けをおこないフル CG の PreViz 映像を生成する。この PreViz 映像で十分な場合は、MR-PreViz 撮影を行わないなど、MR-PreViz との使いわけを行う。CG-PreViz 機能では、カメラワーク・オーサリングツールで培ったカメラワークに関する知見を生かした CG-PreViz について提案する。カメラワークを映像業界で用いられるような機材構成をベースにして考えることで、映画らしいカメラワーク付けを可能とする。また、すべてを CG 空間内で再現することで、実際にカメラを操作することが困難な CG 独自のカメラワークを事前に可視化することも可能である。また市販の PreViz ツールでは困難であった、レールや三脚といった現場の撮影機材の制約を考慮したカメラワークの検討も可能とする。この CG-PreViz 機能では、図 4-11 に示すように、CG 空間内に撮影機材を配置しその動きを設定し、カメラが捉えた映像を別ウインドウで確認することで、PreViz 映像を生成することが可能である。



図 4-11 CG-PreViz 機能

### (G) 撮影現場での位置タイミング調整機能

MR-PreViz 撮影の際に、MR 合成映像を現場で確認しながら、CG アクションデータや背景 CG データの位置やタイミングを微調整する。この機能により、現場の実写背景と CG との位置を、合成映像をリアルタイムに確認して、いろいろな角度から眺めることで詳細な調整が可能となる。調整した結果は再度保存することが可能であり、CASCADES に戻って再度調整することや、HD レンダリング用のデータとして拡張することが可能である。

上記のうち、一般性の高い機能に絞りパッケージとして再整理したものを（基本要素の接合、1 対多のアクション以外の機能）、本プロジェクト終了後に一般公開し、希望者に対してはソフトウェアを無償で利用可能にすることを予定している。また、2 年間はバグの改善や、利用者からの問い合わせへの対応を引き続き行う予定ある。

#### ● カメラワーク・オーサリングツール

カメラワーク・オーサリングツールとは、Phase 3 以降に用いるカメラワークの検討を支援ツールの総称である。何をもちて映画撮影を支援するか、支援されるのは何で、どのように用いられるべきであるかの検討・設計自体が、本研究プロジェクトの中核をなすものである。検討の結果、図 4-12 に示すようにツール群の機能と役割を大別した。具体的には、MR-PreViz 映像とともに記録され本番撮影時に利用されるカメラワークを記述する記述言語 CWML(Camera-Work Markup Language)を設計し、これを解釈する MRP ブラウザの設計・開発を行った。これにより、カメラの位置・姿勢等の時系列的变化だけでなく、シーン内容との関係やカメラマンの意図など定性的な情報を記録し、後に可視化する機能を実現した(図 4-13)。H19 年度には、定性的なカメラワーク情報の記述形式の再設計を行うと共に、再設計した記述形式に基づいて記録したカメラワークを、撮影環境を模した CG 空間内で可視化する機能を実現した。

CWML によるカメラワークの記述に関しては、現役の撮影監督の助言を得ながら、「定量的カメラワーク記述」と「定性的カメラワーク記述」に大別すべきとの結論に達し、その「定性的カメラワーク記述」の記述項目自体もプロの映画カメラマンの意見を反

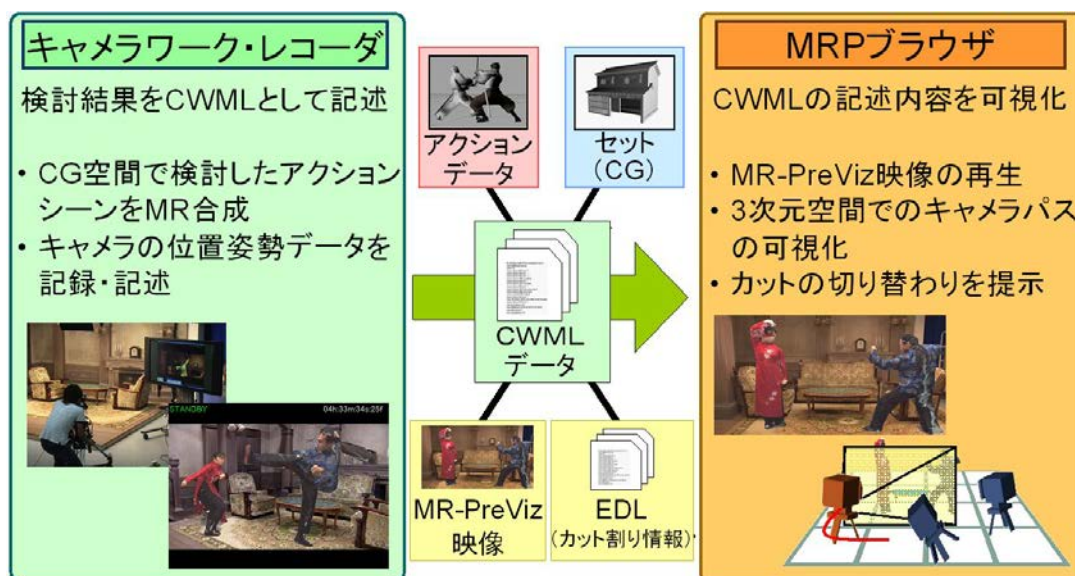


図 4-12 カメラワーク・オーサリングツール

映して決定した。定性的カメラワークの要素としては、図 4-14 に示すような要素を導入し、項目ごとに選択する形式をとった。このようなカメラワーク記述に関する試みは、従来、業界内で暗黙の諒解事項であったり、明確な用語として定義されていなかったため、それを記述対象として扱うことは新しい試みとして、コンタクトした映画撮影関係者から肯定的な評価を得ている。その反面、こうしたカメラワーク記述という新概念は、まだまだ未熟であり、業界内で一定の評価を得るには、時間がかかると思われる。

一方、開発チーム内で閉じて使っている以上、(記述の用語の妥当性とは別に) MR-PreViz の威力は発揮できる。その意味での MR-PreViz 技術のパスは、図 4-2 に示したワークフロー通りに貫通している。これは、映画『カクレ鬼』の製作という実証実験を通してその有用性が示され、監督やアクション監督からも高い評価を得ることができた。

カメラワーク・オーサリングツールとカメラワーク記述言語 CWML は、他の要素技術を統合していく必要があるため、度重なる変更を繰り返してきた。具体的な改良点を下記に示す。

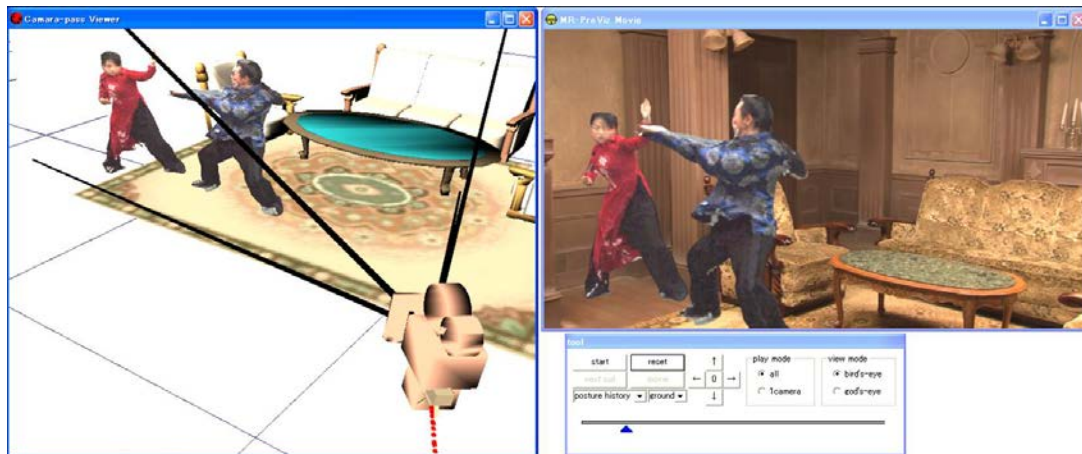


図 4-13 MRP ブラウザの表示画面例

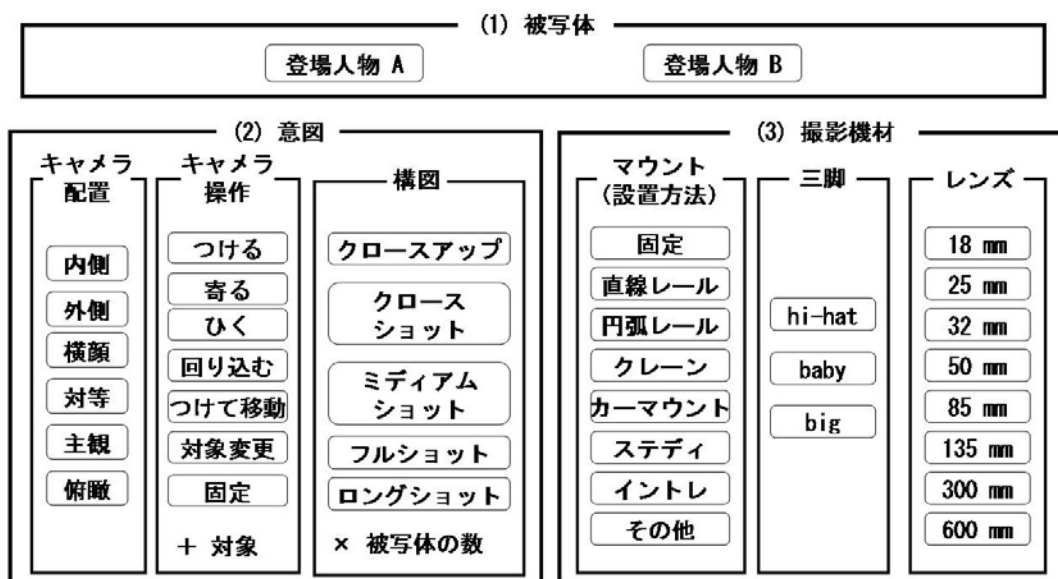


図 4-14 定性的カメラワーク要素

- 可搬型システムなど多種の撮影機材，マッチムーブ手法の利用による改良

可搬型システムでは，ロータリーエンコーダではなく，ビジョンベースの手法にも対応する必要があり，利用する機材や入力信号も異なる．そこで，多種類の機材，合成手法にも対応できるようにシステムを改良した．また，Phase3.5での再合成・調整，Phase4での可視化のためにCWMLで扱うカメラワーク情報にも変更を加えた．

- 再照明付与手法への対応

当初のカメラワーク・オーサリングツールは，カメラワークの検討だけを対象にしていたが，再照明付与手法の開発により，照明や色調など映像の見た目の検討も行えるように改良した．まずは，Phase3.5でのオフラインレンダリング時に撮影したMR-PreViz映像に対して再照明付与処理による検討を利用可能にした後，Phase3のMR-PreViz撮影時にも実時間で再照明付与処理を可能にした．

- アクションリハーサルツール

一般のMRシステムにおける現実と仮想の融合結果は，体験者が頭部に装着したHMDに表示される．これに対して，本研究のMR-PreVizシステムでは，映画カメラ視点での実写とCGキャラクターの合成となる．実証実験を通して本プロジェクトを進めていく過程で，CASCADESで予め構築したアクションデータを，実背景をバックにHMDで眺める用途にも価値があるとの指摘を受けた．映画スタッフにはカメラ視点でのPreViz映像で十分であっても，剣戟等のアクション演技に不慣れな俳優（特に，主演級の俳優）には，演技者視点でのMR合成結果が，アクション演技を覚え，相手役なしで何度でも稽古できるのでは，という着想である．これが，当初計画になかった俳優のための「アクションリハーサルシステム」である．本システムのユーザに提示される画像例を図4-15に示す．

H19年度に開発したプロトタイプシステムでは，剣戟シーンに特化し，ユーザは手に持った刀の柄型のデバイスで襲い掛かってくるCGキャラクター相手に決められた演技を繰り返し練習することができ，最終的にユーザの演技がお手本とどれだけ類似していたかを点数で表示する単純なシステムであった．H20年度以降は，繰り返し利用する中で，演技の早期習得につながるフィードバックを返すための，演技の評価手法に関して，研究を行った．プロジェクトの性格上，俳優の演技習得支援を表に打ち出しているが，技術的には手本のある身体運動のあらゆる練習課題に適用できる汎用性をもっている．他の動作の習得への応用としては，ダンスの動作への適用を試み，その妥当性を確認できた．また，アクショントレーニングシステム段階では，決まったタイミングの注目箇所の位置姿勢データだけを用いて，動き評価を行っていたので，タイミングが異なる場合などは評価できな



客観視点画像 主観視点画像  
図 4-15 剣戟アクショントレーニング「MUSHA 修行」の画面例



った。より一般的な動きの評価を行うため、お手本のデータと演技者の時系列データの対応関係を DP マッチングを用いて予め取得した後に、評価する手法を採用することで、動きの軌跡など評価する観点を増やすこともできた。

#### ● 再照明付与による照明シミュレーション機能

MR・PreViz プロジェクト開始当初は、MR・PreViz ではカメラワークやカット割り、アクションの検討を支援することを想定していたが、H20 年度に実施した実証実験以降、照明効果や色調など MR・PreViz 映像のルックの検討の支援を行う取り組みに着手した。その目的に開発されたのが、MR・PreViz 映像に対する再照明付与手法(Relighting)である。再照明付与処理とは、一般的に実写映像に対して実際の照明とは異なる新たな照明効果を適用することを意味する。MR・PreViz における再照明付与とは、仮想照明の効果を実物体、仮想物体双方に矛盾なく適用することである。この再照明付与処理により、監督のイメージする完成映像のルックのイメージを反映した MR・PreViz 映像の生成が可能となった。照明条件を自由に撮影後に変更が可能となるので、MR・PreViz 撮影は昼間に行いながら、そのルックは夜に撮影したように変更することも可能になる。

再照明付与処理を実現するためには、従来 MR 分野で研究されている仮想と現実の光学的整合性の問題と、実環境の光学的特性を如何にしてモデル化し仮想照明の効果を適用するかの問題を考える必要がある。本研究では、屋内外撮影現場での利用を想定して、図 4-16 に示す近似的な手法を採用する。まず、目立つ影の存在しない実写映像を準備する。これは元から実写映像に存在する影があれば仮想照明の作る影との間に矛盾が生じてしまうからであり、照明機材で光を当てて影を消すことや、撮影後の映像に対して画像処理を適用することで処理する。そのようにして準備された映像に対して色調補正により画面全体の明るさ、色調を決定した後、最終的に仮想光源の効果が映像に対して適用される。

再照明付与では、実物体が仮想照明に対してどのように振る舞うかが問題となり、実環境のモデル化が必要である。具体的には実物体の反射特性と幾何形状が必要となる。撮影現場で簡単に効率よく推定できるように、反射特性としては照度と RGB 階調値の関係を求めたものを用いた。この反射特性を効率よく推定するため、あらかじめこのような照度-RGB 階調値の関係が既知のリファレンスオブジェクトを画面中に映す方法も考案している。実際には、照度-RGB モデルは図 4-17 に示すように、複数回照度を変えて撮影した画像における RGB 値を対数近似することによって得る。

実物体の反射特性と幾何形状が分かれば、それらを用いて再照明付与処理を行う。表面反射特性、被照面モデルと呼ぶシーンの幾何形状を用いて、再照明付与による照明演出を実現する。仮想光源による照明効果は、画面中に写る被照面モデル上の点と重畳する仮想物体表面の照度がどれだけ変化するかを照度マップに格納し、それを基に計算する。被照面上の点を被照点とよび、照明が被照点  $P$  に与える照度  $E_L$  は、図 4-18 に示すように、式



図 4-16 再照明付与処理のフロー

(1) で計算できる．ここで  $I_\theta$  は光度を表し，照明の配光特性が光軸からの角度  $\theta$  毎に Lookup table の形で保存されている IES ファイルから計算する． $\phi$  は  $P$  から照明  $L$  までの方向ベクトル  $d_{PL}$  と， $P$  における法線ベクトル  $n$  が成す角， $dist(P,L)$  は被照点  $P$  と照明  $L$  間の距離である．

$$E_L = \frac{I_\theta \cos \phi}{dist(P,L)^2} \quad (1)$$

これらの再照明付与処理は，撮影後の MR-PreViz 映像に対して，オフライン処理で行うことを想定していたが，プログラマブルシェーダを GPU による高速な照明計算を行うことができたため，実時間に動作することが可能となった．これにより Phase3.5 のオフライン処理だけでなく，Phase3 の MR-PreViz 撮影時においても，実時間で再照明付与結果を確認することが可能となった．また MR-PreViz だけでなく，通常の MR アトラクション内での実時間照明演出処理に一般化することが可能となり，当研究室内では実時間再照明付与処理を用いた MR アトラクションも制作した．

仮想照明の種類としては，まずは実時間で計算することが容易な点光源から導入した．しかしながら，映像制作では面光源などもっと多種の光源が用いられることから，光源種類の増加に着手した．大域照明法は実時間で計算することは困難な高度な照明手法である

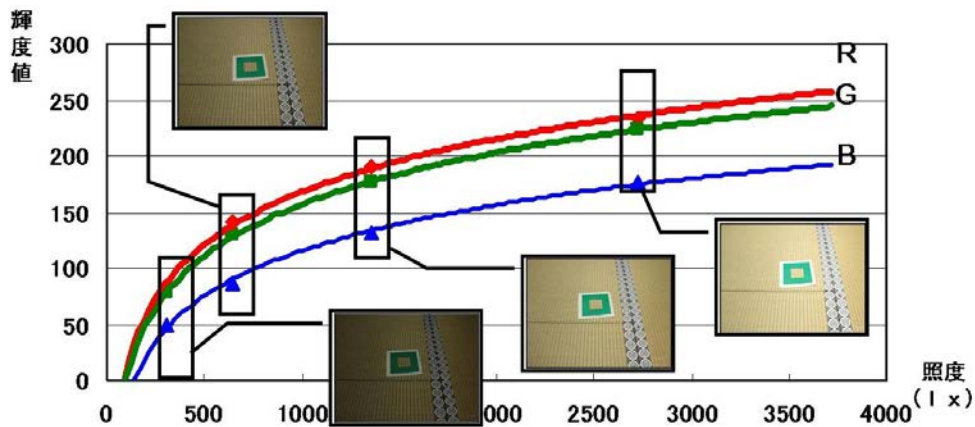


図 4-17 照度-RGB モデルの推定

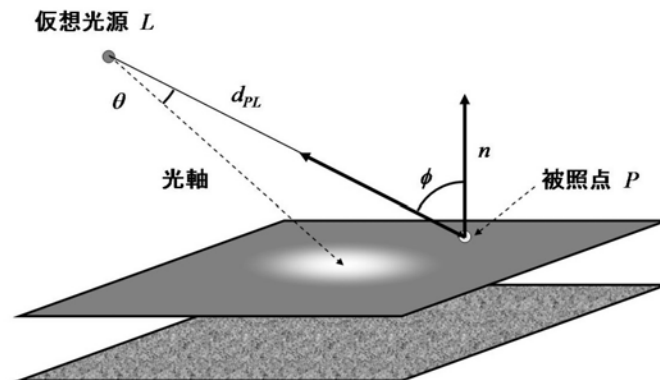


図 4-18 仮想照明により照度の変化量の計算

が、面光源や反射を考慮した写実的な照明効果を実現可能である。本研究では、この大域照明法により計算された照度分布を入力可能にすることで、照明の種類を増やすことに成功した。実時間再照明付与処理における大域照明法の計算結果の反映法を図 4-19 に示す。大域照明法による照度分布の計算には照明シミュレータ RADIANCE を用いた。

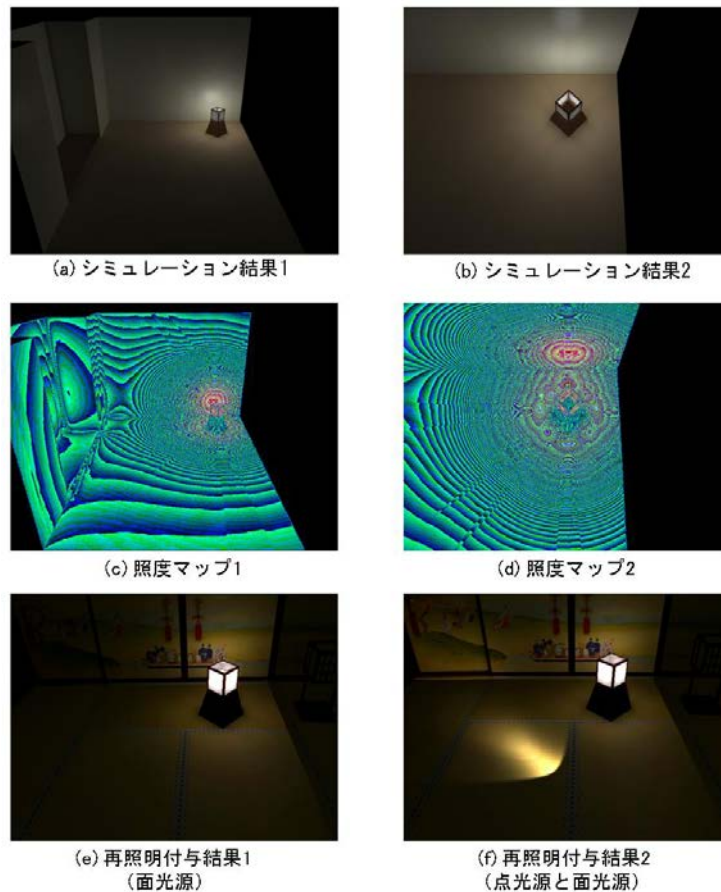


図 4-19 大域照明を用いた再照明付与処理結果

#### ● MR-PreViz に特化したビジョンベース 6 自由度幾何位置合わせ手法の開発

技術開発第 3 グループは、H19 年度まで開発してきた屋外用カメラトラッキング手法であるランドマークデータベース法を、H20 年度以降は、MR-PreViz 基幹システムへの統合とすることで、屋外 MR-PreViz の実現の土台の構築を目指した。

ランドマークデータベース法とは、予め撮影環境中の特徴点の 3 次元位置とその特徴点の周りのイメージテンプレートをランドマーク情報として登録しておき、それらのデータベースを用いてカメラトラッキングを行う手法である。ランドマークデータベースを構築するためにあらかじめ撮影環境の映像を撮影し、Structure-From-Motion 法により、特徴点の 3 次元位置を計算する。MR 合成に必要なカメラの位置姿勢は、画面中の特徴点をランドマークデータベースとマッチングすることで計算される。

上記のランドマークデータベース法は、技術開発第 3 グループによりアルゴリズムの高速化が実現したため、実時間に実カメラ映像を入力としたカメラ位置姿勢の計算が可能となり、同グループの開発した技術を技術開発第 1 グループの MR-PreViz 基幹システムへの統合を行った。統合を行う過程において、ランドマークデータベース法を MR-PreViz 用途

で利用する際には、次のような改良を行う必要があることがわかった。

- ランドマークデータベースの構築の際の基準点の入力を、光学測量器を用いて行う必要があったため、ランドマークデータベースの構築に多大な時間を必要としていた。MR・PreViz 用途で用いるには、もっと短い時間でランドマークデータベースを構築する必要があった。
- ランドマークデータベース法では、広域屋外環境において MR 合成を行うことを想定していたが、MR・PreViz 用途では、撮影対象は限定される。撮影対象を限定することで、ランドマークデータベースの構築やカメラトラッキング時のマッチング処理を効率化が期待できる。また、初期化処理やトラッキング失敗時の復帰処理に関しても高速化が期待できる。

技術開発第 1 グループでは、上記の改良のアイデアを具体化するものとして、LMDB 構築時と位置合わせ利用時で近いカメラパスを辿るように制限することで、高精度・高性能な位置合わせを実現する「リハーサル・パス法(Rehearsal Path Method; RPM)」を考案した。RPM では、動物体の存在しない屋内外の任意の環境において、撮影前に大まかなカメラパスが既知として、一度のその大まかなカメラパスに沿ってシーンを撮影するリハーサルフェーズにおいて、撮影環境の情報を自動的に収集する。その情報を用いて、実行フェーズでカメラトラッキングを行う。

RPM の流れは次の通りである。

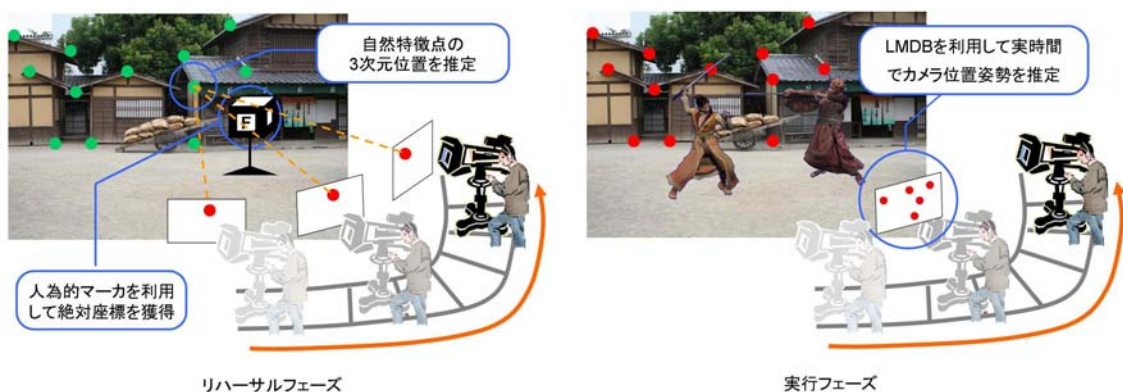


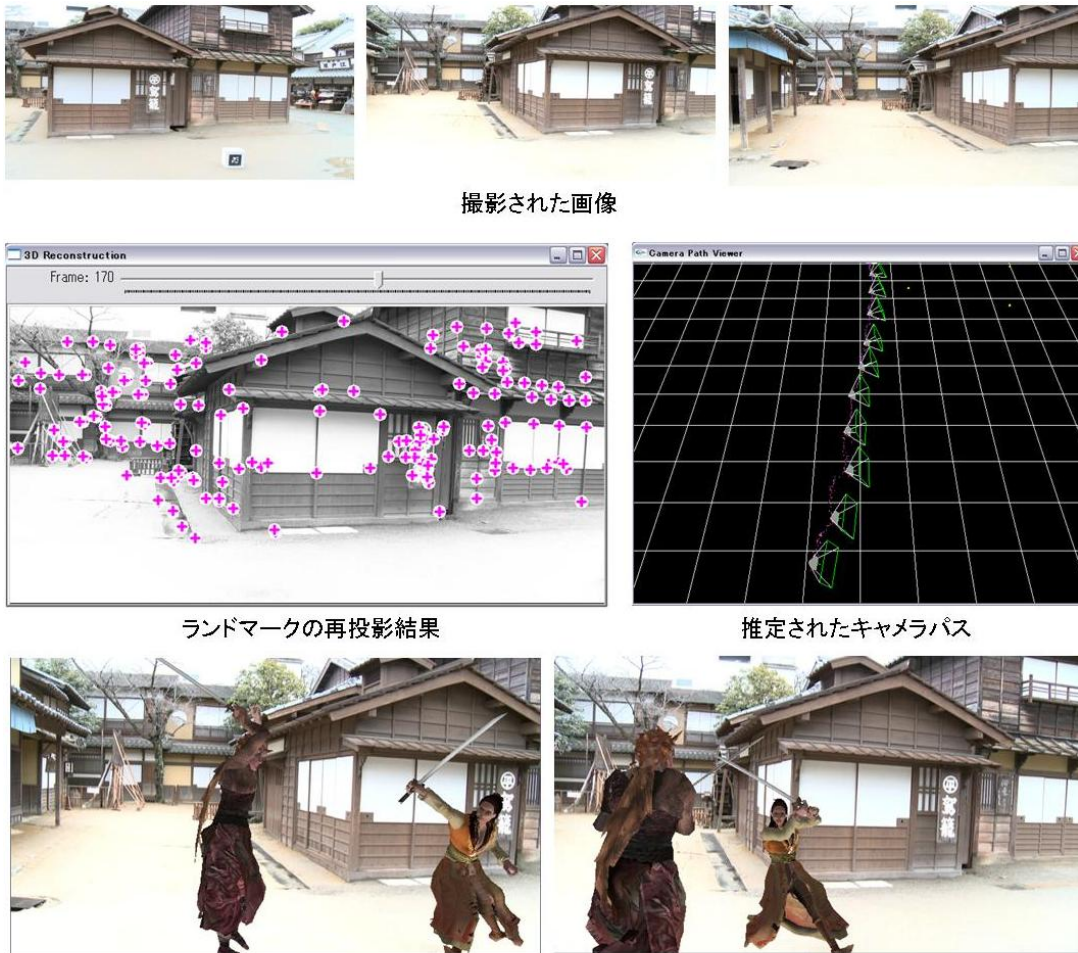
図 4-20 リハーサル・パス法 (RPM)

リハーサルフェーズでは、人為的マーカを写しながら想定されるカメラパスで撮影し、自然特徴点の世界座標系での 3 次元位置と局所不変特徴量である SIFT 特徴量を自動的に LMDB に登録する。自然特徴点の 3 次元位置の推定の流れを図 4-20 に示す。まず前処理で数フレームの映像を用いて、エピポーラ幾何により特徴点とカメラとの相対的な関係を求め、順次処理において全フレームでの特徴点の追跡とカメラ位置姿勢の推定の後、後処理において特徴点の座標はマーカから求まる座標系へと変換される。

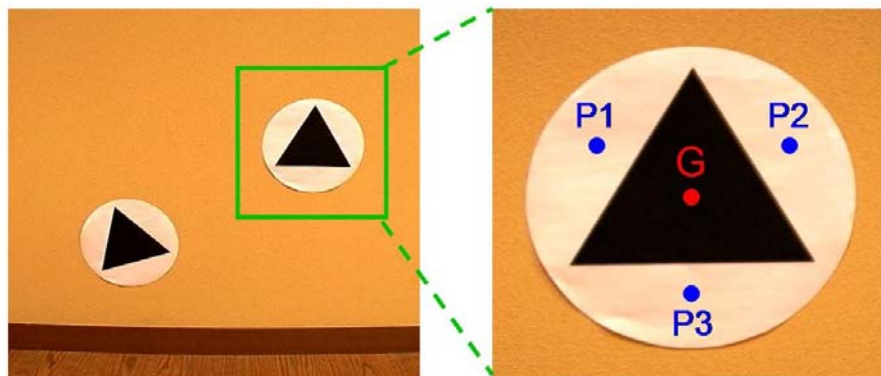
実行フェーズでは、前フェーズで配置した人為的マーカを取り除いて撮影を行う。前フェーズで構築された LMDB を利用して、実時間でカメラ位置姿勢推定を行い、現実背景に CG を重畳表示し、MR 合成を行う。リハーサルフェーズ時のカメラパス上にいくつかのキーフレームを設け、SIFT 特徴の高速なマッチング処理を用いることで、初期位置あわせの高速化、トラッキング破綻への対応も可能としている。RPM 法により実時間でカメラ位置姿勢の推定、MR 合成を行った結果を図 4-21 に示す。

また、本手法を用いた応用的な研究として、実環境中に存在する自然特徴点だけでなく、人工的に特徴点を増やすマーカを援用することで、特徴点の少ない箇所でも安定して動作できるような手法の検討を行った。人工的に特頂点を増やすマーカとして、図 4-22 に示す、

正三角形の人工特徴点マーカを利用して，ランドマークの登録結果の中から，三角形マーカにより増えたランドマークのみを幾何情報などを利用して識別できるようなアルゴリズムを考案した．三角形マーカを多数情景中に貼り付けると美観を損ねてしまうので，利用するマーカの数は，できるだけ少ない数の方が望ましい．そのため，三角形マーカにより増やされたランドマークを識別することを行う．図 4-23 に人工特徴点マーカの検出結果を



MR合成画像  
図 4-21 リハーサル・パス法の実行結果



(a) 配置例 (b) 4点を用いてマーカを認識

図 4-22 人工特徴点マーカ

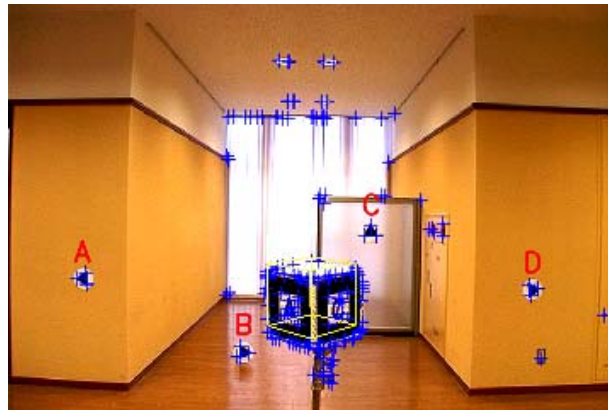


図 4-23 人工特徴点マーカによる特徴点の登録結果

示す。ランドマークが存在しない場合にも、トラッキングが成功するかどうかは、録画した映像を用いることテストすることができる。その実験結果を元に、貼り付けるマーカを最少の数にとどめることが可能となった。

#### ● コンピュータ・グラフィックス基幹技術の研究開発

MR-PreVizなる概念に固有の問題ではないが、実写映像に合成するCG映像を高画質化、高速化するための次世代技術に関しても種々の研究を行った。その主な研究成果は以下の3つである。

第1の技術は、時代劇の背景となる京都の町並みを、GIS（地理情報システム）技術の普及に伴って蓄積されつつある電子化された地図データから自動生成する技術で、ワークフローのPhase 2での利用を想定している。江戸時代の京都の町並みを構成する京町家、武家屋敷の塀、樹木、通行人などを、条件を色々と変えて自動生成できる。この技術を用いれば、制作する映像の背景として最適な町並みを、事前にシミュレートすることができる。

図 4-24 に自動生成した町並みの例を示す。MR-PreViz は実物の美術セットや現実の光景をバックにできるのが特長であるが、美術セットを全て建て込む前に、一部をこの種の町並みデータに置き換えてMR-PreVizすることでコストダウンや制作工程の効率化が図れる。

第2の技術は、レーザスキャナなどで計測した3次元物体を、ポイントレンダリングの手法を利用して容易に半透明可視化する技術で、Phase 3での利用を想定している。シーン内への大きな物や多数の物の配置を検討する際に、いったん半透明化して配置することで、シーンの全体像が一望でき、映像の設計に役立つ。図 4-25 に祇園祭の山鉦の一つである船鉦を、レーザスキャナで計測したデータを用いて半透明可視化した例を示す。

第3の技術は陰関数曲面、つまり方程式で記述された曲面の高速・高品質CGに関するものである。陰関数曲面の一種であるメタボールは、生命体や変形する柔軟物を表現するCGにおいてもしばしば利用される。この陰関数曲面に関して、特長である「滑らかさ」を最大限に活かすためのポイント・グラフィックスに関する技術群、グラフィックス・ハードウェアを利用した高速表示技術などを開発した。例えば、図 4-26 のような複雑曲面は通常のPCでも48分の1秒で描くことができる。これは、リアルタイムCGで要求される1枚の画像あたり30分の1秒よりも十分に速い描画速度である。Phase 2でもPhase 3以降でも、大きな威力を発揮することが期待できる。

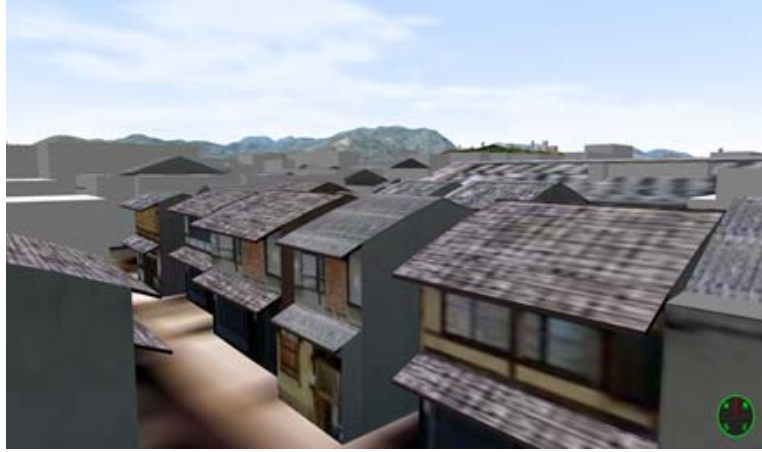


図 4-24 自動生成した京都の町並み

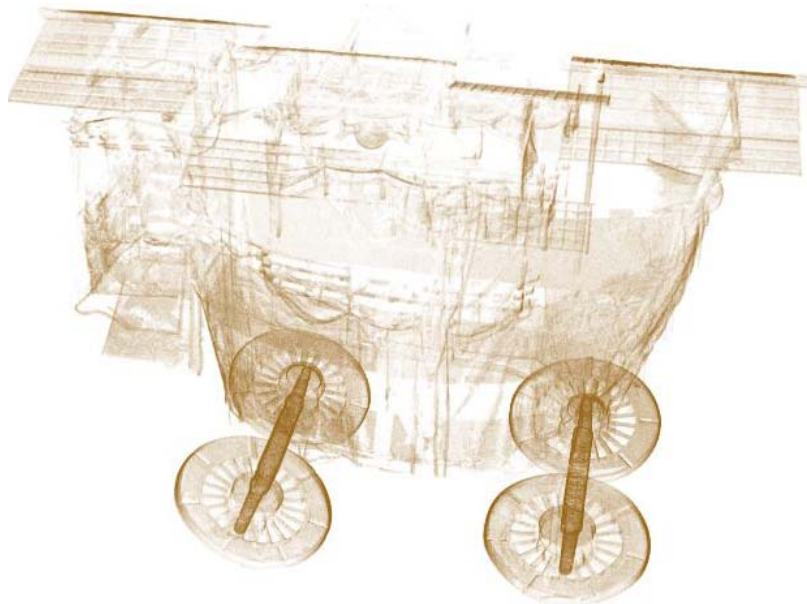


図 4-25 船舳を半透明可視化した結果



図 4-26 複雑曲面の高速表示の結果

## (2)研究成果の今後期待される効果

本グループが取り纏めたシステムの研究成果は、本研究プロジェクト全体の成果であり、当初からの目標通り、我が国の映像制作業界の業態やビジネスモデルを変え得る潜在能力を秘めたものに仕上がったと言える。MR・PreViz 撮影合成システムの3形態、CASCADES を初めとするソフトウェアツール群は、別項にて述べるように、希望する企業への情報公開を予定しており、着実に映像制作の実務に活用されて行くものと考えられる。

技術開発第1グループが独自で開発した研究成果のうち、MR・PreViz 目的以外にも波及効果をもつと考えられる。

- ・アクションを基本要素に分解して収録し、その要素の接合により一連のアクションを構築するという考え方は、こうした映画撮影だけに関わるものでなく、勿論、ビデオゲームでの表現にも適用できる。また、伝統芸能の所作の分析といった人文科学や、スポーツ医学にいける身体運動の分析などへの発展が考えられる。
- ・前述したように「アクショントレーニング・システム」もまた、手本のあるあらゆる身体動作の学習・訓練に適用できる汎用的発展性をもっている。この研究は、本CREST研究プロジェクト終了後も、機会あれば充実させて行きたい。
- ・ランドマークDBを用いたカメラトラッキング法の改良版として提案したRPMには、映画にちなんだ名称を採用したが、事前に概略カメラパスを一度試せる環境であれば、どのような場合にも適用できる。MR分野の有力な手法として、医療・福祉、建築・都市計画、設計・製造・検査、教育・娯楽等々の分野でも活用されて行くものと考えられる。

## 4.2 技術開発第2グループ(京都大学)

### 「3次元ビデオ映像方式による演技の撮影・編集と他方式アクション・データとの融合に関する研究」

#### (1)研究実施内容及び成果

本グループでは研究開発期間全体を通して、既存の3次元ビデオ撮影技術を①広範囲撮影の実現、②高品質自由視点表示の実現、③アクション編集の実現、の3点において拡張することを通じてMR・PreVizの実現に貢献することを目指した。具体的には

- 3次元ビデオの表示と編集
- アクション構造抽出と補完
- アクション統合法

という3点を計画に掲げて研究を推進した。以下ではまず3次元ビデオの概略を述べ、その後本プロジェクトでの成果について述べる。

#### ● 3次元ビデオ技術

3次元ビデオとは、自由に運動する対象(演者)の映像を異なる複数の視点から撮影し、その映像を用いて対象の3次元形状と表面色を生成したものである。3次元ビデオの特長は

1. [自由視点] 通常のコンピュータグラフィクスにおける仮想物体と同様に、任意の自由な視点から表示することが可能
2. [編集可能] 明示的に対象の3次元表面形状とその表面色を求めているため、これを変形・変色することで編集が実現できる。また他の仮想物体と合成することもできる。この点において左右視点映像をそれぞれ網膜に投射することで人の視覚野に立体感を提示するだけの「3次元テレビ」と異なる。



3. **[非接触]** 撮影はすべて通常の映像撮影として行われるため、対象（演者）に特別な衣装、マーカなどを付与する必要が無い。MR-PreViz においては演者を本来の衣装のまま撮影できるため、①衣装の変化による演技への影響が無く、②衣装や把持物体を含めたそのままの 3 次元形状を直接得ることができる。この点において特別なコスチュームとマーカの使用を前提とするモーションキャプチャシステムと異なる。
4. **[動物体撮影]** 入力として多視点映像を用いるため動く物体（演者）をそのまま撮影することが可能である。この点においてレーザレンジファインダなどの静止物体のみを対象とした方式と異なる。

である。しかしこの要素技術を本プロジェクトで MR-PreViz に用いるにあたり、以下の点が課題となり、それぞれ新たに研究開発を行うことでこれらを解決した。

1. **[広範囲撮影]** 3 次元ビデオにおいては、各時刻において対象が常に全ての方向から撮影されていなくてはならない。従来の技術では対象が比較的狭い範囲（2.5m 四方）を運動することを想定して固定カメラ群を備えたスタジオを用いていた。限られたカメラ台数で広範囲撮影を実現するにあたり、能動カメラ群を用いた 3 次元ビデオ撮影方式を新たに開発した。
2. **[高品質表示]** 従来の表示方式ではカメラのキャリブレーション誤差や対象形状の推定誤差が原因となって、自由視点表示の際にブラーやテクスチャのジャンプ（唐突な切替）といった映像品質上の問題があった。これを解決する新たなテクスチャマッピング方式を開発した。
3. **[アクション構造の抽出・補完]** 3 次元ビデオとして得られるデータは、対象表面の形状と色である。特にその表面形状は「腕」、「頭」、「足」のような体節毎の分類（ラベル付け）をされていない均一な多面体で構成されており、したがって「腕を下げる」などの体節を単位とした編集を行うことができない。そのためアクション編集を実現するための必須要素技術として、新たに 3 次元表面形状から体節位置とその姿勢を推定するアルゴリズムを開発した。
4. **[アクション編集]** 3 次元ビデオの編集とコンピュータグラフィクスにおける編集の違いは、3 次元ビデオが実写を元に行っている点にある。すなわち編集にあたっては「元の実写 3 次元ビデオの形状・運動をなるべく保つ」という新たな観点が必要であり、この点を考慮した新たなアクション編集方法を開発した。

以下では上記 4 つの成果についてそれぞれ順に述べる。

#### ● 広範囲移動を伴うアクションの 3 次元ビデオ撮影

平成 17 年度、18 年度に MR-PreViz に用いる基礎データとしての 3 次元ビデオとして剣戟アクション、およびカンフーアクションの撮影を行った（図 4-27）。この撮影では対象の移動範囲を 2.5m 四方と想定していた。

得られた基礎データを用いて各グループが研究を進めた結果、実証的に映画撮影を行うため、平成 20 年度に従来の固定カメラ方式を用いた可搬式スタジオを東映太秦映画撮影所内に構築して 3 次元ビデオの撮影を行った。本撮影で得られた多視点映像と得られた 3 次元ビデオの例を図 4-28 に示す。この撮影においては演者の移動範囲を 5m 四方と想定したため、画角の変更を施すことで対応した。しかしこの結果として図 4-27 と図 4-28 を比較すると、図 4-28 左の入力映像における画面内で対象の占める割合、つまり入力データ中で有効な部分が極端に小さくなってしまい、得られた 3 次元ビデオの品質は十分とは言えなかった。



図 4-27 剣戟アクションの 3 次元ビデオ（左：入力多視点映像の一部，右：得られた 3 次元ビデオ）

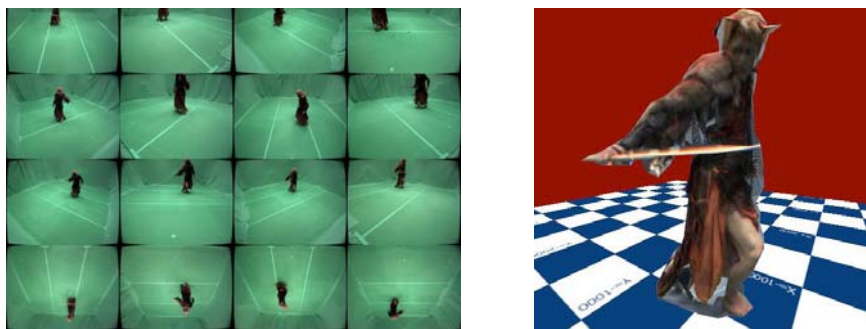


図 4-28 映画「カクレ鬼」の MR-PreViz に用いられた 3 次元ビデオ（左：入力多視点映像，右：得られた 3 次元ビデオ）

この問題を解決するためには①画角を戻してカメラの台数を増やす，②より高解像度のカメラを用いる，③画角を戻した能動（首振り）カメラで追跡撮影を行う，のいずれかを行う必要があるが，①および②の方式では実現できる広範囲化には限界があることが明らかであったため，平成 21 年度以降は③の方式に絞って研究開発を行った。

首振りカメラ群を用いた 3 次元ビデオ撮影法として当グループでは「セル方式」と呼ぶ手法を開発した。この方式では各カメラが「セル」を単位として対象を協調的に追跡撮影することで，3 次元ビデオ撮影に求められる

- 各時刻におけるカメラキャリブレーション（世界座標系におけるカメラの位置・姿勢データ）
- 全方位からの対象撮影
- 背景差分によるシルエット抽出

をすべて実現することができた（図 4-29）。研究としてのポイントは「上記の制約を満たしながら対象の位置に応じてカメラパラメータの実時間プランニングを行う」という非常に複雑な問題を，「対象の位置に応じたセル切替」という単純化された問題へと変換することで解いたことにあり，我々の方式以外に 3 次元ビデオの広範囲追跡撮影を実現した例は世界にも存在しない。

また特に最終年度にあたる平成 22 年度においては，この首振りカメラを用いた広範囲撮影方式に関して，実際の 3 次元ビデオ撮影を通してその性能および有用性を実証するとともに，さらなるカメラ利用効率の改善を実現するためのアルゴリズム（セル配置の最適化）を開発した。具体的には①従来の固定カメラ方式で撮影した場合との間で画素利用率（画像中に占める撮影対象の割合）とカメラの利用効率（全体の何割のカメラが 3 次元ビデオ

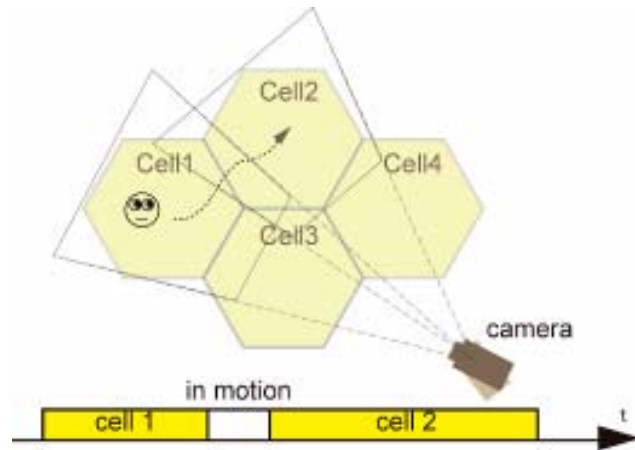


図 4-29 セル方式追跡撮影. 各カメラは対象の移動に応じてセルを単位としてその位置・姿勢を切り替えることで追跡撮影を行う.

の撮影に寄与したか) を評価するとともに, ②形状復元結果の良さを completeness (復元形状に欠損が無いかを「真の形状から誤差 10mm 以内に復元形状が存在する割合」で表した指標. 100%に近いほど良い) および accuracy (復元形状の正確さを「復元形状の表面全体の誤差のうち上位 90%が何 mm に収まるか」で表した指標. 0mm に近いほど良い) という形状復元問題において一般的な 2 つの指標で評価した. この結果を図 4-30 および図 4-31 に示す. これらの図から

- 考案したセル方式によって各時刻におけるカメラの利用効率 (有効カメラ台数) は落ちるものの, 画素の利用効率が大幅に改善 (約 4 倍) されること, また
- より少ないカメラ数であっても, accuracy と completeness が共に改善できたこと

がわかる. つまり従来の固定カメラ方式と比較して, セル方式によって 3 次元ビデオの品質を損なうことなく, 撮影範囲を大幅に拡大 (従来の約 2.5m 四方に対して約 7m 四方) することが実証された.

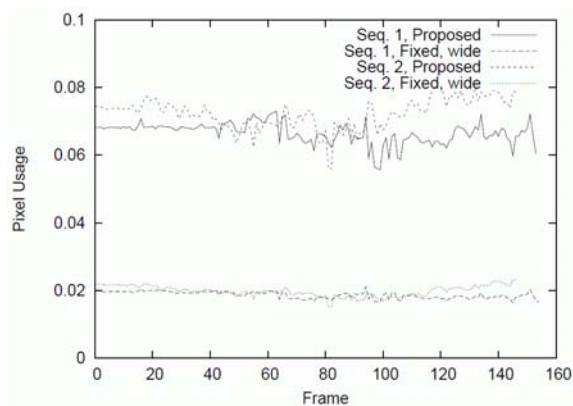


図 4-30 提案手法 (セル方式) と従来手法 (固定カメラ方式) の画素利用効率. 2 つのテストシーケンス双方において提案手法の方が約 4 倍の利用効率を達成している.

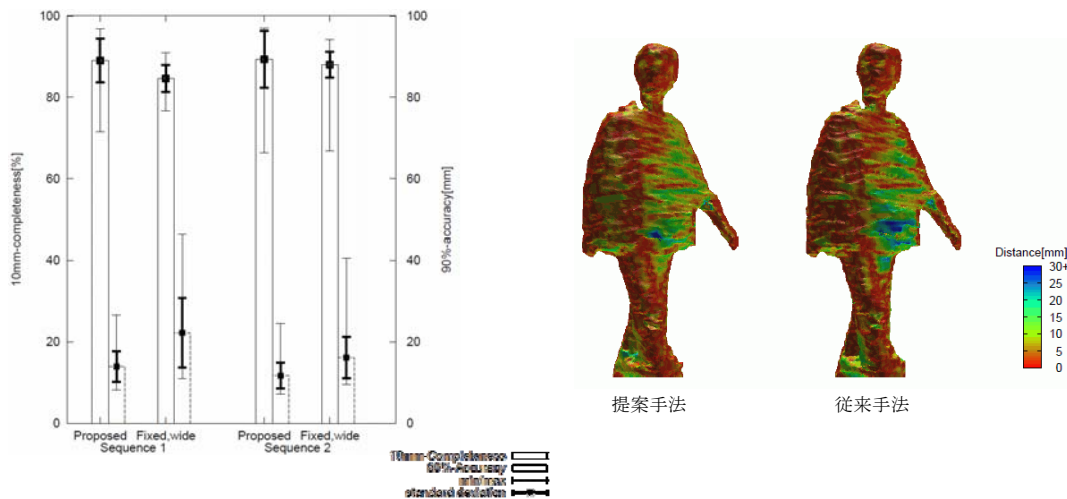


図 4-31 形状復元の completeness と accuracy (左), 形状復元結果の例 (右). 右図における色は形状復元の良さ (赤=良い, 青=悪い) を表している.

### ● 3次元ビデオの高品質表示

従来の 3 次元ビデオ表示は視点依存頂点ベーステクスチャマッピング法と呼ばれ, 3 次元表面形状を構成する各頂点にその色を与え, 表面形状を構成する多面体内部の色は頂点色から補間していた. この方式には

- 補間を通じて自然に複数の実写テクスチャがブレンドされ, 形状やカメラキャリブレーションの誤差に起因するテクスチャのずれを補償することができる

という長所が存在していたが, その一方で

- 頂点毎に色をつけるため, 対象表面形状を大量の頂点で表現しなくてはならずデータ量が増大する

という短所があった. このことは特に, テクスチャの解像度の向上に伴ってデータ量が極端に増大するため, 特に高品位化を目指す上で大きな障害となっていた.

そこで本グループではデータ量の削減と表示品質の改善を同時に実現することのできる映像生成手法として「Harmonized Texture Mapping」法を開発した (図 4-32). この方式のポイントは

- 従来の 3 次元ビデオでは困難であった面ベーステクスチャを用いる
- 形状やキャリブレーションの誤差を補償するために, テクスチャを適応的に変形する

という点である.

まず一般の 3 次元 CG のレンダリングにおいては, 高精細でありながらデータ量の少ない面ベーステクスチャマッピングが広く用いられている. 当然 3 次元ビデオにおいても同様に面ベース方式を用いることが望ましいが, 従来は次のような理由から頂点ベース方式を用いていた.

まず面ベーステクスチャマッピングを行うには頂点の位置と, これに対応するテクスチャ画像上での位置 (テクスチャ座標) にズレが存在しないことが大前提である. CG の場合は 3 次元形状とテクスチャの双方を人手によって作成するためにこの前提が自然と満たされるが, 一方で現在の 3 次元ビデオ技術では撮影空間の全てにおいて mm 以下の精度を達成することは非常に困難である. そのため既存の面ベーステクスチャマッピングを行うと

ズレやボケの生じた粗の多い映像が生成されていた。

これに対して本方式では、形状復元やカメラキャリブレーションの誤差が存在しないことを前提として面ベーステクスチャマッピングを行うのではなく、明示的に誤差が存在するものとして面ベーステクスチャマッピングを行う点が新しい。具体的にはレンダリング

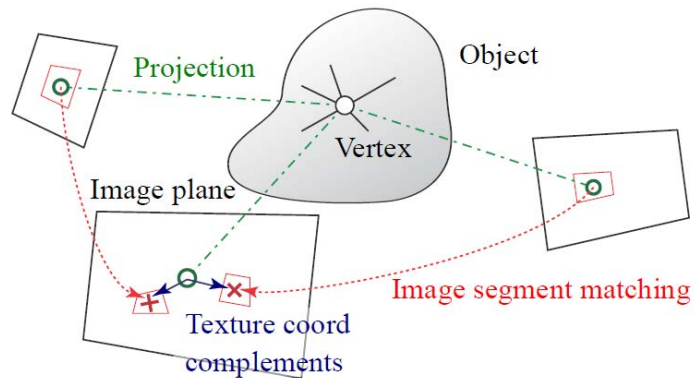


図 4-32 適応的なテクスチャの変形。形状およびキャリブレーションの誤差によって2重写し（ボケ）の状態になる部分を補正する（青色矢印）。

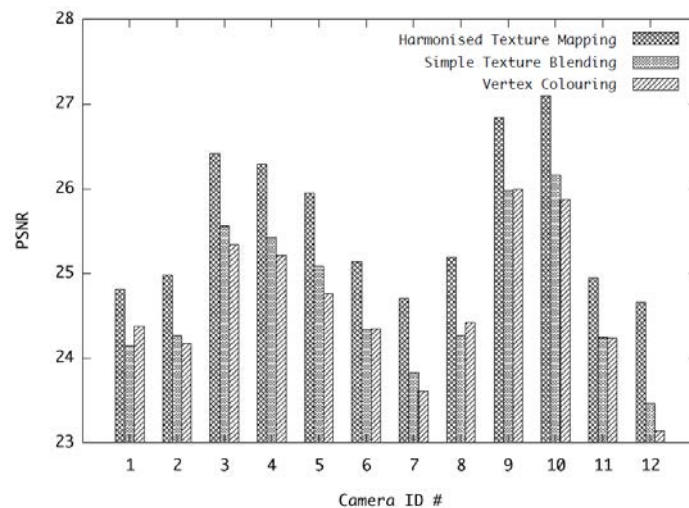


図 4-33 生成される映像の品質比較。leave-one-out 法によって実写画像と比較した場合の PSNR で評価。全体を通じて提案手法が最も高品質であるといえる。



図 4-34 従来方式と本方式の比較。左：頂点ベース方式，右：Harmonized Texture Mapping 方式による仮想視点でのレンダリング結果。

中の仮想視点において最も表示誤差が目立たなくなるようにテクスチャ座標を適応的に移動させることで、完全に正確とは言えない形状であってもズレやボケの少ない映像を生成することができるようになった(図 4-33 および図 4-34)。またこの結果従来の頂点ベース方式に比べてデータ量が大幅に削減された。

### ● アクション構造の抽出・補完

3次元ビデオを入力としたアクション構造の抽出・補完という問題を

- 対象のアクション構造を人体構造の特徴的な点(関節や端点)にノードを持つ木構造を用いて表現する
- 得られたアクション構造を用いて全体の運動・姿勢を求める

という2つの段階に分けて取り組んだ。

最初のアクション構造の獲得は、3次元ビデオとして得られる対象の3次元表面形状系列からその運動構造としての骨格構造を推定することを目的とする。本プロジェクトでは中間データ構造に Reeb グラフを用いることで表面データのもつ位相構造を適切な解像度で表現し、これをもとにして骨格構造推定を行うアルゴリズムを考案した。

具体的には表面形状データから Reeb グラフを生成し、そのグラフ構造間のマッチングを行うことで体節と関節位置の推定を行った(図 4-35)。

この手法は3次元ビデオとして得られた対象表面形状のみから骨格構造を推定することができるという点に特長があるが、その一方で人体構造に関する知識を積極的に用いていないために体節同士が複雑に接触し、カメラから互いを隠蔽するような複雑な姿勢に関しては扱うことができない。

そこで次に得られた骨格構造を用いて、3次元ビデオ中に含まれる複雑な姿勢に関しても、姿勢推定を行うことができるアルゴリズムを考案した。このアルゴリズムのポイントはカメラ配置など3次元ビデオの撮影過程に起因する「原理的に観測が不十分で信頼度の低い

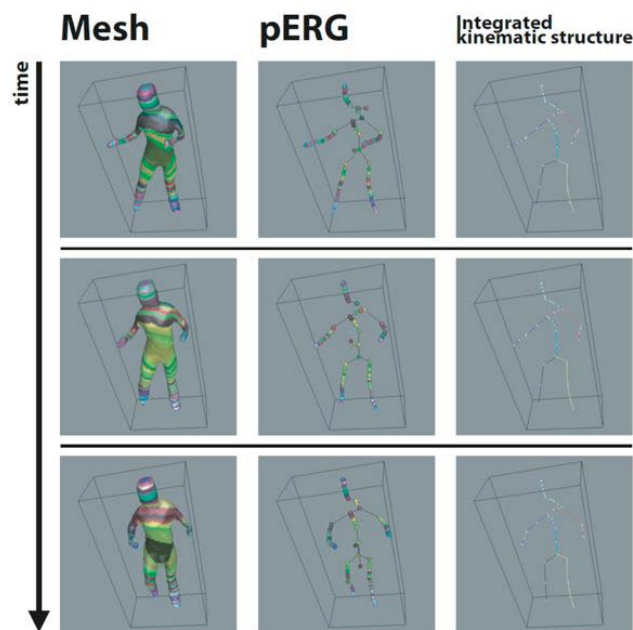


図 4-35 Reeb グラフを用いた3次元ビデオからの骨格構造推定。左：3次元ビデオとして得られた対象表面形状，中央：Reeb グラフ，右：推定された骨格構造。

表面領域」を明示的にモデル化し、これによって体節間の接触などによって観測に欠損があった場合でも頑健に姿勢推定を行った点にある (図 4-36)。これにより従来の人体モデルを 3 次元形状データに当てはめる手法では適切に姿勢推定を行うことができないような例であっても、本手法では適切に姿勢推定を行うことができた (図 4-37, 図 4-38, 図 4-39)。

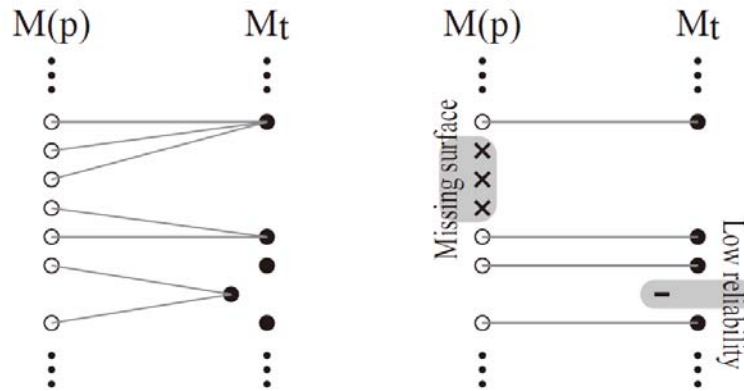


図 4-36 従来法と提案手法の模式図。双方共に姿勢パラメータ  $p$  によってキーフレームメッシュ  $M$  を変形させ、ある時刻のメッシュ  $M_t$  と一致させる点では同じだが、従来法 (左) ではメッシュを構成する全ての点 (白丸) を  $M_t$  中の頂点に対応付けようとするのに対し、提案手法 (右) では原理的に対応点が存在し得ない頂点を明示的に推定することで誤対応を防ぐ。

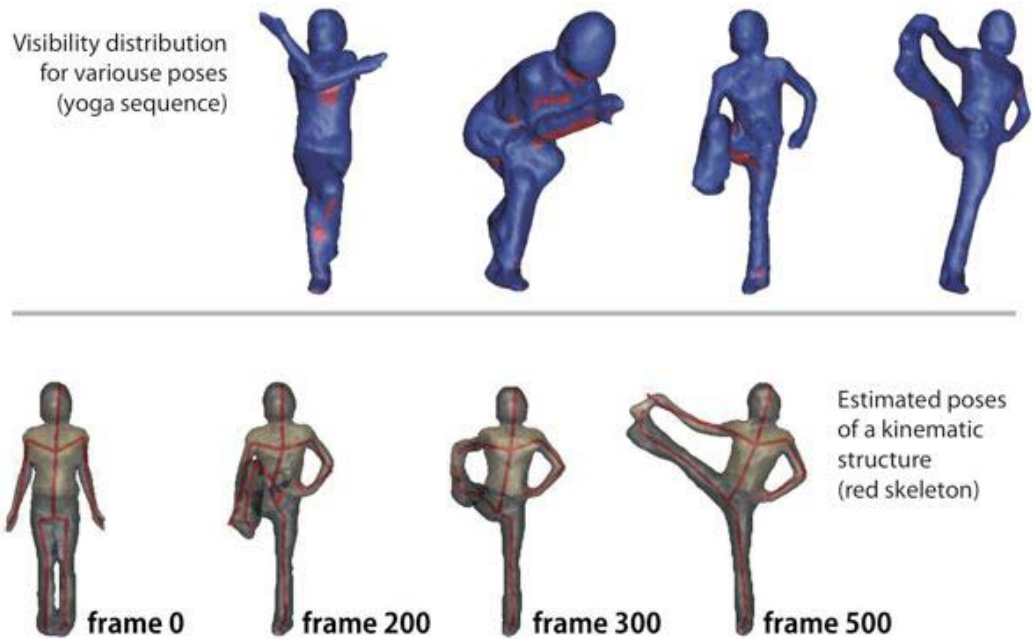


図 4-37 対象表面形状の信頼性分布と姿勢推定結果。上：信頼性の高い箇所が青、低い箇所 (接触やカメラ配置上、観測できない領域) が赤で示されている。下：姿勢推定結果が赤線で示されている。

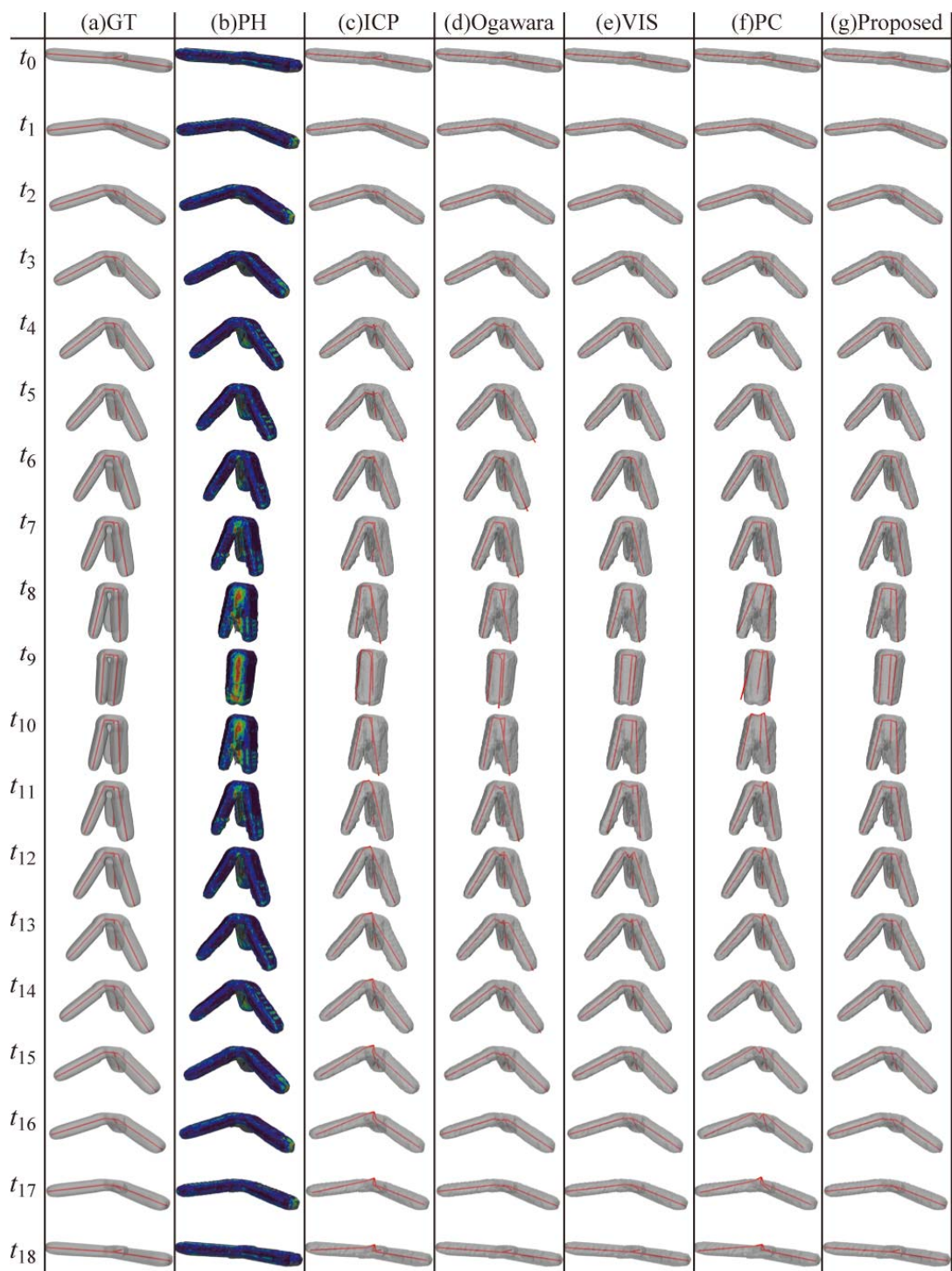


図 4-38 CGを用いた評価。左から(a)真値, (b)3次元ビデオとして得られた形状, (c)従来のICP, (d)従来の小笠原らによる手法, (e)提案手法のうちカメラからの可視性のみを用いた場合, (f)提案手法のうち体節間の接触のみを用いた場合, (g)提案手法。(c)から(f)の赤線が推定された姿勢を示す。



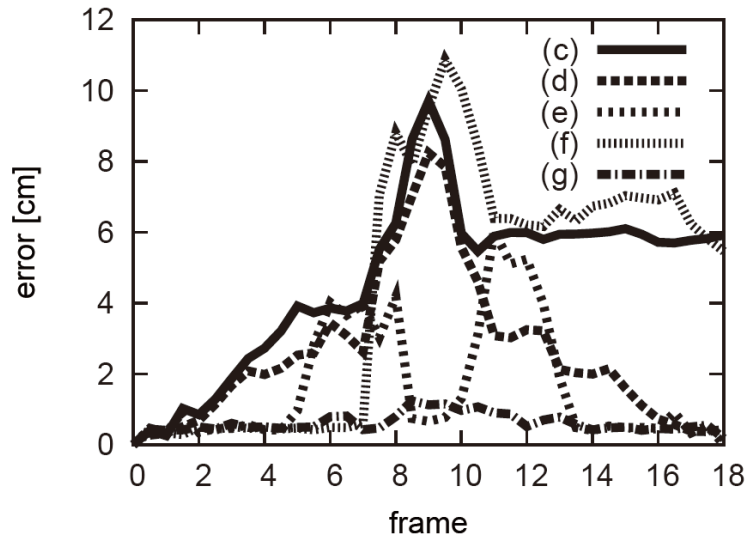


図 4-39 図 4-38 の結果の定量評価. 提案手法 (g) が最も誤差が少ないことが確認される.

(2)研究成果の今後期待される効果

広範囲移動を伴うアクションの 3 次元ビデオ撮影法として開発したセル方式を用いることによって、今後は限られたカメラ台数であってもより広い範囲で 3 次元ビデオを撮影することが可能となり、特に映画製作における PreViz においてはその可用性が大きく向上することが期待される。また 3 次元ビデオからの骨格構造および姿勢推定アルゴリズムと、アクション統合法として開発した 3 次元ビデオの編集体系によって、演者の複数の 3 次元ビデオを自在に編集し、より PreViz の自由度が向上することが期待される。また Harmonized Texture Mapping 法によって、より高精細な自由視点映像が少ないデータ量で実現できたことは、PreViz のワークフロー全体に対してその可用性を向上させることが期待される。

4. 3 技術開発第 3 グループ (奈良先端科学技術大学院大学)

「屋外利用する複合現実感システムのための幾何学的・光学的整合法の研究」

(1)研究実施内容及び成果

これまでの複合現実感システムは屋内用途を中心に開発されてきたが、屋外のロケ現場等で複合現実型可視化機能を実現するためには、屋外でも安定に動作する現実世界と仮想世界の幾何学的・光学的整合法の開発が不可欠である。本研究題目では、この両整合性問題を解決するための基本技術を開発するとともに、プロトタイプシステムの構築を通して、ロケ現場および模擬環境での実証を行った。本プロジェクトでは屋外環境において安定した複合現実感環境を実現するため、幾何学的・光学的整合性に関する以下の研究項目に関して研究開発を行った。

- (a) ランドマークデータベースを用いた幾何学的整合法の開発
  - 広域屋外環境におけるランドマークデータベース構築
  - 優先度情報付きランドマークデータベースを用いた幾何学的整合法の開発
- (b) 実光源環境のセンシングによる光学的整合法の開発

- 焦点外れによるボケとモーションブラーの推定に基づく光学的整合性の実現
- ハイダイナミックレンジ撮影による実環境の光源環境推定

以下、各研究項目に関して詳述する。

#### (a) ランドマークデータベースを用いた幾何学的整合法の開発

##### ● 広域屋外環境におけるランドマークデータベース構築

実シーンと仮想物体の MR 合成時に必要な撮影現場のランドマークデータベースの構築法の開発を行った。本研究では、移動を伴って撮影された全方位動画像から検出された自然特徴点を、ランドマークとして事前にデータベース化し、これを用いてユーザが装着するカメラの位置・姿勢を逐次推定する手法を提案した。本手法の基本的なアプローチは、従来手法同様、事前に行う環境情報のデータベース化(モデル化)と、これを用いたオンラインでのカメラ位置・姿勢推定から成る。ただし、本研究では、データベースの作成に基準点と自然特徴点の併用による全方位画像系列からの三次元復元手法を利用することで、誤差の累積しない広域のランドマーク情報を自動で取得する。

図 4-41 にランドマークデータベースを用いた位置合わせ手法の概要を示す。本手法は、オフライン処理によるランドマークデータベースの構築(ステージ 1)、とランドマークデー

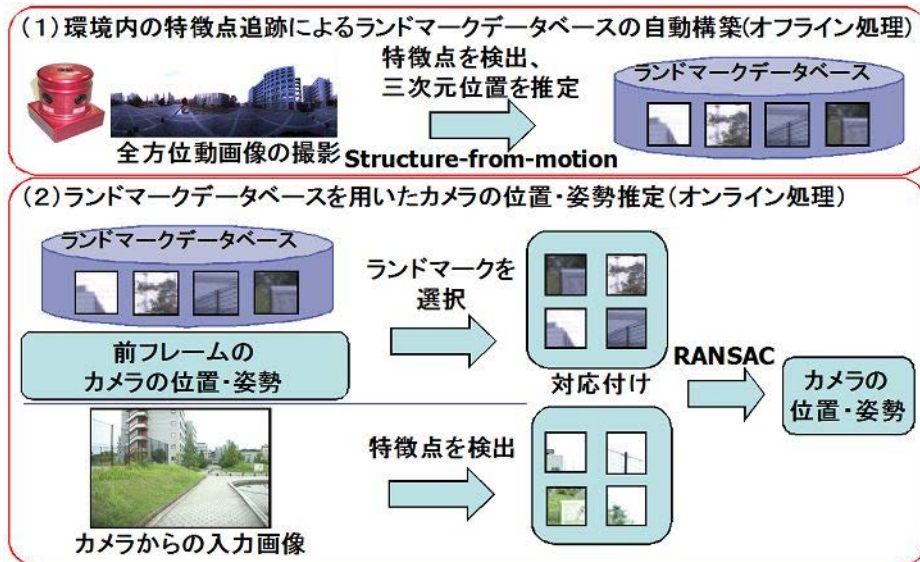


図 4-41 ランドマークデータベースによる位置合わせ手法の概要

データベースを用いたカメラ位置・姿勢の逐次推定(ステージ 2)、の二つのステージによって構成される。ステージ 1 では、事前に環境内を全方位動画像として撮影し、structure-from-motion によって環境の粗な三次元復元を行う。また、動画像から検出された自然特徴点の画像テンプレートと、三次元復元によって得られる自然特徴点の三次元位置を、ランドマーク情報としてランドマークデータベースに登録する。ステージ 2 では、これらのランドマークと入力画像上の自然特徴点との対応付けを行うことで、ユーザのカメラ位置・姿勢を逐次的に推定する。

実環境においてカメラ位置・姿勢を推定する場合、従来から動画像と現実環境に関する事前知識の使用や、動画像を用いずに複数のセンサから得られる値を直接外部パラメータとすることにより解決されてきた。環境の事前知識を用いる手法では、三次元的な位置関係が既知のランドマーク群や、三次元 CAD モデルが用いられている。従来手法では、三次

元位置が既知のランドマークと三次元位置が未知の画像特徴点（以後、特徴点）をフレーム毎に追跡し、その再投影誤差を最小化することで外部パラメータを推定するものや、現実環境の三次元 CAD モデルの輪郭と入力画像上のエッジを対応付けることで外部パラメータを推定する手法が挙げられる。これらの手法では、ランドマークや三次元 CAD モデルの現実環境での三次元位置情報を用いることで蓄積誤差の問題を解決している。しかし、ランドマークや三次元 CAD モデルに含まれる三次元位置情報を屋外で広範囲に取得することは困難であり、また、基準とする三次元情報の獲得のためには、人手による作業が必要であるという問題がある。

一方、RTK-GPS、磁力計、2 軸角度センサの値から算出される値を、直接動画像のカメラ外部パラメータとする手法では、RTK-GPS を用いることによって、誤差の蓄積しない数 cm 精度の位置情報（以後、GPS 測位値）を獲得できる。しかし、センサの組み合わせによってカメラの外部パラメータを推定する手法では、カメラとセンサ類の位置関係が必要であるが、これを正確に計測することは難しい。また、一般的な GPS では、位置情報の取得レートが動画像より低い 1Hz であり、カメラの運動に含まれる高周波成分を復元することは難しい。

そこで本研究では、これらの問題を解決するために、屋外環境下を広範囲に移動するカメラで取得した動画像と GPS 測位値からカメラ外部パラメータを推定する手法を提案した。提案手法では、動画像中の特徴点の追跡と GPS 測位値を用いた最適化に基づきカメラ外部パラメータを推定する。特徴点の追跡では、ランドマーク・特徴点追跡による手法と同様に、特徴点の仮対応づけから推定される暫定的な外部パラメータを用いて特徴点の画像上での探索範囲を限定し、誤追跡を防ぐ。GPS 測位値を用いた最適化では、動画像から推定される外部パラメータに基づく特徴点の再投影誤差及び外部パラメータから推定される GPS 受信機の位置の推定誤差を同時に最小化することで誤差の蓄積を防ぐ。本手法では、現実環境に関する事前知識や、GPS 受信機とカメラの間の正確なキャリブレーションを必要とせず、GPS の測位座標系における外部パラメータを推定できる特長がある。そのため、乗り物などで屋外を広範囲に移動しながら撮影した動画像に CG を重畳表示する、Pre-viz の屋外利用時などの応用に適している。以下、広域屋外環境を対象としたランドマークデータベースの構築方法に関して詳述する。

本手法では、動画像全体にわたりカメラに対する GPS 受信機の位置は固定されているものとし、容易に計測できる両センサ間の距離については既知、カメラ座標系における GPS 受信機の方位については推定するものとする。また、本研究で扱う全てのカメラの内部パラメータは既知であり、予めカメラのレンズ歪みや焦点距離などを考慮したキャリブレーションが行われているものとする。動画像と GPS 測位値の同期についても得られているものとする。

まず、従来の特徴点のみによるカメラパラメータ推定で一般的に用いられる再投影誤差について説明する。次に、カメラと GPS 受信機の幾何学的関係をモデル化し、GPS 受信機に関する誤差  $\Psi$  を定義する。最後に、GPS 受信機に関する誤差  $\Psi$  と画像の特徴点の再投影誤差  $\Phi$  を組み合わせて、新たな誤差関数  $E$  を定義し、その最小化方法について説明する。

### 特徴点の再投影誤差の定義

再投影誤差は、特徴点追跡に基づく外部パラメータ推定手法で、一般的に用いられる誤差関数であり、再投影誤差の二乗和を最小化することでカメラパラメータを推定する手法は、バンドル調整法と呼ばれている。特徴点  $j$  の第  $i$  フレーム上での再投影誤差  $\Phi_{ij}$  は、

推定された三次元位置の画像上への投影座標  $\hat{q}_{ij}$  と画像上で検出される座標  $q_{ij}$  を用いて、以下のように表される。

$$\Phi_{ij} = |q_{ij} - \hat{q}_{ij}| \quad (j \in S_i) \quad (2)$$

ただし、 $S_i$  は第  $i$  フレームの画像上で検出される特徴点の集合を表す。

### GPS に関する誤差の定義

GPS の測位誤差には、真の GPS 受信機の位置を中心に発生する期待値 0 の局所的な測位誤差と平均観測位置が真値から外れる大域的な誤差の 2 種類が考えられる。本研究では、前者の局所的な測位誤差のみを扱う。

一般に、GPS 測位値と外部パラメータの推定結果に誤差が含まれない場合、第  $i$  フレームの外部パラメータ  $R_i, t_i$  とそれに対応する GPS 測位値  $g_i$  及び、カメラ座標系での GPS 受信機の位置  $d$  には、以下の関係が成り立つ。

$$R_i g_i + t_i = d \quad (i \in F) \quad (3)$$

ただし、 $F$  は、GPS の計測時刻に対応する動画のフレームの集合を表す。ここで、図 4-42 に示すように、GPS 測位値  $g_i$  及び外部パラメータ  $R_i, t_i$  に誤差があると、式(3)は成り立たない。そこで本研究では、外部パラメータ  $R_i, t_i$  から推定される GPS 受信機の位置と GPS 測位値との差を GPS 受信機に関する誤差関数  $\Psi_i$  とし、以下に定義する。

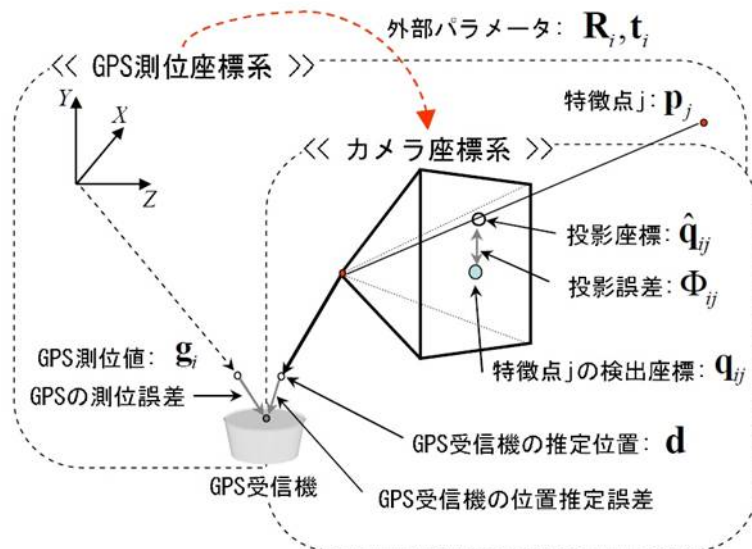


図 4-42 GPS とカメラ座標系の誤差の定義

$$\Psi_i = |R_i g_i + t_i - d_j| \quad (4)$$

### 特徴点と GPS による誤差の定義とその最適化

ここでは、外部パラメータ推定に用いる最適化の誤差関数  $E$  を、式(2)で示した画像上の再投影誤差  $\Phi_{ij}$  及び、式(4)の GPS 位置の誤差  $\Psi_i$  を用いて以下のように定義する。

$$E = \frac{\omega}{|F|} \sum_{i \in F} \Psi_i^2 + \frac{1}{\sum_i |S_i|} \sum_i u_i \sum_{j \in S_i} \omega_j \Phi_{ij}^2 \quad (5)$$

ただし、 $\omega_j$  は逐次処理で得た特徴点  $j$  の信頼度であり、再投影誤差  $\Phi_{ij}$  の分散の逆数とする。 $u_i$  は各フレームに対する重み係数を表す。 $\omega$  は  $\Psi_i$  及び  $\Phi_{ij}$  に対する重み係数であり、予め、特徴点の検出位置精度および GPS の測位精度を考慮し、後述するシミュレーションにより、真値に対する誤差が最小になるような  $\omega$  を算出しておく。一般に、シミュレ

ーションと実利用時の環境では、GPS の測位回数  $|F_i|$  と特徴点数  $\sum_i |S_i|$  が異なるので、本研究では、これらの値に依らず重み係数  $\omega$  を一定値に決めるために、 $|F_i|$  及び  $\sum_i |S_i|$  により右辺の各項を正規化する。実利用時において撮影対象までの奥行きや使用する GPS の測位精度がこのシミュレーションと大きく異なる場合は、重み係数  $\omega$  を求め直す必要がある。

式(5) の誤差関数  $E$  を用いた最適化では、外部パラメータ  $R_i, t_i$ , 特徴点の三次元位置  $p_i$ , 及びカメラ座標系における GPS 受信機の方位をパラメータとして、誤差関数  $E$  を勾配法によって最小化する。ただし、この誤差関数  $E$  には、局所解が多数存在するため、単純な勾配法では、大域最小解を得ることが難しい。そこで、最適化の各フレームの重み  $u_i$  を変化させることで、局所解を回避する。具体的には、GPS 測位値があるフレームの重みを大きく設定することおよび、すべてのフレームの重みを等価に設定することを、最適化処理が収束するステップごとに交互に繰り返す。誤差関数  $E$  の重み  $u_i$  を変化させても大域最小解を与えるパラメータに大きな差はなく、局所解の位置のみが大きく変化するため、局所解を回避できると考えられる。最後に、逐次処理で得られた外部パラメータを初期値として動画像全体で最適化する。

全体最適化によって推定された特徴点の三次元位置と外部パラメータを図 4-43 に示す。図中の曲線は推定されたカメラの移動経路を表し、点群は外部パラメータ推定に用いられ

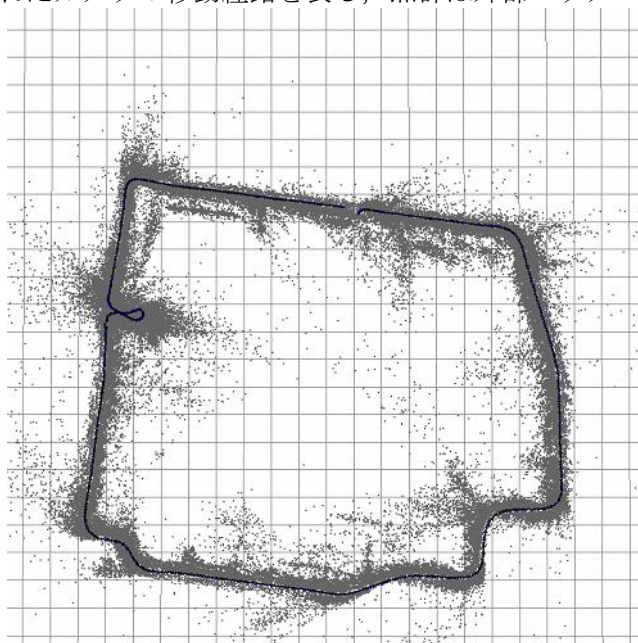


図 4-43 ランドマークデータベース構築時のカメラパスと自然特徴点 (1 目盛り 20m)

た自然特徴点を表す。同図から分かるように、カメラパスは滑らかに推定されており、広域実環境において安定したランドマークデータベースの構築が可能であることが確認できる。

#### ● 優先度情報付きランドマークデータベースを用いた幾何学的整合法の開発

本研究項目では、ビジョンベース位置合わせ手法として、ランドマークデータベースに登録されているランドマーク情報と利用者の視点に取り付けられたカメラ及び映画撮影用カメラから得た映像上で自動追跡された特徴点をマッチングすることで位置合わせを行う手法を開発した。まず、2 自由度システムでの利用を想定した条件設定で、基礎技術につ

いての検証を開始した。さらに、多自由度システムの実現に向けて、磁気センサや姿勢センサなどの他のセンサとのハイブリッド化を進めると同時に、カメラ用レールの軌道などを拘束条件として利用したロバストな手法を開発し、撮影現場のシーンに応じて、組み合わせるセンサが異なる場合でも対応が可能な幾何学的整合法を開発した。

本研究項目では、多様な環境において頑健かつ高速なMR合成を実現することを目指し、前述の研究項目で作成したランドマークデータベースを用いたビジョンベースでの位置合わせ手法を開発した。具体的には、処理の高速化のために、ランドマークデータベース中のランドマークと撮影された画像とのマッチング処理の一部を、これより計算コストの低い時系列上での画像間のマッチングに置き換える手法を開発した。また、頑健性の向上のために、**図 4-44** に示すようなランドマークデータベースに登録されているランドマークの3次元位置と撮影位置、テクスチャの3種類の情報に加え、事前学習におけるランドマークの利用頻度値をランドマークの優先度として登録し利用する。

オンラインでのカメラ位置・姿勢推定処理(**図 4-45** のステージ B) について高速化・ロバスト性の向上を試みた。本研究では、従来手法と同等の推定精度を保ったまま、計算コストを削減するために、推定に有効なランドマークおよび自然特徴点を残しながら対応点候補数を削減する。具体的には、ランドマークの選択処理(B-3) において、優先度情報を用いることで、入力画像中の自然特徴点と正しく対応づく可能性の高いランドマークを効率的

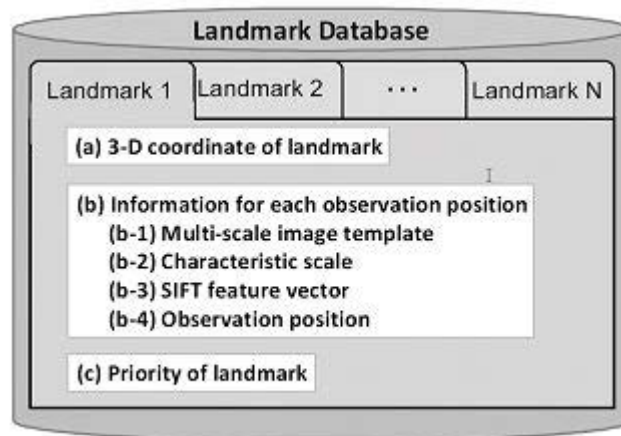


図 4-44 ランドマークデータベースの構成要素

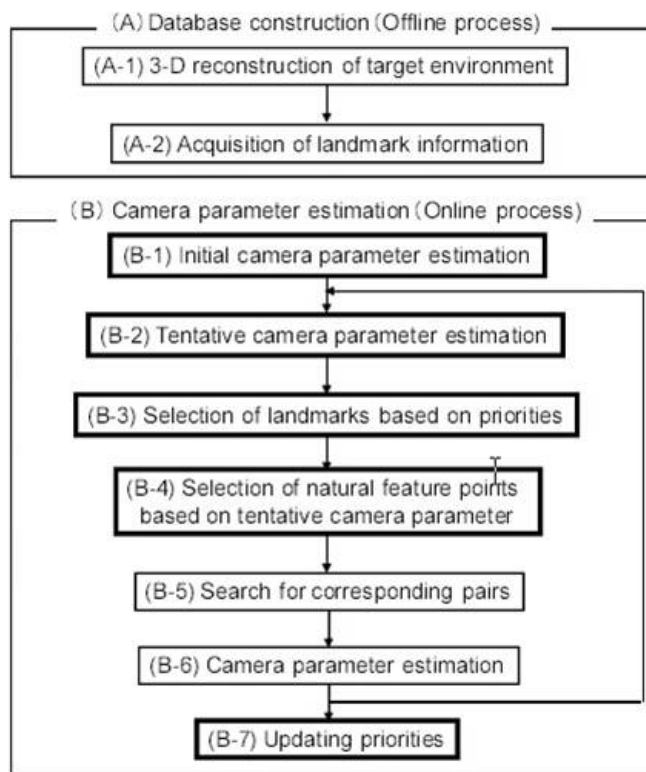
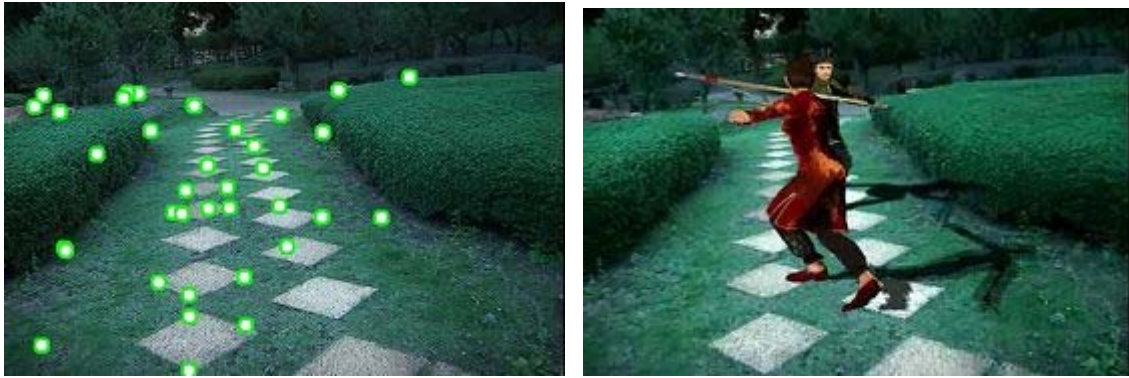


図 4-45 優先度情報付きランドマークデータベースを用いた位置合わせ手法の流れ

にデータベース中から取り出す。これにより、データベース中の全ランドマークを対等に扱っていた従来手法に対して照合すべきランドマークの数を削減することができる。また、従来手法で考慮されていなかった連続フレーム間でのカメラの動きをランドマークの追跡処理により推定することで、自然特徴点の選択処理(B-4)における自然特徴点の探索範囲を小領域に限定し、推定に有効な自然特徴点を残したまま照合すべき自然特徴点の数を削減する。

ランドマークデータベースを用いた幾何学的整合法を統合し、多様な環境に対してロバストな推定を実現する幾何学的整合法の開発を行った。また開発した手法を実装した試作システムにより、屋外実環境において実時間でのMR合成映像の提示が可能であることを確認した。図 4-46 は、試作システムによる実時間でのMR型 PreViz 映像の生成例であり、この例の場合、17 フレーム毎秒の処理を実現している。

また、第 1 グループで開発を進めている多自由度撮影システムとの統合を想定し、カメラシステムの自由度を考慮することにより、使用するランドマークの絞り込みを行った。それによりランドマークを頑健に検出することが難しいシーンにおいても推定処理の継続を可能とするとともに、第 1 グループに一部技術移転を行った。更に、カメラ位置・姿勢推定処理が失敗した場合にも推定処理を復帰させるために、復帰処理の枠組みを新たに導入することで、システムのロバスト性の向上を実現した。また、図 4-47 に示すバーチャル飛鳥京プロジェクトにおける公開実証実験を通して提案手法の安定性を確認した。



(a) 画像中から検出されたランドマーク

(b)MR 合成画像

図 4-46 ランドマークデータベースを用いた屋外環境での MR 型 PreViz 映像の生成例



図 4-47 バーチャル飛鳥京プロジェクトにおける屋外実証実験での生成 MR 画像

#### (b) 実光源環境のセンシングによる光学的整合法の開発

##### ● 焦点外れによるボケとモーションブラーの推定に基づく光学的整合性の実現

ビデオシースルー型複合現実感において、カメラで実環境を撮影した実画像にはカメラの光学特性に応じたぼけなどの画像の劣化が生じる。一方、実画像に合成される仮想物体は理想的なカメラモデルを用いて描画されるため画質の劣化は生じない。これら両者を合成するビデオシースルー型複合現実感システムでは、実画像と仮想物体の間に画質の不一致が生じ、ユーザに違和感を与えてしまう。このため、画質の整合性問題の解決はビデオシースルー型複合現実感システムにおける合成画像の写実性を向上させるために重要な課題である。近年では、光学的整合性の 1 つである画質の整合性問題を解決するための手法がいくつか提案されている。例えば、従来研究などでは実画像と仮想物体の両方に対して、セル画調やスケッチ調と呼ばれる表現効果を付加することで両者の画質の一致を図っている。しかし、これらの手法では実環境の写実性が損なわれるという問題がある。

本研究では、シーンに固定された複数の画像マーカを用いて実画像のぼけを推定し、推定されたぼけを仮想物体に再現することで、実画像と仮想物体の間の画質の差を軽減する手法を提案した。特に、画質に対して大きな影響を与えるカメラの焦点外れによって生じるぼけと動きによって生じるモーションブラーを扱った。なお、本研究ではカメラがユーザ頭部に装着された状態で、モーションブラーはユーザの上下・左右の首振りによって主に生じると仮定し、カメラの光軸周りの回転やカメラの並進運動によって生じるモーションブラーは扱わない。提案手法はシーン中に配置された形状既知の画像マーカを用いて実時間のぼけ推定を行う。そして、カメラの合焦位置とモーションブラーを推定し、仮想物体に対して奥行きに応じたぼけを再現する。最後に、実画像と仮想物体を合成することで画質に差違が少ない複合現実感を実現する。



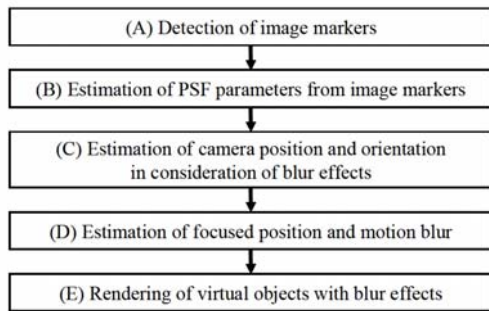


図 4-48 ボケを考慮した MR の処理の流れ

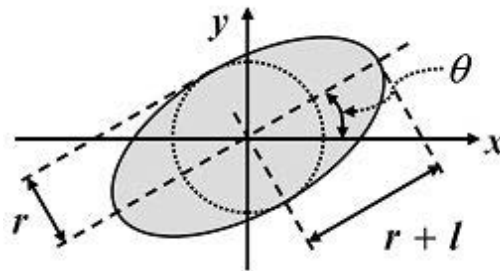


図 4-49 提案手法で利用するボケモデル

図 4-48 に提案手法の流れを示す。本研究では画像のぼけモデルとして、レンズの焦点外れによるぼけとカメラの動きによって生じるモーションブラーを再現可能な PSF (Point Spread Function) を用い、形状が既知なマーカのエッジ部分のぼけ幅を用いて PSF パラメータを実時間推定する。PSF パラメータは画像中の様々な方向のエッジについてぼけ幅を調べ、それらを統合することで推定する。さらに、カメラから奥行きが異なる位置に存在する複数のマーカ毎に推定された PSF パラメータからカメラの合焦位置を推定し、奥行きに応じたぼけを再現可能とする。最後に、仮想物体を描画した画像に対して推定された PSF に基づく平滑化フィルタを適用してぼけの再現を行う。

提案手法では図 4-49 に示すように焦点外れによるぼけと画像平面上での平行移動によって生じるモーションブラーを表現できる PSF を用いる。提案手法ではエッジのぼけ幅から PSF のパラメータを推定し、PSF パラメータに基づいて画像のぼけを再現する方針をとる。ぼけの推定・再現の際に、焦点ずれとモーションブラーを表現する 2 種のぼけを表す PSF の畳込み積分によってこれらの処理を実現する必要がある。しかし、畳込み積分は計算量が多いため複合現実感で必要な実時間処理に影響を与えてしまう。そこで、提案手法では焦点外れによって生じる散乱円をモーションブラーの平行移動方向に引き伸ばした楕円形の PSF を用いることで、2 つの PSF の畳込み積分を近似し計算量の軽減を図る。ここで、直線エッジの方向が PSF を表す楕円の短軸もしくは長軸と同じ方向の場合では、エッジ付近の輝度変化が円形 PSF によって生じる輝度変化と同じになる。このため、円形 PSF モデルを用いた PSF パラメータの高速な推定が期待できる。

図 4-50 に提案手法を用いた仮想物体の合成結果を示す。(a)はボケが発生した入力画像であり、これに実画像に生じているボケを考慮しない手法を用いて CG を合成すると、(b)のように背景の実環境と合成した仮想物体の間に画質の差異が発生する。(c)は提案手法により入力画像に発生しているボケを推定し、そのボケを仮想物体に再現することで両環境間に画質の一致が実現されていることが確認できる。



(a)入力画像 (b) ボケを考慮しない合成結果 (c) ボケを考慮した合成結果

図 4-50 ビデオスルー合成方式におけるボケを考慮した仮想物体の合成

## ● ハイダイナミックレンジ撮影による実環境の光源環境推定

撮影現場と同様の照明環境を MR 環境で実現するために、実環境の照明条件を計測する手法の開発および、システムの構築を行った。本研究では、屋外撮影現場の動的な照明環境の計測手法を統合し、高精度かつ高速な動的照明環境の推定および、推定した実環境の照明条件を反映した仮想物体合成手法を開発することで、光学的整合性の実現を図る。さらに、実環境を撮影するカメラシステムを想定した光学的整合性の検討を行い、システム全体における実証実験に向けた複合現実環境の構築を行った。また、これまでの知見より、実時間処理にとらわれないオフライン処理による高精度な光源環境の記録方式を同時に開発した。

本研究項目では、撮影現場と同様の照明環境を MR 環境で再現するために、実環境の照明条件をカメラにより計測し、照明環境に応じたカメラの光学特性をシミュレートした仮想物体の提示を実現する手法を開発している。具体的には、照明環境に応じたカメラの光学特性として、実際に実環境を撮影するカメラのダイナミックレンジ性能を考慮して仮想の俳優やオブジェクトを描画する手法を開発した。本手法では、カメラのダイナミックレンジ性能を忠実に再現するために、環境中に魚眼カメラを配置し、動的にシャッター速度を制御することにより得られる画像群から、ハイダイナミックレンジ画像を生成し、光源環境を高精度に推定する。先に示した図 4-46(b)では、本手法によって推定された光源環境が MR 環境に再現されており、CG による役者の影が地面に投影されている。

実環境と仮想環境を合成する MR のうち、実時間性を必要としない分野では、異なる露光時間で撮影した画像群を合成する HDR 画像生成手法を光源環境推定に適用することで、写実的な仮想物体の描画を実現した画像合成が実現されている。一方 MR の中で実時間性が要求される MR における光源環境推定に HDR 画像生成技術を応用した先行研究として、Agsanto らの手法がある。この手法では、光源環境は静的であると仮定し、あらかじめ生成した HDR 画像を光源環境推定として用いることで、ダイナミックレンジ不足の問題を解決した MR を実現した。しかし、一般に MR を行う環境は動的であるため、HDR での光源環境推定を実時間で行う必要がある。ここで、機器のダイナミックレンジ不足の解決には推定可能なダイナミックレンジの大きさから複数枚の画像を合成する手法が望ましいが、計測可能なダイナミックレンジの大きさと更新レートはトレードオフの関係にある。本研究では、光源環境推定に用いるカメラのダイナミックレンジ不足の問題を解決することで、動的な光源環境下で写実的な写り込みを再現可能な MR の実現を試みる。光源環境の推定において、カメラのダイナミックレンジ不足を解決するため、異なる露光時間で撮影された複数枚の画像を合成して生成した HDR 画像(以下、HDR 光源環境画像と呼ぶ)を用いる。このとき、推定する光源環境の明るさの範囲を影・陰影や写り込みの再現に必要

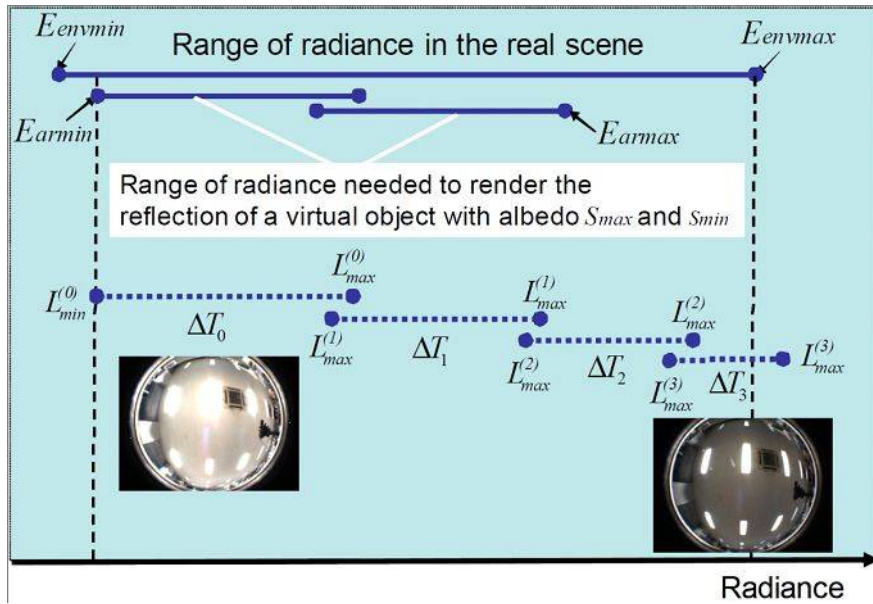


図 4-51 異なるシャッタースピードで撮影した画像を用いた適応的 HDR 画像生成手法

な範囲に限定することで、図 4-51 に示すように MR を行う環境に適応した HDR 画像生成を行い、光源環境推定の更新レートの向上を図る。実環境で必要なダイナミックレンジを前フレームに置いて推定し、それをカバーするように最適なシャッタースピードを適応的に決定する。仮想物体の写り込みの再現には、推定された HDR 光源環境画像を環境マッピングして仮想物体を HDR レンダリングする。

図 4-52 に合成結果を示す。なお、計算機としてデスクトップ PC(CPU : Pentium 4 CPU 3.4GHz, メモリ : 2.0GByte, グラフィックスカード : GeForce 6800GT, グラフィックスメモリ : 256MByte) を用い、ユーザ視点カメラとして PGR 社製 Flea(解像度 : 1024 × 768pixel, フレームレート : 30fps), 光源環境推定用カメラとして魚眼レンズを装着した PGR 社製 Dragonfly Express(解像度 : 640 × 480, フレームレート : 120fps) を用いた。図より、現実環境をハイダイナミックレンジ撮影した提案手法では、正確な仮想物体内の映り込みが再現できていることが確認できる。なお、合成画像は 15fps, 光源環境推定は 3Hz で動作した。



(a) 従来手法による合成

(b)ハイダイナミックレンジ画像を用いた合成

図 4-52 ハイダイナミックレンジ画像を用いた光源推定による仮想物体への映り込み合成結果

## (2) 研究成果の今後期待される効果

本研究では屋外環境において複合現実環境を構築する手法の研究開発を行った。現実環

境と仮想環境の位置合わせ問題である幾何学的位置合わせでは、1)広域環境を対象とした自動ランドマークデータベースの構築と 2)ランドマークデータベースを用いた位置合わせ処理の実時間化に成功した。これにより、未知の屋外環境に対しても人的コストを要せず簡便に環境構造の知識をモデル化し、仮想物体の実時間合成が可能であるため、本プロジェクトで想定している映画撮影支援のみならず、これまで屋内環境で利用されることが主であった、簡便な環境構築と実時間合成が要求されるバーチャルスタジオや博物館展示に代表されるMRアプリケーションの屋外環境への拡張が可能になると考えられる。

また光学的整合性に関しても、本プロジェクトでは1)カメラで実環境を撮影した映像からの実時間ボケ推定による画質の一致と、2)現実環境の光源環境に応じて適応的に撮影方式を決定するHDR画像生成手法の研究開発を行った。これらを利用することで、屋内環境に比べ様々な撮影条件が想定される屋外環境においても、現実環境と仮想環境を合成した際、違和感の少ない高品質な複合現実環境を実現可能となる。これまで屋内環境での稼働が主であったMRアプリケーションだが、今後、屋外環境で稼働するMRアプリケーションの出現が期待できる。

#### 4.4 技術検証グループ(立命館大学他)

委託研究契約上は技術開発第1グループに含まれているが、3つの技術開発グループとは別に、研究計画立案、研究成果の分析・有効性検証、成果の広報・普及に関する助言を行う「技術検証グループ」が存在し、研究期間中、随時会合をもち、技術開発グループと交流してきた。いわば、チーム内でのアドバイザリー・コミッティである。構成メンバーは、立命館大学映像学部の教員が中心で、映画撮影、映画評論、コンピュータアニメーション、コンピュータ人文学等が専門の有識者であり、映像制作業界との繋がりも多い。

本研究期間中には、主として下記の助言・評価・分析を行った。

- ・研究拠点であるMR創像ラボラトリ内の撮影スタジオ建設、MR-PreViz撮影合成システムの仕様決定に当たっては、映画撮影の専門家の観点から、撮影機材、照明装置、美術セット等の選定に関わった(図4-53)
- ・チーム外から助言を行う「技術諮問委員会」の委員人選、日常的に映画撮影カメラの



図 4-53 第1期の美術セットと照明装置

操作法指導やカメラワークの共同分析を行ってもらえる撮影監督の紹介，デジタル技術を理解した上でアクションシーンのデザイン・分解等を行えるアクションコーディネーターの紹介，実証実験としての短編映画『振り返り』『カクレ鬼』の企画立案に当たったの諸注意等々，技術開発グループに助言等を行った。

- ・ モーションキャプチャ・データの収録に当たったのノウハウの伝授，データの後処理・分析に関する技術指導を行った。
- ・ チーム内の定例進捗報告会，技術諮問委員会に出席し，実用性の観点から成果の評価を行うとともに，研究計画の見直しや具体化に関する助言を行った。
- ・ 平成 21 年度までの研究成果を総合的に評価し，本システムを映像学部学生の定常的な映画制作に活用する教育計画を実現に尽力した。

## § 5 成果発表等

### (1)原著論文発表（国内(和文)誌 14 件、国際(欧文)誌 10 件）

#### 【技術開発第 1 グループ】

1. 藤本大地，伊東拓，仲田晋，北川高嗣，岡将史，田中覚：“MPU 法に基づく色情報付き陰関数曲面の生成”，電子情報通信学会論文誌，Vol. J89-D, No. 6, pp.1391-1402 (2006.6)
2. Y. Jo, M. Oka, A. Kimura, K. Hasegawa, A. Saitoh, S. Nakata, A. Shibata, and S. Tanaka: “Stochastic visualization of intersection curves of implicit surfaces,” *Computers & Graphics*, Vol. 31, No. 2, pp. 230 – 242 (2007.4)
3. 小嶋一行，岡将史，柴田章博，仲田晋，田中覚：“陰関数曲面上における粒子拡散法を用いた高密度・大量点群のポリゴン化”，可視化情報学会論文集，Vol. 27, No. 9, pp. 77 – 83 (2007.9)
4. 一刈良介，川野圭祐，天目隆平，大島登志一，柴田史久，田村秀行：“映画制作を支援する複合現実型プレビジュアルリゼーションとカメラワーク・オーサリング”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 12, No. 3, pp. 343 – 354 (2007.9).
5. 小阪佳宏，磯田弦，塚本章宏，奥村卓也，仲田晋，田中覚：“GIS データに基づく 3 次元都市モデルの自動生成－江戸時代の京都町並み生成への応用”，同上，Vol. 13, No. 3, pp. 315 - 323 (2008.9)
6. 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 (2008.12).
7. 木村彰徳，八田拓也，市村智和，仲田晋，田中覚：“複雑な陰関数曲面モデルの確率過程的並列サンプリング”，電子情報通信学会論文誌，Vol. J92-D, No. 3, pp. 439 - 442 (2009.3)
8. 石黒祥生，木村朝子，柴田史久，田村秀行：“複合現実空間操作対話デバイスのためのハイブリッド型位置姿勢決定法”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 14, No. 3, pp. 381 - 389 (2009.9)
9. 天目隆平，柴田史久，田村秀行：“剣戟アクションの基本要素への分解と連続動作の合成－コンピュータ殺陣学事始め－”，情報処理学会論文誌，Vol. 50, No. 12, pp. 2894 - 2899 (2009.12)
10. Y. Isoda, A. Tsukamoto, Y. Kosaka, T. Okumura, M. Sawai, K. Yano, S. Nakata, and S. Tanaka: “Reconstruction of Kyoto of the Edo era based on arts and historical documents: 3D urban model based on historical GIS data,” *Int. J. Humanities and Arts Computin*, Vol. 3 (1-2), pp.21-38, 2009.
11. 一刈良介，西沢孝浩，大島登志一，柴田史久，田村秀行：“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－”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 15, No. 2 (2010.6)

12. S. Tanaka, K. Hasegawa, S. Nakata, H. Nakajima, T. Hatta, F. R. Ngana, T. Kawamura, N. Sakamoto, and K. Koyamada: "Grid-independent metropolis sampling for volume visualization," *Int. J. Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, Vol.1, No.2, pp.119-218 (2010)
13. S. Nakata: "An efficient scheme for meshless analysis based on radial basis functions," *J. Numerical Analysis, Industrial and Applied Mathematics* (accepted)
14. S. Nakata: "Parallel meshfree computation for parabolic equations on graphics hardware," *Int. J. Computer Mathematics* (accepted)
15. Y. Tsukamoto, S. Kawashima, S. Inoue, S. Ito, S. Kataoka, K. Kojima, K. Hasegawa, S. Nakata, and S. Tanaka: "Data fitting independent of grid structure using a volumic version of MPU," *J. Visualization* (accepted)

【技術開発第2グループ】

16. T. Mukasa, S. Nobuhara, A. Maki, and T. Matsuyama: "Finding kinematic structure in time series volume data," *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, Vol. 7, No. 4, pp. 62 - 72 (2009.4)
17. 高井勇志, 松山隆司: "Harmonized texture mapping," 映像情報メディア学会誌, Vol. 63, No. 4, pp. 488 - 499 (2009.4)
18. 延原章平, 宮本新, 松山隆司: "3次元形状計測における不完全性のモデル化に基づいた複雑な人物動作の推定", 電子情報通信学会論文誌(D), Vol. J92-D, No. 12, pp. 2225 - 2237 (2009.12)
19. T. Yamaguchi, H. Yoshimoto, S. Nobuhara, and T. Matsuyama: "Cell-based 3D video capture of a freely-moving object using multi-viewpoint active cameras," *IPSJ Tran. on Computer Vision and Applications* (to appear in 2010)
20. S. Nobuhara, Y. Kimura, and T. Matsuyama: "Object-oriented color calibration of multi-viewpoint cameras in sparse and convergent arrangement," *IPSJ Tran. on Computer Vision and Applications* (to appear in 2010)

【技術開発第3グループ】

21. 横地裕次, 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和: "特徴点追跡とGPS測位に基づくカメラ外部パラメータの推定", 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 47, No. SIG5(CVIM13), pp. 69 - 79, (2006.3)
22. 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: "焦点外れによるぼけとモーションブラーの推定に基づく拡張現実感における光学的整合性の実現", 電子情報通信学会論文誌(D), Vol. J90-D, No. 8, pp. 2126 - 2136 (2007.8)
23. 武富貴史, 佐藤智和, 横矢直和: "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", 同上, Vol. J92-D, No. 8, pp. 1440 - 1451 (2009.8)
24. 牧田孝嗣, 神原誠之, 横矢直和: "ネットワーク型ウェアラブルARのための動的環境における注釈のビューマネジメント", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 4, pp. 603 - 613 (2010.12)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 田村秀行, 柴田史久: "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 (2007.12)
2. 田村秀行: "映画制作で活躍する画像関連研究の成果と新展開", CGWORLD, No. 115, pp. 56 - 57 (2008.3)
3. 田村秀行, 一刈良介: "映画制作を支援する複合現実型可視化技術", 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 15, No. 2, pp. 32 - 36 (2010.6)
4. T. Yamaguchi, H. Yoshimoto, and T. Matsuyama: "Cell-based 3D video capture method with active cameras," *In Image and Geometry Processing for 3-D Cinematography*, Remi Ronfard · Gabriel Taubin, Springer (2010)

5. T. Takai, S. Iino, A. Maki, and T. Matsuyama: “3-D lighting environment estimation with shading and shadows,” *ibid.* (2010)

### (3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

#### ① 招待講演 (国内会議 5 件、国際会議 2 件)

1. 横矢直和：“複合現実感のための実環境の3次元計測”，ビジョン技術の実利用ワークショップ(ViEW2005)講演論文集, pp.186-190, 横浜, (2005.12) (基調講演).
2. 横矢直和：“ネットワークメディアとしての複合現実感”，情報処理学会 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 情処研報 CVIM152-8, 吹田, (2006.1) (招待講演).
3. 田村秀行：“未来創像学～SF 映画に学ぶ IT 機器と HI の未来形”，電子情報技術産業協会知識情報処理技術委員会 (2006.10)
4. 田村秀行：“映像メディア技術とコンテンツビジネスの近未来を考える～15 年間のデジタル革命を振り返って”，関西 IT 共同体 IT フォーラム 2005, 大阪 (2006.12) (基調講演)
5. 佐藤智和：“特徴点追跡による動画像からの三次元復元とその応用”，動体計測研究会 (ARIDA), 東京, (2007.1)
6. T. Matsuyama: “The state of the art of 3D video technologies - Accurate 3D shape and motion reconstruction, high fidelity visualization, and efficient coding for 3D video,” 5th Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP2009), Keynote Speech, Japan (2009.9)
7. H. Tamura, T. Matsuyama, N. Yokoya, R. Ichikari, S. Nobuhara, and T. Sato: “Computer vision technology applied to MR-based pre-visualization in filmmaking,” ACCV 2010 Workshop Application of Computer Vision for Mixed and Augmented Reality, Keynote Speech, New Zealand (2010.11)

#### ② 口頭発表 (国内会議 63 件、国際会議 30 件)

#### 国内会議

##### 【技術開発第1グループ】

1. 一刈良介, 別府大輔, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “MR-PreViz: 映画制作を支援する複合現実型事前可視化技術 (1) —基本構想とソフトウェア体系—”, 電子情報通信学会 2006 年総合大会, A-16-26, p.288, 東京 (2006.3)
2. 川野圭祐, 一刈良介, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “同上(2) —カメラワークのオーサリングと記述言語—”, 同上, A-16-27, p.289, 東京 (2006.3)
3. 小川直昭, 中村琢也, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “同上(3) —複数の動きデータを融合・編集する統合アクションエディター—”, 同上, A-16-28, p.289, 東京 (2006.3)
4. 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: “複合現実型 PreViz とカメラワーク・オーサリング”, 日本バーチャルリアリティ学会, 第 20 回複合現実感研究会, 滋賀 (2006.5)
5. 一刈良介, 別府大輔, 小川直昭, 川野圭祐, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “MR-PreViz: 映画制作のための複合現実型プレビジュアライゼーション”, 第 2 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 2-4, 東京 (2006.6)
6. 種子田慶介, 中村琢也, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: “映画制作を支援する複合現実型 PreViz 研究プロジェクト(1) —基本構想とアクションアーカイブ—”, 2006 年映像情報メディア学会年次大会, 19-1, 大阪 (2006.9)
7. 別府大輔, 小川直昭, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: “同上(2) —MR 映像空間設計とアクションデータの合成・編集—”, 同上, 19-2, 大阪 (2006.9)
8. 川野圭祐, 一刈良介, 柴田史久, 木村朝子, 田村秀行: “同上(3) —撮影合成システムとカメラワーク・オーサリング—”, 同上, 19-3, 大阪 (2006.9)

9. 小阪佳宏, 磯田弦, 塚本章宏, 矢野桂司, 仲田晋, 田中覚:“GIS データによる江戸時代の京都の町並みの自動生成”, 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会論文集, 2C1-2, 宮城 (2006.9)
10. 小阪佳宏, 磯田弦, 塚本章宏, 矢野桂司, 仲田晋, 田中覚: “古地図に基づく江戸時代の京都町並みCGの自動生成”, 情報処理学会・人文科学とコンピュータシンポジウム, pp.39-46, 京都 (2006.12)
11. 西沢孝浩, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“MR-PreViz:映画制作を支援する複合現実型事前可視化技術(4) - 仮想物体への焦点ぼけの実時間適用 -”, 電子情報通信学会 2007 年総合大会, A-16-5, p.318, 愛知 (2007.3)
12. 岡本夏実, 種子田慶介, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“同上(5) - 基本要素の接合によるアクションシーン構築の試み -”, 同上, A-16-6, p. 319, 愛知 (2007.3)
13. 森本紗香, 一刈良介, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行:“同上(6) - MRP ブラウザの設計と実装 -”, 同上, A-16-7, p. 320, 愛知(2007.3)
14. 一刈良介, 川野圭祐, 森本紗香, 天目隆平, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行:“映画制作のための複合現実型プレビジュアリゼーション (2) - カメラワーク記述言語 CWML と MRP ブラウザの開発 -”, 第 3 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, No. 7-4, 東京 (2006.6).
15. 岡将史, 仲田晋, 田中覚:“陰関数曲面上における離散点群の反発力を用いた分布制御 - 前処理の適用 -”, 第 26 回日本シミュレーション学会大会講演論文集, pp. 317 - 320, (2007.6)
16. 小阪佳宏, 磯田弦, 塚本章宏, 奥村卓也, 仲田晋, 田中覚:“GIS データに基づく京都の町並みの仮想空間自動生成 - 面・線・点データの立体化”, 第 1 回ビジュアルデータマイニング (VDM)研究会, 001 (2007.9)
17. 伊藤慎, 仲田晋, 田中覚:“MPU 法による陰関数曲面の多重解像度表現”, 可視化情報学会全国講演会講演論文集, pp. 187 - 188, (2007.9)
18. 百田裕, 大島登志一, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“ロータリーエンコーダと超音波センサを用いた多自由度カメラトラッキング”, 情報処理学会関西支部大会講演論文集, pp. 17 - 18, (2007.10)
19. 小川直昭, 種子田慶介, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“映画制作を支援する複合現実型 PreViz 研究プロジェクト(4) - 個別収録したアクションデータ間の半自動調整 -”, 2007 年映像情報メディア学会冬季大会予稿集, No. 7-12, 東京 (2007.12)
20. 中村琢也, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“同上(5) - 3D 自由視点映像データ間接合のための姿勢推定 -”, 同上, No. 7-13, 東京 (2007.12)
21. 藤本純一, 橋本孝紀, 小川直昭, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“映画制作のための複合現実型プレビジュアリゼーション (3) - アクションシーン構築とアクショントレーニングシステム -”, 第 4 回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 3-4, 東京 (2008.6)
22. 中山昌俊, 一刈良介, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行:“複合現実型 PreViz システムにおける映画撮影カメラワークの記述法”, 第 13 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 489 - 492, 奈良 (2008.9)
23. 天目隆平, 岡本夏実, 柴田史久, 田村秀行:“時代劇剣戟アクションの基本動作への分解と組立 - 映画制作支援のための可視化技術 -”, 情報処理学会 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, Vol. 2008, No. 15, pp. 223 - 228, 茨城 (2008.12)
24. 菊池佳保理, 藤本純一, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“映画 PreViz のための CG アクションシーンの編集・生成(1) - 空間的制約を考慮したアクションの半自動調整 -”, 情報処理学会 第 71 回全国大会講演論文集, No. 1Z-7, 滋賀 (2009.3)
25. 岡本夏実, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“同上(2) - 基本要素の接合による剣戟アクションの合成 -”, 同上, No. 1Z-8, 滋賀 (2009.3)
26. 露無將斗, 一刈良介, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“可搬型 MR-PreViz 撮影合成システムの開発”, 同上, No. 1ZA-3, 滋賀 (2009.3)



27. 樋下航, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行, 武富貴史, 佐藤智和, 横矢直和:“局所不変特微量を用いた屋外 MRトラッキング法の高速化と安定化”, 同上, No. 4Y-9, 滋賀 (2009.3)
28. 波多野亮平, 一刈良介, 柴田史久, 田村秀行:“複合現実型 PreViz における映画的照明効果の付与(1)ー強い日照による影成分の除去ー”, 同上, No. 5X-3, 滋賀 (2009.3)
29. 西沢孝浩, 一刈良介, 柴田史久, 田村秀行:“同上(2)ー表面反射特性の推定による Relighting の試みー”, 同上, No. 5X-4, 滋賀 (2009.3)
30. 一刈良介, 西沢孝浩, 波多野亮平, 柴田史久, 田村秀行:“映画制作のための複合現実型プレビジュアリゼーション(4)ーRelighting による映画的照明効果の付与ー”, 第5回デジタルコンテンツシンポジウム講演予稿集, 6-3, 千葉 (2009.6)
31. 澤井雅和, 磯田弦, 塚本章宏, 小阪佳宏, 仲田晋, 田中覚:“GIS データに基づく3次元都市モデルの自動生成”, 第28回日本シミュレーション学会大会発表論文集, pp. 227 - 230, 東京都 (2009.6)
32. 平部敬士, 芝崎将実, 磯田弦, 塚本章宏, 小阪佳宏, 長谷川恭子, 仲田晋, 田中覚:“GIS データによる3次元都市モデルの自動生成 -モデリングとシミュレーション-”, 第14回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, 東京 (2009.9)
33. 平部敬士, 澤井雅和, 磯田弦, 塚本章宏, 小阪佳宏, 長谷川恭子, 仲田晋, 田中覚:“GIS データによる京都の町並みモデルの自動生成”, 情報処理学会 人文科学とコンピュータシンポジウム, 滋賀 (2009.12)
34. 樋下航, 一刈良介, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“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化と安定化”, 電子情報通信学会 パターン 認識・メディア理解研究会, 信学技報, Vol. 109, No. 373, PRMU2009-192, 京都 (2010.1)
35. 増川照道, 樋下航, 一刈良介, 天目隆平, 柴田史久, 田村秀行:“人工特徴点マーカの援用によるAR/MR 追跡法の位置合わせ精度の向上”, 第72回情報処理学会全国大会講演論文集 (4), 2ZJ-2, 東京 (2010.3)
36. 和田大輝, 一刈良介, 大島登志一, 柴田史久, 田村秀行:“実時間再照明付与と補助的視覚効果による複合現実空間の照明効果”, 第15回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, pp. 254 - 257, 金沢 (2010.9)
37. 青山修平, 牧野良祐, 仲田晋, 長谷川恭子, 田中覚:“B-スプライン補間を利用した陰関数曲面の高速レンダリング”, 可視化情報全国講演会, pp. 219 - 220, 鹿児島 (2010.10)
38. 下久保嘉之, 金子智典, 玉貴康寛, 仲田晋, 長谷川恭子, 坂本尚久, 小山田耕二, 田中覚:“粒子ベース・サーフェイス・レンダリングに基づく, 曲面-曲面および曲面-ボリュームの半透明可視化”, 同上, pp. 221 - 222, 鹿児島 (2010.10)
39. 植村誠, 奥正吾, 長谷川恭子, 宮岡伸一郎, 仲田晋, 田中覚:“粒子ベースレンダリングによる祇園祭・船鉾の半透明可視化”, 情報処理学会・人文科学とコンピュータシンポジウム「じんもんこん 2010」論文集, pp. 210 - 224, 東京 (2010.12)
40. 神屋良多, 井上敬介, 牧野徹, 一刈良介, 柴田史久, 田村秀行:“映画制作を支援する複合現実感型 PreViz 研究プロジェクト(6)-アクションデザインとカメラワーク記録のツールキット-”, 映像情報メディア学会冬季大会, 7 - 6, 東京 (2010.12)
41. 北村一博, 露無將斗, 津村勇毅, 一刈良介, 柴田史久, 田村秀行:“同上(7)ー拡張性をもつ撮影合成システムとリアルタイム 3D マッチムーブ機能ー”, 同上, 7 - 7, 東京 (2010.12)
42. 北村一博, 井上敬介, 露無將斗, 一刈良介, 柴田史久, 田村秀行:“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”, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 信学技報, Vol. 110, No. 381, PRMU2010-172, pp. 177 - 182, 草津 (2011.1)
43. 菊池佳保理, B. Lamond, A. Ghosh, P. Peers, P. Debevec, 一刈良介, 田村秀行:“フリーフォーム光源とイメージベースド・ライティングによる物体の反射特性の推定”, 同上, Vol. 110, No. 381, PRMU2010-181, pp. 273 - 278, 草津 (2011.1)
44. 柴田史久, 田村秀行:“映画制作における複合現実感技術の利用とその効果”, 動的画像処理実利用化ワークショップ 2011 講演概要集, pp. 95 - 100, 徳島 (2011.3)

【技術開発第2グループ】

45. 高井勇志, 延原章平, 吉本廣雅, 松山隆司: “3次元ビデオの生成・表示・編集 –MR-PreVizへの応用について–”, 日本バーチャリアリティ学会 第20回複合現実感研究会, 滋賀 (2006.5)

【技術開発第3グループ】

46. 中川知香, 佐藤智和, 横矢直和: “ランドマークデータベースを用いた投票に基づく静止画像からのカメラ位置・姿勢推定”, 平成17年度電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, No. G308, 京都, (2005.11)
47. 中川知香, 佐藤智和, 横矢直和: “ランドマークデータベースを用いた投票による静止画像からのカメラ位置・姿勢推定”, 情報処理学会 研究報告 CVIM152-13, 吹田 (2006.1)
48. 池田聖, 横矢直和: “全方位型マルチカメラシステムを用いた高臨場感テレプレゼンスシステムの構築手法に関する研究”, 同上 CVIM54-34, pp. 307 - 322, 奈良 (2006.5)
49. 池田聖, 横矢直和: “屋外環境における全方位動画像の位置・姿勢推定とその安定化法の検討”, 日本バーチャリアリティ学会 複合現実感技術研究会, 滋賀 (2006.5)
50. 中川知香, 佐藤智和, 横矢直和: “自然特徴点ランドマークデータベースを用いた投票に基づく静止画像からのカメラ位置・姿勢推定”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2006)講演論文集, pp. 249 - 254, 仙台 (2006.7)
51. 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: “焦点外れによるぼけとモーションブラーの推定に基づく拡張現実感における光学的整合性の実現”, 同上, pp. 255 - 260, 仙台 (2006.7)
52. 薄充孝, 佐藤智和, 横矢直和: “スケール不変特徴量を用いたランドマークデータベースに基づく静止画像からのカメラ位置・姿勢推定”, 平成18年度電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, No. G14-10, 京都 (2006.11)
53. 松田幸大, 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和: “ジャイロセンサとランドマークデータベースを用いたモーションブラーにロバストなカメラ位置・姿勢推定”, 同上, No. G14-9, 京都 (2006.11)
54. 北市泰寛, 佐藤智和, 横矢直和: “三次元的輪郭法による複数レンジデータからの屋外環境の三次元ポリゴンモデル化”, 同上, No. G14-28, 京都 (2006.11)
55. 薄充孝, 佐藤智和, 横矢直和: “スケール不変特徴量を用いたランドマークデータベースに基づく静止画像からのカメラ位置・姿勢推定”, 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2006-197, 福井 (2007.1)
56. 北市泰寛, 佐藤智和, 横矢直和: “屋外環境の異種計測データを対象とした動的輪郭法による三次元モデル生成”, 計測自動制御学会 第72回パターン計測部会研究会, pp. 21 - 28, 奈良 (2007.1)
57. 松田幸大, 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和: “ランドマークデータベースと姿勢センサを用いた高速な回転にロバストなカメラの位置・姿勢推定”, 電子情報通信学会 技術研究報告, ITS2006-76, 札幌 (2007.2)
58. 仁科勇作, 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: “ハイダイナミックレンジ動画像からの光源推定によるビデオシースルー型拡張現実感”, 日本バーチャリアリティ学会第12回大会論文集, pp. 522 - 525, 福岡 (2007.9)
59. 仁科勇作, 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: “適応的なハイダイナミックレンジ画像合成による拡張現実感のための光源環境推定”, 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU2007-193, 大津 (2008.1)
60. 武富貴史, 佐藤智和, 池田聖, 横矢直和: “複合現実感による映画制作支援のためのランドマークデータベースに基づく実時間でのカメラ位置・姿勢推定”, 日本バーチャリアリティ学会第13回大会論文集, pp. 367 - 370, 奈良 (2008.9)
61. 武富貴史, 佐藤智和, 池田聖, 横矢直和: “ランドマークデータベースを用いたカメラ位置・姿勢推定による実時間での複合現実型プレビジュアルイゼーションの実現”, 情報処理学会関西支部大会講演論文集, pp. 207 - 210, 京都 (2008.10)

62. 牧田孝嗣, 神原誠之, 横矢直和: “ウェアラブル AR のための人物の 3 次元位置情報に基づくオクルージョン問題の解決”, 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 東京 (2009.9)
63. 武富貴史, 佐藤智和, 山口晃一郎, 横矢直和: “AR カーナビゲーションのためのランドマークデータベースを用いた高精度な自車位置・姿勢の推定”, 電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp. 917 - 920, 徳島 (2009.9)

## 国際会議

### 【技術開発第 1 グループ】

1. R. Tenmoku, R. Ichikari, F. Shibata, A. Kimura, and H. Tamura: “Design and prototype implementation of MR pre-visualization workflow,” DVD-ROM Proc. Int. Workshop on Mixed Reality Technology for Filmmaking, pp. 1 - 7, Santa Barbara (2006.10)
2. Y. Takase, K. Yano, T. Nakaya, Y. Isoda, T. Kawasumi, K. Matsuoka, and S. Tanaka, N. Kawahara, M. Inoue, A. Tsukamoto, T. Kirimura, D. Kawahara, N. Sho, K. Shimiya, A. Sone, and M. Shiroki: “Visualization of historical city Kyoto by applying VR and Web3D-GIS technologies,” 7th Int. Symp. on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage (VAST2006), Cyprus (2006.10)
3. Y. Takase, K. Yano, T. Nakaya, Y. Isoda, T. Kawasumi, S. Tanaka, N. Kawahara, M. Inoue, A. Tsukamoto, T. Kimura, K. Matsuoka, A. Sone, M. Shiroki, and D. Kawahara: “Kyoto virtual time-space: A 4D-GIS with VR and Web3D technologies,” Proc. of Int. Symp. on Data mining, Virtual Environments, and Online Communities, pp.38-42, Shiga (2006.3)
4. M. Oka, S. Nakata, and S. Tanaka: “Preprocessing for accelerating convergence of repulsive-particle systems for sampling implicit surfaces,” Proc. IEEE Int. Conf. on Shape Modeling and Applications 2007 (SMI '07), pp. 232 - 240, Lyon (2007.6)
5. R. Ichikari, R. Tenmoku, F. Shibata, T. Ohshima, and H. Tamura: “MR-based PreViz systems for filmmaking: On-set camera-work authoring and action rehearsal,” Proc. ISMAR Workshop on Mixed Reality Entertainment and Art, pp. 21 - 26, Nara (2007.11)
6. R. Tenmoku, R. Ichikari, F. Shibata, T. Ohshima, and H. Tamura: “MR-based training system of movie action scenes,” Proc. Int. Workshop on Ubiquitous Virtual Reality (IWUVR 2008), Osaka (2008.1)
7. K. Koyamada, N. Sakamoto and S. Tanaka: “A particle modeling for rendering irregular volumes,” Prcc. on Int. Conf. on Computer Modeling and Simulation (UKSIM 2008), pp. 372 - 377, England (2008.4)
8. S. Nakata: “Acceleration of meshfree radial point interpolation method on graphics hardware,” Proc. Int. Conf. on Numerical Analysis and Applied Mathematics 2008, pp. 396 - 399, Greece (2008.9)
9. R. Ichikari, T. Nishizawa, R. Hatano, T. Ohshima, F. Shibata, and H. Tamura: “Designing cinematic illumination for MR-based previsualization,” Proc. the 2nd Korea-Japan Workshop on Mixed Reality, pp. 81 - 95, Hakodate (2009.5)
10. W. Toishita, Y. Momoda, R. Tenmoku, F. Shibata, H. Tamura, T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya: “A novel approach to on-Site camera calibration and tracking for MR pre-visualization procedure,” Proc. Human-Computer Interaction International 2009, pp. 492 - 502, San Diego. (2009.7)
11. M. Sawai, Y. Isoda, A. Tsukamoto, Y. Kosaka, K. Hasegawa, S. Nakata, and S. Tanaka: “Automatic modeling of virtual 3D streets based on GIS data -Application to generation of Kyoto in the Edo era-,” the 5th Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSPP2009), Japan (2009.9)
12. M. Sawai, Y. Isoda, A. Tsukamoto, Y. Kosaka, S. Nakata, and S. Tanaka: “Spread-sheet-based automatic modeling of urban street models from GIS data,” Asia Simulation Conf. 2009 JSST2009, Japan (2009.10)
13. M. Shibasaki, Y. Isoda, A. Tsukamoto, Y. Kosaka, K. Hasegawa, S. Nakata, and S. Tanaka: “Modeling, viewing and simulating Kyoto street models created from GIS data,” 22nd CIPA Symp., Japan (2009.10)

14. R. Tenmoku, F. Shibata, and H. Tamura: "Constructing action scenes for mixed reality previsualization," SIGGRAPH ASIA 2009, Sketches, Yokohama (2009.12)
15. R. Ichikari, K. Kikuchi, W. Toishita, R. Tenmoku, F. Shibata, and H. Tamura: On-site real-time 3D match move for MR-based previsualization with relighting, ACM SIGGRAPH 2010, Talks , Los Angeles (2010.7)

【技術開発第2グループ】

16. T. Takai, A. Maki, and T. Matsuyama: "Self shadows and cast shadows in estimating illumination distribution," The 4th European Conference on Visual Media Production, London (2007.11)
17. T. Mukasa, S. Nobuhara, A. Maki, and T. Matsuyama: "Finding articulated body in time-series volume data," the 4th Int. Conf. on Articulated Motion and Deformable Objects (F. J. Perales and R. B. Fisher: AMDO 2006, LNCS 4069), pp. 453 - 463, Andratx (2006.7)
18. T. Takai, S. Nobuhara, H. Yoshimoto, and T. Matsuyama: "3D video technologies: capturing high fidelity full 3D shape, motion, and texture," DVD-ROM Proc. Int. Workshop on Mixed Reality Technology for Filmmaking, pp. 14-21, Santa Barbara (2006.10)

【技術開発第3グループ】

19. T. Sato and N. Yokoya: "Omni-directional multi-baseline stereo without similarity measures," CD-ROM Proc. 6th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical Cameras (OMNIVIS2005), pp.193 - 200, Beijing (2005.10)
20. Y. Yokochi, S. Ikeda, T. Sato, and N. Yokoya: "Extrinsic camera parameter estimation based-on feature tracking and GPS data," Proc. Asian Conf. on Computer Vision (ACCV2006), Vol. 1, pp.369 - 378, Hyderabad (2006.1)
21. S. Ikeda, T. Sato, and N. Yokoya: "Geometric registration in outdoor environments using landmark database generated from omnidirectional videos and GPS positions," DVD-ROM Proc. Int. Workshop on Mixed Reality Technology for Filmmaking, pp. 8 - 13, Santa Barbara (2006.10)
22. B. Okumura, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Augmented reality based on estimation of defocusing and motion blurring from captured images," Proc. IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2006), pp. 219 - 225, Santa Barbara (2006.10)
23. S. Ikeda, T. Sato, and N. Yokoya: "Camera recovery of an omnidirectional multi-camera system using GPS positions," Proc. 1st Korea-Japan Joint Workshop on Pattern Recognition, pp. 91 - 96, Jeju (2006.11)
24. B. Okumura, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Precise geometric registration by blur estimation for vision-based augmented reality," Proc. 6th IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007), pp. 221 - 224, Nara (2007.11)
25. M. Susuki, T. Nakagawa, T. Sato, and N. Yokoya: "Extrinsic camera parameter estimation from a still Image based on feature landmark database," ACCV'07 Satellite Workshop on Multi-dimensional and Multi-view Image Processing, pp. 124 - 129, Tokyo (2007.11)
26. T. Taketomi, T. Sato, S. Ikeda, and N. Yokoya: "Real-time geometric registration of real and virtual worlds using a feature landmark database with priorities," Proc. Int. Workshop on Ubiquitous Virtual Reality, Toyonaka (2008.1)
27. Y. Nishina, B. Okumura, M. Kanbara, and N. Yokoya: "Photometric registration by adaptive high dynamic range image generation for augmented reality," Proc. 7th IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR08), pp. 53-56, U. K. (2008.9)
28. T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya: "Real-time geometric registration using feature landmark database for augmented reality applications," Proc. SPIE Electronic Imaging, Vol. 7238, United States (2009.1)
29. M. Kanbara, T. Hollerer, and N. Yokoya: "Real-time high dynamic range image generation using multiple cameras," Proc. Int. Conf. on Visualization, Imaging and Image Processing (VIIP2009), pp. 104 - 110, U.K. (2009.7)
30. T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya: "AR cultural heritage reconstruction based on feature landmark database constructed by using omnidirectional range sensor", Proc. ACCV 2010 Workshop on e-Heritage (Electronic Cultural Heritage), Queenstown New Zealand, (2010.11)

③ ポスター発表 (国内会議 11 件、国際会議 8 件)

【技術開発第 1 グループ】

1. R. Ichikari, K. Kawano, A. Kimura, F. Shibata, and H. Tamura: "Mixed reality pre-visualization and camera-work authoring in filmmaking," Proc. 5th IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality, pp.239-240, Santa Barbara (2006.10)
2. R. Ichikari, R. Hatano, T. Ohshima, F. Shibata, and H. Tamura: "Designing cinematic lighting by relighting in MR-based pre-visualization," SIGGRAPH ASIA 2009, Posters, Yokohama (2009.12)
3. T. Kawamura, K. Koyamada, N. Sakamoto, and S. Tanaka: "A high-quality sampling technique of PBVR for unstructured hexahedral mesh data," Proc. IEEE Visualization 2010, pp. 24 - 29, Salt Lake City (2010. 10)

【技術開発第 2 グループ】

4. 飯野晋, 高井勇志, 松山隆司: "物体の自己投射影(セルフシャドウ)を利用した不定型近接光源の推定", 情報処理学会研究報告 (CVIM), Vol. 2007, No. 51, pp.145 - 152 (2007.5)
5. T. Mukasa, A. Miyamoto, S. Nobuhara, A. Maki, and T. Matsuyama: "Complex human motion estimation using visibility," 8th IEEE Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, The Netherland (2008.9)
6. 黒田真央, 高井勇志, 松山隆司: "映画におけるアクションシーンの緊迫度評価法", 情報処理学会研究会資料 CVIM 167-18, 京都 (2009.6)
7. 小林亮介, 高井勇志, 松山隆司: "3次元ビデオにおける人物動作の編集", 情報処理学会研究会資料 CVIM 167-17, 京都 (2009.6)
8. T. Tung, S. Nobuhara, and T. Matsuyama: "Complete multi-view reconstruction of dynamic scenes from probabilistic fusion of narrow and wide baseline stereo," the 12th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2009), Japan (2009.9)
9. T. Yamaguchi, S. Nobuhara, and T. Matsuyama: "Cell-based object tracking method for 3D shape reconstruction using multi-viewpoint active cameras," the 9th IEEE Int. Workshop on Visual Surveillance (VS2009), Japan (2009.10)

【技術開発第 3 グループ】

10. 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: "拡張現実感のための画像のぼけ推定に基づくカメラ位置姿勢推定の高精度化", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2007)講演論文集, pp. 1552 - 1557, 広島, (2007.7)
11. 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和: "全方位動画像と GPS 位置情報からのランドマークデータベースの構築", 同上, pp. 1129 - 1134 (2007.7)
12. 松田幸大, 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和: "自然特徴点ランドマークデータベースと姿勢センサに基づく高速な回転にロバストなカメラ位置・姿勢推定", 同上, pp. 1558 - 1563, (2007.8)
13. S. Ikeda, T. Sato, K. Yamaguchi, and N. Yokoya: "Construction of feature landmark database using omnidirectional videos and GPS positions," Proc. Int. Conf. on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM2007), pp. 249-256, Montreal (2007.8)
14. 仁科勇作, 奥村文洋, 神原誠之, 横矢直和: "適応的なハイダイナミックレンジ画像合成による拡張現実感のための光学的整合性の実現", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2008)講演論文集, pp. 1108-1113, 長野 (2008.7)
15. 武富貴史, 佐藤智和, 横矢直和: "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に基づく実時間でのカメラ位置・姿勢推定", 同上, pp. 860-865, 長野 (2008.7)
16. T. Taketomi, T. Sato, and N. Yokoya: "Real-time camera position and posture estimation using a feature landmark database with priorities," CD-ROM Proc. 19th IAPR Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2008), U.S.A. (2008.12)
17. 牧田孝嗣, 神原誠之, 横矢直和: "ウェアラブル拡張現実感のための注釈と対象物体の視認性を考慮したビューマネジメント", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2009)講演論文集, pp. 1770 - 1776, 島根 (2009.7)

18. 神原誠之, T. Hollerer, and 横矢直和: “マルチカメラを用いたハイダイナミックレンジ画像の実時間生成”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2009)講演論文集, pp. 1022 - 1028, 島根 (2009.7)
19. 武富 貴史, 佐藤 智和, 横矢 直和: “AR観光システムのための全周レンジファインダを用いたランドマークデータベース構築に基づく幾何的位置合わせ”, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2010)講演論文集, pp. 1947-1953 (2010.7)

④ 展示発表 (国内展示 2 件、国際展示 5 件)

【技術開発第1グループ】

1. R. Ichikari, K. Kawano, R. Tenmoku, F. Shibata, and Hideyuki Tamura: “MR-PreViz image capturing and compositing system for filmmaking,” 6th IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007), Demonstration, Nara (2007.11)
2. T. Hashimoto, J. Fujimoto, R. Tenmoku, F. Shibata, and H. Tamura: “MR action rehearsal system of sword fighting,” *ibid.* (2007.11)
3. K. Inoue, T. Wada, K. Kitamura, S. Nishino, R. Ichikari, R. Tenmoku, T. Ohshima, and H. Tamura: “Kaidan: Japanese horror experience in interactive mixed reality space,” SIGGRAPH ASIA 2009, Emerging Technologies, Yokohama (2009.12)
4. 森尚平, 杉本一平, 永仮貴浩, 村田龍吾, 山元明彦, 田村秀行: “Mass of Roaches! - 振動と視覚的演出の同期によるMRアトラクションの演出-”, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 398 - 401, 金沢(2010.9)

【技術開発第2グループ】

5. T. Takai, H. Nakayama, S. Nobuhara, H. Yoshimoto, and T. Matsuyama: “On-site 3D video generation for pre-viz in a mobile 3D video studio,” 6th IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2007), Demonstration, Nara (2007.11)

【技術開発第3グループ】

6. T. Taketomi, B. Okumura, S. Ikeda, T. Sato, M. Kanbara, and N. Yokoya: “Geometric registration using feature landmark database”, *ibid* (2007.11)
7. 「バーチャル飛鳥京プロジェクト 2009年度現地一般公開実験」  
日程:2009 年11月20日～ 22日, 時間:10:00-15:00, 会場:国営飛鳥歴史公園 甘樫丘展望台、伝飛鳥板蓋宮跡、川原寺跡 (3会場), 意義:屋外環境において複合現実感を実現するために必要な頑健な位置合わせ手法の実証実験として、これまで開発を進めてきたランドマークベースを用いた位置合わせ技術を3日間の一般公開展示を通して検証を行った。

(4)知財出願

①国内出願 (2件)

1. 発明の名称: 画像生成方法及び画像生成システム  
発明者: 田村秀行, 大島登志一, 柴田史久  
出願人: 学校法人立命館  
提出日: 平成 18 年 9 月 8 日  
出願番号: 特願 2006-244512
2. 発明の名称: 複合現実感技術による画像生成方法及び画像生成システム  
発明者: 天目隆平, 田村秀行, 大島登志一, 一刈良介, 樋下航  
出願人: 学校法人立命館  
出願日: 平成 22 年 1 月 14 日  
出願番号: 2010-005725

②海外出願 (0 件)

③その他の知的財産権

なし

(5)受賞・報道等

①受賞

1. 中川知香: 平成 17 年度電気関係学会関西支部連合大会奨励賞, “ランドマークデータベースを用いた投票に基づく静止画像からのカメラ位置・姿勢推定” (2006.4).
2. Bunyo Okumura: Best Student Paper Award of IEEE and ACM Int. Symp. on Mixed Augmented Reality (ISMAR 06), “Augmented reality based on estimation of defocusing and motion blurring from captured images” (2006.10)
3. 可視化情報学会第 19 期学会賞 (論文賞) : 小嶋一行, 岡将史, 柴田章博, 仲田晋, 田中覚: 陰関数曲面上における粒子拡散法を用いた高密度・大量点群のポリゴン化, 可視化情報学会論文集, Vol.27, No. 9, pp. 77 - 83 (2007.9)
4. 第 5 回デジタルコンテンツシンポジウム船井賞: 一刈良介, 西沢孝浩, 波多野亮平, 柴田史久, 田村秀行: 映画制作のための複合現実型プレビジュアリゼーション(4)-Relighting による映画的照明効果の付与-
5. 「ショートショートフィルムフェスティバル&アジア 2009」オーディエンスアワード (観客賞) : 『カクレ鬼』(英題 “Kakure-Oni: The Ogre of Red Moon”) [製作総指揮: 田村秀行, 監督: 齊藤勇貴, 撮影: 野田直樹]
6. “ACTION/CUT 2009 SHORT FILM COMPETITION” BEST FOREIGN AWARDS : 『カクレ鬼』

②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 「CG 相手に殺陣シーン～立命館大, 映画作り支援システム」2007 年 11 月 16 日, 日本経済新聞・朝刊, 15 面
2. 「CG と実際映像を組み合わせ～正確な構図で広がる表現力」2007 年 11 月 21 日, 毎日新聞・朝刊・奈良版
3. 「未来へようこそ」2008 年 1 月 13 日, 読売テレビ『大阪ほんわかテレビ』
4. 「どこでも道場」2008 年 3 月 26 日, フジテレビ『偉大なる未来図鑑』
5. 「MUSHA 修行」2008 年 8 月 31 日, フジテレビ『笑っていいとも! 増刊号』
6. 「特殊ゴーグルで古代の都楽しむ バーチャル飛鳥京」2008 年 11 月 23 日, 朝日新聞
7. 「飛鳥京, 遺構に再び」2008 年 11 月 23 日, 奈良新聞
8. 「古代の寺や古墳を疑似体験」2009 年 11 月 21 日, NHK
9. 「アートチャンネル TV SIGGRAPH がやってきた!」2009 年 12 月 29 日, テレビ神奈川
10. 週刊アスキーPLUS, <http://weekly.ascii.jp/elem/000/000/014/14570/>
11. Tech-ON, <http://techon.nikkeibp.co.jp/article/NEWS/20091217/178683/>
12. GIGAZINE, [http://gigazine.net/index.php?news/comments/20091218\\_kaidan/](http://gigazine.net/index.php?news/comments/20091218_kaidan/)
13. マイコミジャーナル, <http://journal.mycom.co.jp/articles/2009/12/29/siggraph04/001.html>
14. 「世界初公開!感じちゃう!未来のバーチャルゲーム」, 2010 年 9 月 12 日, 革命×テレビ (TBS)
15. 「『MR プリビズ』技術の研究成果～科学技術振興機構が発表」2011 年 11 月 15 日 映像新聞
16. 「映画製作 絵コンテ不要」2011 年 3 月 2 日, 京都新聞, 1 面・24 面

### ③その他

#### 【映画作品】

1. 映画『カクレ鬼』(英題 “Kakure-Oni: The Ogre of Red Moon”) 製作総指揮:田村秀行, 監督:齊藤勇貴, 撮影:野田直樹 (2008.7)

[注:本研究の技術実証実験は, 短編映画『カクレ鬼』を生み出した.]

### (6) 成果展開事例

#### ①実用化に向けての展開

- 本研究での実証実験は参加研究機関だけで実行するのではなく, 成果普及の対象である映像制作業界が実務として参加し, 活動できる形態で行ってきた. 即ち, 業界人(監督, 助監督, 撮影スタッフ, 美術スタッフ, 照明スタッフ等)が, 日常業務を行いながら MR-PreViz の最新技術を目にし, 体験できる機会を与えているので, 自然に技術開示を行っていることになる.
- 具体的には短編映画『カクレ鬼』では東映京都撮影所のスタッフたち, 劇場公開映画『怪談レストラン』では東映アニメーションやその関連スタジオのスタッフたちには, MR-PreViz 技術の詳細に関する紹介を行った. また, 本報告の付録として添付する技術評価・市場分析レポートの作成を委託した(株)IMAGICA, (株)アイデンティファイの2社は, 実証映像制作も行ったので, 事実上もう一歩進んだ形での技術指導とビジネス機会探索の機会を与えた形となっている.
- 映画『カクレ鬼』に関しては, 国内外の著名な映画祭の賞を得たことから, 知名度が増し, 国内外の優秀作品紹介のイベントでの上映が求められた. 同時に MR-PreViz 技術への関心も高まり, 問い合わせも急増した. このため同作品本編と技術解説映像を収録した DVD (中間報告書の付録) 約 500 枚を希望者に配布した.
- 米国ハリウッド映画界に対しては, 2010 年米国西海岸訪問時に, CG 及び PreViz 業界の有力企業 Digital Domain, Pixel Liberation Front, The Third Floor の各社に対して, 研究成果の紹介を行い, 実務での利用上の問題点, ビジネス展開の可能性に関する質問に回答を与えた.
- 映像制作業界からの希望により, 2010 年 11 月 5 日に同業界を対象にした研究成果発表のシンポジウムを開催し, 会場前ロビーにて MR-PreViz の実演デモも行った. 約 120 名の参加者があり, 熱心な質問が相次いだ. 情報公開, 技術移転を希望する声が大きいため, 本最終年度終了後に文書資料, 映像資料, ソフトウェア・ツール類の公開・配布を行うことを検討している.

#### ②社会還元的な展開活動

- 本研究プロジェクトの目標及び研究成果は, 研究開始年度からインターネット (URL: <http://www.rm.is.ritsumei.ac.jp/MR-PreVizProject/top.html>) で公開し, 一般に情報提供している. コンセプトビデオや実証実験で製作した映像も, このサイトで眺められるようになっている.
- 3 度にわたる当研究領域全体の成果展示会「予感研究所」(2006 年 5 月)「予感研究所 2」(2008 年 7 月)「予感研究所 3」(2010 年 5 月)[於, 日本科学未来館]に積極的に参加し, 多数の来場者に複合現実型可視化技術の概念を分かりやすく見せることに尽力した. また, 各種関連学会では, 論文発表の他に, 再三技術展示も行った. とりわけ, 複合現実感国際会議 ISMAR 2007 (於奈良公会堂), SIGGRAPH Asia 2009 (於, パシフ



イコ横浜)では大規模なMRアトラクション展示を行ったところ、別記のようなメディア報道、TV番組出演依頼が相次いだ。TVへの出演依頼はその後も再三あるが、研究活動に支障を来すので、最低限の出演に留めた。

## § 6 研究期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

月日	名称	場所	参加人数	概要
H18.10.22	International Workshop on Mixed Reality for Filmmaking	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	70名	本プロジェクトが共同催したMR-PreVizに関する国際ワークショップ
H19.11.15 ～11.16	特別デモセッション	奈良県新公会堂	約250名	第6回複合現実感国際会議(ISMAR07)における当チームが主催して、特別技術企画展示を実施
H20.7.30	CREST/MR-PreViz シンポジウム 「デジタル技術で映画 が変わる、プレビズ技 術で創造性を高める」	日本科学未来館	約180名	研究プロジェクトの中間成果を広く一般公表する講演会&映画上映会。「予感研究所2」と同一会場で開催し、技術展示とも連携。
H21.9.14	『カクレ鬼』受賞記念 CREST/MR-PreViz シンポジウム 「デジタル技術で映画 が変わる、プレビズ技 術で創造性を高める Part2」	立命館東京 キャンパス	約60名	研究プロジェクトの中間成果を広く公表する講演会&映画『カクレ鬼』を振り返る討論会
H22.11.5	シンポジウム 「PreViz技術がもたら す映像制作維新」	IMAGICA 東京映像 センター・第一試写室	約120名	映像制作業界を対象とした研究成果発表会

## § 7 結び

本研究は、デジタルメディア作品の中でも品質と作品単価で最高水準を求める「映画」を対象とし、その制作支援の新しい方法として「複合現実型事前可視化(MR-PreViz)」と提唱した。ほぼ当初の研究目標、実行計画に沿った形で、それを実現し得るハードウェアシステム、ソフトウェアツール類を開発し、実際に劇場公開級の映画の制作過程でその有用性を検証した。

個々の要素技術や全体的目標達成の意義は別項で既に述べたので、以下では、本研究の成果に関して留意してきた点、

- (a) 映像制作業界への技術移転
- (b) 複合現実感研究分野における技術進展
- (c) 科学技術の基盤の上にデジタルコンテンツを創出し得る人材の育成

に関して、果たした役割とその効果を述べる。

### 【映像制作業界への技術移転】

業界への対応は、領域統括や領域アドバイザーの助言により、途中から方針を大転換した。即ち、ハリウッド映画界を主ターゲットとして、世界最先端として話題になるという方針から、日本の映画産業の現状を鑑み、映画制作関係者の意識変革・啓蒙活動を行い、本研究の成果の意義や有用性が受け容れられる素地を創ることへと目標を切り替えた。

技術的先進性を尊ぶ製造業の研究開発部門を相手にするのと比べると、映画業界の啓蒙や技術移転はかなり難しい。映画は大きな社会的影響力をもつ総合芸術であり、その制作に関わる業界人は特殊技能者の集団であり、異分野の意見を素直に受け容れまいとする気質がある。同じ映像制作業界の中でも、TV番組やビデオゲームの制作者に比べてプライドが高く、芸術的にも画質的にも最高品質のものを供給しているという自負心があるからである。ただし、国内市場は活況を呈している、世界市場を狙えない日本映画界には、独特の価値観がある。圧倒的な威力で世界を席捲するハリウッド映画界のような製作費を投じることはできないため、製作日程や製作費に大きな制約があるため、将来的にはコスト削減効果があると分かっている、目の前の作品制作以外に先行投資はできないし、新技術の取得に費やす時間的余裕もないためである。

MR-PreViz は、通常の PreViz (CG アニマティックス)を理解し、利用している状況で、一層その価値が理解される先端技術である。フル CG による PreViz は、本 CREST 研究の開始時に既にハリウッド映画界で始まっていたので、我々はその先に行く、より先端技術度の高い MR-PreViz に目標を絞り、世界に誇れる技術体系、ワークフローの確立を目指した。ところが、日本映画の制作現場では、極めて PreViz の利用率が低く、今なお VFX シーンを多用し、CG 利用に自信がある一部の監督や VFX プロダクションだけが用い始めているに留まっている。それどころか、大半の映画人は PreViz という概念も言葉も知らない状態である。

このような現状で、本研究チームでは、単に研究成果を技術的にアピールして、研究成果が試用されることを待つのではなく、中間期の有用性の実証実験として、自ら短編映画製作を行うことにした。即ち、PreViz という概念を理解させ、それを製作コストの削減から創造性を高めるものになり得ることを教える啓蒙・布教活動として、映像制作業界のスタッフ達を雇用し、彼らの日常業務の中で MR-PreViz 技術に触れる道を選択したのである。こうして製作されたのが、約 10 分間の『カクレ鬼』である。90～120 分級の長編にしなかったのは、さすがにそこまでの製作費がなかったからである。

幸い、パソコンやインターネットの利用経験をもつ若い世代の飲み込みは早く、業務として我々の実証実験を経験した若い監督、助監督、ラインプロデューサー、カメラマン、撮影助手、VE、VFX エンジニア等はほぼすべて (MR-) PreViz の意義と有用性を理解した。彼らからの口コミにより、業界内に徐々に (MR-) PreViz が浸透しつつある。ここで、幸運にも大きな武器となったのは、『カクレ鬼』が国内外の著名な映画賞を受賞したことである。これは、同作品を映画通が好む異色の短編映画とはせず、劇場公開映画級の品質をもつ娯楽作品としたことにもよる。MR-PreViz は支援技術に過ぎず、完成した映像の品質には直接影響を及ぼさないにも関わらず、『カクレ鬼』の受賞により、PreViz 技術が注目を集め、関心が高まったのは幸運であり、嬉しい誤算であった。自主的な作品製作の次のステップとしては、前述のように、既に商業映画『怪談レストラン』(東映配給)の制作支援に利用され、その模様は DVD の特典映像の 1 つとして収録されることになっている。



短編映画『カクレ鬼』の撮影時の記念写真



『怪談レストラン』での PreViz 撮影風景（左）と MR-PreViz 映像例（右）

本 CREST 研究終了後は、研究成果を積極的に情報公開し、我が国でも PreViz ビジネスが本格化し、業界内に根づくことを期待している。この技術移転を促進するため、本研究の最終年度には、業界内の有スタジオに技術評価・導入価値の分析・実証映像製作を依頼した。そのレポート（付録参照）や映像もまた、情報公開の主対象とする計画である。即ち、(MR-)PreViz への理解度が高い企業を、当該分野のリーディングカンパニーとして育成し、その影響力で業界全体の理解度が進むことを期待している。



街頭や屋上での実証実験映像の撮影風景

### 【複合現実感研究分野における技術進展】

バーチャルリアリティやコンピュータビジョンの分野で、複合現実感(MR)研究は大きなウェイトを占めつつある。その MR 分野の中で、長い経験と実績をもつ有力研究グループが参加して始まった研究プロジェクトであるから、当該研究分野にも少なからぬ影響力を及ぼし、技術的進展を引き起こすことが期待された。MR 技術は、本来、潜在的に極めて広汎な応用分野をもつ技術であり、過去には医療、建築・都市計画、製造業での設計・検査等が試みられた。とりわけ、宇宙開発計画、航空機や自動車の設計・製造等の比較的高額の研究開発費を投じ得る分野が MR 研究開発を牽引してきた。本 CREST 研究は、映画制作支援という、技術の要求水準が高いハイエンドな目標と要求（実問題）を掲げることにより、MR 研究分野の一層の技術的進展に寄与せんとした。

これは、学会活動を介して問題提起されるだけでなく、本プロジェクトに参加する研究室内でも日常的に需要（問題提供）と供給（解決法提供）が行われてきた。即ち、MR-PreViz の研究グループが求める要素技術を、研究室内の他の研究グループが解決し提供することで、映画制作支援以外にも発展し得る手法が生み出されてきた。とりわけ、MR 研究分野の今後の発展に繋がりそうな課題や活動としては、次の 2 点が挙げられる。

(1) 元来、現実世界と仮想世界の幾何学的整合性は最重要課題の 1 つであった。本 CREST 研究での本格的な利用により、カメラトラッキング技術のベンチマーク・テストの方法や評価基準を検討するグループが本 CREST 研究チームを中心に結成され、日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究委員会傘下の公式のワーキンググループ (TrakMark-WG) となり、さらに欧州・米国・韓国を巻き込んだ国際的活動に発展している。MR 研究分野で、我が国がリーダーシップを発揮し、再び世界を先導する役割を担うことが予想される。

(2) 同様に、本 CREST 研究から、MR 技術を発展形である「隠消現実感」(Diminished Reality; DR) の必要性が強く認識され、DR の本格的な研究が立ち上がり始めている。DR とは、現実の光景に存在する物体の存在を（視覚的に）消し去る技術である。VR よりも MR の要求水準が高かったように、MR よりも DR の要求水準が高く、達成が難しい。今後は広義の VR&MR 分野での新規挑戦課題として、DR が脚光を浴び、活発な研究が展開されることが予想される

### 【科学技術の基盤の上にデジタルコンテンツを創出し得る人材の育成】

本 CREST 研究は、国内外の VR/MR 研究グループに少なからず影響を及ぼしてきたことは確実であるが、残念ながら、映画制作分野への応用・貢献をめざす他の研究グループ、ライバルが登場しなかった。恐らく、関心はあっても、映画制作に関わるには機材が高価な上に、専門用語が飛び交う業界特有の雰囲気にも溶け込むことも容易ではなく、情報技術

の研究サイドから見て、極めて参入障壁が高い分野であるためと考えられる。

こうした事情を鑑み、本研究チームが雇用するポストドク研究員は随時入れ替えを行い、またなるべく多くの大学院生を本研究に参加させることで、映画人や映像制作業界との関わりをもつ情報系研究者の数を増やすよう心がけてきた。本物の映画撮影現場の緊張感や時間管理の厳しさは、他の分野にはない得難い経験である。CG キャラクタや美術セットに要求されるクオリティも高く、映画撮影に用いられる機材の利用にも訓練と経験を必要とする。今後、他の情報技術に従事した場合にも、映画制作という貴重な体験を学生時代に得たことによって、視野が広がり、未来のデジタルメディアの発展に寄与するはずである。



オープンセットでの撮影体験も貴重な経験



MR 創像ラボに設けられた美術セット

さらに、次世代の映像コンテンツ制作を担うクリエイタ達を啓蒙すべく、芸術系大学や専門学校で映画制作を学ぶ学生たちとの交流も積極的に図ってきた。彼らの作品制作に MR-PreViz 映像を活用することは、まず立命館大学映像学部 of 学生を対象に始まっている。即ち、映画監督や映画プロデューサの卵である学生たちの卒業制作に、当 MR-PreViz 研究チーム内の学生がスタッフとして参加し、(MR-)PreViz 技術を提供することで、彼らのクリエイティビティを高めることを目的としている。本研究終了後は、関西地区の芸術系大学や専門学校にも呼びかけて、(MR-)PreViz 技術を提供して行くことを計画している。

こうした人材育成は、一日にして効果が表われるものではないが、やがて本 CREST 研究に関わった研究者・技術者・クリエイタの中から、我が国のデジタルコンテンツ分野を牽引する人物が生まれてくることを期待している。

## 付録 (DVD にて配布)

### ・付録 A 映像資料集 (コンセプトビデオ, メイキング映像, 完成映像等)

(研究開始時に作成した研究目標を示すコンセプト映像, 要素技術の解説映像, 実証実験の記録等, 本プロジェクトに関わる主要な映像資料を収録した. 中間報告時に提出した短編映画『カクレ鬼』関連の映像も再収録した.)

### ・付録 B 映画制作における「MR プレビズ」導入思索・検討

(映画制作におけるプレビズ技術全般に関し, その歴史的経過や日本映画界における現状を把握した上で, MR-PreViz の位置づけと分析を, 映像制作業界の雄, (株)IMAGICA に委託した結果の納品物である. 人気のビデオゲーム関連で, 現在計画されている映像作品のパイロット・ムービーの制作に, 実際に MR-PreViz 技術を用いた実証実験を行った.)

### ・付録 C CM 映像制作における PreViz の意義と活用

(CM 映像制作への展開に絞って, PreViz/MR-PreViz 技術の意義・用途・有用性の分析を, 業界内の有力企業 (株)アイデンティファイに委託した結果の納品物である. 音響製品の CM を例にとり, スポンサーとのやり取りを想定して, 映像制作の詳細な流れの中で MR-PreViz 技術を駆使している.)