

# 現代舞踊の創作支援を目的とした動作合成システム ～振付フレーズの自動生成手法～

矢崎 雄帆 (龍谷大学 大学院理工学研究科) ・ 曾我 麻佐子 (龍谷大学 理工学部)  
海野 敏 (東洋大学 社会学部) ・ 平山 素子 (筑波大学 体育系)

これまでに我々は、現代舞踊の振付創作を支援することを目的に、プロダンサーの実演から収集したモーションデータを合成し 3DCG でシミュレーションを行うシステム “Body-part Motion Synthesis System”(BMSS)を開発している。本システムは学生に有用であることは確認されているが、プロの振付家に対して有用かは十分検証していなかった。そこで、プロの振付家を対象にした事前実験を行った。その結果を受け、本稿では振付動作の連続性を考慮しやすくするために、姿勢間の距離に基づいて連結することで短いフレーズを自動生成する手法を提案する。本手法を実装したシステムの有用性を評価するために、大学で現代舞踊を専攻している学生 8 名を対象に評価実験を行った。実験結果から、本手法の創作支援に対する有用性が認められた。

## Creation Support for Contemporary Dance Using a Motion Synthesis System: Automatic Method of Generating Choreographic Phrases

Yuho Yazaki (Graduate School of Science and Technology, Ryukoku University)  
Asako Soga (Faculty of Science and Technology, Ryukoku University)  
Bin Umino (Faculty of Sociology, Toyo University)  
Motoko Hirayama (Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba)

We have developed a system, “Body-parts Motion Synthesis System (BMSS),” that synthesizes 3D motion data and simulates these data in 3DCG to support the creation of contemporary dance. The usefulness of this system for students has already been verified. We conducted preliminary experiments to verify it for professional choreographers, which had not yet been fully achieved. From our results, we propose a method that automatically synthesizes a sequence of motions by connecting choreographies based on the distance between starting/ending poses of motions, which would make it easier to consider the continuity of choreographies. We experimentally evaluated the effectiveness of our new system with eight students who are studying dance choreography at university. From the results of the experiment, we confirmed the effectiveness of this method for supporting dance creation.

### 1. まえがき

#### 1.1. 研究目的

近年、モーションキャプチャ技術の発展により人体動作を 3 次元 CG アニメーション (以下、3DCG) で表現することが容易となった。本研究の目的は、モーションデータを用いてコンテンポラリーダンス (以下、現代舞踊) の創作支援をするための新しい手法の提案である。

これまでに、我々はモーションキャプチャで取得したモーションデータを合成して 3DCG でシミュレーションを行う “Body-part Motion Synthesis System” (以下、BMSS) を開発してきた[1]。身体部位ごとに分解した舞踊動作を「要素動作」とし、要素動作を基本動作に合成した数秒の短い舞踊動作を「振付ユニット」(以下、ユ

ニット) と呼ぶ。これまでのシステムでは、このユニットを 1 つずつ手動で並べて「振付シークエンス」(以下、シークエンス) を作成していた。

本研究では、BMSS を改良し、現代舞踊の創作支援のため、自動生成したユニットをさらに 2～4 個連結して、数秒～十数秒の「振付フレーズ」(以下、フレーズ) を自動的に作り、3DCG でシミュレーションできる BMSS4.1 を開発した。図 1 にシステムで扱う動作単位を示す。開発後は、現代舞踊の振付を学習する大学生 8 名を被験者として、システムの有用性を評価した。

なお、この開発に先んじて、BMSS のターゲットユーザを広げるための評価実験を行った。BMSS が学生に有用であることは、これまでの数回の評価実験で実証済みであったが、プロの振付家にも有用かは十分検証していなかった。本稿で

は、改良前に行ったプロの振付家 4 名による BMSS4.0 の評価と、改良後に行った学生 8 名による BMSS4.1 の評価を合わせて報告する。

### 1.2. 先行研究

我々の先行研究では、バレエの練習用振付の創作支援を目的として、バレエの短い全身動作をアルゴリズムに従って連結し、十数秒～数十秒のシーケンスを自動生成するシステムを開発している[2]。本稿で提案する手法は、現代舞踊を対象としている点、予め用意した全身動作ではなく自動生成したユニットを用いる点、シーケンスはユーザ自身がユニットやフレーズを並べて作る点で異なっている。

我々の別の先行研究では、現代舞踊を対象として、事前に用意した全身動作を連結してシーケンスを自動生成するシステムも開発している[3]。本稿の手法は、全身動作ではなく身体部位動作を合成したユニットを用いている点、自動生成するのはフレーズまでである点、シーケンスはユニットやフレーズを並べてユーザ自身が作る点で異なっている。

動作の連続性や類似性を考慮してシーケンスを生成する研究として、最適フレームを基に動作を自然に連結させる研究[4]や、モーショングラフを基にシーケンスを生成する研究[5]などが行われている。これらの研究では、事前にモーションデータの解析を行っているが、本研究では身体部位動作を合成して生成した振付を使用するため、事前に計算を行うことはできない。そのため、最初と最後のフレームでの姿勢のみを使用して処理を簡略化している点や、目的が創作支援であるため閾値を設けることで複数通りの結果を出力できるようにしている点で異なる。

## 2. BMSS について

図 2 にシステムの実行画面を示す。BMSS は、ダンスの要素動作からユニットを生成し、モーションデータを用いた 3DCG でシミュレーションを行うシステムである。具体的には、ベースとなる全身の要素動作（以下、ベース）に対して身体部位の要素動作を差し替える（置換）または混ぜ合わせる（混合）ことで、振付創作に役立つ短いユニットを容易に多数作成するシステムである。

表 1 に、BMSS の各バージョンで実現した機能を示す。BMSS1 では、要素動作を合成してユニットを生成する手法のうち、ベースに対する身体部位動作の置換のみを実現した[6]。BMSS2 では、混合による合成と、ベースに対する複数の置換・混合ができるようになった[7]。BMSS3 では、それまで手動で決定していた合成する要素動作

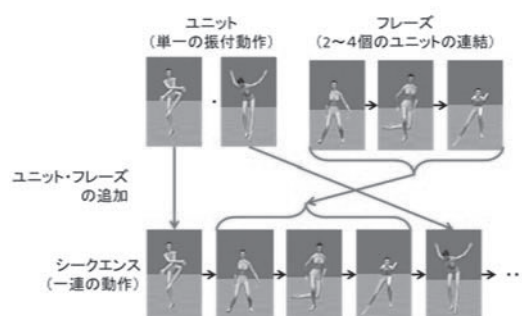


図 1 システムで使用する動作単位  
Figure 1 Motion units used in the system.

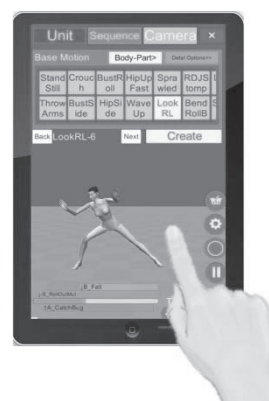


図 2 システムの実行画面  
Figure 2 Screenshot of the system while running.

表 1 BMSS のバージョン対応表  
Table 1 A correspondence table of BMSS version.

バージョン	機能
BMSS 1	身体部位動作の置換（1箇所のみ）
BMSS 2	動作の置換と混合（複数箇所）
BMSS 3	ユニットの自動生成 不自然な動作の生成の抑制
BMSS 4.0	ユニットの編集 シーケンス作成

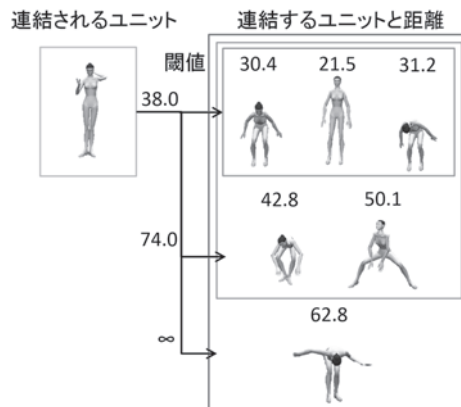


図 3 連結された動作の比較  
Figure 3 Comparison of connected motions.

や合成のタイミングを自動的に行えるようにし、身体の接地判定により不自然な動作を生成しにくくする機能を実装した[8]。さらに BMSS4.0 では、生成したユニットを手動で編集する機能、複数のユニットを連結してシークエンスを作成し、再生する機能を実現した。

### 3. 事前実験

#### 3.1. 実験手法

BMSS4.0 を改良するにあたって、ターゲットユーザにプロの振付家を加えるための評価実験を行った。被験者は、日本と英国で活動する現代舞踊の振付家で男女2名ずつ、計4名である。4名いずれも有料のダンス公演に振付家として参加した経験が豊富であり、4名のうち3名は大学で現代舞踊を教えている。また、被験者全員が BMSS を使用するのは初めてであった。

実験は、BMSS4.0 をインストールしたタブレットを3週間貸し出して行った。被験者には、面談および文書でシステムの操作方法を説明し、数時間の試用で操作に慣れてもらった上で期間中自由に使ってもらった。3週間後に、システムを評価する10の質問に対して、自由記述で詳細に回答してもらった。

#### 3.2. 実験結果と考察

実験の結果、10の質問に対して、日本の振付家から約2000文字と1500文字、英国の振付家から約1200単語と700単語の回答を得た。

回答を分析したところ、基本的に4名いずれも BMSS の有用性に肯定的であった。有用性の評価に関して日英の差はなかった。例えば「今までできなかった動きを発見できました。想像力をかきたてると思いました」、「可動域や運動能力に留まることなく他者へ振付を渡すことが可能となり、振付自体のボキャブラリーが広がると感じた」などの意見に、創作支援への有用性が示されている。今後の BMSS の改良にあたって、ユーザターゲットとしてプロの振付家を加えることの妥当性が確認できた。

一方で、「より多くの動作間の連続性を見つけるために振付を並べ替える作業はかなり時間がかかった」、「シークエンスで再生したときの動作は継続した動きとは言えにくい」などの指摘では、プロの振付家が使用するために、BMSS4.0 に改良の余地があることが明らかとなった。ただし、これらに類似する意見は学生からも示されており、プロの振付家に限ったものではない。

動作の連続性が分かりづらいという指摘は、シークエンスを作成する際に他のユニットと見比べることができず、シークエンスに追加してみる

までどの程度連続しているかが分かりづらいためであると思われる。また、シークエンスで再生した動作が連続した動きとは言えにくいという指摘は、シークエンス再生時にユニットからユニットへ繋げる際に、位置を合わせるだけで身体の向きや連続性を考慮していなかったためと考えられる。これらの指摘を考慮し、BMSS4.0 を改良した BMSS4.1 の開発を行った。

### 4. フレーズの自動生成

#### 4.1. 概要

事前実験の結果を踏まえ、ユーザが振付動作の連続性をより考慮しやすくするために、ユーザが選択したユニットに対してどのユニットが連結しやすいかを評価し、フレーズを自動生成する手法を提案する。

本手法では、ユーザが入力した1個のユニットに対して、連続性が高いユニットを姿勢間距離に基づいて評価して連結することでフレーズを自動生成する。また、今回のシステムではユーザがシークエンスの作成時にフレーズを扱いやすいように、フレーズ内で連結するユニットの個数は最大4個までとした。これにより、ユーザが気に入ったユニットを基にして一連の動作を手軽に考察でき、シークエンスの作成にかかる時間も短縮することができると考えられる。

また、フレーズの生成結果が一律であると創作支援として多様な動作の組み合わせを考察する妨げになる可能性が考えられる。そこで、出力結果を一律にせず、意外性や目新しさのあるフレーズを生成できるようにするために、システムが連結可能と判断する姿勢間距離の範囲を閾値として設けた。閾値はフレーズを生成する際にユーザが必要に応じて3段階で決定することができ、値が大きいほど連結するユニットの組み合わせにランダム性が生じる。これにより出力結果に多様性が生まれ、創作支援への有用性を高めることができると考えられる。

図3は本手法を用いて同じユニットに対して閾値ごとに連結されたユニットの比較を示している。図3より、閾値が大きい場合は、直立している動作から腕や足や脚を広げている動作へと連結されているのに対し、閾値が小さい場合は似通った動作を連結することができていることが分かる。

#### 4.2. 姿勢間距離の評価

ユニットの組み合わせによる姿勢間距離の値を比較することで、対象のユニットに対してどのユニットが連結しやすいかを評価する。

姿勢間距離を求めるにあたり、まず各ユニット

の開始時と終了時の姿勢における関節座標（ワールド座標系，全 25 個）を取得する．このとき，座標取得時の身体の位置や向きによる誤差を無くすために，root 関節を基に身体の向きと位置を揃える．

姿勢間距離は，取得した各ユニットの開始時と終了時の姿勢における関節座標を用いて求める． $n$  番目のユニットの終了時の姿勢における関節  $i$  の座標を  $(x_{in}, y_{in}, z_{in})$ ， $n'$  番目のユニットの開始時の姿勢における関節  $i$  の座標を  $(x_{in'}, y_{in'}, z_{in'})$  と置いたとき，対応した各関節座標間のユークリッド距離を求め足し合わせた値  $D_{nn'}$  を  $n$  番目のユニットに対する  $n'$  番目のユニットの姿勢間距離とする(式 1)．このようにして算出した姿勢間距離の値が小さいほど，2 つの姿勢が類似していると判定する．

$$D_{nn'} = \sum_{i=1}^{25} \sqrt{(x_{in} - x_{in'})^2 + (y_{in} - y_{in'})^2 + (z_{in} - z_{in'})^2} \quad (\text{式 1})$$

#### 4.3. ユニットの連結

連結するユニットは姿勢間距離を基に決定する．連結されるユニットに対して，姿勢間距離が閾値以下であったユニットうち 1 つを乱数により選択する．閾値は要素動作が合成されていない基本動作 60 個に対してそれぞれの姿勢間距離を求め，その分布図から分布が粗となる姿勢間距離の値を 3 つ取得した．それぞれの閾値は Low が 38cm，Middle が 74cm であり，High は無制限とした．閾値はユーザが必要に応じて任意に変更することができ，閾値の値が小さいほど姿勢間距離が短いユニットが選択されやすくなる．

図 4 は閾値を Middle とした場合のフレーズの自動生成について示したものである．ユーザが選択した 1 つのユニットを中心として，ユーザが決定した個数 (2~4 つ) になるまでユニットを連結する．この際，生成結果に多様性を持たせるために，フレーズ内のユニットは重複しないものとした．

フレーズの生成結果の例を図 5 に示す．図 5 より，ユーザが入力したユニットの前後にある程度似通ったユニットが連結されていることが分かる．

#### 4.4. BMSS の改良

BMSS4.0 にこのフレーズの自動生成機能を実装し，BMSS4.1 として改良した．図 6 に BMSS4.0 で作成したシークエンスと BMSS4.1 で作成したシークエンスの比較を示す．シークエンスは左から右へ順に再生される．このうち，背景色が白色で示されているものはユニットから，それ以外のものはフレーズから追加されたものである．

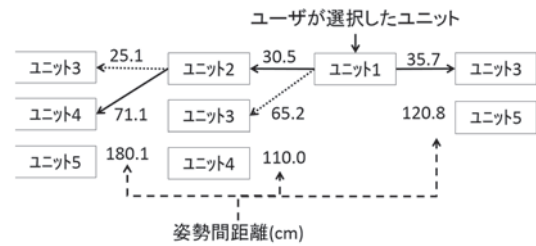


図 4 フレーズの自動生成

Figure 4 Automatic generation of a phrase.

BMSS4.0 ではユニットからの追加のみでしかシークエンスを作成できなかったが，BMSS4.1 ではユニットとフレーズを組み合わせて作成することができる．また，BMSS4.1 から操作性の向上を図るために，シークエンスへのユニットやフレーズの追加，入替，削除などの操作をドラッグ操作により行えるようにしている．これらにより，BMSS4.1 では 4.0 よりも手軽かつ短時間でシークエンス作成が可能となると考えられる．

### 5. 評価実験

#### 5.1. 実験手法

BMSS4.1 の有用性，とりわけフレーズの自動生成機能の有用性を評価するために評価実験を行った．被験者は日本の大学・大学院でダンスを専攻し，現代舞踊の振付経験のある学生 8 名である．内訳は学部生 6 名，大学院生 2 名，女性 7 名，男性 1 名であった．

実験に使用したシステムは実験時間に合わせ一部機能を制限し，フレーズの自動生成時の閾値は Middle (74cm) に固定，振付の編集機能は要素動作の合成タイミング変更のみ可能とした．

表 2 に実験用のシステムで使用可能とした動作の一覧を示す．ベースとなる要素動作は，男女 1 名ずつから取得したモーションデータ 128 個から 60 個を選んだ．ベースに対して合成可能な要素動作は 107 個用意した．107 個の内訳は，置換で合成できる要素動作 100 個，混合で合成できる要素動作 7 個である．ちなみに BMSS3 の評価実験で使用した個数は，ベースが 40 個，ベースに対して合成可能な要素動作が 78 個，計 116 個であった[9]．

実験は 90 分間で，3 つのパートに分けて段階的に進めた．パート 1 では，操作に慣れてもらった上で多数のユニットを生成してディスプレイ上で確認してもらい，その中から自分の振付創作に使えるようなユニットを 20~30 個選んで保存してもらった．パート 2 では，保存したユニットのセットから，自由に選んで手作業で時系列に並べ，30 秒ほどのシークエンスを創作してもらった．

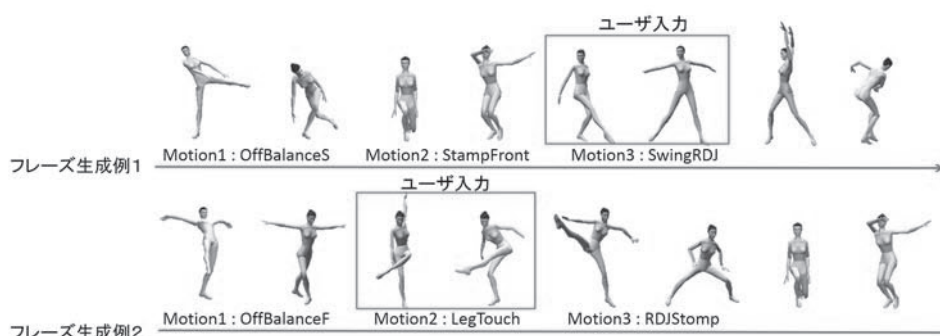


図5 フレーズの生成結果の例  
Figure 5 Example of created phrase.

パート3では、パート2と同一のユニットのセットを用い、今度は自動生成されたフレーズのみを使用して30秒ほどのシークエンスを創作してもらった。この時、自動生成で連結する個数はユーザが任意に決定すること、またフレーズは、シークエンスに追加後に入替・削除などの編集をしやすいこととした。

パート2,3で創作した2つのシークエンスは、それぞれ記憶した上で実演してもらった。実演は2台のカメラで録画した。また、被験者が創作したシークエンスは、後から参照できるように外部ファイルへ保存してもらった。

実験は4人ずつ2組で行った。シークエンスを手作業で並べるパート2と、自動生成されたフレーズを用いるパート3は、どちらを先に行うかが被験者の評価に影響を与える可能性がある。そこで、2番目の組では、パート2とパート3の順序を入れ替えて実験を行った。

### 5.2. 実験結果と考察

実験後の質問票では、BMSS4.1が振付の創作支援に有用かどうか、手作業でシークエンスを作る手法(パート2)と自動生成されたフレーズを用いる手法(パート3)について、それぞれ5択で尋ね、その理由を自由記述してもらった。また、今回の開発目的とは異なるが、動作の理解・学習、演舞の技術訓練にそれぞれ有用かどうか、参考までに5択で尋ねた。

表3は、学生8名による5択の結果である。ただし、本実験は被験者が少人数であるため、結果の考察は量的な分析ではなく、おもに自由記述の質的な分析によって行った。考察より、以下の5つの点が明らかになった。

第1に、ユニットの自動生成は、創作支援にきわめて有用であることが再確認できた。これはBMSSのこれまでのバージョンで行った評価実験でも明らかであったが、今回の評価実験でも振付に関して「新たな発見」が促されたことが分かった。

### BMSS4.0で作成したシークエンス

6:KneeTurn	4:HipSlide	3:SlideSide	4:HipSlide	3:SlideSide	4:HipSlide	11:StampRight	14:Release
------------	------------	-------------	------------	-------------	------------	---------------	------------

### BMSS4.1で作成したシークエンス

6:KneeTurn	11:StampRight	22:KickHopB	21:KickHopB	8:SlideCatch	7:WaveUp	23:KickHopB	17:JumpBack
------------	---------------	-------------	-------------	--------------	----------	-------------	-------------

フレーズ1                      フレーズ2

図6 シークエンスの作成例の比較  
Figure 6 Example of created sequence.

表2 BMSS4.1の動作対応表  
Table 2 Correspondence table of motions used in BMSS 4.1.

動作項目		個数	
基本動作	Stand	20	60
	Move	12	
	Jump	10	
	Turn	6	
	Floor	12	
要素動作 (混合)		7	
要素動作 (置換)	Body	10	100
	Neck	10	
	L-Leg	26	
	Shoulders	8	
	Arms	46	
合計		167	

第2に、フレーズの自動生成も、創作支援に有用であることが証明された。とりわけ8名のうち5名が、フレーズを用いることで創作時間を短縮できることを指摘している。また、4名が何の編集もせずにフレーズをそのまま実演していた。このことも、自動生成したフレーズが振付の構成部分として有用であることを示している。

第3に、それにもかかわらず、フレーズを用いるよりも、ユニットを手作業で並べる手法の方が好まれていることが分かった。動きのつながりをスムーズにするために、自ら選びながら時間軸上に並べる方が作りやすいという趣旨の記述が多

く見られた。

第4に, パート2とパート3の実施順によって, フレーズの自動生成に対する評価に差が生じた可能性が明らかになった。90分という短い時間で2つの手法に取り組んでもらったため, 同一のユニットのセットを用いたにもかかわらず, 2番目に実施した手法の評価が高くなる傾向が見いだされた。システムの操作に慣れたことが高評価につながった可能性があり, 今後は, 操作に慣れるため十分に長い実験時間を確保する必要があることが分かった。

第5に, BMSS4.1は動作の理解・学習, 演舞の技術訓練にもある程度有用であることが分かった。とりわけ前者に関しては, 要素動作のモーションデータがプロダンサーの優れた実演動作であることと, 3DCGで視点を変えて動きを見られることが高く評価された。

表3 学生8名の評価結果

Table 3 Evaluation results for 8 students.

	創作支援		動作理解	技術訓練
	手作業	自動生成		
とても有用	6	2	3	3
ある程度有用	2	4	4	4
改良すれば有用	0	2	1	1
あまり有用でない	0	0	0	0
わからない	0	0	0	0

## 6. まとめ

本稿では, 現代舞踊の創作支援のために開発したBMSSを改良するにあたって, ターゲットユーザにプロの振付家を加えるための事前実験を行った。その結果から振付動作の連続性をより考慮しにくいという問題点を解決するために, 姿勢間の距離を基に一連の動作を連結してフレーズを自動生成する手法について述べた。また, 本手法を実装したBMSS4.1を用いて行った評価実験から, 本手法およびシステムの創作支援に対する有用性が確認できた。

今後は, 再び事前実験と同様にプロの振付家を対象とした実験を行うことで, プロ向けにシステムを構築していく所存である。

## 謝辞

評価実験に協力いただいた筑波大学の方々に謝意を表す。モーションデータ収録にあたっては, 神奈川工科大学映像スタジオをお借りした。なお, 本研究の一部は, JSPS 科研費 15H02793 の助成によるものである。

## 参考文献

- 1) A. Soga, B. Umino, Y. Yazaki, M. Hirayama, Body-part Motion Synthesis System and its Evaluation for Discovery Learning of Dance, IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E99-D, no.4, pp.1024-1031(2016).
- 2) B. Umino, J. S. Longstaff, A. Soga, Feasibility Study for Ballet E-learning: Automatic Composition System for Ballet Enchainement with Online 3D Motion Data Archive, Research in Dance Education, vol.10, no.1, pp.17-32(2009).
- 3) A. Soga, B. Umino, M. Hirayama, Automatic Composition for Contemporary Dance using 3D Motion Clips: Experiment on Dance Training and System Evaluation, Proc. of International Conference on Cyberworlds 2009, pp.171-176(2009).
- 4) 岩月, 尾下, 山中, 中司, 関, 能の型付資料に基づく仕舞のアニメーション自動合成システム, 第11回情報科学技術フォーラム講演論文集, pp.27-34(2012).
- 5) T. Shiratori, A. Nakazawa, K. Ikeuchi, Synthesizing Dance Performance Using Musical and Motion Features, Proc. of 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3654-3659(2006).
- 6) 海野, 曾我, 河野, 平山, 舞踊教育における発見的学習支援システム ~モーションデータを用いた動作合成による振付創作の学習効果~, 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, vol.2011, no.8, pp.199-204(2011).
- 7) 海野, 曾我, 平山, モーションデータを用いた現代舞踊の創作実験 ~タブレット端末と動作合成による振付創作の学習効果~, 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, vol.2013, no.4, pp.175-180(2013).
- 8) 矢崎, 曾我, 海野, 平山, 身体部位動作の自動合成システムを用いた現代舞踊の創作支援, NICOGRAPH2015 論文集, pp.325-328(2015).
- 9) Y. Yazaki, A. Soga, B. Umino, M. Hirayama, Automatic Composition by Body-part Motion Synthesis for Supporting Dance Creation, Proc. of International Conference on Cyberworlds 2015, pp.200-203(2015).