

組上げ型振付制作プロセスに基づく ハウスダンスデザインシステム

大字 諒¹⁾ 藤代 一成²⁾(正会員)

1) 慶應義塾大学 大学院理工学研究科 2) 慶應義塾大学 理工学部

A House Dance Design System Based on Constructive Choreographic Process

Ryo Oji¹⁾ Issei Fujishiro²⁾

1) Graduate School of Science and Technology, Keio University

2) Faculty of Science and Technology, Keio University

{ryo.oji, fuji}@fj.ics.keio.ac.jp

概要

昨今、多数の3DCG制作ソフトウェアの登場により、制作プロセスやそれを支援するユーザインタフェースが洗練され、3Dモーション制作の難度は大きく低下してきた。しかし、モーション制作の基本がキーフレーム操作であることに変わりはなく、依然として、複雑なダンスモーションはおろか、自然なモーションの制作にもかなりの技術が要求される。一方で、実際のダンスモーション制作プロセスはより単純である。特に、過去から現在までのダンス文化の集合体であるハウスダンスでは、ダンサーは各部位のモーションを要素として捉え、それらを連動させる組上げ型の制作プロセスを経ることで、様々な振付を制作してきた。そこで本研究では、様々なモーションと実際の振付制作で用いられる操作の関係性を明らかにし、多種多様なハウスダンスモーションの直観的制作を可能にするビジュアルプログラミング環境を提案する。提案システムでは、要素モーションに対する操作を表すノードをインタラクティブに接続することで振付制作プロセスを、さらにその制作した振付を順に接続することでシーケンス制作プロセスを再現する。実際に制作されたダンスモーションおよびシステムに対するユーザ評価から、モーションの自然さと提案環境の有用性が実証された。

Abstract

With recent advent of numerous 3DCG production software, the difficulty of 3D motion production has been greatly reduced, because production processes and user interfaces supporting them have become more sophisticated. However, the basis of motion production still lies in keyframe manipulation, and thus, considerable skill is required to exude the naturalness of even simple motions. On the other hand, actual dance motion production processes are much simpler. Especially in house dance, which is a compilation of dance cultures from past to present, dancers have created various choreographies by considering each motion of body parts as an element and going through a constructive production process to link them together. In this study, we clarify the relationship between various motions and operations used in actual choreography production to propose a visual programming environment that enables intuitive production of a wide variety of house dance motions. The proposed system reproduces the actual process of choreography production by connecting nodes that represent operations on elementary motions interactively, and further reproduces the actual process of sequence creation by smoothly connecting the created choreographies in order. Empirical evaluations proved the naturalness of the created dance motions and the usefulness of the proposed environment.

1 序論

昨今、多数の3DCG制作ソフトウェアの登場により、制作プロセスやそれを支援するユーザインタフェースが洗練され、3Dモーション制作の難度は大きく低下してきた。例えば、フリー3DCGソフトウェアのひとつであるMikuMikuDance(MMD)[1]は、圧倒的に簡素化されたユーザインタフェースをもつという特長から、制作プロセスが明瞭なソフトウェアとして有名である。MMDの普及により、現在ではMMD用3Dモデルが有志により多数制作され、今日では様々な3Dモデルにダンスを踊らせるのがブームとなり、ダンスモーションへの注目度は大きく向上した。しかし、モーション制作の基本がキーフレーム操作であることに変わりはなく、依然として、複雑なダンスモーションはおろか、自然なモーションの制作にもかなりの技術が要求される。

一方で、実際のダンスモーション制作プロセスはより単純である。特に、過去から現在までのダンス文化の集合体であるハウスダンス[2]では、ダンサーは各部位のモーションを要素として捉え、それらを連動させる組上げ型の制作プロセスを経ることで、様々な振付を制作してきた。

そこで本研究では、様々なモーションと実際の振付制作で用いられる操作の関係性を明らかにし、多種多様なハウスダンスモーションの直観的制作を可能にするビジュアルプログラミング環境を提案する。本システムでは、要素モーションに対する操作を表すノードをインタラクティブに接続することで、実際の振付制作プロセスを再現している。

先行報告[3]でのプロトタイプからは、主に以下の5点を拡張した：

- シーケンスエディタ：4.3項, 5.1項(b), 6.6項
- 合成関節のより細かな指定：5.1項(c)
- 組み上げた部位の動きが明確となる結果表示画面の追加：5.1項(d)
- 新たな基本モーションの導入：5.2項
- 全てのモーションに対し腰の平行移動成分を反映：5.2項

先行報告[3]での予備実験により、実際に制作されたハウスダンスモーションの視聴者評価から、プロトタイプシステムの妥当性は実証されている(7.2項)。さらに、

システム拡張後に制作されたモーションとシーケンスに対する評価を得るため、新しく導入した基本モーションであり区別の難しい肩のモーション、予備実験では精度が低かった前ジャッキン、新たに制作できるようになったシーケンスに対する評価実験(7.3項)、および提案システムを用いたワークショップ(7.4項)を行う。そして、システム拡張による出力モーションの精度向上、および本システムの有用性を実証する。

2 関連研究

本節では、プリミティブダンスモーションの定義およびダンスモーション制作インタフェースの先行研究について説明し、本研究の位置づけを明確にする。

2.1 プリミティブダンスモーションの定義

ダンスモーション研究において、プリミティブとなるモーションの定め方は多種多様である。園田ら[4]は、体の各部位の速度や全身が向く方向の変化、その動きにより占領されるスペースの広さといった、モーションデータの物理的情報によりプリミティブダンスモーションを定義し、長時間のモーションキャプチャデータからそれらを抽出する手法を提案した。白鳥ら[5]は、音楽のリズムや構造、雰囲気、朝比奈ら[6]は、音楽の歌詞にそれぞれ注目し、それらの特徴とダンスモーションの対応関係を抽出することでダンスモーションを生成する手法を提案した。岡田ら[7]は、一連のダンスシーケンスからプリミティブモーションを抽出するタスクをダンサーに対して実施することで、定性的にプリミティブモーションを定義づけた。

2.2 ダンスモーション制作インタフェース

矢崎ら[8]は、ユーザが体の各部位のモーションを指定することで、それらが合成されたコンテンポラリーダンスモーションを出力するインタフェースを提案した。岩本ら[9]は、異なる曲同士のみキシングと同じ手法でダンスモーションのブレンドが可能なディスクジョッキーを用いたインタフェースを提案した。ダンスシーケンス制作においては、曾我ら[10]がクラシックバレエにおけるプリミティブモーションの選択型インタフェースを、Chenら[11]がリズムのとり方を指定できるグラフ型インタフェースを各々提案した。尾下[12]は、能の台本の文章を入力することで、台本通りのモーションシーケンスを生成するインタフェースを提案した。

2.3 本研究の位置づけ

前二項において説明した研究と本研究の相違点は主として2点にまとめられる。1つ目は、プリミティブモーションの定義である。従来手法の多くは、プリミティブモーションを全身の動きとして定義しており、各部位の動きの集合としては定義していない。矢崎ら [8] は、本研究と同様に各部位の動きに着目しているものの、各部位の動きは単独モーションでのみ決定され、複数モーションからの影響を考慮していない点で本研究と異なる。2つ目は、対象ジャンルである。従来手法は、クラシックバレエや能といった、どれもプリミティブモーションが明確に存在するジャンル、または不特定のジャンルを対象としており、ハウスダンスのような様々なモーションを組み上げることで新たなモーションを制作するジャンルを対象としていない。

本研究では組上げ型 (constructive) の制作プロセスを経るハウスダンスを対象に、様々なモーションと実際の振付制作で行う操作の関係性を明らかにする。そして、多種多様なダンスモーションの直観的制作を可能にするビジュアルプログラミング環境を提案する。

3 モーションと操作の関係性

本節では、ハウスダンスにおける様々なモーションと実際の振付制作で行う操作の関係性を定義した後、その定義を用いて実際の振付制作プロセスを表現する。

3.1 ハウスダンスの特徴

ハウスダンスとは、4分の4拍子で刻まれるキックが特徴的なハウスミュージックに合わせて踊るダンスジャンル [2] である。その起源は、1977年シカゴのクラブで、ダンサーたちが様々なダンスジャンルをハウスミュージックに合わせて踊っていたことであるとされている。そのためハウスダンスでは、ストリートダンスの基本である各部位を独立して動かす、アイソレーションとよばれる動きを採り入れている。首のアイソレーションの例としては、首より下の部位を動かさずに顔を正面に向けたまま、首の付け根を軸に頭全体を前後または左右に動かすものがある。他にも単に顔の方向だけを変える首のアイソレーション、腕を動かさずに肩を上下または前後させる肩のアイソレーション、上半身と足を動かさずに腰を前後または左右させる腰のアイソレーションが知られている。このように、各部位のアイソレーションは

他部位に影響を与えない動きであるため、ハウスダンスを踊るダンサーは足の動きであるステップに対し、適宜アイソレーションを組み合わせることで踊りのバリエーションを高めていくことができる。

3.2 スケルトンアニメーション

スケルトンアニメーションでは、親関節を基準とした関節 i の状態 j_i を、スケール成分を表す3次元ベクトル $s_i \in \mathbb{R}^3$ 、回転成分を表す単位クォータニオン $q_i \in \mathbb{R}^4$ 、平行移動成分を表す3次元ベクトル $t_i \in \mathbb{R}^3$ の3種類のパラメタの組 $(s_i, q_i, t_i) \in \mathbb{R}^{10}$ により表現する：

$$j_i = (s_i, q_i, t_i). \quad (1)$$

n 個 ($n \in \mathbb{N}$) の関節から成るスケルトンモデルの場合、ルート関節番号を0とし、それ以外の関節番号は順不同とする。関節 i ($i = 0, \dots, n-1$) の親関節を $a_{parent(i)}$ とすると、各関節の親子関係 r は各関節の親関節の組 $(a_{parent(0)}, a_{parent(1)}, \dots, a_{parent(n-1)})$ により表現される。ただし、ルート関節の親はルート関節自身とする。このとき、フレーム k においてモデルがとるポーズ f_k は親関節を基準とした各関節状態の組 $(j_0, j_1, \dots, j_{n-1}) \in \mathbb{R}^{10n}$ により表現され、ポーズ f_k と各関節の親子関係 r を用いて順運動学により全身の状態が表現される。合計 l 個 ($l \in \mathbb{N}$) のフレームから成るモーションの場合、単一フレームの表示時間を $d \in \mathbb{R}$ とすると、モーション m は以下のように表現される：

$$m = (d, r, f_0, f_1, \dots, f_{l-1}). \quad (2)$$

3.3 ハウスダンスモーションの定義

任意のスケルトンアニメーションデータは式 (2) で表現されることから、その形式で表される全ての組の集まりをモーション集合 M とすると、ハウスダンスモーション集合 $H \in \mathbb{R}^{n+l+1}$ (n : 総関節数, l : 総フレーム数) は以下のように定義される：

$$H = \{x \in M \mid x \text{ はハウスミュージックで踊る動き}\}.$$

次に、ハウスダンスモーションのうち、そのモーション単体でダンスとして成立する最小単位のモーションの集合を基本モーション集合 P ($P \subset H$) と定義する：

$$P = \{x \in H \mid x \text{ は最小単位のモーション}\}.$$

ハウスダンスには基本モーションとして、3.1項で説明した首・肩・腰のアイソレーションおよび足の動きであるステップに加え、リズムをとる動きを含める。ここで、

腰は足元のルート関節の子関節、首は首の付け根を表す関節とその子関節全て、肩は腕の付け根を表す関節とその子関節全て、足は足の付け根を表す関節とその子関節全てとする。それぞれの動きの集合を以下の5種類に直和分解する：

$$\begin{aligned} P_{neck} &= \{x \in P \mid x \text{ は首の動き}\}, \\ P_{shoulder} &= \{x \in P \mid x \text{ は肩の動き}\}, \\ P_{hip} &= \{x \in P \mid x \text{ は腰の動き}\}, \\ P_{foot} &= \{x \in P \mid x \text{ は足の動き}\}, \\ P_{rhythm} &= \{x \in P \mid x \text{ はリズムをとる動き}\}. \end{aligned}$$

元来、命名されたステップというものは、特定のリズムのとり方でその足運びをすることにダンサーが心地よいと感じたからこそ命名されている。したがって、全てのステップを全てのリズムで踊れるわけではない。ステップはダウンまたはアップで踊れるものの2種類に分けられることから、それぞれを以下の2種類に直和分解する：

$$\begin{aligned} P_{foot}^{down} &= \{x \in P_{foot} \mid x \text{ はダウンで踊れるもの}\}, \\ P_{foot}^{up} &= \{x \in P_{foot} \mid x \text{ はアップで踊れるもの}\}. \end{aligned}$$

ハウスダンスでは、ダウン、アップ、前ジャッキン、後ジャッキンの計4種類のリズムのとり方が存在し、ダンサーはそれを適宜変化させることで踊りのバリエーションを高めている。ここで、ダウンは音楽の拍の瞬間に膝が曲がった状態を、アップは膝が伸びた状態をさす。また、ジャッキンは上半身全体を回す動きであり、前ジャッキンは前回りに回すことで音楽の拍の瞬間に上半身が前にある状態を、後ジャッキンは後回りに回すことで後にある状態をさす。したがって、リズムの基本モーションの集合 P_{rhythm} はダウン、アップ、前ジャッキン、後ジャッキンの計4種類に直和分解される：

$$\begin{aligned} P_{rhythm}^{down} &= \{x \in P_{rhythm} \mid x \text{ はダウンの動き}\}, \\ P_{rhythm}^{up} &= \{x \in P_{rhythm} \mid x \text{ はアップの動き}\}, \\ P_{rhythm}^{frontJ} &= \{x \in P_{rhythm} \mid x \text{ は前ジャッキンの動き}\}, \\ P_{rhythm}^{rearJ} &= \{x \in P_{rhythm} \mid x \text{ は後ジャッキンの動き}\}. \end{aligned}$$

(a) リズム化

ハウスダンスでは、リズムに乗りながら足の動きを行うことが多い。ある足の動きをリズム化するという操作は、足の基本モーション P_{foot} とリズムの基本モーション P_{rhythm} の直積集合 $P_{foot} \times P_{rhythm} \subset H^2$ で表現されるハウスダンスモーション集合 H の直積 H^2 の部分

集合から、ハウスダンスモーション集合 H への写像に等しい。

ダウン、前ジャッキン、後ジャッキンと同時に行えるのはダウンで踊れる足の基本モーション P_{foot}^{down} 、アップと同時に行えるのはアップで踊れる足の基本モーション P_{foot}^{up} のみであることに注意すると、各操作は以下のように規定される：

$$\begin{aligned} \text{ダウン化} \quad down &: P_{foot}^{down} \times P_{rhythm}^{down} \rightarrow H, \\ \text{アップ化} \quad up &: P_{foot}^{up} \times P_{rhythm}^{up} \rightarrow H, \\ \text{前ジャッキン化} \quad frontJ &: P_{foot}^{down} \times P_{rhythm}^{frontJ} \rightarrow H, \\ \text{後ジャッキン化} \quad rearJ &: P_{foot}^{down} \times P_{rhythm}^{rearJ} \rightarrow H. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} down(a, b) &= a \oplus_d b \quad (a \in P_{foot}^{down}, b \in P_{rhythm}^{down}), \\ up(a, b) &= a \oplus_u b \quad (a \in P_{foot}^{up}, b \in P_{rhythm}^{up}), \\ frontJ(a, b) &= a \oplus_f b \quad (a \in P_{foot}^{down}, b \in P_{rhythm}^{frontJ}), \\ rearJ(a, b) &= a \oplus_r b \quad (a \in P_{foot}^{down}, b \in P_{rhythm}^{rearJ}). \end{aligned}$$

(b) 結合

ハウスダンスでは各部位のモーションを要素と捉え、それらを連動させる組上げ型制作プロセスを経ることで様々なモーションを制作している。あるモーションに対して任意部位の基本モーションを組み上げるという操作は、ハウスダンスモーション集合 H の直積 H^2 の部分集合であるハウスダンスモーション集合 H と基本モーション集合 P の直積集合 $H \times P \subset H^2$ から、ハウスダンスモーション集合 H への写像に等しく、以下のように表現される：

$$\begin{aligned} combine &: H \times P \rightarrow H, \\ combine(a, b) &= a \otimes b \quad (a \in H, b \in P). \end{aligned}$$

(c) 連結

(a), (b) で説明した操作を通して数秒程度の振付を制作した後、ダンサーはそれらの振付を連続的に行うことで長尺のダンスシーケンスを制作している。ある振付の後に別の振付へ遷移させる操作は、ハウスダンスモーション集合 H の直積 H^2 から、ハウスダンスモーション集合 H への写像に等しく、以下のように表現される：

$$\begin{aligned} concatenate &: H^2 \rightarrow H, \\ concatenate(a, b) &= a \text{ 田 } b \quad (a \in H, b \in H). \end{aligned}$$

(d) 速度変更

実際の振付制作プロセスにおいて、モーションの速度は頻繁に変更される。速度変更は単一のモーションに対



図 1: ダウンで踊れるステップを前ジャックインのリズムで踊る振付に対し首のアイソレーションを組み上げる例 (添付ビデオ: 1. 組上げ型振付制作プロセスの例)

する操作であることから、ハウスダンスモーション集合 H からハウスダンスモーション集合 H への写像に等しい。特に 2 倍速化, 0.5 倍速化を行うことから、それぞれは以下のように表現される:

$$\begin{aligned} \text{double} : H &\rightarrow H, & \text{double}(a) &= {}^+a \quad (a \in H), \\ \text{half} : H &\rightarrow H, & \text{half}(a) &= {}^-a \quad (a \in H). \end{aligned}$$

3.4 組上げ型振付制作プロセスの例

ダウンで踊れるステップを前ジャックインのリズムで踊る振付に対し、首のアイソレーションを組み上げる例を、図 1 および添付ビデオ (1. 組上げ型振付制作プロセスの例) に示す。ここで 3.3 項より、ダウンで踊れるステップは集合 $P_{\text{foot}}^{\text{down}}$ の元 $p_{\text{foot}}^{\text{down}} \in P_{\text{foot}}^{\text{down}}$ 、前ジャックインの動きは集合 $P_{\text{rhythm}}^{\text{frontJ}}$ の元 $p_{\text{rhythm}}^{\text{frontJ}} \in P_{\text{rhythm}}^{\text{frontJ}}$ 、首のアイソレーションは集合 P_{neck} の元 $p_{\text{neck}} \in P_{\text{neck}}$ である。また、ダウンで踊れるステップを前ジャックインのリズムで踊るという操作は (a) の前ジャックイン化、前ジャックイン化された振付に対して首のアイソレーションを組み上げる操作は (b) の結合に等しい。従って、この組み上げられた振付は以下のように表現できる:

$$\begin{aligned} \text{combine} \left(\text{frontJ} \left(p_{\text{foot}}^{\text{down}}, p_{\text{rhythm}}^{\text{frontJ}} \right), p_{\text{neck}} \right) & \quad (3) \\ &= p_{\text{foot}}^{\text{down}} \oplus_f p_{\text{rhythm}}^{\text{frontJ}} \otimes p_{\text{neck}}. \end{aligned}$$

4 組上げ型モーションの生成

本節では、3 節で定義した各種操作のうち、リズム化のひとつである前ジャックイン化、結合、連結および速度変更について、モーションデータを用いて実現する手法をそれぞれ説明する。

4.1 前ジャックイン化

実際の振付制作において、前ジャックイン化はあるダウンで踊れる足の基本モーションを行いながら、一部関節の動きを前ジャックインの基本モーションと混合すること

で実現する。そのため、一部関節に対し、ダウンで踊れる足の基本モーションの回転成分と、前ジャックインの基本モーションの回転成分を加算する手法を提案する。すなわち、一般的なアニメーションシステムで採用される加算ポーズブレンド手法を指定関節に対してのみ適用する。ここで、加算ポーズブレンド手法とは、各フレームにおける基本ポーズと派生ポーズの差分ポーズを計算し、差分ポーズに係数を乗じたうえで基本ポーズに加算することで、基本ポーズを外挿したポーズを生成する手法 [13] をさす。

ダウンで踊れる足の基本モーションを基本ポーズ、前ジャックインの基本モーションを派生ポーズとすると、前ジャックイン化は以下のように表現される:

$$\begin{aligned} s_i^* &= \bar{s}_i + \beta_i \Delta s_i, & \Delta s_i &= s_i - \bar{s}_i, \\ q_i^* &= \exp(\beta_i \Delta q_i) \bar{q}_i, & \Delta q_i &= \log(q_i \bar{q}_i^{-1}), \\ t_i^* &= \bar{t}_i + \beta_i \Delta t_i, & \Delta t_i &= t_i - \bar{t}_i, \\ \beta_i &= \begin{cases} b \in \mathbb{R} \setminus \{0\} & (i \text{ は指定関節}) \\ 0 & (i \text{ は指定関節ではない}) \end{cases}. \end{aligned}$$

ここで、 $(\bar{s}_i, \bar{q}_i, \bar{t}_i)$ は基本ポーズ、 (s_i, q_i, t_i) は派生ポーズ、 $(\Delta s_i, \Delta q_i, \Delta t_i)$ は基本ポーズから派生ポーズへの差分ポーズ、 (s_i^*, q_i^*, t_i^*) はブレンド後のポーズ、 β_i は加算ブレンド係数をそれぞれ表す。

4.2 結合

実際の振付制作において、結合はあるモーションを行いながら、結合したい部位の動きをその部位の基本モーションへ変更することで実現する。そのため、一部関節に対し、あるモーションの回転成分を結合したい部位の基本モーションへオーバーライドする手法を提案する。あるモーションを基本ポーズ、結合したい部位の基本モーションを派生ポーズとすると、結合は以下のように表現される:

$$\begin{aligned} s_i^* &= (1 - \alpha_i) \bar{s}_i + \alpha_i s_i, \\ q_i^* &= (q_i \bar{q}_i^{-1})^\alpha \bar{q}_i, \\ t_i^* &= (1 - \alpha_i) \bar{t}_i + \alpha_i t_i, \\ \alpha_i &= \begin{cases} 1 & (i \text{ は指定関節}) \\ 0 & (i \text{ は指定関節ではない}) \end{cases}. \end{aligned}$$

ここで、 $(\bar{s}_i, \bar{q}_i, \bar{t}_i)$ は基本ポーズ、 (s_i, q_i, t_i) は派生ポーズ、 (s_i^*, q_i^*, t_i^*) はオーバーライド後のポーズ、 α_i はオーバーライド係数をそれぞれ表す。

4.3 連結

ダンサーがある振付を別の振付へ連結させる際、各関節の速度や加速度が滑らかに変化するように全身の動きを変化させる。そのため、単位時間あたりの加速度の変化率を表す、躍度が最小となるモーションを生成する慣性補間手法 [14] を採用した。

具体的には、振付 A から振付 B への遷移は、時刻 0 に開始し、時刻 t_1 に完了すると仮定する。このとき、時刻 t での関節 i の状態は、時刻 t での振付 B の関節状態に対して、遷移開始時における振付 A, B 間の関節状態の初期差分に、差分係数 $\gamma_i(t)$ を乗じたものを加算することで算出される。ここで、関節状態とは、式 (1) で表される関節 i の状態 j_i を表し、遷移においてスケール成分は変化しないとする。以下、差分係数 $\gamma_i(t)$ を導出する。

躍度が最小となる差分係数 $\gamma_i(t)$ は、躍度最小モデル [15] により算出する。このモデルでは、評価関数 C を以下のように表現する：

$$C = \frac{1}{2} \int_0^{t_1} \left(\frac{d^3 \gamma_i(t)}{dt^3} \right)^2 dt.$$

評価関数 C が最小となる関数 $\gamma_i(t)$ が最適であり、評価関数 C が極値をとる際は、関数 $\gamma_i(t)$ がオイラーポアン方程式を満たすため、以下の式が導かれる：

$$\frac{d^6 \gamma_i(t)}{dt^6} = 0.$$

以上より、差分係数 $\gamma_i(t)$ は 5 次式であることがわかる。

時刻 t における差分係数 $\gamma_i(t)$ が時刻 t_1 で 0 に収束する場合、 $\gamma_i(t)$ は以下のように表現される：

$$\begin{aligned} \gamma_i(t) &= At^5 + Bt^4 + Ct^3 + \frac{a_0^i}{2}t^2 + v_0^i t + x_0^i, \\ A &= -\frac{a_0^i t_1^2 + 6v_0^i t_1 + 12x_0^i}{2t_1^5}, \\ B &= \frac{3a_0^i t_1^2 + 16v_0^i t_1 + 30x_0^i}{2t_1^4}, \\ C &= -\frac{3a_0^i t_1^2 + 12v_0^i t_1 + 20x_0^i}{2t_1^3}. \end{aligned}$$

ここで、 x_0^i は遷移開始時での振付 A, B 間の関節 i の状態の差を、 v_0^i は遷移開始時での振付 A の関節 i の速度を、 a_0^i は遷移開始時での振付 A の関節 i の加速度をそれぞれ表す。 x_0^i は遷移開始 1 フレーム前における振付 A と遷移開始フレームの振付 B の関節状態の差から、 v_0^i は振付 A の遷移開始 1 フレーム前と 2 フレーム前の関

節状態の差から算出し、 a_0^i は以下から算出される：

$$a_0^i = \frac{-8v_0^i t_1 - 20x_0^i}{t_1^2}.$$

遷移開始時の関節 i の加速度 a_0^i の値次第では、収束までの過程で差分係数 $\gamma_i(t)$ が 0 をとり、オーバーシュートが発生する可能性がある。それを防ぐためには、収束時刻 t_1 を以下のように補正する必要がある：

$$t_1 = \min \left(t_1, -\frac{5x_0^i}{v_0^i} \right).$$

4.4 速度変更

本来コンピュータアニメーションは、フレームを高速で描画することで実現され、その速度は単一フレームの表示時間にのみ依存する。そのため、一般的アニメーションシステムと同様の手法である、モーション m がもつ単一フレームの表示時間 d に係数を乗算する手法を提案する。速度変更は以下のように表現される：

$$d^* = \beta d. \quad (4)$$

ここで、 d は変更前の単一フレームの表示時間、 d^* は変更後の単一フレームの表示時間、 β は倍率係数をそれぞれ表す。

5 システム

本節では、前二節で定式化した組上げ型振付制作プロセスを再現するビジュアルプログラミング環境について説明する。

5.1 システムの画面構成

提案システムは図 2 に示すような、多種多様なダンスモーションの直観的制作を可能にするビジュアルプログラミング環境を提供している。本システムの開発には Unity 2021.3.4、およびエディタ拡張用フレームワーク NodeGraphProcessor を利用した。

インタフェースは主に 3 画面から構成されている。図 2 (A), (B), (C) は、それぞれ振付・シーケンスエディタ、ボディマスクエディタ、結果表示画面である。図 2 (A) は振付編集時には振付エディタ、シーケンス編集時にはシーケンスエディタとなる。また、処理実行時には、振付・シーケンスエディタが結果表示画面へ遷移する。その他は Unity 標準機能であるため、説明は割愛する。各画面の詳細については、以下で説明する。

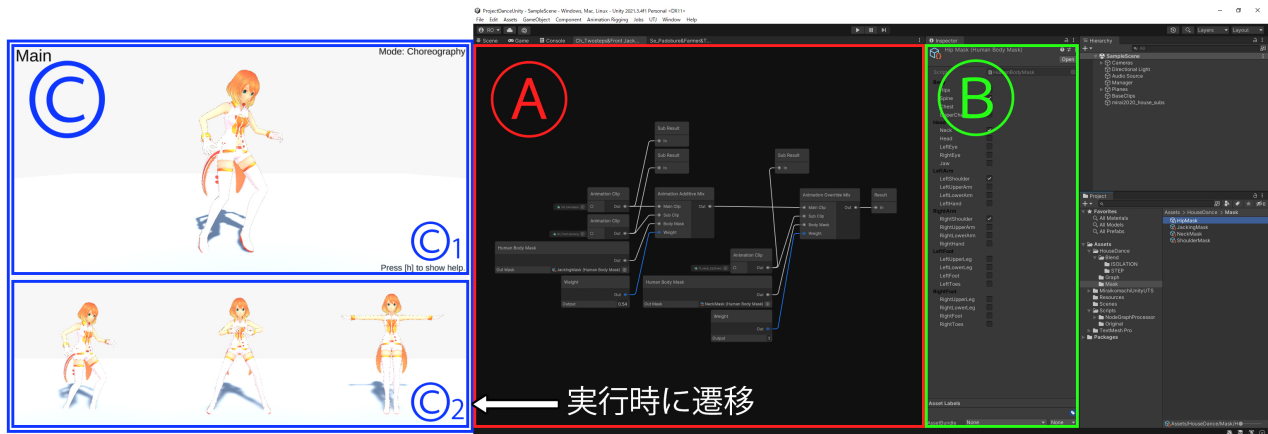


図 2: 提案システムの画面構成. ①は振付・シーケンスエディタ, ②はボディマスクエディタ, ③は結果表示画面をそれぞれ表す. ①と ②はともに結果表示画面のモードに伴い表示するものが変化し, 本図は振付モードでの画面である

(a) 振付エディタ

振付エディタでは, 要素モーションとそのモーションに対する操作を表すノードをインタラクティブに接続することで, 組上げ型振付制作プロセスにおける振付制作プロセスを再現する. ユーザのインタラクティブなノード操作を可能にするために, 振付エディタにはノードの作成・削除・移動・グループ化, データ形式上互換性のあるノード間の接続, redo・undo 機能が実装されている.

(b) シーケンスエディタ

シーケンスエディタでは, 振付を表すノードをインタラクティブに接続することで, 組上げ型振付制作プロセスにおけるシーケンス制作プロセスを再現する. また, 振付エディタと同様に, シーケンスエディタでもインタラクティブなノード操作が可能である.

(c) ボディマスクエディタ

ボディマスクエディタでは, 前ジャッキン化および結合において合成対象となる関節を指定する. プロトタイプ [3] では, 例えば胴体, 右腕, 左腕などのパーツ全体での指定のみ可能であったが, 拡張後は腰, 脊椎, 胸, 右腕の付け根, 右肘, 右手首などの関節単位での指定が可能となり, システム上で表現できるモーションの幅が広がった.

(d) 結果表示画面

結果表示画面は 2 モードおよび 2 画面により構成される. モードには, 振付モードとシーケンスモードが存在する. 前者では, 図 2 ①は最終的な振付を, 図 2 ②は制作途中の振付をそれぞれ表示する. 後者では, 図 2 ①は最終的なシーケンスを, 図 2 ②は組み上げた

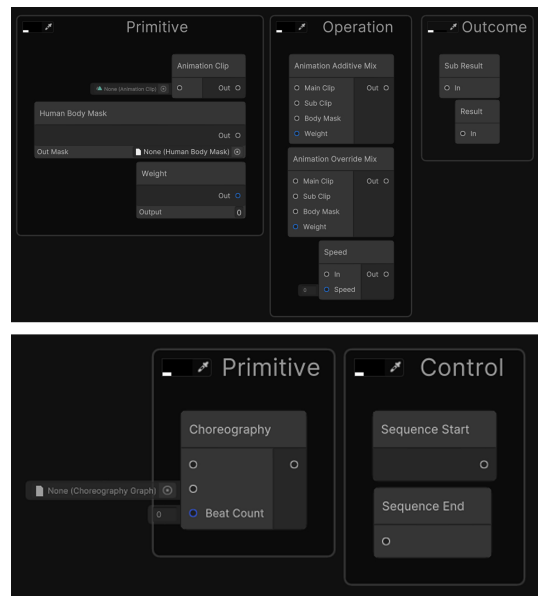


図 3: 各ノードの外観. 上は振付エディタ, 下はシーケンスエディタのノードをそれぞれ表す

部位に寄った部位をそれぞれ表示する. 先行報告 [3] では, 振付モードのみが実装されていたが, システム拡張後はシーケンスモードが追加され, 組み上げた部位の動きがより明確となった.

5.2 導入されている基本モーション

本システムに導入されている基本モーションは合計 16 種類である. 具体的には, ストリートダンスモーションデータセット AIST Dance Video Database[16] を 3 次元再構成した, AIST++[17] で提供されるハウスダンスの基本モーション 10 種類と, 長尺シーケンスから抽出した 1 種類, および著者が作成した 5 種類である. なお,

先行報告 [3] では、AIST++[17] で提供される基本モーション 3 種類と長尺シーケンスから抽出した 1 種類、および著者が作成した 2 種類の合計 6 種類のみが導入済であったが、システム拡張により合計 10 種類のモーションが追加された。さらに、先行報告 [3] では未導入であった腰の平行移動成分を全てのモーションに対し導入し、上下運動によるダンス特有のリズム感の反映を試みた。

5.3 ノード

3 節の各種定義をもとに、本システムに実装した各ノードの外観を 図 3 に示す。また、振付エディタ、シーケンスエディタに実装されているノードの詳細をそれぞれ付録の表 A.1, 表 A.2 に示す。各ノードは振付エディタでは Primitive, Operation, Outcome, シーケンスエディタでは Primitive, Control のいずれかのカテゴリに属す。入出力形式には、独自に定義した HouseDanceMotion, HumanBodyMask, ChoreographyGraph, 制御部を用いる。HouseDanceMotion はモーションデータ, HumanBodyMask はモーションデータの部分的合成を容易にするための関節指定用データ, ChoreographyGraph は振付エディタによって制作した振付をそれぞれ表す。また、制御部はシーケンスエディタにのみ存在する形式であり、Sequence start ノードから順に繋げることで振付の順番を指定できる。

本システムでは冗長性を防ぐ観点から、全てのダンスモーションデータ形式を HouseDanceMotion に統一している。なぜならば、全てのモーションデータは式 (2) により表現されるからである。そのため、各種操作を表すノードに対し定義域外のモーションを入力することも仕様上不可能ではないが、最終的な振付の人体構造的妥当性は保証されない。例えば、ダウンで踊れる足の基本モーションであるトレインをアップと同時に踊ることは人体構造上不可能である。しかし、エディタ上では実現可能であるため、トレインをアップ化した際は、本来曲がらないはずの角度へ膝が曲がった振付など、人体構造を維持していない出力が得られる可能性がある。そのため、定義域外モーションの入力により、出力結果の人体構造的妥当性が失われる点はエディタ上で反映されるべきであり、そもそも入力できないようにする、または入力時に警告を表示するといった対応が必要である。

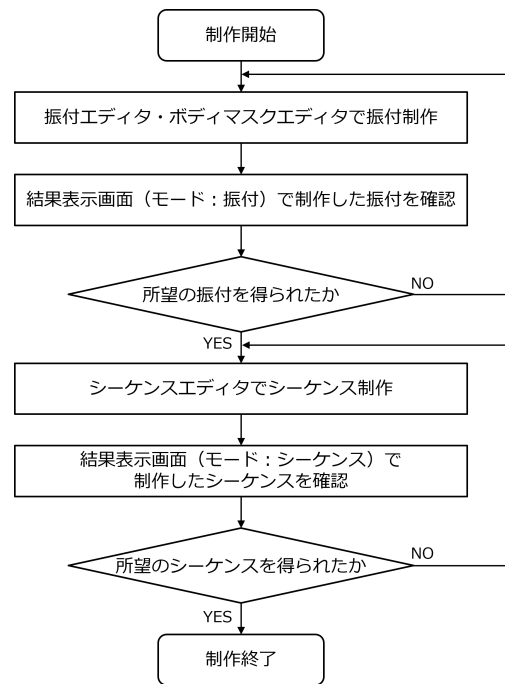


図 4: 提案システムを用いて組上げ型振付制作プロセスを再現する際の一連のユーザ操作の流れ

6 ユーザ操作

本節では、本システムを用いて組上げ型振付制作プロセスを再現する際に行う一連のユーザ操作の例、および各操作について説明する。

6.1 一連の操作の例

本システムを利用するユーザは、図 4 に示す一連の操作を行うことで組上げ型振付制作プロセスを再現することができる。図 4 のステップ 1 (振付エディタ・ボディマスクエディタで振付制作) においては、以下に示す一連の操作により振付を制作する。

1-1 足の基本モーションに対する処理

- (a) クリップ選択
- (b) 速度変更
- (c) 前ジャッキン化

1-2 首・肩・腰の基本モーションに対する処理

- (a) クリップ選択
- (b) 速度変更
- (c) 結合 (結合関節の選択, 結合度決定)

1-3 途中振付の速度変更

以下では、ステップ 1 での振付制作、およびステップ 4 でのシーケンス制作における各操作の詳細を説明する。

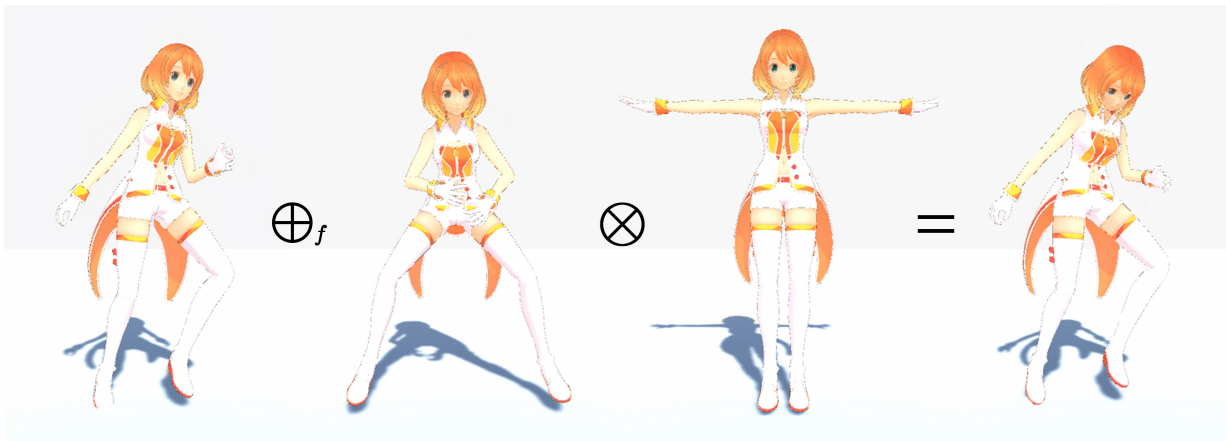


図 5: 3.4 項に示した 3 種類の基本モーションと本システムによりそれらを組み上げて制作した振付の同フレームにおけるポーズ。左から順にダウンで踊れる足の基本モーション, 前ジャッキンの基本モーション, 顔を上下に動かす首の基本モーション, 最終的な振付の同フレームにおけるポーズをそれぞれ表す (添付ビデオ: 2. 提案環境を用いた振付制作)

6.2 クリップ・ボディマスク選択

クリップ選択には Animation Clip ノードを, ボディマスク選択には Human Body Mask ノードを用いる. Animation Clip ノードでは, ノード左側に存在する \odot をクリックすることで, 本システム内に存在する全てのモーションデータを一覧で表示するウィンドウが表示される. この一覧からモーションデータを選択することができ, 選択されたモーションデータ名がノード左側の矩形枠内に表示される. 同様の手順を Human Body Mask ノードにおいても行うことで, ボディマスクを選択できる.

6.3 前ジャッキン化

前ジャッキン化には Animation Additive Mix ノードを用いる. Animation Additive Mix ノードには 4.1 項の手法が実装されている. ノード左側の Main Clip が基本ポーズ, Sub Clip が派生ポーズ, Body Mask が指定関節, Weight が加算ブレンド係数に, ノード右側の Out がブレンド後のポーズにそれぞれ対応する.

6.4 結合

結合には Animation Override Mix ノードを用いる. Animation Override Mix ノードには 4.2 項の手法が実装されている. ノード左側の Main Clip が基本ポーズ, Sub Clip が派生ポーズ, Body Mask が指定関節, Weight がオーバーライド係数に, ノード右側の Out がオーバーライド後のポーズにそれぞれ対応する.

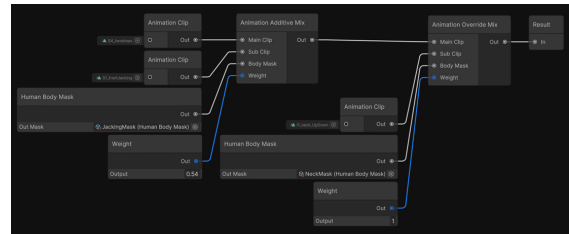


図 6: 3.4 項に示した制作プロセスを再現する振付エディタのノード構成例 (添付ビデオ: 2. 提案環境を用いた振付制作)

6.5 速度変更

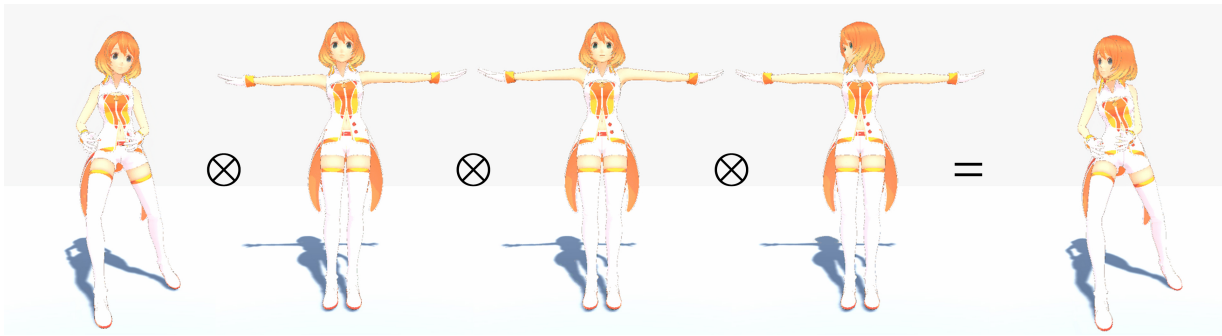
速度変更には Speed ノードを用いる. Speed ノードには 4.4 項の手法が実装されている. ノードの左下に存在する矩形枠に数値を入力することで, 式 (4) における倍率係数 β を指定できる.

6.6 シーケンス制作

シーケンス制作は, シーケンスエディタ上で Sequence start ノード, 複数の Choreography ノード, Sequence end ノードの各制御部を順に接続する. Choreography ノードでは, 6.2 項と同様の手順でシーケンスに含める振付が選択可能であるだけでなく, 6.5 項と同様の手順で, その振付を続けて踊る拍数も指定できる. 実行時には, 4.3 項の手法に基づき, 本システムにより所望のシーケンスが生成される.

7 結果と評価

本節では, はじめに本システムを用いて制作したモーションを示し, 次に先行報告 [3] での予備実験, および新たに実施したモーションとシーケンスの評価実験, ワー



(a) パドブレとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションに対し、腰・肩・首の基本モーションを結合した例



(b) トレインとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションを前ジャッキン化し、腰・肩の基本モーションを結合した例

図 7: 本システムにより制作された複雑な振付例の同フレームにおけるポーズ (添付ビデオ: 3. 複雑な振付例)

クショップの結果について順に説明する。実行環境は CPU: AMD Ryzen 9 5900X @ 3.7GHz, RAM: 64GB であり、3D モデルはミライ小町 [18] を用いた。

7.1 組上げ型振付制作プロセスの再現

3.4 項に示した 3 種類の基本モーションと本システムによりそれらを組み上げて制作した振付の同フレームにおけるポーズを 図 5 に示す。図 5 全体は式 (3) を表している。モデルの関節数 n は 22 個、フレーム数 l は 127 フレームである。単一フレームの表示時間 d は 0.017 秒、指定関節における加算ブレンド係数 β とオーバーライド係数 α はともに 1 にそれぞれ設定している。また、その制作プロセスを再現する振付エディタのノード構成例を 図 6 に、実際に提案環境を用いて制作する過程を添付ビデオ (2. 提案環境を用いた振付制作) に示す。ツーステップの腰から首にかけての関節の動きが前ジャッキンの動きと混合されているとともに、顔を上下に動かす首関節の動きがそのまま反映されていることが確認できる。さらに、本システムにより制作した、より複雑な振付例を 図 7 および添付ビデオ (3. 複雑な振付例) に示す。先行報告 [3] の発表の際に「腰の平行移動成分は反映し

ないのでしょくか? ステップを表すモーションであるのに、上下運動が反映されていないのは不自然に感じます」というコメントをくれた方に、拡張結果である 図 5 を再度見てもらったところ、「なんだかワフワフしている気もしますが、許容範囲だと思います。恐らく mocap の精度か、キャラクターの脚が長いので、床に正しく脚がついていないのかなという気もします」とのコメントを得た。

また、本システムにより制作した、4 拍目から 5 拍目にかけてツーステップからパドブレへ連結したシーケンス例を 図 8 に、実際に提案環境を用いて制作する過程を添付ビデオ (4. 提案環境を用いたシーケンス制作) に示す。躍度が最小となるモーションが生成されており、破綻のない自然なモーションの遷移が実現されていることが確認できる。

7.2 予備実験

先行報告 [3] では、組上げ型振付制作プロセスの再現により制作されたモーションの精度、および提案環境の妥当性の実証に向け、予備実験を行った (2022 年 7 月実施)。具体的には、参加者 17 人 (ダンス未経験者: 14 人、半年以上のダンス経験者: 3 人) に対し、2 種類のタ



図 8: 本システムにより制作された、4 拍目から 5 拍目にかけてツーステップからパドブレへ連結したシーケンス例 (添付ビデオ: 4. 提案環境を用いたシーケンス制作)

スクに対して各 2 問, 計 4 問を出題した。1 種類目は提示された複数個の基本モーションから組み上げられた最終的な振付を 5 個の選択肢から推測するタスク, 2 種類目は提示された最終的な振付を構成する基本モーションを 6 個の選択肢から 1 問目は 2 個, 2 問目は 3 個推測するタスクである。

各設問において, はじめに提示した基本モーションの組および振付は以下の通りである。

- 設問 1: 前ジャッキンの基本モーションと顔を左右に向ける首の基本モーション
- 設問 2: ツーステップとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションと前ジャッキンの基本モーション, 顔を上下に動かす首の基本モーション
- 設問 3: ファーマーとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションと顔を上下に動かす首の基本モーションを結合した振付
- 設問 4: パドブレとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションを前ジャッキン化した振付に顔を左右に向ける首の基本モーションを結合した振付

全体, ダンス未経験者, 半年以上のダンス経験者ごとの各設問の正答率を図 9 に示す。設問 2 は前ジャッキン化されたツーステップを推測するタスク, 設問 4 は前ジャッキン化されたパドブレと顔を左右に向けるモーションが

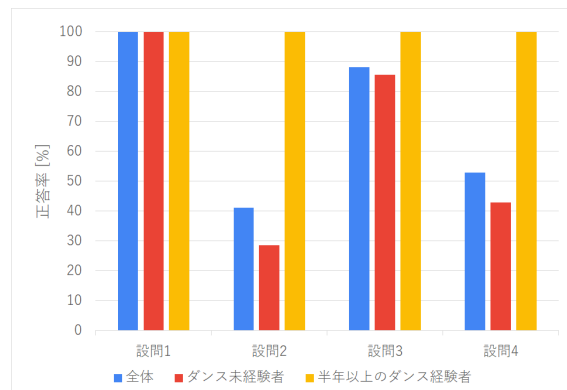


図 9: 組上げ型振付制作プロセスの再現により制作されたモーションの精度に対する予備評価実験の結果。全体, ダンス未経験者, 半年以上のダンス経験者ごとの各設問の正答率を表す

結合された振付から各基本モーションを推測するタスクであることから, 共通要素である前ジャッキン化が正答率を低下させていると考えられる。しかし, 全ての設問において半年以上のダンス経験者の正答率は 100% であること, および設問 1, 3 において全体の正答率は最低でも 88.2% であることから, プロトタイプの妥当性が実証されたといえる。

7.3 モーションとシーケンスの評価実験

システム拡張後のモーションとシーケンスに対する評価を得るために, 新しく導入した基本モーションであ

り、区別の難しい肩のモーション、予備実験では精度が低かった前ジャッキン、新たに制作できるようになったシーケンスに対する評価実験を行った（2023年1月実施）。具体的には、参加者12人（ダンス未経験者：10人、半年以上のダンス経験者：2人）に対し、計3種類のタスクを出題した。各タスクの内容は以下の通りである。

- タスク1：トレインとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションと、肩を上下する肩の基本モーションが提示され、その2つを結合した振付を4個の選択肢から推測するタスク
- タスク2：ツーステップとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションと、前ジャッキンの基本モーションが提示され、ツーステップを前ジャッキン化した振付として自然なものを、拡張前の出力結果と拡張後の出力結果のどちらかから選択するタスク
- タスク3：パドブレとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションと、ファーマーとよばれるダウンで踊れる足の基本モーションが提示され、その2つを連結したシーケンスの自然さを7段階で評価するタスク

以下、それぞれのタスクについて考察する。

(a) タスク1についての考察

タスク1における、全体、ダンス未経験者、半年以上のダンス経験者ごとの正答率を図10に示す。それぞれの正答率は、全体が66.6%、ダンス未経験者が60%、半年以上のダンス経験者は100%であった。上記の結果から、やはりダンス未経験者にとって、微細な肩の動きの変化を判別することは難しいということが分かる。その理由としては、変化部位である肩が末端部位ではないことが考えられる。なぜならば、7.2項で説明した予備実験での設問1は首の基本モーションを結合した振付を推測する問題であり、その問題の正答率は全体で100%であったからである。従って、結果表示画面（モード：シーケンス）で表示される肩に寄った視点を、選択肢の隣に同時に提示すれば、より高い正答率が望めると考えられる。

(b) タスク2についての考察

タスク2において、拡張前・拡張後の出力結果に対し、自然であると答えた人数の内訳を図11に示す。拡張前が自然であると答えた人は1人、拡張後が自然であると

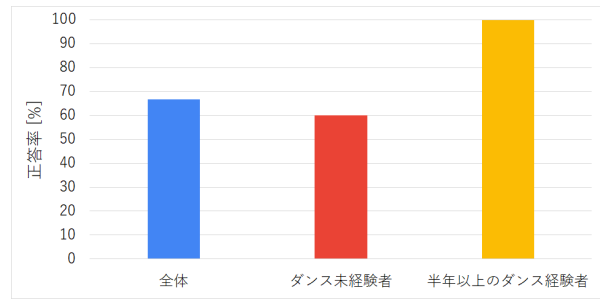


図10: タスク1の結果。全体、ダンス未経験者、半年以上のダンス経験者ごとの正答率を表す

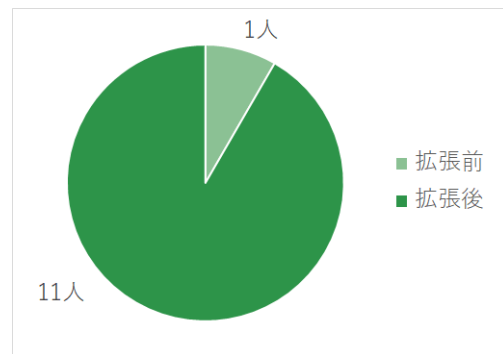


図11: タスク2の結果。拡張前・拡張後の出力結果に対し、自然であると答えた人数の内訳を表す

答えた人は11人であった。今回提示した2つの出力結果において、リズム化した関節の種類は全て同一のものとしていた。そのため、拡張後が自然であると答えた人が多数を占めた理由は、拡張点のひとつである腰の平行移動成分の導入に伴い、上下運動によるダンス特有のリズム感が反映されたからであると考えられる。

(c) タスク3についての考察

タスク3の結果を図12に示す。評価値2は外れ値とした。外れ値が生じた原因としては、評価値2を選択した回答者はダンス未経験者であり、かつタスク1の回答が不正解であったことから、ダンスモーションの識別が不得意であった可能性が考えられる。中央値は7、最大値は7、最小値は5、第一四分位は6、第三四分位は7であった。上記のような高い評価を得られたのは、4.3項で説明した、各関節の速度や加速度を滑らかに変化させる慣性補間手法 [14] が有効であったからであると考えられる。今回は単一の足の基本モーションから、他の単一の足の基本モーションへの連結例を提示した。システムの利用の仕方によっては、より複雑な振付間の連結も生じ得るため、引き続き検討が必要である。

表 1: ワークショップ参加者の基本情報 (ダンス経験)

参加者	性別	年齢 (歳)	ダンス歴	主ジャンル	振付制作経験
A	男	27	5 年	Break	有
B	女	24	8 年	Jazz Hiphop, Vogue	有
C	女	22	13 年	Jazz	無

表 2: ワークショップ参加者の基本情報 (Unity, 3D ヒューマンアニメーションに関する知識)

参加者	Unity の使用経験	ゲームエンジン等での 3D ヒューマンアニメーションデータの使用経験	3D ヒューマンアニメーションの数理的知識の程度
A	有	有	詳細な部分まで分かる
B	無	有	基本的なことは分かる
C	有	無	全く分からない

7.4 ワークショップ

システム全体に対する評価を得るために、ダンス経験がありかつ情報工学を専攻する 3 名を対象に、提案システムを用いたワークショップを開催した (2023 年 1 月実施)。ワークショップの一シーンを図 13 に示す。

ワークショップの流れは以下の通りであり、合計 3 時間実施した。

- 基本情報の収集：5 分
- 研究説明 (背景, 目的, モーションと操作の定義)：15 分
- チュートリアル：50 分
- 自由な振付・シーケンス制作：50 分
- ディスカッション：60 分

参加者のダンス経験, ヒューマンアニメーションに関する基本情報の一覧をそれぞれ表 1, 表 2 に示す。また, 表 2 における, 3D ヒューマンアニメーションの数理的知識の程度は, それぞれ具体的に以下の経験があるかどうかで判断してもらった。

- 詳細な部分まで分かる：回転成分の表現方法を数種類知っている, 実際に行列計算をしたことがある等
- 基本的なことは分かる：フレーム・キーフレーム・順運動学などを理解している, どのようなデータ構造で表現されるか知っている等
- 全く分からない：特に経験なし

そして, 研究説明は背景, 目的, モーションと操作の定

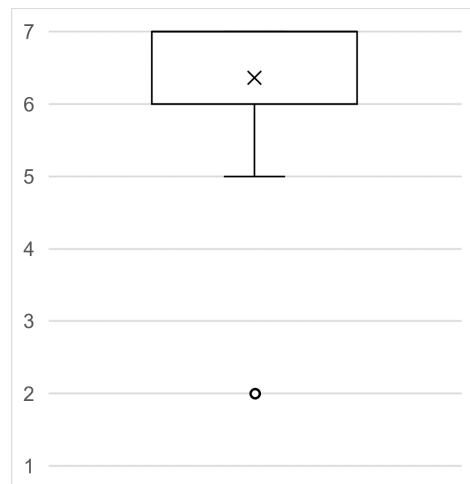


図 12: タスク 3 の結果. 評価値 2 は外れ値とした

義までに留め, システムについては, チュートリアルを通して理解してもらおう形とした。

以下, チュートリアル, 自由な振付・シーケンス制作, およびディスカッションの内容について説明する。

(a) チュートリアル

参加者に提案システムの機能を理解してもらうために, 筆頭著者の指導のもとで, 4 段階のチュートリアルを実施した。1 段階目は, 足の基本モーションを表す 1 つのアニメーションクリップをそのまま結果表示画面に出力した。ここでは, 振付・シーケンスエディタ上でのノード操作 (エディタ上に追加, ノード間を繋げる方法, redo・undo), 出力に至るまでのワークフローを理解



図 13: ワークショップのシーン。本図は自由に振付・シーケンスを制作する様子を表す

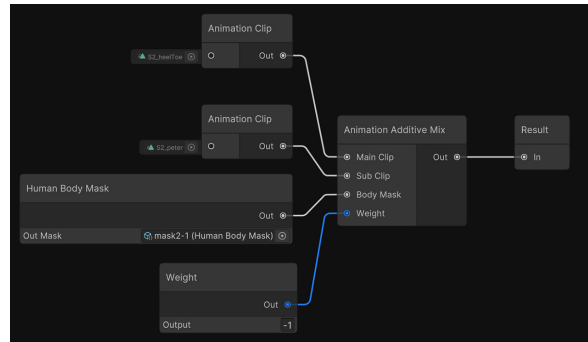
してもらった。2段階目は、首の基本モーションを結合した振付を制作した。1段階目で選択した足の基本モーションに対し、Animation Override Mix ノードを用いて、首の基本モーションを結合した。その過程で、ボディマスクエディタや Weight ノードの挙動を理解してもらった。3段階目は、前ジャッキン化した振付を制作した。2段階目までで制作した振付に対し、Animation Additive Mix ノードを用いて前ジャッキン化することで、リズム化と結合の計算の違いを理解してもらった。4段階目は、シーケンスを制作した。シーケンスエディタ上で Choreography ノードを用いて、3段階目までに制作した振付グラフと著者が作成した振付グラフを連結することで、シーケンスエディタの挙動を理解してもらった。また、結果表示画面のモードによる違いも理解してもらった。

以上の4段階のチュートリアルにより、参加者は自由に振付・シーケンスを制作できる状態となった。

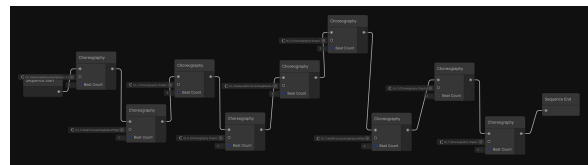
(b) 自由な振付・シーケンス制作

参加者に対し、制作物の具体的な指示を与えず、自由に振付やシーケンスを制作するよう指示した。それぞれの参加者は、互いにシステムの挙動や制作のコツを話し合いながら、制作を進めていた。

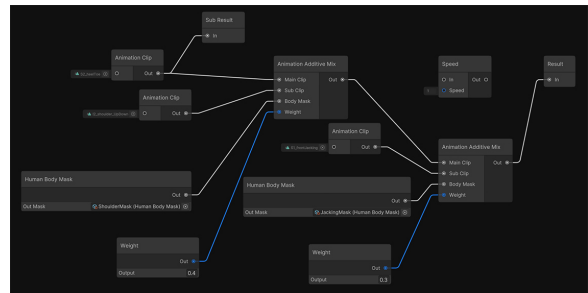
各参加者が制作した振付・シーケンスグラフの一部を図 14 に示す。図 14(a) は参加者 A が制作した振付グラフである。ヒールトゥとよばれる足の基本モーションに対し、ピーターとよばれる足の基本モーションの脇を開いて腕全体を上上げる動作を合成することを試みてお



(a) 参加者 A が制作した振付グラフ



(b) 参加者 B が制作したシーケンスグラフ



(c) 参加者 C が制作した振付グラフ

図 14: 各参加者が制作した振付・シーケンスグラフ

り、合成関節を腕部分全体の関節、パラメタを負の値に設定している。図 14(b) は参加者 B が制作したシーケンスグラフであり、合計 9 個の Choreography ノードを接続することで、32 拍分のダンスシーケンスを制作している。激しい動作 4 拍の後に、静かな動作 4 拍という一連の流れを、動作の種類を変えながら合計 4 回繰り返したシーケンスとなっている。図 14(c) は参加者 C が制作した振付グラフである。ヒールトゥとよばれる足の基本モーションに肩を上下する肩の基本モーションを結合し、その後前ジャッキン化した振付を制作している。また、合成結果が大きく破綻した動作となることを防ぐために、パラメタを小さく設定している。

(c) ディスカッション

ワークショップを通して、提案システムの良い点・改善点・今後の課題について議論した。提案システムの良い点・改善点・今後の課題、および感想などは以下の通りである。

提案システムの良い点として、以下が挙げられた。

- 使いやすく、一般的なキーフレーム操作での制作よりも直観的である点 (A, C)
- 振付とシーケンスの2段階に分けて制作することで、より組上げ型の意味を理解できる点 (B)
- モーションが元々導入されており、ハウスダンスを知らない人でも制作できる点 (B, C)
- 振付間の遷移が自然であるため、ハウスダンスのことを知らなくとも、自由にシーケンスを制作できる点 (B)

次に、改善点として、以下が挙げられた。

- 各モーションの詳細を簡単に確認する機能：各モーションがどういう動きかが分からず、少し制作しにくかったため (A, B, C)
- シーケンス制作中に、途中の振付から結果を確認する機能：9拍目から確認したいと思ったが、やり方が分からなかったため (A, B)
- クリップ中盤に存在する、各基本モーションの左足の動きを抽出する機能：全ての基本モーションが右足スタートであり、システム上抽出が不可能であったため (B)
- 2倍速化後のモーションを自然にすること：Speedノードで2倍速化は可能だが、単純に2倍速化しても自然な動作にはならなかったため (A)
- より多くの基本モーションの導入：制作できる振付の幅が狭いと感じたため (B, C)
- ダウンを含むモーションにおける膝関節の曲がり具合を調整可能にすること：前ジャッキンと同様に、ダウンの度合いも調整したかったため (C)
- 処理されるノードと処理されないノードの区別：最終的にResultノードに繋がっていなければ、例えばノード間が接続されていても処理されないという仕様は、挙動が一見よく分からず、エッジを削除せねばならないのではないかと不安になったため (A)

そして、今後の課題として、以下が挙げられた。

- ターンや低い姿勢で踊るフロアの導入：ハウスダンスにおいて重要であるため (B, C)
- 大きく移動する場合の再現：現在はその場での立ち踊りだけだが、振付で大きく移動する場合も再現できると表現の幅が広がりそうであるため (A)

- 他ダンスジャンルへの適用：ハウスダンスのように組上げ型振付制作プロセスを採用するジャンルであれば、簡単な作業のみで適用可能であるため (B)
- 複数の処理をまとめて表現するノードの導入：前ジャッキン化のように繰り返し使用する処理が多かったため、またノードとエッジでグラフが煩雑になるのを防げるため (A)

最後に、感想として、以下が挙げられた。

- ダンスの振付制作過程を組上げ型として捉えてること自体がおもしろいと感じた (A, B, C)
- 振付の減算が可能なのは興味深かった (A)
- ある振付を目的に制作するというより、ある振付と別の振付を合成したらどのようになるのだろう、といった興味本位での制作が多く、新しい動きを生み出す機会を提供してくれるクリエイティブな面があると感じた (B)

以上の議論から、提案システムは、制作する上での機能が幾分か不足しつつも、従来のキーフレーム操作による制作よりも直観的かつ使いやすいことが分かった。また、提案システムは、例えば制作者にモーション制作経験が無かったとしても、自由にハウスダンスモーションの制作が可能な環境であることが分かった。以上より、ワークショップを通し、提案システムの有用性は実証された。

8 結論と今後の課題

本論文では、様々なモーションと実際の振付制作で行う操作の関係を明らかにすることで、多種多様なハウスダンスモーションの直観的制作を可能にするビジュアルプログラミング環境、すなわち組上げ型ダンスモーション制作システムを提案した。先行報告 [3] での予備実験に加え、新たに実施したモーションとシーケンスの評価実験、提案システムを用いたワークショップにより、システム拡張による出力モーションの精度向上、および本システムの有用性が実証された。

今後の課題として以下の4点を挙げる。

8.1 足の接地の考慮

現在の提案環境に導入されている足の基本モーションは、AIST++[17]で提供されるものをそのまま用いているため、どれも足の接地が考慮されておらず、ダンスとしての自然さが幾分か損なわれている。そのため、どの

フレームにおいても同一平面上に足裏が接地するようモーションを修正する必要がある。

8.2 ノード構築時の自動補完

5.3 項で説明した通り、本システムでは、ある操作を表すノードに対して、本来定義域外のモーションを入力することも可能であるため、結果としてユーザは妥当でないダンスモーションを得る可能性がある。そこで、ユーザが既に選択したモーションをシステム側が認識し、次に合成すべきモーションを自動補完する機能を実装することで、ユーザが所望のダンスモーションを制作できる可能性が高められると考える。

8.3 振付制作支援システムとしての拡張

5.3 項では、定義域外モーションの入力により、出力の人体構造的妥当性が失われる点にはエディタ上での対応が必要であると言及した。しかし、むしろ定義域外モーションの入力を許容することで、新たなダンスモーションの創出へ繋がる可能性がある。例えば、7.4 項 (c) 「ディスカッション」にて、ワークショップの参加者 A は「振付の減算が可能なのは興味深かった」と発言しており、実際に参加者 A が制作したモーションは、データセット上では一見表現不可能なものであった。このように、加算の重みを 0~1 の範囲に設定すれば振付同士の加算を行い、比較的想定通りの出力が得られるが、重みを負に設定すれば振付同士の減算を行い、大幅に想定外の出力が得られる。そのため、上記の参加者 A の事例があったように、定義域外モーションの入力を許容することは、人間の創造性を刺激し、新たなダンスモーションの創出へ繋がる可能性がある。実際、Dornelas ら [19] の報告によれば、システムと対話することで人間が着想を得る形式の振付制作支援システムは 2021 年 7 月段階で 18 種類存在する。以上の点から、一概に定義域外モーションの入力は制限するべきではなく、むしろ許容することで、本システムは振付制作支援システムにも発展させられると考えられる。

8.4 ダンス初心者に向けたシステム拡張

本システムはダンサーに対して、新しいモーションを提供するシステムであるが、ダンス初心者もターゲットとして含め、より活用範囲を広げることはひじょうに重要である。なぜならば、本システムの主軸である組上げ型の振付制作プロセスは、初心者にとって難解である複数部位の動作から構成される複雑なダンスモーション

を、段階的に紐解くひとつの手段となり得ると考えるからである。本システムの拡張範囲からは大きく外れるため、今回はシステムへ追加しなかったが、今後も継続して検討していく必要がある。

謝辞

3D モデルの使用を許諾してくれた株式会社バンダイナムコ研究所に深謝する。

本研究の一部は、科研費基盤研究 (A) 21H04916 の支援により実施された。

参考文献

- [1] 樋口 優, *MikuMikuDance*, <https://sites.google.com/view/vpvp/>, 最終アクセス日: 2023 年 7 月 15 日.
- [2] 若杉実, *ダンスの時代*, リットーミュージック, 2019.
- [3] 大字諒, 藤代一成, “組上げ型振付制作プロセスに基づくハウスダンスデザインシステムのプロトタイプング”, *芸術科学会 NICOGRAPH2022 予稿集*, pp. F-3:1–F-3:8, 2022.
- [4] Masafumi Sonoda, Seiya Tsuruta, Mitsu Yoshimura, and Kozaburo Hachimura, “Segmentation of dancing movement by extracting features from motion capture data,” *The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan*, Vol. 37, No. 3, pp. 303–311, 2008.
- [5] Takaaki Shiratori, Atsushi Nakazawa, and Katsushi Ikeuchi, “Dancing-to-music character animation,” *Computer Graphics Forum*, Vol. 25, No. 3, pp. 449–458, 2006.
- [6] Wakana Asahina, Naoya Iwamoto, Hubert. P. H. Shum, and Shigeo Morishima, “Automatic dance generation system considering sign language information,” in *ACM SIGGRAPH 2016 Posters*, ser. SIGGRAPH '16, Article No. 23, 2016.
- [7] Narumi Okada, Naoya Iwamoto, Tsukasa Fukusato, and Shigeo Morishima, “Dance motion segmentation method based on choreographic primitives,” in *Proceedings of the 10th International Conference on Computer Graphics Theory and Applications*, ser. GRAPP 2015, pp.

- 332–339, 2015.
- [8] Yuho Yazaki, Asako Soga, Bin Umino, and Motoko Hirayama, “Automatic composition by body-part motion synthesis for supporting dance creation,” in *2015 International Conference on Cyberworlds (CW)*, pp. 200–203, 2015.
- [9] Naoya Iwamoto, Takuya Kato, Hubert P. H. Shum, Ryo Kakitsuka, Kenta Hara, and Shigeo Morishima, “DanceDJ: A 3D dance animation authoring system for live performance,” in *Advances in Computer Entertainment Technology*, pp. 653–670, 2018.
- [10] Asako Soga, Bin Umino, Takami Yasuda, and Shigeeki Yokoi, “Web3D Dance Composer: Automatic composition of ballet sequences,” in *ACM SIGGRAPH 2006 Research Posters*, ser. SIGGRAPH ’06, pp. 5–es, 2006.
- [11] Kang Chen, Zhipeng Tan, Jin Lei, Song-Hai Zhang, Yuan-Chen Guo, Weidong Zhang, and Shi-Min Hu, “Choreomaster: Choreography-oriented music-driven dance synthesis,” *ACM Transactions on Graphics*, Vol. 40, No. 4, Article No. 145, 2021.
- [12] Masaki Oshita, “Generating animation from natural language texts and semantic analysis for motion search and scheduling,” *The Visual Computer*, Vol. 26, No. 5, pp. 339–352, 2010.
- [13] 向井智彦, 川地克明, 三宅陽一郎, **キャラクターアニメーションの数理とシステム—3次元ゲームにおける身体運動生成と人工知能—**, コロナ社, 2020.
- [14] David Bollo, “Inertialization: High-performance animation transitions in ‘Gears of War’,” *Game Developers Conference*, 2018.
- [15] Tamar Flash and Neville Hogan, “The coordination of arm movements: an experimentally confirmed mathematical model,” *Journal of Neuroscience*, Vol. 5, No. 7, pp. 1688–1703, 1985.
- [16] 土田修平, 深山覚, 濱崎雅弘, 後藤真孝, “AIST dance video database: ダンス情報処理研究のためのストリートダンス動画データベース”, **情報処理学会研究報告**, Vol. 2020–MUS–126, No. 9, pp. 1–10, 2020.
- [17] Ruilong Li, Shan Yang, David A. Ross, and Angjoo Kanazawa, “AI choreographer: Music conditioned 3D dance generation with AIST++,” in *2021 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pp. 13381–13392, 2021.
- [18] Bandai Namco Research Inc., **ミライ小町**, <https://www.miraikomachi.com/>, 最終アクセス日:2023年7月15日.
- [19] Iago Felicio Dornelas, Rodrigo Duarte Seabra, and Adler Diniz De Souza, “Systematic mapping of technologies for supporting choreographic composition,” *Journal on Interactive Systems*, Vol. 13, No. 1, pp. 232–242, September 2022.

付録 A ノードの仕様

表 A.1: 振付エディタに実装したノードの詳細

カテゴリ	名称	入出力形式	用途
Primitive	Animation Clip	入力：なし 出力：HouseDanceMotion	アニメーションクリップの選択
	Human Body Mask	入力：なし 出力：HumanBodyMask	ボディマスクの選択
	Weight	入力：なし 出力：Float	加算・結合度の指定
Operation	Speed	入力：(HouseDanceMotion, Float) 出力：HouseDanceMotion	モーシヨンの速度変更
	Animation Additive Mix	入力：(HouseDanceMotion, HouseDanceMotion, HumanBodyMask, Float) 出力：HouseDanceMotion	モーシヨンの前ジャッキン化
	Animation Override Mix	入力：(HouseDanceMotion, HouseDanceMotion, HumanBodyMask, Float) 出力：HouseDanceMotion	モーシヨンの結合
Outcome	Result	入力：HouseDanceMotion 出力：なし	最終結果の表示
	Sub Result	入力：HouseDanceMotion 出力：なし	途中結果の表示

表 A.2: シーケンスエディタに実装したノードの詳細

カテゴリ	名称	入出力形式	用途
Primitive	Choreography	入力：(制御部, ChoreographyGraph, int) 出力：制御部	振付の選択
Control	Sequence start	入力：なし 出力：制御部	シーケンスの開始
	Sequence end	入力：制御部 出力：なし	シーケンスの終了

大字 諒



2021年慶應義塾大学工学部情報工学科卒業。2023年、同大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻情報工学専修修士課程修了。修学時は、ハウスダンスを対象としたモーション制作システムの研究開発に従事。

藤代 一成 (正会員)



1988年理学博士(東京大学)。東京大学、筑波大学、お茶の水女子大学、東北大学を経て、2009年より慶應義塾大学工学部情報工学科教授。CG・可視化や知的環境メディアに関する研究に従事。第16回CG Japan Award受賞。本会では副会長、評議員、NICOGRAPH Internationalアドバイザー委員等を歴任。日本工学会、情報処理学会フェロー、画像電子学会名誉会員、ACMシニア会員。IEEEシニア会員およびVisualization Academy会員。現在、日本学術会議連携会員、情報処理学会CGVI研究会主査。