

舞踊符による身体動作記述システム

湯川 崇[†] 海賀 孝明^{††}
長瀬 一男^{††} 玉本 英夫^{†††}

本論文では、モーションキャプチャリングシステムにより収集した人間の動きのデータ(動作データ)を動作素材として再利用するための手法を提案し、その手法を用いた身体動作記述システム MoComp について述べる。動作データを標準化した後に、その動作データが含む区切ることのできる 1 つの動作を人間の身体の部位に分割する。分割した動作データに一意な符号を割り当てたものを舞踊符と呼び、データベース化して再利用可能にする。舞踊符を組み合わせることで、新しい一連の動作を記述することができるが、その舞踊符の組合せを舞踊譜と呼ぶ。MoComp は、動作データベース、動作コンポーザ、および動作ジェネレータから構成される。MoComp により、GUI による舞踊譜の作成、および舞踊譜に含まれる舞踊符の組合せによる人間の動作データの生成を可能にする。実験により、本システムが動作の記録・生成のための有効な手法となる可能性を示す。

Human Motion Description System Using BUYO-FU

TAKASHI YUKAWA,[†] TAKAAKI KAIGA,^{††} KAZUO NAGASE^{††}
and HIDEO TAMAMOTO^{†††}

This paper describes 1) a method to make motion capturing data be reusable as motion materials, and 2) a human motion description system (MoComp) we developed using this method. After normalizing motion capturing data, they are partitioned in terms of a motion we consider to have a specific meaning and then in terms of human body components. Each partitioned data is named uniquely and is called a dancing note (Buyo-fu). We try to organize dancing notes as a data base and then to make them be reusable. A series of motion that is expressed by combining dancing notes is called a dancing score. The MoComp is constructed of a motion database, a motion composer and a motion generator. The MoComp makes it possible that we easily compose a dancing score by means of a GUI environment and we generate realistic human motion data by synthesizing dancing notes included in a dancing score. An experiment we made shows that this system proves to be a good candidate of an effective method for recording and generating human motion.

1. はじめに

3次元コンピュータグラフィックスの普及により、映画、アニメーション、ビデオゲーム等で人間の3次元モデルを動かすことが行われている。人間の3次元モデルの動作を手作業により生成するには時間と労力を要するため、モーションキャプチャリングシステムを用いてその動作を生成する手法が普及してきた^{1)~4)}。しかし、想定する動作に変更があった場合には新たにキャプチャをやり直す必要があるため、費用や時間が

かかるという問題点がある。あらかじめ記録された動作素材のデータベースを用いた、複雑な動きの生成が望まれている⁵⁾。

本論文では、モーションキャプチャリングシステムにより収集した人間の動きのデータを動作素材として再利用可能にする手法を提案し、提案する手法を用いた身体動作記述システム MoComp について述べる。

人間の動きは、ひとまとまりの動作(振り)を単位として振りの並びで表現することができる。モーションキャプチャリングシステムにより収集した人間の動きのデータをもとに、頭、腕、胴、脚などの身体の各部位の振りのデータを作成して、再利用可能にするためにデータベース化する。作成した各部位の振りのデータは動きの基本単位になるもので、これに一意に符号を割り当てたものを舞踊符と呼ぶ。舞踊符を組み合わせることにより一連の動作の記述が可能になる。この

[†] 秋田経済法科大学短期大学部
Akita Keizaihoka University Junior College

^{††} 株式会社わらび座デジタルアートファクトリー
Digital Art Factory WARABI-ZA Co., Ltd.

^{†††} 秋田大学工学資源学部
Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University

記述を舞踊譜と呼ぶ⁶⁾。舞踊符ならびに舞踊譜を用いることにより、新しい動作の記述・生成が可能になる。

MoComp は、舞踊符を用いて新しい動作の記述と動作データの生成を行うためのシステムであり、動作データベース、動作コンポーザ、および動作ジェネレータから構成される。動作データベースは、モーションキャプチャリングシステムにより収集した動作データを舞踊符として再利用可能にするために構築する。動作コンポーザは、身体の各部位ごとに時間軸に沿って舞踊符を割り当て、舞踊譜を作成するためのプログラムである。動作ジェネレータは、動作コンポーザにより作成された舞踊譜をもとに、新しい動作データを生成するためのプログラムである。動作ジェネレータが生成可能な動作データの形式は、BVA 形式、BVH 形式、および VRML97 形式である。これらの形式のデータは 3 次元グラフィックス処理ソフトを用いて人間の 3 次元モデルに動きを付けるために利用できる。

以下、2 章で舞踊符と舞踊譜について、3 章で MoComp について述べる。さらに 4 章で、MoComp を使用した動作作成例を示す。

2. 舞踊符・舞踊譜

人間の一連の動きに含まれる、区切ることのできる個々の動作を振りと呼ぶ。本研究では、音楽の楽譜が音符の並びにより曲を表現するのと同様な、振りの並びによる動作の記述を試みている。

2.1 動作データの収集

動作素材のもととなる人間の動きのデータはモーションキャプチャリングシステムを用いて収集する。モーションキャプチャリングシステムは、人間の身体各部に取り付けたセンサの動きを 3 次元の位置と角度の時系列データとしてコンピュータに入力する装置であり、磁気式、光学式、機械式の方式がある¹⁾。以下、モーションキャプチャリングシステムを用いて収集した、身体の各部位の 3 次元の位置と角度の時系列データを動作データと呼ぶ。本研究では、POLHEMUS 社の STAR TRAK モーションキャプチャリングシステムを使用した。このシステムの特徴は、センサの位置と角度を計測するために磁気を用いること、およびメモリバックを用いてワイヤレスによる記録を実現していることである。このため、光学式よりも正確な位置と角度の計測を実現しながら、光学式の装置と同等の動きやすさを確保している。

動作データの収集は、15 個のセンサを図 1 に示す位置に取り付けて、1 秒間に 30 フレームの割合で行った。1 フレームは 15 個のセンサの 3 次元の位置と角

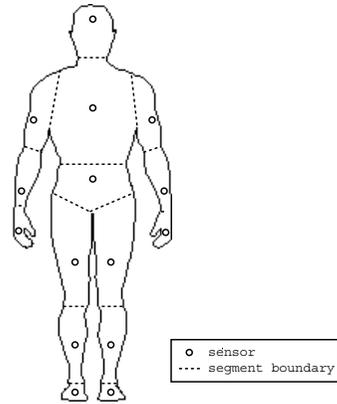


図 1 セグメントへの分割とセンサの取り付け位置
Fig. 1 Segmentation and sensor position.

度から構成される。センサの取り付け位置は、腕のひねりなどの動作が明確に計測でき、急激な移動を行ってもずれないことを考慮して決定した。

2.2 舞踊符

舞踊符とは、頭部、腕部、胴部、脚部の 4 つの部位に分割した振りの動作データに割り当てた符号である。舞踊符と振りの動作データを 3.1 節で述べる動作データベースにより対応付けることで、動作データを動作素材として再利用可能にする。

舞踊符の符号は、一連の動作のカテゴリ、一連の動作の名前、振りの名前、身体の部位の略称を“-”(ハイフン)で連結して表記する。一連の動作のカテゴリは一連の動作を分類するために用いるもので、舞踊、バレエ、体操などがあげられる。民族芸能の舞踊に含まれる振りをもとにした舞踊符の符号の表記例を次に示す。

DNC-SR-JP-LG: カテゴリが「舞踊(DNC)」である動作名「そうらん節(SR)」の振り「ジャンプ(JP)」の「脚(LG)」の動きを表す舞踊符

舞踊符を身体の各部位に時間軸に沿って配置することにより一連の動作を記述することができる。この記述を舞踊譜と呼ぶ。舞踊譜に記述されている舞踊符が表す身体の各部の動作データを合成して、新しい動作データを作成することができる。

2.3 動作データの標準化

モーションキャプチャリングシステムにより収集した動作データは人間の動作を正確に記録しているが、人間の体型がそれぞれ異なるため、相互に組み合わせるには適さない。そのため、基準となる身体各部の寸法を規定し、収集した動作データが表している各部のサイズが規定した寸法と同一になるように動作データの標準化を行う。

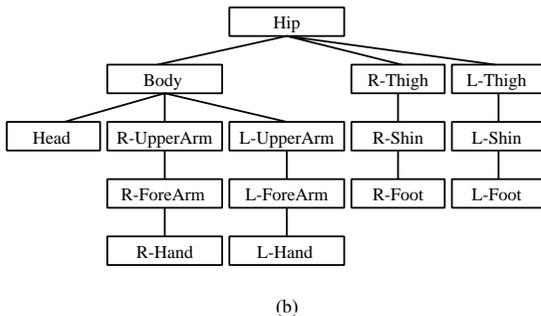
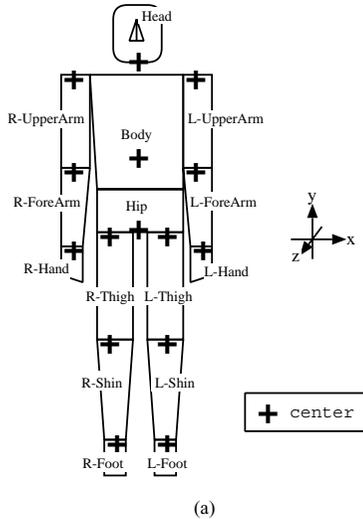


図 2 標準人体モデル : (a) 人体モデル (b) セグメント階層図
 Fig. 2 Standard human model; (a) human model, (b) segment structure.

動作データを収集した際に取り付けたセンサの位置をもとに、人間の体を頭部、胸部、腰部、左右上腕、下腕、手、腿、スネ、足に相当する 15 個の剛体のジョイント結合で表す。センサを取り付けた剛体に相当する部分をセグメントと呼ぶ。各セグメントの寸法が基準となる体型と同じになるようにモデルを作成する。このモデルを標準人体モデルと呼ぶ(図 2(a))。3次元グラフィックス処理ソフトで人間のモデルに動作を割り当てることを考慮して、各セグメントのセンタ(回転中心)を、標準人体モデルの関節の位置に固定する。本論文では図 2(a) に示す座標系を使用する。

標準化の作業は、Kaydara 社の FiLMBOX の制約機能⁷⁾ を用いて次の手順で行う。

- (1) 標準人体モデルを作成する。各セグメント間には図 2(b) に示す階層構造を持つように接続関係を設定する。
- (2) 動作データを取り込む。
- (3) 腰部に取り付けたセンサにより計測したデータ

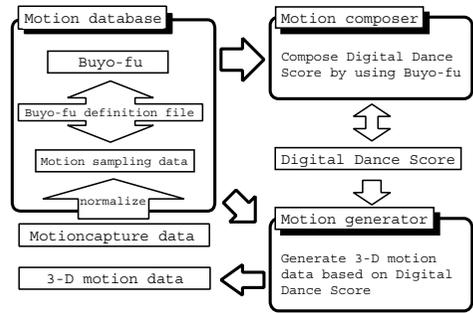


図 3 身体動作記述システム MoComp 構成図
 Fig. 3 Structure of human motion description system.

を親として、標準人体モデルの腰に対応するセグメントとの親子付けを行う。

- (4) 他の 14 個のセンサにより計測したデータと、各センサに対応する標準人体モデルのセグメントとの回転の関連付けを行う。

- (5) 動作データを再生することにより、(3)、(4)で行った関連付けが標準人体モデルに反映し、動作サンプリングデータが生成される。

この作業により、各セグメントの寸法が規定した基準体型の寸法に補正され、センサを取り付けた位置のデータは図 2(a) に示すセグメントのセンタの位置に移動する。標準化を行った動作データを動作サンプリングデータと呼ぶ。動作サンプリングデータは一般的な 3次元グラフィックス処理ソフトで標準でサポートしている BVA 形式または BVH 形式で保存する。

3. 身体動作記述システム MoComp

舞踊符を利用した身体動作記述システム MoComp の概要を述べる。本システムは図 3 に示すように「動作データベース」「動作コンポーザ」「動作ジェネレータ」から構成される。これらのプログラムは Java 言語を用いて開発した。

3.1 動作データベース

動作データベースは、舞踊符と振りの動作サンプリングデータに対応付けて、振りの動作サンプリングデータを再利用可能にするために構築する。対応付けは、XML により舞踊符定義記述用のマークアップ言語 (mcml) を定義し、mcml に従ってインデックステーブルを記述することにより行う。舞踊符は動作カテゴリの中に複数の動作、動作の中に複数の振り、振りの中に複数の部位を含むというように木構造を持っている。XML を用いたのは、XML が木構造を持つデータ構造を記述するために適しているからである⁸⁾。図 4 に mcml の文書型定義 (Document Type Definition:

```

<!DOCTYPE mcml [
<!ELEMENT mcml(head,category+)>
<!ELEMENT head(part+)>
<!ELEMENT partEMPTY>
<!ELEMENT category(show+)>
<!ELEMENT action(motion+)>
<!ELEMENT motionEMPTY>
<!ATTLIST part name NMTOKEN #REQUIRED
               code NMTOKEN #REQUIRED
               segments NMTOKENS #REQUIRED>
<!ATTLIST category name NMTOKEN #REQUIRED
                  code NMTOKEN #REQUIRED>
<!ATTLIST action name CDATA #REQUIRED
                 code NMTOKEN #REQUIRED
                 file CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST motion name CDATA #REQUIRED
                  code NMTOKEN #REQUIRED
                  description CDATA #REQUIRED
                  frames NMTOKENS #REQUIRED>
]>

```

図 4 Mcml の文書型定義

Fig. 4 Document type definition for motion code markup language.

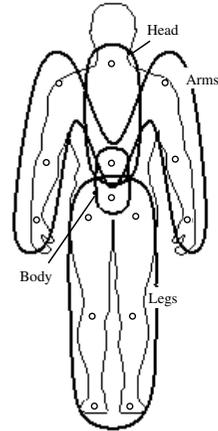


図 5 セグメントの部位への分割

Fig. 5 Partitioning of human model segments.

DTD)を示す。DTDでは次のタグ(フィールド)の構造を定義する。

- 動作カテゴリ
- 動作名
- 舞踊符
- 動作サンプリングデータファイル名
- 開始フレーム番号
- 終了フレーム番号
- 振り名
- 振りの解説
- 部位名

開始フレーム番号と終了フレーム番号は、動作サンプリングデータファイル中での舞踊符が示す振りのデータのフレーム位置を表す。

mcmlにより舞踊符インデックステーブルを記述する作業は、動作や振りについての知識を持つ者が目視により手動で行った。18種類の民族芸能の舞踊に含まれる365の振りについて舞踊符インデックステーブルを作成した。このデータベースからは、セグメント単位で振りの動作サンプリングデータを取り出すことが可能である。

舞踊符が表している身体の部位は、図5に示すようにセグメントをグループ化することにより指定する。各部位は、隣り合う部位との接合の接点となるセグメントを共有する。このセグメントを共有セグメントと呼ぶ。共有セグメントには、脚部-胴部の接合点となる腰のセグメント、および胸部-腕部ならびに胸部-頭部の接合点となる胸のセグメントがある。共有セグメントは、各部位の動作サンプリングデータを合成して動作の再構成を行うために用いる。

3.2 動作コンポーザ

動作コンポーザは、舞踊符を人間の部位ごとに、時

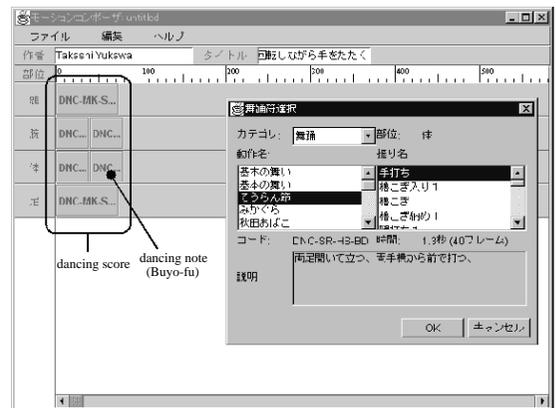


図 6 動作コンポーザ画面

Fig. 6 GUI screen of motion composer.

間軸に沿って配置することにより一連の動作を記述するためのGUIを提供する。図6に動作記述中の画面例を示す。舞踊符を配置するには、図6中に示す舞踊符選択ダイアログを開き、動作のカテゴリ、動作名、振りの名前を指定して舞踊符を選択する。舞踊符を時間軸方向に伸縮することにより、動作の速度を変化させることができる。動作コンポーザで作成した舞踊譜はDigital Dance Score(DDS)と名付けた形式で保存される。図7にDDS形式の例を示す。

最初の文字が#で始まる行はコメント行(1-4, 7, 11, 15行目)である。ただし#の後にTitle:, Author:, Date:のキーワードが続く行は、それぞれ舞踊譜のタイトル(1行目), 作成者(2行目), 作成日(3行目)を表すために用いられる。

最初の文字がアルファベットで始まる行(5, 8, 12, 16行目)は部位を定義する行である。部位名の後に“:”(コロン)を置き、その後に、その部位に含まれ

```

1 # Title: Mikagura and Soran-bushi
2 # Author: Takashi Yukawa
3 # Date: 1999/08/24 18:26:57
4 # define head part
5 HD: Body,Head
6 0:75:DNC-MK-S1-HD
7 # define arms part
8 AM:Body,L-UpperArm,L-ForeArm,L-Hand,R-UpperArm,R-ForeArm,R-Hand
9 0:40:DNC-SR-HS-AM
10 40:40:SNC-SR-HS-AM
11 # define body part
12 BD: Hip,Body
13 0:40:DNC-SR-HS-BD
14 40:40:DNC-SR-HS-BD
15 # define legs part
16 LG: Hip,R-Thigh,R-Shin,R-Foot,L-Thigh,L-Shin,L-Foot
17 0:75:DNC-MK-S1-LG

```

図 7 DDS 形式の例 (左の数字は説明のための行番号)

Fig. 7 An example of DDS-format file (left-most numbers are written for explanation).

るセグメント名リストを記述する。セグメント名リストはセグメント名を“,”(コンマ)で区切ったものである。セグメント名リストの先頭には、他の部位と共有するセグメント名を記述する。

部位名を定義する行の次の行から、動作コンポーザに配置した舞踊符の情報を、1つの舞踊符につき1行ずつ記述する(6,9,10,13,14,17行目)。この行は、

開始フレーム番号: フレーム長: 舞踊符

の形式になっていて、舞踊符が表す動作を「開始フレーム番号」から「フレーム長」で指定したフレーム数生成することを表している。

3.3 動作ジェネレータ

動作ジェネレータは、動作コンポーザで作成した DDS に記述されている舞踊符を動作データベースから読み込み、動作サンプリングデータを合成して新しい3次元動作データを生成するためのアプリケーションプログラムである。生成されたデータは、BVA形式、BVH形式、およびVRML97形式で保存できる。BVA形式とBVH形式のデータは、3次元グラフィクス処理ソフトウェアを用いたアニメーション等の作成に利用することができる。VRML形式のデータは、ブラウザを用いて簡易に動作を表示するために利用することができる。

DDS に記述されている舞踊符の動作サンプリングデータを合成して新しい3次元動作データを生成する手続きは、部位間の合成と、時間軸方向での動作間の合成とに分けて行う。

3.3.1 図2の人体モデルによる合成

人間の姿勢は脚部が基準となっていると考え、部位間の合成手続きは、脚部-胴部の接合から始め、続いて胴部-腕部、胴部-頭部の順に部位を接合することに

より行う。このとき、脚部のデータは動作サンプリングデータをそのまま使用する。その他の部位を接合する場合には、相手となる部位の共有セグメントの位置と角度が、基準となる部位の共有セグメントの位置と角度に等しくなるように、移動と回転を行う。相手となる部位の共有セグメント以外のセグメントは共有セグメントを中心として回転を行い、共有セグメントと同じ距離だけ移動する。以上の手続きを舞踊譜に記述されているすべてのフレームに対して適用する。

セグメントの接合は次の手続きにより行う。基準となる部位に含まれるセグメントのセンタの位置座標を P_0 、そのセグメントの角度を x, y, z 軸の回りに回転させるための回転行列を R_0 とする。相手となる部位に含まれるセグメントの位置座標を p_i 、そのセグメントを x, y, z 軸の回りに回転させるための回転行列を r_i ($0 \leq i <$ 相手となる部位に含まれるセグメント数; $i = 0$ で共有セグメントを、 $i > 0$ でそれ以外のセグメントを表す) とする。このとき、相手となる部位のセグメントの合成後の位置座標 p'_i は式 (1) により求めることができる。

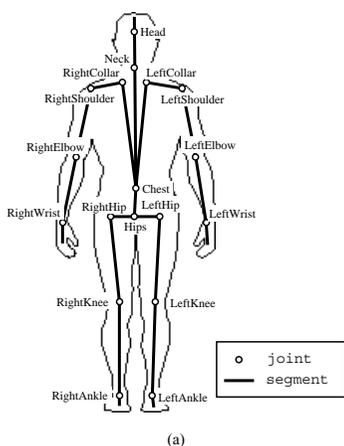
$$p'_i = P_0 + R_0 r_0^T (p_i - p_0) \quad (1)$$

また、合成後のセグメントの回転の角度は、 x, y, z 軸回りの回転の角度をそれぞれ ϕ, χ, ψ 、 $R_0 r_0^T r_i$ を計算してできる行列の i 行 j 列の要素を a_{ij} とすると式 (2) から求めることができる。

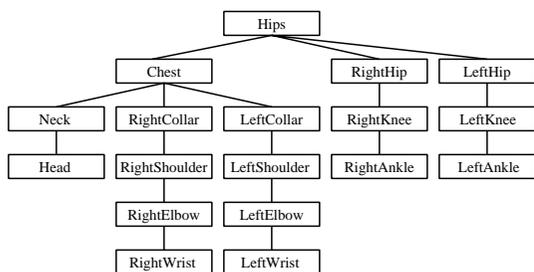
$$\begin{cases} \phi = \text{atan}(a_{32}/a_{33}) \\ \chi = \text{asin}(-a_{31}) \\ \psi = \text{atan}(a_{21}/a_{11}) \end{cases} \quad (2)$$

3.3.2 スケルトンモデルによる合成

3次元人体モデルの動作データとしては、多関節構



(a)



(b)

図 8 人体のスケルトン階層モデル；(a) 人体モデル，(b) スケルトン階層図

Fig. 8 Human skeleton structure; (a) human model, (b) skeleton structure.

造を持った人体モデルの利用が一般的であるため^{9),10)}，スケルトンの階層構造を持ったデータを合成して生成できるようにする．ここで用いる人体モデルを図 8(a) に，そのスケルトン階層図を図 8(b) に示す．

スケルトンモデルでの部位の定義は，次のようにジョイントをグループ化することにより行う．

頭部：Neck, Head

腕部：RightCollar, RightShoulder, RightElbow, RightWrist, LeftCollar, LeftShoulder, LeftElbow, LeftWrist

胴部：Chest

脚部：Hips, RightHip, RightKnee, RightAnkle, LeftHip, LeftKnee, LeftAnkle

各ジョイントが持っている回転の情報は，親セグメントに対して相対的なものであるので，合成する際に変換を行う必要がなく，動作サンプリングデータに含まれる該当する各セグメントのデータを抽出して合成する．部位間の合成は，脚部，胴部，腕部，頭部の順に行う．

動作間の合成手続きは，前の動作での終了フレーム

における腰のセグメントと，その次の動作の腰のセグメントの $x-z$ 平面での位置が一致するように，腰のセグメントの位置を移動することにより行う．動作間で部位の位置が異なる場合は，前の動作が終了した後，ただちに次の動作を開始する．

4. 動作作成例

MoComp を利用した動作作成例として，2 つの舞踊符を組み合わせた動作を示す．頭部 (HD) と脚部 (LG) に，舞踊 (DNC) 「みかぐら (MK)」の振り「スピン (S1)」の舞踊符「DNC-MK-S1-HD」と「DNC-MK-S1-LG」をそれぞれ 1 つ使用する．腕部 (AM) と胴部 (BD) に，舞踊 (DNC) 「そうらん節 (SR)」の振り「手打ち (HS)」の舞踊符「DNC-SR-HS-AM」と「DNC-SR-HS-BD」をそれぞれ 2 つ使用する．これは，スピンを 1 回する間に手を 2 回たく動作である．この動作の DDS は図 7 に示したものである．

図 9 は，作成した動作を BVA 形式で生成し，3 次元グラフィクス処理ソフトウェアを用いて直方体からなる単純な人間の 3 次元モデルを割り当て，正面からの視点で 1 秒あたり 15 コマの表示をした画面である．提案する手法を用いることにより，自然で滑らかな動作が生成されていることが確認できる．図 10 は，同じ動作を VRML 形式で生成し，VRML ブラウザで表示した画面である．

5. おわりに

本論文では，舞踊符というモーションキャプチャリングシステムを利用して計測した人間の動作データを，動作素材として再利用可能にするための手法を提案した．身体の各部位に分割した人間の振りの動作データ符号を割り当てたものを舞踊符と名付け，舞踊符を動作素材とする動作データベースを構築した．そして，舞踊符を組み合わせるにより表すことができる一連の動作の記述を舞踊譜と名付けた．また，(a) 動作データベース，(b) 舞踊譜を作成するためのグラフィカルユーザインタフェースを提供する動作コンポーザ，および (c) 舞踊譜を合成して新しい動作データを構成する動作ジェネレータで構成する身体動作記述システム MoComp を開発し，そこで用いている動作構成手法について述べた．MoComp を利用することにより，新しい動作の記述，および 3 次元動作データの生成が可能であることを示した．

今後の課題として，キャプチャした動作データの標準化の自動化，身体をより正確に表すことのできる標準人体モデルの作成，舞踊符の時間軸方向での合成手

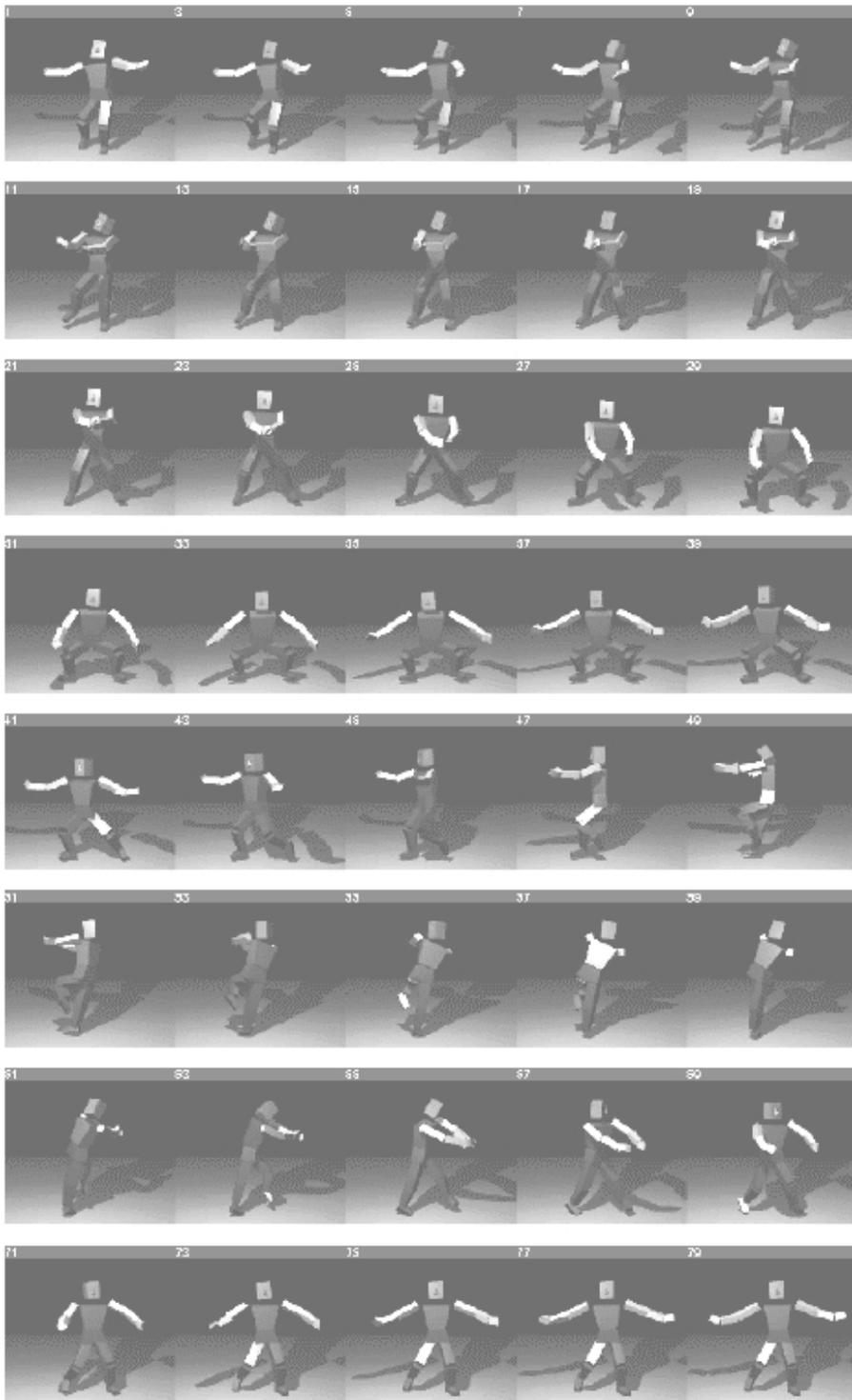


図 9 BVA 形式での動作生成例
Fig. 9 An example of generated motion (BVA-format).

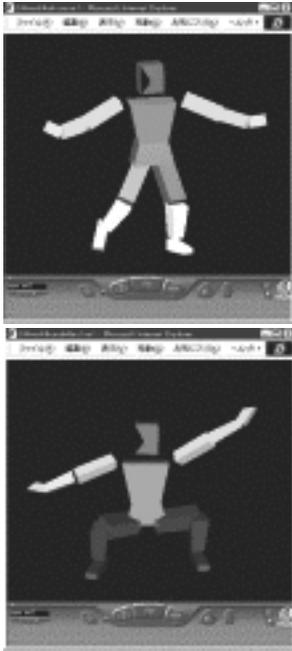


図 10 VRML97 形式での動作生成例

Fig. 10 An example of generated motion (VRML97-format).

法の改良等があげられる。

参 考 文 献

- 1) 中嶋正之：デジタル映像処理の基礎と応用 [IV]，電子情報通信学会誌，Vol.81，No.3，pp.282-288 (1998).
- 2) SIGGRAPH98 に見る最新 CG 技術，日経 CG (Oct. 1998).
- 3) モーションキャプチャ最新動向，日経 CG (Mar. 1999).
- 4) O'Rourke, M.：3次元コンピュータアニメーションの原理，トッパン (1997).
- 5) 平松尚子，八村広三郎：動作生成ライブラリを利用した身体動作の記述と表示，情報処理学会研究報告，97-CH-36，pp.45-50 (1997).
- 6) 海賀孝明，湯川 崇，佐々木信也，工藤公樹，長瀬一男，玉本英夫：舞踊符による動作の記述法の提案，電子情報通信学会総合大会，A-16-21 (Mar. 1999).
- 7) FiLMBOX User's Guide Version 1.5: kaydara (1998).
- 8) XML/SGML サロン：標準 XML 完全解説，技術評論社 (1998).
- 9) 山本正信，川田 聡，近藤拓也，越川和忠：ロボットモデルに基づく人間動作の 3 次元動画

像追跡，信学論，Vol.J79-D-II，No.1，pp.71-83 (1996).

- 10) 佐藤明知，川田 聡，大崎喜彦，山本正信：多視点動画像からの人間動作の追跡と再構成，信学論，Vol.J80-D-II，No.6，pp.1581-1589 (1997).

(平成 12 年 5 月 26 日受付)

(平成 12 年 9 月 7 日採録)



湯川 崇 (正会員)

昭和 43 年生。平成 7 年秋田大学大学院鉱山学研究科電子工学専攻修士課程修了。平成 8 年秋田経済法科大学短期大学部講師。平成 12 年秋田経済法科大学短期大学部助教授。現在に至る。CG の研究に従事。



海賀 孝明 (正会員)

昭和 45 年生。平成 7 年茨城大学大学院工学研究科機械工学専攻博士前期課程修了。同年新技術事業団 (現科学技術振興事業団) 入社。平成 8 年 (株) わらび座入社。現在に至る。CG の研究に従事。日本機械学会会員。



長瀬 一男

昭和 28 年生。昭和 53 年北海道大学工学部中退。同年 (株) わらび座入社。現在に至る。



玉本 英夫 (正会員)

昭和 24 年生。昭和 51 年東京大学大学院博士課程修了。同年秋田大学鉱山学部電子工学科講師。昭和 55 年同助教授。平成 3 年同大学鉱山学部情報工学科助教授。平成 5 年同教授。平成 9 年同大学工学資源学部情報工学科教授。現在に至る。この間、論理回路の故障診断、画像計測、マルチメディア等の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、人工知能学会、計測自動制御学会、IEEE 各会員。著書「論理回路の故障診断」、訳書「フォールト・トレランス入門」(共訳)等。