

## モーションキャプチャと複合現実感技術を用いた 舞踊の教育支援システムの試み

加藤 広務 八村 広三郎 田村 秀行

立命館大学大学院 理工学研究科

〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

E-mail:{hiromu, hachi, tamura}@img.cs.ritsumeai.ac.jp

**概要** 複合現実感技術は、現実世界の情景と、CGにより作り出す仮想世界とを違和感無く、リアルタイムに合成表示する技術で、近年、エンタテインメントや製造業などの分野で広く注目を集めている。本稿では、モーションキャプチャにより取得された舞踊の身体動作データを、複合現実感システムを用いて表示・観察することによる舞踊の教育・学習支援システムについて提案する。舞踊の教育・指導・学習にとって必要ないくつかの表示機能について述べる。また、このような新しい対話的システムにとって必要なユーザインタフェースについても、いくつかの試みを提案する。

**キーワード** : モーションキャプチャ, 複合現実感, 舞踊, 支援システム

## A Prototype Dance Training Support System with Motion Capture and Mixed Reality Technologies

Hiromu Kato, Kozaburo Hachimura, and Hideyuki Tamura

Department of Computer Science, Ritsumeikan University

1-1-1, Nojihigashi, Kusatsu-shi, Shiga 525-8577, Japan

E-mail:{hiromu, hachi, tamura}@img.cs.ritsumeai.ac.jp

**Abstract** The mixed reality technology, with which scenes of real world and virtual world generated by CG are mixed in real time, has been drawing considerable attention in the fields of entertainment, manufacturing, and so on. This paper presents a prototype support system for dance training and education with the mixed reality technology and motion capture. Several functions which are thought to be significant for dance education, training and learning are devised and evaluated. Also, some user interface functions for this kind of new interactive systems are proposed.

**Key words** : Motion capture, Mixed reality, Dance, Dance Training

### 1 はじめに

モーションキャプチャシステムは、ゲームや映画などのエンタテインメントの分野で、人間の動作をCGキャラクタで再現するために広く使われるようになってきた。近年では、舞踊や芸能などの無形文化財のデジタルアーカイブのためにもモーションキャプチャが利用されるようになってきた [1]。

モーションキャプチャによる舞踊の記録では、ビデオのような2次元映像ではなく、3次元のデータとして保存できるので、このデータを元にして3次元CG

によるキャラクタアニメーションを作成し、自由な視点から観察できるようにすることができる。また、計測データに基づいて、身体動作の比較、検索、特徴の抽出などの研究が行なわれている [2][3]。

さて、舞踊は複雑な身体運動であることから、これを的確に文字や図形で記述することが難しい。バレエやダンスについては、Labanotationとよばれる舞踊譜が考案され利用されている [4] が、日本舞踊あるいはさまざまな民族舞踊などについては、譜面のような記法はほとんど利用されていない。したがって、このような舞踊の教育や伝承は、指導者の身体の動きを真

似ることによって行なわれるのが基本である。

指導者との対面指導で行なわれる場合は問題ないとして、ビデオや映画などの映像を用いて学習する際には、特に初心者にとっては3次元的な身のこなしなどを映像で会得するのは難しい。また、モーションキャプチャデータから作成した3次元アニメーションにより、3次元的動作を確認することはできるが、単に観察するだけでは、模倣している自分の体の動きとの一致や相違点を確認するのは困難である。

仮想現実感 (Virtual Reality; VR) の技術を利用すれば、指導者のモーションキャプチャデータによるCGアニメーションを、あたかも現実の指導者が目の前に居るかのように表示し体験しながら学習することができる。VRの技術は模倣しながら学習することに対して有用である。特に、このとき、家元や人間国宝級の指導者によるデータを利用できるとすれば大変効果的でもある。

身体動作の教育、訓練にモーションキャプチャとCGを利用したものとして、スポーツの分野では [5] のような研究が行われている。これでは、ゴルフスウィングの動作について、学習者の動作は光学式モーションキャプチャ装置によりリアルタイムに取得し、これに、あらかじめ取得してある熟練者の動作データをCGキャラクターの像として重ね合わせて学習者が装着したHMDに提示し、全身の姿勢と動作をリアルタイムに学習するものである。この研究では、ゴルフの経験のない初心者にとっては、この方法が有効に働くことが示唆されている。

また、舞踊へのVRの利用については文献 [6] の研究がある。これでは、“Ghost Metaphor” と呼ばれる考え方に従い、前方のスクリーンに、指導者 (目標動作) の動作が“Ghost” のように表示され、これに学習者自身のCG像 (学習者のモーションキャプチャにより得られる) を重ね合わせるように動作して学習するものである。

本研究では、主に舞踊の身体動作を対象とし、学習者自身による学習や訓練のためだけでなく、指導者による指導にまで視野に入れた身体動作教育支援システムを提案する。ここではモーションキャプチャとVRの発展形である複合現実感 (Mixed Reality; MR) を利用する。

## 2 複合現実感

複合現実感とは、CGで描く「仮想世界」を「現実世界」と融合させ、3次元空間の中でインタラクティブ

なアプリケーションを構築する技術のことをいう。従来の仮想現実感の延長線上にあり、エンターテインメントをはじめ、医療・建築・福祉など、さまざまな分野での応用が期待されている [7]。

すべての情景をCGで作成するVRでなく、MRで行う利点としては、現実世界の情景をそのまま利用することができることがあげられる。これにより、すべてをCGで作成するコストを省くことができる。また、現実の物体との比較ができるためにCGのスケール感が分かりやすくなり、それによりリアリティと没入感が高まることがあげられる。

舞踊での応用で言えば、目の前の現実の舞台の上で、CGキャラクターが踊ること、また、さらに、これに実際の人物がCGキャラクターと競演するのを観察することなどが考えられる。対象に回り込んでさまざまな視点から観察することもできる。舞踊の指導を行う場面では、指導者がHMDを装着し、CGキャラクターによる模範演技と初心者の実際の映像とを合成して観察することにより、動作の比較が容易になり、適切な指導ができるようになると思われる。

複合現実感においては、現実世界と仮想世界を違和感なく融合させるために、これらの中で以下のような整合性が確保されていないといけない。

- 幾何学的整合性 現実世界の座標系と仮想世界の座標系の関係を常に一定に保ち、観察者の視点や視線方向が変化しても、仮想世界のCG像が現実世界に対してずれたりしないようにする。
- 時間的整合性 現実世界で起きている変化に即応してCG像を生成し、リアルタイムで表示すること。CG像の表示に時間的遅れが生じないようにする必要がある。
- 光学的整合性 現実世界の照明条件とCGによる仮想世界の照明条件を同一に保ち、仮想および現実世界の物体への陰影の付与などを適切に行うこと。

この中で、幾何学的整合性については、基本的にはトラッキングセンサにより観察者の位置と方向を計測することにより解決できる。また、時間的整合性については、近年のPCの高性能化に伴い、CG描画の時間が問題になることはあまり多くないが、精密で複雑なCGオブジェクトを表示する必要がある場合には問題になる。最後の光学的整合性については、現実世界の照明 (光源) の状況、および、現実世界のオブジェクトの幾何情報 (位置や形状) が把握できないと、これを正しく保つことはできない。これらは、高度なコン

コンピュータビジョンの課題であり、今のところ完全な解決策は得られていない。

### 3 MRプラットフォーム

“MRプラットフォーム”はCanon MRシステム研究所によって開発された複合現実感のためのシステムで、独自仕様のHMD(Head Mounted Display)と、位置姿勢センサとして磁気式トラッキングセンサシステム(Polhemus社Fastrak)を用いている。HMD装着の様子を図1に、HMDの仕様を表1に示す。

VRで一般的に使用されるHMDには、装着者にはコンピュータ映像しか見えない完全密閉型と、周囲の情景も見えるシースルー型がある。MRでは、周囲の情景にコンピュータ映像を重ね合わせるためにシースルー型が用いられる。このシースルー型HMDにはビデオシースルー方式と光学式シースルー方式がある。MRプラットフォームシステムではビデオシースルー方式を用いている。光学式はハーフミラーにより光学像とCG像を合成するものであるが、ビデオシースルー方式では、HMDに組み込まれたビデオカメラから得た入力画像を、電子的にCG像と合成してHMDのディスプレイに表示するものである。MRプラットフォームシステムで用いているHMDでは、撮像系の光軸と装着者の視線が一致するように光学系に工夫がしてある点に特長がある[8]。MRプラットフォームシステムの構成を図2に示す。



図1: ビデオシースルー HMD

前述したように、現実世界と仮想世界を違和感なく合成するためには、現実世界と仮想世界の位置合わせを行う必要がある。この位置合わせを行うために、磁

視野角	水平方向 51度 垂直方向 37度
重量	327g
表示解像度	VGA (640x480 画素)
カメラ入力	NTSC

表1: HMDの仕様

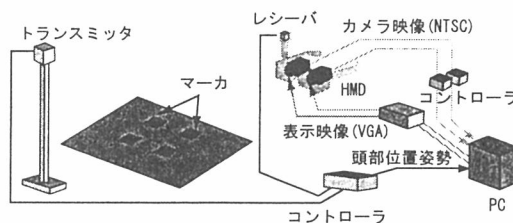


図2: MRプラットフォームシステムの概要

気式6自由度位置姿勢センサが用いられている。

図3は本システムにおける各座標系の関係を示している。センサ座標系は世界座標系に対して同定されており、センサ座標系に対するレシーバ座標系の相対的位置と方向はHMDに取り付けたセンサレシーバにより知ることができるので、HMDの世界座標系における位置と方向を得ることができる。

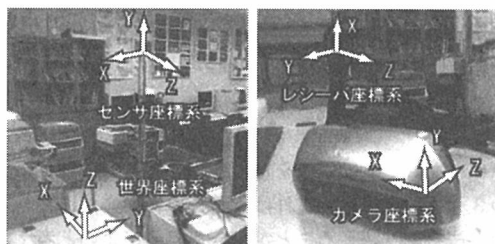


図3: 座標系

図2に示すようにセンサレシーバがHMDに組み込まれているので、ユーザの視線位置・方向と頭部の姿勢を知ることができる。しかし、この磁気式センサだけでは外部の磁場や周囲の磁性体の存在など、環境の影響を受けやすく、位置合わせに誤差が生じることがある。このため、本システムでは、視覚マークを用いたビジョニックな手法も併用するハイブリッド位置合わせ手法が採用されている[9]。この位置合わせ手法は、磁気センサを用いてカメラの概略位置と姿勢を計測し、さらにカメラで撮影した映像から、現実空間の中に存在する、位置が既知のマーカ位置を求め、これ

に従ってカメラ位置姿勢を補正するものである。この処理の流れを図4に示す。

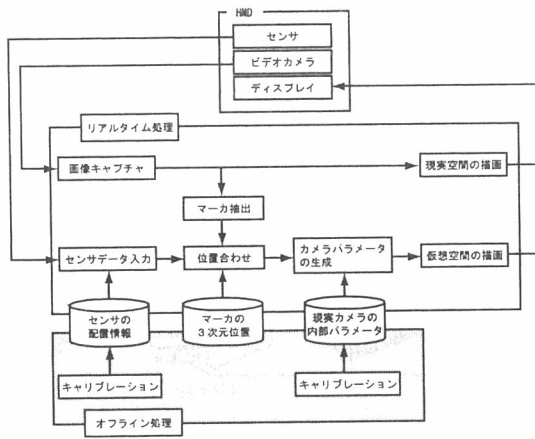


図4: 処理の流れ

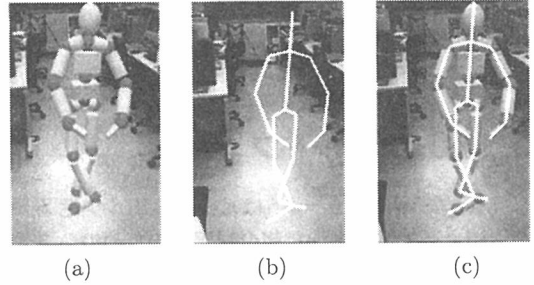


図5: CG キャラクタ

る必要もなく、細かい動きを間近で確認することや、同じ動作を繰り返し確認することができるといった利点がある。図6は室内の床の上でCGキャラクターが踊っている情景である。

なお、図6はHMD上に表示される画像であり(a)が左目のディスプレイ、(b)が右目のディスプレイに映し出される。これにより、ステレオ視することが可能となる。以下の表示方法においても同様の表示となるが、以後、本稿の表示例では片方の画像のみを示す。

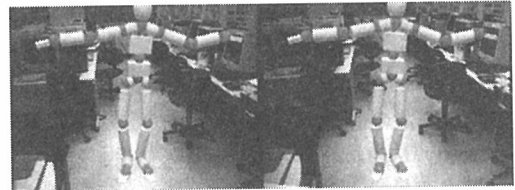
## 4 実験システムの構築

### 4.1 表示モード

現実世界へのCGキャラクターによる身体動作の合成表示について、舞踊の学習と指導のために利用できると思われるいくつかの方式を試みた。その際のCGキャラクターの表示方法として、ソリッドモデル(図5(a))、ワイヤフレームモデル(図5(b))、ソリッドモデルとワイヤフレームモデルを重ね合わせたモデル(図5(c))の3つを用意した。これは、舞踊の教育方法により表示方法を切り替えることができたほうがよいと考えたためである。例えば、骨格の動きを詳しく観察する場合は、ワイヤフレームのほうがよく、また、稽古に利用する場合など立体感や存在感が必要な場合はソリッドモデルのほうがよいと考えられる。もちろん、今後は実際に衣装を着衣したモデル等の利用も考えられる。

#### 4.1.1 等身大モデル表示

CGによるキャラクターを視覚的に等身大で表示することで、ユーザは目の前に舞踊家がいるのと同じような感覚を味わうことができる。この表示方法はユーザが師匠などから舞踊を学び模倣しようと考えた場合の形態に一番近いものとなる。その際に舞踊家に気を配



(a) 左目像 (b) 右目像

図6: 等身大モデル表示

#### 4.1.2 縮小モデル表示

CGキャラクターを実寸より縮小して表示することで、ユーザは普段は観察することができない視点からも舞踊を観察することができる。これにより、たとえば模型の舞台の上でCGキャラクターを踊らせることができる。図7は机の上にマーカを配置することで現実空間と仮想空間の位置合わせを安定させており、あたかもCGキャラクターが机の上で踊っているかのように見える。

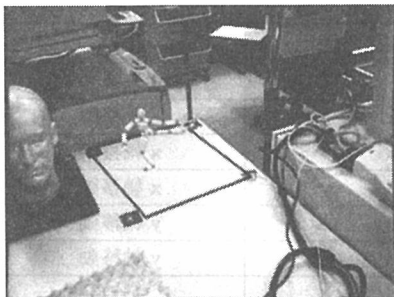


図 7: 縮小モデル表示

#### 4.1.3 観察者自身と CG 像の重畳表示

CG キャラクタとユーザ自身の像を重畳表示することで、ユーザが CG キャラクタと動きを比較することができる。この表示方式では手や足の動きに特徴のある舞踊の学習に有効であると考えられる。図 8 は観察者の足もとに CG 像の足の部分を重ねて表示したものである。

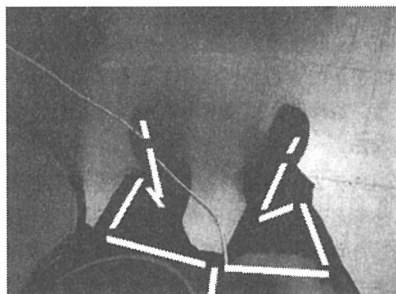


図 8: 観察者自身と CG 像の重畳表示

#### 4.1.4 演技者と CG 像の同時並置表示

CG キャラクタを演技者の像の横に並べて表示する。これにより、HMD を装着しているユーザが指導者となり、CG キャラクタの動作と演技者の動作を比較し演技者に指示をすることができる。したがって、ユーザは必ずしも舞踊に精通していなくても指導を行うことができる。図 9 は演技者に CG キャラクタと同じ踊りを踊らせて、それを観察しているものである。



図 9: 演技者と CG 像の同時並置表示

#### 4.1.5 演技者と CG 像の同時重畳表示

このモードでは、CG キャラクタを演技者の像の上に重ねて表示する。指導者としてのユーザは、前述の同時並置表示と同様に、動作を比較しながら演技者を指導することができるが、この場合、CG キャラクタの模範動作とのずれをより明確に捉えることができる。図 10 はこの表示モードでの表示例である。このモードでは図 10 のようなスティックモデルでの表示の方が望ましい。



図 10: 演技者と CG 像の同時重畳表示

## 4.2 操作インタフェース

本システムでは、HMD に CG キャラクタによる舞踊動作を表示させることが基本になる。視点や視線方向の移動については、磁気センサによるトラッキングシステムで自動的にその情報が得られるので、このための特別なインタフェースを用意する必要はない。一方、CG キャラクタは舞踊の動作を行うので、動作の細かな観察のために、動作の開始、停止、スローモーションなどについての、ユーザによる操作が必要である。また、前節で述べた表示モードについても、観察

中に自由に切り替えのことができることが望まれる。本システムでは、操作者は基本的に HMD を装着して操作することになるので、このような状況下で無理なく自由に操作ができるインタフェースの仕組みを実現することが必要である。

ここでは、舞踊動作の表示制御を中心に、どのような操作インタフェースが適切かについて、いくつかのモデルを考え、実験により検討する。舞踊の教育支援システムとしての機能としては、現在のところ、表示モードの切り替え、CG モデルの変更、移動、回転、拡大縮小、一時停止、スロー再生、早送り再生といったものを想定している。

現在、最も一般的な入力装置としては、キーボードやマウスがある。これらは誰にでも容易に扱うことができる。しかし、MR での利用を考えた場合、ユーザは操作のたびにキーボードの前まで移動しなければならず、また、キーボード操作のため、視線をキーボードに向ける必要がある。このため、現実空間を自由に移動し観察することができるという MR の利点を犠牲にすることになる。マウスについても、同様である。ここでは、以下に示すようないくつかの方法を提案する。

#### 4.2.1 ジョイパッド

ユーザが手に持って操作することができるインタフェースとして、コンピュータゲームでよく用いられているジョイパッド (図 11) がある。これにより、現実空間内を移動しながら、操作を行うことが可能となる。ここでは、表 2 に示すようなキー配置を設定し、CG の表示再生を操作できるようにした。このキー配置では、コンピュータゲームを行ったことがある人ならば、操作に習熟するまでにそれほど時間を必要としないことが実験により確かめられた。キーの設定を目的やユーザの好みによって変更できるようにすることで、より柔軟に操作感を高めることができ。

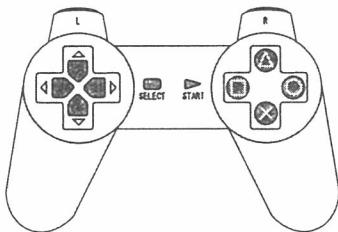


図 11: ジョイパッド

キー	機能
↑	z 軸移動
↓	z 軸移動
←	x 軸移動
→	x 軸移動
△	y 軸移動
○	y 軸移動
×	スロー再生
□	早送り再生
L1	y 軸回転
R1	y 軸回転
L2	拡大
R2	縮小
SELECT	モデル変更
SATRT	一時停止

表 2: キーへの機能の割付け例

#### 4.2.2 仮想コントローラ

ジョイパッドを用いると現実空間を比較的自由に移動することができるが、操作するために両手が塞がってしまう。これは、操作者自身が舞踊を行う場合には問題になる。

MR システムの特長である、仮想と現実の融合ということを考えると、現実世界の情景の中に、仮想 (CG) で作成したコントローラを置き、これを、操作のためのインタフェースとして利用することが考えられる。ここではこれを「仮想コントローラ」と呼ぶ。

仮想コントローラには、いくつかのボタンやダイヤルなどの形状と機能を持たせる。この仮想コントローラは、必ずしも常に視野内に表示しておく必要はなく、必要に応じて表示させればよい。また、その形状も目的に応じてさまざまなものを用意しておくこともできるし、ダイナミックに形状を変化させることもできる。また、その視野内での置き方についても、空間内に浮遊させることもできるし、マーカを基準にして机などの現実のオブジェクトの上に固定的に置くこともできる。

仮想コントローラの操作については、HMD を装着しているユーザの指により行うことを考える。指先をコントローラのボタン位置にまで持っていくことで、指先とボタンとの接触判定を行い、これでそのボタンの動作を起動させる。このとき、指先の位置をどのよ

うにして知るかが課題である。理想的には、HMDの2眼のビデオ映像から得られる操作者の手指の画像を解析し、これにより指先の3次元位置を推定する方法が望ましいが、指先位置の切り出しと3次元位置の推定を安定に行うのは、現段階では難しい。

このため、ここでは、最も簡単な方法として、図12のように指先（たとえば右手の人差し指の爪の上）に小型の磁気センサを取り付けておく方法をとる。これにより指先の位置を知ることができる。この場合、センサを手に取り付ける必要があるが、ジョイパッドのように両手が塞がってしまうわけではないし、センサは小さなものであるため、あまり大きな負担にはならないと考えられる。しかし、磁気センサから得られる位置情報には誤差も含み、これと仮想世界の座標とを厳密に一致させることは難しい。このため、仮想コントローラのボタン類はある程度の大きさを持ったものとする必要がある。

さて、CGによる仮想のコントローラを手で操作することを考えた場合、手の方がコントローラより手前にあるのが一般的である。このとき、奥にあるコントローラの、手前にある手が遮っている部分を隠す必要がある。このためには、手の形状を画像処理により切り出し、CG像のマスク処理を行うことが解決策として考えられる。しかし、この処理も安定に行うのは必ずしも容易ではない。ここでは、図13に示すような、手の形をしたCG像（「仮想ハンド」と呼ぶ）を利用する。これは手に磁気センサをつけて位置を知るとともに、これをもとにして、これと同じ位置にCGの手を描画し、コントローラの操作が違和感なく行えるようにするものである。図14に仮想コントローラを仮想ハンドによって操作している様子を示す。

仮想コントローラの形状としては、ボタン操作が基本になると考えられるが、CGキャラクタによる舞踊動作を詳細に観察するためには、ビデオデッキなどの操作に用いられているジョグダイヤルのような機能が有用ではないかと考えられる。

#### 4.2.3 その他のインタフェース

前節で述べた仮想コントローラの操作では、コントローラと、操作する指先との位置的整合性が正しく保たれることが必要で、この部分の処理の負担が大きい。したがって、位置による制御ではなく、指先や手のような体の部位の移動や停止による方法をとることも考えられる。この場合、移動方向、移動のスピード、回転運動などのそれぞれに意味を付与し、これによ



図 12: 指先へのセンサの取り付け

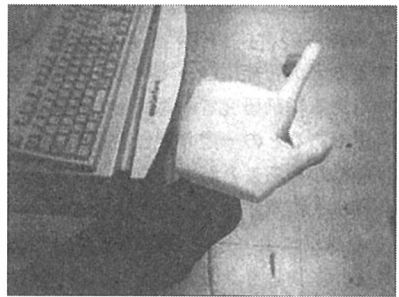


図 13: 仮想ハンド

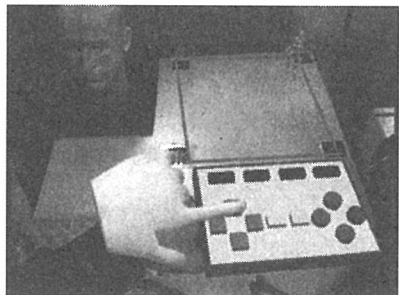


図 14: 仮想コントローラ操作例



て各種の操作を行う。あまり多くの機能を持たせることはできないが、両手をうまく使うなどして、使いやすいついものにしてできる可能性がある。この際も、最も簡単な表現としては手にセンサを取り付ける方法が考えられる。また、動画像処理により手の運動を検出する方法もある。

さらに少しアプローチは異なるが、音声認識技術の利用があげられる。いくつかの簡単なコマンド程度なら、十分利用できるのではないかと考えている。特に、舞踊の指導・訓練という場面で、両手が自由になる点は有意義である。

## 5 あとがき

本研究では、モーションキャプチャによる身体動作と複合現実感システムを組み合わせることにより、舞踊の分野での指導や学習に利用が可能となる新たな手法を提案した。現段階では MR プラットフォームによって舞踊等の身体動作データの 3 次元表示と再生制御することが可能になっている。このシステムを舞踊家でもある舞踊研究者に試用してもらったところ、有用であるとの一定の評価を得た。本システムの有用性を確かめることができたと考えている。現時点での評価はまだ不十分であるが、今後さまざまな利用形態での試用により十分な評価を積み重ねていきたい。今後、体験者自身の動きをリアルタイムにモーションキャプチャし、CG 化して体験者の目の前に表示することを可能とするなど、より高度で実用性の高いシステムの開発と評価を行う予定である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、日本大学芸術学部の丸茂祐佳先生にはさまざまご指導いただいた。心より感謝する次第である。また、日頃モーションキャプチャおよびデータ編集にお世話になっている本学研究員の小島一成氏に感謝する。なお、本研究は、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「京都アート・エンタテインメント創成研究」、および、文部科学省「オープンリサーチセンター補助事業」の援助を得て行われた。

## 参考文献

- [1] 八村広三郎：舞踊のデジタル化 モーションキャプチャと Labanotation の利用, システム/制御/情報, vol.46, no.8, pp.490-497, 2002.
- [2] 八村広三郎：モーションキャプチャデータからの特徴フレームの抽出, 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, pp.305-308, 2002.
- [3] 吉村ミツ, 酒井由美子, 甲斐民子, 吉村功: 舞踊の「振り」部分抽出とその特性の定量化の試み, 電情通論文誌, J84-D11, no.12, pp. 2644-2653, 2001.
- [4] Kazuya Kojima, Kozaburo Hachimura and Minako Nakamura: LabanEditor: Graphical Editor for Dance Notation, Proc. IEEE ROMAN 2002 Workshop, pp.59-64 2002.
- [5] 本荘直樹, 満田隆, 伊坂忠夫, 川村貞夫: HMD を用いたスポーツスキル学習支援装置の開発, 日本機械学会, D&D2003, CD-ROM 出版, 2003.
- [6] Ungyeon Yang et al: Just Follow Me: A VR-Based Motion Training System, ACM SIGGRAPH 2001, p.126, 2001.
- [7] 大島登志一, 黒木剛, 小林俊広, 山本裕之, 田村秀行: 2001 年 MR 空間の旅 複合現実感技術の映像制作分野への応用, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.7, no.2, pp.219-226, 2002.
- [8] 山本裕之: 複合現実感 仮想と現実の境界から見える世界, 情報処理, vol.43, no.3, pp.213-216, 2002.
- [9] 山内晋二, 山本裕之, 田村秀行: 複合現実感のためのハイブリッド位置合わせ手法—6 自由度センサと ICP アルゴリズムの併用—, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002) 論文集 I, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, vol.2002, no.11, pp.1.107-1.112, 2002.