

## モーションキャプチャデータのライブラリ化に基づく 舞踊のアニメーションと舞踊譜生成

長澤嗣治<sup>†</sup> 八村広三郎<sup>††</sup> 小島一成<sup>†††</sup>

近年、モーション・キャプチャシステムにより人間の身体運動を正確に計測・記録できるようになり、アニメーションの作成、舞踊の記録と解析などに利用されるようになってきた。しかしながら、モーションキャプチャによる身体動作の計測には多くのコストと時間を必要とし、必ずしも手軽に利用できるものではない。キャプチャした身体動作データをライブラリ化しておき、これらからさらに新しい動作を生成するようになれば便利である。本報告では、おもに舞踊の動作を対象とし、ライブラリ化されたデータを合成して新しい動作を生成し、アニメーションとして表示するためのシステムについて述べる。舞踊の分野では舞踊の身体運動の記述法として舞踊譜 Labanotation が利用されている。本システムでは、モーションデータとともに、これを表現する舞踊譜も同時に記録しておき、合成した新しい動作データについての舞踊譜も同時に生成する。

### Generation of dance animation and dance notation using data stored in a library of motion captured data

TSUGUHARU NAGASAWA,<sup>†</sup> KOZABURO HACHIMURA<sup>††</sup>  
and KAZUYA KOJIMA<sup>†††</sup>

The motion capture technology enabled a precise measurement of human body motion, and it has been used not only in animation productions but also archiving and computer analysis of dance. However, since a motion capture system is costly, and is not necessarily easy to operate, it may be convenient to construct a library of body motion data and to reuse these data for composing. This report proposes a system for generating and displaying a new dance motion sequence from data stored in the library. In this system, data of dance notation Labanotation are stored together with motion data and a notation about newly generated motion is also produced.

#### 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、舞踊の身体動作は正確に仮想空間上の 3 次元座標として計測することが可能となった。これにより、多種多様な舞踊が記録・保存され、身体動作の解析、検索、そして再利用の研究が行われている [1][2][3]。

一方、舞踊記譜法”Labanotation”によって現代まで多種多様なものが保存されてきた。Labanotation は、身体動作を保存するという本質と、身体動作がどのような動きで構成されているのかを記述するという本質を持っている。舞踊教育において Labanotation が利用されている理由は、Labanotation の読み書きを通じて、身体動作の本質を理解できるからである [3]。

本報告では、モーションキャプチャシステムで取得した身体動作データ、その身体動作データを記述した La-

banotation の舞踊譜データ、さらに、動作の再現表示のための人体モデルデータをライブラリ化することによって、これらを再利用して CG アニメーションとそれに付随した舞踊譜を作成するシステム”MotionWave”を提案する。本システムによって、モーションキャプチャシステムで取得した身体動作データの CG アニメーションと Labanotation の比較、ライブラリを再利用することによる CG アニメーションと舞踊譜の創作などが可能になる。

#### 2. Labanotation

Labanotation は、1920 年代に、Rudolf von Laban によって考案された舞踊等の身体動作を図式的に記述するための手法である。舞踊の記述法の中でも最も代表的なものであり、特に米国の舞踊関係者の間では広く普及し、古典バレエ等の譜面が出版されている [3]。近年では、舞踊以外の身体動作の身体動作の記述法としても使用されている。例えば、医用（リハビリ）での身体動作の記述や工芸作業の記録などである。

Labanotation は、コラムと呼ばれるタイムラインにシンボルと呼ばれる記号を記述することにより身体動作を表現する [図 1]。

コラムは、11 のタイムラインで構成されるが、一般的

<sup>†</sup> 立命館大学理工学研究科情報システム学専攻  
Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>††</sup> 立命館大学理工学部  
Faculty of Science and Engineering, Ritsumeikan University

<sup>†††</sup> 立命館大学アート・リサーチセンター  
Art Research Center, Ritsumeikan University

なタイムラインと違い、下から上に向かって時間の流れを表現する [図 1(a)]。これは、実際に Labanotation の譜面を手に持ちながら動作した時の上面図と考えると理解しやすい。11 のタイムラインは、左右の手、上半身、下半身、頭の部分の動作を記述するために利用される。

タイムライン内に書かれるシンボルによって、身体各部の動作方向を表現する。すなわち、水平面内での動作方向を示すための 11 個の図式記号と、動作の上下方向を示すための 3 種の模様を組み合わせてより運動方向を記述する [図 1(b)]。place は、モデルの中心を示し、forward, back, left, right, Lforward, Rforward, Lback, Rback によって水平の 8 方向を示す。また、このシンボル内部を、high, middle, low のいずれかの模様で描写することにより垂直の 3 方向を表現する。

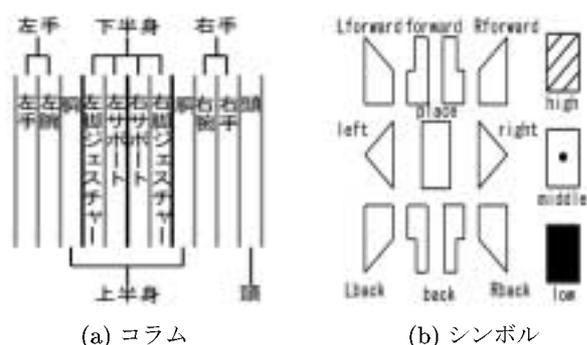


図 1 Labanotation

### 3. モーションキャプチャシステム

身体動作の取得には、光学式モーションキャプチャシステム Vicon512 を使用した。モーションキャプチャシステムは、身体各部に球形のマーカーを取り付け、それを複数のカメラで撮影することにより、マーカーの 3 次元位置を時系列データとして取得する。

本研究では、34 個のマーカーを用い、30 フレーム/秒の割合でデータの取得を行った [図 2]。マーカーは、Vicon 社が推奨している位置を基本とし、さらに取得する身体動作に最良であると思われる位置に取り付けた。

身体動作データの編集には、kaydara 社の FILM-BOX3.2 を使用した。光学式モーションキャプチャシステムで取得したデータには、ノイズの混入やマーカーの消失などの問題があるため、編集作業が必要である。



図 2 マーカー位置

## 4. 身体動作のライブラリ

### 4.1 ライブラリの要素

本研究におけるライブラリは、モーションキャプチャシステムより取得した身体動作データ、その身体動作データに対応した Labanotation データ、人体モデルデータから成り立っている [図 3]。身体動作データと Labanotation データは、舞踊の種類によって分類してライブラリ化する。

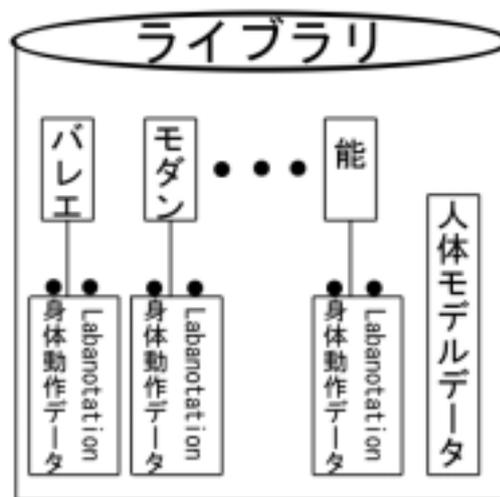


図 3 身体動作のライブラリ化

### 4.2 身体動作データのライブラリ化

モーションキャプチャシステムは、映像、ゲーム、医療、スポーツ科学、伝統芸能の保存など多種多様な分野に利用されている。モーションキャプチャシステムにより取得した身体動作データを人体モデルに反映することにより、人体モデルの 3 次元 CG アニメーションを容易に作成することが可能となった。

モーションキャプチャシステムを利用する際の問題点は、必要とされる身体動作ごとに、手間のかかる計測作業が必要になることである。モーションキャプチャには、スタジオの用意、被験者へのマーカー装着、システムの校正作業、さらにデータ取得後の編集作業など、多くの時間とコストが必要となる。

モーションキャプチャシステムにより取得した身体動作データのライブラリ化が実現できれば、身体動作データを再利用し、新しい身体動作データを生成して利用することが可能となる。

### 4.3 Labanotation のライブラリ化

本研究では、モーションキャプチャシステムにより取得した身体動作データとともに、それを表現する Labanotation のデータも一緒にライブラリ化する。ライブラリ中のデータから合成した新たな身体動作データについて、その CG アニメーションと、Labanotation を再現する。

これによって、身体動作データの CG アニメーションとそれに付随した Labanotation の比較が可能になり、動作データを再利用することによる CG アニメーションの作成と Labanotation の学習に寄与できる。

我々はすでに、Labanotation をインタラクティブに入力、編集するためのシステム LabanEditor[4] と、モーションキャプチャデータから Labanotation のデータを生成するためのシステム [5] を開発しており、Labanotation のライブラリ化のためには、これらのシステムを利用することができる。

#### 4.4 人体モデルのライブラリ化

人体モデルをライブラリ化することにより、女性の演者で取得した身体動作データを仮想空間内では、男性の人体モデルに反映した CG アニメーションを生成することなどが可能となる。また、衣装を装着した人体モデルをライブラリ化することにより、例えばプリマの衣装を装着した人体モデルがバレエの身体動作を行う CG アニメーションといったような、舞踊の種類に適した人体モデルの CG アニメーションを生成することが可能となる。

### 5. MotionWave

本研究で開発した舞踊 CG アニメーションと舞踊譜生成システム”MotionWave”は、以下のプログラムで構成されている。

- 入力された 2 つの身体動作データを、3 つの補間アルゴリズムの中からユーザが選択した補間アルゴリズムを用いて身体動作を連結する補間部分。
- ユーザが選択した CG モデルに補間処理部分で生成した身体動作データを反映させる人体モデルの合成部分。
- 入力された身体動作に付加された舞踊譜を連結する Labanotation 連結部分。
- 人体モデルの合成で生成された CG アニメーションと Labanotation 連結部分で生成された Labanotation データを描写するを行う表示部分。

#### 5.1 システム概要

MotionWave システムの処理過程を以下に述べる [図 4]。

- (1) ライブラリの中から [身体動作データ A+Labanotation(身体動作 A)] と [身体動作データ B+Labanotation(身体動作 B)] を検索する。
- (2) [身体動作データ A+Labanotation(身体動作 A)] と [身体動作データ B+Labanotation(身体動作 B)] を補間処理により連結する。
- (3) ライブラリから適切な人体モデルを得て、これに (2) で生成した身体動作データを反映したシーンデータを出力する。
- (4) (3) で出力したシーンデータを CG で描写すると同時に、(2) で連結した Labanotation を描写する。

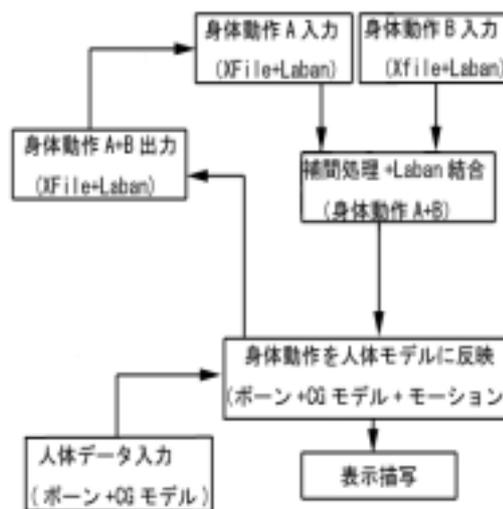


図 4 MotionWave の概要

#### 5.2 標準骨格構造

本研究では、身体モデルの基本となるジョイントを root とし、root を基として 28 個の子ジョイントで構成された階層構造の標準骨格構造を用いる [図 5]。

root には、人体モデル全体の回転と位置座標についての情報を持ち、root の子となる各ジョイントは、それぞれの回転値を持つ。



図 5 標準骨格構造

#### 5.3 人体モデル

本システムでは、現時点では、標準骨格構造で構成した以下の 4 種類の CG 人体モデルを用いることができる [図 6]。

- モデル A: 標準モデル (女性)
- モデル B: マスコット
- モデル C: 骸骨
- モデル D: スティック

身体動作データの編集と正規化には、Kaydara 社の FILMBOX3.2 を使用した。モーションキャプチャシステムで取得した身体動作データは、被験者により体形が異なるため、そのまま直接再利用することはできない。このため、標準 CG モデル (モデル A) に合致するように身体動作データの正規化を行う。

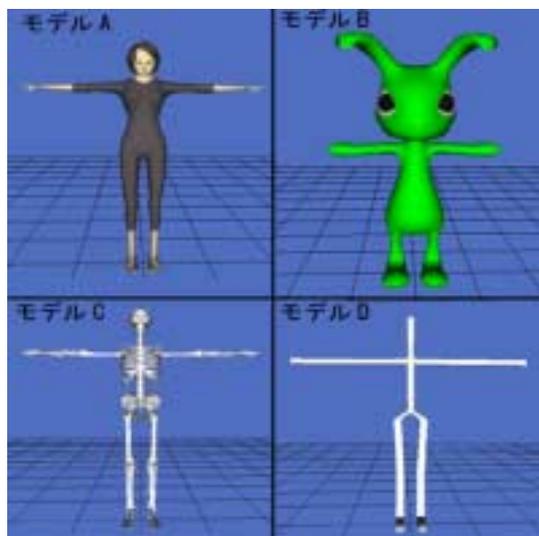


図 6 CG 人体モデル

#### 5.4 XFile

モーションデータを記述するフォーマットとして、マイクロソフトの DirectX8.1b のシーンデータを記述するためのフォーマットである XFile を使用する。XFile は、CG モデルの頂点情報とボーンの影響範囲、ボーンの初期位置情報と階層構造、モーションの時系列データで構成されている [図 7]。モーションの時系列データ部分に、四元数で記述された回転値、XYZ 座標で記述された位置座標と拡大縮小値が記述されている。モーションキャプチャで取得した身体動作データを、この Xfile のモーション時系列データ形式に変換して記録する。

人体モデルに身体動作データを合成するには、人体モデルデータにモーションの時系列データを付加することにより行う。

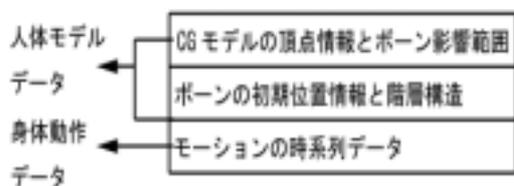


図 7 XFile

## 6. 身体動作データの連結

### 6.1 動作連結の手順

以下に述べる手法によって、動作を連結する。

- (1) 基となる身体動作データ A を入力する。
- (2) 連結する身体動作データ B を入力する。
- (3) 身体動作データ B の root 位置座標と回転値変換処理。
- (4) 補間アルゴリズムを用いて、身体動作データ A 身体動作データ B を連結し、出力する。

### 6.2 身体動作連結の前提

本研究における、身体動作の連結とは、ライブラリより選択した動作を繋げるだけの処理である。例えば、基となる身体動作 (前進) と、連結する身体動作 (前進) を連結して生成される身体動作は、前進し、さらに前進するものにならない。

モーションキャプチャシステムで取得した身体動作データを線形補間処理により単純に連結しただけでは、不自然な身体動作が生成される場合がある。例えば、基となる身体動作 A (前進) と、A とは異なった方向へ前進する身体動作 B (前進) を連結する場合、身体動作 A の終点の root の回転値と身体動作 B の始点の回転値が異なるため、線形補間されることにより補間フレームに root の回転の動作が生成される。つまり、補間フレームの間で、人体モデル全体の向きは変化することにより新たな動作を生成してしまう。全体の動作は、前進し、回転、そして前進する身体動作となる [図 8]。

補間フレームに生成される身体動作は、root の回転を行っているが、人体モデルの動作はモデル全体の回転を行う動作を行っていない。例えば、モデルの全ての関節は動いていないのに、モデル全体は回転しているような不自然な動作が、補間フレームに生成されてしまう。この問題を回避するため、本研究では、補間フレーム中にモデル全体は回転しない、つまり root の回転値は、変化しないという条件を設定する。

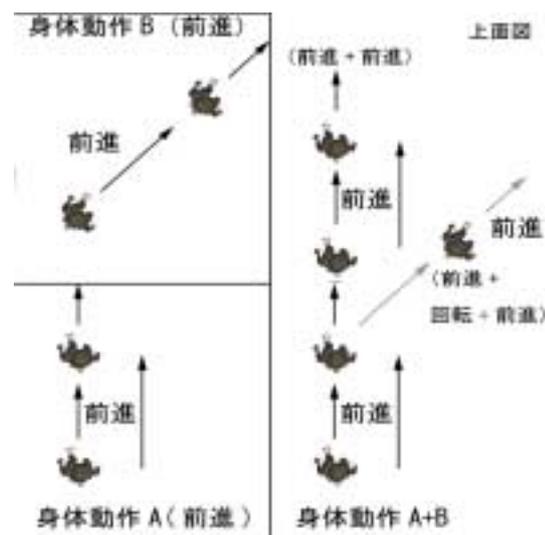


図 8 root の身体動作連結

### 6.3 root の位置座標と回転値の変換処理

基となる身体動作データ A の終点と連結する身体動作データ B の始点の root の位置座標と回転値が異なっていると、身体動作データの連結において、不自然な身体動作が生成される。この問題は、身体動作データ B の root の位置座標と回転値の初期値を身体動作データ A の終点の root の位置座標と回転値に変換することによって解決する。

変換を以下のように行う。なお、以下の説明では各軸とその方向を次のようにしている。

- x 軸の正方向: 右側
- y 軸の正方向: 上方
- z 軸の正方向: 手前

連結後の [モーション B] 内のあるフレームの回転値は、[モーション A] の終点の root に対しての Y 軸回転値に設定し、[モーション B] の始点からの当該のフレームまでの間の root の Y 軸回転値の変化量を加算したものとする。さらに、[モーション B] の X, Z 軸位置座標に、[モーション A] の終点と [モーション B] の始点の Y 軸回転値の差から求められる回転行列を乗算し、変換後の位置座標を出す。

### 6.4 補間アルゴリズム

身体動作データを連結することによって身体動作を生成する際には、一般に、これらの身体運動の間に補間フレームを挿入する必要がある。合成される身体運動の様子は、どの部分に補間フレームを挿入するかによって変化する。これは、補間フレームを挿入する部分によって、補間を行う始点と終点の人体のポーズが変わるからである。

補間フレームの全ジョイントの位置座標と回転値は、補間フレームの始点と終点の値を線形補間することによって求める。つまり、補間フレーム内での身体動作は、補間フレームの始点と終点のポーズによって求められる。

本研究では、以下で述べる 3 つの補間アルゴリズムを使用する。

なお、ここでの説明にあたっては、合成するモーションと、補間フレームについて、以下のように表す。

- モーション A のフレーム: [Astart~Aend]
- モーション B のフレーム: [Bstart~Bend]
- 補間フレーム数: [Hnum]

#### 6.4.1 補間アルゴリズム AddFrameMix

「AddFrameMix」は、[モーション A] と [モーション B] の間に新たな補間フレームを挿入して動作を連結する方法である。[図 9]。

AddFrameMix では、補間フレームの始点が身体動作の終点になり、終点が身体動作の始点になる。基となる身体動作が終了した後、補間処理によって生成された身体動作が行われ、そして連結する身体動作が行われる。

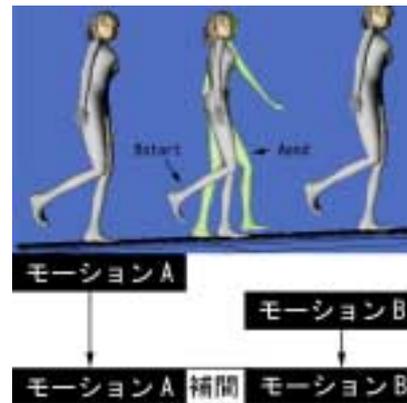


図 9 補間 A: AddFrameMix

#### 6.4.2 補間アルゴリズム FrontFrameMix

「FrontFrameMix」は、モーション A の終点から補間フレーム分さかのぼった [Aend-Hnum] の時点からモーション B の始点 [Bstart] に補間フレームを挿入する方法である [図 10]。

FrontFrameMix では、補間フレームの始点が身体動作の終点より少し前になり、終点が身体動作の始点になる。基となる身体動作が終了する前に、補間処理によって生成された身体動作に繋がる、そして連結する身体動作が行われる。

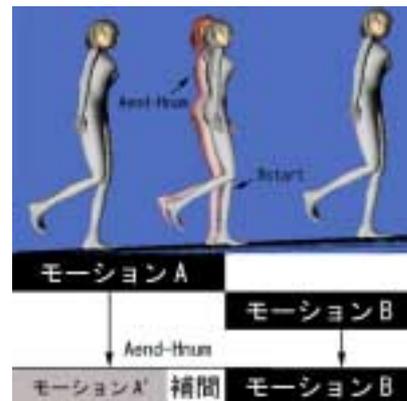


図 10 補間 B: FrontFrameMix

#### 6.4.3 補間アルゴリズム BackFrameMix

「BackFrameMix」は、モーション A の終点 [Aend] からモーション B の始点より補間フレーム分だけ先へ進めた [Bstart+Hnum] の時点の間に補間フレームを挿入する方法である [図 11]。

BackFrameMix では、補間フレームの始点が身体動作の終点になり、終点が身体動作の始点より少し後になる。基となる身体動作が終了し、補間処理によって生成された身体動作が開始され、終了する前に連結する身体動作と繋がる。

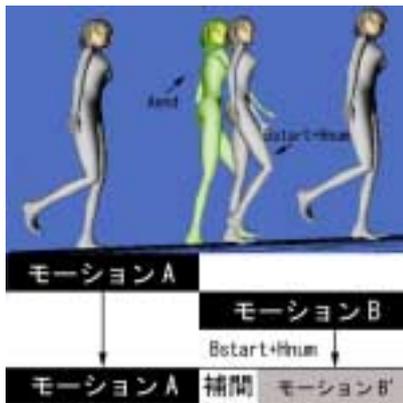


図 11 補間 C:BackFrameMix

## 7. システムの実行例

図 12 に MotionWave の実行画面を示す。MotionWave では、Xfile で記述された身体動作データと Labanotation を入力し、DirectX8.1b を用いて CG アニメーションの描写、再生、コマ送り、逆再生、逆コマ送り、Labanotation の描写を行うことができる。

また、連結する Xfile で記述された 2 つの身体動作データを指定し、ユーザが選択した補間アルゴリズムに従って、モーションデータと Labanotation を結合し、その結果を人体モデルによる CG アニメーションとそれに対応する Labanotation 舞踊譜を描写する。

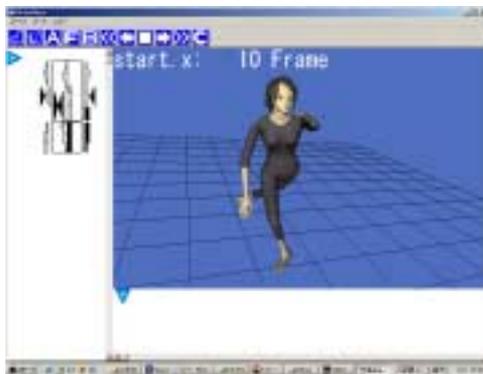


図 12 MotionWave

MotionWave で生成した動作作成例を図 13 と図 13 を示す。図 13 は、標準モデル (モデル A) を使用し、補間アルゴリズム「AddFrameMix」によって 20 フレームで補間処理を行ったものである。図 13 は、モデル D を使用し、補間アルゴリズム「FrontFrameMix」によって 15 フレームで補間処理を行ったものである。

## 8. おわりに

本論文では、モーションキャプチャシステムで取得した身体動作データとそれに付随した Labanotation をライブラリ化し、それを再利用して CG アニメーションと

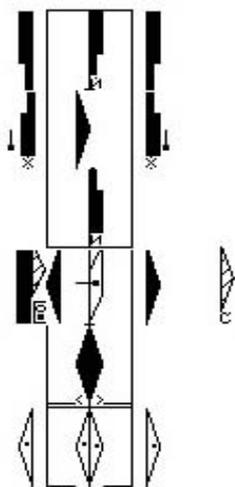
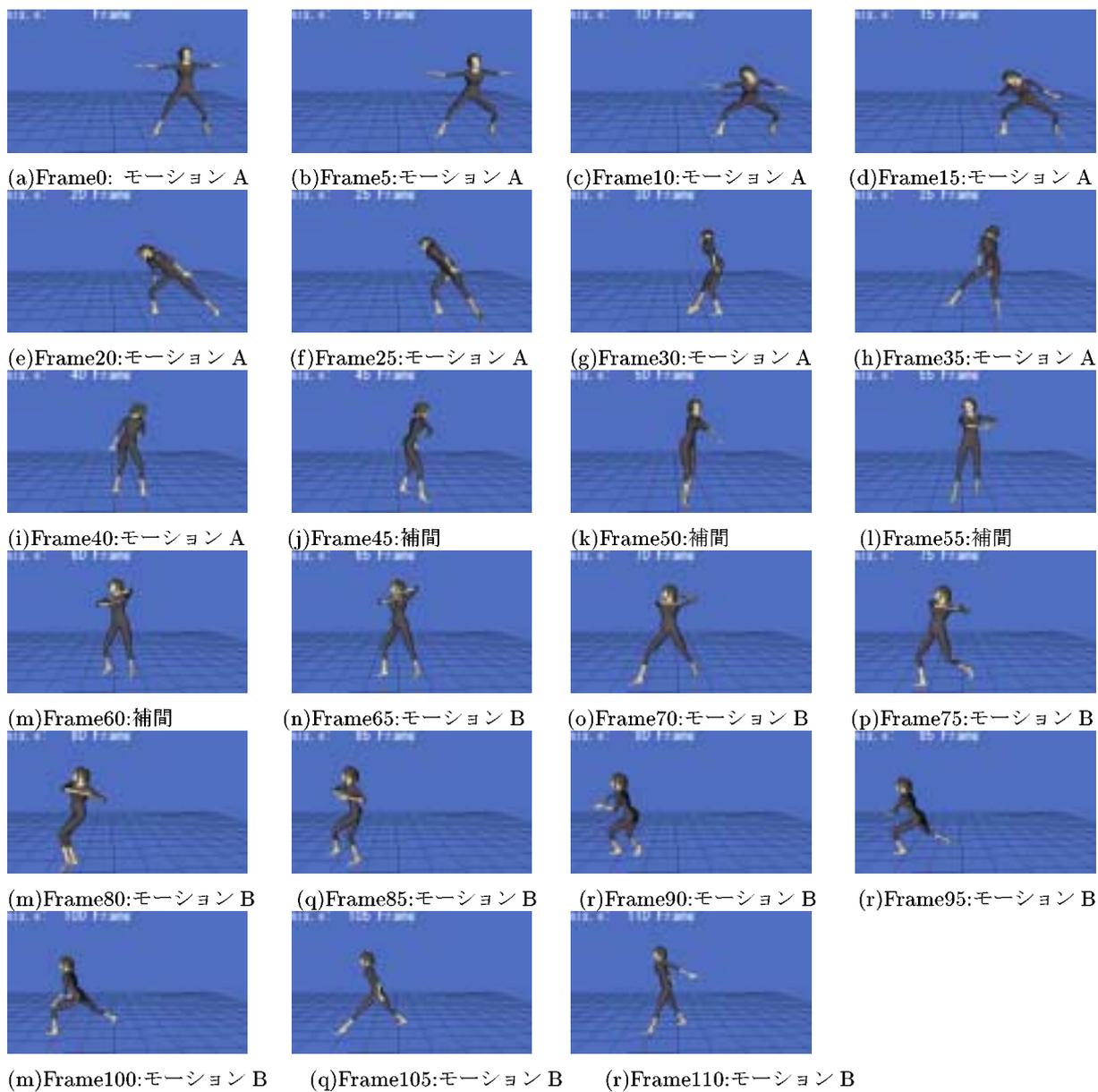
舞踊譜を生成する手法を提案した。

作成したシステム MotionWave で、ライブラリ化した身体動作データと Labanotation データを再利用することにより新たな身体動作と舞踊譜を生成可能であることを示した。

新たに生成された補間部分に対応する Labanotation の生成については、まだ検討の余地が残っている。また、今回の報告では、ライブラリ化された身体動作を連結、補間して新しい身体動作を生成する手法について述べたが、モーションキャプチャシステムで取得した身体動作をライブラリ化の際の単位動作の切り出しの方法、また必要な動作の検索の方法などの課題が残っている。

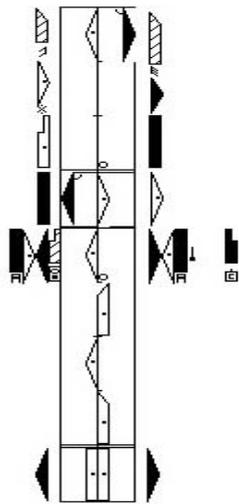
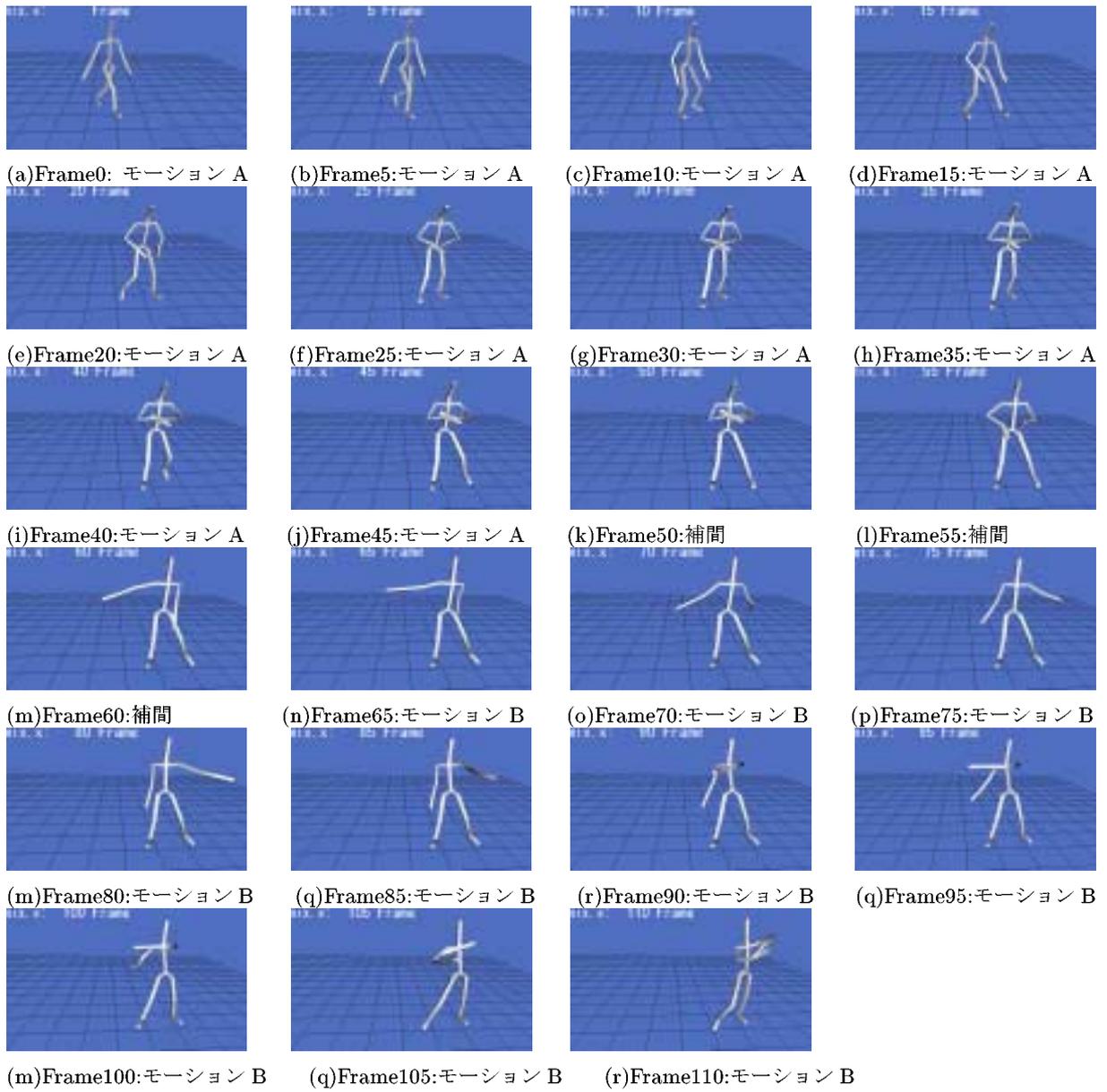
## 参考文献

- 1) 八村広三郎：モーションキャプチャ技術による身体動作の分析・比較研究，科学研究費補助金研究成果報告書，2002
- 2) 曾我麻佐子，遠藤守，安田孝美，海野敏，海賀孝明：モーションキャプチャで取得した舞踊データの H-anim による標準化とその応用，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.41-48，2001
- 3) 中村美奈子，小島一成，八村広三郎：舞踊記譜法とコンピュータへの応用，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.169-176，2002
- 4) 岡本賢一，八村広三郎，中村美奈子：舞踊譜 Labanotation に基づく身体運動データ入力・編集・表示システムの開発，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.73-80，2001
- 5) 八村広三郎，中村美奈子：モーションキャプチャデータから舞踊譜 Labanotation の生成，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資料，128-14，pp.103-110，2001



Labanotation 出力

図 13 AddFrameMix



Labanotation 出力

図 14 FrontFrameMix