

## 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—

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

立命館大学 MR 創像ラボラトリ 〒604-8520 京都市中京区西ノ京朱雀町1

E-mail: ichikari @rm.is.ritsume.ac.jp

あらまし 映画制作におけるプレプロダクション段階で、CG 映像で想定シーンを事前可視化する PreViz (Pre-Visualization) の利用が進んでいる。我々は、この PreViz に現実と仮想を融合する複合現実感 (MR) 技術を用いた MR-PreViz を提案している。これまでに MR-PreViz の計画概要と初期プロトタイプのみを紹介したが、本稿では本格的映画撮影用 HD カメラや照明等を導入した後の進展を、カメラワーク記述言語 CWML と事前可視化結果を本番撮影時に観る MRP ブラウザを中心に報告する。

キーワード 複合現実感, プレビジュアリゼーション, 映画制作, カメラワーク

## Mixed Reality Pre-visualization in Filmmaking (2)

### —Camera-Work Description Language and MRP browser as its Browser—

Ryosuke ICHIKARI, Keisuke KAWANO, Sayaka MORIMOTO,

Ryuhei TENMOKU, Toshikazu OHSHIMA, Fumihisa SHIBATA, and Hideyuki TAMURA

MR Imagineering Laboratory, Ritsumeikan University 1 Suzaku-cho, Nishinokyo, Nakagyo-ku, Kyoto,  
604-8520 Japan

E-mail: ichikari @rm.is.ritsume.ac.jp

**Abstract** In the pre-production process of filmmaking, PreViz, previsualizing the desired scene by CGI, is used as a new technique. In an alternative approach, mixed reality (MR) merges the real and virtual worlds to achieve real-time interaction between users and MR space. We propose MR-PreViz that utilized MR technology in PreViz. MR-PreViz makes it possible to merge the real background and the human and creature by CGI in open set and outdoor location. The user can consider the camera-work and camera blocking efficiently by using MR-PreViz. This paper introduces the progress after the last year's our presentation, including refinement of CWML (Camera-Work Markup language), and implementation of MRP browser as the visualizing tool for CWML.

**Keyword** Mixed Reality, Pre-visualization, Filmmaking, Camera-Work

### 1. はじめに

近年の大作映画制作では、従来の絵コンテに加えてコンピュータグラフィクス (CG) を用いた PreViz (Pre-Visualization の略。アニメティックスともいう) の利用が進んでいる。本番撮影の前に CG 映像を用いて想定シーンを予め可視化することで、仕上がりがイメージを共有して本番撮影ができる利点がある。我々は、現実空間と仮想世界を融合する「複合現実感」 (Mixed Reality; MR) 技術 [1] を PreViz に用いる「MR-PreViz プロジェクト」を推進している。前年の本シンポジウムでの発表[2]では、MR-PreViz の基本計画概要と初期

プロトタイプのみを紹介したが、本稿では、その後本格的な映画撮影機材を導入した後の「カメラワーク・オーサリングツール」の進展、それに伴うカメラワーク記述言語 CWML の記述内容の変更、CWML を用いて記述された事前可視化結果を本番撮影時に観るため MRP ブラウザを新たに実装したので報告する。

### 2. MR-PreViz プロジェクト

#### 2.1 MR-PreViz の概要

MR-PreViz プロジェクトが目指すのは、本格的に MR 技術を利用した PreViz 技術の構築である。MR 技術を採用するこ

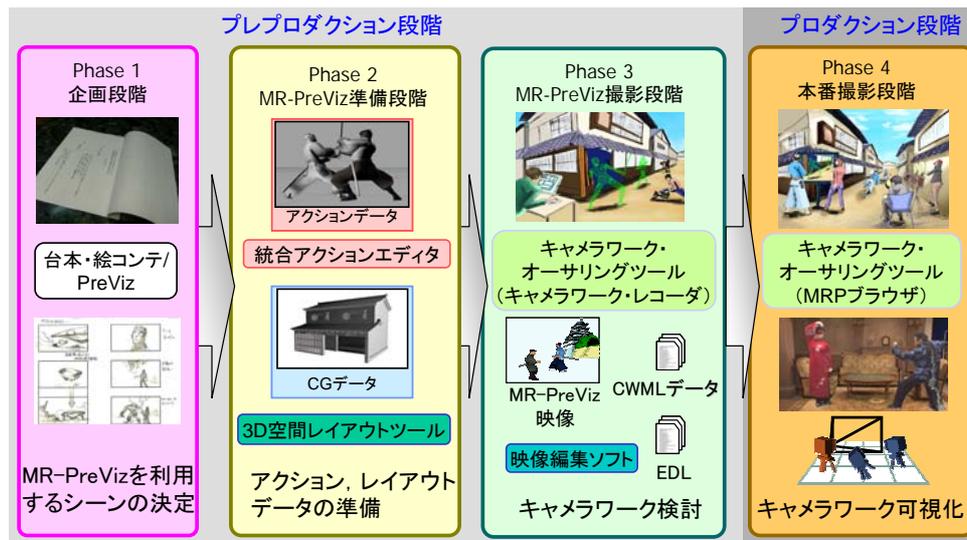


図1 MR-PreVizの流れ

とで、撮影スタジオ内の大型実物セットや屋外のオープンセットなどの現実の光景を背景とした複合現実型事前可視化 (MR-PreViz) が可能となり、映画制作を支援する強力なツールとなる。

前年に紹介した MR-PreViz の構成要素を時系列で整理を行うと、図1に示すように4つの段階に分けられる。まず、企画段階では、絵コンテ、台本、従来の PreViz により、MR-PreViz を行うシーンが決定される。次に、MR-PreViz の準備段階では、アクションデータ、レイアウトデータの準備を行う。それら準備されたデータを用いて MR-PreViz 撮影段階では、「カメラワーク・オーサリングツール」を用いて、実際の撮影現場で MR 技術を用いてカメラワークを検討し、結果を保存する。保存された結果は後の本番撮影段階に、完成イメージの共有のため可視化され、撮影に役立てられる。カメラワーク・オーサリングツールでは、この度カメラワーク検討、記録部分をカメラワーク・レコーダと名づけ、MRP ブラウザとの役割分けを明確にした。

## 2.2 MR-PreViz 用撮影合成システム

撮影合成基幹システムは、ロータリーエンコーダが捉えたカメラの動きデータ (パン、チルト、ズーム量) を利用し、カメラが捕らえた実写映像と予め用意された CG 映像を撮影現場で合成するシステムである。

今回、カメラが変更され、SONY HDW-F900R となった。HDW-F900R は、映画撮影用の最新鋭機であり、記録方式 HD24p に対応していることから選ばれた。これは、映画撮影現場の主流の規格に対応するためであり、このように MR-PreViz では、なるべく従来の映画撮影の流儀を踏襲するよう配慮する。

## 3. カメラワーク・オーサリングツール

### 3.1 カメラワーク・オーサリングとは?

本研究における「カメラワーク・オーサリング」とは、本番撮影以前に、監督が描く完成映像のイメージ、即ち、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。その創造的作業を効率的に支援するため、従来にないオーサリングツール群を開発する。

従来阿吽の呼吸と職人芸で進められて来た映画撮影も、大作映画ではスタッフも大人数になり、ビジュアルで紛れの無い方法での意志疎通が求められている。本オーサリングツール群には、下記の機能が考えられる。

- MR-PreViz 撮影時に、本格的カメラを操作しながら、カメラワークの試行錯誤を効率化するためのツール
- その結果を CWML に変換して記録するソフトウェア
- 記述されたデータを可視化して観るブラウザ

## 3.2 カメラワークの分析とその記述

### 3.2.1 カメラワークとは?

上記の機能を満たすツールを開発するには、「カメラワーク」そのものを客観的に定義しておく必要がある。狭義では、カメラの操作手順だけを指すが、スタッフ間の意志疎通を円滑にするには、ストーリーを映像化する上で、監督・撮影監督の考えを表すものでなければならない。

何人かの監督、撮影監督に本プロジェクトの意図を伝えた上で、支援すべき形態を議論し、「カメラワーク」とは、監督・撮影監督の撮影方針、意図を把握できる映像化の記録と定義し、それらを「定性的カメラワーク要素」「定量的カメラワーク要素」に分けて表すことにした。

各々下記のように分析し、その結果を CWML の設計を行った、その詳細は第4章で述べる。

### 3.2.2 定性的カメラワーク要素

監督・撮影監督が考えるカメラ操作の意図、画面の構図など、数値では表現できない情報は、定性的な記述で記録するものとする。カメラ移動手段 (レール、クレーンなど) も同様である。

映画制作の方法に関する著名な文献としては、「映画の文法」[3]があり、映画にみられる典型的な (狭義の) カメラワークとそのルールが纏めている。[3]に記されたルールを用

いて、映画風のカメラワークを自動で設定する研究[4][5]も存在する。映像を認識することにより、撮影時のカメラの動きを求め映像のセグメンテーションを行う例[6]もあるが、本研究では、カメラの動きの認識は行わず、CWMLとしては表1に示すような記述を採用することにした。

これは、まだその種の分析・認識技術が未熟であり、スタッフ間の意志疎通は、この種の言語での定性的表現の方が確実であるためである。

表1中で「カメラ移動手段」については、後述の定量的要素であるカメラの位置・姿勢の自由度を拘束する条件となるが、カメラワークの意図を解釈する上で重要な補助情報となるので、ここに含めた。また「意図」要素は、「位置姿勢関係」に関わるものとフォーカスに関わるものとに分けられ、独立して要素を選択できる。

表1 定性的カメラワーク要素の選択肢

カメラ移動手段	構図	意図	
		位置姿勢関係	フォーカス
固定	クローズアップ		
直線レール	アップ	対象に「つける」	特定対象にフォーカスを固定する
曲線レール	ビッグクローズアップ	回り込む	別の対象にフォーカスを移す
クレーン	ショルダーショット	ひく/寄る	その他
ステディカム	バーストショット	追従して移動	
その他	ウエストショット	対象人物の視点	
	ニーショット	対象を「なめる」	
	フルショット	撮影対象を別に移す	
	その他	その他	

### 3.2.3 定量的カメラワーク要素

意図伝達の他に本オーサリングツールのもう1つの大きな目的は、撮影時にコンピュータ内の記録から客観的、定量的なデータを抽出し、(機械による解釈は含まずに)カメラの動きを可視化して見せることである。

具体的には、下記のような値を記録・記述する。

- ・カメラ視点の世界座標系での三次元位置
- ・パン、チルト、ロール角度
- ・レンズパラメータ (ズーム値、フォーカス値)
- ・アングル (撮影対象とカメラの相対的角度)
- ・カット割り (In点、Out点のタイムコード)

CGデータの視点移動は自在であるので、既に一部のフルCG-PreVizツールで想定するカメラの動きの可視化は行われているが、それをより系統的に整理し、実写ベースのMR-PreViz映像と対応づけて見られるツールを開発することにした。

### 3.3 カメラワーク・オーサリングツールの構成

前年の報告では、カメラワーク・オーサリングツールの概念の紹介し、一般的なMRシステムを用いたプロタイプシステムを用いて本ツールの可能性を示す程度にとどまっていたが、本稿では、撮影合成基幹システムを用いて、本格的なシステムを構築するため、再整備を行った。

我々の「カメラワーク・オーサリングツール」は、多数のモジュール群から構成されるが、大別してMR-PreViz撮影時とその後処理に用いるものを「カメラワーク・レコーダ」、(主として)本番撮影時に用いる可視化ツールを「MRPブラウザ」と呼ぶものとした。換言すれば、前者はカメラワークをCWMLでの記述データに変換して出力するものであり、後者はそのデータを入力として解釈し、各種可視化ウィンドウに表示するブラウザである。

両ツールの関係と主な機能を図2に図示した。

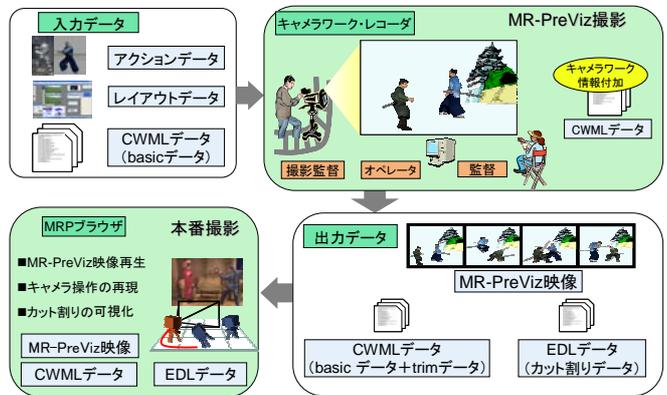


図2 カメラワーク・オーサリングツールの構成

## 4. CWML とカメラワーク・レコーダ

### 4.1 CWML の概要

CWML (Camera-Work Markup Language) は、本研究が提唱するXMLをベースとする独自のカメラワーク記述言語であり、メタ言語であるXMLのインスタンスとして記述する。従来、撮影現場におけるカメラワークに関する意思疎通法は、経験、慣れに基づく閉ざされたものであり、カメラワークはしっかりと体系化されたものではなかった。本研究では、プロの撮影監督の助言の下でその仕様を検討し、前章のような検討の結果、定性的なカメラワーク記述と定量的なカメラワーク記述に分けて、階層的に表すこととした。

### 4.2 CWML の記述内容

CWMLの記述は、大きく分けて、MR-PreViz撮影時に決定されるカメラワークが記述されるtrim部、MR-PreViz撮影を行う上で基礎となる情報が記述されるbasic部の2つに分かれる。その構造を図3に示す。

basic部は、主にMR-PreViz撮影開始時に参照され、MR空間を構築するために必要な情報や、撮影環境、シーンにおいて共通の情報をあらかじめ記述しておく。その記述内容を次に示す。

- ・ 撮影管理情報 (シーンの ID, アスペクト比, 使用機材)
- ・ 参照ファイルパス (レイアウトデータ, アクションデータ, EDL)
- ・ ドキュメントデータパス (脚本, 絵コンテ)

一方, trim 部は, 実際に MR-PreViz 撮影を行って検討したカメラワークに関する情報が, MR-PreViz 撮影時に記述される. 記述内容は, 定性的カメラワーク要素, 定量的カメラワーク要素であり, タイムコードとともに記述される.

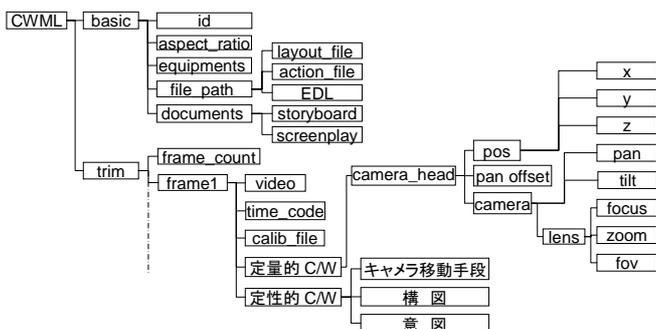


図 3 CWML のツリー構造

### 4.3 定量的カメラワーク要素記述

CWML における定量的カメラワーク要素記述は, MR-PreViz 時に, 自動的に付加される.

記述される内容は, カメラ座標系の原点(カメラヘッドの回転中心)の位置姿勢情報, カメラ自体のパンティルト情報, レンズのズーム, フォーカス値, 画角であり, タイムコードに合わせてフレーム毎に記録される.

### 4.4 定性的カメラワーク要素記述

定性的カメラワーク要素記述は, 3.2.2 で述べたように, 数値では表せない監督・撮影監督の意図を記録するためのもので, 表 1 のような有限の選択肢の中から選ばれた項目のコードが CWML に記録される.

現在の選択肢は, 撮影監督の意見を取り入れたものであるが, 今後, 順次増やしていく予定である.

### 4.5 カメラワーク・レコーダの機能

カメラワーク・レコーダは, 撮影合成基幹システムを用いて MR-PreViz 撮影を行い, カメラワークの検討, 記録を行うカメラワーク・オーサリングツールのサブツールの 1 つである. その機能を以下に示す.

#### (a) 実時間 MR-PreViz 映像確認

カメラワーク・レコーダは, CWML データの basic 部を参照して, レイアウトデータ, アクションデータ等の情報を取得し, それらと撮影合成基幹システムを用いて MR-PreViz 撮影を行う.

#### (b) HD 解像度 MR-PreViz 映像の録画

近年のデジタル映像の高解像度化により, 映像のクオリティは急激に増し, PreViz 映像においても, 高解像度化に対応する必要があると思われる. そこで, カメラワーク・レコーダでは, SD MR-PreViz 映像と同内容の HD 合成映像を生

成可能にする.

HD の MR-PreViz 映像合成のため, CWML の定量的カメラワーク要素部に記録された情報と RAID に格納した HD 実写画像を用いて, それらのタイムコードを参照し, オフラインレンダリングする. SD 映像と HD 映像のタイムコードを対応させることで, 実時間で SD 映像を確認し, その際の録画の解像度だけ HD にするといった使い方が可能である.

#### (c) 定量的カメラワーク要素情報の自動記録

カメラワーク・レコーダでは, 上記のオフライン HD 合成とカメラワークの再現のために, カメラワークの操作履歴に対応する定量的カメラワーク要素情報を自動的に記述する. 記録されるデータは, カメラの位置情報, パンティルトの姿勢情報, ズーム, フォーカス, 画角情報である.

#### (d) 定性的カメラワーク要素情報の付加

カメラワーク・レコーダでは, 定量的データだけでは把握できない項目, 意図を記録するため, MR-PreViz 撮影時の定性的カメラワーク要素を記録し, CWML に付加する. その際の定性的カメラワーク要素情報は, 記録担当が表 1 から選択する.

## 5. MRP ブラウザ

### 5.1 MRP ブラウザの概要

カメラワーク・レコーダにより保存された MR-PreViz 撮影の結果を可視化するツールが, MRP ブラウザである. MRP ブラウザの入力は, MR-PreViz 撮影の結果である MR-PreViz 映像, カメラワークの記録である CWML データと, カット割りの検討結果である EDL である.

MRP ブラウザの主たる用途は, 本番撮影時に監督, 撮影監督がカメラワークを再現表示することであるが, 映画撮影に関わる多種のスタッフが広く使用することも想定して設計した.

MRP ブラウザでは, 映像に加えて撮影現場の様子を CG 空間で再現して見せることで, より多くの情報を見せることができ, それらを組み合わせて多種多様な可視化が可能である.

従来の PreViz 技術との差別化を図るためにも, MRP ブラウザの設計方針を次のように定める.

- (1) MR-PreViz 時の検討を映像のみならず, 映像が生成されるに至る要因, 過程まで可視化する
- (2) 本ブラウザを用いて, 試行錯誤することで, イマジネーションが沸くのを促す可視化を行う
- (3) 多種の情報を活用し, 様々なスタッフに対して, その要求に応じた可視化を行う

### 5.2 MRP ブラウザの機能

前節の方針により次の機能を設ける.

#### (1) MR-PreViz 映像再生

MR-PreViz 映像の再生機能により, 映像と撮影環境の対応関係の把握を促す. MR-PreViz 映像は, フレーム毎に映像を扱える一般的な映像方式の DPX 形式を採用し, SD レベルの解像度の映像を再生する (図 4 右上). この際, フレームに定

性的カメラワーク要素情報が存在すれば、映像に重畳可能にする。

### (2) カメラパス可視化

カメラ操作履歴の確認のため CG 空間内で、カメラの操作履歴を確認できるようにする。そのため、次の機能を実現する。

- 撮影環境の CG 再現

撮影現場とカメラを同時に表示して、カメラとその被写体を確認する。そのため、(図 4 左)のように CG 空間内に MR-PreViz 現場の光景を再現する。レイアウトデータ、アクションデータは、それぞれのツールから入力し、同様の形式を用いる。

- MR-PreViz 時のカメラ操作の再現表示

MR-PreViz 撮影時のカメラ操作を CWML の定量的カメラワーク要素を参照し、それらを時系列に表示することでカメラ操作をアニメーションで再現する。その際、一定時間おきにカメラモデルを軌跡上にとどめ姿勢の履歴も表示する。ズーム量・フォーカス量は、ビューボリュームを表す四角錐を用いて表現し、画角が四角錐の頂点の角度、四角錐の底面がフォーカス位置とする。

### (3) カット割り可視化

映画においてカット割りは演出上重要な要素である。MRP ブラウザは、カット割りした映像を再生だけでなく、撮影現場の CG 空間と対応させ、撮影カメラの切り替わりとして、3 次元的に表現し、直感的に分かりやすい表示を目指す。そのため、同一シーンの複数の MR-PreViz 映像を編集し、編集結果の EDL を入力する。EDL により撮影映像の In 点、Out 点が得られる。カメラの切り替わりは、撮影中のカメラを赤くする強調表示と映像再生の再生により表現する。

## 5.3 MRP ブラウザの GUI

MRP ブラウザは、CWML データを指定して起動すると、図 4 のような初期画面となる。3 つのウィンドウの役割は次に示すとおりである。

[MR-PreViz 映像ウィンドウ]: 現在の撮影中のカメラが撮影した MR-PreViz 映像を提示 (図 4 右上)

[CG 撮影環境ウィンドウ]: MR-PreViz 撮影時の現場の様子 (キャラクターの演技、撮影中のカメラ) の再現 (図 4 左)

[操作パネル]: MR-PreViz 映像、CG 撮影環境の同期のためのタイムラインの管理、各種設定の変更 (図 4 右下)

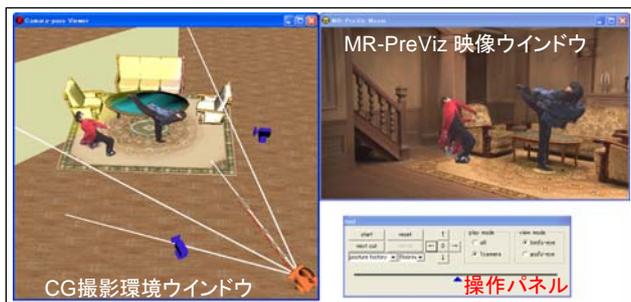


図 4 MRP ブラウザの GUI

## 5.4 MRP ブラウザの操作方法

MRP ブラウザは、図 5 に拡大して示す操作パネルとマウス操作だけで直感的に操作することが可能である。パネル内のボタン操作、マウス操作と機能の対応を次に示す。

- キャラクタの演技、MR-PreViz 映像の再生、別のカメラに変更するには、左のボタンを操作
- 詳細な時刻の変更はタイムラインのスライダをマウスでドラッグ
- 視点位置は視点移動ボタンで地面と水平に(X,Y 平面)移動
- 可視化モードをラジオボタンで切り替え
- 左真中のメニューで、姿勢表示頻度、床面テクスチャ変更可能
- CG 撮影空間内でマウスをドラッグすることで、視点位置を注視点中心に円形に移動
- マウスの中ボタンドラッグにより、注視方向に前進、後退可能

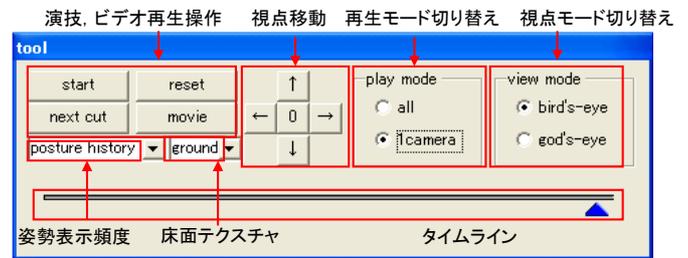


図 5 操作パネル

## 5.5 MRP ブラウザの可視化モード

MRP ブラウザは、映画制作に関わる様々なスタッフに対して、その目的に応じた可視化を目指すので、可視化モードを複数用意する。典型的な可視化モードとして、映像再生に関わるモード、視点に関するモードをそれぞれ 2 つずつ設ける。

### A. 映像再生モード

- 単カメラ再生モード: 単カメラ再生モードでは、一つのカメラの映像を再生する。これは 1 回の撮影を再現する場合に、1 台のカメラのみを表示したい場合などを想定したモードである。
- 複数カメラ同時再生モード: 複数カメラ同時再生モードでは、複数のカメラの映像を切り替えてカット割りを可視化するモードである。これは、より完成映像に近い映像と撮影環境の対応を把握したい場合に有効である。

### B. 視点モード

- God's Eye モード: 図 6 左に示すように、God's Eye モードは、真上の固定視点から撮影環境の CG を観察するモードであり、カメラと被写体、その他のオブジェクトの位置関係を正確に把握したい場合に有効である。
- Bird's Eye モード: 図 6 右に示すように、Bird's Eye モードは、自由な鳥瞰視点から撮影現場を確認可能なモードであり、より自由に注目対象を観察できる。

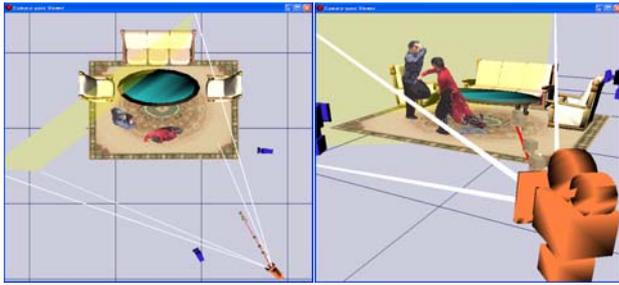


図6 視点モード

(左: God's eye モード, 右: Bird's eye モード)

## 6. MR-PreViz 撮影と本番撮影の試行検証

本研究の様なプロの実務現場での作業支援を目的とする技術の開発には、現実味のあるテスト事例の度重なる試行により問題点を洗い出し、完成度を高めることが重要である。そこで、古びた洋館内でのカンフーアクションシーンを題材にして、アクションデータの収録、アクション編集、MR-PreViz 撮影、MR-PreViz 撮影結果の可視化という一連の流れを我々の研究室の撮影スタジオ内で試行した(図7)。この試行により、実装されたシステムやツール群が設計どおりに稼動し、一連の制作支援が実現できることを確認した。

この試験試行を踏まえ、今度は、実際に時代劇の剣戟シーンを例に取り脚本から、東映映画村での本番撮影までを全工程を経験し、有用性を検証した(図8)。実際の撮影スタッフ、編集スタッフからは、完成イメージを明確に把握でき作業効率が増すと大変好評であった。

## 7. むすび

本稿では、前年より紹介している映画制作支援に複合現実感技術を用いる MR-PreViz プロジェクトの前年の発表からの進展について紹介した。前年まではプロトタイプシステムのみで動作していたカメラワーク・オーサリングツールを、本格的な映画撮影機材を導入した撮影合成基幹システム上で実現し、実際に MR-PreViz 撮影、本番映画撮影に活用することで有用性を確認した。また、記述言語 CWML によるカメラワーク検討の記述内容を再検討し、その CWML で記述された MR-PreViz 撮影の検討結果を可視化する MRP ブラウザを新たに実装し、これにより、CWML を用いたカメラワーク検討の一連の流れを完成させた。

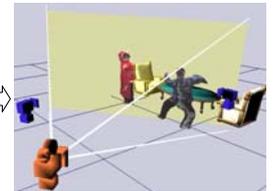
以上のように、MR-PreViz 撮影とカメラワーク・オーサリングツールの実現は一応の成功を収めた。ただし、これは基本概念の有効性を検証したに過ぎず、まだ大いに改善の余地がある。PreViz ではあっても、屋外利用でのカメラの動きの自由度アップが望まれる。また、各ツールデータ伝達方式や改良など作業の煩雑さをできるだけ軽減することや、コンピュータ操作に慣れない映画人が使えるような GUI に改善して行くことも、本技術を普及させる上で重要であると考ええる。



(a) 統合アクションエディタによるアクション編集



(b) カメラワークレコーダを用いた MR-PreViz 撮影



(c) MRPブラウザによる MR-PreViz 撮影の再現

図7 MR-PreViz の試行結果



図8 オープンセットでの MR-PreViz(左)と本番撮影(右)

## 謝 辞

本研究を進める上で、数々のご協力をいただいた研究グループのメンバー各位に感謝いたします。3次元ビデオデータの収録と提供は、本プロジェクトの研究分担者である京都大学松山研究室の協力によるものである。本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 (CREST タイプ)「映画制作を支援する複合現実型可視化技術」による。

## 文 献

- [1] Y. Ohta and H. Tamura: "Mixed reality---Merging real and virtual worlds," Ohmsha & Springer, 1999.
- [2] 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リゼーション", 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, 2006.
- [3] D. アホソン (岩本, 出口訳): "映画の文法- 実作品にみる撮影と編集の技法", 紀伊国屋書店, 1980.
- [4] 北原格, 坂本竜基, キムハンソン, 小暮潔: "Cinematized reality: 自由視点映像技術を用いた日常行動映像の映画的演出手法", 信学技報 PRMU2006-44, pp. 31 - 36, 2006.
- [5] L.-W. He, M. F. Cohen, and D. H. Salesin: "The virtual cinematographer paradigm for automatic real-time camera control and directing," Proc. Annual Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 96), Vol.30, pp. 217 - 224, 1996.
- [6] Y. Yang and S. Nakano: "A study on camerawork extraction technology from compressed image information," 映像情報メディア学会誌, vol.53, No.10, pp. 1439 - 1444, 1999.