

モーションキャプチャとネットワークを用いた 遠隔地間ダンスインタラクショナルシステムに関する研究

清水圭太

崔雄

八村広三郎

立命館大学大学院 理工学研究科 立命館大学 COE 推進機構 立命館大学 情報理工学部

我々は、VR 空間上で遠隔地にいるダンサー同士がリアルタイムでダンスインタラクショナルを行うためのシステムを構築する。本システムはモーションキャプチャを用いてダンサーのダンス動作を取得し、これをリアルタイムにネットワーク経由で遠隔地に送信して大型 VR 環境上でダンサーの動作を CG キャラクタを用いて表示することである。ダンサーは VR 環境上に CG キャラクタとして表示された自分と相手のダンサー動作を確認しながらリアルタイムでダンスインタラクショナルを行う。我々は提案システムを用いて、約 30km 離れた遠隔地にいる 2 人のダンサーのダンス動作を同時に取得し、ダンサー同士がダンスインタラクショナルをする実験と構築したシステムの評価を行う。

Research on Interaction System of Tele-Dance with Motion Capture and Network

Keita Shimizu
Graduate school of
Science and Engineering
Ritsumeikan University

Woong Choi
Center for Promotion of
the COE
Ritsumeikan University

Kouzaburo Hachimura
College of
Information Science and Engineering
Ritsumeikan University

We implement an interaction system of tele-dance between remote sites in the shared virtual reality space. In this system, we use motion capture systems to capture motion of dancers, and transmit the data to remote site via network. At each site, motion of virtual human in accordance with the motion of dancer at remote site is displayed by IVE. By using this system, interaction of tele-dance between remote sites is possible. We carry out the experiment of tele-dance and the evaluation of the system connecting two campuses which are about 30km apart each other.

1. はじめに

近年、モーションキャプチャシステムの登場により、人間の身体動作をコンピュータを用いて正確に計測、記録することが可能となった[1][2]。モーションキャプチャシステムで取得された身体動作は、映画やゲームなどのエンタテインメント分野やスポーツ、医療、さらにはダンスなどの伝統芸能を保存することにも利用されている。特に、ダンス記録の分野では、今までになかった新たな記録と保存のための方法としてモーションキャプチャシステムが注目されている。

さらに、VR 空間上でインタラクショナルやコラボレーションを行う研究も盛んに行われている。Macedonia らは身体動作データベースを用いて VR 空間上で人間と CG キャラクタの間でインタラクショナルを行うための研究を紹介している[3]。人間の動作をモーションキャプチャシステムを用いて取得し、CG キャラクタは取得した人間の動作に対応する行動を身体動作データベースの中から選択して行う。たとえば、人間がタバコに火をつけるという動作を行えば、コンピュータが手の指の位置、ひじの角度などの情報を元に動作データベースを検索して人間

が行った動作はタバコに火をつけている動作だということを認識し、CG キャラクタはそれに対して禁煙なので火を消せ、という動作を返す。

それ以外にも、CG による仮想世界と現実世界の情景とをリアルタイムで合成表示する複合現実感 (MR : Mixed Reality) と呼ばれる技術を用いて舞踊の教育を行うためのシステムを構築するという研究も行われている[4]。ヘッドマウントディスプレイ上にモーションキャプチャデータをもとに作成した CG キャラクタアニメを表示させ、CG キャラクタの動作を模倣することで舞踊の学習を行うことができる。また、ヘッドマウントディスプレイとモーションキャプチャを用いた太極拳の学習支援システムを構築するための研究もなされている[5]。さらに、Blue-C というビデオカメラを用いた没入型の VR 装置を用いて、2 人の人間で VR 空間を共有し、コラボレーションを行うという研究も行われている[6]。

本研究では、モーションキャプチャの新たな利用形態として、モーションキャプチャにより取得したダンサーのダンス動作データをもとにダンス動作を VR (Virtual Reality) 空間上で CG キャラクタアニメとして再現を行う。これは、実際の演技者のダンス動作と VR 空間上の CG

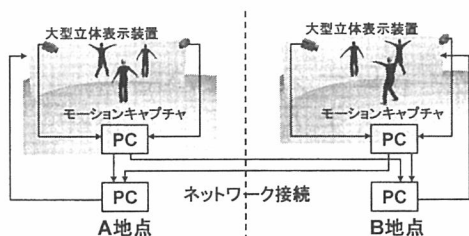


図1. 遠隔地間インタラクション

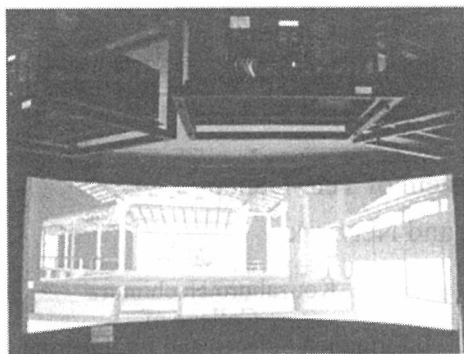


図2. 大型立体表示装置

キャラクターがリアルタイムで協調し、実際にダンスを共演しているような感覚をVR空間上で体感することができるようなコンテンツの作成することである。その一環システムとして、図1のようにモーションキャプチャシステムを用いてダンス動作データをリアルタイムでキャプチャし、このデータをネットワーク経由で送信して大型立体表示装置(IVE: Immersive Virtual Environment)でアニメーションを表示するというシステムを構築する。このシステムを用いることで、遠隔地間の2人のダンスの演技者がVR空間上でリアルタイムにインタラクションを行うことが可能になる。

本研究の目的は、遠隔地にいるダンサー同士がVR空間を介して自由にダンスインタラクションを行うということを可能にすることである。そのためのシステムを開発するために、キャプチャしたダンス動作データをリアルタイムでネットワークを介して遠隔地に送信するプログラムとダンス動作データを受信してVR空間上にCGキャラクターを表示させるためのプログラムを作成する。構築したシステムを用いて遠隔地からダンス動作データを送信してCGキャラクターを表示させる実験と、2地点からダンス動作データを送信してダンスインタラクションする実験を行う。

2. 遠隔地間ダンスインタラクションシステムの構築

遠隔地間ダンスインタラクションシステムは

大型立体表示装置、光学式モーションキャプチャ、遠隔地間のモーションデータの転送の3つのパートで構成されている。

2.1 大型立体表示装置

図2のような、大型立体表示装置(IVE)は1つのプログラムを3台のPCを用いて同時に処理し、3台のプロジェクタでスクリーンに投影する。プログラムはCAVELib[7]とよばれるライブラリを用いて記述されており、1台のコンピュータでプログラムを実行するとCAVELibがプロセスを分散して残りの2台のコンピュータでも同じプログラムが同時に実行される。

スクリーン上の映像は、左右両目の各視点で見た2つの映像がスクリーンに120Hz以上で交互に映写されるようになっている。これを液晶立体メガネを通して見ることで立体視が可能になる。左目視点の映像がスクリーンに投影されているときは液晶立体メガネの左目のシャッターのみが開き、右目視点の映像のときは右目のシャッターのみが開く、ということが高速で行われている。これにより、ユーザは左右両目の異なる映像を交互に1秒間に60回以上ずつ見ることになり、ユーザの脳内で左右2種類の視点の映像が自然に融合されて立体視が行われる。シャッターの開閉時間は3ms以下、閉閉時間は0.2ms以下である。メガネの中央には赤外線センサーが装着されていて、赤外線エミッターからの赤外線信号によってシャッターの開閉時間を調節している。

大型スクリーンは3枚のスクリーンをつなぎ合わせたもので、アーチ型に湾曲している。そのため、プロジェクタで映像を写すとゆがんで表示されてしまう。この歪みとスクリーンのつなぎ目を補正し、自然な映像を表示させるために、CompactUTMというコンピュータが用意されている。

2.2 光学式モーションキャプチャ

光学式モーションキャプチャシステムでは身体各部に球形のマークを取り付け、複数のカメラで撮影する。カメラについているLEDから光線が射出されていて、マークによって反射された光線をカメラが感知してマークの位置座標を認識する。マークは直径1cmから3cmほどのもので、キャプチャされる人の動作が制限されることはない。これにより、ダンスなどの複雑な身体動作のキャプチャも行うことができる。

マークは主に人体の関節部や末端に取り付けられるが、体の表面に取り付けられているためにマークの位置と関節の位置が正確に一致しているわけではない。そこで、周辺のマークの座標をもとに関節の位置を測定し、それを結ぶことで人体の骨格モデルを作成する。本研究では、Vicon社のVicon512[8]とMotionAnalysis社の

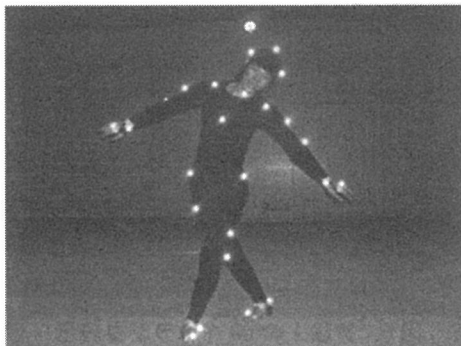


図 3. モーションキャプチャの様子

MAC3D システム[9]の 2 種類のモーションキャプチャシステムを使用した。

図 3 はモーションキャプチャの様子である。

2.3 遠隔地間のモーションデータの転送

ダンス動作データをリアルタイムで取得し、遠隔地にデータを送信して CG キャラクタアニメーションを表示させるためのシステムを作成する。

システムの構成図とシステム上でのデータの流れは図 4 のように遠隔地にある 2 地点 A, B でモーションキャプチャを行い、MAC3D システムでキャプチャしたデータは EvaRTServer, Vicon512 でキャプチャしたデータは ViconRTServer というプログラムを経由して IVE で CG キャラクタを表示させるための MotionViewer というプログラムに送信される。プログラムにおけるデータの送受信部分は Winsock を使用して書かれていて、ネットワーク経由でデータの受け渡しが行われる。図 4 では MAC3D システム, Vicon512 の 2 種類のシステムを使用しているが、地点 A, 地点 B で同じモーションキャプチャシステムを使用することも可能である。

モーションキャプチャシステムによって取得されたダンス動作データには、マーカの 3 次元位置座標、関節の回転角度の情報が格納されているが、本システムではマーカの 3 次元位置座標のみを利用データとした。そのデータをもとにキャラクタアニメを生成し、IVE 上でダンス動作を再現する。キャプチャしたダンス動作データをリアルタイムで受信する機能を有したサンプルプログラムが用意されている。本研究ではこのサンプルプログラムを利用してシステムを開発した。MotionAnalysis 社が提供しているサンプルプログラムを EvaRTSDKExample, Vicon 社が提供しているサンプルプログラムを ExampleClient という。本研究ではこれらのサンプルプログラムを利用してシステムを開発した。本システムの構築のために開発したプログラムは、IVE で CG キャラクタアニメーションを表

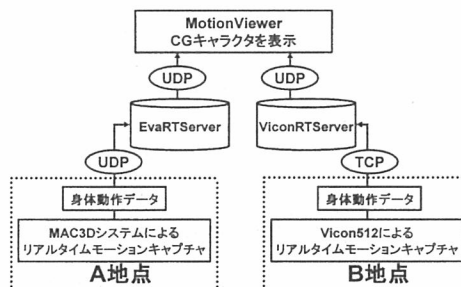


図 4. 遠隔地間のモーションデータの転送

示させる MotionViewer, EvaRT から身体動作データをリアルタイムで受信する EvaRTServer, ViconRT Tarsus から身体動作データをリアルタイムで受信する ViconRTServer という 3 種類のものである。

2.3.1 EvaRTServer

EvaRTSDKExample は MotionAnalysis 社の MAC3D システムでキャプチャした身体動作データをバイナリ形式でリアルタイムで受信し、テキストデータとしてファイルに書き込むプログラムである。本研究ではこの EvaRTSDKSample を、マーカの 3 次元座標値を文字列データに変換して、1 フレームごとにデータをネットワーク経由で MotionViewer に送信するプログラムに変更した。変更してできたプログラムの名前を EvaRTServer とする。データの送受信部分には Winsock を使用し、データの送信用、受信用の 2 つのソケットを作成してデータの送受信を行う。ソケットはダンス動作データの受信、文字列データの送信ともに UDP のソケットを用いている。

EvaRTServer の操作方法是以下のとおりである。

- Step1:** EvaRT を起動している PC の IP アドレスを指定
- Step2:** リアルタイムキャプチャを行うフレーム数を指定
- Step3:** 使用するストリームデータの形式と、その形式でテキストファイルを作成するかを選択
- Step4:** MotionViewer を起動している PC の IP アドレスを指定
- Step5:** MotionViewer との接続に用いるポート番号を指定

2.3.2 ViconRTServer

ExampleClient は、Vicon 社の Vicon512 でキャプチャしたダンス動作データをバイナリ形式でリアルタイムで受信するプログラムである。内部仕様は、Vicon512 からリアルタイムで送信されているデータを Marker と Body の構造体に格納する。ここからさらに、これらのデータの

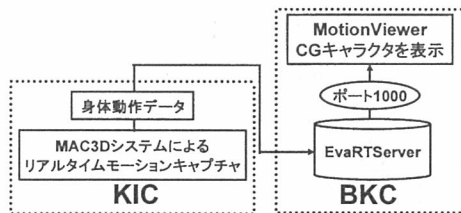


図 5. 実験 1 の概要図

うちの Marker に含まれるマーカの X 座標, マーカの Y 座標, マーカの Z 座標を文字列型のデータに変換し, 1 フレームごとにデータをネットワーク経由で MotionViewer に送信するプログラムに変更する. 変更してできたプログラムの名前を ViconRTServer とする. データの送受信部分には Winsock を使用し, データの送信用, 受信用の 2 つのソケットを作成してデータの送受信を行う. ダンス動作データの受信には TCP/IP のソケット, 文字列データの送信には UDP のソケットを用いている.

ViconRTServer の操作方法は以下のとおりである.

- Step1:** ViconRT を起動している PC の IP アドレスを指定
- Step2:** MotionViewer を起動している PC の IP アドレスを指定
- Step3:** MotionViewer との接続に用いるポート番号

2.3.3 MotionViewer

EvaRTServer や ViconRTServer から文字列データを 1 フレームごとに受信し, IVE 上に CG キャラクタを表示させるプログラムである. 受信した文字列データを数値に変換し, 配列に格納して CG キャラクタの関節の 3 次元座標値として使用する. ダンス動作データをキャプチャしているダンサーのダンス動作がリアルタイムで IVE 上に再現される.

3. 遠隔地間ダンスインタラクションの実験

構築したダンスインタラクションシステムの有効性を確認するために, 実験 1 は遠隔地でモーションキャプチャを行いながらキャプチャしたダンス動作データをリアルタイムでネットワークを用いて遠隔地に送信して CG キャラクタを表示する実験を行う. 実験 2 は, 2 地点から同時にダンス動作データを送信して 2 人のダンサー同士がリアルタイムでダンスインタラクションする実験を行う. ダンスインタラクションの実験は立命館大学の京都衣笠キャンパス(KIC)と滋賀県のびわこくさつキャンパス(BKC)の 30km 間の距離でダンサー同士がダンスインタラクションを行う.

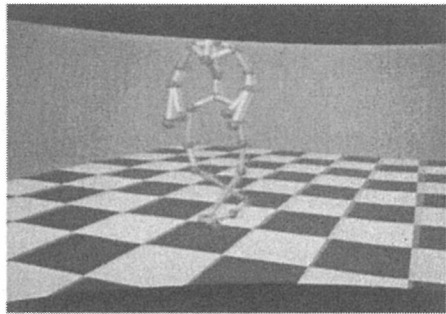


図 6. 実験 1 の CG キャラクタ表示

3.1 実験 1

KIC でキャプチャしたダンス動作データを BKC に向けて送信し, IVE でリアルタイムで CG キャラクタアニメーションを表示する実験を行う. 使用したモーションキャプチャシステムはカメラ 10 台の MAC3D システムである.

3.1.1 実験方法

KIC でモーションキャプチャを行い, BKC で EvaRTServer と MotionViewer を起動する. EvaRTServer では, ダンス動作データの受信元アドレスには KIC にある EvaRT がインストールされている PC のグローバル IP アドレスを指定し, データの送信先アドレスには BKC にある CAVELib プログラムを起動させている PC のプライベート IP アドレスを指定し, データの送受信を行う. EvaRTServer と MotionViewer を接続するためのポート番号は 1000 番を使用する. 実験の概要は図 5 のようになる.

3.1.2 実験結果と考察

実験 1 の結果で, IVE 上に CG キャラクタを表示させることはできたが, BKC から KIC の様子を確認することができないので, キャプチャしたダンス動作がリアルタイムで表示されているのか, 遅延は起こっているのかということが確認できなかった. キャプチャするときのマーカの欠損が発生しているかどうかを確認して補間する機能も組み込んでいないので, そのあたりを改良していく必要がある. 図 6 は KIC から送信されたダンスデータを用いて表示した CG キャラクタアニメーションである.

3.2 実験 2

KIC と BKC で同時にダンサー同士がダンスインタラクションを行い, BKC の IVE で CG キャラクタを表示してダンスインタラクションをする実験を行う. 使用したモーションキャプチャシステムは, KIC はカメラ 10 台の MAC3D システム, BKC はカメラ 8 台の Vicon512 である.

3.2.1 実験方法

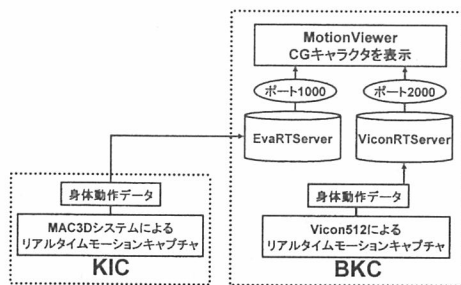
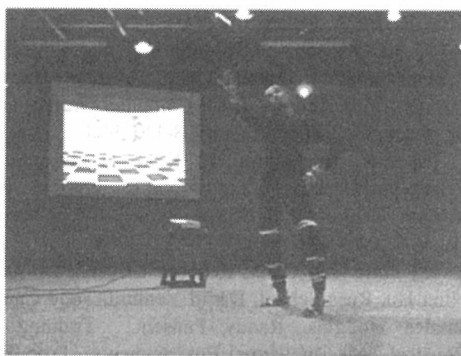
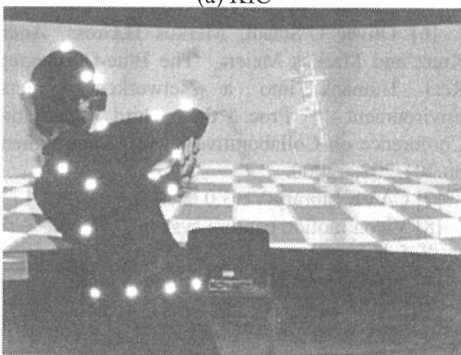


図 7. 実験 2 の概要図



(a) KIC



(b) BKC

図 8. 実験 2 の実験様子

図 7 のように、BKC で MAC3D システムからのデータを受信する EvaRTServer と Vicon512 からのデータを受信する ViconRTServer、IVE でアニメーションを表示させるための MotionViewer を起動させ、KIC と BKC の 2 地点から送信されるダンス動作データを受信し、CG キャラクターを IVE 環境で表示してダンスインタラクションを行う。EvaRTServer と MotionViewer の接続に用いるポート番号は 1000 番、ViconRTServer と MotionViewer の接続に用いるポート番号は 2000 番を使用する。

表 1. ダンサーに対するアンケート結果

アンケート項目	悪い	やや悪い	普通	やや良い	良い
生身の人間とダンスを踊っているように感じられるか	0	1	1	0	1
臨場感はあるか	0	0	2	0	1
表情が分からないことについて違和感はあるか	0	3	0	0	0
立体メガネをかけて踊ることに支障はあるか	1	0	1	1	0
自分の動きと CG キャラクターの動きのずれは気になるか	0	2	0	0	1
遠隔地の相手の競演はうまくいったか	0	0	0	3	0

表 2. 観客に対するアンケート結果

アンケート項目	悪い	やや悪い	普通	やや良い	良い
CG キャラクターの動作が人間らしく見えたか	0	0	0	3	1
臨場感はあるか	0	1	3	0	0
表情が分からないことについて違和感はあるか	0	3	1	0	0
遠隔地の相手の競演はうまくいったか	0	1	0	3	0

BKC と KIC にいる 2 人のダンサーがストリートダンスのダンスバトルを行う。被験者として KIC では男 1 人のダンサー、BKC では男 3 人のダンサーが 1 人ずつ KIC のダンサーとダンスインタラクションを行う。システムの評価をするために BKC 側のダンサー 3 人と観客 4 人に対してアンケートを実施する。KIC 側のダンサーには大型立体表示装置がないので、TV 会議装置を用いて BKC 側の様子を表示する。

3.2.2 実験結果と考察

実験結果は図 8 のように、KIC で行っているダンス動作と BKC で行っているダンス動作を IVE 上で同時に再現してダンスインタラクションができることを確認した。

図 8 を見ると CG キャラクターの体の一部が消えてしまう部分がある。これは、モーションキャプチャのカメラ台数が少ないことやカメラキャリブレーションが問題であると考えられる。キャプチャするとき、マーカの欠損を補間する方法とキャリブレーションの誤差が少なくする方法としてカメラの付け位置、空間キャリブレーションを正確にする方法を考えている。

図 8 では分からないが、ダンスインタラクションを行うときに CG キャラクターとダンサーの動きに遅延が発生した。BKC 側のダンサーと CG キャラクターの間では目測で約 1 秒程度の遅延が見えた。今回の実験では、KIC 側のダンサーと CG キャラクターとの間の遅延は計測できなかった。CG キャラクターとダンサーの動きに遅延は、ネットワークの遅延より IVE 環境で CG

キャラクタを表示するときの遅延の方が大きな原因となっているのではないかと考えている。

提案システムの評価をするために、ダンサー3人と観客4人に実施したアンケートの結果は表1と表2に示す。表情が分からないことについて違和感あるかの質問ではダンサーと観客からネガティブな評価結果を得た。これは、ダンサーの顔の表情をCGキャラクタに示すことができなかったことが原因と考える。

遠隔地の相手との競演はうまくいったかの質問では表1と表2の結果のようにダンサー視点、観客視点でともに好評価を得た。これによって、VR空間上でダンスの遠隔地間インタラクションが行えるという可能性があることが分かった。

ダンサーと観客からの評価実験のコメントとしてはダンスの見えるとき音楽がほしい、CGキャラクタの外見がシンプルすぎる、表情がないと臨場感が感じづらい、遠隔地の相手と競演でダンスの競技人口が増えるようなコメントも貰った。

以上の結果から、我々は提案システムを用いて遠隔地間ダンスインタラクションが可能であることが分かった。さらに、CGキャラクタの外見を人間らしくIVE環境で表示することとCGキャラクタとダンサーの動きに遅延が発生することを解決する方法が必要であることも分かった。

4. 結論

我々は、遠隔地にいる複数のダンサーがVR空間を介して自由にダンスインタラクションを行うことについて検討を行った。そのためのシステムを開発するために、キャプチャしたダンス動作データをリアルタイムでネットワークを介した遠隔地間の送信とダンス動作データを受信してIVE空間上にCGキャラクタを表示するシステムを構築した。提案システムを評価するために遠隔地からダンス動作データを送信してCGキャラクタを表示させる実験と、2地点からダンス動作データを送信して2体のCGキャラクタを表示してダンスインタラクションする実験を行った。その結果から、提案システムを用いてダンサー同士の遠隔地間ダンスインタラクションが可能であることが分かった。

今後の課題では、評価実験で挙げられたCGキャラクタのリアリティの向上、音楽の共有、評価実験のサンプルを増やして実験結果の信頼性を高めることである。そして、CGキャラクタとダンサーの動作の間に起こる遅延の定量的計測と改善、2地点で大型立体表示装置を用いて能舞台[10]の背景の中でダンスインタラクションを行うことを考えている。

謝辞：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」および科学研究費補助金基盤研究(B)16300035の支援により行われた。

参考文献

- [1] D. Komaki, H. Ishii, N. Ichiguchi, H. Shimoda and H. Yoshikawa: A Study on Effective Representation Method for Human Walking Motion by VR, Information and Communication Engineers, Technical Report of IECE, MVE99-17, 1999.
- [2] D. J. Sturman: A Brief History of Motion Capture for Computer Character Animation, SIGGRAPH94, Course9, 1994.
- [3] Lawrence J. Rosenblum and Michael R. Macedonia: Interacting with Virtual Humans through Body Actions, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.6, No.1, pp. 8-11, 1998.
- [4] K. Hachimura, H. Kato, H. Tamura: A Prototype Dance Training Support System with Motion Capture and Mixed Reality Technologies, IEEE. ROMAN2004, pp. 217-222, 2004
- [5] Philo Tan Chua, Rebecca Crivella, Bo Daly, Ning Hu, Russ Schaaf, David Ventura, Todd Camill, Jessica Hodgins, Randy Pausch: Training for Physical Tasks in Virtual Environments, Proc. IEEE Virtual Reality, pp. 87-94, 2003.
- [6] Oliver G. Staadt, Markus H. Gross, Address Kunz and Markus Meier: The Blue-C.: Integrating Real Humans into a Networked Immersive Environment, Proc. the Third International Conference on Collaborative Virtual Environment, pp. 201-202, 2000.
- [7] CAVE Library Ver3.0 概説書
- [8] Vicon motion capture system クイックスタートガイド
- [9] <http://www.camnac.co.jp/index.html>
- [10] 古川 耕平, 崔 雄, 八村 広三郎, 荒木 かおり: 国宝能舞台のデジタル復元とその応用, 情報処理学会エンタテインメントコンピューティング 2005, pp. 131-134, 2005